วารสาร กทช. ๒๕๔๙
NTC Annual Review 2006

เล่ม ๓/๓

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ISSN 1905-5870

วารสาร กทช. ๒๕๔๙ • NTC Annual Review 2006
เล่ม ๒/๒

ISSN 1905-5870
พิมพ์ครั้งที่ ๑ ตุลาคม ๒๕๔๙
จำนวน ๕,๐๐๐ เล่ม

เจ้าของ
คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ที่ปรึกษา
พลเอก ชูชาติ พรหมพระสิทธิ์
ดร. อาทร จันทวิมล
ศาสตราจารย์ เศรษฐพร คูศรีพิทักษ์
นายเหรียญชัย เรียววิไลสุข
นายสุชาติ สุชาติเวชภูมิ
ศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ

บรรณาธิการบริหาร
รองศาสตราจารย์ สุธรรม อยู่ในธรรม

กองบรรณาธิการ
นางสาววีระวรรณ พิบูลย์
นายสมบัติ ลีลาพตะ
นางสาวอรดา เทพยายน
นางสาววิไล เถื่อนทองแถว
นายสิทธิโชค สื่อประสาร
นางสาวธันญพร จันทร์เรืองเพ็ญ
นางสาวธนภร พิทักษ์สถิต
นางสาวใจทิพย์ ศรีโนนชัย
นางสาวปุนรดา นักบริตน
นางสาววิจิตรา หาญเชิงชัย

สำนักงาน
สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
๘๗ ซอยสายลม ถนนพหลโยธิน เขตพญาไท กรุงเทพฯ ๑๐๔๐๐
โทรศัพท์ ๐ ๒๒๗๑ ๐๑๕๑ โทรสาร ๐ ๒๖๑๖ ๗๖๒๒
www.ntc.or.th

ออกแบบและพิมพ์
บริษัท วิสคอมเซ็นเตอร์ จำกัด
๒๙/๓๑ แฮปปี้แลนด์ ซอย ๒ แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ ๑๐๒๔๐
โทรศัพท์ ๐ ๒๗๓๔ ๐๗๗๓-๖ โทรสาร ๐ ๒๓๗๕ ๑๑๙๕

คำนำ

หนังสือวารสาร กทช. ๒๕๔๙ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับกิจการโทรคมนาคมและการสื่อสาร เพิ่มพูนวิทยาการและสาระน่ารู้ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีเจตจำนงให้เป็นหนังสือวิชาการด้านกิจการโทรคมนาคม การสื่อสารและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอและจะมีบทบาทสำคัญในอนาคต ทั้งนี้เพื่อให้ความรู้ความเข้าใจต่อสาธารณชน และให้ตระหนักถึงบทบาทของกิจการโทรคมนาคมที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และประเทศชาติ และที่สำคัญคือการดำเนินการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสังคมและประเทศชาติ

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ได้จัดทำหนังสือวารสาร กทช. ๒๕๔๙ เล่มนี้โดยรวบรวมบทความทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เกี่ยวข้องกับการโทรคมนาคม การสื่อสารและเทคโนโลยี เพื่อเผยแพร่ต่อผู้สนใจและเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ขอขอบพระคุณผู้ส่งบทความและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และร่วมมืออย่างดียิ่งในการจัดทำหนังสือวารสาร กทช. ๒๕๔๙ เล่มนี้ และหวังว่าจะได้รับความร่วมมือเช่นนี้ตลอดไป

บรรณาธิการ

ตุลาคม ๒๕๔๙

สารบัญ

001 **เรื่องเล่า-การประชุมวิชาการระดับโลกในการส่งเสริมบริการอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา (Global Symposium on Promoting the Multilingual Internet)**
นายดิเรก เจริญผล
ผู้เชี่ยวชาญประจำคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

011 **อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย จากรุ่นสี่ไปเป็นรุ่นที่หก**
ศ.ดร. ศรีศักดิ์ จามรมาน
ประธานกรรมการและประธานผู้บริหาร
วิทยาลัยการศึกษาทางไกลอินเทอร์เน็ต มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

047 **บนเส้นทางนวัตกรรมทางการศึกษา e-Learning**
รองศาสตราจารย์ ดร. นุษบา สุธีธร
อาจารย์ประจำสาขาวิชานิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

055 **สร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education)**
นายอนันต์ วรธิติพงศ์
นายกสมาคมโทรคมนาคม

063 **เทคโนโลยีสารสนเทศกับการพัฒนาโลจิสติกส์ของประเทศไทย**
นางสาวช่อผกา แก้วใหญ่
สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

075 **การปฏิบัติการสารสนเทศ (Information Operations: IO)**
พันเอก ฤทธี อินทราวุธ
ผู้อำนวยการกองแผนและฝึก ศูนย์เทคโนโลยีทางทหาร กองทัพบก

087 **CDMA ที่สุดของเทคโนโลยีบนมาตรฐาน IMT-2000**
นายอภิชาติ งามวิลัย
ฝ่ายประสานงานร่วมกิจการ DTAC บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)

093 **สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare: EW)**
พ.อ. หลักแก้ว อัมโรสถ
นายทหารสื่อสารประจำกรมการทหารสื่อสาร

109 **สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (network-centric warfare) การปฏิวัติในกิจการทหาร (Revolution in Military Affairs: RMA) ที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ**
นาวาอากาศเอก อนุวัตร์ เล็กสวัสดิ์
ผู้อำนวยการกองวิทยาการ กรมสื่อสารทหารอากาศ

123 **ระบบสื่อสารกองทัพไทย (Military Communications System)**
พลโท สมพล วีระศักดิ์
เจ้ากรมการสื่อสารทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด

127 **Broadband Wireless Access นิยามใหม่แห่งการสื่อสารไร้สาย**
นายไพโรจน์ ไววานิชกิจ
Assistant Vice President กลุ่มธุรกิจสื่อสาร บริษัท ซีเมนส์ จำกัด

147 **งานวิจัยและพัฒนาโทรศัพท์สาธารณะไร้สายของ บมจ. ทีโอที**
นายสำรวญ ช่วยสกุล
วิศวกร 7 สถาบันนวัตกรรมทีโอที บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)

157 **เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network)**
นางสาวกาญจนา วิริยะพันธ์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

165 **ผลกระทบของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย ต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย (The Effect of Video Camera and WiFi-Local Area Network)**
ผศ.ดร. ชนวัฒน์ ศรีสอ้าน
คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

175 **การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่**
นายพงศ์ฐิติ พงศ์ศิลามณี
วิศวกร 9 ส่วนงานขายและบริการลูกค้าภูมิภาค บมจ.ทีโอที

197 **3G vs WiMAX คู่แข่ง หรือ คู่ค้า**
นางปริตา วงศ์ชุตินาท
พนักงานปฏิบัติการระดับสูง สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

213 **Wi-MAX เทคโนโลยีแห่งความหวังที่จะปฏิวัติการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต สำหรับทุกๆ คน**
นายกมลภัทร บุญค้ำ
ส่วนงานธุรกิจอินเทอร์เน็ต บริษัทแอดวานซ์ ดาต้าเน็ตเวอร์ค คอมมิวนิเคชันส์ จำกัด

223 **การเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายด้วยอีเทอร์เน็ต (Ethernet in Access Networks)**
นายสุรศักดิ์ ภูตยานันท์
ผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาธุรกิจและการตลาด บริษัท ทีมา อิเล็กโทรนิกส์ จำกัด

233 **VoIP เทคโนโลยีสื่อสารสู่ธุรกิจยุคใหม่**
นายองอาจ เรืองรุ่งโสม
ผู้อำนวยการสำนักการอนุญาตประกอบกิจการ
สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

255 **Overview of Technology in Industry Convergence Era**
นายวิจิตร เพิ่มเพียรเกียรติ ผู้จัดการส่วนงาน ฟิวเจอร์แลป
นายธนิตย์ ชัยบุญธนิตย์ ผู้จัดการส่วนงานค้นคว้าทางเทคนิค
บมจ. แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส

269 **วิทยุกระจายเสียงความชัดเจนสูง (Digital HD Radio)**
นายวีระศักดิ์ เชิงเชาว์
ผู้อำนวยการส่วนสำรวจและวางแผน สำนักส่งเสริมและพัฒนางานเทคนิค กรมประชาสัมพันธ์

299 **ชนิดของความคลาดเคลื่อน (Classification of Measurement Errors) และการแก้ไข**
นาวาอากาศเอก ไชยานนท์ สุขประเสริฐ
กองมาตรวิทยา กรมสื่อสารทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ

333 **การปรับปรุงสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็มโดยใช้เทคนิคการรวมการพยากรณ์**
Performance Optimization of GSM Mobile Telephone System by Combining Forecasting Techniques
ผศ. พิเชฐ ม่วงนวล และ ผศ. ถวิล พึ่งมา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

349 **FTTH-Fiber To The Home**
รศ.ดร. อธิคม ฤกษบุตร
รองอธิการบดี และคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

371 **เทคโนโลยีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจาก SDTV สู่ HDTV**
นางสาวฉัตรเพชร บุณยเกตุ และนายปรีดา ศิลป์วิทยารักษ์
ผู้ชำนาญการด้านวิศวกรรมสื่อสาร บริษัท ชินแซทเทลไลท์ จำกัด (มหาชน)

383 **เทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงกับโครงข่ายในอนาคต**
ดร. อนรรฆ มุทิตาเจริญ
ส่วนวางแผนและวิศวกรรมสื่อสัญญาณภายในประเทศ ฝ่ายวางแผนและวิศวกรรม
บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด

เรื่องเล่า-การประชุมวิชาการระดับโลก ในการส่งเสริมบริการอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา (Global Symposium on Promoting the Multilingual Internet)

นายดิเรก เจริญผล
ผู้เชี่ยวชาญประจำคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

บทนำ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union-ITU) ซึ่งเป็นองค์การชำนัญพิเศษของสหประชาชาติและองค์การการศึกษา วิทยาศาสตร์ และวัฒนธรรมของสหประชาชาติ (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization–UNESCO) ได้ร่วมกันเป็นผู้รับผิดชอบจัดประชุมวิชาการในลักษณะ Symposium ระดับโลกครั้งที่หนึ่งขึ้น ณ ศูนย์การประชุมนานาชาติ กรุงเจนีวา สวิตเซอร์แลนด์ ระหว่างวันที่ 9 ถึง 11 พฤษภาคม 2549 เพื่อเป็นการดำเนินงานต่อเนื่องกับหลักการและผลลัพธ์ของการประชุมสุดยอดระดับโลกเกี่ยวกับสังคมสารสนเทศ (World Summit on the Information Society–WSIS) ขององค์การสหประชาชาติที่ได้ดำเนินการไปสองวาระ คือ ครั้งที่ 1 ณ นครเจนีวา (10-12 ธันวาคม 2546) เรียกว่า Geneva Phase และครั้งที่ 2 ณ กรุงตูนิส (16-18 พฤศจิกายน 2548)

เรียกว่า Tunis Phase การประชุมสุดยอดทั้งสองวาระได้กำหนดนโยบาย แนวทางการดำเนินงานและกิจกรรมจำนวนมากที่องค์กรระหว่างประเทศในเครือข่ายสหประชาชาติ ประเทศสมาชิกทุกประเทศพร้อมกับองค์กรภาคเอกชนและภาคประชาชนในโลกจะเป็นผู้ดำเนินงานต่างๆ ให้เกิดผลอันเป็นประโยชน์แก่มวลมนุษยชาติทั่วไปโดยไม่มีข้อเลือกหรือข้อจำกัดแก่ผู้ใดทั้งสิ้น การดำเนินงานและกิจกรรมเหล่านั้นคาดว่าจะเกิดในรูปแบบการศึกษาการวิเคราะห์ การปฏิบัติการขององค์กรทั้งหลายที่ได้กล่าวข้างต้น และคงจะมีการประชุมนานาชาติทั้งในระดับโลก ระดับภูมิภาค และระดับประเทศจำนวนมากในเวลาหลายปีภายหน้า เพื่อนำวิชาการและกิจกรรมต่างๆ มาแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจและประสานการดำเนินงานกันให้บรรลุเป้าหมายต่างๆ ที่คาดฝันไว้ ดังปรากฏในเอกสารสรุปผลการประชุมสุดยอดทั้งสองวาระ

การส่งเสริมบริการอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา

หัวข้อเรื่องนี้เป็นประเด็นสำคัญเรื่องหนึ่งในบรรดากิจกรรมทั้งหลายที่ได้รับการกำหนดขึ้นจากการประชุมสุดยอด ณ กรุงตูนิส เพื่อให้เห็นความสำคัญว่าภาษาที่หลากหลายจะมีความสำคัญในการเชื่อมต่อช่องว่างของระบบดิจิตอลได้ ในการนี้ได้ระบุองค์กรและภารกิจที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ITU มีบทบาทเป็นตัวนำในอันที่จะทำให้โครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารและสารสนเทศบังเกิดผล ตามแนวทางปฏิบัติการ C2 ของ WSIS
- ITU และ UNESCO ร่วมกันทำให้มีการเข้าถึงสารสนเทศและความรู้ ตามแนวทางปฏิบัติการ C3 ของ WSIS
- UNESCO มีบทบาทในการดำเนินการเกี่ยวกับความหลากหลายของวัฒนธรรมและเอกลักษณ์ของวัฒนธรรมนั้นๆ รวมถึงความหลากหลายของภาษาและเนื้อหาของภาษาของชุมชนในท้องถิ่นต่างๆ ตามแนวทางปฏิบัติการ C8 ของ WSIS

ITU และ UNESCO จึงถือว่าได้รับมอบหมายให้ร่วมกันนำหลักการและสาระของแนวทางปฏิบัติการทั้งสามข้างต้นมาดำเนินการให้บังเกิดผลต่อไป ด้วยเหตุนี้ทั้งสององค์กรจึงได้ร่วมกันจัดประชุมวิชาการครั้งที่หนึ่งที่เรียกว่า “Global Symposium on Promoting the Multilingual Internet” ขึ้น ณ นครเจนีวา ดังกล่าวแล้วในบทนำ ในการนี้ ITU/UNESCO ได้มีหนังสือเชิญผู้เขียนให้เข้าร่วมประชุม พร้อมทำหน้าที่ประธานการประชุมครั้งนี้ด้วย การเชิญครั้งนี้เกิดขึ้นโดยไม่ทราบล่วงหน้าหรือคาดคิดมาก่อน หลังจากได้พิจารณาไตร่ตรองอยู่ระยะหนึ่ง จึงได้ตอบรับคำเชิญครั้งนี้ เพราะเห็นว่าพอจะปฏิบัติหน้าที่นี้ได้ โดยถือว่าเป็นการทำหน้าที่ในนามคนไทยให้เป็นเกียรติแก่ประเทศไทยถวายเบื้องพระยุคลบาทในปีอันเป็นมหามงคลการครองศิริราชสมบัติครบ 60 ปีของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวผู้ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อปวงชนชาวไทยสุดที่จะบรรยาย

การประชุมวิชาการครั้งนี้ได้กำหนดหัวข้อตามหลักการและสาระสำคัญของย่อหน้าที่ 53 ของภารกิจสำหรับสังคมสารสนเทศในกลุ่มอภิบาลของอินเทอร์เน็ต (Internet Governance) จากการประชุมสุดยอด ณ กรุงตูนิส ขอถอดความโดยสังเขปของย่อหน้า 53 ดังนี้

“53. เราผูกพันที่จะร่วมกันทำงานอย่างกระตือรือร้น มุ่งสู่การทำให้เกิดภาษาหลากหลายในอินเทอร์เน็ต โดยถือเป็นส่วนหนึ่งของขบวนการประชาธิปไตยที่โปร่งใสของพหุภาคี ที่เกี่ยวโยงกับรัฐบาลและผู้มีส่วนได้เสียทั้งหลายในบทบาทของแต่ละองค์กร ฉะนั้น เราสนับสนุนการพัฒนาเนื้อหาของท้องถิ่น การแปลและการปรับแต่ง คลังดิจิตอลและการสื่อความทั้งในระบบดิจิตอลและระบบดั้งเดิมอันหลากหลาย รวมทั้งการยอมรับว่ากิจกรรมเหล่านี้จะสร้างเสริมความเข้มแข็งให้กับชุมชนพื้นถิ่น

ดั้งเดิมได้ ดังนั้นเราจึงขอเน้นถึงความจำเป็นที่จะ

ก) เดินหน้าขบวนการที่จะแนะนำความหลากหลายภาษาในหลายเรื่อง รวมทั้งชื่อโดเมนที่อยู่ ระบบอีเมล์ และการค้นหาด้วยคำสำคัญ

ข) ทำให้บังเกิดผลในแผนการที่จะยอมให้ชื่อโดเมน และเนื้อหาหลากหลายภาษาปรากฏอยู่ในระบบอินเทอร์เน็ต รวมถึงการใช้ซอฟท์แวร์แบบต่างๆ เพื่อต่อสู้กับช่องว่างทางดิจิตอล เพราะภาษาจะให้หลักประกันแก่สังคมใหม่ทั้งหลายที่เพิ่งจะเริ่มเข้าร่วมด้วย

ค) สร้างความเข้มแข็งให้กับความร่วมมือระหว่างองค์กรต่างๆ ที่จะพัฒนามาตรฐานเทคนิคต่างๆ ต่อไป รวมทั้งฟูมฟักการเผยแพร่ใช้งานทั่วโลก"[1]

นอกจากหัวข้อเหล่านี้ ITU/UNESCO ยังเชิญชวนผู้รู้และผู้สนใจงานนี้จากประเทศต่างๆ ทั่วโลกให้เสนอผลงาน ประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้ภาษาต่างๆ ในอินเทอร์เน็ต การแก้ปัญหาต่างๆ ที่ได้ดำเนินการไปแล้ว และการศึกษาค้นคว้าและการวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้ที่ประชุมได้เรียนรู้และพิจารณาร่วมกัน เพราะถือว่าการประชุมครั้งแรกของเรื่องนี้จะจุดชนวนเริ่มต้นเพื่อให้มีการดำเนินงานร่วมโดยองค์กรที่สำคัญทั้งสองของสหประชาชาติเป็นแกนหลักให้เกิดประโยชน์ในอนาคตระยะยาวอย่างจริงจังและต่อเนื่อง

การประชุม Global Symposium on Promoting the Multilingual Internet

การประชุมร่วมโดย ITU/UNESCO ครั้งนี้มีระยะเวลา 3 วันเต็ม (9-11 พฤษภาคม 2549) มีผู้สนใจเข้าร่วมประชุมมากกว่า 100 คน แต่มีผู้มาร่วมประชุมได้จริงประมาณ 90 คน ส่วนมากเป็นอาจารย์มหาวิทยาลัย นักวิจัยค้นคว้าขององค์กรหรือมหาวิทยาลัย และบริษัทของรัฐและเอกชนที่ให้บริการเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต การใช้งานและองค์ประกอบสำคัญของระบบ รวมถึงนักภาษาศาสตร์ซึ่งมีอาจารย์และนักวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยตรงอีกจำนวนหนึ่ง เป็นการประชุมที่นำเอาศาสตร์ของภาษา และศาสตร์ของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโทรคมนาคมมาประสมประสานกันอย่างน่ามหัศจรรย์

เนื้อหาของการประชุม แบ่งเป็นวาระโดยสังเขปดังนี้

1. พิธีกล่าวเปิด
2. วัตถุประสงค์และการจัดการประชุมและนำการประชุม
3. การรายงานภาพรวมของมาตรฐานปัจจุบัน และวิธีแก้ปัญหาทางเทคนิค
4. การเสนอประสบการณ์ในเชิงปฏิบัติการ
5. การบรรยายงานที่จัดเป็นหมวดหมู่
6. การอภิปรายและข้อพิจารณาวิธีแก้ปัญหาและประสบการณ์ที่มีอยู่ โดยมุ่งไปยังการระบุประเด็นที่ยังเปิดกว้างอยู่
7. การเสนอข้อสรุปและข้อแนะนำเกี่ยวกับหัวข้อการบรรยายในข้อ 5 ข้างต้น
8. การร่วมจัดทำร่างแนวทางสำหรับขั้นตอนต่อไปที่จะส่งเสริมระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา
9. รายงานกล่าวปิดการประชุม

เรื่องที่ได้เสนอเข้าสู่วาระการประชุมได้รับการจำแนกออกเป็นวาระย่อยประมาณ 50 หัวข้อ โดยจะกล่าวถึงสาระสังเขปของวาระต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การเปิดประชุมเป็นคำปราศรัยกล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมประชุมและความเห็นเกี่ยวกับความหมายของหัวข้อการประชุม คือ Multilingual Internet รวมถึงวัตถุประสงค์ของการประชุมด้วย โดย

[1] Paragraph 53-Agenda for the Information Society; World Summit on the Information Society Outcome Document, Geneva 2003–Tunis 2005, page 79-80

• Director of ITU Telecommunication Standard Bureau, Mr.Houlin ZHAO,

• Director of UNESCO Information Society Division, Mrs.Elizabeth LONGWORTH และ

• Expert to the National Telecommunications Commission (NTC) Thailand, Mr.Direk CHAROENPHOL

• เลขาธิการสำนักเลขาธิการ WSIS ได้รับเชิญเป็นกรณีเฉพาะวัตถุประสงค์ของ WSIS

Director Zhao ได้กล่าวถึงความสำคัญของมาตรฐานโทรคมนาคมโดยเฉพาะในเทคโนโลยีใหม่ที่จะนำมาใช้เกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งภารกิจนี้เป็นกิจกรรมและความรับผิดชอบที่สำคัญของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ โดยเฉพาะสำนักมาตรฐานโทรคมนาคมซึ่งจะดำเนินงานต่างๆ ให้สอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติการ C2 และ C3 ของ WSIS และของสำนักมาตรฐานโทรคมนาคม กับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ มีความยินดีที่จะร่วมงานกับยูเนสโกอย่างเต็มที่ เพราะเป็นที่น่าพอใจที่องค์กรทั้งสองของสหประชาชาติจะได้ร่วมกิจกรรมกันอย่างใกล้ชิด

Director Longworth ได้กล่าวถึงภาระสำคัญของยูเนสโก ในการส่งเสริมและพัฒนาด้านการศึกษา วิทยาศาสตร์ และวัฒนธรรมของมนุษยชาติ โดยองค์กรนี้ได้ดำเนินงานเหล่านี้มาอย่างแข็งขันเป็นเวลานาน แต่วิธีการดำเนินงานของยูเนสโกจะเน้นเรื่องความโปร่งใส การมีส่วนร่วมของประชาชนและการเปิดกว้าง แม้กระนั้นก็เชื่อว่าสามารถจะร่วมงานกับองค์กรที่มีความเชี่ยวชาญและความเป็นเลิศทางเทคโนโลยี เช่น สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้อย่างดี ในโลกของเทคโนโลยีใหม่เกี่ยวกับสารสนเทศและการสื่อสารเชื่อว่าการร่วมมืออย่างใกล้ชิดของสององค์กรนี้จะนำประโยชน์อย่างมากมาสู่มนุษย์ ตามแนวทางปฏิบัติการ C3 และ C8 ของ WSIS ซึ่งยูเนสโกก็มีความยินดีอย่างยิ่งที่จะได้ร่วมงานกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศอย่างใกล้ชิดต่อไป

Mr.Charoenphol (ผู้เขียน) ซึ่งได้รับเกียรติในฐานะประธานของการประชุม ได้กล่าวปราศรัยเพื่อเป็นการเปิดการประชุมด้วย โดยกล่าวขอบคุณทั้งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และยูเนสโกอย่างจริงจังที่ได้เชิญให้เข้าร่วมการประชุมและทำหน้าที่ประธานของการประชุม ขอน้อมรับเกียรติครั้งนี้สำหรับประเทศไทยและคนไทย เพราะในวันที่ 9 มิถุนายน ศกนี้ จะเป็นช่วงเวลาความสุขของพวกเรา คนไทยที่จะร่วมเฉลิมฉลองการครองศิริราชสมบัติครบ 60 ปี ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ภูมิพลอดุลยเดช ผู้ทรงเป็นพระมหากษัตริย์ที่รักยิ่งของพวกเรา คนไทยทั้งหมดจะร่วมกันถวายความเคารพสักการะอย่างสูงที่สุดต่อพระองค์ท่านในเหตุการณ์อันสำคัญนี้ ข้อความนี้ได้ตั้งใจจะกล่าวให้บันทึกไว้เพื่อเป็นการเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวโดยกะทัดรัดให้เหมาะสมกับโอกาสนี้ นอกจากนั้นได้กล่าวถึงการประชุมครั้งนี้ว่า เป็นการร่วมกันแบ่งปันประสบการณ์ ความรู้ และความคิดเกี่ยวกับ ICT ที่จะนำประโยชน์มาสู่มนุษย์ชาติตามอุดมการณ์ของ WSIS ทั้งสองวาระตามแนวทางปฏิบัติการ C2, C3 และ C8 ซึ่งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศและยูเนสโกได้ถูกกำหนดให้ร่วมกันรับผิดชอบเป็นผู้นำในงานนี้ การประชุมมุ่งสู่การทำให้ความหลากหลายของภาษาเป็นการลดช่องว่างของดิจิตอล เพราะภาษาเป็นเครื่องมือแสดงความคิด และความประสงค์ให้เป็นที่เข้าใจได้ จากนั้นได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์เฉพาะของการประชุม การจัดการประชุมตามวาระที่ได้จัดเตรียมไว้ และหวังว่าเหตุการณ์ในสามวันนี้ จะมีคุณค่าสูงในความรู้และการเรียนรู้ที่จะแลกเปลี่ยนกัน เพื่อนำกลับไปดำเนินการต่อไปในภูมิลำเนาของเราแต่ละคนตามอุดมการณ์ของ WSIS งานนี้ไม่ง่ายเลย แต่ความจริงใจของพวกเราในสันติภาพและความสุขของสังคมจะทำให้ความพยายามอันยิ่งใหญ่ของเราจะได้รับ

ความสำเร็จในอนาคตที่เห็นได้ (โปรดดูต้นฉบับหลักที่กล่าวในพิธีในภาคผนวกต่อท้ายเรื่อง-ผู้เขียน)

2. วัตถุประสงค์และการจัดการของการประชุมและบทนำเป็นการบรรยายแสดงความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาศาสตร์ สภาวะแวดล้อมของสังคมกับอินเทอร์เน็ตและบทบาทของยูเนสโกในการรวมภาษาและเนื้อหาของชุมชนเข้าสู่ระบบไซเบอร์ (กิจกรรม ICT ซึ่งทำให้เกิดสภาวะเสมือนชีวิตจริงของมนุษย์ โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ร่วมกับระบบสื่อสารโทรคมนาคมใช้ประโยชน์ในชีวิตสมัยใหม่ได้-ผู้เขียน) ทำให้ที่ประชุมได้ทราบถึงการศึกษาค้นคว้าความรู้เกี่ยวกับภาษาของมนุษย์อย่างน่าสนใจ เช่น การพัฒนาการจากภาษาพูดเป็นภาษาเขียน ซึ่งได้มีการจำแนกกลุ่มของภาษา การบัญญัติศัพท์ และการพัฒนาสำนวนและความหมายต่างๆ จนถึงการแปลงภาษาเขียนให้เป็นเครื่องหมายในระบบดิจิตอลเพื่อใช้งานต่างๆ

ในการศึกษาได้พบว่าภาษาของมนุษย์ที่ใช้อยู่มีประมาณ 6,000 ภาษา ประมาณ 50% อยู่ในขั้นอันตรายที่จะสูญหาย ประมาณ 90% ไม่อยู่ในกลุ่มภาษาที่นำมาจัดให้ใช้ในระบบอินเทอร์เน็ตได้ (ขณะนี้ระบบอินเทอร์เน็ตยังใช้ภาษาเขียนเป็นหลัก-ผู้เขียน) ฉะนั้นจึงได้เกิดความสนใจในหมู่นักวิจัยค้นคว้าด้านภาษาและเทคโนโลยีสารสนเทศที่จะนำภาษาอีกจำนวนมากเข้ามาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารยุคใหม่ โดยเฉพาะในงานด้านอินเทอร์เน็ต ซึ่งรับกันว่าเป็นเครื่องมือการสื่อสารในศตวรรษที่ 21 อันมีประโยชน์มหาศาล แนวคิดเหล่านี้ได้นำไปสู่ขบวนการที่จะสร้างระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษาขึ้นมาใช้งานแทนระบบเดิมที่ได้ใช้ภาษาอย่างจำกัด ทั้งในประเภทการใช้ ชนิดของภาษา และรูปแบบการติดต่อกันรวมถึงการค้นหาข้อมูลและความรู้ต่างๆ โดยใช้ระบบอินเทอร์เน็ตเป็นสื่อสำคัญเพื่อเข้าถึงวิชาการ องค์ความรู้ การเรียนรู้ และการปฏิรูปต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การพัฒนาชีวิตและสังคมของมนุษย์ในทางที่ดีงามต่อไป

3. การรายงานภาพรวมของมาตรฐานปัจจุบันและวิธีแก้ปัญหาทางเทคนิค เป็นการรายงานผลงานด้านมาตรฐานทางเทคนิคและการแก้ปัญหาประเด็นสำคัญบางประการในการใช้อินเทอร์เน็ตส่วนใหญ่เกี่ยวกับชื่อโดเมนสากล (International Domain Name–IDN) ทั้งในงานของกลุ่มศึกษาที่ 17 ของสำนักงานมาตรฐานโทรคมนาคมของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ การดำเนินงานของ ICANN และการใช้ IDN ในสถานการณ์ต่างๆ รวมถึงการใช้คำหรือกลุ่มคำสำคัญในระบบอินเทอร์เน็ตที่สามารถสืบค้นข้อความต่อเนื่องได้ (Internet Keyword Lookup) สาระใจความส่วนใหญ่แสดงให้เห็นความพยายามด้านเทคนิคที่จะทำให้ชื่อโดเมนสากลสามารถใช้กับภาษาที่หลากหลายได้ ซึ่งในการศึกษาเหล่านั้นได้มีความพยายามที่จะประสานให้เป็นระบบสากลที่ใช้ได้กับระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา สำหรับเรื่อง Internet Keyword Lookup ก็เป็นแนวทางใหม่อีกแนวหนึ่ง ซึ่งมีการพัฒนาที่จะกำหนดคำศัพท์หลักๆ จำนวนหนึ่งที่ผู้ใช้สามารถใช้เชื่อมโยงถึงความหมายเฉพาะในภาษาที่แตกต่างจากสากลได้ งานนี้มีการวิจัยในหลายประเทศ แต่ในประเทศเกาหลีมีความคืบหน้าไปถึงมีการใช้เป็นเชิงพาณิชย์และมีจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นพอสมควร

4. การเสนอประสบการณ์ในเชิงปฏิบัติการปัจจุบันเป็นการบรรยายประสบการณ์ใช้ชื่อโดเมนสากลจากแหล่งต่างๆ ที่ได้มีการวิจัยและทดลองใช้อยู่ เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนความรู้และข้อมูลในการใช้หลายภาษาในการจัดทำระบบชื่อโดเมนของแต่ละภาษาให้ใช้ระหว่างกันได้ ในการบรรยายหัวข้อเหล่านี้ ผู้บรรยายหลายรายได้กล่าวถึงการจัดกลุ่มของภาษาที่มีรากฐาน และลักษณะใกล้เคียงกันให้เป็นกลุ่มที่อาจกำหนดใช้มาตรฐานเดียวกันในการกำหนดรูปแบบของชื่อโดเมนได้ เช่น กลุ่มภาษาจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี กลุ่มภาษาอาหรับที่ใช้

อยู่หลายประเทศ (เนื่องจากมีตัวหนังสืออาหรับใช้ในศาสนาอิสลามร่วมกัน) กลุ่มภาษาที่ใช้ในวงกว้างของชุมชนต่างๆ ในหลายประเทศของอัฟริกา ในการพัฒนาระบบชื่อโดเมนเหล่านี้ ผู้ประดิษฐ์ต้องคำนึงถึงเครื่องหมายในการเขียนตัวอักษร สัญลักษณ์ ถ้อยคำ วิธีการเขียน (กลุ่มภาษาจีนและอาหรับเขียนจากขวามือไปซ้ายมือ) การเขียนจากบนลงล่าง และจากหน้าท้ายสุดเป็นหน้าแรก ฯลฯ และข้อมูลจำเพาะอื่นๆ ของภาษาเหล่านั้นเป็นเรื่องน่าสนใจมาก เพราะผู้ใช้อินเทอร์เน็ตส่วนใหญ่คุ้นกับระบบภาษาละตินที่เป็นรากฐานของภาษาหลักในยุโรปและสหรัฐอเมริกา

อนึ่ง ภายใต้การศึกษาข้างต้นได้มีการวิจัยและทดลองค้นคว้าการใช้ภาษาเขียนด้วยรหัสกลางโดยเฉพาะเมื่อภาษาที่มีรูปแบบหลากหลายมากเช่นที่ใช้กันอยู่ในประชากรของประเทศต่างๆ ในทวีปอัฟริกา เพราะบางประเทศมีภาษามากจนไม่สามารถนับภาษาใดเป็นภาษากลางได้ รายงานที่สำคัญมาจากกลุ่มอาจารย์ในมหาวิทยาลัยมีชื่อของบางประเทศในอัฟริกา เช่น มหาวิทยาลัยแห่ง Avignon เป็นต้น

5. การบรรยายงานที่จัดเป็นหมวดหมู่ เป็นการนำเรื่องที่มีการศึกษาวิจัยและการจัดทำเป็นลักษณะที่คล้ายกันหรือเกี่ยวเนื่องกัน เช่น การจดทะเบียนชื่อโดเมนของบางกลุ่มภาษา การพัฒนาและส่งเสริมการใช้เนื้อหาหรือการคิดค้นระบบของท้องถิ่นเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต และการสร้างความก้าวหน้าในการนำชื่อโดเมนสากลมาใช้งานจริง ความหลากหลายของหัวข้อเหล่านี้สรุปโดยสังเขปได้ว่า ได้มีการนำชื่อโดเมนต่างๆ ที่ประดิษฐ์ขึ้นในหลายประเทศหรือชุมชนมาจดทะเบียนใช้งานในที่ต่างๆ โดยมีชื่อเชิงพาณิชย์ต่างๆ กัน เช่น Veri Sign, Afilias, DENIC, ชื่อในประเทศญี่ปุ่นเป็นภาษาญี่ปุ่น รวมถึงการอธิบายถึงความสัมพันธ์ของการใช้ภาษาหลากหลายในการคิดค้น IDN และรูปแบบต่างๆ กับประเด็นของทรัพย์สินทางปัญญา โดยถือว่าการประดิษฐ์คิดค้นระบบชื่อและวิธีการต่างๆ ในเรื่องเหล่านี้ น่าจะถือเป็นทรัพย์สินทางปัญญาและมีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ได้เพียงใด

สำหรับการพัฒนาและการใช้เนื้อหาท้องถิ่นในระบบอินเทอร์เน็ตนั้น ส่วนงานของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และยูเนสโก กับองค์กรเอกชนหลายแห่งได้ดำเนินการอยู่ในรูปแบบที่น่าสนใจเพื่อหาวิธีการดำเนินงานที่ใช้เป็นมาตรฐานในการนำภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้าสู่การใช้ในระบบอินเทอร์เน็ต บทความที่เสนอมีทั้งจากผู้เชี่ยวชาญของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จากมูลนิธิเอกชนและแม้แต่ผู้แทนของรัฐบาล ซึ่งต้องการให้ภาษาท้องถิ่นได้รับการใช้เป็นภาษาราชการ

ในการสร้างความก้าวหน้าการนำชื่อโดเมนสากลมาใช้อย่างจริงจังนั้น มีรายงานที่น่าสนใจจากประเทศที่ได้พัฒนาการใช้ภาษาท้องถิ่นให้เป็นรูปแบบชื่อโดเมนสากล ได้แก่ กลุ่มภาษารัสเซียและภาษาที่มีรากฐานซีริล (Cyrillic ได้แก่กลุ่มภาษาที่มีรากฐานจากภาษากรีก ใช้อยู่ในหลายพื้นที่ของรัสเซียใต้และยุโรปตะวันออกเฉียงใต้ต่อแดนเอเชีย) ภาษาทมิล (Tamil) ซึ่งได้ศึกษาพบว่าเป็นภาษาที่มีในภูมิภาคอินเดียทวีป (Indian Sub-continent) มากกว่าภาษาอื่นๆ ในย่านนี้ (เป็นที่ประหลาดใจของที่ประชุม) กลุ่มภาษาเปอร์เชีย (อิหร่าน) ซึ่งน่าจะมีลักษณะพื้นฐานของภาษาอาหรับแต่มีความแตกต่างหลายประการ สำหรับกลุ่มภาษาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น มีนักวิชาการจากเกาหลีและสิงคโปร์กำลังศึกษาอยู่ว่าจะจัดกลุ่มเข้าด้วยกันได้อย่างไร ในส่วนภาษาไทยนั้น ได้มีผู้สนใจของไทยกำลังศึกษาอยู่บ้างเพราะเข้าใจถึงความสำคัญในความหลากหลายภาษา ประเด็นเหล่านี้ทำให้ผู้เข้าร่วมประชุมเห็นแล้วว่า ได้มีความพยายามในวงวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งด้านภาษา ศิลปศาสตร์ และเทคโนโลยีที่จะทำให้ระบบอินเทอร์เน็ตนำไปใช้งานในสภาวะที่หลากหลายมากกว่าที่ได้เริ่มต้นไว้เดิม

6. การอภิปรายและพิจารณาวิธีแก้ปัญหาในประเด็นที่เปิดกว้าง เป็นช่วงเวลาการประชุมที่มีการเสนอเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา แต่เรื่องเหล่านี้มีข้อพิจารณาที่หลากหลาย ได้แก่ การนำระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ใหม่ๆ มาใช้งาน การชี้วัดความหลากหลายของการใช้ภาษาในระบบอินเทอร์เน็ต รวมถึงความหลากหลายภาษาในทางปฏิบัติ

เรื่องฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์นั้น มีความสนใจมากในการศึกษาวิจัยถึงความท้าทายในการกำหนดเงื่อนไขหรือสภาวะความเป็นท้องถิ่นไปสู่ภาษาที่มีการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในระบบสากล เช่น การนำระบบ Linux ไปดัดแปลงใช้กับภาษาท้องถิ่น หรือจะพูดกลับว่าปรับภาษาท้องถิ่นให้เข้าไปใช้ระบบ Linux ได้ รวมถึงการนำซอฟต์แวร์ระบบเปิด (Open Software) ที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายไปใช้ทำให้ภาษาที่ถูกจำกัดมีความเคลื่อนไหวใช้ประโยชน์ได้ เห็นได้ว่าส่วนใหญ่ต้องการนำซอฟต์แวร์ระบบเปิดมาใช้งานในการพัฒนาเนื้อหาของภาษาท้องถิ่น เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าซอฟต์แวร์ระบบปิด แม้ว่าอาจจะด้อยกว่าในบางประการในระยะต้นก็ตาม

สำหรับการชี้วัดความหลากหลายของการใช้ภาษาและความหลากหลายในทางปฏิบัติได้มีรายงานที่น่าสนใจจากนักวิชาการในมหาวิทยาลัยและองค์กรเอกชนทั้งในมาเลเซีย และในบางประเทศในทวีปอเมริกาใต้ เพื่อหาวิธีและดรรชนีที่จะตรวจสอบและวัดความหลากหลายภาษาได้ เพื่อนำมาใช้ในระบบอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้รวมถึงการที่จะทำให้ภาษาที่หลากหลายนี้ปรากฏอยู่ในสังคมของความรู้ ทั้งนี้ได้มีความพยายามที่จะจัดตั้งเครือข่ายของความหลากหลายของภาษาขึ้นทั่วโลกเพื่อจะทำนุบำรุงภาษาต่างๆ ที่มนุษย์ใช้อยู่ให้คงอยู่เป็นส่วนของวัฒนธรรมโลก และสามารถใช้งานกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ด้วย

นอกจากนั้นได้มีรายงานเกี่ยวกับโครงการวิจัยที่มหาวิทยาลัยสิงคโปร์ในเรื่องการสร้างระบบการตรวจสอบถึงการใช้โดเมนสากลในกลุ่มภาษาต่างๆ ของโลก การใช้ภาษาหลากหลายในระบบอินเทอร์เน็ตในประเทศอินเดีย (ซึ่งมีภาษาท้องถิ่นหลายร้อยภาษา) เพื่ออาจใช้หลักของตัวหนังสืออินเดียที่มีผู้ใช้และเข้าใจมากสุดเป็นเครื่องมือกลาง และมีรายงานเกี่ยวกับภาษาตุรกีในลักษณะเดียวกับที่ดำเนินการในอินเดียด้วย

7. การเสนอข้อเสนอและข้อแนะนำสำหรับหัวข้อการบรรยายในข้อ 5 ข้างต้นนั้นเป็นการเสนอความเห็นในภาพรวมและข้อแนะนำของผู้เข้าประชุมส่วนหนึ่งต่อหัวข้อการบรรยายเป็นลักษณะเฉพาะเรื่อง ซึ่งมีความหลากหลายมาก จึงจะไม่นำมากล่าวในส่วนนี้ แต่ส่วนใหญ่เป็นข้อคิดเห็นที่มีแนวความคิดแปลกใหม่หรือเพิ่มเติมจากที่ได้ดำเนินการอยู่จึงเป็นประโยชน์แก่นักวิชาการแต่ละคนเป็นรายๆไป ซึ่งทุกคนรับฟังด้วยความสนใจที่จะนำไปใช้ศึกษาวิจัยในงานของตนต่อไป เพราะเห็นร่วมกันแล้วว่า “Multilingual Internet” เป็นเรื่องยากและยาวนาน จะต้องมีภารกิจที่ต้องดำเนินการต่อไปอีกมาก อย่างไรก็ดีในช่วงหนึ่งของการประชุมได้มีความเห็นขัดแย้งกันว่า ในการเสนอแนะให้สร้างชื่อโดเมนสากล (IDN) แบบต่างๆ นั้น แม้จะเป็นความคิดที่ดีมีประโยชน์แต่หากไม่ยึดหลักที่จะเชื่อมโยงให้เป็นระบบเดียวกันคล้ายๆ กับที่ ICANN ได้ดำเนินการมาแต่เดิม อาจจะทำให้เกิดความยุ่งยากขึ้นได้ในอนาคต และอาจทำให้การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตสากลที่มีการเชื่อมโยงเป็นระบบต่อเนื่องอยู่มีปัญหาได้ มีการวิจารณ์ระหว่างทั้งสองกลุ่มค่อนข้างจะรุนแรง ประธานที่ประชุม (ผู้เขียน) และผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานโทรคมนาคมของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จึงได้ช่วยกันชี้แจงและเจรจาประนีประนอมให้สงบลงและยอมรับกันได้ว่า ความเห็นของทั้งสองฝ่ายมีคุณค่าไม่ขัดแย้งกันถึงต้องลบล้างกัน แต่เป็นการมอง

ประเด็นปัญหาในมุมที่แตกต่างกัน ซึ่งทุกคนเห็นร่วมกันว่าทำให้มีประเด็นที่จะต้องศึกษา ค้นคว้าวิจัย รวบรวมข้อมูล ทดลองดำเนินการ ประเมินผล และรายงานแลกเปลี่ยนความรู้ และประสบการณ์เพื่อร่วมกันพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับภาษาหลากหลายที่ดีเกิดประโยชน์แก่มนุษยชาติต่อไปอีกมาก

8. การสรุปการประชุมและข้อเสนอแนะแนวทางขั้นตอนต่อไปเป็นภาคสุดท้ายของการประชุมสามวันของ Symposium ครั้งนี้ ในการนี้ฝ่ายเลขานุการของที่ประชุมได้จัดทำร่างสรุปของผลการประชุมและข้อแนะนำสำหรับการดำเนินการต่อไป ซึ่งที่ประชุมและประธานที่ประชุมได้ร่วมกันพิจารณาปรับปรุงให้ครอบคลุมสาระสำคัญต่างๆ ให้ครบถ้วน พร้อมกับเสนอแนะข้อคิดเห็นกับแนวทางปฏิบัติในอนาคตเป็นบันทึกทางการเพื่อใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานต่อไป รายงานฉบับนี้ยังอยู่ในขั้นตอนที่ให้ผู้เข้าร่วมประชุมได้ปรับปรุงแก้ไข แม้ว่าส่วนใหญ่จะให้การรับรองแล้วก็ตาม แต่ยังไม่สามารถนำมาแสดงเป็นทางการได้ อย่างไรก็ดี ในฐานะผู้เขียนมีส่วนเกี่ยวกับการประชุมนี้อย่างเต็มที่ จึงขอกล่าวถึงสาระสังเขปของผลสรุปและแนวทางปฏิบัติในอนาคตให้ทราบ โปรดถือเป็นข้อความที่มิใช่ทางการและอาจจะรายงานได้ไม่ครบถ้วนตามต้นฉบับทางการซึ่ง ITU และ UNESCO คงจะเผยแพร่ต่อไป เมื่อได้มีการรองรับเป็นทางการตามวิธีปฏิบัติของสององค์กรนี้แล้ว

"กิจกรรมร่วมครั้งแรกที่จัดขึ้นโดย UNESCO และ ITU ครั้งนี้ หลังจากการประชุมสุดยอดระดับโลกว่าด้วยสังคมสารสนเทศ (WSIS) วาระกรุงตูนิส ครอบคลุมประเด็นกว้างขวางที่มีผลกระทบต่อการนำภาษาและวัฒนธรรมเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งวาระการประชุมที่กรุงตูนิสได้ย้ำถึงความผูกพันที่จะดำเนินงานไปสู่ความหลากหลายของภาษาในระบบอินเทอร์เน็ต อันถือเป็นส่วนของบทบาทร่วมของรัฐบาลและผู้มีส่วนได้เสียทั้งหลายที่จะดำเนินการในรูปพหุภาคีด้วยความโปร่งใสและขบวนการเสรีประชาธิปไตย ซึ่งวาระการประชุม ณ กรุงตูนิส ได้รับรู้ถึงความสำคัญของเรื่องนี้ พร้อมกับกำหนดอุดมการณ์และแนวทางการปฏิบัติดังที่ได้กล่าวมาแล้วอย่างดี

ในการประชุมสามวันนี้ได้มีการเสนอบทบรรยายพร้อมการพิจารณาหารือแลกเปลี่ยนความเห็นในเรื่องต่างๆ เป็นจำนวนมากดังที่บรรยายโดยสังเขปข้างต้น ทุกคนได้ประจักษ์ชัดแล้วว่าประเด็นเหล่านี้มีความสลับซับซ้อนมาก และยังหาข้อแก้ไขซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในขณะนี้ไม่ได้ แม้ว่าหลายเรื่องมีความเข้าใจและมีทางแก้บ้างแล้ว แต่ก็ยังมีเรื่องค้างอยู่และมีผู้ที่ยินดีจะเหนื่อยยากดำเนินงานต่อไปสู่ความสำเร็จในอนาคต ไม่มีข้อสงสัยว่าชุมชนโลกจะได้รับประโยชน์จากแนวทางการปฏิบัติและเอกสารแนะแนวถึงประเด็นปัญหาต่างๆ ของเรื่องนี้ ภารกิจนี้เป็นงานยากและต้องการความร่วมมือที่แข็งแกร่งและมากมายจากองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ฉะนั้นเพื่อสอดคล้องกับผลลัพธ์ของ WSIS (ประธาน) ขอให้กำลังใจสนับสนุน ITU และ UNESCO ให้ร่วมกันถือว่าการประชุมครั้งนี้มิใช่เหตุการณ์เฉพาะกิจ แต่ให้ถือเป็นการเริ่มต้นที่มั่นคงในแผนงานร่วมของทั้งสององค์กร ในการเสริมสร้างระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษาต่อไป แม้ว่าแต่ละองค์กรจะมีกิจกรรมประจำปกติตามสมรรถภาพของตนอยู่แล้วก็ตาม และเนื่องจากยังมีองค์กรและผู้เชี่ยวชาญอีกมากหลายที่เกี่ยวข้องในเรื่องเหล่านี้ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่ UNESCO และ ITU ที่จะเสาะหาความร่วมมือจากองค์กรและบุคคลเหล่านี้ให้ร่วมงานและร่วมมือให้งานต่อเนื่อง หลังจากที่สององค์กรได้เริ่มจัดตั้งความสัมพันธ์ในการทำงานพื้นฐานในระดับเลขาธิการและเทคนิคแล้ว ในขั้นแรกให้มีชุดเตรียมงานร่วมเป็นหน่วยนำ จัดเตรียมแผนปฏิบัติการเพื่อพัฒนาแนวทางดำเนินการและ/

หรือข้อเสนอแนะแนวทางดังกล่าว

การประชุมได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การนำภาษามาใช้ในอินเทอร์เน็ตของสมาชิกในภูมิภาคนั้นมีความไม่เท่าเทียมกัน ตัวอย่างเช่นในทวีปอัฟริกาและส่วนอื่นๆ ของโลก ยังมีภาษาที่มิได้จัดทำเป็นภาษาเขียน เมื่อเทียบกับภูมิภาคในทวีปยุโรป ในภาษาที่มิได้มีรากภาษาละติน ยังมีปัญหาในการทำชื่อโดเมนสากลและสิ่งที่เกี่ยวข้องอีกมาก อนึ่ง ข้อแก้ไขเชิงเทคนิคต่างๆ ยังเป็นที่โต้แย้งกันอยู่ แม้กระนั้นได้เห็นร่วมกันว่าความต้องการของผู้ใช้ควรเป็นประเด็นศูนย์กลางการปรึกษาหารือ และความต้องการของเขาเหล่านั้นมีความสำคัญเร่งด่วนเป็นอันดับสูงที่สุด ฉะนั้น (ประธาน) ขอเสนอให้ ITU และ UNESCO ร่วมกันจัดทำกิจกรรมติดตามผลการประชุมนี้ในระดับภูมิภาค ด้วยความช่วยเหลือจากเพื่อนร่วมกิจกรรม ทั้งในระดับภูมิภาคและโลก โดยถือเป็นส่วนหนึ่งของแผนงานที่ได้กล่าวข้างต้น เพื่อมุ่งสร้างความเข้าใจและความต้องการของภูมิภาคต่างๆ ที่จะกำหนดปริมาณความพยายามและทรัพยากรที่จำเป็น สถานการณ์และการนำภาษาต่างๆ เข้ามาใช้ในระบบอินเทอร์เน็ตด้วย

การประชุมครั้งนี้ ได้เน้นการสร้างระบบอินเทอร์เน็ตจักรวาลที่เป็นหนึ่งเดียว สามารถรองรับภาษาต่างๆ ของโลก โดยป้องกันมิให้มีความแตกแยกของระบบ โดยให้องค์กรและผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องร่วมมือกันพัฒนามาตรฐานเทคนิค ให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ในระดับโลก ฉะนั้นที่ประชุมจึงได้เน้นความสำคัญของการร่วมมือที่จะประกันการสอดประสานของมาตรฐานของความหลากหลายของภาษา และสร้างกรอบที่สอดรับของมาตรฐานโลก สำหรับระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษาให้ได้ นอกจากนั้นที่ประชุมได้เน้นว่าวิวัฒนาการของระบบอินเทอร์เน็ตควรใช้มาตรฐานด้านเทคนิค ซึ่งเป็นที่ยอมรับด้วยฉันทามติในระดับโลก เช่น ข้อแนะนำของ ITU-T และ ISO กับ IEC International Standards เป็นต้น โดยให้หลีกเลี่ยงวิธีแก้ไขที่มีเอกสิทธิ์ของการเป็นเจ้าของโดยเฉพาะ ซึ่งมีลักษณะเป็นการผูกขาดอย่างที่สุด สำหรับระบบซอฟต์แวร์ที่ประชุมเห็นว่าสังคมจะได้ประโยชน์จากระบบที่ใช้ร่วมกันได้ เช่น ที่ผลิตโดยระบบเปิด (open source) เป็นสำคัญ

แม้ว่าปัจจุบันความสนใจส่วนใหญ่เกี่ยวกับระบบอินเทอร์เน็ต จะมุ่งแก้ปัญหาด้านเทคนิคเกี่ยวกับชื่อและที่อยู่ของอินเทอร์เน็ต แต่ก็ควรใส่ใจกับการฟูมฟักความหลากหลายของภาษาในเนื้อหาท้องถิ่นให้มากขึ้น ที่ประชุมได้รับรู้ถึงผลงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแปลภาษาต่างๆ การจดจำแบบอย่างของการพูด และวิศวกรรมสร้างความรู้ต่างๆ เป็นต้นกระนั้นก็ควรมีการวิจัยค้นคว้าในวงกว้างเกี่ยวกับบริการอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษาต่อไป

ที่ประชุมได้ประจักษ์ชัดถึงกิจกรรมที่ยังมีความแตกแยกเกี่ยวกับระบบและการใช้ชื่อโดเมนสากล (IDN) แต่ก็เห็นพ้องกันเป็นอย่างดีที่จะแปลงภาษาพูดให้เป็นภาษาเขียนให้มากขึ้น และบันทึกไว้กับมรดกวัฒนธรรมของชุมชนให้มากที่สุด ความแปลกประหลาดในปัจจุบันคือ มีการทุ่มเททรัพยากรให้กับการนำ IDN มาใช้และการกำหนดคำสำคัญ (keyword) ของระบบอินเทอร์เน็ต แต่มีการสนับสนุนการสร้างภาษาเขียนและการจดบันทึกน้อยมาก ควรจะมีการปรับให้เกิดการประสานงานที่มีความสมดุลระหว่างทรัพยากรและความรู้ที่จะอุทิศช่วยความก้าวหน้าของทั้งสองประเด็น ฉะนั้น (ประธาน) จึงขอให้กำลังใจสนับสนุน UNESCO และ ITU ร่วมกันแสดงบทบาทนำในการเสริมสร้างให้เกิดความร่วมมือระหว่างประเทศในการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา และขอให้กำลังใจสนับสนุนองค์กรอื่น และบุคลากรทั่วไปที่เกี่ยวข้อง ให้ร่วมในความริเริ่มเหล่านี้อย่างแข็งขันและสร้างความแข็งแกร่งให้กับความร่วมมือกันในการนี้ด้วย

9. พิธีปิดการประชุม เป็นการกล่าวสรุปถึงความรู้สึกเกี่ยวกับหัวข้อ เนื้อหา และสาระ รวมถึงสิ่งที่ Director Zhao, Director Longwort และ Mr.Charoenphol (ประธาน) มีข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการประชุมโดยรวม จะขอสรุปในส่วนของประธาน ดังนี้

"ภาษาเป็นความงดงามและความภาคภูมิใจในวัฒนธรรมของเรา และเป็นเครื่องมือสร้างความเข้าใจของมนุษย์ ดังที่ได้เห็นความสำคัญในชีวิตประจำวัน ภาษาได้ถูกแปรเปลี่ยนโดยเทคโนโลยีสำคัญสามประการ คือ สารสนเทศโทรคมนาคม และคอมพิวเตอร์ให้เกิดประโยชน์ใช้สอยอย่างมาก"

นับว่าเป็นความถูกต้องที่สหประชาชาติได้กำหนดให้มี WSIS ขึ้นโดยเราทุกคน และองค์กรย่อยในระบบสหประชาชาติ โดยเฉพาะ UNESCO และ ITU มีบทบาทในเรื่องนี้ การประชุมเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตหลากหลายภาษา นับเป็นการเริ่มต้นก้าวแรกที่มั่นคงไปสู่บทบาทที่แข็งขัน ด้วยความพยายามของทุกคนในอนาคต

เท่าที่ได้สังเกต การประชุมในสามวันนี้ขอเรียนว่า เราได้รับผลสำเร็จอย่างมาก ทั้งในความริเริ่ม นวัตกรรมใหม่ ข้อเสนอนำ การใช้สอยและความเป็นไปได้อันหลากหลาย ที่จะมีความก้าวหน้าที่ดี เพื่อบรรลุเป้าหมายในอนาคต ทั้งนี้เพื่อทำลายเครื่องกีดขวางทางภาษา และสร้างสะพานกับสิ่งผูกพัน สร้างให้โลกมีความสามัคคี ลดความเข้าใจผิดต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุด และทดแทนด้วยความรับรู้ร่วมกันถึงความปรารถนาของเราสำหรับสันติสุขและความเจริญมั่งคั่งของโลก ขออนุญาตชมเชยผู้ร่วมการประชุมทุกท่าน สำหรับงานและความเหนื่อยยากของท่าน และในอันที่จะสนับสนุนด้วยกำลังใจที่ขอให้ท่านอุทิศตนอย่างสูงส่งให้กับอนาคตอันสดใส ผมได้เรียนรู้ถึงความยากลำบากและความเห็นที่แตกต่างที่ได้เกิดขึ้นในงานของท่าน แต่เชื่อว่าจิตวิญญาณของความหวังดีของมนุษยชาติจะพิสูจน์ให้เห็นว่าเราสามารถเอาชนะอุปสรรคทั้งหลายได้ ดังที่ได้ประจักษ์มาแล้ว ในการนี้ได้เห็นความร่วมมือที่แข็งแรงและยั่งยืนของ UNESCO และ ITU ที่จะเชื่อมโยงกับองค์กรและบุคคลต่างๆ ที่จะช่วยกันนำอุดมการณ์ และเป้าหมายของ WSIS ให้เกิดมีชีวิต ซึ่งเราทุกคนจะสนับสนุน ในท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่าน (ใช้คำ 7 ภาษา คือ ฝรั่งเศส อังกฤษ เสปน อาหรับ จีน รัสเซีย และไทย เป็น 6 ภาษาทำงานของ ITU และภาษาไทยที่ไม่มีวันลืม) ในทุกสิ่งทุกอย่างที่ได้มอบให้กับการประชุมครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักแปลภาษาทันทีทันใด ซึ่งช่วยเราอยู่ในห้องทำงานรอบบนของห้องประชุม เชื่อว่ากิจกรรมนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นที่แข็งแรง และคงจะมีการประชุมที่ยิ่งใหญ่อีกมากหลายเกี่ยวกับเรื่องนี้และเรื่องเกี่ยวข้องในอนาคต

10. ความปิดท้าย

ผู้เขียนขอเรียนว่าประสบการณ์ที่ได้รับเกียรติจากคำเชิญของสององค์กรอันทรงเกียรติของสหประชาชาติให้ทำหน้าที่ประธานของที่ประชุมในครั้งนี้ แม้จะเป็นการประชุมวิชาการขนาดเล็ก แต่เนื้อหา ความสนใจของวงการ และผลลัพธ์ที่มีน้ำหนัก ทำให้ผู้เขียนรู้สึกภูมิใจในความเป็นคนไทยอย่างมาก และดีใจที่มีโอกาสได้รับใช้ชาติบ้านเมืองในฐานะข้าราชบริพารขององค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ผู้ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณอันมากล้นเหนือเกล้าคนไทยทุกคน แม้ในกิจกรรมเล็กน้อย หลังจากที่ได้พ้นการเป็นพนักงานรัฐวิสาหกิจ และการปฏิบัติหน้าที่อื่นให้กับส่วนงานของรัฐในสภาวะต่างๆ กันมาโดยลำดับ ตั้งแต่กันยายน 2539 ได้ตั้งปณิธานไว้ว่าจะยังขอรับใช้ชาติ และประชาชนไทยต่อไป เท่าที่จะมีสติปัญญา และโอกาสโดยไม่ย่อท้อ ด้วยความสำนึกในบุญคุณของแผ่นดินไทยที่ทรงคุณค่าของพวกเราคนไทย สวัสดีครับ ◎

อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย จากรุ่นสี่ไปเป็นรุ่นที่หก

ศ.ดร. ศรีศักดิ์ จามรมาน[1]

1. บทนำ

อินเทอร์เน็ตถือกำเนิดเกิดขึ้นในอเมริกา เมื่อ พ.ศ. 2512 ในชื่อ “อาร์พาเน็ต (Arpanet)” แล้วเปลี่ยนชื่อเป็น “อินเทอร์เน็ต (Internet)” เมื่อ พ.ศ. 2517 ในประมาณ 20 ปีแรกของอาร์พาเน็ตและอินเทอร์เน็ตนั้นอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะในการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น ต่อมาถึง พ.ศ. 2534 จึงอนุญาตให้ใช้ในธุรกิจได้ ถ้านับถึง พ.ศ. 2549 ก็มีการใช้อินเทอร์เน็ตในธุรกิจมาเพียง 15 ปี แต่อินเทอร์เน็ตได้กลายเป็นระบบประสาทกลางของธุรกิจ และของทุกหน่วยงาน หน่วยงานใดไม่ใช้อินเทอร์เน็ต หน่วยงานนั้นก็ไม่สามารถแข่งขันกับหน่วยงานอื่นได้

มีการตั้งองค์กรส่งเสริมอินเทอร์เน็ตชื่อ สมาคมอินเทอร์เน็ตระดับนานาชาติ หรือ “ไอซอค (ISOC

[1] นายกสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติสาขาประเทศไทย นายกสมาคมอินเทอร์เน็ต นายกสมาคมคอมพิวเตอร์นานาชาติ เอซีเอ็มสาขาประเทศไทย นายกสมาคมคอมพิวเตอร์แห่งสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สาขาประเทศไทย และนายกสมาคมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

= Internet Society)" มีการตั้งสมาคมอินเทอร์เน็ตสาขาประเทศไทย ซึ่งผู้เขียนเป็นนายกก่อตั้ง

ทั่วโลกมีการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตในทุกวงการและทุกด้าน เรียงตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษได้ตั้งแต่ตัวแรกจนถึงตัวสุดท้าย โดยในตัวอักษรทุกตัวมีการประยุกต์หลายด้าน ดังตัวอย่างในหนังสือชื่อ "อินเทอร์เน็ตกับการประยุกต์ทุกด้านที่ท่านควรทราบ (108 อีนี่อีนั่นจากอีออคชั่นถึงอีซู)" [33] ซึ่งผู้เขียนบทความนี้เป็นผู้เขียนหนังสือดังกล่าว

เช่นเดียวกับที่ทุกบ้านควรที่จะต้องมีบ้านเลขที่เพื่อให้บุรุษไปรษณีย์ส่งจดหมายได้ถูกต้อง ในอินเทอร์เน็ต เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง และอุปกรณ์เชื่อมต่อทุกเครื่องก็จะต้องมีเลขที่ให้ส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกต้อง เลขที่ดังกล่าวนี้เรียกว่า "เลขที่โปรโตคอลอินเทอร์เน็ต หรือ ไอพีแอดเดรส (IP Address)" โดยมีการประกาศใช้ไอพีแอดเดรสครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2524 เรียกว่า "ไอพีรุ่นที่ 4 (IPv4)" โดยมีจำนวนไอพีทั้งสิ้นประมาณ 4,000 ล้านแอดเดรส ซึ่งถึง พ.ศ. 2543 ได้จัดสรรไปประมาณครึ่งหนึ่ง และคาดกันว่าจะจัดสรรหมดภายใน พ.ศ. 2551 หรือ ไม่นานหลังจากนั้นก็จะไม่มีไอพีแอดเดรสให้ใช้กันต่อไปแล้ว ความจริงในปี พ.ศ. 2549 นี้ ถ้าจัดสรรไอพีแอดเดรสให้ประชาชนในโลกเพียงคนละ 1 แอดเดรส ก็ไม่มีไอพีแอดเดรสในไอพีรุ่นที่ 4 เพียงพอ เพราะมีประชาชนในโลกกว่า 6 พันล้านคน แต่มีไอพีแอดเดรสรุ่นที่ 4 เพียงประมาณ 4 พันล้านแอดเดรส ฉะนั้น จึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงให้เป็นไอพีรุ่นที่ 6 (IPv6) ซึ่งจะมีได้ถึง 3.4 x 1038 แอดเดรส ซึ่งถ้าจัดสรรให้ประชาชนทุกคนในโลกคนละ 10 ล้านแอดเดรสก็ใช้ไม่ถึง 70,000 ล้านแอดเดรส ยังมีเหลือในไอพีรุ่นที่ 6 อีกมากมาย

ในบทความนี้ จะได้กล่าวถึงประวัติวิวัฒนาการอินเทอร์เน็ตทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่สี่ อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่หก อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่หกในญี่ปุ่น เกาหลีใต้ อินเดีย ไต้หวัน และจีน และตัวอย่างโครงการอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่หกในยุโรปด้านเครือข่ายบ้าน ด้านเครือข่ายการขนส่งเคลื่อนที่ และด้านกรณีฉุกเฉิน

2. ประวัติวิวัฒนาการอินเทอร์เน็ตโดยสังเขป

อินเทอร์เน็ต คือ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดและมีผู้ใช้มากที่สุดในโลก อินเทอร์เน็ตเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดของเทคโนโลยีสารสนเทศหรือ "ไอที (IT = Information Technology) โดยมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกันทั่วโลกเป็นร้อยล้านเครื่อง ส่วนที่สองเป็นสารสนเทศ หรือข้อมูลสารสนเทศ หรือข้อมูลที่เก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหลายในเครือข่าย จากคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่ง ก็สามารถเปิดดูข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นได้ทั้งเครือข่าย นั่นคือ อินเทอร์เน็ตช่วยย่อโลกทั้งใบให้มาอยู่ในฝ่ามือของเรา หรืออินเทอร์เน็ตทำให้เราสามารถเรียกหาข้อมูลได้ด้วยปลายนิ้ว (Information on Your Finger Tip)"

2.1 ยุคก่อนกำเนิดอินเทอร์เน็ต

อาจจะพอกล่าวได้ว่าแรงบันดาลใจให้สหรัฐอเมริกานั้นคิดพัฒนาระบบที่ต่อมากลายเป็นอินเทอร์เน็ตนั้น เริ่มมาจากการที่สหภาพโซเวียตส่งดาวเทียม "สปุตนิก (Spudnik)" ทำให้ประธานาธิบดี ดไวท์ ดี ไอเซนฮาว ของสหรัฐอเมริกาต้องประกาศโครงการ "ดาร์ปา (DARPA = Defense Advanced Research Projects Agency)" หรือองค์กรวิจัยชั้นสูงทางการทหาร เพื่อแข่งขันกับโซเวียต โดยโครงการดาร์ปามีกระทรวงกลาโหมเป็นผู้รับผิดชอบ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2504 ประธานาธิบดี จอห์น เอฟ เคเนดี ได้ประกาศโครงการ "อพอลโล (Apollo)"

ให้ตามทันและล้ำหน้าโซเวียตให้ได้ในสมัยของท่าน ลีโอนาร์ด คลายน์ร็อค (Leonard Kleinrock) เป็นผู้พิมพ์บทความแพคเก็ต สวิตชิ่ง (Packet Swithching) ขึ้นเป็นครั้งแรกในโลก และเสนอการส่งข้อมูลโดยแบ่งข้อมูลเป็นข้อมูลชิ้นเล็กๆ เรียกว่า “แพคเก็ต” แล้วส่งแต่ละชิ้นไปตามเส้นทางที่สะดวกหลายๆ ทาง เมื่อถึงปลายทางก็รวมเข้าเป็นข้อมูลชิ้นเดิม

ในปี พ.ศ. 2505 เจ ซี อาร์ ลิคไลเดอร์ และดับบลิว คลาค (J.C.R. Licklider และ W. Clark) พิมพ์บทความเสนอหลักการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นต้นแบบของอินเทอร์เน็ต

ในปี พ.ศ. 2507 ลีโอนาร์ด คลายน์ร็อค พิมพ์หนังสือเสนอทฤษฎีและการออกแบบเครือข่ายแพคเก็ต ซึ่งถือเป็นรากฐานของระบบอินเทอร์เน็ต พอล บาแรน (Paul Baran) พิมพ์บทความเรื่องการใช้แพคเก็ตอย่างปลอดภัย ทำให้เข้าใจผิดกันว่าทหารกำลังสร้างระบบอินเทอร์เน็ตที่ปลอดภัยจากสงครามนิวเคลียร์ และไอแวน ซัตเธอร์แลนด์ (Ivan Sutherland) ในฐานะผู้อำนวยการอาร์ปาได้ให้ทุนวิจัยเครือข่ายแก่เอ็มไอที

พ.ศ. 2508 เกิดการทดลองเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เป็นเครือข่ายเป็นครั้งแรกในโลกที่เอ็มไอทีโดยนำเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องมาเชื่อมโยงกันและสื่อสารโดยใช้ระบบแพคเก็ต พ.ศ. 2510 ลารี่ โรเบิร์ต (Larry Roberts) ซึ่งได้รับขนานนามว่าเป็นบิดาของอาร์ปาเน็ต จัดประชุมเรื่อง “การออกแบบ อาร์ปาเน็ต” และจัดพิมพ์เอกสาร “การออกแบบเครือข่าย อาร์ปาเน็ต” เป็นครั้งแรก

2.2 กำเนิดอินเทอร์เน็ต

ในปี พ.ศ. 2512 อินเทอร์เน็ตถือกำเนิดขึ้นในชื่อของอาร์ปาเน็ต(ส่วนชื่ออินเทอร์เน็ตนั้นเกิดขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2517) โดยการติดตั้งคอมพิวเตอร์เครื่องแรกที่ยูซีแอลเอ(มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียที่ลอสแองเจลิส) แล้วเชื่อมโยงอีก 3 เครื่อง รวมเป็นเครือข่าย 4 เครื่อง ที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียแห่งลอสแองเจลิส มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียแห่งซานตาบาร์บารา และมหาวิทยาลัยยูทาห์

ในปี พ.ศ. 2512 นั้นได้เกิดข้อตกลงกำกับอินเทอร์เน็ตหรืออาร์เอฟซี (RFC = Request for Comment) เรื่องแรกคือ เรื่องซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในแม่ข่าย (Host Software) เอ็นเอสเอฟได้มอบหมายให้ ยูเอสซี โดย ดร.จอน พอสเทล (Jon Postel) ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นผู้ดูแลระบบเชื่อมโยงชื่ออาณาเขต

รูปที่ 1 ดร.จอน พอสเทล กับ ศ.ศรีศักดิ์

รูปที่ 2 ดร.วินท์ เซิร์ฟ กับ ศ.ศรีศักดิ์

2.3 ยี่สิบปีแรกของอินเทอร์เน็ต

ในปี พ.ศ. 2514 อาร์ปาเน็ตขยายเป็น 14 จุด และต่อมาขยายเป็น 19 จุด ในปี พ.ศ. 2515 เรย์ ทอมลินสัน (Ray Tomlinson) เสนอระบบอีเมล์ (E-mail) จอน พอสเทล ประกาศ “อาร์เอฟซี 354” เรื่องการส่งแฟ้มข้อมูล หรือ เอฟทีพี (FTP) และ โรเบิร์ต คาห์น (Robert Kahn) จัดสาธิตระบบอาร์ปาเน็ตให้กับสาธารณชนเป็นครั้งแรก

ในปี พ.ศ. 2516 เริ่มมีสถาบันต่างๆ ถึง 30 แห่ง เชื่อมต่อกับเครือข่ายอาร์ปาเน็ต (ARPANET) ตัวอย่างสถาบันในภาคอุตสาหกรรม เช่น บีบีเอ็น (BBN), ซีร็อก (Xerox), พาร์ค (PARC), มิทรี (MITRE) ตัวอย่างหน่วยงานของรัฐ เช่น องค์การนาซ่า สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ เป็นต้น ในปีนี้ วินท์ เซิร์ฟ (Vint Cerf) และบ๊อบ คาห์น (Bob Kahn) ได้เสนอโปรโตคอลการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งต่อมาเป็นมาตรฐานอินเทอร์เน็ต ต่อมามีการกล่าวขานกันว่า วินท์ เซิร์ฟ เป็นบิดาอินเทอร์เน็ต (ดูรูป วินท์ เซิร์ฟ ในรูปที่ 2)

ในปี พ.ศ. 2517 วินท์ เซิร์ฟ และ บ๊อบ คาห์น ได้บัญญัติศัพท์คำว่า “อินเทอร์เน็ต” ขึ้นใช้เป็นครั้งแรกถ้านับถึง พ.ศ. 2549 คำว่า “อินเทอร์เน็ต” ก็มีใช้เพียง 32 ปีเท่านั้น ในปี พ.ศ. 2520 เซิร์ฟ และคาห์น จัดสาธิตอินเทอร์เน็ตนานาชาติครั้งแรก เชื่อมต่อแคลิฟอร์เนียกับลอนดอน ลอนดอนกับเวอร์จิเนีย เวอร์จิเนียกับแคลิฟอร์เนีย ในปี พ.ศ. 2522 เดฟ ครอกเกอร์ (Dave Crocker) กับ จอห์น วิททาล (John Vittal) ประกาศ “อาร์เอฟซี 733” เรื่องข้อกำหนดอีเมล์ต่อมาในปี พ.ศ. 2523 อาร์ปาเน็ตขยายเป็น 70 จุดแล้วในปี พ.ศ. 2524 ก็มีการก่อตั้งคณะกรรมการสถาปัตยกรรมอินเทอร์เน็ต หรือ ไอเอบี (IAB = Internet Architecture Board) ขึ้น

ในปี พ.ศ. 2526 ได้มีการแยกเครือข่ายทหารใช้ชื่อว่า มิลเน็ต (Milnet) จากอาร์ปาเน็ต ทำให้อาร์ปาเน็ตเหลือ 68 จุด และมิลเน็ตมี 45 จุด ในปีนี้ จอน พอสเทลและคณะ ประกาศระบบชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต หรือ ดีเอ็นเอส (DNS = Domain Name System) และประกาศให้ใช้ ดอทอีดียู (.edu) ดอทกอฟ (.gov) ดอทคอม (.com) ดอทมิล (.mil) ดอทอ๊อก (.org) ดอทเน็ต (.net) โดยมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นหน่วยงานแห่งแรกในเมืองไทยที่ใช้ดอทอีดียู โดย ศ.ศรีศักดิ์ เป็นผู้ขอจดทะเบียนเอยูดอทอีดียู (au.edu)

ในปี พ.ศ. 2529 ได้มีการก่อตั้งคณะทำงานด้านวิศวกรรมอินเทอร์เน็ต หรือ ไออีทีเอฟ (IETF = Internet Engineering Task Force) ขึ้น และเอ็นเอสเอฟได้จัดตั้งแม่ข่ายใหญ่เชื่อมโยงซูเปอร์คอมพิวเตอร์ 5 เครื่องเข้ากับคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยความเร็ว 56,000 บิตต่อวินาที

ในปี พ.ศ. 2532 เอ็นเอสเอฟเปิดให้ธุรกิจใช้อีเมล์ แล้วในปี พ.ศ. 2534 เอ็นเอสเอฟเปิดให้มีการใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อการค้า ถ้านับถึง พ.ศ. 2549 ก็มีการใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อการค้าเพียง 15 ปี แต่อินเทอร์เน็ตมีผลกระทบต่อธุรกิจอย่างมากมาย ขณะที่กล่าวกันว่า “ถ้าท่านไม่วางแผนที่จะใช้อินเทอร์เน็ตในธุรกิจของท่าน ท่านก็กำลังวางแผนที่จะเลิกทำธุรกิจ (If you are not planning to use the Internet in your business, you are planning to be out of business.)” หรืออาจจะกล่าวว่า “อินเทอร์เน็ตเป็นระบบประสาทกลางของทุกองค์กร องค์กรใดไม่มีระบบประสาทกลาง องค์กรนั้นก็ไม่สามารถแข่งขันกับใครได้ (The Internet is the central nervous system of all organizations. Any organizations without the central nervous system cannot compete with any other organizations.)”

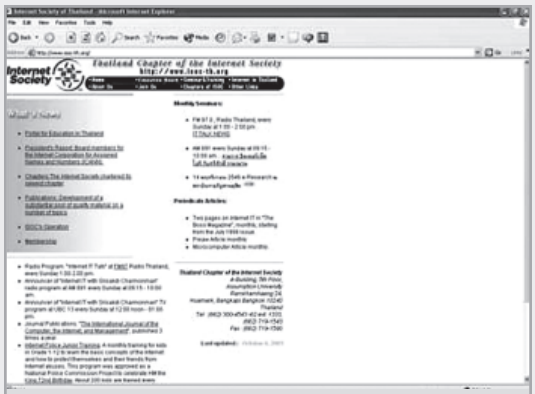
2.4 สมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ

หลังจากที่มีระบบอินเทอร์เน็ตเกิดขึ้นแล้ว มีหน่วยงานหลักที่ช่วยดูแลรับผิดชอบกิจการอินเทอร์เน็ต คือ สมาคมอินเทอร์เน็ต เรียกย่อว่า

“ไอซอค (ISOC = Internet SOCiety)” ปัจจุบันมีสมาชิกเป็นองค์กรกว่า 100 องค์กร และมีสมาชิกประเภทบุคคลกว่า 20,000 รายในกว่า 180 ประเทศ

ผู้เขียนเข้าอินเทอร์เน็ตวันละ 3 เวลา ก่อนหรือหลังอาหารได้เห็นประกาศว่า มีการตั้งสมาคมอินเทอร์เน็ต “ไอซอค” ที่อเมริกา โดยมี วินท์ เซิร์ฟ เป็นนายกก่อตั้ง ผู้เขียนก็อีเมล์ไปขอให้มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นสมาชิกก่อตั้ง แล้วไปกราบเรียนของบประมาณจาก ภราดา ดร.มาร์ติน ซึ่งท่านก็กรุณาตกลงให้มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นสมาชิกก่อตั้งของสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ โดยที่ในเอเชียอาคเนย์ ไม่ว่าจะเป็น สิงคโปร์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ก็ตาม ไม่มีประเทศใดเป็นสมาชิกก่อตั้งของสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติเลย มีเฉพาะประเทศไทยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นสมาชิกก่อตั้งสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ



รูปที่ 4 สมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ สาขาประเทศไทย

รูปที่ 5 คณะกรรมการบริหาร สมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติสาขาประเทศไทย

เมื่อ พ.ศ. 2539 สมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติได้อนุมัติการจัดตั้งสมาคมอินเทอร์เน็ตแห่งชาติสาขาประเทศไทย โดยมีผู้เขียนเป็นนายกก่อตั้ง มีข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4 และกรรมการบริหารดังแสดงในรูปที่ 5

เมื่อ พ.ศ. 2540 ในฐานะนายกสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติสาขาประเทศไทย ผู้เขียนคาดว่าเมื่ออินเทอร์เน็ตเจริญเติบโตมากขึ้นและผู้ใช้มากขึ้น ก็จะมีบางคนออกนอกลู่นอกทาง มีปัญหาขึ้น จึงสมควรจะมีกฎหมายด้านอินเทอร์เน็ต

ผู้เขียนเสนอคณะกรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ สาขาประเทศไทย และคณะกรรมการให้ความเห็นชอบ แต่งตั้งคณะกรรมการยกร่างกฎหมายส่งเสริมอินเทอร์เน็ต โดยมี ภราดา ดร.ประทีป มาร์ติน โกมลมาศ และผู้เขียนเป็นที่ปรึกษา มีคุณเหรียญชัย เรียววิไลสุข ขณะนั้นเป็นรองอธิบดีกรมไปรษณีย์โทรเลข และต่อมาเป็นอธิบดีเป็นประธาน มีการประชุมยกร่างกฎหมายและประกาศจัดประชาพิจารณ์ ปรากฏว่านักข่าวหนังสือพิมพ์บางกอกโพสต์ไม่เห็นด้วยกับการมีกฎหมายอินเทอร์เน็ต อ้างว่าอินเทอร์เน็ตเป็นเสรีต้องเปิดเสรี และไม่มีกฎหมาย สำนักข่าวรอยเตอร์ สำนักข่าวซีเอ็นเอ็นมาสัมภาษณ์ผู้เขียน ออกข่าวไปทั่วโลกว่า ศ.ดร.ศรีศักดิ์ จามรมาน คนไทยคนแรกที่จบปริญญาเอกด้านคอมพิวเตอร์ ตอนนี้มาเป็นนายกสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ สาขาประเทศไทย สนับสนุนการร่างกฎหมายอินเทอร์เน็ตทางสมาคมแม่ไม่เห็นด้วยและมีมติให้สาขาประเทศไทยหยุดดำเนินกิจการ ผู้เขียนในฐานะนายกสมาคมคอมพิวเตอร์นานาชาติเอซีเอ็ม สาขาประเทศไทย (ACM = Association for Computing Machinery) ผู้เขียนก็เลยเสนอไปยังสำนักงานใหญ่ในอเมริกาเอซีเอ็ม เพื่อขอและได้รับอนุมัติให้สาขาประเทศไทยของเอซีเอ็มสนับสนุนสถานที่ประชุมและเลขานุการดำเนินการยกร่างกฎหมายอินเทอร์เน็ตต่อไป

ผู้เขียนไม่เคยคิดจะเป็นกรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติมาก่อน คิดว่าเป็นนายกสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ สาขาประเทศไทยก็พอแล้ว ต่อมาเกิดปัญหาว่า กรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติไม่เห็นด้วยกับการยกร่างกฎหมายอินเทอร์เน็ตของสาขาประเทศไทย ผู้เขียนก็เลยจำเป็นต้องทำแบบฝรั่งที่ว่า “สู้จากข้างนอก ไม่ได้ก็ไปสู้ข้างใน (If you cannot fight from outside, join them and fight from inside.)” คณะกรรมการสรรหาผู้สมัครเป็นกรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยกรรมการที่ดำรงตำแหน่งอยู่ขณะนั้น คือ พวกที่คัดค้าน ผู้เขียนก็แน่นอนที่ท่านจะไม่เสนอชื่อผู้เขียน แต่ผู้เขียนอ่านกฎระเบียบแล้วพบว่า สมาชิกจำนวน 20 คน สามารถส่งชื่อใครเข้าแข่งขันก็ได้ ผู้เขียนจึงหาสมาชิก 20 ท่าน ช่วยลงนามเสนอชื่อผู้เขียนเป็นผู้สมัคร

รูปที่ 6 สัมมนาประชาพิจารณ์
“ร่างพระราชบัญญัติส่งเสริมกิจการอินเทอร์เน็ต”

รูปที่ 7 ผู้เขียนเป็นกรรมการบริหารไอซอค
พ.ศ. 2537

รูปที่ 8 กับ เอเอ็ม รุธคาวสคี นายกไอซอค

รูปที่ 9 กับ ดอน ฮีท นายกไอซอค พ.ศ. 2542

รูปที่ 10 การประชุมอินเทอร์เน็ต พ.ศ. 2543

ผลการเลือกตั้งปรากฏว่าผู้เขียนชนะ ได้เป็น 1 ใน 15 กรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ ระหว่าง พ.ศ. 2542-2545 ดังแสดงในรูปที่ 7 ในวันไปรับตำแหน่งที่อเมริกา มีสมาชิกหลายท่านเดินมาหาและบางท่านก็กล่าวว่า “ยินดีด้วยผมเลือกคุณนะ (Congratulation, I voted for you)” ผู้เขียนก็ขอบคุณท่านไป และเรียนท่านว่ามีอะไรจะให้ช่วยติดต่อมาได้เลย ผู้เขียนเป็นผู้แทนของท่านและจะทำหน้าที่ให้ดีที่สุด ช่วงที่เป็น 1 ใน 15 กรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตอยู่นั้นก็เลยต้องไปประชุมกรรมการบริหารทุกครั้ง ปีละ 3 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 8 เป็นการประชุมกับนายกไอซอค พ.ศ. 2537 คือ เอ เอ็ม รุธคาวสคี (A.M. Ruthkowski) และในรูปที่ 9 กับนายกไอซอค พ.ศ. 2542 ชื่อ ดอน ฮีธ (Don Heath) ส่วนรูปที่ 10 เป็นการไปประชุมไอซอค พ.ศ. 2543 ต้องกราบขอบพระคุณ ภราดา ดร.ประทีป มาร์ติน โกมลมาศ ที่กรุณาอนุมัติให้ใช้งบมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญครั้งละประมาณ 1 แสนบาท รวมปีละประมาณ 3 แสนบาท ไปประชุม และแสดงชื่ออัสสัมชัญให้โลกรู้จักว่า เราก็เป็นหนึ่งในผู้นำอินเทอร์เน็ตเหมือนกัน

2.5 การจดทะเบียนอินเทอร์เน็ต

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันอยู่ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะต้องมีเลขที่อินเทอร์เน็ต (IP address) ที่แตกต่างจากกัน แต่เลขที่นี้จดจำยากและเรียกยากจึงอาจใช้ชื่ออาณาเขต โดเมนเนม (Domain Name) แทนได้

	เลขที่	ชื่อสถานที่
นอกอินเทอร์เน็ต	682	มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
ในอินเทอร์เน็ต	202.6.100.1	au.edu

2.5.1 การแบ่งอาณาเขตระดับสูง

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ตามการใช้งาน เช่น ดอทคอม (.com = company) ดอทเน็ต (.net = network) ดอทอีดียู (.edu = education) ดอทบิซ (.biz = business) ดอทโคอ็อพ (.coop = cooperatative) ดอทอ็อก (.org = organization) ดอทกอฟ (.gov = government) ดอทมิล (.mil = military)

2. ตามชื่อประเทศ เช่น ดอททีเอช (.th = thailand) แทนประเทศไทย ดอทเจพี (.jp = Japan) แทนประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น

2.5.2 ชื่อไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

ในการติดต่อระหว่างบุคคลต้องมีชื่อไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ "อีเมล์ (e-Mail address)" ซึ่งประกอบด้วย ชื่อบุคคล ซึ่งจะเป็นชื่อจริงหรือชื่อที่ตั้งขึ้นมาใหม่ก็ได้ ตามด้วยเครื่องหมาย "@" ตามด้วยชื่อคอมพิวเตอร์ เช่น srisakdi@au.edu หมายถึง ศรีศักดิ์ที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ charm@ksc.au.edu หมายถึง ผู้ใช้นามว่า "charm" ที่เครื่องคอมพิวเตอร์เคเอสซีที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

2.5.3 การจดทะเบียนเลขที่อินเทอร์เน็ต

การจดทะเบียนอินเทอร์เน็ตมี 2 แบบ คือ การจดทะเบียนเลขที่อินเทอร์เน็ต หรือ "ไอพีแอดเดรส (IP Address)" ในหัวข้อ 2.5.3 นี้ และการจดทะเบียนชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต หรือ "โดเมนเนม (Domain name)"

การจดทะเบียนเลขที่อินเทอร์เน็ตแบ่งเป็น 4 เขตใหญ่ๆ ในโลก คือ อเมริกา ยุโรป เอเชีย และอัฟริกา

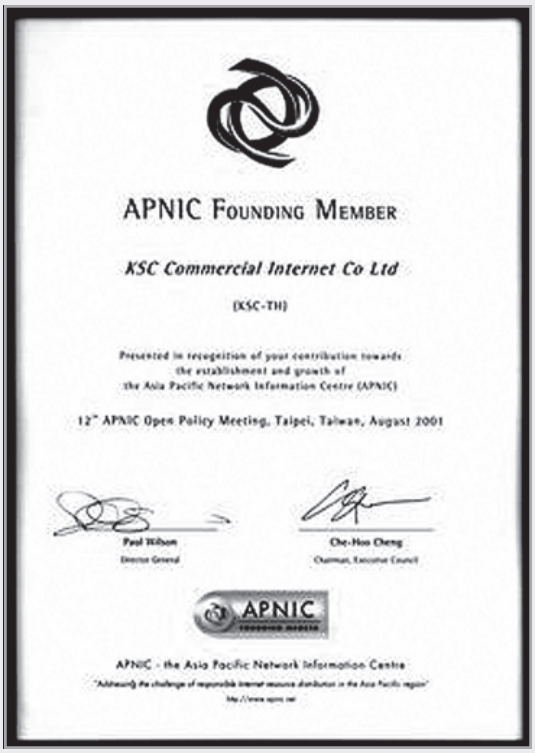
- "เอริน (ARIN = American Registry for Internet Number)" สำหรับอเมริกา
- "ไรฟ์ เอ็นซีซี (RIPE NCC = The RIPE Network Coordination Centre)" สำหรับยุโรป
- "แอพนิค (APNIC = Asia Pacific Network Information Centre)" สำหรับเอเชียแปซิฟิก
- "อัฟรินิก (AfriNIC = African Network Information Centre)" สำหรับอัฟริกา

ผู้เขียนได้รับเลือกตั้งเป็น 1 ใน 5 กรรมการบริหารแอพนิค โดยอาจเรียกองค์กรจดทะเบียนเลขที่อินเทอร์เน็ตเป็นภาษาอังกฤษว่า "อาร์ไออาร์ (RIR = Regional Internet Registry)" ซึ่งก่อตั้งเมื่อ พ.ศ. 2536

ตอนเริ่มตั้งแอพนิคมีคณะกรรมการบริหาร 5 ตำแหน่ง มีการเลือกตั้งที่ฮ่องกง ผู้เขียนไม่ได้คิดจะเป็นกรรมการบริหาร เพราะทราบว่าสิงคโปร์ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ฮ่องกง เขาวิ่งเต้นกันไว้แล้ว ในการประชุมคณะกรรมการสรรหาเขาก็เสนอชื่อที่เขาสรรหากันมาแล้ว และถามว่ามีใครสนใจจะเสนอใครจากที่ประชุมก็ได้ พอดีมีผู้เสนอชื่อผู้เขียนแล้ว ในการลงคะแนนรอบแรกผู้เขียนเผอิญได้คะแนนสูง คณะกรรมการสรรหาดูท่าทางจะตกใจ และขอเวลานอก

ระหว่างพักการประชุมขอเวลานอกนั้น เผอิญผู้เขียนจะกลับเมืองไทยคืนนั้น จึงได้ซื้อขนมของขบเคี้ยวต่างๆ ไว้ จะรับประทานคนเดียวก็น่าเกลียด ก็เลยเดินแจกผู้เข้าร่วมประชุมประมาณ 100 ท่าน ตอนนั้นไม่ได้คิดจะหาเสียงเลย พอเปิดประชุมใหม่ ลงคะแนนอีก ผู้เขียนก็เลยได้รับเลือกตั้งเป็นกรรมการและเป็นอยู่ 2 สมัย สมัยแรก พ.ศ. 2540 มี เจฟ ฮุสตัน จุน มูไร ทอมมี่ เช่น ศรีศักดิ์ จามรมาน และ ชิง ลี สมัยที่สอง พ.ศ. 2541 มี โทรุ ตากาฮาชิ ศรีศักดิ์ จามรมาน ซีโอ เชิง ชิง ลี และเจฟ ฮุลตัน โดยผู้เขียนเป็นเหรัญญิก

การเป็นกรรมการแอพนิคของผู้เขียนนั้นเป็นในนามของผู้ก่อตั้งและประธานบริษัทเคเอสซี ดังแสดงในรูปที่ 10 หลังจากมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญอนุมัติตามข้อเสนอของผู้เขียนให้บังคับนักศึกษาทุกคนใช้อินเทอร์เน็ตให้มีความรู้ความสามารถเหมาะสมกับยุคเทคโนโลยีสารสนเทศ ก็มีนักศึกษา



APNIC FOUNDING MEMBER

KSC Commercial Internet Co Ltd

(KSC-TH)

Presented in recognition of your contribution towards the establishment and growth of the Asia Pacific Network Information Centre (APNIC)

12th APNIC Open Policy Meeting, Taipei, Taiwan, August 2001

Paul Wilson
Director General

Che-Hoo Cheng
Chairman, Executive Council

APNIC

APNIC - the Asia Pacific Network Information Centre

"Addressing the challenge of responsible Internet resource distribution in the Asia Pacific region"

http://www.apnic.net

รูปที่ 11 เคเอสซีเป็นสมาชิกก่อตั้ง และ ศ.ศรีศักดิ์ เป็นกรรมการแอพนิก

รูปที่ 12 เซ็นสัญญากับ ดร. อดิศัย โพธารามิก

และผู้ปกครองแสดงความสนใจจะใช้อินเทอร์เน็ตในทางธุรกิจ ในยุคแรกของอินเทอร์เน็ต ในอเมริกา ประมาณ พ.ศ. 2512-2531 รัฐบาลอเมริกาอนุญาตให้ใช้อินเทอร์เน็ตเฉพาะในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ในยุคแรกของอินเทอร์เน็ตเมืองไทย ประมาณ พ.ศ. 2530-2537 รัฐบาลก็อนุญาตให้ใช้อินเทอร์เน็ตเฉพาะในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น

ผู้เขียนได้ไปกราบเรียนปรึกษา ภราดา ดร.ประทีป มาร์ติน โกมลมาศ อธิการบดีมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญว่า อยากจะเปิดบริการอินเทอร์เน็ตให้ใช้ในการพัฒนาธุรกิจ โดยจะขอให้มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญช่วยเป็นศูนย์เพาะชำ (Incubator) ให้เหมือนมหาวิทยาลัยในอเมริกาที่อนุญาตให้ผู้เริ่มต้นธุรกิจไปเช่าอาคารสถานที่ และจัดอาจารย์และนักศึกษาของมหาวิทยาลัยช่วยงาน เหมือนกับต้นไม้ที่เพาะชำได้ที่แล้วก็ย้ายออกจากมหาวิทยาลัยไปอยู่ที่อื่น เมื่อบริษัทเพาะชำเจริญเติบโตพอประมาณก็ย้ายออกจากมหาวิทยาลัยไปอยู่ที่อื่น บราเดอร์มาร์ตินน่ารักมาก กรุณาอนุญาตให้มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นผู้เพาะชำให้บริษัทที่ผู้เขียนจะเปิดขึ้น

ผู้เขียนเริ่มศึกษาหาวิธีเปิดบริษัทให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ พบว่า การสื่อสารแห่งประเทศไทย (กสท.) มีอำนาจตามกฎหมายไทยที่จะอนุญาต หรือไม่อนุญาตให้ใครเปิดบริษัทอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ โดยวิธีให้บริษัทใหม่ ยกหุ้นให้ กสท. แล้วแบ่งกำไรให้ กสท. ตามสัดส่วนของหุ้นที่ กสท. ถืออยู่นั้น สรุปแล้วต้องตั้งสองบริษัทคือบริษัทที่จะไปร่วมทุนกับกสท.และบริษัทร่วมทุน

สำหรับบริษัทที่จะไปร่วมทุนกับ กสท. นั้น ผู้เขียนใช้ชื่อหน่วยงานด้านอินเทอร์เน็ตที่ผู้เขียนตั้งไว้ที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ คือ “ศูนย์บริการวิทยาการอินเทอร์เน็ต หรือเคเอสซี (Internet KSC = Internet Knowledge Service Center)” เพราะสมัยนั้นและสมัยนี้ “สังคมแห่งความรอบรู้ (Knowledge-Based Society)” เป็นเรื่องสำคัญ

กระทรวงพาณิชย์รับจดทะเบียนบริษัท “ศูนย์บริการวิทยาการอินเทอร์เน็ต (Internet KSC)” เมื่อ 7 มิถุนายน 2537 โดยระบุวัตถุประสงค์ที่จะให้บริการโทรคมนาคม รวมทั้งอินเทอร์เน็ต ฉะนั้น อาจจะกล่าวได้ว่า บริษัทศูนย์บริการวิทยาการอินเทอร์เน็ต เป็นบริษัทแรกที่จดทะเบียนให้บริการอินเทอร์เน็ตโดยถูกต้องตามกฎหมาย ชื่อบริษัทตอนนั้นผู้เขียนใช้ “ต” ในคำว่า “อินเทอร์เน็ต” คล้ายกับ “ไทยอินเตอร์” ไม่ใช่ “ไทยอินเทอร์”

ส่วนบริษัทร่วมทุนกับ กสท. ใช้ชื่อว่า “บริษัท เคเอสซี คอมเมอร์เชียล อินเทอร์เน็ต” จดทะเบียนถูกต้องตามกฎหมายไทย กับกระทรวงพาณิชย์เมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2537 เป็นบริษัทร่วมทุนด้านอินเทอร์เน็ตกับ กสท.

ส่วนบริษัทอินเทอร์เน็ตประเทศไทยจดทะเบียนไม่ได้ตอนนั้นเพราะผู้ถือหุ้นเป็นรัฐบาลถึงต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี ซึ่งคณะรัฐมนตรีตอนนั้นไม่ให้ความเห็นชอบ กว่าอินเทอร์เน็ตประเทศไทยจะจดทะเบียนได้ก็หลังเคเอสซีเป็นปี สรุปแล้วเคเอสซีเป็นบริษัทให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ ที่จดทะเบียนกับกระทรวงพาณิชย์ถูกต้องเป็นบริษัทแรกในประเทศไทย เมื่อ พ.ศ. 2537

เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2537 ผู้เขียนยื่นข้อเสนอถึง กสท. ขอเชิญร่วมทุน กับ “อินเทอร์เน็ต เคเอสซี” เพื่อตั้ง “เคเอสซี คอมเน็ต” ต่อมาเมื่อ 1 กันยายน 2537 ฯพณฯ สุเทพ อัตถากร รัฐมนตรีว่าการทบวงมหาวิทยาลัยแต่งตั้งผู้เขียนเป็นที่ปรึกษาด้านอินเทอร์เน็ต

ผู้เขียนต้องไปติดต่อเจ้าหน้าที่ หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการกอง ผู้อำนวยการหน่วยงาน กรรมการต่างๆ ที่ปรึกษารัฐมนตรี รัฐมนตรี รวมแล้วเป็นร้อยท่าน กว่าจะได้รับอนุมัติให้จัดบริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ ความจริง กสท. บอกปัดข้อเสนอของผู้เขียนหลายครั้ง เพราะต้องการให้อินเทอร์เน็ตประเทศไทยเป็นผู้ให้บริการรายเดียว นักข่าวแซวผู้เขียนว่า “อาจารย์ยอมแพ้เถิด เขาไม่ให้อาจารย์ทำหรอก” แต่ผู้เขียนก็วิ่งเต้นสุดฤทธิ์ บางวันมีคนโทรศัพท์ไปบอกผู้เขียนว่า รัฐมนตรีจะกลับจากต่างประเทศ ถึงดอนเมืองตอน 6 โมงเช้า ผู้เขียนก็ต้องรีบตื่นแต่เช้ามืดไปรอรับรัฐมนตรีตอน 6 โมงเช้าที่ดอนเมือง บางทีไปขอพบผู้อำนวยการตั้งแต่เช้า ท่านไม่ว่างให้พบเพราะติดประชุม ผู้เขียนก็รออยู่จนท่านเลิกประชุมตอนเที่ยง ท่านก็ไม่ให้พบ ผู้เขียนก็รอตอนบ่าย ท่านก็จะรีบไปประชุมอีก ผู้เขียนก็รอจนเย็นท่านจึงใจอ่อนให้พบ

เมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2537 ผู้เขียนอยู่ที่กรุงฮานอย ในฐานะที่ปรึกษาของเวียดนามให้คำปรึกษาเรื่องการจัดบริการอินเทอร์เน็ต วันนั้นมีการประชุมคณะกรรมการ กสท. ผู้เขียนโทรศัพท์จากฮานอย ถามก็ได้ความว่า บอร์ด กสท. อนุมัติให้ กสท. ร่วมทุนกับอินเทอร์เน็ต เคเอสซี ตั้งเคเอสซีคอมเน็ตให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ได้

หลังจากนั้นก็ยังต้องวิ่งเต้นเจรจาต่อรองสัญญา วิ่งเต้นขอมีเกตเวย์ เชื่อมต่อต่างประเทศ และวิ่งเต้นต่างๆ อีกมากมายกว่าจะได้เป็นบริษัทให้บริการอินเทอร์เน็ตที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยในแง่ของรายได้และจำนวนลูกค้าอยู่ระยะหนึ่ง

บิล เกตส์ กล่าวว่า “กำไรจากการให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต คือ ศูนย์อินเทอร์เน็ตเป็นเหมืองทอง ทุกคนก็วิ่งไปขุดทอง แต่ไม่มีใครขุดได้ทองจากการให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต” กำไรที่ได้นั้น มาจากการขายบริษัทและจากการเก็งกำไรราคาหุ้นของบริษัท

ในปี พ.ศ. 2541 มูลค่าบริษัทที่เกี่ยวข้องกับอินเทอร์เน็ตในอเมริกาโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 7 เท่า เพราะคนปั่นหุ้นกัน ในเดือนมกราคม 2542 เดือนเดียวบริษัทเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตในอเมริกา 7 บริษัทมีราคาหุ้นเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า

บริษัทที่เกี่ยวข้องกับอินเทอร์เน็ตในอเมริกาไม่มีบริษัทใดเลยได้กำไรในปีแรกที่เปิดดำเนินการ

อย่างไรก็ตาม เคเอสซีเป็นข้อยกเว้น เพราะเป็นบริษัทอินเทอร์เน็ตรายเดียวในโลกที่ได้กำไรตั้งแต่วันแรกของการดำเนินการต้องกราบขอบพระคุณ บราเดอร์ มาร์ติน ที่กรุณาเป็นศูนย์เพาะชำให้ ซึ่งทำให้เคเอสซีไม่ต้องลงทุนมากในระยะแรก ตามหลักการของศูนย์เพาะชำ นับได้ว่ามหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นมหาวิทยาลัยที่ประสบความสำเร็จอย่างดีเยี่ยมในการทำหน้าที่ศูนย์เพาะชำให้บริษัทตั้งใหม่ ต่อมาที่อาคาร “ศรีศักดิ์ จามรมาน สถานเทคโนโลยีสารสนเทศ” ก็จะได้รับการสนับสนุนจาก บราเดอร์ มาร์ติน และบราเดอร์ บัญชาให้มาทำหน้าที่เป็นศูนย์เพาะชำให้บริษัทใหม่ๆ

ในตอนแรกของ บริษัทเคเอสซีนั้น ผู้เขียนจะเป็นอย่างที่ฝรั่งเรียกว่า “เดินหัวเราะไปธนาคาร (Walk laughing to the bank)” ทุกวันมีฝรั่งและคนไทยที่กลับจากต่างประเทศสนใจจะใช้อินเทอร์เน็ต ก็ไปที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ หัวหมาก ขึ้นไปชั้น 11 อาคารเอ ซึ่งมีห้องเล็กๆ เป็นสำนักงานของเคเอสซี แต่ละคนเอาเงินไปจ่ายคนละ 20,000 บาท เพื่อใช้บริการอินเทอร์เน็ต 1 ปี ฉะนั้นทุกวัน ผู้เขียนก็จะมีเงินไปฝากธนาคารวันละหลายแสนบาท ทำให้เคเอสซีได้กำไรตั้งแต่วันแรกของการเปิดดำเนินการ

2.5.4 การจดทะเบียนชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต

เมื่อ พ.ศ. 2527 มีการเสนอระบบชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต หรือ “ดีเอ็นเอส (DNS = Domain Name System)” แล้วในปีนั้นก็มีการจดทะเบียนอินเทอร์เน็ตถึง 1,000 ราย แล้วเมื่อ พ.ศ. 2528 รัฐบาลอเมริกันก็มอบหมายให้มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียใต้ หรือ “ยูเอสซี (USC = University of Southern California)” เป็นผู้รับผิดชอบการจัดการ “แม่ข่ายรากดีเอ็นเอส (DNS Root Server)” โดยมี ดร.จอห์น พอสเทล เป็นหัวหน้าโครงการ มีการอนุมัติดอทคอม (.com) เมื่อ 15 มีนาคม 2528 แล้วต่อมาก็มีการอนุมัติดอทอื่นๆ อาทิ ดอทอ็อก (.org) ดอทอีดียู (.edu) และดอทยูเค (.uk) เป็นต้น จำนวนชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต เพิ่มเป็น 10,000 ชื่อ ใน พ.ศ. 2530 แล้วเป็น 100,000 ชื่อ ใน พ.ศ. 2532 และเพิ่มขึ้นเป็น 1,000,000 ชื่อ ใน พ.ศ. 2535

พ.ศ. 2533 มีการจดทะเบียนชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบหมุนโทรศัพท์ (Dial-up) เป็นรายแรกในโลก (world.std.com)

พ.ศ. 2536 เอ็นเอสเอฟตั้ง “อินเตอร์นิค (InterNIC)” เพื่อให้บริการจดทะเบียนอินเทอร์เน็ต อาทิ จดทะเบียนเลขที่เครือข่ายย่อยหรือ “เอเอส (AS = Autonomous System)” ในปีเดียวกันนี้ ก็มีการจัดตั้งบริษัทเน็ตโซล (NetSol) หรือบริษัทเน็คเวิร์คโซลูชั่นส์ (Network Solutions Inc.) หรือเอ็นเอสไอ (NSI) ได้รับมอบหมายจาก “เอ็นเอสเอฟ (National Science Foundation)” ให้ผูกขาดการจดชื่อดอทคอม (.com) ดอทเน็ต (.net) และ ดอทอ็อก (.org) สำหรับบริษัทเน็ตเวิร์คโซลูชั่นส์นี้ก่อตั้งโดย อาจารย์คณิตศาสตร์ ชื่อ “ดอน เทเลจ (Don Telage)” ซึ่งผู้เขียนได้ลงนามในสัญญา ดังแสดงในรูปที่ 13 เน็ตเวิร์คโซลูชั่นส์ มอบหมายให้เคเอสซีเป็นผู้แทนรับจดทะเบียนชื่อ อาณาเขตอินเทอร์เน็ต ในประเทศไทย

รูปที่ 13 ดร. ดอน เทเลจ (คนยืนข้างหลัง) ผู้ก่อตั้งบริษัทเน็ตเวิร์คโซลูชั่นส์

รูปที่ 14 ศ.ศรีศักดิ์ ในการประชุมผู้อาวุโสที่ไอแคนน์

พ.ศ. 2541 เน็ตโซล รับจดชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ตไปแล้ว 2,000,000 ชื่อ ตั้งแต่ต้นจนถึงขณะนั้น

พ.ศ. 2542 รัฐบาลอเมริกันออกสมุดปกขาวเสนอให้จัดตั้งองค์กรอินเทอร์เน็ตสำหรับจดทะเบียนชื่อและหมายเลข หรือ “ไอแคนน์ (ICANN = Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)”

ในฐานะ 1 ใน 5 กรรมการบริหารแอพนิค ผู้เขียนได้ไปร่วมประชุมกับผู้ดูแลอินเทอร์เน็ตของอเมริกาและของยุโรป โดยประชุมกันที่เจนีวา ระหว่างที่ประชุมกันก็มีคนหนึ่งหยอกเย้าว่า ถ้าจอนเป็นอะไรตายไป จะไม่มีใครดูแลแม่ข่ายราก อาจจะทำให้อินเทอร์เน็ตหยุดชะงักไปทั่วโลก น่าจะตั้งเป็นคณะกรรมการช่วยกันดูแลมากกว่า ให้จอนต้องรับผิดชอบคนเดียว จอนก็น่ารักมาก เอ่ยปากว่าให้ตั้งคณะกรรมการได้เลย ต่อมาก็มีการประชุมกันว่าใครจะเป็นกรรมการบ้าง ตกลงกันแบ่งเป็นฝ่ายๆ เช่น ผู้ดูแลชื่ออินเทอร์เน็ต (Domain Names) ผู้ดูแลเลขที่อินเทอร์เน็ต (IP Address) และผู้ใช้ (Users)

สำหรับผู้ดูแลชื่อกับผู้ดูแลเลขที่ก็ไม่มีปัญหา เพราะมีหลักการอยู่แล้ว เช่น แอพนิคก็เป็นผู้ดูแลเลขที่ของเอเชียแปซิฟิก ฉะนั้น ในฐานะกรรมการอำนวยการแอพนิค ผู้เขียนก็มีสิทธิ์สมัครเป็นกรรมการไอแคนน์ แต่พิเคราะห์ดูแล้วเห็นว่าจะต้องเดินทางไปประชุมปีละหลายครั้ง สิ้นเปลืองงบประมาณและเวลามาก ผู้เขียนจึงถอนตัว

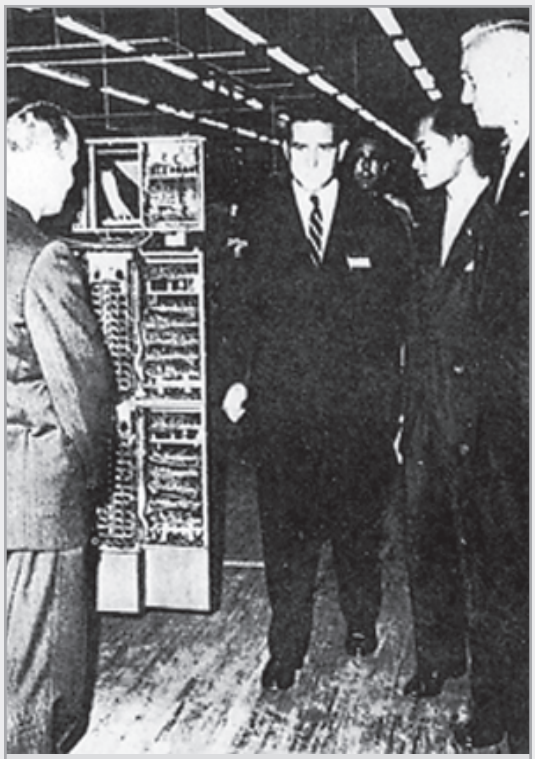
รูปที่ 15 ศ.ศรีศักดิ์ กับ เอสเธอร์ ไดซัน ประธานไอแคนน์ และการประชุมไอแคนน์ที่ญี่ปุ่น

อย่างไรก็ตาม ได้มีการตั้งคณะทำงานเรื่องสมาชิก (Membership Implementation Task Form) ดูได้ที่เว็บ www.icann.org/committees/at-large/mitf-bios.html. ในกลุ่มเอเชียตะวันออกมีสมาชิก 11 ท่านคือ ผู้เขียนจากประเทศไทย และอีก 10 ท่านจากญี่ปุ่น 3 ท่าน จีน 1 ท่าน ไต้หวัน 2 ท่าน เกาหลี 1 ท่าน สิงคโปร์ 1 ท่าน อเมริกา 1 ท่าน และฮ่องกง 1 ท่าน

ผู้เขียนได้ไปร่วมประชุมไอแคนน์หลายครั้ง ดังตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 14 มีผู้อาวุโสด้านอินเทอร์เน็ตไปร่วมประชุมไอแคนน์ ส่วนในรูปที่ 15 เป็นรูปผู้เขียนกับประธานกรรมการคนแรกของไอแคนน์ ชื่อ เอสเตอร์ ไดซัน (Esther Dyson) และรูปผู้เขียนในการประชุมไอแคนน์ที่ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2542 ไอแคนน์ และองค์กรทรัพย์สินปัญญาโลก หรือ “ไวโป (WIPO = World Intellectual Property Organization)” ประกาศนโยบายแม่แบบการแก้ปัญหาข้อพิพาทชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ต (Model Domain Name Dispute Resolution Policy)

16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ไอแคนน์อนุมัติชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ตใหม่ 7 อาณาเขต ได้แก่ ดอทบิซ สำหรับธุรกิจ (.biz = business) ดอทอินโฟ สำหรับข้อมูล (.info = information) ดอทแอโร สำหรับการบิน (.aero) ดอทโคอ็อฟ สำหรับสหกรณ์ (.coop = cooperatives) ดอทมิวเซียม สำหรับพิพิธภัณฑ์ (.museum) ดอทโปร สำหรับ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (.pro = profession) และ ดอทเนม สำหรับชื่อบุคคล (.name) แล้วต่อมาไอแคนน์ก็พิจารณาคำขอมีชื่ออาณาเขตอินเทอร์เน็ตใหม่ๆ เป็นระยะๆ อาทิ ดอทคิด (.kid) เป็นอาณาเขตเด็ก ดอทจ๊อบ (.jobs) เป็นอาณาเขตการสมัครงาน ดอทโมบาย (.mobi) เป็นอาณาเขตบริษัทหรือองค์กรด้านการสื่อสาร ดอทอียู (.eu) เป็นอาณาเขตสหภาพยุโรป และดอทเทรเวล (.travel) เป็นอาณาเขตการท่องเที่ยว เป็นต้น



รูปที่ 16 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเสด็จเยือนบริษัทคอมพิวเตอร์ในอเมริกา

2.6 คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยโดยสังเขป

ได้มีการเขียนบทความต่างๆ มากมายเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต [1- 50] เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยนั้น ผู้เขียนจะขอแบ่งเป็น 7 ยุคดังต่อไปนี้

ยุคที่ 1 เริ่มตั้งแต่การนำลูกคิดเข้ามาใช้ในประเทศไทย ยุคนี้จบลงตั้งแต่มีการนำเครื่องประมวลผลตาราง (Tabulating Machine) เข้ามาในประเทศไทย

ยุคที่ 2 เริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ.2480 โดยกระทรวงมหาดไทยติดตั้งเครื่องเจาะบัตร เครื่องจัดลำดับและนับบัตร และเครื่องทำตารางเพื่อสำรวจสำมะโนครัวในปี พ.ศ. 2490 และ พ.ศ. 2500

ยุคที่ 3 ซึ่งอาจจะนับได้ว่าเป็นยุคที่สำคัญที่สุดสำหรับเทคโนโลยีสารสนเทศในประเทศไทยเริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2503 เมื่อพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเสด็จประพาสซิลิกอน วอลเลย์ (Silicon Valley) ในสหรัฐอเมริกา ดังในรูป 16 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวผู้ทรงพระปรีชาสามารถได้ทรงแสดงพระวิสัยทัศน์ความเป็นพระผู้นำและทรงเป็นแรงบันดาลใจแก่ชาวไทยทั้งหลายให้เห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีสารสนเทศในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งรวมทั้งการศึกษาในประเทศไทย ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาได้พยายามตามรอยพระยุคลบาทในรูปแบบต่างๆ อาทิ เมื่อ พ.ศ. 2504 บัณฑิตวิทยาลัย วิศวกรรมศาสตร์ สปอ. ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็นสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หรือ เอไอที) ในขณะนั้นได้ตัดสินใจที่จะจัดตั้งศูนย์คอมพิวเตอร์แห่งแรกขึ้นในประเทศไทยด้วยความช่วยเหลือด้านการเงินของรัฐบาลอเมริกัน บัณฑิตวิทยาลัยจึงได้ให้ทุนแก่ผู้ที่จบปริญญาโทด้วยคะแนนสูงสุดให้ไปศึกษาปริญญาเอกที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งจอร์เจีย เมืองแอตแลนต้า สหรัฐอเมริกา ผู้ที่ได้รับทุนเผอิญเป็น ผู้เขียน โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาปริญญาเอก ซึ่งได้บันทึกไว้ในเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีแห่งจอร์เจีย ก็คือ เพื่อให้ผู้ที่ไปศึกษาปริญญาเอกได้กลับมาเป็นผู้นำด้านคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย

พ.ศ. 2507 ได้มีการติดตั้งคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องแรกในประเทศไทยโดยเครื่องหนึ่งติดตั้งอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีนั้นสิงคโปร์ติดตั้งคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเพียง 1 เครื่องและมาเลเซียยังไม่ได้ ติดตั้งคอมพิวเตอร์เลย นับได้ว่าใน พ.ศ. 2507 ในด้านคอมพิวเตอร์นั้นไทยนำหน้าทั้งสิงคโปร์และมาเลเซีย ซึ่งผู้เขียนได้รับทุนไปศึกษาปริญญาเอกจากเอไอทีก็ได้รับปริญญาเอกในปีเดียวกันนั้น โดยทำวิทยานิพนธ์ด้านการประมวลผลด้วยตัวเลข แต่ตัดสินใจอยู่ในสหรัฐอเมริกาต่อเพื่อหาประสบการณ์ จนได้เป็นผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัยคอมพิวเตอร์ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิสซูรี และต่อมาได้เป็นศาสตราจารย์เต็มขั้น (Full Professor) ชาวไทยคนแรกในสหรัฐอเมริกา (ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐนิวยอร์ก) แล้วจึงกลับมาเมืองไทย เมื่อ พ.ศ. 2517 โดยได้รับแต่งตั้งเป็นศาสตราจารย์สถิติประยุกต์และหัวหน้าสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ รวมทั้งได้รับการเลือกตั้งเป็นประธานสภาข้าราชการที่สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า) ในปี พ.ศ. 2519 ทบวงมหาวิทยาลัยตั้งคณะกรรมการคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดนโยบายและดูแลการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาในมหาวิทยาลัยของรัฐและเอกชน ผู้เขียนได้รับการแต่งตั้งเป็นประธานกรรมการ

ยุคที่ 4 อาจจะกล่าวได้ว่าเริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2521 เมื่อมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาในประเทศไทย เครื่องแรกๆ ที่นำเข้ามาก็คือ เครื่องเรดิโอแชค ทีอาร์เอส 80 (Radio Shack TRS 80) ซึ่งผู้เขียนเป็นผู้หิ้วขึ้นเครื่องบินจากอเมริกาเข้ามาที่เอแบคและใช้ในการจัดตั้ง “ภาควิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ (Business Computer)” ของเอแบคให้ปริญญาตรี “คอมพิวเตอร์ธุรกิจ” แห่งแรกในโลก แล้วต่อมาก็มีมหาวิทยาลัยอื่นๆ ใช้ชื่อนี้ตาม ต่อจากนั้นจำนวนไมโครคอมพิวเตอร์ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมากกว่าจำนวนเมนเฟรมและมินิคอมพิวเตอร์

พ.ศ. 2525 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระกรุณาเสด็จเป็นองค์ประธานเปิดงานคอมพิวเตอร์ในกรุงรัตนโกสินทร์ จัดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และสมาคมประมวลผลเพื่อการพัฒนาประเทศ ซึ่งต่อมารวมเข้ากับสมาคมอินเทอร์เน็ต เป็นสมาคมอินเทอร์เน็ตซึ่งมีสมาชิก

รูปที่ 17 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เสด็จเปิดงานคอมพิวเตอร์ในกรุงรัตนโกสินทร์ พ.ศ. 2525

รูปที่ 18 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เสด็จพระราชดำเนินทรงเปิดเกตเวย์อินเทอร์เน็ตนานาชาติ ที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

ประมาณ 17,000 คน นับได้ว่าเป็นสมาคมวิชาการด้านไอที ที่มีสมาชิกมากที่สุดสมาคมหนึ่งในประเทศไทย

ยุคที่ 5 เริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2530 เมื่อได้มีการนำอินเทอร์เน็ตเข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกที่เอไอที โดยได้ตกลงทำสัญญากับภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยเมลเบิร์น (Melbourne) ออสเตรเลีย เพื่อที่จะให้บริการทางด้านไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยออสเตรเลียจะเรียกมาที่เอไอทีวันละ 3 ครั้ง เพื่อที่จะรับส่งถุงไปรษณีย์ (Mail Bag) ในฐานะที่ผู้เขียนเป็นนายกสมาคมศิษย์เก่าเอไอที ท่านจึงได้ใช้อินเทอร์เน็ตที่เอไอทีเมื่ออินเทอร์เน็ตเริ่มเข้ามาเมืองไทยเป็นครั้งแรกใน ปี พ.ศ. 2530

ยุคที่ 6 คือ ยุครัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2543 โดยรัฐบาลได้ประกาศเริ่มโครงการนำบริการต่างๆ ของรัฐบาลมาให้ประชาชนได้ใช้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต เช่น บริการเสียภาษีผ่านทางอินเทอร์เน็ต และบริการด้านทะเบียนต่างๆ ผ่านทางอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

ยุคที่ 7 คือ ยุคการศึกษาทางไกลทางอินเทอร์เน็ต หรือยุคอีเลิร์นนิ่ง กล่าวได้ว่าอาจจะเริ่มขึ้นภายในปี พ.ศ. 2548 เมื่อรัฐบาลไทยอนุญาตให้มหาวิทยาลัยไทย ทั้งของรัฐและเอกชน นำหลักสูตรระดับปริญญาที่เปิดสอนในห้องเรียนอยู่แล้วไปเปิดสอนทางอินเทอร์เน็ต โดยในปี พ.ศ. 2549 มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญเป็นแห่งแรกที่นำหลักสูตรปริญญาทั้งหลักสูตรไปเปิดสอนแบบอีเลิร์นนิ่ง ตั้งแต่มกราคม 2549 แล้ว ในเดือนมิถุนายน จึงได้จัดสรรงบประมาณซื้อเครื่องคอมพิวเตอร์และโมเด็มและจ่ายค่าเช่าใช้อินเทอร์เน็ตที่เอไอที นับได้ว่าเอแบคได้เริ่มใช้อินเทอร์เน็ตตั้งแต่แรกที่อินเทอร์เน็ตเข้ามาเมืองไทยในปี พ.ศ. 2530

รูปที่ 19 การประชุมคณะกรรมการสมาคมศิษย์เก่าเอไอที มี ศ.ดร.ศรีศักดิ์ เป็นประธาน

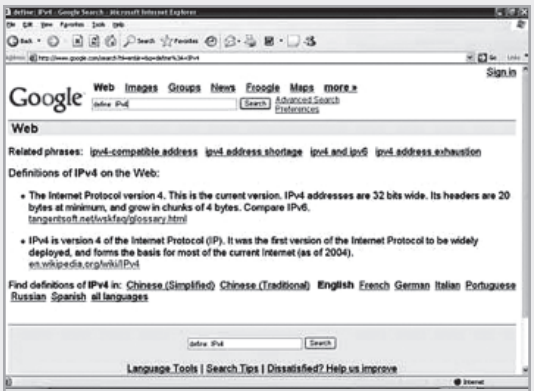
ในการใช้อินเทอร์เน็ต ณ หน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งนั้นถ้ามีคอมพิวเตอร์หลายเครื่องก็รวมกันเป็นเครือข่ายย่อยโดยจดทะเบียนเลขที่เครือข่ายย่อย ซึ่งเรียกว่า เอเอส นัมเบอร์ (AS = Autonomous System) 3 เครือข่ายย่อยแรกของประเทศไทย คือ 1. ไทยสาร (THAISARN) ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ หรือ เนคเทค (Nectec) 2. จุฬาเน็ต (CHULANET) ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 3. เอยูเน็ต (AUNET) ของมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ สรุปแล้ว สำหรับประเทศไทยมีหน่วยงานที่จดทะเบียนเอเอสดังแสดงในตารางที่ 1

การเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตระหว่างเอไอทีกับออสเตรเลียเป็นการเชื่อมโยงแบบชั่วคราวโดยต่อโทรศัพท์แต่ละครั้งที่ต้องการเชื่อมต่อ เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า “ไดอัลอัพ (Dial-Up)” ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การเชื่อมโยงแบบถาวร โดยการใช้คู่สายเช่าที่เรียกว่า “ลีสด์ไลน์ (Leased Line)” ปลายทางคู่สายเช่าถาวรที่อยู่ในประเทศไทยเรียกว่า “เกตเวย์อินเทอร์เน็ตนานาชาติ (International Internet Gateway)”

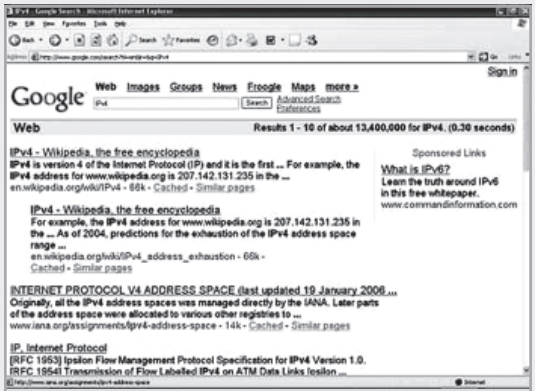
พ.ศ. 2534 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตั้งเกตเวย์ระหว่างประเทศแห่งแรกในเมืองไทยด้วยความเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที แล้วต่อมาจึงเปลี่ยนเป็น

ตารางที่ 1 เลขที่เครือข่ายย่อยและจำนวนไอพีแอดเดรส

ลำดับที่	เลขที่ เอเอส	ชื่อ	จำนวน Class-C
1	AS3836	THAISARN	0 Class-C
2	AS3839	CHULANET	258 Class-C
3	AS4274	AUNET	260 Class-C
4	AS4767	AIT	257 Class-C
5	AS7485	MUT (Mahanakorn)	41 Class-C
6	AS9711	NONTRINET (Kaset)	256 Class-C
7	AS9464	PSU (Songkla)	0 Class-C
8	AS9486	KMITL (Ladkrabang)	256 Class-C
9	AS9533	KMITNB (North BKK)	18 Class-C
10	AS9551	KMUTT (Thonburi)	14 Class-C
11	AS9562	MSU (Mahasarakham)	12 Class-C
12	AS9741	UTCC (Horkarnka)	8 Class-C
13	AS9903	RIT (Rachamangala)	163 Class-C
14	AS10227	SUANDUSIT	4 Class-C
15	AS17479	CMU (Chiang Mai)	13 Class-C
16	AS17827	STOU (Sukhothai)	9 Class-C



รูปที่ 20 คำจำกัดความของโปรโตคอลรุ่นที่ 4



รูปที่ 21 ค้นหาไอพีวี 4 ในกูเกิล พบ 13.4 ล้านรายการ

64,000 บิตต่อวินาที เชื่อมโยงกับสหรัฐอเมริกาที่เวอร์จีเนีย พ.ศ. 2536 เนคเทคเปิดเกตเวย์ระหว่างประเทศแห่งที่สอง ความเร็ว 64,000 บิตต่อวินาที เชื่อมโยงกับสหรัฐอเมริกาที่เวอร์จีเนีย ในปี พ.ศ. 2538 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เสด็จพระราชดำเนินทรงเปิดเกตเวย์ระหว่างประเทศที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

ในยุคแรกที่ประเทศไทยเริ่มมีอินเทอร์เน็ตใช้นั้นก็เหมือนกับยุคแรกในอเมริกา คือ ให้ใช้ได้เฉพาะด้านการศึกษาและวิจัย ต่อมาเมื่อความแพร่หลายของอินเทอร์เน็ตเพิ่มมากขึ้น จึงมีการเปิดบริษัทเพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์หรือไอเอสพี (ISP = Internet Service Provider) ขึ้น

ถึง พ.ศ. 2547 ประเทศไทย มีผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ 18 ราย โดยบริษัทผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์รายแรกที่จดทะเบียนถูกต้องตามกฎหมาย คือ บริษัท เคเอสซี คอมเมอร์เชียล อินเทอร์เน็ต จำกัด ซึ่งผู้เขียนเป็นผู้ก่อตั้งและประธานกรรมการ โดยมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญกรุณาทำหน้าที่เป็นศูนย์เพาะเลี้ยง (Incubator) จนบริษัทเติบโตขึ้น จึงได้ย้ายออกไปและขายกิจการให้ต่างชาติในที่สุด

3. อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่สี่

ในปี พ.ศ. 2549 นี้ ผู้สนใจในเรื่องอะไรก็มักจะหาข้อมูลได้จากอินเทอร์เน็ต อาทิ เว็บกูเกิล (www.google.com) มีข้อมูลมากกว่า 8,000 ล้านรายการ ถ้าสนใจหาข้อมูลเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 (IPv4) ก็สามารถค้นหาในกูเกิลโดยใช้คำภาษาอังกฤษว่า “Define: IPv4” ซึ่งจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 20

ตัวอย่างคำจำกัดความจากเว็บแทนเจนซอฟต์ดอทเน็ต (www.tangentsoft.net) ระบุว่า อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่น 4 เป็นรุ่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2549) มีขนาด 32 บิต (แบ่งเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนเป็นเลขจาก 0 ถึง 255) โดยมีส่วนหัว (Header) อย่างน้อย 20 ไบต์ กรุณาเปรียบเทียบกับไอพีวี 6

อีกตัวอย่างหนึ่งจากเว็บวิกิพีเดีย (www.en.wikipedia.org/) ระบุว่า ไอพีวี 4 เป็นรุ่นแรกของโปรโตคอลอินเทอร์เน็ตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นรากฐานของอินเทอร์เน็ตในปัจจุบัน (พ.ศ. 2547)

รูปแบบของเลขที่ไอพีในรุ่นที่สี่ คือ ตัวเลขที่แบ่งเป็น 4 ส่วน มีดอทคั่นแต่ละส่วน และแต่ละส่วนเป็นตัวเลขจาก 0 ถึง 255 อาทิ

• 161.200.0.0 และ 192.133.10.0 สำหรับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

• 168.120.0.0 และ 198.49.112.0 สำหรับมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

ฉะนั้น จำนวนเลขที่ไอพีในรุ่นที่สี่จึงมีได้ 256 x 256 x 256 x 256 หรือประมาณ 4.3 พันล้านเลขที่ซึ่งไม่พอ แม้แต่จะให้ประชากรแต่ละคนของโลกมีคนละ 1 เลขที่ เพราะทั้งโลกมีประชากรกว่า 6 พันล้านคน

การจัดสรรเลขที่ไอพีทั่วโลกนั้น ปรากฏว่าสหรัฐอเมริกาได้รับการจัดสรรเป็นอันดับ 1 เกือบร้อยละ 70 ของทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2 ส่วนอันดับ 2 คือ ญี่ปุ่น ได้รับการจัดสรรร้อยละ 5.57 อันดับ 3 คือ แคนาดา ได้รับการจัดสรรร้อยละ 3.33 ส่วนประเทศที่มีประชากรมากที่สุดในโลก คือ จีน มีประชากรถึง 1.321 พันล้านคน ได้รับการจัดสรรเลขที่ไอพีเป็นอันดับ 7 เพียงร้อยละ 1.65 สำหรับประเทศไทยซึ่งมีประชากรประมาณ 65 ล้านคน ได้รับการจัดสรรเลขที่ไอพีเป็นลำดับที่ 37 ในโลก คือ ได้รับเพียงร้อยละ 0.10 นับเป็นเลขที่ไอพี ประมาณ 1.8 ล้านเลขที่ หรือเฉลี่ย 1 เลขที่ไอพี สำหรับประมาณ 36 คน ซึ่งไม่น่าจะเพียงพอสำหรับอนาคต ตัวอย่างเช่น ถ้าชาวไทยทุกคนมีโทรศัพท์ส่วนตัวคนละ 1 เครื่องก็น่าจะมีเลขที่ไอพีคนละ 1 เลขที่ นั่นคือถ้าคิดเฉพาะเรื่องโทรศัพท์อย่างเดียว ประเทศไทยก็ควรจะมีเลขที่ไอพีประมาณ 65 ล้านเลขที่ ซึ่งในไอพีรุ่นที่สี่นี้ ประเทศไทยมีเพียงประมาณ 1.8 ล้านเลขที่ และไม่มีโอกาสเลยที่จะขอให้ได้ถึง 65 ล้านเลขที่ ยิ่งกว่านั้นตามความเป็นจริงแล้วนอกจากเลขที่ไอพีสำหรับโทรศัพท์ก็น่าจะมีเลขที่ไอพีสำหรับอุปกรณ์อื่นๆ อาทิ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เตาอบ โทรทัศน์ และกล้อง เป็นต้น

อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 เริ่มประกาศใช้เมื่อ พ.ศ. 2524 แล้วมีการจัดสรรโดยประมาณดังแสดงในตารางที่ 3

ในด้านการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตนั้น

ตารางที่ 2 การจัดสรรเลขที่ไอพีให้ประเทศต่างๆ

ลำดับที่	รหัสประเทศ	ชื่อประเทศ	จำนวนเลขที่ไอพี	คิดเป็นร้อยละ	ประชากรเป็นล้านคน
1	us	สหรัฐอเมริกา	1,246,274,560	66.90	301
2	jp	ญี่ปุ่น	103,830,016	5.57	127
3	ca	แคนาดา	62,013,952	3.33	33
4	gb	สหราชอาณาจักร	50,894,080	2.73	61
5	de	เยอรมัน	48,699,648	2.61	82
6	fr	ฝรั่งเศส	37,210,112	2.00	61
7	cn	จีน	30,719,744	1.65	1,321
8	nl	เนเธอร์แลนด์	28,527,872	1.53	16
9	kr	เกาหลีใต้	26,208,768	1.41	49
37	th	ไทย	1,782,016	0.10	65

ตารางที่ 3 การจัดสรรอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 4

พ.ศ.	ถึงปีนี้ได้จัดสรรไปแล้วเป็นอัตราส่วนของทั้งหมด
พ.ศ. 2522	(เริ่มประกาศใช้อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 4
พ.ศ. 2528	1/16
พ.ศ. 2533	1/8
พ.ศ. 2538	1/4
พ.ศ. 2543	1/2
พ.ศ. 2551-2558	(คาดว่าอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 4 จะหมด)

ถึง พ.ศ. 2549 ที่ยังใช้ไอพีรุ่นที่ 4 กันอยู่นั้น ก็มีการประยุกต์ใช้มากมายหลายด้าน ดังตัวอย่างในหนังสือที่มีชื่อเล่นว่า “108 อีนี่อีนั่นอีออคชั่นถึงอีซู” [33] ดังแสดงในปกหนังสือ รูปที่ 22 คือ เรียงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ จากอีออคชั่นหรือการประมูลทางอินเทอร์เน็ต (e-Auction) อีคอมเมิร์ซหรือพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-Commerce) อีแบงกิ้งหรือบริการธนาคารอิเล็กทรอนิกส์ (e-Banking) อีเดตติ้งหรือการหาคู่ทางเน็ต (e-Dating) อีเอนเตอร์เทนหรือบันเทิงทางเน็ต (e-Entertain) อีไฟแนนซ์หรือการเงินอิเล็กทรอนิกส์ (e-Finance) อีกัฟเวอร์เมนต์หรือรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) อีเฮลท์หรือสาธารณสุขทางเน็ต (e-Health) อีอินดัสตรีหรืออุตสาหกรรมทางเน็ต (e-Industry) อีจอบส์หรือการหางานทางเน็ต (e-Jobs) อีโนว์เลจหรือความรู้ทางเน็ต (e-Knowledge) อีเลิร์นนิ่งหรือการศึกษาทางไกลทางเน็ต (e-Learning) อีเมล์หรือจดหมายหรือไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-Mail) อีนิวส์หรือข่าวสารทางเน็ต (e-News) อีออฟฟิศหรือสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ (e-Office) อีพาร์เลียเมนต์หรือรัฐสภาอิเล็กทรอนิกส์ (e-Parliament) อีเควสชันแนร์หรือการสำรวจความคิดเห็นทางเน็ต (e-Questionaire) อีเรดิโอหรือวิทยุกระจายเสียงทางเน็ต (e-Radio) อีโซไซตี้หรือสังคมอิเล็กทรอนิกส์ (e-Society) อีเทรเวลหรือการท่องเที่ยวทางเน็ต (e-Travel) อียูทิลิตี้หรือสาธารณูปโภคทางเน็ต (e-Utility) อีโวตติ้งหรือการลงคะแนนเสียง (e-Voting) อีเวเทอร์หรือพยากรณ์อากาศทางเน็ต (e-Weather) อีเอ็กซ์มาสหรือการเฉลิมฉลองคริสต์มาสทางเน็ต (e-Xmas) อียูทหรือเยาวชนอิเล็กทรอนิกส์ (e-Youth) และ อีซูหรือสวนสัตว์ทางเน็ต (e-Zoo)

ทั้งนี้ อีไทยแลนด์มีส่วนประกอบสำคัญ อาทิ อีโซไซตี้ อีกัฟเวอร์เมนต์ อีคอมเมิร์ซ และอีเอ็ดดูเคชั่น เป็นต้น

- สังคมอิเล็กทรอนิกส์ (e-Society) เพื่อเตรียมสังคมไทยให้พร้อมในการใช้อินเทอร์เน็ต
- รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) คือ การนำบริการของรัฐบาลมาให้ประชาชนใช้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต อาทิ โดยการเสียภาษีเงินได้ทางอินเทอร์เน็ต (e-Revenue) ซึ่งมากกว่าครึ่งของผู้เสียเงินได้ในประเทศไทยได้เสียภาษีผ่านทางอินเทอร์เน็ตแล้ว อีกโครงการหนึ่งด้านรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์คือ การจดทะเบียนห้างร้านทางอินเทอร์เน็ต (e-Registration) ซึ่งผู้เขียนเป็นประธานออกข้อกำหนดให้กระทรวงพาณิชย์
- พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-Commerce) หรือการซื้อขายสินค้าและบริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งกระทรวงพาณิชย์เคยจัดทำโครงการนำร่อง โดย

รูปที่ 22 ปกหนังสือ
"108 อีนี่อีนั่นจากอีออคชั่นถึงอีซู"

ผู้เขียนได้รับตำแหน่งให้เป็นผู้จัดการโครงการ นอกจากนี้ในประเทศไทยยังได้ออกกฎหมายสนับสนุนพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์คือกฎหมายธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยในกฎหมายนี้ใช้รับรองลงลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ หรือลายเซ็นดิจิตอล (Digital Signature) เช่นเดียวกับลายเซ็นบนกระดาษ ทั้งนี้ผู้เขียนได้รับแต่งตั้งให้เป็นที่ปรึกษายกร่างกฎหมายดังกล่าวด้วย

- การศึกษาทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Education หรือ e-Learning) ซึ่งผู้เขียนได้ยกร่างประกาศกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งต่อมาได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการลงนามประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อตุลาคม พ.ศ. 2548 ทำให้ผู้จบปริญญาแบบอีเลิร์นนิ่งช่วงแรกเข้ารับราชการได้ โดยผู้เขียนเป็นประธานกรรมการและประธานผู้บริหารวิทยาลัยการศึกษาทางไกลอินเทอร์เน็ต มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาแห่งแรกในประเทศไทยที่เปิดสอนแบบอีเลิร์นนิ่งทั้งหลักสูตร

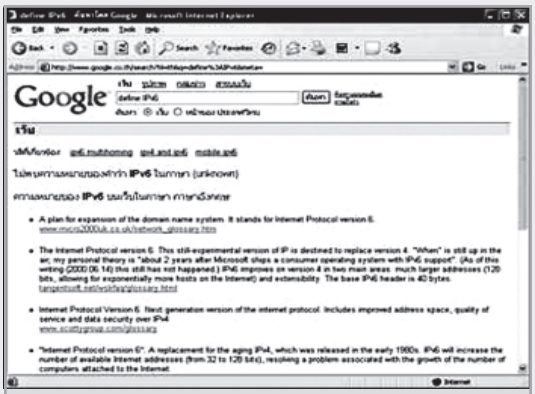
4. อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่หก

อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 6 (IPv6) สามารถค้นหาข้อมูลในกูเกิล โดยใช้คำภาษาอังกฤษว่า "Define: IPv6" ซึ่งจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 23

ตัวอย่างเช่น จากเว็บพาเลียเมนท์ดอทวิกดอทกอฟดอทเอยู (www.parliamet.vic.gov.au) คือ การแทนที่การใช้อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่น 4 ด้วยรุ่นที่ 6 ที่เริ่มใช้มาตั้งแต่ราวๆ ปี พ.ศ. 2523 ซึ่งอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่น 6 นี้จะเพิ่มจำนวนหมายเลขอินเทอร์เน็ตแอดเดรสจาก 32 บิต ถึง 128 บิต เพื่อแก้ปัญหาจำนวนการใช้อินเทอร์เน็ตที่เพิ่มขึ้น และจากเว็บวิกิพีเดีย (www.en.wikipedia.org) ให้ความหมายของไอพีวี 6 หรืออินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่น 6 คือ มาตรฐานชั้นเครือข่ายที่ควบคุมด้วยแอดเดรส (Addressing) เราท์ติง (Routing) ของชุดข้อมูลผ่านเครือข่าย

ถ้าต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่น 6 ก็สามารถค้นหาจากกูเกิลโดยใช้ภาษาอังกฤษว่า "IPv6" ซึ่งได้ 44,700,000 รายการ ดังแสดงในรูปที่ 24

เมื่อ พ.ศ. 2536 ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตทั้งหลายได้เห็นปัญหาว่า อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 จะมีไม่พอใช้ จึงได้เสนอให้มีการปรับปรุงอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลใหม่ เมื่อ พ.ศ. 2537 คณะทำงานด้านวิศวกรรมอินเทอร์เน็ต หรือ "ไออีทีเอฟ (IETF = Internet Engineering Task Force)" ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติก็ประกาศว่า อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 ไม่น่ามีเหลือให้จัดสรรอีก ในปี พ.ศ. 2551 หรืออย่างช้ากว่า



รูปที่ 23 คำจำกัดความของโปรโตคอลรุ่นที่ 6

รูปที่ 24 ค้นหาในกูเกิลพบ 45 ล้านราย

นั้นก็ไม่เกิน พ.ศ. 2554 ในปี พ.ศ. 2537 นี้เอง ก็ได้มีการประกาศอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นใหม่ชื่อ “เอสไอพีพี (SIPP = Simple Internet Protocol Plus)” ความจริงจากรุ่นที่ 4 น่าจะพัฒนาเป็นรุ่นที่ 5 แต่ในวงการอินเทอร์เน็ตจะทำอะไรก็ต้องขอความคิดเห็นจากผู้สนใจทั่วไป โดยใช้ “ประกาศขอความคิดเห็น” หรือ “อาร์เอฟซี (RFC = Request For Comments)” โดยในอาร์เอฟซี 791 ระบุรุ่นของโปรโตคอลแล้วเลข “4” ตกลงกันให้เป็นรุ่นของโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol) ส่วนเลขที่ “5” ให้ใช้ในเรื่องการส่งข้อมูลในอินเทอร์เน็ตแบบพิเศษ (Internet Stream Protocol) ฉะนั้นจึงไม่สามารถใช้เลขที่ “5” ได้ จำเป็นต้องใช้เลขต่อไปที่ว่า คือ เลขที่ “6” นั่นคือ เมื่อปรับปรุงอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลจากรุ่นที่ 4 ไปเป็นรุ่นใหม่ก็ต้องเรียกรุ่นใหม่ว่า “อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 6” หรือ “ไอพีวี 6 (IPv6)”

คณะทำงานไอพีวีรุ่นที่ 6 (IPv6 Working Group) เริ่มทดลองใช้ไอพีวี 6 เมื่อ พ.ศ. 2538 โดยในตอนต้นก็มีปัญหาและมีการตั้งโครงการย่อยโดย 6 บริษัทในญี่ปุ่นให้ทดลองใช้ไอพีวี 6

ในสหรัฐอเมริกา กระทรวงกลาโหมโดย จอห์น พี สเตนบิต (John P. Stenbit) ประธานเจ้าหน้าที่สารสนเทศ หรือ “ซีไอโอ (CIO = Chief Information Officer)” ลงนามในเอกสารเมื่อวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2543 ประกาศว่า กระทรวงกลาโหมอเมริกันจะเปลี่ยนจากอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 ไปเป็นอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 6 ภายในพ.ศ. 2551

อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 เขียนเป็น 4 กลุ่มตัวเลข คั่นด้วยเครื่องหมายมหัพภาค หรือ ดอท หรือ “.” โดยแต่ละกลุ่มตัวเลขเป็นเลขฐาน 10 ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังตัวอย่าง เช่น “168.120.0.0” สำหรับมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

ส่วนอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 6 เขียนเป็น 8 กลุ่มตัวเลข คั่นด้วยเครื่องหมาย “ทวิภาค” หรือ “:” โดยแต่ละกลุ่มตัวเลขเป็นเลขฐาน 16 (0 ถึง 9 a b c d e f) จำนวน 4 ตัว (ตัวละ 4 บิต รวมเป็น 16 บิต) ดังตัวอย่างเช่น “a:b:c:d:e:f:0:1” ทั้งนี้อาจนำอินเทอร์เน็ตไอพีรุ่นที่ 4 ไปแทรกไว้ในอินเทอร์เน็ตไอพีรุ่นที่ 6 ได้ ดังตัวอย่าง เช่น “f:e:d:c:168.120.0.0”

อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 มีขนาด 32 บิต แต่อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 6 มีขนาด 128 บิต ทำให้รุ่นที่ 6 มีเลขที่ไอพี (IP Address) มากถึง 296 เท่าของรุ่นที่ 4 อินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 4 มีจำนวนไอพี แอดเดรส 4.3 พันล้านเลขที่ แต่อินเทอร์-เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 6 มีจำนวนไอพีแอดเดรสถึง

340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 หรือประมาณ 3.4×10^{38}

มีผู้ให้เหตุผลมากมายว่าทำไมจึงควรปรับปรุงจากการใช้ไอพีวี 4 ไปเป็นไอพีวี 6 พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ไอพีวี 4 จะหมดประมาณ พ.ศ. 2551 หรืออย่างช้าที่สุด พ.ศ. 2558 ฉะนั้นในที่สุดก็จะต้องไปใช้ไอพีวี 6 อยู่แล้ว จึงควรจะเริ่มทดลองใช้ตั้งแต่ตอนนี้
- ไอพีวี 6 มีไอพีแอดเดรสให้ใช้ถึง 3.4×10^{38} หมายเลข สามารถจัดสรรได้อย่างเพียงพอให้กับทุกคนในโลกซึ่งใน พ.ศ. 2549 มีไม่เกิน 7 พันล้านคน ถ้าแจกไอพีให้คนละหนึ่งล้านไอพีก็ต้องแจกเพียง 7 พันล้านล้านหมายเลข หรือ 7×10^{15} หมายเลข เทียบกับที่มีอยู่ 3.4×10^{38} หมายเลข ก็ยังเหลืออีกมากมาย
- รูปแบบของไอพีวี 6 ยืดหยุ่นกว่ารูปแบบของไอพีวี 4 ทำให้ไอพีวี 6 มีประสิทธิภาพมากกว่าไอพีวี 4 มากมายหลายด้าน
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้เครือข่ายทำงานได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้ผู้ดูแลการติดตั้งและจัดการบริการด้านอินเทอร์เน็ตมีภาระน้อยลง
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้ตารางการค้นหาเส้นทางในการส่งสารสนเทศในเครือข่ายที่ใช้ไอพีวี 6 มีขนาดเล็กกว่าตารางการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายที่ใช้ไอพีวี 4
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้สามารถกำหนดคุณภาพของบริการ (Quality of Services) ได้สูงกว่าในการใช้ไอพีวี 4
- การใช้ไอพีวี 6 สนับสนุนการสื่อสารด้วยไอพีแบบเคลื่อนที่ (Mobile IP)
- การใช้ไอพีวี 6 ช่วยให้สามารถปรับปรุงการติดต่อแบบ “มัลติคาสต์ (Multicast)” และแบบ “เอนนีคาสต์ (Anycast)”
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้สามารถปรับแต่งระบบได้แบบอัตโนมัติ (Auto Configuration) ปรับเปลี่ยนแอดเดรส (Renumbering) และเชื่อมต่อผู้ให้บริการได้พร้อมๆ กันหลายราย (Multi-Homing) เป็นต้น
- การใช้ไอพีวี 6 ทำให้เครือข่ายมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเพราะใช้ไอพีจริงทุกราย (Real IP) โดยไม่มีการใช้ไอพีหลอกๆ เลย
- การใช้ไอพีวี 6 สนับสนุนการรักษาความปลอดภัยในโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (IP Security)

เมื่อ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2542 ได้มีการจดทะเบียนสมาคมไอพีวี 6 (IPv6 Forum) ที่ลักเซมเบิร์ก โดยมี ลาทิฟ ลาดิด (Latif Ladid) ในรูปที่ 25 เป็นประธาน ถึงกันยายน พ.ศ. 2542 สภาไอพีวี 6 มีสมาชิกเป็นหน่วยงาน 60 ราย แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 175 ราย เมื่อพฤศจิกายน พ.ศ. 2547 สมาชิกสมาคมไอพีวี 6 ประกอบด้วยบริษัท ห้างร้านด้านอินเทอร์เน็ต หน่วยงานวิจัย และสถานศึกษา สมาคมไอพีวี 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมไอพีวี 6 โดยดำเนินการอย่างจริงจังให้ตลาดและผู้ใช้อินเทอร์เน็ตได้มีความ

รูปที่ 25 ผู้เขียนกับ ลาทิฟ ลาดิด

ตารางที่ 4 ผู้ให้บริการเครือข่ายไอพีวี 6 ในประเทศไทย

ลำดับที่	หน่วยงานองค์กร ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต	หมายเลขไอพีเครือข่าย ระหว่างประเทศ	หมายเลขไอพี จากแอพนิค
1	CAT	-	2001: c38::/32
2	TOT	-	2001: ec0::/32
3	Internet Thailand	3ffe:400B::/32	2001: c00::/32
4	CS-Loxinfo	3ffe:4014::/32	-
5	Asia Infornet	-	2001: fb0::/32
6	NECTEC	3ffe:4016::/32	2001: f00::/32
7	Uninet	-	2001: 3c8::/32

รู้เรื่องไอพีวี 6 เพื่อก่อให้เกิดไอพีวี 6 ที่มีคุณภาพและปลอดภัย และเพื่อช่วยให้ทั้งโลกเข้าถึงความรู้และเทคโนโลยีได้อย่างเท่าเทียมกันทั่วโลก ทั้งนี้โดยยึดเอาความรับผิดชอบด้านศีลธรรมเป็นหลักสำคัญ

สำหรับประเทศไทยได้มีการตั้งสมาคมไอพีวี 6 ประเทศไทย (Thailand IPv6 Forum) ขึ้นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2547 โดยมีสมาชิกเป็นหน่วยงานวิจัย ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต และผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบเครือข่าย สมาคมไอพีวี 6 ประเทศไทยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดความร่วมมือในการเผยแพร่ พัฒนา และสนับสนุนการให้บริการ และการใช้งานไอพีวี 6 โดยกระตุ้นบริษัทผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตให้เห็นความสำคัญของไอพีวี 6 และเปิดให้บริการอินเทอร์เน็ตด้วยไอพีวี 6 ในเชิงพาณิชย์ สมาคมไอพีวี 6 ประเทศไทย ได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกคณะทำงานไอพีวี 6 เอเชียแปซิฟิค (Asia-Pacific IPv6 Task Force) และส่งเสริมการเชื่อมต่อไอพีวี 6 ในประเทศระหว่างเนคเทค บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในตารางที่ 4 แสดงผู้ให้บริการไอพีวี 6 ในประเทศไทย

สมาคมไอพีวี 6 ประเทศไทยได้จัดการประชุมสุดยอดไอพีวี 6 ประเทศไทย (Thailand Ipv6 Summit) ขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 โดยเชิญลาทิฟ ลาดิด ประธานสมาคมไอพีวี 6 ระดับนานาชาติเป็นผู้บรรยายนำ และเชิญผู้เขียนเป็นผู้ร่วมอภิปราย ในการอภิปรายผู้เขียนได้ประกาศว่าจะแจกไอพีแอดเดรสให้อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาของมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญทุกคน และเสนอว่ารัฐบาลไทยน่าจะกำหนดให้ประชาชนคนไทยทุกคนมีไอพีแอดเดรสประจำตัวเหมือนกับที่มีชื่อและมีบัตรประชาชน

สมาคมไอพีวี 6 ประเทศไทยมีนายสมพล จันทร์ประเสริฐ เป็นประธานและได้เชิญผู้เขียนเป็นที่ปรึกษา โดยคุณสมพลกับผู้เขียนก็คุ้นเคยกันดีอาทิ คุณสมพลเป็นอุปนายกสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติสาขาประเทศไทยที่ผู้เขียนเป็นนายก ส่วนลาทิฟ ลาดิดกับผู้เขียนก็รู้จักกันดีโดยเคยเป็น 2 ใน 15 กรรมการบริหารสมาคมอินเทอร์เน็ตนานาชาติ

5. ไอพีแอดเดรสรุ่นที่หกในต่างประเทศ

จากการที่ไอพีรุ่นที่สี่จะหมดและประโยชน์ต่างๆ ของไอพีรุ่นที่หกก็ทำให้ประเทศทั้งหลาย

สนใจที่จะพัฒนาจากไอพีรุ่นที่สี่เป็นไอพีรุ่นที่หก ดังตัวอย่างในประเทศญี่ปุ่น เกาหลีใต้ อินเดีย ไต้หวัน และจีน

5.1 ไอพีรุ่นที่หกในญี่ปุ่น

รัฐบาลญี่ปุ่นกำหนดนโยบายไอซีที 2010 (ICT 2010) มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีด้านโทรคมนาคม ตามนโยบายดังกล่าว รัฐบาลญี่ปุ่นได้พยายามออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีล่าสุดที่สามารถรองรับระบบไอพีวี 6 ได้ด้วย ภายใต้ชื่อว่า “ยู-เจแปน (Ubiquitous Japan)” ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ การให้บริการอย่างต่อเนื่องโดยผู้ใช้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ทุกที่ทุกเวลา (Ubiquitous Access) การใช้งานเป็นแบบสากล (Universal) ใช้งานได้ง่าย (User-Friendly) และมีการทำงานเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (Unique) เป็นต้น

เทคโนโลยีใหม่ที่รัฐบาลญี่ปุ่นกำลังพัฒนาอยู่นี้มุ่งเน้นให้ผู้ใช้สามารถทำการเชื่อมต่อได้จากทุกที่ทุกเวลา โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 4จี (4G) อาทิ ผู้ใช้อาจติดต่อหรือสนทนากับคู่สนทนาที่อยู่อีกฟากหนึ่งของโลกได้ทันทีโดยใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียมและการนำเทคโนโลยีชี้เฉพาะด้วยคลื่นวิทยุหรืออาร์เอฟไอดี (RFID = Radio Frequency Identification) มาใช้แทนเทคโนโลยีชี้เฉพาะด้วยแสงหรือเซ็นเซอร์ (Sensor) แบบเก่า เป็นต้น

นอกจากนี้รัฐบาลญี่ปุ่นวางแผนจะจัดทำโครงการรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นเพื่อสนับสนุนการจัดหาและจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถรองรับการทำงานของระบบไอพีวี 6 ซึ่งโครงการนี้ยังอยู่ในระหว่างการพิจารณาของคณะกรรมาธิการประชาคมยุโรป (European Commission) ถึงแม้ว่าจะถูกคัดค้านจากหอการค้านานาชาติ หรือ ไอซีซี (ICC = International Chambers of Commerce)

ญี่ปุ่นพยายามที่จะกำหนดยุทธศาสตร์ใหม่ๆ ทางด้านไอทีอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ประเทศญี่ปุ่นกลายเป็นประเทศที่ก้าวหน้าที่สุดในโลกด้านไอที ทั้งนี้การส่งเสริมระบบไอพีวี 6 ก็เป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ทางด้านไอทีของญี่ปุ่น การส่งเสริมระบบไอพีวี 6 ไม่เพียงแค่ทำในประเทศญี่ปุ่นเท่านั้น แต่ญี่ปุ่นพยายามที่จะส่งเสริมให้ทั่วโลกรู้จักและนำระบบไอพีวี 6 มาใช้ โดยได้ก่อตั้งคณะกรรมการส่งเสริมไอพีวี 6 (IPv6 Promotion Council) ขึ้น ผู้สนใจสามารถเข้าไปค้นรายละเอียดได้ที่เว็บ www.v6pc.jp

ปัจจุบันนี้คณะกรรมการส่งเสริมไอพี หรือ “วี6พีซี (v6PC)” ให้ความสำคัญกับโครงการต่างๆ ที่เน้นเกี่ยวกับการสื่อสารระยะไกล อาทิ โครงการอินเทอร์เน็ตในรถยนต์ โครงการไอพีทีวี และโครงการบ้านดิจิตอล เป็นต้น และยังสนับสนุนสินค้าที่เกี่ยวข้องกับไอพีวี 6 อีกมากมาย อาทิ กล้องที่ใช้เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เครื่องพิมพ์บนเครือข่าย เราท์เทอร์ และโทรศัพท์ที่ใช้ไอพี เป็นต้น ทั้งนี้รัฐบาลญี่ปุ่นคาดว่าจะพร้อมใช้งานระบบไอพีวี 6 ได้อย่างเต็มรูปแบบใน พ.ศ. 2550

5.2 ไอพีรุ่นที่หกในเกาหลีใต้

ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544 รัฐบาลเกาหลีใต้ โดยรัฐมนตรีกระทรวงการสื่อสาร ซึ่งเป็นผู้นำของบริษัทซัมซุงได้กำหนดนโยบายไอที 839 มุ่งเน้นภาคอุตสาหกรรม ให้บริการ 8 รูปแบบ 3 โครงสร้าง และ 9 เครื่องจักรกล โดยใช้เป็นแนวทางได้ประกาศในวาระการประชุมไอพีวี 6 (IPv6 Summit) เมื่อ ธันวาคม 2535

เมื่อกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ผู้ให้บริการไอพี แคสเปี้ยน (Caspian) ผู้นำด้านการให้บริการการจัดการด้านไอพีและเครือข่ายหลายทางหรือ “เอ็มพีแอลเอส (MPLS = Multi-Protocol Label Switching)” ร่วมมือกันพัฒนาระบบเทคโนโลยีร่วมกับ “สถาบันค้นคว้าด้านพลังงานและการสื่อสาร”

หรือ “อีทีอาร์ไอ (ETRI = Electronics and Telecommunications Research Institute)” ในการให้บริการระบบไอพีวี 6

การพัฒนาคุณภาพของการให้บริการ หรือ “คิวโอเอส (QoS = Quality of Service)” ด้านเครือข่ายในการแก้ปัญหาความร่วมมือกันของเครือข่ายผู้ให้บริการบรอดแบนด์ (Broadband) ในเกาหลีใต้

การร่วมมือกันระหว่างแคสเปี้ยนและอีทีอาร์ไอ มุ่งประเด็นสำคัญไปที่การให้บริการแบบใหม่ของระบบไอพีวี 6 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ระบบไอพีวี 4 มาเป็นการใช้ระบบไอพีวี 6 แทนการแก้ปัญหาโดยใช้ “เกตเวย์แบบเดี่ยว (Sigel Gateway)” ทำให้มีอุโมงค์ด้านการสื่อสารในระบบไอพีวี 6 มากกว่าระบบไอพีวี 4 ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ เกาหลีใต้เป็นหนึ่งในจำนวนหลายประเทศที่นำเอาระบบไอพีวี 6 มาใช้ให้ประสบความสำเร็จเป็นอันดับต้นๆ ของโลก

การแก้ปัญหาโดยการย้ายช่องทางในระบบไอพีวี 4 ไปสู่ช่องทางการสื่อสารในรูปแบบการสื่อสารแบบเครือข่ายระหว่างในระบบไอพี 6 เพื่อให้แน่ใจถึงผลที่ได้

จุดมุ่งหมายคือ การออกแบบระบบให้สามารถลดค่าใช้จ่าย และแก้ปัญหาจากการลงทุนด้านเครือข่ายของระบบไอพีวี 4

ระบบไอพีวี 6 จะสามารถปรับปรุงความสามารถในด้านการรักษาความปลอดภัย ที่ตั้งของการให้บริการและระบบการขยายอาณาเขตใหม่ การเพิ่มคุณภาพการให้บริการในระบบไอพีวี 6 จะต้องพัฒนาส่วนประกอบพื้นฐานเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในพัฒนาเครือข่ายระบบในรุ่นต่อๆ ไป

แคสเปี้ยนประสบความสำเร็จในการร่วมมือกับอีทีอาร์ไอ ในฐานะผู้พัฒนาระบบรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ของเกาหลีใต้

เครือข่ายรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ของเกาหลีใต้เป็นหนึ่งในจำนวนหลายๆ เครือข่ายที่ยอมเสียสละช่องสัญญาณให้ใช้เพื่อสนับสนุนการให้บริการอินเทอร์เน็ตแบบมัลติมีเดีย อาทิ โทรศัพท์ผ่านเน็ตหรือ “วีโอไอพี (VoIP = Voice Over Internet Protocol)” ภาพ และเสียงผ่านเน็ต เป็นต้น ซึ่งการให้บริการนี้ครอบคลุมกลุ่มผู้ใช้งานมากกว่า 20 ล้านคนทั่วประเทศ

5.3 ไอพีรุ่นที่หกในอินเดีย

นโยบายการพัฒนาโปรโตคอลรุ่นที่ 6 ของอินเดีย จากความร่วมมือของกระทรวงเทคโนโลยีและสารสนเทศ (MCIT) และหน่วยงานทีอาร์เอไอ (TRAI = Telecom Regulatory Authority) หรือจากเว็บทีอาร์เอไอดอทกอฟดอทอิน (www.trai.gov.in) ทั้ง 2 หน่วยงานรับผิดชอบแนวทางหลักเพื่อมุ่งเน้นการทดแทนเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล รุ่นที่ 4 เดิม คือ ขยายจากขนาด 2.8 เมกะไบต์ เป็นบรอดแบนด์ขนาด 20 เมกะไบต์

เมื่อสิงหาคม พ.ศ. 2548 หน่วยงานทีอาร์เอไอ และกระทรวงเทคโนโลยีและสารสนเทศ (MCIT) เป็นแกนนำในนโยบายหลักเพื่อพัฒนาโปรโตคอลรุ่นที่ 6 ให้ทันกับความต้องการของภาครัฐและภาคเอกชน นอกจากนี้ เมื่อเดือนธันวาคมในปีเดียวกัน หน่วยงานทีอาร์เอไอได้ทำการวิจัยค้นคว้านวัตกรรมใหม่เพื่อมุ่งสู่เครือข่ายการสื่อสารยุคใหม่ (NGN = Next Generation Networks)

เมื่อ พ.ศ. 2549 รัฐบาลอินเดียได้จัดรวมกลุ่มสมาชิกของภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอยู่ระหว่างขั้นตอนการพัฒนาโปรโตคอลรุ่นที่ 6 หรือจากในนามเว็บไอพีวี 6 ฟอรัมดอทอิน (www.ipv6forum.in/) นอกจากนี้เมืองอุตสาหกรรมของอินเดีย (อาทิ บังกาลอร์) ได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกร่วมพัฒนาไอพีวี 6 กับภูมิภาคอื่นๆ อาทิ อเมริกาเหนือ กลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป เป็นต้น

สถาบันการศึกษาของอินเดียหลายแห่งได้เข้าร่วมการทดลองใช้เทคโนโลยีไอพีวี 6 กับกลุ่มไอพีวี 6 ฟอรัม อาทิ ศูนย์เทคโนโลยีอินเดีย ศูนย์เทคโนโลยีแห่งบังกาลอร์ เครือข่ายวิจัยและการศึกษาหรือ “อีอาร์เน็ต (ERNET = Educational & Research Network)” เป็นต้น

5.4 ไอพีรุ่นที่หกในไต้หวัน

รัฐบาลไต้หวันออกนโยบายแบบเร่งรัด โดยลงทุนถึง 10 ล้านดอลล่าร์สหรัฐในชื่อโครงการไต้หวันอิเล็กทรอนิกส์หรือ “อีไต้หวัน (e-Taiwan)” สอดคล้องกับนโยบายของ ฯพณฯ ดร.ลิน (นายกรัฐมนตรีไต้หวัน) กำหนดแผนแม่บทของประเทศ เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต พัฒนาในด้านต่างๆ อาทิ สังคมอิเล็กทรอนิกส์ (e-Society) พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-Commerce) รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) และการขนส่งอิเล็กทรอนิกส์ (e-Transportation) นโยบายนี้มุ่งเน้นโครงการไอพีวี 6 ในระดับประเทศให้มีความเท่าเทียมกันในการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต รวมถึงโครงการ 6 ไมโอ บรอดแบนด์ (6 Mio Broadband end-users) ที่ตั้งเป้าถึงปี พ.ศ. 2551 ที่จะบรรลุการใช้ไอพีวี 6 อย่างเต็มรูปแบบ โดยกำหนดให้เครือข่ายภาครัฐ ต้องมีการใช้ไอพีวี 6 ภายใน พ.ศ. 2550 ซึ่งได้แบ่งคณะทำงานเป็นส่วนต่างๆ อาทิ คณะทำงานด้านการวิจัยและพัฒนาคณะทำงานด้านการปฏิบัติการ คณะทำงานด้านโครงสร้างเครือข่าย และคณะทำงานด้านการประยุกต์ใช้และการประชาสัมพันธ์ เป็นต้น

นอกจากนี้หน่วยงานภาครัฐยังได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานที่ไม่หวังผลกำไรในการพัฒนาอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่ 6 เพื่อเป้าหมายที่จะสร้างสภาพแวดล้อมทางอินเทอร์เน็ตในยุคหน้า (Next Generation Internet Environment) โดยหน่วยงานและองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาไอพีวี 6 ในประเทศไต้หวันมีมากมาย อาทิ กระทรวงคอมพิวเตอร์ด้านการศึกษา หรือ “เอ็มโออีซีซี (MOECC = Ministry of Education Computing Center)” คณะกรรมาธิการวิทยาศาสตร์แห่งชาติ หรือ “เอ็นซีเอสซี (NCHC of NSC = National Science Council)” ศูนย์คอมพิวเตอร์วิชาการซินิก้า หรือ “เอเอสซีซี (ASCC = Academic Sinica Computing Center)” จุงหวา เทเลคอมหรือ “ซีเอชที (CHT = Chunghwa Telecom)” และศูนย์เครือข่ายสารสนเทศไต้หวัน หรือ “ทีดับบลิวเอ็นไอซี (TWNIC = Taiwan Network Information Center)” เป็นต้น

ตัวอย่างในการพัฒนาไอพีวี 6 มีมากมาย อาทิ สนับสนุนเชื่อมต่อเครือข่ายโรงเรียนและมหาวิทยาลัยได้ร้อยละ 100 สนับสนุนผู้ใช้งานมากกว่า 3 ล้าน วางแผนขยายระบบให้สามารถใช้ได้ทั่วประเทศ สนับสนุนการใช้อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในมหาวิทยาลัยได้ถึง 12 กิกกะป๊อป (GigaPOPs = Ggigabit Point of Presence) เป็นต้น มหาวิทยาลัยที่มีวิทยาเขตต่างพื้นที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านระบบไอพีวี 6 ได้ รวมถึงการพัฒนาต่อยอดการใช้เทคโนโลยีในการใช้ไอพีวี 6 ในราคาต่ำต่อไปในอนาคต

5.5 ไอพีรุ่นที่หกในจีน

ในปี พ.ศ. 2549 รัฐบาลจีนใช้นโยบายพัฒนาจีนไปสู่จีนยุคใหม่ โดยจีนลงทุนด้านอินเทอร์เน็ตกว่า 170 ล้านดอลล่าร์ จากความร่วมมือของแพททริค โคเคว็ต (Patrick Coquet) ทาเย็บ เบน มีเรียม (Tayeb Ben Meriem) ลาติฟ ลาดิด (Latif Ladid) รัฐบาลญี่ปุ่น รัฐบาลจีน และสมาชิกอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องจัดตั้งกลุ่มพัฒนาเทคโนโลยี IPv6 ในรูปโครงการมากมาย อาทิ “ซีเอ็นจีไอ (CNGI = China Next Generation Internet)” เพื่อตอบสนองกับกลุ่มเทคโนโลยีแบ๊คโบนเพื่อการค้า (Commercial Backbone) ที่ใหญ่ที่สุด

ในการประชุม ไอพีวี 6 ปักกิ่ง (Beijing IPv6 Summit) ดอกเตอร์ วู เฮควน รองประธานวิศวกรรม และหนึ่งในผู้บริหารโครงการ ซีเอ็นจีไอ กล่าวว่า “จีนลดช่องว่างในการพัฒนาประเทศให้เทียบเท่านานาอารยประเทศ โดยมุ่งเน้นอินเทอร์เน็ตยุคใหม่ที่ต้องประกอบด้วยการสำรวจและสร้างนวัตกรรมใหม่ ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีไอพีวี 6 (IPv 6) ซีเอ็นจีไอ (CNGI) เอ็นจีเอ็น (NGN) และ 3จี (3G)” โดยเอื้อต่อความตื่นเต้นด้านอุตสาหกรรมไอทีของจีน

ปัจจุบัน จีนเป็นประเทศที่มีจำนวนผู้ใช้อินเทอร์เน็ตมากเป็นอันดับ 2 ของโลก จึงเป็นปัจจัยกระตุ้นให้รัฐบาลจีนเร่งพัฒนา เพื่อก้าวสู่โลกอินเทอร์เน็ตอนาคต และเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารกันได้ง่ายขึ้น

6. ตัวอย่างโครงการอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลรุ่นที่หกในยุโรป

เครื่องจักรอุปกรณ์หลัก อาทิ เราท์เทอร์ (Router) และคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) เป็นต้น ที่ใช้กันอยู่ในระบบไอพีวี 4 นั้นสามารถรองรับไอพีวี 6 ได้ ส่วนการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทั้งหลายในไอพีวี 4 ก็สามารถใช้ต่อไปในไอพีวี 6 ได้เลย ในยุโรปได้มีโครงการไอพีวี 6 หลายโครงการ ดังตัวอย่างเช่น ไอพีวี 6 ในเครือข่ายบ้าน ไอพีวี 6 ในเครือข่ายการขนส่งเคลื่อนที่ และไอพีวี 6 ในกรณีฉุกเฉิน

6.1 การประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ในเครือข่ายบ้าน

ปัจจุบันนี้เครือข่ายบ้าน อุปกรณ์อินเทอร์เน็ต และการให้บริการแบบครบวงจรด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ล้วนเป็นทางเลือกใหม่สำหรับอุตสาหกรรมอินเทอร์เน็ตซึ่งประกอบด้วย ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISPs) ผู้จัดจำหน่าย (Vendors) ผู้ปฏิบัติงานด้านอุปกรณ์เครือข่าย (Networking Appliances Performers) และผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Appliances Vendors) แทบทั้งหมด

ธุรกิจประเภทนี้ค่อนข้างจะซับซ้อน เนื่องจากการที่จะประสบความสำเร็จในด้านนี้ได้ต้องเน้นการให้บริการที่ประทับใจเพื่อสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้าทำให้ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตพยายามที่จะแข่งขันคิดค้นหาวิธีชนะใจลูกค้าโดยมีแนวคิดว่า “ต้องราคาถูกและมีประสิทธิภาพ” แต่ส่วนใหญ่ลูกค้าที่สนใจที่จะติดตั้งเครือข่ายบ้านก็ต้องเรียกใช้บริการจากผู้ใช้บริการอยู่แล้วเนื่องจากลูกค้าไม่มีความรู้เพียงพอเกี่ยวกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (IP Network)

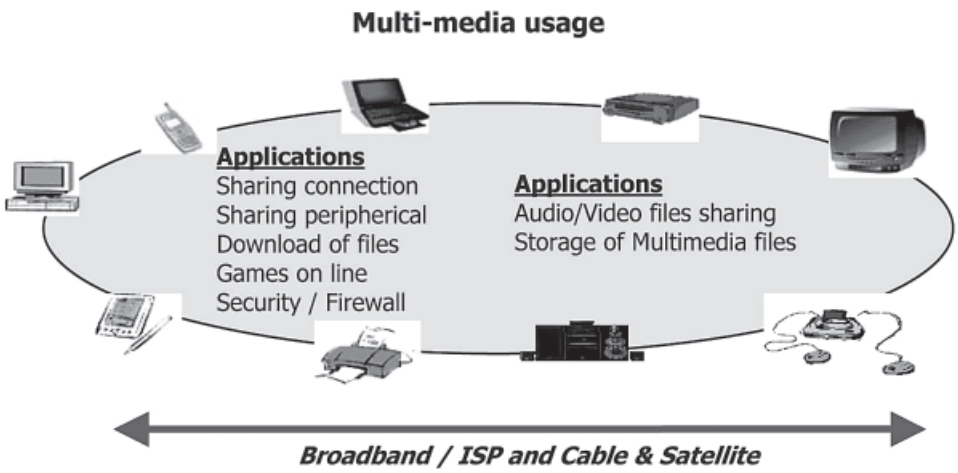
เครือข่ายบ้านไม่จำเป็นต้องมีราคาแพง เนื่องจากมีอุปกรณ์รุ่นใหม่ถูกคิดค้นมาแทนรุ่นเก่าอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งแทบทุกบ้านล้วนมีเครื่องคอมพิวเตอร์หรือบางบ้านอาจมีเครื่องคอมพิวเตอร์มากกว่าหนึ่งเครื่องด้วยซ้ำ

ในปัจจุบันนี้เครือข่ายบ้านไม่มีอะไรซับซ้อนมากนักคือมีแค่คอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องกับตัวรับ/ส่งสัญญาณก็สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้แล้ว หรือถ้ามีคอมพิวเตอร์มากกว่าหนึ่งเชื่อมต่อกับตัวรับ/ส่งสัญญาณ ก็สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตรวมถึงการแบ่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันภายในบ้านก็ได้

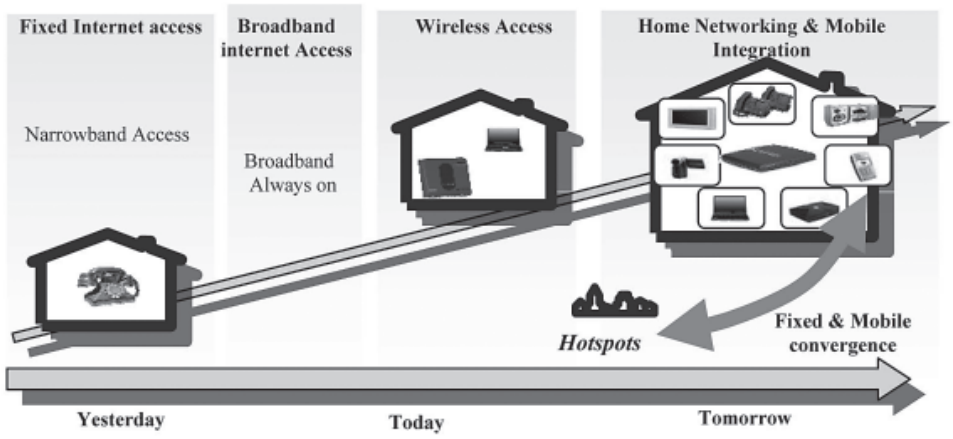
อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมประเภทนี้มีความพยายามที่จะคิดค้นและพัฒนาการให้บริการอยู่ตลอดเวลาเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ดีที่สุด โดยคำนึงตลาดการให้บริการถึงบ้านเป็นสำคัญ

การให้บริการถึงบ้าน (Residential Service) เน้นบริการแบบมีมัลติมีเดียเป็นหลัก อาทิ การฟังเพลงผ่านเน็ต การดูทีวีผ่านเน็ต การเล่นเกมส์ผ่านเน็ต การโทรศัพท์ผ่านเน็ต และเข้าควบคุมคอมพิวเตอร์จากที่อื่น ดังแสดงในรูปที่ 5

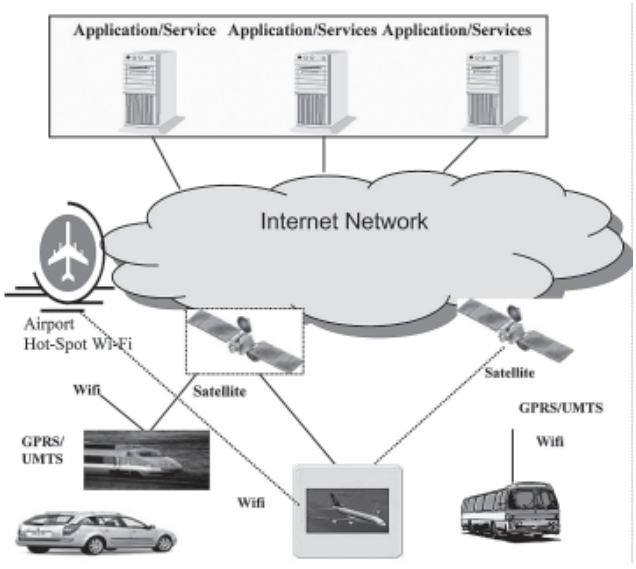
เนื่องจากเทคโนโลยีที่ก้าวไปอย่างไม่หยุดยั้งทำให้ผู้ให้บริการพยายามจัดหาบริหารให้ลูกค้าในขอบเขตการให้บริการที่กว้างและไกลขึ้น



รูปที่ 26 วิวัฒนาการเครือข่ายบ้าน



รูปที่ 27 วิวัฒนาการเครือข่ายบ้านแบบ 3 ยุค



รูปที่ 28 เครือข่ายขนส่งเคลื่อนที่

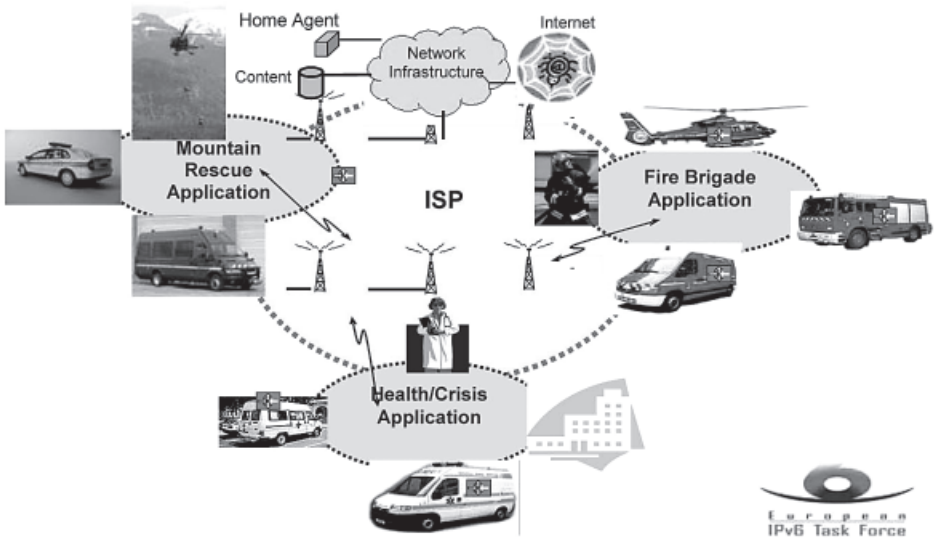
ซึ่งอาจจะเป็นปัญหากับไอพีวี 4 แต่ไอพีวี 6 สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ อีกทั้งยังสามารถรองรับการให้บริการแบบหลายเครือข่ายหรือ “มัลติคาสต์ (Multicast)” และมีระบบรักษาความปลอดภัยที่ดีกว่าเดิมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6

6.2 การประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ในเครือข่ายการขนส่งเคลื่อนที่

เครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้อยู่ทั่วไปหลายเครือข่ายอาจจะถือว่าเป็นเครือข่ายอยู่กับที่ (Fixed Network) ในแง่ที่

- แม่ข่าย (Server) ก็อยู่กับที่ คือ อยู่ที่ “ศูนย์ปฏิบัติการเครือข่าย” หรือ “นอค (NOC = Network Operation Center)”
- ลูกข่าย (Client) ก็อยู่กับที่ อาทิ อยู่ที่โต๊ะทำงาน เป็นต้น

ในอีกกรณีหนึ่งอาจจะถือว่าเครือข่ายเป็นเครือข่ายเคลื่อนที่ เช่น เครือข่ายขนส่งเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 28 ด้านล่างซ้ายของรูปเป็นรถยนต์ซึ่งขับเคลื่อนอยู่บนถนนแล้วเชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ตโดยทางไวไฟ (WiFi = Wireless Fidelity) หรือทางดาวเทียม ด้านล่างกลางเป็นเครื่องบินซึ่งเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตกับสนามบินโดยไวไฟ หรือ ไวแมกซ์ (WiMAX = Worldwide Interoperability for Microwave Access) ซึ่งอาจมีรัศมีถึง 50 กิโลเมตร ถ้าเครื่องบินอยู่บนฟ้าก็อาจจะเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียมได้หลายดวง ด้านล่างขวาของรูปเป็นรถโดยสารซึ่งเชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ตโดยไวไฟหรือไวแมกซ์ หรือดาวเทียมก็ได้ ส่วนผู้โดยสารไม่ว่าจะเป็นในรถยนต์ ในเครื่องบิน หรือในรถโดยสาร ก็อาจใช้โทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์หิ้วถือเชื่อมโยงกับแม่ข่ายย่อย (Server) ในรถหรือในเครื่องบินนั้น



รูปที่ 29 เครือข่ายเคลื่อนที่ในภาวะฉุกเฉิน

ข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับเครือข่ายขนส่งเคลื่อนที่ คือ ความสามารถในการเชื่อมต่อกับไอพีอย่างถาวร (Permanent IP) โดยไม่ขึ้นกับว่าเชื่อมต่ออยู่กับแม่ข่ายย่อยใด ยิ่งกว่านั้นยังต้องมีข้อกำหนดด้านคุณภาพของบริการที่ดีพอและข้อกำหนดด้านความปลอดภัยอย่างเพียงพอ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ในเครือข่ายขนส่งเคลื่อนที่มีดังต่อไปนี้

- ต้องการใช้แผนที่การเดินทางจากอินเทอร์เน็ตว่าจะไปที่ใดที่หนึ่งนั้นจะไปทางไหนดี เป็นต้น
- การบำรุงรักษา เช่น กำลังเดินทางอยู่แล้วถึงกำหนดต้องบำรุงรักษาพาหนะ อยากทราบจากอินเทอร์เน็ตว่าจะไปรับบริการที่ใด หรือว่าถ้าเลื่อนการรับบริการจะมีผลกระทบอย่างไร
- เมื่อเกิดอุบัติเหตุอยากทราบจากอินเทอร์เน็ตว่าจะทำอะไรอย่างไรดี
- อยากทราบจากอินเทอร์เน็ตว่าทางที่จะเดินทางไปนั้นจะมีรถติดมากน้อยเพียงใด และจะแก้ไขอย่างไร
- อยากรับส่งสารสนเทศไม่ว่าจะกับบุคคลแต่ละคนหรือกับทั้งกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง มีตัวอย่างการใช้ไอพีวี 6 มากมาย ดังในกรณีต่อไปนี้ที่ยุโรป
- “จีทีเอส (GTS = Global Telematics Systems)” เป็นโครงการในยุโรปที่ประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ในอุตสาหกรรมยานยนต์
- “ซี2ซี (C2C = Car-to-Car)” หรือ “ซี2ไอ (C2I = Car-to-Infrastructure)” เป็นโครงการในยุโรปที่จะประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ระหว่างพาหนะต่อพาหนะ หรือระหว่างพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐาน

6.3 การประยุกต์ใช้ไอพีวี 6 ในกรณีฉุกเฉิน

ในโลกนี้มีกรณีฉุกเฉินมากมาย อาทิ กรณีคลื่นยักษ์สึนามิในเอเชีย เมื่อปลายปี พ.ศ. 2548 และกรณีพายุเฮอร์ริเคนแคทรินาในอเมริกา เมื่อกันยายน พ.ศ. 2548 เป็นต้น ล้วนจำเป็นต้องมีเครือข่ายเคลื่อนที่ในภาวะฉุกเฉิน ฉะนั้น ดังตัวอย่างโครงการยู-2010 (U-2010) ซึ่งเป็นโครงการที่ช่วยพัฒนาความสามารถในการสื่อสาร โดยมีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

- มีการประสานข้อมูล เสียง และวิดีโอ เพื่อให้ทราบเหตุการณ์ภาวะฉุกเฉินที่กำลังเกิดขึ้น
- มีการปรับปรุงข้อมูลตามเวลาจริงในระบบดิจิตอล
- มีแนวทางการแก้ปัญหากำหนดให้เป็นมาตรฐานในระดับชาติ และการประสานความร่วมมือกับกองกำลังสนับสนุน
- มีการตั้งศูนย์ควบคุมภาวะฉุกเฉินเสมือนจริง
- มีการเข้าสู่ระบบหน่วยงานภาครัฐผ่านการลงทะเบียนด้วยระบบจีเอสเอ็ม/ยูเอ็มทีเอส (GSM/UMTS)
- มีระบบอัตโนมัติและเอ็มเอสเอ็นและการถ่ายทอดเสียง

7. สรุป

อินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ถึง พ.ศ. 2549 ถ้าหน่วยงานใดไม่ใช้อินเทอร์เน็ต หน่วยงานนั้นก็ไม่สามารถแข่งขันกับใครได้ ในการใช้อินเทอร์เน็ตจำเป็นต้องมีเลขที่ประจำเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ทุกเครื่องในเครือข่าย โดยระบบเลขที่ดังกล่าวประกาศใช้เมื่อ พ.ศ. 2524 เรียกว่า ไอพีรุ่นที่ 4 (IPv4) ซึ่งมีได้ประมาณ 4,000 ล้านเลขที่ ดูจะมากมายเกินพอ ใน พ.ศ. 2524 แล้วถึงใน พ.ศ. 2543 ก็ได้จัดสรรไอพีรุ่นที่ 4 ไปแล้วประมาณครึ่งหนึ่งของทั้งหมด และคาดกันว่าใน พ.ศ. 2551 หรือไม่นานหลังจากนั้นก็จะใช้ไอพี รุ่นที่ 4 จนหมดเกลี้ยง ทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตได้ต่อไปอย่างสะดวก ฉะนั้นจึงมีการปรับปรุงไอพีรุ่นที่ 4 ให้เป็นไอพีรุ่นที่ 6 ซึ่งมีเลขที่ได้ถึงประมาณ 3.4×10^{38} เลขที่ นอกจากจะมีเลขที่มากมายมาให้ใช้ได้ทุกด้านแล้ว ยังสามารถนำไอพีรุ่นที่ 6 ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากกว่าไอพีรุ่นที่ 4 อาทิ ช่วยให้เครือข่ายทำงานได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยให้สามารถกำหนดคุณภาพของบริการให้ดีขึ้น ช่วยให้เครือข่ายมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และช่วยให้เครือข่ายมีความปลอดภัยมากขึ้น ประเทศต่างๆ ได้พากันทดลองใช้ไอพีรุ่นที่ 6 และประกาศนโยบายสนับสนุนไอพีรุ่นที่ 6 ตัวอย่างเช่น กระทรวงกลาโหมอเมริกันประกาศว่า จะเปลี่ยนจากไอพีรุ่นที่ 4 เป็นไอพีที่ 6 ภายใน พ.ศ. 2551 ฉะนั้นประเทศไทยจึงควรประกาศนโยบายให้ชัดเจนและเร่งรัดพัฒนาการประยุกต์ใช้ไอพีรุ่นที่ 6 เพื่อประโยชน์ของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ของประเทศไทยในที่สุด ◎

บรรณานุกรม

1. Charmonman, S. The Internet and AUnet Proposal. Submitted to and Approved by the Board of Trustees, Assumption University, Thailand. August 1993.
2. Charmonman, S. Internet Computer Access in Thailand. International Conference in Globalization of Computers and Communications. Unesco, Bombay. 25-27 November 1993.
3. Charmonman, S.; Anaraki, F.; and Nalwa-Sehgal, V. The ABCs of the Internet. Assumption University Press, 1994, 186 pp.
4. Charmonman, S. and Anaraki, F. “An Internet Project for 100,000 Users in Thailand”,

Proceedings of INET'94, organized by the Internet Society, held in Prague, the Czech Republic, June 15-17, 1994, pp. 434.1-434.9.

5. Charmonman, S. and Wongwatanasin, K. and Firouz, A. Present and Future State of the Internet. Proceedings of the International Conference of Internet Technology and Applications. September 1994, pp. 1-12
6. Charmonman, S., Wongwatanasin, K, and Anucha Pitaksanonkul. Internet for Traffic Control in Bangkok. Presented to Traffic Control Seminar, organized by the Commission for the Management of Road Traffic, Office of the Prime Minister, Ambassador Hotel, Bangkok, 8-9 May, 1995.
7. Charmonman, S. and Wongwatanasin, K. Internet with Encryption for Traffic Control in Thailand. Presented to the Information Systems Education Conference'95 sponsored by the Data Processing Management Association, Charlotte, North Carolina, USA., November 3-5, 1995, pp. 101-107.
8. Charmonman, S. and Wongwatanasin, K. Internet and Telecommunication Businesses, Sasin, May 25, 1996.
9. Charmonman, S. and Wongwatanasin, K. Internet Technology, Thai-Japanese Technology Promotion Magazine, April-May, 1996. P. 73-78.
10. Charmonman, S. and Wongwatanasin, K. Internet and Electronic Commerce. A paper for Thai-Finnish Chamber of Commerce Seminar, Landmark Hotel, Rib Room, 31st Floor, Bangkok, Thailand, 24 September 1997.
11. Charmonman, S. KSC: The First and Largest Commercial ISP in Thailand. Invited paper presented to Asia Pacific Carrier & ISP Executive Forum, Phuket, Thailand, March 10-11, 1999.
12. Charmonman, S. Internet Market Situation in Thailand. Invited paper presented to the Workshop on Internet Policy and E-Commerce organized by Asia-Pacific Telecommunity, Hua Hin, May 11-13, 1999.
13. Charmonman, S. and Rear Admiral Sribhadung P. Internet Industry in Thailand 1999. Invited paper presented at the 1st International Asia-Pacific Telecommunications Forum, 28-29th October 1999, ETRI, Taejon, Korea.
14. ศรีศักดิ์ จามรมาน และกนกวรรณ ว่องวัฒนะสิน ความรู้พื้นฐานทางอินเทอร์เน็ต เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมสมาชิกแจ้งข่าวอาชญากรรมอินเทอร์เน็ต "Internet Police" รุ่นที่ 1 จัดโดยกรมตำรวจ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ และบริษัท เคเอสซี คอมเมอร์เชียล อินเทอร์เน็ต จำกัด โดยได้รับความสนับสนุนจากสมาคมอินเทอร์เน็ต สมาคมเอซีเอ็มประเทศไทย และมูลนิธิ ศ.ดร.ศรีศักดิ์ จามรมาน ณ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ 21 พฤษภาคม 2541
15. Kanokwan Wongwatanasin and Srisakdi Charmonman. Internet in Asia: Local Empowerment or Cybercolonialism. A paper presented to "Asia's Information Marketplace: Race for Technology, Content & Competence" Conferece, organized by AMIC (Asian Media Information and Communication Centre Ltd., at Novotel Hotel, Bangkok, Thailand, May 21, 1998.

16. Charmonman, S. KSC: The Only Major ISP in the World with Profits from the First Year of Operation. Invited paper presented to Asia Pacific Carrier & ISP Executive Forum, March 10-11, 1999, Sheraton Grande Laguna Hotel in Phuket, Thailand.
17. Charmonman, S. and Kanokwan Wongwatanasin KSC: The Only Major ISP in the World with Profits from Day One. Invited paper presented to Flemings Information Technology Conferece'99, April 19-20, 1999, Rihga Royal Hotel, New York City, USA. This paper is modified from the one presented in New York by taking into account the comments and suggestions from the participants.
18. Rear Admiral Prasart Sribhadung and Srisakdi Charmonman Internet Industry in Thailand. Presented at the 1st International Asia-Pacific Telecommunications Forum, 28-29th October. 1999, ETRI, Taejon, Korea.
19. ศรีศักดิ์ จามรมาน มาตรการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาบนอินเทอร์เน็ต เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนา "มาตรการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาบนอินเทอร์เน็ต" จัดโดยสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ณ ห้องกมลทิพย์ 3 โรงแรมสยามซิตี้ ถนนศรีอยุธยา 22 กันยายน 2543
20. ศรีศักดิ์ จามรมาน เล่นหุ้นอย่างไรโดยใช้อินเทอร์เน็ต เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง "การเล่นหุ้นบนอินเทอร์เน็ต" ในงานวันส่งเสริมการส่งออกไทย 2543 จัดโดยสมาคมอินเทอร์เน็ตมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ และบริษัทเคเอสซีคอมเมอร์เชียล อินเทอร์เน็ต จำกัด โดยได้รับความสนับสนุนจากสมาคมอินเทอร์เน็ต สมาคมคอมพิวเตอร์นานาชาติ เอซีเอ็มประเทศไทย สมาคมคอมพิวเตอร์แห่งสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สาขาประเทศไทย และมูลนิธิ ศ.ดร.ศรีศักดิ์ จามรมาน ณ ห้องประชุม 215-217 ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค 6 ตุลาคม 2543
21. ศรีศักดิ์ จามรมาน อาชญากรรมข้ามชาติ: อาชญากรรมบนอินเทอร์เน็ต ผลกระทบต่อความมั่นคงและมาตรการการป้องกัน เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนา "อาชญากรรมข้ามชาติ: อาชญากรรมบนอินเทอร์เน็ต ผลกระทบต่อความมั่นคงและมาตรการการป้องกัน" จัดโดย Council for Security Cooperation in the Asia Pacific-Thailand (CSCAP Thai) ศูนย์การศึกษาต่างประเทศและกรมเอเชียตะวันออก กระทรวงการต่างประเทศ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 2 กระทรวงการต่างประเทศ ถนนศรีอยุธยา 9 ตุลาคม 2543
22. ศรีศักดิ์ จามรมาน Internet System and e-Commerce เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร Advanced Telecommunications Technology ครั้งที่ 8 จัดโดยภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ร่วมกับกรมวิเทศสหการและรัฐบาลญี่ปุ่น (JICA) ณ ห้องประชุมชั้น 2 ตึกโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างวันที่ 9 ตุลาคม-24 พฤศจิกายน 2543
23. Charmonman, S. The Role of Internet in ASEAN Development. Invited paper presented to Telecom Asia 2000 Forum "Gateway to Opportunity" organized by the International Telecommunication Union (ITU) at the Honk Kong Convention and Exhibition Centre (HKCEC), Hong Kong,

People Republic of China, 4-9 December, 2000.

24. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ สายพิณ ช่อโพธิ์ทอง อินเทอร์เน็ตระหว่างโลกและดาวอังคาร หนังสือไมโครคอมพิวเตอร์ ปีที่ 19 ฉบับที่ 190 พฤษภาคม 2544
25. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ สายพิณ ช่อโพธิ์ทอง แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพหน่วยงานด้วยระบบอินเทอร์เน็ต เอกสารประกอบการอบรมสัมมนาผู้บริหารระดับสูงในสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม จัดโดยศูนย์พัฒนากิจการอวกาศกลาโหม สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม ณ ห้องประชุมชั้น 10 อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม 28 สิงหาคม 2544
26. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ สายพิณ ช่อโพธิ์ทอง ฝึกอบรมหลักสูตรประกาศนียบัตรกฎหมายทรัพย์สินทางปัญญา รุ่นที่ 1 เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง “การคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต” จัดโดยสำนักอบรมศึกษากฎหมายแห่งเนติบัณฑิตยสภา ณ เนติบัณฑิตยสภา 28 ตุลาคม 2544
27. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ สายพิณ ช่อโพธิ์ทอง “เครือข่ายคอมพิวเตอร์กับการปฏิรูปการศึกษา” เอกสารประกอบการบรรยาย งานสัมมนาเข้มประจำชุดวิชาสำหรับนักศึกษาปริญญาโท มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ณ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 6 เมษายน 2545
28. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ ณัฏฐณิชา ช่อโพธิ์ทอง การศึกษาทางไกลอินเทอร์เน็ต เอกสารประกอบการอภิปรายในกรณีศึกษา เรื่อง E-Learning ในโครงการ “International Conference on Best Practice University Management” โดยโครงการวิจัยและพัฒนา (R&D) เพื่อพัฒนาผู้บริหารมหาวิทยาลัย The British Council ณ โรงแรมโซฟิเทล จ.ขอนแก่น 24 มกราคม 2546
29. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ ณัฏฐณิชา ช่อโพธิ์ทอง การวิจัยโดยใช้อินเทอร์เน็ต หรือ อี-รีเสิร์ช เอกสารประกอบการอภิปรายการประชุมสามัญประจำปีสภาคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยแห่งประเทศไทย โดย สถาบันราชภัฏสวนดุสิต 14 พฤศจิกายน 2546
30. ศรีศักดิ์ จามรมาน “อินเทอร์เน็ตเพื่อคนพิการโลกใหม่แห่งการเรียนรู้” นิตยสารบอส ปีที่ 12 ฉบับที่ 156 กุมภาพันธ์ 2547
31. ศรีศักดิ์ จามรมาน “ปี 2550 ชาวอเมริกันทุกคนจะสามารถใช้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง” หนังสือพิมพ์เทเลคอมเจอร์นัล ปีที่ 13 ฉบับที่ 511 หน้า 15 วันที่ 3-9 พฤษภาคม 2547
32. ศรีศักดิ์ จามรมาน และ ณัฐณิชา ช่อโพธิ์ทอง เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง “การใช้อินเทอร์เน็ตอย่างปลอดภัย” จัดโดยสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากร ณ ห้องประชุมใหญ่ ชั้น 4 อาคาร นักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากร 28 พฤษภาคม 2547
33. ศรีศักดิ์ จามรมาน อินเทอร์เน็ตกับการประยุกต์ทุกด้านที่ท่านควรทราบ (108 อีนี่อีนั่นจากอีออคชั่นถึงอีซู) สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ 2549
34. Charmonman, S. and Chorpothong, N. “Accreditation of eLearning Degree” Special Issue of IJCIM (volume 12 no. 2), Proceedings of the International Conference on eLearning for Knowledge-Based Society, organized by the Ministry of Information and Communication Technology, Bangkok, Thailand, p. 235-241, August 4-5, 2004.

35. ศรีศักดิ์ จามรมาน “หลายสิบล้านคนทั่วโลกใช้อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงเป็นล้านบิตต่อวินาที” หนังสือพิมพ์เทเลคอมเจอร์นัล ปีที่ 14 ฉบับที่ 559 หน้า 19 วันที่ 4-10 เมษายน 2548
36. Charmonman, S. “University-Level eLearning in ASEAN” Special Issue of IJCIM (volume13 no. SP1), Proceedings of the Second International Conference on eLearning for Knowledge-Based Society, organized by the Ministry of Information and Communication Technology, Bangkok, Thailand, pp. 11.1-11.6, August 4-7, 2005.
37. Charmonman, S. “eASEAN Task Force and eASEAN Business Council” Special Issue of IJCIM (volume 13 no SP2), Preceeding of the International Conference on Computer and Industrial Management (ICIM), organized by Assumption University, Bangkok, Thailand, pp. 23.1-23.4, October 29-30, 2005.
38. ศรีศักดิ์ จามรมาน “ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในจีนจะเพิ่มเป็น 100 ล้านคน จนรัฐบาลจีนต้องออกกฎควบคุม” หนังสือพิมพ์เทเลคอมเจอร์นัล ปีที่ 15 ฉบับที่ 598 หน้า 23 วันที่ 2-8 มกราคม 2549
39. ศรีศักดิ์ จามรมาน “โรงแรมกว่า 2 หมื่นแห่งทั่วโลกให้บริการอินเทอร์เน็ตไวไฟ” หนังสือพิมพ์เทเลคอมเจอร์นัล ปีที่ 15 ฉบับที่ 599 หน้า 23 วันที่ 9-15 มกราคม 2549
40. Charmonman, S. “Leadership Reflection in ICT in Education in Asia” Keynote Address presented to “Digital Learning Asia 2006” organized by The Ministry of Information and Communication Technology (MICT), and Ministry of Education (MOE), Thailand, SEAMEO, SIPA and Other Prominte, 26-28 April 2006, Bangkok, Thailand at Rama Garden Hotel and Resort 27 April 2006.
41. Charmonman, S. “Autonomous System and IP Numbers in Thai Universities”. A paper for the Panel Discussion on “Thailand IPv6 Status, Deployment, Applications, and Policy”, at Thailand IPv6 Summit, Sofitel Central Plaza Hotel, Bangkok, Thailand, May 3, 2006.
42. Chorpothong, N. and Charmonman, S. “An eLearning Project for 100,000 Students per Year in Thailand” Special Issue of IJCIM (volume 12 no.2), Proceedings of the International Conference on eLearning for Knowledge-Based Society, organized by the Ministry of Information and Communication Technology, Bangkok, Thailand, p. 111-118, August 4-5, 2004.
43. Deering, Steve, “What’s Happening with IPv6?”. October 4, 2001 www.netseminar.starfsrd.edu/sessions/deerings-ipv6-talk.ppt.
44. Elz, Robert. “Note on IPv6 Fundamental”. Handbook of IPv6 Workshop, 2004.
45. Hagen, S. “IPv6 Essentials”. O’Reilly, July 2002.
46. Hsieh, Chia-Nan. “IPv6 Taiwan Status Report”. 13th APNIC Open Policy Meeting 2002.
47. Kalogeras, Dimitrios, et el. “Cookbook on Deploying IPv6 in School Networks”. June 15, 2005.
48. Kim, HyoungJun. “IPv6 Status in U.S. Departmetn of Defense”, December 2003 www.apan.net/org/20031205-DOD-Ipv6(ETRI).ppt.

49. Kim, HyoungJun "IPv6 Status in Korea". IPv6 Forum Korea, April 4, 2005.
50. Ladid, Latif, Fernandes, Jose and Kessens, David. "European Ipv6 Roadmap". IPv6 Task Force Steering Committee, June 6, 2005.
51. Meriem, Tayeb Ben and Ladid, Latif. "IPv6 Applications". IPv6 Task Force Steering Committee, April 1, 2006.
52. Pongpaibool, Panita. "IPv6 Deployment in Thailand". Thailand IPv6 Summit, Sofitel Central Plaza Hotel, Bangkok, Thailand, May 4, 2006.
53. Prathombutr, Passakorn. "IPv6 Development Status in Thailand". APEC Telecommunications and Information Working Group 31st Meeting, Bangkok, Thailand, 3-8 April 2005.
54. Surintatip, Duangtip. "Why Next Generation Network". APEC Telecommunications and Information Working Group 31st Meeting, Bangkok, Thailand, 3-8 April 2005.
55. Waddington, D. and Chang, F. "Realizing the Transition to IPv6". IEEE Communications Magazine, June 2002.
56. www.iir.ngi.nectec.or.th/asno/
57. www.ipv6forum.in/
58. www.tangentsoft.net
59. www.trai.gov.in
60. www.v6pc.jp

บนเส้นทางนวัตกรรม ทางการศึกษา e-Learning

รองศาสตราจารย์ ดร.บุษบา สุธีธร
อาจารย์ประจำสาขาวิชานิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

e-Learning ยุคสังคมความรู้ ใครไม่เคยได้ยินคำนี้ยกมือขึ้น...

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศนับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การขยายโอกาสทางการศึกษาเป็นไปได้อย่างทั่วถึง สนองตอบต่อปรัชญาเรื่องการศึกษาตลอดชีวิตของผู้คนในสังคมได้อย่างไร้ขีดจำกัด นโยบายด้านเทคโนโลยีสารสนเทศถูกกำหนดเป็นหนึ่งในนโยบายของประเทศต่างๆ ที่ต้องการจะนำพาสังคมให้เปลี่ยนแปลงไปเป็น “สังคมแห่งการเรียนรู้”

e-Learning นับเป็นหนึ่งในนวัตกรรมทางการศึกษาที่เริ่มต้นพัฒนามาจากเทคโนโลยีในเว็บ โดยเฉพาะการพัฒนามัลติมีเดียบนเว็บ ซึ่งสามารถแสดงผลเพื่อตอบสนองกระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้สมัยใหม่ซึ่งเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ สร้างความรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์ผ่านการเรียนรู้ร่วมกันในรูปแบบต่างๆ

e-Learning คืออะไร

แม้เพียงจุดเริ่มต้นด้วยการสำรวจหาความหมายซึ่งเป็นที่ยอมรับร่วมกัน ก็อาจสร้างความสับสนให้กับผู้เริ่มต้นจะทำความรู้จักกับนวัตกรรมทางการศึกษาประเภทนี้อยู่ไม่น้อย จากการสำรวจความหมายที่ปรากฏตามแหล่งข้อมูลต่างๆ พบว่ามีการให้ความหมายหลากหลายขึ้นอยู่กับการให้น้ำหนักความสนใจไปที่องค์ประกอบหรือคุณลักษณะส่วนใดของ e-Learning ในทัศนะของผู้ให้ความหมายนั้นๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ศ.ดร.เกรียงศักดิ์ เจริญวงศักดิ์ (2544) ได้ให้ความหมายซึ่งค่อนข้างจะให้น้ำหนักกับเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการสร้างการเรียนรู้ว่า

"e-Learning หมายถึง การเรียนรู้บนฐานเทคโนโลยี ซึ่งครอบคลุมวิธีการเรียนรู้จากหลายรูปแบบ อาทิ การเรียนรู้บนคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Learning) การเรียนรู้บนเว็บ (Web-Based Learning) ห้องเรียนเสมือนจริง (Virtual Classrooms) และความร่วมมือกันผ่านระบบดิจิตอล (Digital Collaboration) เป็นต้น ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท อาทิ อินเทอร์เน็ต (Internet) อินทราเน็ต (Intranet) เอ็กซ์ทราเน็ต (Extranet) การถ่ายทอดผ่านดาวเทียม (Satellite Broadcast) ผ่านแถบบันทึกเสียงและวิดีทัศน์ (Audio/Video Tape) โทรทัศน์ที่สามารถโต้ตอบกันได้ (Interactive TV) และซีดีรอม (CD-ROM)"

ดร.สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ ผู้อำนวยการโครงการการเรียนรู้แบบออนไลน์แห่ง สวทช. ให้ความหมายที่เน้นความสำคัญด้านกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียนว่า

"การเรียนรู้แบบออนไลน์ หรือ e-Learning เป็นการเรียนรู้ด้วยตัวเองผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์อินเทอร์เน็ต (Internet) หรืออินทราเน็ต (Intranet) ผู้เรียนจะได้เรียนตามความสามารถและความสนใจของตน โดยเนื้อหาของบทเรียน ประกอบด้วยข้อความ รูปภาพ เสียง วิดีโอ และมัลติมีเดียอื่นๆ จะถูกส่งไปยังผู้เรียนผ่าน Web Browser โดยผู้เรียน ผู้สอน และเพื่อนร่วมชั้นเรียนทุกคน สามารถติดต่อปรึกษา แลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกันได้เช่นเดียวกับการเรียนในชั้นเรียนปกติ โดยอาศัยเครื่องมือการติดต่อสื่อสารที่ทันสมัย เช่น (e-mail, web-board, chat) จึงเป็นการเรียนสำหรับทุกคน เรียนได้ทุกเวลา และทุกสถานที่ (Learn for all: anyone, anywhere and anytime)"

สำหรับถนอมพร เลาหจรัสแสง (2545) ให้ความหมายของ e-Learning เป็น 2 ลักษณะ คือ ความหมายทั่วไปและความหมายเฉพาะเจาะจงดังนี้

"ความหมายโดยทั่วไป คำว่า e-Learning จะครอบคลุมความหมายที่กว้างมาก กล่าวคือ จะหมายถึงการเรียนในลักษณะใดก็ได้ ซึ่งใช้การถ่ายทอดเนื้อหาผ่านทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต เอ็กซ์ทราเน็ต หรือทางสัญญาณโทรทัศน์ หรือสัญญาณดาวเทียม (Satellite) ก็ได้ ซึ่งเนื้อหาสารสนเทศ อาจอยู่ในรูปแบบการเรียนที่เราคุ้นเคยกันมาพอสมควร เช่น คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction) การสอนบนเว็บ (Web Based Instruction) การเรียนออนไลน์ (On-line Learning) การเรียนทางไกลผ่านดาวเทียม หรืออาจอยู่ในลักษณะที่ยังไม่ค่อยเป็นที่แพร่หลายนัก เช่น การเรียนจากวิดีทัศน์ตามอัธยาศัย (Video On-Demand) เป็นต้น"

"ความหมายเฉพาะเจาะจง คนส่วนใหญ่เมื่อกล่าวถึง e-Learning ในปัจจุบันจะหมายความเฉพาะถึงการเรียนเนื้อหาหรือสารสนเทศสำหรับการสอนหรือการอบรม ซึ่งใช้นำเสนอด้วยตัวอักษร ภาพนิ่ง ผสมผสานกับการใช้ภาพเคลื่อนไหววิดีทัศน์และเสียง โดยอาศัยเทคโนโลยีของเว็บ (Web Technology) ในการถ่ายทอดเนื้อหา รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีระบบการจัดการคอร์ส (Course Management System) ในการบริหารจัดการงานสอน

ด้านต่างๆ เช่น การจัดให้มีเครื่องมือการสื่อสารต่างๆ เช่น e-Mail หรือ Webboard สำหรับตั้งคำถาม หรือแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างผู้เรียนด้วยกัน หรือกับวิทยากร การจัดให้มีแบบทดสอบ หลังจากเรียนจบเพื่อวัดผลการเรียน รวมทั้งการจัดให้มีระบบบันทึกติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการเรียน โดยผู้เรียนที่เรียนจาก e-Learning นี้ ส่วนใหญ่แล้วจะศึกษาเนื้อหาในลักษณะออนไลน์ ซึ่งหมายถึงจากเครื่องที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์"

จากความหมายดังกล่าวข้างต้นจึงสรุปได้ว่า e-Learning เป็นการเรียนรู้ที่มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้ คือ

- เป็นการเรียนที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยทั้งผู้เรียนและผู้สอนสร้างการเรียนรู้ร่วมกันอย่างมีปฏิสัมพันธ์ ผ่านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ
- เนื้อสารหรือองค์ความรู้มีการนำเสนอในรูปแบบสื่อประสม (Multimedia)
- ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลที่เป็นปัจจุบันทั่วโลกได้ง่าย
- เป็นการเรียนรู้ที่ระยะทางและเวลาไม่เป็นอุปสรรค ผู้เรียนสามารถเรียนได้ทุกคน ทุกสถานที่ ทุกเวลา

e-Learning ให้ผลที่พึงประสงค์จริงหรือไม่ มีข้อจำกัดอะไรที่อาจทำให้ไม่ได้ผลอย่างที่คาดหวัง

ในสังคมที่มีทิศทางขับเคลื่อนด้วยฐานทางความรู้และปัญญาจะมีคนเป็นจำนวนมากที่ต้องการการเรียนในรูปแบบที่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้ โดยไม่เสียเวลาในการประกอบอาชีพ เป็นการเรียนรู้ที่สามารถเรียนรู้ได้ตลอดชีวิต ดังนั้น e-Learning จึงกลายเป็นรูปแบบการศึกษาที่สนองตอบต่อความต้องการดังกล่าวได้อย่างดีเยี่ยม ที่สำคัญคือนอกจากจะสามารถตอบสนองความต้องการด้านผู้เรียนแล้ว ในด้านของสถาบันหรือองค์การที่ทำหน้าที่จัดการเรียนการสอนเอง เช่น สถาบันการศึกษาและหน่วยงานพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ขององค์การจำนวนมากต่างก็ให้ความสนใจการเรียนรู้ด้วยวิธีนี้เช่นกัน ด้วยเหตุผลที่ว่า การใช้ e-Learning ช่วยลดต้นทุนด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ประหยัดเวลาการฝึกอบรมและสามารถตัดงบประมาณในการเรียนการสอนแบบปกติ เช่น ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการในเรื่องของอาคารสถานที่เรียน ค่าใช้จ่ายในการพิมพ์ตำราเอกสาร หรือค่าใช้จ่ายที่ต้องทำสำเนาเอกสารสำหรับการฝึกอบรมแจกผู้เข้าอบรม เป็นต้น

ความนิยมที่ผู้คนทั่วโลกมีให้กับ e-Learning ประกอบกับการเป็นอาจารย์ในมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ซึ่งมีแผนการดำเนินงานในการนำเอา e-Learning มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนในอนาคตให้มากขึ้นกว่าในปัจจุบันซึ่งได้เริ่มดำเนินการไปบ้างแล้ว ปลุกเร้าความสนใจทำให้ผู้เขียนสนใจใคร่หาคำตอบจากบทเรียนความสำเร็จ หรือความล้มเหลวของการใช้นวัตกรรม e-Learning ของประเทศที่มีความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสื่อสารอย่างไร้ขีดจำกัดและมีการนำมา e-Learning ไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ประเทศต่างๆ ในยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกาว่า e-Learning ให้ผลที่พึงประสงค์จริงหรือมีข้อจำกัดอะไรที่อาจทำให้ไม่ได้ผลอย่างที่คาดหวัง พวกเขาต้องเผชิญกับปัญหาอะไรบ้างและปัญหาเหล่านั้นแตกต่างหรือมีความคล้ายคลึงกับประเทศไทยเราอย่างไร และที่สำคัญก็คือ ประเทศเหล่านั้นก้าวผ่านปัญหาต่างๆ เหล่านั้นอย่างไร ทิศทางข้างหน้าของนวัตกรรมนี้ควรจะเป็นอย่างไร

ราวเดือนตุลาคม ปี 2548 ความสนใจใคร่รู้ของผู้เขียนก็ได้รับการสนองตอบ จากการได้มีโอกาสเดินทางไปเข้าร่วมประชุมนานาชาติ ซึ่งจัดโดย The Swiss Centre for Innovations in Learning (SCIL) ที่เมือง St.Gallen ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ในหัวข้อ Designing Learning Organizations: From

e-Learning to Educational Innovations as a Strategic Challenge ระหว่างวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548 การประชุมดังกล่าวเป็นการประชุมร่วมระหว่างนักวิชาการและนักวิชาชีพผู้เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมทางการศึกษากว่า 150 คนจาก 20 ประเทศทั่วโลก เพื่อหาคำตอบแนวทางในการนำ e-Learning มาใช้เป็นกลยุทธ์สำคัญในการสร้างองค์การแห่งการเรียนรู้ การประชุมดังกล่าวมีการเสนอประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับ e-Learning โดยคณะผู้อภิปรายบนเวทีที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้ e-Learning ในองค์การของตนหลากหลายและน่าสนใจ อาทิ Prof.Dr.Dieter Euler ซึ่งดำรงตำแหน่ง Chair for Business Education and Educational Management ของมหาวิทยาลัย St.Gallen ถือได้ว่าเป็นเจ้าภาพผู้จัดงานมากล่าวต้อนรับและเปิดประเด็นความเป็นมาของนวัตกรรมการศึกษา e-Learning ในอดีต พัฒนาการการใช้ในปัจจุบันและย้ำประเด็นสำคัญของบทบาท e-Learning ในอนาคตว่าสิ่งที่ควรร่วมกันพิจารณาคือ การบูรณาการ e-Learning เพื่อให้มีบทบาทส่งเสริมวัฒนธรรมการเรียนรู้ในสังคมได้อย่างไรโดยให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับวัฒนธรรมการเรียนรู้ในสังคมและบทบาท e-Learning ในอนาคตว่า

- วัฒนธรรมการเรียนรู้ในอนาคต จะเป็นลักษณะ มีการแบ่งปันความรู้โดยการเรียนรู้ร่วมกันในทุกระดับ ไม่ว่าจะในลักษณะปัจเจกบุคคล ทีมงานหรือองค์การ
- การเรียนรู้จะมีลักษณะบูรณาการทั้งจากการเรียนรู้แบบเป็นทางการและไม่เป็นทางการ
- ความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเองจะได้รับการยอมรับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการศึกษาในสมัยใหม่ และ
- e-Learning จะเป็นรูปแบบการศึกษาหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งการเรียนรู้ที่สำคัญเช่นเดียวกับแหล่งเรียนรู้อื่นๆ

ทั้งนี้ยังได้สรุปถึงความอยู่รอดหรือความยั่งยืนของนวัตกรรม e-Learning ในอนาคตว่าขึ้นอยู่กับว่าวิธีการจัดการเรียนแบบนี้จะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัฒนธรรมการเรียนรู้ในอนาคตหรือไม่ และวิธีการนี้จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนในอนาคตได้มากน้อยเพียงไร

นอกจาก Dr.Dieter Euler แล้วผู้อภิปรายหลักท่านอื่นๆ ก็นำเสนอประเด็นอื่นๆ ที่น่าสนใจทั้งสิ้นเนื่องจากต่างเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการใช้ระบบ e-Learning ในสถาบันการศึกษาทั้งในส่วนของมหาวิทยาลัยที่ใช้ระบบการศึกษาทางไกลและมหาวิทยาลัยในระบบปิดในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศในแถบยุโรป ตลอดจนผู้รับผิดชอบด้านการจัดการความรู้ในองค์การธุรกิจขนาดใหญ่ เช่น Prof.Nigel Paine ผู้บริหารระดับสูงซึ่งรับผิดชอบงานด้านการจัดการฝึกอบรมให้กับพนักงานกว่า 27,000 คนในองค์การธุรกิจอุตสาหกรรมสื่อมวลชนขนาดใหญ่คือ BBC ก็ได้มาถ่ายทอดแลกเปลี่ยนประสบการณ์ให้ผู้เข้าประชุมฟังเกี่ยวกับการจัดการความรู้ในองค์การโดยใช้ระบบ e-Learning ซึ่งมีการผสมผสานสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ร่วมกันของพนักงานในลักษณะต่างๆ ทั้งในลักษณะการเรียนจากสถานการณ์จำลอง การติดตามให้คำแนะนำปรึกษาอย่างใกล้ชิด การเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติงานจริงจากการทำงาน การสื่อสารแบบเผชิญหน้าและผ่านสื่อ รวมถึงวิธีการอื่นๆ อีกหลากหลายทั้งรูปแบบทางการและไม่เป็นทางการ ซึ่ง BBC ได้นำมาใช้เพื่อสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ขึ้นในองค์การ ผู้สนใจสามารถศึกษารายละเอียดได้จากเว็บไซต์ของหน่วยงานผู้จัดการประชุม คือ The Swiss Centre for Innovations in Learning (SCIL)

สำหรับประเด็นที่ผู้เขียนเลือกยกมาเสนอในบทความนี้เป็นประเด็นของ Prof.Dr.Robert Zemsky จากมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา และ Dr.Marc J. Rosenberg ผู้เขียนตำราเกี่ยวกับ e-Learnig ที่ขายดีที่สุดของสำนักพิมพ์ McGraw-Hill เนื่องจากทั้งสองท่านได้เสนอหัวข้อ

อภิปรายซึ่งเป็นเรื่องชวนขบคิดและทบทวน สำหรับสถาบันการศึกษาและองค์การที่ต่างแข่งขันการสร้างวัฒนธรรมองค์การแห่งการเรียนรู้ในประเทศเราให้เกิดขึ้นว่า นวัตกรรม e-Learning จะเหมาะสมและสามารถนำมาใช้กับสังคมไทยได้มากน้อยเพียงไร และถ้าจะนำมาใช้ควรมีแนวทางการใช้อย่างไรจึงจะตอบสนองความต้องการการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

Prof.Dr.Robert Zemsky จากมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มต้นการอภิปรายของตนในหัวข้อ e-Learning as Thwarted Innovation: What have we learned? What do we need to do next? ด้วยการเกริ่นนำถึงความคิดของผู้คนเมื่อช่วงเวลาเริ่มต้นของการนำ e-Learning เข้าไปใช้ในการให้การศึกษาระดับอุดมศึกษาในมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนียว่า ขณะนั้นผู้คนที่เกี่ยวข้องต่างมีความคาดหวังกับนวัตกรรมนี้ว่าจะได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เป็นการปฏิรูปการเรียนการสอนที่จะสามารถเข้าถึงผู้เรียนใหม่ๆ จำนวนมากโดยเฉพาะเมื่อใช้กับระบบการศึกษาทางไกล และยิ่งถ้าคิดในเรื่องของความคุ้มทุนแล้ว การนำนวัตกรรมนี้มาใช้ก็คงจะคุ้มยิ่งกว่าคุ้ม แต่เมื่อเวลาผ่านไป ข้อเท็จจริงที่พบกลับกลายเป็นว่า e-Learning กลับไม่ให้ผลตามที่คาดหมายสักเท่าไร และเมื่อทบทวนหาเหตุผลเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว Prof.Dr.Robert Zemsky ให้ทัศนะว่าอาจเป็นเพราะความคาดหวังนั้นมากเกินไปกว่าที่ระบบ e-Learning จะให้ได้หรือไม่ โดยได้ให้คำอธิบายเพิ่มเติมด้วยเหตุผลสำคัญ 8 ประการ กล่าวคือ

ประการแรก e-Learning ไม่ได้ทำให้วัฒนธรรมการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยเปลี่ยนแปลงไปสักเท่าไร การนำ e-Learning มาใช้สอนในมหาวิทยาลัยแต่ไม่ได้ช่วยให้มีการปรับเปลี่ยนหลักคิดหรือกระบวนทัศน์ด้านการเรียนการสอนของผู้สอน ดังนั้น วิธีการสอน e-Learning จึงเป็นเสมือนเครื่องมือที่ไม่ต่างจากกระดานดำ หรือโปรแกรมพาวเวอร์พอยต์ที่เสนอผ่านจอคอมพิวเตอร์เท่านั้นเอง

ประการที่สอง หลักสูตรหรือวิชาที่มีการสอนบนเว็บส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้จินตนาการในการออกแบบสร้างสรรค์สักเท่าไร พบว่ามีการเสนอสถานการณ์จำลองบ้างในบางวิชา มีการเสนอภาพการ์ตูนประกอบเล็กน้อย อีกทั้งยังมีการเปิดช่องทางให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนผู้สอนน้อยมาก ที่แย่ไปกว่านั้นก็คือผู้สอนบางคนเข้าใจผิดคิดว่า e-Learning คือ การกระจายเสียงทางเว็บ เท่านั้น

ประการที่สาม โดยตัวเว็บเองก็มีข้อจำกัดการสร้างปฏิสัมพันธ์ทางเว็บไซต์ค่อนข้างเป็นเรื่องยากด้วยข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่รองรับการพัฒนาเว็บให้สามารถสนองความต้องการดังกล่าว Dr.Zemsky ได้ยกตัวอย่างของข้อจำกัดนี้ว่ามีให้เห็นแม้แต่ในการใช้เพื่อธุรกิจที่ต้องการการสร้างปฏิสัมพันธ์ที่รวดเร็ว เช่น เมื่อเวลาจองโรงแรมหรือสายการบินบางครั้งก็พบปัญหาความล่าช้าหรือบางครั้งก็เกิดความคลาดเคลื่อน เป็นต้น

ประการที่สี่ มีจำนวนนักเรียนที่สนใจในการใช้ระบบนี้จริงๆ ไม่เท่าไร เขาให้ข้อสังเกตว่านักศึกษาจำนวนหนึ่งที่เข้ามาเรียนในมหาวิทยาลัยนั้นต้องการการแสดงออก ต้องการปฏิสัมพันธ์แบบเผชิญหน้า และแม้แต่การเข้ามาเรียนในระบบการศึกษาทางไกลสิ่งที่ผู้มาเรียนในระบบการศึกษาทางไกลต้องการคือต้องการความสะดวกแต่ไม่ใช่กระบวนทัศน์ใหม่ของการเรียนรู้ด้วยตนเองเป็นหลัก ดังนั้น e-Learning จึงไม่ตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้

ประการที่ห้า การจะทำให้ e-Learning ประสบความสำเร็จต้องการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมการเรียนการสอน ซึ่งต้องเปลี่ยนแปลงทั้งตัวผู้เรียนและตัวผู้สอน ผู้เรียนต้องแสดงความต้องการของตนเองที่ชัดเจนให้มากขึ้นและผู้สอนต้องสนองตอบต่อความต้องการนั้นอย่างเหมาะสม การเรียนการสอนต้องมีการออกแบบเฉพาะตัวที่ไม่ใช่การสอนแบบเหมารวม เหมือนการสอนในห้องเรียนแบบเดิมๆ

ประการที่หก คือ จะต้องมีการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ที่เคยให้ความสำคัญกับเฉพาะผู้สอนผู้กำหนดเนื้อหาองค์ความรู้มาให้ความสำคัญกับองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนของเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการออกแบบนำเสนอซึ่งเป็นบทบาทของนักเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และส่วนของวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายการเรียนรู้อันได้แก่เนื้อหาองค์ความรู้ที่ต้องการถ่ายทอดซึ่งเป็นบทบาทของผู้สอน ความสำเร็จขึ้นอยู่กับการผสมผสานกันอย่างลงตัวระหว่างผู้เกี่ยวข้องทั้งสองฝ่าย มิใช่ด้านใดด้านหนึ่ง

ประการที่เจ็ด มหาวิทยาลัยจะต้องลงทุนด้วยงบลงทุนมหาศาลจึงจะพัฒนาทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ

ประการสุดท้ายที่สำคัญ ก็คือ การพัฒนา e-Learning ให้ประสบความสำเร็จต้องอาศัยการทุ่มเททั้งเวลา การลงทุน และการลงแรง คือ การใช้ความพยายาม มุ่งมั่นของผู้คนที่เกี่ยวข้อง และที่สำคัญที่สุดคือ e-Learning ต้องพัฒนาขึ้นจากความต้องการของนักศึกษาหรือผู้เรียนอย่างแท้จริง

ปัญหา e-Learning สำหรับบ้านเรา

เมื่อผู้เขียนค้นหางานวิจัยหรือบทความที่เกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคการพัฒนา e-Learning ในประเทศไทยว่าเรามีสภาพเหมือนหรือแตกต่างจากประเทศเขาอย่างไร ก็พบบทความซึ่งเสนอโดย รศ.ดร.ถนอมพร เลาหจรัสแสง และข้อสรุปของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ อ่านแล้วก็พอสรุปได้ว่า บ้านเรามีปัญหาต่างๆ ไม่แตกต่างจากที่ Dr.Robert Zemsky เสนอไว้เท่าไรนัก กล่าวคือ

รศ.ดร.ถนอมพร เลาหจรัสแสง จากสถาบันบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ให้ข้อสรุปสถานการณ์เกี่ยวกับปัญหาใหญ่ของการใช้ e-Learning ในการสอนระดับอุดมศึกษาว่า

"ประเทศไทยได้เริ่มมีการเปิดอบรมด้านการใช้อินเทอร์เน็ตโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการใช้เว็บเพื่อให้อาจารย์ผู้สอนสามารถใช้ประโยชน์จากเว็บในการสืบค้นข้อมูล และสร้างโฮมเพจเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 อย่างไรก็ดี จะเห็นได้ว่าในช่วงเกือบสิบปีที่ผ่านมานี้ ลักษณะของพัฒนาการด้านการใช้เว็บในการเรียนการสอน (หรือที่รู้จักกันในชื่อของ "e-Learning" ในปัจจุบัน) ***จะอยู่ในลักษณะของการนำเทคโนโลยีทั้งในด้านของระบบและเครื่องมือใหม่ๆ เข้ามาใช้แทนที่เทคโนโลยีเดิม อย่างไรก็ดี การพัฒนาในด้านของการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ (Paradigm Shift) ทางการเรียนรู้ของทั้งผู้เรียนและผู้สอนซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนา e-Learning ในบ้านเรากลับยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร*** *จึงเป็นเหตุให้การนำ e-Learning มาใช้เพื่อประโยชน์ในด้านการเรียนการสอนหรือการอบรมยังอยู่ในวงจำกัด กอปรกับสถาบันการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับอุดมศึกษา รวมทั้งองค์กรธุรกิจ ภาครัฐ และภาคเอกชน เมื่อไม่เห็นความชัดเจนในด้านการดำเนินการเพื่อสนับสนุนการใช้ e-Learning จึงเกิดความไม่แน่ใจกับอนาคตของ e-Learning ในประเทศไทยและส่งผลต่อความลังเลในการลงทุนในการดำเนินงานด้าน e-Learning ในหน่วยงานของตน"*

สำหรับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ก็ได้สรุปปัญหาของการใช้ e-Learning ในประเทศไทยใกล้เคียงกับข้อสรุปดังกล่าวข้างต้นเช่นกันดังนี้ คือ

- ปัญหาการสนับสนุนด้านงบประมาณและบุคลากร และการสนับสนุนจากผู้บริหาร
- ปัญหาการขาดความรู้ด้านเทคโนโลยี e-Learning และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง
- ปัญหาเรื่องราคาของซอฟต์แวร์ CMS/LMS และลิขสิทธิ์

● ปัญหาเรื่องทีมงานดำเนินการ ทั้งด้านความรู้ การคิดสร้างสรรค์และเงินสนับสนุน

● ปัญหาเกี่ยวกับเนื้อหาที่จะนำเสนอ ทั้งแหล่งที่มา ผลตอบแทน และการละเมิดเมื่อเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์

● ปัญหาเกี่ยวกับ Infrastructure ของประเทศที่ยังขาดความพร้อม

● ปัญหาเกี่ยวกับมาตรฐานการพัฒนาเว็บภาษาไทย ทั้งการเข้ารหัส การใช้ฟอนต์ และรูปแบบ

e-Learning ควรมีทิศทางการพัฒนาไปทางไหน จึงจะเกิดประโยชน์กับสังคมอย่างแท้จริง

ถ้าพิจารณาจากปัญหาอุปสรรคของการใช้ e-Learning ในสังคมผู้มีประสบการณ์มาก่อน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังได้เสนอข้างต้นแล้วก็ดูเหมือนว่าการสร้างสังคมอุดมปัญญาหรือองค์การแห่งการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นกับสังคมด้วย e-Learning จะไม่ใช่เรื่องที่ง่ายนัก อย่างไรก็ตาม ในวันสุดท้ายของการประชุม Dr.Marc J. Rosenberg ได้เสนอแนวทาง 6 แนวทางในการใช้ e-Learning ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ขึ้นในองค์การในอนาคต คือ

1. e-Learning ต้องเป็นมากกว่าการนำเอามาใช้เป็นเครื่องมือในการนำเสนอเนื้อหาการฝึกอบรมตามหลักสูตรที่มีการออกแบบเนื้อหาไว้ในรูปแบบเดิมๆ แต่ e-Learning ควรนำมาใช้สร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่หลากหลาย ความรู้ที่นำเสนอต้องสามารถเชื่อมโยงสู่การทำงาน และต้องมีกลไกหรือช่องทางให้ผู้ทำงานสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองโดยไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถตอบคำถาม สาธิต หรือให้คำแนะนำทางแก้ไขปัญหาที่เป็นปัญหาเฉพาะของเขาได้ทันทีที่ต้องการคำแนะนำ

2. ต้องผลักดัน e-Learning เข้าไปสู่สถานประกอบการ โดยมหาวิทยาลัยหรือหน่วยงานฝึกอบรมต่างๆ ที่ให้บริการการฝึกอบรมหัวข้อต่างๆ ควรขยายความสนใจไปยังกลุ่มผู้ทำงานโดยตรงมากขึ้น การทำงานของหน่วยงานที่ทำหน้าที่ฝึกอบรมจำเป็นต้องทำงานลักษณะสหวิทยาการให้มากขึ้น สามารถออกแบบสร้างการเรียนรู้แบบบูรณาการความรู้ให้เกิดขึ้น สามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างการเรียนรู้แบบเป็นทางการ การฝึกอบรมในชั้นเรียน การเรียนรู้ไม่เป็นทางการ การเรียนรู้จากสถานประกอบการให้เกิดขึ้น โดยเน้นความรู้ที่สามารถนำไปใช้อธิบายได้กับสถานการณ์การทำงานจริง เพื่อทำให้ความรู้ที่ผู้เรียนจะได้รับนั้นมีส่วนสนับสนุนการทำงานได้อย่างแท้จริง

3. ต้องมีการผสมผสานกันระหว่างวิธีการให้ความรู้ในรูปแบบต่างๆ เพราะในบางครั้งบางเรื่องการให้ความรู้ด้วยระบบการให้ผ่านชั้นเรียนด้วยวิทยากรก็เหมาะสม และในบางครั้งบางสถานการณ์การอบรมผ่านระบบออนไลน์ก็ดีกว่า แต่ก็มีหลายสถานการณ์เช่นกันที่การนำวิธีการต่างๆมาผสมผสานกันกลับเป็น วิธีการที่ดีที่สุด ทั้งนี้การผสานแบบใดในระดับใด จึงจะเหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยประกอบอื่นๆ เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย ที่ต้องใช้ในการจัดการความรู้ ฯลฯ เป็นต้น

4. องค์การที่จัดการในด้านการฝึกอบรมด้วยระบบ e-Learning ควรให้ความสำคัญกับการให้ความรู้ที่ผู้ที่เข้ามาในระบบต้องการมากกว่าการให้ความสำคัญกับการออกแบบสร้างคำอธิบายหลักสูตรให้น่าสนใจ หรือพัฒนารูปแบบวิธีการให้ผู้สนใจเข้าถึงหลักสูตรของตนได้อย่างรวดเร็วเท่านั้น ในสังคมฐานความรู้จะต้องพัฒนาระบบให้มีการเชื่อมโยงแหล่งเรียนรู้อื่นๆ ในลักษณะที่ว่าเมื่อผู้ใช้ต้องการค้นหาองค์ความรู้ในเรื่องใดเขาควรได้รับการสนับสนุนให้สามารถเข้าถึงแหล่งความรู้ที่หลากหลายในเรื่องนั้นๆ ได้ทันที ไม่ว่าจะเป็นเอกสาร เว็บไซต์ ผู้เชี่ยวชาญ ชุมชน เครื่องมือ กิจกรรม หรือหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ผู้ใช้ต้องการค้นหานั้น

5. ต้องพัฒนาวิธีการและหลักสูตร e-Learning ให้สามารถให้ประโยชน์กับผู้เรียนซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน

6. ต้องระลึกว่าเทคโนโลยีเป็นประเด็นรอง เทคโนโลยีเป็นเพียงเครื่องมือสนับสนุนให้การจัดการการเรียนรู้ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคโนโลยีเป็นเพียงเครื่องมือไม่ใช่เป้าหมายของความสำเร็จในการเรียนรู้ด้วยระบบ e-Learning

บทสรุป

แม้ e-Learning จะมีจุดเริ่มต้นจากสถาบันการศึกษาและมีการดำเนินการมาระยะเวลากว่า 10 ปีแล้วก็ตามแต่สิ่งที่พบว่าเป็นปัญหาสำคัญที่สุดซึ่งพบได้ทั้งในประเทศที่มีการพัฒนาด้านนี้มาก่อนประเทศเรา และในประเทศไทยเราเองก็คือ การมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ e-Learning โดยมุ่งไปที่การผลิตเนื้อหาในรูปแบบดิจิตอล มากกว่าจะให้ความสำคัญกับการจัดเตรียมเนื้อหา และสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง อันเป็นกระบวนทัศน์ที่สำคัญของ e-Learning ดังนั้นการสร้างความเข้าใจที่ตรงกันและสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ด้วย e-Learning ให้เกิดขึ้นทั้งในระดับผู้สอนและผู้เรียนจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญในลำดับแรก

บทเรียนจากประสบการณ์การเรียนรู้ของประเทศพัฒนาแล้วดังเสนอข้างต้นเมื่อประเมินกับสถานภาพความเป็นจริงของวัฒนธรรมการเรียนรู้ของสังคมไทยในปัจจุบันทำให้ผู้เขียนขอสรุปบทความบนเส้นทางนวัตกรรมทางการศึกษาประเภทนี้ได้ว่า e-Learning อาจไม่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าหากการนำมาใช้เป็นแค่เพียงความพยายามวิ่งตามกระแสเทคโนโลยีของสังคมโลกโดยปราศจากความเข้าใจที่ถูกต้อง และขาดการทบทวนไตร่ตรองและปรับใช้ในรูปแบบที่เหมาะสมกับบริบทสังคมไทย เพราะไม่เช่นนั้นแล้ว e-Learning ก็คงเปรียบเสมือนเครื่องตกแต่งประดับประดาสถาบันหรือองค์การให้ดูทันสมัยโดยปราศจากความเข้าใจและเกิดแนวคิดที่ถูกต้องเกี่ยวกับนวัตกรรมทางการศึกษาที่มีคุณค่า เช่น e-Learning ◎

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศักดิ์. e-Learning: ยุทธศาสตร์การเรียนรู้ในอนาคต วารสารมองไกล IFD ประจำไตรมาสที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2544 หน้า 4-8

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. Designing e-Learning: หลักการออกแบบและการสร้างเว็บเพื่อการเรียนการสอน เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2545 หน้า 4-5

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์ วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2544 หน้า 7-15

สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ เข้าถึงจาก http://www.thai2learn.com

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ เข้าถึงจาก http://e-Learning.nectec.or.th/index.php

เอกสารประกอบการประชุม Designing Learning Organizations: From e-Learning to Educational Innovations as a Strategic Challenge ระหว่างวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548 จัดโดย The Swiss Centre for Innovations in Learning (SCIL) ที่เมือง St.Gallen ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

สร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิต ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education)

นายอนันต์ วรธิติพงศ์
นายกสมาคมโทรคมนาคม

นโยบายพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพ

การกำหนดนโยบายพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพ โดยกำหนดเป้าหมายคือ การทำให้คนมีความสุข โดยจะสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิต จะเร่งลัดการปฏิบัติการศึกษาและกระบวนการเรียนการสอนทุกรูปแบบ สนับสนุนให้มีกระบวนการการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต พัฒนาทักษะและการเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่ๆ สร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้ในระบบและนอกระบบ ในห้องเรียนและนอกห้องเรียน เพื่อให้สังคมไทยเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ที่ไม่หยุดนิ่งในการพัฒนาความรู้ และเป็นสังคมที่ประชาชนมีความสุข สนุกสนานกับการหาประสบการณ์และความรู้ใหม่ๆ มีการร่วมมือกับทุกฝ่ายเพื่อสร้างแหล่งบริการองค์ความรู้ให้กระจายไปทั่วภูมิภาคของประเทศ เช่น ระบบห้องสมุดสมัยใหม่ ศูนย์การเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร รวมทั้งการดำเนินการเชื่อมเครือข่ายความรู้ของทุกโรงเรียนเข้าสู่เครือข่าย Internet และให้

สิทธิประโยชน์ทางภาษีอย่างเต็มที่แก่ภาคเอกชนที่สนับสนุนและส่งเสริมการศึกษาของชาติ โครงการต่างๆ ข้างต้นจะสามารถยกระดับการศึกษาของชาติทำให้ประเทศมีขีดความสามารถในการแข่งขันสูงขึ้น

เทคโนโลยีสารสนเทศกับการพัฒนาการศึกษาของไทย

ตลอดระยะเวลากว่า 10 ปี ที่ผ่านมา หลายฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น กระทรวงศึกษาธิการ มหาวิทยาลัยหลายแห่ง โรงเรียนต่างๆ ทุกระดับ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) (บมจ.ทีโอที) บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (บมจ.กสท โทรคมนาคม) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) และบริษัทเอกชนต่างๆ มากมาย ได้มีโครงการโดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาพัฒนาการศึกษาหลายโครงการ อาทิเช่น กระทรวงศึกษาธิการ ได้มีโครงการ MOEnet โครงการ Uninet (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในสำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา) โครงการจัดทำสื่อการสอน ในขณะที่มหาวิทยาลัยและโรงเรียนทุกระดับหลายแห่งก็จัดทำสื่อการสอนผ่านระบบการเรียนการสอนแบบเครือข่าย ระบบห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ กระทรวง ICT ก็มีโครงการคอมพิวเตอร์ ICT เพื่อน้องเล็ก บมจ. ทีโอที และ บมจ.กสท. โทรคมนาคม รวมทั้งบริษัทโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ดำเนินการร่วมการงานกับ บมจ. ทีโอที และ บมจ.กสท. โทรคมนาคม ก็จัดสร้างระบบเครือข่ายโทรคมนาคมเพื่อรองรับการใช้งาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยศูนย์พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) ก็มีโครงการ SchoolNet (ขณะนี้ดำเนินการโดยกระทรวงศึกษาธิการ ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในโครงการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย–SchoolNet Thailand) คอมพิวเตอร์มาตรฐาน NECTEC บริษัทเอกชนต่างๆ เช่น บริษัทที่ถนัดด้านการเขียนโปรแกรมก็ได้จัดทำสื่อการสอนเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ และอื่นๆ อีกมากมาย รัฐบาลก็ได้สนับสนุนงบประมาณอย่างเต็มที่ในการจัดทำไปหลายหมื่นล้านบาท แต่ก็ยังไม่สามารถสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสานสนเทศ (e-Education) ได้

ปัญหาและอุปสรรคของการพัฒนาสังคมแห่งการเรียนรู้ที่ผ่านมา

1. โครงการส่วนใหญ่ที่ดำเนินการเป็นลักษณะต่างคนต่างทำ จึงทำให้มีหลากหลายและซ้ำซ้อนกัน จนทำให้เป็นโครงการขนาดเล็ก นักเรียนหรือผู้ที่ต้องการจะเรียนไม่ทราบว่าจะทำอย่างไรหรือเข้าถึงได้ยากแม้จะมีระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) แล้วก็ตาม

2. ขาดความร่วมมือจากผู้ผลิตสื่อการสอนเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ทั้งนี้ผู้ผลิตสื่อการสอนเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ส่วนใหญ่จะกลัวเรื่องการลอกเลียนแบบ (Copy) ส่วนครูและอาจารย์บางส่วน ก็เป็นห่วงว่าจะไม่มีผลงานวิชาการหากมัวแต่มาทำเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) หรือบางส่วนก็ไม่เข้าใจวิธีการถ่ายทอดออกมาเป็นสื่อการสอนแบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือบางส่วนก็กลัวจะหมดความสำคัญลงไปหากนักเรียนสามารถเรียนได้เองผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

3. นักเรียนหรือผู้ที่อยากจะเรียนผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ต้องใช้เวลามากเกินไป หากต้องการจะเรียนผ่านระบบเทคโนโลยีสานสนเทศเป็นเหตุให้นักเรียนหรือผู้ที่อยากจะเรียนไม่ให้ความสนใจ เนื่องจากแหล่งข้อมูลสื่อการเรียนการสอนเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) กระจัดกระจาย และไม่รู้ว่าที่ไหนมีเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ที่ตนเองต้องการบ้าง

การสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education)

การกำหนดให้ฝ่ายที่เกี่ยวข้องร่วมกันทำและการให้ความสนับสนุนอย่างจริงจัง จะสามารถทำให้เกิดความร่วมมือจากทุกฝ่ายจะเป็นกลไกที่สำคัญจะสามารถสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศได้ มีสภาพแวดล้อมที่อำนวยต่อการเรียนรู้ ทั้งแบบในระบบและนอกระบบ ในห้องเรียนและนอกห้องเรียน การเรียนรู้ได้ตามอัธยาศัย ตลอดจนการพัฒนาทักษะการเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ ซึ่งแนวทางที่ควรดำเนินการมีหลายประการ ดังนี้

1. ให้ร่วมกันพัฒนาเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงและใช้ได้โดยง่ายเก็บไว้ที่แหล่งศูนย์ข้อมูล เนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) กลาง (Central Public Content)

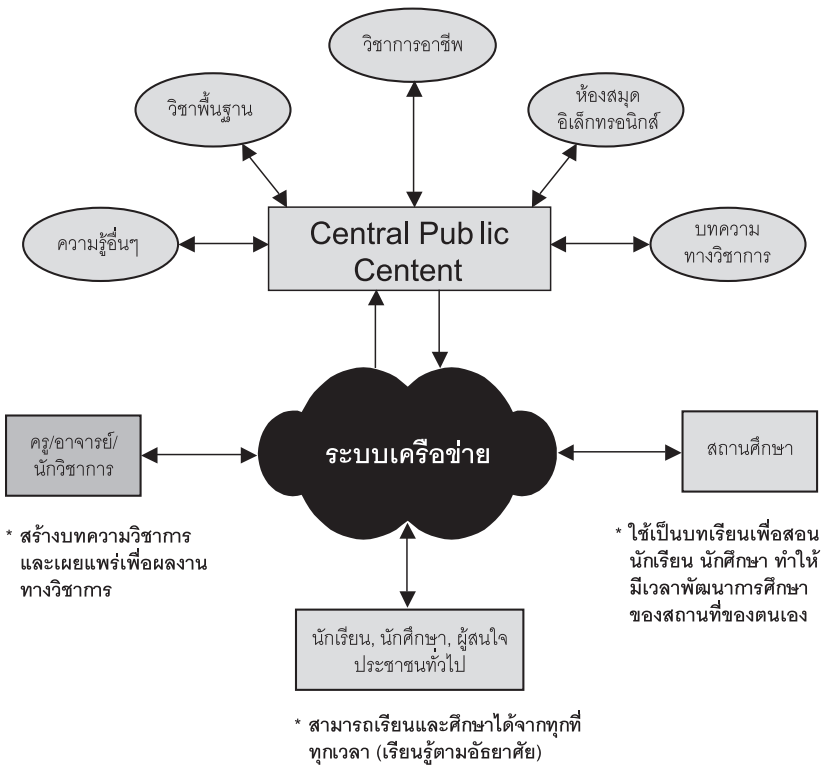
ปัจจุบันนี้เนื้อหาวิชาที่เรียนตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงระดับปริญญา จะมีวิชาพื้นฐานที่แต่ละระดับจะเรียนเหมือนกัน เช่น คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ภาษาไทย สังคม ภาษาอังกฤษ ดังนั้น ควรที่จะตั้งเป็นคณะทำงานร่วมเพื่อจัดทำเนื้อหาวิชา (Content) เหล่านี้ ให้เป็นรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ แยกตามเรื่องและรายวิชา (ไม่ใช่การนำหนังสือเรียนมาถ่ายสำเนา (Scan) เป็นอิเล็กทรอนิกส์ เช่นเดียวกับต่างประเทศที่เคยทำ อาทิเช่น สิงค์โปร และอังกฤษ และเมื่อมีเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) พื้นฐานแล้ว แต่ละโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในแต่ละระดับก็จะสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้สอดคล้องกับท้องถิ่นหรือความชำนาญ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนของตนเองเพิ่มต่อไปได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเนื้อหาวิชาชีพทั่วไป เช่น ช่างไฟฟ้า ช่างยนต์ การบ้านการเรือน งานประดิษฐ์ หรือภาษาต่างประเทศอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น จีน ญี่ปุ่น สเปน ฝรั่งเศส รวมถึงบทความทางวิชาการและห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ หากทำได้สำเร็จตามนี้จะทำให้แต่ละระดับการศึกษามีโอกาสเข้าถึงการศึกษาที่มีมาตรฐานเดียวกันได้ เป็นการยกระดับการศึกษาของประเทศอีกทางหนึ่ง

2. ให้มีการยกย่องและให้ผลตอบแทนแก่ผู้จัดทำเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) เช่น ครู อาจารย์ หรือนักวิชาการ ที่ทำเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ทุกชนิด ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับการเผยแพร่ ควรจะได้ทุนสนับสนุนและสามารถใช้เป็นผลงานวิชาการในการพิจารณาเลื่อนขั้นและตำแหน่ง และควรจะให้ทุนอุดหนุนคณะบุคคลหรือบริษัทเอกชนที่ทำเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) ทุกชนิด โดยเฉพาะวิชาพื้นฐานทุกระดับ และ Content นั้นได้รับการยอมรับให้บรรจุใน Central Public Content ทั้งนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีเนื้อหาวิชาในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Content) จำนวนมากที่ได้คุณภาพและมาตรฐาน

3. กรณีทำการศึกษาผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ให้มีชื่อเรียกเพียงชื่อเดียว เช่น www.school-net.or.th จะทำให้ทุกคนที่ต้องการศึกษาไม่ต้องเสียเวลาค้นหาว่าจะเข้าที่ Website ไหนดี และจาก Website นี้ ก็ยังสามารถ Link ไป Website การศึกษาอื่นๆ ได้ ตัวอย่าง เช่น กรณีโทรศัพท์ หมายเลข 1111 เพื่อสอบถามข้อมูลภาครัฐ ทำให้สะดวกไม่ต้องจำว่าจะติดต่อหน่วยงานนั้นต้องหมุนหมายเลขอะไร

ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องร่วมกันกำหนดแนวทาง

การสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education) สามารถเริ่มดำเนินการได้ทันที โดยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ให้กระทรวง ICT และกระทรวงศึกษาธิการร่วมกันศึกษาและกำหนดแนวทางหรือวาระแห่งชาติในการพัฒนาการศึกษา เพื่อสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิต สร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้ที่ไม่หยุดนิ่ง เพื่อทำให้คนมีความสุขตามนโยบายของรัฐบาลต่อไป



สร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education)

เรามาช่วยกันสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ (e-Education) เพื่อคนไทยทุกคนมีความสุขและเมืองไทยเข้มแข็ง

สำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา

ความเป็นมา

ปี พ.ศ. 2538 รัฐบาลมีนโยบายขยายการศึกษาภาคบังคับในการศึกษาขั้นต้น ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540-2544) จาก 6 ปี เป็น 9 ปี และ 12 ปี ตามลำดับ ปริมาณเด็กจะเข้าสู่สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาจึงเพิ่มเป็นทวีคูณ แต่ขณะนั้น สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาของรัฐสังกัดทบวงมหาวิทยาลัยมีกำลังการรับเด็กเข้าเรียนต่อได้ไม่ถึง 60,000 คน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในด้านสถานที่สำหรับให้เด็กเข้าศึกษาต่อไม่เพียงพอ ในขณะนั้น สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาที่มีการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในส่วนกลาง สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคมีไม่มากนักจะได้เห็นจากจำนวนสถาบันอุดมศึกษา 195 แห่งนั้น ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครถึง 68 แห่ง ที่เหลือ 127 แห่ง กระจายอยู่ในส่วน

ภูมิภาคต่างๆ อยู่ในจังหวัดหลักในแต่ละภาคของประเทศ รัฐบาลจึงมีนโยบายที่จะขยายโอกาสทางการศึกษาไปสู่ภูมิภาคของประเทศมากขึ้น เพื่อให้ประชาชนในท้องถิ่นมีโอกาสได้รับการศึกษาอย่างทั่วถึง และสามารถใช้ทรัพยากรบุคคล ซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อพัฒนาท้องถิ่นด้วยตนเอง

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (ทบวงมหาวิทยาลัยในขณะนั้น) ได้ศึกษาปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไขเรื่องการขยายโอกาสอุดมศึกษาไปยังภูมิภาค โดยเฉพาะประเด็นการจัดการศึกษาทางไกลผ่านระบบสารสนเทศ (Information Technology) อย่างมีคุณภาพและมาตรฐานทางวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาจึงได้เสนอโครงการเครือข่ายสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษาต่อคณะรัฐมนตรี และในคราวประชุมเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2538 และคราวประชุมเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2539

โครงการเครือข่ายสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา ซึ่งได้รับอนุมัติจากคณะรัฐมนตรีให้ดำเนินการโครงการขยายโอกาสอุดมศึกษาสู่ภูมิภาค โดยจัดตั้งเป็นวิทยาเขตสารสนเทศจำนวนทั้งสิ้น 37 แห่ง ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (ทบวงมหาวิทยาลัย) ได้ดำเนินการจัดตั้งวิทยาเขตสารสนเทศไปแล้ว 22 แห่ง และมหาวิทยาลัย (สถาบันการศึกษาขั้นสูง) 3 แห่ง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง)

ต่อมาปี พ.ศ. 2543 ภายหลังเกิดวิกฤตเศรษฐกิจ ทำให้รัฐบาลมีการชะลอโครงการด้านการลงทุน ซึ่งรวมทั้งการจัดตั้งวิทยาเขตสารสนเทศจึงเป็นผลให้ยังไม่สามารถดำเนินการโครงการได้แล้วเสร็จตามแผนงานที่ได้รับอนุมัติไว้ แต่เพื่อประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของอุปกรณ์และระบบเครือข่ายฯ ที่รัฐบาลได้ลงทุนไปแล้วนั้น ประกอบกับขณะนั้น มีการปฏิรูปการศึกษา ซึ่งจะนำสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาที่อยู่ภายใต้สังกัดกระทรวงศึกษาธิการ มาอยู่รวมกันสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา จึงมีนโยบายให้สถาบันการศึกษาหรือหน่วยงานทางการศึกษาสามารถเชื่อมต่อเพื่อใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์และระบบเครือข่ายฯ ร่วมกัน โดยการเชื่อมต่อจะเป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

วัตถุประสงค์

- สนับสนุนส่งเสริมการดำเนินงานตามนโยบายกระจายโอกาสอุดมศึกษาอย่างมีคุณภาพไปสู่ภูมิภาคโดยการจัดตั้งวิทยาเขตสารสนเทศในจังหวัดต่างๆ 30 จังหวัด ซึ่งตั้งอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศให้สามารถเปิดรับนักศึกษาเข้าศึกษาในหลักสูตรที่สอดคล้องกับความต้องการกำลังคน โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายสารสนเทศและการเรียนการสอนทางไกลแบบสองทาง ช่วยให้สามารถจัดการเรียนการสอนได้ในระยะต้น เพื่อเตรียมความพร้อมด้านการผลิตและการพัฒนาอาจารย์
- จัดหาเครือข่ายสื่อสารความเร็วสูงเพื่อเพิ่มโอกาสการเข้าถึงมวลความรู้ของมหาวิทยาลัย/สถาบัน ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์รูปแบบต่างๆ บนระบบ Education on Demand อย่างหลากหลายในฐานข้อมูล ผลักดันให้เกิดการปฏิรูประบบการเรียนการสอนที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ (Student Center)
- รวบรวมและประมวลองค์ความรู้จากแหล่งความรู้ต่างๆ พัฒนาให้เป็นศูนย์การเรียนรู้ด้วยตนเอง เปิดโอกาสให้นิสิต/นักศึกษา และประชาชนที่สนใจสามารถศึกษาค้นคว้าความรู้จากมหาวิทยาลัย/สถาบัน และแหล่งความรู้ต่างๆ
- ประสานการใช้ทรัพยากรทางการศึกษาร่วมกัน อันได้แก่ ทรัพยากรบุคคล: คณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยในส่วนกลาง ห้องสมุด: ทรัพยากรทางวิชาการและการวิจัยส่งเสริม

ความร่วมมือถ่ายทอดการเรียนการสอนระหว่างมหาวิทยาลัย/สถาบันต่างๆ ที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละด้านเพื่อพัฒนาและร่วมกันใช้ทรัพยากรทางการศึกษาอย่างคุ้มค่า รวมทั้งประสานความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัย/สถาบันในต่างประเทศให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อการพัฒนาความเข้มแข็งทางด้านวิชาการและเทคโนโลยีในประเทศให้ยั่งยืนต่อไป

เป้าหมาย

- สร้างระบบเครือข่ายสารสนเทศความเร็วสูงเชื่อมโยงมหาวิทยาลัย/สถาบัน และวิทยาเขตทุกแห่งทั่วประเทศ เรียกว่า “เครือข่าย UniNet”
- พัฒนาศูนย์การเรียนรู้ด้วยตนเองโดยการพัฒนาเครือข่ายในมหาวิทยาลัย (Campus Network) ให้เชื่อมโยงไปสู่ระบบห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์, ระบบ Internet, ระบบ Multi-media, Video on Demand, และ Self-Study Center ต่างๆ
- พัฒนาเอกสารชุดวิชาและสื่อประกอบการเรียนการสอน (Courseware) พัฒนาฐานข้อมูลแห่งการเรียนรู้และพัฒนาการเรียนการสอน โดยผ่านระบบ Video Conference System (VCS)
- การพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา
- พัฒนาให้เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้และการศึกษาตลอดชีวิต

รายนามสมาชิกเครือข่ายUniNet

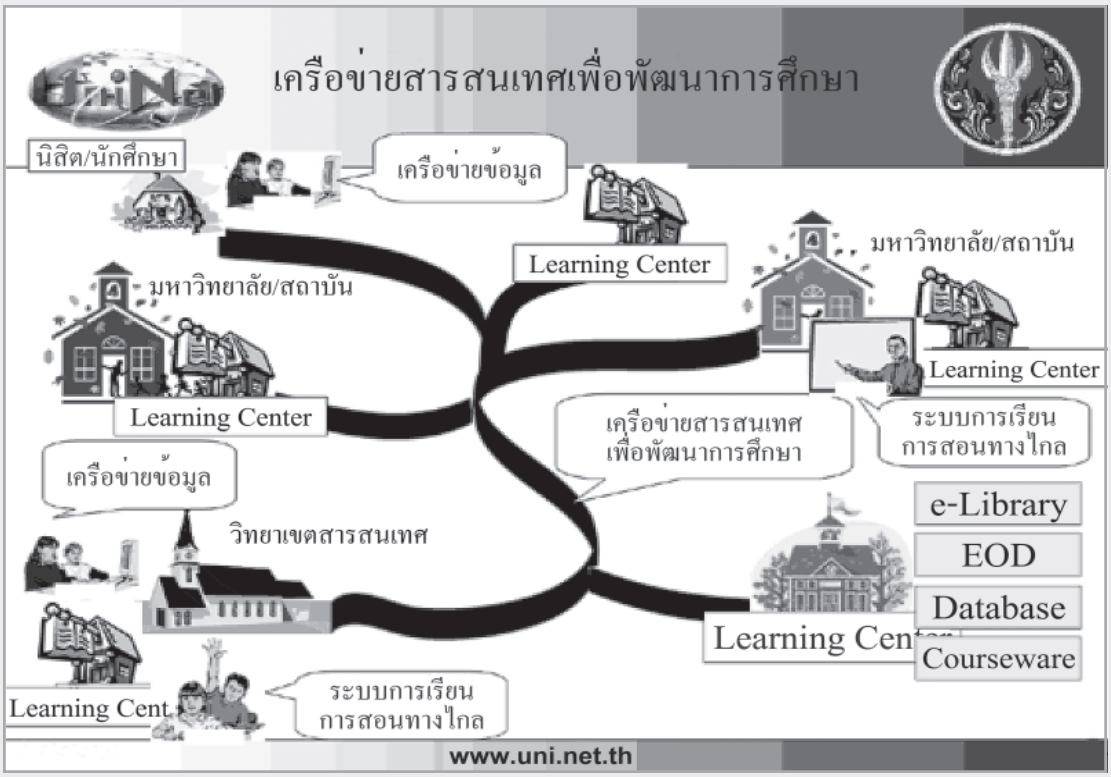
- มหาวิทยาลัย/สถาบัน 24 แห่ง
- วิทยาเขตสารสนเทศ 25 แห่ง (ศูนย์ประสานงาน 2 แห่ง)
- ศูนย์วิทยพัฒน มสธ. 10 แห่ง
- มหาวิทยาลัยราชภัฏ 38 แห่ง
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (41 วิทยาเขต) 9 แห่ง
- มหาวิทยาลัยสงฆ์ (1+13 วิทยาเขต) 2 แห่ง
- มหาวิทยาลัยเอกชน 8 แห่ง
- สถาบันอุดมศึกษา นอกสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา) 2 แห่ง
- หน่วยงานอื่นๆ 12 แห่ง
- เครือข่ายอื่นๆ 6 เครือข่าย (เครือข่ายที่เชื่อมต่อเพื่อบริการสถาบันที่เชื่อมต่อบน Uninet ไม่นับรวมเป็นผู้รับบริการ)

โครงการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย (SchoolNet Thailand)

ความเป็นมาของโครงการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้ริเริ่มโครงการอินเทอร์เน็ตในโรงเรียนขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2538 ซึ่งในปีนั้นเป็นปีแห่งเทคโนโลยีสารสนเทศไทย

ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 เมื่อคณะรัฐมนตรีได้ให้การเห็นชอบนโยบาย IT 2000 ซึ่งให้ความสำคัญกับการพัฒนากำลังคนที่มีความรู้ ความสามารถด้านไอที เนคเทค ในฐานะฝ่ายเลขานุการคณะกรรมการเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งชาติ จึงได้จัดทำโครงการนำร่อง โดยการขยายขอบเขตของโครงการอินเทอร์เน็ตในโรงเรียนออกไปให้ครอบคลุมจำนวนโรงเรียนมากขึ้น และเรียกชื่อใหม่ว่า “โครงการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย” หรือ SchoolNet Thailand เพื่อเป็นเครือข่ายที่เปิดโอกาสให้โรงเรียนทั่วประเทศไทยได้เข้าสู่เครือข่าย



ที่มา: http://www.uninet.net.th

อินเทอร์เน็ต และเพื่อใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการยกระดับการศึกษาให้แก่เยาวชนไทย

และในปี พ.ศ. 2542 คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบโครงการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทยเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในวโรกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษาครบ 6 รอบ 5 ธันวาคม 2542 โดยมีเป้าหมายคือ ให้สามารถเชื่อมต่อโรงเรียนได้จำนวน 5,000 โรงเรียนทั่วประเทศ พัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ต และพัฒนาครูให้มีความรู้ความสามารถในการใช้อินเทอร์เน็ต

ผลการดำเนินงาน

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดย เนคเทค สวทช. ได้ดำเนินโครงการ SchoolNet ในรูปแบบโครงการนำร่องมาจนถึงระยะสุดท้ายณ ปัจจุบัน ทั้งนี้ จากการดำเนินงานที่ผ่านมาได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีจากโรงเรียน ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน จากโรงเรียนทุกระดับ ตั้งแต่ประถมศึกษา มัธยมศึกษาและอาชีวศึกษา ในทุกสังกัด และจากโรงเรียนทั่วประเทศ ได้ให้ความสนใจเข้าร่วมเป็นสมาชิกโครงการฯ จำนวน 4,787 โรงเรียน ในจำนวนนี้มีโรงเรียนที่มีความสามารถพัฒนาเว็บไซต์ของโรงเรียนจำนวน 1,377 โรงเรียน ในการดำเนินงาน สามารถแบ่งตามยุคของการพัฒนา SchoolNet ได้เป็น 4 ยุค ดังนี้

ยุคที่ 1 (พ.ศ. 2538-2540): ยุคบุกเบิกสารสนเทศลงสู่โรงเรียน

เป็นการขยายเครือข่ายไทยสารที่เนคเทคดำเนินการอยู่แล้วให้เชื่อมต่อกับโรงเรียนมัธยมศึกษา โดยเริ่มต้นที่ 10 โรงเรียน แล้วขยายเพิ่มเป็น 50 โรงเรียน และ 120 โรงเรียนทั่วประเทศ ในปี 2539

และ 2540 ตามลำดับ ทั้งนี้ในการดำเนินงานเนคเทคได้จัดตั้งเครื่องให้บริการอินเทอร์เน็ต ชื่อ k12.nectec.or.th (เรียกสั้นๆ ว่า k12) จัดสรรบัญชีผู้ใช้อินเทอร์เน็ตให้โรงเรียนละ 2 บัญชี และมีพื้นที่บนดิสก์ให้โรงเรียนในขนาด 5 MB เพื่อใช้สำหรับพัฒนาเว็บไซต์และตู้จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ของโรงเรียน ตลอดจนจัดอบรมหลักสูตรการใช้อินเทอร์เน็ตและการสร้างเว็บเพจแก่โรงเรียนด้วย

ยุคที่ 2 (พ.ศ. 2541-2543): มิติใหม่ "School Net@1509" ให้ 1,500 โรงเรียนมัธยมทั่วประเทศได้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ครั้งละ 3 บาท

ในยุคนี้โครงการ SchoolNet ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พระราชทานพระราชานุญาตให้ใช้ระบบเครือข่ายกาญจนาภิเษก และเลขหมายพระราชทาน 1509 สำหรับการเชื่อมต่อแบบหมุนโทรศัพท์ และได้รับความร่วมมือจากองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (ทศท.) และการสื่อสารแห่งประเทศไทย (กสท.) (ณ ขณะนั้น) ทำให้โรงเรียนทั่วประเทศสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยค่าใช้จ่ายเพียงค่าโทรศัพท์ในอัตรา 3 บาทต่อครั้ง จึงถือเป็นการเริ่มมิติใหม่ของโครงการ SchoolNet@1509 ที่เปิดโอกาสให้โรงเรียนทั้งในเมืองและชนบท ได้มีโอกาสเข้าถึงอินเทอร์เน็ตอย่างทั่วถึงและเท่าเทียมกัน

ยุคที่ 3 (พ.ศ. 2544-2545): ขยายเป้าหมายเป็น 5,000 โรงเรียน ครอบคลุมถึงกลุ่มโรงเรียนประถมศึกษา มัธยมศึกษา และอาชีวศึกษาในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการและกระทรวงมหาดไทย

ทั้งยังมุ่งเน้นการพัฒนาขีดความสามารถของบุคลากร ในเรื่องการทำเนื้อหาเพื่อการเรียนการสอนโดยเป็นการดำเนินการตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2542 ที่เห็นชอบต่อโครงการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย (SchoolNet) เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในวโรกาสพระราชพิธีมหามงคล เฉลิมพระชนมพรรษาครบ 6 รอบ ให้ขยายเครือข่ายให้ครอบคลุมโรงเรียนทั้งในระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษาและอาชีวศึกษา รวมทั้งสิ้น 5,000 โรงเรียนทั่วประเทศ รวมทั้งให้มีการจัดทำเนื้อหาความรู้ในรูปแบบของ "ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์" หรือ Digital Library ต้นแบบที่มีข้อมูล/ความรู้สำหรับครูระดับมัธยมศึกษาในหมวดวิชาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ฯลฯ กว่า 1,000 เรื่อง นอกจากนี้เนคเทคยังได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยครูในการพัฒนาเนื้อหา/สื่อการเรียนการสอน เพื่อนำขึ้นเผยแพร่ใน Digital Library ด้วย โดยหลังจากที่ได้มีการจัดอบรมให้แก่ครู/ศึกษานิเทศก์กว่า 1,000 คน ทั่วประเทศแล้ว ได้มีการนำเครื่องมือนี้ไปใช้ในการสร้างเนื้อหาในหลากหลายวิชา ผลปรากฏว่า ณ ปัจจุบัน มีจำนวนเนื้อหาที่เผยแพร่อยู่บน Digital Library นี้กว่า 7,100 เรื่องใน 10 หมวดวิชา

ยุคที่ 4 (พ.ศ. 2545-2546): พัฒนาขีดความสามารถของโรงเรียนด้านการใช้ซอฟต์แวร์ Open Source พร้อมเตรียมการเพื่อส่งมอบโครงการ SchoolNet ให้แก่กระทรวงศึกษาธิการ

เนื่องจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ โดยเนคเทค สวทช. ได้ทำหน้าที่นำร่องโครงการ School Net ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรีเรียบร้อยแล้ว ประกอบกับกระทรวงศึกษาธิการเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบดูแลด้านการศึกษา ซึ่งรวมถึงการขยายเครือข่ายให้ครอบคลุมทุกโรงเรียนทั่วประเทศจำนวนกว่า 38,000 โรงเรียน โดยเนคเทคจะดำเนินโครงการ School Net จนถึงสิ้นปีงบประมาณรายจ่าย พ.ศ. 2546 (30 กันยายน 2546) และจะส่งมอบภารกิจให้แก่กระทรวงศึกษาธิการดำเนินการต่อ ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2546 เป็นต้นไป ◎

ที่มา: http://www.school.net.th

เทคโนโลยีสารสนเทศ กับการพัฒนาโลจิสติกส์ของประเทศไทย

นางสาวช่อผกา แก้วใหญ่
สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

บทนำ

ภายใต้บริบทการค้าโลกที่มีการแข่งขันสูงอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยจะใช้ศักยภาพทางภูมิศาสตร์ที่มีอยู่มาสร้างให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ (Economic Value Creation) ให้กับประเทศ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการยกระดับการบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพสู่ระดับสากล (World Class) เพื่อสนับสนุนให้ผู้ประกอบการและธุรกิจในประเทศสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก ภายใต้สภาวะที่แต่ละประเทศมุ่งขยายตลาดและกำหนดบทบาทการเป็นศูนย์กลางทางการค้าและการลงทุนในภูมิภาคตลอดเวลา การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ไทยให้สามารถแข่งขันได้ เป็นการประสานกิจกรรมจากหลายส่วนและต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นจะต้องมีการกำหนดแผนแม่บทเป็นเครื่องมือชี้นำส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องให้เกิดการระดมทรัพยากรและประสานการพัฒนาอย่างเป็นเอกภาพมีบูรณาการ

โดยที่ การจัดการโลจิสติกส์ครอบคลุมกิจกรรมการบริการต่างๆ ตั้งแต่ การขนส่งวัสดุคงคลัง คลังสินค้า คำสั่งซื้อ ข้อมูล การเงิน การจัดการวัตถุดิบ การจัดซื้อ การบรรจุและการบริหารอุปสงค์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง “การจัดการโลจิสติกส์” คือ การดำเนินงานเพื่อจัดหาสินค้าหรือบริการตามความต้องการของลูกค้า และส่งมอบไปยังสถานที่อย่างถูกต้องในเวลาที่เหมาะสมด้วยต้นทุนที่คุ้มค่า ดังนั้น หัวใจหลักของการจัดการโลจิสติกส์จึงอยู่ที่การสร้างความสัมพันธ์ที่ดีเพื่อให้เกิดการสื่อสารและการดำเนินงานที่ประสานกันระหว่างหน่วยงาน

ปัจจุบัน ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการแข่งขันทางธุรกิจได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ประเทศไทยไม่สามารถพึ่งพิงเพียงแรงงานราคาถูกหรือทรัพยากรธรรมชาติที่เคยมีอยู่อย่างมากมายต่อไป แต่ต้องหันมาให้ความสำคัญกับการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าและบริการ ประกอบกับในยุคโลกาภิวัตน์ที่การค้าระหว่างประเทศมีการแข่งขันกันอย่างรุนแรง การจัดการโลจิสติกส์ซึ่งเดิมเคยถูกจัดว่าเป็นเพียงกิจกรรมสนับสนุนการดำเนินงานทางธุรกิจ จึงเริ่มมีความสำคัญและเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เนื่องจากประเทศที่มีการจัดการโลจิสติกส์ที่ดี จะส่งผลให้สินค้าของประเทศนั้นๆ ได้เปรียบทางด้านราคาอย่างมาก

ความหมายของ “โลจิสติกส์” และ “ศูนย์กลางโลจิสติกส์”

โลจิสติกส์ (Logistics) หมายถึง กระบวนการวางแผนการดำเนินงาน การควบคุม การเคลื่อนย้ายทั้งไปและกลับ การเก็บรักษาสินค้า บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการผลิตไปสู่จุดท้ายของการบริโภคเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ศูนย์กลางโลจิสติกส์ (Logistics Hub) หมายถึง การที่ประเทศสามารถสร้างศูนย์กลางที่เชื่อมโยงกิจกรรมทางโลจิสติกส์ทั้งหมดไว้อย่างเป็นระบบ อันประกอบไปด้วย การขนส่ง การคลังสินค้า การบริการและการอำนวยความสะดวกในการกระจายสินค้าซึ่งจะทำให้ประเทศนั้นๆ มีศูนย์กลางโลจิสติกส์ที่สามารถกระจายสินค้าภายในประเทศ และจัดการเคลื่อนย้ายสินค้าทั้งขาเข้าและขาออกของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ความสามารถในการเชื่อมโยงเครือข่ายการกระจายสินค้าทั้งภายในประเทศ และเชื่อมต่อไปยังต่างประเทศด้วยศูนย์กลางโลจิสติกส์ จะต้องมีการสร้างประสิทธิภาพทางด้านโลจิสติกส์ให้สูงขึ้น เพื่อให้เกิดกระบวนการสร้างงาน หรือกระบวนการสร้างคุณค่า (Value Added Process) กับสินค้าที่ส่งผ่านในโซ่อุปทานนั้นๆ

พัฒนาการของระบบโลจิสติกส์

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้ศึกษาวิเคราะห์ระดับการพัฒนาของโลจิสติกส์จากเอกสารและกรณีศึกษาของประเทศต่างๆ พบว่าระดับการพัฒนาของระบบโลจิสติกส์ แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

1. **Physical Distribution** คือ การขนส่งสินค้าไปสู่ผู้บริโภคโดยอาจครอบคลุมกิจกรรม เช่น การขนส่ง การเก็บสินค้า การจัดการวัสดุ และการบรรจุหีบห่อ เพื่อป้องกันความสูญเสียระหว่างการขนส่ง ไม่มุ่งเน้นการลดต้นทุนในส่วนที่เป็นสินค้าคงคลังที่เป็นวัตถุดิบ และสินค้าระหว่างการผลิต และมีความเข้าใจการจัดการสินค้าเฉพาะส่วนเท่านั้น

2. **Internally Integrated Logistics** เป็นการพัฒนาที่ผนวกรวมกิจกรรมโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นก่อนกระบวนการผลิต เช่น การจัดซื้อวัตถุดิบ และจุดมุ่งหมายเปลี่ยนจากการลดสินค้าคงคลังมา

เป็นการเพิ่มความเร็วในขบวนการทั้งหมด โดยมีการเชื่อมโยงการจัดการภายในบริษัทตั้งแต่การจัดซื้อวัตถุดิบจนจัดส่งถึงผู้บริโภค

3. **External Integrated Logistics** มีการเชื่อมโยงระหว่างบริษัทตลอดห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ในพัฒนาการขั้นนี้ บริษัทสามารถใช้ทุกรูปแบบการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีการเชื่อมต่อระหว่างรูปแบบการขนส่งที่ดี เช่น การมีจุดขนถ่ายสินค้าที่มีมาตรฐาน หรือมีระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างบริษัท

4. **Global Logistics Management** เป็นความตื่นตัวจากบริษัทข้ามชาติที่เผชิญกับปัญหากำไรลดลง จึงเริ่มหาแหล่งจัดซื้อที่ถูกกว่าในต่างประเทศ ทำให้เกิดการจัดซื้อวัตถุดิบและจัดส่งสินค้าครอบคลุมแหล่งวัตถุดิบทั่วโลก จึงมีการเชื่อมต่อในระบบการขนส่งระหว่างประเทศที่มีประสิทธิภาพ เช่น การจัดการท่าเรือ ขั้นตอนการส่งสินค้าชายแดน จะให้ความสำคัญกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยด้านการขนส่ง และมีการพึ่งพาผู้ให้บริการโลจิสติกส์ระหว่างประเทศอย่างครบวงจร เป็นต้น

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทยแล้วพบว่า ระดับการพัฒนาโลจิสติกส์ของไทยยังอยู่ในยุคเริ่มต้น คือ อยู่ในขั้นระหว่างการพัฒนาจากช่วง Physical Distribution ไปสู่ขั้น Internally Integrated Logistics ซึ่งจากการศึกษาของ สศช. พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบโลจิสติกส์ไทยเกิดจาก **"การไม่มีนโยบายโลจิสติกส์ที่ชัดเจนและไม่มีกลไกในการผลักดันนโยบาย"** ทำให้การทำงานของหน่วยงานเป็นลักษณะต่างคนต่างทำ ขาดการประสานงานระหว่างหน่วยงาน ขาดการเชื่อมต่อระบบและโครงสร้างพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างเต็มที่

สถานการณ์และทิศทางการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย

แม้ระดับความสามารถในการแข่งขันด้านโลจิสติกส์ของไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว และยังมีประเด็นที่ต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงอีกมาก แต่ประเทศไทยก็มีความได้เปรียบเชิงภูมิศาสตร์ในการเป็นศูนย์กลางของภูมิภาคอินโดจีน ซึ่งแต่ละประเทศมีการเติบโตด้านการการค้าระหว่างประเทศอย่างรวดเร็ว (ยกเว้นสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว)

ดังนั้น ประเทศไทยจึงควรอาศัยโอกาสและความได้เปรียบในเชิงภูมิศาสตร์นี้ กำหนดเป้าหมายการพัฒนาให้ไทยเป็น **"ศูนย์กลางโลจิสติกส์ของภูมิภาคอินโดจีน"** (Logistics Hub of Indo-China) ซึ่งหมายถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของกิจกรรมด้านโลจิสติกส์ ทั้งในส่วนผู้ประกอบการและผู้ให้บริการกิจกรรมด้านโลจิสติกส์ในประเทศ รวมทั้งดึงดูดให้กิจกรรมการขนส่งสินค้า/บริการในภูมิภาคเข้ามาใช้ประเทศไทยเป็นจุดเชื่อมโยงมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีปัญหาในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ที่สำคัญ ดังนี้

1. **ระบบข้อมูลเพื่อการบริการนำเข้า-ส่งออกของภาครัฐ ขาดการแลกเปลี่ยนเชื่อมโยงเป็นระบบเดียวกัน** ทำให้เกิดความซ้ำซ้อนและเป็นภาระต้นทุนที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่ม (Non Value Added Cost) ให้แก่ธุรกิจ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้กระบวนการนำเข้า-ส่งออก สินค้าของไทยมีประสิทธิภาพด้อยกว่าประเทศพัฒนาแล้ว เนื่องจากมีหน่วยงานและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องมากประมาณว่ามีหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 29 หน่วยงาน จากการสำรวจของ UNCTAD การนำเข้า-ส่งออกและการขนส่งโดยเฉลี่ยแล้ว มีเอกสารที่ต้องดำเนินการ 40 แบบฟอร์มรายการ ข้อมูลมากกว่า 200 รายการ (ในจำนวนนี้ 30 รายการ ต้องป้อนข้อมูลซ้ำ

30 ครั้ง และข้อมูล 60-70% ต้องกรอกซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง) เป็นภาระอย่างมากกับผู้ประกอบการ

เมื่อเทียบกับประเทศสิงคโปร์ ที่มีการปรับปรุงจากในอดีตที่ผู้ประกอบการนำเข้า-ส่งออกสินค้า ต้องกรอกเอกสาร 21 แบบฟอร์ม สำหรับ 23 หน่วยงาน และใช้ระยะเวลาดำเนินการ 15-20 วัน เมื่อมีการพัฒนาระบบข้อมูลและเชื่อมโยงฐานข้อมูลกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องแล้ว ทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดจำนวนเอกสารที่ต้องกรอกลงเหลือ 2 แบบฟอร์มผ่านอินเทอร์เน็ต และใช้ระยะเวลาในการดำเนินการเหลือ 15 นาที ผลจากการปรับปรุงระบบเชื่อมโยงข้อมูลทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของภาครัฐ และทำให้ผู้ประกอบการสามารถประหยัดต้นทุนปีละประมาณ 1 พันล้านดอลล่าร์สหรัฐฯ

ช่วงปีที่ผ่านมา ภายใต้การชี้นำนโยบายโดยคณะกรรมการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (กพข.) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ริเริ่มผลักดันให้มีการพัฒนาระบบ Single-Window Entry ในฐานะเป็นส่วนหนึ่งของระบบ e-Logistics และ Paperless Trading มาใช้ในการอำนวยความสะดวกในกระบวนการนำเข้า-ส่งออก ให้สามารถดำเนินธุรกรรมต่างๆ ให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว และลดกระดาษเอกสารต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น ประมาณว่าหากสามารถพัฒนาระบบได้สมบูรณ์จะสามารถทำให้ประเทศไทยสามารถประหยัดได้ประมาณ 58,000 ล้านบาทต่อปี

2. **ระบบข้อมูลภายในองค์กรของภาครัฐและเอกชน (Back Office) ไม่มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ และขาดมาตรฐานร่วม (Common Platform) ทั้งในเรื่องข้อมูลที่จัดเก็บและเทคโนโลยี** เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาบริการของรัฐให้เอื้อต่อการทำธุรกิจที่มีประสิทธิภาพ ปัจจุบัน การเรียกร้องข้อมูลจากผู้ประกอบการ ส่วนใหญ่เป็นการดำเนินการเพื่อสนองความต้องการของแต่ละหน่วยงานรัฐที่มีจุดมุ่งหมายในการกำกับควบคุมตามอำนาจหน้าที่ของตนเองมากกว่าเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ธุรกิจ

รวมทั้งไม่คำนึงถึงการแลกเปลี่ยนเชื่อมโยงทำให้ไม่มีการสร้างมาตรฐานร่วม ดังที่เห็นได้จากจำนวนแบบฟอร์ม และรายการข้อมูลที่มากเกินความจำเป็น โดยไม่สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าแต่อย่างใด เพราะเมื่อมีการสำรวจข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวางแผนหรือตอบประเด็นปัญหาต่างๆ ด้านโลจิสติกส์ ก็พบว่าข้อมูลที่มีอยู่ตามหน่วยงานยังไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกันได้ และที่มีอยู่ก็ยังไม่มีการจัดเก็บให้เป็นระบบข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ข้อมูลไม่ทันสมัย และไม่นำไปสู่การช่วยพัฒนาประสิทธิภาพในการให้บริการของหน่วยงานแต่อย่างใด

ในภาคธุรกิจเอกชนก็มีปัญหาคล้ายกัน จากการสำรวจของสำนักงานองค์การค้าของญี่ปุ่น (JETRO) พ.ศ. 2547 พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ (ร้อยละ 37) ของระบบข้อมูลบริษัทในประเทศไทยเป็นเรื่องเกี่ยวกับความเร็วและความน่าเชื่อถือของข้อมูล รองลงมาเป็นปัญหามาตรฐาน และความสามารถในการบริหารจัดการของหน่วยงาน

อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าว ทั้งในเรื่องการจัดเก็บข้อมูลและมาตรฐานร่วมได้มีการริเริ่มดำเนินการไปบ้างแล้ว โดยการจัดทำ Guideline คู่มือเพื่อการพัฒนาระบบ e-Logistics และการดำเนินการพัฒนาระบบข้อมูล (Back Office) ของแต่ละหน่วยงานและการเชื่อมโยงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพระหว่างเอกชน และผู้ใช้บริการก็เป็นภารกิจหนึ่งของแผนงานพัฒนาระบบ Single Window Entry ที่อยู่ระหว่างดำเนินการให้เกิดผลในทางปฏิบัติ ทั้งนี้ การปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งระบบอย่างเต็มรูปจะเกิดได้เร็ว หากมีการ

ส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการทำธุรกิจให้แพร่หลายมากขึ้นด้วย

3. **ยังไม่มีการจัดเก็บและพัฒนาระบบข้อมูลเพื่อการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในระดับประเทศ** ซึ่งนอกจากปัญหาเรื่องคุณภาพข้อมูลในระดับองค์กรรัฐ และในธุรกิจเอกชนดังกล่าวข้างต้น ในระดับประเทศการริเริ่มพัฒนาระบบข้อมูลเพื่อการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น ในขณะที่ประเทศพัฒนาแล้ว ได้พัฒนาระบบข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาระบบโลจิสติกส์มากว่าสิบปี นอกจากจะสามารถบอกระดับต้นทุนโลจิสติกส์โดยประมาณต่อ GDP ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น หากสามารถทราบต้นทุนโลจิสติกส์โดยละเอียดของแต่ละอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของประเทศก็มีศักยภาพสูงในการกำหนดกลยุทธ์เพื่อยกระดับประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมนั้นๆ ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ ข้อมูลที่สำคัญต่อการวางแผนพัฒนา หรือลงทุนด้านระบบโลจิสติกส์ของประเทศ ใน**รูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้าในประเทศ (Commodity Flow) ยังไม่มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ** เนื่องจากยังไม่ได้ให้ความสำคัญ และขาดองค์ความรู้ในการจัดเก็บ ขาดความสมบูรณ์ของข้อมูลและการเชื่อมโยงระบบฐานข้อมูลระหว่างหน่วยงาน เป็นผลให้ภาครัฐไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจลงทุน หรือพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ที่จำเป็น

ข้อมูลอีกกลุ่มที่จำเป็นและยังไม่มีการพัฒนา คือ ข้อมูลเกี่ยวกับ**มาตรฐานการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพในระดับโลก** ซึ่งควรมีการจัดทำขึ้นเพื่อที่ธุรกิจเอกชนจะได้มีเกณฑ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตนเองกับ Best Practice ในด้านต่างๆ ของกิจกรรมโลจิสติกส์ ซึ่งจะทำให้เอกชนมีกลไกขับเคลื่อนด้วยตนเองในการพยายามจะปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการด้านโลจิสติกส์ให้อยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันได้

การพัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลและฐานข้อมูลเกี่ยวกับโลจิสติกส์

การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของไทยให้เชื่อมโยงกับระบบข้อมูลทางธุรกิจให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบข้อมูลที่สำคัญๆ รวม 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. **กลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายสินค้าและบริการ** โดยเฉพาะข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการมีกิจกรรมระหว่างธุรกิจกับหน่วยงานรัฐ เช่น ข้อมูลในการยื่นคำขอนำเข้า-ส่งออกสินค้า และข้อมูลที่ใช้พิจารณาเพื่ออนุญาตหรืออนุมัติการเคลื่อนย้ายสินค้า ซึ่งมีหลายหน่วยงานของรัฐมาเกี่ยวข้องและมีความซ้ำซ้อนสูง การเชื่อมโยงเป็นระบบเดียวกันระหว่างภาครัฐและรัฐกับเอกชน จะสามารถลดต้นทุนได้มากทั้งในแง่เวลาที่ใช้ และความซ้ำซ้อนผิดพลาดของข้อมูล

2. **กลุ่มข้อมูลที่เกิดจากการทำธุรกิจและส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารจัดการและการแข่งขันของผู้ประกอบการ** เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพที่สามารถสืบย้อนแหล่งผลิต (Traceability) ข้อมูลความต้องการของตลาด หรือต้นทุนการนำส่งสินค้าในแต่ละขั้นตอนของโซ่อุปทาน ซึ่งปัจจุบันผู้ประกอบการสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้สร้างความได้เปรียบในการแข่งขันได้

3. **กลุ่มข้อมูลที่จำเป็นต่อการวางแผนและการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในระดับประเทศ** เช่น ข้อมูลต้นทุนและมูลค่าเพิ่มของโลจิสติกส์ต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้า (Commodity Flow) และข้อมูลเกี่ยวกับเกณฑ์มาตรฐานของกิจกรรมโลจิสติกส์ต่างๆ เป็นต้น

การพัฒนาระบบข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม จำเป็นที่ผู้บริหารประเทศและผู้ประกอบการภาคเอกชนต้องร่วมกันพัฒนาให้เกิดขึ้น เพื่อรองรับความเป็นศูนย์กลางธุรกิจและการค้าของภูมิภาคอินโดจีน ตัวชี้วัดหนึ่งที่สะท้อนว่า การเชื่อมโยงข้อมูลและฐานข้อมูลเกี่ยวกับโลจิสติกส์ของไทยยังขาดความสมบูรณ์ คือ การที่ประเทศไทยมีความพร้อมโดยรวมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศต่ำ อยู่ที่อันดับที่ 38 และ 36 ในช่วงปี พ.ศ. 2546-2547 และ พ.ศ. 2547-2548 ตามลำดับ

ระบบสารสนเทศกับการพัฒนาโลจิสติกส์ในประเทศไทย

ระบบสารสนเทศมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการประสานและเชื่อมโยงข้อมูลตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานเข้าด้วยกัน ความสามารถในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของไทย การส่งเสริมให้มีการใช้มาตรฐานในการส่งข้อมูลระหว่างองค์กรจึงเป็นส่วนสำคัญยิ่งในการเชื่อมโยงข้อมูล

ทั้งนี้ การเชื่อมโยงด้านข้อมูลระหว่างองค์กรของไทยที่ผ่านมาจะผ่านระบบ EDI ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเก่าและลงทุนสูง เหมาะสำหรับองค์กรขนาดใหญ่เท่านั้น ไม่สามารถใช้กับ SME ของไทย เทคโนโลยีใหม่ที่ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตจึงได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เพราะต้องการการลงทุนที่น้อยกว่า

ในปัจจุบันการเชื่อมโยงระบบข้อมูลระหว่างองค์กร นิยมใช้มาตรฐานของ RosettaNet กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมไฮเทคและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ รัฐบาลในภูมิภาคเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวัน สิงคโปร์ มาเลเซีย ได้มีการส่งเสริมให้ใช้มาตรฐานของ RosettaNet อย่างจริงจัง เนื่องจากเล็งเห็นถึงความสำคัญในการยกระดับความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิตและผู้ให้บริการภายในประเทศของตน รัฐบาลไทยจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะส่งเสริมการใช้มาตรฐานของ RosettaNet อย่างจริงจังเช่นกัน

ทั้งนี้ มาตรฐานของ RosettaNet ดังกล่าวจะทำให้เกิดมาตรฐานการเชื่อมโยงข้อมูลตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่ระดับชัพพลายเออร์จนถึงผู้ผลิตผ่านผู้ให้บริการโลจิสติกส์จนกระทั่งถึงระบบศุลกากร หรือระบบอื่นๆ ของรัฐ เช่น ในโครงการ Single Window Customs ที่รัฐบาลสิงคโปร์ มาเลเซีย และจีน ได้ริเริ่มไปแล้วโดยใช้มาตรฐานของ RosettaNet (สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ RosettaNet ได้ที่ www.rosettanet.org)

นอกจากมาตรฐานของ RosettaNet แล้ว เทคโนโลยีอย่างเช่น RFID (Radio Frequency Identification) ยังมีส่วนสำคัญในการจัดการระบบโลจิสติกส์ของไทย เนื่องจากในอนาคต ความสามารถของผู้ผลิตในการสืบย้อนกลับ (Tracability) ของแหล่งการผลิตจะมีความจำเป็นในการค้าขายในเวทีระดับโลก ดังนั้น การส่งเสริมความรู้ทางด้าน RFID และการส่งเสริมการใช้งาน RFID จึงมีความสำคัญเช่นกัน

ยุทธศาสตร์การพัฒนาโลจิสติกส์ของประเทศไทย

สศช. ได้มีการยก **"ร่างกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์"** (Road Map) ของประเทศไทยโดยได้ระดมความเห็นจากผู้ประกอบการและหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องในการสร้างความเข้าใจร่วมกันถึงทิศทางและเป้าหมายการพัฒนาระบบโลจิสติกส์พร้อมทั้งหารือถึงแนวทางผลักดันยุทธศาสตร์ดังกล่าว ซึ่งโดยสรุปเห็นควรเร่งดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อพัฒนาในเรื่องต่างๆ รวม 4 ด้าน ดังนี้

1. **ด้านโครงสร้างพื้นฐาน** จากการสำรวจและศึกษาผู้ใช้บริการ พบว่า ประสบปัญหาความ

แออัดในเส้นทางขนส่งในลักษณะคอขวด เช่น กรณีทางเข้าคลังเก็บสินค้า (Inland Container Depot) หรือกฎระเบียบที่เป็นอุปสรรค และไม่เอื้อต่อการพัฒนาโลจิสติกส์ด้านโครงสร้างพื้นฐาน ควรมีการแก้ปัญหาในระยะเร่งด่วนและระยะยาว โดยในระยะเร่งด่วนต้องเร่งปรับปรุงประสิทธิภาพในเชิงกายภาพของระบบโครงสร้างพื้นฐานที่กำลังเป็นปัญหาต่อผู้ใช้บริการเพื่อขนส่งสินค้าอยู่ขณะนี้ ในระยะยาวศึกษาเชิงลึกถึงรูปแบบและพฤติกรรมการขนส่งสินค้าประเภทสินค้า แหล่งผลิต เส้นทาง ระบบการขนส่ง และจุดการขนถ่าย/กระจายสินค้า เป็นต้น

2. **การพัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูล** การเชื่อมโยงระบบเครือข่ายข้อมูล (Information Network) ตามแนวคิดเดิมเป็นเพียงเครื่องมือในการลดการใช้กระดาษเพื่อส่งข้อมูลระหว่างหน่วยงาน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการประยุกต์ใช้ทำให้สามารถติดตามตรวจสอบกระบวนการทำงานได้ด้วย เช่น ในกรณีการขอใบอนุญาตก็สามารถตรวจสอบได้ทันทีว่า อยู่ในขั้นตอนใดของการอนุมัติ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะหน่วยงานภาครัฐที่มีการบริหารในลักษณะแยกส่วน

ทั้งนี้ คณะกรรมการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (กพข.) เห็นชอบให้พัฒนาระบบการเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลภาครัฐ โดยมีหลักการสำคัญคือ 1) ให้ประชาชนเป็นศูนย์กลางการให้บริการ (Citizen-centric e-Services) คือการให้บริการที่ไม่ยึดรูปแบบการแบ่งส่วนราชการ แต่มุ่งสร้างพันธกิจในลักษณะบูรณาการ หรือให้บริการครบวงจรในจุดเดียวตามคุณลักษณะผู้ใช้บริการ 2) สร้างมาตรฐานกลางและกลไกการทำงานระหว่างระบบ (Standardization, Harmonization and Interoperability) เช่น มาตรฐานระบบข้อมูล มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูล เป็นต้น 3) ปฏิรูปกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ (Business Process Re-engineering & Streamlining) เป็นการวิเคราะห์กระบวนการทำงานเพื่อนำไปสู่การปฏิรูประเบียบวิธีการทำงานของหน่วยงานและลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน เป็นต้น

3. **การสร้างฐานข้อมูล** เนื่องจากโลจิสติกส์เป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย ข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการวางแผนพัฒนาหรือตัดสินใจลงทุนจึงมีน้อยเมื่อเทียบกับต่างประเทศ มีแนวทางดำเนินงานใน 4 เรื่อง ได้แก่ 1) การจัดเก็บข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์และสัดส่วนผลกระทบ (Contribution) ที่มีต่อมูลค่าผลผลิตมวลรวมของประเทศ 2) การสำรวจการเคลื่อนย้ายสินค้า (Commodity Flow) 3) การจัดเก็บข้อมูล อุปทาน และอุปสงค์ของกำลังคนด้านโลจิสติกส์ และ 4) การจัดเก็บข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์ของแต่ละอุตสาหกรรม

4. **ด้านการพัฒนาบุคลากรโลจิสติกส์** โดยการสร้างบุคลากรภาครัฐ นักเรียน และนักศึกษา สร้างความเข้มแข็งให้กับผู้ประกอบการตลอดห่วงโซ่อุปทาน ทั้งภาคอุตสาหกรรมและบริการ และยกระดับบุคลากรในบริษัทผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ เป็นต้น

ร่างกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ดังกล่าว ได้รับอนุมัติจากคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2547 และได้มอบหมายให้ทุกกระทรวงที่เกี่ยวข้องจัดทำแนวทางการพัฒนาโลจิสติกส์ (Logistics Roadmap) และให้ สศช. ประมวลจัดทำเป็น **"แผนแม่บทการพัฒนาโลจิสติกส์ของประเทศไทย"**

ต่อมาได้มีการบรรจุยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของแผนแม่บทฯ นี้ ให้เป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุลและแข่งขันได้ ในแผนการบริหารราชการแผ่นดิน (พ.ศ. 2548-2551) ซึ่งคณะรัฐมนตรีได้เห็นชอบแล้ว เมื่อวันที่ 12 เมษายน 2548 ทั้งนี้

ในแผนแม่บทการพัฒนาโลจิสติกส์ของประเทศไทย มียุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ กลไกการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ที่สำคัญ 3 ยุทธศาสตร์ โดยมีสาระสำคัญๆ ดังนี้

ยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลและฐานข้อมูลเกี่ยวกับโลจิสติกส์ (Information Linkage and Database System)

การพัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลและฐานข้อมูลเกี่ยวกับโลจิสติกส์ได้มีเป้าประสงค์ของการพัฒนาที่สำคัญ คือ 1) ระบบข้อมูลเพื่อการนำเข้าและส่งออกของภาครัฐเชื่อมโยงเป็นระบบเดียวกัน และสามารถเชื่อมต่อกับเอกชนและผู้ใช้บริการ 2) การวางแผนและลงทุนเพื่อพัฒนาโลจิสติกส์ มีความสอดคล้องกับข้อเท็จจริงของประเทศมากยิ่งขึ้น โดยมีกลยุทธ์หลัก ประกอบด้วย

1. **พัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และผู้ให้บริการ** ส่งเสริมให้มีการเชื่อมโยงข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐ เอกชนและผู้ใช้บริการ เพื่อรองรับการพัฒนาระบบ Single Window Entry ให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการเป็นศูนย์กลางระบบข้อมูลของการนำเข้า-ส่งออก เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบที่มาของสินค้า (Traceability) รวมทั้งเพิ่มศักยภาพระบบโลจิสติกส์ของประเทศให้สามารถแข่งขันได้ในระดับสากล โดยมี 2 แนวทาง

- **<u>แนวทางที่ 1</u> พัฒนาระบบ e-Logistics** ให้สามารถเชื่อมโยงได้ทั้งภาครัฐ เอกชน และผู้ใช้บริการ และให้สามารถตรวจสอบที่มาของสินค้าได้ โดยการพัฒนาโครงสร้างสารสนเทศพื้นฐาน การลดรูปและกำหนดมาตรฐานเอกสารและกระบวนการ เพื่อรองรับการเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลภาครัฐ เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำเข้า การส่งออก และโลจิสติกส์ ให้สามารถดำเนินธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเชื่อมโยงบริการในรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างหน่วยงานภาครัฐหลายหน่วยงาน และหน่วยงานภาคเอกชนได้ด้วย (ในลักษณะ G2G & G2B Information Exchange) นอกจากนี้ ยังส่งเสริมให้มีการพัฒนามาตรฐานการติดตามข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์และการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อการติดตามทางกายภาพ เช่น การประยุกต์ใช้ RFID (Radio Frequency Identification) เป็นต้น

- **<u>แนวทางที่ 2</u> พัฒนาระบบ Single Window Entry** ให้เป็นศูนย์กลางของระบบให้บริการเพื่อการนำเข้า-ส่งออก และโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถให้บริการแบบเบ็ดเสร็จจากจุดให้บริการเพียงจุดเดียวได้ ตามความต้องการของผู้ประกอบการหรือผู้ใช้บริการเป็นหลักศูนย์กลางของการบริการนี้มีพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาระบบคำขอกลาง (Centralized Web-based e-Forms) ที่สามารถใช้ติดต่อกับหน่วยราชการและองค์กรด้านการขนส่งหลายหน่วยได้ โดยการป้อนข้อมูลแต่ละรายการเพียงครั้งเดียว แต่ระบบสามารถอำนวยความสะดวกกับผู้ประกอบการ โดยการเรียกใช้บริการอิเล็กทรอนิกส์ ในลักษณะ e-Services

2. ส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการทำธุรกิจ ส่งเสริมและพัฒนาระบบฐานข้อมูลด้านโลจิสติกส์ เพื่อรองรับแนวโน้มการทำธุรกรรมทางธุรกิจสมัยใหม่ (e-Commerce Transaction) ที่จะมีบทบาทมากขึ้นในอนาคต รวมทั้งเร่งรัดและส่งเสริมกฎหมาย ที่เกี่ยวกับการค้าผ่านธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในแนวทางปฏิบัติที่สอดคล้องกับ พ.ร.บ. ว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิส์ พ.ศ. 2544 ที่สามารถทำให้ภาครัฐและเอกชนสามารถทำงานร่วมกันอย่างประสานสอดคล้อง เพื่อพัฒนารูปแบบการค้าและการทำธุรกรรมไปสู่การค้าสมัยใหม่

รวมทั้งส่งเสริมให้มีการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการบริหารจัดการภาคธุรกิจ โดยมี 2 แนวทาง

• **<u>แนวทางที่ 1</u> ส่งเสริมการค้าผ่านช่องทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ (e-Commerce Transaction)** ร่วมไปกับส่งเสริมกฎหมายรองรับ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาไปสู่ระบบการค้าสมัยใหม่ โดยการส่งเสริมให้พัฒนาซอฟต์แวร์ด้านพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์สำเร็จรูปสำหรับธุรกิจ เพื่อให้สามารถทำการค้าที่เป็นธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์รวมทั้งในรูปแบบธุรกิจ-ธุรกิจ (B2B) ตลอดจนธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์กับภาครัฐ (B2G) และการส่งเสริมให้มี ผู้ให้บริการแบบตลาดกลางอิเล็กทรอนิกส์ ควบคู่ไปกับการส่งเสริมการประยุกต์ใช้กฎหมายรองรับเช่น พรบ. ว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2544 เพื่อรับรองสถานะทางกฎหมายของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ให้เสมอด้วยกระดาษ รวมทั้งการลงลายมือชื่อในข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ และการรับฟังพยานหลักฐานที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาไปสู่ระบบการค้าสมัยใหม่ด้วยความปลอดภัย และมั่นใจในความถูกต้อง

• **<u>แนวทางที่ 2</u> ส่งเสริมให้นำ IT มาใช้ในการบริหารจัดการภาคธุรกิจ** โดยกระตุ้นให้ผู้ประกอบการนำระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการทรัพยากรองค์กร (Enterprise Resource Planning: ERP) มาใช้เพื่อพัฒนากระบวนการธุรกิจและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการจัดการสินค้าคงคลัง การบริหารการผลิต การจัดซื้อจัดจ้าง การขายและการบัญชี ตลอดจนการเชื่อมโยงข้อมูลกับภายนอกองค์กรได้ เช่น ลูกค้า คู่ค้า ตัวแทนจำหน่าย ซัพพลายเออร์ บริษัทขนส่ง ฯลฯ เป็นต้น และการเชื่อมโยงข้อมูลกับภาครัฐ เพื่อสร้างความแข็งแกร่งของการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) และความพร้อมต่อการแข่งขันเสรีในระบบเศรษฐกิจยุคโลกาภิวัตน์ โดยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ ERP แบบเปิดรหัส (Open Source) ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันให้แก่ SMEs

3. **สนับสนุนให้มีการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนด้านโลจิสติกส์ ทั้งในระดับประเทศและระดับธุรกิจ** เช่น ข้อมูลการเคลื่อนย้ายสินค้า (Commodity Flow) ทั้งห่วงโซ่อุปทานของสินค้าที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐเพื่อใช้ในการตัดสินใจเชิงนโยบาย และเป็นฐานข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐ สำหรับใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเชิงนโยบายเพื่อยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ และให้พัฒนาระบบมาตรฐาน (Benchmarking) ในการจัดการด้านโลจิสติกส์สำหรับผู้ประกอบการ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการศึกษาเปรียบเทียบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

ยุทธศาสตร์การยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการอำนวยความสะดวกทางการค้า (Trade Facilitation Enhancement)

ยุทธศาสตร์การยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการอำนวยความสะดวกทางการค้า มีเป้าประสงค์ ***เพื่อลดต้นทุนของผู้ประกอบการในการทำธุรกรรมเพื่อการนำเข้าและส่งออก*** และ**กลยุทธ์หลัก**ในการพัฒนาระบบการนำส่งและแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารในกระบวนการโลจิสติกส์ให้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ (e-Logistics) และพัฒนาระบบ Single Window Entry เป็นศูนย์กลางของระบบสำหรับให้บริการเพื่อการนำเข้า-ส่งออกและโลจิสติกส์ และมีการเชื่อมโยงข้อมูลทั้งระหว่างหน่วยงานผู้ให้บริการภาครัฐที่เกี่ยวข้อง รัฐ-ธุรกิจ และธุรกิจ-ธุรกิจ (G2G, G2B และ B2B) โดยมี **KPIs** เพื่อบ่งชี้ผลสำเร็จของการพัฒนาที่สำคัญคือ *1) ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการดำเนินเอกสารเพื่อการนำเข้าหรือส่งออกลดลง 2) ค่าใช้จ่ายของ*

ผู้ประกอบการในการทำธุรกรรมเพื่อนำเข้า-ส่งออก ลดลง และ 3) จำนวนแบบฟอร์ม เอกสารที่ใช้ในกระบวนการลดลง (Paper-Less)

ปรับปรุงระบบภาษีและพิธีการศุลกากรที่เกี่ยวกับการขนส่งสินค้านำเข้า-ส่งออก และการขนส่งสินค้าถ่ายลำ ให้เอื้ออำนวยต่อกระบวนการนำเข้า-ส่งออก โดยมี **KPIs** บ่งชี้ที่สำคัญ *คือ 1) ระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้านำเข้า-ส่งออก หรือถ่ายลำลดลง 2) ค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการในการขนส่งสินค้านำเข้า-ส่งออก หรือถ่ายลำลดลง*

สนับสนุนให้มีการจัดตั้งศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้า (Distribution and Logistics Centers) ในตลาดเป้าหมายหลัก เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้าสู่ตลาดต่างประเทศของธุรกิจไทย โดยมี **KPIs** คือ *ต้นทุนของผู้ส่งออกไทยในการกระจายสินค้าในตลาดเป้าหมายหลักลดลง*

ส่งเสริมการทำธุรกิจผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Commerce) เพื่อลดต้นทุนการจัดทำเอกสารและการนำส่งข้อมูล โดยเร่งรัดการออกพระราชกฤษฎีกา (ตามมาตรา 3 ของ พ.ร.บ. ว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2544) ว่าด้วยการกำหนดข้อยกเว้นการบังคับใช้กฎหมายว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (ตามมาตรา 25) ว่าด้วยวิธีการแบบปลอดภัยในการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (ตามมาตรา 32) ว่าด้วยการกำกับธุรกิจบริการเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (ตามมาตรา 35) ว่าด้วยการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ รวมทั้งกฎหมายและระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำธุรกรรมผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมี **KPIs** คือ *พระราชกฤษฎีกาทั้ง 4 ฉบับภายใต้ พ.ร.บ. ว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2544 มีผลบังคับใช้*

เพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพการให้บริการด้านการตรวจสอบแมลงศัตรูพืช สารพิษตกค้าง และสารปนเปื้อนของสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ ทั้งเพื่อการนำเข้าและส่งออก เพื่อให้ผลการตรวจได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของประเทศคู่ค้า เพิ่มความเร็วในการส่งสินค้าจากผู้ผลิตถึงลูกค้า รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายของผู้ส่งออกในการจัดการกับสินค้าที่ถูกส่งคืน (Reverse Logistics) ซึ่งมี **KPIs** ประกอบด้วย *1) ระยะเวลาโดยรวมที่ผู้ส่งออกเสียไปในกระบวนการตรวจสอบสินค้าลดลง 2) ค่าใช้จ่ายของผู้ส่งออกในการจัดการกับสินค้าที่ถูกส่งคืน (Reverse Logistics) ลดลง*

ยุทธศาสตร์การพัฒนากำลังคนและกลไกการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ (Capacity Building)

ยุทธศาสตร์การพัฒนากำลังคนและกลไกการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์มีเป้าประสงค์ ประกอบด้วย *1) มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถด้านโลจิสติกส์ทั้งในภาคการผลิต และภาคอุตสาหกรรมให้บริการโลจิสติกส์เพียงพอกับความต้องการ 2) ประเทศไทยมีระบบข้อมูลและกลไกเพื่อการวางแผน และติดตามผลการดำเนินงานของยุทธศาสตร์โลจิสติกส์*

ทั้งนี้ มี**กลยุทธ์หลัก** ประกอบด้วย **เร่งรัดขยายการฝึกอบรมให้กับบุคลากรทั้งในภาคการผลิตและในธุรกิจให้บริการโลจิสติกส์** โดยการอบรมและรณรงค์ให้ผู้บริหารในสถานประกอบการเห็นความสำคัญ และเข้าใจแนวทางและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบโลจิสติกส์ การรณรงค์ให้บริษัทส่งพนักงานไปอบรมและนำค่าใช้จ่ายด้านการฝึกอบรมมาลดหย่อนภาษี การเร่งพัฒนาบุคลากรผู้ฝึกสอน (Training for the Trainer) ทั้งโดยการอบรมและศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น เพื่อขยายความสามารถในการอบรมของสถาบันต่างๆ การสร้างระบบรับรองทักษะแรงงาน และการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างสถาบันพัฒนาบุคลากรกับสถานประกอบการในการสร้างทักษะของบุคลากรให้ตรงกับความ

ต้องการของธุรกิจ โดยการจัดกระบวนการเรียนการสอนแบบสหกิจศึกษา โดยมี **KPIs** ได้แก่ *ผลิตบุคลากรด้านโลจิสติกส์ ในระดับผู้บริหารระดับสูง ผู้บริหาร และผู้ปฏิบัติการ ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ SMEs ได้จำนวน 100,000 คน และในธุรกิจให้บริการด้านโลจิสติกส์ ได้จำนวน 285,000 คน ภายในปี 2553 มีบุคลากรผู้ฝึกสอน/อาจารย์ที่มีศักยภาพและมีความเชี่ยวชาญด้านโลจิสติกส์ในระดับสากล จำนวน 1,370 คนภายในปี 2553*

ปรับปรุงกระบวนการผลิตบุคลากรการวิจัยและพัฒนาและวิชาชีพโลจิสติกส์ ให้สอดคล้องกับความต้องการของธุรกิจและได้มาตรฐานสากล และเอื้อต่อการพัฒนาบุคลากรให้มีทักษะสูงขึ้น สามารถแข่งขันได้ในเวทีธุรกิจและการค้าระหว่างประเทศ โดยสนับสนุนให้มีการร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษา หน่วยงานวิจัย สถาบันพัฒนาบุคลากรของภาคเอกชน และสถานประกอบการในการพัฒนาหลักสูตรและกระบวนการเรียนการสอนให้ได้มาตรฐานสากล

การสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนา เพื่อแก้ไขปัญหาในทางปฏิบัติให้กับธุรกิจหรืออุตสาหกรรม มีการจัดทำมาตรฐานวิชาชีพและมาตรฐานฝีมือแรงงาน และมาตรฐานเงินเดือน ตลอดจนกำหนดแนวทางความก้าวหน้าในอาชีพ (Career Path) ที่ชัดเจน รวมทั้งสนับสนุนให้สถาบันการศึกษาชั้นสูงสร้างความเป็นเลิศขององค์ความรู้ด้านโลจิสติกส์และผลิตบุคลากรที่มีความสามารถในระดับสูง (Excellence) เพื่อสนับสนุนการสร้างและถ่ายทอดนวัตกรรมด้านโลจิสติกส์ ซึ่งประกอบด้วย **KPIs** ดังนี้ *จำนวนสถาบันการศึกษามีหลักสูตรด้านโลจิสติกส์ที่มีคุณภาพมาตรฐานระดับสากล มีจำนวนผลงานการวิจัยประยุกต์เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพิ่มขึ้น และมีการกำหนดมาตรฐานวิชาชีพ และมาตรฐานฝีมือแรงงานด้านโลจิสติกส์ที่ชัดเจน*

สนับสนุนให้มีการพัฒนาระบบข้อมูลโลจิสติกส์สำหรับการบริหารจัดการโลจิสติกส์ทั้งในระดับมหภาคและธุรกิจเพื่อเป็นเครื่องมือในการวางแผนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ ที่สำคัญและเป็นข้อมูลในระดับประเทศ ได้แก่ ระบบข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้าของประเทศ (Commodity Flow) ข้อมูลต้นทุนและมูลค่าเพิ่มอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ รวมทั้งตัวชี้วัดระดับประสิทธิภาพการบริหารจัดการโลจิสติกส์ของประเทศในมิติต่างๆ ประกอบด้วย **KPIs** ดังนี้ *มีระบบข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการโลจิสติกส์ของประเทศที่เชื่อมโยงเป็นเครือข่ายทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค*

สนับสนุนให้มีการจัดตั้งสมาพันธ์โลจิสติกส์แห่งประเทศไทยอย่างเป็นทางการและมีบทบาทภารกิจชัดเจน เพื่อเป็นหน่วยงานกลางและกลไกหลักของภาคเอกชนในการขับเคลื่อนกระบวนการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศร่วมกับภาครัฐ มี **KPIs** ได้แก่ *สมาพันธ์โลจิสติกส์มีบทบาทภารกิจที่ชัดเจน เป็นที่ยอมรับของทั้งภาครัฐและเอกชน*

บทสรุป

เทคโนโลยีสารสนเทศนับเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการประสานและเชื่อมโยงข้อมูลตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานเข้าด้วยกัน เพื่อสนับสนุนให้ระบบโลจิสติกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระบบครบวงจร เทคโนโลยีสารสนเทศที่มีศักยภาพสูงจะช่วยในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย ซึ่งในการส่งเสริมให้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อส่งข้อมูลระหว่างองค์กร จึงเป็นส่วนสำคัญยิ่งในการเชื่อมโยงข้อมูลในระบบโลจิสติกส์ของประเทศ

ทั้งนี้ การพัฒนาระบบโลจิสติกส์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ ทุกกระทรวง

ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการของภาคธุรกิจจะมีบทบาทในกิจกรรมโลจิสติกส์แทบทั้งสิ้น เนื่องจากแต่ละกระทรวงจะมีหน้าที่ความรับผิดชอบหรือมีบทบาทในการสนับสนุน หรือเป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมโซ่อุปทาน ทั้งนี้การผลักดันให้มีการนำนโยบาย/ยุทธศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติได้จริง จำเป็นที่จะต้องมีกลไกการบริหารนโยบายที่เป็นรูปธรรม ที่ทำหน้าที่วางแผน ผลักดัน ติดตาม ประเมินผล เสนอแนวทางแก้ไขให้มีการปรับนโยบายหรือแนวทางการดำเนินงาน รวมทั้งมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการให้เป็นเอกภาพชัดเจน เพื่อให้การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในภาพรวมเป็นไปตามนโยบายหรือยุทธศาสตร์ที่ได้วางไว้

นอกจากนี้ ภาคธุรกิจก็มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ต้องมุ่งเน้นการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้การขับเคลื่อนระบบโลจิสติกส์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องอยู่ในทิศทางเดียวกันกับการพัฒนาของภาครัฐ ◎

การปฏิบัติการสารสนเทศ (Information Operations: IO)

พันเอก ฤทธี อินทราวุธ
ผู้อำนวยการกองแผนและฝึก ศูนย์เทคโนโลยีทางทหาร กองทัพบก

1. กล่าวนำ

ภายหลังการสิ้นสุดของยุคสงครามเย็น (Cold War) ซึ่งเป็นการต่อสู้เพื่อเอาชนะทางแนวความคิดด้านการเมือง ระหว่างลัทธิสังคมนิยม ระบอบเผด็จการคอมมิวนิสต์ (Communism) กับลัทธิเสรีนิยม ระบอบประชาธิปไตย (Democracy) ยุคของการต่อสู้ดังกล่าว บทบาทที่สำคัญของการสู้รบ โดยเฉพาะด้านการปฏิบัติการทางทหาร (Military Affair Operations) นอกเหนือจากการยุทธ์ด้วยอาวุธยุทโธปกรณ์ และกองกำลังทหารแล้ว บทบาทด้านการใช้ข้อมูลข่าวสาร หรือสารสนเทศ (Information) นับว่ามีความสำคัญยิ่งในการสนับสนุนการปฏิบัติการทางทหาร ทั้งด้านการข่าวกรองทางทหาร (Intelligence) การปฏิบัติการจิตวิทยา (Psychological) และการประชาสัมพันธ์ (Public Affair) เพื่อให้เกิดความได้เปรียบในการตัดสินใจที่เหนือกว่าฝ่ายตรงข้าม การบ่อนทำลายขวัญและกำลังใจ รวมทั้งการโน้มน้าวชักจูงประชาชนในพื้นที่และฝ่ายเป็นกลาง

ให้หันมาสนับสนุนฝ่ายตน เพื่อลดกระแสการต่อต้าน เสริมสร้างแนวร่วม และสร้างกระแสความชอบธรรมให้กับฝ่ายตน ซึ่งบทบาทของการใช้ข้อมูลข่าวสาร หรือสารสนเทศ ยังคงมีบทบาทสำคัญต่อการปฏิบัติการทางทหารมาจนถึงยุคปัจจุบัน ซึ่งเป็นยุคข้อมูลข่าวสาร (Information Age) และนับวันจะยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการรบในปัจจุบันที่เรียกกันว่า สงครามอสมมาตร (Asymmetric Warfare) ซึ่งเป็นการปฏิบัติการทางทหาร เพื่อให้เกิดความได้เปรียบสูงสุด และบรรลุวัตถุประสงค์ โดยไม่มีการประกาศให้ฝ่ายตรงข้ามรู้ตัว ไม่กำหนดอาณาบริเวณพื้นที่การรบหรือยุทธบริเวณ (Operations Area: OA) และไม่มีรูปแบบการปฏิบัติที่ชัดเจน ประกอบกับการควบคุมอำนวยการยุทธ์ในการปฏิบัติการของกำลังทหารในศตวรรษที่ 21 (Force XXI) ในยุคปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะนำระบบควบคุมบังคับบัญชา (Command Control Communication Computer and Intelligence: C^4I) มาใช้ในการควบคุมอำนวยการยุทธ์ของหน่วยต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความก้าวหน้าและทันสมัย เพื่อให้เกิดความได้เปรียบต่อฝ่ายตรงข้าม และเป็นการเพิ่มศักยภาพทางการทหาร หรือศักย์สงคราม (War Potentials) ดังนั้น ประเทศมหาอำนาจต่างๆ จึงหันมาให้ความสำคัญและสนใจต่อการปฏิบัติการสารสนเทศ (Information Operations: IO) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการทางทหาร ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลและปัจจัยที่สำคัญอยู่ 2 ประการ คือ

ประการแรก บทบาทและความสำคัญของการใช้ข้อมูลข่าวสาร หรือสารสนเทศ เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการทางทหาร ซึ่งมีมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน

ประการที่สอง บทบาทและอิทธิพลของความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology: IT) ในยุคปัจจุบัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการ

นำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติการทางทหารทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งการส่งผลกระทบหรือสร้างความเสียหายต่อความมั่นคงของประเทศทั้งด้านการเมือง ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคมจิตวิทยา และด้านการทหาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของพลังอำนาจของชาติ (National Power) ในการที่จะเสริมสร้าง ดำรงความมีเสถียรภาพ และความมั่นคงของชาติ ให้ปลอดภัยจากภัยคุกคาม (Threats) และจากการรุกรานของฝ่ายตรงข้าม (Invasion) เพื่อปกป้องคุ้มครองดูแลรักษาผลประโยชน์ของชาติ (National Interest)

ดังนั้น บทบาทของข้อมูลข่าวสารหรือสารสนเทศ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังที่นักปราชญ์หรือนักยุทธศาสตร์ ชาวจีน ชื่อ ซุนซู (Sun Tzu) ได้กล่าวไว้ว่า “หากรู้เขา รู้เรา แม้นรบกันตั้งร้อยครั้ง ก็ไม่มีอันตรายอันใด ถ้าไม่รู้เขา แต่รู้เพียงตัวเรา แพ้ชนะย่อมก้ำกึ่งอยู่ หากไม่รู้ในตัวเขา ตัวเราเสียเลย ก็จะต้องปราชัยทุกครั้งที่มีการยุทธ์นั้นแล”

2. การปฏิบัติการสารสนเทศ

การปฏิบัติการสารสนเทศ (Information Operations: IO) หมายถึง การปฏิบัติการที่มุ่งสร้างผลกระทบหรือสร้างอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจ ข้อมูลข่าวสาร และระบบสารสนเทศของฝ่ายตรงข้ามหรือกลุ่มเป้าหมายอื่นๆ รวมไปถึงการปฏิบัติเพื่อระวังป้องกันข้อมูลข่าวสาร และระบบสารสนเทศของฝ่ายเรา การปฏิบัติการสารสนเทศ แบ่งการปฏิบัติการเป็นสองมาตรการ คือ มาตรการเชิงรุกและมาตรการตั้งรับ การปฏิบัติการสารสนเทศจะประกอบด้วย การรักษาความปลอดภัยในการปฏิบัติการ (Operations Security) การลวงทางทหาร (Military Deception) การปฏิบัติการทางจิตวิทยา (Psychological Operations: Psy Ops) สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare: EW) การทำลายทางกายภาพ (Physical Destruction) การโจมตีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network Attack) การป้องกันเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network Defense) การประกันข้อมูลข่าวสาร (Information Assurance) การรักษาความปลอดภัยทางกายภาพ (Physical Security) การต่อต้านการลวง (Counter-Deception) การต่อต้านการโฆษณาชวนเชื่อ (Counter-Propaganda) การต่อต้านข่าวกรอง (Counterintelligence) การประชาสัมพันธ์ (Public Affairs Operations) การปฏิบัติการกิจการพลเรือน (Civil Affairs Operations) เป็นต้น

3. อาวุธและเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติการสารสนเทศ

อาวุธซอฟต์แวร์ ส่วนใหญ่มักจะนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการลิดรอนและทำลายขีดความสามารถของสารสนเทศ และระบบสารสนเทศ เนื่องจากต้นทุนต่ำ แต่ขีดความสามารถสูง เกิดผลลัพธ์อย่างคุ้มค่า และก่อให้เกิดความเสียหายอย่างกว้างขวาง หากฝ่ายที่ถูกกระทำไม่มีขีดความสามารถในการป้องกัน หรือขาดความระมัดระวัง อาวุธซอฟต์แวร์ดังกล่าวแยกตามกลุ่มประเภทการทำงานมีดังนี้ คือ โปรแกรมประเภทไวรัสคอมพิวเตอร์ (Virus Computer), โปรแกรมประเภทหนอนไวรัส (Worm), โปรแกรมประเภทม้าโทรจัน (Trojan Horse), โปรแกรมประเภทระเบิดตรรกะ (Logic Bomb) หรือระเบิดเวลา (Time Bomb) และโปรแกรมประเภทประตูกับดัก (Trap Door) เป็นต้น

อาวุธฮาร์ดแวร์ ส่วนใหญ่จะพัฒนาในรูปแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการลิดรอนและทำลายขีดความสามารถของสารสนเทศ และระบบสารสนเทศ โดยเฉพาะการทำงานของวงจรหรือคลื่นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Chip), เครื่องมือขนาด

จิ๋ว (Nanomachine/Microbe), เครื่องรบกวนสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Electric Jamming), ปืนยิงคลื่นวิทยุความถี่สูง (High Energy Radio Frequency/HERF) GUN และระเบิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูง (Electromagnetic Pulse Bomb) เป็นต้น

สงครามโฟตอน หรือสงครามพลังงานโฟตอน (Photons War) ปัจจุบันการทำสงครามยุคใหม่ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ สามารถขยายขอบเขตของการทำลายออกไป ซึ่งไม่เพียงแต่ทำลายข้อมูลข่าวสารในอุปกรณ์ แต่ยังทำลายตัวอุปกรณ์ รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบด้วย การดำเนินการดังกล่าวหากเกี่ยวข้องกับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า หรือพลังงานโฟตอน แล้วจะเรียกรวมว่า “สงครามโฟตอน” สงครามโฟตอนเป็นสงครามที่มีจุดประสงค์ เพื่อหาข่าวให้ฝ่ายเราและทำลายข้อมูลข่าวสาร ของฝ่ายตรงข้ามจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่ฝ่ายเราสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เมื่อทำให้ข้าศึกหูหนวกตาบอด เป็นใบ้ และพิการแล้ว ก็จะสามารถใช้สงครามรูปแบบอื่นเอาชนะได้โดยง่าย ซึ่งในการหาและทำลายข่าว ตลอดจนทำลายอุปกรณ์ที่มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เป็นองค์ประกอบนั้นเกี่ยวข้องกับการใช้งานพลังงานโฟตอน หากพิจารณาตามลักษณะการใช้งานแล้ว สามารถจำแนกสงครามโฟตอนได้ 3 ประการ คือ สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (EW) สงครามสารสนเทศ (IW) และพลังงานตรง (Direct Energy)

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare/EW) เป็นการปฏิบัติการในระดับยุทธการที่เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เน้นต่อสู้กันในอาณาจักรของการสื่อสาร และการตรวจการณ์ เพื่อลดทอนการใช้ประโยชน์จากคลื่นของฝ่ายตรงข้าม และป้องกันหรือเสริมข้อมูลข่าวสารฝ่ายเราให้ใช้ประโยชน์ได้ดี ทั้งนี้ อาศัยการรักษาสัญญาณสื่อสาร การรักษาความลับข้อมูลทั้งบิตและไบต์ เช่น Cryptographic (รหัสลับ) ในขณะเดียวกันก็ทำลายขีดความสามารถข้าศึกในด้านนี้ สงครามอิเล็กทรอนิกส์จะมีบทบาทมาก โดยใช้การ Jam หรือ Soft Kill เพื่อทำให้เกิดพื้นที่ปลอดจากการตรวจจับ ความสำเร็จของยุทธวิธีนี้ขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมการวางระบบเซนเซอร์ที่ต้องแยกกันเด็ดขาด ปัจจุบันสหรัฐฯ ได้จัดให้สงครามอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนหนึ่งของสงครามสารสนเทศ การแพร่คลื่นวิทยุแบบเก่าที่เกี่ยวข้องกับ ESM, ECM, ECCM, ELINT, COMINT, SIGSEC TRANSEC และ Opto-Electronic ซึ่งหมายรวมครอบคลุมถึงกิจการที่นอกเหนือจากการส่งวิทยุ เช่น การกล้ำคลื่นเข้าสู่สายสัญญาณ และการรักษาความปลอดภัยข้อมูล

สงครามสารสนเทศ (Information Warfare/IW) การสงครามควบคุมและสั่งการ (Command and Control Warfare/C^2W) กระทรวงกลาโหมสหรัฐ ให้ความหมายโดยรวมถึงยุทธศาสตร์ทหารที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลข่าวสารในยุทธบริเวณ และการทำลายบูรณาการทางกายภาพโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย หรือตัดโครงสร้างการบังคับบัญชาออกจากกองกำลัง วิธีที่ดีที่สุดคือการทำลายศูนย์บังคับบัญชาได้อย่างถูกเวลา สำหรับหนทางปฏิบัติ ได้แก่ การทำลายแหล่งไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนหรือทำลาย หรือปล่อยไวรัสคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ผลนอกเหนือจากการทำลายด้วยอาวุธหนัก สำหรับฝ่ายเราจะต้องป้องกันการทำลายศูนย์บังคับบัญชา และยังต้องคอยระวังข้อมูลข่าวสารที่อาจเล็ดลอดออกไปจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (การแพร่คลื่นจากการส่งข่าวและการแผ่รังสีของตัวอุปกรณ์ฯ สายสัญญาณ เส้นทางการสื่อสาร เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น) อุปกรณ์เหล่านี้หากถูกทำลายจะทำให้สูญเสียการบังคับบัญชาต้องใช้เวลา และงบประมาณในการสร้างทดแทน

สงครามไซเบอร์ (Cyber War) คำว่า "ไซเบอร์" มาจากคำเต็มว่า CYBERNATICS หมายถึง ศาสตร์ที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสมองกลกับสมองมนุษย์ "สงครามไซเบอร์" เป็นรูปแบบของสงครามที่กว้างและฝันไกลที่สุด โดยจะมีลักษณะการปฏิบัติการทั้งอยู่ในโลกของความเป็นจริง และในโลกแห่งจินตนาการ ประกอบด้วย การก่อการร้ายทางสารสนเทศ (Information Terrorism), การโจมตีซีแมนติก (Semantic Attack), สงครามจำลองสถานการณ์ (Simulation Warfare) และสงครามกิ๊บสัน (Gibson Warfare)

การก่อการร้ายทางสารสนเทศ (Information Terrorism) การก่อการร้ายทางสารสนเทศ หมายถึง การก่อกวนทางคอมพิวเตอร์ (Computer Hacking) ที่เจตนาไม่ได้ต้องการถึงกับล้มล้างระบบฯ เพียงใช้ประโยชน์จากการนี้โจมตีเป้าหมายคือ ข้อมูลข่าวสารที่ส่วนมากจะเชื่อมกับเครือข่ายสาธารณะหรือกึ่งสาธารณะ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างไม่ผิดกฎหมาย เช่น การปลอมแปลงข้อมูลทางการเงิน การบัญชี การสร้างข้อมูลลวงเพื่อปั่นหุ้นหรือโจมตีค่าเงิน ฯลฯ ทางกฎหมายถือว่าเป็นการก่ออาชญากรรมทางคอมพิวเตอร์ (Computer Crime)

การโจมตีซีแมนติก (Semantic Attack) การโจมตีแบบซีแมนติก จะมีลักษณะการปฏิบัติการคล้ายกับ สงครามแฮกเกอร์ (Hacker Warfare/HW) แต่จะมีความแตกต่างกันที่เมื่อถูกโจมตีแบบซีแมนติกแล้วเจ้าของข้อมูลยังไม่รู้ตัวคิดว่าระบบการทำงานปกติ แต่ถ้าถูกโจมตีในลักษณะอื่นของสงครามแฮกเกอร์ จะปรากฏความผิดพลาดที่ชัดเจน เช่น ระบบเสียไปเลย หรือการประมวลผลผิดพลาดเป็นต้น

สงครามจำลองสถานการณ์ (Simulation Warfare) เกิดจากการทดสอบระบบอาวุธแล้วขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ สอดแทรกปรัชญาที่ว่า "ทำสงครามจำลองเพื่อหวังจะได้ไม่ต้องทำสงครามจริง" การจำลองสถานการณ์ต่อสู้กันนั้น ผู้เล่นทั้งสองฝ่าย ต้องยอมรับในระบบอาวุธของแต่ละฝ่ายว่ามีขีดความสามารถจริงเพียงใด มีจำนวนเท่าใด จะปิดบังหรือหลอกลวงกันไม่ได้ เพราะไม่เช่นนั้นก็ไม่สามารถทดสอบแนวความคิด หรือยุทธศาสตร์ของแต่ละฝ่ายได้ ระบบจำลองยุทธ์ (Battle Simulation System) โดยใช้เทคโนโลยีการสร้างภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) แทนที่จะต้องใช้กองกำลังและอาวุธจริง ก็ใช้กองกำลังและอาวุธเสมือนจริงแทน เพื่อทดสอบผลการยุทธ์ และใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าจะใช้กองกำลังทหารปฏิบัติการสงครามจริงๆ หรือไม่

สงครามกิ๊บสัน (Gibson Warfare) เป็นสงครามแห่งโลกอนาคต ตามแรงบันดาลใจของวิลเลี่ยม กิ๊บสัน ผู้แต่งภาพยนตร์แนววิทยาศาสตร์เรื่อง "TRON" ซึ่งพระเอกและผู้ร้ายในภาพยนตร์นี้ถูกเปลี่ยนถ่ายแปลงร่างกลายเป็นข้อมูลที่เสมือนจริง (Virtual Characters) เข้าไปต่อสู้กันภายในอาณาจักรของระบบประมวลผลกลาง CPU คล้ายคลึงกับโลกของอินเทอร์เน็ตปัจจุบันที่ได้มีการผลิตเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ เพื่อให้นักเล่นเกมคอมพิวเตอร์ทุกมุมโลกได้ทำการต่อสู้กันผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งเล่ห์เหลี่ยมกลโกงต่างๆ สารพัดจนทำให้นักเล่นเกมบางคนถึงกับเกือบจะกลายเป็นคนที่ถูกล้างสมองเนื่องจากมีสภาพทางจิตอ่อนไหวโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือเปลี่ยนถ่ายแปลงร่าง

4. การปฏิบัติการสารสนเทศของกองทัพสหรัฐ

กองทัพบกสหรัฐ ได้ให้ความสำคัญต่อการปฏิบัติการสารสนเทศเป็นอย่างสูง โดยได้จัดทำหลักนิยมทางทหาร (Military Doctrine) ในรูปแบบคู่มือราชการสนาม (Field Manual) ว่าด้วยการปฏิบัติการสารสนเทศ (FM 100-6 Information Operations) เมื่อสิงหาคม ค.ศ. 1996 ซึ่งประกอบ

ด้วยองค์ประกอบ 3 ประการ คือ การปฏิบัติการ (Operations) สารสนเทศที่เกี่ยวข้องและข่าวกรอง (Relevant Information and Intelligence) และระบบสารสนเทศ (Information System) โดยการปฏิบัติการดังกล่าว หมายถึง การปฏิบัติการทางทหาร 3 ประการ คือ สงครามการควบคุมบังคับบัญชา (Command and Control Warfare: C^2W) การปฏิบัติการกิจการพลเรือน (Civil Affairs Operations: CA) และการประชาสัมพันธ์ (Public Affairs Operations: PA)

สงครามการควบคุมบังคับบัญชา (Command and Control Warfare: C^2W) เป็นสงครามที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมบังคับบัญชาของฝ่ายเราและฝ่ายข้าศึก แบ่งออกเป็นการโจมตีกระบวนการควบคุมบังคับบัญชาฝ่ายตรงข้าม และการป้องกันกระบวนการควบคุมบังคับบัญชาฝ่ายเรา กระบวนการควบคุมบังคับบัญชาถือเป็นหัวใจสำคัญของการทำสงคราม มีผลต่อชัยชนะหรือความพ่ายแพ้ของทั้งสองฝ่าย ประกอบไปด้วยช่องทางการสื่อสาร อาคารสถานที่ ระบบการตัดสินใจและช่วยเหลือการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชา การโจมตีและการป้องกันกระบวนการบังคับบัญชาสามารถกระทำได้โดยอาวุธทำลายล้าง เช่น การทิ้งระเบิด ณ กองบัญชาการทางทหารของฝ่ายตรงข้าม การสร้างที่บัญชาการลวง หรือการใช้อาวุธที่ไม่ทำลายล้าง เช่น การใช้สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare: EW) รบกวนระบบการสื่อสารสำหรับการสั่งการรบของฝ่ายตรงข้าม

การปฏิบัติการกิจการพลเรือน (Civil Affairs Operations: CA) เป็นกิจกรรมที่มุ่งเน้นในเรื่องของการพัฒนาความสัมพันธ์อันดีระหว่างหน่วยงานทางทหาร กับหน่วยงานภาคเอกชน หน่วยงานอาสาสมัคร NGO และประชาชนทั่วไป ทั้งของฝ่ายเราและฝ่ายตรงข้าม ในการนี้จะครอบคลุมไปถึง การปฏิบัติการจิตวิทยา การบ่อนทำลาย และการโฆษณาชวนเชื่อ อีกด้วย

การประชาสัมพันธ์ (Public Affairs Operations: PA) เป็นกิจกรรมที่มุ่งเน้นการประชาสัมพันธ์การปฏิบัติของฝ่ายเรา โดยใช้ทรัพยากรทั้งมวลที่มี เช่น โทรทัศน์ วิทยุ และสิ่งพิมพ์ เพื่อให้เกิดภาพลักษณ์อันดีงามกับฝ่ายเรา

หลักนิยมดังกล่าว ได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา เช่น เอกสาร Joint Publication 3-13 Joint Doctrine for Information Operations (Joint Pub 3-13) เมื่อตุลาคม ค.ศ. 1998 ซึ่งเป็นหลักนิยมการรบร่วมของกองทัพสหรัฐ โดยหลักนิยมดังกล่าวได้กล่าวถึง การกระทำทั้งเชิงรุกและรับ โดยการปฏิบัติการสารสนเทศเชิงรุก จะเป็นการโจมตีโครงสร้างพื้นฐานทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของฝ่ายตรงข้าม การเจาะระบบรักษาความปลอดภัยระบบสารสนเทศฝ่ายตรงข้าม การบ่อนทำลายและการโจมตีต่อระบบสื่อสารสำหรับการควบคุมบังคับบัญชา ส่วนการปฏิบัติการสารสนเทศเชิงรับ จะเป็นเรื่องของการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยระบบสารสนเทศ การกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล การกำหนดมาตรการการรักษาความปลอดภัยบุคคล เอกสาร และสถานที่ เป็นต้น ปัจจุบันกองทัพสหรัฐได้ออกเป็น คู่มือราชการสนาม 3-13 (FM 3-13 Information Operations: Doctrine, Tactics, Techniques and Procedures, 28th Nov. 2003) เมื่อพฤศจิกายน ค.ศ. 2003 โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ แนวความคิดหลัก แนวความคิดสนับสนุน และแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ กระทรวงกลาโหมสหรัฐได้จัดตั้ง หน่วยปฏิบัติการสารสนเทศ (ภาคพื้น) ที่ 1 (1st Information Operations Command (Land): 1st IO Cmd.) ขึ้นซึ่งในอดีต หน่วยดังกล่าวรู้จักกันในนามของหน่วยปฏิบัติการสงครามสารสนเทศภาคพื้น (The Land Information Warfare Activity: LIWA) ซึ่งมีภารกิจเตรียมการสนับสนุนส่วนประกอบกำลังทางภาคพื้นดิน และกองบัญชาการทหาร เพื่อทำการวางแผนที่สะดวกง่ายดายและดำเนินการเกี่ยวกับการปฏิบัติการข้อมูลสารสนเทศ เช่นเดียวกับ การปฏิบัติการสารสนเทศ (IO) นอกจากนี้ หน่วยปฏิบัติการสารสนเทศ (ภาคพื้น) ที่ 1 ยังได้มีการปรับปรุงกองกำลังอย่างกว้างขวาง โดยการนำเอาการป้องกันและควบคุมสถานการณ์ของข้อมูลข่าวสารทางทหาร และระบบข้อมูลสารสนเทศ เช่นเดียวกับหน่วยป้องกันทางทหาร ของ คณะเสนาธิการร่วม หน่วยปฏิบัติการสารสนเทศ (ภาคพื้น) ที่ 1 เปรียบเสมือนผู้นำที่รวบรวมการปฏิบัติการสารสนเทศ สู่การปฏิบัติการทางทหาร การเตรียมการปฏิบัติการสารสนเทศที่มุ่งเน้นไปที่ความชำนาญ การฝึกฝนที่หลากหลายสู่คณะผู้บังคับบัญชา นอกเหนือจากนี้ ความชำนาญพิเศษของหน่วยปฏิบัติการสารสนเทศ (ภาคพื้น) ที่ 1 สามารถจัดการตอบสนองด้านเทคโนโลยีได้อย่างรวดเร็วให้กับผู้บังคับบัญชา กองบัญชาการป้องกันทางทหาร และศูนย์รวมสารสนเทศ ให้มีความมั่นใจในภารกิจหน้าที่ที่จะพัฒนาแผนการปฏิบัติการสารสนเทศ ให้ครอบคลุม Spectrum ทั้งหมดของการปฏิบัติการสารสนเทศ หน่วยของการจัดการทั้งหมดภายในกองทัพบก หน่วยปฏิบัติการสารสนเทศ (ภาคพื้น) ที่ 1 ยังจัดเตรียมความรู้บนพื้นฐานในด้านต่างๆ ของการปฏิบัติการสารสนเทศ และการพัฒนาพร้อมที่จะก้าวเข้าสู่การปฏิบัติงานจริง

5. การปฏิบัติการสารสนเทศของประเทศไทย

จากสภาพแวดล้อมทางทหารที่เปลี่ยนแปลงไปตามบริบทของสภาพการเปลี่ยนแปลงของโลกประกอบกับความก้าวหน้าด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีจนทำให้เกิดการปฏิวัติด้านกิจการทหาร (Revolution Military Affair: RMA) ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology: IT)

ได้กลายเป็นปัจจัยส่วนหนึ่งของกิจการทางทหาร ซึ่งสามารถสร้างผลกระทบต่อการปฏิบัติการทางทหารตั้งแต่ระดับยุทธศาสตร์ ยุทธการ และยุทธวิธี และบางครั้งอาจจะสร้างผลกระทบก่อนที่จะเริ่มมีการปฏิบัติการทางทหารด้วยซ้ำ ดังนั้น จึงถือได้ว่าการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) นอกจากจะเป็นคุณเอนกอนันต์ ก็ยังจะกลายเป็นภัยคุกคามอย่างมหันต์ด้านความมั่นคงในยุคโลกาภิวัตน์ ดังนั้น รัฐบาลไทยจึงได้ตระหนักและเตรียมพร้อมที่จะรับมือกับภัยคุกคามและการปฏิบัติการสารสนเทศเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อเตรียมการพัฒนาบุคลากร และมีแนวความคิดที่จะจัดตั้งหน่วยปฏิบัติการสารสนเทศในระดับต่างๆ เพื่อรองรับการปฏิบัติการสารสนเทศเป็นการเฉพาะ เช่นเดียวกับนานาอารยประเทศ

กองทัพไทยได้เล็งเห็นความสำคัญของการปฏิบัติการสารสนเทศ (IO) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 โดยกองทัพบกได้อนุมัติหลักการให้มีการจัดตั้งหน่วยปฏิบัติงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศขึ้นในฐานะฝ่ายกิจการพิเศษและเป็นหน่วยขึ้นตรงของกองทัพบก โดยหน่วยดังกล่าวจะมีโครงสร้างและอัตรากำลังจัดของกองการสงครามสารสนเทศ มีภารกิจในการดำเนินการสนับสนุนระบบควบคุมบังคับบัญชา (C^4I) และการดำเนินการด้านการสงครามสารสนเทศ (Information Warfare: IW) และมีกองปฏิบัติการ ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network Operations: CNO) และมีกองแผนและฝึกรับผิดชอบในการกำหนดแผนและนโยบาย (Plan & Policy) การวิจัยและพัฒนา (R&D) ตลอดจนดำเนินการฝึกอบรมหลักสูตรผู้บริหารระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network Administration) และหลักสูตรสงครามสารสนเทศ (IW) เพื่อพัฒนาบุคลากรของกองทัพให้มีความรู้ความเข้าใจ และขีดความสามารถในการดำเนินการด้านสงครามสารสนเทศ (IW) และการปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (CNO) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการปฏิบัติการสารสนเทศ (IO)

นอกจากนี้ กองทัพบกยังได้จัดตั้งคณะทำงานจัดทำร่างหลักนิยมการปฏิบัติการข่าวสารของกองทัพบกขึ้น เพื่อดำเนินการพัฒนาหลักนิยมดังกล่าวให้เป็นหลักนิยมของกองทัพบกฉบับถาวรต่อไปในอนาคต และในระหว่างการพัฒนาหลักนิยมดังกล่าว กองทัพบกได้ดำเนินการจัดทำคู่มือการปฏิบัติการข่าวสารกองทัพบกขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติด้านการปฏิบัติการสารสนเทศ สำหรับหน่วยต่างๆ ในกองทัพบก ยึดถือคู่มือการปฏิบัติการข่าวสารกองทัพบกดังกล่าวใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ และในอนาคตอันใกล้นี้ กองทัพบกอาจจำเป็นต้องจัดตั้งหน่วยปฏิบัติการสารสนเทศในระดับต่างๆ ขึ้นมาเพื่อรองรับการปฏิบัติการสารสนเทศเป็นการเฉพาะ เช่นเดียวกับกองทัพในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะกองทัพของสหรัฐ ซึ่งได้มีการนำหน่วยและหลักนิยมดังกล่าวมาใช้ในการฝึกร่วมกับกองทัพไทยในการฝึกร่วม/ผสม คอบร้าโกลด์ (Cobra Gold Joint Exercise) เป็นประจำทุกปี

การปฏิบัติการข่าวสารของกองทัพบก หรือการปฏิบัติการสารสนเทศของกองทัพบก (Army Information Operations) เป็นการปฏิบัติที่มุ่งสร้างผลกระทบ หรือสร้างอิทธิพลต่อกระบวนการตกลงใจ ข่าวสาร และระบบสารสนเทศของฝ่ายตรงข้าม โดยในขณะเดียวกันก็ดำเนินการป้องกัน

ข่าวสาร และระบบสารสนเทศของฝ่ายเราถือว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับผู้บังคับหน่วยทุกระดับในอันที่จะเพิ่มโอกาสในความสำเร็จของภารกิจที่ได้รับมอบ เมื่อได้มีการสนธิเข้ากับการปฏิบัติการทางทหารอื่นๆ แล้ว การปฏิบัติการสารสนเทศจะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการบังคับวิถีการปฏิบัติของฝ่ายตรงข้ามให้เกื้อกูลต่อการปฏิบัติของฝ่ายเรา ซึ่งกรอบแนวคิดการปฏิบัติการสารสนเทศกองทัพบก ได้อาศัยรูปแบบและแนวคิดตามหลักนิยมของกองทัพสหรัฐ (FM 3-13 Information Operations) โดยองค์ประกอบของการปฏิบัติการสารสนเทศของกองทัพบก จะประกอบด้วย องค์ประกอบหลัก องค์ประกอบสนับสนุน และกิจกรรมเสริม องค์ประกอบหลัก 5 ประการ ประกอบด้วย สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare: EW) การปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network Operations: CNO) การปฏิบัติการจิตวิทยา (Psychological Operations: Psy Ops) การลวงทางทหาร (Military Deception) และการรักษาความปลอดภัยในการปฏิบัติการ (Operations Security) ส่วนองค์ประกอบสนับสนุน 5 ประการ ประกอบด้วย การทำลายทางกายภาพ (Physical Destruction) การรักษาความปลอดภัย (Security) การต่อต้านข่าวกรอง (Counter intelligence) การต่อต้านข่าวลวง (Counter-Deception) และการต่อต้านการโฆษณาชวนเชื่อ (Counter-Propaganda) สำหรับกิจกรรมเสริม ได้แก่ การประชาสัมพันธ์ (Public Affair) การปฏิบัติการกิจการพลเรือน (Civil Military Operations) เป็นต้น

สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (สตช.) เป็นอีกองค์กรหนึ่ง ซึ่งมีการจัดตั้งหน่วยงานเฉพาะขึ้นมา เช่น ศูนย์ข้อมูลข้อสนเทศ ถือกำเนิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2510 ในชื่อของ “สำนักงานสถิติ กรมตำรวจ” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็น ศูนย์ข้อมูล ของกรมตำรวจ ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลต่างๆ รวมทั้งการประมวลผลสนับสนุนงานด้านการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมการบริหารงานบุคคล การบริหารงานการเงิน พลาธิการ และการทะเบียน ตลอดจนจัดทำสถิติต่างๆ เพื่อเสนอผู้บริหารประกอบการพัฒนาสั่งการ ต่อมาในปี พ.ศ. 2516 แปรสภาพสำนักงานสถิติกรมตำรวจ มาเป็น “ศูนย์ประมวลข่าวสาร กรมตำรวจ” เป็นหน่วยเฉพาะกิจขึ้นตรงต่อกรมตำรวจ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงานทั้งในด้านบุคลากร และการงบประมาณ และปี พ.ศ. 2525 กรมตำรวจได้ปรับฐานะของศูนย์ประมวลข่าวสารกรมตำรวจอีกครั้งหนึ่ง มาเป็นหน่วยงานในระดับ “กองกำกับการ” สังกัดสำนักงานเลขานุการ กรมตำรวจ ในปี พ.ศ. 2535 ศูนย์ประมวลข่าวสารได้รับการยกฐานะขึ้นเป็น “กองบังคับการ” ในสังกัด “สำนักงานแผนงานและงบประมาณ” และในปี พ.ศ. 2548 ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศ ปรับเปลี่ยนโครงสร้างและเปลี่ยนชื่อเป็น ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศกลาง (ศทก.) (Police Information Technology Center) สังกัดสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

อีกหน่วยงานหนึ่งของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ คือ ศูนย์ตรวจสอบและวิเคราะห์การกระทำผิดทางเทคโนโลยี (ศตท.) (High-Tech Crime Center) เป็นหน่วยงานใหม่ ที่จัดตั้งขึ้นใหม่ตามกฎกระทรวงแบ่งส่วนราชการเป็นกองบังคับการที่เรียกชื่ออย่างอื่นในสำนักงานตำรวจแห่งชาติ พ.ศ. 2548 มีอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับการพิสูจน์ทราบ ตรวจจับ การสืบสวน และแก้ไขปัญหาทางคดีเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่เกิดขึ้น ป้องกันการบุกรุกทางเครือข่ายของระบบสารสนเทศและการสื่อสาร สนับสนุนผู้ใช้งานและหน่วยงานอื่นๆ ทางด้านคดีเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยเฉพาะอาชญากรและอาชญากรรมด้านคอมพิวเตอร์

กรมสอบสวนคดีพิเศษ (Department of Special Investigation: DSI) ก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งมีอำนาจหน้าที่ตามกฎหมาย ในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษที่เกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น อาชญากรรมคอมพิวเตอร์ หรืออาชญากรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่กระทำการลักลอบ แก้ไข เปลี่ยนแปลง หรือทำลายข้อมูลหรือระบบปฏิบัติการของหน่วยงานต่างๆ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ก็เป็นอีกองค์กรรัฐบาลอีกองค์กรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการสารสนเทศ (IO) ในด้านการปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network Operations: CNO) โดยดำเนินการติดตาม ตรวจสอบ สกัดกั้น และยับยั้งเว็บไซต์ที่ไม่พึงประสงค์ทั้งหลายจากทั่วโลก รวมทั้งการดำเนินการพัฒนาระบบป้องกันซอฟต์แวร์ และระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้รอดพ้นจากการโจมตีของโปรแกรมไวรัสคอมพิวเตอร์ (Virus Computer) และการบุกรุกของผู้ไม่ประสงค์ดีหรือผู้ไม่มีสิทธิ์ (Hacker/Cracker) เพื่อระวังป้องกันความเสียหายจากภัยคุกคามที่อาจจะเกิดขึ้นบนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รวมทั้งผู้บริโภคข้อมูลข่าวสารจากระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อันจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางการเมือง เศรษฐกิจ สังคมจิตวิทยา และการทหาร ตลอดจนสถาบันหลักของชาติ

6. ภัยคุกคามด้านการปฏิบัติการสารสนเทศที่เกิดขึ้น

กรณีพิพาทระหว่างจีนกับสหรัฐ เมื่อปี พ.ศ. 2543 จนรุกลามกลายเป็นเหตุการณ์ที่นักคอมพิวเตอร์ฝ่ายแนวร่วมประเทศจีน และฝ่ายแนวร่วมประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประกาศสงครามสารสนเทศ (Information Warfare) อย่างเปิดเผย และต่างฝ่ายต่างใช้ขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีสารสนเทศลิดรอนและทำลายข้อมูลสารสนเทศรวมทั้งระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์จนได้รับความเสียหายกันทั้งสองฝ่าย ศูนย์คอมพิวเตอร์ของหน่วยงานราชการทั้งทหารและพลเรือน ตลอดจนบริษัทธุรกิจเอกชน ได้รับความเสียหายจำนวนนับ 1,000 แห่ง แม้กระทั่งศูนย์คอมพิวเตอร์ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ หรือ PENTAGON ก็ได้รับผลกระทบเช่นกัน การปฏิบัติการดังกล่าวรัฐบาลของทั้งสองฝ่ายต่างปฏิเสธไม่มีส่วนรู้เห็นเป็นใจในการกระทำดังกล่าว ซึ่งข้อเท็จจริงไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นการกระทำของฝ่ายพลเรือนแต่เพียงฝ่ายเดียวโดยที่ไม่มีกองทัพหรือฝ่ายรัฐบาลประเทศใดเข้าร่วมปฏิบัติการด้วย

ภายหลังเหตุการณ์ก่อการร้าย ถล่มตึกเวิร์ลเทรดเซ็นเตอร์ เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2544 รวมทั้งเหตุการณ์เกี่ยวกับสงครามอ่าวเปอร์เซียก่อให้เกิดการก่อการร้ายทางสารสนเทศ หรือภาวะสงครามไซเบอร์ (Cyber War) และสงครามสารสนเทศ (Information Warfare) ขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งระหว่างประเทศหรือเพียงกลุ่มหนึ่ง ซึ่งตัวเลขประมาณการในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2546 พบว่าเว็บไซต์มากกว่า 1,000 แห่ง ถูกโจมตีภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเริ่มการถล่มอิรัก รวมแล้วมีเว็บไซต์มากกว่า 10,000 แห่ง เกิดความเสียหายจากการเจาะระบบ ตั้งแต่มีนาคม พ.ศ. 2546 สำหรับเป้าหมายของการโจมตียังคงเป็นภาครัฐบาลและการทหารเป็นหลัก โดยคาดว่าน่าจะมาจากการต่อต้านสงครามของสหรัฐฯ กับอิรัก ซึ่งการเจาะระบบฯ จะพบในธุรกิจที่ดำเนินการแบบออนไลน์ หรือระบบแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างองค์กร

สำหรับประเทศไทยนั้น ภัยคุกคามดังกล่าวได้ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเป้าหมายหลักของการปฏิบัติการสารสนเทศของฝ่ายตรงข้ามยังไม่มีความชัดเจนแน่ชัด จึงทำให้ผลกระทบดังกล่าวไม่ได้สร้างความเสียหายต่อหน่วยงาน และองค์กรเอกชนมากนัก แต่ยังคง

มีปรากฏของการกระทำดังกล่าวอยู่เสมอมาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงทุกวันนี้ โดยมีการรายงานถึงการโจมตีด้วยโปรแกรมไวรัสคอมพิวเตอร์ และการบุกรุกเข้ามาในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรต่างๆ เป็นประจำอยู่เสมอมา สำหรับกรณีที่มีการใช้เว็บไซต์เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านความมั่นคงของชาติโดยเฉพาะปัญหาในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้นั้น ฝ่ายตรงข้ามได้มีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลทางการปฏิบัติการจิตวิทยาและการประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างกระแส การโน้มน้าวชักจูง เรียกร้องความสนใจจากกลุ่มประเทศโลกมุสลิม องค์กรประชุมอิสลาม (The Organization of the Islamic Conference: OIC) รวมทั้งประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ให้หันมาแสดงความเห็นอกเห็นใจและให้การสนับสนุนการปฏิบัติของฝ่ายตน ซึ่งรัฐบาลไทยได้มีการดำเนินการระวังป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวในการปฏิบัติภารกิจเพื่อเสริมสร้างสันติสุขในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งกองทัพบกซึ่งได้รับมอบหมายจากรัฐบาลตั้งแต่ตุลาคม พ.ศ. 2548 ในการจัดตั้งกองอำนวยการเสริมสร้างสันติสุขพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ (กอ.สสส.จชต.) ได้ดำเนินการปฏิบัติงานดังกล่าว ตามแนวทางของคู่มือการปฏิบัติการข่าวสารของกองทัพบก ซึ่งการปฏิบัติดังกล่าว ได้มุ่งเน้นการใช้สงครามอิเล็กทรอนิกส์และการปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์เป็นหลักผสมผสานกับ การลวง และการปฏิบัติการจิตวิทยาสนับสนุนด้วยการปฏิบัติการกิจการพลเรือนและการประชาสัมพันธ์ ซึ่งผลจากการปฏิบัติการสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติภารกิจเพื่อเสริมสร้างสันติสุขพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของกองทัพบก นับว่าประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี จนสามารถคลี่คลายลดระดับความรุนแรงของสถานการณ์การก่อการร้ายในพื้นที่ลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการบูรณาการงานด้านการข่าว ยุทธการ กิจการพลเรือน และการปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ให้มีความเป็นเอกภาพในด้านการวางแผน อำนวยการ และการดำเนินการร่วมกับส่วนราชการอื่นๆ เช่น เหล่าทัพอื่น กรมสอบสวนคดีพิเศษ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ สำนักข่าวกรองแห่งชาติ และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ เป็นต้น

7. สรุป

การปฏิบัติการสารสนเทศ (IO) ส่วนใหญ่ลักษณะการปฏิบัติการ และเป้าหมายของการปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับสารสนเทศ ตลอดจนภัยคุกคาม ประเภทของอาวุธ ประเภทของสงครามต่างๆ มิได้มุ่งหมายด้านการทำลายล้างต่อชีวิตผู้คนเป็นหลักใหญ่ แต่ที่สำคัญผลลัพธ์อันเกิดจากการปฏิบัติการสารสนเทศดังกล่าว ย่อมเกิดผลเสียหายที่มีความรุนแรงและร้ายกาจไม่น้อยกว่าสงครามการสู้รบด้วยอาวุธทำลายล้าง ถึงแม้ว่าการปฏิบัติการดังกล่าว จะมุ่งเน้นไปยังเป้าหมายเพื่อสร้างความเหนือกว่าทางสารสนเทศต่อฝ่ายตรงข้ามทางด้านสารสนเทศและระบบสารสนเทศทั้งเชิงรุกและเชิงรับก็ตาม ถึงตรงนี้เรามีการเตรียมพร้อมที่จะรับมือกับสถานการณ์สงครามในโลกยุคใหม่ยุคข้อมูลข่าวสาร หรือยุคเทคโนโลยีสารสนเทศที่เราเรียกกันว่า สงครามอสมมาตร ที่เราไม่มีโอกาสรู้ตัว ไม่มีโอกาสรู้เขา-รู้เรา ไม่มีพรมแดนและไม่มีตัวตนแล้วหรือยัง?

การปรับปรุงโครงสร้างระบบราชการและหน่วยงานของรัฐ นับว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อรองรับสังคมแห่งโลกเทคโนโลยีสารสนเทศในยุคของการแข่งขัน แต่จะทำอย่างไรที่จะให้หน่วยงานและองค์กรต่างๆ มีความมั่นใจ มีความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนมีขีดความสามารถในการรองรับ

ภัยคุกคามรูปแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว กองทัพนั้นนอกเหนือจากภารกิจด้านความมั่นคงตามรัฐธรรมนูญแล้ว ด้านการเสริมสร้างประสิทธิภาพทางด้านการทหาร ซึ่งจะต้องแข่งขันกับประเทศเพื่อนบ้านแล้ว ยังจะต้องเสริมสร้างศักยภาพให้เหนือกว่าฝ่ายตรงข้าม รวมทั้งการเสริมสร้างศรัทธาความเชื่อมั่นให้กับประชาชน รวมทั้งภาคธุรกิจทั้งในและนอกประเทศที่จะเข้ามาลงทุนภายในประเทศ เพื่อให้เกิดความศรัทธาเชื่อมั่นเป็นอันดับแรก ดังนั้น การบูรณาการงานด้านการปฏิบัติการสารสนเทศ (IO) ของหน่วยงานต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้เกิดความเป็นเอกภาพและเป็นศูนย์กลางในการวางแผน อำนวยการ จึงมีความจำเป็นยิ่งในสถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการเตรียมการ เพื่อรองรับภัยคุกคามและการแก้ไขปัญหาดังกล่าวของรัฐบาล ◎

เอกสารอ้างอิง

1. กรมยุทธการทหารบก, "คู่มือการปฏิบัติการข่าวสารกองทัพบก", 2548
2. ชัยณรงค์ พงษ์สวัสดิ์, พ.อ., "กำลังรบศตวรรษที่ 21 (Force XXI) การปฏิวัติกิจการทหาร (Revolution Military Affair: RMA)", เสนาธิปัตย์, ปีที่ 51 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน, หน้า 21, 2546
3. ทรงธรรม ธนะศิริวัฒนา, กลยุทธ์ "สงครามไซเบอร์" อาศัยวิกฤติโลกเข้าโจมตี, ไทยรัฐ, 2546
4. รอฮีม ปรามาท, "สงครามอนาคตและนวัตกรรมทางการทหาร", สำนักพิมพ์มติชน, กรกฎาคม, 2547
5. ฤทธี อินทราวุธ, พ.อ., "สงครามข่าวสาร VS สงครามสารสนเทศ", ยุทธโกษ, ปีที่ 113 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนตุลาคม-ธันวาคม, หน้า 11-19, 2547
6. ศิลป์ พันธุรังษี น.ท., บทบาทสงครามโฟตอน กับสงครามในอนาคต (ตอนที่ 1), นาวิกศาสตร์, 2546
7. เสถียร วีรกุล, "บรรพสาม: ยุทโธบาย", ตำราพิชัยสงคราม ซุนวู, หจก. ภาพพิมพ์, หน้า 45, 2537

เอกสารอ้างอิงต่างประเทศ

1. FM 100-6 Information Operations, 27th Aug. 1996
2. Joint Publication 3-13 Joint Doctrine for Information Operations, 9th Oct. 1998
3. FM 3-13 Information Operations: Doctrine, Tactics, Techniques and Procedures, 28th Nov. 2003

เว็บไซต์อ้างอิง

- http://www.1stiocmd.army.mil
- http://www.tortaharn.net
- http://www.police.go.th
- http://www.dsi.go.th

CDMA ที่สุดของเทคโนโลยี บนมาตรฐาน IMT-2000

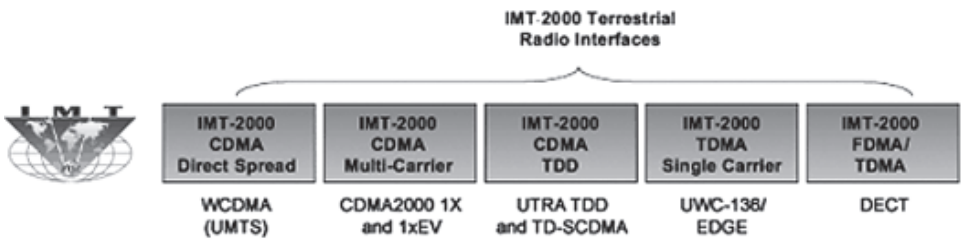
นายอภิชาติ งามวิลัย
ฝ่ายประสานงานร่วมกิจการ DTAC
บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)

กล่าวนำ

มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยสหภาพโทรคมนาคม (International Telecommunications Union หรือ ITU) ภายใต้ชื่อมาตรฐานว่า IMT-2000 โดยกำหนดให้มีมาตรฐานเดียวกันสำหรับทั่วโลก แต่ว่าไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากแต่ละประเทศใช้ระบบแตกต่างกัน ในที่สุดก็ได้มีการตกลงกันโดยจะมีมาตรฐานสำหรับด้าน Radio Interfaces อยู่ 3 มาตรฐานที่จะให้สำหรับบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G ซึ่งได้แก่ WCDMA, CDMA2000 และ TD-SCDMA

มาทำความรู้จักกับ 3 มาตรฐานของ IMT-2000

เมื่อปี 1999 The International Telecommunication Union (ITU) ซึ่งเป็นองค์กรกลางของ United Nation (UN) ได้รับรองมาตรฐานของเครือข่ายโทรคมนาคมไร้สายยุคที่ 3 ไว้เป็นมาตรฐานของสัญญาณการส่งออก

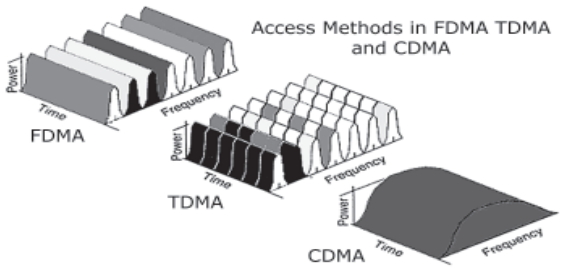


รูปที่ 1 แสดงมาตรฐานของ Radio Interfaces ของ IMT-2000

อากาศ เรียกว่า International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000) โดย ITU ได้กำหนดคุณสมบัติสำหรับการให้บริการระดับ 3G ภายใต้มาตรฐาน IMT-2000 โดยครอบคลุมการเพิ่มขีดความสามารถของระบบให้สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เครือข่ายรุ่นเก่าระดับ 2G รองรับการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย และใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบแพ็คเกตความเร็วสูง โดยกำหนดให้เทคโนโลยีนั้นๆ ต้องสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วในระดับต่างๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งได้มีข้อตกลงทั้งหมด 5 ประเภท 3 ใน 5 ประเภท มีพื้นฐานและการพัฒนามาจาก CDMA แต่มีความแตกต่างกัน และมีชื่อเรียกต่างกันไปคือ WCDMA, CDMA200 และ TD-SCDMA ดังแสดงในรูปที่ 1

CDMA2000 บนมาตรฐาน IMT-2000

CDMA2000 ย่อมาจาก Code-Division Multiple Access 2000 เป็นเทคโนโลยีไร้สายดิจิตอล ซึ่งใช้เทคนิคของ “การกระจายแถบความถี่” (Spread Spectrum) เพื่อส่งคลื่นวิทยุผ่านแถบความถี่ช่วงกว้าง เป็นวิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ซึ่งจัดเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดด้วยการเข้ารหัส สัญญาณจากผู้ใช้บริการแต่ละรายจะถูก ทำการเข้ารหัสด้วยรหัสที่มีลักษณะพิเศษเรียกว่า PN Code (Pseudo Random Noise) ที่แตกต่างกันไป ก่อนจะถูกส่งออกไปยังสถานีรับปลายทางและเมื่อสถานีรับปลายทางได้รับสัญญาณที่ส่งมานั้นก็จะทำการถอดรหัสข้อมูลออกมาโดยใช้ PN Code ชุดเดียวกันกับที่ภาคส่งใช้ การที่คู่สถานีรับ-สถานีส่งหนึ่งๆ ใช้ digital code ที่เฉพาะเจาะจงและแตกต่างจากสถานีรับ-สถานีส่งคู่อื่น จะทำให้การถอดรหัสข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง เทคโนโลยี CDMA มีศักยภาพเหนือชั้นกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ มาก ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโดยมีคำต่อท้าย 1x, 1x EV-Do, 1x EV-DV เป็นต้น โทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA นั้นเดิมอาศัยเทคโนโลยีในรุ่นที่เรียกว่า CDMA IS-95 หรืออีกชื่อหนึ่งคือ “cdmaOne” แต่ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในรุ่นถัดไปซึ่งมีความก้าวหน้ามากกว่าออกมาใช้งาน เทคโนโลยีดังกล่าวได้แก่ CDMA2000 1x โดยที่เทคโนโลยี CDMA2000 1x นี้ สามารถให้บริการทั้งเสียงและข้อมูลโดยอาศัยช่องสัญญาณความถี่เดิมขนาด 1.25 MHz ด้วยประสิทธิภาพที่เหนือกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ จึงสามารถรองรับการใช้งานได้สูงกว่าระบบ cdmaOne ถึง 2 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถรองรับการรับ-ส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงสุดถึง 153 Kbps และเมื่อปี 2003 ระบบ CDMA2000 1x EV-DO ที่ได้รับการเปิดตัวสู่ตลาด โดยเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการออกแบบสำหรับการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงโดยเฉพาะ ระบบ CDMA2000 1x EV-DO สามารถให้บริการรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดมากกว่า 2 Mbps



รูปที่ 2 แสดงการ Multiplexing ของ CDMA เทียบกับแบบอื่นๆ

เทคนิคการทำ Spread Spectrum ของ CDMA 2000

ระบบ TDMA และ FDMA จะใช้วิธีการจัดสรรคลื่นความถี่เป็นช่วงความถี่แคบๆ สำหรับระบบ CDMA ผู้ใช้แต่ละคนในขณะที่ Spread Spectrum Systems ข้อมูลจะถูกส่ง (spread) ผ่าน very wide channel พร้อมๆ กับ user คนอื่นๆ เมื่อพิจารณาที่ผู้ใช้แต่ละคนจะถือว่าสัญญาณของ user คนอื่นเป็น Interference ดังนั้น จึงไม่จำกัดจำนวน subscriber (เครื่องลูกข่าย) ขึ้นอยู่กับว่าต้องการ Quality of service เท่าใด การทำ Spread Spectrum ยุคแรกๆ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาใช้ทางด้านการทหารแต่ปัจจุบันนำมาใช้ทาง commercial การทำ Spread Spectrum ที่นิยมในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ

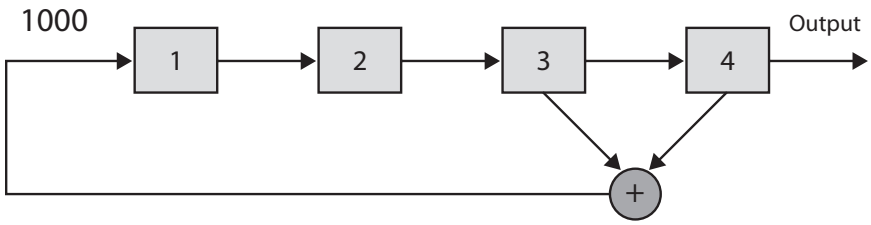
1. การทำ Spread Spectrum แบบ Frequency Hopping เป็นการ Jamming สามารถทำได้โดยส่ง Noise ที่มีกำลังสูงไปที่ความถี่ใดๆ ทำให้ที่ความถี่นั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยส่งข้อมูลเป็นลักษณะ Packet ที่ความถี่หนึ่งสำหรับ packet ต่อมาก็ส่งอีกความถี่หนึ่งเป็นลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่ลำดับการเลือกความถี่จะเป็นไปตาม Pseudorandom Sequence เรียงลำดับนี้ว่า Frequency-Hopping Sequence โดยที่ลำดับ ของ User แต่ละคนจะไม่เหมือนกัน

2. การทำ Spread Spectrum แบบ Direct-sequence แบบง่ายเพื่อให้เข้าใจระบบ CDMA สมมุติระบบที่เราสนใจมีผู้ใช้ 3 คน แต่ละคนได้รับชุด PN code ที่แตกต่างกัน ก่อนที่ผู้ใช้แต่ละคนจะส่งข้อมูลออกจะนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไป Spread Spectrum โดยการนำบิตข้อมูลไปคูณกับชุด Code PN ของตนเองทำให้มี bit rate สูงขึ้น สัญญาณที่ spread ออกด้วย PN code ชุดหนึ่งจะไม่สามารถ dispreads ออกด้วย PN code ชุดอื่น ซึ่งทำให้เราสามารถส่งสัญญาณของผู้ใช้หลายคนลงบนคลื่นพาห์ความถี่เดียวกันได้

เทคนิคการเข้ารหัส PN code ในระบบ CDMA2000

PN Code คือ สัญญาณ (Sequence) ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีการที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนขบวนสัญญาณที่ได้จะมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสัญญาณ Random มาก ถูกนำมาใช้ใน Signal Synchronization, Cryptography และการทำ Spread Spectrum วิธีสร้าง PN Code นั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมมากคือ Binary Maximal Sequence (Binary m-sequence)

Maximal Sequence เป็น Sequence ที่นิยมใช้ในการทำ PN Code สร้างจาก Shift Register ต่ออนุกรมกัน โดยมีการป้อนกลับอย่างน้อย 2 ตำแหน่งไปยังขาเข้าของ Shift Register ตัวแรก



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างวงจรกำเนิดโค้ด m-sequence
โดยที่ถ้าให้ค่าเริ่มต้น = 1000 จะได้ Output = 000100110101111

รูปที่ 3 เป็นวงจรกำเนิด m-sequence ที่ใช้ Shift Register 4 ตัว และวงจรบวกเลขฐาน 2 (Modulo Sum) โดยจะรวมสัญญาณป้อนกลับจาก Register ตัวที่ 3 และ 4

ประเภทของ Code ที่ใช้ในระบบ CDMA

Code แต่ละประเภทจะมีสมบัติ Orthogonal เพื่อให้การรับและดึงสัญญาณไม่ Dispreads สัญญาณที่ถูก Spread ออกด้วย Code ชุดอื่นในประเภทเดียวกัน

1. Walsh Code (Hadamard Code)

ประกอบด้วย 64 Code ที่ Orthogonal กัน แต่ละชุดมีความยาว 64 บิต ใช้ Spread ช่องสัญญาณที่มีอัตราการส่ง 1.288 Mbps สามารถสร้าง Walsh Code จาก Hadamard Matrices H_{2m}(m = 1, 2, 4, 16, ...)

$$H_2=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}, H_{2m}=\begin{bmatrix}H_m & H_m\\ H_m & H_m\end{bmatrix}, \ldots, H_{64}=\ldots$$

2. Long PN Code

- สร้างจาก Shift Register 42 Bit Code ที่ได้จึงมีความยาว
- อัตราการสร้าง Code = 1.228 Mbps ดังนั้น จะมีการซ้ำของ Code ทุกๆ 41.425 วัน

3. Short PN Code

- มี 2 ชุด คือ I และ Q แต่ละชุดสร้างจาก Shift Register ขนาด 16 บิต และจะมีการเพิ่มบิต 0 อีกหนึ่งบิตเมื่อพบ Code ที่มีค่า 0 ติดกัน 14 ตัว เพื่อให้ได้ Code ที่มีความยาว 32,768
- เนื่องจากอัตราการสร้าง Code = 1.228 Mbps ดังนั้น Code จะมีการซ้ำกันทุกๆ 26.66 ms

GOS (Grade of Service) ของ CDMA2000

เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความสามารถในการเข้าใช้ระบบ ระหว่างชั่วโมงที่มีการใช้สูงสุดซึ่งมักจะอยู่ระหว่าง 16.00-18.00 น. การวัดค่า GOS ทำโดยการวัดจากความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้โทรศัพท์คนหนึ่งไม่สามารถจะโทรออกได้ หรือเรียกว่าความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อก (Blocking Probability) เช่น ค่า GOS = 2% หมายความว่าในชั่วโมงที่มีการใช้งานสูงสุด ถ้ามีการโทรเข้ามา 100 ครั้ง จะต้องเกิดการบล็อกไม่เกิน 2 ครั้ง

CDMA2000 กับการให้บริการที่หลากหลาย

CDMA2000 เหมาะกับที่จะให้ใช้สำหรับการบริการรับส่งข้อมูลแบบ Packet ด้วยอัตราความเร็วข้อมูลที่สูงถึง 2.4 Mbps ด้วยการใช้คลื่นพาห์

ที่มีความกว้างของช่องความถี่วิทยุ (RF Bandwidth) เท่ากับ 1.25 MHz ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวนี้มาใช้งานเชื่อมต่อเข้ากับชุดของโปรโตคอลทางอินเทอร์เน็ต (IP) สนับสนุนการใช้ระบบปฏิบัติการทุกระบบ การใช้งานที่เป็นในลักษณะ “Always on” ที่ผู้ใช้สามารถรับส่งข่าวสาร ได้ทุกเวลา และทุกสถานที่ นอกจากนี้เทคโนโลยี CDMA2000 นี้จะเป็น Solution สำหรับการใช้งานด้านข้อมูลที่จะมีใช้บนอุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ เพื่อให้เกิดความสะดวกและสนุกสนานในการใช้งาน ด้วยขนาดช่องสัญญาณแต่ละช่องที่มีขนาด 1.25 MHz สำหรับการรับส่งข้อมูลที่เป็น Packet กับสัญญาณเสียงมีผลทำให้

1. ความจุของระบบสูงขึ้นได้ โดยปกติค่าเฉลี่ยของ Throughput ในช่อง 3-Sectored Cell คือ 4.1 Mb/s

2. มีความง่ายต่อการปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษา

3. เพื่อหลีกเลี่ยงงาน Load-Balancing ที่ยาก

4. เพื่อรวบรวมเสียง และข้อมูลเข้าเป็นระบบเดียว

5. เพื่อรวม CDMA2000 กับชุดของโปรโตคอลทางอินเทอร์เน็ต (IP) เข้าด้วยกันในอุปกรณ์เดียวกันเพื่อให้การบริการเสียงและข้อมูลดีที่สุด

บริการที่หลากหลายบนมาตรฐาน CDMA2000

บริการที่หลากหลายบนมาตรฐาน CDMA 2000 ตั้งแต่การเชื่อมต่อสื่อสารแบบง่ายๆ ไปจนถึงการรับส่งสัญญาณ Streaming Video เพื่อความบันเทิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. งานด้านการสื่อสาร:

- การรับส่ง e-Mail ที่มี Attached File ขนาดใหญ่
- การ Chat และ Navigation/Maps
- การส่งข่าวสารในลักษณะ Multi-media ในลักษณะ Real-time

2. งานด้านสารสนเทศ:

- Web Browsing ที่เป็นแบบ Multi-media และมีรูปภาพ
- การส่งผ่าน Files ที่มีขนาดใหญ่
- การเข้าสู่ระบบ Intranet
- การดูภาพวิดีโอข่าวสั้นๆ
- การวิเคราะห์แนวโน้มของหุ้น

3. งานด้านบันเทิง:

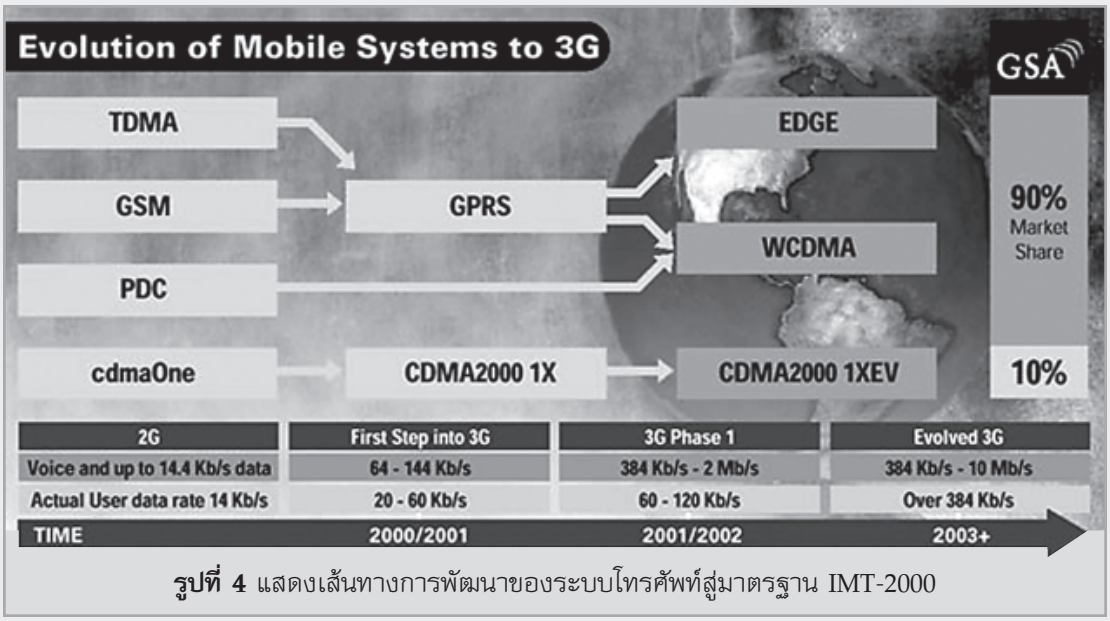
- Streaming Audio and Video
- การ Download เสียงและภาพที่มีขนาดสั้น
- การ Download เกมส์ ภาพถ่าย และ Movie Previews

4. งานด้าน Transaction:

- M-commerce
- Stock Trades
- E-cash
- Reservation

แนวทางสู่ยุคของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 สำหรับประเทศไทย

ในฐานะที่ CAT Telecom ผู้นำด้านสื่อสารโทรคมนาคมของประเทศไทยได้นำเอาเทคโนโลยี CDMA2000 มาให้บริการเป็นรายแรกและรายเดียวที่กล้าเปิดประตูสู่โลก 3G ให้แก่ประชาชนชาวไทย เพื่อให้ได้ใช้บริการที่มีอยู่อย่างหลากหลายไม่แพ้ชาติใดๆ ในโลก กล่าวได้ว่า CDMA2000 เป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถือกำเนิดขึ้นในยุคที่ 2.5 G ของการสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นยุคเดียวกันกับมาตรฐาน GSM ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ครอบครองฐานผู้ใช้บริการมากที่สุดในโลก ในมุมมองส่วนตัวของผู้เขียนเห็นว่าประเทศไทยกำลังให้ความสำคัญกับการรักษาและพัฒนาระบบฐานข้อมูลและเครือข่ายสนับสนุนสื่อข้อมูล (Content Engine) ให้มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 แสดงเส้นทางการพัฒนาของระบบโทรศัพท์สู่มาตรฐาน IMT-2000

เทียบเท่าต่างประเทศความพยายามในการวางรากฐานการเติบโตให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายใต้มาตรฐาน IMT-2000 ซึ่งตามข้อกำหนดมาตรฐาน IMT-2000 การให้บริการ 3G ต้องอยู่บนมาตรฐานสามารถส่งข้อมูลในอัตราความเร็ว 2 Mbps ขณะอยู่กับที่หรือภายในอาคาร ต้องสามารถส่งข้อมูลในอัตราความเร็ว 384 kbps ขณะเดินหรืออยู่ในพื้นที่เขตเมือง และต้องสามารถส่งข้อมูลในอัตราความเร็ว 144 kbps ขณะใช้โทรศัพท์มือถือในยานพาหนะเคลื่อนที่ เป็นสิ่งที่ยังไม่มีผู้ใดสามารถบอกได้ว่า CAT Telecom และบรรดาพันธมิตรทางธุรกิจจะประสบความสำเร็จได้มากน้อย เมื่อเทียบกับความเป็นจริง

บทสรุป

เทคโนโลยีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3G บนมาตรฐาน IMT-2000 กำลังมีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ ในการเพิ่มโอกาส สร้างรายได้ให้ผู้ประกอบการในธุรกิจนี้ ไม่ว่าจะเป็นผู้ให้บริการ (โอเปอเรเตอร์) นักพัฒนาบริการเสริมหรือผู้สร้างเนื้อหา (Constance) เพื่อขับเคลื่อนความต้องการใช้งานบริการเสริมด้านข้อมูล ในกลุ่มผู้ใช้มือถือให้สูงขึ้น ลดความคุ้นเคยเดิมๆ ที่มองว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นเพียงช่องทางพูดคุยกันทางเสียงเท่านั้นเทคโนโลยีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3G บนมาตรฐาน IMT-2000 มิใช่การปฏิวัติพลิกโฉมเทคโนโลยีสื่อสารใหม่ทั้งหมด แต่เป็นวิวัฒนาการแบบค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากเทคโนโลยี CDMA2000 ไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างเครือข่ายใหม่หรือระบบสื่อสารใหม่ อีกทั้งสามารถพัฒนาต่อยอดจากเครือข่ายเดิมที่มีอยู่ได้อย่างแบบไร้รอยต่อ ผลลัพธ์ก็คือ บริการอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ความเร็วสูงประสิทธิภาพสูง คุ้มค่าและที่สำคัญยังเป็นการรีไซเคิลการลงทุนเก่าเพื่อสร้างผลตอบแทนใหม่อีกด้วยแท้จริงแล้วกุญแจแห่งความสำเร็จของ CDMA2000 มิได้อยู่ที่ความเป็นเลิศของเทคโนโลยีเครือข่าย แต่กลับอยู่ที่ ความพร้อมของระบบฐานข้อมูล การให้บริการหลากหลายรูปแบบและกระบวนการทางธุรกิจที่ลงตัวต่างหาก ◎

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare: EW)

พ.อ. หลักแก้ว อัมโรสถ
นายทหารสื่อสารประจำกรมการทหารสื่อสาร

เป็นธรรมชาติของมนุษย์ที่เมื่อเกิดความขัดแย้งกันขึ้นอย่างรุนแรง ถึงจุดที่จะต้องจับอาวุธขึ้นประหัตประหารกันแล้วก็จะต้องพยายามนำเอาเครื่องมือ เครื่องผ่อนแรงหรืออุปกรณ์สนับสนุนทุกๆ ชนิดออกมาใช้ในการสู้รบกัน ยิ่งกว่านั้นการสู้รบก็จะกระทำในทุกๆ มิติที่สามารถจะกระทำการต่อสู้กันได้ ทั้งบนบก ในน้ำ ในอากาศ และในไม่ช้าก็จะต้องไปต่อสู้กันในอวกาศนอกโลก

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็เป็นอีกมิติหนึ่ง เป็นการใช้เครื่องมือในการต่อสู้ นับตั้งแต่วิทยาศาสตร์ได้เจริญมาถึงจุดที่มีการใช้เครื่องรับ-ส่งวิทยุในการสื่อสารทางทหารนับตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นมา การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็เกิดขึ้นในมิติที่เป็นพาหะของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการกระทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์กันอย่างกว้างขวาง และมีความสำคัญอย่างมาก วินสตัน เชอร์ชิล ถึงกับให้สมญานามสงครามอิเล็กทรอนิกส์ว่า **“สงครามแม่มด”** หมายถึง

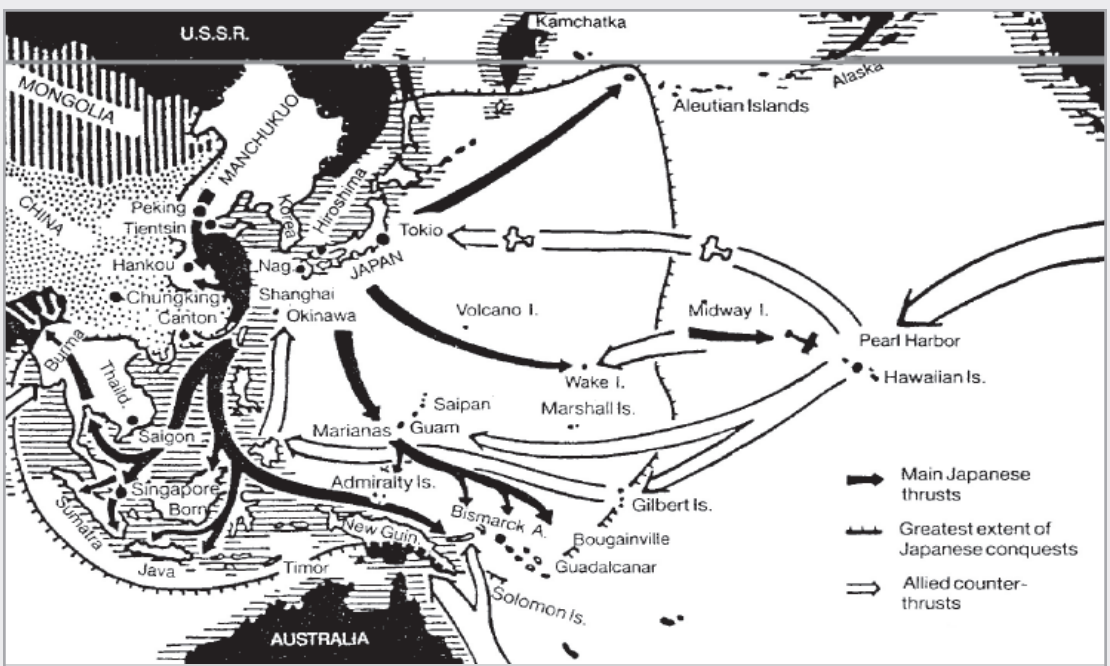
การใช้เวทย์มนต์ทำลายกัน โดยกล่าวไว้ว่า *"มันเป็นสงครามลับที่แพ้ชนะกันนั้นประชาชนทั่วไปไม่ทราบ เพราะมันมีความยุ่งยาก เกินความเข้าใจของคนทั่วไป นอกจากผู้ที่เกี่ยวข้องและนักวิทยาศาสตร์ชั้นเยี่ยมกลุ่มหนึ่งเท่านั้น ถ้าอังกฤษไม่สามารถปรับปรุงด้านนี้มาสู้กับเยอรมันเพื่อความอยู่รอดของตัวเองได้แล้วก็หมายความว่าอังกฤษต้องเป็นฝ่ายพ่ายแพ้ในสงครามแน่ และเมื่อนั้นอังกฤษก็จะต้องถูกทำลายโดยสิ้นเชิง"*

ลักษณะการทำสงครามในปัจจุบัน และอนาคต จะมีการนำเอาวิทยาการใหม่ๆ ในด้านอิเล็กทรอนิกส์และพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาใช้ ทั้งในระบบการบังคับบัญชาและระบบควบคุม ระบบการบริหารงานทุกประเภทของกองทัพ รวมทั้งระบบอาวุธยุทโธปกรณ์ด้วย พลังอำนาจทางทหารขึ้นอยู่กับขีดความสามารถทางอิเล็กทรอนิกส์และการใช้ประโยชน์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฉะนั้น ใครที่ชนะในการต่อสู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ก็จะชนะสงครามด้วย ความคิดเห็นเช่นนี้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วทั้งหลาย ฉะนั้นจึงมีการทุ่มเทงบประมาณจำนวนมหาศาลในการวิจัย-พัฒนา และผลิตระบบอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมากมายและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทั้งปริมาณและคุณภาพอย่างรวดเร็ว ประเทศเราในอดีตที่ผ่านมามีการรบเกิดขึ้นตามบริเวณชายแดนหลายแห่งด้วยกัน ทำให้เราตระหนักดีถึงสงครามอิเล็กทรอนิกส์ว่ามีความสำคัญมากแค่ไหน ถ้าเรามีการฝึกฝนจนชำนาญในยามปกติ พร้อมทั้งได้รับการสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชาชั้นสูงแล้ว ก็เชื่อมั่นว่ากองทัพของเราจะมีความแข็งแกร่งมากขึ้น ยากที่ใครจะมารุกรานได้

ความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ สรุปได้ว่า สงครามอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อสงครามโลกครั้งที่ 1 ในการยุทธ์ที่เมืองเทนเนนเบิร์ก ระหว่างกองทัพเยอรมันกับกองทัพรัสเซีย (แนวรบด้านตะวันออก) ใกล้พรมแดนเยอรมันและรัสเซียระหว่าง 20-27 สิงหาคม 1914 กองทัพเยอรมันภายใต้การบังคับบัญชาของพลเอกฟอนอินเดนเบิร์ก กระจายกำลังตั้งรับอยู่ใกล้ชายแดนรัสเซีย ตั้งแต่ทางเหนือใกล้ฉนวนดารซิกมาจนถึงแม่น้ำวิสตุล่า กองทัพรัสเซียภายใต้การบังคับบัญชาของนายพลเรนเนนแคมฟ์และนายพลแซมโซนอฟ วางกำลังดังนี้ กองทัพที่ 1 ตั้งอยู่ทางด้านเหนือ กองทัพที่ 2 ตั้งอยู่ทางด้านใต้ใกล้แม่น้ำวิสตุล่า แม่ทัพหมู่กองทัพรัสเซียสั่งการให้กองทัพที่ 1 เคลื่อนที่เข้าประชิดแนวตั้งรับของเยอรมัน และให้ตรึงกำลังทหารเยอรมันไว้โดยไม่ต้องเข้าตี ส่วนกองทัพที่ 2 ให้รุกข้ามพรมแดนเยอรมัน เพื่อเข้ายึดเมืองเทนเนนเบิร์ก คำสั่งดังกล่าวส่งทางวิทยุ (ไม่เข้ารหัส) บังเอิญพนักงานวิทยุของเยอรมันดักรับคำสั่งนี้ได้ จึงรีบรายงานให้ผู้บังคับบัญชาทราบทันที เมื่อแม่ทัพเยอรมันได้รับรายงาน จึงสั่งการให้กองทัพน้อยและกองพลของเยอรมันที่ตั้งรับอยู่ทางด้านเหนือรีบเคลื่อนย้ายลงมายังเมืองเทนเนนเบิร์ก โดยมอบหมายให้กองพลทหารม้าเพียง 1 กองพล ดำเนินกลยุทธลวงกองทัพที่ 1 ของรัสเซีย เมื่อกองทัพที่ 2 ของรัสเซียรุกข้ามดินแดนเยอรมันมุ่งเข้าโจมตีเพื่อที่จะยึดเมืองเทนเนนเบิร์กจึงถูกกองทัพเยอรมันเข้าตีขนาบจากทางด้านเหนือ และจากทางด้านหน้าของเมืองเทนเนนเบิร์กยังผลให้กองทัพรัสเซียระส่ำระสายถอยไปจมปรักบริเวณที่ลุ่มของทะเลสาบมาซูเรี่ยน ก่อให้เกิดการสูญเสียแก่กองทัพรัสเซียอย่างมหาศาล หลักฐานทางประวัติศาสตร์การสงครามถือว่าชัยชนะของกองทัพเยอรมันในแนวรบด้านตะวันออกในครั้งนี้บังเกิดขึ้นจากความชาญฉลาดและความรอบรู้ในรายละเอียดของสภาพภูมิประเทศ ในอาณาบริเวณนี้ของท่านจอมพลฟอนอินเดนเบิร์ก จึงทำให้ท่านสามารถตกลงใจสั่งการ "ใช้กำลังที่น้อยกว่าในเวลาและตำบลที่เหมาะสม" แต่เบื้องหลังของชัยชนะ

กองทัพเยอรมันในการยุทธ์ที่เมืองเทนเนนเบิร์กคือ “การดักรับการส่งข่าวทางวิทยุ (Radio Interception) ซึ่งกองทัพอเมริกาถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของ “SIGNAL INTELLIGENCE: SIGINT”

ทางยุทธภูมิภาคพื้นแปซิฟิค ก่อนที่ญี่ปุ่นจะโจมตีกองทัพเรืออเมริกันที่อ่าวเพิล ฮาวาย ระหว่าง 3-7 พฤศจิกายน 2484 กองเรือรบญี่ปุ่นจำนวน 4 กอง เคลื่อนไหวอยู่ในน่านน้ำทะเลจีนตอนใต้ เหนือทะเลญี่ปุ่น ในห้วงเวลาดังกล่าว กองทัพเรือญี่ปุ่นปล่อยข่าวลวงว่ากองเรือญี่ปุ่นกำลังทำการประลองยุทธทางเรือครั้งใหญ่ โดยมีกองเรือที่ 1 จากเกาะไต้หวันปฏิบัติการอยู่ในทะเลจีนกองเรือที่ 2 ปฏิบัติการอยู่ในทะเลจีนตอนเหนือ กองเรือที่ 3 จากกิวชิวและกองเรือที่ 4 จากฮอนชิว ปฏิบัติการประลองยุทธอยู่ในน่านน้ำใกล้หมู่เกาะโบนิน ระหว่างนี้มีการย้ายฐานบินจากเกาะโอกินาวามายังเรือบรรทุกเครื่องบินด้วย ในวันที่ 1 ธ.ค. 2484 กองทัพเรือญี่ปุ่นก็ประกาศข่าวลวงว่า กองทัพเรือญี่ปุ่นได้ยุติการประลองยุทธแล้ว ซึ่งในขณะนั้นกองทัพเรือที่ 1 ของญี่ปุ่นกำลังแล่นมุ่งหน้ามายังอ่าวไทยเพื่อยกพลขึ้นบกที่หาดสงขลา โคตาบารู แล้วมุ่งเข้ายึดสิงคโปร์ต่อไป ส่วนกองเรือที่ 2, 3 และ 4 มุ่งหน้าไปยังจุดนัดพบที่บริเวณหมู่เกาะโบนินแล้ว กองเรือทั้งสามก็รวมเป็นกองเรือเฉพาะกิจ (โจมตี) มุ่งหน้าไปยังหมู่เกาะฮาวาย เพื่อเข้าโจมตีทำลายล้างกองทัพเรืออเมริกันภาคพื้นแปซิฟิคที่อ่าวเพิล (รูปที่1) ยุทธภูมิภาคพื้นแปซิฟิค ฮอนโนลูลูในการเคลื่อนย้ายกองเรือโจมตีจากบริเวณหมู่เกาะโบบินไปยังหมู่เกาะฮาวาย กองทัพญี่ปุ่นได้ใช้กลลวงอีกโดยทำทีว่ามุ่งหน้าแล่นขึ้นไปทางหมู่เกาะอาลิวเชี่ยนอลาสกา แต่แล้วในวันที่ 2 ธันวาคม 2484 กองเรือโจมตีของญี่ปุ่นก็เบนลงทางใต้ มุ่งเข้าโจมตีอ่าวเพิลในเช้าตรู่ของวันที่ 7 ธันวาคม 2484 ซึ่งตรงกับวันที่ 8 ธันวาคม 2484 ในประเทศไทย



รูปที่ 1 ยุทธภูมิภาคพื้นแปซิฟิค

นาวาเอก Joseph Rochfort หัวหน้าหน่วยข่าวกรองประจำฐานทัพเรือที่อ่าวเพิล ฮาวาย ได้ดักรับการติดต่อทางวิทยุของกองทัพเรือญี่ปุ่นมาโดยตลอด และทราบการเคลื่อนไหวของกองเรือทั้ง 4 ของญี่ปุ่นดังกล่าวจนกระทั่งวันที่ 2 ธ.ค. 2484 กองเรือโจมตีของญี่ปุ่นก็ระงับวิทยุ (Radio Silence) และใช้การรับคำสั่งโดยทางวิทยุกระจายเสียงจากวิทยุโตเกียวแทน จึงเป็นเหตุให้หน่วยข่าวกรองของฐานทัพเรือสหรัฐฯ ไม่ทราบว่ากำลังจะถูกโจมตีจากญี่ปุ่น

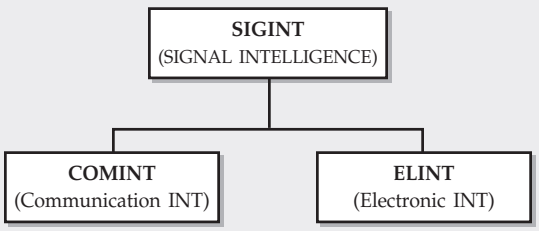
ญี่ปุ่นเริ่มโจมตีเมื่อเช้าตรู่ วันที่ 7 ธ.ค. 2484 พร้อมกับระเบิด 360 ลูก โดยไม่มีสิ่งใดขัดขวางเลย ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียมากกว่า 300 ชีวิต เรือรบ 19 ลำ และเครื่องบินอีก 180 ลำ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียครั้งสำคัญของอเมริกา

จากประวัติความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้เห็นว่ามันมีความสำคัญต่อสนามรบไม่แพ้พลังอำนาจของการยิงหรือการทำลายล้างด้านอื่นๆ เลย

หลักการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Principle of Electronic Warfare)

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare) หรือเรียกกันย่อๆ ว่า EW คือ “การปฏิบัติทางทหารที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อกำหนดขยายผล ลดหรือป้องกันการใช้ย่านความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก และปฏิบัติการซึ่งมุ่งดำรงรักษาการใช้ย่านความถี่ “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเรา” ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการดำเนินการสงครามในส่วนรวมของฝ่ายเรา

ในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ทุกครั้งย่อมจะต้องมีการเตรียมการไว้ตั้งแต่ในยามสงบ นั่นคือ การหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้ามไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บังคับบัญชานำไปใช้ในการวางแผนการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ในกรณีที่เกิดวิกฤตการณ์ทางการทหารขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการกระทำดังกล่าว เรียกว่า ข่าวกรองทางการสัญญาณ (SIGNAL INTELLIGENCE: SIGINT)

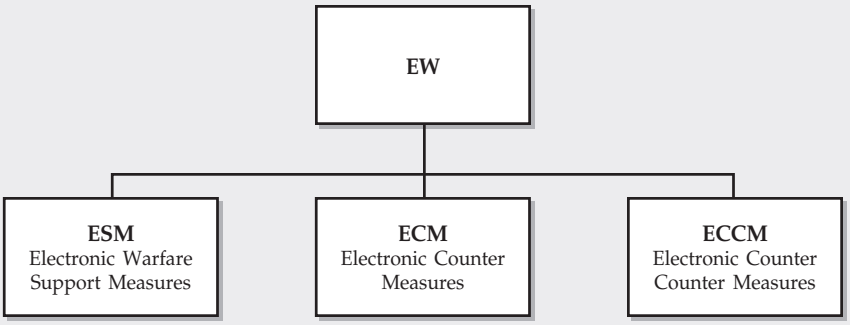


ข่าวกรองทางการสัญญาณ
(SIGNAL INTELLIGENCE: SIGINT)

คือ การหาข่าวเกี่ยวกับการปฏิบัติการและการเคลื่อนไหวของฝ่ายตรงข้ามหรือของประเทศที่อาจเป็นปฏิปักษ์ต่อฝ่ายเรา มีความหมายเฉพาะถึงการค้นหา ตรวจจับ กำหนดที่ตั้งและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้ามเพื่อนำมารวบรวม วิจัย จัดหมวดหมู่ ตีความ และประเมินค่าของข่าวนั้นๆ เพื่อประโยชน์ของฝ่ายตนที่จะลดประสิทธิภาพในการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้าม

SIGINT: เป็นคำที่เกิดขึ้นมาก่อนคำว่า EW กิจกรรมการ EW นั้น จะต้องเริ่มต้นจากการปฏิบัติการข่าวกรองทางการสัญญาณ (SIGINT) ก่อนเป็นเบื้องต้น แม้ว่าจะอยู่ในภาวะปกติก็ตาม เพราะสิ่งนี้เป็นพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้มาตรการสนับสนุนและการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์

SIGINT นั้นจะมีพันธกิจที่เกี่ยวข้องกับการดักรับการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก ซึ่งรวมทั้งการสื่อสารและมิใช่การสื่อสาร แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ พิสูจน์ทราบ ประเมินค่า สัญญาณที่ดักรับได้นั้น เพื่อที่จะขยายผล เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค



กลยุทธ์ข้าศึกและเป็นฐานข้อมูลต่อการนำไปใช้เพื่อการต่อต้าน และตอบโต้การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ข่าวกรองทางการสัญญาณ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ข่าวกรองทางการสื่อสาร (COMMUNICATION INTELLIGENCE: COMINT)

เป็นเทคนิคและข่าวกรองที่ได้มาจากการติดต่อสื่อสารของฝ่ายตรงข้ามโดยทางอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการรับฟัง แต่อย่างไรก็ตาม ฝ่ายตรงข้ามอาจจะใช้วิธีการส่งข่าวลวงและสถานีวิทยุลวงได้ฉะนั้นจึงต้องระมัดระวังและตรวจสอบข่าวกับแหล่งข่าวอื่นๆ ให้แน่ชัดด้วย

COMINT เน้นที่ตรวจค้นบันทึกข่าวถอดรหัสข้าศึก

การเฝ้าฟัง เก็บรวบรวมข้อมูลและข่าวสารจากระบบสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึกและเอามาดำเนินกรรมวิธีทางการข่าวกรองและการแปรรหัสลับทำเนียบกำลังรบ

ข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (ELECTRONIC INTELLIGENCE: ELINT)

คือ การปฏิบัติที่หมายถึง การเก็บรวบรวม (สังเกต และบันทึก) และดำเนินตามกรรมวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลข่าวกรองจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มิได้เกิดจากการติดต่อสื่อสารของฝ่ายตรงข้าม ข้อมูลเหล่านี้เอามาจัดทำทำเนียบสถานีอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

ELINT มี 3 รูปแบบ คือ

- Navigation Aids (เครื่องช่วยในการเดินอากาศ)
- Identification Friendorfof (IFF) ระบบพิสูจน์ฝ่าย
- Radar

เมื่อเกิดวิกฤติการณ์ทางทหารขึ้น ผู้บังคับบัญชาจะนำเอาข้อมูลจากข่าวกรองทางการสัญญาณ (SIGINT) มาพิจารณาวางแผนเพื่อกำหนดมาตรการในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อฝ่ายตรงข้าม

มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์

1. มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Support Measures: ESM)

คือ การปฏิบัติการค้นหา ดักรับ พิสูจน์ทราบ บันทึก และวิเคราะห์ เพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลนำมาสนับสนุน ECM, ECCM และการใช้กำลังทางยุทธวิธีอื่นๆ

การค้นหากระทำเพื่อ

- ค้นหาระดับความรุนแรงของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึกและสัญญาณต่างๆ ที่น่าจะส่งออกมา
- ระบุตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องส่งวิทยุและที่ตั้ง บก. ของข้าศึก
- ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของกำลังของข้าศึก

● ค้นหาเป้าหมายเพื่อทำการโจมตี

การวิเคราะห์ เป็นการดำเนินกรรมวิธีต่อข่าวสารที่ส่งออกมาของข้าศึกเพื่อได้มาซึ่งความรู้เกี่ยวกับยุทธวิธีและการจัดหน่วย เป็นต้น เพื่อเปลี่ยนข่าวสารที่อุปกรณ์ระบบหาทิศทางได้รับมาให้เป็นข่าวกรอง นอกจากนี้ ให้การดำเนินงานวิเคราะห์จะต้องใช้เจ้าหน้าที่ข่าวกรองที่ได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีอีกด้วย

การบันทึก

● กระทำหลังการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

● การใช้ประโยชน์ อาจนำไปใช้ตามกิจเฉพาะ หรือสำหรับอุปกรณ์ก่อกวนการสะกัดกั้นต้องมีอุปกรณ์พร้อมมูล และอาศัยเจ้าหน้าที่ที่มีความชำนาญทางด้านนี้เป็นอย่างมาก

การดักรับ ทำให้ทราบถึง

● ข่าวสารเกี่ยวกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึก

● สั่งการปฏิบัติเพื่อลดผลการรบโดยรบกวนระบบข้าศึก

● ทราบข่าวที่ตั้งหน่วย และการปฏิบัติซึ่งส่งเข้าไปใช้ในสายการข่าวกรองของเรา

● เอาข่าวสารที่ได้มาใช้ป้องกันเครื่องมือของเรา

● ทำให้ทราบว่าข้าศึกมีขีดความสามารถที่จะรบกวนกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเราได้เพียงใด ณ ที่ข้าศึกตั้งอยู่และมีมากน้อยแค่ไหน เครื่องมือทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึกเป็นเป้าสำหรับการทำลายด้วย

● ทำให้ทราบว่าข้าศึกได้นำเอาวิทยุซึ่งมีคุณลักษณะทางเทคนิคบางประการเข้ามาในพื้นที่การรบ

ดังนั้น การดำเนินการด้าน ESM จึงจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือ COMINT และ ELINT ที่มีการค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี ประดิษฐ์และพัฒนาผลิตขึ้นมาให้สามารถทำการค้นหา ดักรับ จับตำแหน่งที่มาของสัญญาณและพร้อมที่จะพิสูจน์ชนิดหรือระบบการสื่อสาร และระบบทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามซึ่งมีอยู่หลายระบบดังกล่าวแล้วให้ได้เพื่อนำมารวบรวมเป็นข่าวกรองทางการสื่อสารและข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ สนับสนุนเพิ่มเติมในข่าวกรองทางสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอันจะทำให้ฝ่ายอำนวยการสามารถพิจารณาประมาณสถานการณ์ ขีดความสามารถของระบบการสั่งการบังคับบัญชาและระบบอาวุธของฝ่ายตรงข้ามเพื่อให้ผู้บังคับบัญชาสามารถตัดสินตกลงใจได้ถูกต้อง การดำเนินการทางด้านข่าว SIGINT จะต้องกระทำอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือแบบเดียวกับ ESM ซึ่งดำเนินการในระดับหน่วยเหนือ การดำเนินการด้าน ESM จะกระทำในหน่วยทางยุทธวิธีสามารถนำข้อมูลด้านข่าวกรองทางสัญญาณมาเป็นประโยชน์เสริมด้วยการข่าวกรองทางการสื่อสาร และข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากฝ่ายตรงข้ามที่รับเพิ่มเติมในการดำเนินการ ESM ในขณะนั้นนำมาเป็นประโยชน์ในการประมาณสถานการณ์และการตัดสิน ตกลงใจที่จะทำการตอบโต้ต่อฝ่ายตรงข้าม ที่เผชิญหน้ากับฝ่ายเราเพื่อการรบกวน หรือการลวง หรือการทำลายให้ระบบการสื่อสาร และระบบอาวุธอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามหมดสมรรถนะลงไป

วัตถุประสงค์ ESM เพื่อให้ได้ข้อมูลดังนี้

1. คุณลักษณะทางเทคนิคของอุปกรณ์นั้นๆ
   - กำลังออกอากาศ
   - ชนิดสายอากาศ
   - ย่านความถี่คลื่นที่ส่ง
   - การปรุงคลื่น
   - คุณลักษณะพิเศษอื่นๆ
2. ที่ตั้งของเครื่องส่ง
3. ระบบการทำงานทางยุทธการที่ใช้อุปกรณ์นั้นๆ อยู่

4. ชนิดอุปกรณ์/ขีดความสามารถ

5. ข่าวสารที่ส่ง

ประโยชน์ของ ESM

1. สามารถก่อกวนอย่างได้ผล

- วางแผน/ออกคำสั่งได้ละเอียดมากขึ้น

- สามารถระบุเป้าหมายทางภูมิศาสตร์/ความถี่แน่นอนได้

- สามารถคาดการณ์เวลาปฏิบัติการของเครื่องมือข้าศึกล่วงหน้าได้

- สามารถทำการ รปภ. อย่างถูกต้องมีเหตุผล

2. สามารถวางแผนยุทธศาสตร์การลวงทางอิเล็กทรอนิกส์ ถ้าเราทราบการวางกำลังของข้าศึก

- แผนสามารถวางได้ตรงตามเป้าหมาย

- สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าถึงการตอบโต้ของข้าศึกได้อย่างถูกต้อง

- ความรู้เรื่องระบบการสื่อสารของข้าศึกจะทำให้เราลวงข้าศึกได้เชื่อถือมากขึ้น

3. การวางแผนอิเล็กทรอนิกส์ทางรับ หรือทางป้องกันมีผลมากขึ้น

- รู้ขีดความสามารถทาง EW ของข้าศึกจะทำให้เราพร้อมที่จะป้องกันต่อขีดความสามารถนั้นๆ

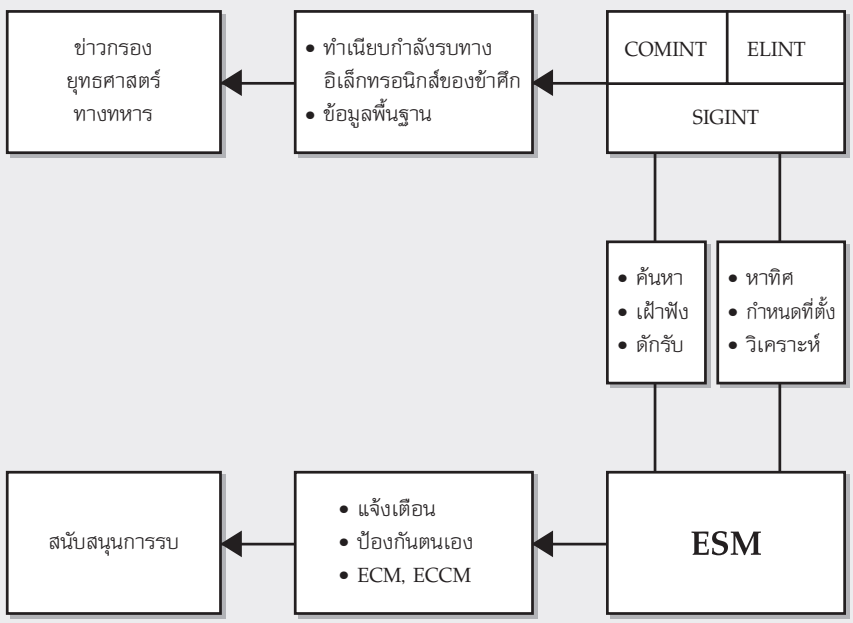
- สามารถ รปภ. ได้อย่างถูกต้อง

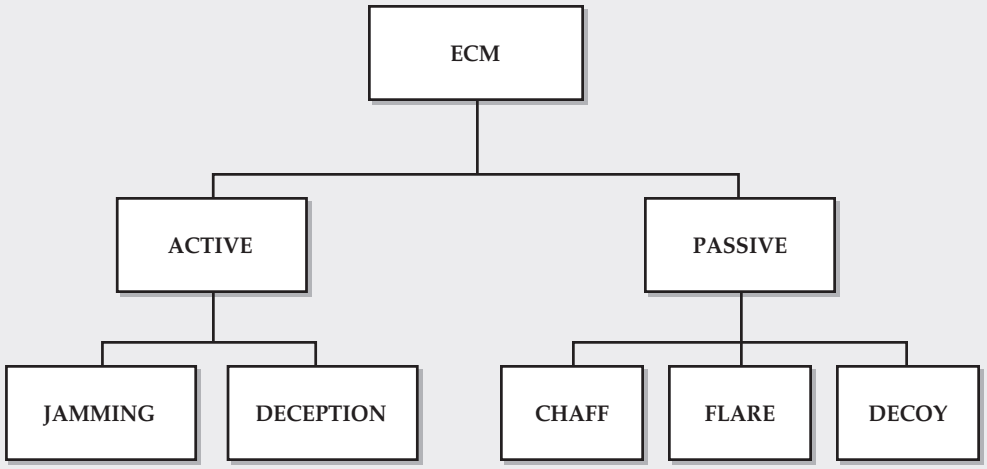
- เทคนิคการป้องกันสามารถพัฒนาขึ้น เพื่อตอบโต้ขีดความสามารถในการ Jam ของข้าศึก

4. งานข่าวกรองในการทำทำเนียบกำลังรบเก็บข้อมูลจากการส่งข่าวของข้าศึกผ่านข่ายสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

5. จัดทำทำเนียบสถานีอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการดำเนินงาน ECM, ECCM ต่อไป

ความสัมพันธ์ SIGINT–ESM





สรุป ESM

เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ในฐานะเป็นขั้นแรกไปสู่การปฏิบัติการ EW ด้านการทำลายและด้านการป้องกันที่เป็นผล (การรุกและการรับ)

2. มาตรการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter Measures: ECM)

เป็นการปฏิบัติที่กระทำเพื่อขัดขวางหรือลดประสิทธิผลการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก ถือว่า ECM เป็นอาวุธหลักของ EW และเป็นองค์ประกอบของอำนาจกำลังรบ ประกอบด้วยอาวุธ คือ เครื่องก่อกวน และเครื่องค้นหาเป้าหมาย สั่งการและการบังคับบัญชา ควบคุมที่จะใช้อาวุธตามลำดับความสำคัญของผู้บังคับบัญชา

ในสงครามสมัยใหม่ถือว่า ECM มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากว่ามีการใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวางสำหรับทุกรูปแบบของการปฏิบัติการทางทหาร

ในเรื่องการใช้เทคนิค ECM แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ประเภท คือ การแพร่กระจายคลื่น (Active) และไม่แพร่กระจายคลื่น (Passive)

การแพร่กระจายคลื่น (ACTIVE) ประกอบด้วยการก่อกวน (Jamming) และการลวง (Deception)

- การก่อกวน (Jamming) คือ การแผ่รังสีคลื่นย้อนกลับด้วยพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจงใจด้วยความมุ่งหมายที่จะทำให้การใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึกไม่บังเกิดผลเต็มที่

- การลวง (Deception) คือ การจงใจแพร่คลื่น แพร่คลื่นใหม่ การดูดซึม หรือการสะท้อนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในอาการจงใจที่จะทำให้ข้าศึกแปรความหมายผิด แบ่งออกเป็นการลวงในระบบการสื่อสาร และไม่ใช่ระบบการสื่อสาร

การลวงในระบบการสื่อสาร เช่น การส่งข่าวลวงในการติดต่อการสื่อสารของฝ่ายเราและคาดว่าสัญญาณนี้ข้าศึกจะดักรับได้ เมื่อดักรับได้แล้วจะทำให้ข้าศึกหลงผิดในข่าวสารนั้น หรือถ้าฝ่ายเราทราบนามเรียกขานและความถี่ที่ใช้งาน ในข่ายของข้าศึกแล้วเราอาจจะปลอมเป็นสถานีวิทยุนั้น เข้าร่วมการติดต่อสื่อสารเพื่อการดักรับและลวงข่าวสารต่อฝ่ายข้าศึกได้ การลวงในระบบการสื่อสาร แบ่งออกเป็น 2 แบบ

- การลวงเล่ห์ คือ การแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเราโดยปล่อยข่าวสารผิดๆ โดยเจตนาเพื่อให้ข้าศึกวิเคราะห์และยอมรับข่าวสารอย่างมีเหตุมีผล
- การลวงเลียน คือ การนำเอาการแพร่

คลื่นเข้าไปสู่ช่องการสื่อสารของข้าศึก ซึ่งเลียนแบบการปล่อยคลื่นของข้าศึกเอง แล้วส่งข่าวลวงเข้าไปในข่ายของข้าศึกเพื่อให้เกิดการสับสนและเข้าใจผิด

การลวงมิใช่การสื่อสาร ได้แก่ การลวงในระบบเรดาร์ของข้าศึก จะกระทำโดยการส่งคลื่นปลอมเข้าไปให้ปรากฏบนจอภาพเรดาร์ของข้าศึก เพื่อให้ข้าศึกเข้าใจผิด ทั้งทางระยะทางและทิศทางของเป้าหมาย การลวงจะกระทำได้ 2 แบบ

- การลวงทางระยะ (Range Deception) กระทำโดยใช้เครื่องรบกวนดักรับสัญญาณของเรดาร์ข้าศึก ขยายและส่งสัญญาณที่มี Pulse แทรกเข้าไปในระหว่าง PRF ที่เท่ากับ PRF (Pulse Recurrence Frequency) ของเรดาร์ข้าศึก ทั้งนี้เราต้องทราบ PRF ของเรดาร์นั้นก่อนล่วงหน้า จะทำให้ปรากฏเป้าบนจอภาพแต่เป็นภาพลวงมีระยะทางตรงทางเป้าจริง

- การลวงทางทิศทาง (Azimuth Deception) กระทำโดยใช้เครื่องรบกวนดักรับสัญญาณของเรดาร์ข้าศึก ขยายและส่งสัญญาณที่มี Pulse เข้าไปทาง Slide Lobe ตาม Pattern ของสายอากาศด้วย วิธีนี้จอภาพจะเห็นเป้าหมายปลอมคนละทิศกับเป้าจริง

การไม่แพร่กระจายคลื่น (Passive ECM) หมายถึง เทคนิคทั้งหลายที่ไม่มีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้กับเรดาร์ประกอบด้วย

Chaff นำมาจาก Aluminum Stript หรือ Nylon ชุบ Aluminum หรือ Glass Chaff ประกอบด้วย Dipoles Reflector ซึ่งถูกออกแบบให้พอดีกับ 1/2 ของความยาวคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ของเรดาร์ Chaff สามารถทำให้กับย่านความถี่กว้างๆ ได้โดยการห่อ Dipoles ที่มีความยาวต่างๆ รวมในห่อเดียวกัน ซึ่งจะปรากฏคล้ายกับเป็นเป้าหมายเคลื่อนที่ในอากาศ

การใช้ CHAFF ใช้ได้ 2 กรณี

- ช่วยในการทะลุทะลวง (Penetration Aid) คือ โดยการทิ้งเป็นแถวยาว (Stream Chaff Dispensing) หรือทิ้งเป็นจุดๆ (Random Chaff Dispensing) เป้าหมายที่ปรากฏในจอเรดาร์จะทำให้พนักงานเรดาร์เกิดความสับสนและทำให้เครื่องบินที่เป็นเป้าหมายจริงทะลุทะลวงไปได้

- ป้องกันการติดตาม (Against Tracking) คือ โดยการทิ้งเป็นแบบ Burst Chaff Dispensing ในขณะที่ป้องกันการติดตาม (Tracking) ของเรดาร์ระบบควบคุมการยิงของข้าศึกและจะต้องประกอบกับท่าทางการบินด้วย

Flares ในระบบควบคุมการยิงอาวุธนำวิถีด้วยความร้อน หรือรังสีอินฟราเรด (Infrared Missile System) นั้น จะมีเครื่องรับซึ่งจะรับแต่เพียงพลังงานย่านความถี่อินฟราเรด ที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องยนต์ของเครื่องบินที่ตกเป็นเป้าหมาย และจะส่งบังคับอาวุธนำวิถี รังสีอินฟราเรดเข้าหาพลังงานรังสีอินฟราเรด หรือความร้อนของเครื่องยนต์เครื่องบินของเป้าหมายนั้นทันที

ดังนั้น Flares จึงสร้างมาเพื่อใช้ในการต่อต้านอาวุธนำวิถีด้วยความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด โดยทำให้เกิดเป็นพลังงานย่านความถี่รังสีอินฟราเรดคล้ายกับพลังงานความร้อนของเครื่องยนต์ เครื่องบินที่ตกเป็นเป้าหมายและเมื่อปล่อย Flares ออกมาก็จะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนแทนเครื่องบินนั้นจนทำให้อาวุธนำวิถีด้วยความร้อนเข้าทำลาย Flares แทน

Decoy or Drones ใช้เป็นการลวงในระบบเรดาร์ของฝ่ายตรงข้ามให้หลงเป้าหมาย โดยไม่สามารถแยกออกได้ว่าเป้าหมายจริงหรือเป้าหมายปลอมในจอเรดาร์จนทำให้พนักงานเรดาร์ไม่สามารถติดตามเป้าหมายจริงได้ทันและเกิดสับสน Decoy จะถูกสร้างเป็นยานคล้ายเครื่องบินขนาดเล็ก (ซึ่งจะเป็นเครื่องร่อนหรือมีเครื่องยนต์ก็ได้) สามารถนำไปพร้อมกับเครื่องบินโจมตี การที่จะให้ Decoy ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถสะท้อนลำคลื่นเรดาร์ของ

ฝ่ายตรงข้ามให้ใหญ่เหมือนกับเครื่องบินโจมตีและเป้าหมายจริงได้ โดยติดตั้ง Corner Reflector ซึ่งเป็นกรวย

3. มาตรการตอบโต้การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter Counter Measures: ECCM)

เป็นยุทธวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ป้องกันเครื่องส่งของเรามิให้ข้าศึกรบกวน และป้องกันการค้นหาเป้าหมายของข้าศึก เป็นส่วนช่วยให้แถบแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเรายังคงอยู่ได้ พนักงานเครื่องสื่อสารเป็นผู้ใช้เทคนิค ECCM ในสถานการณ์แวดล้อมทางยุทธวิธีและเป็นความรับผิดชอบทางการบังคับบัญชา ในการฝึกพนักงานให้ใช้เทคนิคเหล่านี้ให้ได้ผล ECCM มีความต้องการในการฝึกทางการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นเรื่องที่ดำเนินการร่วมกันอย่างใกล้ชิดกับการรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสาร

กิจกรรม ECCM

*มาตรการป้องกัน*ที่กระทำเพื่อป้องกันข้าศึกมิให้สามารถใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อระบบของเรา

ให้มีการสื่อสารให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เช่น

- เตรียมข่าวก่อนส่ง
- ส่งอย่างรวดเร็วแน่นอน
- ใช้เครื่องสื่อสารที่มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลฉับพลัน

ป้องกันการสื่อสารของฝ่ายเราจากการดักรับของข้าศึก

- ใช้กำลังออกอากาศต่ำ
- ใช้สายอากาศบังคับทิศ
- เลือกที่ตั้งสายอากาศ

การฝึกพนักงาน

- หลีกเลี่ยงงานวงรอบ
- ใช้ระบบรับรองฝ่าย
- การเข้ารหัส
- ใช้คำพูดตามระเบียบการ

มาตรการแก้ไขเยียวยา เป็นการกระทำในเมื่อข้าศึกได้ใช้กิจกรรม EW ต่อระบบการสื่อสารของฝ่ายเราแล้ว

จดจำลักษณะการก่อกวน/รบกวน

- จงหมายรู้ให้ได้ว่าเป็นการก่อกวน/รบกวน
- รบกวนภายใน/ภายนอก
- เสนอรายงานการก่อกวน/รบกวน

การปฏิบัติเมื่อเผชิญการก่อกวน/รบกวน

- ดำรงการสื่อสารต่อไป
- ปรับแต่งเครื่องรับ
- ปรับ/เปลี่ยนสายอากาศ
- เปลี่ยนความถี่ใช้ความถี่สำรอง
- ย้ายที่ตั้งสายอากาศ
- หมุนเวียนการใช้มัชฌิมการสื่อสาร

การปฏิบัติเมื่อเผชิญกับการลวง ด้วยการใช้ระบบการรับรองฝ่าย

- เมื่อเกิดสงสัย
- เมื่อถูกถามหรือขอร้องให้รับรองฝ่าย
- เมื่อส่งข่าวไปถึงสถานีซึ่งอยู่ภายใต้คำสั่งระงับวิทยุ

การวางแผนป้องกัน

ภารกิจ ESM และ ECM ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับเรื่องทางด้านเทคนิค ส่วนภารกิจ ECCM จะต้องดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่ทุกคนในหน่วยที่จะต้องวางแผนการใช้หรือเป็นผู้ใช้อุปกรณ์ต่างๆ อาทิ วิทยุ เรดาร์ รวมทั้งเครื่องมือตรวจการณ์และค้นหาเป้าหมาย

ดังนั้น จะต้องดำเนินการฝึกเจ้าหน้าที่ให้สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ในกรณีที่ถูกก่อกวน ซึ่งหมายรวมทั้งจะต้องมีมัชฌิมการสื่อสารอื่นๆ ไว้พร้อมที่จะใช้งานทดแทนด้วย พึงระลึกไว้เสมอว่าขีดความสามารถของท่านในการเอาชนะข้าศึกนั้นขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของกำลังทหารของท่านในการปฏิบัติภายใต้สภาวะที่ถูกก่อกวนจากฝ่ายข้าศึก

ถ้าหากท่านพิจารณาให้รอบคอบแล้ว จะเห็นได้ว่าการก่อกวนมิได้เป็นอาวุธน่ากลัวในแง่ของ EW และในแง่ความเป็นจริงแล้ว ESM ของฝ่ายข้าศึกเป็นเพียงสิ่งบ่งชี้ว่าเขาจะประสบความสำเร็จในการปฏิบัติ EW หรือไม่ ซึ่งถ้าหากท่านสามารถใช้มาตรการต่างๆ อาทิ การพรางและการรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสาร ป้องกันกำลังและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้พ้นจากฝ่ายข้าศึก ซึ่งเท่ากับท่านได้ดำเนินมาตรการ ECCM อันจะส่งผลให้ฝ่ายข้าศึกไม่ได้รับทราบข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์จากฝ่ายเราได้

ความรับผิดชอบของผู้บังคับบัญชา

ECCM นับเป็นความรับผิดชอบโดยตรงของผู้บังคับบัญชาทุกระดับโดยหลักการพื้นฐานแล้วผู้บังคับบัญชาจะต้องดำเนินการให้แน่ใจว่า หน่วยของท่านได้รับการฝึกฝนจนสามารถปฏิบัติงานได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยปฏิบัติการ EW ของข้าศึก

หัวข้อต่อไปนี้ เป็นแนวทางที่ท่านจะสามารถใช้ในการตรวจสอบขีดความสามารถในด้าน ECCM ของหน่วยท่าน

1. ตรวจสอบรายงานหลังการปฏิบัติ (After-Action Report) กรณีที่เกิดการก่อกวนและการลวง รวมทั้งตรวจสอบประสิทธิภาพมาตรการตอบโต้ของฝ่ายเรา ท่านต้องแน่ใจว่าจะต้องรายงานทุกขั้นตอนการปฏิบัติที่เกิดการก่อกวน และส่งรายงานนั้นไปวิเคราะห์อย่างเหมาะสมโดยนายทหารฝ่ายการสื่อสาร และนายทหารของหน่วยงานรักษาความปลอดภัย

2. วิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของมาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่ฝ่ายข้าศึกจะใช้ตอบโต้แผนการปฏิบัติของท่าน

3. ต้องแน่ใจว่ามีการฝึกปฏิบัติเทคนิคการรักษาความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งรวมทั้งเปลี่ยนนามเรียกขาน การใช้ระบบรับรองฝ่าย และที่สำคัญที่สุดก็คือการควบคุมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

4. ดำเนินการให้เจ้าหน้าที่สามารถใช้อุปกรณ์ ECCM ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

การรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสาร (SIGNAL SECURITY: SIGSEC)

ตามปกติแล้ว ECCM และการรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสาร (SIGSEC) จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิด โดยมาตรการทั้งสองต่างก็เป็นมาตรการเชิงรับ และตั้งอยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน โดยเราจะเห็นว่า หากข้าศึกไม่สามารถเข้าถึงส่วนที่เป็นข้อมูลข่าวสารของฝ่ายเราแล้ว เขาก็เปรียบเสมือนข้าศึกที่เสื่อมสมรรถภาพ หลักการสำคัญของ SIGSEC ก็คือ ดำเนินการให้แน่ใจว่าการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเดียวกันจะไม่ทำให้ฝ่ายข้าศึกนำไปใช้ประโยชน์ได้

ส่วน ECCM ก็คือ การปฏิบัติทั้งหลายเพื่อให้แน่ใจว่าเราจะสามารถใช้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสาร อุปกรณ์ตรวจการณ์ และอุปกรณ์ค้นหาเป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าฝ่ายข้าศึกจะพยายามก่อกวนก็ตาม โดยหลักการพื้นฐานแล้วเทคนิคของ SIGSEC มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้บังคับบัญชาเกิดความมั่นใจในด้านการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสาร ส่วนเทคนิค ECCM จะทำให้ผู้บังคับบัญชามั่นใจว่าจะสามารถดำรงการติดต่อสื่อสารได้อย่างต่อเนื่องทั้ง SIGSEC และ ECCM และขีดความสามารถในการทำลายของฝ่ายข้าศึก ถ้าหากเรานำเทคนิคของการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสาร (SIGSEC) มาใช้มากเท่าใดก็จะลดความต้องการในการใช้ ECCM ลงเท่านั้น

จุดประสงค์ของฝ่ายเราจะต้องทำให้แน่ใจว่าบรรดาการติดต่อสื่อสาร การตรวจการณ์ และอุปกรณ์ค้นหาเป้าหมายของฝ่ายเราสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพท่ามกลางความพยายามของฝ่ายข้าศึกที่จะลดประสิทธิภาพของการทำงานของฝ่ายเรา การดัดแปลงเครื่องมือเพื่อให้หลุดพ้นจากการปฏิบัติการด้าน EW ของฝ่ายข้าศึกดูเหมือนจะเป็นการลงทุนที่สูงเกินไป นอกจากนั้นวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยีไม่สามารถทำให้เราแก้ไขปัญหาด้าน ECCM ได้ในเวลาใกล้ๆ นี้ ดังนั้นภาระในด้านการรักษาความปลอดภัย และการปฏิบัติงานด้านการติดต่อสื่อสารจึงตกอยู่ที่ ผบ. ฝ่ายอำนวยการและพนักงานประจำเครื่อง ดังนั้น วิธีที่ดีที่สุดน่าจะได้แก่การฝึกบรรดาเจ้าหน้าที่ทั้งหลายจะต้องได้รับการอบรมให้เข้าใจเกี่ยวกับการก่อกวนและการลวง นอกจากนั้นพวกเขาจะต้องตระหนักว่า ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้องทั้งในด้านการใช้วิทยุและเครื่องมือสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไม่เพียงแต่จะสร้างความเสียหายต่อภารกิจของหน่วยเท่านั้น แต่มันยังอาจทำให้พวกเขาถึงแก่ชีวิตได้ การแก้ปัญหา ECCM จะต้องดำเนินงานโดยเร่งด่วน และเป็นสัญชาติญาณ แม้แต่เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงจะต้องระมัดระวังเกี่ยวกับอันตรายที่ก่อให้เกิดขึ้นระหว่างทำการซ่อมบำรุง ซึ่งถ้าหากเขาใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสมแล้วอาจจะทำให้ฝ่ายข้าศึกรับทราบข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายเราได้ ถ้าหากระหว่างซ่อมบำรุงมีการใช้ความถี่ปฏิบัติงาน หรือทดสอบเครื่องมือด้วยกำลังออกอากาศสูง ข้อมูลข่าวสารอันทรงคุณค่าก็จะตกไปอยู่ในมือของข้าศึกได้โดยง่าย บรรดาฝ่ายอำนวยการจะต้องสามารถประเมินผลรายงาน MIJI และรายงานหลังการปฏิบัติงานเพื่อที่จะหาทางแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันท่วงที แต่ทั้งหมดนี้ จะเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการฝึกฝนที่ดีเท่านั้น

เทคนิค ECCM อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ก็คือ ด้านการปฏิบัติการ และด้านเทคนิค การปฏิบัติการเป็นวิธีการต่างๆที่เจ้าหน้าที่ควรปฏิบัติ ส่วนงานด้านเทคนิคได้แก่การหาวิธีการต่างๆ ที่จะเพิ่มหรือดัดแปลงเครื่องมือก่อนที่จะไปติดตั้งใช้งาน แน่นอนที่สุดการแก้ปัญหา ECCM จะต้องผสมผสานทั้งในด้านเทคนิคและการปฏิบัติ เสาอากาศจะต้องดัดแปลงให้เป็นแบบบังคับทิศทาง ขณะเดียวกันการปฏิบัติการต้องอยู่ในทำเลที่เหมาะสม เพื่อให้ผลการใช้งานได้ดีที่สุด

ECCM สามารถดำเนินการได้ทั้งเชิงรุกและเชิงรับ การใช้อุปกรณ์เข้ารหัสระบบรับรองฝ่ายและที่ตั้งลวงถือว่าเป็นเทคนิค ECCM เชิงรับ การเพิ่มกำลังออกอากาศเพื่อเอาชนะการก่อกวนของฝ่ายข้าศึก หรือการใช้เสาอากาศบังคับทิศทางถือว่าเป็นเทคนิค ECCM เชิงรุก ขนาด และลักษณะทางเทคนิคของเครื่องมือจะเป็นตัวกำหนดว่าสมควรใช้มาตรการเชิงรุกหรือเชิงรับ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์แบบหลายช่องการสื่อสารมักจะมีขนาดใหญ่ยากแก่การเคลื่อนย้าย และโดยปกติแล้วต้องติดตั้งบนพื้นที่สูง เพื่อให้ผลการรับส่งที่ดีที่สุด

การควบคุมการแพร่กระจายคลื่น: EMCON (EMISSION CONTROL)

กุญแจสำคัญที่จะให้ประสบความสำเร็จในการป้องกันปฏิบัติการจากฝ่ายข้าศึก ก็คือ การควบคุมการแพร่กระจายคลื่น การส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าควรจะกระทำต่อเมื่อมีผลต่อความสำเร็จของภารกิจเท่านั้น เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ของข้าศึกสามารถตรวจสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น จากนั้นก็นำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปรายงานผู้บังคับบัญชาฝ่ายข้าศึกได้ การส่งด้วยระยะเวลาอันสั้น การเปลี่ยนความถี่และนามเรียกขานบ่อยๆ และการย้ายที่ตั้งก็เป็นวิธีการที่จะช่วยให้พนักงาน ผู้บังคับบัญชาประสบความสำเร็จในการต่อต้านและตอบโต้ความพยายามดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึก EMCON สามารถทำได้โดยรวม และเฉพาะข่าย การกระทำโดยรวมก็เช่น ให้ทุกหน่วยเงียบฟัง ขณะที่หน่วยเคลื่อนที่ย้ายทางยุทธวิธี หรืออาจจะกระทำเฉพาะข่าย ผู้บังคับบัญชาจะเป็นผู้ออกแบบว่าข่ายใด ควรจะเป็นข่ายบังคับ และข่ายใดควรจะเป็นข่ายอิสระ การควบการแพร่กระจายคลื่น ควรจะเป็นสิ่งที่ทำอยู่ตลอดเวลา การติดต่อสื่อสารควรกระทำเมื่อต้องการให้บรรลุภารกิจเท่านั้น การมีวินัยและระเบียบปฏิบัติที่ดีจะช่วยให้ท่านทำการตรวจการณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

และการติดต่อสื่อสารโดยปราศจากรูปแบบที่ฝ่ายตรงข้ามจะรับทราบได้

การประยุกต์ใช้เทคนิคการรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสาร (SIGSEC) ที่ดีจะช่วยให้การวางแผน ECCM ของท่านง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการวางแผน EW ของข้าศึกจะต้องอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ทราบล่วงหน้าเกี่ยวกับรูปแบบรัศมีทำการ และความถี่ของเครื่องมือ การรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสารสามารถหลีกเลี่ยง ESM ของฝ่ายข้าศึก ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ข้าศึกทราบล่วงหน้า แผนการลวงเลียนนับเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยให้ข้าศึกสับสน ในการสั่งการไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล และปฏิบัติการก่อกวน ผู้บังคับบัญชาต้องติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเท่าที่มีให้พร้อมใช้งานก่อนหน้าจะเผชิญหน้ากับข้าศึกทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ ตอน “ดับซามูไร”

เรื่องราวต่อไปนี้เป็นส่วนหนึ่งของการบรรยายในวิชาสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการต่อสู้กันโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้เป็นประโยชน์กับฝ่ายตนเองให้มากที่สุด ถือเป็นคติสอนใจทหารไทยเราได้เป็นอย่างดี เพราะความผิดพลาดแต่ละครั้งหมายถึงความหายนะของประเทศชาติ ดังที่จะเล่าให้ฟังต่อไปนี้

เดือนพฤษภาคม ปี 1942 หลังการโจมตีเพิร์ลฮาเบอร์ พลเรือเอก ยามาโมโต พร้อมแล้วสำหรับเป้าหมายต่อไป นักถอดรหัสอเมริกาทำงานตลอด 24 ชม. เพื่อหาคำตอบว่า มันคือที่ไหนและเมื่อไหร่ นักถอดรหัสเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อชัยชนะของอเมริกาในยุทธนาวีครั้งใหญ่ ที่ประวัติศาสตร์ต้องจารึกเอาไว้ เพิร์ลฮาเบอร์ ฮาวาย ท่ามกลางกลิ่นอายของความพินาศและซากศพของผู้เสียชีวิต อเมริกามั่นใจว่า ญี่ปุ่นจะต้องลงมืออีกครั้งหนึ่งแน่นอน

ณ สถานีไฮโป ซึ่งเป็นที่ทำการของหน่วยงานลับของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาทีมนักถอดรหัสพยายามทุกๆ วิถีทางเพื่อที่จะอ่านสัญญาณของ พลเรือเอก ยามาโมโต ผู้วางแผนโจมตีเพิร์ลฮาเบอร์ พวกเขารู้ดีว่าขณะนี้ ยามาโมโตยังอยู่ในแปซิฟิก และพร้อมที่จะจัดการกับเป้าหมายต่อไป แต่พวกเขายังไม่รู้ว่าเป็นที่ไหน และเมื่อไหร่ นายพลยามาโมโต มีคุณลักษณะของซามูไรครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นความหยิ่งทรนงในเกียรติ ความจงรักภักดีต่อชาติ ความพร้อมที่จะสละตนเอง และความห้าวหาญ ไม่หวั่นเกรงต่อความตาย เขาคือวีรบุรุษสงครามผู้รู้ดีว่า ญี่ปุ่นจำเป็นจะต้องรีบตัดกำลังอเมริกาโดยเร็วที่สุด ก่อนที่มหาอำนาจจะทันฟื้นตัว นายพลยามาโมโต รู้จักอเมริกาเป็นอย่างดี เขาเคยได้ศึกษาในมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดด้วย เขาเคยเป็นผู้ช่วยทูตทหารเรือที่กรุงวอชิงตัน ในขณะนี้เขาคือผู้บัญชาการกองเรืออันเกรียงไกรของญี่ปุ่นในน่านน้ำแปซิฟิก ในน่านน้ำเดียวกันนั้น อเมริกาเหลือเรือบรรทุกเครื่องบิน 4 ลำ และเรือพิฆาตอีกเพียงไม่กี่ลำเท่านั้น ที่ฮาวาย พลเรือเอก เชสเตอร์นิมิตส์ ผู้บังคับการกองเรือแปซิฟิกกลัวว่าญี่ปุ่นจะโจมตีซ้ำอีกครั้งหนึ่ง หน่วยข่าวกรองที่วอชิงตัน ซึ่งวิตกเช่นเดียวกัน พยายามหาคำตอบว่าญี่ปุ่นนั้นมีแผนจะทำอะไรต่อไป

“JN 25” คือ รหัสลับที่ซับซ้อนอย่างยิ่งของทัพเรือญี่ปุ่นและซ่อนความหมายแผนการของยามาโมโตเอาไว้ ในที่สุดพลเรือเอก นิมิตส์ ก็ได้รับคำตอบ แต่ไม่ใช่จากวอชิงตัน เขาได้รู้แผนลับของญี่ปุ่นจากสถานีไฮโป สถานีข่าวกรองของเขานั่นเอง หน่วยงานเล็กๆ แห่งนี้ซุกอยู่ ณ มุมหนึ่งของชั้นใต้ดินที่เพิร์ลฮาเบอร์ นี่คือผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานเล็กๆ ชื่อ เรือโท Joseph Rochefort อายุ 36 ปี เรือโท โรชฟอร์ท เกิดที่เมืองเดตัน โอไฮโอ เขาออกจากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เพื่อเป็นทหารเรือ และเริ่มมาสนใจงานรหัส เขาเข้ารับการ

อบรมด้านการถอดรหัสในวอชิงตัน และหลังจากการย้ายไปสังกัดข่าวกรองไม่นาน เขาถูกส่งต่อไปยังโตเกียว เพื่อเรียนภาษาญี่ปุ่นซึ่งเขาก็เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว

ในปี 1941 ท่ามกลางสงครามที่คุกคามอยู่รอบด้าน เรือโท โรชฟอร์ท ถูกส่งไปประจำที่สถานีไฮโป ฮาวาย ที่ซึ่งเขาได้คัดเลือกบุคคลซึ่งมีทั้งความเฉลียวฉลาด และสัญชาตญาณความแม่นยำมาเป็นทีมงานของเขา ทีมของโรชฟอร์ทประกอบด้วย โจฟินิแกน บุรุษผู้เป็นทั้งนักสืบและนักแปลในเวลาเดียวกัน อัลวาลาสเวล อเมริกันอารมณ์ร้อน เชื้อสายโปแลนด์ และทอม ดายเยอร์ นักวิเคราะห์อัจฉริยะผู้อุทิศตนให้กับการทำงานอย่างแท้จริง รหัสของยามาโมโตคือสิ่งเดียวที่ทีมงานของโรชฟอร์ท สนใจ พวกเขาจะต้องถอดรหัสให้ได้ก่อนที่ญี่ปุ่นจะลงมืออีกครั้ง เรือโท โรชฟอร์ท และทีมงานของเขา ทำงานกันอย่างหนักภายใต้หลักการและวัตถุประสงค์เดียวกันคือ การทำให้ผู้บังคับบัญชาของเขารู้ให้ได้ในวันนี้ ถึงสิ่งที่ศัตรูจะกระทำในวันพรุ่งนี้ ทีมของโรชฟอร์ท นำเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นบุกเบิกของ IBM มาใช้ในการถอดรหัสสัญญาณที่ดักเอาไว้ได้

“พัลท์คาส” เหล่านี้ได้ถูกนำมาประมวลและวิเคราะห์ออกมาเป็นคำตอบ ญี่ปุ่นมั่นใจอย่างมากว่าไม่มีทางถอดรหัส “JN 25” ของพวกเขาได้ แต่ที่ฮาวายทีมงานของโรชฟอร์ท กำลังตามรอย “JN 25” มาอย่างกระชั้นชิด พวกเขาสามารถอ่านสัญญาณญี่ปุ่นได้ทีละเล็กทีละน้อย สัญญาณที่โรชฟอร์ทได้รับ ในวันที่ 7 พฤษภาคม 1942 บอกให้รู้ว่าญี่ปุ่นกำลังวางแผนบางอย่างอยู่ และยุทธนาวีครั้งใหญ่กำลังจะเกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งในไม่ช้านี้ พวกเขาก็ยังไม่รู้ว่ามันจะเป็นที่ไหน เมื่อถึงเดือนพฤษภาคม ปี 1942 พลเรือเอก ยามาโมโต ส่งสัญญาณคำสั่งต่างๆ ไปยังกองเรือของเขาตลอดเวลา สถานีไฮโปดักฟังสัญญาณเหล่านั้นได้ ตีความหมายของคำบางคำได้ เช่น การสำรวจเส้นทางการเติมน้ำมัน และการปฏิบัติการจากการประติดประต่อสัญญาณเหล่านี้ โรชฟอร์ทรู้ว่ายามาโมโตกำลังเตรียมการโจมตีครั้งใหญ่ แต่คำถามสำคัญที่ว่าที่ไหน และเมื่อไหร่ ยังเป็นความลับอยู่เช่นเดิม ยามาโมโต คือเจ้าแห่งความประหลาดใจ แผนของเขาคือล่อให้กำลังที่เหลือของอเมริกาออกมาเผชิญหน้ากับกองเรืออันเกรียงไกรของเขา เพื่อที่จะถล่มทั้งเรือ และเครื่องบินของพลเรือเอก นิมิตส์ ให้กลายเป็นเถ้าถ่านไป เกาะมิดเวย์ คือเป้าหมายของนายพลยามาโมโต ในครั้งนี้เขาได้รวบรวมกองกำลังประกอบด้วยเรือรบจำนวน 10 ลำ และเรือบรรทุกเครื่องบินจำนวน 4 ลำ กองเรือของอเมริกาจะต้องเผชิญคู่ต่อสู้ที่เหนือกว่าอย่างสิ้นเชิง ทีมของเรือโท โรชฟอร์ท พบว่ารหัส JN 25 ของญี่ปุ่นใช้ตัวอักษร แทนความหมายของสถานที่ต่างๆ สัญญาณที่ได้รับล่าสุดจะมีการระบุถึง AF หลายครั้ง ทำให้พวกเขามั่นใจว่า AF คือเป้าหมายต่อไปของญี่ปุ่น แต่คำถามที่ต้องการคำตอบโดยด่วนก็คือ AF คือที่ไหน สัญชาติญาณของโรชฟอร์ทบอกกับตัวของเขาเองว่า AF คือ Mid Way เกาะเล็กๆ กลางมหาสมุทรแปซิฟิก แต่วอชิงตันไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งกับความคิดของ ร.ท. โรชฟอร์ท เขาคิดว่า AF อาจจะเป็นออสเตรเลีย ปานามา แม้กระทั่งเป้าหมายเดิมคือ เพิร์ลฮาเบอร์ ความเห็นที่ขัดแย้งกันนี้ทำให้พลเรือเอก นิมิตส์ เกิดความสับสนเขาต้องการให้ ร.ท.โรชฟอร์ท หาข้อเท็จจริงมายืนยันสัญชาติญาณของเขา ในที่สุด ทีมของโรชฟอร์ท ก็ค้นพบวิธีที่จะพิสูจน์สัญชาติญาณของเขาได้ พวกเขารายงานทั่วไปโดยพาดพิงถึงเกาะ Mid Way ว่าอยู่ในภาวะขาดแคลนน้ำจืด การตัดสินใจวางกับดัก ของ ร.ท. โรชฟอร์ท ทำให้ญี่ปุ่นนั้นติดเบ็ดของพวกเขา สัญญาณ JN 25 รายงานเช่นกันว่า AF ขาดแคลนน้ำจืด สัญชาติญาณของโรชฟอร์ท ได้รับการยืนยันแล้วว่าถูกต้อง AF คือ เกาะ Mid Way ขณะนี้พลเรือเอก นิมิตส์ เชื่อแล้วว่าโรชฟอร์ทเป็นฝ่ายที่

คิดถูก เขามั่นใจในสถานีไฮโปอย่างเต็มที่ ทีมงานที่สถานีไฮโป รีบเดินหน้าต่อไปเพื่อตอบคำถามที่ 2 และหลังจากความพยายามอย่างเหนือมนุษย์ พวกเขาระบุได้ว่า ญี่ปุ่นจะลงมือในวันที่ 4 มิถุนายน อย่างแน่นอน มาถึงตอนนี้พลเรือเอกนิมิตส์ วางแผนจะทำให้ญี่ปุ่นเป็นฝ่ายประหลาดใจ พลเรือเอกนิมิตส์สั่งให้เรือบรรทุกเครื่องบินที่เหลืออยู่เพียงแค่ 3 ลำ ออกจากเกาะ Mid Way โดยไม่ให้ญี่ปุ่นได้รู้

เช้าตรู่ของวันที่ 4 มิถุนายน ตรงตามข้อมูลของ ร.ท. โรชฟอร์ท ยามาโมโต เปิดฉากโจมตีเกาะ Mid Way และนั่นก็คือ การหลุดเข้ามาในวงล้อมของอเมริกา การโต้ตอบระลอกแรกของอเมริกานั้นไม่ได้ผล เพราะฝูงบินทิ้งระเบิดที่จำเป็นจะต้องบินเรียบผิวน้ำ เพื่อทิ้งระเบิดได้กลายเป็นเป้านิ่งของเครื่องบินต่อสู้อากาศยานของญี่ปุ่นที่อยู่สูงกว่า แต่ว่าลำที่เหลือก็สามารถถล่มกองเรือของญี่ปุ่นได้

ที่ฮาวาย นักถอดรหัสติดตามสถานการณ์การสู้รบได้ด้วยการดักฟังสัญญาณของญี่ปุ่น เรือบรรทุกเครื่องบินอาคากิ ถูกระเบิดและลุกไหม้ พลเรือเอก นากูโม และลูกเรือได้ สละเรือแล้ว ในตอนนี้เรือบรรทุกเครื่องบินคาก้า ถูกระเบิดอย่างจังและเกิดเพลิงไหม้ กัปตันเรือบรรทุกเครื่องบิน กิลาอุรายงานว่า ขณะนี้เรือโดนระเบิด และเกิดเพลิงไหม้ เรือบรรทุกเครื่องบินคาก้าถูกระเบิดอย่างรุนแรงก่อนที่จะจบ เรือบรรทุกเครื่องบินโซโยก็จมลงไปแล้วเช่นเดียวกัน กองเรือของยามาโมโตเสียหายยับเยิน เขาสั่งถอนกำลังออกจาก Mid Way ทันที ยุทธนาวีครั้งนี้ทำให้ญี่ปุ่นสูญเสียเรือบรรทุกเครื่องบินไป 4 ลำ เครื่องบินประจัญบาน 300 ลำ ทหารญี่ปุ่นเสียชีวิตไปประมาณ 3,500 คน ในจำนวนนี้มีนักบินทดลองเครื่อง รวมอยู่ด้วยประมาณ 100 คน การรบที่ Mid Way คือชัยชนะครั้งยิ่งใหญ่ของอเมริกา และเปลี่ยนโฉมหน้าของผู้ชนะในน่านน้ำแปซิฟิกไปในทันที พลเรือเอก นิมิตส์ ขอเหรียญเชิดชูเกียรติให้แก่ เรือโท โจเซฟ โรชฟอร์ท แต่วอชิงตันไม่อนุมัติ ผู้ใหญ่ในกองทัพเรือหลายคนไม่พอใจการพูดจาในลักษณะขวานผ่าซากของเขา ไม่เพียงแต่เขาจะไม่ได้รับเหรียญจากผลงานอันโดดเด่นในครั้งนี้เท่านั้น เขายังถูกย้ายไปทำงานเอกสารที่อู่ซ่อมเรืออีกแห่งหนึ่งอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม โชคชะตาได้บันดาลให้ ร.ท. โรชฟอร์ท มีส่วนเกี่ยวพันกับยามาโมโตอีกครั้งหนึ่ง และครั้งนี้ ยามาโมโตจะสูญเสียยิ่งไปกว่ากองเรือของเขาเสียอีก

ในฤดูใบไม้ผลิ ในปี 1943 ชัยชนะที่เกาะ Mid Way ได้ช่วยให้อเมริกามีเวลาตั้งตัวมาถึงตอนนี้ อเมริกากลับเป็นฝ่ายรุกกลับ กำลังคนและยุทธปัจจัยได้หลั่งไหลเข้ามาสู่แปซิฟิก เมื่อมาถึงต้นเดือนมีนาคม อเมริกาสามารถยึดเกาะกัวดาคาแนวได้ ญี่ปุ่นได้สูญเสียฐานทัพอันสำคัญไปแล้วในตอนนี้

พลเรือเอก ยามาโมโตรู้ว่า ญี่ปุ่นจำเป็นจะต้องยึดเกาะกัวดาคาแนว กลับคืนมาให้ได้ และก่อนที่จะทำเช่นนั้น เขาจะต้องโจมตี บูเกนวิล ซึ่งเป็นด่านแรกเสียก่อน กองทัพเรือญี่ปุ่นแจ้งแผนการเดินทางของยามาโมโต ในครั้งนี้ในรหัส JN 25 ซึ่งบัดนี้อเมริกาถอดรหัสได้ทั้งหมดแล้ว

ในวันที่ 11 เมษายน ในปี 1943 อัลวา ราฟเวล หนึ่งในอดีตลูกทีมของ ร.ท. โรชฟอร์ท ดักสัญญาณสำคัญอันนั้นได้ ยามาโมโต มีแผนตรวจเยี่ยมฐานทัพที่เกาะโซลามอน และแวะที่บลูอิน ซึ่งอยู่ทางตอนบนของเกาะบูเกนวิล เป็นแหล่งสุดท้ายก่อนที่จะจบการเดินทางในครั้งนี้

สัญญาณนั้นบอกแม้กระทั่งเวลาที่แน่นอนที่ยามาโมโตจะเดินทางไปยังจุดหมายแต่ละแห่ง ด้วยและข่าวชิ้นนี้เป็นยิ่งกว่าแจคพอทสำหรับอเมริกา คำถามแรกในใจของนายพลนิมิตส์ เมื่อได้รับในรายงานนี้คือ ถ้ากำจัดยามาโมโตได้ คนใหม่ที่ญี่ปุ่นส่งมาใหม่จะเก่งกว่านี้หรือไม่? เขาติดต่อวอชิงตันทันที เพื่อขออนุมัติกำจัดยามาโมโต นอกเหนือจาก

การไม่สมควรลอบสังหารผู้นำของศัตรูแล้ว อีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญยิ่งกว่านั้นก็คือ ญี่ปุ่นอาจจะรู้ว่าอเมริกาถอดรหัส JN 25 ได้แล้ว แต่ในที่สุดวอชิงตันตัดสินใจที่จะเสี่ยง ประธานาธิบดีรูสเวลล์เปิดไฟเขียวให้กับคำขอของนายพลนิมิตส์ เครื่องบินรบแบบ T 38 ได้รับเลือกสำหรับใช้ในการปฏิบัติการครั้งนี้ โดยติดตั้งถังน้ำมันพิเศษให้สามารถบินได้ไกลขึ้น ไม่เคยมีการบินสกัดกั้นครั้งใดที่ต้องบินไกลเท่าครั้งนี้ อเมริกาอาศัยการตรงต่อเวลาของยามาโมโต เป็นตัวกำหนดจุดที่ฝูงบินพิฆาตของอเมริกา จะเข้าสกัดกั้นฝูงบินของยามาโมโต พันตรี จอห์น มิลเชล นักบินชั้นเยี่ยมได้รับเลือกให้เป็นผู้นำทีมสังหารในครั้งนี้ เครื่องบินรบ T 38 ทั้ง 18 ลำ จะต้องบินสูงกว่าผิวน้ำไม่เกิน 50 ถึง 100 ฟุต เพื่อไม่ให้เรดาร์ของญี่ปุ่นตรวจพบ พวกเขาจะต้องบินตามกันไปเงียบเชียบโดยไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างกันเลย

ตลอดเส้นทางเกือบ 400 ไมล์ พ.ต. มิเชล จะมีเพียงแค่เข็มทิศเท่านั้นใช้ในการนำทาง และดูเวลาได้จากนาฬิกาข้อมือของเขาเท่านั้น วันที่ 18 เมษายน ปี 1943 ฝูงบินสังหารทะยานขึ้นจากสนามบินกัวดาคาแนว การปฏิบัติการเริ่มขึ้นแล้ว ในขณะเดียวกันที่ลาบาอู นักบินคนหนึ่งที่ชื่อ อิโยโซ ยูชิต้า สังหรณ์ว่าจะเกิดเหตุร้ายกับยามาโมโต “ไม่ทราบว่าพวกอเมริกาจะมีความรู้สึกแบบนี้หรือไม่ ที่ผมเห็นเงาของท่านนายพลนั้นจางลงไป” เงาที่จางลงไปคือสัญญาณของความตาย พันตรี มิเชล แบ่งฝูงบินของเขาออกเป็น 2 กลุ่ม 14 ลำแรก ไปจัดการกับฝูงบินคุ้มกัน 4 ลำที่เหลือ “จะลอบสังหารเครื่องบินของยามาโมโต นั่นแทบจะเป็นเรื่องที่เหลือเชื่อ ผมหมายความว่า ผมออกไปจะถึงจุดที่จะเข้าโจมตี นักบินที่ 3 บอกผมว่าเห็นเครื่องบินรบที่จุดโจมตีที่ 11 นาฬิกา” ภาพที่พันตรี มิเชล ได้เห็นก็คือ เครื่องบินทิ้งระเบิด 2 ลำ ซึ่งถูกห้อมล้อมโดยเครื่องบินคุ้มกัน 4 ลำด้วยกัน นักบินที่คุ้มกันยามาโมโตคนหนึ่ง คือ เรือเอก ยานากิยา เล่าว่า “ทันทีที่ผมเห็นฝูงบิน T 38 ผมก็รู้ว่ามีอะไรกำลังจะเกิดขึ้นกับท่านนายพลในตอนนั้น” เล็กซ์ บาเบอร์ หนึ่งในทีมสังหารอธิบายการสังหารให้ฟังว่า “เมื่อผมตีลังกาผมเข้าไปอยู่ทางด้านซ้ายของเครื่องบินทิ้งระเบิดลำหนึ่ง แล้วผมก็ยิงเข้าไปที่ด้านขวาของเครื่องบินลำนั้น ผมก็เฉียดห่างไปไม่เกิน 50 หลา เห็นควันไฟมงที่เครื่องบินลำนั้นด้วย”“ผมเห็นเครื่องบินของท่านนายพลถูกยิงที่ข้างขวา และก็ตกด้วยความเร็วสูงสุดของมันลงไปยังพื้นดิน” เครื่องบินลำนั้นตกลงไปในป่าทึบบนเกาะบูเกมวิล เป็นเหตุให้ยามาโมโตเสียชีวิต นักบินคุ้มกันทุกคนรู้สึกเสียหน้า พวกเขาถูกสั่งให้เก็บเรื่องนี้ไว้เป็นความลับ แต่ญี่ปุ่นก็ได้รับรายงานการจากไปของยามาโมโต เหมือนขณะนี้เงาจางๆ ได้ครอบคลุมไปทั่วแดนอาทิตย์อุทัยแล้ว หลังจากยามาโมโตถูกกำจัดไปแล้ว ญี่ปุ่นยังคงใช้รหัส JN 25 ต่อไป และอเมริกาก็ได้รับรู้ถึงแผนการรบของญี่ปุ่นเรื่อยมา ผลงานการถอดรหัสของเรือโท โรชฟอร์ท และทีมงานของเขาที่สถานีไฮโปได้รักษาชีวิตของทหารอเมริกันไว้ได้อย่างมหาศาล แต่ว่ากว่าวอชิงตันจะเห็นคุณค่าของเขาเวลาก็ผ่านไปกว่า 40 ปี เหรียญเชิดชูเกียรติได้มอบให้แก่ครอบครัวของเรือโท โรชฟอร์ท หลังจากที่เขาได้ตายไปแล้ว ในที่สุด ชายปากกล้าผู้นี้ก็ได้รับการยกย่องในฐานะบุรุษผู้มีส่วนสำคัญในการ**ดับซามูไร**แห่งท้องทะเล ◎

สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (network-centric warfare) การปฏิวัติในกิจการทหาร (Revolution in Military Affairs: RMA) ที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ

นาวาอากาศเอก อนุวัตร์ เล็กสวัสดิ์
ผู้อำนวยการกองวิทยาการ กรมสื่อสารทหารอากาศ

"We must build forces that draw upon the revolutionary advances in the technology of war...one that relies more heavily on stealth, precision weaponry, and ***information technologies****." George W. Bush*

ในอดีตไม่ว่าจะตั้งแต่ยุคที่อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ประดิษฐ์โทรศัพท์เครื่องแรกในโลกขึ้นใช้งานในปี พ.ศ. 2419 หรืออีก 20 ปีต่อมาที่มาร์โคนีคิดประดิษฐ์วิทยุซึ่งเป็นเครื่องมือสื่อสารไร้สายขึ้นในปี พ.ศ. 2439 เครื่องมือสื่อสารเป็นเพียงเครื่องช่วยให้การปฏิบัติการรบประสบความสำเร็จ ในสงครามโลกครั้งที่ 1 เฮลมุท วอน มอลเค (Helmuth Von Moltke 2391-2459) ผู้บัญชาการกองทัพเยอรมัน ใช้โทรเลขและรถไฟเป็นครั้งแรกในการรบตามแผนชลิฟเฟน (Schlieffen Plan) โดยใช้เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจให้สอดคล้องระหว่างเวลากับสถานที่ตามแผนการรบที่กำหนดไว้แล้ว ยุทธการสายฟ้าแลบ (Blitzkrieg)

ของเยอรมันที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งปัจจัยด้านเวลามีความสำคัญมากขึ้นแต่การติดต่อสื่อสารก็ยังเป็นเพียงเครื่องช่วยให้ดำเนินการตามแผนได้ราบรื่นขึ้นเท่านั้น การติดต่อสื่อสารไม่เคยส่งผลหรือมีอิทธิพลมากต่อแนวความคิดในการใช้กำลังทางทหาร ยิ่งถ้าคิดถึงในระดับยุทธศาสตร์ การกำหนดหลักนิยมในการทำสงครามของทุกเหล่าทัพซึ่งจะมีผลต่อแนวความคิดในการทำการรบ การจัดองค์กร การวางกำลังและการใช้กำลัง เครื่องมือสื่อสารแทบจะไม่มีบทบาทที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดในการทำสงครามเลย แต่หลังจากสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี 2534 ที่สหรัฐอเมริกาเป็นผู้นำทัพร่วมกับกองกำลังสหประชาชาติ ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศมีอิทธิพลต่อแนวความคิดในการทำการรบเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการปฏิวัติแนวความคิดในกิจการทหาร (Revolution in Military Affairs: RMA) แพร่หลายไปยังวงการทหารทั่วโลกโดยมีแนวความคิดพื้นฐานหลักในการใช้เครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศในการทำการยุทธสมัยใหม่ ที่เรียกว่า สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (Network-centric Warfare)

สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (Network-centric Warfare) คืออะไร

สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (Network-centric Warfare) เป็นทฤษฎีใหม่ของสงครามในยุคข้อมูลข่าวสาร เป็นการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ โดยเฉพาะทางด้านระบบเครือข่ายที่ทำให้สามารถกระจายข้อมูลข่าวสารลงไปได้ในทุกระดับ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการปฏิบัติการทางทหารในปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่ระบบสารสนเทศที่เชื่อมต่อกันบนระบบเครือข่าย เพราะการเชื่อมต่อกันจะช่วยให้ ข้อมูล ข่าวกรอง สารสนเทศ และองค์ความรู้ สามารถไหลเวียนไปมายังระบบต่างๆ ที่เชื่อมต่อได้

เหตุการณ์ 911 ที่เกิดการก่อการร้ายถล่มตึกระฟ้าในสหรัฐอเมริกาเมื่อ 11 กันยายน 2544 ที่ช็อคคนทั่วโลกนั้นเป็นการก่อการร้ายที่มีการปฏิบัติการในหลายพื้นที่ในเวลาเดียวกันและเป็นการปฏิบัติการก่อการร้ายระหว่างประเทศที่ไม่มีทางจะเกิดขึ้นได้ถ้าขาดเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โอซามา บินลาดินใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการติดต่อวางแผนกับสมาชิกร่วมอุดมการณ์ทั่วโลก รวบรวมเงินทุน ฟอกเงินแล้วแจกจ่าย ปฏิบัติการจี้เครื่องบินโดยสารหลายลำหลังจากที่บินขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้วให้พุ่งชนตึกเวิลด์เทรดเซ็นเตอร์และกระทรวงกลาโหมสหรัฐ การก่อการร้ายครั้งนี้แหละเป็นรูปแบบหนึ่งของ Network-centric Warfare เป็นการก่อการร้ายที่ไม่มีทางจะปฏิบัติการได้สำเร็จถ้าไม่มีเครือข่ายระดับโลก (Global Network)

สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (Network-centric Warfare) ไม่ได้เป็นเพียงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศในการปฏิบัติการรบในระดับผู้ปฏิบัติ แต่ส่งผลกระทบต่อแนวความคิดทางการทหารในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับหน่วยที่ปฏิบัติการรบในรูปแบบของเทคนิคทางการทหารในรูปแบบต่างๆ การปรับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนในการสั่งการ การมอบอำนาจ มาจนถึงระดับยุทธศาสตร์ของแต่ละเหล่าทัพ และหลักนิยมในการใช้กำลังทหาร สงครามศูนย์รวมเครือข่าย (Network-centric Warfare) ส่งผลให้เกิดการปฏิวัติในกิจการทหารได้อย่างไร และจะเป็นไปอย่างไรในอนาคต ในที่นี้จะนำบทเรียนจากสงครามอ่าวเปอร์เซีย การก่อความไม่สงบในโคโซโว การปราบปรามผู้ก่อการร้ายในอัฟกานิสถาน (Operation Enduring Freedom: 2544-2545) และสงครามอิรักครั้งล่าสุด (Operation Iraqi Freedom: 2546) มาอ้างอิงเป็นหลัก

การปฏิวัติที่เกิดจากเครือข่าย

1. ปฏิวัติความเร็วในการปฏิบัติการทางทหาร

สหรัฐเริ่มใช้งานเครือข่ายสื่อสารและ

สารสนเทศอย่างเต็มรูปแบบเป็นครั้งแรกในสงครามอ่าวเปอร์เซีย และจะไม่ประสบผลสำเร็จในการรวมกำลังอากาศยานประมาณ 60 ลำในการโจมตี (Package Attacker) ถ้าไม่มีการใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศและเครือข่ายที่ดี สหรัฐใช้ระบบสารสนเทศประมวลผลและออกคำสั่งการปฏิบัติการทางอากาศ (Air Tasking Order) ที่จะสั่งการให้นักบินที่ร่วมรบทราบว่าจะต้องขึ้นบินวันไหนเวลาใดจากสนามบินไหนแล้วเติมน้ำมันกลางอากาศที่ตำแหน่งใดต้องบินไปในเส้นทางใด ให้ใช้เวลากี่นาทีที่จะไปรวมกันเป็นกลุ่ม ณ ตำแหน่งเหนือเป้าหมายใด เมื่อถึงเป้าหมายแล้วจะปฏิบัติการโจมตีอย่างไร เสร็จแล้วให้บินกลับไปยังสนามบินใดด้วยเส้นทางไหน กองทัพสหรัฐออกคำสั่งการปฏิบัติการทางอากาศ (Air Tasking Order) ผ่านระบบเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศไปยังเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทั้งหมดในเวลาเดียวกันและประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายโดยการรวมกำลังทางอากาศเข้าโจมตีอิรักอย่างต่อเนื่องหลายสิบรอบ ไม่ว่าจะเป็นการโจมตีระบบป้องกันทางอากาศของอิรัก กำลังรบ เครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมและเป้าหมายโจมตีทางยุทธศาสตร์ต่างๆ โดยไม่ให้อิรักมีเวลาพักเลย การดำเนินการดังกล่าวเป็นการปฏิวัติระบบควบคุมและบังคับบัญชาของทหารที่จัดในรูปแบบปิรามิดที่มีมากว่า 3,000 ปีลงอย่างสิ้นเชิง จากหลักการจัดหน่วยพื้นฐานทางทหารที่แบ่งเป็นหมู่ละ 10 คน มีผู้บังคับหมู่เป็นผู้ควบคุมและบังคับบัญชา 4 หมู่เป็น 1 หมวด 4 หมวดเป็น 1 กองร้อย กองร้อยอยู่ภายใต้กองพัน กองพลกองทัพภาคตามลำดับ นั่นคือการสั่งการในการใช้กำลังทางอากาศในสงครามอ่าวเปอร์เซียซึ่งกลายเป็นรูปแบบการสั่งการโดยตรงไปยังผู้ปฏิบัติในแต่ละภารกิจ แม้ว่าเครือข่ายที่ใช้ในขณะนั้นยังไม่สมบูรณ์ต้องมีการส่งแผ่นฟลอปปีดิสค์ไปให้กองทัพเรืออยู่ แต่นั่นคือจุดเริ่มวิ่งของ Network-centric Warfare ปัญหาในการเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างกองทัพอากาศกับกองทัพเรือสหรัฐ สายการควบคุมและบังคับบัญชาที่แยกกันระหว่างเหล่าทัพในเวลานั้นกลับส่งผลให้เห็นความจำเป็นในการจัดกองกำลังร่วมขึ้นอย่างชัดเจน

ในการปราบปรามผู้ก่อการร้ายสากลในอัฟกานิสถานมีการประชุมวางแผนการรบผ่านเครือข่ายระหว่างผู้บัญชาการกองกำลังในส่วนหน้าไปจนถึงผู้บัญชาการกองกำลังร่วมเป็นครั้งคราวในการประชุมดังกล่าว มีการแสดงภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงผลการโจมตีทิ้งระเบิดทางอากาศ (Bomb Damage Assessment) ข้อมูลข่าวสารการเคลื่อนไหวของฝ่ายตรงข้าม รูปภาพเคลื่อนไหวแสดงถึงสถานการณ์ในขณะนั้น ข้อมูลของเป้าหมาย ฯลฯ โดยผู้บังคับบัญชาแต่ละลำดับชั้นสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่รับข้อมูลข่าวสารทั้งหมดเป็นข้อมูลอ้างอิงแบบ Real Time ในการปรึกษาหารือวางแผนการรบ นั่นคือผู้บังคับบัญชาทุกลำดับชั้นสามารถร่วมกันแสดงความคิดเห็นตัดสินตกลงใจในสถานการณ์จริงโดยไม่ต้องเสียเวลาเดินทางไปรวมกัน ในเวลาเดียวกันการประชุมวางแผนการรบผ่านเครือข่ายยังทำให้ผู้บังคับบัญชาหน่วยงานส่วนหน้าในพื้นที่ได้ทราบโดยมองเห็นภาพรวมความคืบหน้าของสถานการณ์รบในเวลานั้น สามารถตรวจสอบยืนยันเพื่อรับทราบความต้องการของผู้บังคับบัญชาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้สามารถตัดสินตกลงใจได้อย่างชัดเจนและรวดเร็วขึ้นว่าหน่วยของตนต้องทำอะไรในเวลานั้น นั่นคือ Network-centric Warfare ทำให้ผู้บังคับบัญชาทุกระดับชั้นไม่ต้องเสียเวลาในการเดินทางมาประชุมร่วมกันเพื่อวางแผนการรบ และยังสามารถทำการรบได้อย่างสอดคล้องกันด้วยการรับรู้สถานการณ์จริงในเวลานั้นได้อย่างสมบูรณ์ (Situational Awareness) ดังนั้น วงรอบการปฏิบัติการรบที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ วิเคราะห์สถานการณ์ ---> ตัดสินตกลงใจ ---> วางแผน --->

สั่งการ ---> ปฏิบัติ ---> ตรวจสอบผลการปฏิบัติ แล้วกลับมาวิเคราะห์สถานการณ์ต่อ จึงสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน ความสามารถในการร่วมตัดสินตกลงใจจากสถานการณ์จริงในเวลานั้นๆ ประกอบกับความรวดเร็วในการแจกจ่ายข้อมูลข่าวสารของเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศทำให้จังหวะในการปฏิบัติการรบ (Operational Tempo) ถูกปฏิวัติให้เร็วขึ้นอย่างก้าวกระโดด การต่อสู้ในอัฟกานิสถานจึงสามารถประสบความสำเร็จ พิชิตขีดจำกัดทางด้านเวลา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของกำหนดเวลาเทศกาลถือศีลอดของชาวมุสลิมหรือความหนาวเย็นในฤดูหนาวที่กำลังจะมาถึง คงจะกล่าวได้ว่าสหรัฐมีความมั่นใจในความสำเร็จจากการปฏิบัติการในรูปแบบใหม่นี้มาก ประธานาธิบดี Bush จึงกล้าตัดสินใจประกาศเปิดสงครามในเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มเข้าสู่ฤดูหนาว

2. ปฏิวัติการรับรู้สถานการณ์ในสนามรบ

ในสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี 2534 นายพลนอร์แมน ชวาซคอพ์ฟ ผู้บัญชาการกองกำลังสหรัฐและสหประชาชาติต้องเร่งสร้างฐานที่มั่นในประเทศซาอุดิอาระเบียเพื่อทำสงครามกับอิรัก แต่ 10 ปีหลังจากนั้นในการปราบปรามผู้ก่อการร้ายในอัฟกานิสถาน เมื่อปี 2544-2545 ที่ผ่านมา นายพลทอมมี่ แฟรงค์ของสหรัฐอเมริกาบัญชาการรบจากศูนย์บัญชาการที่รัฐฟลอริดา โดยมีภาพวิดีโอที่ถ่ายจากอากาศยานที่โคจรอยู่ในท้องฟ้าแบบไม่มีนักบินประจำเครื่อง (Unmanned Air Vehicles: UAV) ที่สามารถรายงานสถานการณ์สดๆ ในเกือบทุกเรื่อง

ในการประชุมวางแผนการรบสหรัฐได้ใช้ระบบ GCCS (Global Command and Control System) ซึ่งรับภาพถ่ายจากดาวเทียมตรวจการส่งตรงไปยังหน่วยปฏิบัติการรบในพื้นที่ส่วนหน้าในสนามรบพร้อมกับการส่งภาพแสดงสถานการณ์ในสนามรบไปยังผู้บังคับบัญชาระดับสูงในเวลาจริง อย่างที่ได้กล่าวมาแล้วว่าตั้งแต่ระดับผู้บังคับบัญชาสูงสุดลงมาถึงผู้บังคับบัญชาในแต่ละระดับได้ใช้ข้อมูลร่วมกัน รับรู้สถานการณ์จริง (Situational Awareness) ในเวลานั้นพร้อมกัน ทำให้ทราบสถานการณ์ที่แท้จริงของแต่ละหน่วยทำให้สามารถตัดสินตกลงใจในการปฏิบัติการต่อไปได้ทันที ยิ่งกว่านั้นข้อมูลข่าวสารดังกล่าวยังถูกแจกจ่ายไปยังกระทรวงกลาโหม ทำเนียบขาว รวมทั้งองค์กรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถติดต่อสื่อสารกันได้สองทาง ทำให้ผู้นำประเทศในทำเนียบขาวตลอดจนผู้บริหารระดับสูงในกระทรวงกลาโหมสามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับหัวหน้าหน่วยในสนามรบผ่านระบบการประชุมทางวิดีทัศน์ได้ทันทีโดยเฉพาะในการปฏิบัติการทางทหารที่อาจจะมีผลกระทบทางการเมือง ส่งผลให้มีความเข้าใจซึ่งกันและกันและมั่นใจในการปฏิบัติการที่ดำเนินการอยู่ อีกทั้งทำเนียบขาวก็สามารถพิจารณาในการตอบสนองความเคลื่อนไหวของสื่อต่างๆ ไม่ให้เป็นไปตามที่ฝ่ายตรงข้ามต้องการได้ Network-centric Warfare ที่ทำให้การปฏิบัติการทางทหารเป็นไปได้ถึงขนาดนี้ต้องใช้การลาดตระเวนทางอากาศ การตรวจสอบ เฝ้าฟัง การติดต่อสื่อสาร การนำร่อง การกระจายเสียง การใช้งานกลุ่มดาวเทียมหลากหลายรูปแบบ นับเป็นการปฏิวัติที่เกิดจากการบูรณาการระบบสื่อสารและสารสนเทศอย่างเต็มรูปแบบ (IT Integration) ทำให้การรับรู้สถานการณ์การรบเปลี่ยนแปลงไปแบบก้าวกระโดด ทำให้สามารถดำเนินการทางยุทธวิธีได้อย่างต่อเนื่องจากข้อมูลข่าวสารที่แท้จริง จากเดิมที่เคยกล่าวกันว่า “ยอดขุนพลต้องสามารถตัดสินตกลงใจในสถานการณ์รบที่ไม่ทราบชัดเจน” มาเป็นในวันนี้ “ยอดขุนพลต้องสามารถตัดสินตกลงใจได้ว่าข้อมูลข่าวสารที่หลั่งไหลเข้ามาอย่างมากมายมหาศาลข่าวสารใดมีลำดับความสำคัญมากยิ่งกว่ากันในแต่ละวินาที”

3. ปฏิวัติรูปแบบการรบจากการใช้เครือข่าย... ความจำเป็นในการปฏิบัติการแบบรวมการ

การปฏิบัติการรบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ตรวจจับค้นหา ---> พิสูจน์ฝ่าย ---> กำหนดเป้าหมายเข้าโจมตี ---> ทำลาย ซึ่งกองทัพอากาศสหรัฐได้กำหนดรายละเอียดเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ Find ---> Fix ---> Target ---> Track ---> Employ ---> Assess ในขั้นตอนการตรวจจับค้นหาไปจนถึงการแยกแยะพิสูจน์ฝ่ายว่าเป็นฝ่ายข้าศึกหรือไม่นั้นเป็นภารกิจของระบบ Sensor ที่ประกอบด้วยระบบป้องกันทางอากาศที่มีเรดาร์ การลาดตระเวนดาวเทียมถ่ายภาพทางอากาศ ฯลฯ ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายเข้าโจมตีและทำลายเป็นขั้นตอนของการใช้กำลังที่ประกอบด้วยการใช้กำลังรถถัง เรือรบ เครื่องบินโจมตีต่างๆ ในอดีตที่ผ่านมาปฏิบัติการในการใช้กำลังจะแบ่งให้แต่ละเหล่าทัพรับผิดชอบในการเข้าปฏิบัติการในแต่ละภารกิจที่ได้รับมอบหมาย ตัวอย่างเช่น ในการโจมตีทางอากาศนักบินจะบินเครื่องบินโจมตีที่บรรทุกจรวดนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์เข้าโจมตี โดยนักบินบนอากาศยานลำหนึ่งจะทำหน้าที่ชี้เป้าหมายที่โจมตีด้วยการฉายแสงเลเซอร์ไปยังเป้าหมายนั้น ในสถานการณ์จริงนักบินที่ทำหน้าที่ชี้เป้าดังกล่าวย่อมต้องคอยระวังการถูกโจมตีจากฝ่ายตรงข้ามไม่ว่าจะจากจรวดต่อสู้อากาศยานจากภาคพื้นดินหรือจากเครื่องบินรบของฝ่ายตรงข้าม ทำให้อัตราความแม่นยำในการโจมตีย่อมจะลดลงจากสงครามในอดีต ภารกิจการสนับสนุนทางอากาศโดยตรง ที่ใช้กำลังทางอากาศสนับสนุนหน่วยรบภาคพื้น หรือกำลังทางเรือนั้น เป็นที่ยอมรับและทราบกันว่ามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่ำมาก

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่ผ่านมาจะเห็นว่าระบบ Sensor มีความก้าวหน้ามาก ขยายผลไปถึงการใช้งานในห้วงอวกาศ สามารถสนับสนุนภารกิจในการตรวจจับค้นหาและพิสูจน์ฝ่ายให้ทุกเหล่าทัพได้โดยการปฏิบัติการอย่างเป็นเอกเทศ ในขณะที่ในช่วงเวลาก่อนสงครามอ่าวเปอร์เซียปัญหาจากการติดต่อสื่อสารและการรับทราบสถานการณ์การรบจริงในขณะที่ทำการรบที่ต้องใช้เวลานานกว่าจะทราบผล ทำให้แต่ละเหล่าทัพทั้งกองทัพบก กองทัพเรือและกองทัพอากาศ ต่างก็วางแผนปฏิบัติการรบเบ็ดเสร็จในตัวเอง จึงมีสายการบังคับบัญชาที่แยกกันเป็นเอกเทศส่งผลให้มีเครือข่ายที่เป็นเอกเทศของแต่ละเหล่าทัพไปด้วย แต่เมื่อเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) โดยเฉพาะด้านเครือข่ายมีความก้าวหน้าจนทำให้สามารถติดต่อสื่อสารได้ ทำให้สามารถมองเห็นสถานการณ์การรบในพื้นที่จริงในเวลานั้นๆ ส่งผลให้สามารถปฏิบัติการร่วมโดยใช้กำลังรบในทุกด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือการปฏิบัติการจากแนวความคิดของ Network-centric Warfare ทำให้สามารถเลือกจัดกำลังรบ หน่วยรบและประเภทของกำลังรบที่ทำให้ได้เปรียบมากที่สุดในสนามรบ ณ เวลานั้นๆ ได้และสามารถบูรณาการกำลังรบร่วมในการปฏิบัติภารกิจในแต่ละขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับเป้าหมาย การพิสูจน์ฝ่าย การชี้เป้าและการเข้าทำลายโดยไม่แยกเหล่าทัพ เป็นการใช้ประโยชน์จากเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศให้เกิดผลสัมฤทธิ์ได้ตามที่ต้องการ ผลที่เกิดขึ้นทำให้นักบินโจมตีปฏิบัติการได้ง่ายขึ้นมาก เพียงแค่บินไปยังเป้าหมายตามวัน เวลาที่กำหนดตามคำสั่ง ปล่อยอาวุธแล้วบินออกจากพื้นที่ได้เลย นับเป็นการปฏิวัติรูปแบบในการเข้าโจมตีที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศอย่างแท้จริง ยิ่งกว่านั้นเมื่อสามารถกำหนดเป้าหมายได้ชัดเจนขนาดนั้นจากเครือข่ายแล้ว การนำอากาศยานที่โคจรอยู่ในท้องฟ้าแบบไม่มีนักบินประจำเครื่อง (Unmanned Air Vehicles: UAV) เข้าโจมตีตลอดจนการพัฒนารถถังที่ปราศจากคนขับเข้าโจมตีภาคพื้นดินก็ย่อมเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิผล นี่คือก้าวกระโดดที่มีการวิวัฒนาการและพัฒนาในวงการทหารต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง

การรบในอัฟกานิสถานหน่วยรบพิเศษของกองทัพบกสหรัฐนั่งบนหลังม้าใช้กล้องส่องทางไกลที่มีตัวชี้เป้าหมายการโจมตีด้วยเลเซอร์ จะได้รับคำสั่งปฏิบัติการทางอากาศ ATO (Air Tasking Order) ระบุว่าให้ชี้เป้าหมายตรงไหน ในเวลาใด ชี้เป็นเวลานานกี่วินาที ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ในเวลาเดียวกันนักบินที่บินเครื่องบินทิ้งระเบิดยุทธศาสตร์แบบ B-52H ที่มีอายุการใช้งานนานกว่า 40 ปีก็จะได้รับคำสั่งปฏิบัติการทางอากาศ ATO เช่นกัน ว่าให้บินไปถึงตำแหน่งใด เวลาเท่าไหร่ และเมื่อได้รับสัญญาณที่มีการเข้ารหัสแล้วจากตัวชี้เป้าหมายเลเซอร์เมื่อใด ก็ให้ปล่อยระเบิดทำลายแบบ Joint Direct Attack Munition (JDAM) ขนาด 2,000 ปอนด์ทันที ผู้ปฏิบัติภารกิจในการโจมตีทั้งสองคนไม่ต้องมีการติดต่อสื่อสารกันเลย แต่ก็สามารถปฏิบัติภารกิจในการทำลายเป้าหมายได้สำเร็จ นั่นคือหน่วยบัญชาการกลางซึ่งเป็นกองบัญชาการร่วมประกอบด้วยผู้บังคับบัญชาและฝ่ายเสนาธิการของทุกเหล่าทัพเป็นผู้วางแผนปฏิบัติการร่วมโดยใช้เครือข่ายร่วม ติดต่อสื่อสาร ปฏิบัติการโจมตีจนประสบผลสำเร็จ หลังจากนั้นกองกำลังนาวิกโยธินของสหรัฐที่ทราบผลการโจมตีโดยมองเห็นด้วยตาผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา ก็จะนำกำลังเจาะเข้าไปยังพื้นที่เข้าโจมตีกองกำลังอัลไกดาที่หลงเหลืออยู่

ในสงครามอิรักครั้งล่าสุดก็เช่นกันหน่วยรบพิเศษของกองทัพสหรัฐใช้ตัวชี้เป้าหมายการโจมตีด้วยเลเซอร์และรับคำสั่งปฏิบัติการทางอากาศ ATO (Air Tasking Order) ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาพร้อมๆ กับนักบินเครื่องบินทิ้งระเบิดพิสัยไกล B-52 ที่ได้รับคำสั่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ใน Cockpit เนื่องจากทั้งสองฝ่ายจะมองเห็นภาพเป้าหมายในสถานการณ์จริงพร้อมกันตลอดเวลาจึงเป็นการรับทราบสถานการณ์รบที่แท้จริงร่วมกันในเวลาเดียวกันพร้อมๆ กับที่กองบัญชาการกลางซึ่งสามารถสั่งการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายหรือเวลาในการโจมตีได้ตามสถานการณ์จริงที่พบได้ตลอดเวลาส่งผลให้อัตราความสำเร็จในการโจมตีเป้าหมายสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดดเมื่อเทียบกับผลสัมฤทธิ์ในอดีต

บทเรียนที่ได้รับจากการใช้ประโยชน์เครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศในสงครามที่ผ่านมาทำให้วงการทหารเห็นความจำเป็นในการปฏิบัติการร่วมเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันภารกิจการตรวจจับ การชี้เป้าหมายและการโจมตีสามารถแยกออกจากกันได้โดยเด็ดขาด ไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นที่เป็นขีดความสามารถเฉพาะของแต่ละเหล่าทัพ การปฏิบัติภารกิจในแต่ละขั้นตอนไม่มีความจำเป็นต้องแยกออกเป็นภารกิจของกองทัพบก กองทัพเรือหรือกองทัพอากาศเพียงหน่วยใดหน่วยหนึ่งอีกแล้ว การรบจะต้องจัดวางเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศเพื่อให้สามารถรวมกำลังจากทุกเหล่าทัพในการปฏิบัติการรบในแต่ละขั้นตอนให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในวินาทีนั้นๆ ซึ่งสงครามปราบปรามผู้ก่อการร้ายในอัฟกานิสถานและสงครามในอิรักครั้งล่าสุดเป็นบทพิสูจน์ ทำให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงคำตอบของคำถามที่มักจะถามกันในวงการทหารว่า “จำเป็นต้องปฏิบัติการร่วมกันตรงไหน?” นั่นคือกองบัญชาการร่วมสามารถวางแผนการรบโดยเลือกใช้กำลังที่มีขีดความสามารถเหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติการรบตอบสนองต่อภารกิจเร่งด่วน ณ เวลานั้นๆ ได้โดยไม่ต้องแบ่งแยกว่าเป็นกองทัพบก กองทัพเรือ หรือกองทัพอากาศ นับเป็นความสำเร็จที่เกิดขึ้นได้เพราะความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ นับเป็นรูปแบบที่แท้จริงของ Network-centric Warfare

4. ความอ่อนตัวในการปฏิบัติการรบโดยในเครือข่าย...ปฏิวัติให้ฝ่ายรับได้เปรียบฝ่ายรุก

การใช้ประโยชน์จากเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศที่ทำให้เกิดรูปแบบใหม่ของการรวม

กำลังในการปฏิบัติการรบนั้น ไม่ได้หมายความว่ารูปแบบใหม่นี้จะเป็นการปฏิวัติทางทหารที่ทำให้ต้องยกเลิกรูปแบบการปฏิบัติการรบแบบเดิม หรือยกเลิกหลักนิยม ยุทธศาสตร์ทางทหารที่เคยมีอยู่ ตรงนี้เป็นจุดสำคัญที่ควรจะต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง มิฉะนั้นอาจมีการวิเคราะห์สถานการณ์ผิดพลาดเหมือนกับเมื่อเกิดการประดิษฐ์จรวดแล้วมีผู้ทำนายว่าเป็นการจบลงของการใช้เครื่องบินรบ หรือเมื่อเกิดอากาศยานที่โคจรอยู่ในท้องฟ้าแบบไม่มีนักบินประจำเครื่อง (Unmanned Air Vehicles: UAV) แล้วคิดกันว่านั่นคือการจบสิ้นลงของอาชีพนักบิน มีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์และทำความเข้าใจในจุดเด่นจุดด้อยโดยเฉพาะขีดจำกัดของการรบในรูปแบบของ Network-centric Warfare ให้ชัดเจน

บทเรียนจากการปฏิบัติการรบร่วมโดยใช้เครือข่ายที่ผ่านมาน่าจะกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการปราบปรามผู้ก่อการร้าย ที่ทำให้สามารถกระจายกำลังหน่วยรบขนาดเล็กอาจจะระดับหมู่ไปให้ทั่วพื้นที่โดยให้พกคอมพิวเตอร์พกพาที่เชื่อมต่อเครือข่ายไปด้วยและให้ทุกหน่วยรบได้รับทราบข้อมูลข่าวสารการเคลื่อนไหวของฝ่ายตรงข้าม รับทราบการตรวจพบผู้ก่อการร้ายของหน่วยรบอื่นในเวลานั้นๆ มองเห็นสถานการณ์จริงของหน่วยรบอื่นในพื้นที่ต่างๆ สามารถเข้าไปสนับสนุนได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์และทันเวลาตลอดจนสามารถแจกจ่ายข่าวสารของผู้ก่อการร้ายเมื่อหน่วยของตนเองพบและขอความช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็วอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน เมื่อผู้บังคับหมู่หรือผู้บังคับหมวดได้รับข้อมูลข่าวสารจากหน่วยเหนือพร้อมๆ กับข้อมูลข่าวสารจากผู้ใต้บังคับบัญชาในเวลานั้นๆ ทำให้สามารถรับทราบสถานการณ์ที่ถูกต้อง จึงสั่งการให้หน่วยในบังคับบัญชาที่กระจายกำลังอยู่ในพื้นที่ให้เข้าปฏิบัติการ ณ สถานที่ และเวลาที่เหมาะสมที่สุดได้ ในเวลาอันรวดเร็ว นั่นคือหน่วยรบที่ต้องตั้งรับคอยเฝ้าระวังการโจมตีของผู้ก่อการร้ายกลับสามารถใช้ศักยภาพในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารที่เหนือกว่าผู้ก่อการร้ายและใช้ประโยชน์จากเครือข่ายทำให้อยู่ในสถานการณ์ที่ได้เปรียบกว่าผู้ก่อการร้ายที่ไม่มีเครือข่ายหรือมีเพียงเครือข่ายสื่อสารทางเสียงเท่านั้นในการปฏิบัติการตอบโต้ได้ กล่าวโดยสรุปในการปราบปรามผู้ก่อการร้ายหน่วยปราบปรามที่เสียเปรียบเนื่องจากเป็นฝ่ายตั้งรับจะกลายเป็นผู้ที่ได้เปรียบในการรบโดยการใช้เทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศกระจายความได้เปรียบจากการรับรู้สถานการณ์จริงก่อนฝ่ายตรงข้ามนั่นเอง

5. การเปลี่ยนแปลงอย่างก้าวกระโดดเนื่องจากเทคโนโลยีระบบนำวิถีที่แม่นยำ

เทคโนโลยีระบบนำวิถีมีหลากหลาย เช่น การนำวิถีด้วยสัญญาณโทรทัศน์ การนำวิถีด้วยรูปลักษณ์ของเป้าหมาย การนำวิถีโดยใช้ระบบบอกพิกัดด้วยสัญญาณจากดาวเทียมที่เรียกว่า GPS (Global Position System) การนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์ เป็นต้น ในสงครามอ่าวเปอร์เซียมีการเริ่มใช้การนำวิถีโดยใช้ระบบ GPS เป็นครั้งแรกในสงครามเต็มรูปแบบ เป้าหมายที่ถูกทำลายโดยการนำวิถีด้วยระบบ GPS ด้วยปริมาณระเบิดทำลายน้ำหนัก 1 ตัน เปรียบเทียบกับในสงครามเวียดนามที่ใช้ระบบนำวิถีด้วยสัญญาณโทรทัศน์จะต้องใช้ปริมาณระเบิดทำลายน้ำหนักมากถึง 190 ตัน และถ้าใช้อุปกรณ์ชี้เป้าต่างๆ ในสงครามโลกครั้งที่ 2 จะต้องใช้ปริมาณระเบิดทำลายน้ำหนักมากถึง 9,000 ตัน เป็นความแตกต่างแบบก้าวกระโดดที่โด่งดังในวงการทหาร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์ซึ่งมีความแม่นยำสูงขึ้นไปอีกจะสามารถลดปริมาณระเบิดลงได้จนเหลือแค่ 1/2 หรือ 1/4 เท่านั้น จากความแม่นยำดังกล่าวทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาระเบิดทำลายขนาดเล็ก

(Small Diameter Bomb) และมีการพัฒนาในกลุ่มประเทศที่มีขีดความสามารถสูงกันอยู่ เมื่อระเบิดทำลายมีขนาดเล็กลงทำให้สามารถติดตั้งใช้งานบนเครื่องบินรบ เรือลาดตระเวน หรือรถถังได้ ส่งผลให้อานุภาพในการเข้าโจมตีของเครื่องบินรบเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมาก เมื่อผลสัมฤทธิ์ในการเข้าโจมตีของเครื่องบินหนึ่งลำเปลี่ยนแปลงไปมาก ความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องบินรบจำนวนมากลำก็ลดลง นั่นคือสามารถปรับลดปริมาณของเครื่องบินรบ เรือ หรือรถถังลงได้โดยที่ยังมีอานุภาพในการโจมตีเท่าเดิมหรืออาจจะดีกว่าเดิมด้วยซ้ำ

แม้ว่าการนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์จะแม่นยำกว่าการนำวิถีด้วยระบบ GPS แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์ต้องมีการชี้เป้าที่แม่นยำ ซึ่งต้องปฏิบัติการในพื้นที่การรบ เครื่องบินชี้เป้าต้องบินเข้าไปพร้อมกับความระมัดระวังจากการถูกโจมตีด้วยอาวุธต่อสู้อากาศยานภาคพื้นหรือจากเครื่องบินฝ่ายตรงข้าม ต้องชี้เป้าให้แม่นยำจนกว่าเป้าจะถูกทำลาย ในขณะที่การนำวิถีด้วยระบบ GPS ถ้ามีข้อมูลบอกตำแหน่งของเป้าหมายที่ถูกต้องก็เพียงนำเครื่องบินทิ้งระเบิดบินในระยะสูงเกิน 10,000 ฟุต ไปอยู่บริเวณเหนือเป้าหมายแล้วก็ทิ้งระเบิดเท่านั้นเอง การนำวิถีด้วยระบบ GPS ได้ถูกพัฒนาขึ้นมามาก หลังจากสงครามอ่าวเปอร์เซีย ในสงครามอิรักครั้งล่าสุด ขอเพียงเครื่องบินทิ้งระเบิดบินเข้าไปอยู่ห่างจากเป้าหมายประมาณ 20-40 กิโลเมตร แล้วทิ้งลูกระเบิดนำวิถีด้วย GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System) ระเบิดจะถูกเป้าหมายด้วยอัตราความแม่นยำ (CEP) ประมาณ 10-13 เมตร เมื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ GPS ขึ้นน่าจะสามารถถูกเป้าหมายด้วยอัตราความแม่นยำ (CEP) ไม่เกินหนึ่งเมตรเท่าเทียมกับการนำวิถีด้วยแสงเลเซอร์ได้ จะเห็นได้ว่าในการปฏิบัติการทิ้งระเบิดนำวิถีด้วยระบบ GPS ไม่มีความจำเป็นใดๆ ที่จะต้องใช้เครื่องบินโจมตีเสี่ยงเข้าไปทิ้งระเบิดใกล้เป้าหมาย นี่คือเหตุผลที่ชัดเจนว่าทำไมเครื่องบินทิ้งระเบิดยุทธศาสตร์อย่าง B-1, B-2 และ B-52 จึงมีบทบาทสูงมากในสงครามอิรักครั้งที่ผ่านมา เมื่อมองจากอีกมุมหนึ่ง การปฏิบัติการรบแบบนี้ไม่ต้องพึ่งแบบของเครื่องบิน (Platform) อีกแล้ว กองทัพอากาศสหรัฐจึงได้เปลี่ยนแนวความคิดในการปฏิบัติการรบจาก Platform-based Operation มาเป็นการปฏิบัติการบนบรรทัดฐานของประสิทธิผล (Effect-based Operation)

	สงครามโลกครั้งที่ 2	สงครามเวียดนาม	สงครามอ่าวเปอร์เซีย	สงครามอิรัก
ประเภทเครื่องบินทิ้งระเบิด	เครื่องบินทิ้งระเบิด B-17	เครื่องบินโจมตีทิ้งระเบิด F-4	เครื่องบินโจมตีทิ้งระเบิด F-117	เครื่องบินทิ้งระเบิด B-2
จำนวนเที่ยวบิน	1,500	30	1	1
เป้าหมายโจมตี	เป้าหมายขนาด 60 X 100 ft	1 เป้าหมาย	2 เป้าหมาย	16 เป้าหมาย/เที่ยวบิน
ขนาดลูกระเบิด	250 lb	500 lb	2,000 lb	2,000 lb
จำนวนลูกระเบิด	9,000 ลูก	176 ลูก	2 ลูก	16 ลูก
ความแม่นยำ CEP	3,300 ft	400 ft	10 ft	20 ft

อ้างอิง “Effect Based Operations Briefing” กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา เมื่อ 19 มีนาคม 2546

ความแม่นยำในการปฏิบัติการของระบบนำวิถีด้วยระบบ GPS ที่ได้รับการพิสูจน์จากสงครามจริงตั้งแต่สงครามอ่าวเปอร์เซียเป็นต้นมา ส่งผลให้แนวความคิดในการวิจัยและพัฒนาด้านการทหารเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ถ้าอาวุธนำวิถีมีความแม่นยำสูงขนาดนั้น ความจำเป็นที่จะต้องใช้ฝีมือนักบินในการบินเข้าปฏิบัติการรบก็ลดลง ในเวลาเดียวกันการพัฒนาขีดความสามารถของอากาศยานที่มีอุปสรรคสำคัญคือความทนทานของนักบิน เช่น การปรับตัวรับแรง G ที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่เทคโนโลยีการผลิตเครื่องยนต์ วัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูงเช่นที่ใช้ในยานอวกาศ ตลอดจนการออกแบบอากาศยาน มีความพร้อมอยู่แล้ว ทำให้การลงทุนวิจัยพัฒนาในด้านการบินในช่วงที่ผ่านมาเห็นความสำคัญของอากาศยานที่โคจรอยู่ในท้องฟ้าแบบไม่มีนักบินประจำเครื่อง (Unmanned Air Vehicles: UAV) กันมากอย่างที่ไม่เคยปรากฏมาก่อน และขยายผลออกไปยังรถถังที่ปราศจากคนขับด้วย ดูเหมือนว่าสงครามหุ่นยนต์ที่เคยเห็นแต่ในภาพยนตร์วิทยาศาสตร์อาจจะกลายเป็นเรื่องจริงสำหรับสงครามในครั้งต่อไป

โลกยุคปัจจุบันที่ข่าวสารแพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างรวดเร็วจนสามารถมองเห็นสถานการณ์จริงได้ในวินาทีนั้นๆ การใช้สื่อมวลชนในการโจมตีฝ่ายตรงข้ามกรณีที่เกิดการระเบิดผิดพลาดจากเป้าหมายกลายเป็นปัญหาใหญ่กว่าสงครามในอดีตมาก ทั่วโลกเห็นพ้องต้องกันว่าไม่ควรทำให้เกิดความเสียหายต่อมวลชนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการต่อสู้ในสงคราม การที่อาวุธนำวิถีผิดพลาดเป้าหมายจนทำให้สถานทูตจีนในยูโกสลาเวียระเบิด หรือการโจมตีเป้าหมายผิดพลาดในการปราบปรามผู้ก่อการร้ายในอัฟกานิสถาน ล้วนแต่ถูกสังคมโลกประณามเช่นเดียวกัน อาจจะกล่าวได้ว่าเรามาถึงยุคที่จะต้องปฏิบัติการรบโดยต้องคำนึงถึงเสียงสะท้อนจากสังคมโลก ณ เวลานั้นๆ ด้วยเป็นอย่างมาก ดังนั้น การโจมตีเป้าหมายทางยุทธศาสตร์ที่ไม่ใช่กำลังรบโดยการทิ้งระเบิดปูพรมเช่นที่ทำในสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นสิ่งที่จะไม่ได้รับการยอมรับในสังคมโลกปัจจุบัน สงครามสารสนเทศ (Information Warfare) ที่มุ่งโจมตีโครงสร้างทางสังคมซึ่งจะส่งผลให้ส่วนที่ไม่ใช่กำลังรบประสบความเสียหายจะกลายเป็นวิธีการโจมตีที่มาทดแทนการโจมตีเป้าหมายทางยุทธศาสตร์ที่ไม่ใช่กำลังรบวิธีเดิม การได้รับการสนับสนุนหรือการประณามจากสื่อทั่วโลกกลายเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้ในสงครามยุคปัจจุบัน และ อาจส่งผลต่อการแพ้ชนะในสงครามได้ การที่สหภาพโซเวียตรัสเซียต้องล่มสลายแตกแยกเป็นประเทศเล็กๆ จำนวนมาก ทั้งๆ ที่รัสเซียมีกำลังทางทหารเหนือกว่าประเทศเหล่านั้นมากแต่ไม่สามารถบุกเข้าโจมตีได้ก็เนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

6. การปฏิวัติหลักนิยมทางทหาร

<u>ปฏิรูปหลักการใช้กำลัง</u>

Network-centric Warfare ทำให้สายการควบคุมและบัญชาการเปลี่ยนรูปแบบจากการสั่งการลงไปตามลำดับชั้นมาเป็นการสั่งการโดยตรงกระจายไปยังผู้ปฏิบัติทำให้การปฏิบัติการรบร่วมโดยใช้กำลังจากทุกเหล่าทัพกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นอย่างมาก การปฏิบัติการรบในรูปแบบใหม่ที่ใช้เครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นทำให้เกิดการปฏิวัติแนวความคิด หลักนิยมต่างๆ ในการทำสงครามเป็นอย่างมาก หลักการรวมกำลังที่เดิมหมายถึงการรวมกำลังเครื่องบินรบ เรือรบ รถถัง ฯลฯ ที่เป็นกำลังรบหลักไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ณ เวลาที่กำหนด แต่ในการรบแบบใหม่การรวมกำลังหมายถึงการรวมพลังในการทำลาย การรวมอำนาจในการโจมตี ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องไปรวมกำลังในขั้นตอนการขนส่งอาวุธ (Weapon Carrier) และไม่จำเป็นต้องรวมกำลังในการชี้เป้าหมายอีกต่อไป

ยิ่งกว่านั้นการรวมกำลังในขั้นตอนดังกล่าวกลับกลายเป็นจุดอ่อนที่จะส่งผลให้ฝ่ายตรงข้ามทราบแนวโน้มความเคลื่อนไหวของฝ่ายเราเสียด้วยซ้ำ นั่นคือการรวมอำนาจการทำลายจาก เครื่องบินรบ เรือรบ ตลอดจนยานยนต์ต่างๆ ที่อยู่ในตำแหน่งที่อาจจะกระจัดกระจายตามภูมิประเทศไปยังเป้าหมายที่ต้องการโจมตี จะเห็นได้ว่าการวางกำลังที่กระจัดกระจายซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบการวางกำลังที่อ่อนแอตามแนวความคิดเดิมกลับกลายเป็นรูปแบบการวางกำลังที่เข้มแข็งทนทาน ยากต่อการทำลาย และถูกโจมตี แต่สามารถรวมอำนาจการทำลายได้เนื่องจากการควบคุมและบัญชาการผ่านเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศที่ก้าวหน้านั่นเอง เปรียบเสมือนกับยุคที่เริ่มมีการประดิษฐ์ปืนใหญ่ แล้วนโปเลียนเริ่มใช้การกระจายกำลังออกใช้งานปืนใหญ่ในการรบก่อนจึงประสบผลสำเร็จเป็นอย่างมาก

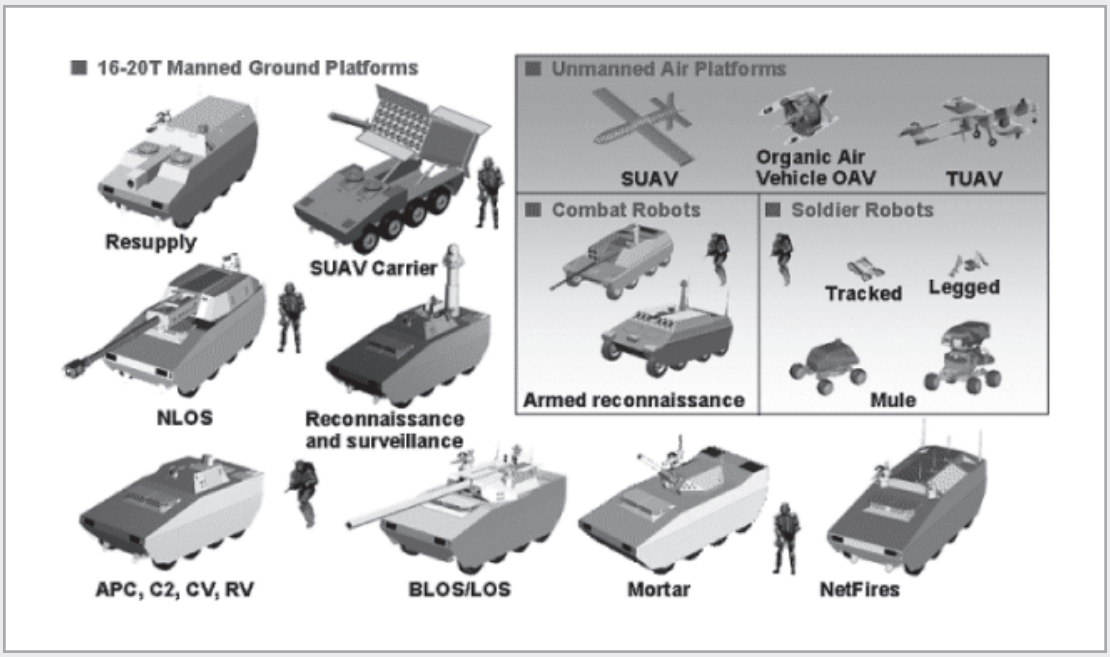
ปฏิรูปหลักนิยมในการใช้กำลัง

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่า Network-centric Warfare มีประสิทธิภาพสูงมากในการปราบปรามผู้ก่อการร้าย นั่นคือฝ่ายผู้ก่อการร้ายที่เป็นฝ่ายรุกจะประสบความยุ่งยากมากในการที่จะสร้างเครือข่ายที่สามารถใช้งานได้ตลอดไปในระยะยาวเพื่อการก่อการร้าย ในขณะที่ฝ่ายรัฐบาลซึ่งเป็นฝ่ายตั้งรับซึ่งมีเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศที่เป็นเครือข่ายพื้นฐานอยู่แล้วสามารถจัดตั้งเครือข่ายเพื่อปฏิบัติภารกิจปราบปรามผู้ก่อการร้ายได้ทันที ทำให้สามารถดำรงการติดต่อสื่อสารและเครือข่ายได้ตลอดเวลาไปยังทุกพื้นที่ที่ต้องการ แจกจ่ายข้อมูลข่าวสารให้ทุกคนได้พร้อมกัน ทุกคนสามารถรับทราบข้อมูลข่าวสารที่บุคคลอื่นตรวจพบได้ทันที ทำให้การปฏิบัติการกวาดล้างผู้ก่อการร้ายเป็นไปในทิศทางเดียวกันตามที่ศูนย์บัญชาการควบคุมและสั่งการ ตัวอย่างเช่น สามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่สร้างเครือข่ายปราบปรามผู้ก่อการร้าย เมื่อตั้งเครือข่ายแล้วจะสามารถติดต่อประสานใช้งานหน่วยทหาร ตำรวจ สถานีดับเพลิง อำเภอ ตำบล เทศบาล หน่วยงานราชการทั้งหมดในพื้นที่ ตลอดจนอาสาสมัครภาคเอกชน ในการปราบปรามผู้ก่อการร้ายได้ นั่นคือ ความก้าวหน้าของเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศทำให้ฝ่ายรับสามารถใช้ประโยชน์สูงสุดจากเครือข่ายเพื่อความได้เปรียบด้านการข่าวจนเหนือกว่าฝ่ายรุกได้

การที่จะปฏิบัติการรบแบบที่กล่าวมาแล้วจำเป็นต้องพิจารณาทบทวน วิจัยและพัฒนา และที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ได้แก่ การควบคุมและบัญชาการและการจัดองค์กรด้านการข่าว นับเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ที่มีผลกระทบต่อกิจการด้านความมั่นคงทุกๆส่วนเป็นอย่างมากจนน่าจะกล่าวได้ว่าเป็นการปฏิวัติทางทหาร

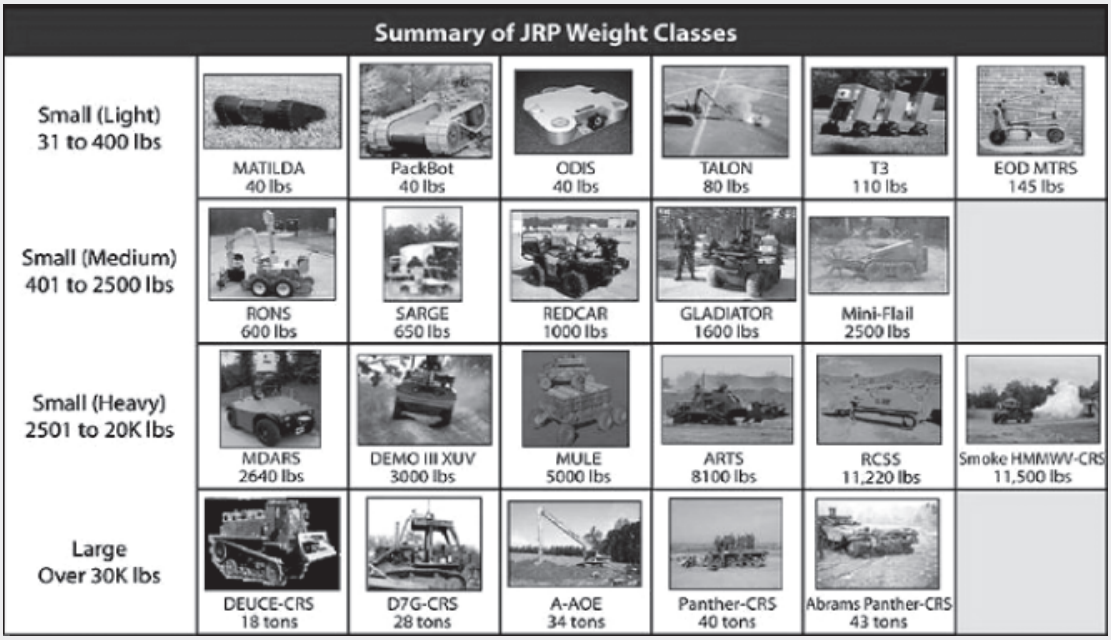
การนำ Network-centric Warfare มาใช้จริงในวงการทหาร

ปัจจุบันประเทศที่มีศักยภาพสูงทางด้านการทหารแต่ละประเทศต่างก็ทำการวิจัยและพัฒนาแนวความคิดต่างๆ วิเคราะห์และศึกษาที่จะพัฒนาระบบการรบที่รวมการใช้เครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศอยู่ด้วย 9 ประเทศกลุ่ม NATO ประกอบด้วย แคนาดา ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี เนเธอร์แลนด์ นอรเวย์ สเปน อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา ตกลงที่จะลงทุนร่วมกันในการศึกษาความเป็นไปได้ของเครือข่าย NATO Networked Enabled Capability (NNEC) เมื่อเดือนพฤศจิกายน ปี 2546 และเบลเยี่ยม เดนมาร์ก และตุรกีได้เข้าร่วมด้วยในภายหลังโครงการเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2547 และมีกำหนดแล้วเสร็จภายในเดือนมิถุนายน ปี 2548 ในขณะที่กระทรวงกลาโหมสหรัฐได้ประกาศ “วิสัยทัศน์ร่วม 2020” (Joint Vision 2020) ที่ได้ชี้แจงต่อรัฐสภาสหรัฐว่าเป็นการใช้ Network-centric Warfare (NCW) ในการยกระดับในการปฏิบัติการร่วมกันด้วยแนวความคิดใหม่



กองทัพบกสหรัฐประกาศแนวทางการปรับเปลี่ยนกองทัพบกปี 2003 (2003 Army Transformation Roadmap) ว่าจะดำรงและปรับปรุงขีดความสามารถของกำลังในปัจจุบันให้รองรับการปฏิบัติการร่วมไปพร้อมๆ กับการพัฒนาขีดความสามารถของกำลังทหารให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบรองรับการปฏิบัติการรบที่ประกอบด้วยกำลังจากหลายเหล่าทัพได้ โดยการสร้างหน่วยรบที่มีอุปกรณ์เครื่องมือพร้อมในรูปแบบของ Future Combat System ซึ่งเป็นโครงการที่ได้วิจัยและพัฒนาร่วมกับฝรั่งเศส ประกอบด้วยเครือข่ายร่วมเรียกว่า 18 Plus One Plus One Network หมายถึง หนึ่งเครือข่าย ประกอบด้วย 18 ระบบสำหรับแต่ละหน่วยย่อยและมีการเชื่อมต่อเครือข่ายใหญ่ เพื่อให้ทหารแต่ละคนสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารจาก Sensors และหน่วยต่างๆได้ (War-fighter Information Network-Tactical [WIN-T]) Secretary of the Army Dr.Francis J. Harvey ประกาศแผนงานโครงการ Future Combat System เมื่อเดือนเมษายน ปี 2548 ใช้งบประมาณ 112,000-117,000 ล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อพัฒนากองทัพบกสหรัฐให้สามารถส่งกำลังระดับกองพลน้อยเข้าปฏิบัติการรบได้ทุกจุดในโลกภายใน 96 ชั่วโมง ระดับกองพลเต็มรูปแบบภายใน 120 ชั่วโมง และกำลังรบ 5 กองพลภายใน 30 วัน โดยมีกำหนดเวลาในการพัฒนากองพลน้อยแรกภายในปี 2551 และพัฒนาอีก 32 กองพลน้อย ภายในปี 2557 มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลัก ได้แก่ ปืนใหญ่โจมตีเป้าหมายที่อยู่ห่างไกลเกินที่จะมองเห็นได้จากจุดยิง (Non-line-of-sight Cannon), ระบบนำวิถีโจมตีเป้าหมายที่อยู่ห่างไกลเกินที่จะมองเห็นได้ (Non-line-of-Site Launch System), อุปกรณ์ตรวจจับภาคพื้นดินที่ไม่ต้องเฝ้าใช้งาน (The Unattended Ground Sensors), อากาศยานปราศจากผู้ขับขี่ (Unmanned Aerial Vehicles) และยานยนต์รบหุ่นยนต์ (Armed Robotic Vehicles)

ยุทธศาสตร์ของกองทัพเรือสหรัฐก็มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก จาก NSPD (Navy



**No systems currently exist in the Micro (<8 lbs), Miniature (8-30 lbs), or Medium (20K-30K lbs) classes.*

Strategic Planning Guidance) Revision 2 ซึ่งกำหนดยุทธศาสตร์ตั้งแต่ปี 2545 ถึง 2568 ระบุความจำเป็นที่กองทัพต้องมีความเหนือกว่าในด้านข้อมูลข่าวสาร (Knowledge Superiority) การควบคุมและบัญชาการต้องได้รับข้อมูลข่าวสารประกอบการตัดสินใจแบบ Near Real Time จึงต้องมีเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศที่เข้มแข็ง เพื่อให้สามารถปฏิบัติการแบบศูนย์รวมเครือข่ายได้ (Network-centric Operation) นอกจากนี้ยังมีการประกาศแนวทางการปรับเปลี่ยนกองทัพเรือปี 2546 (Naval Transformation Roadmap 2003)

กองทัพอากาศสหรัฐกำหนดความต้องการด้านเครือข่ายและความสามารถในการปฏิบัติการร่วมไว้เป็นลำดับความต้องการสูงสุดในการพัฒนากองทัพอากาศเพื่อให้สามารถปฏิบัติการได้ตามแนวความคิดใหม่ 6 ประการในการปฏิบัติการทางอากาศไว้ในแผนงาน Air Force Transformation Flight Plan (November 2003)

อย่างไรก็ตาม การปฏิวัติทางทหารที่เกิดขึ้นจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศในรูปแบบ Network-centric Warfare นี้ ไม่ได้หมายความว่าเป็นการยุติหลักนิยมทางทหาร ยุทธศาสตร์ ยุทธวิธี ตลอดจนการเสริมสร้างกำลังทหารในรูปแบบหรือตามแนวความคิดที่มีมาในอดีต ขอให้ระลึกถึงความผิดพลาดที่นักการทหารหลายๆ คนเคยประกาศว่าเป็นการสิ้นสุดของยุคแห่งเครื่องบินรบเมื่อจรวดขีปนาวุธสร้างสำเร็จในอดีต มีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งกับความหมาย รูปแบบและขีดจำกัดของ Network-centric Warfare การทหาร ไม่ว่าจะเป็นยุคใดสมัยใดจะมีความต้องการเทคโนโลยีที่ใหม่ที่สุดอยู่เสมอ ซึ่งหมายถึงความต้องการงบประมาณที่สูงมากตามไปด้วย กองทัพบกสหรัฐประสบกับปัญหาในโครงการ Transformation เป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการที่สูงกว่าที่เทคโนโลยีจะสนับสนุนได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น ความต้องการคอมพิวเตอร์ที่สวมใส่

ได้ (Wearable Computer) สำหรับทหารราบในสมรภูมิย่อมต้องการการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เห็นได้ชัดเจนจากการที่กองทัพบกสหรัฐประกาศแผนงานความต้องการงบประมาณของโครงการ Future Combat Systems เพิ่มเติมประมาณ $20-25 billion เพิ่มขึ้นประมาณ 25% ของงบประมาณเดิมที่กำหนดไว้ที่ $92 billion เมื่อ 22 กรกฎาคม 2547

บทสรุป

ตั้งแต่ย่างเข้าศตวรรษที่ 21 ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศที่เคยเป็นเพียงอุปกรณ์เครื่องช่วยในการปฏิบัติการทหาร ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในวงการทหารครั้งยิ่งใหญ่ในทุกระดับตั้งแต่ระดับหน่วยปฏิบัติการรบไปจนถึงระดับกองบัญชาการเหล่าทัพ รวมทั้งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจนถึงแม้แต่แนวความคิดในการระดับยุทธศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงหลักนิยมการจัดหน่วยในทุกเหล่าทัพ โดยเฉพาะในระบบบัญชาการและควบคุม และแนวความคิดในการปฏิบัติการร่วม การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากในประเทศที่มีศักยภาพทางการทหารสูง นี่เป็นเพียงหนึ่งในตัวอย่างจริงของการเปลี่ยนแปลงในโลกยุคข้อมูลข่าวสาร ในขณะที่ในวงการธุรกิจเองก็มีการเปลี่ยนแปลงในระดับโลกไปพร้อมๆ กัน มองเห็นได้ชัดเจนจากรูปแบบของการบริหารจัดการระบบโซ่อุปทาน (Supply Chain Management)

การที่จะนำแนวความคิด Network-centric Warfare มาประยุกต์ใช้อย่างเต็มรูปแบบคงต้องพิจารณาความพร้อมขององค์กรที่จะรองรับระบบใหม่ ไม่ว่าจะเป็นด้านขีดความสามารถของอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในระบบ เช่น ความแม่นยำของระบบนำวิถี ขีดความสามารถในการเชื่อมต่อใช้งานเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ เครือข่ายที่สามารถปฏิบัติการด้วยความเชื่อถือสูงพร้อมกับระบบรักษาความปลอดภัยที่เชื่อถือได้ ด้านศักยภาพในการหาข่าว ด้านการข่าว สามารถสนับสนุนภาพถ่ายทางดาวเทียมในลักษณะ Near Real Time ไปยังหน่วยปฏิบัติการได้อย่างทั่วถึงพอเพียงหรือไม่? ความพร้อมของบุคลากรว่ามีความเข้าใจและเห็นด้วยกับแนวความคิดใหม่ หัวหน้าหน่วยพร้อมที่จะรับผิดชอบภารกิจที่มอบหมายลงไปถึงหน่วยปฏิบัติการย่อยทุกหน่วยหรือไม่? และที่สำคัญที่สุดได้แก่มีงบประมาณพอเพียงที่จะสนับสนุนให้ใช้งานได้อย่างเต็มรูปแบบหรือไม่?

อย่างไรก็ตาม Network-centric Warfare เป็นกรณีศึกษาที่น่าศึกษาเป็นอย่างยิ่งในโลกยุคข้อมูลข่าวสาร ความเข้าใจในความสำคัญของเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโดยเฉพาะในการปฏิบัติการร่วม ความสำคัญของความเหนือกว่าในการรับรู้ข่าวสาร และผลกระทบที่เกิดขึ้นไปจนถึงทุกระดับ การกระจายอำนาจไปสู่ทุกระดับ ฯลฯ เหล่านี้สามารถนำแนวความคิดของ Network-centric Warfare ไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกกิจการและทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นระดับองค์กรรวมประยุกต์ใช้ในบางโครงการ หรือในบางกิจกรรมลงไปถึงระดับหน่วยงานย่อยเล็กๆ หรือแม้แต่ส่วนบุคคลที่จะใช้ประโยชน์จากเครือข่ายสื่อสารสารสนเทศเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารรับรู้สถานการณ์จริงก่อนผู้อื่น ทำให้สามารถรวมกำลัง รวมพลัง ที่จะดำเนินการให้ประสบผลสำเร็จได้อย่างรวดเร็ว ◎

"What we are seeing, in moving from the Industrial Age to the Information Age, is what amounts to a new theory of war: power comes from a different place, it is used in different ways, it achieves different effects than it did before. During the Industrial Age, power came from mass. Now power tends to come from information, access,

and speed. We have come to call that new theory of war network-centric warfare. It is not only about networks, but also about how wars are fought–how power is developed."

Vice Admiral (Ret.) Arthur K. Cebrowski,
Director, Office of Force Transformation,
IEEE Spectrum,
July 2002

เอกสารอ้างอิง

Director, Force Transformation Office of the Secretary of Defense, 1000 Defense Pentagon, Washington, D.C. 20301-1000, "The Implementation of Network-Centric Warfare", Date of Publication: January 5, 2005, www.oft.osd.mil

Mr. John Luddy, Lexington Institute 1600 Wilson Boulevard, Suite 900 Arlington, VA 22209, "The Challenge and Promise of Network-Centric Warfare", February 2005, www.lexingtoninstitute.org

"เทคโนโลยีกับสงคราม–นวัตกรรมที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง" Tortaharn.net

นาวาอากาศโทประภาส สอนใจดี, "แนวความคิดในปัจจุบันสู่ความเป็นจริงในอนาคต" 15 มิถุนายน 2548, www.rtaf.mi.th

ดร.พิเชฐ ดุรงคเวโรจน์, "สงครามกับไอที" หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ คอลัมน์ "ทางด่วนสายไอที", 19 กันยายน 2545

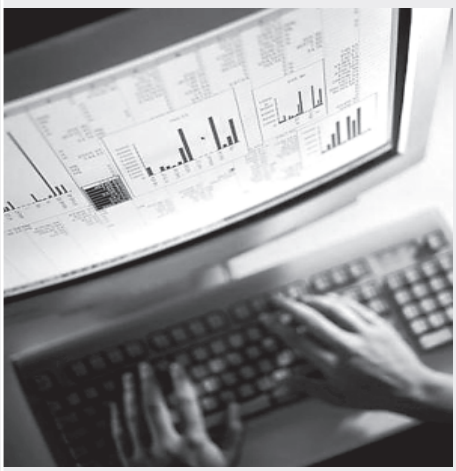
Okamoto Tomohiro, "軍事革命」の革命たる所以について DRC 研究委員

Okamoto Tomohiro, "「新たな戦争」の戦闘様相について, DRC 研究委員

社団法人日本機械工業連合会日本戦略研究フォーラム" 平15成年度 最近の事例における防衛装備の質的変動と防衛機器産業への影響調査報告書, มีนาคม 2547

ระบบสื่อสารกองทัพไทย (Military Communications System)

พลโท สมพล วีระศักดิ์
เจ้ากรมการสื่อสารทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด



ระบบสื่อสารกองทัพไทย (Military Communications System) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอำนาจกำลังรบของกองทัพ ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยงานของกองทัพและหน่วยงานด้านความมั่นคงอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในยามปกติและสงคราม ระบบสื่อสารกองทัพไทยถูกออกแบบตามความจำเป็นและวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างจากระบบสื่อสารเชิงพาณิชย์ในหลายประการด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อถือได้ (Reliability) ความคงอยู่ (Availability) และการรักษาความปลอดภัย (Security) ตลอดจนความเหมาะสมในการใช้งานในสถานการณ์ สภาพแวดล้อมและห้วงเวลาที่แตกต่างกัน กองทัพไทยตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีระบบสื่อสารของกองทัพให้สามารถสนับสนุนการสื่อสารสมัยใหม่ในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขีดความสามารถในการสนับสนุนระบบควบคุมบังคับบัญชาและสั่งการ (C^4I) อย่างเพียงพอ สามารถสนับสนุนการปฏิบัติภารกิจที่ได้รับ

มอบหมายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้การดำเนินการของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารกองทัพไทยจะต้องเป็นไปอย่างบูรณาการ ดำเนินงานตามความจำเป็นและภารกิจของหน่วย ไม่ซ้ำซ้อน ตระหนักถึงเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันและในอนาคต ตลอดจนอายุการใช้งานของอุปกรณ์และระบบสื่อสารที่กองทัพจัดหามาใช้งานภายในกองทัพที่ยาวนาน มีการส่งกำลังบำรุงที่ดี สามารถปรับปรุงให้ทันสมัยเมื่อเทคโนโลยีเปลี่ยนไป โดยใช้งบประมาณอย่างคุ้มค่า

1. กล่าวนำ

เทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคม เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดผลแพ้ชนะของการยุทธ์ในแต่ละครั้งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการรบตามแบบ การรบนอกแบบ หรือแม้กระทั่งการป้องกันปราบปรามการก่อความไม่สงบภายในประเทศก็ตาม ขีดความสามารถในการกระจายและควบคุมข้อมูลข่าวสารที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนงานด้านกำลังพล การข่าว ยุทธการ การส่งกำลังบำรุง และกิจการพลเรือน นับได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอำนาจกำลังรบของกองทัพ การกระจายและควบคุมข้อมูลข่าวสารสามารถทำได้โดยผ่านระบบสื่อสารซึ่งมีโครงข่ายตามลำดับชั้นการจัดองค์กรจนถึงกำลังพลผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นกำลังรบหลัก การพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมและสารสนเทศทำให้กองทัพมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีอยู่ให้สามารถสนับสนุนภารกิจที่ได้รับมอบและสนองตอบความต้องการการสื่อสารสมัยใหม่ของหน่วยงานได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ

กองทัพไทยตระหนักถึงความสำคัญของการสื่อสารสารสนเทศ มีการจัดหน่วยงานเพื่อรับผิดชอบด้านการสื่อสารของกองทัพทั้งในยามปกติและสงครามในทุกระดับและสถานการณ์ การสนับสนุนด้านการสื่อสารจะต้องมีความเชื่อถือได้ รวดเร็วและเพียงพอ เนื่องจากการสื่อสารเป็นเสียงของผู้บังคับบัญชาในการสั่งการให้หน่วยใต้บังคับบัญชาปฏิบัติตามแผนงานและยุทธวิธีที่กำหนด กองทัพไทยมีแผนงานการพัฒนาระบบควบคุมบังคับบัญชาและสั่งการ (C^4I) ที่มีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้แผนงานดังกล่าวจะประสบความสำเร็จก็ต่อเมื่อมีระบบสื่อสารที่มีความทันสมัยและเพียงพอ

2. ระบบสื่อสารกองทัพไทย

ระบบสื่อสารกองทัพไทย ประกอบไปด้วยระบบที่สำคัญ คือ ระบบโทรคมนาคมทหาร ระบบสื่อสารทางยุทธวิธี และระบบสื่อสารสนับสนุนภารกิจเฉพาะ ซึ่งแต่ละระบบจะมีขีดความสามารถความจำเป็นในการใช้งาน และคุณลักษณะทางเทคนิค ตลอดจนองค์ประกอบของโครงข่ายการสื่อสารที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

2.1 **ระบบโทรคมนาคมทหาร** เป็นโครงข่ายการสื่อสารทางยุทธศาสตร์และเป็นโครงข่ายการสื่อสารขนาดใหญ่ ประกอบด้วยโครงข่ายหลัก (Backbone) ปมโทรคมนาคม (Access Nodes) และโครงข่ายย่อย (Access Networks) ได้รับการออกแบบให้สามารถสนับสนุนการสื่อสารให้กับกองทัพเช่นเดียวกับโครงข่ายการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยทั่วไป แต่จะต้องมีความปลอดภัย (Security) และความเชื่อถือได้ (Reliability) ที่ดีกว่า ในปัจจุบันหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบระบบโทรคมนาคมทหาร ได้แก่ กรมการสื่อสารทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด โดยมีโครงข่ายหลัก (Backbone) คลอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศให้กับทุกเหล่าทัพใช้ร่วมกันมีขีดความสามารถให้บริการการสื่อสารประเภทเสียงและข้อมูลให้กับหน่วยงานด้านความมั่นคงทั่วประเทศ

2.2 **ระบบสื่อสารทางยุทธวิธี** มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสนับสนุนภารกิจทางทหารของหน่วยกำลังรบ ถูกออกแบบให้เป็นโครงข่ายย่อย (Access Networks) สามารถเชื่อมต่อเข้ากับปมโทรคมนาคมทหาร (Access Nodes) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารกองทัพไทย ดังนั้น คุณลักษณะที่สำคัญของระบบสื่อสารทางยุทธวิธีนอกจากความปลอดภัย (Security) และความเชื่อถือได้ (Reliability) แล้ว จำเป็นต้องมีความคล่องตัว สามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว สนองตอบต่อภารกิจที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ลมฟ้าอากาศต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เป็นระบบสื่อสารที่ถูกออกแบบเฉพาะสำหรับสนับสนุนการปฏิบัติการทางทหารให้กับหน่วยกำลังรบของกองทัพ

2.3 **ระบบสื่อสารสนับสนุนภารกิจเฉพาะ** เป็นระบบสื่อสารที่ถูกออกแบบให้มีความคล่องตัวในการสนับสนุนภารกิจเฉพาะที่กองทัพได้รับมอบหมายได้อย่างหลากหลาย เช่น ระบบสื่อสารเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการของกองกำลังรักษาสันติภาพ องค์การสหประชาชาติ ระบบสื่อสารเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติภารกิจของหน่วยทหารขนาดเล็กที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลไม่สามารถสนับสนุนการสื่อสารได้ด้วยระบบสื่อสารขนาดใหญ่ การสนับสนุนการสื่อสารเมื่อเกิดภัยธรรมชาติที่ร้ายแรงและระบบสื่อสารพลเรือนไม่สามารถสนับสนุนการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดธรณีพิบัติภัย อุทกภัย เป็นต้น ดังนั้นกองทัพจึงจำเป็นต้องมีระบบสื่อสารที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการสนับสนุนภารกิจเหล่านี้

3. แนวทางการพัฒนาระบบสื่อสารกองทัพไทย

ระบบสื่อสารของกองทัพส่วนใหญ่ได้รับการติดตั้งและใช้งานมาเป็นเวลานาน บางส่วนมีอายุการใช้งานมากกว่าสามสิบปี มีการปรับปรุงพัฒนาตามความจำเป็นภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านงบประมาณที่กองทัพได้รับจัดสรรมาตามลำดับ ระบบสื่อสารส่วนใหญ่ยังสามารถใช้งานได้ดี มีขีดความสามารถในการสนับสนุนให้หน่วยงานบรรลุภารกิจที่ได้รับมอบหมาย บางส่วนได้รับการปรับปรุงและพัฒนาตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ แต่ก็ยังมีอีกจำนวนมากที่ยังจำเป็นต้องพัฒนาเพิ่มเติมขีดความสามารถให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการการสื่อสารของหน่วยงานของกองทัพได้ แนวทางในการพัฒนาระบบสื่อสารของกองทัพสรุปได้ดังนี้

3.1 **ระบบโทรคมนาคมทหาร** เป็นระบบสื่อสารหลักของกองทัพทั้งยามปกติและสงคราม จะต้องสามารถสนับสนุนการสื่อสารประเภทเสียงและประเภทข้อมูล ระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารสำหรับระบบควบคุมบังคับบัญชาและสั่งการ (C^4I) ของกองทัพ การพัฒนาที่สำคัญซึ่งกรมการสื่อสารทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด และหน่วยงานด้านการสื่อสารของกองทัพได้กำหนดร่วมกัน ได้แก่

- การพัฒนาโครงข่ายหลัก (Backbone) ในระบบปัจจุบันให้เป็นโครงข่ายความเร็วสูงเพียงพอที่จะสนับสนุนการสื่อสารของกองทัพไทยอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ทุกหน่วยงานของกองทัพได้ร่วมกันพิจารณาเพื่อให้การดำเนินการ ไม่เกิดความซ้ำซ้อนสิ้นเปลืองงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรอย่างจำกัดและมีการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- การพัฒนาไปสู่โครงข่ายการสื่อสารสมัยใหม่ (Next Generation Networks: NGN) เพื่อให้การเชื่อมต่อการสื่อสารของหน่วยต่างๆ ในทุกระดับสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้ด้วยโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol: IP) ทำให้การเชื่อมต่อการสื่อสารของหน่วยงานต่างๆ ของกองทัพสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งในปัจจุบัน

กรมการสื่อสารทหารกำลังพัฒนาไปสู่โครงข่ายการสื่อสารสมัยใหม่โดยมีแผนงานที่จะเปลี่ยนระบบการสื่อสารทั้งหมดของระบบโทรคมนาคมไปสู่ NGN มีการเชื่อมต่อด้วย IP ผ่านโครงข่ายหลักของระบบโทรคมนาคมทหาร

เมื่อการพัฒนาแล้วเสร็จหน่วยงานของกองทัพไทยก็จะมีโครงข่ายหลักที่มีความเร็วสูง มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารของหน่วยงานต่างๆ อย่างสมบูรณ์ผ่านโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต

3.2 **ระบบสื่อสารทางยุทธวิธี** มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากระบบสื่อสารของพลเรือนโดยทั่วไป แม้ว่าขีดความสามารถของระบบในการสนับสนุนการสื่อสารจะมีจำกัด แต่คุณสมบัติและหลักนิยมทางทหารจะเป็นปัจจัยกำหนดคุณลักษณะและขีดความสามารถของระบบสื่อสารทางยุทธวิธี ทั้งนี้การพัฒนาระบบสื่อสารทางยุทธวิธีที่สำคัญได้แก่

- การพัฒนาการเชื่อมต่อไปสู่โครงข่ายหลักของระบบโทรคมนาคมทหารให้สามารถสนับสนุนการสื่อสารเชื่อมต่อหน่วยดำเนินกลยุทธ์เข้ากับระบบควบคุมบังคับบัญชาและสั่งการ (C^4I) อย่างมีประสิทธิภาพ
- การพัฒนาเพื่อให้ระบบมีขีดความสามารถสนับสนุนการสื่อสารประเภทข้อมูล (Data Communications) และเพิ่มความจุ (Capacity) ให้เพียงพอต่อความต้องการ
- การพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถของอุปกรณ์ปลายทาง (User Terminals) ให้มีความทันสมัยและสามารถสนองตอบต่อความต้องการของผู้ใช้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

3.3 **ระบบสื่อสารสำหรับภารกิจเฉพาะ** เป็นระบบการสื่อสารที่มีหลักนิยมในการใช้งานที่แตกต่างจากระบบสื่อสารประเภทอื่นๆ จะต้องเป็นระบบสื่อสารที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง คือ มีส่วนประกอบของโครงข่ายโทรคมนาคมครบทุกส่วน สนับสนุนการสื่อสารได้อย่างกว้างไกล มีขีดจำกัดในเรื่องของระยะทางน้อย มีความคล่องตัว ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน ระบบสื่อสารสำหรับภารกิจเฉพาะในอุดมคติ อาจประกอบด้วยข่ายเชื่อมโยงด้วยระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบการสื่อสารด้วยวิทยุย่าน High Frequency (HF) หรือ Troposcatters ที่สามารถสนับสนุนการสื่อสารได้เป็นระยะทางไกล โครงข่ายย่อยและอุปกรณ์การสื่อสารปลายทาง เป็นระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communications System) เนื่องจากระบบการสื่อสารสำหรับภารกิจเฉพาะเป็นความจำเป็นใหม่ในกองทัพไทยที่จำเป็นต้องปฏิบัติภารกิจอื่นใดที่มิใช่ภารกิจหลักทางทหาร หน่วยงานด้านการสื่อสารของกองทัพจำเป็นต้องพิจารณาระบบการสื่อสารที่เหมาะสมเพื่อที่จะสามารถสนับสนุนภารกิจของกองทัพที่เพิ่มขึ้น และสนับสนุนการสื่อสารในยามจำเป็นของชาติเมื่อจำเป็น ไม่สามารถสนับสนุนด้วยระบบสื่อสารพลเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สรุป

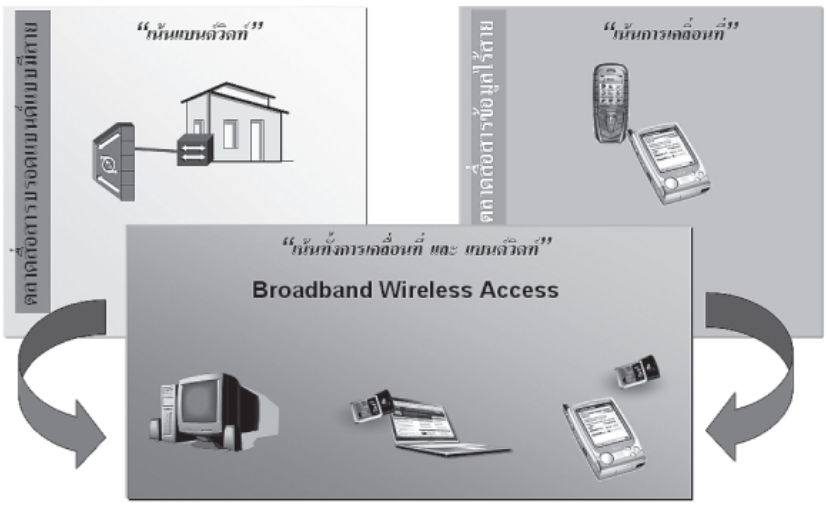
ระบบสื่อสารของกองทัพมีความสำคัญต่อความมั่นคงของชาติ แม้กองทัพไม่จำเป็นที่จะต้องมีระบบสื่อสารที่มีความทันสมัยและประสิทธิภาพสูงสุด แต่กองทัพก็จำเป็นที่จะต้องดำรงขีดความสามารถของระบบสื่อสารให้มีความมั่นใจว่าระบบสื่อสารของกองทัพมีความเชื่อถือได้ มีความปลอดภัยสูง และยังคงอยู่แม้ว่าระบบพลเรือนอื่นๆ จะประสบกับปัญหาไม่สามารถให้การสนับสนุนความต้องการด้านการสื่อสารก็ตาม กองทัพมีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาระบบสื่อสารของกองทัพให้มีความทันสมัย สามารถให้บริการด้านการสื่อสารได้อย่างหลากหลาย มีขีดความสามารถสนับสนุนด้านการสื่อสารให้กับหน่วยงานของกองทัพและหน่วยงานด้านความมั่นคงอื่นๆ ให้สามารถปฏิบัติภารกิจที่ได้รับมอบหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ◎

Broadband Wireless Access นิยามใหม่แห่งการสื่อสารไร้สาย

นายไพโรจน์ ไววานิชกิจ
Assistant Vice President กลุ่มธุรกิจสื่อสาร บริษัท ซีเมนส์ จำกัด

Broadband Wireless Access คืออะไร

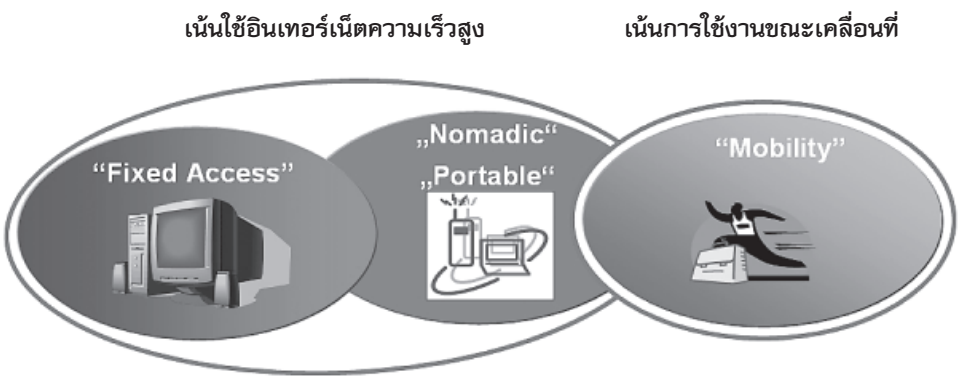
หากพิจารณาถึงบริการสื่อสารโทรคมนาคมที่มีวิวัฒนาการจากอดีตจนกลายเป็นบริการหลักที่ได้รับความนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ก็จะพบว่าสามารถแบ่งเทคโนโลยีออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามพฤติกรรมของการใช้บริการ คือ บริการสื่อสารแบบมีสาย (Fixed Line หรือ Wire Line Communication) ซึ่งส่วนใหญ่พัฒนามาจากการสื่อสารทางเสียงผ่านคู่สายโทรศัพท์ กับการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ซึ่งเริ่มพัฒนามาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นแรกๆ ของโลก การสื่อสารเหล่านี้ล้วนถือเป็นการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมกับผู้ใช้บริการ (User-Network Interface) โดยบทความเรื่องนี้จะไม่กล่าวถึงการเชื่อมต่อกันเองภายในเครือข่ายโทรคมนาคม ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสื่อสารด้านต่างๆ ทำให้มนุษย์สามารถพัฒนาขีดความสามารถของตัวกลางในการสื่อสาร



รูปที่ 1 นิยามของกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดสำหรับบริการ Broadband Wireless Access

ข้อมูลทั้งสองประเภท ซึ่งก็คือสายทองแดงในกรณีของการสื่อสารแบบใช้สาย และคลื่นความถี่วิทยุสำหรับการสื่อสารไร้สาย ให้สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูงยิ่งขึ้นได้ จนทำให้เกิดธุรกิจสื่อสารข้อมูลอัตราเร็วสูง ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อของ "บรอดแบนด์" (Broadband) โดยเริ่มต้นจากการถือกำเนิดขึ้นของเทคโนโลยี DSL (Digital Subscriber Line) ซึ่งเป็นการสื่อสารโดยใช้สาย เมื่อกว่า 10 ปีที่แล้ว ยังผลให้ปัจจุบันประเทศจำนวนมากทั่วโลกมีการเปิดให้บริการสื่อสารแบบ ADSL (Asymmetric DSL) เพื่อรองรับการท่องเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบต่างๆ อย่างแพร่หลาย

ในโลกของการสื่อสารแบบไร้สาย ก็มีวิวัฒนาการของเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากความสำเร็จอย่างงดงามในเชิงพาณิชย์ของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM และ CDMA ต่อเนื่องไปสู่การเปิดตลาดสื่อสารข้อมูลแบบ Non-Voice พร้อมข้อกำหนดสำหรับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายยุค 2.5G และ 2.75G รวมถึงการก้าวไปสู่มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G สำหรับการรองรับข้อมูลไร้สายอย่างเต็มรูปแบบ ด้วยเทคโนโลยีทางเลือกทั้งแบบ UMTS และ CDMA2000 ดังได้กล่าวถึงไว้ในบทความตอนแรก อย่างไรก็ตาม ต้องยอมรับว่าพัฒนาการของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายยังไม่อาจตามทันอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบมีสายได้ ยกตัวอย่างเช่น มาตรฐาน 3G แบบ W-CDMA ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที ก็ยังถือว่าช้าเมื่อเทียบกับคู่สาย ADSL มาตรฐานที่เปิดให้บริการในปัจจุบัน ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ 512 กิโลบิตต่อวินาที แต่การสื่อสารแบบไร้สายก็ยังมีจุดเด่นในเรื่องของการใช้งานในขณะเคลื่อนที่ (Mobility) และยังสามารถใช้งานข้ามพื้นที่ (Roaming) ได้ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในกรณีของการสื่อสารแบบมีสาย โดยเฉพาะ DSL มาตรฐานต่างๆ



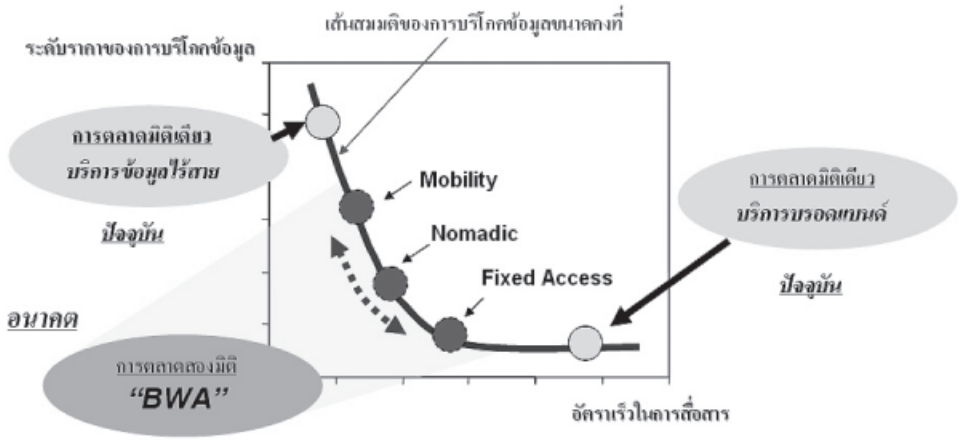
รูปที่ 2 ทางเลือกในการเปิดให้บริการ Broadband Wireless Access

เมื่อพิจารณาความเป็นจริงของการสื่อสารทั้งสองประเภทแล้ว ก็พบว่าตลาดสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบัน ยังมีช่องว่างที่สามารถพัฒนาให้เกิดเป็นมูลค่าขึ้นได้ ด้วยการกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดที่สนใจการสื่อสารแบบบรอดแบนด์พร้อมๆ กับต้องการใช้งานได้ในขณะเดินทางหรือเคลื่อนที่ บรรดาผู้ประกอบการในธุรกิจสื่อสารโทรคมนาคมจึงนิยามตลาดกลุ่มใหม่นี้โดยให้ชื่อว่า Broadband Wireless Access (BWA) หรือการสื่อสารบรอดแบนด์แบบไร้สาย พร้อมกับกำหนดเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่เหมาะสม เพื่อรองรับบริการดังกล่าว ทั้งนี้เทคโนโลยีใดๆ ก็ตามที่จะสามารถรองรับธุรกิจ BWA ได้นั้นจะต้องเป็นทั้งมาตรฐานสื่อสารที่เน้นแบนด์วิดท์ (Bandwidth) สำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูง และต้องรองรับการใช้งานในขณะเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 1

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมการใช้บริการสื่อสารข้อมูลของผู้บริโภคโดยทั่วไปในทางปฏิบัติแล้ว ก็พบว่ามีทางเลือกในการนำเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับตลาดแบบ BWA ได้ถึง 3 ลักษณะด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนี้

- **กลุ่มผู้ใช้งานประจำที่ (Fixed Access)** เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการสื่อสารแบบบรอดแบนด์ที่ใช้งานอยู่ประจำที่ตายตัว เช่น ภายในบ้านหรือสำนักงาน หากแต่มีข้อจำกัดในการเชื่อมต่อวงจรบรอดแบนด์แบบมีสายเพื่อเข้าไปในพื้นที่ดังกล่าว เช่น เป็นถิ่นทุรกันดาร หรือผู้ให้บริการวงจรสื่อสารแบบบรอด-แบนด์ยังไม่มีเครือข่ายในพื้นที่ดังกล่าว จึงเป็นทางเลือกในการนำเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายในลักษณะ BWA ไปให้บริการในกลุ่มผู้ใช้งานดังกล่าว

- **กลุ่มผู้ใช้งานแบบเคลื่อนที่เล็กน้อย (Nomadic and Portable)** เป็นผู้ใช้บริการที่ยังมีพฤติกรรมการใช้งานอยู่เป็นที่ แต่อาจมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย เช่น การใช้อุปกรณ์ประมวลผล

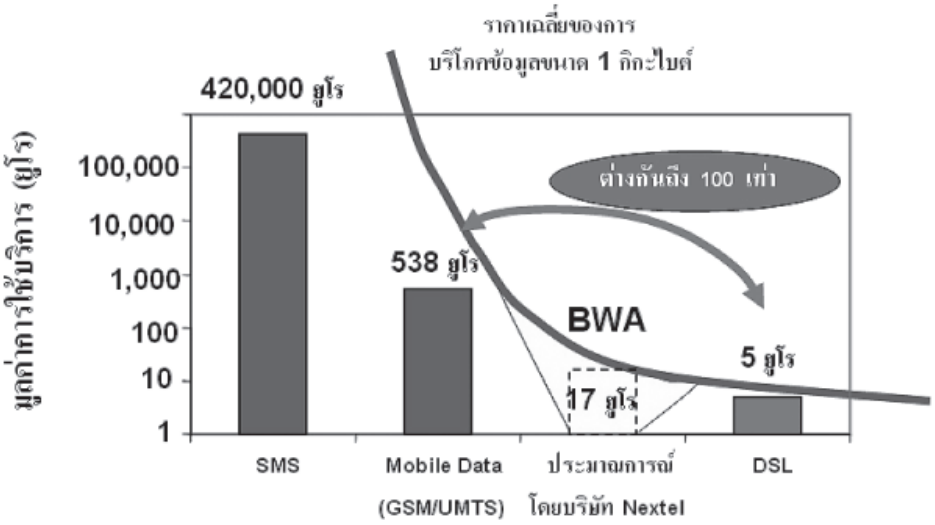


รูปที่ 3 ตำแหน่งทางการตลาดของบริการ Broadband Wireless Access
(ข้อมูลจากบริษัทวิจัยทางการตลาดแห่งหนึ่งในยุโรป)

แบบ PDA หรือเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คที่ติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารไร้สายไว้ ซึ่งอาจมีการเดินไปมาหรือย้ายตำแหน่งที่ใช้งานบ้าง แต่ไม่ถึงกับมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ดังเช่น ในกรณีของการใช้อุปกรณ์ประมวลผลไร้สายในอาคารสำนักงานหรือภายในร้านอาหารต่างๆ เป็นต้น

- **กลุ่มผู้ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา (Mobility)** เป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่งอยู่ตลอดเวลา บางรายอาจมีการใช้งานในยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เช่น ภายในรถยนต์หรือรถไฟ ในทางการตลาดถือว่าผู้ใช้บริการกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีกำลังซื้อสูงที่สุด เนื่องจากต้องการความสะดวกทั้งการสื่อสารแบบบรอดแบนด์พร้อมๆ กับการใช้งานได้แม้ในขณะเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เกิดการลงทุนสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายที่มีศักยภาพสูงเพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว ถือเป็นกลุ่ม “พรีเมียม” (Premium Subscriber) ที่มีแนวโน้มว่าจะเติบโตขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อพิจารณาในมุมมองของบรรดาผู้ประกอบการในธุรกิจสื่อสารไร้สายแล้ว บริการ BWA ยังต้องการการกำหนดตำแหน่งทางการตลาด (Market Positioning) ที่ชัดเจนเพื่อเป็นหลักประกันถึงการเติบโตและการประสบความสำเร็จในอนาคต รูปที่ 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์ของบริษัทวิจัยแห่งหนึ่งในยุโรป ซึ่งทดลองคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระดับราคากับปริมาณข้อมูลที่มีการบริโภค โดยเปรียบเทียบระหว่างบริการสื่อสารชนิดบรอดแบนด์แบบมีสาย และการสื่อสารไร้สายโดยทั่วไป พบว่าที่ปริมาณการบริโภคข้อมูลเท่ากัน (เส้นสีแดง) ระดับราคาที่ผู้บริโภคต้องจ่ายผ่านบริการสื่อสารไร้สายมีมูลค่าสูงกว่าการบริโภคข้อมูลในปริมาณเท่ากันโดยใช้บริการแบบบรอดแบนด์โดยทั่วไปมาก ข้อเท็จจริงนี้เกิดในประเทศไทยเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงการคิดค่าบริการสื่อสารแบบรอดแบนด์ซึ่งปัจจุบันกำหนดอัตราค่าบริการรายเดือนประมาณ 500-600 บาท สำหรับการ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบมูลค่าทางธุรกิจของบริการสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆ
(ข้อมูลจากบริษัทวิจัยทางการตลาดแห่งหนึ่งในยุโรป)

สื่อสารด้วยอัตราเร็ว 512/256 กิโลบิตต่อวินาที โดยไม่สนใจปริมาณข้อมูลที่มีการรับส่ง ในขณะที่การสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทั่วไปคิดราคาตามปริมาณข้อมูลในอัตราประมาณ 1 บาทต่อ 100 กิโลไบต์ ถ้ายิ่งมีการรับส่งข้อมูลในปริมาณที่มากขึ้นเท่าใด ราคาค่าใช้บริการสื่อสารไร้สายก็จะแพงกว่าการใช้เครือข่ายบรอดแบนด์เป็นเงาตามตัว

แกนนอนของรูปที่ 3 ยังแสดงให้เห็นว่าบริการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราเร็วในการสื่อสารเมื่อเทียบกับบริการแบบบรอดแบนด์ นั่นคือการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีราคาแพงกว่าการสื่อสารแบบบรอดแบนด์ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลอีกด้วย การนิยามตลาดสื่อสารแบบ BWA ซึ่งถือเป็นการผสมผสาน 2 มิติทางการตลาด ทั้งในเรื่องของบรอดแบนด์และการสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้ผู้ประกอบการสามารถประนีประนอม (Compromise) ข้อจำกัดและปัจจัยทางเทคนิคต่างๆ ได้อย่างลงตัว โดยระดับราคาสำหรับการบริโภคข้อมูลต่ำลงกว่าการสื่อสารแบบไร้สาย แม้จะยังมีราคาสูงกว่าการสื่อสารแบบบรอดแบนด์อยู่บ้าง แต่ก็ถือว่าแลกกับความคล่องตัวในการใช้งานในขณะเคลื่อนที่ ทั้งนี้การกำหนดราคาค่าบริการและอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของบริการ BWA ขึ้นอยู่กับประเภทของการให้บริการตามกลุ่มผู้ใช้บริการทั้ง 3 ประเภทดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

เพื่อเป็นการยืนยันถึงโอกาสทางธุรกิจของบริการ BWA บริษัทวิจัยดังกล่าวยังได้ทำการคำนวณเปรียบเทียบมูลค่าทางการตลาดระหว่างบริการสื่อสารข้อมูลชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทั้งที่เป็นการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น บริการ SMS (Short Message Service) ซึ่งรวมถึงบริการรับส่งรูปภาพและเสียงเรียกเข้าต่างๆ ไว้ด้วยกัน และบริการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Data) ซึ่งรวมการรับส่งรูปภาพแบบ MMS

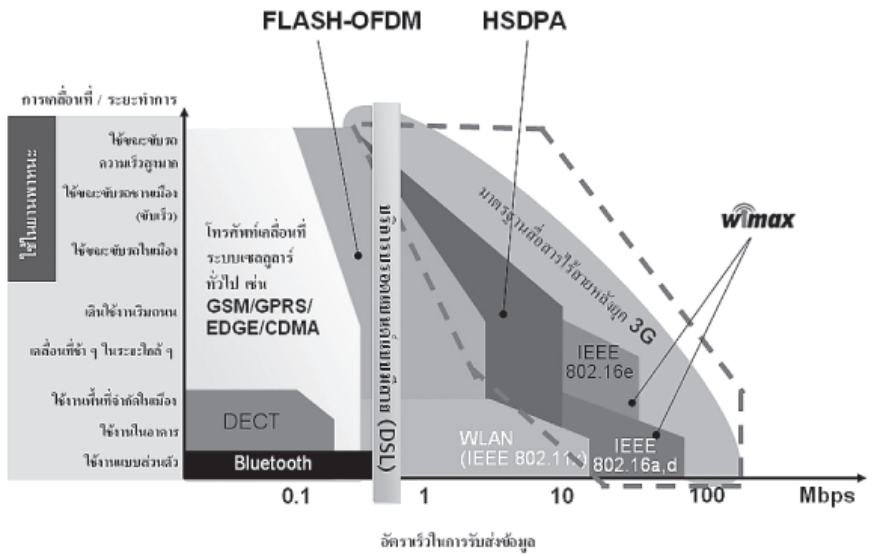
(Multimedia Messaging Service) รวมถึงบริการสื่อสารข้อมูลบรอดแบนด์ผ่านเทคโนโลยี DSL พร้อมกับเปรียบเทียบกับมูลค่าทางการตลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นทันทีที่มีการเปิดให้บริการ BWA ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่าที่ปริมาณข้อมูลซึ่งมีการรับส่งเท่าๆ กัน คือ 1 กิกะไบต์นั้น ระดับราคาของการสื่อสารผ่านบริการ BWA คิดเฉลี่ยบนกลุ่มผู้ใช้งานแต่ละประเภทมีมูลค่าประมาณ 17 ยูโร (หรือประมาณ 1,050 บาท) เมื่อเทียบกับมูลค่าของการสื่อสารผ่านวงจรบรอดแบนด์แบบมีสายที่มีราคาเพียง 5 ยูโร (หรือประมาณ 250 บาท) แม้จะมีมูลค่าทางการตลาดต่ำกว่าการสื่อสารแบบ Mobile Data กว่า 31 เท่า แต่สำนักวิจัยและบรรดาผู้ประกอบการเครือข่ายสื่อสารไร้สายก็เชื่อมั่นว่าความหลากหลายของบริการผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย จะช่วยทำให้มูลค่าทางการตลาดของบริการ BWA เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นไปได้ว่าบริการ Mobile Data ก็จะถูกผนวกไปเป็นส่วนหนึ่งของบริการ BWA ในท้ายที่สุด

เทคโนโลยีทางเลือกสำหรับบริการ Broadband Wireless Access

ดังที่ผู้เขียนได้กล่าวไปแล้วว่า BWA เป็นการกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดใหม่ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่เหมาะสมและสามารถผลักดันให้บริการ BWA ประสบความสำเร็จในอนาคตอันใกล้จึงเป็นข้อพิจารณาสำคัญสำหรับผู้ประกอบการเครือข่ายสื่อสารทั่วโลก ในที่นี้การทำตลาด BWA มิได้จำกัดอยู่เฉพาะแต่เพียงผู้ให้บริการเครือข่ายสื่อสารไร้สายเท่านั้น หากแต่ยังเป็นโอกาสที่เปิดกว้างให้กับผู้ให้บริการเครือข่ายสื่อสารแบบมีสาย ไม่ว่าจะเป็นบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐาน ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider หรือ ISP) หรือแม้กระทั่งนักลงทุนหน้าใหม่ที่สนใจการให้บริการบรอดแบนด์ไร้สายในลักษณะของ BWA อีกด้วย

การที่จะพิจารณาว่าเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแบบใดเข้าข่ายที่จะเป็นตัวเลือกให้กับบริการ BWA นั้น ปัจจุบันดูจากอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูล โดยบรรดาผู้ประกอบการโทรคมนาคมทั่วโลกเห็นพ้องกันว่าให้ใช้อัตราเร็ว 512 กิโลบิตต่อวินาทีเป็นจุดอ้างอิง เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายชนิดใดรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วกว่าค่าดังกล่าวก็ให้ถือว่าเข้าข่ายเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับบริการ BWA สาเหตุที่ใช้ค่าดังกล่าวก็เพราะอัตราเร็ว 512 กิโลบิตต่อวินาทีเป็นค่ามาตรฐานที่ผู้ใช้บริการบรอดแบนด์แบบ ADSL ทั่วไปใช้งานอยู่ สามารถใช้อ้างอิงในเชิงของประสิทธิภาพและความเคยชินในการใช้งานได้ทั่วไป ซึ่งการกำหนดนิยามดังกล่าวมีผลทำให้มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล 2G ทั้งหลาย ไม่ว่าจะเป็น GSM, GPRS, EDGE และ CDMA หมดสิทธิ์เป็นทางเลือกสำหรับบริการ BWA ไปโดยทันที เนื่องจากในบรรดามาตรฐานเหล่านี้ EDGE เป็นเทคโนโลยีที่รองรับอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงที่สุดคือ 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งก็ยังไม่ถึงขั้นเหมาะสมให้บริการ BWA ตามนิยามที่กำหนดไว้ข้างต้น แม้จะเป็นมาตรฐาน 3G แบบ W-CDMA ซึ่งมีอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาทีก็ยังไม่อาจนำมาเปิดให้บริการ BWA ให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดไว้

เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายชนิดใหม่ๆ ที่สามารถนับได้ว่าเป็นทางเลือกในการเปิดบริการ BWA ในปัจจุบันมีอยู่เพียง 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเปิดให้บริการ BWA แตกต่างกันไป ซึ่งในอนาคตอันใกล้ก็มีความเป็นไปได้ที่จะมีเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายชนิดใหม่ๆ ซึ่งได้รับการพัฒนาศักยภาพให้สูงขึ้นและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับบริการ BWA ในที่นี้ผู้เขียนขอกล่าวถึงเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายทางเลือกที่มีอยู่ 3

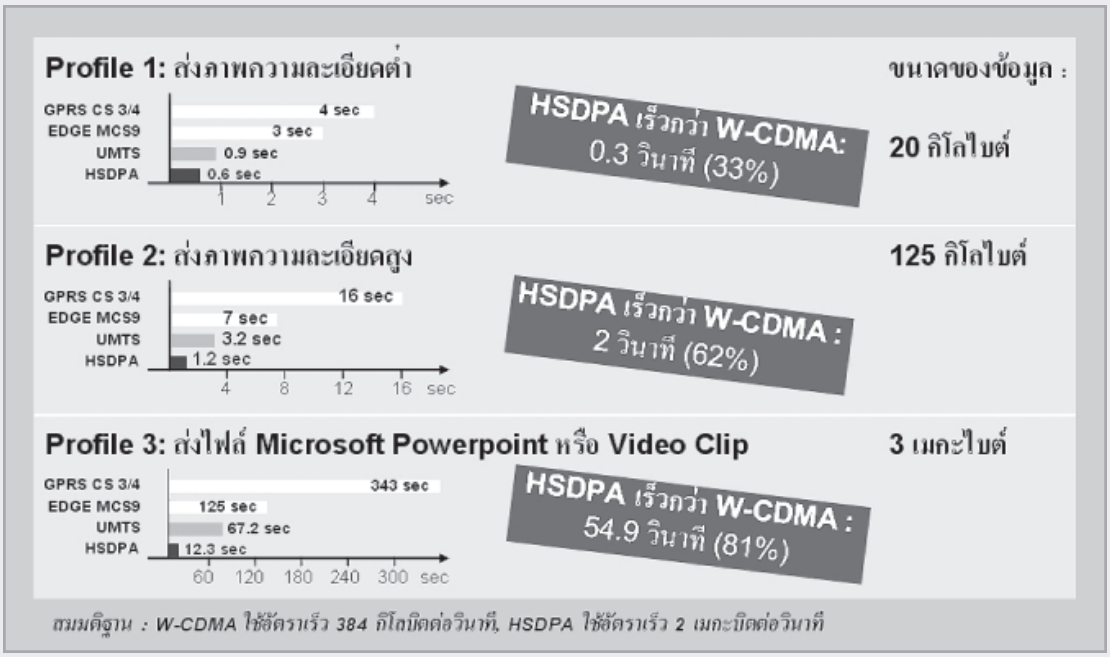


รูปที่ 5 เปรียบเทียบขีดความสามารถของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ

ชนิดในปัจจุบัน โดยมีการแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

1. **เทคโนโลยี HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)** เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่นับเป็นวิวัฒนาการขั้นถัดมาจากเครือข่าย W-CDMA อันเป็นมาตรฐาน 3G จากค่ายยุโรป ซึ่งมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงกว่าเทคโนโลยี CDMA2000 ซึ่งเป็นมาตรฐาน 3G จากค่ายสหรัฐอเมริกา เป็นที่ทราบกันดีว่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของมาตรฐาน W-CDMA มาตรฐานนั้นถูกจำกัดอยู่ที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที องค์กร 3GPP (Third Generation Partnership Program) ซึ่งเป็นผู้วางข้อกำหนดมาตรฐานของเครือข่าย W-CDMA จึงกำหนดให้มีการพัฒนารูปแบบการรับส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุของอุปกรณ์สถานีฐาน W-CDMA ซึ่งมีชื่อเรียกสถานีฐานนั้นว่า Node B ด้วยการนำเทคโนโลยีการมอดูเลตสัญญาณ และการเข้ารหัสข้อมูลแบบใหม่ เพื่อช่วยทำให้อัตราเร็วในการส่งข้อมูลจาก Node B มายังเครื่องลูกข่ายสื่อสารไร้สาย เพิ่มขึ้นเป็น 14 เมกะบิตต่อวินาที ในขณะที่การส่งข้อมูลกลับจากอุปกรณ์สื่อสารไร้สายไปยัง Node B ยังคงใช้อัตราเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอและสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้บริการสื่อสารข้อมูลแบบบรอดแบนด์ที่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีการดาวน์โหลดข้อมูลจากเครือข่ายมากกว่าการส่งข้อมูลย้อนกลับไป อย่างไรก็ตาม ภายใน พ.ศ. 2550 เครือข่าย W-CDMA ที่มีการเปิดใช้เทคโนโลยี HSDPA นี้ ก็จะมีการพัฒนาต่อไปเป็นเครือข่ายแบบ HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารไร้สายและ Node B มีค่า 14 กิโลบิตต่อวินาทีเท่ากัน

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของเทคโนโลยี HSDPA กับความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งข้อมูลขนาดเล็ก เช่น ไฟล์รูปภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิตอล

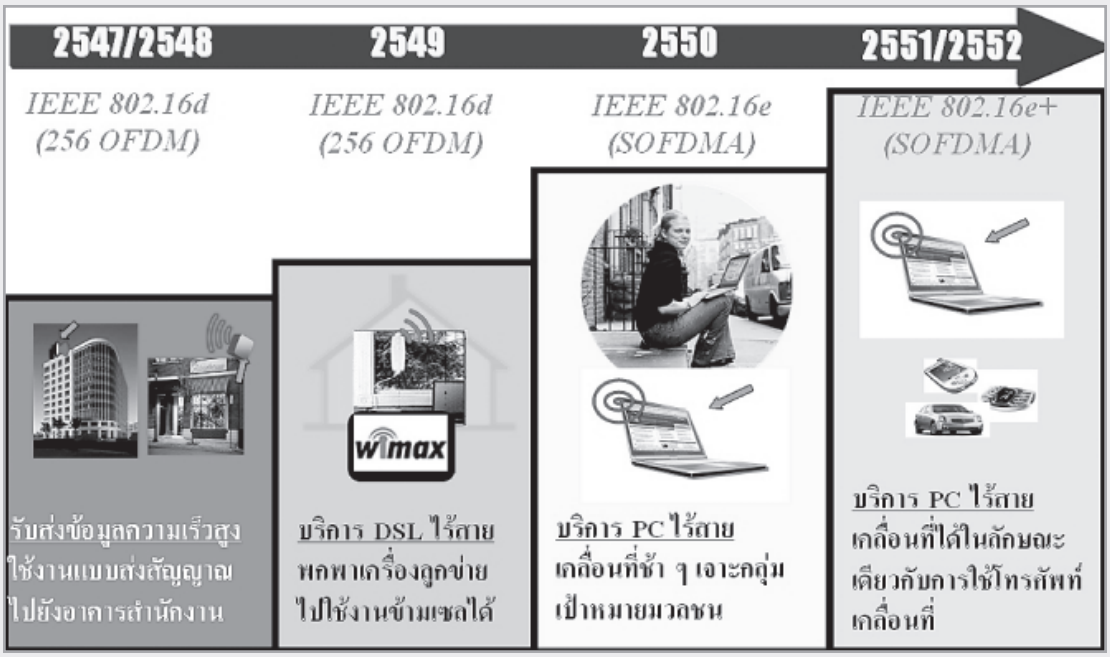


รูปที่ 6 ความเร็วในการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย HSDPA เปรียบเทียบกับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอื่นๆ

ภายในตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เอง ไปจนถึงการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น Video Clip หรือไฟล์ข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Office ต่างๆ โดยการเปรียบเทียบนั้นทำบนพื้นฐานแห่งความเป็นจริงเมื่อคิดว่าเครือข่าย HSDPA ซึ่งรองรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 14 เมกะบิตต่อวินาทีนั้น เมื่อคิดคำนวณเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการรายหนึ่งพึงใช้ได้ในกรณีที่มีผู้ใช้งานพร้อมๆ กันหลายคน ก็น่าจะได้ความเร็วที่ประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที

ในมุมมองของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ W-CDMA การเปิดให้บริการ BWA โดยพัฒนาเครือข่ายของตนให้รองรับเทคโนโลยี HSDPA เป็นเรื่องที่ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำมาก เพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ Node B แต่อย่างใด การพัฒนาเป็นเพียงการปรับเปลี่ยนซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ Node B เท่านั้น

2. **เทคโนโลยี WiMAX (Worldwide Inter-Operability for Microwave Access)** เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้รับการผลักดันมาตรฐานโดยสมาคม WiMAX โดยนำเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุแบบไมโครเวฟมาพัฒนาพร้อมทั้งใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) และกำหนดมาตรฐานโปรโตคอลระบบสัญญาณขึ้นใหม่ เพื่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุในลักษณะเดียวกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ WiMAX ได้รับการคาดหมายว่าจะได้รับความนิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะด้วยการผลักดันในเรื่องของชิปเซ็ตที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท Intel ให้มีลักษณะการใช้งานแบบเดียวกับ Centrino ที่มีการรวมฟังก์ชั่นการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี Wi-Fi มาแล้ว ในทางทฤษฎีสามารถใช้อุปกรณ์สถานีฐาน WiMAX รับส่งสัญญาณด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 70 เมกะบิต



รูปที่ 7 เทคโนโลยี WiMAX กับพัฒนาการทางเทคนิค

ต่อวินาทีในกรณีของการส่งสัญญาณเป็นเส้นตรงแบบเดียวกับการรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ หรือประมาณ 10-20 เมกะบิตต่อวินาทีในกรณีของการรับส่งสัญญาณแบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี WiMAX ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่บางประการ โดยเฉพาะคุณลักษณะทางเทคนิคที่จำกัดการใช้งานในขณะเคลื่อนที่ ข้อเท็จจริงก็คือเทคโนโลยี WiMAX ได้รับการพัฒนาขึ้นบนมาตรฐานสื่อสารไร้สาย IEEE802.16 โดยมีลำดับขั้นการพัฒนาเริ่มจาก IEEE802.16d ซึ่งกำลังจะมีการประกาศใช้งานทั่วโลกภายในปี พ.ศ. 2548 รองรับการสื่อสารด้วยอัตราเร็วสูงในหลายย่านความถี่ใช้งาน เช่น 2.5 กิกะเฮิรตซ์, 3.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยรูปแบบการส่งสัญญาณแบบเส้นทางตรง (Line of Sight หรือ LOS) และการสื่อสารแบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป (Non Line of Sight หรือ NLoS) แต่มาตรฐาน IEEE802.16d ไม่สามารถรองรับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ไปมาได้ จนกว่าจะมีมาตรฐาน IEEE802.16e ซึ่งคาดว่าจะได้รับการพัฒนาจนพร้อมประกาศใช้งานได้จริงในปี พ.ศ. 2550 มาตรฐานใหม่นี้สามารถให้บริการผู้ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ แต่ก็ยังจำกัดในเรื่องของความเร็วในการเดิน โดยทั่วไปน่าจะเหมาะกับการเดินไปมาในระยะทางใกล้ เช่น ลุกจากที่นั่งพร้อมอุปกรณ์สื่อสารเพื่อไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ใกล้ (Nomadic Movement) การรองรับบริการแบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้นคงต้องรอจนถึงปี พ.ศ. 2551 ไปแล้ว อย่างไรก็ตามพัฒนาการของเทคโนโลยี WiMAX อาจเกิดขึ้นเร็วกว่านี้ หากผลตอบรับจากการเปิดให้บริการเป็นไปด้วยดี จนทำให้ผู้พัฒนาเทคโนโลยี โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากบริษัท Intel ต้องเร่งผลักดันมาตรฐาน IEEE802.16e และ IEEE802.16e+ ให้เกิดขึ้นเร็วกว่ากำหนดเดิม

3. **เทคโนโลยี Flash-OFDM (Flash Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** เป็นอีกเทคโนโลยีทางเลือกซึ่งใช้การรับส่งข้อมูลแบบ

OFDM เช่นเดียวกับที่ใช้ในเครือข่าย WiMAX ทั้งนี้ Flash-OFDM เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Flarion ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีย่านความถี่ใช้งานได้ตั้งแต่ช่วง 450 เมกะเฮิรตซ์ขึ้นไปจนถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ แล้วแต่ว่าประเทศใดมีย่านความถี่ช่วงใดว่างสำหรับใช้งาน คุณสมบัติทั่วไปของเทคโนโลยีดังกล่าวรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 3 เมกะบิตต่อวินาทีจากสถานีฐานไปสู่อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย และ 800 กิโลบิตต่อวินาที ในทางกลับกันย่านความถี่ที่น่าจะมีการนำไปใช้กับเทคโนโลยี Flash-OFDM มากที่สุดก็คือ 450 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ดั้งเดิมที่ใช้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ NMT (Nordic Mobile Telephone) ซึ่งเป็นเครือข่ายโบราณในยุค 1G และพบว่ายังมีการถือครองสิทธิ์ความถี่ดังกล่าวอย่างมากในบรรดาประเทศแถบยุโรปตะวันออก ซึ่งเพิ่งอยู่ในยุคเปิดประเทศ และมีการพัฒนาเครือข่ายจากยุค 1G ไปเป็นเครือข่ายสื่อสารข้อมูลไร้สายที่เน้นต้นทุนต่ำ จึงเหมาะกับการเปิดตัวของมาตรฐาน Flash-OFDM ในฐานะของทางเลือกหนึ่งสำหรับการให้บริการ BWA โดยไม่ต้องรอขออนุมัติใช้ย่านความถี่เมื่อเทียบกับการเลือกเปิดให้บริการ HSDPA หรือ WiMAX

สำหรับรายละเอียดเบื้องลึกเกี่ยวกับเทคโนโลยีและการทำงานของเครือข่าย Flash-OFDM ผู้เขียนจะหาโอกาสนำเสนอเป็นบทความแยกต่างหากออกไปในโอกาสหน้า

เมื่อนำเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายทั้ง 3 ชนิดที่จัดว่าเข้าข่ายเป็นทางเลือกในการนำมาเปิดให้บริการ BWA มาจัดกลุ่มตามคุณสมบัติการให้บริการเพื่อกำหนดรูปแบบการนำไปใช้งานแล้วก็จะได้ดังแสดงในรูปที่ 8 โดย HSDPA มีความเหมาะสมกับบริการ BWA ที่ผู้ใช้งานเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ WiMAX ตามมาตรฐาน IEEE802.16d ซึ่งเป็นรุ่นแรกที่จะมีการเปิดตัวใช้งานในเร็วๆ นี้ เหมาะสำหรับการเปิดใช้งานในลักษณะของเครือข่ายบรอดแบนด์แบบใช้งานประจำที่ โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุจากสถานีฐาน WiMAX เป็นช่องทางในการนำสัญญาณข้อมูลไปยังอุปกรณ์รับส่งที่ติดตั้งอยู่ภายในที่พักอาศัยหรือสำนักงาน ซึ่งโดยทั่วไปเรียกชื่ออุปกรณ์ประเภทนี้ว่า CPE (Customer Premises Equipment) ซึ่งอาจมีลักษณะไม่ต่างจากโมเด็ม ADSL หรือเราท์เตอร์ ADSL ที่มีใช้งานกันในปัจจุบัน ทั้งนี้จากรูปที่ 8 จะเห็นว่ามาตรฐานสื่อสารแบบ WiFi หรือ WLAN และมาตรฐาน WiMAX รุ่นถัดไป (IEEE802.16e) มีขีดความสามารถเพียงพอในการรองรับผู้ใช้งานที่พอจะมีการเคลื่อนที่บ้าง

นอกจากการจัดแบ่งประเภทของบริการที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานแล้ว คุณภาพของการรับส่งข้อมูล (Quality of Service) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกำหนดประเภทของการให้บริการ โดยเทียบกับเทคโนโลยีบรอดแบนด์แบบมีสาย เช่น ADSL ซึ่งให้บริการผู้ใช้งานที่อยู่ประจำที่และรับประกันคุณภาพในการรับส่งข้อมูลในระดับที่สูงมาก เนื่องจากใช้คู่สายสัญญาณในการรับส่งข้อมูล สำหรับบริการ WiMAX แบบประจำที่นั้นจะมีคุณภาพในการรับส่งข้อมูลต่ำกว่า ADSL เนื่องจากเป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุ หากต้องการให้มีคุณภาพสูงขึ้นก็ต้องลดอัตราเร็วในการรับส่งหรือลดจำนวนผู้ใช้งานที่พึงให้บริการได้ เพื่อชดเชยกับข้อมูลปรับแก้คุณภาพ (Overhead) ที่ต้องใส่เพิ่มเข้าไป จึงส่อให้เห็นว่าการกำหนดค่าบริการ WiMAX แบบประจำที่นั้นอาจจะทำได้ไม่สูงกว่า ADSL มากนัก แม้จะถือว่าเป็นบริการ BWA แบบเน้นการใช้งานประจำที่ที่เป็นทางเลือกทดแทนการขอคู่สาย ADSL ในพื้นที่ทุรกันดารหรือขาดแคลนวงจรสื่อสารแบบบรอดแบนด์ก็ตามที ซึ่งนับว่าสอดคล้องกับตำแหน่งทางการตลาดของกลุ่มผู้ใช้งานประจำที่ซึ่งแสดงในรูปที่ 3

สำหรับผู้ใช้บริการแบบเคลื่อนที่เล็กน้อย ซึ่งน่าจะสอดคล้องกับเทคโนโลยี WiMAX ยุค IEEE802.16e และกลุ่มผู้ใช้บริการแบบเคลื่อนที่มาก

รูปที่ 8 การจัดแบ่งรูปแบบการให้บริการ BWA ตามคุณสมบัติของเทคโนโลยี

ซึ่งสอดคล้องกับเทคโนโลยี Flash-OFDM หรือ HSDPA นั้น ก็คงมีตำแหน่งทางการตลาดที่ลงตัวกับการกำหนดคิดค่าบริการดังแสดงในรูปที่ 3 เช่นเดียวกัน ในกรณีนี้มิได้มีข้อห้ามตายตัวแต่ประการใดว่า ผู้ประกอบการไม่สามารถนำเทคโนโลยีที่มีความเหนือกว่าในเรื่องของการรองรับการเคลื่อนที่มาให้บริการในกลุ่มที่ต่ำกว่าเป็นไปได้ที่จะมีการลงทุนสร้างเครือข่าย Flash-OFDM หรือ HSDPA ขึ้นเพื่อเปิดให้บริการสื่อสารข้อมูล BWA แบบประจำที่ แต่เนื่องจากหลักความจริงดังที่ปรากฏในรูปที่ 8 ว่าผู้ประกอบการไม่สามารถคิดค่าบริการ BWA แบบประจำที่ได้สูงกว่าราคาค่าใช้บริการบรอดแบนด์แบบมีสาย ประกอบกับแนวโน้มที่ว่าต้นทุนในการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายที่รองรับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ตลอดเวลานั้น ย่อมมีค่าสูงกว่าการสร้างเครือข่าย WiMAX การลงทุนในลักษณะดังกล่าวจึงไม่น่าจะเหมาะสมนัก ยกเว้นว่าเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก จนทำให้ต้นทุนในการสร้างเครือข่ายสื่อสารแต่ละประเภทไม่แตกต่างกันแต่อย่างใด

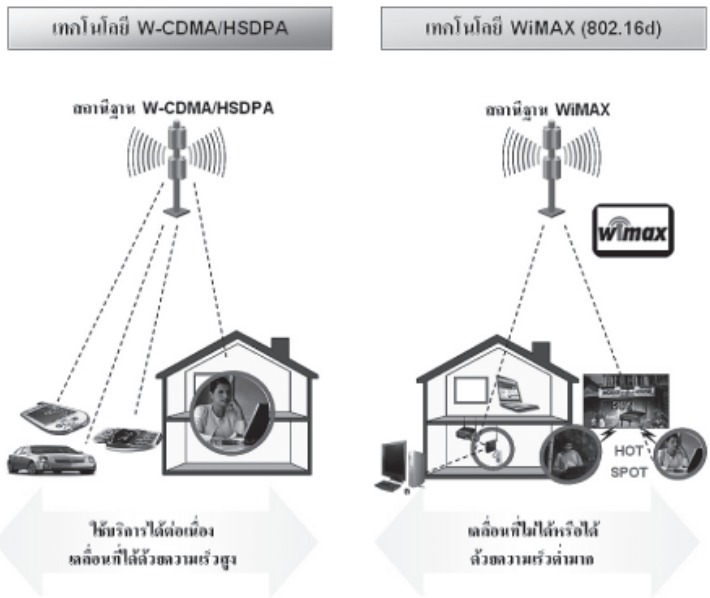
ตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะและขีดความสามารถทางเทคนิคของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายทั้งสามมาตรฐาน ในขณะที่ตารางที่ 2 เปรียบเทียบในมุมมองของการลงทุนและความคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งทำให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนว่า มาตรฐาน HSDPA และ WiMAX น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการให้บริการ BWA ซึ่ง HSDPA เหมาะกับการให้บริการกลุ่มลูกค้าผู้ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่มาก ในขณะที่ WiMAX เหมาะสำหรับการให้บริการกลุ่มผู้ใช้งานที่อยู่ประจำที่หรือมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย ส่วนเทคโนโลยี Flash-OFDM นั้น แม้จะมีจุดเด่นในเรื่องของขีดความสามารถในเชิงเทคนิคที่ใกล้เคียงกับการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ในแง่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ต่ำกว่ามาตรฐาน HSDPA อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่มีผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายเพียงรายเดียว มีผลทำให้ไม่สามารถต่อรองต้นทุนในการสร้างเครือข่ายได้ จึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจน้อยที่สุด ยกเว้นในกรณีของประเทศที่มีเงื่อนไขเฉพาะ เช่นในบรรดาประเทศกลุ่มยุโรปตะวันออกที่ต้องการเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย Flash-OFDM ที่สามารถใช้ย่านความถี่ 450 เมกะเฮิรตซ์ที่ตนมีสิทธิ์ใช้งานอยู่ ก็อาจเป็นกรณีพิเศษที่จะช่วยทำให้ Flash-OFDM ที่การพัฒนา

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณลักษณะและความสามารถทางเทคนิคของมาตรฐานสื่อสารไร้สายแต่ละประเภท

	HSDPA	WiMAX	Flash-OFDM
ตำแหน่งทางการตลาดของบริการ	ระบบสื่อสารไร้สายแบบเซลลูลาร์	ระบบสื่อสารใช้งานประจำที่สามารถพัฒนาให้ใช้งานขณะเคลื่อนที่ได้ในอนาคต	ระบบสื่อสารไร้สายแบบเซลลูลาร์
ข้อจำกัดความเร็วในการเคลื่อนที่	ใช้ได้ทุกที่ที่มีสัญญาณจากเครือข่าย W-CDMA ความเร็วสูงสุด 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	802.16d: ใช้งานขณะเคลื่อนที่ไม่ได้ 802.16e: เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	ใช้ได้ทุกที่ที่มีสัญญาณจากเครือข่าย Flash-OFDM ความเร็วสูงสุด 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
อัตราเร็วสูงสุดในการรับส่งข้อมูล	14 เมกะบิตต่อวินาที (ขาลง) 1.5 เมกะบิตต่อวินาที (ขาขึ้น) ใช้คู่ควบความถี่กว้างช่องละ 5 เมกะเฮิรตซ์	สูงสุดถึง 70 เมกะบิตต่อวินาที (กรณีส่งเป็นลำคลื่นตรงแบบไมโครเวฟ) ใช้แบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิรตซ์ (ปรับเพิ่มลดได้)	3 เมกะบิตต่อวินาที (ขาลง) 800 กิโลบิตต่อวินาที (ขาขึ้น) ใช้คู่ควบความถี่กว้างช่องละ 1.25 เมกะเฮิรตซ์
การใช้งานย่านความถี่	ตามข้อกำหนด IMT-2000 (3G)	ต้องขอรับใบอนุญาตใช้ความถี่ มีให้เลือกที่ความถี่ 2.5, 3.5/2.4 และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์	ต้องขอรับใบอนุญาตใช้ความถี่ มีให้ใช้งานที่ความถี่ตั้งแต่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ลงไป
มาตรฐานที่รองรับ	3GPP Release 5	802.16d: พร้อมใช้งาน 802.16e: พ.ศ. 2550	802.20: กำหนดการยังไม่ชัดเจน
เทคโนโลยีที่ใช้	CDM, FDD **CDMA/TDMA**	OFDM, FDD หรือ TDD **TDMA/OFDMA**	OFDM, FDD **OFDMA**

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรฐานสื่อสารไร้สายแต่ละประเภท

	HSDPA	WiMAX	Flash-OFDM
ความพร้อมในเชิงพาณิชย์	พร้อมให้บริการตั้งแต่ พ.ศ. 2548 เป็นต้นไป	พร้อมเปิดให้บริการ BWA แบบอยู่กับที่ใน พ.ศ. 2548 เปิดให้บริการแบบเคลื่อนที่ได้ในปี พ.ศ. 2549-2550	อยู่ในช่วงทดสอบระบบ พร้อมให้บริการในเร็วๆ นี้
เครื่องลูกข่าย	พร้อมให้บริการ ในลักษณะของ Air Card มีผู้ผลิตหลายราย	พร้อมให้บริการกลางปี 2549 ในลักษณะของอุปกรณ์ CPE	พร้อมให้บริการ ในลักษณะของ Air Card มีผู้ผลิตหลายราย
การประหยัดต้นทุนในการวางเครือข่าย	ประหยัดมาก เนื่องจากเป็นการพัฒนาตามเส้นทางของมาตรฐาน W-CDMA (Mass Product)	ขึ้นอยู่กับการผลักดันตลาดของบริษัท Intel ในรูปของชิบเซ็ต Centrino	ประหยัดน้อย เนื่องจากเป็นมาตรฐานเฉพาะที่มีผู้ผลิตเครือข่ายเพียงรายเดียว
การคืนทุน	สูง เนื่องจากเป็นการพัฒนาตามเส้นทางของมาตรฐาน W-CDMA (Mass Product)	สูง เนื่องจากเป็นมีการร่วมมือวิจัยและพัฒนาของบริษัทจำนวนมากในวงการไอที	ยังไม่ชัดเจน

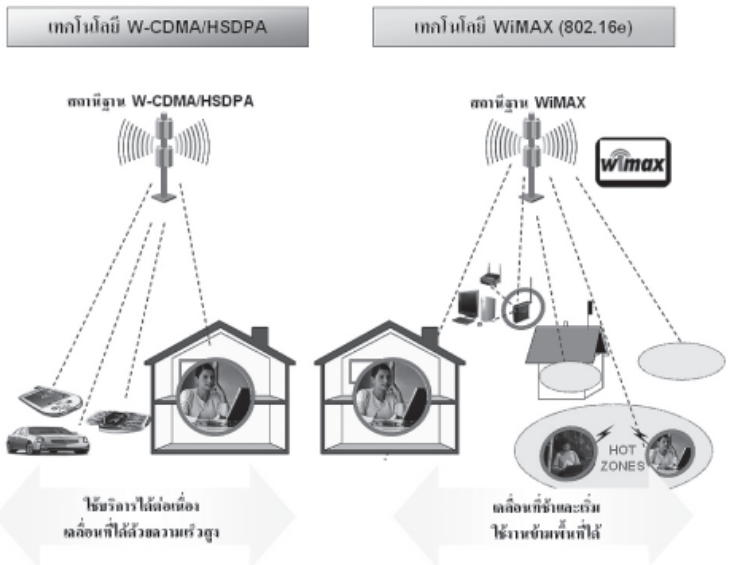


รูปที่ 9 การสร้างเครือข่าย HSDPA และ WiMAX เพื่อรองรับการใช้งานแบบ BWA ต่างรูปแบบกัน

พร้อมกับเติบโตขึ้นได้ สิ่งที่น่าสนใจก็คือรูปแบบในการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายทั้งแบบ HSDPA และ WiMAX พร้อมทั้งกำหนดรูปแบบการให้บริการที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดที่สุด

รูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบแนวทางในการติดตั้งเครือข่ายสื่อสารไร้สายเพื่อเปิดให้บริการแบบ BWA ระหว่างเทคโนโลยี HSDPA (ด้านซ้าย) และ WiMAX (ด้านขวา) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการเปิดให้บริการ HSDPA กระทำได้ง่ายมาก สำหรับบริษัทผู้ให้บริการที่มีเครือข่าย 3G แบบ W-CDMA เป็นของตนเองอยู่แล้ว เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ของเครือข่าย W-CDMA ให้มีรูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบเป็นแบบ HSDPA เท่านั้น เพียงผู้ใช้บริการมีเครื่องลูกข่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอุปกรณ์ Air Card หรือแผงวงจรแบบ PCMCIA ที่พร้อมเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค ก็สามารถใช้บริการ BWA จากเครือข่าย HSDPA ได้ในทันที พื้นที่ให้บริการของเครือข่าย HSDPA ก็คือ พื้นที่เดียวกันกับที่เครือข่าย W-CDMA เปิดให้งานอยู่นั่นเอง ส่วนผู้ให้บริการรายใหม่ หรือเป็นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรคมนาคมอยู่แล้ว แต่ไม่มีสถานีฐานหรืออุปกรณ์ Node B แบบ W-CDMA อยู่ก็จำเป็นจะต้องลงทุนสร้างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ W-CDMA ขึ้นก่อน หรืออาจจะสร้างขึ้นพร้อมพัฒนาซอฟต์แวร์ให้เป็นแบบ HSDPA ไปพร้อมๆ กันก็ได้

สำหรับผู้ให้บริการที่คิดเปิดบริการ BWA ในลักษณะใช้งานประจำที่ ก็อาจพิจารณาเลือกลงทุนสร้างเครือข่าย WiMAX ซึ่งมีรูปแบบการลงทุนไม่แตกต่างจากการสร้างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่อย่างใด คือ สร้างสถานีฐานเพื่อครอบคลุมพื้นที่ให้บริการที่ต้องการ การเน้นกลุ่มผู้ใช้งานประจำที่ซึ่งอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน จะ



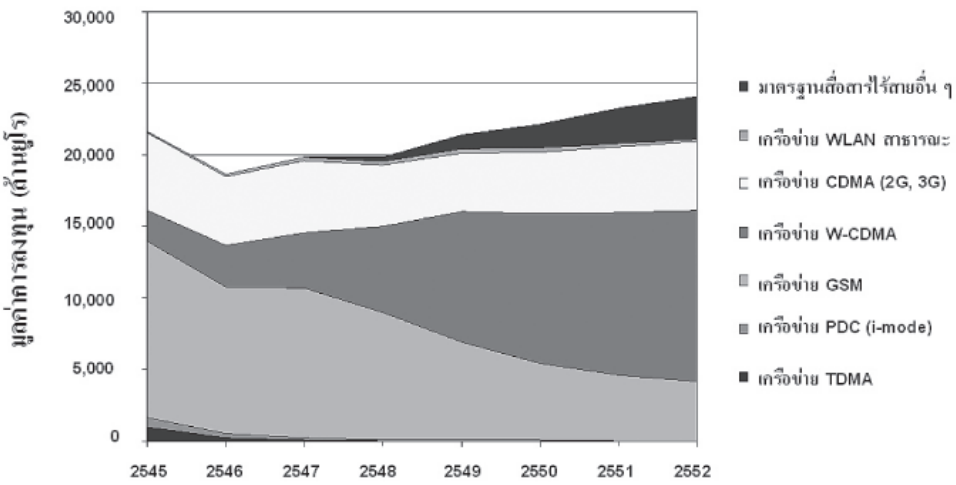
รูปที่ 10 รูปแบบบริการ BWA ที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับ WiMAX มาตรฐาน IEEE802.16e

ช่วยทำให้การลงทุนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถเลือกกำหนดได้ว่าจะสร้างสถานีฐาน WiMAX ไว้เฉพาะในพื้นที่ที่มีผู้ใช้บริการอยู่เท่านั้น การสร้างสถานีฐานเพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมไปทั่วในลักษณะเดียวกับการสร้างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น 3G หรือ HSDPA นั้นไม่เหมาะกับการให้บริการ WiMAX โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับมาตรฐาน IEEE802.16d ที่ไม่สนับสนุนการใช้งานขณะเคลื่อนที่ รูปแบบการใช้งานของผู้ใช้บริการส่วนใหญ่จะเป็นการต่อเชื่อมเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบประจำที่เข้ากับกล่อง CPE ที่จะคอยรับส่งสัญญาณกับสถานีฐาน WiMAX หรือมิฉะนั้นก็เป็นการเปิดให้บริการ WiMAX ในพื้นที่สาธารณะ (Hot Zone) ที่คาดว่าจะมีผู้พกพาอุปกรณ์สื่อสารประเภทคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คหรือ PDA ที่ติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ WiMAX ไปใช้งาน ดังเช่น ในร้านอาหาร ร้านกาแฟ หรือศูนย์การค้าต่างๆ แต่ทั้งนี้ต้องมีการประชาสัมพันธ์กับผู้ใช้บริการให้ชัดเจนว่าใช้งานได้เฉพาะเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่เท่านั้น

เมื่อใดที่เทคโนโลยี WiMAX มีการพัฒนาไปสู่ยุคของมาตรฐาน IEEE802.16e หรือ IEEE802.16e+ ซึ่งสนับสนุนการใช้งานแบบเคลื่อนที่ได้ และเปิดโอกาสให้ผู้ใช้บริการสามารถย้ายข้ามเซลไปยังพื้นที่อื่นๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 10 ผู้ให้บริการเครือข่ายก็ย่อมมีโอกาสที่จะขยายเครือข่ายสถานีฐานให้มากขึ้น เน้นการสร้างพื้นที่ให้บริการที่ต่อเนื่องและกว้างขวางขึ้น โดยยังคงสามารถรักษากลุ่มผู้ใช้บริการประจำที่และ Hot Zone ได้ดังเดิมทุกประการ

ทิศทางของบริการ Broadband Wireless Access

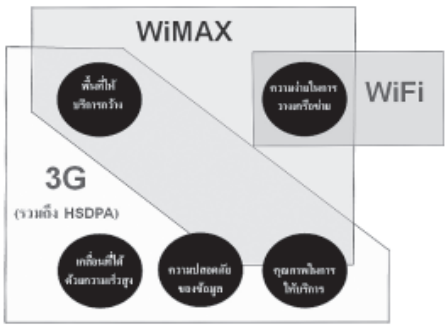
สิ่งที่ผู้เขียนได้กล่าวมาตั้งแต่ต้น คงพอจะทำให้ผู้อ่านรู้จักและเข้าใจบริการ BWA ได้ชัดเจนขึ้น โดยส่วนตัวผู้เขียนมองว่านับตั้งแต่ธุรกิจสื่อสารไร้สายมีการพัฒนาจากยุค 2G มาสู่ 3G มูลค่าที่เพิ่มขึ้นอย่าง



รูปที่ 11 เปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนในเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละชนิด
(ข้อมูลจากบริษัทวิจัยทางการตลาดแห่งหนึ่งในยุโรป)

มากมายของการสื่อสารไร้สายทำให้เกิดการแข่งขันผลิตมาตรฐานชนิดใหม่ๆ ขึ้นเพื่อให้เป็นทางเลือกสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายหลายกรณีก่อให้เกิดความสับสนในการเลือกนำเทคโนโลยีไปใช้งาน แนวคิดของการกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดดังเช่นที่เกิดขึ้นในกรณีของ BWA นี้ถือเป็นการเริ่มต้นที่ดีต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายเพื่อจับกลุ่มเป้าหมายให้ได้ตามความเหมาะสมทั้งในแง่อุปสงค์ (Demand) ของผู้บริโภค อันได้แก่ ความต้องการสื่อสารแบบบรอดแบนด์ ซึ่งแม้ในกรณีนี้จะเป็นการสร้างกระแสอุปสงค์ขึ้นโดยกลุ่มผู้ประกอบการบ้างก็ตาม และอุปทาน (Supply) ซึ่งก็คือขีดความสามารถของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละประเภท ไม่ว่าจะเป็น HSDPA, WiMAX, Flash-OFDM หรือเทคโนโลยีอื่นใดที่อาจถือกำเนิดขึ้นในอนาคต เพื่อให้เกิดความลงตัวรวมทั้งเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภคและเกิดผลตอบแทนที่ดีที่สุดต่อผู้ประกอบการ

รูปที่ 11 เป็นการคาดคะเนและเปรียบเทียบมูลค่าการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สาย โดยใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภทจนถึง พ.ศ. 2552 ของตลาดสื่อสารไร้สายทั่วโลก สิ่งที่ปรากฏอย่างชัดเจนก็คือแนวโน้มของการลงทุนที่มุ่งเน้นไปในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล W-CDMA ซึ่งรวมความถึงเทคโนโลยี HSDPA และ HSUPA อันเป็นการเกี่ยวเนื่องมาจากฐานของธุรกิจที่เติบโตขึ้นมาจากการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในตระกูล GSM ซึ่งรวม GPRS และ EDGE เข้าไว้ด้วย กล่าวได้ว่าการลงทุนในเทคโนโลยี W-CDMA เป็นทางเลือกประการเดียวที่ได้รับการยอมรับของผู้ให้บริการเครือข่าย GSM ในปัจจุบัน ทั้งจากทิศทางการพัฒนาของเครือข่าย GSM สู่ W-CDMA และการเปิดกว้างของเทคโนโลยีที่ถือเป็นการต่อยอดจากการใช้งานทั่วโลกของ GSM อีกเช่นกัน ส่วนการลงทุนในเครือข่าย CDMA ซึ่งมีเส้นทางการพัฒนาไปสู่มาตรฐาน 3G ในแบบฉบับของตนเอง อันได้แก่ มาตรฐาน CDMA2000 ในรูปแบบต่างๆ นั้น ก็คง



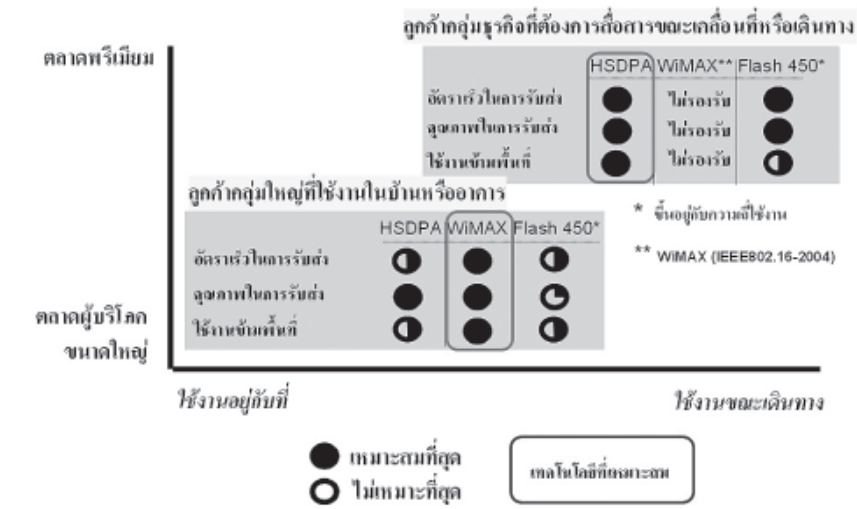
รูปที่ 12 ปัจจัยสำคัญต่อการให้บริการ BWA ที่มีประสิทธิภาพ

มีอยู่อย่างต่อเนื่อง แต่ก็ไม่น่าจะมีการเติบโตขึ้นเนื่องจากกลุ่มผู้ให้บริการเครือข่ายที่มีอยู่คงที่ไม่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังมีสัดส่วนน้อยกว่ากลุ่มผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาตรฐานยุโรปอย่าง GSM/W-CDMA มาก

ที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งก็คือมูลค่าของการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายสาธารณะโดยใช้เทคโนโลยี WLAN มีการถดถอยลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความจริงที่ว่ามาตรฐาน WLAN หรือ IEEE802.11b และ IEEE802.11g นั้นออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานภายในองค์กรเป็นหลัก ไม่เหมาะสำหรับการให้บริการสาธารณะ การฝืนพัฒนาขีดความสามารถของอุปกรณ์ WLAN ทั้งในเรื่องของความไวในการรับสัญญาณ กำลังส่ง การรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย หรือแม้กระทั่งความพยายามในการเชื่อมต่อเครือข่าย WLAN เข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาตรฐานต่างๆ กลายเป็นเรื่องยากทางเทคนิคและเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า

การกำหนดแนวคิดในเรื่องของกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดแบบ BWA ทำให้ธุรกิจสื่อสารไร้สายทั่วโลกเปิดกว้างสำหรับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายชนิดใหม่ๆ ที่สามารถให้บริการได้อย่างเหมาะสม แม้มูลค่าการลงทุนสำหรับมาตรฐานสื่อสารไร้สายอื่นๆ (แถบบนสุดในรูปที่ 11) จะไม่มากเทียบเท่ากับมูลค่าการลงทุนในเครือข่าย W-CDMA แต่ก็ต้องถือว่าเป็นทางเลือกและโอกาสใหม่ๆ ให้กับทั้งผู้บริโภคและผู้ประกอบการเครือข่ายสื่อสาร สำหรับการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อร่วมกันผลักดันให้บริการแบบ BWA เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว มากกว่าจะมีเพียงมาตรฐาน HSDPA หรือมาตรฐานอื่นใดในสายตระกูล W-CDMA เพียงอย่างเดียว

ลำพังเทคโนโลยี HSDPA หรือมาตรฐานอื่นใดที่เกี่ยวเนื่องกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G แบบ W-CDMA นั้นยังไม่อาจตอบรับปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้สร้างบริการ BWA ได้อย่างมีประสิทธิภาพครบทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 12 แม้มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล 3G นับตั้งแต่ HSDPA เป็นต้นไปจะมีจุดเด่นในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่กว้างใหญ่ รองรับการสื่อสารแบบบรอด-แบนด์ขณะที่ผู้ใช้งานกำลังเคลื่อนที่ มีมาตรฐานป้องกันและรักษาความปลอดภัยให้กับข้อมูลอย่างรัดกุม และสามารถควบคุมจัดการคุณภาพในการให้บริการ (QoS) ได้เป็นอย่างดี แต่ก็ยากที่จะปฏิเสธว่าการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายในลักษณะนี้ต้องใช้เงินลงทุนมหาศาล เนื่องจากเป็นการสร้างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้น แม้บริษัทผู้ให้บริการจะเคยมีเครือข่าย GSM เป็นของตนเองมาก่อน และลงทุนเพียงพัฒนาปรับเปลี่ยนเฉพาะอุปกรณ์สถานีฐานให้รองรับมาตรฐาน 3G แต่ก็ยังนับเป็นการลงทุนที่สูงกว่าและมีการเชื่อมต่อที่ซับซ้อนกว่าการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ เช่น WiMAX ซึ่งมีความง่ายในการติดตั้งใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์สถานีฐาน WiMAX เป็นเสมือนอุปกรณ์เราเตอร์ที่สามารถนำมาเชื่อมต่อได้ง่าย โดยไม่มีโครงสร้างการเชื่อมต่อที่ซับซ้อนเหมือนดังเช่นเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลดีในภาพรวมก็คือการสร้างเครือข่าย WiMAX มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการลงทุนสร้างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาก ทั้งยัง

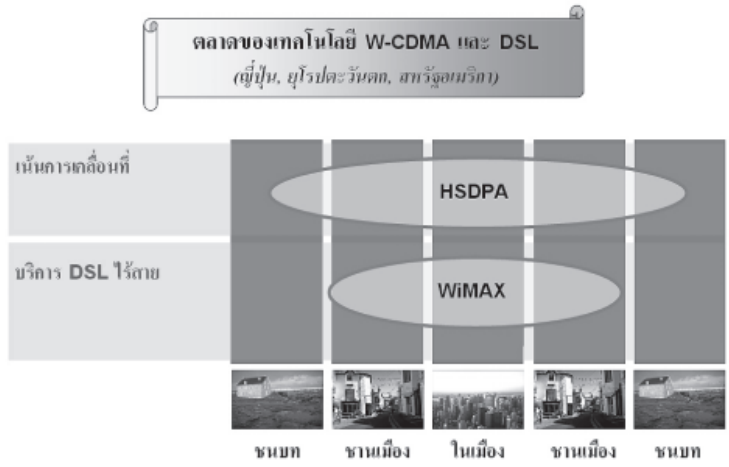


รูปที่ 13 ตำแหน่งทางการตลาดและการแบ่งกลุ่มเป้าหมายสำหรับบริการ BWA ตามประเภทเทคโนโลยี

บริหารจัดการเครือข่ายได้ง่ายกว่า เนื่องจากเป็นการจัดการบนพื้นฐานของเครือข่าย IP ทั่วๆ ไป แม้ในปัจจุบัน WiMAX จะยังมีข้อด้อยในเรื่องของการที่ไม่สามารถใช้งานขณะเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอีกระยะหนึ่งปัญหาดังกล่าวก็จะได้รับการแก้ไขให้ลุล่วงไป

ผลที่เกิดตามมาก็คือ บรรดาเทคโนโลยีทางเลือกที่มีการพัฒนาประสิทธิภาพแล้ว จะเกิดการแข่งขันกันเอง ทำให้บริการ BWA ในภาพรวมมีต้นทุนลดต่ำลง มีผลทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดราคาค่าบริการลงได้โดยที่ตนยังรักษาผลกำไรจากการประกอบการได้ดังเดิม ซึ่งถือเป็นผลประโยชน์ทางอ้อมต่อผู้บริโภคในท้ายที่สุด ทั้งนี้รูปที่ 13 แสดงให้เห็นถึงการจัดแบ่งกลุ่มผู้ใช้บริการตามประเภทของการใช้งาน โดยแบ่งเป็นการใช้งานแบบประจำที่ ซึ่งเหมาะสำหรับเทคโนโลยี WiMAX และกลุ่มผู้ใช้งานพรีเมียมซึ่งต้องการใช้บริการ BWA ในขณะกำลังเดินทางเคลื่อนที่ ซึ่งเหมาะมากสำหรับเทคโนโลยี HSDPA ดังที่ได้มีการกำหนดแบ่งกลุ่มตลาดผู้บริโภคในรูปที่ 8 การนำเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายจับตลาดผิดประเภทจะไม่เป็นผลดีต่อผู้ประกอบการในแง่ของการบริหารต้นทุน นอกจากจะมีความจำเป็นจริงๆ เช่น ต้องวางเครือข่าย HSDPA เพื่อให้บริการกลุ่มเป้าหมาย BWA แบบใช้งานประจำที่ เนื่องจากไม่มีสิทธิ์ใช้ความถี่รวมถึงสร้างเครือข่ายสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยี WiMAX ได้ ซึ่งเหตุการณ์ในลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกประเทศ แม้กระทั่งในประเทศไทย ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการออกใบอนุญาตและแนวทางในการประกอบกิจการ BWA ของคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.)

ผู้เขียนขอปิดท้ายบทความชุดนี้ ด้วยตัวอย่างแนวทางในการเปิดให้บริการ BWA ในกลุ่มประเทศต่างๆ ทั้งนี้แจกแจงโดยแบ่งตามเงื่อนไขของเทคโนโลยี และสภาพการแข่งขันในปัจจุบันเป็นสำคัญ ตัวอย่างที่จะแสดงเป็นภาพรวมของทั้งประเทศ มิได้พิจารณาเฉพาะผู้ให้บริการรายใดรายหนึ่งเป็นสำคัญ



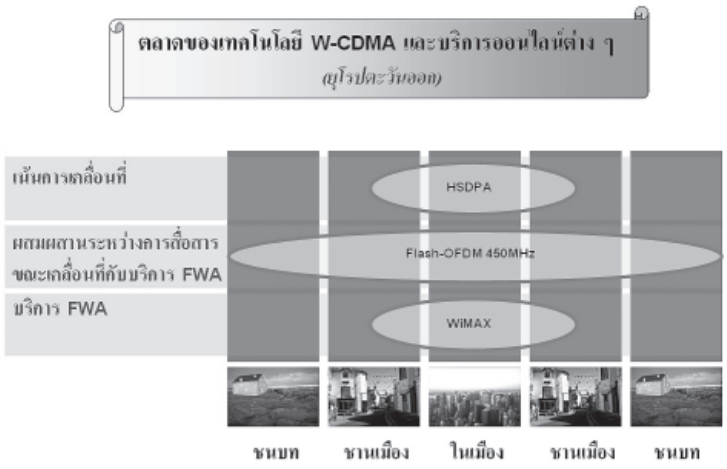
รูปที่ 14 การให้บริการ BWA ในแบบจำลองตลาดชนิดที่ 1

- **แบบจำลองที่ 1: ตลาดของเทคโนโลยี W-CDMA และ DSL**

เป็นตลาดสื่อสารไร้สายที่มีการเปิดให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ซึ่งต่อมามีการพัฒนาไปเป็นมาตรฐาน W-CDMA นอกจากนั้นก็มีการให้บริการเครือข่ายบรอดแบนด์แบบมีสายด้วยเทคโนโลยี ADSL เนื่องจากผู้ให้บริการทั้งหมดในประเทศกลุ่มนี้ล้วนมีเครือข่าย W-CDMA ซึ่งสามารถพัฒนาไปเป็นเทคโนโลยี HSDPA ได้โดยง่าย ทางเลือกในการทำตลาด BWA จึงค่อนข้างชัดเจน นั่นคือกำหนดให้เครือข่าย HSDPA รองรับผู้ใช้งานแบบพรีเมียมที่เน้นการสื่อสารแบบบรอดแบนด์ในขณะเคลื่อนที่ โดยสามารถให้บริการได้ในทุกพื้นที่ (ภายใต้เงื่อนไขว่ามีเครือข่าย W-CDMA ครอบคลุมอยู่ทั่วแล้ว) ขณะเดียวกับที่มีการสร้างเครือข่าย WiMAX เพื่อให้บริการสื่อสาร BWA แบบประจำที่ โดยเน้นเร่งการคุ้มทุนด้วยการเปิดให้บริการเฉพาะในเมืองหรือชานเมืองที่มีประชากรหนาแน่น ทั้งนี้ไม่มีข้อบังคับหรือจำกัดใดๆ ว่าใครจะเป็นผู้ให้บริการเครือข่ายใด รายละเอียดแสดงในรูปที่ 14

- **แบบจำลองที่ 2: ตลาดของเทคโนโลยี W-CDMA และบริการออนไลน์ต่างๆ**

เป็นตลาดที่มีลักษณะเฉพาะตัว พบได้ในกลุ่มประเทศแถบยุโรปตะวันออก ซึ่งไม่มีผู้ให้บริการเครือข่าย GSM มาก่อน หรือหากจะมีก็ไม่มากรายนัก เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายถูกจำกัดอยู่ที่มาตรฐาน 1G อย่าง NMT 450 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากการปิดประเทศมานาน หลังจากเปิดประเทศก็ต้องพบกับกระแสของเทคโนโลยีที่มีหลากหลาย ประเทศเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นด้วยการออกใบอนุญาตให้ดำเนินการสร้างเครือข่าย W-CDMA เลย อย่างไรก็ดีเนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่มีรายได้น้อย ประกอบกับมีความเสี่ยงสูงหากเน้นสร้างเครือข่าย 3G หรือ WiMAX เพื่อให้บริการ BWA แล้วพบว่าผู้บริโภคไม่สามารถสู้ราคาค่าบริการได้ เนื่องจากพอใจและยอมรับในค่าบริการของ ADSL ที่มีใช้งานกันอยู่ ทางเลือกที่เหมาะสมในการดำเนินธุรกิจ BWA ก็คือการใช้โครงสร้างของเครือข่าย NMT 450 เมกะเฮิรตซ์ โดยเปลี่ยนสถานีฐานไปเป็นเทคโนโลยี Flash-OFDM ซึ่งการ



รูปที่ 15 การให้บริการ BWA ในแบบจำลองตลาดชนิดที่ 2

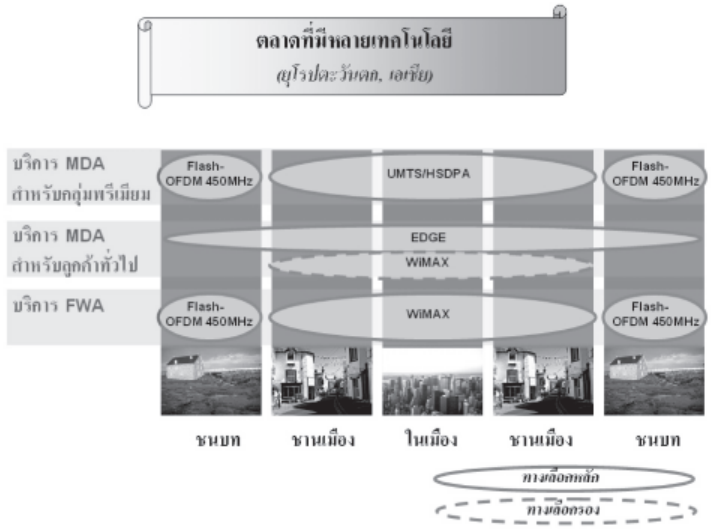
ใช้เทคโนโลยีที่ความถี่ต่ำย่อมรับประกันว่าจะสามารถสร้างพื้นที่ให้บริการที่กว้างกว่าใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ที่มีความถี่สูงกว่าได้มาก เทคโนโลยี Flash-OFDM จึงเป็นทางเลือกหลักสำหรับการให้บริการ BWA ในทุกพื้นที่ที่มีเครือข่าย NMT อยู่ก่อน แม้อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลจะไม่สูงจนเทียบเท่ากับมาตรฐาน HSDPA หรือ WiMAX แต่ก็เป็นการลงทุนแบบประนีประนอม และมีความเสี่ยงน้อยที่สุด โดยเน้นการจับกลุ่มเป้าหมายทั้งแบบพรีเมียมและแบบใช้งานประจำที่ (FWA หรือ Fixed Wireless Access) ไปพร้อมๆ กัน

การสร้างเครือข่าย HSDPA เพื่อจับกลุ่มเป้าหมายพรีเมียม หรือสร้างเครือข่าย WiMAX เพื่อจับเฉพาะกลุ่มเป้าหมายที่ใช้งานประจำที่อาจกระทำได้ แต่ผู้ประกอบการน่าจะมีความกังวลในเรื่องความเสี่ยงของผลตอบแทน จึงมักพบว่ามีการสร้างเครือข่าย HSDPA และ WiMAX เพื่อเปิดให้บริการเฉพาะย่านใจกลางเมืองที่มีแนวโน้มผู้ใช้บริการสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 15

- **แบบจำลองที่ 3: ตลาดที่มีหลายเทคโนโลยี**

เป็นตลาดสื่อสารไร้สายที่มีเทคโนโลยีทางเลือกมากมายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยี GSM ซึ่งเติบโตและพัฒนาไปเป็น GPRS และ EDGE หลายๆ ประเทศอาจมีเทคโนโลยี CDMA เป็นคู่แข่งขัน ซึ่งมีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นมาตรฐาน CDMA2000-1X ได้ นอกจากนั้นยังมีความพยายามในการออกใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบการเครือข่าย W-CDMA อีก ซึ่งถือว่าธุรกิจโทรคมนาคมในประเทศไทยก็ตกอยู่ในแบบจำลองประเภทสุดท้ายนี้เช่นเดียวกับอีกหลายประเทศในแถบยุโรปตะวันตกและทวีปเอเชีย โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 16

เมื่อมีแนวคิดในการทำตลาดแบบ BWA ผู้ประกอบการในตลาดตามแบบจำลองชนิดที่ 3 ก็มีทางเลือกในการลงทุนเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายอยู่หลากหลายรูปแบบ ในการจับกลุ่มผู้ใช้บริการแบบพรีเมียมนั้นก็มีความเป็นไปได้ที่จะวางเครือข่าย HSDPA เพื่อรองรับการใช้งานในเขตเมืองและชานเมือง เนื่องจากหลักความจริงที่ว่าผู้ประกอบการ



รูปที่ 16 การให้บริการ BWA ในแบบจำลองตลาดชนิดที่ 3

เครือข่ายแทบทั้งหมดมองไม่เห็นความคุ้มทุนในการวางเครือข่าย 3G ในเขตชนบท ดังนั้น การสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบ Flash-OFDM ซึ่งใช้ความถี่ต่ำในย่าน 450 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้มีพื้นที่ให้บริการกว้างจึงดูจะเป็นทางเลือกแบบผสมผสานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดตลาดกลุ่มพรีเมียมในชนบท

ขณะเดียวกับที่เครือข่าย EDGE ของผู้ให้บริการที่ยังไม่มีสิทธิ์เปิดบริการเครือข่าย 3G ก็จะมีตำแหน่งทางการตลาดในฐานะของเครือข่ายไร้สายที่รองรับผู้ใช้บริการ BWA ทั้งกลุ่มประจำที่และกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปที่มีความคาดหวังในเรื่องของคุณภาพการให้บริการไม่ถึงขั้นกลุ่มพรีเมียม โดยอาจมีการสร้างเครือข่าย WiMAX เป็นทางเลือกเสริมเพื่อเน้นการให้บริการแบบประจำที่ภายในเขตเมืองและชานเมือง และท้ายที่สุดยังอาจมีการวางเครือข่าย WiMAX ผสมผสานกัน Flash-OFDM เพื่อรองรับการใช้บริการแบบประจำที่โดยเน้นการใช้งานข้ามเครือข่าย (Portable) เป็นจุดขายสำคัญ ซึ่งในทางปฏิบัติบทบาทและหน้าที่ในการลงทุนสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแต่ละประเภท รวมถึงการกำหนดตำแหน่งทางการตลาดว่าเครือข่ายของผู้ประกอบการรายใดต้องการจะจับตลาดกลุ่มใดนั้นล้วนเป็นสิทธิ์ของผู้ประกอบการแต่ละรายเอง

ผู้เขียนเชื่อว่าการทำธุรกิจสื่อสารไร้สายในลักษณะของ BWA น่าจะกลายเป็นกระแสร้อนแรงในอนาคตอันใกล้ ยิ่งเมื่อการแข่งขันในธุรกิจบรอดแบนด์แบบมีสายในประเทศไทยมาถึงทางตันเนื่องจากไม่มีผู้ประกอบการรายใดกล้าที่จะใช้กลไกราคามาเป็นเครื่องมือในการแข่งขันอีกต่อไป การหยิบยกรูปแบบบริการบรอดแบนด์ชนิดใหม่ๆ โดยเฉพาะการทำตลาดแบบ BWA ย่อมกลายเป็นอาวุธชิ้นใหม่ของสมรภูมิบรอดแบนด์อย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ การทำความเข้าใจในเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละประเภท เพื่อรับทราบจุดเด่นและข้อด้อย เพื่อนำไปปรับใช้ได้อย่างเหมาะสมย่อมเป็นสิ่งที่ผู้สนใจในเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมทุกท่านควรให้ความสนใจ ◎

งานวิจัยและพัฒนาโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย ของ บมจ. ทีโอที

นายสำรวญ ช่วยสกุล
วิศวกร 7 สถาบันนวัตกรรมทีโอที
บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)

บริการโทรศัพท์สาธารณะเป็นงานบริการที่ บมจ.ทีโอที บริการรับใช้สังคมมาโดยตลอด โดยมีการติดตั้งให้บริการแก่ประชาชนทั่วประเทศอย่างทั่วถึงและเท่าเทียมกัน ดังนั้น เพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณในการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ และส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศ บมจ.ทีโอที โดยสถาบันนวัตกรรมทีโอทีได้วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์โทรคมนาคมรองรับบริการโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย สำหรับการใช้งานร่วมกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอนาล็อกและเครือข่ายดิจิตอล 2 ผลิตภัณฑ์ ดังนี้

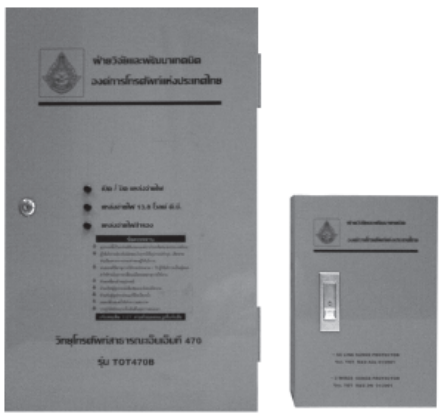
- วิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz (Cellular for Payphone in NMT 470 MHz)
- โทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร (Wireless Payphone)

วิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz (Cellular for Payphone in NMT 470 MHz)

โทรศัพท์สาธารณะเคลื่อนที่เครือข่าย NMT 470 MHz มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งส่งผลให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานนอกข่ายสาย และโทรศัพท์สาธารณะนอกข่ายสายบนเครือข่าย NMT 470 MHz มีความสะดวกและคล่องตัวมากขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ที่ขาดแคลนข่ายสายโทรศัพท์สาธารณะ โดยเครื่องวิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz ออกแบบให้รองรับการใช้งานเป็น 2 แบบ ดังนี้

- แบบโทรศัพท์พื้นฐานนอกข่ายสาย แบบนี้จะใช้งานร่วมกับเครื่องโทรศัพท์แบบตั้งโต๊ะ เครื่องโทรสาร และตู้โทรศัพท์สาขา (PABX) ตามบ้าน สถานที่ราชการ และสำนักงานเอกชน

- แบบโทรศัพท์สาธารณะนอกข่ายสาย แบบนี้จะใช้งานร่วมกับเครื่องโทรศัพท์สาธารณะประเภทหยอดเหรียญ หรือแบบใช้บัตรไอซี (Chip Card)



รูปเครื่องวิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz และชุด Protector

เครื่องวิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz ได้มีการจัดจ้างผลิตในปี พ.ศ. 2544 จำนวน 1,000 ชุด และได้นำไปติดตั้งใช้งานในกิจการของ บมจ.ทีโอที โดยเน้นเป็นโทรศัพท์สาธารณะนอกข่ายสาย ใช้งานในพื้นที่ที่ข่ายสายโทรศัพท์ขาดแคลน โดยเครื่องวิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์สาธารณะ (เครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบหยอดเหรียญ หรือเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตร) กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 470 MHz

โทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร (Wireless Payphone)

โทรศัพท์สาธารณะไร้สายระบบดิจิตอล หรือโทรศัพท์สาธารณะไร้สายเครือข่ายจีเอสเอ็ม เป็นการพัฒนาประยุกต์ใช้เครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตร TOT Card ที่วิจัยและออกแบบโดย บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) มีรูปลักษณ์เดียวกันกับที่ได้นำไปติดตั้งใช้งานอยู่แล้วในปัจจุบัน ปกติการนำเครื่องโทรศัพท์ไปใช้งานจะต้องเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์ โดยใช้คู่สายโทรศัพท์เป็นช่องทางของสัญญาณในการติดต่อสื่อสารและเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์ ข้อจำกัดการให้บริการขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่มีคู่สายโทรศัพท์รองรับหรือไม่ ถ้าพื้นที่ไม่มีคู่สายโทรศัพท์ ก็ไม่สามารถให้บริการได้ สาเหตุที่ไม่มีคู่สายโทรศัพท์อาจมาจาก อยู่นอกพื้นที่การให้บริการของชุมสายโทรศัพท์ มีจำนวนคู่สายจำกัด พื้นที่ไม่สะดวกที่จะเข้าไปติดตั้ง อยู่ห่างไกลชุมชน เหตุผลดังกล่าวซึ่งอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนที่จะขยายคู่สายใหม่ จากข้อจำกัดนี้ จึงได้ออกแบบส่วนเพิ่มเติมเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตร TOT Card ให้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้คู่สายต่อตรงกับชุมสายโทรศัพท์ แต่ใช้การติดต่อสื่อสารในระบบไร้สายโดยใช้เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่

รองรับการใช้งานได้กับเครือข่ายระบบ GSM ทุกระบบ ออกแบบประกอบติดตั้งอยู่ภายในเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรเป็นชุดเดียว ทำให้สะดวกต่อการนำไปติดตั้งใช้งาน ตอบสนองการให้บริการโทรศัพท์สาธารณะนอกพื้นที่นอกข่าย และในกรณีเร่งด่วน ขั้นตอนและวิธีการใช้งานโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร จะต้องง่ายเป็นแบบเดียวกับโทรศัพท์สาธารณะทั่วไป เพื่อหลีกเลี่ยงผู้ใช้งานสับสน

1. เงื่อนไขการออกแบบโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร Wireless Payphone

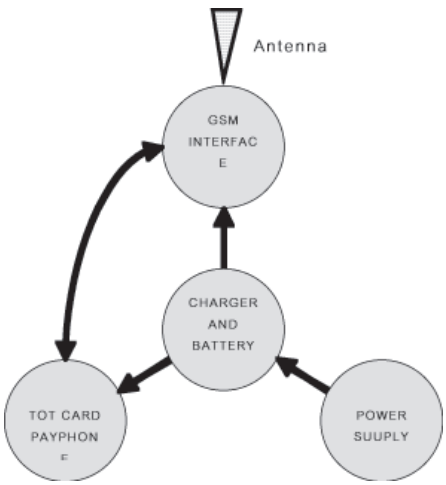
1.1 การออกแบบเพิ่มเติมทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ จะต้องสามารถทำงานร่วมกับเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรไอซี TOT Card ประกอบติดตั้งอยู่ภายในเครื่องโทรศัพท์สาธารณะรวมเป็นชุดเดียว การประกอบติดตั้งและถอดบำรุงรักษาจะต้องง่ายต่อช่างภาคสนาม และเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร จะต้องยังคงความสามารถในการนำมาใช้งานได้กับคู่สายโทรศัพท์ปกติ โดยการปรับเปลี่ยนซอฟต์แวร์การทำงาน และตัดส่วนเชื่อมต่อที่ไม่เกี่ยวข้องออก

1.2 เครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร Wireless Payphone จะต้องสามารถรองรับการใช้งานร่วมกับเครือข่าย GSM ได้ทุกระบบ ส่วนการเลือกนำไปใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และเงื่อนไขข้อตกลงทางด้านการตลาดและดำเนินการทางธุรกิจ

1.3 เครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร Wireless Payphone จะต้องรองรับระบบไฟเลี้ยงที่ได้มาจาก AC/DC Adapter, AC Transformer แรงดันต่ำ หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) ได้ เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานให้สอดคล้องกับแหล่งจ่ายที่มีอยู่

2. ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร ประกอบด้วย 5 ส่วนที่สำคัญ ออกแบบโดยประกอบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) จำนวน 2 แผ่น แยกเป็นส่วนของโทรศัพท์สาธารณะจำนวน 1 แผ่น และส่วนของการเชื่อมต่อกับระบบควบคุมการจ่ายไฟเลี้ยง จำนวน 1 แผ่น วางลักษณะซ้อนกัน การติดต่อระหว่างกันใช้สายนำสัญญาณไฟฟ้า ประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรมดังนี้



Block diagram of Wireless Payphone

2.1 เครื่องโทรศัพท์สาธารณะ (TOT Card Payphone)

หลักการทำงานของเครื่องโทรศัพท์สาธารณะ มีหลักการออกแบบโดยการแบ่งลักษณะหน้าที่การทำงานของเครื่องโทรศัพท์เป็นภาคต่างๆ ดังนี้

2.1.1 ภาคเชื่อมต่อชุมสายโทรศัพท์ (PSTN Line Interface Unit) ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณเสียงหรือสัญญาณควบคุมระหว่าง

ชุมสายโทรศัพท์กับเครื่องโทรศัพท์สาธารณะ มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

• วงจรป้องกันแรงดันเกิน (Surge Protection) อันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือการเกิดฟ้าผ่าที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินเข้าไปทำลายวงจรในส่วนอื่นๆ ของเครื่องโทรศัพท์

• วงจรป้องกันคลื่นวิทยุเหนี่ยวนำ (Radio Frequency Interference Protection) อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เหนี่ยวนำเข้ามาทางสัญญาณวิทยุ เช่น เครื่องรับส่งวิทยุ เป็นต้น เพื่อให้สัญญาณเสียงมีความชัดเจนปราศจากเสียงรบกวน

• วงจรป้องกันการพ่วงต่อโทรศัพท์ (Anti-Line Tapping) ทำหน้าที่ป้องกันผู้ลักลอบแอบใช้โทรศัพท์โดยไม่ต้องเสียค่าบริการ วงจรนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับอุปกรณ์แปลงปลอมที่มีการพ่วงต่อกับสายโทรศัพท์ หากไม่ใช่เครื่องโทรศัพท์สาธารณะ วงจรนี้จะทำหน้าที่ตัดสายโทรศัพท์ออกโดยทันที

2.1.2 ภาคควบคุมสัญญาณ (Signaling Control Unit) ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณและควบคุมสัญญาณต่างๆ ได้แก่ สัญญาณกระดิ่ง (Ringing Signal) สัญญาณเก็บค่าบริการ (Charging Signal) สัญญาณวางหูหรือยกหูโทรศัพท์ เป็นต้น

2.1.3 ภาคโทรศัพท์ (Speech Path Unit) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง และแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถพูดคุยโทรศัพท์ได้สองทาง (Hybrid Voice) และมีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณเสียงต่างๆ ได้แก่ สัญญาณเสียงแจ้งเตือนมูลค่าบัตรกำลังจะหมด สัญญาณเสียงตอบรับอัตโนมัติ (Answer Tone) เป็นต้น ในกรณีที่จะให้บริการแก่ผู้พิการทางตาสามารถติดตั้งอุปกรณ์ประกาศเสียง (Voice Announcement) สำหรับผู้พิการทางตาเพื่อที่จะได้รับเสียงประกาศแจ้งสภาวะการใช้งานต่างๆ ด้วยเสียงให้แก่ผู้พิการทางตาได้

2.1.4 ภาคตรวจสอบบัตร (Authentication Unit) ทำหน้าที่ตรวจสอบบัตรว่าเป็นบัตรที่ถูกต้องหรือไม่ การตรวจสอบใช้เทคนิคตรวจสอบแบบแอกทีฟ (Active Authentication) โดยทำงานร่วมกันระหว่าง Security Access Module และข้อมูลรหัสลับที่อยู่ภายในบัตร เพื่อตรวจสอบว่าเป็นบัตรจริงหรือบัตรปลอม

2.1.5 ภาคอุปกรณ์ต่อพ่วง (Input/Output Devices) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ประกอบการทำงาน ได้แก่ หน้าปัทม์แสดงผล (LCD Display) แป้นกดเลขหมาย (Key Board) สวิทซ์วางหูโทรศัพท์(Hook Switch) อุปกรณ์ปากพูดหูฟัง (Hand Set) และอุปกรณ์บัตร (Card Reader) เป็นต้น

2.1.6 ภาคประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการทำงานของภาคต่างๆ ให้มีความสัมพันธ์กันอย่างถูกต้อง การประมวลผลข้อมูล การเก็บบันทึกข้อมูล การรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในเครื่องโทรศัพท์สาธารณะ และการรับส่งชุดคำสั่งหรือข้อมูลไปยังระบบจัดการโทรศัพท์สาธารณะ

2.2 GSM Interface

เป็นส่วนเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานระหว่างโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรไอซีกับส่วนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สื่อสัญญาณในการให้เครื่องโทรศัพท์สาธารณะเข้าถึงและสามารถใช้บริการต่างๆ ของเครือข่าย GSM โดยผู้ให้บริการจะเป็นผู้กำหนดหมายเลขโทรศัพท์และประเภทของบริการไว้บน SIM (Subscriber Identity Module) เนื่องจากโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย ไม่ใช้คู่สายเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์ ดังนั้นจะไม่มีสัญญาณต่างๆ เหมือนกับโทรศัพท์สาธารณะทั่วไป จึงจำเป็นต้องสร้างสัญญาณต่างๆ ขึ้นมาเองเพื่อให้ผู้ใช้งานสะดวกและเป็นมาตรฐานเดียวกันกับโทรศัพท์สาธารณะทั่วไปมากที่สุด เช่น สร้างสัญญาณ

Dial Tone, Busy Tone, Ringback Tone และสัญญาณต่างๆ การออกแบบจะทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน และการบำรุงรักษา ชุด GSM Interface สามารถแยกส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม มาตรฐาน RS-232 เพื่อทำการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาเบื้องต้น ทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการหาปัญหา หรือใช้สำหรับการโปรแกรมซอฟต์แวร์ ควบคุมการทำงานและพัฒนาโปรแกรม

2.3 Charger & Battery Backup

ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับระบบ และรักษาระดับแรงดันให้ได้ตรงตามที่ต้องการ มีวงจรควบคุมแรงดันไฟเกินหรือต่ำกว่ากำหนด เพื่อสร้างเสถียรภาพความปลอดภัยของระบบ และช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่สำรองให้สามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนด ส่วนจ่ายไฟจะจ่ายไฟเลี้ยงให้กับระบบ อีกเส้นทางหนึ่งจะป้อนไปยังวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บเป็นพลังสำรองในกรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง โดยวงจรจะควบคุมและทำการตัดต่อระบบจ่ายไฟเลี้ยงโดยอัตโนมัติ ทำให้การให้บริการโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย ไม่หยุดชะงักลง สามารถใช้งานต่อเนื่องได้อีกระยะเวลาหนึ่ง ขึ้นอยู่กับระบบสำรองที่จะรองรับได้ คือขนาดความจุของแบตเตอรี่ สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานแต่ละพื้นที่

2.4 Power Supply

ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย ออกแบบให้รองรับระบบไฟเลี้ยงได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปติดตั้ง

2.4.1 AC-DC Adapter เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 220 VAC ผ่านวงจรแปลงไฟมีเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำไปจ่ายให้ส่วนของ Charger และ Battery Backup ได้เลย แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC ที่นำมาใช้งานจะต้องผ่านหม้อแปลง Isolator ก่อนเพื่อมาตรฐานความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

2.4.2 AC-AC Adapter เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 220 VAC ผ่านหม้อแปลง Isolator เอาท์พุทที่ได้จะยังคงเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับแต่มีขนาดแรงดันต่ำเป็นหม้อแปลงลดแรงดันที่มีใช้งานอยู่แล้ว สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงระบบแสงสว่างของตู้บูทโทรศัพท์สาธารณะ

2.4.3 Solar Cell เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานธรรมชาติและเป็นพลังงานทางเลือก พื้นที่บางจุดไม่มีระบบไฟฟ้า 220 VAC แต่มีความต้องการติดตั้งใช้งานโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย Solar Cell จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

2.5 Antenna

ทำหน้าที่รับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุเพื่อกระจายออกไปในอากาศ สายอากาศที่ใช้งานจะต้องสัมพันธ์กับความถี่ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ที่เลือกใช้บริการ และระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ เพื่อที่จะได้เลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมและประหยัดต่อการติดตั้ง เช่น จะเลือกใช้สายอากาศที่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แบบมีทิศทาง มีอัตราขยาย หรือยกเสาสูงเป็นข้อมูลในการติดตั้งแล้วทำให้การใช้งานได้ดี

3. การนำไปใช้งาน

การนำไปใช้งานเหมาะสมอย่างยิ่งกับพื้นที่นอกข่ายสาย พื้นที่ที่ไม่มีคู่สาย หรือมีจำนวนคู่สายโทรศัพท์ไม่เพียงพอกับความต้องการจะเป็นการช่วยให้บริการโทรศัพท์สาธารณะได้อย่างทั่วถึง รวดเร็วต่อการขยายเลขหมาย หรือใช้ในการทดลองตลาด เมื่อมีความคุ้มในการลงทุนคู่สายจึงค่อยลงทุน ตัวอย่างพื้นที่ที่ได้สำรวจเบื้องต้นเป็นแนวทางในการนำเครื่องโทรศัพท์ไปติดตั้งใช้งานหรือเข้าไปช่วยเสริม เช่น สถานศึกษา เส้นทางหลวง สถานที่ท่องเที่ยว พื้นที่ห่างไกลชุมชน

ตัวอย่างที่ 1
โรงเรียนจุฬาภรณ์ราชวิทยาลัย
อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี
เป็นโรงเรียนประจำ
สถานที่ตั้งอยู่ห่างไกลชุมชน

ตัวอย่างที่ 2
อบต.บางพลับ จ.นนทบุรี
สภาพพื้นที่เป็นสวน
ไม่มีคู่สายโทรศัพท์

ตัวอย่างที่ 3
เขาค้อ อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์
เป็นสถานที่ท่องเที่ยว
สภาพพื้นที่เป็นภูเขา

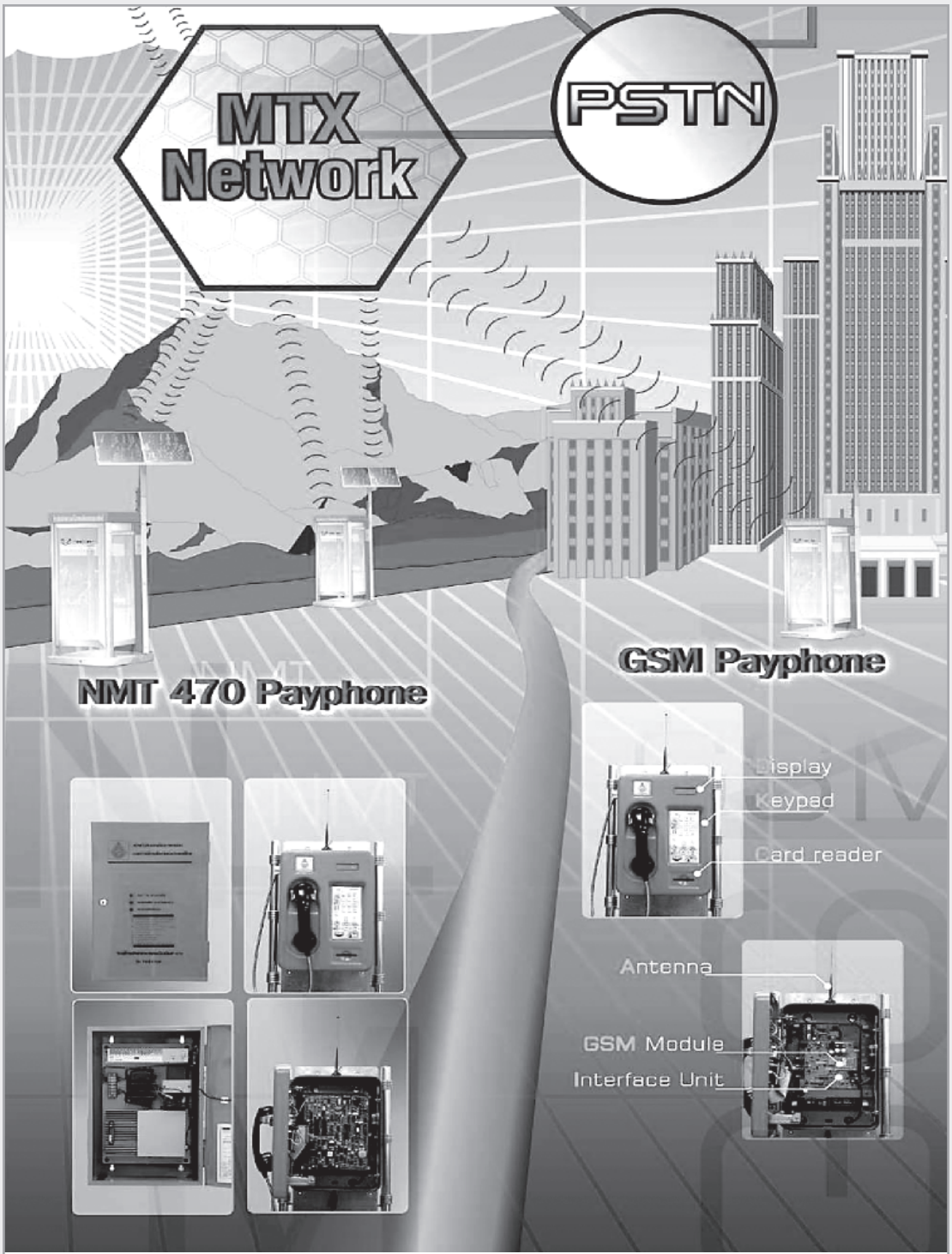
4. รูปแบบการนำไปติดตั้งใช้งาน

รูปแบบการนำไปติดตั้งใช้งานจะมีสองลักษณะ คือ ภายในอาคารและภายนอกอาคาร ขึ้นอยู่กับสถานที่และความเหมาะสม เช่น ภายในอาคารจะติดตั้งบนฐานจับยึด หลีกเลี่ยงการเจาะผนังจับยึด เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า AC–DC Adapter หรือ ติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ภายนอกอาคาร ส่วนการติดตั้งภายนอกอาคารจะติดตั้งในตู้บูทโทรศัพท์เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ได้มาจากหม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันที่ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับระบบแสงสว่างในตู้บูท หรือติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาตู้บูทโทรศัพท์

การนำไปติดตั้งใช้งาน ทั้งวิทยุโทรศัพท์สาธารณะเครือข่าย NMT 470 MHz และโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร จะมีรูปแบบที่คล้ายกันต่างกันที่เลือกใช้เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ การติดต่อสื่อสารจะใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการนำสัญญาณไปยังสถานีฐาน และผ่านไปยังระบบควบคุมกลาง

รูปแบบการติดตั้งภายในอาคาร

รูปแบบการติดตั้งในตู้บูทโทรศัพท์สาธารณะ



รูปโครงสร้างการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายเบื้องต้น

5. แนวทางการพัฒนาต่อเนื่อง

แนวทางการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายของ บมจ.ทีโอที ต่อเนื่องจะคำนึงถึงความเหมาะสมและความคุ้มทุนต่องานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้งานสนับสนุนกิจการของ บมจ.ทีโอที ให้ตรงกับความต้องการและตรงกับเทคโนโลยีเครือข่ายที่มีรองรับเพื่อเป็นจุดแข็งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ NMT 470 MHz ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้ถูกนำมาใช้งานเป็นระยะเวลานานแล้ว ซึ่งไม่คุ้มทุนต่อการขยายและดูแลรักษา ก็จะถูกทดแทนด้วยเทคโนโลยี CDMA ที่จะนำมาใช้งานเร็วๆ นี้ ในรูปแบบโทรศัพท์สาธารณะนอกข่ายสายและโทรศัพท์พื้นฐานนอกข่ายสาย ซึ่งเทคโนโลยี CDMA นี้น่าจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายต่อไปได้ หรือนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ เพื่อสร้างเป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารไร้สาย เป็นระบบควบคุมหรือระบบเตือนภัย

ในส่วนของโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร (Wireless Payphone) ในงานด้านการวิจัยสามารถที่จะพัฒนาให้รองรับการใช้งานระบบมัลติมีเดีย นอกจากการติดต่อสื่อสารผ่านทางการพูดคุยแล้ว ยังสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งทำให้สามารถค้นหาข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต เช็คอีเมล์ ทำธุรกรรมทางการเงิน การส่งข้อความขนาดสั้น (SMS) หรือแม้กระทั่งเล่นเกมออนไลน์ ดังนั้นในการนำไปใช้งานนอกจากพื้นที่ห่างไกลแล้ว ยังสามารถนำไปใช้งานในแหล่งชุมชน ในตัวเมืองใหญ่ๆ สนามบิน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงภาพยนตร์ งานแสดงสินค้า มหาวิทยาลัย และที่สาธารณะอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน และการให้บริการสาธารณะด้วยเทคโนโลยีและรูปแบบที่เหมาะสมต่อการใช้งานในปัจจุบันได้

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ

6.1 ลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายพัฒนาเพิ่มเติมจากเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีให้บริการอยู่แล้ว ทำให้ต้นทุนในการพัฒนาน้อยกว่าการเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกทั้งยังประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน

6.2 สะดวกและรวดเร็วต่อการขยายบริการโทรศัพท์สาธารณะ ในกรณีเร่งด่วนหรือขาดแคลนคู่สายโทรศัพท์ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีคู่สายโทรศัพท์ต่อมายังเครื่องโทรศัพท์โดยตรงก็สามารถให้บริการได้

6.3 ให้บริการโทรศัพท์สาธารณะครอบคลุมทุกพื้นที่ที่มีสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ของเครือข่ายระบบจีเอสเอ็มรองรับ เนื่องจากการรับส่งสัญญาณจะใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลาง ทำให้ทุกพื้นที่ที่มีสัญญาณสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้

6.4 ส่งเสริมและสนับสนุนการใช้ผลิตภัณฑ์โทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตร ไอซี (TOT Card) เนื่องจากโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรไอซีได้พัฒนาการนำไปใช้งานหลายบริการแล้ว เช่น โทรศัพท์สาธารณะสำหรับคนพิการทางสายตา เครื่องบริการประชาชนเอนกประสงค์ e-Visiting จึงเป็นทางทางเลือกของผู้ใช้บริการที่สามารถใช้บัตร TOT Card ใบเดียว ได้หลากหลายบริการ

6.5 สนับสนุนการใช้บริการเครือข่าย GSM 1900 (Thai Mobile) ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเครือข่ายยังมีความสามารถรองรับการใช้งานได้อีกจำนวนมาก ดังนั้น บริการโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะเป็นช่องทางการขยายเลขหมายได้

6.6 เป็นทางเลือกใช้บริการของประชาชนในอัตราที่ค่าบริการที่แตกต่างตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันมีการแข่งขันด้านราคากันสูงมาก และมีราคาถูกกว่าใช้โทรศัพท์พื้นฐาน จึงเป็นทางเลือก

ของผู้ใช้บริการที่จะสามารถเลือกใช้บริการที่มีราคาถูกกว่าได้

6.7 ปลอดภัยจากการลักลอบใช้งานและดักฟังเมื่อเปรียบเทียบกับข่ายสาย การรับส่งสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีกรรมวิธีเข้ารหัสแบบดิจิตอล ซึ่งยากต่อการดักฟัง ซึ่งต่างกับโทรศัพท์สาธารณะพื้นฐานที่ใช้ข่ายสายทองแดงสามารถมองเห็นข่ายสายและจับสัญญาณด้วยเครื่องมือได้

6.8 พัฒนาให้บริการสาธารณะอื่นๆ ได้ เนื่องจากเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่รองรับบริการได้หลากหลาย มากกว่าการใช้สนทนา เช่น บริการส่งข้อความ อีเมล์ เป็นต้น

สรุปงานวิจัย

เครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย MNT 470 MHz ที่ออกแบบและพัฒนา ได้นำไปทดลองใช้งานจริงแล้วสามารถใช้งานได้ ปัจจุบันนี้ก็ยังคงใช้งานอยู่ เครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สาย MNT 470 MHz ได้กำหนดวิธีการติดตั้งและออกแบบระบบป้องกันทั้ง AC Line และ 2 Wire Protection ที่เหมาะสมกับภูมิประเทศ ทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นน้อย และเครื่องโทรศัพท์สาธารณะไร้สายแบบใช้บัตร (Wireless Payphone) ซึ่งได้ทำการจ้างผลิตตามแบบของ บมจ.ทีโอที ทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการแล้ว ทำการสำรวจพื้นที่เพื่อการติดตั้งและจัดสร้างอุปกรณ์จับยึดพร้อม รอการนำไปทดลองใช้งานจริงในภาคสนาม เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการปรับปรุงงานวิจัยให้ดีขึ้น หรือเพื่อประโยชน์ในการทำโครงการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป เครือข่ายไร้สายมีแนวโน้มการตลาดที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การได้พัฒนางานที่ต่อเนื่องและได้รับการสนับสนุนจะทำให้การเลือกใช้เทคโนโลยีและออกแบบผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการขององค์กร ◎

เอกสารอ้างอิง

เอกสารประมวลผลงานของ สำนักวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโทรคมนาคม บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network)

นางสาวกาญจนา วิริยะพันธ์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LANs) ยังจำเป็นต้องพึ่งพาโครงสร้างทางกายภาพ (Infrastructure) คือ มีการนำ Access Point มาทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network devices) อยู่เช่นเดิม ซึ่งบางสถานที่ลำบากสำหรับการเดินสายเน็ตเวิร์คเข้าไปให้ถึงจุดที่ต้องการ ดังนั้น ระบบเครือข่ายไร้สายคอมพิวเตอร์เฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network) จึงได้เข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว คือ ช่วยให้พื้นที่ที่ยากต่อการเดินสายเน็ตเวิร์คสามารถใช้งานระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้ แม้ว่า Ad Hoc Network สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลได้โดยที่ไม่ต้องอาศัยโครงสร้างทางกายภาพ (Infrastructure) เหมือนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สิ่งที่สำคัญคือเราจะมีวิธีในการรับส่งข้อมูลได้อย่างไรใน Ad Hoc Network ในบทความนี้จะแสดงให้เห็นถึงเราน์ติ้งโปรโตคอลประเภทต่างๆ ที่ทำงานบนเครือข่าย Ad Hoc Network เพื่อที่เป็นแนวทางในการ

เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย เราน์ติ้ง โปรโตคอล Ad Hoc Network

1. บทนำ

Mobile Ad Hoc Network (MANET) ต่อไปเรียกว่า Ad Hoc Network เป็นเครือข่ายไร้สายที่ไม่ต้องการจุดศูนย์กลาง (Access Point) หรือเราน์เตอร์ (Router) ในการส่งผ่านข้อมูลไปยังโหนดต่างๆ บนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ แต่ทุกโหนดในระบบเน็ตเวิร์คต่างทำหน้าที่เป็นเราน์เตอร์เพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโหนดข้างเคียง ซึ่งแต่ละโหนดในเน็ตเวิร์คจะทำหน้าที่เป็นเราน์เตอร์ของตัวเองและโหนดข้างเคียง เพื่อทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางและส่งผ่านข้อมูลในระบบเน็ตเวิร์ค โปรโตคอลบน Ad Hoc Network แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

- Proactive (Table-driven Routing Protocols)
- Reactive (Source-initiated On-demand Routing Protocols)
- Hybrid Routing Protocols

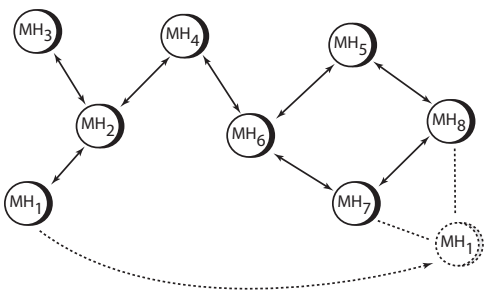
2. Proactive (Table-driven Routing Protocols)

โปรโตคอลประเภทนี้ ทุกโหนดจะบรรจุข้อมูลของโหนดต่างๆ ในระบบเน็ตเวิร์คไว้ในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลของตัวเอง โดยที่โหนดต้นทางจะทำการแผ่กระจายสัญญาณ (Broadcast) ไปยังโหนดข้างเคียง (Neighbor Node) โดยอาศัยหลักการของ Flooding Algorithm เพื่อค้นหาเส้นทาง โปรโตคอลที่อาศัยหลักการของ Table-driven Routing Protocols คือ Destination Sequenced Distance-Vector Routing Protocol (DSDV), Wireless Routing Protocol (WRP), Cluster-head Gateway Switch Routing Protocol (CGSR) เป็นต้น

2.1 Destination Sequenced Distance-Vector Routing Protocol (DSDV)

DSDV [1][5] อยู่ในเราน์ติ้งโปรโตคอลประเภท Table-driven โดยอาศัยหลักการของ Bellman-Ford Algorithm เพื่อค้นหาเส้นทางโหนดปลายทาง แต่ละโหนดที่อยู่ภายในเครือข่ายจะบรรจุเส้นทางของโหนดปลายทาง (Node Path) ลงในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล ในแต่ละแถวของตารางจะบรรจุ Sequence Number กำหนดโดยโหนดต้นทาง (Source Node) เพื่อป้องกันการเกิด Loops ในการอัพเดทตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล

โดยที่ DSDV มีการอัพเดทตาราง 2 ชนิด คือ Incremental Updates และ Full Dumps เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล โดยที่ Incremental Updates จะทำการอัพเดท Network Data Packet Unit (NDPU) เพียงตัวเดียว ส่วน Full Dumps สามารถทำการอัพเดทตารางเราน์ติ้งได้หลาย NDPU ซึ่ง Incremental Updates ใช้เมื่อโหนดไม่สามารถทำการอัพเดทตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลได้ อาจเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของแต่ล่ะโหนดซึ่งอยู่ไกลออกไปหรือ



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของโหนดในเน็ตเวิร์ค

ตารางแสดงเราน์ติ้งเทเบิ้ลของโปรโตคอล DSDV

Destination	NextHop	Metric	Sequence Number	Install	Flags	Stable_data
MH_1	MH_2	2	S406_MH_1	T001_MH_4		Ptrl_MH_1
MH_2	MH_3	1	S128_MH_2	T001_MH_4		Ptrl_MH_2
MH_3	MH_2	2	S564_MH_3	T001_MH_4		Ptrl_MH_3
MH_4	MH_4	0	S710_MH_4	T001_MH_4		Ptrl_MH_4
MH_5	MH_6	2	S392_MH_5	T002_MH_4		Ptrl_MH_5
MH_6	MH_6	1	S076_MH_6	T001_MH_4		Ptrl_MH_6
MH_7	MH_6	2	S128_MH_7	T002_MH_4		Ptrl_MH_7
MH_8	MH_6	3	S050_MH_8	T002_MH_4		Ptrl_MH_8

การปิดอุปกรณ์ซึ่งทำให้ไม่สามาถส่งสัญญาณไปอัพเดทตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลได้ ส่วน Full Dumps จะใช้ก็ต่อเมื่อ Incremental Updates ต้องการใช้มากกว่า 1 NDPU หรือเน็ตเวิร์คเปลี่ยน Topology

2.2 Wireless Routing Protocol (WRP)

WRP [1][7] คล้ายกับ DSDV คือ ใช้ Bellman-Ford Algorithm ในการค้นหาเส้นทางเช่นกันและการอัพเดทตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลแต่ละโหนดของ WRP จะบรรจุตารางไว้ 4 ตาราง คือ

- Distance Table
- Routing Table
- Link-cost Table
- Message Retransmission List (MRL) Table

Distance Table (DT) จะบรรจุข้อมูลของโหนดข้างเคียงกับโหนดต้นทาง เช่น ระยะทาง, Flag แสดงสถานะของโหนด เป็นต้น

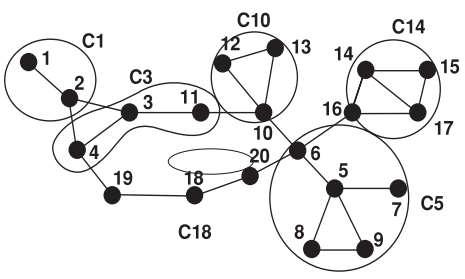
Routing Table (RT) บรรจุ Up-to-date view ของโหนดปลายทางทั้งหมดในเน็ตเวิร์ค

Link-cost Table (LCT) บรรจุค่า Link-cost ของเน็ตเวิร์ค เช่น จำนวนของโหนดทั้งหมดในเน็ตเวิร์ค ค่ารีเรย์ของแต่ละโหนดในเน็ตเวิร์ค เป็นต้น

Message Retransmission List (MRL) Table บรรจุ Message ที่ทำการรับส่งข้อมูลในเน็ตเวิร์ค

2.3 Cluster-head Gateway Switch Routing Protocol (CGSR)

CGSR [1] อาศัยลำดับชั้นของโครงสร้างลำดับชั้นของเน็ตเวิร์ค (Hierarchical Network) ไม่เหมือนกับ Table-driven โปรโตคอลอื่นๆ แต่ CGSR อาศัยหลักการของ Clustering (Least Cluster Change (LCC)) ในการแบ่งโหนดออกเป็นกลุ่มๆ ซึ่งแต่ละกลุ่มจะทำการเลือก Cluster Head เพื่อเป็น Gateway ส่งต่อไปให้ Cluster กลุ่มอื่นๆ ต่อไป



รูปแสดงกลุ่มของ Clustering ในเครือข่าย

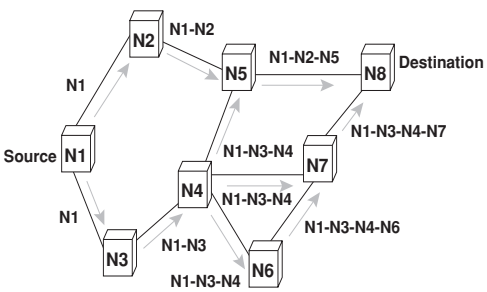
3. Reactive (Source-initiated On-demand Routing Protocols)

Source-initiated On-demand Routing Protocols แตกต่างจาก Table-driven โดยที่จะค้นหาเส้นทางก็ต่อเมื่อโหนดต้นทาง (Source Node) ต้องการส่งข้อมูลให้กับโหนดปลายทาง (Destination Node) เท่านั้น ซึ่งมีข้อดีคือโปรโตคอลประเภทนี้จะสามารถลด Overhead ที่เกิดขึ้นภายในเน็ตเวิร์คได้ทำให้ปริมาณ Traffic ในระบบเน็ตเวิร์คไม่มีมากจนเกินไป ซึ่งโปรโตคอลที่อาศัยหลักการของ Source-initiated On-demand Routing Protocols ได้แก่ Dynamic Source Routing Protocol (DSR), Ad Hoc On-Demand Distance-Vector Routing Protocol (AODV), Location-Aided Routing Protocol (LAR) เป็นต้น

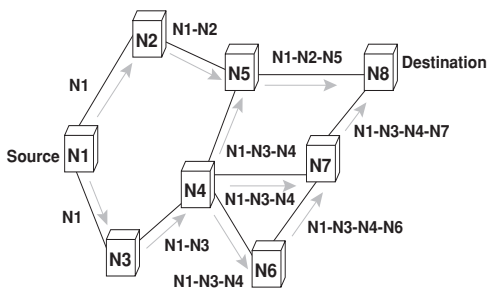
3.1 Dynamic Source Routing Protocol (DSR)

DSR [1][2] ใช้หลักการของ On-demand ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Route Discovery และ Route Maintenance เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง DSR จะทำการพิจารณา Route Cache ในตัวมันเองว่ามีเส้นทางจากตัวมันไปถึงปลายทางหรือไม่ ถ้าข้อมูลใน Route Cache มีเส้นทางของโหนดปลายทางมันจะส่งข้อมูลผ่านไปตามเส้นทาง Route Cache ของตัวมันเอง แต่ถ้าไม่มีข้อมูลของโหนดปลายทางใน Route Cache มันจะสร้าง Route Discovery Broadcasting โดยสร้าง Route Request Packet ไปยังโหนดต่างๆ ที่อยู่ในเน็ตเวิร์ค Route Request จะบรรจุที่อยู่ของโหนดปลายทางที่ต้องการจะส่งข้อมูล ตามด้วยที่อยู่ของโหนดต้นทาง และ Unique Identification Number แต่ละโหนดเมื่อได้รับ Route Request Message จะทำการตรวจสอบใน Route Cache ของตัวเองว่ามีข้อมูลเส้นทางของโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าไม่มีจะทำการบันทึกที่อยู่ของตัวเองลงใน Route Record ของ Packet Route Request และทำการส่ง Route Request Packet ไปยังโหนดต่อๆ ไปซึ่งแต่ละโหนดจะส่งผ่านข้อมูลต่อไปให้โหนดอื่นๆ ก็ต่อเมื่อเส้นทางของโหนดข้างเคียงไม่เคยบันทึกลงใน Route Record เท่านั้น จนพบโหนดปลายทางจะทำการสร้างสัญญาณ Route Reply กลับมายังโหนดต้นทาง

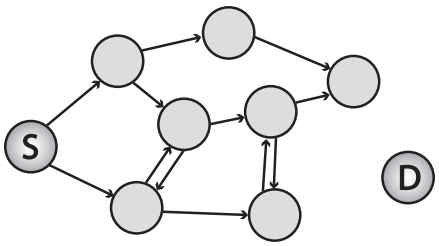
ในบางกรณีที่ Link เสียหรือเกิดการล่าช้าของ Route Reply DSR จะทำการ Route Maintenance คือ ส่งข้อมูล Route Error Message ซึ่ง Route Error จะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลในชั้น Data Link Layer ล้มเหลว เมื่อแต่ละโหนดได้รับข้อมูล Route Error Packet แต่ละโหนดจะทำการลบโหนดที่ Error ออกจาก Route Cache ของตัวมันเอง



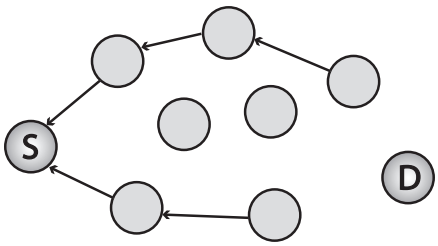
รูปแสดง Route Record
ระหว่างทำการ Route Discovery



รูปแสดง Route reply



รูปแสดงการส่งสัญญาณ RREQ ของโปรโตคอล AODV



รูปแสดงสัญญาณ RREP ของโปรโตคอล AODV

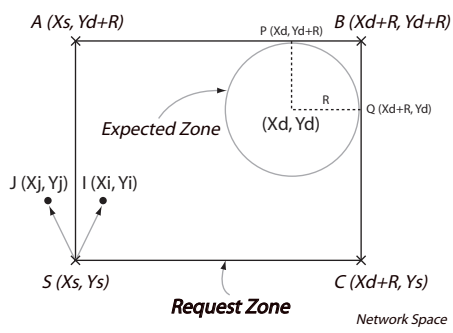
3.2 Ad Hoc On-Demand Distance-Vector Routing Protocol (AODV)

AODV [1][6] ทำการค้นหาเส้นทางโดยตัวมันจะสร้าง Route Discovery Broadcast ไปยังทุกโหนดที่อยู่ในเน็ตเวิร์คและรอสัญญาณ Route Reply กลับมาเพื่อทำการบันทึกลงในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง อันดับแรก AODV จะทำการตรวจสอบตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลก่อนว่ามีเส้นทางไหนไปถึงโหนดปลายทางหรือไม่ ซึ่งถ้ามีเส้นทางอยู่แล้ว AODV จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามเส้นทางนั้น แต่หากไม่มี AODV จะทำการสร้างสัญญาณ Route Discovery โดยการส่ง Message Route Request (RREQ) ใน Message RREQ จะบรรจุข้อมูล Hop Count, Initialized to Zero, และ Time Initiates a New RREQ

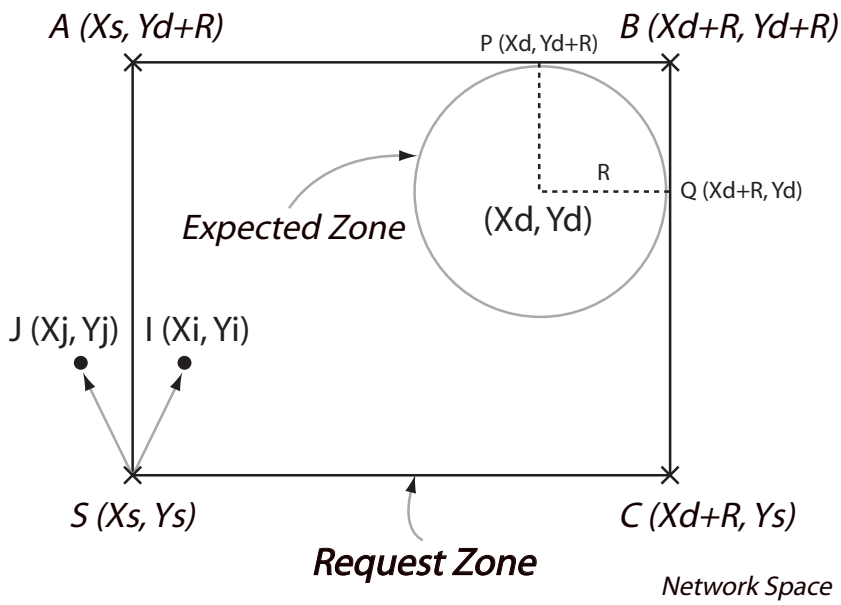
เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ มันจะสร้างสัญญาณ Reverse Route โดยการส่ง Route Reply (RREP) กลับไปยังโหนดต้นทางเมื่อโหนดต้นทางได้รับสัญญาณดังกล่าวจะทำการตรวจสอบ RREP กับค่าเวลา Delay ของสัญญาณซึ่งหาก RREP ส่งกลับมาก่อนที่เวลา Delay ของ Message จะหมดอายุ AODV ก็จะทำการบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากโหนดปลายทางลงไปในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล

3.3 Location-Aided Routing Protocol (LAR)

LAR [8] ใช้ location information เพื่อลด Control Overhead ในระบบเครือข่าย ซึ่ง LAR ใช้ระบบ Global Positioning System (GPS) ในการกำหนดตำแหน่งของโหนดปลายทางโดยที่ LAR จะกำหนดโซนขึ้นมา 2 โซนคือ Request Zone และ Expected Zone โดยที่ Expected Zone คอยทำหน้าที่กำหนดโหนดปลายทางที่จะต้องส่งข้อมูลไปถึงส่วน Request Zone คือ ขอบเขตที่โหนดต้นทาง (Source Node) สามารถ Flooding สัญญาณอัพเดทในเราน์ติ้งเทเบิ้ลได้โดยที่โหนดไหนอยู่นอกขอบเขตของ Request Zone จะไม่สามารถทำการรับส่งข้อมูลซึ่งกันและกันได้จนกว่าโหนดนั้นๆจะเคลื่อนย้ายเข้ามาใน Request Zone จึงจะสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้



รูปแสดง Request Zone
และ Expected Zone ของโปรโตคอล LAR



รูปแสดง Request Zone และ Expected Zone ของโปรโตคอล LAR

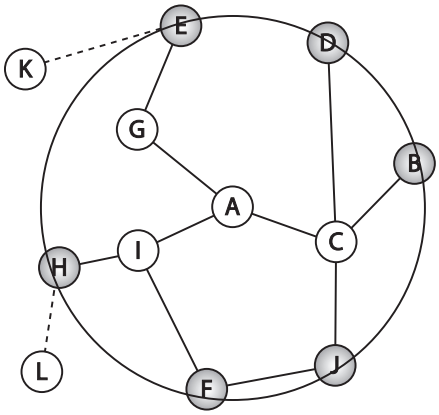
4. Hybrid Routing Protocol

โปรโตคอลประเภทนี้ได้รวมคุณสมบัติเด่นของ Table-driven Routing Protocols และ Source-initiated On-demand Routing Protocols มาสร้างเป็นโปรโตคอลแบบใหม่โดยได้มีการสร้าง Zone ขึ้นมาสำหรับแต่ละโหนด ซึ่งโปรโตคอลที่อาศัยหลักการของ Hybrid Routing Protocol ได้แก่ Zone Routing Protocol (ZRP) เป็นต้น

4.1 Zone Routing Protocol (ZRP)

ZRP [9] รวบรวมเอาคุณสมบัติที่ดีของ Proactive และ Reactive เข้าไว้ด้วยกันในตัวมัน คือ ใช้ Proactive สำหรับกำหนดโซนโหนดข้างเคียง (r–hop) และใช้ Reactive สำหรับโหนดที่อยู่นอกเหนือจากโซน ที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่แรก

โดยที่ ZRP มีการใช้งานโปรโตคอลสนับสนุนอีก 2 โปรโตคอล คือ Intra-zone Routing Protocol (IARP) และ Inter-zone Routing Protocol (IERP) ซึ่ง IARP ใช้คุณสมบัติของ Proactive ในการค้นหาเส้นทางที่อยู่ภายในโซนคือทุกโหนดที่อยู่ภายใต้โซนเดียวกันสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้โดยผ่านตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลที่อัพเดทเหมือนกันส่วน IERP นั้นใช้สำหรับค้นหาเส้นทางสำหรับโหนดปลายทางที่อยู่นอกเหนือจากโซนใน IARP ซึ่งใช้หลักการของ Reactive คือ จะทำการ Flooding หาเส้นทางก็ต่อเมื่อโหนดภายในโซนต้องการค้นหาโหนดปลายทางที่อยู่นอกโซน



รูปแสดงโซนเราน์ติ้งของโหนด A
เมื่อโหนด A มีโซน (r) = 2

5. เปรียบเทียบ Table-driven Routing Protocols และ Source-initiated On-demand Routing Protocols

จากคุณสมบัติของโปรโตคอลทั้ง 2 รูปแบบ เราจะพบว่าโปรโตคอลแบบ Table-driven จะมีการส่งข้อมูลที่ค่อนข่างแม่นยำเนื่องจากมีตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลเป็นตัวกำหนดทิศทางของโหนดแต่ละโหนดโดยอาศัยวิธีการ Flooding เพื่อค้นหาและบันทึกข้อมูลลงในตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ล แต่ก็มีข้อเสียคือจะต้องมีการ Flooding สัญญาณเพื่ออัพเดทตารางเราน์ติ้งเทเบิ้ลอยู่ตลอดเวลา ทำให้ปริมาณ Traffic ในเน็ตเวิร์คค่อนข้างมาก และสามารถเกิดการ Overhead ของข้อมูลได้เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับกลับมาจากโหนดปลายทางอาจมีขนาดใหญ่กว่าบับเฟอร์ของ Message ที่ส่งไป ส่วน Source Initiated On-demand มีข้อดีคือไม่มี Overhead ในการรับส่งข้อมูลเนื่องจากการค้นหาเส้นทางส่วนใหญ่กำหนดเป็นขอบเขตหรือเป็นโซน ทำให้ไม่มีปริมาณ Traffic มากนักในเน็ตเวิร์ค แต่ข้อเสียคือทุกครั้งที่ต้องการส่งข้อมูลกับโหนดใดๆ บนเน็ตเวิร์คจำเป็นจะต้องทำการค้นหาเส้นทางใหม่ ถ้าหากเส้นทางนั้นถูกเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการรอ Message Route Reply จากโหนดปลายทางซึ่งอาจจะมีโอกาสเสียข้อมูลได้ เนื่องจากในระบบ Ad Hoc Network ทุกโหนดในระบบจะมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา

6. สรุป

จากโปรโตคอลด้านบนเป็นเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีการปรับปรุงพัฒนาอยู่จริงในปัจจุบันนี้ Ad Hoc Network ไม่ใช่เรื่องใหม่แต่เป็นเรื่องที่กำลังได้รับความนิยมเป็นจำนวนมากเนื่องจากความสะดวกในการติดตั้งระบบซึ่งไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอาศัยโครงสร้างทางกายภาพหรืออุปกรณ์เน็ตเวิร์คเข้ามาช่วย ซึ่งสิ่งที่จะทำให้เราสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบน Ad Hoc Network คงหนีไม่พ้นเรื่องราวของเราน์ติ้งโปรโตคอล ดังนั้นหากผู้สนใจท่านใดมีความสนใจทางด้านนี้สามารถเข้าไปอ่านเพิ่มเติมได้ที่เอกสารอ้างอิงท้ายบทความ ©

อ้างอิง

Elizabeth M. Royer and C-K Toh, “A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks”, *IEEE Personal Communications*, pp. 46-55, April 1999.

D.B. Johnson and D. A. Maltz, “Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks”, *Mobile Computing, ed. T. Imielinski and H. Korth*, Kluwer Academic Publishers, pp. 153-181, 1996.

S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, “An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks”, *Proceedings of IEEE INFOCOM397*, March 1997.

V. D. Park and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks", *Proceedings of INFOCOM397*, April 1997.

C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", *Computer Communications Review*, pp. 234-244, October 1994.

C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing", *Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, February 1999.

C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols", *Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series Theodore S. Rappaport, Series Editor*, pp. 299-359.

Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks", *in Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 66-75, Dallas, Texas, October 1998.

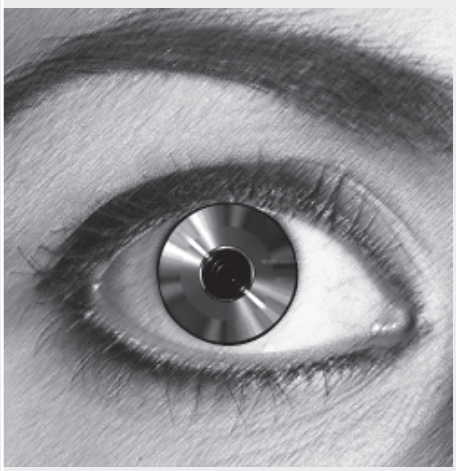
M. R. Pearlman and Z. J. Haas. "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 17 (8), 1395-1414, August 1999.

A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks*, Aug. 1999, 1369-1379.

ผลกระทบของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย ต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย (The Effect of Video Camera and WiFi-Local Area Network)

ผศ.ดร. ชนวัฒน์ ศรีสอ้าน
คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

จากกระแสของอินเทอร์เน็ตที่เปลี่ยนวิถีชีวิตของคนรุ่นใหม่ให้ต้องใช้เครือข่ายแบบไร้สาย (เช่น โทรศัพท์ไร้สาย หรือมือถือ) เกือบทุกอย่างไม่เว้นแม้แต่คอมพิวเตอร์ที่ก็ต้องไร้สายด้วย มาตรฐาน IEEE 802.11b หรือ WiFi ซึ่งเป็น เครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย ที่ใช้กันทั่วไปทั่วโลกในปัจจุบัน ที่ดูเสมือนว่าไม่มีปัญหาอะไรใช้ได้ในทุกสถานการณ์ แต่จากการศึกษาของห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พบบางสิ่งที่น่าสนใจบางประการ เช่น 1) พบว่าอุปกรณ์บางอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานร่วมกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายแบบนี้ได้ 2) บางอุปกรณ์มีผลต่ออายุการใช้งานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายด้วยคือทำให้ทำงานไม่ได้จนถึงเสียหาย ซึ่งผู้เขียนเองก็แปลกใจเหมือนกันในครั้งแรกที่พบและอยากจะนำเสนอต่อสาธารณะเพื่อเป็นความรู้เบื้องต้น จะได้ตระหนกตกใจว่าทำไมอุปกรณ์ใหม่ราคาแพงจึงไม่ทำงาน ผู้เขียนเองก็เคยบ่นว่าทำไมเครือข่ายช้า หรือไม่ทำงานอีกแล้วเวลาที่ต้องใช้



ปรากฏว่าอุปกรณ์ที่เราพกพาไปด้วยตาหากที่ทำให้เครือข่ายไม่ทำงาน ดังนั้น การเลือกซื้อสินค้าไฮเทคก็ควรเลือกอย่างเหมาะสมด้วย

ในบทความนี้เลือกเอากรณีศึกษาหนึ่งที่มีผลอย่างรุนแรงและเกิดได้ในชีวิตประจำวัน กล่าวคือ ในกรณีที่เราท่านใช้กล้องวิดีทัศน์ไร้สายในสำนักงานหรือคอนโดที่ใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย บทความนี้จะแสดงให้ท่านเห็นว่ากล้องวิดีทัศน์ไร้สายของท่านจะทำให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายทำงานไม่ได้เลย บทความนี้มีจุดประสงค์ที่จะนำเสนอผลกระทบของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่มีต่อการทำงานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11b ที่รู้จักกันดีในรูปของบริการอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายตามร้านกาแฟ หรือรถไฟไฟฟ้า หรือ Hot Spot ต่างๆ ปัจจุบันเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีทั่วไปที่ใช้สำนักงาน อาคาร ร้านค้า จนถึง โรงเรียนมหาวิทยาลัยต่างๆ เพราะง่ายต่อการใช้งาน ไม่ต้องวางสายต่อพ่วงไปยังคอมพิวเตอร์ก็สามารถเล่นเน็ต (อินเทอร์เน็ต) ได้

บทความนี้จะศึกษาผลกระทบของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายแบบมาตรฐาน IEEE 802.11b เพื่อหาความน่าจะเป็นของการรับรู้ผิดพลาดของวิธีการมอดูเลตผลต่างทางดิจิตอลทางเฟสไบนารีและการเข้ารหัสเติมเต็มที่อัตราข้อมูล 5.5 เมกะเฮิรตซ์ และเนื่องจากว่ากล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทั่วไป จะใช้ย่านความถี่เดียวกันกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายแบบมาตรฐาน IEEE 802.11b คือ ในย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นการนำกล้องแบบนี้มาใช้มีผลโดยตรงกับการทำงานของเครือข่าย จึงอยากจะแนะนำให้หลีกเลี่ยงเสีย

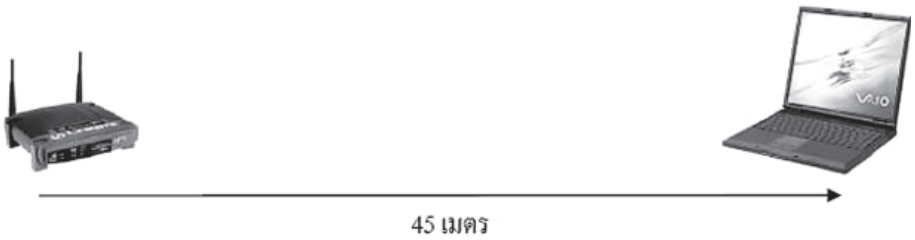
1. วิธีการและขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless Local Area Network) ทำงานร่วมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย

การวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะวัดทั้งทางกายภาพและทางตรรกะ โดยในทางกายภาพจะให้ความสำคัญในเรื่องของคุณภาพของสัญญาณ โดยจะพิจารณาค่าสัญญาณ (Signal Strength) ระดับความแรงของสัญญาณรบกวน (Noise level) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และในส่วนทางตรรกะนั้นจะให้ความสำคัญในเรื่องของค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยสามารถใช้ความน่าจะเป็นของการรับข้อมูลผิดพลาด (Probability of Bit Error Rate) ของวิธีการมอดูเลตแบบดิจิตอลทางเฟสไบนารีมาร่วมพิจารณา

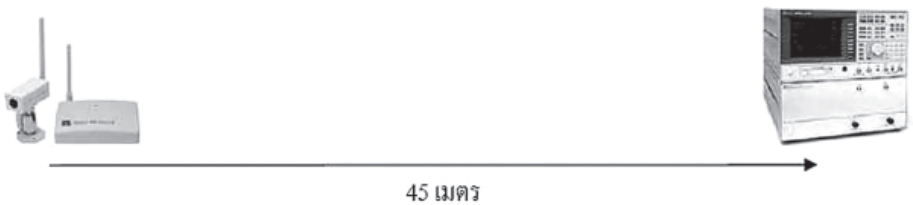
ในการออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพเครือข่ายแลนไร้สาย บทความฉบับนี้จะนำเสนอในเรื่องการรบกวนกำลังงานของสัญญาณของอุปกรณ์เครือข่ายแลนไร้สาย และอุปกรณ์ภาคส่งของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเมื่อมีการทำงานพร้อมกัน เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยได้กำหนดรูปแบบสภาพแวดล้อมในการทดสอบดังนี้

1.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สายนี้ จะเป็นการทดสอบในเรื่องการลดทอนของสัญญาณ (Path Loss) ของเครือข่ายแลนไร้สาย เมื่อทำงานในสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน โดยกำหนดให้ค่ากำลังงานในการส่งสัญญาณในการสัญญาณของเครือข่ายไร้สายมีค่าเท่ากับ 15 dBm ตามค่ากำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกของอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ที่นำมาทดสอบ และระยะที่ทำการทดสอบการลดทอนของสัญญาณอยู่ที่ 1-45 เมตรจากอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบ



รูปที่ 1.1 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สาย



รูปที่ 1.2 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย

ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย เมื่อมีการทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย โดยการทดสอบนี้จะเก็บค่าความแรงของสัญญาณระดับของสัญญาณรบกวนและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนตามระยะทางที่ทดสอบ

1.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายนี้ จะเป็นการทดสอบในเรื่องของการลดทอนของสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย เมื่อทำงานในสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน โดยกำหนดให้ค่ากำลังงานในการส่งสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายมีค่าเท่ากับ 10 dBm ตามค่ากำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกของอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ที่นำมาทดสอบ และระยะที่ทำการวัดการการลดทอนของสัญญาณอยู่ที่ 1-45 เมตรจาก อุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายโดยใช้เครื่อง Spectrum Analyzer เป็นอุปกรณ์ตรวจจับค่าความแรงของสัญญาณของอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายตามระยะทางที่ทำการทดสอบ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่าการลดทอน ของสัญญาณของอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายโดยค่ากำลังงานของกล้องวิดีทัศน์ที่ลดทอนตามระยะทางนี้จะเป็นค่าสัญญาณรบกวน ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการรับข้อมูลผิดพลาดของวิธีการมอดูเลตแบบดีบีเอสเค

1.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย เมื่อมีการทำงานพร้อมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายนี้ จะเป็นการทดสอบเรื่องของการรบกวนกำลังงานของสัญญาณที่ภาคส่งของอุปกรณ์ที่เครือข่ายแลนไร้สายและอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเมื่อมีการทำงานพร้อมกัน เมื่อทำงานในสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณีและกำหนดให้ค่ากำลังงานในการส่งสัญญาณของเครือข่ายไร้สายมีค่าเท่ากับ 15 dBm และกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายมีค่ากับ 10 dBm

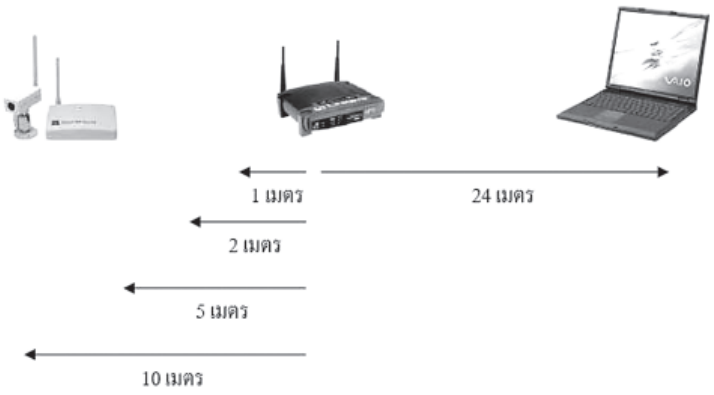
1.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย เมื่อมีการทำงานพร้อมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Client Utility Aironet

ในการทดสอบนี้กำหนดระยะระหว่างแอคเซสพอยท์และกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเท่ากับ 45 เมตร ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายเมื่อไม่มีการทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยการทดสอบนี้จะเก็บค่าความแรงของสัญญาณ ระดับของสัญญาณรบกวน และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนตามระยะทางที่ทดสอบ

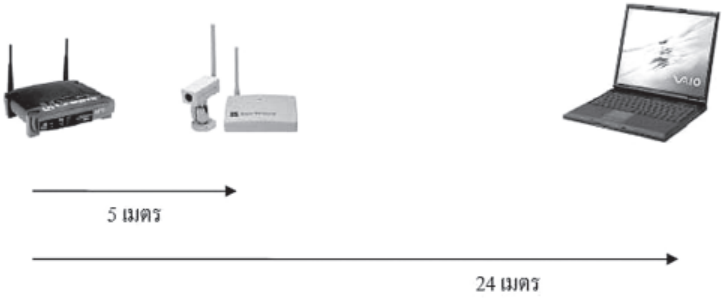
1.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของข่ายแลนไร้สาย เมื่อมีการทำงานพร้อมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Airo Peek NX

ในการทดสอบนี้กำหนดระยะระหว่างแอคเซสพอยท์และกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเท่ากับ 1, 2, 5 และ 10 เมตร โดยกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายอยู่ทางซ้ายมือของแอคเซสพอยท์ และระยะห่างระหว่างเครื่องไคลเอนต์และแอคเซสพอยท์เท่ากับ 24 เมตร ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายที่ตำแหน่งของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่ระยะต่างๆ ที่กำหนด และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยการทดสอบนี้จะเก็บค่าความแรงของสัญญาณและการเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซีตามระยะทางที่ทดสอบ

รูปที่ 1.3 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สาย เมื่อมีการทำงานร่วมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 1



รูปที่ 1.4 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สาย เมื่อมีการทำงานร่วมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 2



รูปที่ 1.5 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สาย เมื่อมีการทำงานร่วมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 3

1.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย เมื่อมีการทำงานพร้อมกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 3 โดยใช้โปรแกรม Airo Peek NX

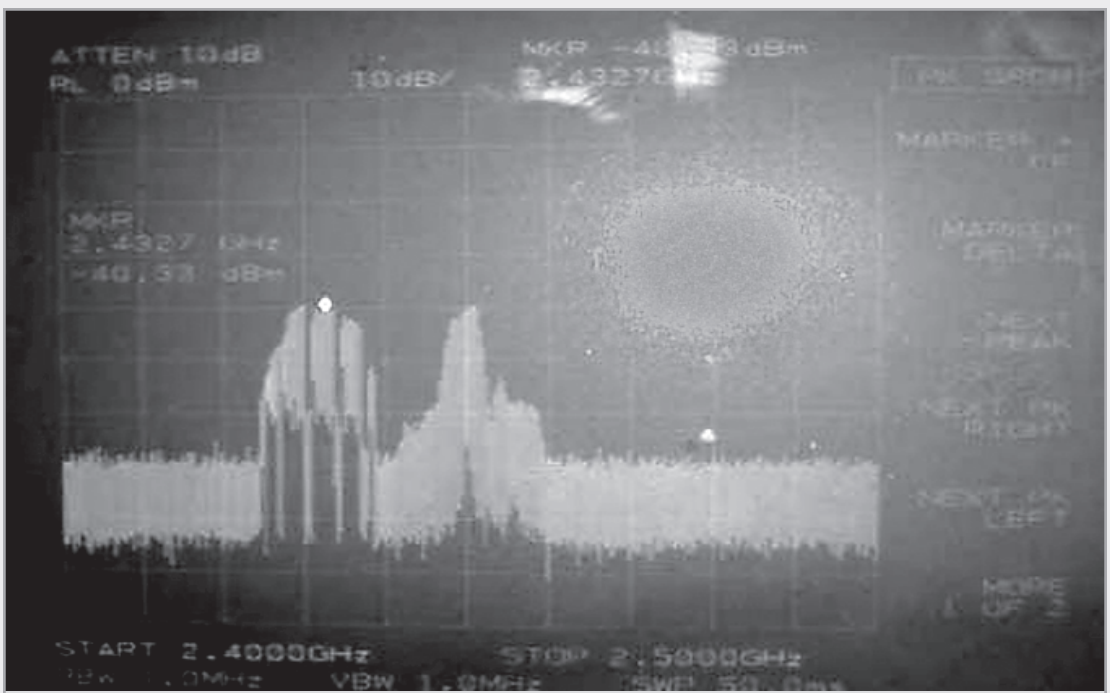
ในการทดสอบนี้กำหนดระยะระหว่างแอคเซสพอยท์ และกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเท่ากับ 5 เมตร โดยกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายอยู่ทางขวามือของแอคเซสพอยท์ และระยะระหว่างเครื่องไคลเอนต์และแอคเซสพอยท์เท่ากับ 24 เมตร ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย กรณีที่ 2 และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยการทดสอบนี้จะเก็บค่าความแรงของสัญญาณและเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซีตามระยะทางที่ทดสอบ

1.4 ผลกระทบจากการรบกวนของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย

การทำงานของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายมีผลกระทบต่อการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายอย่างมาก เนื่องจากกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทำงานบนย่านความถี่เดียวกับเครือข่ายแลนไร้สาย คือ ทำงานที่ย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ และใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation) ในการส่งข้อมูล ทำให้การส่งข้อมูลเป็นลักษณะการส่งสัญญาณแบบต่อเนื่องซึ่งแตกต่างจากการทำงานของบลูทูธที่มีการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องหรือส่งสัญญาณเป็นช่วงๆ เพราะใช้วิธีการมอดูเลตสเปคตรัมแผ่แบบกระโดดเปลี่ยนความถี่ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายลดลงเมื่อมีการทำงานพร้อมกันระหว่างกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายและเครือข่ายแลนไร้สาย เนื่องจากสัญญาณของเครือข่ายแลนไร้สายจะถูกรบกวนจากสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย เนื่องจากเกิดการซ้อนทับของสัญญาณ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1.6

2. บทวิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเมื่อมีการทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 1 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายลดลงจนถึงให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายไม่ทำงาน ในการทดสอบเมื่อกำหนดให้เครือข่ายแลนไร้สายทำงานบนช่องสัญญาณที่ 9 (2.452 จิกะเฮิรตซ์), 8 (2.447 และ 7 (2.442 จิกะเฮิรตซ์) และกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทำงานที่สัญญาณที่ 3 (2.450 จิกะเฮิรตซ์)



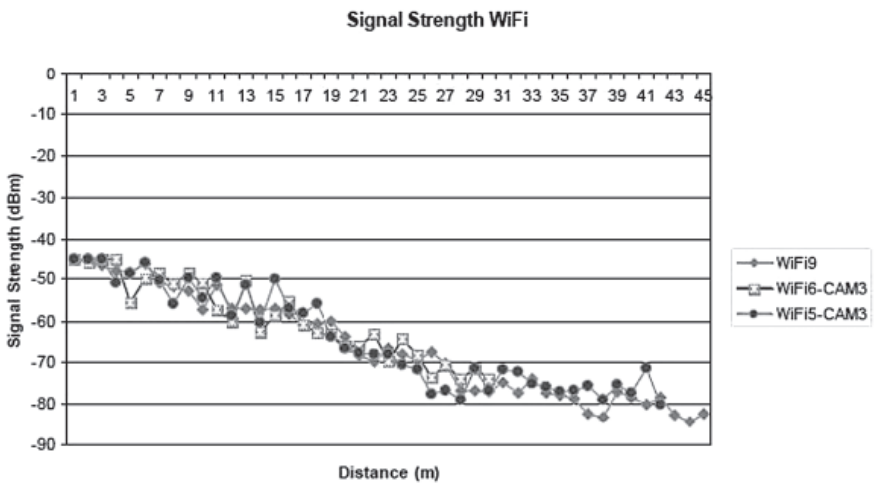
รูปที่ 1.6 แสดงการเหลื่อมซ้อนทับของสัญญาณ
ของอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายและเครือข่ายแลนไร้สาย

โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แอคเซสพอยท์และอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย 45 เมตร มีผลทำให้เครื่องลูกหรือเครื่องลูกข่าย (Client) ไม่สามารถติดต่อกับอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ (Access Point) ได้

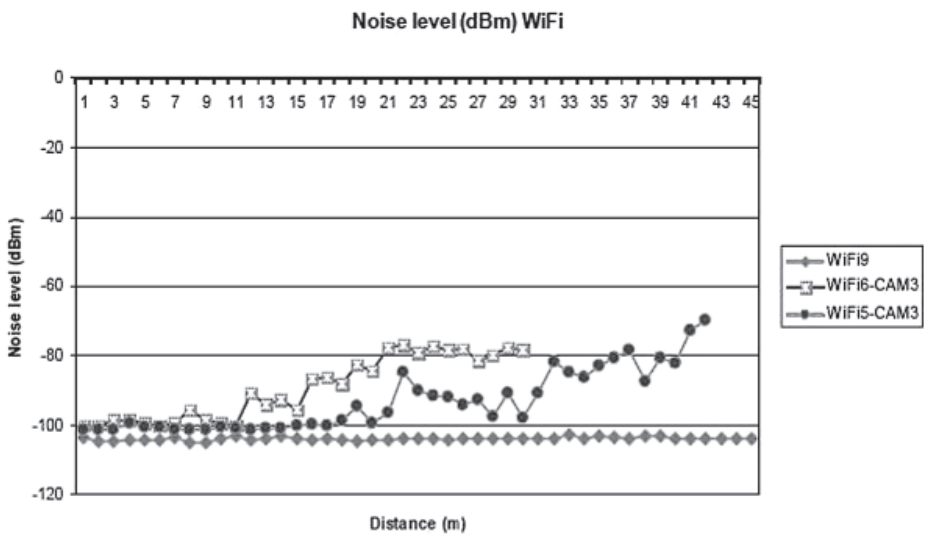
แต่เมื่อกำหนดให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายทำงานบนช่องสัญญาณที่ 6 (2.437 จิกะเฮิรตซ์) กลับมีผลทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถติดต่อกับอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ได้โดยที่สามารถติดต่อกับอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ได้ในระยะทาง 1-30 เมตร เกินระยะนี้ก็ติดต่อไม่ได้อีก ที่ระยะ 30 เมตรนี้มีค่าความแรงของสัญญาณมีค่าเท่ากับ -74 dBm ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการรบกวนของสัญญาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (-78 dBm)

และเมื่อกำหนดให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย ทำงานบนช่องสัญญาณที่ 5 (2.432 จิกะเฮิรตซ์) กลับมีผลทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถติดต่อกับอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ได้โดยที่สามารถติดต่อกับอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ได้ในระยะทาง 1-42 เมตร เกินระยะนี้ก็ติดต่อไม่ได้อีก ที่ระยะ 42 เมตรนี้มีค่าความแรงของสัญญาณมีค่าเท่ากับ -80 dBm ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการรบกวนของสัญญาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (-78 dBm)

เมื่อเปิดให้มีการทำงานพร้อมกันกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายช่องสัญญาณที่ 3 เปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวนที่ความถี่ช่องสัญญาณที่ 5 เมื่อทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายความถี่ที่ช่องสัญญาณที่ 3 จะพบว่าระดับสัญญาณรบกวนที่ความถี่ช่องสัญญาณที่ 6 เนื่องจากการเลื่อมซ้อนทับของสัญญาณระหว่างอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ความถี่ช่องสัญญาณที่ 6 และอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายช่องสัญญาณที่ 3 มีการเหลี่ยมซ้อนทับของสัญญาณมากกว่าความถี่



รูปที่ 1 แสดงค่าความแรงของสัญญาณของความถี่ช่องสัญญาณที่ 6 และ 5 เมื่อทำงานพร้อมกันอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายความถี่ช่องสัญญาณที่ 3 เปรียบเทียบกับค่าความแรงสัญญาณของความถี่ช่องสัญญาณที่ 9 เมื่อไม่มีการทำงานพร้อมกับกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย



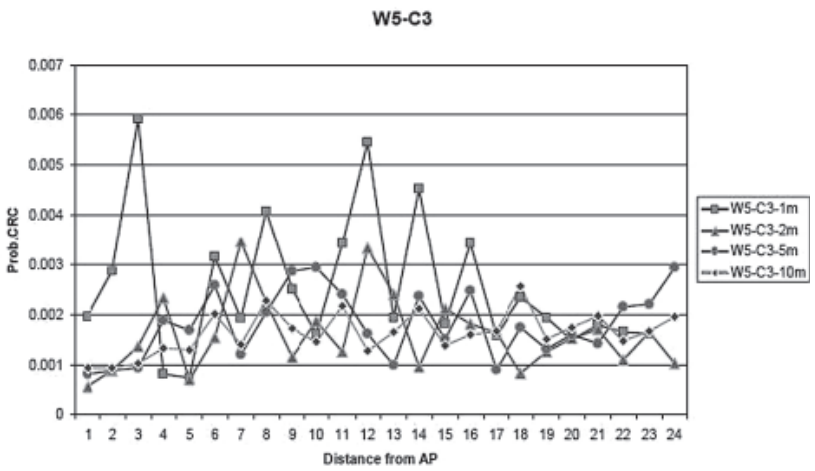
รูปที่ 2 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของความถี่ช่องสัญญาณที่ 6 และ 5 เมื่อทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายความถี่ช่องสัญญาณที่ 3 เปรียบเทียบกับระดับของระดับของระดับของสัญญาณรบกวนของความถี่ช่องสัญญาณที่ 9 เมื่อไม่มีการทำงานพร้อมกล้องวิดีทัศน์ไร้สาย

ช่องสัญญาณที่ 5 และอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายความถี่ช่องที่ 3

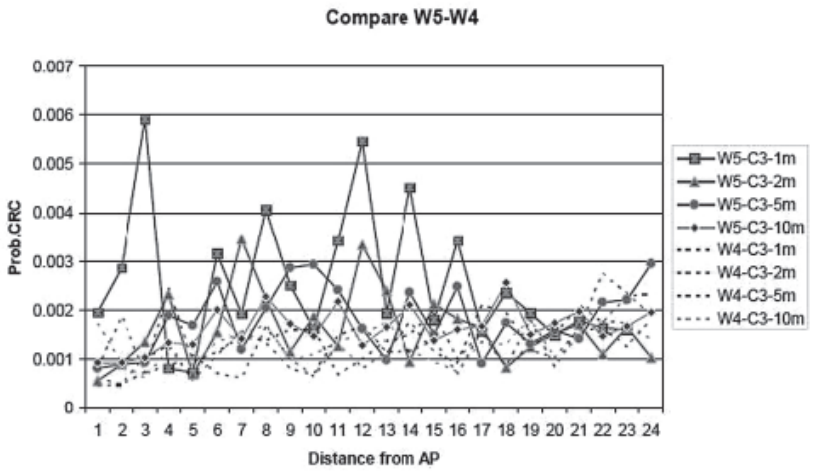
ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเมื่อมีการทำงานพร้อมอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย กรณีที่ 2 นั่นคือเมื่อพิจารณาในเรื่องของระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แอคเซสพอยท์และอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่ความถี่ของสัญญาณที่ 5 ของอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ โดยมีระยะห่างกล้อง 1, 2, 5 และ 10 เมตร พบว่าความน่าจะเป็นของการเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซี (CRC) สูงกว่าความน่าจะเป็นของการเกิดผิดพลาดซีอาร์ซีของความถี่ช่องสัญญาณเท่ากันแต่มีระยะห่างอุปกรณ์แอคเซสพอยท์และอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่แตกต่างกัน พบว่าที่ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แอคเซสพอยท์และอุปกรณ์วิดีทัศน์แบบไร้สาย 10 เมตร จะมีความน่าจะเป็นของการเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซีต่ำกว่าระยะที่ทำการทดสอบ

3. ผลสรุป และข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหากเรากำหนดให้ความถี่ของสัญญาณของเครือข่ายไร้สายทำงานซ้อนทับกับความถี่ของช่องสัญญาณอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์ไร้สายโดยตรง จะทำให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ทำงานไม่ได้ เพราะกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายจะใช้วิธีการมอดูเลตเชิงความถี่ในการทำงานและมีการทำงานที่ต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมองเห็น



รูปที่ 3 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซี
ของความถี่ช่องสัญญาณที่ 5 เมื่อกำหนดระหว่างอุปกรณ์และอุปกรณ์แอคเซสพอยท์
และอุปกรณ์วิดีทัศน์ไร้สายที่ระยะ 1, 2, 5 และ 10 เมตร



รูปที่ 4 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดข้อมูลผิดพลาดซีอาร์ซี
ของความถี่ช่องสัญญาณที่ 5 และ 4 เมื่อกำหนดระหว่างอุปกรณ์และอุปกรณ์แอคเซสพอยท์
และอุปกรณ์วิดีทัศน์ไร้สายที่ระยะ 1, 2, 5 และ 10 เมตร

สัญญาณที่ส่งออกของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายเป็นสัญญาณรบกวนที่ต่อเนื่อง เมื่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายและกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทำงานบนช่องสัญญาณที่มีความถี่ตรงกัน จะมีผลทำให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายไม่สามารถทำงาน

2. หากหลีกเลี่ยงโดยเปลี่ยนความถี่ของช่องสัญญาณของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายให้เลื่อมกับกล้องวิดีทัศน์ไร้สาย เมื่อเปลี่ยนช่องสัญญาณของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายให้มีความถี่ที่ไม่ตรงกับความถี่ช่องสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย หรือซ้อนทับกับความถี่ช่องสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย จะมีผลทำให้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายสามารถทำงานได้แต่มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเมื่อไม่มีอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทำงานพร้อมกัน ดังนั้น เมื่อมีการติดตั้งเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเพื่อการใช้งาน ผู้ใช้งานสมควรที่จะหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ ในบริเวณที่มีการติดตั้งเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการรบกวนของสัญญาณของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย หรือผู้ใช้งานอาจหาอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่ทำงานบนย่านความถี่ที่ไม่ใช่ย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ ทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายและความคุ้มค่ากับการลงทุนในการใช้งานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายในการติดตั้งเพื่อใช้งานจริง หากว่าผู้ใช้งานไม่สามารถหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายที่ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ ในบริเวณที่มีการติดตั้งเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายได้

3. ผู้ใช้งานควรกำหนดความถี่ช่องสัญญาณของอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายไม่ให้มีการเหลี่ยมซ้อนทับกันของความถี่ของช่องสัญญาณที่ใช้งาน หรือหากจำเป็นที่จะต้องใช้งานโดยยินยอมให้มีการเหลี่ยมซ้อนทับกันของความถี่ช่องสัญญาณครึ่งหนึ่งของแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณที่ใช้งาน

4. ผู้ใช้งานควรติดตั้งอุปกรณ์แอคเซส-พอยท์ห่างจากอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายไม่ต่ำกว่า 45 เมตร และหากมีการเหลียมซ้อนทับกันของความถี่ช่องสัญญาณน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณที่ใช้งาน

5. ผู้ใช้งานสามารถติดตั้งอุปกรณ์แอคเซส-พอยท์ห่างจากอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายต่ำกว่า 45 เมตรได้แต่ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายจะต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายที่ไม่มีการทำงานพร้อมกับอุปกรณ์กล้องวิดีทัศน์แบบไร้สาย

6. การทำงานของกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายมีผลกระทบต่อการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายอย่างมาก เนื่องจากกล้องวิดีทัศน์แบบไร้สายทำงานบนย่านความถี่เดียวกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย คือ ทำงานย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ และใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation) ในการส่งข้อมูลทำให้การส่งข้อมูลเป็นลักษณะการส่งสัญญาณแบบต่อเนื่องซึ่งแตกต่างจากการทำงานของบลูทูธ (Blue tooth) ที่มีการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องหรือส่งสัญญาณเป็นช่วงๆ เพราะใช้วิธีการมอดูเลตสเปคตรัมแผ่แบบกระโดดเปลี่ยนความถี่เป็นผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายลดลงเมื่อมีการทำงานพร้อมกันระหว่างกล้องวิดีทัศน์ ดังนั้นในกรณีของการเชื่อมต่อแบบบลูทูธ (Blue tooth) จะมีผลแต่ไม่มากนัก ◎

การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่

นายพงศ์ฐิติ พงศ์ศิลามณี
วิศวกร 9 ส่วนงานขายและบริการลูกค้าภูมิภาค
บมจ. ทีโอที

1. การกำเนิดของโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่

การสื่อสารไร้สายเกิดขึ้นเพราะมนุษย์ต้องการความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาระบบสายส่งสัญญาณที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ปลายทางเข้ากับระบบโครงข่ายสื่อสาร จากการศึกษาประวัติศาสตร์ของการสื่อสารไร้สาย พบว่า เหตุการณ์สำคัญที่เป็นรากฐานของโครงข่ายสื่อสารไร้สายในปัจจุบันได้เกิดขึ้นในปี 1897 (พ.ศ. 2440) เมื่อนาย Guglielmo Marconi ได้แสดงให้เห็นการใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางเชื่อมต่อการสื่อสารระหว่างชายฝั่งกับเรือที่แล่นอยู่ในช่องแคบอังกฤษ หลังจากนั้นเป็นต้นมาการพัฒนาการสื่อสารไร้สายด้วยการใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางจึงได้เริ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติบโตของโครงข่ายสื่อสารไร้สายในระยะแรกเป็นไปค่อนข้างช้า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเทคโนโลยีในสมัยนั้นยังไม่พร้อมที่จะนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์ในโครงข่ายสื่อสารไร้สายได้

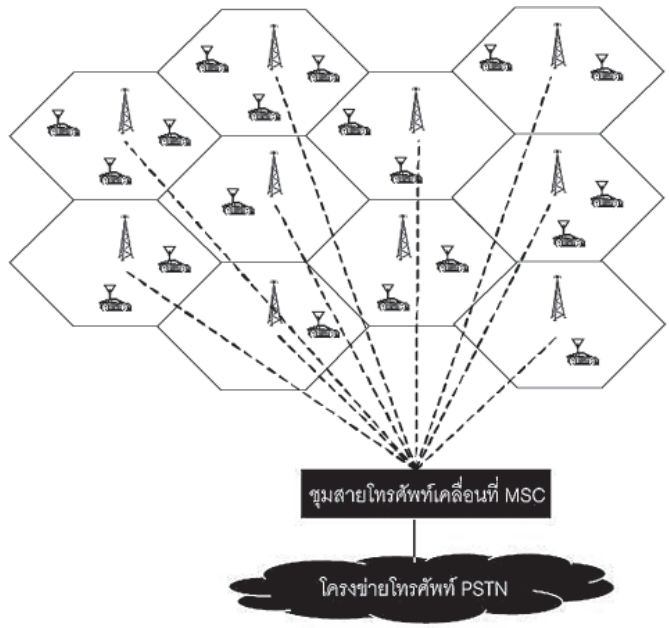
ต่อมา เมื่อเทคโนโลยีหลายอย่าง อาทิเช่น เทคโนโลยี digital signaling processing เทคโนโลยีวงจรรวมหรือวงจร IC (Integrated Circuit) และเทคโนโลยีการผลิตอุปกรณ์/วงจรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุความถี่สูงได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างมาก จนกระทั่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่ายสื่อสารไร้สายได้ การพัฒนาระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายจึงเริ่มมีอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูงมากดังเช่นในปัจจุบัน

ในปี 1934 (พ.ศ. 2477) ระบบโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคการมอดดูเลชั่นทางขนาด (Amplitude Modulation) ได้ถูกนำมาใช้งานเป็นระบบสื่อสารวิทยุของตำรวจท้องถิ่น สำหรับงานรักษาความปลอดภัยที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการประมาณการไว้ว่า ในช่วงกลางทศวรรษ 1930 จำนวนอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ติดตั้งในรถตำรวจมีมากถึง 5,000 เครื่อง ระบบสื่อสารวิทยุนี้มีความสามารถที่จำกัด กล่าวคือ ระบบโครงข่ายไม่ได้เชื่อมโยงเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์ PSTN (Public Switched Telephone Network) และตำรวจไม่สามารถหมุนเบอร์โทรศัพท์เพื่อติดต่อไปยังผู้รับได้โดยตรง ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษ ระบบโครงข่ายวิทยุนี้ ได้รับการปรับปรุงให้หันไปใช้การมอดดูเลชั่นทางความถี่ (frequency modulation) แทนที่การมอดดูเลชั่นทางขนาด หลังจากนั้นเป็นต้นมา วิธีการมอดดูเลชั่นทางความถี่ได้กลายมาเป็นเทคนิคพื้นฐานที่ใช้เรื่อยมา จนกระทั่งภายหลังได้มีการพัฒนาวิธีการมอดดูเลชั่นให้ใช้เทคโนโลยีการมอดดูเลชั่นแบบดิจิตอลแทนที่

ในปี 1946 (พ.ศ. 2489) ประเทศสหรัฐ-อเมริกาได้นำเอาระบบบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่มาใช้งานเชิงสาธารณะเป็นครั้งแรกในเมืองสำคัญจำนวน 25 เมือง โดยให้บริการโทรศัพท์แบบ Push-to-Talk สถานีฐานที่ใช้งานมีค่ากำลังงานส่งออกสูงและมีเสาอากาศขนาดใหญ่เพื่อครอบคลุมพื้นที่บริการได้มากที่สุด การมอดดูเลชั่นทางความถี่ (FM) เป็นวิธีการที่เลือกใช้ โดยมีสัญญาณคลื่นวิทยุส่งออกด้วยขนาดความกว้างของ Bandwidth เท่ากับ 120 kH_z และมีรูปแบบการเชื่อมโยงเป็นแบบ Hall Duplex กล่าวคือ ในแต่ละเวลาการสนทนาจะมีผู้พูดเพียงคนเดียวเท่านั้น มีข้อสังเกตว่าในสมัยนั้น แม้ว่าสัญญาณเสียงมี Bandwidth เพียง 4 kH_z ก็ตาม แต่ค่า Bandwidth ที่ใช้งานของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุมีค่ามาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในสมัยนั้นการออกแบบวงจร Filter ที่มี Bandwidth แคบๆ ทำได้ยาก เมื่อเทคโนโลยีการผลิตวงจรที่ใช้งานกับคลื่นวิทยุมีความเจริญมากขึ้น สัญญาณคลื่นวิทยุได้รับการปรับปรุงให้ความกว้างของ Bandwidth มีขนาดเล็กลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเหลือเพียง 60 kH_z ในปี 1950 (พ.ศ. 2493) และ 30 kH_z ในช่วงกลางทศวรรษ 1960 สำหรับการใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกา

ต่อมาในช่วงระหว่างทศวรรษ 1950 จนถึงทศวรรษ 1960 ระบบโครงข่าย IMTS (Improved Mobile Telephone Service) ได้ถูกนำมาใช้งานแทนระบบที่ใช้งานเดิม ระบบนี้มีรูปแบบการให้บริการโทรศัพท์เป็นแบบ Full Duplex มีความสามารถในการหมุนหมายเลขออก (Dialing) และมีความสามารถทำ Trunking แบบอัตโนมัติได้ หลังจากให้บริการโครงข่าย IMTS ได้ไม่นาน พบว่าการให้บริการในเมืองใหญ่ถึงจุดอิ่มตัวในเวลารวดเร็วมาก ดังตัวอย่างการให้บริการของ Bell Mobile Phone ที่เมือง New York City ในปี 1976 (พ.ศ. 2519) ในขณะนั้นมีประชากรราว 10 ล้านคน แต่มีจำนวนช่องสัญญาณให้บริการได้เพียง 12 ช่อง ซึ่งสามารถรองรับลูกค้าได้เพียง 543 คนเท่านั้น ลูกค้าที่รอใช้บริการในบัญชีรายชื่อ Waiting List มีมากกว่า 3,700 คน และยิ่งไปกว่านั้นการให้บริการมีค่า Call Blocking ที่สูงมาก อันเนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่น้อยมากนั่นเอง

ปัญหาที่สำคัญในขณะนั้นคือ ช่องสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้งานมีจำนวนจำกัด ซึ่งส่งผลให้โครงข่ายไม่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าที่มีจำนวนมากแต่มีพื้นที่ให้บริการที่จำกัด มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผลการศึกษาได้นำเทคนิคเซลลูลาร์ (Cellular) มาใช้งาน ซึ่งถูกคิดค้น/พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการทดลอง AT&T Bell Laboratories และบริษัทสื่อสารโทรคมนาคมอื่นๆ แนวคิดของเทคนิคเซลลูลาร์เป็นการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่เล็กๆ ที่มีชื่อเรียกว่า เซล แต่ละพื้นที่เซลมีการติดตั้งสถานีฐานขึ้นใช้งาน และพื้นที่เซล 2 พื้นที่ที่อยู่ห่างกันเพียงพอที่คลื่นวิทยุที่ถูกผลิตขึ้นใช้งานในเซลไม่รบกวนซึ่งกันและกัน สามารถเลือกใช้ค่าความถี่วิทยุที่ซ้ำกันได้ ด้วยแนวคิดแบบนี้ทำให้เราสามารถให้บริการสื่อสารไร้สาย โดยมีพื้นที่ให้บริการได้อย่างไม่มีขีดจำกัดภายใต้การใช้ทรัพยากรความถี่ที่เท่าเดิม แม้ว่า AT&T จะได้เสนอแนวคิดของระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ต่อองค์กร FCC (Federal Communications Commission Inc) ในปี 1968 (พ.ศ. 2511) แต่ด้วยเทคโนโลยีที่มีในขณะนั้นยังไม่สามารถใช้ในการผลิตโครงข่ายไร้สายที่ทำงานด้วยเทคนิคเซลลูลาร์ขึ้นใช้งานได้ จนกระทั่งถึงปลายทศวรรษ 1970 จนเข้าถึงต้นทศวรรษ 1980 ความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีไมโครโปรเซสเซอร์ ตลอดจนการพัฒนาส่วนต่างๆ ของโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ได้นำไปสู่การกำเนิดระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ยุคที่ 1 ขึ้นใช้งาน ดังจะเห็นได้จาก ในปี 1979 (พ.ศ. 2522) NTT ของประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้กำหนด



รูปที่ 1 โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

มาตรฐานของระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ขึ้นใช้งานในประเทศญี่ปุ่น และได้นำออกใช้งานเป็นระบบแรกในโลก ระบบดังกล่าวใช้ช่องสัญญาณขนาด 25 kH_z จำนวน 600 ช่องสัญญาณสำหรับรับส่งสัญญาณ FM ออกในย่านความถี่ 800 MHz รูปที่ 1 แสดงระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ที่เป็นแบบฉบับ โดยประกอบขึ้นจากส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ (MS: Mobile Station) สถานีฐาน (BS: Base Station) และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MSC: Mobile Switching Center) โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์มีการเชื่อมโยงเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์ PSTN (Public Switched Telephone Network) ด้วย เพื่อให้ผู้ใช้บริการของทั้ง 2 โครงข่ายสามารถใช้บริการโทรศัพท์ติดต่อถึงกันได้ หลังจากนั้นเป็นต้นมา ระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ได้รับการพัฒนาเรื่อยมา ตามการพัฒนาของเทคโนโลยีและตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งสามารถแบ่งการพัฒนาออกเป็นยุคต่างๆ ได้ดังนี้

ยุคที่ 1: ระบบอนาล็อกที่ให้บริการด้านเสียงอย่างเดียว

ยุคที่ 2: ระบบดิจิตอลที่ให้บริการด้านเสียงเป็นหลัก แต่เริ่มมีการให้บริการข้อมูลที่มีความเร็วไม่สูงมากนัก

ยุคที่ 3: ระบบดิจิตอลที่มุ่งเน้นบริการสื่อผสม (Multimedia) โดยมีแนวคิดการให้บริการคือ ผู้ใช้สามารถใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ (Mobile Internet)

2 การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่รุ่นที่ 1

ในปี 1970 (พ.ศ. 2513) องค์กรร่วม Nordic Telecommunications Administrations ได้เริ่มออกข้อกำหนด NMT (Nordisk Mobil Telefoni or Nordiska Mobil Telefoni-gruppen หรือภาษาอังกฤษใช้คำว่า Nordic Mobile Telephone) ให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และได้เปิดใช้งานในปี 1981 เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่มีอย่างมากของบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ Manual ที่มีใช้งานในขณะนั้น (ระบบ ARP ที่ใช้งานในประเทศฟินแลนด์ และระบบ MTD ในประเทศสวีเดน) ระบบ NMT เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นที่ 1 ที่ใช้เทคโนโลยีอนาล็อก และมีใช้งาน 2 มาตรฐาน คือ ระบบ NMT-450 สำหรับใช้งานที่ย่านความถี่ 450 MHz และระบบ NMT-900 สำหรับใช้งานที่ย่านความถี่ 900 MHz มาตรฐานระบบ NMT ได้เริ่มนำมาใช้งานในกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย อันประกอบด้วย เดนมาร์ก ฟินแลนด์ ไอซ์แลนด์ นอร์เวย์ และสวีเดน (ต่อมาได้ขยายการใช้งานไปสู่ เนเธอร์แลนด์ และสวิสเซอร์แลนด์) ระบบ NMT มีบริการที่ให้ผู้ใช้สามารถทำ International Roaming ได้ ซึ่งเป็นบริการใหม่ในขณะนั้นและได้รับการตอบรับอย่างดีของผู้ใช้บริการ โดยที่ผู้ใช้บริการสามารถนำอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ไปใช้ในประเทศอื่นที่มีการใช้ระบบ NMT ได้ แม้ว่าในช่วงเวลานั้นโดยทั่วไปแล้ว นโยบายทางการเมืองและกฎระเบียบที่เกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์คลื่นวิทยุในต่างประเทศของประเทศต่างๆ ในยุโรปจะเป็นอุปสรรคต่อการสร้างระบบมาตรฐานร่วม (Pan-European) ขึ้นใช้งาน

ในปี 1979 (พ.ศ. 2522) ที่ประชุมของ ITU World Administrative Radio Conference ได้มีการตัดสินใจกำหนดกลุ่มความถี่ย่าน 900 MHz ให้ใช้กับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ภาคพื้นดินในยุโรป ย่านความถี่นี้มีชื่อเรียกว่า WARC'79 ตามมติของที่ประชุมดังกล่าว ทำนองเดียวกัน ที่สหรัฐอเมริกาในปี 1983 (พ.ศ. 2526) องค์กร FCC ได้จัดสรรความถี่ย่าน 800 MHz ซึ่งมีขนาด 40 MHz สำหรับใช้งานเป็นช่องสัญญาณวิทยุแบบ Duplex จำนวน

666 ช่องสัญญาณ โดยที่แต่ละช่องความถี่มีความกว้างเท่ากับ 30 kH_z ช่องสัญญาณวิทยุดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้กับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone System) ซึ่งเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ระบบอนาล็อก ระบบแรกที่ใช้งานในสหรัฐอเมริกา โครงข่าย AMPS ได้เริ่มเปิดให้บริการในช่วงปลายปี 1983 (พ.ศ. 2526) แก่ประชาชนในเมืองชิคาโก มลรัฐอิลินอยส์ โดย Ameritech ต่อมาในปี 1989 (พ.ศ. 2532) องค์กร FCC ได้จัดสรรช่องความถี่ใช้งานเพิ่มเติมให้อีก 166 ช่องความถี่ (ขนาด 10 MHz) เพื่อให้ทันต่อความต้องการต่อการใช้งานของผู้ใช้บริการที่มีอัตราการเพิ่มอย่างรวดเร็วมากในขณะนั้น

ในการปรับปรุงให้ระบบโครงข่าย AMPS รองรับความจุที่เพิ่มขึ้น บริษัท Motorola ได้พัฒนาระบบ N-AMPS (Narrowband AMPS) ที่มีคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกับระบบ AMPS ขึ้นใช้งาน ระบบ N-AMPS ใช้ความกว้างของช่องสัญญาณวิทยุเพียง 10 kH_z ดังนั้น ในขณะที่ช่องความถี่ของ AMPS สามารถให้บริการได้เพียงคนเดียว ระบบ N-AMPS สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้ถึง 3 คน ในพื้นที่ที่มีประชาชนหนาแน่น ผู้ให้บริการเลือกใช้ระบบ N-AMPS แทนระบบ AMPS เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าได้มากกว่า 3 เท่า ผลทำให้ค่า Grade of Service ของการบริการมีค่าดีขึ้น แต่เนื่องจากการใช้ความกว้างของช่องสัญญาณวิทยุที่เล็กลงทำให้ค่า FM Deviation มีค่าลดลงด้วย ส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณข่าวสารต่อผลรวมของสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนมีค่าลดลง ซึ่งแสดงนัยว่า คุณภาพของสัญญาณเสียงที่รับส่งบนระบบ N-AMPS จะด้อยกว่าที่ใช้กับระบบ AMPS เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ระบบ N-AMPS มีการใช้ Voice Companding เพื่อสร้างบรรยากาศเสียงเทียมขึ้นในขณะเงียบเสียง (Synthetic Voice Channel Quieting)

ในประเทศอังกฤษ มีผู้ให้บริการ 2 ราย คือ Vodafone และ Cellnet ได้ร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ Department of Trade and Industry ออกมาตรฐาน TACS (Total Access Communications System) ขึ้นใช้งานในปี 1985 (พ.ศ. 2528) มาตรฐาน TACS ได้รับการออกแบบอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน AMPS เพราะต้องการให้ได้มาตรฐานใหม่สร้างขึ้นใช้งานภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ความแตกต่างของมาตรฐานทั้งสองจะอยู่ที่มาตรฐาน TACS ใช้งานที่ย่านความถี่ 900 MHz และมีความกว้างของช่องสัญญาณความถี่ใช้งานเพียง 25 kH_z ระบบ TACS มีใช้งานในกลุ่มประเทศยุโรป เช่น อังกฤษ อิตาลี และออสเตรีย

นอกจากดังที่กล่าวแล้ว ยังมีมาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ระบบอนาล็อกที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใช้งานอีกหลายมาตรฐานในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ดังแสดงในตารางที่ 1 ระบบเหล่านี้มีความคล้ายคลึงร่วมกันหลายอย่าง อาทิเช่น ระบบได้รับการออกแบบให้ใช้สำหรับการสื่อสารด้านเสียงและบริการที่เกี่ยวเนื่องกับเสียงเป็นหลัก การทำงานของสถานีฐานเป็นระบบอนาล็อกที่ใช้เทคนิคการมอดดูเลชั่นแบบ Narrowband FM และมีความกว้างของช่องสัญญาณความถี่เท่ากับ 25-30 kH_z อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ใช้เทคนิคการเข้าถึงโครงข่ายด้วยคลื่นวิทยุเป็นแบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) และการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ MSC เป็นแบบดิจิตอล การทำงานของชุมสาย MSC นี้ถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของโครงข่ายสื่อสารไร้สาย เพราะว่าชุมสาย MSC ทำงานที่สำคัญทุกอย่าง อาทิเช่น ควบคุมวงจรสวิทช์เพื่อสร้างวงจรติดต่อสำหรับการโทรให้กับอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ ควบคุมการบริหารช่องความถี่ใช้งาน ควบคุมการเคลื่อนที่ (Mobility) ของอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ ควบคุมกลไก Handoff หรือ Handover เป็นต้น

ตารางที่ 1 มาตรฐานของโครงข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 1

มาตรฐาน	ประเทศ	ปีที่นำออกใช้	Mulitple Access	Modulation	ย่านความถี่ใช้งาน MHz	ความกว้างของช่องความถี่
NTT	ญี่ปุ่น	1979	FDMA	FM	400/800	25 kH_z
NMT-450	กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย	1981	FDMA	FM	450-470	25 kH_z
AMPS	สหรัฐอเมริกา	1983	FDMA	FM	824-894	30 kH_z
C-450	เยอรมัน	1985	FDMA	FM	450-465	20/10 kH_z
TACS	อังกฤษ	1985	FDMA	FM	900	25 kH_z
NMT-900	กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย	1986	FDMA	FM	890-960	12.5 kH_z
NAMPS	สหรัฐอเมริกา	1992	FDMA	FM	824-894	10 kH_z

การดำเนินงานของบริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์รุ่นที่ 1 ได้รับความสำเร็จอย่างมากในช่วงทศวรรษ 1980 ดังเห็นได้จากผู้ใช้บริการโครงข่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย และผู้ให้บริการโครงข่ายมีรายได้สูงจากการประกอบการ จากการศึกษาการให้บริการในประเทศต่างๆ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จอย่างมากคือ ขนาดของพื้นที่ให้บริการที่ครอบคลุมทั่วประเทศและความจุของโครงข่ายที่มีค่ามาก

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์รุ่นที่ 1 มีแนวทางการพัฒนาโครงข่ายที่ได้จากการตกลงร่วมกันระหว่างผู้ให้บริการโครงข่าย ซึ่งในขณะนั้นส่วนใหญ่มีฐานะเป็นองค์กรของรัฐกับบริษัทผู้ผลิตในประเทศนั้นๆ ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาโครงข่ายและมาตรฐานที่เขียนขึ้นจึงไม่ได้ถูกตีพิมพ์เพื่อให้ประเทศอื่นๆ ได้รับทราบ ทำให้การพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์รุ่นที่ 1 ของแต่ละประเทศมีความเป็นอิสระต่อกัน และผลลัพธ์ของการพัฒนาที่แยกอิสระต่อกัน ทำให้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ของแต่ละโครงข่ายไม่สามารถใช้งานกับโครงข่ายมาตรฐานอื่นได้ (Non Inter-Working)

3. การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่รุ่นที่ 2

โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรุ่นที่ 1 มีปัญหาเกิดขึ้นหลายอย่าง อาทิเช่น ค่าการใช้ประโยชน์ของแถบความถี่สเปคตรัมมีค่าต่ำ บริการจำกัดเฉพาะการสื่อสารทางเสียงเท่านั้น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มีขนาดใหญ่โต มีน้ำหนักมาก และราคาแพง การแอบดักฟังเสียงโทรศัพท์และการแอบจูนเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทางคลื่นวิทยุทำได้ไม่ยาก ปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ การทำงานที่เข้ากันไม่ได้ (Incompatibility) ของมาตรฐานต่างๆ ส่งผลให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้งานในประเทศหนึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอีกประเทศหนึ่งที่มีมาตรฐานของระบบไม่เหมือนกันได้ ปัญหานี้ได้ส่งผลให้เกิดปัญหาอื่นตามมา อาทิเช่น ตลาดมีขนาดเล็กเนื่องจากการแบ่งซอยตลาดออกตามมาตรฐานที่ใช้งาน เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มีราคาแพงเพราะ

ไม่ได้ผลิตจำนวนมาก และค่าธรรมเนียมในการใช้บริการมีราคาแพง จนทำให้การสื่อสารไร้สายในขณะนั้นถูกมองว่า เป็นบริการให้กับชนชั้นที่มีฐานะ และเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้กลายเป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงการมีฐานะในสังคมในหลายประเทศ

ความสำเร็จของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์รุ่นที่ 1 ทำให้มนุษย์มีความต้องการใช้ระบบโครงข่ายใหม่ที่มีความจุสูงขึ้น เพื่อรองรับปริมาณของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ มีการใช้เทคนิคการนำเอาความถี่ที่ใช้งานในพื้นที่หนึ่งมาใช้ซ้ำในอีกพื้นที่หนึ่งได้หลายๆ ครั้ง ทำให้ระบบมีความจุสูง อย่างไรก็ตาม ด้วยเทคโนโลยีอนาล็อก จำนวนครั้งของการใช้ความถี่ซ้ำมีค่าจำกัด ก่อนที่สัญญาณสอดแทรกอันเกิดจากการใช้ความถี่ซ้ำจะเริ่มรุนแรงและส่งผลให้เกิดปัญหา Dropped Call และปัญหาสายพันกัน (Crossed Lines) ขึ้น การใช้เทคโนโลยีดิจิตอล ทำให้จำนวนครั้งของการใช้ความถี่ซ้ำมีได้มากกว่า ดังนั้นระบบที่ใช้เทคโนโลยีดิจิตอลจึงมีความจุได้มากกว่าระบบที่ใช้เทคโนโลยีอนาล็อก อีกทั้งเทคโนโลยีดิจิตอลมีเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่มีความปลอดภัยสูง และสามารถสนับสนุนการให้บริการสื่อสารข้อมูลแบบใหม่ๆ ได้เพิ่มเติมจากการให้บริการด้านเสียง ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์รุ่นที่ 1 ไปสู่ระบบใหม่จึงได้หันมาใช้เทคโนโลยีดิจิตอลเป็นพื้นฐานของการพัฒนา เพื่อให้ระบบโครงข่ายใหม่มีความจุสูงขึ้น สามารถรองรับจำนวนของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น และมาตรฐานใหม่ที่ได้มีวัตถุประสงค์ให้เป็นมาตรฐานร่วมของภาคพื้นยุโรป (Pan-European)

ในการประชุมของคณะกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมของ CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) ที่กรุงเวียนนา (Vienna) ในเดือนมิถุนายน ปี 1982 (พ.ศ. 2525) ประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ชี้ให้เห็นว่า ถ้ายังไม่มีความร่วมมืออย่างเป็นรูปธรรม ที่จะวางแผนงานกำหนดมาตรฐานร่วมของยุโรปอย่างเร่งด่วน อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่ย่านความถี่ 900 MHz จะถูกใช้หมดไปกับระบบของแต่ละประเทศที่ไม่สามารถทำงานเข้ากันได้ โอกาสสุดท้ายที่จะสร้างมาตรฐานร่วมจะหมดไป อันเนื่องจากจะไม่มีย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 1 GHz (ที่ได้รับการพิจารณาแล้วว่า เหมาะสมกับระบบการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ ด้วยเทคโนโลยีที่มีใช้งานในขณะนั้น) เหลือให้ใช้งานได้อีก คณะกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมของ CEPT ได้ยอมรับข้อเสนอและจัดตั้งคณะทำงานชื่อ GSM (Groupe Spécial Mobile) เพื่อศึกษาภายใต้หัวข้อ “Harmonization of the technical and operational characteristics of a public mobile communications system in the 900 MHz band” คณะกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมของ CEPT ได้ให้คณะทำงาน GSM เป็นผู้เสนอ Term of Reference ขึ้นมาเอง ดังนั้น ในช่วงฤดูร้อนของปี 1982 (พ.ศ. 2525) ตัวแทนจากประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ร่วมมือกับทีมงานของกลุ่ม NMT ในการเขียนข้อเสนอสำหรับแผนปฏิบัติ (Action Plan) ซึ่งต่อมาได้รับความเห็นชอบในเดือนพฤศจิกายนของปีเดียวกัน เพื่อใช้เป็นพื้นฐานให้กับงานกำหนดมาตรฐาน GSM

ในการประชุมของคณะทำงานในเดือนพฤศจิกายนของปี 1982 (พ.ศ. 2525) ได้มีข้อตกลงของการเริ่มศึกษาอย่างจริงจัง ซึ่งสาระสำคัญที่เกี่ยวกับความต้องการพื้นฐานสำหรับระบบใหม่ที่ต้องมี มีดังนี้

1. ระบบต้องสามารถทำงานในย่านความถี่ 890-915 MHz และ 935-960 MHz

2. ต้องมีการรับประกันการใช้งานร่วมกับระบบที่มีในขณะนั้นสำหรับย่านความถี่ 900 MHz

3. เครื่องอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ของระบบ GSM ต้องสามารถใช้งานได้ในทุกประเทศที่มีส่วนร่วม โดยเฉพาะประเทศในกลุ่ม CEPT

4. ต้องมีบริการอื่นๆ เพิ่มเติมนอกเหนือจากบริการด้านเสียง แม้ว่าความต้องการในขณะนั้นยังไม่ชัดเจนว่าบริการใหม่ๆ เหล่านั้นคืออะไร ระบบควรได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบ Modular เพื่อสร้างความยืดหยุ่นในการเพิ่มบริการใหม่ๆ ให้กับระบบ

5. มีประสิทธิภาพสูงในการใช้แถบสเปคตรัม และเครื่อง Facilities ที่มีให้บริการแก่ผู้ใช้ต้องมีความทันสมัย

6. Facilities ที่มีใช้งานในโครงข่ายโทรศัพท์และโครงข่ายข้อมูล ควรมีใช้งานในโครงข่ายเคลื่อนที่ด้วย

7. แผนการระบุรหัสประจำตัวหรือรหัส ID ให้กับโครงข่ายเคลื่อนที่ต้องสอดคล้องกับเกณฑ์ที่ใช้กับแผนการกำหนดเลขหมายและการทำ Routing ที่มีในโครงข่ายโทรศัพท์และโครงข่ายข้อมูล

8. อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ประเภทอุปกรณ์มือถือ (Handheld) ต้องสามารถใช้งานกับระบบสื่อสารได้

9. สัญญาณเสียงต้องมีการเข้ารหัส

10. ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงข่ายโทรศัพท์ประจำที่ของประเทศ

11. ระบบต้องสามารถใช้งานร่วมกับระบบคิดเงิน (Charging System) ได้

12. ต้องมีการใช้ระบบ Signaling ที่เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อ (Interconnect) เข้ากับชุมสาย

ในปี 1989 (พ.ศ. 2532) งานการออกข้อกำหนดเชิงเทคนิคขององค์กร CEPT ได้ถูกโอนไปอยู่กับองค์กร ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ซึ่งได้จัดตั้งขึ้นในปี 1988 (พ.ศ. 2531) ด้วยเหตุนี้ คณะทำงาน GSM จึงถูกรวมเข้ากับองค์กร ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ด้วยและต่อมาภายหลังได้เปลี่ยนชื่อใหม่เป็น SMG (Special Mobile Group) สำหรับอักษรย่อของ GSM ได้ถูกเปลี่ยนเป็น Global System for Mobile เพื่อเหตุผลทางการตลาด

ในขณะที่งานพัฒนาโครงข่าย GSM กำลังดำเนินไป ประเทศอังกฤษได้เสนอความต้องการที่จะมีโครงข่าย PCN (Personal Communication Network) หรือระบบ PCS (Personal Communication System) สำหรับใช้งานในย่านความถี่ 1800 MHz โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการสื่อสารไร้สายให้ครอบคลุมพื้นที่อย่างแพร่หลาย (ubiquitous) ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ได้ตามความต้องการที่หลากหลาย โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งของผู้ใช้หรือตำแหน่งของข่าวสารที่ผู้ใช้ต้องการเข้าถึง แนวคิดของ PCS ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้งานร่วมกับระบบ AIN (Advanced Intelligent Network) โครงข่ายเคลื่อนที่และโครงข่ายประจำที่ (Fixed Network) จะรวมเข้าด้วยกัน เพื่อให้บริการเข้าถึงโครงข่ายและฐานข้อมูลของโครงข่ายแบบ Universal Access ระบบ AIN ยอมให้ผู้ใช้มีเบอร์โทรศัพท์เพียงเบอร์เดียว สำหรับใช้งานทั้งบริการไร้สายและบริการที่ใช้สาย ETSI ได้ศึกษาความต้องการและพบว่า ในขณะนั้นข้อกำหนดของระบบ GSM ได้เกือบเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นเพื่อให้ได้โครงข่าย PCN สำหรับใช้งานได้รวดเร็วตามความต้องการของประเทศอังกฤษ ทาง ETSI จึงได้เอาระบบ GSM มาปรับปรุงให้ใช้งานเป็นระบบ PCN โดยการเพิ่มย่านความถี่ของ PCN เข้าไปในย่านความถี่ใช้งานของระบบ GSM และปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการเชื่อมโยงกับช่องความถี่ PCN ดังนั้นมาตรฐาน PCN สำหรับย่านความถี่ 1800 MHz จึงได้ถือกำเนิดขึ้น

เนื่องจากในปี 1990 คณะทำงานกำหนดมาตรฐานเริ่มตระหนักชัดว่า มาตรฐาน GSM คงไม่เสร็จทันตามกำหนดการที่จะนำออกใช้งานในเชิงพาณิชย์ในปี 1991 นอกจากนี้ คณะทำงานยังพบเห็นข้อกำหนดหลายแห่งในมาตรฐานที่ยัง

สามารถปรับปรุงได้อีกมาก คณะทำงานจึงตัดสินใจที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการแบ่งงานพัฒนามาตรฐานออกเป็นเฟส ดังนี้

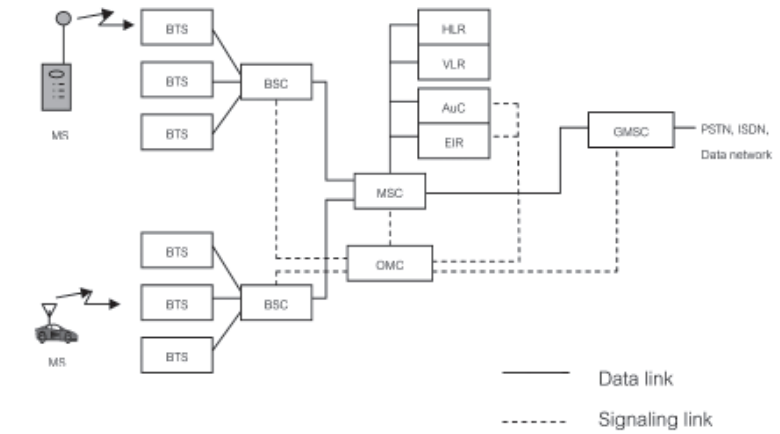
งานเฟส 1 เป็นงานที่เร่งเขียนมาตรฐานแรกออกให้ทันต่อการใช้งานในปี 1991 โดยมีเนื้อหาครอบคลุมบริการต่างๆ เป็นบางส่วนเท่านั้นจากทั้งหมดที่ได้วางแผนให้มีใช้งานกับโครงข่าย ดังนั้นมาตรฐานเฟสที่ 1 จึงเป็นมาตรฐานที่ยังไม่สมบูรณ์และมีที่ผิดอยู่มาก โครงข่ายตามมาตรฐานเฟส 1 ได้เปิดทดลองใช้งานที่ประเทศฟินแลนด์ ในวันที่ 1 เดือนกรกฎาคม ปี 1991 ตามที่ได้วางแผนไว้ และตามด้วยการเปิดใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ในปีถัดมา โครงข่าย GSM ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2

งานเฟส 2 มีการเพิ่มบริการต่างๆ ให้ครบตามที่ได้วางแผนไว้ แก้ไขข้อผิดพลาด/ข้อจำกัดที่ตรวจพบในงานเฟส 1 และปรับปรุงฟังก์ชั่นงานที่สำคัญเช่น การทำ Handover และการทำงานของอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ นอกจากนี้ งานในเฟส 2 ยังได้ปรับข้อกำหนดของระบบ PCN ให้รวมเข้ากับมาตรฐาน GSM ซึ่งการกระทำนี้ทำให้เกิดอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ที่มีฟังก์ชั่นทำงานแบบ Dual Band ในเวลาต่อมา งานพัฒนามาตรฐานในเฟส 2 เริ่มต้นทันทีที่มีเปิดใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ในปี 1992 และสิ้นสุดในปี 1995

งานเฟส 2+ เป็นการพัฒนาที่เปิดกว้างเพื่อให้ระบบ GSM สามารถปรับให้เข้ากับความต้องการใหม่ๆ ของตลาดที่มาจากผู้ใช้ ผู้ให้บริการและผู้ผลิต และที่เป็นผลมาจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้มีคุณสมบัติและฟังก์ชั่นที่ได้รับการพัฒนามากขึ้น งานพัฒนาในเฟส 2+ เริ่มต้นในปี 1993 และมีการประกาศมาตรฐานเฟส 2+ ออกใช้งานเป็นประจำปี 4 ฉบับคือ ฉบับปี 1996 ฉบับปี 1997 ฉบับปี 1998 และฉบับปี 1999 งานที่สำคัญในเฟส 2+ ได้แก่ SIM ที่ใช้ระดับแรงดันไฟ 3 โวล์ท เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Enhanced Full-Rate (EFR) Speech Codec ฟังก์ชั่นการทำงานแบบ Multi-band (900/1800MHz) ของอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ ระบบ CAMEL (Customized Applications for Mobile Enhanced Logic) ระบบ HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) ระบบ GPRS (General Packet Radio Service) โปรโตคอล SIM Application Toolkit เป็นต้น

ในปี 1991 (พ.ศ. 2534) เริ่มนำโครงข่าย GSM ออกใช้งานในยุโรป เนื่องจากในขณะนั้นยังไม่มีอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ในท้องตลาด ดังนั้น การนำเอาโครงข่าย GSM มาใช้งานแทบไม่มีผลกระทบต่อตลาดบริการสื่อสารโทรคมนาคมในขณะนั้นเลย แต่กลับได้รับเสียงวิพากษ์วิจารณ์อย่างกว้างขวาง สามปีต่อมา การเติบโตของโครงข่าย GSM เริ่มมีขึ้นอย่างช้าๆ ในท้องตลาดเริ่มมีอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่สำหรับใช้งานบนโครงข่าย GSM แต่ก็ยังมีข้อสงสัยว่าการลงทุนที่สูงของโครงข่าย GSM จะคืนทุนได้หรือไม่ แม้ว่าโครงข่าย GSM มีการเติบโตที่ช้าในช่วงแรก แต่ในที่สุดโครงข่าย GSM ได้กลายเป็นโครงข่ายที่มีใช้งานในทวีปยุโรป และความนิยมของโครงข่าย GSM ได้ใช้งานแพร่หลายเข้าไปในประเทศต่างๆ ของทวีปอเมริกาใต้ ทวีปเอเชีย และทวีปออสเตรเลียอีกด้วย โดยมีสัดส่วนการใช้งานมากกว่า 70% ทั่วโลก และมีผู้ใช้บริการมากกว่า 850 ล้านคน

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกเสนอโดย Nokia เพื่อให้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน GSM เฟส 2+ ฉบับปี 1996 เทคโนโลยี HSCSD ยอมให้อุปกรณ์ไร้สายเคลื่อนที่สามารถใช้ time slot ได้มากกว่า 1 time slot ในการรับส่งข้อมูล ทำให้ค่าความเร็วของข้อมูลที่ใช้งานมีค่าเท่ากับ kb/s หรือ kb/s เท่านั้น โดยที่ n คือ จำนวน time slot ที่ใช้ แม้ว่าการใช้งานของ



MS:	Mobile Station	HLR:	Home Location Register
BTS:	Base Transceiving Station	VLR:	Visited Location Register
BSC:	Base Station Controller	AuC:	Authentication Center
MSC:	Mobile Switching Center	VLR:	Visited Location Register
GMSC:	Gateway MSC	EIR:	Equipment Identity Register
PLMN:	Public Land Mobile Network	OMC:	Operation and Maintenance Center

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของโครงข่าย GSM

HSCSD ทำให้การรับส่งข้อมูลมีค่าความเร็วใช้งานสูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม HSCSD เป็นเทคโนโลยีที่อยู่บนหลักการของ Circuit Switching ดังนั้นค่า Bandwidth Efficiency ของระบบสื่อสารไร้สายไม่ได้ดีขึ้นแต่อย่างไร HSCSD ถูกนำมาใช้งานในระยะแรกที่มีการนำเอาโครงข่าย GSM ไปให้บริการสื่อสารข้อมูล เมื่อระบบ GPRS ได้ถูกสร้างขึ้นใช้งาน การใช้งานของ HSCSD จะถูกแทนที่ด้วยระบบ GPRS

ในช่วงแรกของการพัฒนามาตรฐาน GSM บริษัท IBM และ Motorola ได้เคยเสนอให้ระบบ GSM มีบริการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยี Packet Switching ด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอนี้ได้รับการปฏิเสธ เนื่องจากโครงข่าย GSM มีโครงสร้างเป็นแบบ Circuit Switching การเพิ่มโหมดการทำงานแบบ Packet Switching จึงทำได้ยาก อย่างไรก็ตาม ในช่วงระหว่างปี 1992-1993 คณะทำงาน SMG ได้รับแรงกดดันที่จะต้องเพิ่มบริการสื่อสารข้อมูลแบบ Packet Switching เข้าไปในระบบ GSM อีกครั้ง ด้วยหน่วยงานต่างๆ ในยุโรปที่สนใจจะนำโครงข่าย GSM ไปใช้ในงานเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งข้อมูล เพิ่มเติมจากการสื่อสารด้านเสียง นอกจากนี้ เหตุผลสำคัญที่ทำให้คณะทำงาน SMG เริ่มลงมือศึกษาคือ ในสหรัฐอเมริกา เริ่มมีการให้

บริการ CDPD ซึ่งเป็นบริการที่ใช้เทคโนโลยี Packet Switching โดยตรง ที่มีให้บริการในโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการบางรายในสหรัฐอเมริกา ดังนั้น บริการในโหมดของ Packet Switching จึงเป็นบริการที่ระบบ GSM จำเป็นต้องมี เพื่อให้สามารถแข่งขันกับระบบอื่นๆ ได้ งานการพัฒนาข้อกำหนดเพื่อเพิ่มฟังก์ชั่น Packet Switching จึงได้รับการบรรจุลงในรายการของงานพัฒนาระบบ GSM ในเฟส 2+ และใช้ชื่อว่า งานพัฒนาข้อกำหนด GPRS ซึ่งได้เริ่มต้นในปี 1994 นอกจากการให้บริการในโหมด Packet Switching แล้ว ระบบ GPRS ยังมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดให้มีวิธีการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ตและโครงข่าย IP อื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ในช่วงแรก มีการคาดการณ์ไว้ว่าข้อกำหนด GPRS จะแล้วเสร็จในปี 1995 แต่ปรากฏว่าข้อกำหนด GPRS มีผลกระทบต่อระบบ GSM อย่างมาก โดยเฉพาะภาคการรับส่งคลื่นวิทยุที่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก และโครงข่ายหลักต้องมีการวางโครงข่ายข้อมูลคู่ขนานไปกับชุมสาย MSC ที่มีใช้อยู่เดิม ทำให้งานพัฒนาข้อกำหนด GPRS จึงต้องแบ่งออกเป็นหลายเฟส มาตรฐาน GPRS เฟสที่ 1 เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน GSM ฉบับปี 1997 ในขณะที่มาตรฐาน GPRS เฟสที่ 2 เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน GSM ฉบับปี 1999 โครงข่าย GSM/GPRS มีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลได้สูงสุดถึง 171.2 (21.4x8) kb/s

EDGE (Enhanced Data Rates For the GSM Evolution) เป็นเทคโนโลยีลำดับต่อมา ที่ใช้กับภาครับส่งวิทยุของระบบ GSM เพื่อให้ระบบ GSM และระบบร่วม GSM/GPRS สามารถใช้งานรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงขึ้นได้ เทคโนโลยี EDGE ยังคงใช้ช่องความถี่วิทยุและโครงสร้างเฟรมแบบ TDMA ของระบบ GSM เหมือนเดิม แต่ EDGE เลือกใช้วิธีการมอดดูเลชั่นแบบ 8PSK แทน GMSK ทำให้ระบบที่ใช้เทคโนโลยี EDGE สามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลได้สูงสุดถึง 384 (48x8) kb/s งานพัฒนามาตรฐาน EDGE ได้ถูกแบ่งออกเป็นหลายเฟสในลักษณะเช่นเดียวกับมาตรฐาน GPRS มาตรฐาน EDGE เฟสที่ 1 เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน GSM ฉบับปี 1999 ในขณะที่มาตรฐาน EDGE เฟสที่ 2 เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน GSM ฉบับปี 2000

ในสหรัฐอเมริกามีการพัฒนาโครงข่ายระบบดิจิตอลขึ้นใช้งานเช่นกัน อย่างไรก็ตาม มาตรฐานของระบบที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาพูดถึงเฉพาะการเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุเท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในสหรัฐอเมริกา มาตรฐานโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมกำหนดโดย T1 Committee ในขณะที่มาตรฐานการเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุกำหนดขึ้นโดย Telecommunications Industry Associations (TIA) โดยทั้ง 2 องค์กรนี้มีการทำงานที่อิสระต่อกัน แต่ในยุโรปการกำหนดมาตรฐานอยู่ภายใต้การดูแลของ CEPT ในช่วงแรก และต่อมาได้โอนงานไปไว้ที่ ETSI อย่างไรก็ตาม การทำงานขององค์กรทั้งสองยังคงอยู่ภายใต้กรอบอันเดียวกัน ทำให้มาตรฐานของยุโรป (มาตรฐาน GSM) เป็นมาตรฐานที่สมบูรณ์ที่กล่าวถึงทั้งวิธีการเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุและระบบชุมสาย ซึ่งเป็นแกนหลักให้กับโครงข่ายเข้าถึงด้วยวิธีทางคลื่น นอกจากนี้ในกระบวนการกำหนดมาตรฐาน ETSI เปิดโอกาสให้ทั้งผู้ให้บริการโครงข่าย (Operator) และผู้ผลิต (Supplier) ร่วมกันทำงาน ทำให้งานสร้างอุตสาหกรรมใหม่เกิดควบคู่ไปกับงานสร้างมาตรฐานได้

ในสหรัฐอเมริกามีการพัฒนาโครงข่ายระบบดิจิตอลขึ้นใช้งานหลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐานระบบดิจิตอล USDC (United States Digital Cellular System) มาตรฐานระบบ TDMA (IS-136) และมาตรฐานระบบ CDMA One (IS-95)

USDC เป็นมาตรฐานระบบดิจิตอลระยะแรก ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใช้งานในกลุ่มประเทศอเมริกาเหนือ เพื่อให้บริการข้อมูลโดยใช้ช่อง

สัญญาณคลื่น 800 MHz ซึ่งเป็นค่าความถี่เดียวกับที่ใช้กับระบบ AMPS แต่ระบบ USDC สามารถรองรับการให้บริการแก่ผู้ใช้ได้มากกว่า 6 เท่า (3 เท่าสำหรับการใช้งานแบบ Full-rate และ 6 เท่าสำหรับการใช้งานแบบ Half-rate) องค์กร EIA/TIA (Electronic Industries Association and Telecommunication Industry Association) ได้กำหนดระบบร่วม USDC/AMPS ให้เป็นมาตรฐาน IS-54 (Interim Standard) สำหรับใช้งานในปี 1990 ทั้งระบบ USDC และระบบ AMPS แบ่งปันการใช้ช่องความถี่ใช้งานเดียวกัน โดยใช้แผนการใช้ความถี่ซ้ำแผนเดียวกัน และที่สำคัญใช้สถานีฐานร่วมกัน ดังนั้น เพื่อให้ทั้งสถานีฐานและอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่มีใช้งานทั้งช่องสัญญาณของ USDC และของ AMPS ภายในเครื่องเดียวกัน อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่จึงได้รับการออกแบบใช้งานเป็นแบบ Dual Mode การให้บริการในลักษณะเช่นนี้ ทำให้ผู้ให้บริการสามารถให้บริการ USDC กับลูกค้าของบริการ AMPS ได้ บริการ USDC ค่อยๆ ทดแทนการบริการของ AMPS จนกระทั่งในที่สุด ระบบ USDC เข้ามาทดแทนการให้บริการ AMPS อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากระบบ USDC สามารถใช้งานร่วมกันกับระบบ AMPS ได้ในหลายๆ อย่าง ดังนั้น ระบบ USDC จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อว่า Digital AMPS (D-AMPS) การเปลี่ยนแปลงจากระบบอนาล็อกไปสู่ระบบดิจิตอลโดยยังคงใช้ย่านความถี่วิทยุใช้งานเหมือนเดิม เป็นแรงผลักดันที่สำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบ USDC ขึ้นใช้งาน ในทางปฏิบัติ เฉพาะเมืองใหญ่ในสหรัฐอเมริกาที่ความจุของโครงข่ายมีไม่เพียงพอ เช่น เมือง New York หรือ Los Angles มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ระบบ AMPS ไปสู่ระบบ USDC อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เมืองเล็กๆ จะคอยจนกระทั่งมีจำนวนผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีฟังก์ชั่นของระบบ USDC เพียงพอไว้ใช้งาน

มาตรฐานระบบ TDMA (IS-136) เป็นระบบเซลลูลาร์ระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นให้มีคุณลักษณะของโครงข่ายรวมทั้งบริการใหม่ๆ ที่สามารถแข่งขันกับระบบ PCS ได้ อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ของระบบ IS-136 จะไม่สามารถใช้งานร่วมกับระบบ IS-54 ได้ เพราะระบบ IS-136 ใช้ช่องสัญญาณควบคุมที่ระดับความเร็วเท่ากับ 48.6 kb/s ในขณะที่ระบบ IS-54 ใช้ช่องสัญญาณแบบ FSK ที่ระดับความเร็วเท่ากับ 10 kb/s

เนื่องจากมาตรฐานระบบ IS 136 มีการใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA จึงมีการวางแผนให้ EDGE เป็นเทคโนโลยี 3G ที่จะพัฒนาไปสู่ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม 2 ข้อ สำหรับการ Deployment นั้นคือ ต้องใช้งานที่ย่านความถี่ 800 MHz และมีแถบสเปคตรัมใช้งานในช่วงแรกเพียง 1 MHz ซึ่งข้อกำหนดที่ 2 นี้ส่งผลให้เกิดการพัฒนา EDGE Compact ขึ้นใช้งาน

ระบบสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ที่ทำงานอยู่บนหลักการของเทคโนโลยีการเข้าถึงแบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Qualcomm และต่อมาได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐาน Interim Standard (IS-95) โดย Telecommunications Industry Association (TIA) ระบบ IS-95 ได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกัน (compatible) กับระบบ AMPS ได้ โดยที่อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่มีฟังก์ชั่นการทำงานเป็นแบบ Dual Mode เพื่อให้สามารถใช้งานกับโครงข่ายทั้งสองได้ ในปี 1994 บริษัท Qualcomm ได้ผลิตอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่รุ่นแรกที่มีฟังก์ชั่นการทำงานเป็นแบบ Dual Mode ดังกล่าวขึ้นใช้งาน ระบบ CDMA มีความจุ (Capacity) ได้สูงถึง 10-20 เท่าเมื่อเทียบกับระบบอนาล็อก และสามารถใช้งานเข้ากันได้ดี (Good Compatibility) กับระบบอนาล็อก แต่เนื่องจากระบบ CDMA เกิดขึ้นใช้งานช้ากว่า

ระบบ GSM ทำให้ปริมาณของผู้ใช้บริการระบบ CDMA มีจำนวนน้อยกว่าผู้ใช้บริการของระบบ GSM อยู่จำนวนมาก บริการที่มีใช้งานในระบบ CDMA ยังคงเป็นบริการทางด้านเสียงเป็นหลัก โดยมีบริการสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำร่วมด้วย

ด้วยเทคนิค CDMA ผู้ใช้บริการในโครงข่าย IS-95 ใช้ช่องความถี่วิทยุเดียวกันในการรับส่งคลื่น ผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซลใกล้เคียงก็ใช้ช่องสัญญาณความถี่เช่นเดียวกัน ทำให้งานด้านการวางแผนการใช้ช่องสัญญาณความถี่ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานอีกต่อไป เพื่อให้การเปลี่ยนเทคโนโลยีจากระบบ AMP ไปสู่ระบบ CDMA เป็นไปอย่างราบรื่น แต่ละช่องสัญญาณของระบบ IS-95 จะเลือกใช้ค่าความกว้างของ Bandwidth เท่ากับ 1.25 MHz ในแต่ละทิศทาง ซึ่งคิดเป็น 10% ของแถบความถี่ที่มีผู้ให้บริการในสหรัฐอเมริกามีใช้งาน (ระบบโครงข่ายแบบเซลลูลาร์ในสหรัฐอเมริกาจะมีแถบความถี่ใช้งานกว้าง 25 MHz โดยแต่ละผู้ให้บริการโครงข่าย (Operator) จะได้รับการจัดสรรแถบความถี่นี้เป็นจำนวนครึ่งหนึ่งหรือเท่ากับ 12.5 MHz)

ในอดีต ย่านความถี่ 2000 MHz เป็นย่านที่ใช้กับระบบสื่อสารวิทยุทางไกลด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบจุดต่อจุดบนภาคพื้นดิน แต่ ITU ได้เรียกกลับคืน เพื่อมากำหนดให้ใช้กับระบบ FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) ในเดือนกันยายน ปี 1993 ส่วนทางสหรัฐอเมริกา หน่วยงาน FCC ได้ประกาศให้ระบบ PCS ที่ใช้งานในย่านความถี่ 2000 GHz เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่สหรัฐอเมริกาจะนำมาใช้งาน เพื่อกระตุ้นการสร้างเทคโนโลยีใหม่ทดแทนเทคโนโลยีอนาล็อกและดิจิตอลที่มีใช้งานในขณะนั้น ทาง FCC ได้เปิดให้มีการประมูลย่านความถี่ดังกล่าว หลังจากนั้น งานสร้างมาตรฐานให้กับระบบ PCS จึงได้เริ่มขึ้น มีการจัดตั้งคณะทำงาน JTC (Joint Technical Committee) ซึ่งเป็นการร่วมมือกันระหว่าง TIA Committee และ T1 เพื่อพัฒนาการเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุของระบบ PCS ในขณะนั้น มีการเสนอเทคนิคการเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุ 7 แบบ โดยที่ระบบ PCS 1900 เป็นหนึ่งในนั้น ระบบ PCS 1900 เป็นระบบที่ปรับปรุงมาจาก PCS 1800 แต่ใช้ย่านความถี่ 1900 MHz การยอมรับมาตรฐานของ PCS 1900 ในตลาดอเมริกาได้รับการขัดขวางอย่างมากในช่วงแรก เพราะต้องเผชิญกับผู้ให้บริการโครงข่ายที่ใช้ระบบ TDMA และระบบ CDMA ที่มีอยู่เดิม แต่ท้ายที่สุดแล้ว PCS 1900 ก็เจาะตลาดอเมริกาได้เป็นผลสำเร็จ

ระบบ PDC (Pacific Digital Cellular) หรือรู้จักกันดีในอีกชื่อว่าระบบ JDC (Japan Digital Cellular) เป็นระบบสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่รุ่นที่ 2 ที่เริ่มพัฒนาขึ้นใช้งานที่ประเทศญี่ปุ่นในปี 1991 เพื่อบรรเทาปัญหาความหนาแน่นของการใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ในขณะนั้น มาตรฐานถูกนำออกใช้งานครั้งแรกในปี 1993 ระบบใช้เทคนิค TDMA/FDD เพื่อจัดให้มีช่องทางเข้าถึงโครงข่ายหลักได้ 3 time slots ต่อ 1 frame ที่ยาว 20 มิลลิวินาที เป็นที่น่าสังเกตว่า ระบบ GSM และระบบ CDMA One ต่างก็แพร่หลายไปในประเทศต่างๆ แม้กระทั่งในเอเชียก็มีการใช้งานของระบบทั้งสองนี้ นอกจากนี้ ระบบ GSM ยังสามารถบุกตลาดของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นเจ้าของระบบ CDMA One ได้เป็นผลสำเร็จ แต่การใช้งานของระบบ PDC กลับจำกัดการใช้เฉพาะในประเทศญี่ปุ่นเท่านั้น ไม่มีประเทศอื่นเลือกใช้ระบบ PDC เลย แม้แต่ตลาดเอเชียก็ไม่สามารถบุกได้ ทำให้การยอมรับโครงข่าย GSM เป็นมาตรฐานเปิด (Open Standard) เพื่อใช้งานทั่วโลกเด่นชัดขึ้นสำหรับระบบสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่รุ่นที่ 2

ตารางที่ 2 ได้รวบรวมมาตรฐานต่างๆ ที่สร้างขึ้นใช้งานให้กับโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานของโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 2

มาตรฐาน	ประเทศ	ปีที่นำออกใช้	Mulitple Access	Modulation	ย่านความถี่ใช้งาน MHz	ความกว้างของช่องความถี่
GSM 900	ยุโรป	1991	TDMA	GSMK	890-960	200 kH_z
USDC (IS 54)	สหรัฐอเมริกา	1991	TDMA	/4 DQPSK	824-894	30 kH_z
PDC	ญี่ปุ่น	1993	TDMA	/4 DQPSK	810-830, 1429-1453 (Reverse CH) 940-960, 1477-1501 (Forward CH)	25 kH_z
DCS-1800	ยุโรป	1993	TDMA	GSMK	1710-1880	200 kH_z
DCS-1900	ยุโรป	1994	TDMA	GSMK	1850-1990	200 kH_z
MIRS	สหรัฐอเมริกา	1994	TDMA	FM	หลายย่าน	25 kH_z
CDMA One (IS 95)	สหรัฐอเมริกา	1993	CDMA	QPSK/ BPSK	1800-2000	1.25 kH_z

4. การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 3

การประสบความสำเร็จอย่างมากของโครงข่าย GSM ทำให้เริ่มมีคำถามอีกครั้งหนึ่งเกี่ยวกับโครงข่ายในอนาคตที่จะตอบสนองต่อความต้องการใช้งานที่มีมากขึ้นเรื่อยๆ ในครั้งนี้ เป็นการแข่งขันกันระหว่าง 3 เทคโนโลยีใหญ่คือ เทคโนโลยีจากสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น ญี่ปุ่นเริ่มศึกษาเทคโนโลยีที่จะรองรับโครงข่ายยุคที่ 3 หรือโครงข่าย 3G ก่อนประเทศอื่น เพื่อต้องการความเป็นผู้นำในโครงข่ายยุคที่ 3 หลังจากที่ญี่ปุ่นแทบไม่มีบทบาทในการกำหนดมาตรฐานให้กับโครงข่ายยุคที่ 2 เลย เป็นผลทำให้ญี่ปุ่นเป็นชาติแรกที่นำเอาระบบโครงข่ายยุคที่ 3 มาใช้งาน ในขั้นตอนการพัฒนามาตรฐานให้กับโครงข่ายรุ่นที่ 3 ญี่ปุ่นได้ยึดแนวทางการพัฒนาของยุโรป แต่เนื่องจากการดำเนินที่ช้าของยุโรปและญี่ปุ่นไม่สามารถรอได้ ญี่ปุ่นจึงออกข้อกำหนดต่างๆ ขึ้นใช้งานเอง หลังจากที่ยุโรปได้สร้างมาตรฐานโครงข่ายรุ่นที่ 3 ขึ้นใช้งานที่เสร็จสมบูรณ์ ญี่ปุ่นได้ปรับมาตรฐานของตนเองให้เข้ากับมาตรฐานของยุโรป ทำให้มาตรฐานของยุโรปและของญี่ปุ่นได้กลายมาเป็นมาตรฐานเดียวกัน

ในการประชุมของคณะทำงาน GSM ระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึงวันที่ 10 ตุลาคม ปี 1992 ได้มีการตัดสินใจที่จะเริ่มศึกษาระบบ UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) เพื่อเป็นระบบสื่อสารเคลื่อนที่ระบบใหม่ยุคที่ 3 ที่จะนำออกใช้งานหลังปี 2000 มีการตั้งคณะทำงานย่อยเพื่อศึกษาเรื่องนี้โดยเฉพาะ ต่อมา ETSI ได้ตัดสินใจที่กำหนดให้งานของ UMTS มาไว้ที่คณะทำงาน GSM และเปลี่ยนชื่อคณะทำงานใหม่เป็น SMG (Special Mobile Group) ในเดือนมกราคม ปี 1992

ในช่วงต้นปี 1998 คณะทำงาน TC-SMG ของ ETSI ได้ตัดสินใจเลือก UTRA WCDMA (Universal Terrestrial Radio Access Wideband CDMA) เป็นเทคโนโลยีการรับส่งด้วยคลื่นวิทยุสำหรับการเข้าถึงโครงข่ายหลัก การเลือกครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก NTT DoCoMo ซึ่งเป็นผู้ให้บริการรายใหญ่ที่สุดในขณะนั้นของญี่ปุ่น ส่วนโครงข่ายหลักเป็นที่ตกลงร่วมกัน ให้พัฒนาบนพื้นฐานของโครงข่ายหลักของระบบ GSM/GPRS ในปีเดียวกันนี้เอง องค์กร ETSI ของยุโรปและองค์กรกำหนดมาตรฐานของญี่ปุ่นได้แก่ TTC และ ARIB ได้ตกลงร่วมกันที่จะสร้างมาตรฐาน UMTS ขึ้น การตกลงร่วมกันนี้ทำให้มีการจัดตั้งองค์กร 3GPP ขึ้นตามมา จะเห็นได้ว่า การพัฒนาของระบบสื่อสารไร้สายจากยุคที่ 2 ไปสู่ยุคที่ 3 ของกลุ่มประเทศยุโรปและญี่ปุ่น มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการรับส่งด้วยคลื่นวิทยุจากเทคโนโลยี TDMA ไปสู่เทคโนโลยี CDMA

ในปี 1986 (พ.ศ. 2529) สำนักงาน ITU (International Telecommunications Union) ซึ่งเป็นหน่วยงานกำหนดมาตรฐานของสหประชาชาติ ได้ริเริ่มแนวคิดของระบบสื่อสารโทรคมนาคมเคลื่อนที่นานาชาติ โดยทั่วโลกควรมีมาตรฐานใช้งานเพียงระบบเดียว ซึ่ง ITU ได้ให้ชื่อระบบดังกล่าวว่า Future Public Land Mobile Telephone Network (FPLMTS) คณะทำงานของ ITU ได้พิจารณาถึงระบบ PCN ควรที่จะพัฒนาไปอย่างไร ย่านความถี่ใช้งานสำหรับระบบใหม่ควรเป็นย่านอะไร ตลอดจนความร่วมมือของแต่ละประเทศที่จะใช้ย่านความถี่ดังกล่าวกับระบบใหม่ เพื่อให้ระบบใหม่สามารถถูกใช้งานได้ในทุกๆ ที่ในโลก ระบบ FPLMTS ที่ต้องการจะเป็นระบบสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่รวมเอาฟังก์ชั่น paging เครื่องโทรศัพท์ไร้สาย (cordless) ระบบเซลลูลาร์ รวมทั้งระบบสื่อสารดาวเทียมวงโคจรต่ำ (LEO: Low-Earth-Orbit satellite) เข้าด้วยกัน ในส่วนของย่านความถี่ใช้งาน ITU ได้วางเป้าหมายการใช้ที่ย่านความถี่ 1885-2025 MHz และ 2110-2200 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ได้รับการกำหนดใช้งานจากที่ประชุม World Administrative Radio Conference เมื่อปี 1992 (WARC'92)

คณะทำงานวิจัยกลุ่มที่ 8 (TG8/1) ของ ITU ได้กำหนดกรอบงานกำหนดมาตรฐาน FPLMTS และเป็นตัวสมานเทคโนโลยีการรับส่งด้วยคลื่นวิทยุ (RTT: Radio Transmission Technology) ที่ใช้กับมาตรฐาน FPLMTS เข้าด้วยกัน จนกระทั่งถึงเดือนกันยายน ปี 1998 มีการเสนอเทคโนโลยี RTT ให้คณะทำงาน TG8/1 พิจารณารวมทั้งสิ้น 16 ข้อเสนอ ดังนี้

1. UTRA WCDMA (ยุโรป)
2. DECT (ยุโรป)
3. CDMA 2000 (สหรัฐอเมริกา)
4. UWC-136 (สหรัฐอเมริกา)
5. WIMS WCDMA (สหรัฐอเมริกา)
6. WCDMA/NA (สหรัฐอเมริกา)
7. WCDMA (ญี่ปุ่น)
8. TD-SCDMA (จีน)
9. Global CDMA (Synchronous, เกาหลี)
10. Global CDMA (Asynchronous, เกาหลี)
11. LEO satellite SAT-CDMA
12. ESA wideband satellite system SW-CDMA
13. CDMA/TDMA hybrid bandwidth satellite system SW-CTDMA
14. ICO RTT
15. INMARSAT satellite system horizons
16. Iridium LLC satellite system INX

ข้อเสนอที่ 1-10 เป็นข้อเสนอสำหรับระบบ FPLMTS ที่ใช้งานบนพื้นโลก (terrestrial)

ในขณะที่ข้อเสนอที่ 11-16 เป็นข้อเสนอสำหรับบริการดาวเทียมเคลื่อนที่ (MSS: Mobile Satellite Service) ที่มีความพยายามที่จะผนวกเข้าเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน FPLMTS

เป็นที่ประจักษ์ชัดในเวลาต่อมาว่า ในทางปฏิบัติเป็นไปไม่ได้ที่ทุกประเทศซึ่งปีนเจ้าของเทคโนโลยียอมรับในการมีมาตรฐานใช้งานเพียงมาตรฐานเดียวใช้งานทั่วโลก ดังนั้น ด้วยแนวคิดที่ต้องการให้ระบบใหม่สามารถทำงานเข้ากับระบบที่มีใช้งานอยู่เดิมได้ ทำให้มีการยอมรับมาตรฐาน FPLMTS ใช้งานเป็นจำนวน 5 กลุ่ม ดังนี้

- มาตรฐาน WCDMA
- มาตรฐาน CDMA 2000
- มาตรฐาน TD-SCDMA
- มาตรฐาน EDGE
- มาตรฐาน DECT

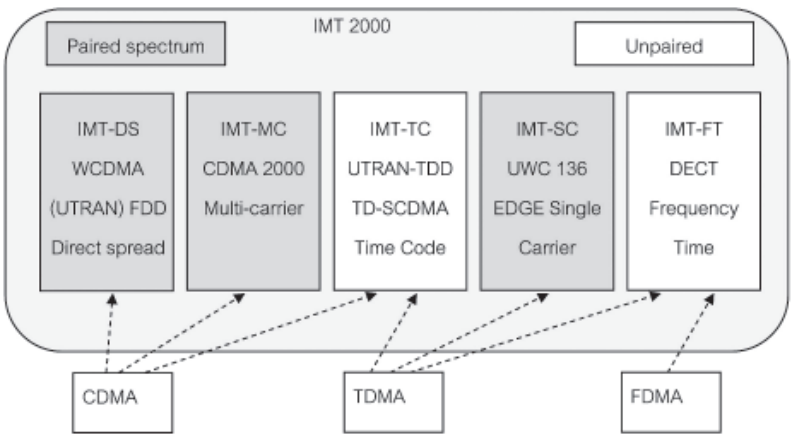
พร้อมกันนี้ ITU ได้เปลี่ยนชื่อเรียกกลุ่มของมาตรฐานนี้จาก FPLMTS มาเป็น IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) ตามปีคริสตศักราชที่มาตรฐานแล้วเสร็จ นั่นคือ ปี 2000 (พ.ศ. 2543) รูปที่ 3 แสดงมาตรฐานต่างๆ ที่อยู่ในตระกูล IMT-2000 ปัจจุบันนี้พบว่า มาตรฐานของ IMT2000 ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากมีอยู่ 2 มาตรฐานด้วยกัน คือ มาตรฐาน WCDMA ซึ่งกำหนดโดยยุโรป และมาตรฐาน CDMA 2000 ซึ่งกำหนดโดยสหรัฐอเมริกา

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น 3GPP (3rd Generation Partnership Project) เป็นองค์กรที่จัดตั้งขึ้นในเดือนธันวาคม ปี 1998 (พ.ศ. 2541) โดยความร่วมมือขององค์กรกำหนดมาตรฐานของประเทศต่างๆ ดังนี้

ETSI (European Telecommunication Standard Institute) ของยุโรป

TTA (Telecommunication Technology Association) ของประเทศเกาหลีใต้

ARIB (Association of Radio Industries and Business) ของประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 3 มาตรฐานในตระกูล IMT-2000

TTC (Telecommunications Technology Committee) ของประเทศญี่ปุ่น

T1 (Standardization Committee T1-Telecommunications) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

เพื่อกำหนดมาตรฐานให้กับระบบ 3G ที่พัฒนาขึ้นจากระบบ GSM และให้การสนับสนุนมาตรฐานการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) ในปี 1999 (พ.ศ. 2542) CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group) ซึ่งเป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานของประเทศจีนได้เข้าร่วม 3GPP ด้วย นอกจากองค์กรสร้างมาตรฐานจากประเทศต่างๆ แล้ว 3GPP ยังมีสมาชิกที่เป็นบริษัทผู้ผลิตและผู้ให้บริการโครงข่าย และมีพันธมิตรที่มาจากองค์กรอื่น เช่น องค์กร GSM Association องค์กร UMTS Forum องค์กร Global Mobile Suppliers Association องค์กร IPv6 Forum และองค์กร UMCC (Universal Wireless Communications Consortium)

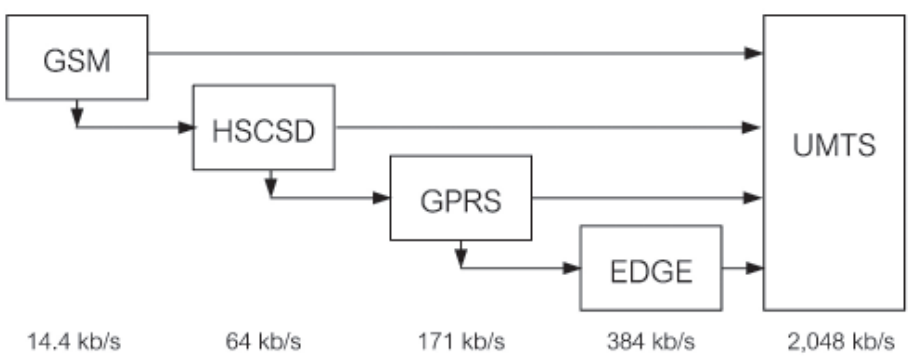
ด้วยเหตุผลทำนองเดียวกัน ในเดือนมกราคม ปี 1999 องค์กร 3GPP2 ได้ถูกจัดตั้งขึ้นโดย TIA ของประเทศสหรัฐอเมริกา TTA ของประเทศเกาหลีใต้ และ ARIB ของประเทศญี่ปุ่น เพื่อกำหนดมาตรฐาน CDMA 2000 และให้การสนับสนุนมาตรฐานการใช้งานของมาตรฐานที่กำหนดขึ้นดังกล่าว

องค์กร 3GPP และองค์กร 3GPP2 มีนโยบายสำหรับการพัฒนาการของโครงข่ายไปสู่ระบบ 3G จำนวน 2 ข้อ คือ

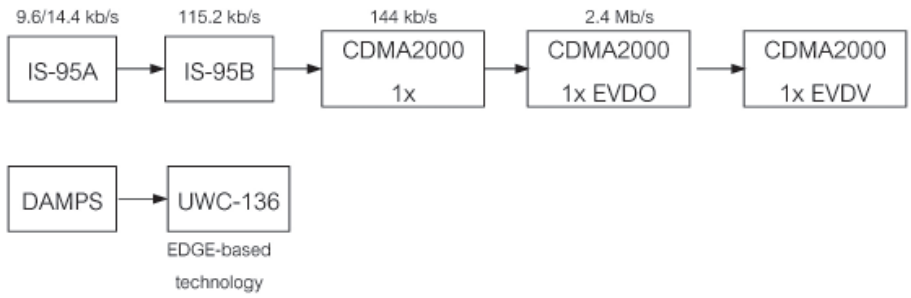
1. รับประกันการลงทุนในโครงข่าย 2G ให้ได้รับประโยชน์เต็มที่

2. เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี 2G ไปสู่เทคโนโลยี 3G อย่างราบรื่น (Smooth Transition)

ด้วยแนวคิดเชิงนโยบายเช่นนี้ กระบวนการพัฒนาโครงข่าย 2G ที่ใช้งานอยู่ให้กลายเป็นระบบ IMT2000 เป็นงานที่สำคัญ การพัฒนาจะเกี่ยวข้องการนำเอาโครงสร้างพื้นฐานของระบบ 2G มาใช้



รูปที่ 4 การพัฒนาของระบบ GSM ไปสู่ระบบ UMTS



รูปที่ 5 การพัฒนาของโครงข่ายมาตรฐานสหรัฐอเมริกาไปสู่ระบบ IMT2000

งานกับระบบ IMT2000 ดังนั้น โครงข่ายที่ใช้งานในช่วงแรกไม่ได้เป็นระบบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ให้กับระบบ IMT2000 แต่จะเป็นการรับประกันว่าโครงสร้างพื้นฐานของระบบ 2G จะมีการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ การพัฒนาจะเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนมาตรฐานของโครงข่าย 2G ที่มีหลายมาตรฐานให้กลายเป็นมาตรฐานร่วมเดียวกัน รูปที่ 4 แสดงพัฒนาการของระบบ GSM ไปสู่ระบบ UMTS และรูปที่ 5 แสดงพัฒนาการของระบบที่ใช้มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา

5. มาตรฐานโครงข่าย UMTS

โครงข่าย UMTS หรือเรียกอีกชื่อตามเทคโนโลยีที่ใช้งานว่าโครงข่าย WCDMA ได้รับการพัฒนาให้เป็นโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 3 สำหรับใช้งานในกลุ่มประเทศยุโรปหรือประเทศอื่นๆที่ใช้โครงข่ายระบบ GSM มาตรฐานของโครงข่าย UMTS ได้รับการดูแลโดยองค์กร 3G 3GPP ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มข้อกำหนดเชิงเทคนิค TSG (Technical Specification Groups) จำนวน 5 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีหน้าที่และขอบเขตของงาน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์กร 3GPP

ชื่อกลุ่ม		ขอบเขตของงาน	
TSG CN		Core Network	
TSG GERAN		GSM/EDGE Radio Access Network)	
TSG RAN	WG1	Radio Access Network	Physical Layer
	WG2		Layer 2 &3 Protocols
	WG3 (Working Group 3)		Lub, Lur, Lu Interface Specifications
	WG4		Performance Requirements
TSG SA		Services and Systems	
TSG T		Terminals	

คณะทำงาน 3GPP ได้กำหนดมาตรฐาน UMTS ไปแล้วหลายเวอร์ชั่น โดย 3GPP R99 (release 99) หรือ R3 เป็นเวอร์ชั่นแรกที่ออกใช้งานปลายปี 1999 (พ.ศ. 2542) มาตรฐาน R99 ได้รวมเอาข้อกำหนดที่จำเป็นที่ IMT-2000 ได้กำหนดไว้ทั้งหมด เช่น ความเร็วของการรับส่งข้อมูลที่ 2 Mb/s ความสามารถในการรับส่งด้วยความเร็วที่หลากหลาย ความสามารถในรองรับบริการได้หลายอย่าง (Multi-Services) ชั้นกายภาพ (Physical) มีความยืดหยุ่นต่อการแนะนำบริการใหม่ๆ ขึ้นใช้งาน ระบบสามารถกำหนดคุณภาพของบริการได้ และการรับส่ง Packet ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ฟังก์ชั่นที่จำเป็นสำหรับการทำ Handover ข้ามโครงข่าย GSM กับโครงข่าย UMTS ได้ถูกรวบรวมไว้ในมาตรฐาน R99 ด้วยเช่นกัน 3GPP R99 ใช้เทคนิคใหม่สำหรับการเข้าถึงโครงข่ายหลักของอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ โดยสร้างข้อกำหนด UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) ขึ้นใช้งานกับโครงข่ายเข้าถึง ในขณะที่อุปกรณ์ของโครงข่ายหลักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยในระยะแรกยังคงใช้อุปกรณ์ของระบบ GPRS ที่มีการปรับปรุงทางด้านซอฟต์แวร์ เพื่อให้มีขีดความสามารถเพิ่มขึ้น

3GPP R4 เป็นมาตรฐาน UMTS เวอร์ชั่นต่อมา ที่เสร็จสมบูรณ์และนำออกใช้งานในเดือนมีนาคม ของปี 2001 (พ.ศ. 2544) มาตรฐานเวอร์ชั่นนี้มีการเปลี่ยนแปลงด้าน circuit switch ของ Core Network โดยแยก User Plane กับ Control Plane ของอุปกรณ์ MSC ออกเป็นอุปกรณ์ MGW (Media Gateway) และอุปกรณ์ MSC server ตามลำดับ มาตรฐาน R4 มีข้อกำหนดที่เกี่ยวกับ IP header compression เพื่อให้การใช้คลื่นวิทยุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการประยุกต์ใช้งานประเภท IP based

3GPP R5 เป็นมาตรฐาน UMTS เวอร์ชั่นต่อมา ที่เสร็จสมบูรณ์และนำออกใช้งานในเดือนมีนาคมของปี 2002 (พ.ศ. 2545) มาตรฐานเวอร์ชั่นนี้มีเป้าหมายให้ Transport Network ใช้เทคโนโลยี IP ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้น เป้าหมายของ 3GPP R5 คือ การเป็นโครงข่าย All-IP หรือโครงข่าย end-to-end packet switched cellular ที่ใช้ IP เป็น Transport Protocol แทนการใช้ระบบควบคุม SS7 (System Signaling 7) ที่มีใช้ในโครงข่าย circuit-switched มาตรฐาน 3GPP R5 มีการกำหนดเทคนิคการเข้าถึงโครงข่ายหลักด้วยวิธีทางคลื่น เทคนิคใหม่คือ GSM/EDGE Radio Access Network หรือเรียกชื่ออย่างย่อว่า GERAN เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง นอกเหนือจากเทคนิค WCDMA Radio Access Network ที่มีใช้กับเวอร์ชั่นก่อนหน้านี้ มาตรฐานเวอร์ชั่นนี้มี Feature ใหม่ที่สำคัญคือ HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) สำหรับการรับข้อมูลจากโครงข่ายด้วยความเร็วที่สูงสุดถึง 14 Mb/s (ความเร็วของผู้ใช้บริการในทางปฏิบัติมีค่าได้มากกว่า 1 Mb/s) โดยยังคงใช้ Bandwidth ของช่องสัญญาณวิทยุ 5 MHz เท่าเดิม HSDPA ใช้สถาปัตยกรรมแบบกระจาย (Distributed Architecture) โดยมีการประมวลผลข้อมูล Packet กระทำที่สถานีฐาน เช่นการทำ Packet Scheduling และการทำ Retransmission นอกจากนี้ มาตรฐาน R5 มีการใช้ IP-based transport ทางฝั่ง UTRAN และใช้ระบบ IMS (IP Multimedia Subsystem) ทางฝั่ง Core Network ระบบ IMS มีไว้สำหรับสร้างบริการประเภท IP based

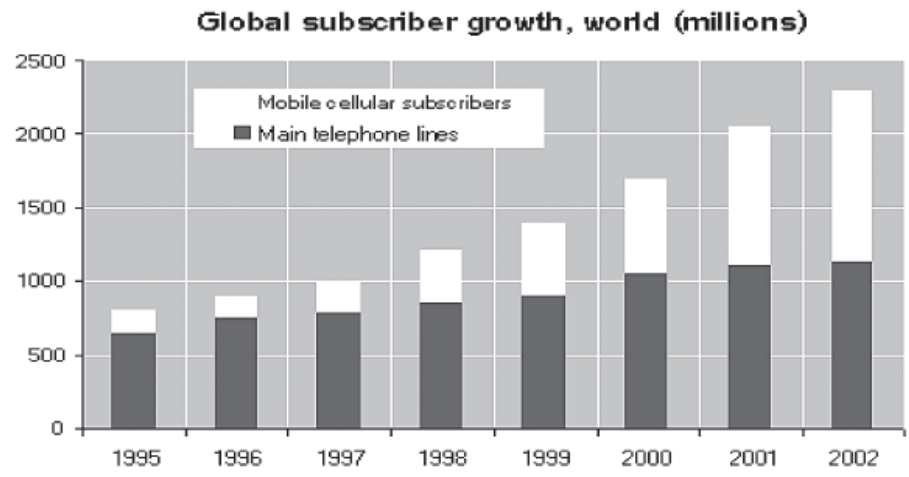
ในปัจจุบันนี้ มาตรฐานโครงข่าย UMTS ยุคที่ 3 ยังคงมีพัฒนาการที่ต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จาก มาตรฐาน 3GPP R6 มีกำหนดแล้วเสร็จในปี 2005 ซึ่งได้ปรับปรุงโครงข่ายให้มีการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วและ Throughput ที่สูงขึ้น โครงข่าย

มีความจุที่เพิ่มขึ้น Features ที่สำคัญของมาตรฐาน 3GPP R6 คือ High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) ระบบย่อย IP Multimedia Subsystem (IMS) เฟสที่ 2 การเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย Wireless Local Area Network (WLAN) บริการ Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) และการใช้งานของบริการ Push to talk (PoC) ด้วยทรัพยากรของช่องสัญญาณวิทยุที่มีเหลือเฟือ นอกจากนี้ ในขณะนี้เริ่มมีการพูดถึงการพัฒนาโครงข่ายระบบ 4G ขึ้นใช้งานบ้าง แม้ว่าจะยังไม่มีความชัดเจนว่าการพัฒนาการของโครงข่ายระบบ 4G จะเป็นอย่างไร และจะเริ่มต้นการพัฒนาระบบอย่างจริงจังเมื่อไหร่

แรงขับเคลื่อนที่สำคัญ ที่ส่งผลให้โครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนกระทั่งที่จะเกิดต่อไปในอนาคต ประกอบด้วย

6. แรงขับเคลื่อนของโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่

1. ความต้องการใช้งานของผู้ใช้ (Consumer Need) เนื่องด้วยโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งาน โดยผู้ใช้สามารถใช้บริการได้ในทุกที่และสามารถเคลื่อนที่ได้ในขณะใช้บริการ ทำให้โครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่เป็นที่ต้องการของคนทั่วไป แต่เนื่องจากในระยะแรกต้นทุนของอุปกรณ์โครงข่ายมีราคาแพง ทำให้ราคาค่าใช้บริการ ตลอดจนราคาของอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่มีราคาแพง กลุ่มของผู้ใช้บริการจึงจำกัดอยู่ในกลุ่มคนที่มีฐานะ และในขณะนั้น อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ถูกมองว่าเป็นเครื่องบ่งบอกฐานะที่ดีในสังคม เมื่อระบบโครงข่ายได้รับการพัฒนาให้กลายเป็นมาตรฐานร่วม ต้นทุนของการให้บริการมีค่าลดลง ประกอบกับตลาดอุปกรณ์ปลายทางไร้สายเคลื่อนที่ที่มีการ



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการทั่วโลก
ระหว่างโครงข่ายประจำที่และโครงข่ายเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

แข่งขันสูงขึ้น มีผลทำให้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่มีราคาถูกลง การใช้งานของโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่จึงเริ่มแพร่หลายเข้าไปในทุกกลุ่มของผู้ใช้บริการ แม้กระทั่งผู้มีรายได้น้อย นักเรียน และนักศึกษา ต่างก็มีอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ไว้ใช้งานเช่นกัน ความนิยมในการใช้บริการเริ่มมีมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ทั่วโลก ซึ่งแต่เดิมโครงข่ายโทรศัพท์ประจำที่เป็นโครงข่ายพื้นฐานหลักสำหรับให้บริการติดต่อสื่อสาร แต่ในปัจจุบันนี้ ทุกคนหันมาใช้โครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่เป็นโครงข่ายหลักสำหรับการติดต่อสื่อสารแทน ดังแสดงสถิติของจำนวนผู้ใช้บริการทั่วโลก เปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายประจำที่และโครงข่ายเคลื่อนที่ ด้วยรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าตั้งแต่ปี 2001 (พ.ศ. 2544) เป็นต้นมา โดยประมาณ จำนวนเลขหมายของโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มมีจำนวนมากกว่า

2. การจัดสรรแถบความถี่ใช้งาน (frequency spectrum allocation) ที่ชัดเจน หลังจากที่โครงข่ายสื่อสารไร้สายยุคที่ 1 ประสบความสำเร็จ มีการกำหนดแถบความถี่วิทยุใช้งานสำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่แบบใหม่ๆ ที่พัฒนาขึ้น เช่น แถบความถี่ 900 MHz แถบความถี่ 1800 MHz และแถบความถี่ 1900 MHz ล่าสุดมีการกำหนดแถบความถี่วิทยุใช้งาน ได้แก่ แถบความถี่ WARC'92 และแถบความถี่ WARC'2000 สำหรับใช้กับโครงข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในอนาคตเมื่อบริการของการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ได้เปลี่ยนรูปแบบการให้บริการ จากบริการทางเสียงไปสู่บริการสื่อผสมอย่างเต็มรูปแบบ ความต้องการในการรับส่งข้อมูลที่ระดับความเร็วที่สูงขึ้น จะเป็นแรงขับเคลื่อนให้มีการกำหนดแถบความถี่ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานตามมาในอนาคต

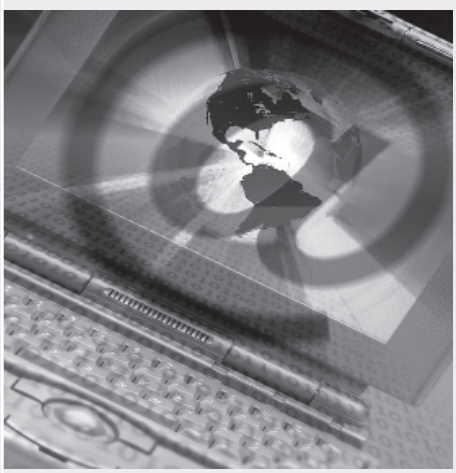
3. การพัฒนาการของเทคโนโลยีที่ใช้งาน (Technology Development) ความนิยมใช้ที่มีมากขึ้นของโครงข่ายเซลลูลาร์ยุคที่ 2 จนกระทั่งได้กลายเป็นระบบที่ใช้งานทั่วโลกได้ส่งผลให้มีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้งานเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตของบริษัทผู้ผลิตได้มีส่วนผลักดันให้อุปกรณ์ที่ผลิตมีขนาดเล็กลง แม้กระทั่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุ RF ซึ่งในอดีตเคยมีขนาดใหญ่โตเทอะทะ แต่ได้รับการพัฒนาด้วยการนำเทคนิคใหม่ๆ มาใช้ เพื่อลดขนาดของวงจรลง เช่น วงจร Filter ที่มีค่า Q สูงๆ ด้วยโครงสร้าง Helical Resonator ซึ่งมีขนาดใหญ่โตถูกแทนที่ด้วยวงจร Filter ที่ใช้เทคโนโลยี Surface Acoustic Wave (SAW) การพัฒนาการด้านการผลิตชิพวงจรรวมหรือชิพวงจร IC (Integrated Circuit) ซึ่งการผลิตชิ้นส่วน IC ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM ในยุคแรกใช้เทคโนโลยี 0.6 ไมครอน (micron) แต่ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาไปใช้เทคโนโลยี 0.13 ไมครอนแทน โดยที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังคงมีคุณภาพการทำงานเหมือนเดิม แต่วงจรมีขนาดเล็กลง การพัฒนาของ Digital Signal Processng ทำให้สามารถสร้างวงจร Equalizer ขึ้นใช้งาน ด้วยวิธีทางซอฟต์แวร์แทนการสร้างวงจรทางฮาร์ดแวร์ได้ ซึ่งแนวทางนี้ได้นำมาใช้ในการออกแบบวงจรภาครับส่งสัญญาณคลื่น RF ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับแถบความถี่วิทยุได้หลายแถบ และใช้วิธีการมอดดูเลชั่นได้หลายวิธี ©

3G vs WiMAX คู่แข่ง หรือ คู่ค้า

นางปริตา วงศ์ชุตินาท
พนักงานปฏิบัติการระดับสูง
สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

1. บทนำ

ปัจจุบันไม่อาจปฏิเสธได้ว่ากระแสความแรงของการสื่อสารไร้สายได้ส่งผลต่อความโดดเด่นของเทคโนโลยี 3G และ WiMAX ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการสื่อสาร ภาพ เสียง ข้อมูล และการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ได้ทุกที่ ทุกเวลา และทุกการใช้งานด้วยความเร็วสูง มองเพียงผิวเผินจะพบว่าเทคโนโลยีทั้งสองมีคุณสมบัติเทียบเคียงกัน และเกิดในเวลาไล่เลี่ยกัน อาจเป็นเทคโนโลยีที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน หรืออาจเป็นคู่แข่งที่ต้องมีผู้พ่ายแพ้ออกจากสนามไปก็ได้



ความจริงแล้วเทคโนโลยีทั้งสองถูกพัฒนามาจากจุดเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดย 3G พัฒนามาจากเทคโนโลยีการสื่อสารทางเสียง (Voice Application) สำหรับอิริยาบถเคลื่อนไหว ซึ่งคุณสมบัติเด่นคือ ประสิทธิภาพของการสื่อสารที่ไม่ติดขัด (Seamless Delivery) ในขณะเคลื่อนที่ (Mobility) และต่อมาได้พัฒนาให้สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูล (Data

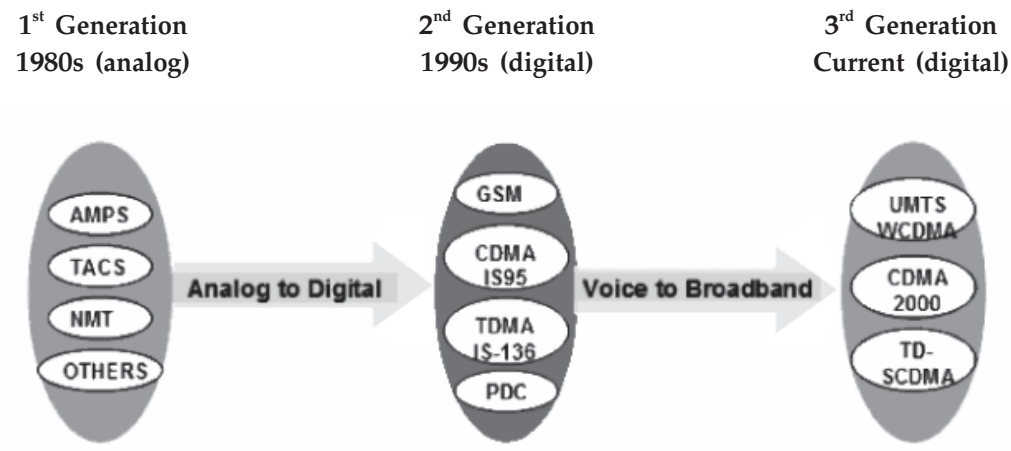
Application) ได้ด้วย เพื่อประโยชน์ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

ในขณะที่ WiMAX พัฒนามาจากเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล (Data Application) แบบประจำที่ (Fixed Service) และต่อมาได้พัฒนาให้สามารถรองรับการสื่อสารขณะเคลื่อนที่ (Mobility) และบริการทางเสียง (Voice Application) ได้ด้วย อย่างไรก็ตามในความต่างของทั้งสองเทคโนโลยีก็ยังปรากฏความเหมือน นั่นคือต่างก็เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย (Wireless Technology)

2. ยุคก่อน 3G

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ประเทศไทยใช้งานอยู่ถือเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2.5 (2.5G) เป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านความเร็วในการสื่อสาร และเพิ่มความสามารถในการรองรับบริการต่างๆ เดิมทีมิได้มีการกำหนดมาตรฐานกลางที่เป็นหนึ่งเดียวในการพัฒนาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้ผู้ผลิตในหลายๆ ประเทศต่างพัฒนาเทคโนโลยีของตนขึ้นในย่านความถี่วิทยุต่างๆ และส่งผลให้มีคุณสมบัติทางเทคนิคที่แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากวิวัฒนาการของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนี้

การพัฒนาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุคที่ 1 ไปสู่ยุคที่ 2 เป็นการเปลี่ยนแปลงจากระบบ Analog ไปสู่ระบบ Digital ซึ่งสามารถรองรับการสื่อสารทางเสียง หรือ Voice Application ต่อมากระแสโลกาภิวัตน์ได้ส่งผลต่อความต้องการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ต และการสื่อสารข้อมูล หรือ Data Application จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีจากยุคที่ 2 ไปสู่ยุคที่ 3 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจากเทคโนโลยีที่สามารถรองรับการสื่อสารทางเสียงไปสู่เทคโนโลยีสื่อสารความเร็วสูง (Broadband Technology)



รูปที่ 1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

3. 3G คืออะไร

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union) ซึ่งเป็นองค์กรชำนัญพิเศษแห่งสหประชาชาติ ได้กำหนดให้ IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) เป็นมาตรฐานโลกสำหรับระบบสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 (Third Generation: 3G) หรือ ระบบที่เหนือกว่า ซึ่งประกอบด้วยมาตรฐานคลื่นความถี่วิทยุ มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมและโครงข่ายวิทยุคมนาคม และข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ประเทศสมาชิกใช้เป็นแนวทางเดียวกันในการกำหนดมาตรฐานเทคโนโลยีการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ IMT-2000 โดยมีหลักการ ดังนี้

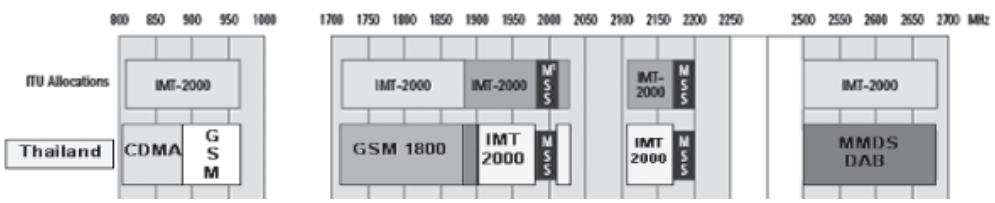
- แพลทฟอร์ม (Platform) สำหรับการหลอมรวมของบริการต่างๆ อาทิ กิจการประจำที่ (Fixed Service) กิจการเคลื่อนที่ (Mobile Service) บริการสื่อสารเสียง ข้อมูล อินเทอร์เน็ต และพหุสื่อ (Multimedia)
- ความสามารถในการใช้โครงข่ายทั่วโลก (Global Roaming)
- บริการที่ไม่ขาดตอน (Seamless Delivery Service)
- อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (Transmission Rate)

  - มากกว่า 144 กิโลบิต/วินาที ในทุกสภาวะ
  - ถึง 2 เมกะบิต/วินาที ในสภาวะกึ่งเคลื่อนที่
  - สูงถึง 384 กิโลบิต/วินาที ในสภาวะเคลื่อนที่

ทั้งยังได้กำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลของรัฐซึ่งประสงค์จะนำระบบ IMT-2000 มาใช้งานดำเนินการดังนี้

1. ควรจัดให้มีความถี่วิทยุสำหรับพัฒนาระบบ IMT-2000
2. ควรใช้ความถี่วิทยุที่กำหนดไว้ในข้อบังคับวิทยุเมื่อนำระบบ IMT-2000 มาใช้งาน
3. ควรใช้ข้อกำหนดลักษณะทางเทคนิคของระบบให้สอดคล้องตามข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

ทั้งนี้สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดย่านความถี่วิทยุสำหรับ IMT-2000 ไว้ทั้งสิ้น 5 ย่าน ดังนี้



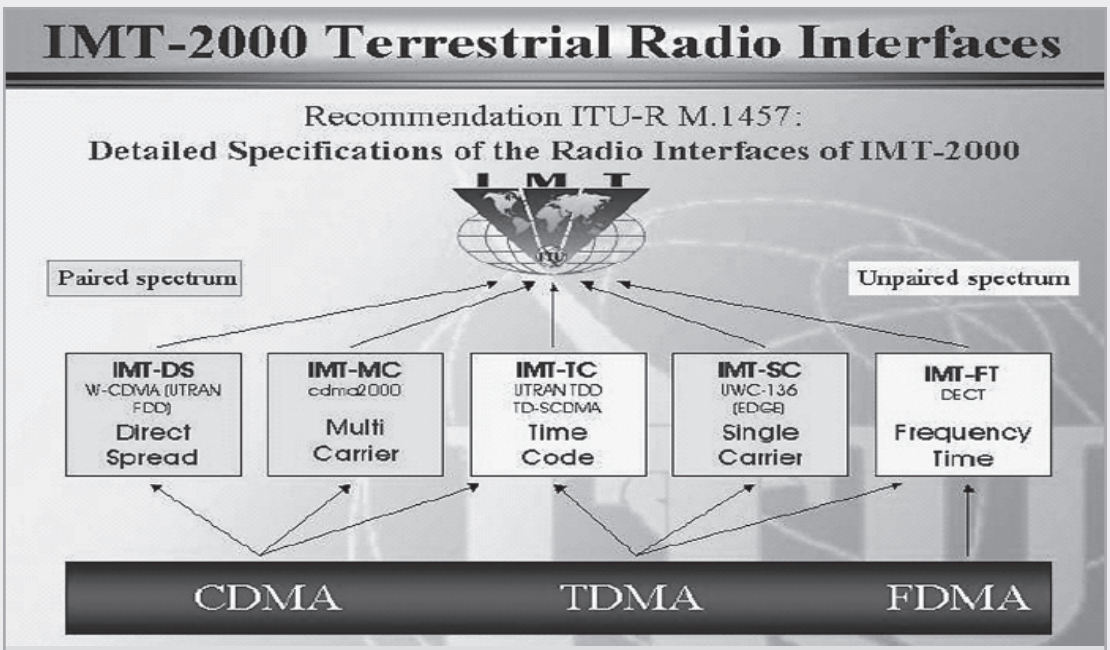
รูปที่ 2 คลื่นความถี่วิทยุ IMT-2000 และ การกำหนดคลื่นความถี่วิทยุในประเทศไทย

ตารางที่ 1 คลื่นความถี่วิทยุ IMT-2000

	ย่านความถี่วิทยุ IMT-2000
1	806-960 MHz
2	1710-1885 MHz
3	1885-2025 MHz
4	2110-2200 MHz
5	2500-2690 MHz

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ (Radio Interfaces) สำหรับ IMT-2000 ไว้ทั้งสิ้น 5 มาตรฐาน ดังรูปที่ 3

ทั้งนี้ มาตรฐานที่โดดเด่นเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย และมีการผลิตเครื่องวิทยุคมนาคมออกสู่ตลาดแล้ว มี 2 เทคโนโลยี ได้แก่



รูปที่ 3 มาตรฐาน IMT-2000

แหล่งข้อมูล: ITU

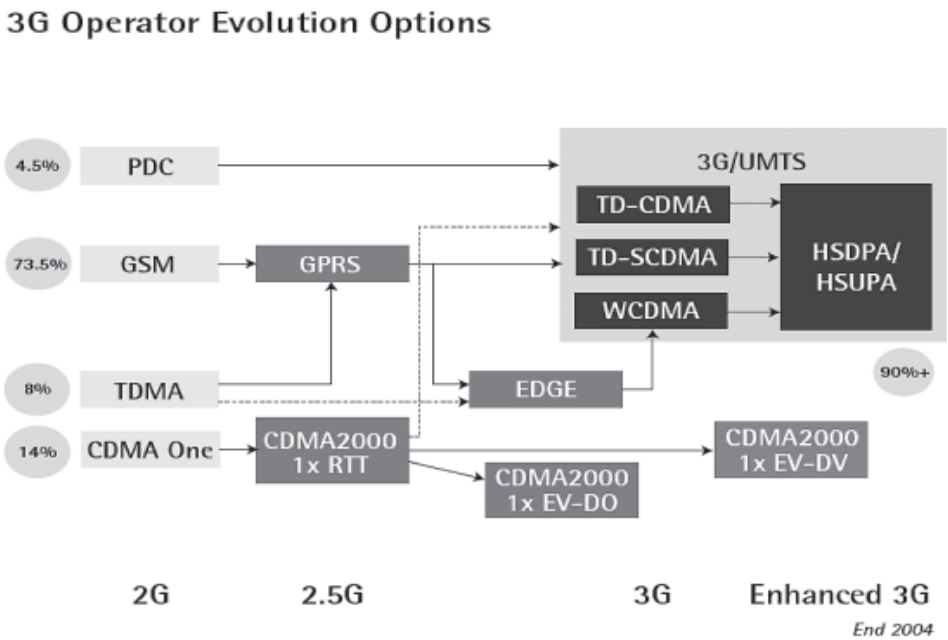
ตารางที่ 2 มาตรฐาน IMT-2000 ที่โดดเด่น

ที่	มาตรฐาน	วิวัฒนาการมาจากระบบ	ความกว้างแถบคลื่นความถี่/ช่องสัญญาณ
1	IMT-DS (Direct Spread) หรือ WCDMA	GSM	5 MHz
2	IMT-MC (Multi Carrier) หรือ CDMA-2000	CDMA	1.25 MHz

ซึ่งทั้งสองเทคโนโลยีล้วนแล้วแต่มีวิวัฒนาการมาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 ดังนั้น ผู้ประกอบการรายเดิมจึงสามารถพัฒนาเทคโนโลยีโดยใช้ย่านความถี่วิทยุเดิม และปรับปรุง Hardware/Software ของโครงข่ายบางส่วนให้ดีขึ้นเพื่อพัฒนาไปสู่เทคโนโลยี IMT-2000 หรือ 3G ได้

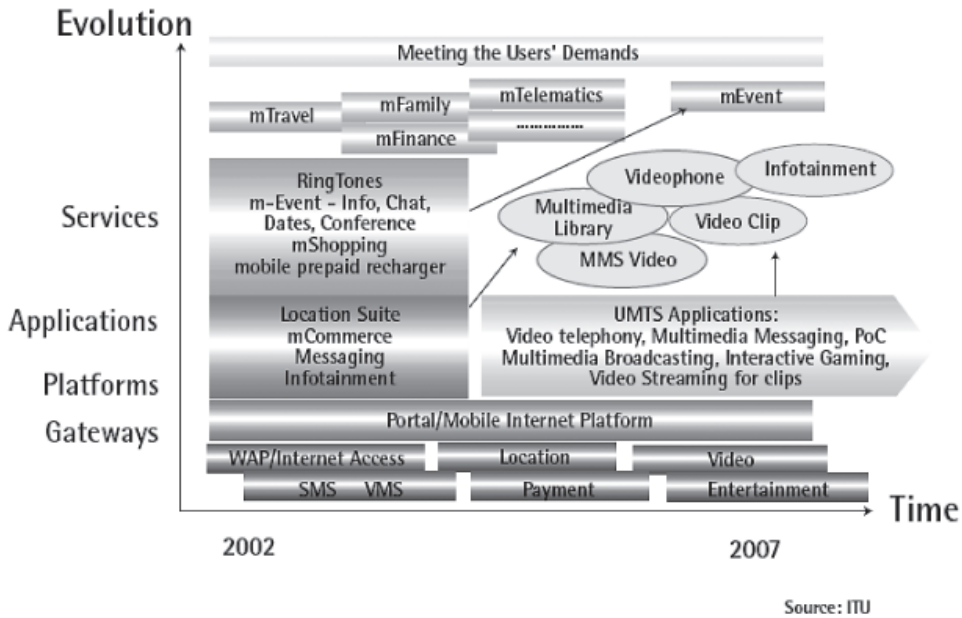
4. บริการที่โดดเด่นของ 3G

เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 สามารถตอบสนองความต้องการสื่อสารข้อมูล พหุสื่อ (Multimedia) และอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีขีดจำกัด ซึ่งเทคโนโลยี 3G ได้รับการพัฒนาเพื่อข้ามผ่านข้อจำกัดดังกล่าวด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ ความเร็วในการสื่อสาร และความสามารถในการรองรับบริการต่างๆ ทั้งพหุสื่อ และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยที่ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนไหวได้ขณะใช้งาน (Mobility)



รูปที่ 4 ทางเลือกในการพัฒนาระบบของผู้ประกอบการ

แหล่งข้อมูล: The UMTS Forum



รูปที่ 5 3G Applications

ในประเทศที่มีการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 แล้ว ได้มีการพัฒนา Applications ที่โดดเด่นมากมาย ทั้งการดำเนินธุรกรรมผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ซื้อสินค้า อาทิ

- บริการโทรศัพท์แบบเห็นภาพขณะสนทนา (Videophone)
- การประชุมทางไกลแบบวิดีโอ (Video Conference)
- บริการกระจายเสียง และโทรทัศน์ (Multimedia Broadcasting)
- บริการเกมส์แบบเชิงโต้ตอบ (Interactive Gaming)
- บริการพาณิชย์ผ่านมือถือ (mCommerce)
- บริการซื้อสินค้าผ่านมือถือ (mShopping)

บริการที่ทันสมัยเหล่านี้ส่งผลให้ภาคธุรกิจอิเล็กทรอนิกส์มีการเจริญเติบโตขึ้น และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในการดำเนินธุรกรรมได้ในทุกที่ทุกเวลา (Ubiquitous) ในทุกอิริยาบถ

5. Wi-Fi ชนวนความนิยมใน BWA

ในปี พ.ศ. 2546 ได้เกิดความนิยมใช้งานเทคโนโลยีไร้สาย ที่เรียกว่า Wi-Fi (Wireless Fidelity) อย่างแพร่หลาย Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีที่ให้บริการเครือข่ายสื่อสารไร้สายเฉพาะที่ หรือที่เรียกว่า Wireless Local Area Networks (WLANs) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูงในการติดตั้งเพื่อให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายความเร็วสูง (Broadband

Wireless Access: BWA) ตามอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า สนามบิน และสถานศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ให้บริการไม่กว้างนัก (รัศมีน้อยกว่า 150 เมตร) เนื่องจากติดตั้งง่ายและอุปกรณ์มีราคาถูก ประกอบกับผู้ผลิตได้ติดตั้ง Chipset มาพร้อมกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุคส์ จึงส่งผลให้พื้นที่ให้บริการ Wi-Fi (Wi-Fi Hot Spots) และอัตราผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

"Wi-Fi" หรือ "Wireless Fidelity" เป็นเครื่องหมายรับรองที่ออกให้โดย "The Wi-Fi Alliance" ซึ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและทดสอบอุปกรณ์ ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless LAN Standards) เพื่อให้เครื่องวิทยุคมนาคมที่มีเครื่องหมาย "Wi-Fi" จะสามารถใช้งานร่วมกันได้ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- เครื่องวิทยุคมนาคมมาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้ย่านความถี่วิทยุ 5 GHz มีความเร็วข้อมูลสูงสุดถึง 54 Mbps

- เครื่องวิทยุคมนาคมมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้ย่านความถี่วิทยุ 2.4 GHz โดยมีความเร็วข้อมูลสูงสุดถึง 11 Mbps

- เครื่องวิทยุคมนาคมมาตรฐาน IEEE 802.11g ใช้ย่านความถี่วิทยุ 2.4 GHz ซึ่งมีความเร็วข้อมูลสูงถึง 54 Mbps และสามารถเข้ากันได้กับเครื่องวิทยุคมนาคมมาตรฐาน IEEE 802.11b

รูปที่ 6 เครื่องหมายรับรอง Wi-Fi

การกำหนดความถี่วิทยุให้กับกิจการต่างๆ ตามข้อบังคับวิทยุ (Radio Regulations) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) และตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติสำหรับย่านความถี่วิทยุ 2.4 GHz และ 5 GHz มีดังนี้

รูปที่ 7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Wi-Fi

ตารางที่ 3 ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติย่านความถี่วิทยุ 2.4 GHz และ 5 GHz

ย่านความถี่วิทยุ (GHz)	ITU Region 3	ประเทศไทย
2.4-2.4835	FIXED MOBILE RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)	FIXED MOBILE RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)
2.4835-2.5	FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (space-to-Earth) RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)	FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (space-to-Earth) RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)
5.15-5.25	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION FIXED-SATELLITE (E-S) MOBILE*	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION FIXED-SATELLITE (E-S)
5.25-5.35	EARTH EXPLORATION-SATELLITE RADIOLOCATION SPACE RESEARCH MOBILE*	EARTH EXPLORATION-SATELLITE RADIOLOCATION SPACE RESEARCH
5.470-5.650	MARITIME RADIONAVIGATION MOBILE*	MARITIME RADIONAVIGATION
5.650-5.725	RADIOLOCATION MOBILE*	RADIOLOCATION
5.725-5.830	RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)	RADIOLOCATION **ISM band (Industrial Scientific and Medical)

* *ที่ประชุมวิทยุคมนาคมโลก WRC-03 (4/07/2003) มีมติให้เพิ่มกิจการเคลื่อนที่ (Mobile) สำหรับย่านความถี่วิทยุดังกล่าว ซึ่งเกิดจากความต้องการของประเทศสมาชิก ที่ต้องการใช้ย่านความถี่วิทยุดังกล่าวกับเครื่องวิทยุคมนาคมสื่อสารระยะสั้นที่ใช้งานในโครงข่ายสื่อสารไร้สายเฉพาะที่ โดยย่านความถี่วิทยุ 5.15-5.25 GHz ถูกกำหนดให้ใช้ภายในอาคาร ส่วนย่านความถี่วิทยุ 5.25-5.35 GHz, 5.470-5.725 GHz ถูกกำหนดให้ใช้ในบริเวณเฉพาะ*

** *ย่านความถี่วิทยุที่ถูกกำหนดให้ใช้งานในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์*

ในประเทศไทยการใช้ย่านความถี่วิทยุ 2.4-2.4835 GHz สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสื่อสารระยะสั้น สอดคล้องกับตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติและได้จัดสรรให้ประชาชนใช้งานก่อนวันที่ พ.ร.บ. องค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2543 ใช้บังคับ แต่สำหรับย่านความถี่วิทยุ 5 GHz นั้น ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดให้ใช้กับกิจการเคลื่อนที่และจัดสรรให้ผู้ใดใช้งานในกิจการเคลื่อนที่แต่อย่างใด ซึ่งการแก้ไขเพิ่มเติมตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาตินั้น เป็นอำนาจของคณะกรรมการร่วม (คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) และคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์แห่งชาติ (กสช.)) ซึ่งขณะนี้อยู่ในระหว่างการดำเนินการสรรหาและแต่งตั้ง กสช. ดังนั้นในขณะนี้จึงไม่สามารถอนุญาตให้ใช้ย่านความถี่วิทยุ 5 GHz ในกิจการเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากเป็นการจัดสรรความถี่วิทยุใหม่ ซึ่งต้องห้ามตามความในมาตรา 80 แห่ง พ.ร.บ. องค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2543 รวมทั้งไม่สอดคล้องกับตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติในปัจจุบัน

กรมไปรษณีย์โทรเลขได้ออกประกาศให้เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้ย่านความถี่วิทยุ 2.4-2.5 GHz โดยมีกำลังส่งออกอากาศ**สมมูลแบบไอโซทรอปิก** (EIRP) ไม่เกิน 100 mW ได้รับยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม (Unlicensed) ซึ่งถือเป็นการส่งเสริมการใช้งานเทคโนโลยีใหม่และเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชนทั่วไปเป็นอันมาก

6. WiMAX เป้าหมายที่กว้างไกลของ BWA

WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access) เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายสื่อสารไร้สายความเร็วสูง (Broadband Wireless Access: BWA) ที่ให้บริการครอบคลุมพื้นที่ในระดับเมือง (Metropolitan Area Network: MAN) โดยมีรัศมีทำการ 3-10 กิโลเมตร ทั้งนี้ เทคโนโลยีดังกล่าวมีต้นกำเนิดมาจากบริการ Fixed Broadband Wireless Access หรือโครงข่ายสื่อสารไร้สายความเร็วสูงแบบประจำที่ ซึ่งต่อมาได้พัฒนาไปสู่โครงข่ายสื่อสารไร้สายความเร็วสูงแบบเคลื่อนที่ หรือ Mobile Broadband Wireless Access

ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์กร The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) โดยกลุ่มงาน IEEE 802.16 Working Group ได้พัฒนาและกำหนดมาตรฐานสำหรับ Broadband Wireless Access ซึ่งภายหลังในปี ค.ศ. 2004 ได้ถูกรวมให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน คือ **IEEE 802.16-2004 สำหรับ Fixed Broadband Wireless Access** และในปี ค.ศ. 2005 ได้กำหนดให้มาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 เป็นมาตรฐานเสริมให้กับ **IEEE 802.16-2004 เพื่อรองรับ Mobile Broadband Wireless Access**

IEEEได้กำหนดความถี่วิทยุสำหรับให้บริการ Broadband Wireless Access ไว้อย่างกว้างๆ คือ ย่านความถี่วิทยุที่น้อยกว่า 6 กิกะเฮิรตซ์ และย่านความถี่วิทยุ 10-66 กิกะเฮิรตซ์

WiMAX Forum ซึ่งเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร มีเป้าหมายเพื่อทำการสนับสนุนและพัฒนาข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์เครือข่ายมาตรฐาน IEEE802.16 เพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน มีราคาที่ต่ำเพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตสามารถใช้งานร่วมกันได้ ซึ่ง WiMAX Forum ได้ให้การรับรองอุปกรณ์วิทยุคมนาคมสำหรับเทคโนโลยี WiMAX แล้วในย่านความถี่วิทยุ **3.4-3.6** กิกะเฮิรตซ์ และ **5.725-5.850** กิกะเฮิรตซ์ และกำลังจะดำเนินการรับรองอุปกรณ์ในย่านความถี่วิทยุ **2.5-2.69** กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 สำหรับ Fixed WiMAX ทั้งสิ้น ส่วนมาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 สำหรับ Mobile WiMAX นั้น

ยังไม่มีอุปกรณ์ใดที่ได้รับการรับรองจาก WiMAX Forum ซึ่งในประเทศที่ให้บริการ Mobile WiMAX ได้ติดตั้งอุปกรณ์ที่เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของบริษัทผู้ผลิต (Proprietary Technology) ซึ่งอาจใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ของบริษัทอื่นไม่ได้

เทคโนโลยี WiMAX มีความโดดเด่นที่คุณสมบัติ Non Line of Sight (NLOS) หรือการสื่อสารทิศทางอ้อม กล่าวคือความสามารถในการรับส่งสัญญาณได้ดีแม้ผ่านสิ่งกีดขวาง ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้อยู่ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง โดยมีการประยุกต์ใช้งาน อาทิ

- การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายความเร็วสูง
- บริการเชื่อมต่อข่ายสื่อสารแบบไร้สายสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่
- ใช้เป็น Backhaul สำหรับเครือข่าย Wi-Fi Hotspot
- ติดตั้งในพื้นที่ชนบทเพื่อส่งเสริมการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ต หรือเพื่อให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานในบริเวณที่ข่ายสายโทรศัพท์ยังเข้าไม่ถึง เพื่อเป็นการเสริมกับบริการโทรศัพท์พื้นฐานที่มีอยู่เดิม
- ใช้เป็นเครือข่ายสาธารณะ เช่น ข่ายสื่อสารเพื่อการบรรเทาสาธารณภัย และข่ายสื่อสารตำรวจ เป็นต้น

7. 3G vs WiMAX

ในขณะที่ 3G กำลังมุ่งพัฒนาไปสู่บริการการสื่อสารข้อมูล (Data Application) เพื่อให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงและการสื่อสารพหุสื่อต่างๆ และ WiMAX ได้พยายามพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.6e-2005 เพื่อให้บริการ Mobile Broadband Wireless Access และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน VoIP ให้สูงขึ้น ซึ่งนั่นหมายถึง เป้าหมายร่วมกันในการให้บริการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง ทั้ง Voice Application และ Data Application อย่างไรก็ตาม ยังเป็นข้อถกเถียงกันอย่างกว้างขวางถึงความเป็นคู่แข่งทางธุรกิจของเทคโนโลยีทั้งคู่ว่าใครจะอยู่ ใครจะไป แม้แต่ผู้ประกอบการที่คิดจะลงทุนยังต้องคิดหนักว่าท้ายสุดแล้วเทคโนโลยีใดจะมีชัย หรือสามารถอยู่ร่วมกันได้ทั้งคู่โดยสนับสนุนซึ่งกันและกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีที่มีการพิจารณาเปรียบเทียบ ได้แก่

- ความเร็วในการสื่อสาร (Speed)
- ความสามารถในการรองรับการใช้งานขณะเคลื่อนไหว (Mobility)
- พื้นที่ครอบคลุม (Coverage)
- คุณภาพของสัญญาณ (Quality of Services: QoS)
- ประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุ (Spectral Efficiency Performance)
- ความพร้อมของอุปกรณ์ในตลาด (Commercial Product Availability)

จากข้อมูลในตารางข้างต้นซึ่งเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเทคนิคระหว่าง WiMAX มาตรฐาน IEEE 802.6e-2005 หรือ Mobile WiMAX และ 3G ทั้งมาตรฐาน HSPA และ 1xEV-DO Rev A แล้ว พบว่า

- ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลของ Mobile WiMAX มากกว่า 3G
- ความสามารถในการรองรับการใช้งานขณะเคลื่อนไหวของ Mobile WiMAX น้อยกว่า 3G
- พื้นที่ครอบคลุมของ Mobile WiMAX น้อยกว่า 3G

3G ได้รับการพัฒนาและกำหนดมาตรฐานจาก 3GPP และ 3GPP2 ซึ่งพัฒนาบนมาตรฐานเทคโนโลยี CDMA และ TDMA ที่มีการส่งสัญญาณในลักษณะ LOS (Line-of-Sight) คือ สัญญาณติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับสถานีลูกข่ายจะมาจากทิศทางตรงเท่านั้น โดยปราศจากสิ่งกีดขวางใดๆ

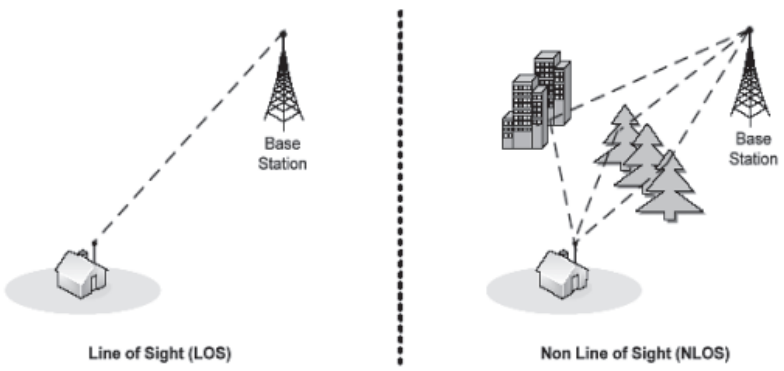
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่าง WiMAX และ 3G

	WiMAX 802.16e-2005	3G	
		HSPA	1xEV-DO Rev A
Peak data Rate - Downlink (Mbps) - Uplink (Mbps)	 14 5.3	 3.6 1.5	 1.3 0.5
Multiple Access	OFDMA	TDMA/CDMA	CDMA
Mobility	Medium	High	High
Coverage	Medium	Large	Large
Standardization	IEEE 802.16	3GPP	3GPP2

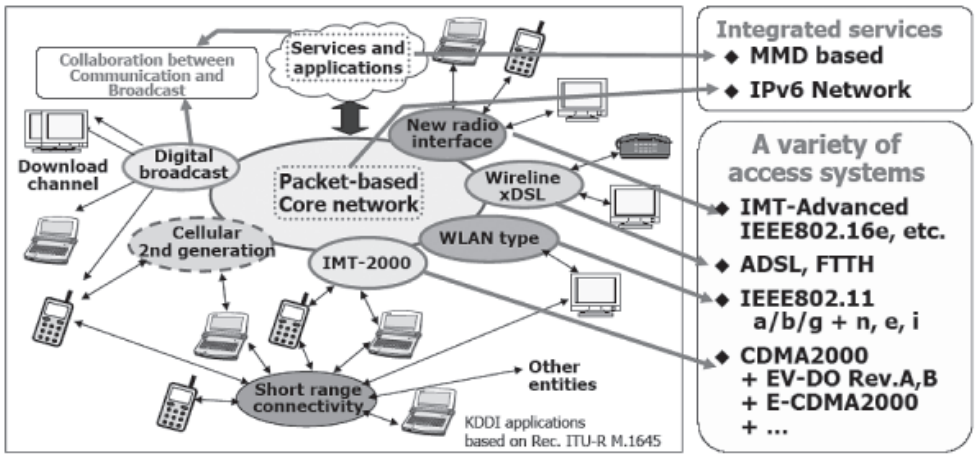
แหล่งข้อมูล: WiMAX Forum

สิ่งกีดขวางจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ อย่างไรก็ตาม เป็นที่คาดการณ์ว่า 3GPP และ 3GPP2 จะเลือกใช้เทคโนโลยี OFDM/OFDMA สำหรับก้าวต่อไป หรือ 4G เพื่อให้การรับส่งสัญญาณเป็นลักษณะ NLOS (Non Line of Sight) คือ การรับส่งสัญญาณได้ดีแม้มีสิ่งกีดขวาง เพื่อให้เป็นสังคมสื่อสารทุกที่ ทุกเวลา ทุกบริการ (Ubiquitous Network Society) อย่างแท้จริง

สำหรับ WiMAX แล้ว มาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 ได้พัฒนาบนเทคโนโลยี OFDM/OFDMA ซึ่งถือเป็นจุดเด่นของโครงข่ายบรอดแบนด์ เนื่องจากคุณภาพของสัญญาณอยู่ในระดับที่ดีแม้อยู่ในที่ที่มีสิ่งกีดขวาง เนื่องจาก OFDM มีคุณสมบัติในการรับสัญญาณจากทั้งสัญญาณสะท้อน (Reflection) สัญญาณที่รอดผ่านสิ่งกีดขวาง (Absorption) และสัญญาณที่อ้อมผ่านสิ่งกีดขวาง (Diffraction)



รูปที่ 8 Line of Sight (LOS) และ Non Line of Sight (NLOS)



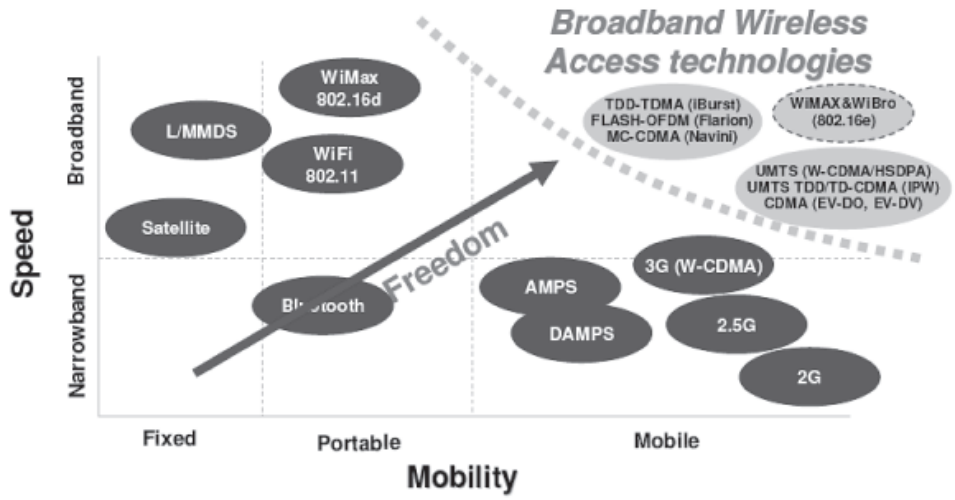
รูปที่ 9 Integrated Services

แหล่งข้อมูล: KDDI

ในอนาคต ทุกเทคโนโลยีต่างก็มุ่งสู่แพลทฟอร์มเดียวกันคือ Internet Protocol (IP) Platform หรือ Packet-based Core Network ในขณะที่จุดยืนของสองเทคโนโลยียังต่างกันและมีช่องว่างระหว่างกันอยู่ ซึ่งสามารถที่จะเป็นเทคโนโลยีที่เสริมซึ่งกันและกันได้ (Complementary) เนื่องจากความเร็วในการรับส่งข้อมูลของ 3G ยังห่างจาก WiMAX อยู่มาก ประกอบกับ WiMAX ยังไม่มีความสามารถด้าน Mobility ได้เทียบเท่ากับ 3G

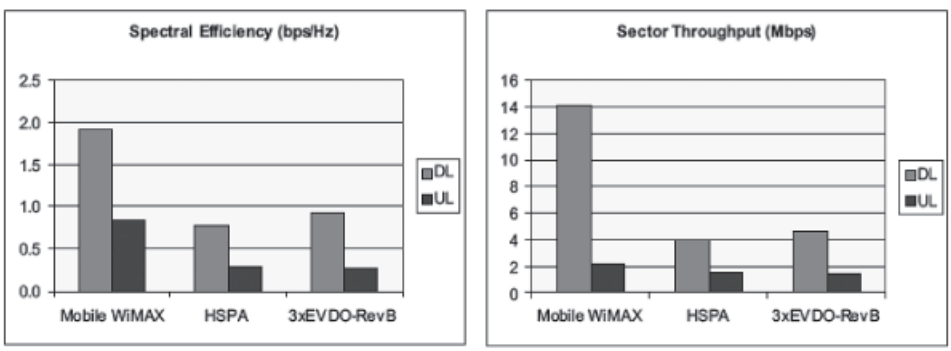
ประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่ (Spectral Efficiency Performance) จากผลการทดลองจำลองระบบโดยใช้ Parameters บนพื้นฐานเดียวกันสำหรับเทคโนโลยี WiMAXและ 3G ซึ่งได้ผลว่าเทคโนโลยี WiMAX มีประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่ได้ดีกว่าเทคโนโลยี 3G ถึงสองเท่าตัว ทั้งการส่งสัญญาณ Downlink และ Uplink นอกจากนี้ ผลจากการทดลองจำลองระบบดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่า Data Throughput ของเทคโนโลยี WiMAX สูงกว่า 3G ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการส่งเสริม Broadband Data Services และหมายถึง Quality of Service ที่ดีกว่าสำหรับบริการ Broadband

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จของเทคโนโลยี คือ ความพร้อมของอุปกรณ์ในท้องตลาด ซึ่งผู้เริ่มก่อนย่อมได้เปรียบ หรือ “ถึงก่อนมีสิทธิ์ก่อน” ในประเด็นนี้ต้องยกนิ้วให้ 3G ซึ่งเข้าชิงตลาดตั้งแต่ปี ค.ศ. 2003 เนื่องจากขณะนั้นเกิดปรากฏการณ์ความนิยมในโทรศัพท์เคลื่อนที่พุ่งกระฉูดทั่วทุกสารทิศ กลุ่มอุตสาหกรรมต่างก็เร่งพัฒนาเทคโนโลยี บางประเทศถึงกับกำหนดให้เป็นนโยบายแห่งชาติ และสามารถ



รูปที่ 10 Broadband Wireless Access Technology

แหล่งข้อมูล: Arthur D Little



รูปที่ 11 Spectral Efficiency and Sector Throughput Comparison of HSPA, EVDO-Rev B, and Mobile WiMAX under the Same User Traffic Conditions

แหล่งข้อมูล: WiMAX Forum

พัฒนาเป็นอุตสาหกรรมส่งออกของประเทศ ซึ่งประสบความสำเร็จมาแล้ว และปัจจุบันในท้องตลาดมีอุปกรณ์ทั้งมาตรฐาน WCDMA และ CDMA-2000 ในรูปแบบของ Chipset ที่ติดตั้งกับ Mobile Terminal และ Chipset ที่ติดตั้งกับ Notebook ในขณะที่ Mobile WiMAX คาดว่าจะมีอุปกรณ์ออกสู่ท้องตลาดในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งขณะนี้ (มิถุนายน พ.ศ. 2549) มีเพียงอุปกรณ์ที่เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของบริษัทผู้ผลิต (Proprietary Technology) ซึ่งอาจใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ของบริษัทอื่นไม่ได้ จึงนับว่า Mobile WiMAX ช้ากว่า 3G ไปก้าวหนึ่ง

ปัจจุบัน (มิถุนายน พ.ศ. 2549) ประมาณ 50 ประเทศได้วางแผนที่จะติดตั้งเทคโนโลยี HSDPA และคาดว่าภายในสิ้นปีนี้จำนวนการติดตั้ง HSDPA จะเพิ่มเป็น 63 ประเทศ (ข้อมูลจาก GSA-the Global Mobile Suppliers Association.)

ตารางที่ 5 WiMAX/3G Technology Availability

System	Enhancemensts	First Commercial Availability
1xEVDO, CDMA2000		
Rev 0	DL Enhancements	2003
Rev A	Add UL Enhancements	2005
Rev B	Add Multi-Carrier	2008
HSPA, WCDMA		
HSDPA	DL Enhancements	2005/2006
HSUPA	Add UL Enhancements	2007/2008
WiMAX		
Mobile WiMAX	Mobility	2006/2007

แหล่งข้อมูล: WiMAX Forum

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคะแนนคุณสมบัติของ 3G และ WiMAX

คุณสมบัติ	3G	WiMAX
1. ความเร็วในการสื่อสาร		☺
2. ความสามารถในการรองรับการใช้งานขณะเคลื่อนไหว	☺	
3. พื้นที่ครอบคลุม	☺	
4. คุณภาพของสัญญาณ		☺
5. ประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุ		☺
6. ความพร้อมของอุปกรณ์ในตลาด	☺	

8. สรุป

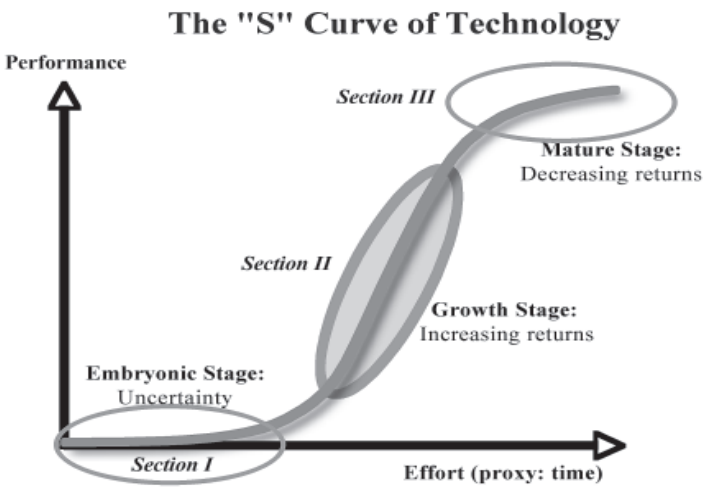
หากนำคุณสมบัติข้างต้นแต่ละข้อมาให้คะแนนบนพื้นฐานของความสำคัญตัวแปรที่เท่ากัน ถ้าเทคโนโลยีใดมีคุณสมบัติที่ดีกว่าถือว่าได้คะแนน สามารถสรุปคะแนนได้ดังตารางที่ 6

ผลคะแนนยากต่อการฟันธงว่าเทคโนโลยีใดดีกว่ากัน ต่างก็มีทั้งจุดอ่อนและจุดแข็งเป็นส่วนผสมที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งบทสรุปควรเป็นการอยู่รอดของทั้งสองเทคโนโลยีที่ใช้จุดเด่นของแต่ละฝ่ายมาเสริมซึ่งกันและกัน หากมองอีกมุมที่ใช้ปัจจัยอื่นมาช่วยในการตัดสิน คือ ปัจจัยทางการแข่งขันในธุรกิจที่ไม่ควรมองข้าม ตัวตัดสินจึงอาจอยู่ที่ความเร็วและความสามารถในการช่วงชิงตลาด ซึ่งหากพิจารณาจาก Technology Life Cycle จะพบว่า

- 3G อยู่ใน**ช่วงปลาย**ของ Growth Stage คือช่วงที่เทคโนโลยีได้รับการปรับปรุงให้มีสมรรถภาพสูงขึ้น ช่วงนี้จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานออกสู่ตลาดแล้วและมีจำนวนการติดตั้งที่สูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- Mobile WiMAX อยู่ใน**ช่วงต้น**ของ Growth Stage คือ ช่วงที่เทคโนโลยี**เริ่ม**ได้รับการปรับปรุงให้มีสมรรถภาพสูงขึ้น เนื่องจากกำลังพัฒนามาตรฐานอุปกรณ์ และยังไม่มีอุปกรณ์ IEEE 802.16e-2005 ที่ได้รับการรับรองจาก WiMAX Forum ถึงแม้มีการติดตั้งเทคโนโลยี Mobile WiMAX บ้างแล้ว แต่เป็นเพียง Proprietary Technology

ดังนั้น หากมองหาทางเลือกเทคโนโลยีอื่นมาเสริมกับ 3G เพื่อเสริมศักยภาพด้านความเร็วในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต คำตอบก็น่าจะอยู่ที่ Wi-Fi ซึ่งถือว่าเป็น Mature Technology และมี Certified Products ออกสู่ท้องตลาดแล้วอย่างมากมาย ถ้ารูปแบบทางธุรกิจนี้ได้รับการเลือกจะเป็นไปได้หรือไม่ว่า

☹ no more room for mobile WiMAX



รูปที่ 12 The “S” curve of Technology

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงาน กทช. “เอกสารรับฟังความคิดเห็นในวงจำกัดแบบ Focus Group เรื่อง การอนุญาตให้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่ IMT-2000 ในประเทศไทย” มิถุนายน พ.ศ. 2549
2. สำนักงาน กทช. “National Table of Frequency Allocations”, December 1999.
3. สำนักงาน กทช. และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ “รายงานการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ในประเทศไทย ฉบับสมบูรณ์” เมษายน พ.ศ. 2549
4. WiMAX Forum, “White Paper-Mobile WiMAX-Part II: A Comparative Analysis”, May 2006.
5. Melissa A. Schilling, “Strategic Management of Technological Innovation”, McGraw Hill, 2005.

แหล่งข้อมูล

1. เว็บไซต์ http://www.umts-forum.org/
2. เว็บไซต์ http://www.itu.int
3. เว็บไซต์ http://www.wimaxforum.org

Wi-MAX เทคโนโลยีแห่งความหวัง ที่จะปฏิวัติการให้บริการบรอดแบนด์ อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกๆ คน

นายกมลภัทร บุญค้ำ
ส่วนงานธุรกิจอินเทอร์เน็ต
บริษัทแอดวานซ์ ดาต้าเน็ตเวอร์ค คอมมิวนิเคชันส์ จำกัด

หลังจากที่ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตได้รับความสะดวกสบายไปอีกขั้นกับ Wi-fi (Wireless Fidelity) หรือการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 กันไปแล้วจน Wi-fi ได้กลายเป็นฟีเจอร์มาตรฐานของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คทุกเครื่องซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตในพื้นที่ให้บริการได้โดยไม่ต้องมองหาอินเทอร์เน็ตคาเฟที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ให้บริการแบบในอดีต แต่สามารถเชื่อมต่อตรงจากเครื่องโน้ตบุ๊คพีซีของตัวเองได้เลย ในพื้นที่ให้บริการ Wi-fi (หรือที่เรียกกันว่า Hot spot) ทั้งในโรงแรม ห้องประชุมสัมมนา อินเทอร์เน็ตคาเฟ ร้านกาแฟ สนามบิน และพื้นที่สาธารณะอื่นๆ

Wi-fi นั้นรองรับการใช้งานที่ความเร็วสูงสุด 54 Mbps ระยะการให้บริการครอบคลุมจากจุดเชื่อมต่อ (Access point) 100 เมตร (ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g) แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีตัวถัดมาที่ให้ความเร็วสูงขึ้นเป็นสิบเท่า (IEEE 802.11n) แต่โดยรูปแบบการใช้งานนั้น Wi-fi ถูกสร้างมาเพื่อการสื่อสารไร้สายสำหรับ

เครื่องลูกข่าย (Client) เป็นหลัก

ในขณะที่ Wi-MAX ซึ่งย่อมาจาก World Interoperability for Microwave Access นั้น เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.16 ที่ให้การสื่อสารไร้สายที่ทรงพลังกว่ามาก ทั้งในแง่ระยะทางและความเร็วในการสื่อสาร จนสามารถทำงานเป็นท่อหลัก (Back haul) สำหรับการเชื่อมต่อการสื่อสารได้

Wi-MAX จะเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิวัติวงการการสื่อสารโดยเฉพาะการให้บริการบนแพลตฟอร์มของบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตทุกประเภทให้แตกต่างไปจากเดิมอย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน

พลังการสื่อสารที่เหนือกว่า

Wi-MAX สามารถทำงานได้ทั้งในพื้นที่ซึ่งไม่มีสิ่งกีดขวาง (LOS หรือ Line of Sight คือ จากต้นทางถึงปลายทางไม่มีสิ่งกีดขวางสามารถลากเส้นสายตาถึงกันได้ระหว่างสองจุด) และการให้บริการในพื้นที่ซึ่งมีสิ่งกีดขวาง เช่น ในอาคาร (NLOS-Non Line of Sight) จึงทำให้ Wi-MAX สามารถให้บริการการสื่อสารแบบไร้สายที่ขนาดแบนด์วิดท์สูงๆ ได้อย่างครอบคลุมในแทบทุกพื้นที่

Wi-MAX สามารถให้บริการในลักษณะ LOS ได้ในระยะ 30-50 กิโลเมตรรอบพื้นที่สถานีฐาน และสามารถให้บริการในลักษณะ NLOS ได้ในระยะ 15 กิโลเมตรรอบพื้นที่สถานีฐาน

Wi-MAX มีสองมาตรฐาน ได้แก่

1. 802.16-2004 Wi-MAX มาตรฐานสำหรับ Wi-Max แบบ Fixed Wireless นั่นคือ การตั้ง CPE เพื่อการใช้งาน Wi-MAX ในการสื่อสารกับพีซีคอมพิวเตอร์ในบ้านหรือที่ทำงาน

2. 802.16e Wi-MAX มาตรฐานสำหรับ Wi-MAX แบบ Mobile Wireless ซึ่งได้แก่ การใช้งานกับอุปกรณ์ Mobile ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ที่เป็น Built in บนเมนบอร์ดรุ่นใหม่ของอินเทลสำหรับโน้ตบุ๊คพีซีและอุปกรณ์ PCMCIA Card เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงนั้น 802.16-2004 จะเริ่มต้นใช้งานได้ง่ายกว่าเพราะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ให้ทรูพุตที่สูงกว่าและสามารถทำงานร่วมกับคลื่นวิทยุในแถบความถี่ที่ยังไม่มีการให้สิทธิการใช้งานเป็นการเฉพาะได้มากกว่า ในทางตรงกันข้าม 802.16e จะให้ความยืดหยุ่นในการบริหารคลื่นความถี่มากกว่า รองรับการใช้งานแบบเคลื่อนที่ (Mobile) ได้ และรองรับการใช้งานกับฟอร์มแฟกเตอร์บนเครื่องลูกข่ายที่หลากหลายกว่า เนื่องจากมีบริษัทที่เข้ามาผลิตผลิตภัณฑ์ในตลาดดังกล่าวมากกว่า เพราะต่างเล็งเห็นว่า Wi-MAX จะตอบสนองสังคมแห่งการเคลื่อนที่ (Mobility) ได้ดีกว่าเดิมนั่นเอง

นอกจากนี้ประเทศเกาหลียังได้คิดมาตรฐานของตัวเองขึ้นมาภายใต้ชื่อว่า Wi-Bro หรือ Mobile Wi-MAX ซึ่งรองรับสำหรับการใช้งานแบบ Mobile Wireless Broadbrand โดยในการทดลองวางเครือข่ายในเมืองของประเทศเกาหลีนั้น ทำให้ประชาชนของเกาหลีสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้แม้แต่ในรถโดยสาร ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานวิดีโอสตรีมมิง การเซิร์ฟเว็บหรือแม้แต่การดาวน์โหลดไฟล์ ซึ่งหมายถึงต่อไปบริษัทจะสามารถสร้างสำนักงานเคลื่อนที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในขณะที่ต้องเดินทางออกไปประชุมหรือติดต่อลูกค้าภายนอกได้ด้วย

ความสามารถในการทำงาน

1. เราสามารถใช้ Wi-MAX ในการทำงานได้ทั้งการเป็น Back haul สำหรับทั้งการใช้งานเครือข่าย PSTN และการใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตโดยรองรับบริการได้ทุกประเภท ทั้งการใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วไป บริการเสียงบนเครือข่ายไอพี (VoIP) และบริการวิดีโอสตรีมมิง ทั้งแบบการแพร่ภาพ (Broadcast/Multicast) และการให้บริการต่อผู้ใช้หนึ่งราย (Unicast)

(คาดว่าในอนาคตอันใกล้ Back haul สำหรับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงต้องรองรับการสื่อสารได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 30 Mbps)

2. ระยะการส่งสัญญาณโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight) สูงสุดถึง 50 กิโลเมตร

3. สามารถให้แบนด์วิดท์ถึงผู้ใช้ปลายทาง (End user) ได้สูงสุดถึง 72 Mbps

Capacity ในการรองรับบริการต่อหนึ่งไซต์ของ Wi-MAX (กรณีให้บริการ End user)

1. 3 Video Stream

2. 30 การเชื่อมต่อบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตที่ความเร็ว 256 Kbps

3. 10 การสื่อสารผ่าน VoIP

Wi-MAX ทางเลือกใหม่สำหรับการขยายการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต

ในอดีตข้อจำกัดของการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตหลักๆ มีดังต่อไปนี้

1. ต้นทุนในการเริ่มต้นให้บริการ (Deployment cost) ทั้งในแง่ของโครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์ปลายทาง (CPE) ต้องใช้เงินลงทุนในการวางเครือข่ายการสื่อสารค่อนข้างมาก ทำให้ไม่สามารถเริ่มต้นให้บริการได้เพราะไม่คุ้มค่าการลงทุน บางพื้นที่ที่ห่างไกลที่ไม่มีเสาไฟฟ้าหรือถนนแย่มากนั้นแทบจะไม่ต้องคิดถึงบริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตเลยด้วยซ้ำเพราะบริการการสื่อสารพื้นฐาน เช่น โทรศัพท์เองก็อาจจะไม่มีให้บริการเลยก็ได้

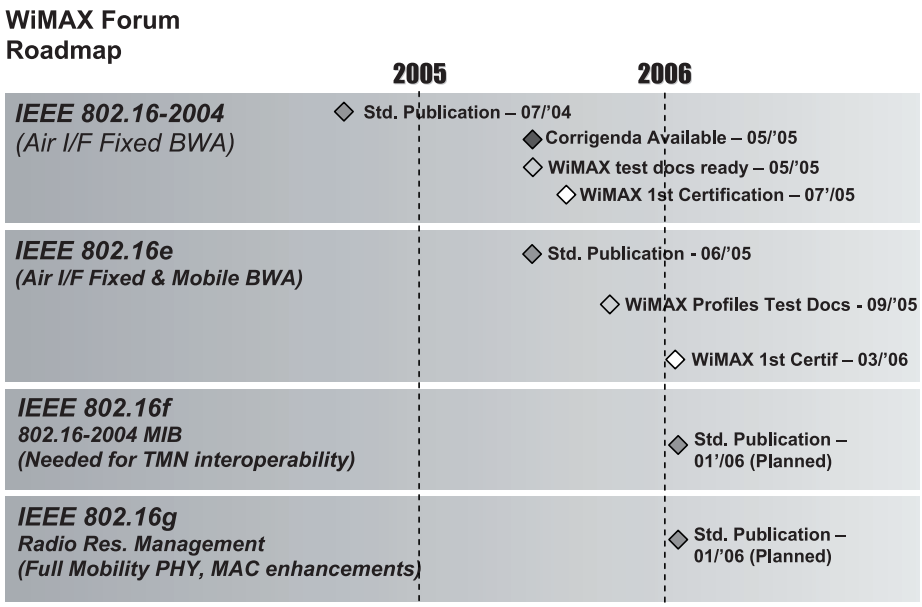
2. ข้อจำกัดเรื่องความครอบคลุมของพื้นที่ให้บริการตัวอย่าง เช่น สำหรับการให้บริการ ADSL นั้นจะไม่สามารถให้บริการได้เกินระยะ 5-6 กิโลเมตรจากจุดติดตั้งอุปกรณ์หลักของโหนดให้บริการ ADSL หรือ DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) ระยะการให้บริการจากศูนย์กลางที่แคบเกินไปนี้ทำให้การกระจายการบริการให้ทั่วถึงล่าช้า และใช้ต้นทุนสูง

3. มีความยุ่งยากในการวางเครือข่ายเพราะต้องลากสายสื่อสัญญาณไปยังแต่ละพื้นที่ให้บริการรวมทั้งการวางอุปกรณ์ให้ครอบคลุมอย่างทั่วถึงให้มากที่สุดด้วย

ในทางตรงกันข้าม Wi-MAX สามารถเริ่มต้นให้บริการได้ง่ายกว่าด้วยความสามารถในการส่งสัญญาณที่กินระยะครอบคลุมไกลถึง 50 กิโลเมตร ทำให้การวางเครือข่ายทำได้ง่ายกว่าและใช้ต้นทุนต่ำกว่า นอกจากนี้ในหนึ่งสถานีฐาน (Base Station) ก็ยังรองรับการให้บริการลูกค้าจำนวนมากได้จึงสามารถใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตได้ไม่ยาก

ตารางเปรียบเทียบการใช้งาน Wi-fi และ Wi-MAX

	Wi-fi	Wi-MAX
ระยะครอบคลุม	100 เมตร	50 กิโลเมตร
ความเร็วของการส่งสัญญาณ	54 Mbps	72 Mbps
การใช้งาน	การเชื่อมต่อไร้สายสำหรับเครื่องลูกข่ายในพื้นที่ให้บริการที่ไม่กว้างมากนัก	การเชื่อมต่อไร้สายสำหรับเครื่องลูกข่ายในพื้นที่กว้างยานพาหนะที่เคลื่อนที่และใช้เป็น Back haul สำหรับการสื่อสารบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต



รูปที่ 1 แผนการพัฒนาเทคโนโลยี Wi-MAX (IEEE 802.16) ของ Wi-MAX Forum

คำอธิบาย

นอกเหนือกจากมาตรฐาน 802.16-2004 สำหรับ Fixed Wi-MAX และมาตรฐาน 802.16e สำหรับ Mobile Wi-MAX แล้วยังมีมาตรฐาน 802.16f ที่มี MIB (Management Information Base) สำหรับใช้ในการบริหารเครือข่ายซึ่งจำเป็นสำหรับการทำงานร่วมกันของเครือข่ายเพื่อการบริหารการสื่อสารหรือ TMN (Telecommunication Management Network) และ 802.16g ที่พัฒนาขึ้นรองรับการบริการอุปกรณ์และระบบการส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุช่วยให้เกิดความสะดวกในการบริหาร Physical Layer และ MAC address มากยิ่งขึ้น

ทั้ง 802.16f และ 802.16g นั้นมีกำหนดแผนของทาง Wi-MAX forum เพื่อแจ้งรายละเอียดของมาตรฐานนี้ออกสู่ตลาดในช่วงต้นปี 2006 นี้

Mobile Wi-MAX การสื่อสารความเร็วสูงสำหรับการใช้งานนอกสถานที่ที่ทุกคนจับตามอง

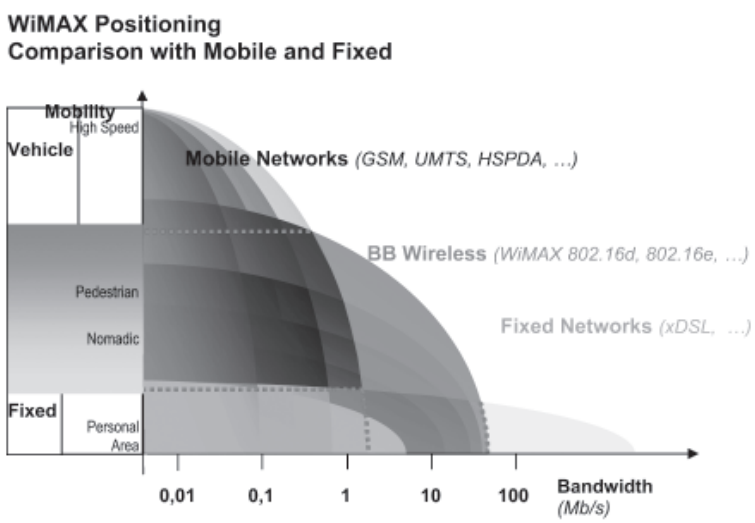
ปัจจุบันทั้งผู้สังเกตการณ์ นักเทคโนโลยีและแทบทุกบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ต่างคาดกันว่า Mobile Wi-MAX หรือ IEE 802.16e จะกลายเป็นเทคโนโลยีที่กลายเป็นแชมเปี้ยนในตลาดการให้บริการการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงในทุกพื้นที่ให้บริการ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าศักยภาพของ Mobile Wi-MAX (IEEEE 802.16) จะถูกวิเคราะห์ว่ามีพลังเหนือกว่าโทรศัพท์ เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (3G) และมีโอกาสที่จะได้รับความนิยมในตลาดมากเพียงใดก็ตาม หากแต่มีความเป็นไปได้สูงที่ว่า Mobile Wi-MAX จะพร้อมออกสู่ตลาดอย่างแท้จริงนั้นอาจจะต้องรอถึงปี 2008 และเรายังไม่แน่ใจในเรื่องความพร้อมของผู้ใช้และอุปกรณ์ลูกข่ายด้วย

ในทางตรงกันข้ามหากดูถึงสถานการณ์ของการพัฒนาที่ดำเนินการไปได้อย่างรวดเร็วเช่นที่เป็นอยู่ในปัจจุบันนี้ ก็มีความเป็นไปได้ว่าในปี 2007 Mobile Wi-MAX จะพร้อมทั้งในด้านเทคโนโลยีและทางการตลาด ดังที่เราเห็นได้ว่าทุกฝ่ายต่างรอเวลาที่จะมีการเปิดเสรีใบอนุญาตสำหรับการให้บริการ IEEE 802.16-2004 และ Mobile Wi-MAX ทั้งสิ้น

ความล่าช้าอย่างเดียวก็คือเรื่องของการออกใบรับรองสำหรับมาตรฐาน Mobile Wi-MAX แต่ในแง่ของการทดลองใช้งานนั้นทั้ง Wi-Bro ของเกาหลีใต้ Mobile Wi-MAX ของ Alcatel ที่ยังไม่ได้รับใบรับรองอย่างเป็นทางการล้วนเริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ไปแล้ว นั่นอาจจะเป็นเพราะด้วยความรวดเร็วในโลกแห่งการแข่งขันด้วยความเร็วสูงเช่นปัจจุบัน ไม่มีใครยอมให้คนอื่นนำหน้าไปแม้แต่ก้าวเดียวและนั่นคือเหตุผลที่มีการทดลองเชิงพาณิชย์ทั้งที่การให้ใบรับรองมาตรฐานของ Mobile Wi-MAX ยังไม่เสร็จสิ้นก็ตามที

ความเร็วในการสื่อสารของ Mobile Wi-MAX นั้นเหนือกว่าที่เราจะคาดเดาได้ว่าจะมีแอพพลิเคชันชนิดไหนมารองรับได้ เพราะด้วยความสามารถในการส่งข้อมูลด้านดาวน์โหลด 5 Mbps ในพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 กว่ากิโลเมตรต่อชั่วโมงนั้น เราคงยังคิดไม่ออกว่าแอพพลิเคชันประเภทไหนที่จะนำมาใช้งานตอบสนองศักยภาพดังกล่าวได้



รูปที่ 2 เปรียบเทียบระหว่าง Wi-MAX การให้บริการผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตแบบ Fixed

คำอธิบาย

จะเห็นได้ว่า Wi-MAX จะเป็นการให้บริการที่รองรับการเคลื่อนที่ได้รองจากเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ และมีความเร็วในการสื่อสารได้รองจากการสื่อสารแบบ Fixed Network อย่าง xDSL หากแต่คาดกันว่าในปี 2008 เป็นต้นไป เราจะสามารถใช้งาน Wi-MAX บนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ได้ และ Wi-MAX จะมีความสามารถในการใช้งานในแบบ Mobile ได้อย่างแท้จริงรวมทั้งความเร็วในการสื่อสารที่สูงขึ้นด้วย (คาดว่าจะสามารถสื่อสารบนพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ที่ความเร็วถึง 5 Mbps)

สองแนวทางการทำตลาดที่แตกต่าง

ในขณะที่แนวโน้มในการทำตลาดด้านหนึ่งของ Wi-MAX มุ่งไปที่การทำตลาดในเมืองเพราะ Mobile Wi-MAX จะให้ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายแบบที่ไม่เคยมีมาก่อน แต่ในอีกด้านหนึ่ง Wi-MAX จะกลายเป็นช่องทางหลักในการกระจายการให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตไปยังพื้นที่ที่ไม่เคยมีบริการมาก่อน

ทั้งสองแนวโน้มล้วนเป็นเรื่องชวนปวดหัวของผู้บริหารบริษัทสื่อสารว่าจะเลือกทุ่มเทไปในแนวทางใด เพราะสำหรับการให้บริการในเมืองเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับคนที่ต้องการบริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตที่รองรับการใช้งานนอกสถานที่และบนยานพาหนะในเมืองนั้นก็ต้องแข่งขันกับผู้ให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตแบบ Fixed Line ทั้งหลายด้วย ในทางตรงกันข้ามหากมุ่งไปยังพื้นที่ซึ่งยังไม่มีการให้บริการก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะต้องเร่งสร้างดีมานด์ให้เกิดขึ้นมากพอ

ไม่ว่าจะเป็นแนวทางไหนก็ตามเชื่อได้ว่า Wi-MAX จะเป็นเทคโนโลยีที่ผู้ให้บริการทุกรายจับตามองอย่างแน่นอน

บรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตและการปฏิวัติวงการสื่อ

การปฏิวัติวงการสื่อที่จะเกิดขึ้นหลังจากบริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตและสื่อสัญญาณความเร็วสูงมีราคาถูกลงและมีการให้บริการครอบคลุมไปยังครัวเรือน หน่วยธุรกิจและองค์กรทั่วไปอย่างทั่วถึงเป็นสิ่งที่ได้รับการคาดการณ์มานานแล้ว อย่างไรก็ตามแม้จะมีบริการของบริษัทหลายแห่งที่ให้บริการในเรื่องนี้ เช่น บริการ Video on Demand ของ Buddy Broadband หรือการที่สถานีวิทยุและโทรทัศน์ยอมรับการส่งรายการผ่านทางเว็บไซต์ด้วยเทคโนโลยีสตรีมมิงกันอย่างทั่วถึงแล้วก็ตาม แต่อนาคตของการปฏิวัติสื่อยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไปอีกหลายปี

แต่แนวโน้มของสื่อในยุคปัจจุบันนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจากยุคของการแพร่ภาพและเสียง (Broadcasting) ผ่านทางคลื่นวิทยุไปยังผู้รับชมจำนวนมาก (Mass communication) ไปเป็นการส่งเนื้อหา (Content) ผ่านเครือข่ายสื่อสัญญาณ (เช่น อินเทอร์เน็ต) ไปยังผู้รับมากขึ้น โดยในการส่งคอนเท้นท์ไปตามสื่อสัญญาณนี้ก็จะมีทั้งในลักษณะของการส่งเนื้อหาไปยังผู้รับจำนวนมาก (Multicast) หรือการส่งเนื้อหาไปยังผู้รับตามการร้องขอแบบเฉพาะบุคคล (Unicast) ซึ่งในที่สุดแล้วการส่งคอนเท้นท์หรือเนื้อหาออกไปสู่ผู้ชมในลักษณะนี้จะกลายเป็นรูปแบบของสื่อและการให้บริการเนื้อหาแห่งทศวรรษนี้อย่างไม่มีทางหลีกเลี่ยงได้ เพราะเมื่อเทคโนโลยีสามารถตอบสนองต่อความต้องการของบุคคลอย่างเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นแล้ว พฤติกรรมของผู้บริโภคก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นคือผู้บริโภคจะเรียกร้องให้ผู้ให้บริการตอบสนองความต้องการของตัวเองอย่างเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นเช่นกัน

นี่คือแนวโน้มที่ไม่มีทางหลีกเลี่ยง สิ่งที่เหลือก็คือขึ้นอยู่กับเวลาเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม หากเมื่อมาดูความครอบคลุมของเครือข่ายบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตแล้ว ดูเหมือนการปฏิวัติวงการสื่อคงจะต้องใช้เวลายาวนานมากขึ้นไปอีกเพราะขอบเขตความครอบคลุมของเครือข่ายบริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตนั้นยังจำกัดอยู่มาก

แต่ด้วยเทคโนโลยี Wi-MAX เราจะได้เห็นการเปลี่ยนแปลงนี้เร็วยิ่งขึ้นเพราะ Wi-MAX จะช่วยให้การดำเนินการวางเครือข่ายบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตให้ครอบคลุมสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น และไม่เพียงเท่านั้น Wi-MAX และ Wi-fi จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการให้บริการบรอดแบนด์มีเดียและมีเดียเซ็นเตอร์ที่จะกลายเป็นระบบการรับชมเนื้อหาทุกประเภทสำหรับทุกๆ คนในอนาคตอันใกล้นี้

บรอดแบนด์มีเดียและมีเดียเซ็นเตอร์

การเปลี่ยนระบบโฮมเอ็นเตอร์เทนเมนต์จากชุดโฮมเธียเตอร์และเครื่องเล่นสเตอริโอคอมโปมาสู่ยุคของ Digital Entertainment Hub ได้มาถึงแล้ว แม้แต่ไมโครซอฟท์เองก็ออก Windows XP Media Center ออกมารองรับในตลาดมัลติมีเดียและดิจิตอลเอนเตอร์เทนเมนต์ ส่วนค่ายผู้ผลิตสินค้า AV นั้นก็ปรับตัวส่งอุปกรณ์ Streaming สำหรับการใช้งานในบ้านออกมากันแล้ว

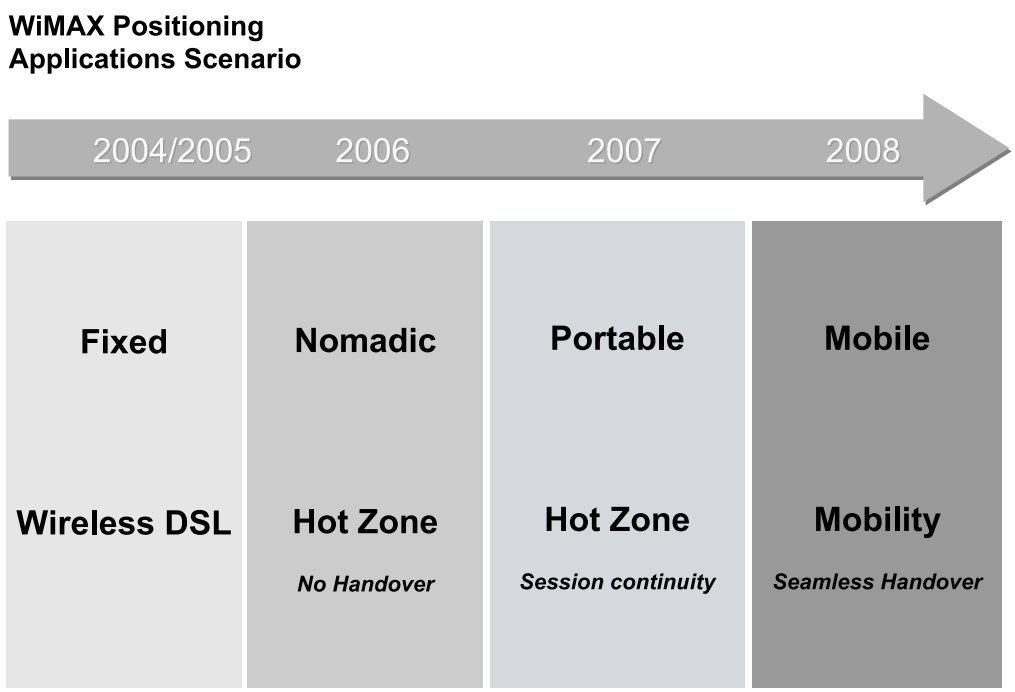
หัวใจหลักของระบบความบันเทิงในบ้านยุคต่อไป จึงต้องประกอบด้วย

1. รองรับดิจิตอลคอนเทนท์

2. มีการใช้งานแบบไร้สายในลักษณะของ Wireless Streaming Server โดยผู้ใช้สามารถเรียกคอนเท้นท์จากตัว Hub ที่เป็นศูนย์กลางความบันเทิงในบ้านจากอุปกรณ์ลูกข่ายได้หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่นดิจิตอลมีเดีย คอมพิวเตอร์พกพา ตลอดไปถึงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเองก็ไม่ต้องทำการเก็บไฟล์ดิจิตอลคอนเท้นท์ไว้กับเครื่องตัวเองอีกต่อไป

นอกจากนี้ความสามารถอื่นๆ ที่สามารถใช้งานบนมีเดียเซ็นเตอร์ ก็ได้แก่

- ระบบบันทึกวิดีโอแบบดิจิตอล (Digital Video Recording หรือ DVR) ซึ่งเป็นการบันทึกลงฮาร์ดดิสก์และยังสามารถเลือกข้ามช่วงโฆษณาในตอนเล่นได้ด้วย
- Video-on-demand (VOD)
- Pay-per-view (PPV)



รูปที่ 3 ระยะเวลาของการพัฒนา Wi-MAX เพื่อรองรับการใช้งานแบบเคลื่อนที่

คำอธิบาย

ขอบเขตของความสามารถในการรองรับการใช้งานแบบเคลื่อนที่สำหรับ Wi-MAX นั้นมีหลายระดับด้วยกัน

1. สำหรับการใช้งาน Fixed/Wireless DSL จะไม่สามารถใช้งานนอกสถานที่ติดตั้งได้ Wi-MAX จะถูกใช้เป็นลิงค์เชื่อมต่อ (Bachaul) ของ Wi-fi และการเชื่อมต่อไร้สายในสำนักงาน/บ้านเท่านั้น

2. Wi-MAX จะสามารถใช้งานเพื่อการสร้าง Hot Zone ในการใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตไร้สายโดยตรงได้แต่ในกรณีนี้จะเป็นการใช้งานแบบ Nomadic ซึ่งหมายถึง ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปยังจุดอื่นได้เพราะไม่มีการส่งผ่านสัญญาณ (Handover)

3. Wi-MAX สามารถใช้งานแบบเคลื่อนที่ได้ในระดับพื้นฐาน นั่นคือมีการส่งผ่านสัญญาณได้ในระดับหนึ่งสามารถย้ายการใช้งานในระดับพื้นฐานได้

4. Full Mobility ในขั้นนี้ Wi-MAX จะสามารถใช้งานในพาหนะที่เคลื่อนที่ได้เพราะมีความสามารถในการ Handover สัญญาณแบบ Seamless Connection ได้

VoIP over Wi-MAX

บริษัทผู้ให้บริการการสื่อสารและองค์กรระดับเอนเตอร์ไพรซ์ล้วนมุ่งมาที่โซลูชันการสื่อสาร VoIP over Wi-MAX กันทั้งนั้น เพราะยังมีพื้นที่อีกมากที่ยังไม่มีโครงข่ายไฟเบอร์รองรับ และการขยายโครงข่ายการสื่อสารเข้าไปยังพื้นที่ดังกล่าวให้รวดเร็วและง่ายกว่าเดิมนั้นจึงมี VoIP over Wi-MAX เป็นทางเลือกอันดับหนึ่ง

ประเด็นสำคัญกลายเป็นว่าความล่าช้ากลับตกอยู่ที่การให้มาตรฐานสำหรับ VoIP over Wi-MAX ไม่ใช่ที่การเริ่มต้นใช้งาน (Implement) สิ่งที่น่ากังวลก็คือหากมาตรฐานที่แท้จริงยังไม่ออกมา เราอาจจะได้อุปกรณ์ที่ใช้งานได้ในประเทศหนึ่งแต่เกิดปัญหาการรบกวนของคลื่นในอีกประเทศหนึ่งก็ได้ VoIP over Wi-MAX จะรองรับการใช้คลื่นในช่วงความถี่ 2.5 GHz และ 3.5 GHz ซึ่งในแต่ละประเทศผู้ได้สิทธิในการใช้ช่วงความถี่ดังกล่าวก็แตกต่างกันไปหรือหากเป็นในอเมริกานั้นความถี่ย่าน 3.5 GHz ก็ไม่มีการออกใบอนุญาตคุ้มครอง ซึ่งหมายถึงหากมีการสื่อสารที่ความถี่ดังกล่าวก็จะเกิดการรบกวนกับอุปกรณ์ชนิดอื่นได้

Hybrid Wi-MAX กับการให้บริการ Triple Play

Triple Play ถือเป็นบริการของยุคปัจจุบันไปแล้วไม่ใช่เรื่องของอนาคตไกลตัวอีกต่อไป Triple Play คือการบริการบน Carrier เดียวแต่ให้บริการได้ถึง 3 อย่าง ซึ่งได้แก่

1. บริการเสียง นั่นก็คือ การสื่อสารในรูปแบบโทรศัพท์

2. บริการวิดีโอ ซึ่งอาจจะเป็น Video on Demand หรือบริการโทรทัศน์ประเภท Direct to Home (DTH)

3. การสื่อสารข้อมูล ได้แก่ การใช้งานอินเทอร์เน็ต (ที่จริงแล้วทุกกรณีที่เป็นการสื่อสารข้อมูลกลับมาจากผู้รับก็นับว่าเข้าข่ายนี้เช่นกัน)

Hybrid Wi-MAX DVB (Digital Video Broadcasting) ของบริษัท WiNetworks เป็นตัวอย่างหนึ่งของการใช้งาน Wi-MAX ผสมกับระบบโทรทัศน์ DTH ให้กลายเป็นระบบ Triple Play อย่างแท้จริงได้โดยการใช้ Wi-MAX ในการส่งข้อมูลกลับมายังสถานีส่งได้โดยไม่ต้องกังวลปัญหาเรื่องการวางเครือข่ายสายสัญญาณใดๆ เลย ทั้งนี้โซลูชันของ WiNetworks นั้นเป็นการพัฒนาขึ้นบนเพื่อให้สอดคล้องกับโครงสร้างพื้นฐานเดิมบนระบบ DTH ซึ่งไม่ใช่เพียงระบบที่ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมเท่านั้นแต่รองรับการใช้งานกับโครงสร้างพื้นฐานในส่วน Last mile ของ DTH ได้ทุกรูปแบบที่สำคัญเมื่อเทียบกับการวางเครือข่ายสื่อสัญญาณแบบอื่นๆ แล้ว Wi-MAX ถือว่ามีต้นทุนต่ำและดำเนินการได้รวดเร็วกว่าสื่อแบบอื่นมาก

นอกจากนี้ที่จริงแล้ว Wi-MAX สามารถถูกใช้เป็นองค์ประกอบสำหรับการให้บริการ Triple Play ในฐานะของโครงข่ายโดยตรงก็ได้เช่นกัน เพราะลำพังแล้วตัว Wi-MAX เองก็สามารถให้บริการ Video Streaming บนตัวของ Wi-MAX เองได้เช่นกัน

แนวโน้มที่ Wi-MAX จะถูกนำมาให้บริการ Triple Play มีมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปัจจุบันตลาดการให้บริการแบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียวโดดๆ นั้นเริ่มที่จะเต็มแล้ว นอกจากนี้การให้บริการในลักษณะของ Triple Play ยังสามารถรักษาฐานลูกค้าเอาไว้ได้ดีกว่า (ลด Churn ลง) และยังมีโอกาสที่ Wi-MAX จะเพิ่มบริการจาก Triple Play สู่ Quadruple ด้วยการเพิ่มบริการการสื่อสารแบบโมไบล์เข้าไปบนโครงสร้างพื้นฐานเดียวกันได้อีกด้วย

Free Triple Play โมเดลที่เหนือจินตนาการ

ในขณะที่บริการ Triple Play ยังคงเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทยเรา แต่ปัจจุบันก็มีคนคิดโมเดลการให้บริการที่ล้ำไปอีกระดับ ถ้าเราจะสามารถให้

บริการ Triple Play ฟรีได้จะเป็นเช่นไรและมีโอกาสที่จะเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหน

จากการเปลี่ยนแปลงไปของพฤติกรรมการรับชมรายการโทรทัศน์หรือกล่าวในอีกแง่หนึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงไปของเทคโนโลยีการกระจายสื่อดิจิตอลนั้น ทำให้มีผู้ที่คิดรูปแบบการให้บริการ Triple Play ที่เป็นบริการฟรีขึ้นมาแทน เพราะผู้บริโภคปัจจุบันเลิกรับสื่อโทรทัศน์ทั่วไปและหันมาให้ความสำคัญกับการรับโทรทัศน์แบบเคเบิ้ลทีวีมากขึ้น เช่นเดียวกับการใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเลือกดูข้อมูลและคอนเท้นท์ที่ตรงตามความต้องการของตนอย่างเฉพาะเจาะจงและในเวลาที่ต้องการอย่างเฉพาะเจาะจงเท่านั้น ดังนั้นการให้บริการ Free Triple Play จึงเป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือผู้ให้บริการเจาะจงเลือกรายการที่ตรงกับความต้องการกลุ่มเป้าหมายจัดใส่ลงใน Set top Box และหาโฆษณาที่เกี่ยวข้องกับรายการเหล่านั้นใส่ลงไปด้วย

โมเดลที่ว่านี้ก็ไม่ใช่ว่าจะเป็นไปไม่ได้เพราะแม้แต่ธุรกิจให้เช่า DVD โดยให้สั่งได้ผ่านหน้าเว็บออนไลน์และจัดส่งถึงบ้านก็มีมาแล้ว เช่น บริการของ Netflix ที่เสียค่าบริการรายเดือนเริ่มต้นเพียง 9.99 ดอลล่าร์ต่อเดือนเท่านั้นเพื่อรับแผ่น DVD 1 แผ่นต่อเดือนและหากต้องการแผ่นใหม่เมื่อใดก็แค่ส่งแผ่นกลับไปในซองที่เตรียมมาให้และหนังเรื่องใหม่ที่อยู่ในลิสต์ก็จะถูกส่งมาให้โดยอัตโนมัติ

ดังนั้น เราจึงมีโอกาสที่จะได้เห็นบริการ Free Triple Play ได้ไม่มากก็น้อย ◎

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- www.wimaxforum.org
- www.wibro-worldforum.org
- www.dailywireless.org
- www.telephonyonline.com
- www.wimax-industry.com
- www.whatis.com
- SkyMAX Technical Solution/Siemens
- Siemens Presentation – Wi-MAX Introduction

การเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายด้วยอีเทอร์เน็ต (Ethernet in Access Networks)

นายสุรศักดิ์ ภูตยานันท์
ผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาธุรกิจและการตลาด
บริษัท ทีมา อิเล็กโทรนิกส์ จำกัด

การเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายด้วยอีเทอร์เน็ต และพื้นฐานของ EFM

มาตรฐานอีเทอร์เน็ตได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงต้นทศวรรษที่ 80 สำหรับการใช้งานของระบบ LAN แบบความเร็วร่วมที่ 10 Mbit/s และนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ก็ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมขึ้นอีกมาก จนกระทั่งปัจจุบันได้มีการนำอีเทอร์เน็ต มาใช้กับการเชื่อมต่อเข้าเครือข่าย (Access Networks) ที่ความเร็วสูงถึง 1 Gbit/s เนื่องจากการใช้งานอีเทอร์เน็ตมีกันอย่างแพร่หลายทั่วไป และการเชื่อมต่อโครงข่ายข้อมูลต่างๆ มักจะเริ่มต้นและจบลงที่ Ethernet Port บนคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่ง ดังนั้น การนำอีเทอร์เน็ตมาใช้ในฐานะมาตรฐานของ Access Network จึงมีความเหมาะสมรวมถึงราคาที่ต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในเทคโนโลยีของ Access Network แบบอื่นๆ

โดยปกติแล้วการนำอีเทอร์เน็ตมาใช้ใน Access Network มักจะเกี่ยวเนื่องกับความต้องการช่องสัญญาณ

ความเร็วสูง (High Bandwidth) สำหรับบริการต่างๆ แม้กระทั่งในปัจจุบันแอพพลิเคชั่นสำหรับสัญญาณวิดีโอต่างๆ ก็ต้องการ Bandwidth สูงสุดเท่าที่เทคโนโลยี XDSL จะสามารถให้ได้ จนทำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายจำเป็นต้องติดตั้งระบบ Bandwidth On Demand เพิ่มเติมลงไปบนโครงข่าย DSL เพื่อรองรับกับความต้องการ Bandwidth ของ Video On Demand (VOD) ดังกล่าว

คำถามที่มักจะเกิดขึ้นในช่วงทศวรรษที่แล้ว คือ ทำอย่างไรเราจึงจะสามารถปรับปรุงมาตรฐานอีเทอร์เน็ตจากความพยายามในการส่งข้อมูลตามความสามารถ (Best Effort) ไปสู่โปรโตคอลที่เป็น “Carrier Class” เพื่อให้ถึงคุณภาพความเชื่อมั่นการใช้งานในระดับ 99.999% จากการที่มาตรฐานอีเทอร์เน็ตไม่มีส่วนองค์ประกอบในการจัดการปริมาณทราฟฟิค (Traffic Management) การจัดการระบบสื่อสารสัญญาณ (Signaling and Restoration Capacities) รวมถึงการขยายเพิ่มเติมโครงข่าย (Hierarchical Scalability) จึงทำให้การใช้งานมาตรฐานอีเทอร์เน็ต ถูกจำกัดการใช้งานอยู่เพียงแค่กลุ่มลูกค้าในระดับองค์กรหรือบริษัทเท่านั้น

ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานอีเทอร์เน็ต โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารและผู้ให้บริการโครงข่าย จึงเห็นโอกาสและพยายามที่จะนำมาตรฐานอีเทอร์เน็ตซึ่งมีความง่ายในการใช้งานและมีต้นทุนต่ำมาใช้ในระบบการเชื่อมต่อเข้าเครือข่าย (First Mile Access Network) เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการลดต้นทุนการดำเนินการ เนื่องจากการลงทุนเบื้องต้นและการขยายขนาดของโครงข่ายที่มีต้นทุนต่ำ และมีค่าใช้จ่ายในการจัดการและบำรุงรักษาที่ต่ำเช่นกัน

ดังนั้น ความท้าทายของคณะกรรมการ IEEE ในการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile (EFM) จึงอยู่ที่การหาวิธีที่จะทำให้มาตรฐานอีเทอร์เน็ตเดิมในลักษณะ “จัดส่งข้อมูลตามความสามารถ (Best Effort)” ปรับเปลี่ยนไปสู่มาตรฐานเทคโนโลยีที่มีความเชื่อถือ (Reliability) สูง และมีวิธีการในการจัดสรรแบนด์วิดท์ตามความต้องการและควบคุมวงจรที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ

มาตรฐานอีเทอร์เน็ตใหม่สำหรับการเชื่อมต่อเข้าเครือข่าย

มาตรฐาน IEEE 802.3ah ได้รับการพัฒนาสำเร็จในเดือนมิถุนายน 2547 โดยในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่ามาตรฐาน 802.3ah จะสามารถเข้ามากำหนดบนมาตรฐานอีเทอร์เน็ตปัจจุบันได้อย่างไร โดยมาตรฐานใหม่นี้จะครอบคลุมตั้งแต่ระดับ Physical Layer ที่เป็นคู่สายแบบ Twisted Pair ไปจนถึงใยแก้วนำแสง (Fiber) ซึ่งจะครอบคลุม Bandwidth ตั้งแต่ 2 Mbit/s ไปจนถึง 1 Gbit/s ในระยะทางตั้งแต่ 100 เมตร ไปจนถึง 20 กิโลเมตร

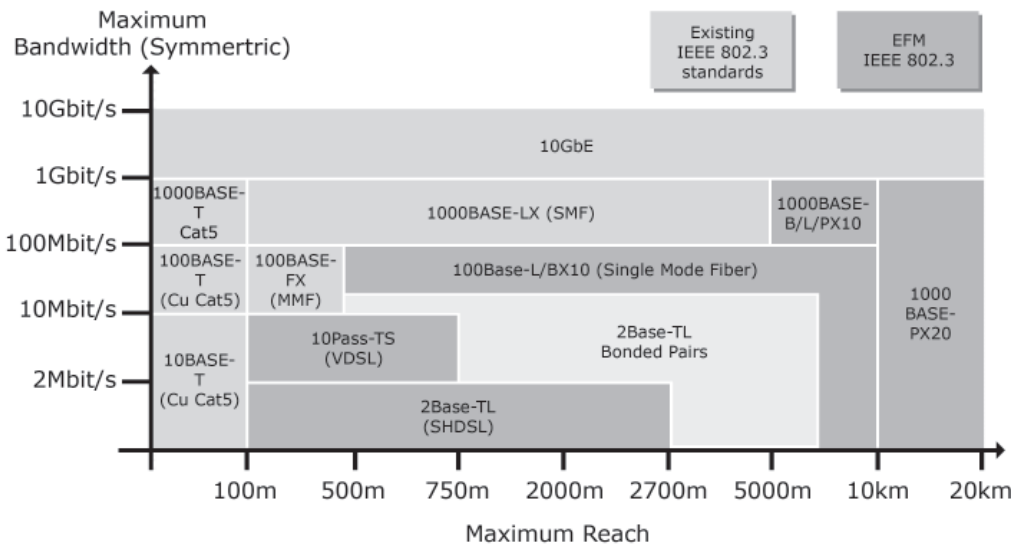
มาตรฐาน 802.3ah ใหม่นี้เกิดขึ้นได้ก็ด้วยความร่วมมือขนานใหญ่ในการพัฒนาต่อยอดจากมาตรฐาน IEEE 802.3 เดิม ทั้งในแง่ของจำนวนคนที่มีส่วนร่วม จำนวนหน้าของมาตรฐานใหม่ที่มีการกำหนดขึ้น และปริมาณของงานที่สำเร็จลุล่วง

กลุ่มเทคโนโลยีตามข้อกำหนดใน 802.3ah

มาตรฐาน 802.3ah สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มเทคโนโลยีดังนี้

1. Ethernet in the First Mile PON (EFMP): หรือที่รู้จักกันดีในนามของ EPON มีการกำหนดมาตรฐานแบบ Symmetric, Point-to-Multipoint ที่ความเร็ว 1 Gbit/s บน Single Mode Fiber สามารถรองรับระยะทางได้ถึง 20 กิโลเมตร

2. Ethernet in the First Mile Fiber (EFMF): มีการกำหนดมาตรฐานรองรับความเร็วตั้งแต่ 100 Mbit/s จนถึง 1,000 Mbit/s แบบ Point-to-Point บน Single Mode Fiber ในระยะทางถึง 10 กิโลเมตร



รูปที่ 1 มาตรฐาน 802.3ah เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตอื่นๆ

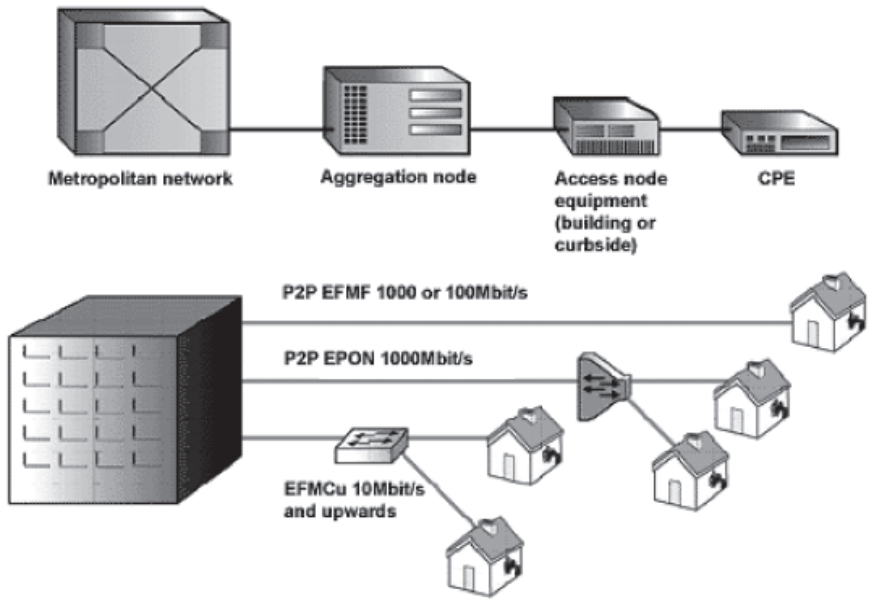
3. Ethernet in the First Mile Copper (EFMC): มีการกำหนดมาตรฐานบนสายทองแดงแบบ CAT 3, Twisted Pair, Voice-Grade โดยมี 2 ทางเลือก คือ ความเร็ว 10 Mbit/s ในระยะทางถึง 750 เมตร บนเทคโนโลยี VDSL หรือความเร็ว 2 Mbit/s ในระยะทางถึง 2,700 เมตร บนเทคโนโลยี HDSL

นอกจากนั้นมาตรฐาน 802.3ah ยังรองรับการใช้งานแบบผสมผสาน (Hybrid Solution) กับเทคโนโลยีแบบอื่นๆ และที่สำคัญที่สุดคือ ได้มีการกำหนดความสามารถในการจัดการและการบำรุงรักษาโครงข่าย (Operation & Maintenance Capabilities) ซึ่งทำให้คุณภาพการให้บริการเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตยกระดับขึ้นสู่ “Carrier-Grade Technology” ในที่สุด

การเปรียบเทียบเทคโนโลยี Ethernet Access ในแบบต่างๆ

วงจรโลคอลลูป (Local Loop) คือ วงจรในส่วนที่เชื่อมต่อจากผู้ใช้บริการปลายทางเข้าสู่โครงข่ายหลักของผู้ให้บริการ โดยด้านหนึ่งของวงจรจะเป็นอุปกรณ์ในส่วนของผู้ให้บริการ ที่เรียกว่า Access Node ซึ่งมักจะติดตั้งอยู่ที่ชุมสาย (CO) หรือจุดกระจายบริการ (Point of Presence หรือ POP) โดยจะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ ในการเชื่อมเข้าสู่โครงข่ายหลัก (ดูรูปที่ 2) ในฝั่งตรงข้ามของวงจรจะเป็นฝั่งของผู้ใช้บริการหรือลูกข่าย (Customer Premises Equipment หรือ CPE)

ปัจจุบันนี้ ผู้ใช้บริการส่วนมากจะเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายของผู้ให้บริการด้วยอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการเอง (Customer Premises Equipment หรือ CPE) ด้วยเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2 เทคโนโลยี Ethernet Access Network แบบต่างๆ

ระบบโทรศัพท์พื้นฐาน/ISDN, Digital Subscriber Line (DSL), Cable Modem, T1/E1, T3/E3, OCT, STM หรืออื่นๆ ซึ่งในกรณีนี้อุปกรณ์ CPE ของผู้ใช้บริการจะไม่ได้ทำหน้าที่เพียงการส่งผ่านข้อมูล (Bridging) เพียงอย่างเดียวแต่มักจะต้องทำการแปลงมาตรฐานในการเชื่อมต่อระหว่าง Access Network กับมาตรฐานอีเทอร์เน็ตของผู้ใช้บริการเอง ทำให้เพิ่มความยุ่งยากและซับซ้อนในการติดตั้งเพื่อใช้บริการและการบำรุงรักษา ทั้งต่อผู้ให้บริการโครงข่ายและผู้ใช้บริการเอง

ในทางตรงกันข้ามด้วยมาตรฐาน 802.3ah ซึ่งเป็นเทคโนโลยี Ethernet Access ทางลูกค้าสามารถเชื่อมต่อวง Ethernet LAN ของตนเข้าสู่วงจรเชื่อมต่อเครือข่าย (Access Network) ตามมาตรฐานอีเทอร์เน็ตแบบเดิมที่ง่ายและรู้จักกันเป็นอย่างดี โดยที่มาตรฐาน 802.3ah สามารถให้บริการรูปแบบการเชื่อมต่อได้เหมือนๆ กัน ไม่ว่าจะอยู่บน EPON, Active/P2P หรือเทคโนโลยีบนสายทองแดง ซึ่งจะช่วยให้การติดตั้งใช้งานง่ายขึ้น รวมถึงการบำรุงรักษาง่ายขึ้นในราคาที่ถูกลง

นอกเหนือจากความสามารถในการให้บริการที่ Bandwidth สูงๆ แก่ลูกค้ารายย่อยได้แล้ว เทคโนโลยี Ethernet Access ยังมีความสามารถในการขยายโครงข่ายและความจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เจ้าของโครงข่ายสามารถเจาะเข้าสู่กลุ่มลูกค้าที่มีความหนาแน่นในการใช้งานสูงได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เทคโนโลยี DSL และ Cable Modem มีความเหมาะสมในการให้บริการที่ต้องการความครอบคลุมของพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของลูกค้าต่ำ แต่เทคโนโลยี Ethernet Access มีความเหมาะสมกว่าสำหรับพื้นที่ให้บริการที่มีลูกค้าหนาแน่นอย่างเช่น

ที่พักอาศัยหนาแน่นเป็นกลุ่มก้อน คอนโดมิเนียม หรืออพาร์ทเมนท์ หรือกลุ่มธุรกิจในอาคารหรือพื้นที่เดียวกัน ในขณะที่บางเทคโนโลยีมุ่งเพียงตอบสนองต่อความครอบคลุมของพื้นที่ให้บริการ แต่มาตรฐาน 802.3ah Ethernet Access สามารถตอบสนองได้ทั้งในด้านของความครอบคลุมพื้นที่ให้บริการและความหนาแน่นในการให้บริการไปพร้อมกัน

ทิศทางการตลาดและกรณีตัวอย่างเชิงธุรกิจ

มุมมองทางธุรกิจต่อบริการบนอีเทอร์เน็ตมีอยู่ 2 ด้านหลัก คือ ความต้องการของลูกค้าและต้นทุนในการให้บริการ

ปัจจุบันนี้การใช้งานระบบ LAN ในเชิงธุรกิจมากกว่า 98% จะอยู่บนเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ต (อ้างอิงจาก Metro Ethernet Forum หรือ MEF) และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานตามบ้านรุ่นใหม่ทุกเครื่องมักจะมีอีเทอร์เน็ตติดตั้งมาพร้อม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตลาดการใช้บริการที่เกี่ยวข้องกับอีเทอร์เน็ตนับเป็นตลาดขนาดใหญ่ที่รอคอยการให้บริการที่เหมาะสมเข้ามาตอบสนอง

แต่อย่างไรก็ตาม รูปแบบเชิงธุรกิจต่อบริการบนอีเทอร์เน็ตได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากวัตถุประสงค์เดิมเป็นอันมาก ระบบ LAN บนอีเทอร์เน็ตแต่เดิมได้รับการออกแบบบนพื้นฐานที่ว่า 95% ของปริมาณของข้อมูลทั้งหมดที่เกิดขึ้น รับส่งและจบลงภายในวง LAN เดียวกัน นั่นหมายความว่า จะมีความจำเป็นต้องส่งข้อมูลออกนอกวง LAN ไปยังระบบภายนอกผ่านโครงข่าย MAN/WAN ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณข้อมูลทั้งหมดในวง LAN เอง แต่เมื่อรูปแบบการใช้งานและธุรกิจเริ่มมีการเปลี่ยนไปอยู่บนบริการบน Web รวมกับการใช้งานในรูปแบบ ASP เป็นหลัก ทำให้รูปแบบปริมาณการใช้ข้อมูลแบบเดิมใช้ไม่ได้อีกต่อไป และก่อให้เกิดความต้องการความเร็วของช่องสัญญาณที่สูง (High Bandwidth) จากช่องสัญญาณอีเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่อกับระบบ MAN/WAN ด้วยเช่นกัน

ในส่วนตลาดของผู้บริโภครายย่อย ก็มีความต้องการ Bandwidth ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน โดยตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือการใช้งานในรูปแบบ Peer-to-Peer Network ที่ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายกลายเป็นผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการข้อมูลในเวลาเดียวกัน จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผลักดันให้ความต้องการ Bandwidth สูงขึ้นมาก

ตลาดการให้บริการบนอีเทอร์เน็ต มีความร้อนแรงอย่างสูง (อ้างอิงจาก Infonetics Research) โดยมีขนาดเติบโตขึ้นกว่าเท่าตัวจากปีที่แล้วและมีแนวโน้มที่จะโตอีกกว่า 3 เท่าตัวภายในปี 2552 โดยจากปัจจุบันมีขนาดตลาดอยู่ที่ 2.5 พันล้านเหรียญสหรัฐ และมีประมาณการเติบโตที่ 276% ไปเป็น 22.2 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2552 ปัจจัยในการเติบโตส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในเอเชียซึ่งเป็นภูมิภาคที่ร้อนแรงที่สุดโดยมีสัดส่วนถึง 40% ของมูลค่ารวมทั่วโลก นอกจากนั้น ยุโรป ตะวันออกกลางและแอฟริกา มีส่วนแบ่งอยู่ที่ 30% และสหรัฐ-อเมริกาอยู่ที่มากกว่า 20%

มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ตลาดเติบโตอย่างน่าประทับใจ และหนึ่งในนั้นคือ ผู้ใช้บริการปลายทาง โดยเฉพาะในระดับองค์กรมีความต้องการ Bandwidth ที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา รวมถึงองค์กรจำนวนมากกำลังหาวิธีที่จะลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในด้านของ WAN ลง และเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตจะสามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ได้ เนื่องจากความจุในช่องสัญญาณ (Bandwidth Capacity) ที่เหนือกว่าและราคาต่อบิต (Bit) ที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริการในลักษณะของ Gigabit Ethernet แบบ Point-to-Point ที่สามารถตอบสนองได้ดี

ในด้านสัดส่วนรายได้จากบริการอีเทอร์เน็ต พบว่า 3 ใน 4 ส่วนของรายได้ทั้งหมดจะมาจากบริการสำหรับลูกค้าปลีก/รายย่อย เช่น อินเทอร์เน็ต วงจรเช่าอีเทอร์เน็ต รวมถึงบริการ Virtual LAN ส่วนรายได้ที่เหลืออีก 25% มาจากการขายบริการแบบ Wholesale โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วงจรแบบ Gigabit Ethernet Point-to-Point

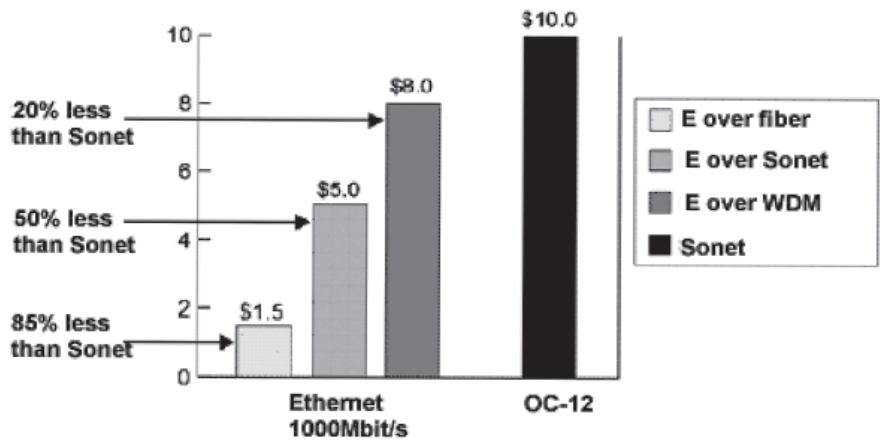
ต้นทุนที่ต่ำกว่า (Lower Cost)

จากประมาณการตามสถานการณ์ข้างต้น พบว่า ปริมาณความต้องการของลูกค้าบนบริการอีเทอร์เน็ต จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีต่อผู้ให้บริการโครงข่ายและอุตสาหกรรมโดยรวม เนื่องจากปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ต้นทุนในการให้บริการลดลงอย่างต่อเนื่อง

ในรูปที่ 3 แสดงถึงผลการวิเคราะห์โดย MEF ในแง่ของต้นทุนโดยรวม (ค่าใช้จ่ายในการลงทุนรวมกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน) ในการให้บริการอีเทอร์เน็ตโดยตรงผ่านสื่อใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ มีข้อสรุปที่ได้ คือ

- ต้นทุนของบริการอีเทอร์เน็ตบนใยแก้วนำแสงต่ำกว่าต้นทุนของเทคโนโลยี TDM, Frame Relay และ ATM ระหว่าง 25% ถึง 40%
- มีต้นทุนต่ำกว่าเทคโนโลยี SONET ความเร็วสูงโดยต่ำกว่าถึง 10 เท่าตัว
- สามารถปรับขยายขนาด Bandwidth ตามความต้องการที่เติบโตของลูกค้าได้ง่ายกว่าในต้นทุนที่ต่ำ

ต้นทุนของอุปกรณ์อีเทอร์เน็ตที่ต่ำกว่าเกิดขึ้นเนื่องจากเทคโนโลยีนี้ประสบความสำเร็จอย่างท่วมท้นในการเข้าสู่ตลาดอย่างกว้างขวางและทั่วถึง และจากการกำหนดมาตรฐานได้อย่างละเอียดชัดเจนโดยสถาบัน IEEE จากปัจจัยทั้งสองก่อให้เกิดตลาดและบริการอีเทอร์เน็ตที่มั่นคงแข็งแรงอันเนื่องมาจากการประหยัดโดยขนาด (Economy of Scale) และผลลัพธ์ของการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตที่หลากหลายเป็นจำนวนมาก ในอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ ยังผลให้เกิดประสิทธิภาพต่อราคาที่สูงจนยากที่จะหาเทคโนโลยีอื่นมาเทียบเคียงได้



รูปที่ 3 กรณีศึกษาเชิงธุรกิจ ต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าของเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ต

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีเหตุผลทางด้านเทคนิคเองที่จะทำให้เทคโนโลยีบนอีเทอร์เน็ตมีราคาถูก อันเนื่องจากว่ามาตรฐานอีเทอร์เน็ตกำหนดอยู่บนพื้นฐานของสัญญาณนาฬิกา (Timing Clock) ที่ค่อนข้างยืดหยุ่นในระดับล่างของการสื่อสาร (Physical Layer) โดยจะมีช่วงของการส่ง (Transmission Interval) แต่ละครั้งที่ที่ค่อนข้างกว้างมาก

และด้วยแนวทางการออกแบบในลักษณะนี้ทำให้เทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตมีประสิทธิภาพสูงในการส่งข้อมูลหน่วยใหญ่ๆ (Large Datagram) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์การส่งขนาดเล็กของเทคโนโลยี ATM แต่ในขณะเดียวกันก็กลายเป็นข้อจำกัดสำหรับแอพพลิเคชั่นการใช้งานบางประเภทที่อ่อนไหวสูงต่อการหน่วงของเวลาในการส่ง (Latency Delay) เช่น การใช้งานระบบโทรศัพท์ เนื่องจากหน่วยข้อมูลอีเทอร์เน็ตที่ส่งมีขนาดใหญ่ (Large Datagram) จะจองช่องสัญญาณเป็นเวลานาน แต่ข้อจำกัดดังกล่าวได้ถูกแก้ไข ด้วยเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตในปัจจุบันที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงถึง 1 Gbit/s ทำให้สามารถลด Latency Delay ลงได้

และการเพิ่มขึ้นของ Bandwidth บนเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้อีเทอร์เน็ตกำลังได้รับชัยชนะเหนือเทคโนโลยี TDM นอกเหนือไปจากต้นทุนโดยรวมของเทคโนโลยี Active Ethernet ที่ต่ำกว่า ATM และ SONET ซึ่งครอบคลุมไปถึงต้นทุนที่ต่ำกว่าของ EPON เมื่อเทียบกับเทคโนโลยี PON บน ATM และยิ่งมีต้นทุนที่ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดในกรณีของ GPON

Plug and Play

นับแต่อีเทอร์เน็ตได้ถือกำเนิดขึ้นมาก็ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับการทำงานแบบ Plug and Play ในการติดตั้งใช้งานมาตั้งแต่ต้นและตลอดช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมา มาตรฐานอีเทอร์เน็ตได้รับการพัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมให้รองรับฟังก์ชั่นการทำงานแบบ Duplex Auto-Sensing, Speed Auto-Negotiating, Auto-MDI/MDIX และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาตรฐาน 802.3ah คือ การตรวจสอบฟังก์ชั่น OAM บนเครื่องลูกข่ายโดยอัตโนมัติ (Auto-OAM Client Detection) จากฟังก์ชั่นการทำงานที่กล่าวมาแล้วจะพบว่าช่วยให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถเริ่มเปิดให้บริการแก่ลูกค้าบนเทคโนโลยี Ethernet Access ได้สะดวกและรวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบอื่นๆ

และเมื่อมีการเพิ่มเติมฟังก์ชั่นการควบคุมและเปิดบริการ (Provisioning Tool) ลงบนเทคโนโลยี Ethernet Access แล้ว ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถควบคุมและกำหนดระดับขั้นของ Bandwidth ที่ให้บริการต่อลูกค้าได้ละเอียดกว่าเทคโนโลยีแบบ TDM, Frame Relay, หรือ ATM โดยที่การควบคุมและเปิดบริการสามารถทำได้จากระยะไกล และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ฝั่งลูกค้าแต่อย่างใด

เทคโนโลยี Ethernet Access จึงง่ายกว่าและถูกกว่าในการติดตั้งใช้งาน รวมถึงการจัดการและควบคุมลักษณะและชนิดของบริการที่ง่ายกว่าด้วย สำหรับการให้บริการอีเทอร์เน็ตแล้ว เทคโนโลยี Ethernet Access ยังเป็นเทคโนโลยีที่อยู่บนโครงข่ายชั้นที่ 2 (Layer 2 Network) ที่ง่ายต่อการเพิ่มขนาดความจุโดยปราศจากการแปลงโปรโตคอลใดๆ และไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางอื่นใดมาคั่นอีกเลย

ในทางตรงกันข้าม หากให้บริการอีเทอร์เน็ตผ่านทางเทคโนโลยี Access Network แบบ ATM จะมีความซับซ้อนในการที่จะต้องแปลงโปรโตคอลไปมา รวมถึงการกำหนดค่า Mapping ต่างๆ ระหว่างโปรโตคอลอีเทอร์เน็ตกับโปรโตคอลของ ATM เอง

การเริ่มให้บริการอีเทอร์เน็ต (Deployment of Ethernet Service)

ผู้ให้บริการโครงข่ายรายต่างๆ ทั่วโลก กำลังเริ่มเปิดให้บริการอีเทอร์เน็ต โดยมีตัวอย่างเช่น บริษัท NTT ในประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มเปิดให้บริการ EPON ในวงกว้างเพื่อมาทดแทนการให้บริการบนเทคโนโลยี DSL แบบเดิม โครงข่าย Alberta Supernet ของบริษัท Bell West ในประเทศแคนาดา ได้ทำการติดตั้งโครงข่าย Ethernet/EOS ไปแล้วกว่า 13,000 กิโลเมตร เพื่อเชื่อมโยง 422 ชุมชนทั่วประเทศเข้าด้วยกัน

ผู้ให้บริการในระยะแรกๆ รายอื่นๆ ได้แก่

- กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย: บริษัทสาธารณูปโภคต่างๆ และบริษัทโทรคมนาคมท้องถิ่น
- อิตาลี: บริษัทผู้ให้บริการเชื่อมต่อเข้าเครือข่าย (Access Network) หลายราย
- เนเธอร์แลนด์: บริษัท KPN Telecom เลือกใช้เทคโนโลยี EFM
- สหรัฐอเมริกา: บริษัทที่ให้บริการโครงข่ายสื่อสารในระดับท้องถิ่นหลายราย องค์กรส่วนท้องถิ่น และบริษัทสาธารณูปโภคต่างๆ

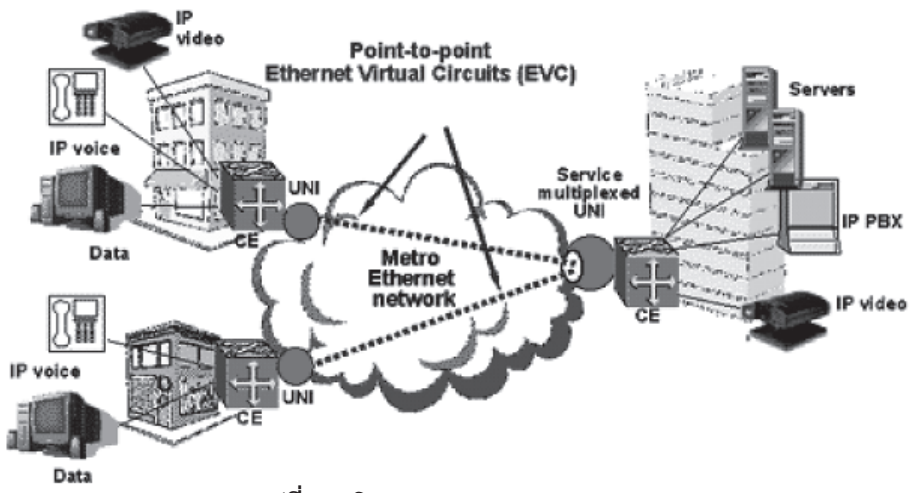
ประเภทของบริการอีเทอร์เน็ต (Type of Ethernet Services)

องค์กร MEF ได้ทำการกำหนดนิยามของบริการบนอีเทอร์เน็ตไว้หลายประเภท แต่นับเฉพาะบริการที่เด่นๆ มีอยู่ 2 ประเภท คือ บริการ E-Line และ E-LAN

1. บริการ E-Line

บริการ E-Line เป็นการให้บริการ Ethernet Virtual Connection (EVC) ระหว่างจุดให้บริการ 2 จุด ที่เชื่อมโยงกันผ่านโครงข่าย Metro Ethernet สำหรับรูปแบบการให้บริการ E-Line แบบพื้นฐานที่สุด ได้แก่ วงจรต่อผ่านอีเทอร์เน็ตขนาด 10 Mbit/s ระหว่างจุดให้บริการลูกค้า (User Network Interface หรือ UNI/CPE) จำนวน 2 จุด ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงแบบมีช่องสัญญาณที่สมมาตรทั้ง 2 ทิศทาง (Full Duplex, Symmetrical Bandwidth) แต่จะไม่มีการรับประกันคุณภาพของวงจร (No Performance Guarantee)

สำหรับการให้บริการในขั้นที่สูงกว่านั้น บริการ E-Line อาจจะให้บริการประกันคุณภาพของ



รูปที่ 4 บริการ Ethernet Line (E-Line)

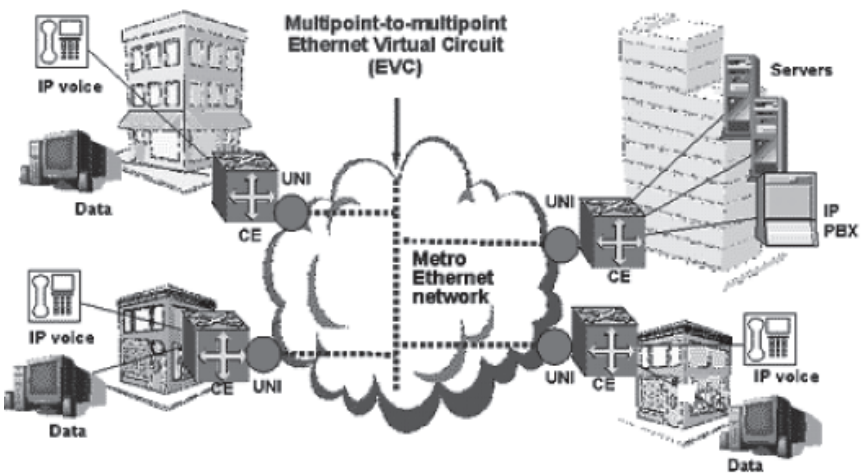
วงจรผ่านทางค่าของ Committed Information Rate (CIR) และ Committed Burst Rate (CBR) และอาจรวมถึงการควบคุมคุณภาพของ Delay, Jitter และการสูญหายของแพคเก็ต (Packet Drop) จากตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4 จะเป็นการควบรวมสัญญาณ (Multiplexing) หลายๆ EVCs เข้าไปยังพอร์ทอุปกรณ์ของลูกค้าเพียงพอร์ทเดียว ซึ่งเป็นบริการที่เทียบเคียงได้กับ Frame Relay PVCs นอกจากนั้นแล้วยังสามารถกำหนดให้บริการ EVC มีคุณลักษณะเหมือนกับการเช่าวงจรแบบ TDM ซึ่งเป็นการส่งผ่านแบบ Transparency ระหว่างอุปกรณ์ CPEs 2 ฝั่ง ทำให้ลดค่า Frame Delay, Jitter และ Packet-Lost แต่ก็จะสูญเสียความสามารถในการทำ EVC Multiplexing ไป

2. บริการ E-LAN

บริการ E-LAN เป็นบริการที่มีคุณลักษณะและประโยชน์ใช้งานหลายๆ อย่างคล้ายคลึงกับบริการ E-Line แต่มีจุดต่างที่สำคัญอย่างมาก คือ บริการ E-Line เป็นบริการในลักษณะจุดต่อจุด (Point-to-Point) แต่บริการ E-LAN เป็นลักษณะแบบ Multipoint-to-Multipoint นั่นคือ จุดการเชื่อมต่อของลูกค้า 1 จุด (UNI หรือ CPE) สามารถเชื่อมต่อกับจุดเชื่อมต่ออื่นๆ ของลูกค้ารายเดียวกันได้ทุกจุด โดยต่อผ่านวงจร EVC เพียงวงจรเดียว (ดูรูปที่ 5)

บริการ E-LAN ต้องการเพียง EVC เดียวในแต่ละจุดใช้งานของลูกค้า เพื่อเชื่อมต่อไปยังจุดใช้งานจุดอื่นๆ ได้ทุกจุด ในขณะที่เทคโนโลยี Frame Relay จำเป็นต้องมีการสร้าง PVC หลายๆ ชุดสำหรับแต่ละจุดให้บริการ โดยแต่ละ PVC จะถูกใช้สำหรับการเชื่อมต่อไปยังจุดอื่นในลักษณะ Point-to-Point ภายในกลุ่มลูกค้าเดียวกัน

นอกเหนือจากคุณลักษณะและข้อดีต่างๆ ของบริการ E-Line และบริการ E-LAN ดังกล่าวแล้ว ยังมีคุณสมบัติอีกข้อหนึ่งที่เป็นข้อดี คือ โครงสร้างพื้นฐานของ Ethernet Access จะแยกออกจากบริการที่ให้บนโครงข่าย ทำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถทำการเปิดและควบคุมบริการต่างๆ สำหรับลูกค้าได้ง่ายมาก และมีความคล่องตัว



รูปที่ 5 บริการ Ethernet LAN (E-LAN)

ในการเพิ่มเติมบริการเสริมต่างๆ ในอนาคต สำหรับลูกค้าเองการแยกกันระหว่างการเชื่อมต่อเข้าเครือข่าย (Access Network) และบริการ (Services) จะทำให้ลูกค้ามีความสะดวกและมีอำนาจต่อรองสูงในการเลือกใช้ผู้ให้บริการหรือโอนย้ายไปสู่บริการใหม่ๆ ในอนาคตเช่นกัน

ประเด็นที่สำคัญในการติดตั้งใช้งาน

สำหรับประเด็นที่สำคัญในการติดตั้งใช้งานมาตรฐาน 802.3ah มีประเด็นที่สำคัญอยู่ 2 ข้อ คือ Protocol Transparency และขนาดสูงสุดของแพคเก็ตข้อมูล (Packet Size)

1. Protocol Transparency: โดยปกติแล้วการให้บริการแบบ Transparent LAN บนโครงข่าย MAN จะต้องมี Layer 2 Bridge Protocol Data Unit (BPDU) Transparency เพื่ออนุญาตให้ผู้ใช้บริการสามารถจัดการ Switches ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ใช้งานอื่นๆ ได้เสมือนหนึ่งเป็นโครงข่าย Switches เดียวกัน โปรโตคอลที่ใช้ในการจัดการ Switches เช่น Spanning Tree, Link Aggregation และ Port Control จะต้องสามารถติดต่อสื่อสารผ่านโครงข่ายหลักได้โดยไม่ถูกแก้ไขใดๆ จากโครงข่ายตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง ซึ่งประเด็นนี้ทางผู้ให้บริการจะต้องมีการวางแผนในการจัดการล่วงหน้าให้ดี

2. ขนาดของ Frame Size สูงสุด: ถึงแม้ว่าขนาดของ Frame Size สูงสุดที่กำหนด โดยมาตรฐาน IEEE มีขนาดอยู่ที่ 1522 bytes (802.1Q Tagged Frame) แต่ในทางปฏิบัติแล้วผู้ผลิตอุปกรณ์อีเทอร์เน็ตต่างใช้ข้อกำหนดเฉพาะที่อนุญาตให้สามารถใช้ขนาดของ Frame Size สูงสุดได้มากกว่ามาตรฐานเดิม โดยในปัจจุบัน โปรโตคอลเหล่านี้อันได้แก่ Cisco ISL, VTP, หรือ CDP ซึ่งมีการทำงานส่วนใหญ่อยู่บนฝั่ง LAN มากกว่าฝั่ง WAN แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยความแพร่หลายในบริการบนเทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตโปรโตคอลต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วก็จะมีการใช้งานบนฝั่งของ MAN/WAN มากขึ้น

นอกจากนั้นแล้ว โปรโตคอลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น VLANs, Stacked VLANs, MPLS และ VPLS ต่างต้องการขนาดของเฟรมที่ใหญ่กว่า IEEE มาตรฐานเดิม ดังนั้น แล้วหากมีอุปกรณ์เครือข่ายใดๆ เช่น Switch, Router หรืออุปกรณ์ CPE อื่นๆ ที่ไม่สามารถรองรับการทำงานของเฟรมที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,600 bytes แล้ว ก็อาจประสบปัญหาในอนาคตได้

สรุป

จากข้อมูลรายละเอียดที่นำเสนอมาแล้วข้างต้น สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะต่างๆ ของ Ethernet Access Network ที่ก่อให้เกิดข้อได้เปรียบและจุดแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับ Access Network Technology แบบอื่นๆ

นอกจากข้อมูลในเชิงเทคนิคแล้ว ยังมีข้อมูลในเชิงธุรกิจที่ชี้ให้เห็นว่า ในส่วนต่างๆ ของอุตสาหกรรมโทรคมนาคมทั่วโลกต่างให้ความสนใจและเข้าไปมีส่วนร่วมในเทคโนโลยี Ethernet Access Network อย่างกว้างขวางและจริงจัง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่หน่วยงานต่างๆ ของรัฐและภาคเอกชนไทย ควรมีการศึกษาและเตรียมพร้อมรับกับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีนี้ เพื่อให้อุตสาหกรรมโทรคมนาคมและสังคมไทยได้รับประโยชน์สูงสุดจากเทคโนโลยีดังกล่าว ◎

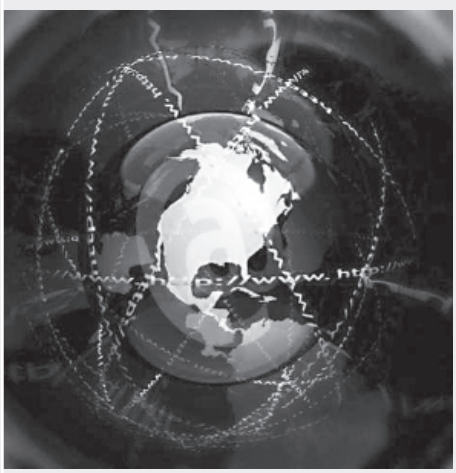
ข้อมูลอ้างอิง

1. Metro Ethernet Forum
2. Infonetics Research

VoIP เทคโนโลยีสื่อสารสู่ธุรกิจยุคใหม่

นายองอาจ เรืองรุ่งโสม
ผู้อำนวยการสำนักการอนุญาตประกอบกิจการ
สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

เทคโนโลยีการสื่อสารสัญญาณเสียง โดยผ่านทางเครือข่าย IP (Internet Protocol) โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้งานในเชิงพาณิชย์ โดยการเปิดให้บริการโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันภายใต้เทคโนโลยี Voice over IP (VoIP) กำลังพลิกโฉมธุรกิจการสื่อสารทางเสียงทั่วโลก โดยการลดต้นทุนของผู้ให้บริการเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคม และความสะดวกในการใช้งานของผู้บริโภค เพียงแต่มีการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเท่านั้น ผลก็คือค่าบริการสื่อสารลดต่ำลง และเพิ่มปริมาณการสื่อสารทั่วโลก บทความเรื่องนี้มีจุดหมายเพื่อนำเสนอแนวคิดพื้นฐานของเทคโนโลยี VoIP เพื่อนำไปสู่การศึกษาถึงการประยุกต์ใช้งานในรายละเอียดในโอกาสต่อไป

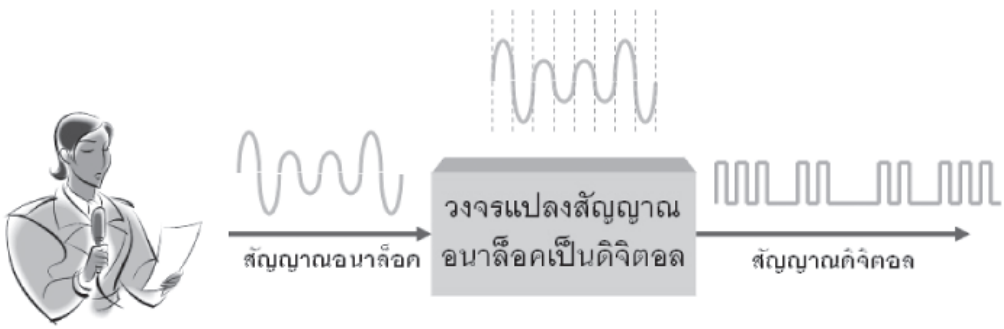


ปฐมบทของการสื่อสารแบบดิจิตอล

การรับส่งสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ ซึ่งมี

คุณลักษณะพื้นฐานในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลหรือสัญญาณแบบดิจิตอลนั้นไม่ใช่เรื่องใหม่ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องแปลงสัญญาณเสียงพูดให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอลก็เพื่อควบคุมคุณภาพสัญญาณในขณะที่มีการส่งผ่านอุปกรณ์หรือวงจรสื่อสารโทรคมนาคม ด้วยข้อดีของสัญญาณแบบดิจิตอลที่สามารถกู้หรือแก้ไขกลับคืนได้ง่ายกว่าสัญญาณอนาล็อก มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการสื่อสาร อีกทั้งยังสามารถนำเทคโนโลยีการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) มาใช้เพื่อรักษาความปลอดภัยและป้องกันความผิดพลาดของข้อมูลดิจิตอลได้ มาตรฐานในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน มาตรฐานหลักในวงการสื่อสารโทรคมนาคมก็คือ มาตรฐาน Pulse Code Modulation (PCM) ซึ่งแปลงสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ที่มีแถบความถี่ในช่วง 300-3,400 เฮิรตซ์ ไปเป็นสัญญาณดิจิตอลอัตราเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Circuit หรือ “A/D”) ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากการแปลงสัญญาณตามมาตรฐาน PCM แล้ว ยังมีรูปแบบมาตรฐานการแปลงสัญญาณแบบอื่นๆ ที่มักพบในแวดวงคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะมัลติมีเดีย แต่ไม่ได้รับความนิยมใช้งานในการสื่อสารโทรคมนาคมแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน PCM กลับสร้างข้อจำกัดต่อการออกแบบวงจรหรือเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคม ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณเสียงในรูปดิจิตอลเหล่านี้ โดยเฉพาะความต้องการวงจรสื่อสารหรือช่องสื่อสารที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลคงที่ที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที จึงเป็นที่มาของการสร้างเครือข่ายแบบสวิทช์วงจร (Circuit Switching) ที่กำหนดว่าจะต้องมีการสร้างวงจรเชื่อมต่อจากผู้ใช้บริการโทรศัพท์ต้นทาง ผ่านเครือข่ายชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งอาจมีการต่อผ่านชุมสายโทรศัพท์ตั้งแต่หนึ่งแห่งขึ้นไปจนถึงขั้นต่อผ่านหลายๆ ชุมสาย ดังเช่น กรณีของการโทรศัพท์ระหว่างประเทศ การออกแบบเครือข่ายและอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมตั้งแต่ยุคชุมสายโทรศัพท์ระบบดิจิตอล SPC (Store Program Control) มาจนถึงเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2G ล้วนแล้วแต่อยู่บนพื้นฐานของการเชื่อมต่อแบบสวิทช์วงจรทั้งสิ้น



รูปที่ 1 การแปลงสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยวงจร A/D

ในด้านของการบริหารจัดการต้นทุนเครือข่าย การออกแบบและลงทุนสร้างเครือข่ายสื่อสารแบบสวิทช์วงจรนี้ มีข้อจำกัดหลายประการที่สำคัญ คือ การออกแบบความสามารถในการรองรับวงจร ซึ่งไม่สามารถปรับเพิ่มลดได้ตามต้องการมากนัก หากออกแบบให้รองรับการเชื่อมต่อมากเกินกว่าปริมาณความต้องการ (Demand) ของการโทรก็จะเป็นต้นทุนจม (Sunk Cost) หรือหากออกแบบไว้น้อยเกินไปก็จะกระทบต่อคุณภาพในการให้บริการ เช่น อาจเกิดเหตุการณ์คู่สายเต็มหรืออุปกรณ์เครือข่ายทำงานหนักเกินไป เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการให้บริการของเครือข่ายเพื่อให้คุ้มต่อการให้บริการและทำให้เครือข่ายสื่อสารมีความยืดหยุ่นต่อการให้บริการมากขึ้น จึงมีการนำเทคโนโลยีเข้ารหัสแบบบีบอัด (Digital Speech Compression) ที่มีอัลกอริทึมชนิดพิเศษมาใช้เพื่อทำให้สามารถส่งสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีอัตราเร็วต่ำลงกว่า 64 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนั้นยังมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนรูปแบบการรับส่งสัญญาณดิจิตอลที่ใช้แทนเสียงพูดเหล่านี้ ให้อยู่ในรูปแบบของการสวิทช์แพ็คเกต (Packet Switching) ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของเทคโนโลยี VoIP

การสื่อสารแบบแพ็คเกต

การสื่อสารแบบแพ็คเกตมีการใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มจากการสร้างเครือข่ายสื่อสารเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่กี่เครื่อง และต่อมามีการพัฒนาจนกลายเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายย่อยๆ เข้าด้วยกันเกิดเป็นเครือข่ายสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่อันเป็นที่รู้จักกันในชื่อของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแพ็คเกตมีอยู่หลายมาตรฐาน เริ่มจากมาตรฐาน X.25 ในยุคเริ่มแรก พัฒนาต่อมาเป็นเทคโนโลยี Frame Relay และเป็นเทคโนโลยี IP (Internet Protocol) ในปัจจุบัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเทคโนโลยี X.25 และ Frame Relay เป็นเพียงข้อกำหนดการทำงานของเครือข่ายในระดับชั้นที่ 2[a] และ 3[b] ตามมาตรฐาน OSI (Open System Interconnection) เท่านั้น ในขณะที่มาตรฐาน IP ทำหน้าที่ในการหาเส้นทางและบริหารจัดการคุณภาพในการรับส่งข้อมูล เทียบได้กับระดับชั้นที่ 4[c] ของมาตรฐาน OSI

หัวใจสำคัญของการสื่อสารแบบแพ็คเกตก็คือ การออกแบบให้ก้อนข้อมูล (ซึ่งมักเรียกกันว่าแพ็คเกต) มีการบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับผู้ส่งและผู้รับ รวมถึงข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการลำเลียงส่งไปร่วมกับข้อมูลของผู้ใช้งาน จึงสามารถออกแบบอุปกรณ์เครือข่ายให้สามารถทำงานได้ โดยเพียงการตรวจสอบเงื่อนไขการรับส่งที่แฝงไปกับก้อนข้อมูลแต่ละก้อน การเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่ายแบบแพ็คเกตสามารถทำได้ตามความเหมาะสมของผู้วางเครือข่าย ทั้งนี้ในปัจจุบันอุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้เชื่อมต่อและทำหน้าที่ตรวจสอบรวมถึงรับส่งข้อมูลก็คือเราท์เทอร์ (Router) ซึ่งเชื่อมต่อเครือข่ายสื่อสารขององค์กรเข้ากับเครือข่ายสาธารณะเช่นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ภายในเราท์เทอร์ทุกตัวจะมีการการสร้างตารางการเชื่อมต่อ (Routing Table) กับเราท์เทอร์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อใช้ประกอบการหาเส้นทางในการส่งก้อนข้อมูลแพ็คเกตให้ไปถึงจุดหมายปลายทางโดยใช้เส้นทางที่ดีที่สุด ซึ่งในหลายๆ กรณีอาจมิได้หมายถึงเส้นทางที่สั้นที่สุด แต่อาจเป็นเส้นทางที่มีคุณภาพในการรับส่งดีที่สุด หรือเป็นเส้นทางรองที่ดีที่สุดในกรณีเส้นทางหลักเกิดความเสียหาย

---

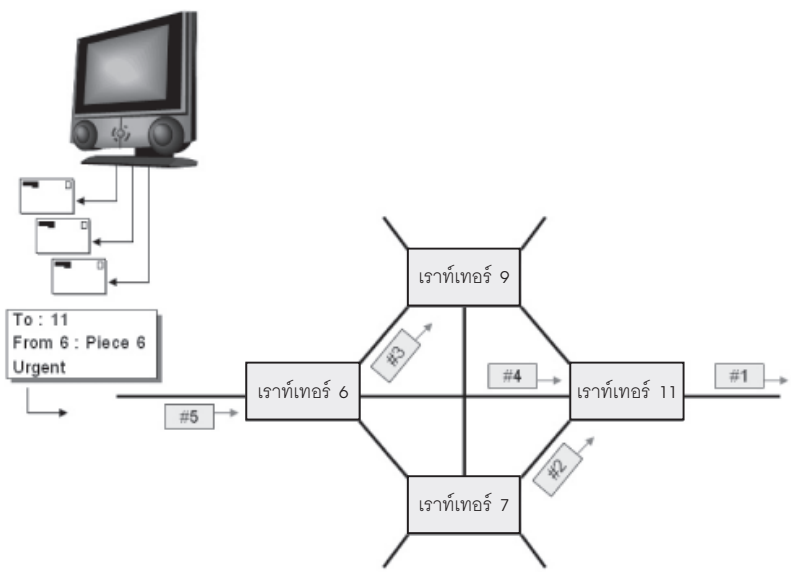
[a] Data Link Layer เป็นการบริหารจัดการความถูกต้องของบิตข้อมูลที่ส่งระหว่างอุปกรณ์ 2 ชิ้นที่เชื่อมต่ออยู่ใกล้กัน

[b] Network Layer เป็นการบริหารจัดการเพื่อหาเส้นทางในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปสู่ปลายทาง

[c] Transport Layer เป็นการบริหารจัดการเพื่อรักษาคุณภาพของการสื่อสารในองค์รวม นับจากจุดต้นทางไปถึงจุดต้นทาง โดยอาศัยการควบคุมการทำงานของกลไกในระดับ Data Link และ Network เพื่อให้ได้คุณภาพการสื่อสารตามที่ต้องการ

ข้อมูลจากผู้ใช้งานจะถูกเราท์เทอร์ต้นทางจัดแบ่งออกเป็นก้อนแพ็คเกตย่อยๆ แล้วทะยอยส่งผ่านเครือข่ายข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยเราท์เทอร์จำนวนมากเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2 เราท์เทอร์ต้นทางจะตรวจสอบรหัสต้นทางและปลายทางที่ปรากฏอยู่ในก้อนแพ็คเกตแต่ละก้อน และคำนวณหาเส้นทางการเชื่อมต่อที่เหมาะสมที่สุด ในระหว่างที่มีการรับส่งข้อมูล หากปรากฏว่าเส้นทางการเชื่อมต่อในปัจจุบันจุดใดจุดหนึ่ง หรือเราท์เทอร์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดปัญหาหรือไม่สามารถให้บริการได้ เราท์เทอร์ระหว่างทางก็จะเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลไปในทิศทางอื่น ข้อมูลทั้งหมดจะถูกทะยอยส่งไปถึงเราท์เทอร์ปลายทาง และอาจมีการเรียงลำดับก้อนข้อมูลให้ถูกต้องก่อนที่จะส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทาง

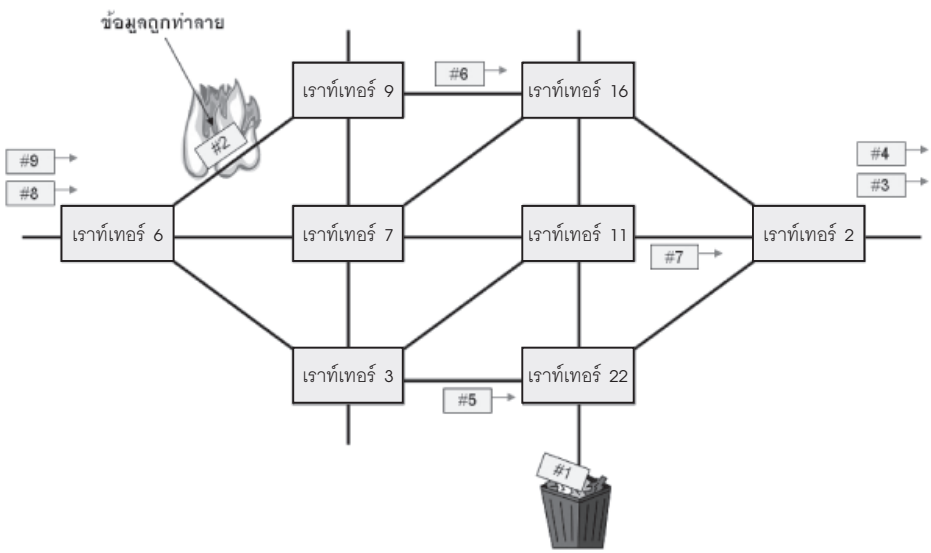
ปัญหาที่มักพบในการสื่อสารแบบแพ็คเกตก็คือการสูญหายของข้อมูลซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเส้นทางการสื่อสาร ซึ่งอาจเกิดจากการถูกทำลายเนื่องจากมีการส่งผ่านวงจรสื่อสารที่มีปัญหา เช่น วงจรชำรุดโดยกะทันหัน หรือเกิดสัญญาณรบกวนที่รุนแรงมากจนเราท์เทอร์ไม่สามารถแก้ไขความถูกต้องของข้อมูลในแพ็คเกตนั้นๆ ได้อีก ดังตัวอย่างแพ็คเกตหมายเลข 2 ในรูปที่ 3 นอกจากนั้นยังเกิดจากการยกเลิกก้อนข้อมูลนั้นโดยอุปกรณ์เราท์เทอร์ตัวใดตัวหนึ่งในเครือข่าย อันเนื่องมาจากปัญหาความหนาแน่นของวงจรสื่อสารที่เชื่อมต่อไปยังเราท์เทอร์นั้นๆ ดังเช่นแพ็คเกตหมายเลข 1 ในรูปที่ 3 เช่นกัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า Packet Loss ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยวัดจากจำนวนแพ็คเกตที่สูญหายไปในระหว่างกระบวนการส่งเทียบกับแพ็คเกตทั้งหมดที่มีการส่งจากเราท์เทอร์ต้นทาง ในกรณีนี้อุปกรณ์เราท์เทอร์ที่ปลายทางซึ่งรอรับข้อมูลเพื่อเรียงลำดับความถูกต้อง จะทราบว่ามีแพ็คเกตใดสูญหายไประหว่างการส่ง และจะร้อง



รูปที่ 2 การส่งข้อมูลแบบแพ็คเกตผ่านเครือข่ายเราท์เทอร์

ขอให้เราท์เทอร์ต้นทางทำการส่งแพ็คเกตที่สูญหายเหล่านั้นมาให้ใหม่ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับส่งข้อมูลที่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา เช่น การส่งสัญญาณเสียงแบบ VoIP ซึ่งไม่สามารถเสียเวลารอการส่งแพ็ตเกตซ้ำใหม่ได้ เราท์เทอร์ปลายทางก็จำเป็นต้องส่งข้อมูลต่อไปยังอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์ VoIP โดยปล่อยให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดไปเช่นนั้น ซึ่งย่อมส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลต้นทาง เช่น เสียงผิดเพี้ยน เป็นต้น

ประเด็นเหล่านี้สะท้อนถึงความเป็นจริงในการเปิดให้บริการ VoIP ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นเครือข่ายสาธารณะ มีปริมาณข้อมูลจากแหล่งต่างๆ รับส่งอยู่เป็นจำนวนมาก โอกาสที่เราท์เทอร์ตัวหนึ่งจะเกิดปัญหาข้อมูลล้น หรือวงจรสื่อสารเส้นทางใดๆ เกิดสัญญาณรบกวนหรือเสียหาย จนอาจทำให้แพ็คเกตข้อมูล VoIP ที่มีการรับส่งผ่านเส้นทางนั้นๆ เกิดการสูญหายจนทำให้ผู้ใช้บริการรับรู้ถึงคุณภาพในการให้บริการที่ตกลงมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการสื่อสาร และการเลือกเส้นทางรับส่งข้อมูลที่เหมาะสมกับสภาพปริมาณข้อมูลในเวลานั้นๆ ซึ่งในกรณีนี้ย่อมไม่สามารถปล่อยให้เป็นหน้าที่ในการเลือกเส้นทางของอุปกรณ์เราท์เทอร์ตัวใดตัวหนึ่งหรือแม้กระทั่งหลายๆ ตัวภายในเครือข่ายได้ ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์เราท์เทอร์มีหน้าที่เพียงการหาเส้นทางที่เหมาะสม แต่ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าข้อมูลแพ็คเกตใดเป็นข้อมูล VoIP ประกอบกับทั้งความต้องการในเชิงธุรกิจของผู้ประกอบการโทรศัพท์แบบ VoIP ที่ต้องการควบคุมคุณภาพและการให้บริการต่อผู้ใช้บริการของตน ยิ่งไปกว่านั้นการกระตุ้นความต้องการในการใช้งานบริการโทรศัพท์แบบ VoIP อาจทำได้ไม่เต็มที่นัก ถ้าไม่มีการเชื่อมต่อเครือข่าย VoIP เข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ซึ่งรวมถึงบรรดาโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่ทั่วโลก

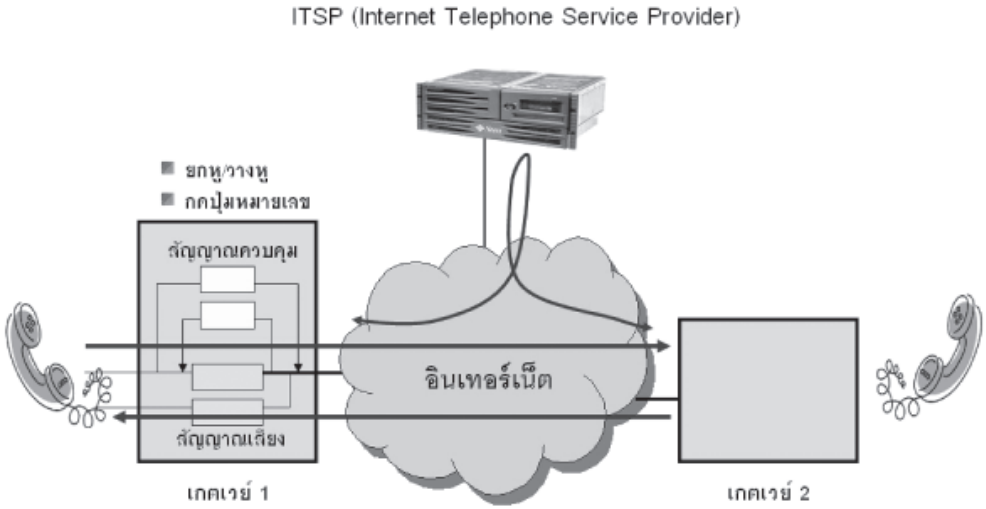


รูปที่ 3 การสูญหายของแพ็คเกตข้อมูลภายในเครือข่ายเราท์เทอร์

การเชื่อมต่อเครือข่ายแพ็คเกตกับเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน

ความจำเป็นขั้นพื้นฐานในการผลักดันเทคโนโลยี VoIP ให้เติบโต ก็คือการเชื่อมต่อเครือข่ายแพ็คเกต ซึ่งในที่นี้หมายถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เกตเวย์ (Gateway) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงที่ถูกเข้ารหัสและจัดส่งในรูปแบบแพ็คเกตให้คืนสภาพเป็นสัญญาณเสียงแบบ PCM พร้อมที่จะส่งผ่านเข้าสู่เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน และทำการแปลงสัญญาณในทิศทางกลับกัน ในทางปฏิบัติมักเรียกอุปกรณ์เกตเวย์นี้ว่า Voice Gateway หัวใจสำคัญของอุปกรณ์ Voice Gateway นอกเหนือจากการแปลงสัญญาณเสียงจากรูปแบบแพ็คเกตไปเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอลแบบ PCM แล้ว ยังจะต้องสามารถแปลงสัญญาณควบคุม (Control Signal) ที่ใช้ในเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานให้เป็นแพ็คเกตข้อมูลส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย

รูปที่ 4 แสดงหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ Voice Gateway ซึ่งเกตเวย์ 1 ที่อยู่ต้นทางจะสร้างวงจรสื่อสารขึ้น 2 ชุด ชุดแรกเป็นการแปลงสัญญาณเสียงอนาล็อกจากไมโครโฟนของโทรศัพท์ต้นทางไปเป็นสัญญาณดิจิตอลในรูปแพ็คเกตและส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังเกตเวย์ 2 ที่อยู่ปลายทาง วงจรชุดที่สองเป็นการรับสัญญาณเสียงพูดจากปลายทางที่อยู่ในรูปของข้อมูลแพ็คเกตกลับมาเป็นสัญญาณเสียงอนาล็อกแล้วส่งต่อไปยังลำโพงของโทรศัพท์ต้นทาง นอกจากนั้นทั้งเกตเวย์ต้นทางและปลายทางจะตรวจสอบสัญญาณควบคุมทั้งที่อาจส่งมาจากโทรศัพท์ที่เชื่อมต่ออยู่กับตน และที่เป็นสัญญาณในรูปแพ็คเกตจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การยกหูโทรศัพท์ การวางสาย การหมุนเลขหมายปลายทาง หรือการขอประชุม 3 สายทางโทรศัพท์

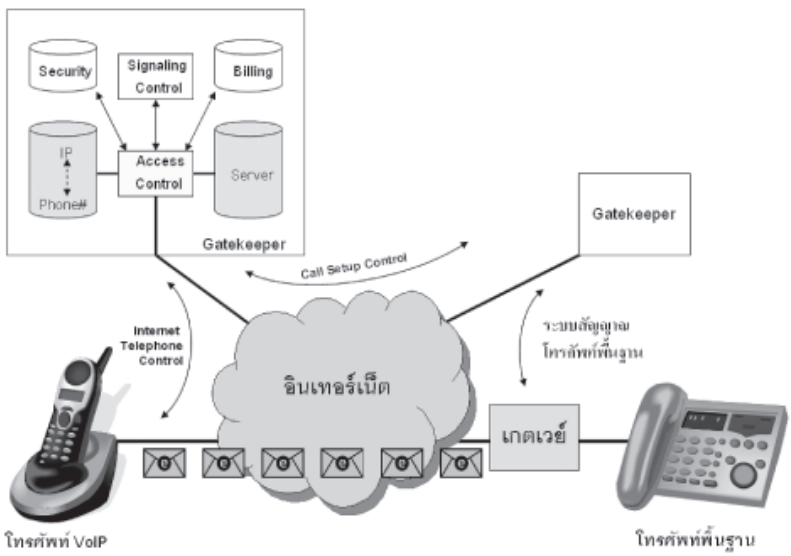


รูปที่ 4 หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ Voice Gateway

ฯลฯ ไม่ว่าจะมีสัญญาณควบคุมใดๆ เกิดขึ้นที่เกตเวย์ตัวใดก็ตาม เกตเวย์นั้นๆ จะทำการติดต่อกับอุปกรณ์ ITSP (Internet Telephone Service Provider) ซึ่งผู้ให้บริการ VoIP เป็นผู้ลงทุนสร้างขึ้นเพื่อขอคำแนะนำหรือรอรับคำสั่งควบคุมใดๆที่จะเกิดตามมา โดยส่วนใหญ่มักเรียกอุปกรณ์ ITSP ว่า SIP Server ตามชื่อของมาตรฐานระบบสัญญาณ SIP (Session Initiating Protocol) ซึ่งได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในธุรกิจ VoIP ปัจจุบัน

นอกเหนือจากการติดตั้งอุปกรณ์เกตเวย์ เช่น Voice Gateway เพื่อทำหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงและตรวจสอบสัญญาณควบคุมแล้ว ในการให้บริการ VoIP ยังต้องอาศัยการทำงานของอุปกรณ์ Gatekeeper ในการควบคุมการเชื่อมต่อ (Call Setup) และบริหารจัดการบริการเสริมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้อุปกรณ์ Gatekeeper อาจอยู่ภายใต้ความควบคุมดูแลของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) หรือเป็นของผู้ให้บริการ VoIP เอง ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบการลงทุนทางธุรกิจของผู้ประกอบการแต่ละราย

รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างภายในของ Gatekeeper ซึ่งประกอบไปด้วยฐานข้อมูลของผู้ใช้งานทั้งหมายเลขโทรศัพท์และเลขหมาย IP ที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดและกลไกการทำงานสำหรับบริการแต่ละชนิด รวมถึงรายชื่อของเกตเวย์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดโดยจะทำหน้าที่ควบคุมการเชื่อมต่อ รวมทั้งการแปลงระหว่างเลขหมายโทรศัพท์กับเลขหมาย IP สำหรับวงจรสนทนาแต่ละชุด รวมถึงการบริหารจัดการสัญญาณควบคุมเพื่อเชื่อมต่อและปลดวงจรสนทนาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังทำหน้าที่บันทึกรายละเอียดการใช้งานโทรศัพท์ เพื่อนำไปจัดทำสรุปค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการแต่ละราย



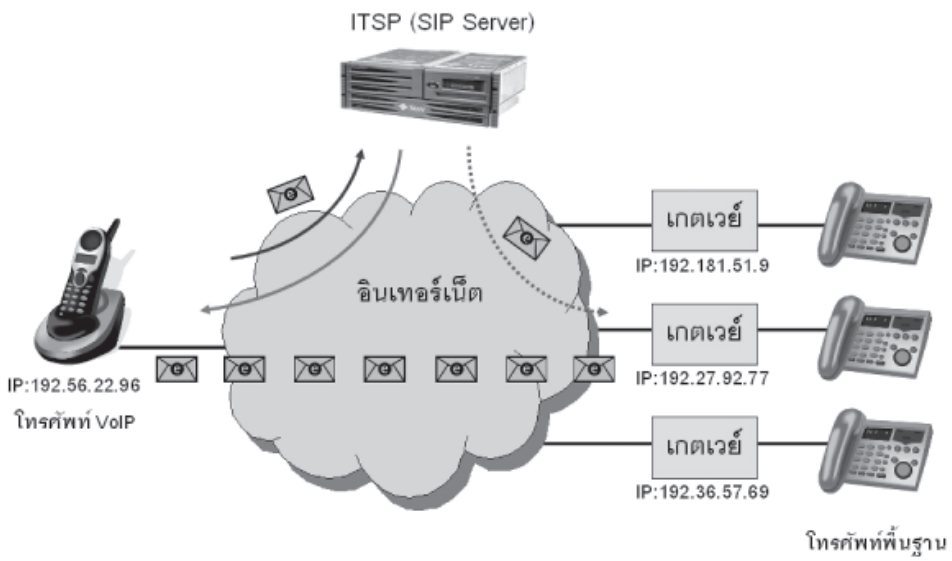
รูปที่ 5 โครงสร้างภายในและการทำงานของ Gatekeeper

กลไกการทำงานของ Gatekeeper เริ่มตั้งแต่เมื่อมีการติดตั้งโทรศัพท์ VoIP เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โทรศัพท์ VoIP จะส่งสัญญาณขอลงทะเบียนไปยังเลขหมาย IP ของอุปกรณ์ Gatekeeper ซึ่งเลขหมายดังกล่าวได้รับการกำหนดโดยผู้ใช้งานหรือผู้ให้บริการผ่านทางเครื่องโทรศัพท์ VoIP นั้นๆ แจ้งให้อุปกรณ์ Gatekeeper ทราบว่าโทรศัพท์เครื่องดังกล่าวมีการใช้เลขหมาย IP ใด เมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้บริการต้องการโทรออก โทรศัพท์ VoIP ก็จะส่งสัญญาณแจ้งไปยังอุปกรณ์ SIP Server พร้อมทั้งระบุเลขหมายโทรศัพท์ปลายทาง ซึ่งในที่นี้สมมุติเป็นการโทรไปยังโทรศัพท์พื้นฐาน SIP Server จะติดต่อกับอุปกรณ์ Gatekeeper เพื่อตรวจสอบเลขหมายโทรศัพท์ปลายทาง พร้อมขอทราบรายชื่อของ Voice Gateway ที่อยู่ใกล้กับเครือข่ายโทรศัพท์ปลายทางที่สุด หลังจากอุปกรณ์ SIP Server ก็จะส่งสัญญาณขอเชื่อมต่อไปยัง Voice Gateway ที่ได้รับเลือกนั้น โดยกำหนดเงื่อนไขทางเทคนิคสำหรับการเชื่อมต่อ เช่น แบนด์วิดท์ และชนิดของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณเสียง รวมถึงหมายเลข IP ของโทรศัพท์ VoIP ต้นทาง พร้อมกันนั้นอุปกรณ์ Gatekeeper ก็จะส่งหมายเลข IP ของ Voice Gateway ปลายทางไปให้กับโทรศัพท์ VoIP ต้นทาง หลังจากนั้นโทรศัพท์ VoIP ก็จะเริ่มส่งแพ็คเกตข้อมูลไปให้กับ Voice Gateway ปลายทางได้โดยตรง ในขณะที่ Voice Gateway ก็จะเริ่มกระบวนการเชื่อมต่อกับเลขหมายโทรศัพท์ปลายทางผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน

การให้บริการ VoIP ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

แม้การให้บริการ VoIP จะสามารถทำได้ทั้งภายในองค์กร หรือระหว่างองค์กร แต่ในเชิงธุรกิจแล้ว การให้บริการ VoIP แบบสาธารณะโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นบริการที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ในทางปฏิบัติผู้ประกอบการที่สนใจเปิดให้บริการ VoIP อาจเลือกที่จะลงทุนเพียงอุปกรณ์ ITSP หรือ SIP Server เพื่อเก็บรวบรวมฐานข้อมูลผู้ใช้บริการ พร้อมทั้งกำหนดคุณภาพของการให้บริการผ่านทางอุปกรณ์ Gatekeeper หรือ Call Server และกำหนดจัดสรรอุปกรณ์ Voice Gateway สำหรับกรณีติดต่อกับเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานซึ่งผู้ประกอบการอาจจะลงทุนสร้างอุปกรณ์ Voice Gateway เอง หรือใช้บริการ Voice Gateway ของผู้ประกอบการหรือเจ้าของเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมรายอื่นๆ ก็ได้ นอกจากนั้นอุปกรณ์ SIP Server มีการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บรายละเอียดการใช้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP เพื่อประโยชน์ในการคิดค่าบริการต่อไป

โทรศัพท์ VoIP จะทำการติดต่อกับ ITSP หรือ SIP Server เพื่อขอใช้บริการเชื่อมต่อ หากอุปกรณ์ SIP Server ทำการตรวจสอบและตัดสินใจยอมให้ใช้บริการ ก็จะทำการกำหนดอุปกรณ์ Voice Gateway ที่เหมาะสมในการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานปลายทาง ทั้งนี้อุปกรณ์เกตเวย์ที่ถูกคัดเลือกจะบันทึกเวลาและรายละเอียดการโทรศัพท์แต่ละครั้ง และเมื่อสิ้นสุดการสนทนาก็จะส่งข้อมูลเหล่านี้กลับไปยังอุปกรณ์ SIP Server ของผู้ประกอบการนั้นๆ เพื่อเรียกเก็บเงินค่าใช้บริการ เนื่องจากในปัจจุบันมีอุปกรณ์ Voice Gateway เชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นจำนวนมาก จึงมีผู้ประกอบการบางรายรับทำธุรกิจให้บริการศูนย์บันทึกข้อมูลการใช้บริการ (Clearing House) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการใช้งาน Voice Gateway แต่ละตัว และแยกแยะรายการใช้งานส่งไปให้กับผู้ประกอบการ SIP Server แต่ละรายรวมถึงการจัดเก็บค่าบริการระหว่างผู้ประกอบการแต่ละราย



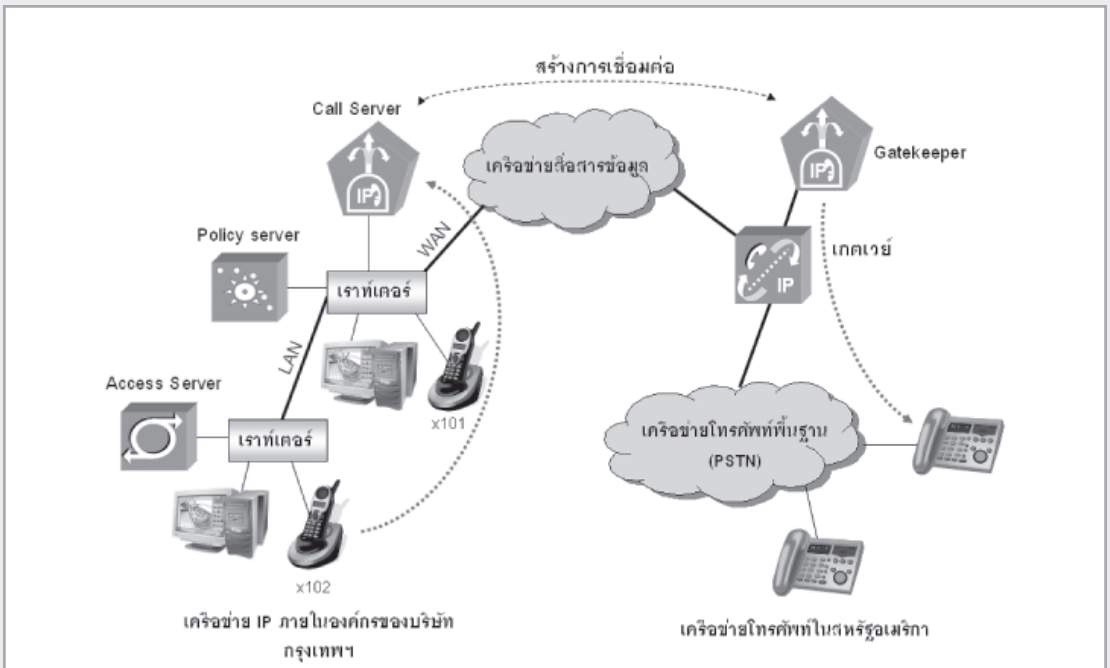
รูปที่ 6 โครงสร้างเครือข่าย VoIP แบบง่ายๆ

โครงสร้างของอุปกรณ์ SIP Server ประกอบด้วย ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลการขอใช้บริการจากเครื่องโทรศัพท์ VoIP ซึ่งในทางปฏิบัติทั้งเครื่อง SIP Server และผู้ใช้บริการอาจมิได้อยู่ในประเทศเดียวกัน แต่สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ถือเป็นการทำลายข้อจำกัดทางด้านภูมิศาสตร์ในการให้บริการอย่างสิ้นเชิง ภายในบรรจุซอฟต์แวร์ที่ใช้เชื่อมต่อและบริหารจัดการวงจรสนทนา นอกจากนั้นอุปกรณ์ SIP Server ทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะ รวมถึงสิทธิ์ในการใช้งานของผู้ใช้บริการอย่างสม่ำเสมอ การบันทึกและบริหารจัดการเพื่อเลือกอุปกรณ์ Voice Gateway ที่เหมาะสมในกรณีที่มีการร้องขอเชื่อมต่อวงจรจากโทรศัพท์ VoIP ของผู้ใช้บริการไปยังเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐาน ตัวอย่างเช่น SIP Server อาจเลือกใช้ Voice Gateway หมายเลข 192.181.51.9 หากพบว่าต้องเชื่อมต่อกับเลขหมายโทรศัพท์ของ Vodafone ประเทศอังกฤษ หรือเชื่อมต่อกับ Voice Gateway หมายเลข 192.36.57.69 เพื่อเชื่อมต่อกับหมายเลขโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 6

นอกจากการให้บริการ VoIP โดยผู้ประกอบการในลักษณะของบริการสาธารณะ องค์กรธุรกิจต่างๆ รวมไปถึงหน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษา ก็สามารถนำบริการ VoIP มาใช้เพื่อลดต้นทุนในการใช้งานเครือข่ายสาธารณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประหยัดค่าใช้บริการสื่อสารทางไกลระหว่างประเทศได้ ตัวอย่างเครือข่าย VoIP สำหรับองค์กรมีแสดงในรูปที่ 7 โดยองค์กรทำการติดตั้งอุปกรณ์ Gatekeeper (หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Call Server) อุปกรณ์ Policy Server และ Access Server เพิ่มเติมลงในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กร ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นเครือข่าย LAN หรือ

Wireless LAN เมื่อมีการติดตั้งเครื่องโทรศัพท์ VoIP เข้ากับเครือข่ายขององค์กรเป็นครั้งแรก โทรศัพท์ดังกล่าวจะทำการขอลงทะเบียนกับอุปกรณ์ Access Server ซึ่งจะกำหนดหมายเลข IP สำหรับใช้อ้างอิงให้กับโทรศัพท์เครื่องนั้นๆ เมื่อพนักงานในองค์กรมีความต้องการใช้โทรศัพท์ VoIP โทรไปยังเลขหมายปลายทาง ซึ่งในที่นี้สมมุติให้เป็นการโทรทางไกลต่างประเทศไปยังเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานในสหรัฐอเมริกา โทรศัพท์ VoIP จะส่งสัญญาณร้องขอเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ Access Server พร้อมกับแจ้งรายละเอียดต่างๆ เช่น เลขหมายปลายทาง

อุปกรณ์ Access Server จะตรวจสอบรายชื่อของ Gatekeeper ในฐานข้อมูล และเลือก Gatekeeper ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อมต่อ พร้อมกับติดต่อกับ Gatekeeper ผ่านทางเครือข่าย WAN ซึ่งต่อเชื่อมไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อกำหนดคุณภาพของการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Voice Gateway ปลายทางที่ Gatekeeper จะเป็นผู้กำหนดเลือกอีกทอดหนึ่ง ขณะเดียวกันอุปกรณ์ Policy Server ภายในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรจะทำการกำหนดระดับความสำคัญ (Priority) ในการให้บริการรับส่งสัญญาณ VoIP ผ่านทางเครือข่าย WAN เข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อรับประกันคุณภาพของสัญญาณเสียง หลังจากนั้นอุปกรณ์ Gatekeeper จะสั่งให้อุปกรณ์ Voice Gateway ส่งสัญญาณกริ่งไปยังเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานปลายทาง หากมีผู้รับสายก็จะสั่งเชื่อมต่อวงจรสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตกลับมายังเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรและต่อไปยังเลขหมายต้นทางในที่สุด โดยส่วนใหญ่จะเรียกการให้บริการในลักษณะนี้ว่า Voice over Data Network



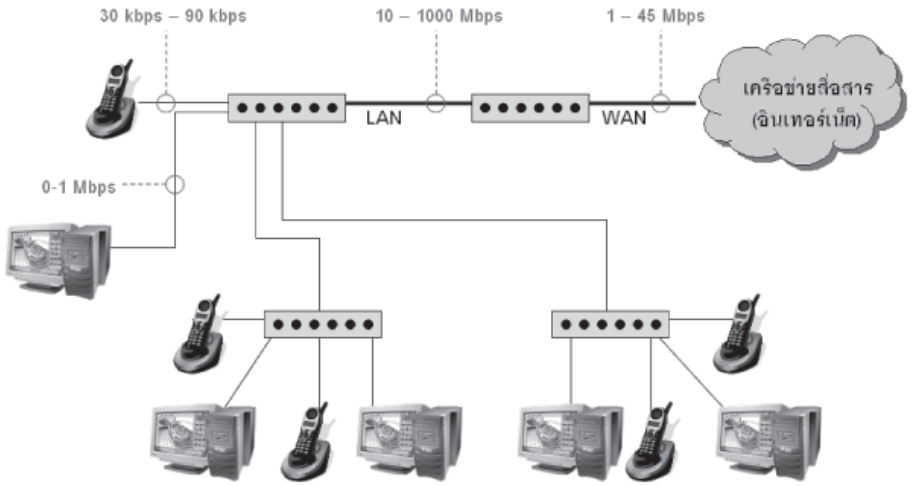
รูปที่ 7 การให้บริการ Voice over Data Network

จะเห็นว่าการใช้บริการ VoIP ไม่ว่าในรูปแบบของบริการเชิงพาณิชย์ หรือการใช้งานภายในองค์กร ล้วนแล้วแต่เป็นการเพิ่มปริมาณข้อมูลแพ็คเกตผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งย่อมมีผลต่อขีดความสามารถในการรองรับข้อมูลของบรรดาอุปกรณ์เชื่อมต่อ (เช่น เราท์เทอร์) ภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั้งสิ้น การเลือกกำหนดรายชื่อของอุปกรณ์ Voice Gateway และการกำหนดเส้นทางรับส่งข้อมูล VoIP ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยอุปกรณ์ SIP Server ของผู้ประกอบการแต่ละราย หรือโดย Call Server ขององค์กรธุรกิจแต่ละแห่งจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและปรับเปลี่ยนให้สัมพันธ์กับสภาพปริมาณข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการสูญหายของแพ็คเกตข้อมูล VoIP ซึ่งเป็นสาเหตุของการลดทอนคุณภาพในการสื่อสาร

ในกรณีของการออกแบบขนาดของเครือข่ายภายในองค์กร ซึ่งมีการใช้งานบริการ VoIP ร่วมกับการรับส่งข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ เช่น อีเมล์ เว็บไซต์ และอื่นๆ นั้น จำเป็นจะต้องคำนวณปริมาณการรับส่งข้อมูลทุกประเภทเพื่อใช้คำนวณความเร็วในการรับส่งข้อมูลของเครือข่าย LAN ภายในองค์กร รวมถึงความเร็วของเครือข่าย WAN ที่เชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เริ่มจากการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารสัญญาณเสียงผ่านแพ็คเกตข้อมูล VoIP ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 14 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 90 กิโลบิตต่อวินาที ขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับคุณภาพในการสนทนา หรือ Quality of Service (QoS) และเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียง ภายใต้ดุลยพินิจของผู้ดูแลระบบเครือข่ายภายในองค์กร มีผลทำให้สามารถเพิ่มและลดแบนด์วิดท์โดยรวมสำหรับการสื่อสารแบบ VoIP ได้ตามความเหมาะสม เรียกเทคนิคชนิดนี้ว่า Soft Capacity

เมื่อทราบขนาดแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับบริการ VoIP แล้ว ผู้ดูแลระบบเครือข่ายสามารถเลือกได้ว่าจะกำหนดแบนด์วิดท์ของเครือข่าย LAN และ WAN ไว้ตายตัวสำหรับจองใช้กับบริการ VoIP โดยใช้โปรโตคอลพิเศษ เช่น Reservation Protocol (RSVP) หรือจะให้ขึ้นอยู่กับการจัดสรรโดยอัตโนมัติของระบบเครือข่ายเอง โดยทั่วไปสำหรับการออกแบบจัดสรรแบนด์วิดท์ของเครือข่าย LAN นั้นมักไม่มีปัญหาเท่าใด เนื่องจากอัตราเร็วสุทธิของเครือข่าย LAN มีค่าสูงมากถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที การปล่อยให้เครือข่ายจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับบริการ VoIP โดยอัตโนมัติยังสามารถควบคุมคุณภาพในการให้บริการได้ดี แต่ในช่วงของการเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย WAN ซึ่งมีอัตราเร็วในการสื่อสารต่ำกว่า (เช่น การเชื่อมต่อโดยใช้คู่สายบรอดแบนด์ ADSL ที่รองรับอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลเพียง 1-2 เมกะบิตต่อวินาที) อาจจำเป็นต้องมีการจองแบนด์วิดท์ให้กับบริการ VoIP เป็นพิเศษ เพื่อรับประกันคุณภาพในการสื่อสารสนทนา

แนวทางการจัดสรรแบนด์วิดท์ของเครือข่ายภายในองค์กร เพื่อให้สามารถรองรับบริการ VoIP พร้อมๆ กับการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ แสดงในรูปที่ 8 ทั้งนี้อุปกรณ์เราท์เทอร์ทั้งหมดทำหน้าที่รองรับการรับส่งแพ็คเกตข้อมูลทั้งที่เป็น VoIP และข้อมูลอื่นๆ เครื่องคอมพิวเตอร์บางเครื่องอาจกำลังดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่ ในขณะที่โทรศัพท์ VoIP บางเครื่องทำการรับส่งข้อมูลสัญญาณเสียงที่มีขนาดแบนด์วิดท์ต่ำๆ เช่น 90 กิโลบิตต่อวินาทีไปบนเครือข่ายเดียวกัน เนื่องจากขนาดของก้อนแพ็คเกตข้อมูลที่กำหนดให้ส่งภายในเครือข่าย LAN มีขนาดใหญ่ได้ถึง 1,500 ไบต์ ในขณะที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุด 100 เมกะบิตต่อวินาที ผู้ดูแลระบบเครือข่ายมักกำหนดให้เราท์เทอร์แบ่งขนาดของไฟล์ข้อมูลลงเป็น



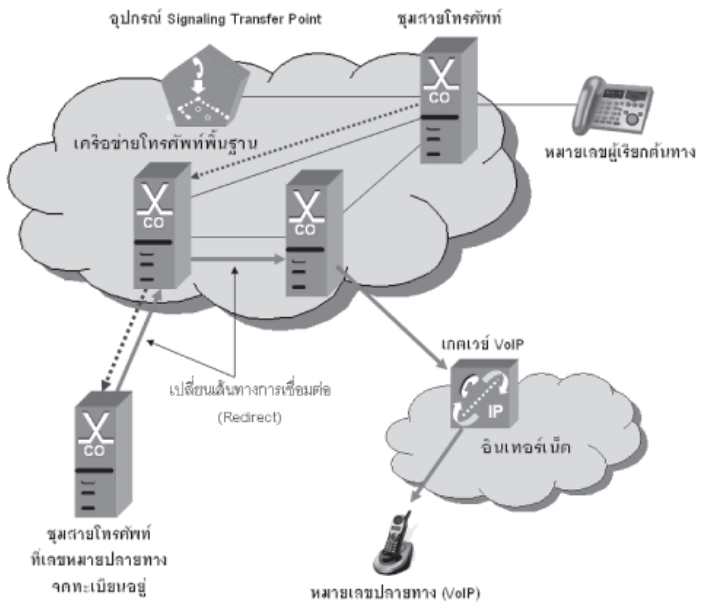
รูปที่ 8 การจัดสรรแบนด์วิดท์ของเครือข่ายสำหรับบริการ VoIP

แพ็คเกตเล็กๆ เท่ากับขนาดของก้อนแพ็คเกต VoIP แล้วจัดสรรจังหวะการรับส่งข้อมูลผ่านเราท์เทอร์ ก็ถือว่าเพียงพอที่จะรักษาคุณภาพของสัญญาณ VoIP

การรับส่งแพ็คเกตข้อมูลไปสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยผ่านทางวงจรสื่อสาร WAN ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าภายในเครือข่าย LAN มักพบปัญหาข้อมูลหนาแน่น ซึ่งในกรณีที่เกิดปัญหาดังกล่าว เราท์เทอร์จะเริ่มกำหนดระดับความสำคัญให้กับแพ็คเกตข้อมูลแต่ละประเภท โดยให้สิทธิ์ในการส่งแพ็คเกตข้อมูล VoIP ก่อนแพ็คเกตข้อมูลชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจมีผลทำให้การรับส่งไฟล์ข้อมูล หรือการใช้งานบริการอินเทอร์เน็ตชนิดอื่นๆ ล่าช้าไปจากปกติ

VoIP กับบริการ Number Portability

ในการให้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP ผู้ใช้บริการย่อมมีความประสงค์ที่จะรับสายเรียกเข้าผ่านทางเครื่องโทรศัพท์ VoIP ของตน และมีความเป็นไปได้สูงมากที่หมายเลขผู้เรียกต้นทางจะเกิดขึ้นในเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ซึ่งมีการใช้ระบบเลขหมาย (Numbering Plan) ตามมาตรฐานสากล จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดเลขหมายโทรศัพท์ตามมาตรฐานสากล ดังเช่นมาตรฐาน E.212 ซึ่งใช้กันอยู่ในเครือข่ายทั่วโลกในปัจจุบันให้กับเลขหมาย VoIP อย่างไรก็ตามการดำเนินการดังกล่าวถือเป็นบริการที่ต้องได้รับความยินยอมจากผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานปลายทางที่ผู้ใช้บริการ VoIP เชื่อมต่ออยู่ด้วย หรือมิฉะนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานก็ย่อมจะต้องมีสัญญาหรือข้อตกลงในการโอนสายเรียกเข้าไปยังอุปกรณ์เกตเวย์ VoIP ที่ให้บริการเลขหมาย VoIP นั้นๆ ซึ่งในกรณีหลังนี้ก็ไม่จำเป็นที่ผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานปลายทาง ผู้ให้บริการเกตเวย์ VoIP และเครือข่ายโทรศัพท์ที่เชื่อมต่ออยู่กับโทรศัพท์ VoIP อยู่ในประเทศเดียวกัน



รูปที่ 9 การใช้บริการ Number Portability เพื่อโอนการใช้งานจากโทรศัพท์พื้นฐานไปสู่โทรศัพท์ VoIP

เทคโนโลยีดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Number Portability ซึ่งผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานปลายทางสามารถจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้โอนสายเรียกเข้าที่มาจากเลขหมายต้นทาง ไม่ว่าจะอยู่ในเครือข่ายใดๆ ให้เปลี่ยนเส้นทางเชื่อมต่อเพื่อผ่านไปยังอุปกรณ์เกตเวย์ เพื่อแปลงสัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM ไปเป็นสัญญาณ VoIP แล้วส่งต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปสู่โทรศัพท์ VoIP ปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งถือเป็นการทำลายข้อจำกัดในด้านของพรมแดนทางภูมิศาสตร์ของการให้บริการเครือข่ายสื่อสารระดับประเทศ หากผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานปลายทางมีการทำข้อตกลงกับผู้ให้บริการ VoIP หลายๆ ราย ก็จะเกิดผลดีต่อผู้ใช้บริการที่จะตัดสินเปลี่ยนผู้ให้บริการโทรศัพท์ VoIP ตามเงื่อนไขราคาและคุณภาพบริการ โดยยังคงสามารถใช้เลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานตามมาตรฐานสากลหมายเลขเดิมได้ดังเดิม

อย่างไรก็ตามการให้บริการ Number Portability ที่แสดงในรูปที่ 9 ยังคงเป็นแบบพื้นฐาน กล่าวคือ ยังต้องมีการเชื่อมต่อวงจรผ่านชุมสายโทรศัพท์พื้นฐานปลายทาง ก่อนที่จะเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์เกตเวย์ ซึ่งแม้จะง่ายต่อการดูแลและจัดการของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ปลายทาง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องปรับฐานข้อมูลของเครือข่ายโทรศัพท์อื่นๆ ให้รับรู้การเปลี่ยนแปลงเส้นทางดังกล่าว แต่ก็ทำให้เกิดการเปลืองช่องสัญญาณที่เชื่อมต่อเข้าและออกจากชุมสายโทรศัพท์ปลายทางโดยไม่จำเป็น การเปิดให้บริการ Number Portability เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์เข้าสู่อุปกรณ์เกตเวย์โดยตรง จำเป็นจะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนเส้นทางให้กับเครือข่ายโทรศัพท์ทั้งหมดได้รับทราบ ซึ่งชุมสายโทรศัพท์ของเครือข่ายปลายทางจะต้องมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Signaling Transfer Point

(STP) ซึ่งดูแลระบบสัญญาณของเครือข่ายโทรศัพท์โดยรวมทั้งหมด ให้รับทราบและปรับเส้นทางการเชื่อมต่อไปสู่อุปกรณ์เกตเวย์โดยตรง

การรับประกันคุณภาพและความปลอดภัยในการสื่อสารผ่านเครือข่าย VoIP

เนื่องจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานได้รับการออกแบบให้มีการรับประกันคุณภาพของสัญญาณเสียง (Audio Quality) ด้วยการกำหนดแบนด์วิดท์ตายตัวให้กับวงจรสื่อสารตลอดเส้นทางตั้งแต่เครื่องโทรศัพท์ต้นทางผ่านระบบเครือข่ายจนถึงโทรศัพท์ปลายทาง อีกทั้งยังมีมาตรการรักษาความปลอดภัย (Security) ให้กับการสื่อสารที่ดีในระดับหนึ่ง รวมถึงการควบคุมดูแลเสถียรภาพของระบบเครือข่ายโดยรวม (Reliability) เพื่อที่จะสามารถให้บริการเชื่อมต่อวงจรสนทนาได้ตลอดเวลา ดังนั้นในการเปิดให้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP ก็จะต้องมีมาตรการในการรับประกันคุณภาพในลักษณะเดียวหรือใกล้เคียงกัน ดังนี้

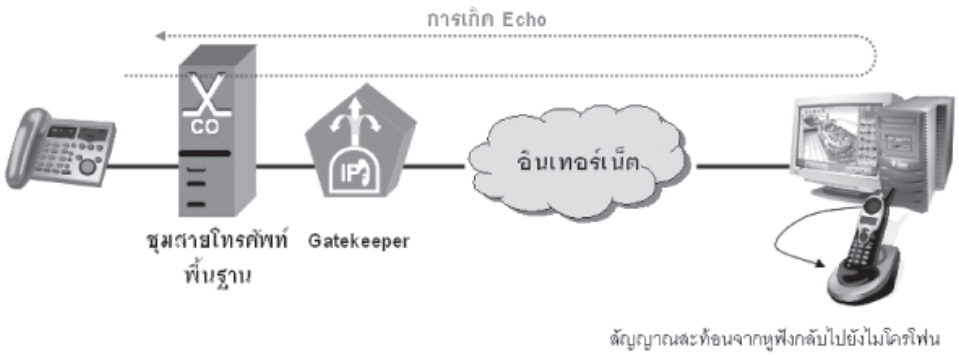
การรับประกันคุณภาพเสียง

เนื่องจากการกำหนดระดับความพึงพอใจในคุณภาพของการสนทนา ขึ้นอยู่กับมุมมองและทัศนคติของผู้ใช้บริการ จึงมีการกำหนดเป็นมาตรฐานสากลขึ้น เรียกว่า MOS (Mean Opinion Score) โดยให้กลุ่มผู้ทดสอบให้คะแนนเป็นรายบุคคลเพื่อหาค่าเฉลี่ย MOS มีค่าตั้งแต่ 1 (คุณภาพเสียงแย่ที่สุด) จนถึง 5 (คุณภาพดีที่สุด) สำหรับบริการโทรศัพท์พื้นฐานที่ถือว่ามีระดับคุณภาพเสียงดีส่วนใหญ่จะมีค่า MOS เท่ากับ 4.0 เรียกกันว่าเป็นคุณภาพระดับ toll quality

บริการโทรศัพท์ VoIP สามารถให้บริการสื่อสารด้วยคุณภาพเทียบเท่ากับ Toll Quality หรืออาจจะมากกว่าได้ในบางพื้นที่ทั้งนี้ผู้ให้บริการสามารถกำหนดได้ว่าจะใช้มาตรฐานแปลงสัญญาณเสียงเป็นข้อมูลดิจิตอล แบบเดียวกับที่ใช้ในเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (ซึ่งก็คือมาตรฐาน PCM) หรือจะใช้มาตรฐานการเข้ารหัสแบบบีบอัด ขึ้นอยู่กับคาดคะเนหรือประเมินคุณภาพของวงจรสื่อสารที่มีแนวโน้มจะส่งแพ็คเกตข้อมูล VoIP ผ่านไป หากคุณภาพของวงจรหรือเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้เป็นประจำอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือไม่มีการหน่วงเวลาข้อมูล โอกาสที่ข้อมูลเกิดความผิดพลาดหรือสูญหายน้อยมากก็อาจเลือกใช้การเข้ารหัสแบบ PCM เช่นเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐาน แต่หากไม่แน่ใจในคุณภาพของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ก็อาจเลือกใช้การเข้ารหัสแบบบีบอัด ซึ่งผลที่ได้ทั้งสองกรณีโดยส่วนใหญ่จะทำให้คุณภาพของการสนทนาผ่านเครือข่าย VoIP เทียบเท่าหรือดีกว่าคุณภาพระดับ Toll Quality

นอกจากการเลือกมาตรฐานการเข้ารหัสข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิตอลตามความเหมาะสมของเครือข่ายที่ใช้งานแล้ว ผู้ให้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP ย่อมต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากการปรากฏการณ์เอ็คโค่ (Echo) ซึ่งเกิดจากการสะท้อนกลับของสัญญาณเสียงพูดที่ส่งไปถึงเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง อันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของวงจรสื่อสาร ทำให้สัญญาณเสียงพูดของผู้ใช้งานต้นทางย้อนกลับมาหาตนเองอีกครั้ง ด้วยระดับความแรงที่ลดต่ำลงมากๆ และมีเวลาหน่วงเนื่องจากการเดินทางไปและย้อนกลับมาตามวงจรสื่อสาร ซึ่งเหตุการณ์ลักษณะเดียวกันก็เกิดขึ้นกับคู่สนทนาปลายทางเช่นเดียวกัน บางครั้งระดับความแรงของเอ็คโค่ที่มากเกินไปหรือการเวลาที่หน่วงมากเกินไปก็ทำให้คู่สนทนาเกิดความรำคาญและลดประสิทธิภาพในการใช้โทรศัพท์สนทนาได้ เป็นเหตุการณ์ที่พบมากในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน

การใช้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP หากผู้ใช้บริการต้องการติดต่อกับเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐาน ความไม่สมบูรณ์ของคู่สายโทรศัพท์พื้นฐานก็ย่อมทำให้เกิดปรากฏการณ์เอ็คโค่ต่อผู้ใช้โทรศัพท์

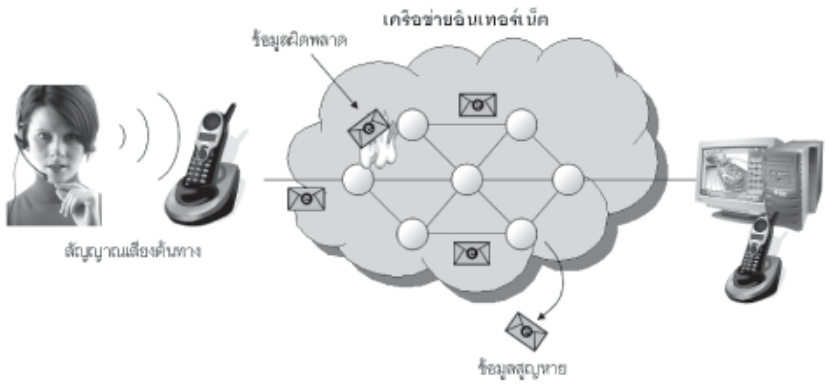


รูปที่ 10 การเกิดปรากฏการณ์เอ็คโค่จากการใช้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP

VoIP ได้เช่นเดียวกัน ยิ่งหากผู้ใช้โทรศัพท์พื้นฐานทำการสนทนาพร้อมกับเปิดระบบ Speaker Phone สัญญาณเสียงของผู้พูดต้นทางที่ดังออกจากลำโพงจะสะท้อนกลับไปสู่ไมโครโฟน และย้อนกลับมายังเครื่องโทรศัพท์ VoIP นอกจากนั้น การสื่อสารแพ็คเกต VoIP ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็มักจะมีการหน่วงเวลาอยู่ระดับหนึ่งโดยธรรมชาติ ทำให้สัญญาณเอ็คโค่มีการหน่วงเวลามากขึ้นก่อนที่จะย้อนกลับมายังโทรศัพท์ VoIP ยิ่งเป็นการรบกวนคุณภาพในการสนทนามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10

ทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวเป็นหน้าที่ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่จะติดตั้งอุปกรณ์กำจัดสัญญาณเอ็คโค่ซึ่งชื่อเรียกเป็นทางการว่า Echo Canceller ปัจจุบันต้นทุนของอุปกรณ์ Echo Canceller ลดต่ำลงมาก บางครั้งมีการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีขนาดเล็กลงและนำไปติดตั้งไว้ภายในตัวเครื่องโทรศัพท์ VoIP เป็นการแก้ไขปัญหาเอ็คโค่โดยตัวเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เอง

นอกจากปัญหาในเรื่องของเอ็คโค่แล้ว สิ่งที่ผู้ให้บริการโทรศัพท์ VoIP ต้องพบก็คือการผิดเพี้ยนของสัญญาณเสียง อันเนื่องมาจากการส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นปัญหาที่ส่วนใหญ่ไม่สามารถระบุต้นตอหรือแหล่งที่มาให้แน่ชัดได้ เนื่องจากความซับซ้อนของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเอง แต่ก็พอที่จะระบุคร่าวๆ ได้ว่าปัญหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณเกิดจากการสูญหายของแพ็คเกต VoIP ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลในแพ็คเกต VoIP และยังอาจเกิดจากเอ็คโค่เองด้วย รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 11 การสูญหายของแพ็คเกต VoIP เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น อุปกรณ์เราท์เทอร์ระหว่างทางตัวใดตัวหนึ่งทำงานหนักเกินไปจนไม่สามารถรับส่งแพ็คเกตก้อนนั้นๆ ได้ หรือวงจรสื่อสารส่วนหนึ่งภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตถูกทำลาย แม้โดยธรรมชาติของการรับส่งแพ็คเกตที่บรรจุข้อมูลเสียงจะไม่มีการขอส่งซ้ำเนื่องจากจะทำให้เสียเวลา แต่เนื่องจากโอกาสที่แพ็คเกตข้อมูลจะสูญหายมีไม่มากนัก ประกอบกับการเข้ารหัสข้อมูล VoIP ทำให้อุปกรณ์ Voice Gateway หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์ VoIP สามารถสร้างข้อมูลแพ็คเกตที่หายไปได้จากรหัสที่ปรากฏในแพกเก็ตก้อนก่อนหน้า และแม้จะไม่สามารถสร้างแพกเก็ตกลับคืนได้ การสูญหายเพียงเล็กน้อยนี้โดยส่วนใหญ่ก็เป็นสัญญาณเสียงไม่กี่มิลลิวินาที ซึ่งหูของมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ จึงไม่มีผลต่อการสื่อสารเท่าไรนัก



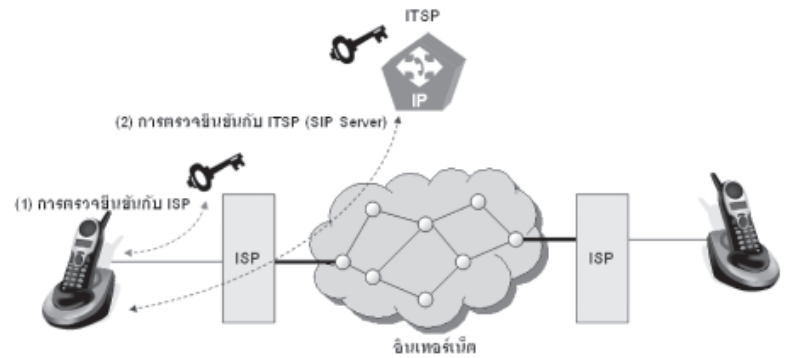
รูปที่ 11 สาเหตุการเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณเสียง

ประเด็นต่อมาก็คือ ความผิดพลาดของข้อมูลภายในแพ็คเกตที่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการส่งแพ็คเกตผ่านวงจรสื่อสารที่มีคุณภาพไม่ดี หรือมีสัญญาณรบกวนสูงจนทำให้บิตข้อมูลบางส่วนภายในก้อนแพ็คเกตมีค่าผิดพลาดไป โดยทั่วไปมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณจะช่วยแก้ไขความผิดพลาดเหล่านี้ได้ในระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความรุนแรงที่เกิดจากสัญญาณรบกวนนั้นมีผลกับบิตข้อมูลภายในแพ็คเกตมากน้อยเพียงใด และมีจำนวนแพ็คเกตที่ได้รับผลกระทบนี้มากหรือไม่ หากไม่สามารถแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลได้ทั้งหมดอาจจะส่งผลให้เกิดสัญญาณเสียงแปลกปลอม หรือทำให้เสียงสนทนาผิดเพี้ยนไป เรียกสัญญาณเสียงที่ผิดเพี้ยนนี้ว่า Warble ปัญหาที่เกิดจากเอ็คโค่ซึ่งบางกรณีอาจส่งผลให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ แก้ไขโดยการติดตั้ง Echo Canceller ที่เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวที่ Voice Gateway ได้อีกด้วย ซึ่งย่อมมีผลทำให้ต้นทุนประกอบการเพิ่มมากขึ้น และส่งผลต่อโครงสร้างราคาของการให้บริการในระดับหนึ่ง

การรักษาความปลอดภัย

มาตรการในการรักษาความปลอดภัยให้กับผู้ใช้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP มีอยู่หลายระดับชั้น ระดับพื้นฐานที่สุดก็คือการระวังความปลอดภัยอันเกิดจากการลักลอบเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายโดยบุคคลที่สาม ซึ่งอาจมิได้เป็นผู้ใช้บริการ VoIP ที่ทำสัญญาใช้บริการอย่างถูกต้อง รูปที่ 13 แสดงจุดเชื่อมต่อทางกายภาพ (Physical Interface) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการใช้บริการ VoIP จุดที่มีความเสี่ยงต่อการถูกลักลอบใช้งานมากที่สุดก็คือที่ตัวผู้ใช้บริการเองซึ่งในกรณีที่มีการติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN ตามบ้านพักอาศัย อาจมีบุคคลที่สามซึ่งอาจเป็นเพื่อนบ้านข้างเคียง ลักลอบใช้สัญญาณคลื่นวิทยุจากเครือข่ายเพื่อเชื่อมต่อโทรศัพท์ VoIP และมีความเป็นไปได้ที่จะลักลอบดักฟังการสนทนาโดยใช้ซอฟต์แวร์มาตรฐานทั่วๆ ไปที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด ในกรณีนี้ผู้ใช้บริการจำเป็นจะต้องกำหนดให้อุปกรณ์ Wireless LAN Access Point ทำการเข้ารหัสข้อมูล หรือปิดกั้นมิให้บุคคลที่สามลักลอบเข้ามาจับใช้สัญญาณ การลักลอบใช้งานอาจเกิดขึ้นในลักษณะของการพ่วงคู่สายโทรศัพท์ ซึ่งมีความ

รูปที่ 12 แสดงจุดเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานโทรศัพท์ VoIP



รูปที่ 13 กระบวนการตรวจยืนยันผู้ใช้งาน ก่อนเริ่มต้นใช้บริการโทรศัพท์ VoIP

ลำบากมากกว่าการลักลอบใช้งานในกรณีแรก นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะมีบุคคลที่สาม ซึ่งเชี่ยวชาญด้านซอฟต์แวร์ ลักลอบปลอมแปลงแพ็คเกต VoIP ที่รับส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อปลอมตัวเป็นผู้ใช้บริการ VoIP รายใดรายหนึ่งได้

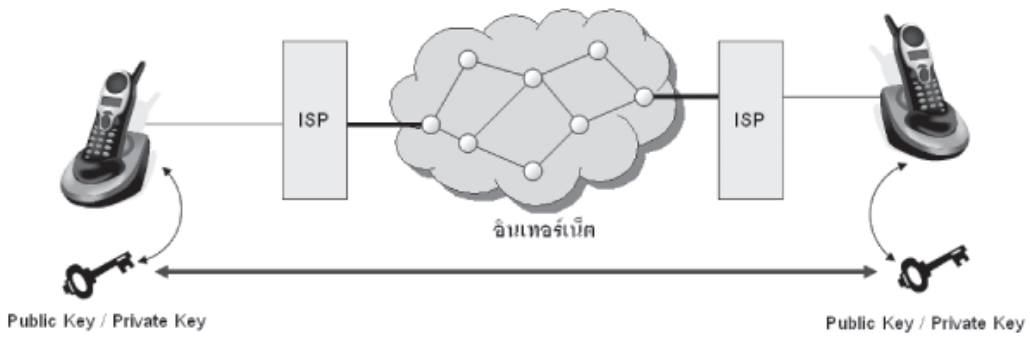
มาตรการป้องกันและรักษาความปลอดภัยในการใช้บริการโทรศัพท์ VoIP ขั้นแรกสุดคือ การกำหนดกลไกตรวจยืนยันผู้ใช้งาน (Authentication) ซึ่งกำหนดให้โทรศัพท์ VoIP ที่มีการลงทะเบียนใช้งานกับ SIP Server (หรือ ITSP) แล้ว จะต้องส่งรหัสยืนยันตัวตนเพื่อให้อุปกรณ์ SIP Server ทำการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 13 ในทางปฏิบัติการตรวจยืนยันผู้ใช้งานอาจประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ การตรวจยืนยันกับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISP) โดยการป้อนรหัสล็อคอินและรหัสผ่าน ซึ่งอาจจะเป็นขั้นตอนของการเชื่อมต่อโมเด็ม หรือการโปรแกรมรหัสเหล่านี้ในอุปกรณ์ ADSL Router ในกรณีของการเชื่อมต่อแบบบรอดแบนด์ เป็นการตรวจสอบอย่างง่ายๆ และขั้นตอนที่ 2 เครื่องโทรศัพท์ VoIP จะส่งรหัสประจำตัวที่มีการลงทะเบียนไว้แล้วไปให้กับ SIP Server ซึ่งอาจมีการกำหนดทั้งรหัสประจำตัวและรหัสผ่าน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการให้บริการของ SIP Server แต่ละราย

นอกจากการแสดงตัวตนและตรวจยืนยันการใช้งานแล้ว เครื่องโทรศัพท์ VoIP บางรุ่นอาจมีขีดความสามารถในการเข้ารหัส (Encryption) ข้อมูลเสียงในรูปแพ็คเกตก่อนที่จะส่งผ่านเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้กลไกในการเข้ารหัสข้อมูลจะถูกควบคุมรูปแบบโดยกุญแจเข้ารหัส ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบ Public Key ซึ่งเครื่องโทรศัพท์ VoIP ทั้งคู่จะร้องขอและได้รับจากผู้ให้บริการ VoIP ของตนเองสำหรับใช้ในการโทรศัพท์แต่ละครั้ง ในกรณีที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้ SIP Server ต่างกัน ก็อาจไม่สามารถร้องขอ Public Key ได้ นอกจากว่าผู้ให้บริการ SIP Server ทั้งสองรายนั้นมีการตกลงร่วมกันในการแลกเปลี่ยนกุญแจกันได้ นอกจากนั้นยังมีรูปแบบการใช้กุญแจเข้ารหัสแบบ Private Key ซึ่งเป็นรหัสที่บรรจุอยู่ในเครื่องโทรศัพท์ VoIP อยู่ตายตัว ก่อนที่จะมีการรับส่งแพ็คเกตข้อมูลเสียงกันโทรศัพท์ VoIP ทั้งสองก็จะทำการแลกเปลี่ยนกุญแจ Private Key กัน เพื่อให้ต่างฝ่ายต่างสามารถเข้ารหัสและถอดรหัสแพ็คเกต VoIP ได้อย่างถูกต้อง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 14

การควบคุมเสถียรภาพในการให้บริการ

การควบคุมดูแลเสถียรภาพในการให้บริการ VoIP หมายถึงการรักษามาตรฐานในการบริการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบ VoIP ให้คงที่ แม้ว่าสภาพแวดล้อมของเครือข่ายหรือปริมาณการขอใช้งานจะมีความเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปมีการกำหนดหน่วยวัดสำหรับระบุเสถียรภาพของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับบริการ VoIP เรียกว่า ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการหยุดทำงานแต่ละครั้ง (Mean Time Between Failure หรือ MTBF) MTBF ของอุปกรณ์ใดมีค่าสูงแสดงว่าอุปกรณ์นั้นมีเสถียรภาพในการให้บริการที่สูงมาก หรือหมายถึงนานครั้งที่จะมีปัญหาจนอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้

โดยทั่วไประดับเสถียรภาพของเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานมักได้รับการออกแบบให้มีค่าสูงถึง 99.999% ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถรองรับการเชื่อมต่อได้แม้ในยามฉุกเฉิน สำหรับบริการโทรศัพท์แบบ VoIP นั้น ระดับเสถียรภาพในการให้บริการขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ประการ ประการแรกคือความเที่ยงตรงของเครื่องลูกข่าย (Access Device

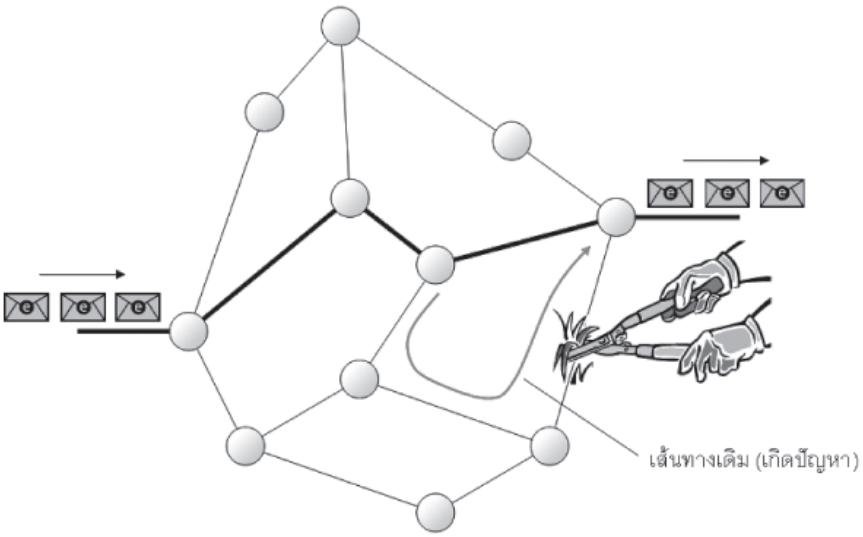


รูปที่ 14 การเข้ารหัสเสียงโดยใช้ Public Key และ Private Key

รูปที่ 15 ความเที่ยงตรงในการให้บริการ VoIP ที่เกิดจากเครื่องลูกข่าย

Reliability) ซึ่งบางครั้งอาจมิใช่โทรศัพท์แบบ VoIP แต่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม VoIP ในทางปฏิบัติเครื่องคอมพิวเตอร์เหล่านี้สามารถให้บริการแปลงสัญญาณเสียงไปเป็นแพ็คเกตดิจิตอล และควบคุมดูแลการเชื่อมต่อวงจรโทรศัพท์ได้ตลอดเวลา บางครั้งหากมีการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์มากเกินไป เช่น ผู้ใช้บริการเรียกใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลต่างๆ หรือมีการใช้บริการอินเทอร์เน็ตไปพร้อมๆ กับการใช้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP ก็อาจมีผลต่อการประมวลผลสัญญาณเสียง ดังแสดงในรูปที่ 15 ทำให้ความเที่ยงตรงของเครื่องลูกข่ายลดลง สามารถแก้ปัญหาโดยปิดซอฟต์แวร์ที่ไม่จำเป็นในระหว่างใช้บริการโทรศัพท์ VoIP นอกจากนั้นอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ เช่น โมเด็ม หรือ ADSL Router อาจเกิดปัญหาการเชื่อมต่อระหว่างทำงาน ซึ่งแก้ปัญหาได้โดยการปิดเปิดสวิทช์อุปกรณ์เชื่อมต่อเหล่านี้ หรือเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงในการทำงานดีขึ้น

บางครั้งความเที่ยงตรงของเครือข่ายสื่อสารข้อมูล (Data Network Reliability) ที่ใช้รับส่งสัญญาณ VoIP โดยเฉพาะในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของการให้บริการ VoIP ความเที่ยงตรงของเครือข่ายหมายถึงความสามารถในการรับส่งแพ็คเกตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการสะดุดหรือเกิดความเสียหายใดๆ กับแพ็คเกตข้อมูล ในกรณีของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งได้รับการออกแบบให้มีความสามารถในการปรับเลือกเส้นทางการสื่อสารใหม่ได้เรื่อยๆ โดยพิจารณาจากคุณภาพในการสื่อสารแพ็คเกตข้อมูล การใช้รับส่งแพ็คเกต VoIP จะได้รับการดูแลโดยกลไกการทำงานนี้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้อุปกรณ์เราท์เทอร์ที่เชื่อมต่อกันภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อทั้งหมดพร้อมกับความสามารถในการเปลี่ยนเส้นส่งแพ็คเกตข้อมูลทันทีที่วงจรเส้นทางเดิมเกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 16 ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากความเที่ยงตรงของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต น่าจะเกิดจากความหนาแน่นของปริมาณแพ็คเกตข้อมูลที่เกิดขึ้นกับเราท์เทอร์หรือวงจรเชื่อมต่อส่วนใดส่วนหนึ่งในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าต่อการรับส่งแพ็คเกตข้อมูล

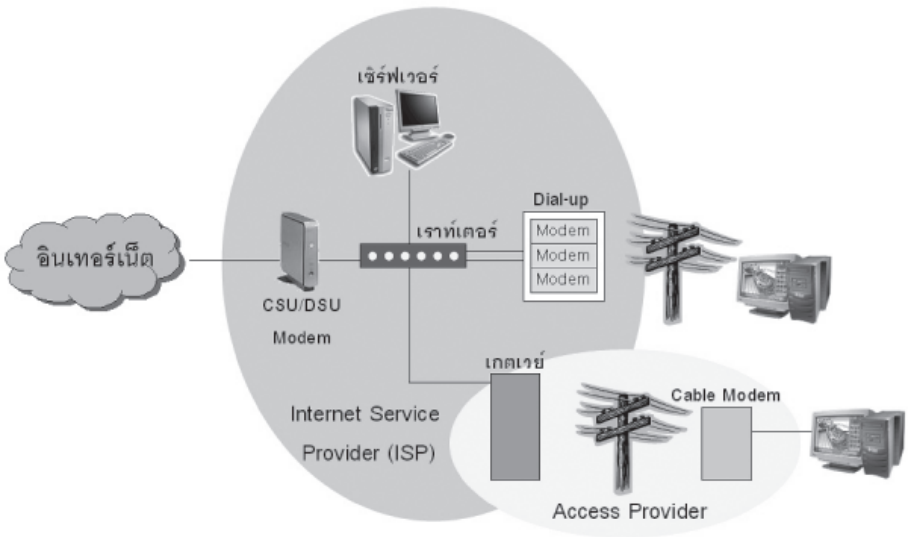


รูปที่ 16 ความเที่ยงตรงในการให้บริการ VoIP ที่เกิดจากเครือข่ายสื่อสาร

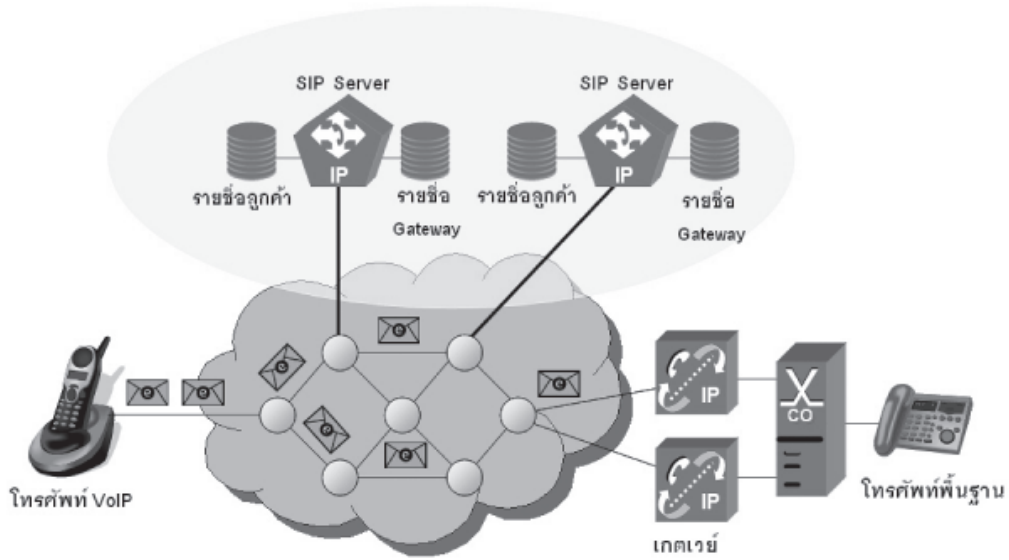
อันเนื่องมาจากการเข้าคิวรอส่งข้อมูล ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะได้รับการแก้ไขรวดเร็วเพียงใด ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการปรับเปลี่ยนเส้นทางการสื่อสารของอุปกรณ์เราท์เทอร์ และความสามารถของ Call Server หรือ SIP Server ที่จะตรวจพบปัญหาดังกล่าว

ความเที่ยงตรงของการเชื่อมต่อ (Data Connection Reliability) ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งต่อบริการโทรศัพท์แบบ VoIP โดยหมายถึงการเชื่อมต่อจากที่พักอาศัยไปสู่ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต และจากเครือข่ายของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตผ่านเข้าสู่จุดเชื่อมต่อของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ดังแสดงในรูปที่ 17 ไม่ว่าการเชื่อมต่อจากเครือข่ายของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตไปสู่ผู้ใช้บริการ จะเป็นการเชื่อมต่อแบบ ADSL แบบโมเด็มมาตรฐาน หรือแบบ Cable Modem ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตจะต้องรักษาความเที่ยงตรงในการเชื่อมต่อให้สูงที่สุด ไม่ว่าจะเป็นอัตราความเร็วในการเชื่อมต่อ อัตราการเกิดสัญญาณรบกวนและความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งในทางปฏิบัติคุณภาพในการเชื่อมต่อย่อมได้รับผลกระทบจากระยะทางของคู่สายโทรศัพท์ไปสู่ที่พักอาศัยของผู้ใช้บริการ และคุณภาพของคู่สาย ในหลายๆ กรณีปัญหาคุณภาพที่เกิดจากสัญญาณอาจส่งผลถึงขั้นทำให้คู่สายเชื่อมต่อหลุดและต้องมีการร้องขอเชื่อมต่อใหม่ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อบริการ VoIP

นอกจากนั้น การออกแบบขนาดของวงจรเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตไปสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็มีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงและคุณภาพในการให้บริการโทรศัพท์แบบ VoIP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการคำนวณขนาดของวงจรเชื่อมต่อและจุดเชื่อมต่อว่าจะต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยตรง หรือต้องเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายของผู้ประกอบการรายอื่นก่อน รวมถึงการจัดแบ่งปริมาณข้อมูลไปตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อหลายจุดกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 17 ความเที่ยงตรงในการให้บริการ VoIP ที่เกิดจากการเชื่อมต่อเครือข่าย



รูปที่ 18 ความเที่ยงตรงในการให้บริการ VoIP ที่เกิดจากการออกแบบอุปกรณ์ SIP Server

ปัจจัยประการสุดท้ายที่มีผลต่อคุณภาพและเสถียรภาพของการให้บริการ VoIP ก็คือ ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ Call Server หรือ SIP Server (Call Server Reliability) ที่ให้บริการเชื่อมต่อและบริหารจัดการวงจรสื่อสารแบบ VoIP ซึ่งครอบคลุมถึงความสามารถในการเลือกและจัดการอุปกรณ์ Voice Gateway ต่างๆ เพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพในการให้บริการ อุปกรณ์ SIP Server ส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบให้มีสถาปัตยกรรมระบบเป็นแบบ Redundant คือ มีเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ 2 ชุด ทำงานแทนกันได้ มีการปรับปรุงฐานข้อมูลรายชื่อของ Voice Gateway และเลือกใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล เพื่อลดความเสี่ยงที่ระบบทำงานผิดพลาด

รูปที่ 18 แสดงถึงส่วนประกอบสำคัญภายใน SIP Server ของผู้ให้บริการ VoIP ในการที่จะให้บริการเชื่อมต่อโทรศัพท์แบบ VoIP ได้อย่างต่อเนื่องและเที่ยงตรง จากรูปจะเห็นว่าผู้ให้บริการทำการติดตั้ง SIP Server ซึ่งสามารถทำหน้าที่แทนกันได้ไว้ในสถานที่ 2 แห่ง ซึ่งอาจอยู่ห่างไกลกันเพื่อป้องกันปัญหาทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้น เช่น ไฟไหม้ หรือถูกวินาศกรรม SIP Server แต่ละชุดมีการบันทึกฐานข้อมูลผู้ใช้บริการและรายชื่อของ Voice Gateway ที่มีสนธิสัญญาการให้บริการร่วมกัน โดย SIP Server ทั้ง 2 แห่งจะมีการปรับแต่งฐานข้อมูลระหว่างกันอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า SIP Server ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่แทนอีกตัวหนึ่งได้ในทันทีที่เกิดปัญหาขัดข้องใดๆ ขึ้น ส่งผลให้เกิดความต่อเนื่องในการให้บริการ

นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงแล้ว การวางแผนบริการใหม่ๆ ของผู้ประกอบการ VoIP ก็อาจทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อเสถียรภาพในการให้บริการได้ เช่น บริการใหม่บางชนิดทำให้อุปกรณ์ SIP Server ทำงานหนักมากขึ้น หรือทำให้มีปริมาณแพ็คเกต VoIP เกิดขึ้นในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมากกว่าเดิม ฯลฯ ผู้ให้บริการ VoIP จึงจำเป็นจะต้องศึกษาผลกระทบและกำหนดมาตรการในการรักษาคุณภาพและเสถียรภาพของการให้บริการต่อไป ◎

Overview of Technology in Industry Convergence Era

นายวิจิตร เพิ่มเพียรเกียรติ ผู้จัดการส่วนงาน ฟิวเจอร์แลป
นายธนิตย์ ชัยบุญธนิตย์ ผู้จัดการส่วนงานค้นคว้าทางเทคนิค
บมจ. แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส

คำนำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้าน Internet และโทรศัพท์มือถือในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาถือเป็นประวัติศาสตร์สำคัญทั้งด้านธุรกิจและการวิจัยพัฒนาเนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวทำให้ธุรกิจมีการขยายตัว เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Value Chain ของธุรกิจ และอื่นๆ อีกนับไม่ถ้วน ปัจจุบันเรากำลังก้าวสู่ยุคที่การสื่อสารไร้สายสามารถส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็วสูง ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเครือข่ายที่เป็นมาตรฐาน IP (Internet Protocol) อุปกรณ์สื่อสาร เช่น มือถือและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการประมวลผลและความจุสูง ในบางกรณีเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความบันเทิง เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของสมรภูมิแข่งขันทางธุรกิจหลังเกิด Internet และมือถือ เราก็สามารถคาดได้ถึงการแข่งขันในยุคใหม่ที่หลายธุรกิจจะต้องร่วมกันหาประโยชน์และเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสินค้า วิธีการให้บริการ และการจัดจำหน่าย เช่น ผู้ผลิตเครื่องเล่น CD ที่มี

บทบาทสำคัญใน Value Chain ของธุรกิจเพลง อาจเปลี่ยนเป็นผู้ผลิตมือถือที่มีความสามารถในการเล่นเพลงและเป็นอุปกรณ์สื่อสารในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นยุคที่เราจะเรียกว่า Industry Convergence

ดังนั้น การเข้าใจ Industry Convergence จึงมีส่วนสำคัญในการปรับตัวเพื่อประโยชน์ในการแข่งขันทางธุรกิจ ในบทความนี้ผู้เขียนมีความประสงค์ที่จะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในยุค Industry Convergence โดยจะกล่าวถึงเทคโนโลยีของผู้ที่จะเข้ามามีบทบาทในการให้บริการในยุคนี้ เช่น เทคโนโลยีเครือข่าย (เช่น SIP, 3GPP) และอุปกรณ์สื่อสาร (เช่น ระบบปฏิบัติการ Symbian ระบบ Java) ที่ตอบรับกับการเข้ามาของ Convergence และหวังว่าผู้อ่านจะได้ความรู้ในภาพกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยีในยุคนี้

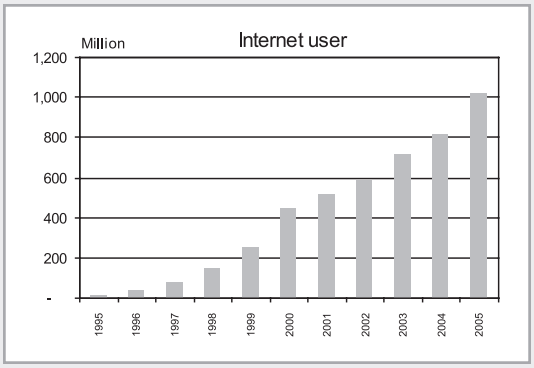
1. ปัจจัยขับเคลื่อน Industry Convergence

1.1 การเติบโตของ Internet และโทรศัพท์มือถือ

หากเรามองย้อนไปในอดีตและพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสำคัญของโลกธุรกิจที่เกิดจากเทคโนโลยี จุดเปลี่ยนแปลงสำคัญในทศวรรษที่ 80 และ 90 คือ

<u>การเติบโตของ Internet</u>

บทบาทสำคัญของเทคโนโลยี IP หรือเรียกกันทั่วไปว่า Internet คือ การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในเครือข่าย ซึ่งการเชื่อมต่อดังกล่าวทำให้ Value Chain ในธุรกิจเปลี่ยนไป เช่น การเกิดขึ้นของ e-Bay (การประมูลโดยไม่ผ่านคนกลาง), i-tune (Website ขายเพลงผ่าน Internet ตรงไปยังผู้ซื้อ), Google (Website Search ซึ่งมีรายได้จากการโฆษณา) เหล่านี้ล้วนเป็นตัวอย่างที่สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนไปของรูปแบบและการแข่งขันทางการค้า ซึ่งอาจสรุปได้อย่างง่าย 2 ข้อ



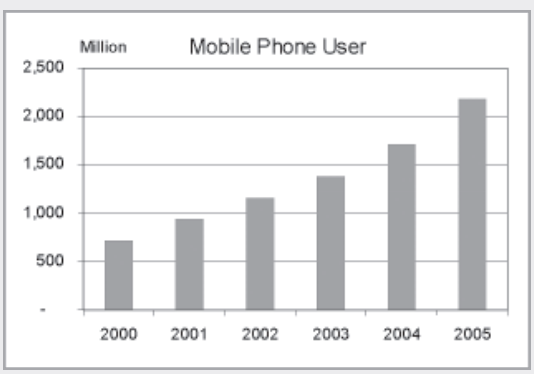
1. โลกาภิวัตน์ (Globalization)

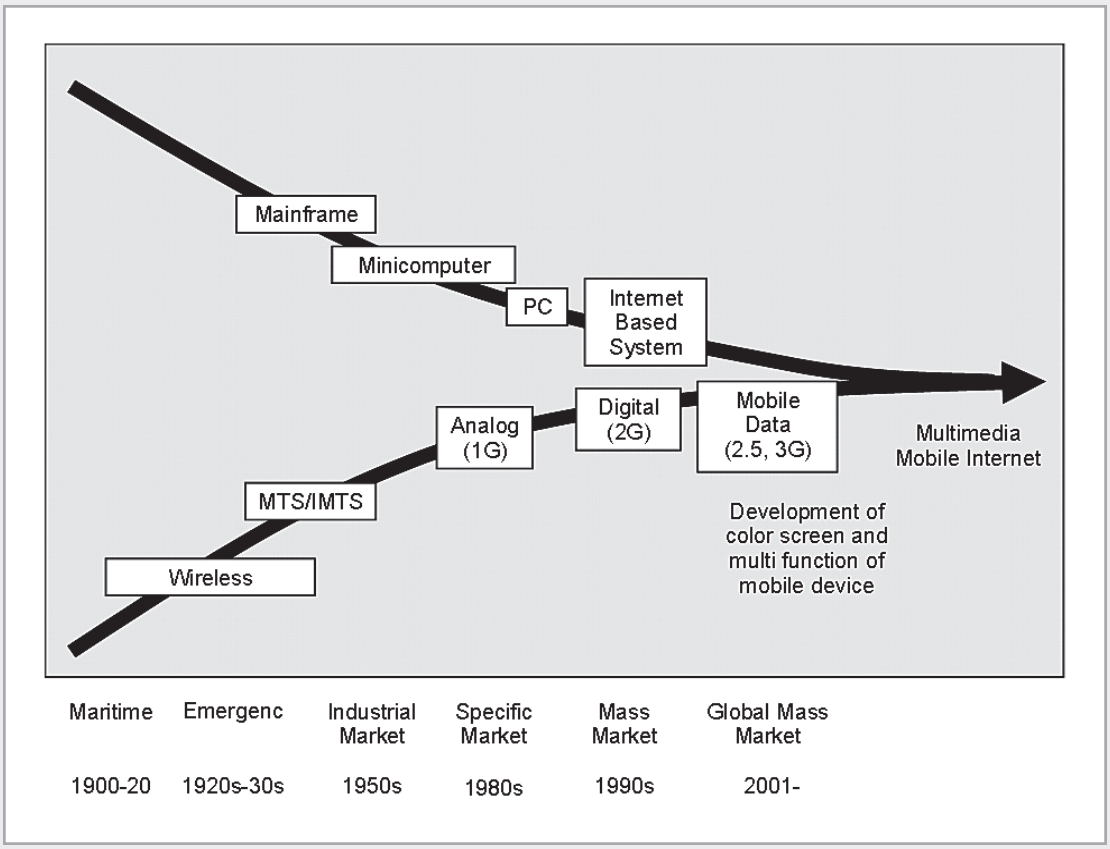
ตลาดของสินค้าขยายตัวไปทุกที่ที่มีเครือข่ายโทรคมนาคมและ Internet อย่างไรก็ตามการขยายตัวของตลาดยังนำมาซึ่งการเพิ่มการแข่งขันจากผู้ค้ารายอื่นทั่วโลก

2. บริการและการขายสินค้าผ่านช่องทางใหม่ การจัดจำหน่ายสินค้า เปลี่ยนรูปไปเป็น Electronic เช่น การจำหน่ายเพลง ซึ่งเดิมเคยเป็นเทป หรือ CD มาเป็น File เสียง, การจัดจำหน่าย Video Game ซึ่งเดิมเคยเป็น Cassette ได้สามารถเพิ่มเป็น Game Online หรือ Download

<u>การเกิดขึ้นของการให้บริการโทรศัพท์มือถือ</u>

ในช่วงเวลาเดียวกันการพัฒนาเทคโนโลยี Wireless Communication เพื่อตอบสนองความต้องการใช้โทรศัพท์พื้นฐานในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยและไม่คุ้มค่าในการลงทุน เช่น





Finland และ Sweden ต่อมาขยายตัวไปทั่ว Europe และ Asia รวมทั้ง North America ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวเช่นกัน ปัจจุบันมีผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือมากกว่า 2 พันล้านคนทั่วโลก (ในขณะที่โทรศัพท์บ้านมีเพียง 1 พันล้านเครื่อง) อุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่ถือเป็นอุตสาหกรรมที่เติบโตและมีมูลค่าสูงสุดในทศวรรษที่ผ่านมา การขยายตัวอย่างรวดเร็วดังกล่าวเนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวตอบสนองความต้องการพื้นฐาน 2 ประการ คือ Communication และ Mobility

1.2 Convergence ของ Internet และ Mobility

การเติบโตของอุตสาหกรรม Internet และผู้ใช้ Mobile Phone ผลักดันให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของ Wireless Communication เพื่อการส่งข้อมูล Internet โดยมุ่งเน้นในการสร้างจุดเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจใหม่ คือ Mobile Internet โดยรวมอาจเรียกว่า Convergence

เช่นเดียวกับการมาของ Internet และ Mobile Phone ธุรกิจทุกสาขาทั่วโลกกำลังปรับตัวเพื่อสร้างโอกาสและธุรกิจใหม่ในการเกิด Convergence นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธุรกิจ Media และ Entertainment

1.3 การพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์

ผู้ผลิตอุปกรณ์ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อรองรับและบางกรณีสร้างความต้องการให้ผู้บริโภค โดยมีแนวโน้มการพัฒนาดังนี้

1. มีความเร็วและความจุสูงขึ้นแต่ขนาดเล็กลง

คอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือล้วนมีขนาดเล็กลงเพื่อสร้างความสะดวกในการพกพา และยังมีความจุสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือบางรุ่นมีความจุ >1 Gbyte

2. รองรับการสื่อสารไร้สายในหลายเครือข่าย

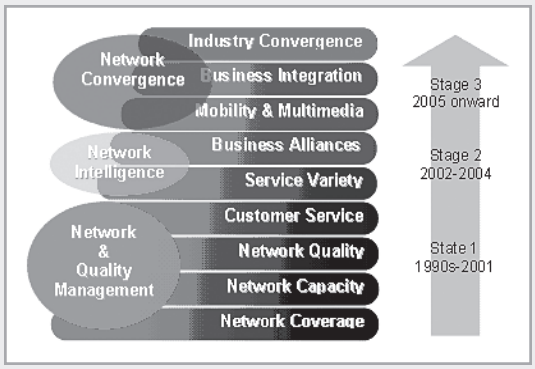
อุปกรณ์สื่อสารปัจจุบันสามารถรองรับ WLAN, GSM (900/1800/1900 MHz), 3G

3. เปลี่ยนรูปแบบและรูปร่าง

อุปกรณ์สื่อสารไร้สายถูกพัฒนามาเป็นรูปแบบต่างๆ หรือทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เกมส์ กล้องถ่ายรูป ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และอื่นๆ

1.4 การพัฒนาการให้บริการของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

การพัฒนาของ Mobile Operator ทั้งในและนอกประเทศไทย สามารถอธิบายโดยย่อ คือ



Stage 1

ขยายพื้นที่การให้บริการ ความสามารถในการรองรับการเพิ่มจำนวน และคุณภาพของการให้บริการโดยรวมไปถึงการพัฒนาการบริการลูกค้า (Customer Service) ในขั้นนี้บริการยังคงเป็นบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่พื้นฐาน โดยการพัฒนาเริ่มมาจาก Analog และพัฒนาต่อมาเป็นระบบ Digital ในช่วงปี 1995 (GSM เริ่มมีการนำมาใช้งาน)

Stage 2 (เริ่มต้นให้บริการ Content)

ขยายการให้บริการในรูปแบบบริการเสริม โดยเริ่มจากการ Download Content เช่น Ringtone, Logo และขยายตัวต่อเนื่องโดยร่วมกับผู้ให้บริการเสริมต่างๆ เช่น บริการข่าวสาร บริการชำระเงินทาง Mobile และอื่นๆ ปัจจัยสำคัญในการผลักดันการพัฒนาดังกล่าวเกิดจากความต้องการในการเพิ่มรายได้เพื่อรองรับการลดลงของค่าใช้บริการพื้นฐานจากภาวะการแข่งขันที่รุนแรงในตลาด โดยให้บริการโดยใช้ Technology SMS และ GPRS (ความเร็ว 10-40 kbps per sub) ดังนั้น บริการจึงมักถูกจำกัดอยู่ในรูปแบบของข้อความและภาพนิ่ง ปัจจุบันในประเทศไทยมีผู้ร่วมให้บริการในขั้นนี้มากกว่า 200 ราย

Stage 3 (Mobility และ Internet Convergence)

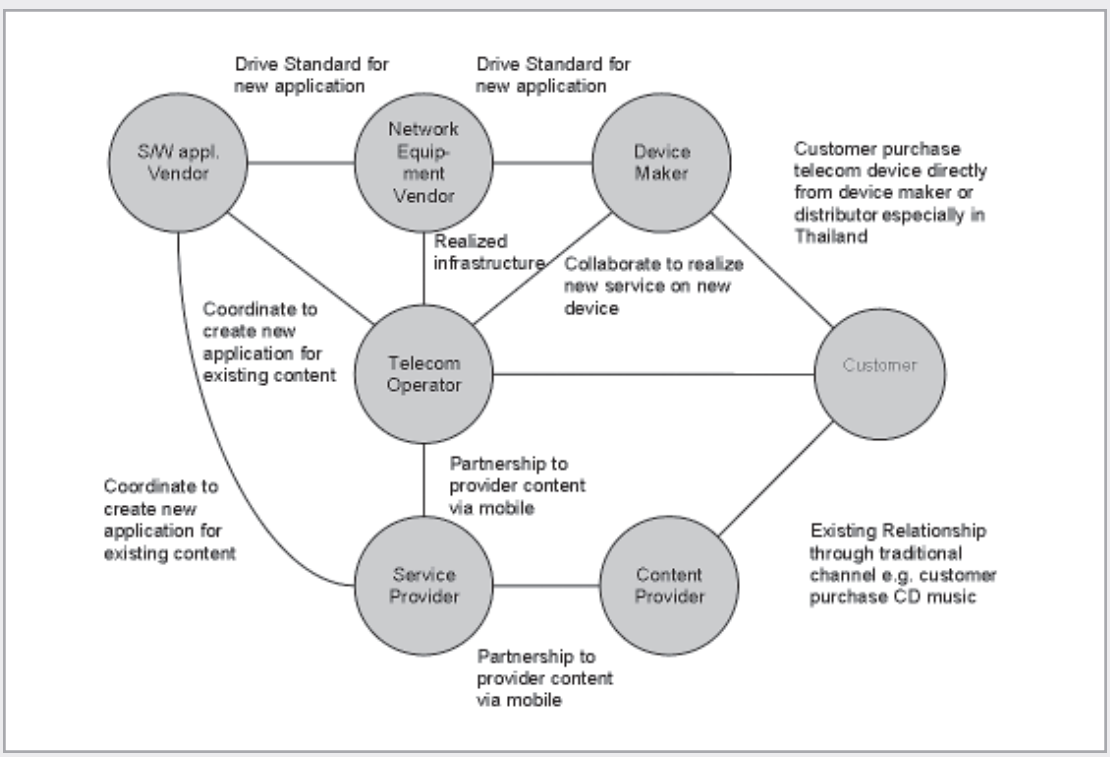
ขยายการให้บริการในรูปแบบพหุสื่อ (Multimedia) บนโทรศัพท์มือถือโดยนำขีดความ

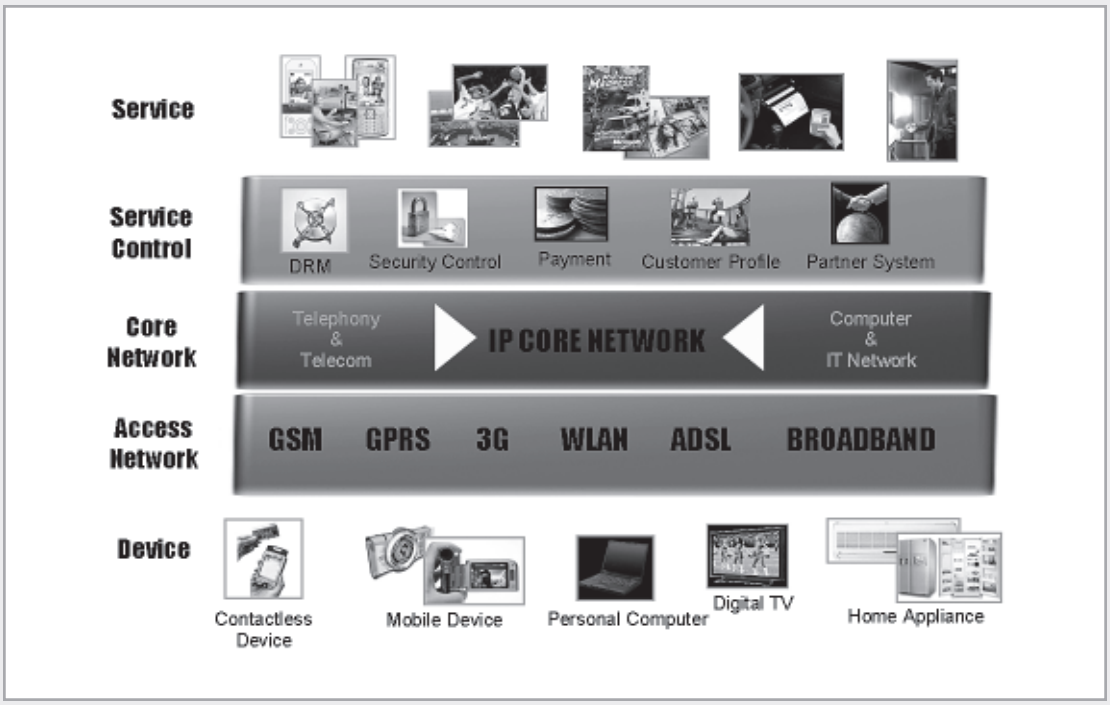
สามารถดังกล่าวมาใช้ในการให้บริการ เช่น Media และ Entertainment เช่น การ Download เพลงลงบนมือถือ, การดูภาพยนตร์ผ่านมือถือ, และอื่นๆ ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่บางรายเริ่มขั้นที่ 3 โดยการพัฒนาบริการบนเครือข่าย GPRS ที่มีความจุสูง (40-80 kbps per sub) และส่วนมากมุ่งพัฒนาบนเครือข่าย 3G (384 kbps per sub) ในขั้นนี้ขีดความสามารถของการรับส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเทียบเคียงกับ Internet Fixed Line ถือเป็นจุดพบกันของ Mobile และ Internet จึงสามารถคาดได้ถึงการขยายตัวของธุรกิจต่างๆ ผ่าน Mobile เช่นเดียวกับที่เกิดใน Internet ในทศวรรษที่ 90 แต่อาจต่างกันตรงที่ Mobile Operator จะเป็นผู้มีบทบาทสำคัญเพราะเปรียบเสมือนผู้สร้างช่องทางหลักในการเข้าถึง Consumer โดยเป็นทั้งให้บริการโทรศัพท์, Internet และบริการเสริมในเวลาเดียวกัน

2. ปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จในยุค Industry Convergence

การเกิด Industry Convergence นำมาซึ่งโอกาสทางธุรกิจเช่นเดียวกับการเกิดมาของ Internet และโทรศัพท์มือถือ ธุรกิจและผู้ประกอบการในแต่ละสาขาโดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจด้านสื่อ (Media) และธุรกิจบันเทิง (Entertainment) รวมถึงผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ จำเป็นต้องเตรียมการและพัฒนาตนเองอย่างเหมาะสมเพื่อพร้อมที่จะฉกฉวยโอกาสที่เกิดขึ้นนี้ การเตรียมการจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์หากเข้าใจถึง Eco System ของโครงสร้างพื้นฐานของ Industry Convergence (แสดงดังรูป)

ในบทความนี้ ขอเน้นไปถึงการสร้างโครงสร้างการให้บริการของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือให้บริการเครือข่ายโทรคมนาคม





3. โครงสร้างการให้บริการในยุค Industry Convergence อย่างย่อ

โครงสร้างเพื่อรองรับบริการในยุค Industry Convergence สามารถแสดงให้เห็นดังรูป

- Device

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้าถึงบริการ ไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ TV และอื่นๆ

- เครือข่าย (Network)
  - Access Network

เครือข่ายที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ลูกค้าใช้กับเครือข่ายหลัก ตัวอย่าง Access Network เช่น Wireless LAN, ADSL, GSM/GPRS และ 3G เป็นต้น ในยุค Convergence Access Network จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลทั้งภาพ เสียง และวิดีโอ

- Core Network

เครือข่ายหลักที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อจากจุดหนึ่งในเครือข่ายไปอีกจุดหนึ่ง เรามักเรียกว่าขุมสายในโลกของโทรศัพท์มือถือ หรือ Data Network ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในยุค Convergence นั้นทั้งสองเครือข่ายเป็นเครือข่ายเดียวกัน

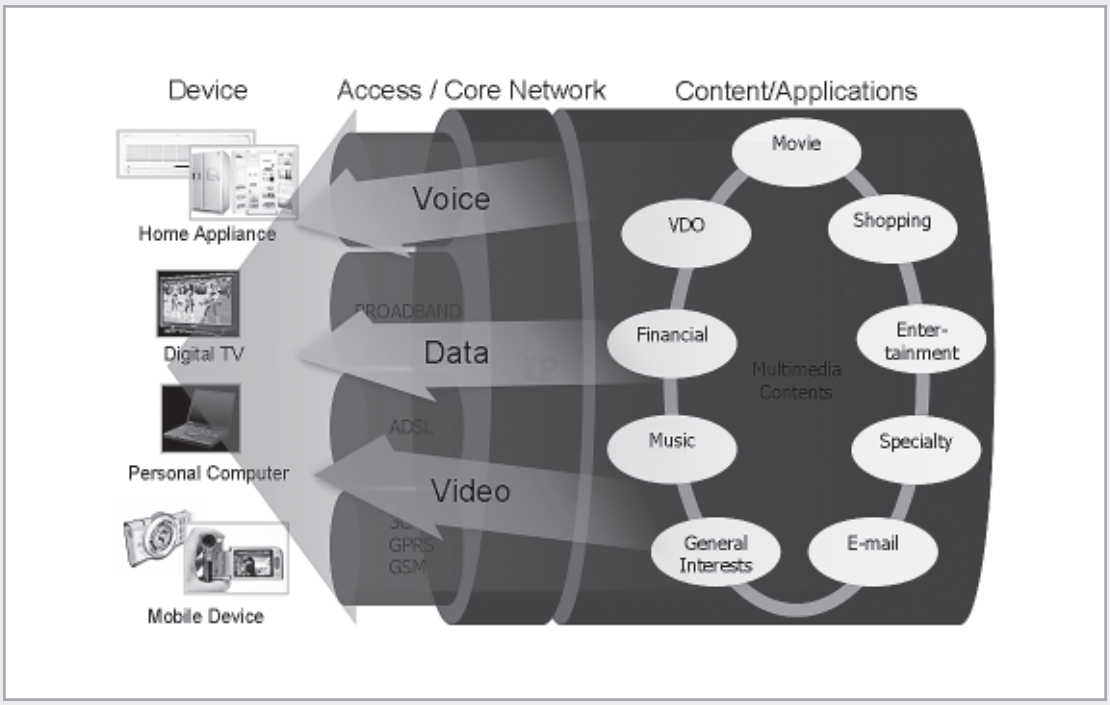
- Service Control Network

เป็นส่วนหลักในการความคุมและส่งเสริมการให้บริการ ทำหน้าที่ เช่น การบริหารสิทธิของ Digital Content การจ่ายเงิน การบริการของผู้ร่วมให้บริการ และอื่นๆ ถือเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการให้บริการในยุค Convergence เป็นอย่างมาก

- บริการ

บริการในยุค Industry Convergence สามารถจำแนกเป็นกลุ่ม คือ

- Communication เช่น Video Call จาก Computer ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่
- Entertainment เช่น บริการ Download เพลงไปยัง Computer และมือถือ
- Information เช่น บริการข้อมูลหุ้นแบบ Online ผ่านทาง Computer และมือถือ



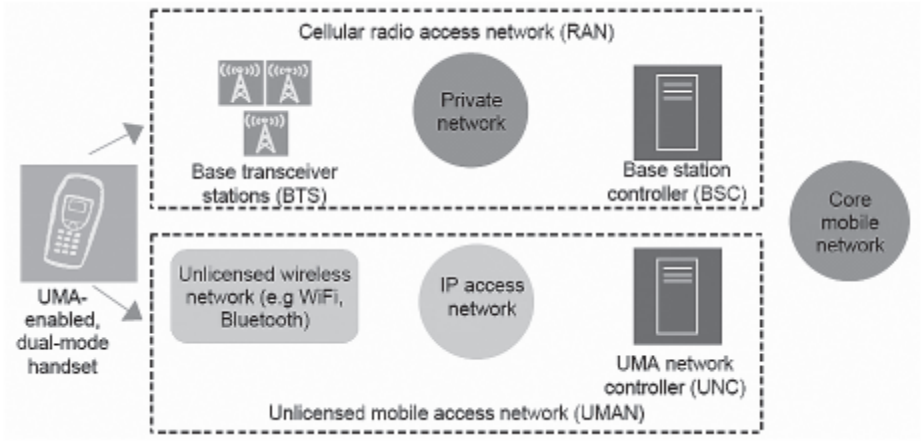
- Commerce เช่น การทำธุรกรรมทางการเงินผ่าน Internet และโทรศัพท์มือถือ

ภาพด้านล่างแสดงให้เห็นถึงแนวความคิดในการให้บริการต่างๆ ไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่ผู้ใช้งานมีอยู่

4. เครือข่าย (Network) ในยุค Convergence

เมื่อกล่าวถึง Network Convergence ในปัจจุบัน เรามักจะหมายถึงการใช้งานร่วมกันของเครือข่ายและบริการสำหรับการสื่อสารแบบอยู่กับที่และแบบไร้สาย (Fixed Mobile Convergence-FMC) เป็นการกล่าวถึงโดยรวมของการใช้งานร่วมกันของเครือข่าย (Network Convergence) อุปกรณ์ปลายทาง (Device Convergence) และบริการ (Service Convergence) การใช้งานร่วมกันของอุปกรณ์ปลายทางและบริการมีจุดสำคัญอยู่ที่ความต้องการของผู้ใช้บริการ และประสบการณ์ในการใช้บริการ จุดมุ่งหมายของการใช้งานร่วมกันของการบริการ คือ การที่สามารถให้บริการสำหรับมีเดียทุกชนิดไปยังผู้ใช้บริการพร้อมๆ กัน โดยการเข้าถึงบริการที่สะดวกและเป็นแบบกราฟฟิก การใช้งานร่วมกันของอุปกรณ์ปลายทางมีจุดมุ่งหมายอยู่ที่การที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้บริการทุกชนิดโดยวิธีการเดียวกัน จากอุปกรณ์ที่ต้องการผ่านเครือข่ายชนิดต่างๆ ที่เชื่อมต่อมายังผู้ใช้บริการ ในบทความนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการใช้งานร่วมกันของเครือข่าย

ในปัจจุบันกลุ่มของผู้ให้บริการการสื่อสารและโทรคมนาคมมีความเห็นตรงกันว่า FMC เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญสำหรับธุรกิจ แต่เนื่องด้วยความซับซ้อนของการทำให้เกิด FMC และการให้บริการบนอุปกรณ์ FMC ทำให้ยังมีความไม่แน่นอนว่าเทคโนโลยีไหนที่จะประสบความสำเร็จในการนำมาใช้ มีราคาที่เหมาะสม และพร้อมที่จะนำไปใช้ในปัจจุบัน



สถาปัตยกรรม UMA

ในที่นี้เราจะมอง Network Convergence ตามมุมมองของการแบ่ง Network ออกเป็น Layer

4.1 Convergence บน Layer ของ Access Network

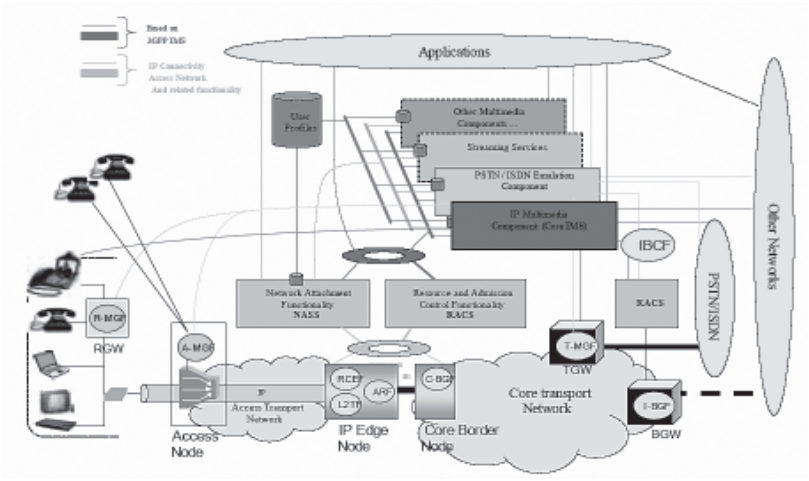
ในเชิงกายภาพ (Physical) เทคโนโลยี Access Network ยังคงมีความแตกต่างกันอยู่ แต่ในเชิงของโปรโตคอลที่ใช้จะมีแนวโน้มเข้าสู่โลกของ Internet Protocol (IP) เหมือนกันหมด โทรศัพท์เคลื่อนที่จะก้าวเข้าสู่ยุค all IP กล่าวคือ เครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะมี IP address ของตนเอง และด้วยความสามารถของเทคโนโลยี Mobile IP เครื่องโทรศัพท์สามารถโรม (Roam) เข้าใช้งานใน Access Network ได้หลากหลาย เช่น ที่ทำงานใช้ WLAN ระหว่างการเดินทางใช้ 3G และที่บ้านใช้ xDSL

นอกจากนั้นเราจะเห็นการใช้งานร่วมกันมากขึ้นระหว่าง Access Network เทคโนโลยี ยกตัวอย่าง เช่น UMA (Unlicensed Mobile Access) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้การสื่อสารข้ามเครือข่าย GSM และเครือข่าย WLAN (Wireless LAN) หรือ บลูทูธ ที่ทำงานอยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลอินเทอร์เน็ตของทั้งเสียงและข้อมูล เป็นไปอย่างไม่สะดุด (Seamless) การพัฒนาโปรโตคอล UMA เริ่มต้นปลายปี 2003 โดยกลุ่ม UMA ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารและผู้ให้บริการ ในปัจจุบันมาตรฐาน UMA ถูกรวมเข้าไว้ใน 3GPP (Third Generation Partnership project) โดยจะเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน 3GPP เวอร์ชั่น 6

การผสมผสานในลักษณะเช่นนี้จะช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถขยายพื้นที่ให้บริการได้รวดเร็วและมีต้นทุนต่ำลง ขณะเดียวกันทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเลือก Access Network ได้เหมาะสมกับความสะดวก และลักษณะของบริการที่ใช้

4.2 Convergence บน Layer ของ Core Network

การมาของ SIP (Session Initiated Protocol) เป็นการจุดประกายการผสมผสานของ Core Network ของเครือข่ายต่างๆ โดยเฉพาะเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งการกำหนดมาตรฐานในส่วนนี้ถูกดำเนินการ



ตัวอย่างสถาปัตยกรรมเครือข่าย TISPAN ที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานผ่านทางเทคโนโลยี xDSL

โดยคณะทำงานภายใต้ ETSI (European Telecommunication Standard Institute) โดยครอบคลุมในส่วนเครือข่ายยุคหน้า (Next Generation Network) สำหรับการทำงานร่วมกันของอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไม่เคลื่อนที่ (Fixed) ซึ่งจะรวมถึงการยกระดับ IMS (IP Multimedia Subsystem) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแกนหลักในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 (3G Mobile) ที่ถูกกำหนดมาตรฐานโดยกลุ่ม 3GPP ให้สามารถถูกใช้เป็นหัวใจสำคัญสำหรับทั้งเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่ และเลียนแบบหรือจำลองการทำงานเพื่อให้สามารถให้บริการเสริมดังที่มีอยู่ใน ISDN (Integrated Services Digital Network) และ PSTN (Public Switched Telephone Network)

เครือข่ายยุคหน้าที่ถูกกำหนดโดย TISPAN (Telecommunication and Internet Converged Service and Protocols for Advanced Networking) จะอยู่บนพื้นฐานของการสื่อสารแบบแพ็คเกต และสามารถใช้งานได้กับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ชนิดต่างๆ และรองรับการรับส่งข้อมูลที่มีระดับความสำคัญต่างกัน โดยที่การให้บริการไม่ขึ้นกันเทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

การให้บริการที่ TISPAN สามารถรองรับจะเป็นไปตามที่กำหนดใน 3GPP IMS R6 ซึ่งได้แก่ บริการสนทนาทั้งแบบเสียง ภาพ มัลติมีเดีย และข้อความ แบบในเวลาจริง บริการ Presence การจัดส่ง Content เช่น Video on Demand Video Streaming หรือการกระจายโทรทัศน์ เป็นต้น การให้บริการอินเทอร์เน็ต รวมถึงการจำลองการให้บริการเสริมตามที่มีอยู่เดิมใน ISDN และ PSTN

สถาปัตยกรรมเครือข่ายของ TISPAN จะอยู่บนพื้นฐานของการนำ 3GPP IMS มาใช้ โดยมีการเพิ่มเติมในส่วนของการควบคุมการให้บริการที่ไม่ได้ใช้ SIP (Session Initiation Protocol) ตัวอย่างสถาปัตยกรรมเครือข่ายของ TISPAN เมื่อถูกนำไปใช้กับการเชื่อมต่อผู้ใช้งานผ่านทางเทคโนโลยี xDSL ถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 2 โดยสถาปัตยกรรมมีลักษณะแบบ Subsystem-oriented ทำให้สามารถเพิ่มเติมระบบย่อยใหม่เพื่อรองรับความต้องการและการบริการที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สามารถนำเอา Subsystems ที่กำหนดโดยตัวมาตรฐานอื่นๆ มาปรับปรุงใช้งานในระบบได้

การผสมผสานของ Core Network สามารถช่วยให้ง่ายต่อการพัฒนาบริการใหม่ๆ ที่สามารถใช้งานได้ในทุก Access Network และผู้ใช้บริการรู้สึกว่าสามารถใช้บริการใดๆ ได้ทุกที่ ทุกเวลาอย่างแท้จริง

4.3 Convergence บน Layer ของ Service Control

การพัฒนาบริการบนเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพึ่งพา IN (Intelligent Network) ขณะที่บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่พึ่งพา CAMEL (Customized Application for Mobile Network Enhanced Logic) ซึ่งมีความซับซ้อน และนักพัฒนาต้องมีความเข้าใจในระบบ Signaling ของเครือข่ายอย่างยิ่ง

เมื่อมีการผสมผสานระหว่างสื่อสารโทรคมนาคมกับเทคโนโลยีสารสนเทศ การพัฒนาบริการสามารถทำได้ง่ายมากขึ้นโดยประยุกต์ใช้ข้อเด่นของการพัฒนาโปรแกรมในโลกของเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้ในการพัฒนาบริการ เช่น Parlay และ JAIN เป็นกรอบของการพัฒนาบริการสื่อสารโทรคมนาคมที่ช่วยให้นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องเข้าใจระบบ Signaling ของเครือข่าย แต่สามารถพัฒนาบริการบนเครือข่ายได้

การผสมผสานของ ICT และการเติบโตของโลกอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้พัฒนาเทคโนโลยีและผู้ให้บริการเล็งเห็นถึงประโยชน์ของความง่ายในการพัฒนาบริการบนโลกอินเทอร์เน็ต ดังนั้น กรอบและมาตรฐานการพัฒนาบริการจึงได้ผนวกเอาโปรโตคอลของโลกอินเทอร์เน็ตต่างๆ เข้าไปไว้ด้วย เช่น Parlay ได้พัฒนาเข้าสู่ Web-service เรียกว่า Parlay-X, การพัฒนาบริการฝากข้อความเสียงสามารถทำได้โดยง่ายจากเทคโนโลยี VoiceXML แทนที่การใช้โปรแกรมภาษา C การทำ Content Charging แบบเติมเงินสามารถพัฒนาโดยใช้โปรโตคอล Diameter แทนที่จะใช้ Protocol ที่ซับซ้อนอย่าง CAMEL เป็นต้น

ในยุคของ Network Convergence นั้น Service Control Network ซึ่งเป็น Enabler ในการพัฒนาบริการใหม่ๆ จะสนับสนุนให้การพัฒนาบริการสามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกับการพัฒนาบริการบนโลกอินเทอร์เน็ต และยังสามารถใช้งานร่วมได้กับทุก Core Network และ Access Network ด้วย ดังนั้น นักพัฒนาบริการบนโลกอินเทอร์เน็ตจะมีบทบาทมากขึ้นในการพัฒนาบริการสื่อสารโทรคมนาคมในยุคหน้า ที่เน้นรูปแบบมัลติมีเดียและสามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา

5. การพัฒนาในส่วนของเครื่องลูกข่าย (Device Convergent)

ในระบบการสื่อสาร ตัว Device หรือเครื่องลูกข่าย เป็นองค์ประกอบหลักหนึ่งเมื่อต้องการใช้บริการ โดยจะเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้บริการที่สุด และเป็นส่วนที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสัมผัสถึงบริการต่างๆ ได้ การพัฒนาในส่วนของอุปกรณ์หรือเครื่องลูกข่ายได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงจากสมัยแรกเริ่มอย่างเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน โดยเฉพาะการพัฒนาในช่วงทศวรรษที่ผ่านมานี้ การพัฒนาเทคโนโลยีด้าน Information Communications Technology (ICT) ที่เกิดจากการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม โลกาภิวัตน์ได้มีบทบาทผลักดันให้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว และวงรอบการวิจัยและพัฒนาที่สั้นลงเพื่อให้ทันการแข่งขัน ส่งผลให้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ เหล่านี้มาพัฒนาประยุกต์ใช้งานในด้านการสื่อสารและโทรคมนาคมเป็นจำนวนมาก นอกจากที่ได้นำไปพัฒนาในส่วนของระบบโครงข่ายระบบใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายและข้อจำกัดการใช้งานต่างลดน้อยลงแล้ว ในส่วนของอุปกรณ์

ลูกข่ายก็ได้การพัฒนาปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับความสามารถของเครือข่าย พร้อมทั้งเพิ่มขีดความสามารถเพื่อให้ตอบสนองความต้องการใช้งานของผู้บริโภค ให้ใช้งานและรองรับบริการรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นใหม่ๆ เช่นกัน

ปัจจุบันได้มีการออกผลิตภัณฑ์เครื่องลูกข่ายออกมาเป็นจำนวนมาก โดยมีรูปแบบหลากหลายให้เลือกใช้งานตามความต้องการของผู้บริโภค โดยได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการพัฒนาระบบโครงข่าย โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพูดถึงการพัฒนาในระบบสื่อสาร ก็จะกล่าวถึงการพัฒนาระบบโทรศัพท์พื้นฐานที่ใช้สายที่มีติดตั้งตามบ้านทั่วไป มีการพัฒนาเป็นระบบไร้สายหรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และกล่าวถึงการพัฒนาเทคโนโลยีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อกที่เรียกว่าระบบ 1G ไปเป็น 2G และ 3G ที่เป็นระบบดิจิตอล ซึ่งเป็นการพูดถึงระบบเครือข่ายเป็นหลัก โดยได้มองข้ามตัวเครื่องลูกข่ายไป ซึ่งในทางปฏิบัติก็จะต้องมีการพัฒนาในส่วนของเครื่องลูกข่าย ให้มีความสามารถให้สอดคล้องกับระบบเครือข่ายและบริการอย่างเหมาะสมเช่นกัน จะยกตัวอย่างในส่วนของเครื่องลูกข่ายที่เป็นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น เมื่อกล่าวถึง Mobile Internet ตัวเครื่องก็ได้มีการปรับเปลี่ยนหน้าจอให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเป็นจอสี เพิ่มหน่วยความจำ เพิ่มระบบการเชื่อมต่อข้อมูลความเร็วสูงขึ้น เช่น GPRS, EDGE หรือ 3G ให้สามารถรับส่งข้อมูล และมีการเพิ่ม Software Browser เข้าในเครื่องเพื่อสามารถเข้าท่อง Internet เพื่อดูข้อมูลต่างๆ ได้เป็นต้น

นอกจากนั้นตัวเครื่องลูกข่ายที่มีผลิตออกมาใหม่ๆ ยังได้มีการรวมเอาความสามารถของเครื่องใช้อื่นๆ เข้ามาเพิ่มเติมเป็นส่วนหนึ่งของเครื่อง เช่น การนำความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ วิทยุ กล้องดิจิตอล เครื่องเล่นเพลง MP3 เครื่องเล่นเกม เป็นต้น หรืออาจมองว่าเป็นการรวมตัวและผสมผสานของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์วิธีหนึ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถของเครื่องให้รองรับการใช้งานหรือบริการใหม่ๆ ดังนั้น ในปัจจุบันเครื่องโทรศัพท์จึงไม่ได้ใช้งานเฉพาะเพื่อการสื่อสารด้วยเสียงอย่างเดียวเช่นสมัยแรกเริ่มเท่านั้น แต่สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานอื่นๆ ที่หลากหลาย และไม่จำต้องพกพาหลายอุปกรณ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้บริโภค

แรงผลักดันที่ทำให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงต่างๆ นั้นเกิดจากผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการที่ต้องการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่อยู่ใน Eco System เพื่อต้องการสร้างจุดแข็งเหนือคู่แข่งเนื่องจากภาวะการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้น และต้องการขยายตลาด และความต้องการของความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตอบสนองความต้องการที่หลากหลาย และความสะดวกสบายที่ต้องการมากขึ้น

การพัฒนานั้นไม่ได้เกิดในการพัฒนาในแกนของตัวเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเท่านั้น (เช่น การพัฒนาระบบ LAN จาก 10 Mbps เป็น 100 Mbps) แต่มีรูปแบบของการผ่านโครงข่ายได้หลายๆ ระบบ ปัจจุบันมี

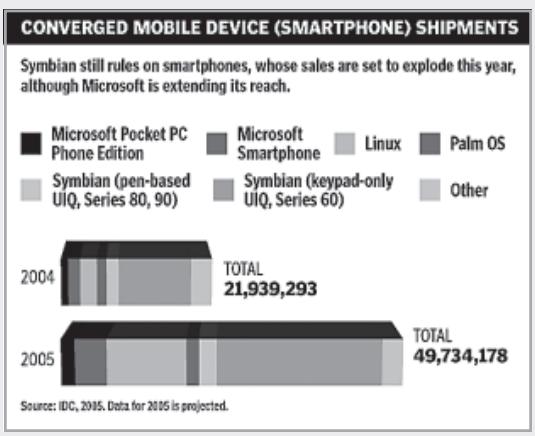
การผลิตเครื่องที่รองรับได้หลายระบบในเครื่องเดียวกันทุกรุ่น แต่อาจมากน้อยต่างกันบ้าง เช่น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รองรับระบบ 2G, 3G Bluetooth และระบบ WIFI ในเครื่องเดียวกัน ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากในแต่ละพื้นที่อาจมีการวางโครงข่ายบางระบบอาจครอบคลุมได้ไม่ทั่วถึง ก็สามารถใช้งานผ่านระบบอื่นๆ ที่มี ณ ที่นั้นได้ เป็นการลดขีดจำกัดในเรื่องสถานที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี

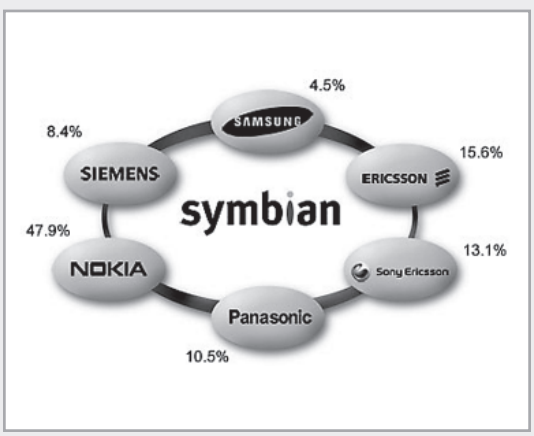
ระบบปฏิบัติการและการพัฒนาเครื่องให้เป็นระบบเปิด

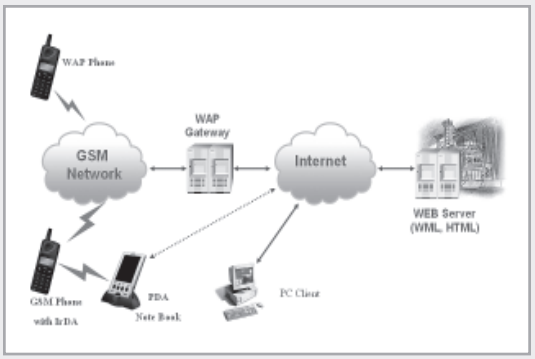
ในอดีตเครื่องอุปกรณ์ลูกข่ายมักจะเป็นระบบปิด เมื่อได้ผลิตและเมื่อถึงมือผู้บริโภคแล้วเป็นการยากมากหรืออาจทำไม่ได้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มเติมหรือปรับแก้ Software หรือ Application ในภายหลัง จึงได้มีการกำหนดและพัฒนามาตรฐานร่วมกันในส่วนของผู้ผลิต โดยการนำหลักการจากเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ให้สามารถทำ Software หรือ Application ลงเพิ่มภายหลังจากเครื่องได้ถึงมือผู้บริโภคแล้ว และยังสามารถช่วยให้ผู้พัฒนา Software ต่างๆ สามารถทำการพัฒนาโปรแกรมเป็น Application ต่างๆ ให้สามารถ Download ลงเครื่องได้อย่างง่ายดาย โดยผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (Over-the-Air) จึงเป็นการเพิ่มความสะดวกรวดเร็วแก่ผู้ใช้งาน นอกจากนั้น Application ที่ได้พัฒนาขึ้นก็สามารถใช้ได้กับเครื่องรุ่นต่างๆ ได้ แม้จะเป็นเครื่องที่ผลิตจากต่างโรงงานหรือต่างยี่ห้อกัน ซึ่งเป็นการพัฒนาที่ทำให้เครื่องต่างๆ เป็นมาตรฐานและเป็นระบบเปิดมากขึ้น ได้ส่งผลเป็นแรงกระตุ้นที่ทำให้มีผู้พัฒนาโปรแกรมมีการทำ Application และบริการต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการทำให้ระบบเป็นมาตรฐานร่วมกัน มีด้วยกันหลายวิธี ดังมีตัวอย่างเช่น

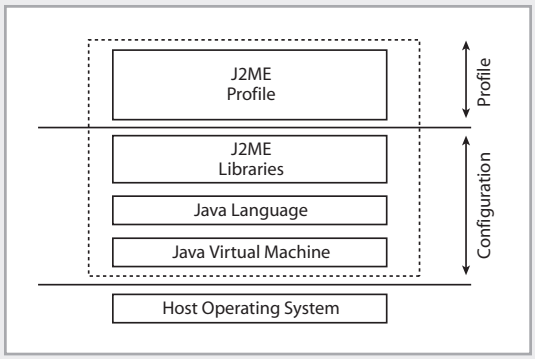
5.1 ระบบปฏิบัติการ (Operating System)

หรือเรียกย่อว่า OS ของเครื่องลูกข่าย โดยเฉพาะเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และยังมี Application Program Interface (API) ช่วยในการทำการพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ลงบนเครื่องลูกข่ายได้อย่างสะดวก ซึ่งผู้ผลิตเครื่องต่างๆ สามารถใช้ OS นี้ร่วมกันในการผลิตเครื่องลูกข่ายได้ โดยในปัจจุบันได้มี OS ที่นิยมและถือว่าเป็นมาตรฐานหลายตัว เช่น Symbian, Window Mobile หรือ Window CE, Linux, BREW และ Palm โดยเครื่องต่างๆ ที่มีความ OS นี้ จะถูกเรียกว่าเป็น Smart Phone เนื่องจากความสามารถที่มากขึ้นของเครื่องนั่นเอง









5.2 Browser

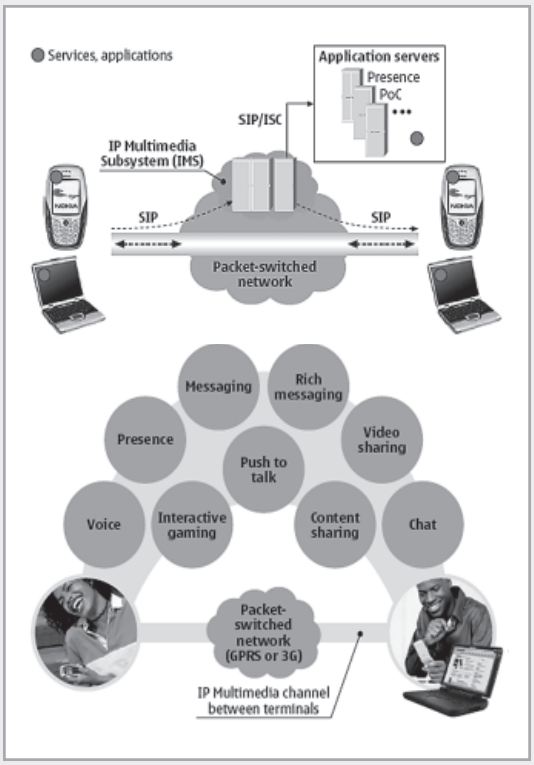
เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ได้มีความสามารถที่เป็นมาตรฐานของ Internet เพิ่มเข้าในเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้มีการเพิ่มขีดความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลที่หลากหลายได้ ซึ่งมีการทำลงในเครื่องรุ่นใหม่ๆ ทุกรุ่น แต่อาจมีความสามารถที่แตกต่างกันบ้างตามคุณสมบัติของเครื่อง โดยดูได้จาก Version ของ Browser ที่รองรับ โดยมีทั้งที่เป็น Wireless Application Protocol (WAP) Version 1.X ที่รองรับ WML หรือ Version 2.0 ที่รองรับ xHTML และในบางเครื่อง เช่น เครื่องที่เป็น Microsoft Windows ก็สามารถรองรับ HTML ได้โดยตรง ซึ่งทำให้สามารถทำการพัฒนาบริการใหม่ๆ ขึ้นโดยใช้ Markup Language และ Script ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันในการพัฒนาได้ ซึ่งถือเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการทำให้เครื่องสามารถรองรับและผู้ให้บริการสามารถทำบริการใหม่ๆ ให้ใช้งานได้ผ่านระบบเครือข่ายได้อีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมมาก

5.3 Mobile Java

เป็นการเพิ่มขีดความสามารถในเรื่องของการรองรับการทำ Application ให้กับคนทำ Application อีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งจะเป็น Java 2 Platform, Micro Edition (J2ME) ซึ่งจะเป็น JAVA ที่ใช้สำหรับลงและฝังลงในเครื่องใช้ต่างๆ ซึ่งจะมี Mobile Information Device Profile (MIDP) เป็น API โดยมีตัว Java Virtual Machine ในการแปลงโปรแกรมส่งให้ OS ไปทำการแสดงและติดต่อกับผู้ใช้งาน ทำให้การพัฒนา Application ต่างๆ เพื่อใช้ลงในเครื่องโทรศัพท์ได้อย่างคล่องตัวได้ และ J2ME นี้สามารถลงบน OS ต่างๆ ของเครื่องจากผู้ผลิตได้ จึงมีเครื่องเป็นจำนวนมากลง J2ME นี้ ซึ่งหากเทียบกับจำนวนของ Smart Phone เครื่องที่รองรับ J2ME นี้จะมีปริมาณมากกว่า เนื่องจากจะมีการลงในเครื่องที่มี OS ที่เป็นเฉพาะของแต่ละผู้ผลิตได้ แม้จะไม่เป็น Smart Phone ก็ตาม

5.4 IMS และ SIP (IP Multimedia Subsystem and Session Initiation Protocol)

เป็นส่วนที่เข้ามาช่วยให้ภาพของการ Convergence ชัดเจนมากขึ้น IMS เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายที่มีระบบปฏิบัติการต่างกัน ภายใต้โครงข่ายเน็ทเวิร์คที่ต่างกันคล่องตัว และสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้โลกเครือข่ายไร้สายกับโลกอินเทอร์เน็ต Fixed line เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์แบบ ไม่เพียงแต่การสื่อสารด้วยเสียงเท่านั้น เทคโนโลยี SIP ซึ่งเป็นความสามารถใหม่ของเครื่องลูกข่ายจะช่วยให้สามารถเข้าถึง Content หรือข้อมูลระหว่างกันได้ ไม่ว่าจะเป็น ภาพ เสียง วิดีโอ Online Game หรือการแชร์ข้อมูลระหว่างกัน โดยที่ผู้พัฒนาไม่จำเป็นที่



จะต้องพัฒนาเครื่องลูกข่าย หรือ Application ใหม่ เนื่องจากเป็นระบบใหม่ในปัจจุบันจึงมีปริมาณของเครื่องลูกข่ายที่รองรับเทคโนโลยี SIP ยังไม่สูง คาดว่า SIP จะเป็นความสามารถพื้นฐานของเครื่องลูกข่ายที่รองรับระบบ 3G ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคตอย่างแน่นอน

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องลูกข่ายในระบบการสื่อสารปัจจุบันและอนาคตจะไม่ได้หมายถึงเครื่องโทรศัพท์ไร้สาย หรือที่นิยมเรียกว่าเครื่องโทรศัพท์มือถือเท่านั้น หากแต่ได้รวมถึงอุปกรณ์หรือเครื่องลูกข่าย ที่มีลักษณะอื่นๆ ด้วย เช่น เป็นกล้องถ่ายรูป และ Video เป็นเครื่องเล่นเพลง เป็นเครื่องรับวิทยุ โทรทัศน์ และเครื่องเล่นเกม เป็นต้น ที่สามารถรองรับใช้งานผ่านระบบสื่อสารและโครงข่ายได้หลายระบบในเครื่องเดียวกัน ทำให้สามารถใช้งานเครื่องได้ในทุกที่ทุกเวลาอย่างแท้จริง

6. บทสรุป

องค์ประกอบสำคัญของเทคโนโลยีที่รองรับ Convergence ในด้านเครือข่ายไม่ว่าจะเป็น GPRS, 3G, ADSL และอื่นๆ คือ IP และ SIP (Session Initiate Protocol) ส่วนในด้านอุปกรณ์สื่อสาร (Device) คือระบบปฏิบัติการที่เปิดหรือ Middleware เช่น Symbian Java Microsoft ที่มีความสามารถในการรองรับ Application และ Service ที่หลากหลาย ปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวมีความพร้อมที่จะเริ่มนำมาใช้อย่างเป็นรูปธรรม สิ่งที่ควรจับตามองคือ การเคลื่อนไหวในแต่ละส่วนของ Value Chain ให้เกิดบริการและธุรกิจใหม่ในยุค Industry Convergence อย่างเป็นรูปธรรม ◎

เอกสารอ้างอิง

- สถิติจาก www.gsma.com
- Presentation of AIS Business Plan 2006
- Mobile Internet Technical Architecture--NOKIA, IT Press 2003
- ETSI ES 282 001 NGN functional Architecture Release 1
- ETSI ES 282 003 Resource and Admission Control Sub-system (RACS)
- ETSI ES 282 004 Network Attachment Sub-System (NASS)
- Unlicensed Mobile Access (UMA) Architecture (Stage 2) R1.0.0
- Dennis Bijwaard, sietse van der Gaast: The Daidalos project and standardizing NGN in ETSI TISPAN–an overview, กันยายน 2005
- Angel Dobardziev, Jereme Green, Carrie Pawsey, Julien Grivolas: FMC bearers, standards and devices: through the maze, 9 ธันวาคม 2005

วิทยุกระจายเสียงความชัดเจนสูง (Digital HD Radio)

นายวีระศักดิ์ เชิงเชาว์
ผู้อำนวยการส่วนสำรวจและวางแผน
สำนักส่งเสริมและพัฒนางานเทคนิค กรมประชาสัมพันธ์

วิทยุกระจายเสียงความชัดเจนสูง (Digital HD Radio : Digital High Definition Radio) เป็นเทคโนโลยีใหม่ในศตวรรษที่ 21 ในการส่งวิทยุกระจายเสียงที่จะมาแทนที่การส่งวิทยุกระจายเสียง ในระบบ AM และ FM ซึ่งใช้งานในการส่งกระจายเสียง รายการข่าว และรายการบันเทิง ที่ใช้อุปกรณ์เครื่องเล่นแผ่นเสียงและเทปบันทึก เสียงในการผลิตรายการวิทยุในอดีต แต่ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวิทยุโทรคมนาคมและเทคนิคการใช้ระบบดิจิตอลในการผลิตรายการวิทยุกระจายเสียงมากขึ้นทำให้มีระบบการส่งกระจายเสียงแบบใหม่เพิ่มขึ้น เช่น การส่งกระจายเสียงระบบผ่านดาวเทียม (Satellite Radio) การส่งกระจายเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Web Casting) การส่งกระจายเสียงผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์ (ใช้เครื่องรับโทรศัพท์ในการรับฟังการส่งวิทยุกระจายเสียง) วัสดุที่ใช้ในการผลิตรายการกระจายเสียงระบบดิจิตอลก็จะใช้ CD (Compact Disc) ทำให้คุณภาพเสียงในการส่งกระจายเสียงมีคุณภาพดีขึ้น ในอนาคตการ

ส่งกระจายเสียงจำเป็นต้องเปลี่ยนการส่งกระจายเสียงในระบบเดิม อนาล็อก ไปสู่วิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล ซึ่งขณะนี้มีระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล คือ Eureka 147, DRM (Digital Radio Mondiale), DAB (Digital Audio Broadcasting) และ HD Radio หรือเดิมเรียกเทคโนโลยีการส่งกระจายเสียงนี้ว่า IBOC (In-Band On-Carrier) การส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิตอลจะทำให้คุณภาพในการรับฟังเสียงชัดเจนดีกว่าระบบการส่งกระจายเสียงแบบเดิม นอกจากการส่งสัญญาณเสียงแล้ว ระบบการส่งสัญญาณดิจิตอลยังสามารถส่งข้อมูล ในรูปแบบข้อความ (Textual Data) ซึ่งเครื่องรับวิทยุสามารถนำมาใช้แสดงชื่อสถานี ความถี่ ตลอดจนชื่อรายการ หรือหากเป็นเพลงก็สามารถแสดงอักษรชื่อเพลงและชื่อนักร้องได้ และการนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ ได้ ตัวอย่าง เช่น ฝากสัญญาณเตือนภัยพิบัติ (สึนามิ) ให้ระบบเตือนภัยนำไปใช้งานในการควบคุมตัดรายการวิทยุกระจายเสียงเข้าสู่รายการเตือนภัยที่ถ่ายทอดเสียง

การส่งกระจายเสียงในระบบดิจิตอลที่มีผู้คิดค้นนำมาใช้งานในขณะนี้ มีการออกแบบการใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เช่น DRM ออกแบบมาใช้กับการส่งกระจายเสียงที่จะทดแทนการส่งวิทยุ AM และวิทยุคลื่นสั้น (SW) โดยการนำคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานอยู่เดิมมาเปลี่ยนระบบการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิตอล ดังนั้น หากนำมาใช้งานก็จะต้องเลิกการส่งวิทยุกระจายเสียง AM (MW, SW) ในระบบอนาล็อกเป็น DRM ในระบบดิจิตอล ส่วน DAB ออกแบบมาใช้งานทดแทนการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ FM แต่จะเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานมาใช้ในย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ VHF Band III 174-240 MHz โดยจะเปลี่ยนการส่งสัญญาณโทรทัศน์เป็นระบบดิจิตอล ไปใช้งานในย่านความถี่ UHF และใช้ย่านความถี่ 1452-1492 MHz ในการส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอลผ่านสัญญาณดาวเทียม สำหรับการส่งกระจายเสียง Digital HD Radio ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

HD Radio Technology เป็นการพัฒนาระบบโดยผู้ผลิต คือ iBiquity Digital ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีแนวคิดที่จะส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอล ไปพร้อมกับการส่งกระจายเสียงในระบบ AM, FM ในระบบอนาล็อกเดิม โดยใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่ง FCC (Federal Communications Commission) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้อนุญาตให้ใช้ส่งกระจายเสียงในย่านความถี่ที่ส่งกระจายเสียงในระบบอนาล็อกเดิมได้

การส่งกระจายเสียงระบบ Digital HD Radio ได้ประโยชน์อย่างไร

- AM digital จะให้คุณภาพเสียงที่รับฟังจากเครื่องรับวิทยุเทียบเท่ากับการรับฟังในระบบ FM เดิม
- FM digital จะให้คุณภาพเสียงที่รับฟังจากเครื่องรับวิทยุเทียบเท่ากับการรับฟังจากเครื่องเล่น CD
- คุณภาพเสียงในระบบดิจิตอลจะชัดเจนไม่มีเสียงรบกวนใดๆ ทั้งสิ้น และสัญญาณที่เบาหรือจางหายไปบางครั้งจะไม่มี
- สามารถให้บริการเสริมพร้อมกับการส่งกระจายเสียง คือ ข้อมูล เช่น ข่าว พยากรณ์อากาศ ข่าวการจารจร หรือข้อมูลในการส่งกระจายเสียง ชื่อรายการ ชื่อเพลง ชื่อนักร้อง หรือโฆษณาสินค้า

ลักษณะการทำงานของระบบการส่งกระจายเสียง Digital HD Radio

- สถานีวิทยุกระจายเสียงจะส่งสัญญาณวิทยุทั้งระบบอนาล็อกและระบบดิจิตอลพร้อมกัน และส่งข้อมูลในรูปข้อความอักษร (Textual Data) เช่น ชื่อสถานี ชื่อรายการ ชื่อนักร้อง และข้อมูลเกี่ยวกับเพลง ข่าวพยากรณ์อากาศ ข่าวจราจร อื่นๆ
- สัญญาณดิจิตอลใช้เทคโนโลยีการบีบอัด

สัญญาณ iBiQuity3s HDC Compression Technology

- ระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงจะรวมสัญญาณวิทยุระบบอนาล็อกและระบบดิจิตอลส่งออกอากาศพร้อมกัน
- ในการรับสัญญาณ HD Radio จากเครื่องรับวิทยุจะสามารถแก้ปัญหาการรบกวน (Interference) ความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่น (Multipart Distortion) ที่ผสมรวมกับสัญญาณหลักที่รับได้จะไม่มีผลต่อคุณภาพเสียงที่ได้รับ ไม่เกิดเสียงก้องเสียงสะท้อนหรือมีการจางหาย หรือเสียงเบาบางขณะที่รับฟัง
- การรับสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบ HD Radio จะได้คุณสัญญาณวิทยุที่สมบูรณ์กว่าระบบวิทยุกระจายเสียงอนาล็อกเดิม

FM HD Radio-Hybrid Mode

การส่งกระจายเสียงระบบ Digital HD Radio (IBOC: In-Band On-Carrier)

ใช้เทคโนโลยีการส่งสัญญาณเป็น 2 ประเภทคือ

FM HD Radio เป็นการส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงในย่านความถี่ FM เดิม 88-108 MHz

- การส่งคลื่นสัญญาณโดยแบ่งเป็นกลุ่มความถี่ย่อย เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) System ซึ่งส่วนคลื่นความถี่ย่อยที่สร้างขึ้นใหม่ (Subcarriers Frequency) จะเป็นส่วนของ Sideband ของระบบการส่งสัญญาณ FM อนาล็อกเดิม
- การรวมสัญญาณเดิม FM และ HD Radio จะเพิ่มแถบความถี่ที่ใช้งาน (Frequency Bandwidth) เป็น 2 เท่าใช้งานกับ สัญญาณ FM เดิม (FM Frequency Bandwidth 200 kHz, HD Radio Frequency Bandwidth 398 kHz)
- สามารถพัฒนาการส่งสัญญาณจาก FM + HD Radio ไปสู่การส่งสัญญาณเต็มรูปแบบดิจิตอลในอนาคต (Full Digital) โดยการแบ่งรูปแบบการใช้แถบความถี่เป็น 3 รูปแบบ
  - Hybrid
  - Extended Hybrid
  - Full Digital

FM HD Radio-Hybrid Mode

การส่งกระจายเสียง FM HD Radio ในระบบ Hybrid Mode

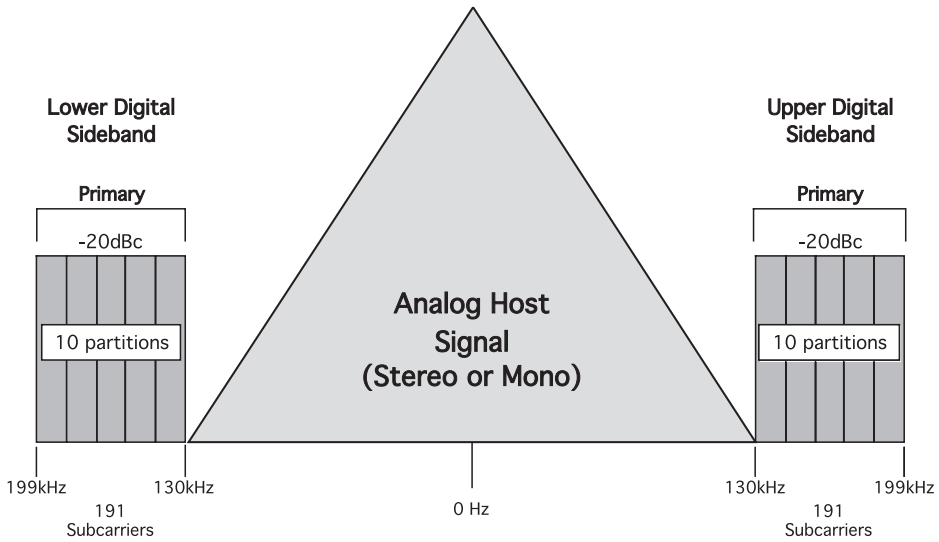
1. ส่งข้อมูลดิจิตอลในรูปแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Deviation Multiplex) ใน Sideband ของสัญญาณ FM เดิม โดยแบ่งแถบกลุ่มคลื่นวิทยุสัญญาณ (Subcarriers) เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ เรียกว่า Lower Digital Sideband (Primary) และ Upper Digital Sideband (Primary) ในแต่ละกลุ่มแถบความถี่ ก็จะแบ่งเป็นส่วนๆ จำนวน 10 ส่วน เรียกว่า 10 partitions ในแต่ละส่วนของกลุ่มความถี่ (Partitions) จะมีการแบ่งเป็น 18 ข้อมูลในการส่ง 18 ความถี่ย่อย (Subcarriers) และอีกหนึ่งความถี่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล (Reference Subcarrier)

ในรายละเอียดเกี่ยวเทคนิคในการผสมสัญญาณและเข้ารหัสในการบีบอัดสัญญาณให้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ จึงขอสรุปว่าข้อมูลในการส่งสัญญาณดิจิตอลที่ได้จากการส่งสัญญาณ Hybrid Mode จะได้ข้อมูล 109 kbps ซึ่งจะถูกใช้ในการส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอล 96 kbps สำหรับตัวโปรแกรมรายการเสียง และ 14.11 kbps เป็นสัญญาณควบคุมระบบการส่งสัญญาณ

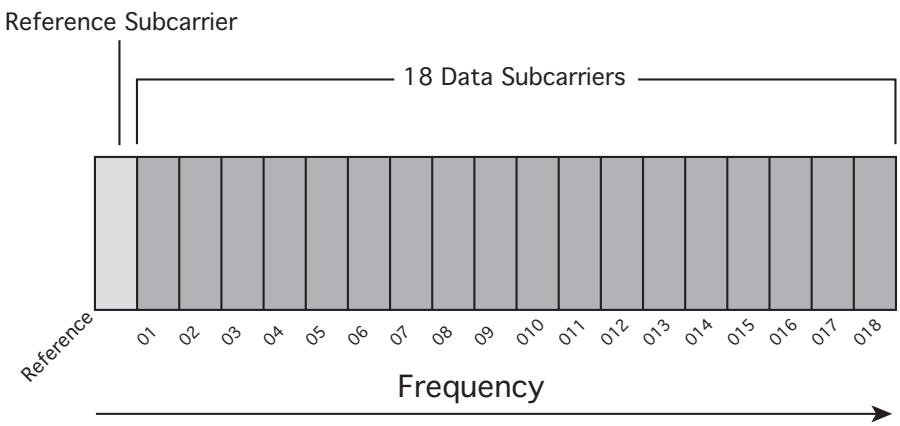
2. การส่งสัญญาณเสียงสามารถส่งได้จำนวน 3 ช่องสัญญาณเสียง

3. ในส่วนที่เป็นการส่งกระจายเสียงในระบบอนาล็อก สามารถส่งกระจายเสียงระบบสเตอริโอ และ SCA (Subsidiary Communications Authority)/RDS (Radio Broadcast Data System) ได้เหมือนกับการส่งกระจายเสียงระบบ FM เดิม

FM HD Radio-Hybrid Mode



- 109kbps data throughput, 96kbps for audio, and 1.411kbps for PAD, balance is overhead
- Multicasting up to three channels is possible
- Supports stereo analog and SCA/RDS
- Digital sub-carriers are 20dB (1/100th) below analog
- The upper and lower digital sidebands are redundant



4. ในการส่งสัญญาณดิจิตอล Subcarriers จะลดขนาดระดับสัญญาณให้ต่ำกว่าระดับสัญญาณอนาล็อกเดิม 20 dB (พลังงานลดลง 1 ใน 100 เท่า) เนื่องจากในการรับสัญญาณวิทยุระบบดิจิตอลที่ใช้งานโดยปกติมีการรบกวนต่ำ หากการรับสัญญาณวิทยุในระบบอนาล็อกมาตรฐาน 54 dBμv สัญญาณวิทยุในระบบดิจิตอลขนาด 34 dBμv ก็สามารถรับสัญญาณได้ชัดเจน ดังนั้น ในการส่งสัญญาณวิทยุดิจิตอลจะประหยัดพลังงานกว่าระบบสัญญาณวิทยุอนาล็อกประมาณ 1 ใน 100 เท่า โดยสามารถให้เขตบริการรับฟังวิทยุกระจายเสียงเท่ากัน ตัวอย่าง เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียง FM 10 กิโลวัตต์ ก็จะส่งสัญญาณ Digital HD Radio เพียง 100 วัตต์

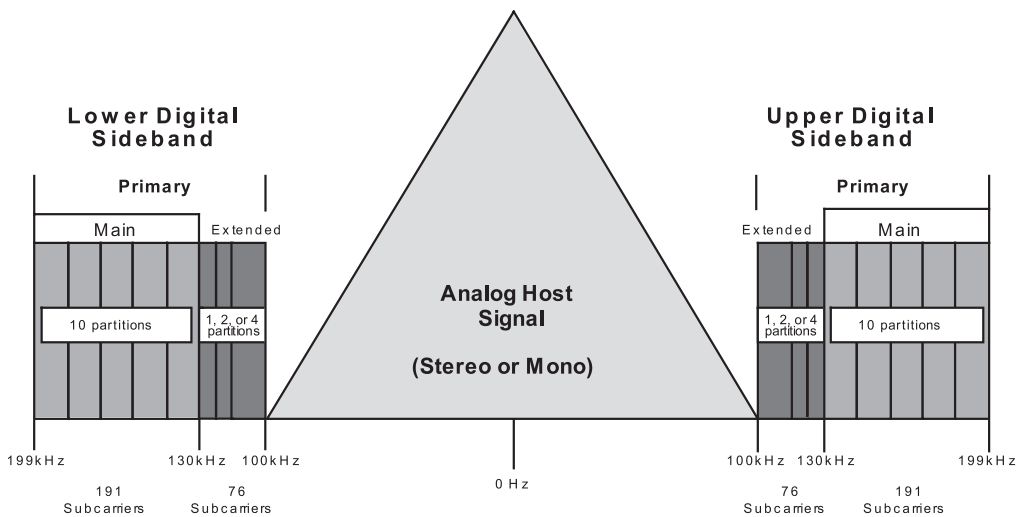
5. ในการส่งกระจายเสียง Digital HD Radio มีการส่งสัญญาณในรูป Lower Digital Sideband และ Upper Digital Sideband ถูกออกแบบเป็นระบบสำรองที่สามารถทดแทนกันได้ (Redundant) ทำให้การรับสัญญาณ Digital HD Radio มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณสูง

FM HD Radio-Extended Hybrid Mode

การส่งกระจายเสียง FM HD Radio ในระบบ Extended Hybrid Mode

สามารถส่งข้อมูลสัญญาณดิจิตอลได้ 151 kbps ซึ่งมากกว่าระบบ Hybrid Mode ซึ่ง

FM HD Radio-Extended Hybrid Mode



- 151kbps data throughput, assignable by the station
- There will be some impact to the host in extended hybrid mode
- Supports stereo analog and SCA/RDS
- Digital sub-carriers are 20dB (1/100th) below analog
- Multicasting up to 3 channels is possible

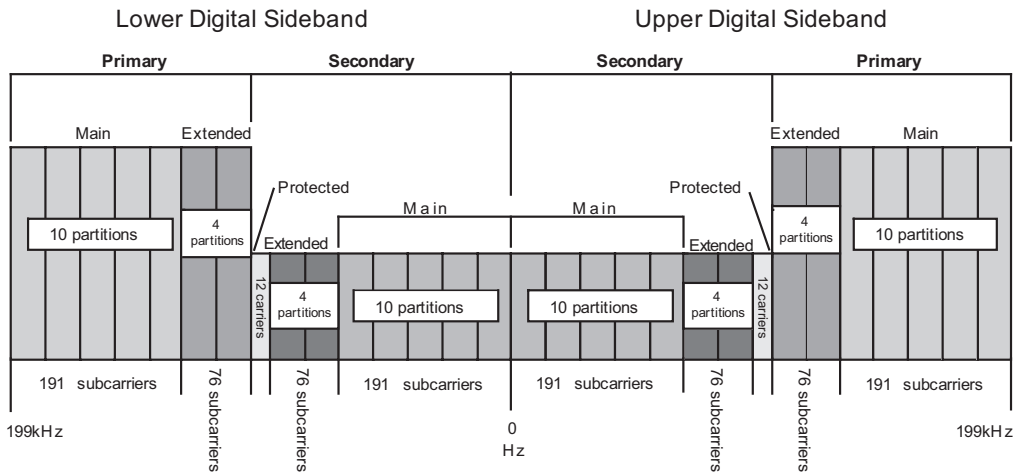
ในหลักการก็จะลดแถบคลื่นความถี่ (Frequency Bandwidth) ที่ใช้กับสัญญาณ FM เดิม จากที่กำหนด ± 130 kHz ลดลงเหลือ ± 100 kHz และจะเพิ่มแถบความถี่ที่ใช้กับสัญญาณดิจิตอลจากเดิม Lower Digital Sideband 10 partitions (Main) เพิ่มอีก 4 partitions (Extended) รวมเป็น 14 partitions และในส่วนของ Upper Digital Sideband ก็มีลักษณะเดียวกันเพิ่มอีก 14 partitions รวมเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด 28 partitions สามารถส่งข้อมูลได้ 151 kbps ซึ่งมีผลทำให้การส่งข้อมูลของสัญญาณดิจิตอลได้มากขึ้น ส่วนการส่งสัญญาณวิทยุ FM เดิมที่แถบความถี่การส่งสัญญาณลดลงจะมีผลทำให้ระดับของความดังของสัญญาณของเครื่องรับลดลงประมาณ 25% จากการส่งระบบ FM เดิม ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคอื่นๆ ก็เหมือนกับระบบ Hybrid Mode

FM HD Radio-Full Digital Mode

การส่งกระจายเสียง FM HD Radio ในระบบ Full Digital Mode

สามารถส่งข้อมูลสัญญาณดิจิตอลได้ 300 kbps ซึ่งมากกว่าระบบ Extended Hybrid Mode จำนวน 2 เท่าตัว ในระบบนี้จะเป็นการยกเลิกการส่งสัญญาณวิทยุ FM เดิม ส่งสัญญาณวิทยุเฉพาะสัญญาณที่เป็นสัญญาณวิทยุดิจิตอล ซึ่งมีผลทำให้สามารถส่งรายการวิทยุได้เพิ่มขึ้นถึง 8 ช่องเสียง โดยการนำแถบความถี่ของสัญญาณวิทยุ FM เดิมมาเปลี่ยนเป็นการส่งสัญญาณวิทยุดิจิตอลทั้งหมด

FM HD Radio-Full Digital Mode



- 300kbps data throughput, assignable by the station
- Conventional FM signal is no longer present
- Multicasting up to 8 channels may be possible

จำนวน 28 partitions รวมกับการส่งสัญญาณวิทยุดิจิตอลเดิมอีก 28 รวมเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด 54 partitions สามารถส่งข้อมูลได้ 300 kbps ข้อมูลที่ส่งได้มากขึ้นสามารถนำไปใช้งานในการส่งระบบเสียงใหม่ได้ เช่น 5.1 Surround Sound (ระบบเสียงรอบทิศทาง) ซึ่งมีการส่งสัญญาณเสียง 6 ช่องสัญญาณ

- **Left and Right Front 2 ช่องเสียง**
- **Left and Right Rear 2 ช่องเสียง**
- **Center and Subwoofer 2 ช่องเสียง**

ซึ่งระบบส่งสัญญาณเสียงดิจิตอลปัจจุบันมีใช้ในการส่งโทรทัศน์ HDTV และ DVD ที่เป็นภาพยนตร์ HDTV จะมีเสียงในระบบรอบทิศทาง 5.1 Surround Sound

ในการส่งกระจายเสียงในรูปแบบต่างๆ (Multicasting) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณเสียง และส่งข้อความที่เป็นอักษร (Textual Documents) หรือข้อมูล (Data) สามารถออกแบบในการจัดสรรแบ่งข้อมูลได้หลายแบบต่างกันในการใช้ระบบ Full Digital Mode แต่ในระบบ Hybrid Mode หรือ Extended Mode ก็สามารถส่งกระจายเสียงในระบบ Multicasting ได้ หากมีการออกแบบในการจัดสรรแบ่งข้อมูลดิจิตอล คือ

- แบบที่ 1 Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 96 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 96 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง
- แบบที่ 2 Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 96 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 3 Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 96 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก

Configuration Number	Service	System Throughtput	# of Programs	MPS	SPS1	SPS2
1	Hybrid	96	1	96	-	-
2	Hybrid	96	2	64	32	-
3	Hybrid	96	3	64	16	16
4	Ext Hybrid	108	2	96	12	-
5	Ext Hybrid	108	3	64	32	12
6	Ext Hybrid	120	2	96	24	-
7	Ext Hybrid	120	3	64	32	24
19	Ext Hybrid	108	1	96	-	-
20	Ext Hybrid	108	2	64	32	-
21	Ext Hybrid	108	3	64	32	12
25	Ext Hybrid	96	1	96	-	-
26	Ext Hybrid	96	2	64	32	-

(Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง 1 (Sub Program Service) 16 kbps ได้ 1 ช่องเสียง สัญญาณเสียงรอง 2 (Sub Program Service) 16 kbps ได้ 1 ช่องเสียง

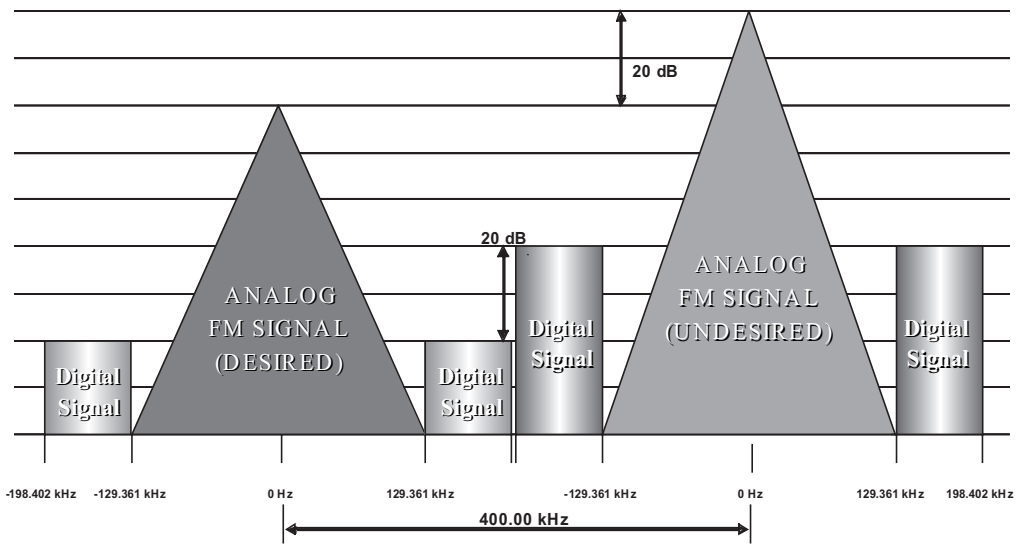
- แบบที่ 4 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 108 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 96 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง (Sub Program Service) 12 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 5 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 108 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง 1 (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง สัญญาณเสียงรอง 2 (Sub Program Service) 12 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 6 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 120 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Source) 96 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง (Sub Program Service) 24 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 7 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 120 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง 1 (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง สัญญาณเสียงรอง 2 (Sub Program Service) 24 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 19 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 108 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 96 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง
- แบบที่ 20 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 108 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 21 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 108 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง 1 (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง สัญญาณเสียงรอง 2 (Sub Program Source) 12 kbps ได้ 1 ช่องเสียง
- แบบที่ 25 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 96 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 96 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง
- แบบที่ 26 Extended Hybrid Mode ส่งข้อมูลทั้งหมด 96 kbps สัญญาณเสียง รายการหลัก (Main Program Service) 64 kbps ได้ 1 ช่องสัญญาณเสียง และสัญญาณเสียงรอง (Sub Program Service) 32 kbps ได้ 1 ช่องเสียง

ในการแบ่งจัดสรรข้อมูลในการส่งสัญญาณเสียง สำหรับคุณภาพ 96 kbps จะเหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณเสียงในระบบ Stereo ส่วน 64 kbps จะเหมาะสมสำหรับส่งสัญญาณเสียงในระบบ Mono 32 kbps เหมาะสำหรับรายการสนทนา (Voice Channel) 12 kbps ใช้ในการถ่ายทอดเสียงที่คุณภาพเทียบเท่ากับการใช้ถ่ายทอดเสียงผ่านระบบโทรศัพท์ ซึ่งอาจรับฟังเสียงได้เข้าใจอย่างดี แต่คุณภาพเสียงอาจเพี้ยนบ้าง

ย่านความถี่ในการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ Digital HD Radio

ในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้การส่งสัญญาณช่องความถี่วิทยุแต่ละช่องห่างกันประมาณ 400 kHz (ประเทศไทยช่องความถี่แต่ละช่อง

Spectrum of HD Radio at 400kHz Separation



ห่างกัน 500 kHz) ในการใช้งานจริงการส่งวิทยุช่องสัญญาณที่ใกล้เคียงควรจะมีสัญญาณต่ำกว่า 20 dB ก็จะไม่เกิดการรบกวนในการรับสัญญาณวิทยุดิจิตอล ดังนั้น การจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุในระบบ FM เดิมที่ใช้อยู่ขณะนี้ คือ จัดสรรให้ในลักษณะ 1 ช่องความถี่ เว้น 1 ช่องความถี่ ก็เป็นการออกแบบป้องกันการรบกวนของสัญญาณวิทยุได้เป็นอย่างดีแล้ว แต่ในประเทศไทยมีการส่งวิทยุกระจายเสียงภาคประชาชน (วิทยุชุมชน) ซึ่งยังมิได้รับการจัดสรรความถี่อย่างถูกต้องอย่างเป็นทางการและได้ออกอากาศในช่องความถี่ที่ใช้งานป้องกันการรบกวนในพื้นที่เดียวกัน ดังนั้น การส่งกระจายเสียง Digital HD Radio อาจมีปัญหารบกวนเกิดขึ้นได้

เนื่องจากช่องคลื่นความถี่ที่ใช้สำหรับประเทศไทย ในการส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM ในปัจจุบัน ห่างกันช่องละ 500 kHz หากมีการปรับปรุงระบบการส่งสัญญาณก็อาจส่งสัญญาณดิจิตอลได้มากขึ้น แต่เนื่องจากการผลิตเครื่องรับวิทยุเป็นมาตรฐานที่ต่างประเทศกำหนดขึ้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มข้อมูลเป็นไปได้ยาก แต่หากจะจัดสรรความถี่ใหม่โดยปรับช่องความถี่ให้เล็กลง หรือลดขนาดช่องความถี่ที่ใช้ในการป้องกันการรบกวนลงก็อาจทำให้สามารถเพิ่มช่องส่งวิทยุกระจายเสียงได้มากขึ้น ITU ได้กำหนดมาตรฐานช่องสัญญาณ กำหนดช่องห่าง (Channel Spacing) 100 kHz (Rec. ITU-R BS.450-3 RECOMMENDATION ITU-R BS.450-3

Transmission Standards for FM Sound Broadcasting at VHF* (1982-1995-2001)

TABLE 1a

Terrestrial FM sound broadcasting (above 30 MHz)

Country/Geographical area	International agreements				Information related to current emission applications																	Transmitter frequency tolerances (RR Article 1)	
					Frequency bands used (MHz)							Modulation characteristics							Polarization				
	☐ Geneva 60	☐ Stockholm 61	☐ Geneva 84	☐ Others	☐ 66-68	☐ 68-73	☐ 73-74	☐ 76-87.5	☐ 87.5-108	☐ 88.0-108	☐ Others	☐ Monophonic	☐ Stereophonic	☐ Polar-modulation system	☐ Pilot-tone system	☐ Channel spacing (kHz)	☐ Pre-emphasis/ de-emphasis (μs)	☐ Maximum frequency deviation (kHz)	☐ Horizontal	☐ Vertical	☐ Mixed	Current requirement	Long-term design objective
Germany (Federal Republic of)		+	+						+			+	+		+	100	50	±75	+	Except cases			
Aruba										+			+			200	75	±75		+	+		
Australia									+				+		+	200	50	±75	+	+	+		
Bahamas										+			+		+	200	75	±75	+				
Bangladesh (People's Republic of)			+						+			+				200	50	±75	+				
Cyprus (Republic of)			+						+				+		+	100	50	±75			+		
Vatican City State		+	+						+				+		+	100	75	±75			+		
Colombia (Republic of)			+							+			+			200	75	±75			+		
Korea (Republic of)			+							+		+	+		+	200	75	±75			+		
Denmark			+						+				+		+	100	50	±75	+				
Ecuador										+			+		+	200		±75		+			
Spain			+						+				+		+	100	50	±75	+	+	+		
United States of America											87.8 108	+	+		+	200	75	±75	+	+	+		
Finland			+						+				+		+	100	50	±75	+	+	+		
France			+						+			+	+		+	100	50	±75	+	+		20×10^{-6}	
Gambia (Republic of the)			+							+		+	+		+		75	±75		+			
Hungary (Republic of)	+	+	+		+	+			+			+	+		+	30 100	50	±50 ±75	+				
India (Republic of)											100-108	+	+		+	100	50	±75			+		
Iran (Islamic Republic of)			+						+			+	+		+		50	±75	+		+		
Italy			+						+				+		+	100	50	±75			+		
Japan				X							76 90				+	100	50	±75	+	+			

0450-01a-1

TABLE 1a (*end*)

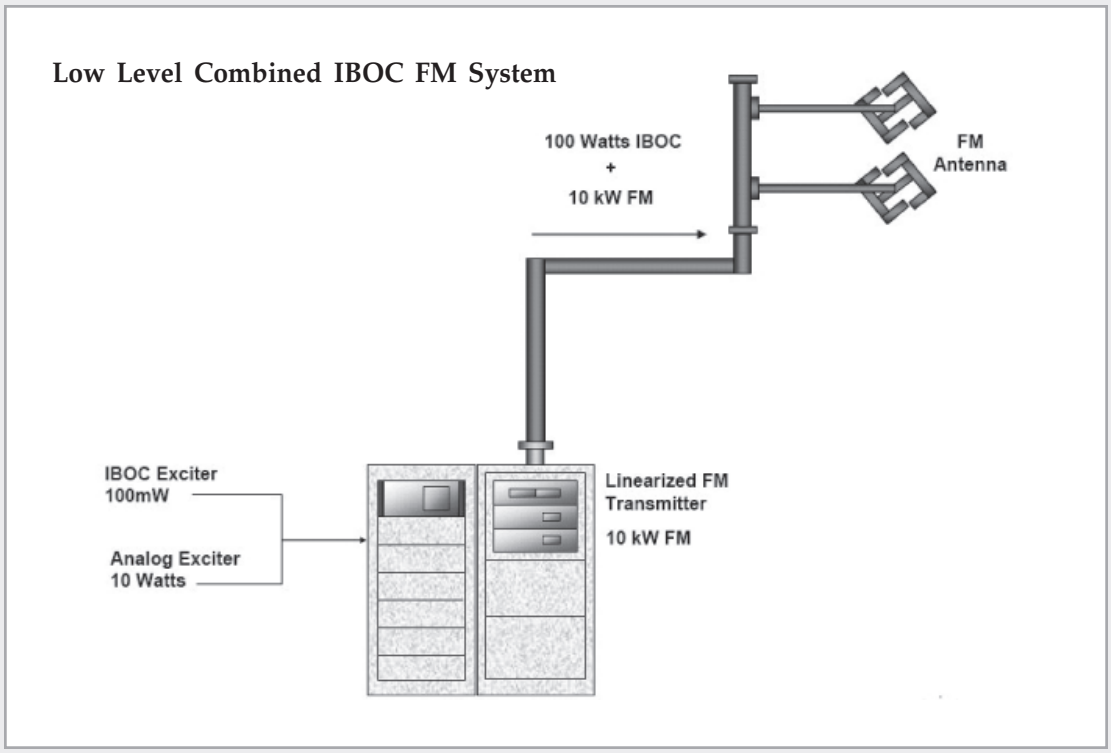
Country/Geographical area	International agreements				Information related to current emission applications: Frequency bands used (MHz)							Modulation characteristics							Polarization			Transmitter frequency tolerances (RR Article 1)	
	☐ Geneva 60	☐ Stockholm 61	☐ Geneva 84	☐ Others	☐ 66-68	☐ 68-73	☐ 73-74	☐ 76-87.5	☐ 87.5-108	☐ 88.0-108	☐ Others	☐ Monophonic	☐ Stereophonic	☐ Polar-modulation system	☐ Pilot-tone system	☐ Channel spacing (1) (kHz)	☐ Pre-emphasis/ de-emphasis (μs)	☐ Maximum frequency deviation (kHz)	☐ Horizontal	☐ Vertical	☐ Mixed	Current requirement	Long-term design objective
Kuwait (State of)			+						+				+			100	50	±75			+		
Lithuania (Republic of)		+	+		+	+	+		+			+	+	+	+	50/100	50/75	±50/±75	+	+			
Mali (Republic of)			+						+				+		+	100	50	±75	+	+			
Morocco (Kingdom of)		+	+						+			+	+		+		75	±75	+		+		
Norway		+	+						+				+		+	100	50	±75	+	few	+		
New Zealand				[redacted]							88-100		+		+	50	50	±75		+	+		
Oman (Sultanate of)			+						+				+		+	100	50	±75	+	+			
Papua New Guinea			+						+			+	+		+	100	50	±75	+				
Netherlands (Kingdom of the)			+						+			+	+		+	100	50	±75	+	+			
Qatar (State of)										+			+			200	50	±75			+		
Czech Republic									+			+	+		+	100	50	±75	+	+	+		
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland			+						+				+		+	100	50	±75			+		
Rwandese Republic	+		+						+			+				100	50	±75	+				
Senegal (Republic of)			+						+			+	+		+	100	50	±75	+				
Singapore (Republic of)										+			+		+	300	50	±75			+		
Slovenia (Republic of)		+	+						+				+			100	50	±75	+	+	+		
South Africa (Republic of)			+						+				+		+	100	50	±75		+			
Sweden			+						+				+		+	100	50	±75	+				
Switzerland (Confederation of)			+						+				+		+	100	50	±75	+	few	few		
Turkey			+						+				+		+	100	75	±50	+				
Ukraine		+	+			+	+		+			+	+	+	+	50/100	50/75	450/475	+	+	+		

(1) For definition see Recommendation ITU-R BS.412. It is not meant the frequency spacing in overlapping service areas or tuning steps of the receiver.

0459-01a-E

หมายเหตุ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการเปลี่ยนการจัดสรรคลื่นความถี่ เนื่องจากหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการจัดสรรความถี่วิทยุกระจายเสียง คือ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์แห่งชาติ (กสช.) ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการจัดตั้ง ดังนั้น การวางแผนการจัดสรรความถี่ในอนาคตซึ่งจะต้องส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิตอล ในระยะนี้จะมีปัญหาในการจัดตั้งสถานีวิทยุกระจายเสียงใหม่ และการจัดสรรความถี่คลื่นวิทยุให้สถานีวิทยุใหม่ การออกข้อกำหนดการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอลในประเทศไทย จะต้องมีข้อกำหนดทางเทคนิค และอาจต้องมีการคัดเลือกระบบที่เหมาะมาใช้งานในประเทศไทย ระบบใดระบบหนึ่ง เช่น DAB, DRM หรือ Digital HD Radio (IBOC)

ระบบการติดตั้งเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง HD Radio ที่ใช้งานร่วมกับการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ FM มีการออกแบบการติดตั้งเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงที่ใช้งานเรียกว่า FM IBOC แบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ



1. Low Level Combined IBOC FM System

เป็นการออกแบบใช้การรวมสัญญาณวิทยุ IBOC สัญญาณวิทยุ FM ที่ระดับสัญญาณต่ำ ดังตัวอย่าง การสร้างสัญญาณ IBOC กำลังส่ง 100 mW รวมกับสัญญาณ FM กำลังส่ง 10 วัตต์ (อัตราผสมสัญญาณวิทยุ 1:100) เมื่อสัญญาณวิทยุรวมได้การขยายกำลังส่งสูงขึ้นจากเครื่องส่งวิทยุ ทำให้กำลังส่งที่ส่งให้สายอากาศ 100 วัตต์ IBOC และ 10 กิโลวัตต์ FM

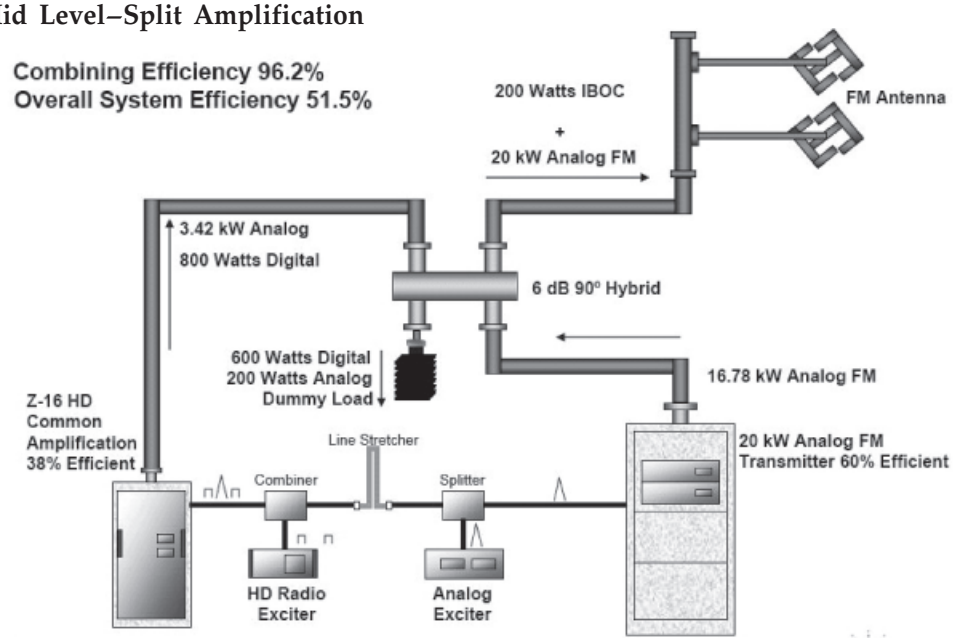
2. Mid Level–Split Amplification

เป็นการออกแบบระบบเครื่องส่งวิทยุแยกเครื่องส่ง IBOC และ FM ออกจากกัน และเมื่อขยายกำลังส่งได้ตามที่ต้องการแล้ว ก็นำสายส่งกำลังทั้งสองเครื่องส่งมารวมสัญญาณกัน (Combined) ตัวอุปกรณ์รวมสัญญาณวิทยุ (Combiner) ซึ่งมีอัตราลดสูญเสียพลังงานของสัญญาณวิทยุ 3 dB หรือ 6 dB 90^{O} hybrid การส่งกระจายเสียงของเครื่องส่ง IBOC จะส่งสัญญาณ HD Radio + FM แล้วมารวมกับเครื่องส่งวิทยุ FM ก็จะได้สัญญาณวิทยุรวมกันที่สายส่งกำลังของสายอากาศ 200 วัตต์ IBOC + 20 กิโลวัตต์ FM ในการออกอากาศ พลังงานที่สูญเสียในระบบรวมสัญญาณ 600 วัตต์ Digital HD Radio + 200 วัตต์ FM Analog

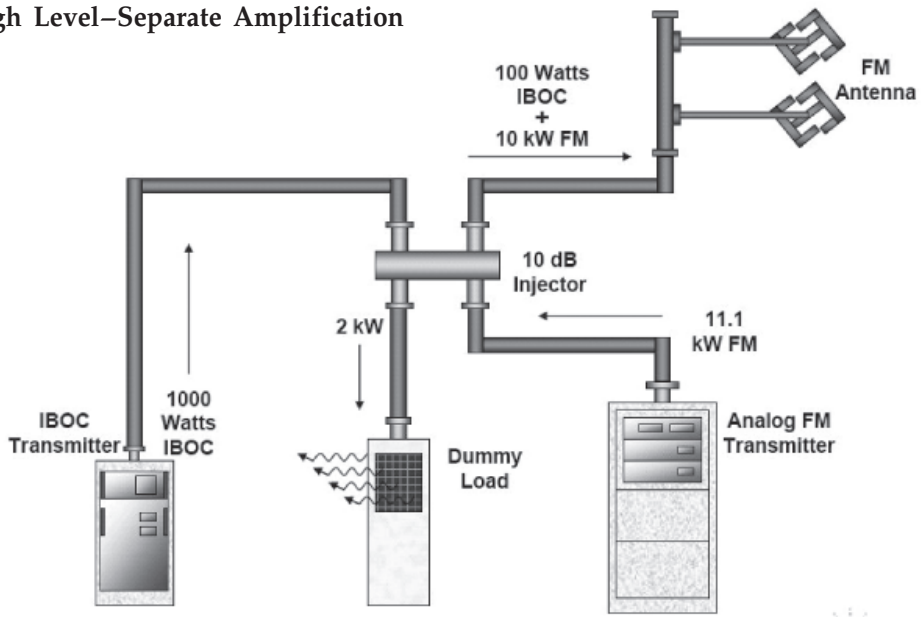
3. High Level–Separate Amplification

เป็นการออกแบบระบบเครื่องส่งแยกกันทำงานระหว่างเครื่องส่ง IBOC และเครื่องส่ง Analog FM ความสูญเสียพลังงานในการรวมสัญญาณวิทยุ IBOC เสียพลังงาน 90% Analog FM เสียพลังงาน 10% การออกแบบ Hybrid Injector/Combiner ลักษณะนี้เป็นการป้องกันการรบกวนสัญญาณวิทยุ HD Radio/FM

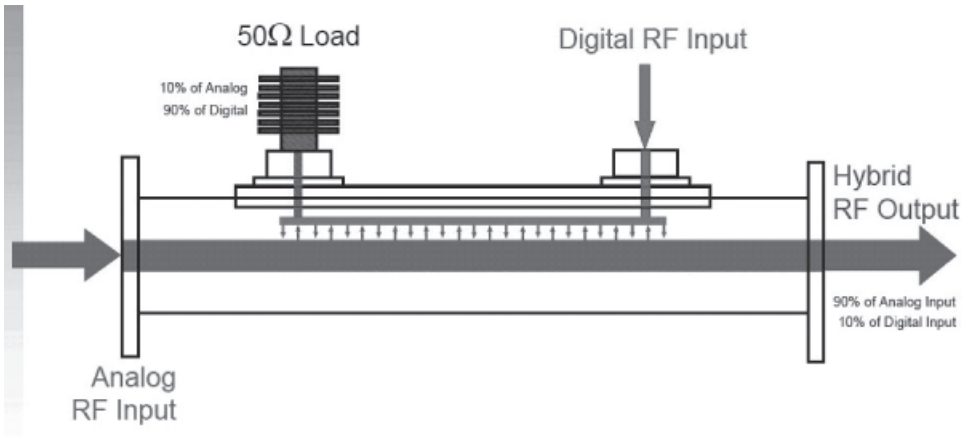
Mid Level–Split Amplification



High Level–Separate Amplification

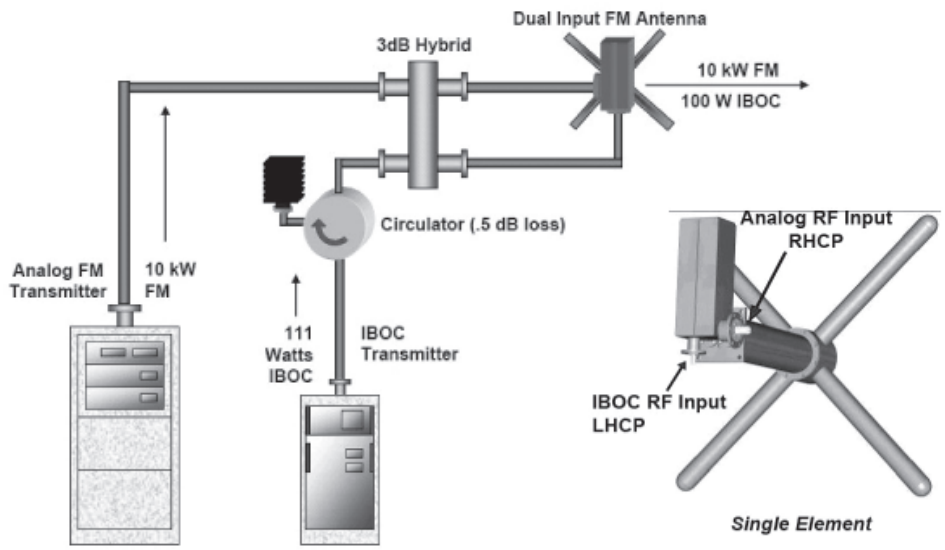


High Level–Separate Amplification



Hybrid Injector/Combiner

High Level–Separate Amplification



FM IBOC Dual Input Antenna

Dual Input Panel Antenna for IBOC

High Level Combined IBoc FM System สามารถออกแบบให้มีการสูญเสียพลังงานให้น้อยลงได้โดยการใช้สายอากาศแบบพิเศษ FM IBOC Dual Input Antenna พลังงานที่สูญเสียเฉพาะเครื่องส่ง IBOC เพียง 10% โดยการใช้อุปกรณ์ Circulator (0.5 dB Loss) และ 3 dB Hybrid เป็นตัวรวมสัญญาณวิทยุ IBOC และ Analog FM

4. FM IBOC Separate Antenna

เป็นการออกแบบระบบเครื่องส่งที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานของเครื่อง IBOC และเครื่องส่ง Analog FM เครื่องส่งอิสระมีการรบกวนทางระบบการส่งสัญญาณวิทยุน้อยมาก แต่ต้องเพิ่มระบบสายส่งกำลังและสายอากาศของ IBOC อีก 1 ชุด และเนื่องจากพลังงานในการส่งสัญญาณวิทยุ IBOC มีพลังงานต่ำกว่า Analog FM (1: 100) ดังนั้น ใช้สายส่งกำลังและแผงสายอากาศขนาดเล็กก็เพียงพอ

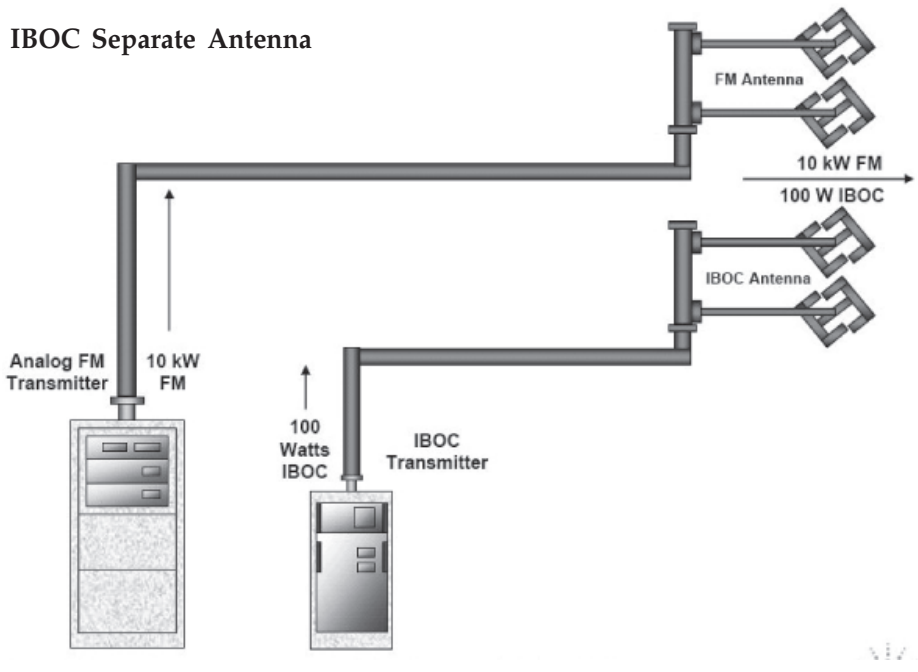
ข้อสรุปในการออกแบบระบบติดตั้งเครื่องส่ง FM IBOC

แบบใช้สายอากาศร่วมกัน

Low Level Combined

- เครื่องส่งประสิทธิภาพสูง สูญเสียพลังงานในระบบน้อย
- ประหยัดค่าเครื่องส่ง เพราะใช้เครื่องส่งกำลังส่งสูงเพียงเครื่องเดียว
- ค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องส่งต่ำ
- Mid–Level (Split–Level)
- เครื่องส่งประสิทธิภาพสูง
- อุปกรณ์เครื่องส่งราคาไม่สูงมาก ใช้เครื่องส่ง IBOC กำลังส่งต่ำ
- ค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องส่งต่ำ
- เครื่องส่ง Analog FM แยกต่างหากเป็นระบบสำรองเครื่องส่งอิสระ

FM IBOC Separate Antenna



High Level Combined

● เครื่องประสิทธิภาพไม่ดี เพราะมีการสูญเสียพลังงานในการรวมสัญญาณวิทยุ

- 90% ของสัญญาณ Digital HD Radio สูญเสียไปเป็นความร้อนใน Dummy Load

- 10% ของสัญญาณ Analog FM สูญเสียไปเป็นความร้อนใน Dummy Load

● ค่าใช้จ่ายในการใช้งานบำรุงรักษาต่ำกว่าแบบ Low Level และ Mid-Level Combined

● เครื่องส่ง Analog FM แยกต่างหากเป็นระบบสำรองเครื่องส่งอิสระ

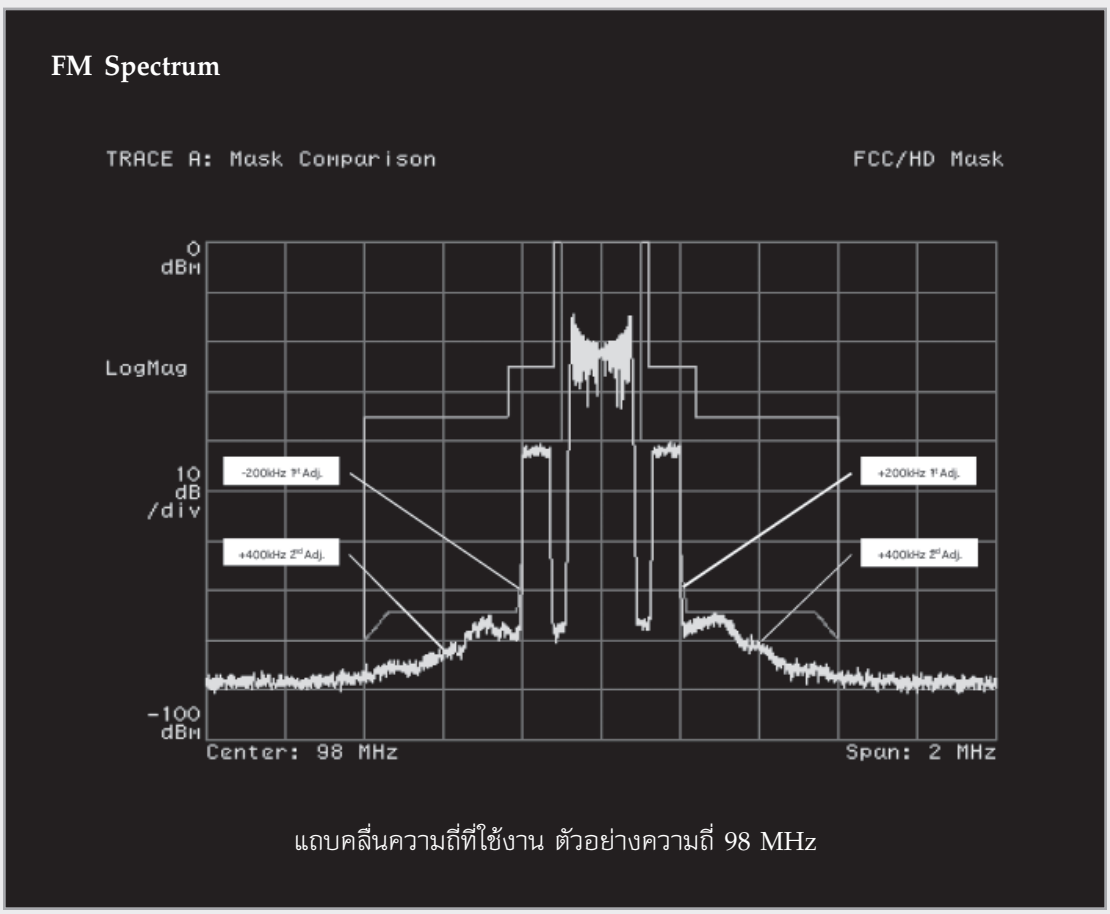
แบบแยกอุปกรณ์สายอากาศ (Separate: Dual Antennas Implementations)

● เครื่องส่งสัญญาณวิทยุทั้ง IBOC และ Analog FM ประสิทธิภาพสูง ไม่มีการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากเครื่องส่งแยกเป็นอิสระ

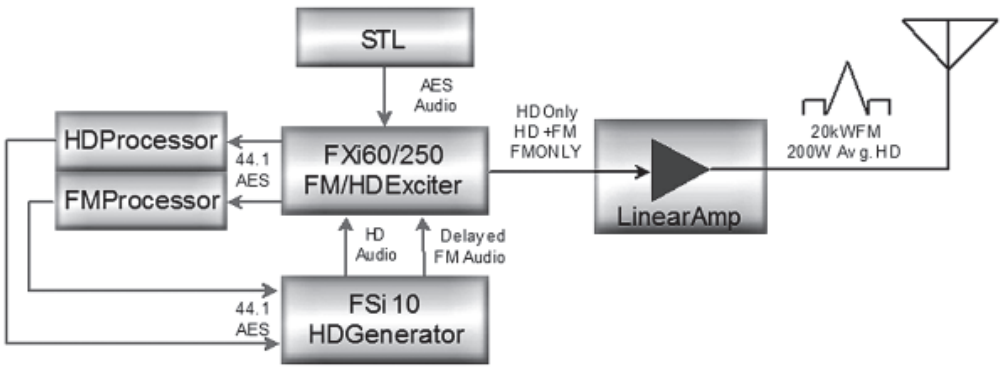
● การใช้สายอากาศเพิ่ม ในบางครั้งจะต้องเพิ่มพื้นที่ในการติดตั้งแผงสายอากาศ หรือต้องมีการขออนุญาตเพิ่มในกรณีที่มีกฎหมายวิทยุคมนาคมบังคับ

● เนื่องจากมีการติดตั้งแผงสายอากาศต่างระดับกันทั้งสองระบบ ในการรับสัญญาณอาจทำให้คลื่นสัญญาณไม่ได้สัดส่วนพลังงาน หากทำการติดตั้งแผงอากาศสลับกันก็จะแก้ปัญหาได้

● เครื่องส่ง Analog FM แยกต่างหากเป็นระบบสำรองเครื่องส่งอิสระ



แถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน ตัวอย่างความถี่ 98 MHz



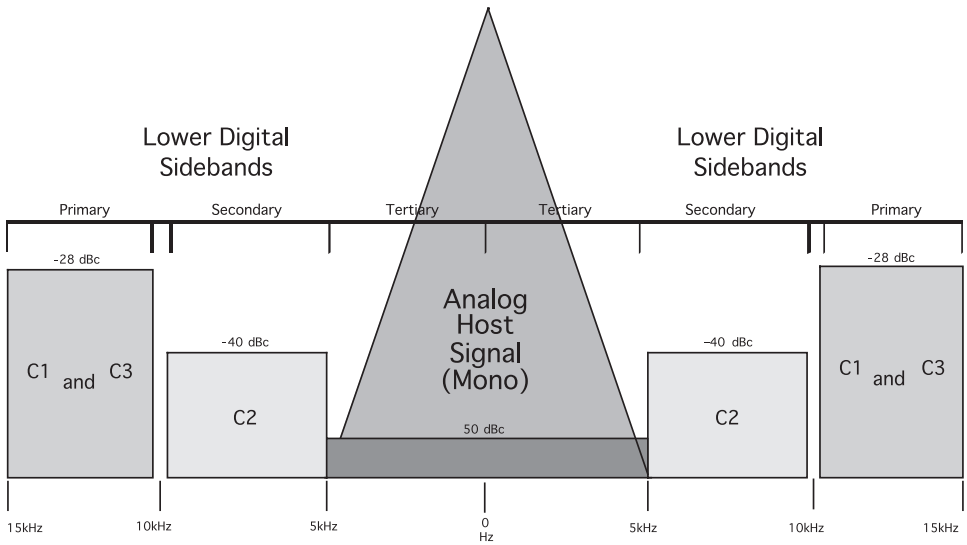
แผนผังการติดตั้ง
ระบบอุปกรณ์ในการส่งกระจายเสียง FM HD Radio
(FM HD Radio-Common Application)

AM HD Radio

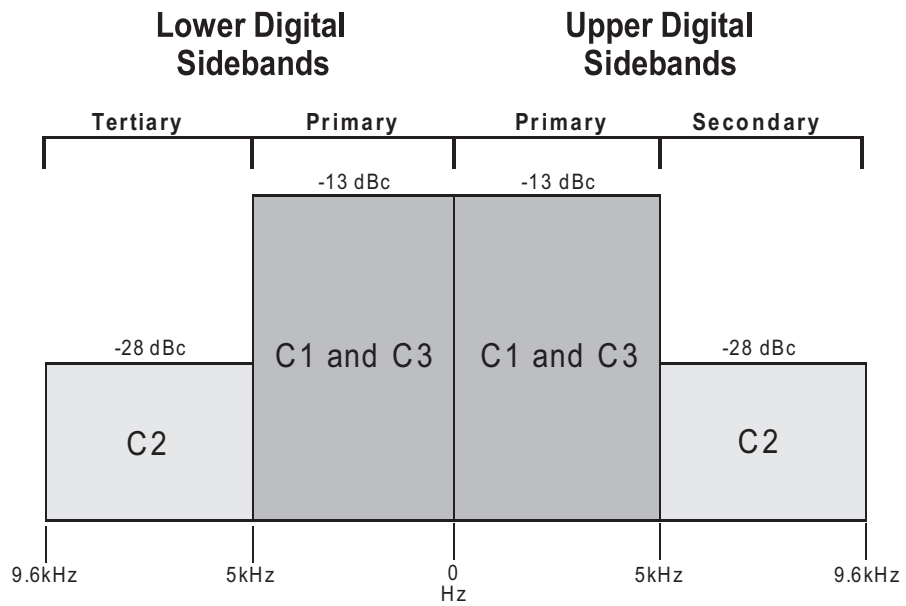
หลักการทำงานทางเทคนิคของการส่งกระจายเสียง AM HD Radio ดังนี้ คือ

- AM HD Radio ใช้หลักการในการสร้างสัญญาณวิทยุดิจิตอลเหมือนกับ FM HD Radio คือ ระบบ OFDM (Orthogonal Frequency Deviation Multiplex) โดยการสร้าง Subcarriers บริเวณ Sidebands ทั้งสองข้างของสัญญาณ Analog AM เดิม
- สัญญาณวิทยุ Analog AM ใช้แถบคลื่นสัญญาณ 5 KHz ส่วน lyPPkl;bmp6 HD Radio จะถูกสร้างเพิ่มขึ้นจากแถบความถี่เพิ่มขึ้น ± 15 kHz ซึ่ง FCC มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้งาน
- เนื่องจากแถบความถี่คลื่นวิทยุที่ AM HD Radio กำหนดมาตรฐาน คือ ± 15 kHz แต่ในประเทศไทยและประเทศในทวีปเอเชีย ITU (International Telecommunications Union) กำหนดให้การส่งสัญญาณวิทยุ Analog AM ใช้แถบความถี่ 18 kHz และความห่างของช่องความถี่ 9 kHz ดังนั้น ระบบ AM HD Radio จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในประเทศไทย เพราะใช้แถบความถี่วิทยุใช้งานกว้างกว่าที่ใช้งาน คือ 30 kHz
- ระบบการส่งกระจายเสียง AM HD Radio สามารถปรับปรุงในอนาคตให้สามารถส่งเต็มรูปแบบ Full Digital เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลอัตราที่มากขึ้นและเร็วขึ้น
- ความสามารถในการส่งสัญญาณสามารถส่งสัญญาณเสียงได้ 2 ช่องสัญญาณเสียง ทำให้ส่งสัญญาณในระบบ Stereo ได้อย่างสมบูรณ์

AM HD Radio-Hybrid Mode



AM HD Radio-Full Digital Mode



AM HD Radio-Hybrid Mode

- The AM HD Radio Hybrid mode supports the current AM Mono signal as well as the HD Radio signal
- 40 kbps data throughput, 36 kbps for Audio, 4 kbps for PAD
- Allocation adjustable

สัญญาณวิทยุ AM HD Radio ในระบบ Hybrid Mode จะเป็นการส่งทั้งในระบบ Analog AM เดิม และสัญญาณ AM IBOC พร้อมกัน ส่วนการส่งข้อมูลในระบบดิจิตอล สามารถส่งข้อมูลได้ 40 kbps ซึ่งจะแบ่งข้อมูลเป็นการส่งสัญญาณเสียง 36 kbps และข้อมูลการควบคุมระบบ 4 kbps ในการแยกสัญญาณดิจิตอลใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณต่างระดับกันใน แต่ละ Partitions ของ Subcarriers Sideband คือ Primary C1 and C3 เท่ากับ -28 dB ส่วน Secondary C2 เท่ากับ -40 dB และ -50 dB

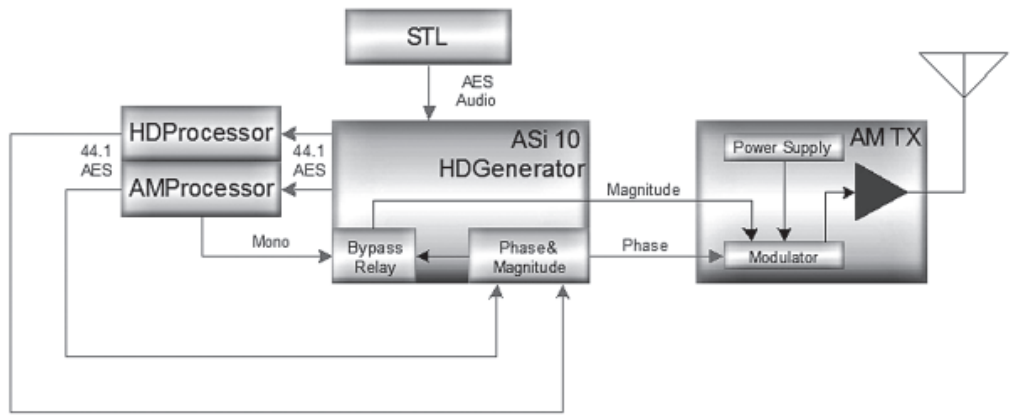
AM HD Radio-Full Digital Mode

สัญญาณวิทยุ AM HD Radio ในระบบ Full Digital Mode จะสามารถส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอล ได้เท่ากับ 60 kbps โดยไม่มีการส่งสัญญาณวิทยุ Analog AM เดิม ทำให้คุณภาพเสียงดีขึ้น ในระบบเสียง 2 ช่องสัญญาณ ระบบ Stereo เต็มรูปแบบ และสามารถส่งข้อมูลเกี่ยวกับอักษรข้อความ (Textual Data) เช่น ชื่อเพลง ชื่อนักร้อง ได้ด้วย

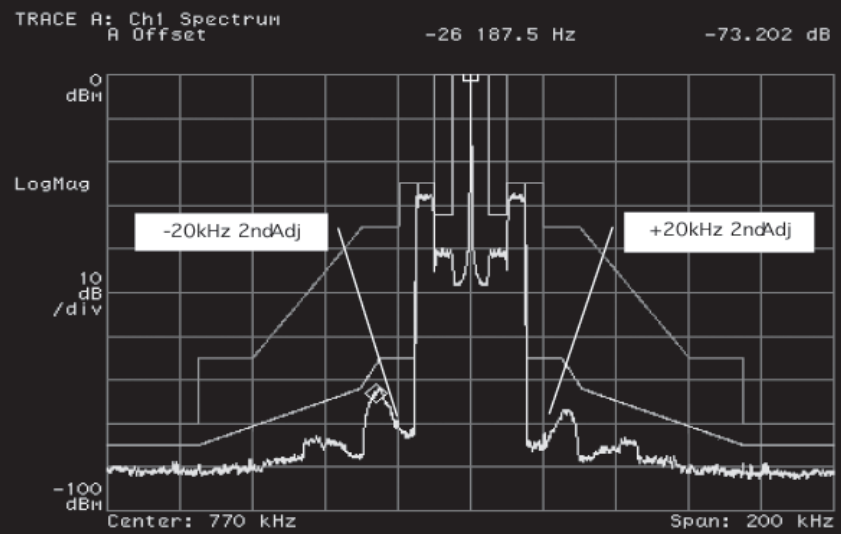
ระบบการติดตั้งเครื่องส่ง AM HD Radio

เป็นการสร้างสัญญาณ Analog AM และ AM HD Radio ในภาค Exciter แล้วขยายสัญญาณวิทยุในภาคขยายกำลังอีกครั้ง จะเห็นได้ว่าเครื่องส่ง AM HD Radio ต่างจากเครื่องส่ง Analog AM เดิม จะต้องเปลี่ยนเครื่องส่งใหม่ในการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิตอล ส่วนระบบสายอากาศยังคงใช้แบบเดิมได้

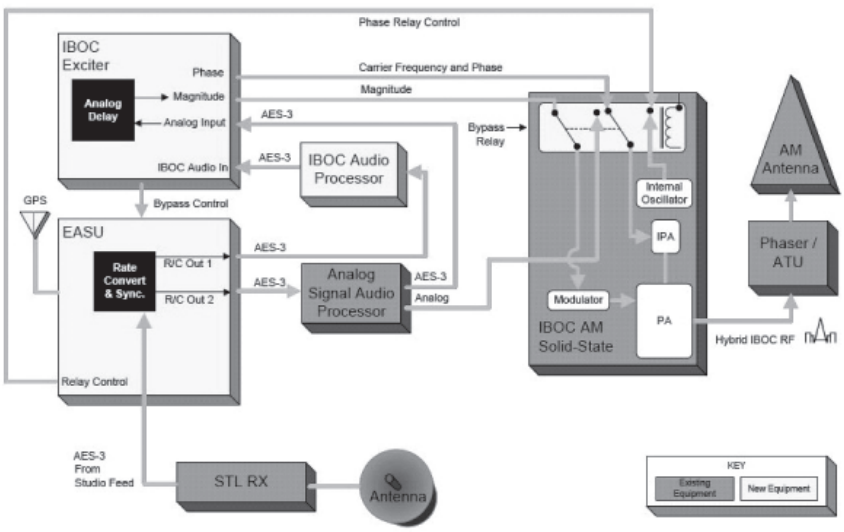
AM HD Radio System



AM HD Radio System



ระบบการทำงานของเครื่องส่ง IBOC AM



IBOC AM Transmission System

ระบบการทำงานของเครื่องส่ง IBOC AM

ระบบการทำงานของเครื่องส่ง IBOC AM จากรูปมีรูปแบบระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง Analog AM และ IBOC AM โดยการแบบสีจะเห็นว่าจะต้องมีการปรับปรุงระบบภาค AM Exciter ของเครื่องส่งให้สามารถรวมสัญญาณ IBOC AM เข้าไปด้วย นอกจากนั้นยังเพิ่มอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณ GPS เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับพิกัดของสถานีเครื่องส่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการรับสัญญาณของเครื่องรับ AM HD Radio ในรายละเอียดกับทางเทคนิคในการผสมสัญญาณเข้ารหัสดิจิตอลขอให้ผู้สนใจศึกษาเพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

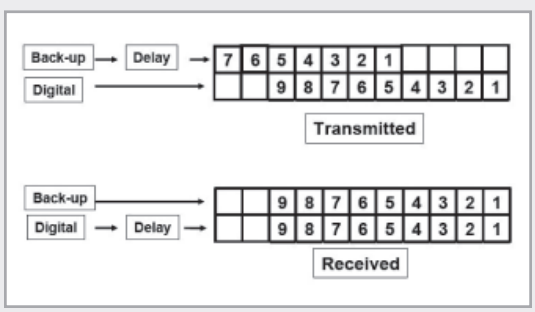
ข้อสรุป

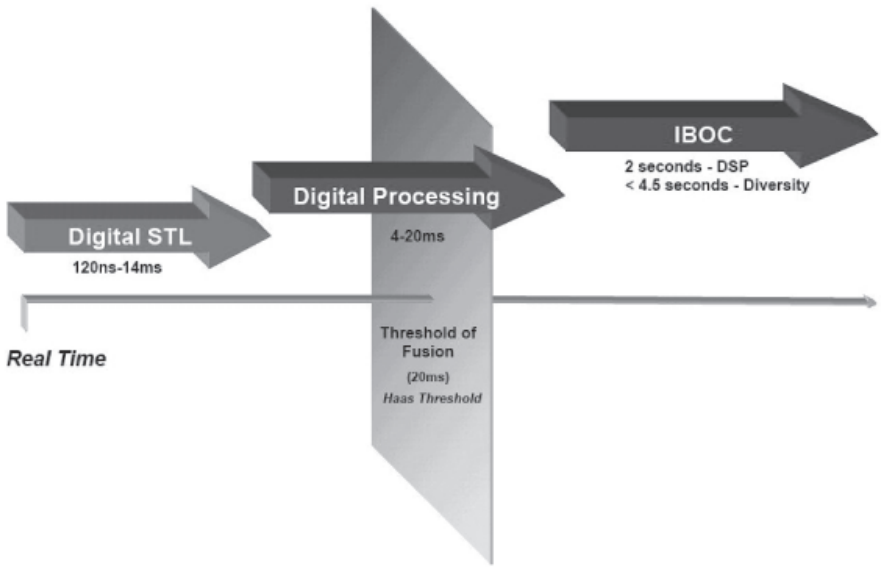
1. เครื่องส่ง FM IBOC และเครื่องส่ง AM IBOC แม้จะใช้หลักการในการสร้างคลื่นสัญญาณวิทยุเหมือนกัน แต่นำเครื่องส่งมาใช้งานจะพบว่า FM IBOC สามารถนำมาใช้งานในระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงในย่านความถี่ 88-108 MHz ได้ง่ายกว่าที่จะใช้ระบบ AM IBOC แต่การเปลี่ยนระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงให้เป็นระบบดิจิตอล เป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่สำหรับผู้รับบริการด้านวิทยุกระจายเสียง เนื่องจากจะต้องจัดซื้อเครื่องรับวิทยุระบบดิจิตอลใหม่ทั้งหมด ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการได้รับบริการใหม่ๆ จากระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล

2. เทคนิคการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล (FM IBOC + FM) เป็นการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบอนาล็อก AM และ FM คุณภาพเสียงที่ออกอากาศ เมื่อเครื่องรับวิทยุรับสัญญาณได้ เสียงที่รับได้จะเป็นเวลาพร้อมกับการส่งออกอากาศที่สถานีเครื่องส่งวิทยุ เรียกว่า เป็น Real Time แต่ในการส่งสัญญาณกระจายเสียงระบบดิจิตอล การทำการของระบบสัญญาณวิทยุต้องมีการเปลี่ยนแปลงเวลาเข้ารหัสของสัญญาณเสียง และผ่านระบบการส่งสัญญาณดิจิตอลจำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ทำสัญญาณเสียงที่รับจากเครื่องรับวิทยุมีสัญญาณเสียงช้ากว่าสัญญาณเสียงที่ส่งจากเครื่องส่งวิทยุ ช่วงเวลาที่ช้า เรียกว่า Delay Time ในการส่งสัญญาณเสียง HD Radio ซึ่งส่งสัญญาณ FM เดิมกับสัญญาณดิจิตอล เมื่อผู้รับฟังใช้เครื่องรับวิทยุอนาล็อกแบบเดิม กับเครื่องรับวิทยุดิจิตอลแบบใหม่ จะพบว่าเสียงจากเครื่องรับวิทยุดิจิตอลเสียงมาช้ากว่าเครื่องรับวิทยุอนาล็อก ดังนั้น จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยทำให้เสียงที่รับฟังเครื่องรับวิทยุทั้งสองระบบมีเสียงดังพร้อมกัน โดยการทำให้เสียงที่ส่งในระบบ Analog FM ก่อนส่งเข้าเครื่องส่งช้าลงจากเดิม และเมื่อฟังเสียงจากเครื่องรับทั้งสองก็จะดังพร้อมกัน อุปกรณ์ที่จะให้ระบบการส่งกระจายเสียงที่ทำให้สัญญาณเสียงช้าลง มีดังนี้ คือ

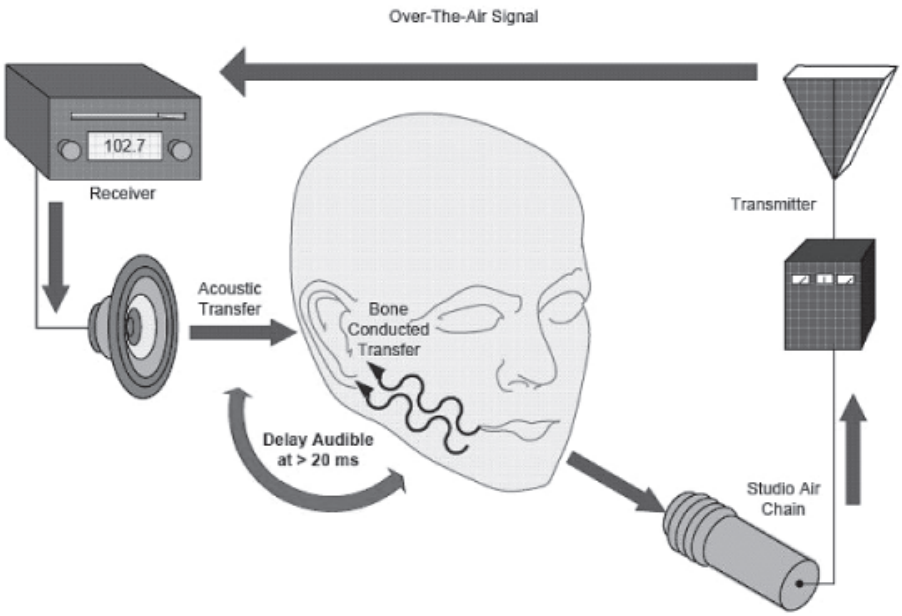
- อุปกรณ์เครื่องเชื่อมโยงสัญญาณ Digital STL (Digital Studio Transmitter Link)
- อุปกรณ์ปรับแต่งคุณภาพเสียง (Digital Processing)
- การเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอล IBOC

สัญญาณ Back-up เป็นสัญญาณที่จะต่อเข้ากับเครื่อง Analog FM เดิม ในการส่งสัญญาณวิทยุจะถูกทำให้ช้าลง แต่ในการรับสัญญาณวิทยุระบบดิจิตอลจะมาช้าเนื่องจากการเปลี่ยนระบบเข้ารหัสดิจิตอล ทำให้รับฟังเสียงได้พร้อมกันทั้งระบบ FM เดิม และ FM IBOC





อุปกรณ์ที่ทำให้เสียงระบบดิจิตอลช้าลง (Delay Time)



3. ระบบเสียงเกิดมีความล่าช้าในระบบการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิตอลจะมีผลทำให้เสียงพูดที่ออกอากาศกับเสียงที่ฟังได้จากเครื่องรับวิทยุดิจิตอลมีเวลาช้าต่างกัน จะมีผลทำให้การสนทนาผู้ฟังกับผู้จัดรายการทางสถานีวิทยุมีช่วงเวลาต่างกัน จึงมีการออกแบบแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการจัดทำข้อมูลในช่วงการสนทนาให้น้อยลง ซึ่งระบบ HD Radio ช่วยให้การส่งกระจายเสียงมีความเหมือนจริง (Real Time)

เครื่องรับวิทยุ HD Radio
(On-demand Multimedia Radio)

การให้บริการรูปแบบใหม่สำหรับ Digital HD Radio

ระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล HD Radio เป็นการส่งกระจายเสียง AM และ FM ระบบเดิมพร้อมๆ กับการส่งสัญญาณวิทยุดิจิตอลที่เป็นระบบใหม่ มีคุณภาพความชัดเจนของเสียงดีกว่า และยังมีการให้บริการเสริมที่ส่งข้อมูลให้มาด้วยกัน ในคลื่นความถี่วิทยุเดียวกันที่รับฟังได้ ซึ่งกล่าวโดยรวมก็จะเป็นการส่งรายการวิทยุปกติ จำนวน 2 ช่องสัญญาณเสียง และมีการให้บริการข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่างๆ คือ

- มีการส่งข้อมูล ตลาดหุ้น ข่าวสาร พยากรณ์อากาศ และแจ้งรายการบันเทิงต่างที่จะเกิดขึ้น แสดงออกมาในรูปแบบของสัญญาณเสียง เป็นตัวอักษร หรือเป็นภาพ
- ให้บริการเกี่ยวกับแผนที่ในการเดินทางในพาหนะเคลื่อนที่ (บริการ GPS)
- เมื่อเดินทางไกลสามารถให้บริการต่อเนื่องได้จากสถานีในเครือข่ายหลายๆ จุด
- ให้บริการด้านธุรกิจเกี่ยวกับการโฆษณาสินค้า การสั่งซื้อสินค้า
- ให้บริการรูปแบบ Broadcast Websites เหมือนการใช้งานอินเทอร์เน็ต
- ให้ข้อมูลข่าวสารจราจรแสดงเป็นรูปแบบแผนที่ได้ด้วย

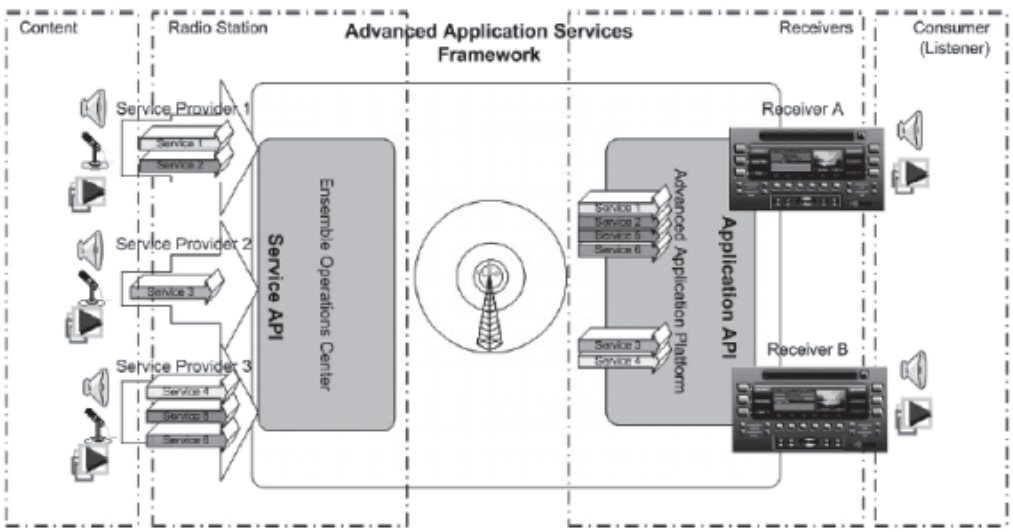
เมื่อมีการปรับการส่งกระจายเสียงในรูปแบบดิจิตอลเต็มรูปแบบแล้ว ข้อมูลที่ใช้ในการส่งคือ 300 kbps ซึ่งสามารถส่งสัญญาณเสียงได้ถึง 8 ช่องสัญญาณเสียง ในระบบ FM HD Radio (Full Digital) แต่การส่งวิทยุกระจายเสียงโดยปกติจะส่งกระจายเสียงรายการโปรแกรมหลัก 2 ช่องสัญญาณเสียง เรียกว่า Main Program Service (MPS) และช่องสัญญาณที่เหลือ 6 ช่องสัญญาณเสียงก็จะถูกนำไปใช้งานในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับทางสถานีวิทยุเรียกว่า Station Information Service (SIS) ซึ่งจะเป็นรูปแบบการให้บริการใหม่ที่เสริมในการส่งกระจายเสียง โดยการพัฒนาบริการข้อมูลเสริมจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับโปรแกรมการกระจายเสียงหลัก เรียกว่า Application Programming Interfaces (API) การออกแบบระบบบริการเสริมเรียกว่า Advanced Application Services (AAS) ระบบบริการเสริมดังกล่าวเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างทางสถานี (Service Provider) และลูกค้าผู้รับบริการวิทยุกระจายเสียง (Service Consumer) ตัวอย่างเช่น ผู้รับบริการวิทยุกระจายเสียงสามารถเรียกข้อมูลจากทางสถานี โดยเครื่องรับแสดงเป็นข้อความ ตัวอักษร แสดงหน้าจอ LCD ที่เครื่องรับ หรือรับข้อมูลเกี่ยวกับเสียง (Audio Stream) ซึ่งไม่ใช่รายการสดที่ส่งกระจายเสียงและเป็นรายการวิทยุที่ต้องการนำไปฟังอีกครั้งได้ ซึ่ง

การบริการนี้อาจเป็นการให้บริการโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย หรือผู้รับบริการจะต้องออกค่าใช้จ่ายในบางส่วน ซึ่งการให้บริการเสริมวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอลสามารถให้บริการสำหรับผู้ที่รับบริการในการเดินทางกับรถยนต์ และในอุปกรณ์รับสัญญาณเคลื่อนที่แบบอื่นๆ (In-car and Mobile Device) ตัวอย่าง เช่น

- อุปกรณ์นำร่องบอกทิศทาง (Navigation or Telematics System)
- อุปกรณ์โทรศัพท์ที่ใช้งานร่วมกับ HD Radio (HD Radio Enabled Cell Phones)
- เครื่องคอมพิวเตอร์มือถือขนาดเล็ก (Pocket PC) เรียกว่า PDAs ใช้งานเป็นเครื่องโทรศัพท์ เครื่องคอมพิวเตอร์ และรับสัญญาณ HD Radio เช่น รับบริการข้อมูล GPS

อุปกรณ์ PDAs ที่มีใช้งานในปัจจุบัน

ระบบบริการเสริมวิทยุกระจายเสียง HD Radio



แผนผังการติดตั้งระบบบริการเสริมวิทยุกระจายเสียง จำนวน 6 ช่องสัญญาณ

เครื่องรับวิทยุ HD Radio ที่แสดงผลข้อมูล

Pontiac Vibe

Visteon – Ford

HD Radio Data

Data Applications

เครื่องรับวิทยุ HD Radio แบบต่างๆ ที่ผลิตจำหน่ายในขณะนี้

ความเห็นของผู้ผลิต HD Radio ที่เสนอมาใช้งานสำหรับประเทศไทย

- อุปกรณ์ราคาไม่แพง เนื่องจากไม่ต้องจัดซื้อใหม่ทั้งหมด ซื้อเพียงบางส่วน เช่น เครื่องส่ง FM IBOC และอุปกรณ์ในการรวมสัญญาณวิทยุใช้สายอากาศเดิมได้
- เครื่องรับวิทยุ HD Radio ราคาไม่แพง เนื่องจากมีการผลิตอย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกาในขณะนี้ (จากแหล่งข่าวไม่เป็นทางการแจ้งว่า ราคาเครื่องละประมาณ 7,000 บาท)
- ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องขอคลื่นความถี่วิทยุใหม่ ใช้ความถี่วิทยุเดิมได้
- และหากใช้เครื่องส่ง Analog FM รุ่นใหม่ที่เป็นแบบ Solid State ก็สามารถปรับปรุงให้ใช้งานร่วมกันได้ง่าย (Upgraded)
- ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทันที เปลี่ยนเพียงบางส่วนไปก่อน เนื่องจากมีแบบการติดตั้งให้เลือกหลายแบบตามความเหมาะสม
- การดำเนินการเปลี่ยนระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงไปสู่ระบบดิจิตอลเต็มรูปแบบในอนาคต ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนแปลงได้ต่อเนื่องไม่ต้องหยุดการส่งกระจายเสียง
- เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอลที่ประเทศต่างๆ ทั่วโลกนำมาใช้

ผลประโยชน์ทางธุรกิจที่ใช้ระบบ HD Radio

- **สามารถควบคุมระบบการตลาด**
  - พื้นที่การให้บริการ
  - ความถี่ในการให้บริการต่อเนื่อง
  - ใช้งานได้พร้อมๆ กับระบบ AM และ FM ที่ใช้งานเดิม
  - ไม่มีการแข่งขัน เนื่องจากเป็นการพัฒนาเครือข่ายเดิม
- **ผู้รับบริการจะได้รับบริการดีขึ้นจากเดิม**
  - คุณภาพการรับฟังเสียงที่มีคุณภาพดีจาก AM และ FM ระบบเดิม
  - ไม่มีปัญหาเสียงรบกวน เสียงเบา เสียงจางหาย เสียงดังไม่สม่ำเสมอ รับฟังระดับเสียงปกติตลอดเวลา ชัดเจน
  - ระบบเครือข่าย ความถี่เดียว ใช้งานหลายสถานี ผู้ฟังได้รับความสะดวกในขณะเดินทาง
  - ขณะนี้อุปกรณ์พร้อมที่จะนำมาใช้งาน

ผลประโยชน์ด้านกฎหมายและระบบควบคุมของรัฐ

- ไม่มีความจำเป็นที่ต้องกำหนดวางแผนความถี่วิทยุใหม่มาใช้งาน
- เครื่องส่งใช้กำลังส่งเท่าเดิม เนื่องจากระบบใหม่ที่มาเสริมมีกำลังต่ำกว่า 1: 100 เท่า
- ใช้เสาอากาศเดิมในการส่งกระจายเสียง
- ใช้สายอากาศที่มีใช้งานอยู่เดิม
- ใช้ใบอนุญาตในการออกอากาศของสถานีวิทยุกระจายเสียงเดิม
- เป็นการเปลี่ยนระบบการส่งกระจายเสียงที่ไม่ต้องใช้ย่านความถี่ใหม่
- ราคาอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับระบบการส่งกระจายเสียงดิจิตอล เช่น Eureka 147/DRM หรือระบบอื่นๆ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอลในประเทศไทย

สาเหตุที่จะต้องมีการเปลี่ยนการส่งกระจายเสียง Analog AM และ FM ไปสู่การส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอล

- ผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเปลี่ยนเทคโนโลยีผลิตอุปกรณ์กระจายเสียงเป็นระบบดิจิตอล เพื่อทดแทนอุปกรณ์ระบบอนาล็อกเดิม เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ และทำกำไรในการขาย

สูง ประสิทธิภาพอุปกรณ์ดีกว่า

● อุปกรณ์ส่งกระจายเสียงระบบอนาล็อกที่มีใช้อยู่เดิม เสื่อมสภาพการใช้งาน การซ่อมบำรุงรักษาใช้ต้นทุนสูง และนับวันจะหาอะไหล่ทดแทนได้ยาก

● การแข่งขันทางธุรกิจวิทยุกระจายเสียงแนวโน้มเปลี่ยนไปสู่การส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอล และมีระบบการส่งกระจายเสียงรูปแบบใหม่ๆ เพิ่มขึ้น จึงต้องปรับปรุงการกระจายเสียงให้มีคุณภาพและมีบริการใหม่เสริมมากขึ้น

ปัญหาอุปสรรคในการเปลี่ยนระบบการส่งกระจายเสียงระบบดิจิตอล

● การคัดเลือกระบบกระจายเสียงให้เหมาะสมกับประเทศไทย มีหลายระบบมีข้อดีข้อเสียต่างกัน

- ระบบ DRM ใช้ทดแทนระบบ AM (MW, SW) แต่ต้องยกเลิกระบบอนาล็อก AM เดิม

- ระบบ DAB ใช้ทดแทนระบบ FM แต่จะต้องยกเลิกการส่งวิทยุโทรทัศน์ในย่านความถี่ VHF Band III 174-240 MHz เพื่อมาใช้ในการส่งกระจายเสียงระบบ DAB

- ระบบ HD Radio ใช้ทดแทนระบบ FM แต่มีการใช้แถบความถี่ (Bandwidth) เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะมีผลต่อการรบกวนกับคลื่นวิทยุของสถานีวิทยุชุมชนที่ตั้งสถานียังไม่ถูกต้องแต่จะมีการรบกวนสัญญาณในการส่ง HD Radio ที่ใช้ความถี่วิทยุซ้ำซ้อนกัน และการส่ง HD Radio ในระบบ AM ยังไม่มีความเหมาะสมทางเทคนิคเกี่ยวกับกฎระเบียบในการใช้ความถี่ในบริเวณประเทศเอเชีย

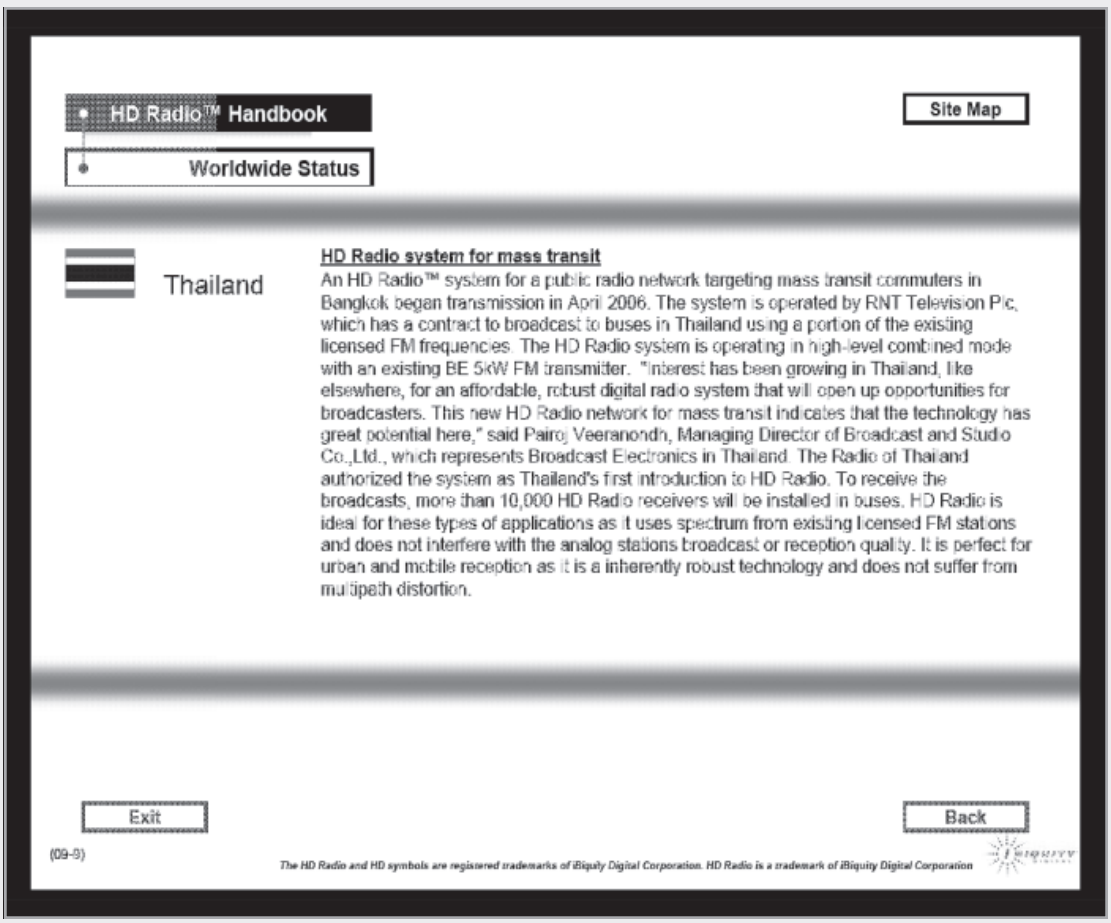
● ผู้ฟังจะต้องซื้อเครื่องรับวิทยุระบบดิจิตอลใหม่ จึงจะรับฟังการส่งกระจายเสียงดิจิตอลได้ ซึ่งขณะนี้ราคาเครื่องรับวิทยุก็แตกต่างกันมาก เช่น เครื่องรับวิทยุ FM ราคาต่ำสุดไม่ถึง 100 บาท ก็ยังมีขาย แต่เครื่องรับวิทยุดิจิตอลหลายๆ ระบบ ราคาเครื่องละประมาณ 7,000-8,000 บาท และที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งผู้ฟังบางคนไม่สามารถแยกความแตกต่างคุณภาพเสียงระหว่างเครื่องรับวิทยุขนาดเล็กกระเป๋าหิ้วทั้งเครื่องรับวิทยุอนาล็อกเดิมและและเครื่องรับวิทยุดิจิตอลได้ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งว่า ขณะนี้หลายประเทศยังไม่ประสบความสำเร็จในการที่ผู้รับฟังวิทยุยอมรับการเปลี่ยนเครื่องรับวิทยุไปเป็นระบบดิจิตอล

● ในการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอุปกรณ์ดิจิตอลเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว เป็นการยากแก่การตัดสินใจเปลี่ยนอุปกรณ์การกระจายเสียงระบบดิจิตอล อาจเป็นการเสี่ยงหากอุปกรณ์ที่ซื้อมาตกรุ่น หรือเปลี่ยนเทคโนโลยีการใช้งาน แม้ว่าการส่งกระจายเสียงจะลงทุนไม่สูงมาก แต่ผู้รับบริการจะต้องซื้อเครื่องรับวิทยุราคาแพง

● ปัญหาทางกฎหมายการบริหารความถี่วิทยุกระจายเสียง ซึ่งเป็นปัญหาทางด้านการเมืองที่ยังไม่มีหน่วยงานรับผิดชอบการบริหารงานด้านคลื่นความถี่ คือ คณะกรรมการกิจการวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์แห่งชาติ (กสช.) จะต้องเป็นผู้ประกาศว่าประเทศไทยได้เลือกการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล ระบบใดมาใช้งานในประเทศไทย

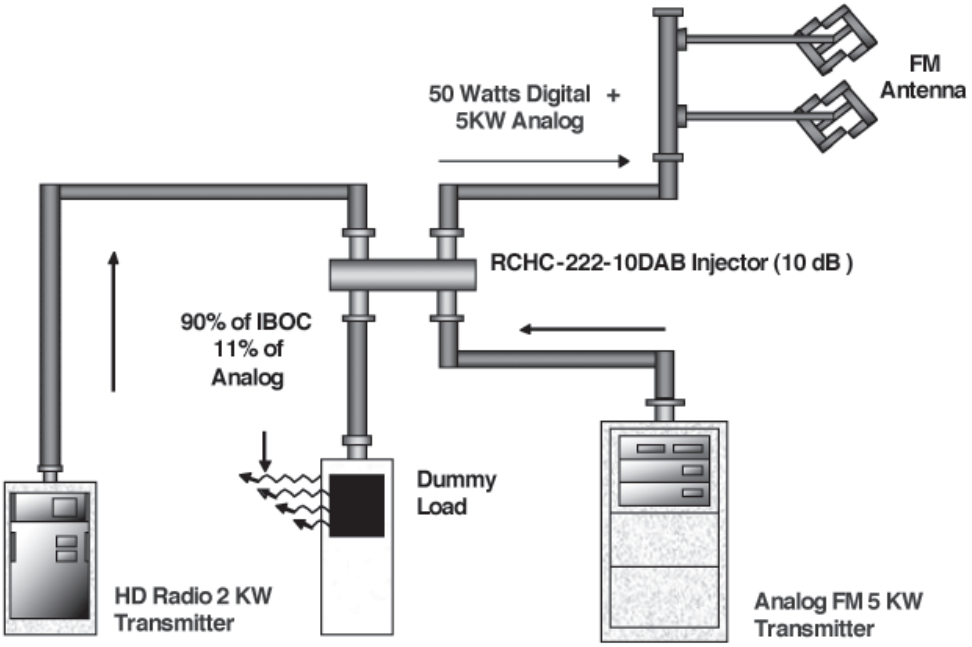
แม้ว่าปัญหาอุปสรรคในการเปลี่ยนการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิตอลในประเทศไทยยังไม่มีทิศทางที่ชัดเจน แต่ก็มีที่นำระบบการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ HD Radio มาใช้งานในประเทศไทยแล้ว คือ บริษัท ฟาติมา อาร์.บี.ดี.เอส. อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ผู้เช่าสัญญาณแผง (Subcarrier) ของสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟ.เอ็ม. สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย ได้นำเครื่องส่ง FM IBOC กำลังส่ง 2 กิโลวัตต์ มาติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง

ความถี่ 88.00 MHz ของสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย โดยติดตั้งเครื่องส่งแบบ High Level Combined IBOC FM System เริ่มออกอากาศตั้งแต่วันที่ 25 มีนาคม 2549 โดยรายการวิทยุกระจายเสียงที่ออกอากาศเป็นรายการวิทยุกระจายเสียงสำหรับใช้บริการในรถยนต์โดยสารประจำทางในกรุงเทพมหานคร ของ ขสมก. คาดว่าจะต้องติดตั้งเครื่องรับวิทยุ HD Radio เป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 10,000 คัน และจากแหล่งข่าวที่ไม่เป็นทางการราคาเครื่องรับวิทยุเครื่องละ ประมาณ 7,000 บาท ซึ่งทางผู้ผลิต HD Radio คือ IBIQUITY ได้แจ้งประกาศเป็นทางการแล้ว



ข้อมูลรายงานจาก HD Radio™ Handbook ของ IBIQUITY

Separate Amplification HD Radio FM System



ระบบการติดตั้งเครื่องส่ง FM IBOC
ที่สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย
ความถี่ 88.00 MHz

จากการส่งกระจายเสียงในระบบ HD Radio ในประเทศไทยโดยใช้ FM IBOC ก็จะเป็นการศึกษาข้อมูลต่อไปว่า การส่งวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอลดังกล่าวเหมาะสมกับประเทศไทยหรือไม่ และแนวโน้มต่อไปในการยอมรับใช้ระบบ HD Radio อย่างเป็นทางการในอนาคตของประเทศไทย ◎

เอกสารอ้างอิงจาก Website

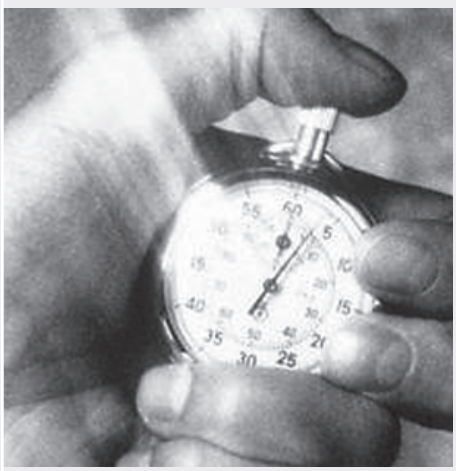
- http://www.ibiquity.com
- http://www.radioworld.com/reference-room/iboc/
- http://beradio.com/
- http://www.bdcast.com/HD Radio/

ชนิดของความคลาดเคลื่อน (Classification of Measurement Errors) และการแก้ไข

นาวาอากาศเอก ไชยานนท์ สุขประเสริฐ
กองมาตรวิทยา กรมสื่อสารทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ

คำจำกัดความ (VIM: International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology)

1. **การวัด (Measurement):** กลุ่มของปฏิบัติการที่มีความมุ่งหมาย เพื่อการตัดสินค่าของปริมาณอันหนึ่ง ซึ่งปฏิบัติการนี้อาจกระทำโดยอัตโนมัติ (VIM 2.1)



2. **สิ่งที่ถูกวัด (Measurand):** ปริมาณที่มีผลต่อการวัด (Influence Quantity)

3. **ความสามารถซ้ำกันได้ (Repeatability):** ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างผลการวัดหลายๆ ครั้งของปริมาณที่ถูกวัดเดียวกันภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้ คือ วิธีการวัดเดียวกัน, ผู้สังเกตคนเดียวกัน, เครื่องมือวัดเดียวกัน, ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน, สถานที่ทำการวัดเดียวกัน และกระทำในระยะเวลาอันสั้น (VIM 3.6)

4. **ความสามารถทำให้เกิดใหม่ได้ (Reproducibility):** ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างผลการวัดของปริมาณที่ถูกวัดเดียวกันภายใต้เงื่อนไขที่เปลี่ยนไปอย่างน้อย 1 อย่าง ดังนี้ คือ วิธีการวัด, ผู้สังเกต, เครื่องมือวัด,

เงื่อนไขที่ใช้, สถานที่ทำการวัดและเวลา (VIM 3.7)

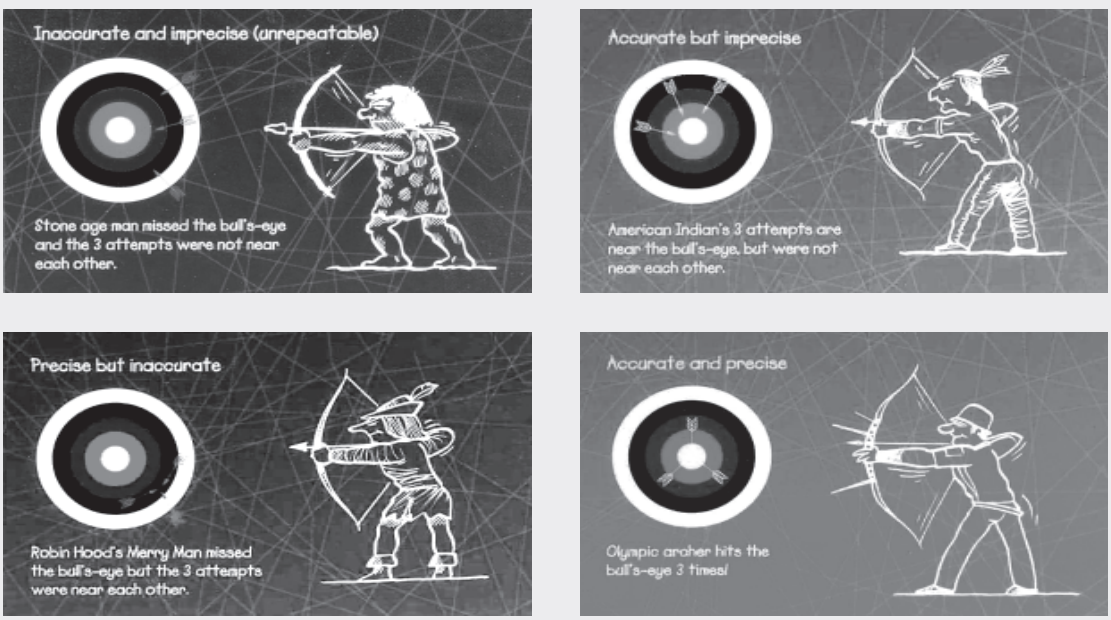
5. **ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty):** พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากับผลการวัด ซึ่งบอกลักษณะการกระจายค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล เช่น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น ความไม่แน่นอนของการวัด ซึ่งโดยทั่วๆ ไป หมายถึง ค่าประมาณพิสัยของค่าที่โดยทั่วไปจะมีจุดศูนย์กลางที่ค่าที่วัดได้ ซึ่งภายในพิสัยนี้จะมีค่าจริงบรรจุอยู่พร้อมกับระดับความเชื่อมั่นการรายงานผลการวัด (VIM 3.9)

6. **ความคลาดเคลื่อนของการวัด (Error of Measurement):** ผลการวัดลบด้วยค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด เนื่องจากค่าจริงไม่สามารถจะกำหนดได้ในทางปฏิบัติ จึงใช้ค่าเป็นที่ตกลงยอมรับกันแทน (Conventional True Value) ซึ่งค่าจริงที่เป็นที่ยอมรับคือ ค่าจริงที่เป็นค่าซึ่งแสดงคุณลักษณะของปริมาณเฉพาะเจาะจงที่ตกลงยอมรับร่วมกันจากที่ประชุม โดยมีค่าความไม่แน่นอนที่เหมาะสมสำหรับจุดประสงค์ของการใช้งานที่กำหนด (VIM 3.10)

7. **ความสามารถสอบกลับได้:** สมบัติของการวัดที่สามารถหาความสัมพันธ์ได้กับมาตรฐานที่เหมาะสม โดยทั่วไปได้แก่ มาตรฐานระหว่างชาติ หรือมาตรฐานแห่งชาติ โดยการเปรียบเทียบอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ ซึ่งการวัดทั้งหมดต้องระบุค่าความไม่แน่นอนไว้ด้วย (VIM 6.10)

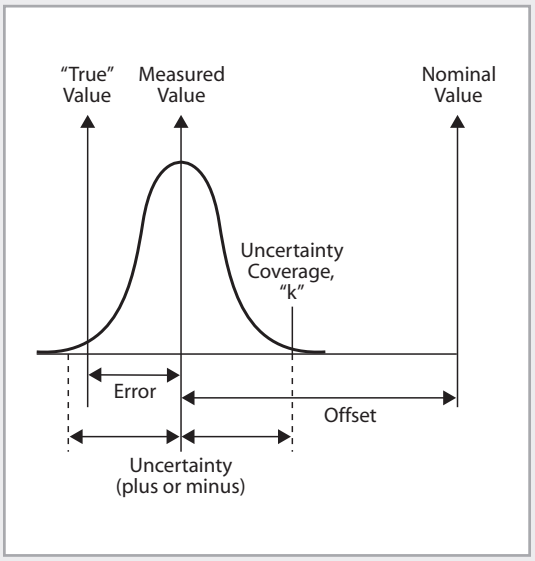
8. **ความถูกต้องของการวัด (Accuracy of measurement):** ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างผลการวัดกับค่าจริง (True Value) ของสิ่งที่ถูกวัด ซึ่งสามารถแยกออกเป็นความถูกต้องสัมบูรณ์ (Absolute Accuracy) ที่เป็นความถูกต้องที่แสดงตัวเลขพร้อมหน่วยวัดกับความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative Accuracy) ที่เป็นความถูกต้องที่แสดงในลักษณะที่ไม่มีหน่วยวัด (VIM 3.5)

9. **ความแม่นยำ (Precision):** ความสามารถของเครื่องวัดที่จะบอกระดับของความถูกต้องของการวัดสัญญาณเดิม แต่ละครั้งในการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยการวัดปริมาณที่กำหนดให้ค่าเดียวกันในกรรมวิธีและสภาวะแวดล้อมอย่างเดียวกัน



รูปแสดงความแม่นยำและความถูกต้อง (Precision & Accuracy)

10. **ค่าแก้ (Correction):** ค่าที่เมื่อบวกทางพีชคณิตเข้ากับผลการวัดที่ยังไม่ได้แก้แล้ว จะสามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนระบบที่สมมุติได้ ที่รู้ค่าหรือประเมินค่าได้ สามารถนำไปบวกเข้าหรือลบออกจากผลการวัด ทำให้เราได้ค่าการวัดที่ถูกต้อง แต่ความคลาดเคลื่อนที่เราไม่รู้ค่าแน่นอน ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีก็ตาม จะทำให้เกิดปัญหาในการวัด



ความคลาดเคลื่อนของการวัด (Error of Measurement)

เนื่องจากความจริงที่ว่าขั้นตอนดำเนินการและเครื่องวัดที่ใช้ในการวัดไม่สมบูรณ์ในการปฏิบัติจริง ดังนั้น จะเกิดความแตกต่างขึ้นระหว่างผลที่ได้จากการวัดและค่าจริงของปริมาณที่ถูกวัด ความแตกต่างนี้เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Errors)

ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างแน่นอน ดังนั้น ผลที่ได้จากการวัดจึงมีค่าความไม่แน่นอนร่วมอยู่ด้วยเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในทุกการวัด ถ้าหากความละเอียดของอุปกรณ์มีพอเพียงและไม่ขึ้นกับความถูกต้องของมันว่าเป็นเท่าไร เราจะเห็นความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดเสมอ

การวัดใดๆ จะต้องมีความคลาดเคลื่อนรวมอยู่ด้วยเสมอ ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้มีทั้งรู้ค่าและไม่รู้ค่า หรือประมาณค่าไม่ได้ ความคลาดเคลื่อน

การจำแนกชนิดของความคลาดเคลื่อน (Classification of Errors) และการลดความคลาดเคลื่อน

ในการวัดแต่ละครั้งค่าที่ได้จากการวัดจะแตกต่างค่าจริงเสมอ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการวัดเป็นลักษณะจำเพาะ หรือบอกถึงคุณภาพของการวัด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะวิเคราะห์ถึงแหล่งกำเนิดของความคลาดเคลื่อนของการวัดและความเป็นไปได้ในการลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว โดยจำแนกชนิดที่มาของความคลาดเคลื่อนและการแก้ไขหรือลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง

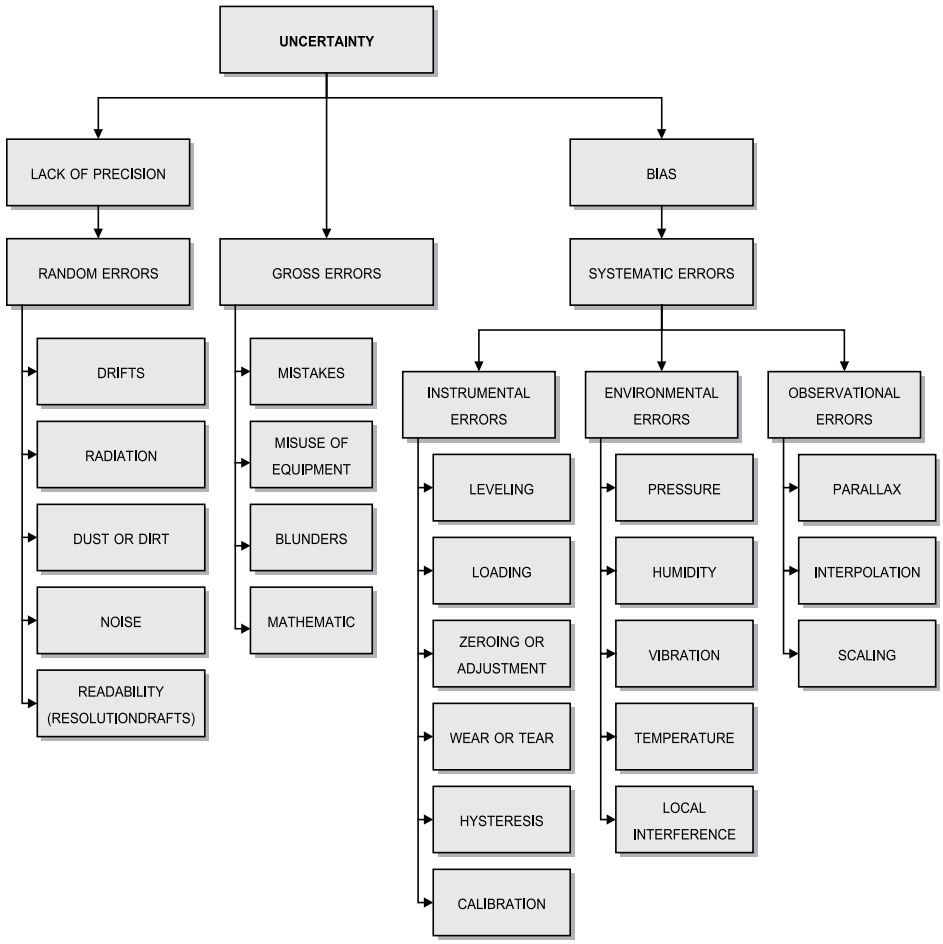
ความคลาดเคลื่อนจะปรากฏเสมอในทุกการวัด เนื่องจากเราไม่สามารถทำการวัดโดยไม่มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้น ในการกำหนดรายละเอียดของแต่ละการวัดจะต้องรวมถึงความพยายามในการหาขนาดและแหล่งกำเนิดความคลาดเคลื่อนของมัน ด้วยเหตุนี้การมีความเข้าใจและการจำแนกชนิดของความคลาดเคลื่อน จึงเป็นขั้นตอนแรกในความพยายามที่จะลดความคลาดเคลื่อน ถ้ามีการออกแบบและมีการทำการทดลองอย่างดี จะสามารถลดความคลาดเคลื่อนสู่ระดับที่ผลกระทบของมันน้อยกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดหรือยอมได้ เราสามารถจำแนกชนิดของความคลาดเคลื่อนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. **ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error)** ผลการวัดครั้งใดๆ ลบด้วยค่ากลางของผลการวัดที่ซ้ำๆ กันอย่างมากมายของสิ่งที่ถูกวัดเดียวกัน ซึ่งการวัดซ้ำๆ กัน ต้องกระทำภายใต้สภาวะที่ได้อธิบายไว้ในความสามารถซ้ำกันได้ (VIM 3.13) บางครั้งจะเรียกว่าความคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual Errors) ที่มีสาเหตุมาจาก Temporal Variation (ความแปรผัน

ของสิ่งแวดล้อมที่จุดต่างๆ ของห้อง) และ Spatial Variation (ความแปรผัน ณ ที่เดิม การแก้ไขคือกระทำในระยะเวลาอันสั้น) ที่คาดไม่ได้ของ Influence Quantities อันจากการขาดความแม่นยำ (Lack of Precision) ซึ่งเกิดจาก Random Effect ที่ไม่สามารถกำจัดได้นั่นเอง

ความคาดเคลื่อนสุ่ม ไม่สามารถชดเชยได้ แต่ทำให้ลดลงได้ด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งของการวัดหรือกล่าวได้ว่ามีค่าที่คาดหวัง (Expected Value) เท่ากับศูนย์

2. **ความคลาดเคลื่อนระบบ (Systematic Error)** ค่ากลางของผลการวัดที่ซ้ำๆ กันอย่างมากมายของสิ่งที่ถูกวัดเดียวกัน ลบด้วยค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัดนั้น ซึ่งการวัดซ้ำๆ กัน ต้องกระทำภายใต้สภาวะที่ได้อธิบายไว้ในความสามารถซ้ำกันได้ (VIM 3.14) ความคลาดเคลื่อนระบบส่วนหนึ่งเป็นผลของ Systematic Effect ที่ทราบและหาค่าได้ของ Influence Quantities



Classification of Measurement Errors

ค่าแก้ (Correction) และตัวประกอบค่าแก้ (Correction Factor) ที่มีนัยสำคัญและความถูกต้องที่ต้องการ สามารถชดเชย Systematic Error ได้ และผลการวัดภายหลังการนำค่าแก้ หรือตัวประกอบค่าแก้ที่มี Accuracy ที่เหมาะสมมาใช้ถือว่า Systematic Error เป็นศูนย์

3. **ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวัด (Gross Errors)** ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานที่ขาดความรอบคอบ ขาดความประณีต และขาดสามัญสำนึกและสามารถลดลงได้ด้วยความระมัดระวัง ซึ่ง Gross Error ไม่นำมาใช้ในการประเมิน Uncertainty

1. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors)

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าแตกต่างเมื่อทำการวัดปริมาณเดียวกัน ซ้ำๆ กันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ของหลายๆ ปัจจัยที่มีผลกระทบกับการปฏิบัติการวัดและตัวอุปกรณ์ที่ทำการวัด สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและรวดเร็วมากจนไม่สามารถวัดด้วยตัวควบคุมระบบได้ด้วยตัวตรวจจับ (Monitor) ได้จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระบบการวัดและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสิ่งที่ต้องการวัด เช่น ในการที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนระบบต้องควบคุมอุณหภูมิของระบบการวัดให้อยู่ในขอบเขต ±2 องศา (ของค่าอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง) แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดภายในขอบเขต ± 2 องศาก็ยังคงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มขนาดเล็กน้อย การรวมกันทั้งหมดของปัจจัยที่ส่งผลกระทบ (ทั้งทางบวกและลบ) ซึ่งรวมถึงกระบวนการในการวัดจะส่งผลถึงความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มทั้งสิ้น ยิ่งระบบการวัดมีความไวในการวัดมากขึ้นเท่าไรก็ยิ่งมีผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมากขึ้นเท่านั้น แยกออกเป็น

1.1 **Drifts** การลอยเลื่อนของค่าการวัดอันเนื่องมาจากองค์ประกอบภายในของเครื่องวัดในแต่ละส่วนที่เลื่อนค่าตามระยะเวลาแม้จะไม่มีการใช้งานเครื่องวัดเลยก็ตาม ซึ่งแนวโน้มของค่านี้อาจจะไปในทางที่เพิ่มมากขึ้น หรือลดน้อยลง หรือคงตัวก็ได้ และสามารถนำมาวิเคราะห์หาแนวโน้มค่าที่ยังไม่เกิดได้ (ค่าเฉลี่ยของ “ผลต่างของค่าที่วัดได้” ในระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 3 ปี แต่ถ้าไม่สามารถหาค่าได้ให้ใช้ค่าจาก Specsification)

1.2 **Radiation** การแผ่รังสี ในระบบการวัดทุกระบบจะหลีกเลี่ยงไม่พ้นในเรื่องของความร้อนและการแผ่รังสี การแพร่ของรังสีความร้อนในร่างกายของผู้ทำการวัด อาจส่งผลกระทบการเปลี่ยนแปลงผลการอ่านในลักษณะที่ต้านกับการอ่านในระยะยาวออกไปที่ไม่ได้เกิดในระหว่างขั้นตอนของการทำงานของเครื่องเสียด้วยซ้ำ การแผ่รังสีของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุย่าน Radio Frequency ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากมนุษย์ทำขึ้น (Man-made) หรือแม้แต่สายไฟฟ้าแรงสูงหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็มีการแผ่รังสีด้วยเหมือนกัน

1.3 **Dust or Dirt Level** ฝุ่นเป็นศัตรูที่ทำให้เกิดความยุ่งยากที่จะทำให้เกิดความถูกต้องในการวัดบางพื้นที่ได้ ทางที่ดีที่จะไม่ให้มีฝุ่นในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมคือการใช้ระบบระบายอากาศที่ดีในระบบควบคุมสภาพแวดล้อม หรือสร้างพื้นที่ห้องปฏิบัติการในอาคารที่ปลอดฝุ่นอย่างแท้จริง แม้ว่าการทำความสะอาดจะไม่สามารถทำให้ความสกปรกออกจากระบบการวัดได้อย่างสมบูรณ์แบบถึงร้อยละ 100 ก็ตาม ความสกปรก (หรือฝุ่น) อาจทำความรบกวนให้กับผลการอ่านในครั้งแรกต่อตัวอุปกรณ์การวัดที่ต้องการความถูกต้องอย่างเหมาะสมแล้วอาจจะไม่ส่งผลต่อการอ่านในครั้งต่อไปก็ได้ (สามารถตัดทิ้งได้) ปริมาณฝุ่นที่สามารถยอมรับได้สำหรับห้องปฏิบัติการ

สอบเทียบมาตรฐานแบบ PMEL Type I & II ต้องมีค่า Dust Particle ขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตรต่อลูกบาศก์เมตรน้อยกว่า $7X10^6$ Particles และขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมโครเมตรต่อลูกบาศก์เมตรน้อยกว่า $4X10^7$ Particles โดยไม่มี Particles ใดที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตร ห้องปฏิบัติการต้องทำให้เกิดความมั่นใจว่าระบบควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น ส่วนทำความสะอาดด้วยลมดูด (Vacuum Cleaning) การใช้เสื้อที่ทำจากผ้าสำลีหรือการลดพื้นที่ผิวในแนวระนาบลง แม้แต่การไม่ติดตั้งหรือให้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ให้ฝุ่นหรือเหลือกากชิ้นส่วนจากการถูหรือขัดในพื้นที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อม

1.4 **Noise** เสียงรบกวนที่เล็ดรอดเข้ามาจะมีผลทำให้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เกิดการรบกวนจากไมโครโฟนิคที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานต้องมีการป้องกันไม่ให้มีเสียงรบกวนเกินกว่า 70 เดซิเบล (Decibels: dB)

1.5 **Readability** ความสามารถอ่านค่าได้ของเครื่องวัด คือ ค่าสัดส่วนที่น้อยที่สุดหรือส่วนแบ่งที่น้อยที่สุดที่ยังคงอ่านค่าได้อย่างถูกต้องโดยผู้อ่าน ความสามารถของผู้อ่านที่จะประมาณค่าระหว่างขีดเล็กๆ ของหน้าปัดหรือมิเตอร์เป็นตัวชี้ถึงความสามารถอ่านค่าได้ของเครื่องมือ (Readability)

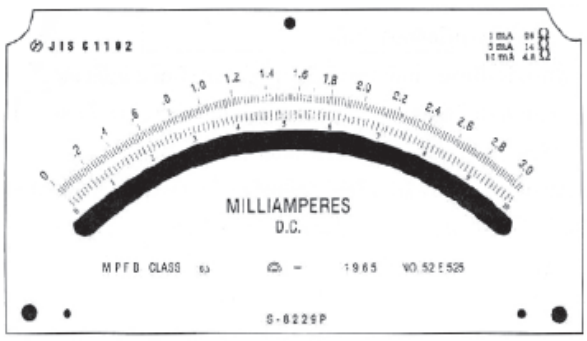
การแยกชัดบอกถึงคุณภาพซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของความสามารถของเครื่องมือวัดในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเล็กๆ ของปริมาณที่ถูกวัด การแยกชัดต้องอยู่ในระดับที่ค่าที่ได้สำหรับค่าที่น้อยที่สุดที่ต้องการวัดในสภาวะคงตัว (Steady State) การแสดงผลที่มีการแปรเล็กน้อยซึ่งแสดงถึงว่าเครื่องวัดมีการตอบสนอง ระดับการแยกชัดที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างไม่สม่ำเสมอของสัญญาณมากเกินไป ทำให้ต้องการการแสดงผลหรือเก็บข้อมูลที่มากขึ้น เครื่องวัดที่มีการออกแบบมาเป็นอย่างดีจะมีการแยกชัดที่เหมาะสมกับงาน

2. ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic Errors or Bias)

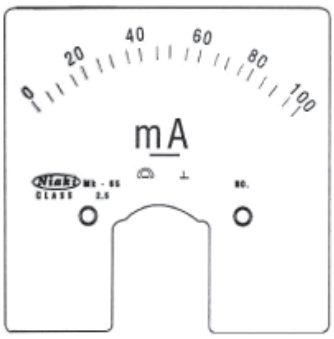
ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยังคงเดิมในการวัดค่าของปริมาณเดียวกันซ้ำๆ ที่ใช้ทำการวัดซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น

2.1 **Instrumental Errors** ความคลาดเคลื่อนในเครื่องมือวัด คุณภาพของเครื่องมือวัดมีส่วนที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด เครื่องมือที่มีคุณภาพดีจะมีราคาแพง ความคลาดเคลื่อนในเครื่องมือยังมีสาเหตุจากการใช้งานไม่ถูกวิธีอีกด้วย ความคลาดเคลื่อนที่จะกล่าวถึงนี้เป็นต้นเหตุของความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัดแบบเข็มที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้กลไกเบี่ยงเบนเข็มชี้เป็นตัวแสดงผลหรือชี้ค่าสมดุล แม้ว่าต้นเหตุของบางอย่างที่พูดถึง จะไม่มีในกรณีที่ให้ผลแบบตัวเลขแต่ส่วนใหญ่ยังคงปรากฏอยู่ เมื่อได้เรียนรู้ถึงต้นเหตุของความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดหรือที่เกี่ยวข้อง เราจะสามารถเข้าใจได้ว่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดจะเป็นผลมาจากสาเหตุหลายประการ นอกจากนั้นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนก็จะแปรไปตามการอ่านค่าแต่ละแบบ บางแบบอาจจะมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ และบางแบบก็อาจจะเปลี่ยนแปลงไปช้าๆ ตลอดช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน

2.1.1 Leveling การวางระดับเครื่องมือวัด เครื่องมือหลายชนิดถูกออกแบบมาให้ใช้สเกลของตัวเครื่องวัดอยู่ในแนวนอน (—) บางแบบอยู่ในแนวตั้ง (⊥) หรือบางแบบอยู่ในมุมที่กำหนด (∠) และจะอ่านได้ถูกต้องในตำแหน่งตามที่ถูกกำหนดให้วางใช้งานเท่านั้น อันเป็นผลเนื่องจากต่อเนื่องจากสมดุลของส่วนเคลื่อนที่ จะทำให้ค่าอ่านผิดค่าไปเมื่อตำแหน่งการวางระดับเครื่องวัดเปลี่ยนไป ดังนั้น



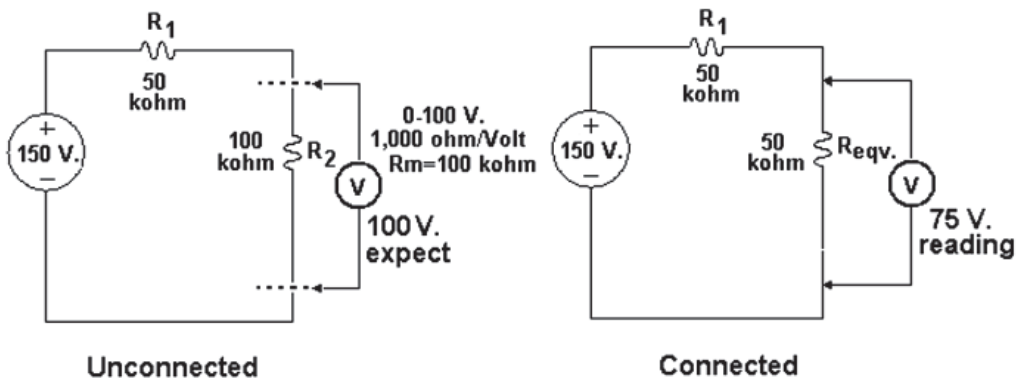
แนวนอน Class 0.5



แนวตั้ง Class 2.5

ในการใช้เครื่องวัดแต่ละแบบต้องวางให้ถูกตามตำแหน่งหรือระดับ (⎯, ∠, ⊥) ที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามที่กำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น จึงจะอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง

2.1.2 Loading การดึงกำลัง เครื่องวัดแต่ละชนิดต้องการจำนวนพลังงานที่แน่นอนในการทำงานอย่างเหมาะสมแต่ละอย่าง ถ้าแหล่งพลังงานที่ให้มีปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้ได้ค่าจากการอ่านอย่างไม่ถูกต้อง เช่น การนำมัลติมิเตอร์ไปใช้งานเพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ต้องนำมัลติมิเตอร์ไปต่อขนานกับวงจรในเครื่องวัดที่ต้องการนั้น ถ้ามัลติมิเตอร์ที่นำไปวัดมีความต้านทานต่ำกว่าวงจรที่จะวัดก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน สาเหตุเนื่องจากตัวมิเตอร์เอง



จากรูปแสดงให้เห็นการดึงกำลังจากตัววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าก่อนที่จะต่อโวลต์มิเตอร์กับวงจร ความต่างศักย์ไฟฟ้าคาดหวังคร่อม R2 ควรจะมีค่าเท่ากับ 100 โวลต์ เมื่อต่อโวลต์มิเตอร์ที่ตั้งย่านการวัด 0-100 โวลต์และความไวของมิเตอร์ 1,000 โอห์มต่อโวลต์กับวงจร เนื่องจากความต้านทานเครื่องวัด (R_{range}) เท่ากับผลคูณระหว่าง ค่าความต่างศักย์สูงสุดในย่าน (E_{range}) กับความไวมิเตอร์แบบกระแสตรง (S_{DC}) ทำให้ความต้านทานของโวลต์มิเตอร์เป็น 100 กิโลโอห์ม เสมือนว่ามีความต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์มต่อขนานอยู่กับ R2 (ขนาด 100 กิโลโอห์ม) และเป็นความต้านทานสมมูลขนาด 50 กิโลโอห์ม (แทนที่ R2 ขนาด 100 กิโลโอห์มเดิม) ทำให้ความต่างศักย์ตกคร่อม R2 ซึ่งอ่านจากมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 75 โวลต์ จะเห็นได้ว่าเครื่องทำการดึงวงจรจนเป็นสาเหตุทำให้อ่านค่าความต่างศักย์ผิดพลาด

ถ้านำเครื่องวัดตัวเดียวกันนี้ไปใช้วัดที่ย่านการวัด 0-500 โวลต์ ค่าความต้านทานของมัลติมิเตอร์เท่ากับ 500 กิโลโอห์ม เมื่อรวมกับ R2 ความต้านทานสมมูลจะมีขนาดเป็น 83.33 กิโลโอห์ม [500*100/(500+100)] และความต่างศักย์คร่อม R2 ประมาณ 93 โวลต์

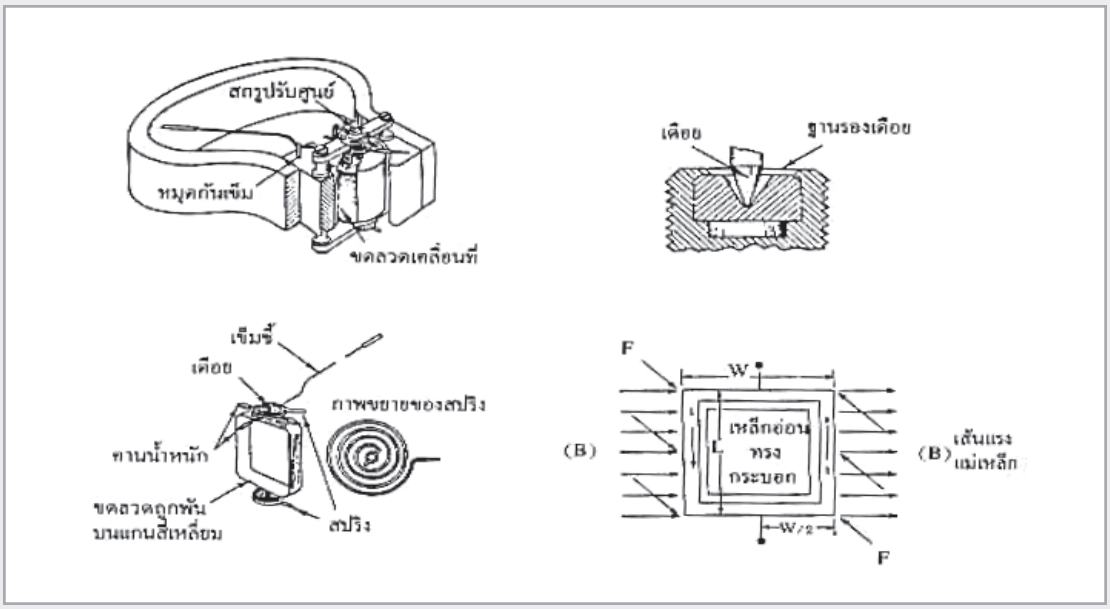
จะเห็นได้ว่าความต้านทานของเครื่องวัดยิ่งสูงมากขึ้นก็ยิ่งจะไม่ดึงกำลัง ($R_{range} = E_{range} \times S_{DC}$) ดังนั้นในการวัดควรเลือกย่านการวัดที่สูงกว่าเท่าที่จะเป็นไปได้ (ถ้าเครื่องวัดมีความไวเท่ากัน) และใช้เครื่องวัดที่มีความไวสูงกว่า (ถ้าเครื่องวัดมีย่านการวัดเท่ากัน) เพื่อไม่ให้เกิดการดึงกำลังและค่าที่ได้จากการวัดจะเที่ยงตรงมากขึ้น

2.1.3 Zeroing or Adjustment การปรับแต่ง ในเครื่องวัดบางประเภทจะมีกลไกที่ต้องได้รับการปรับให้เข็มชี้ที่ศูนย์ขณะที่ยังไม่ได้ทำการวัดปริมาณใดๆ ซึ่งอาจจะเรียกแตกต่างกันออกไป ว่า Power-Set, Self-Check หรือ Zeroing เป็นต้น เช่น การปรับศูนย์ (Zero Adjust) ทางกลไกที่ตัวขดลวดเคลื่อนที่ก่อนที่จะทำการวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของ Analog Multimeter เพื่อให้เข็มชี้เลข 0 ก่อนที่จะทำการวัดค่าที่ต้องการ หรือการปรับศูนย์โอห์ม (Zero Ohm) ทางอิเล็กทรอนิกส์ก่อนจะทำการวัดความต้านทานทุกครั้งที่เปลี่ยนย่านการวัด เป็นต้น โดยเฉพาะเครื่องวัดที่เป็นแบบเข็มซึ่งจะต้องปรับเข็มให้ชี้ที่เลขศูนย์ก่อนใช้งาน และดูเหมือนว่าจะเป็นแหล่งของความคลาดเคลื่อนถ้ากระทำด้วยความไม่ถูกต้องเหมาะสมอย่างเพียงพอ

2.1.4 Wear or Tear การเสื่อมสภาพของเครื่องมือวัด เมื่อเครื่องมือวัดเก่าหรือมีการใช้งานมากขึ้นก็จะเกิดการเสื่อมสภาพ เช่น ตลับลูกปืนพังหรือหลวมคลอน ความฝืดของส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ระหว่างเดือยกับฐานรองเดือยหลังจากการใช้ไปนานๆ ปลายของเดือยจะมนมากขึ้นทำให้ค่าเปลี่ยนไปจนเห็นได้ชัด การยืดของสปริงที่เกิดจากแรงบิดที่เบี่ยงเบนเข็มชี้ (หรือส่วนเคลื่อนที่) ในเครื่องวัดส่วนมากจะถูกต้านจากแรงบิดต้านจากสปริงแบบก้นหอยและสปริงเองก็เป็นตัวทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่หรือออกจากส่วนที่เคลื่อนที่ด้วย แม้ว่าแรงที่กระทำจะต่ำกว่า Elastic Limit ของสปริงนั้น แต่บางครั้งในทางปฏิบัติอาจจะเกิดการล้าขึ้นในสปริงเมื่อได้รับแรงกระทำซึ่งจะเห็นได้จากเมื่อเข็มกลับสู่ตำแหน่งศูนย์เข็มชี้จะกลับสู่ตำแหน่งที่สูงกว่าจุดศูนย์เล็กน้อย แล้วจะกลับสู่ศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป เป็นต้น

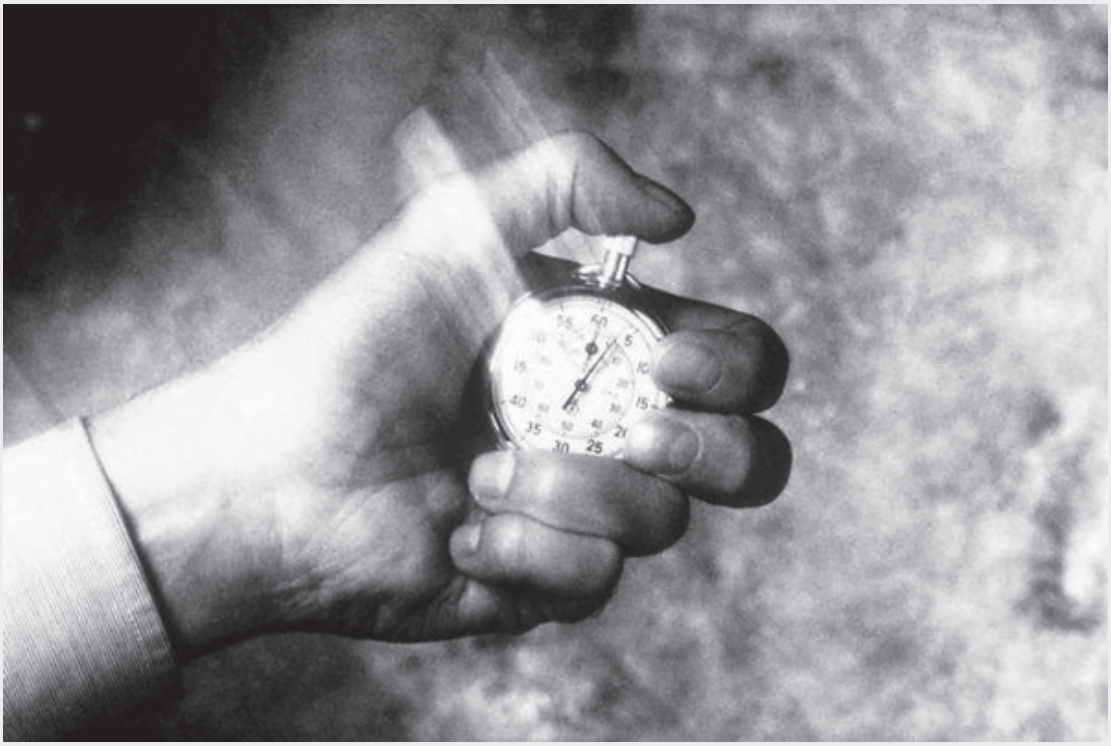
นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากแรงแม่เหล็กถาวรอ่อนลง แกนเข็มชี้หลวม ฝุ่นและสนิมอันเนื่องมาจากความชื้นสะสมมากขึ้นระหว่างเดือยกับฐานรองเดือยทำให้เข็มเคลื่อนที่ไปได้ไม่เรียบ (กระตุก) เมื่อนำไปวัดปริมาณที่ค่อยๆ เปลี่ยน สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการวัดผิดพลาดไปและไม่มีความเที่ยงตรงแม่นยำ ถ้าไม่มีการสอบเทียบมาตรฐาน

2.1.5 Hysteresis การวัดกลับทิศทาง



ในระบบการวัดหลายๆ ระบบ รวมทั้งส่วนที่เคลื่อนไหวของมิเตอร์ (Meter Movement) จะมีแนวโน้มในการแสดงผล (ค่าที่จุดใดจุดหนึ่ง) ไปในทางใดทางหนึ่งที่แตกต่างจากการแสดงผลในทิศทางตรงกันข้าม ทั้งที่จุดที่ต้องการวัดนั้นเป็นจุดเดียวกัน ผลที่เกิดจากการวัดในทิศทางที่กลับทิศทางกันนี้เรียกว่า Hysteresis หรือแม้แต่อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บางประเภท เช่น วงจรรวม (Integrated Circuit: IC) จะมีการเสียเวลาในการเดินทางของอิเล็กตรอน (Propagation Delay Time) อันเนื่องมาจากภายในกลอุปกรณ์ดังกล่าวมีการตอบสนองจากสัญญาณทางไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่สัญญาณอินพุทเข้ามา ที่ภาคเอาท์พุทยังไม่มีการตอบสนองจนกว่าจะถึงช่วงเวลาหนึ่ง หรือแม้แต่ขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุทเข้ามาแล้วก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาท์พุทก็จะไม่เป็นศูนย์โดยทันทีเหมือนกัน ดังนั้นถ้าต้องการความถูกต้องในการอ่านค่าที่ได้จากการวัด ควรจะทำการวัดในลักษณะที่เป็นไปในทิศทางเดียวเท่านั้น

2.1.6 Calibration การสอบเทียบมาตรฐาน ความถูกต้องจะมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อกลุ่มผู้ใช้ที่แตกต่างกันหลายกลุ่มใช้หน่วยที่ตกลงใช้เหมือนกันในการแสดงและใช้ผล เขาเหล่านั้นจะไม่สามารถทำงานในลักษณะเดียวกัน (Consistent) นอกเสียจากว่าเครื่องมือวัดที่แต่ละคนใช้ถูกตั้งให้อ่านค่าเดียวกันกับของคนอื่น เมื่อป้อนด้วยอินพุทค่าเดียวกัน นั่นก็หมายความว่าเครื่องวัดทุกชนิดจะต้องมีการหรือสามารถตรวจสอบหรือได้รับการสอบเทียบมาตรฐานกับหน่วยมาตรฐานร่วมอย่างถูกต้องและจากระยะเวลาที่ไม่นานจนเกินไป (Over Due Date) จากหน่วยงานที่มีความเชื่อถือได้ สามารถสอบย้อนกลับมาตรฐานเครื่องวัดได้ทุกขั้นตอน จึงจะได้ผลการวัดที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่เกิดการตกหรือกระแทกหรือใช้งานจนเกินกำลัง (Over Load) ถึงแม้จะยังไม่ถึงกำหนดตามระยะเวลาที่จะต้องได้รับการสอบเทียบมาตรฐาน ก็ควรรีบส่งสอบเทียบมาตรฐานทันที เช่น ความถี่ของปริมาณที่ป้อนเข้ามา (อาจจะเป็นกระแส แรงดัน หรือกำลังไฟฟ้า) ถ้าความถี่ใช้งานแตกต่างไปจากความถี่ที่ใช้ในการสอบเทียบจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น หรือแม้แต่ในเครื่องวัดบางชนิดจะ



ตอบสนองต่อค่าเฉลี่ยหรือค่ายอดคลื่น (Average or Peak Value) ในรูปแบบคลื่นไซน์ (Sine Wave) ที่กำหนดเพื่อสอบเทียบให้ค่าที่อ่านเป็นค่าประสิทธิผล (Effective Value or RMS) เท่านั้น ถ้าเป็นรูปคลื่นแบบอื่นหรือเป็นคลื่นในแบบที่กำหนดแต่ผิดเพี้ยน (Distort) จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการอ่านที่เรียกว่า Waveform Errors ทันที

2.2 **Environment Errors** ความคลาดเคลื่อนเนื่อง จากสภาพแวดล้อมก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งในขบวนการวัด ซึ่งนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนยากที่จะค้นพบและประเมินค่าได้ ผลอันเกิดจากตัวแปรอิทธิพล (Influence Variable) เหล่านี้ในขณะทำการวัดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมชนิดใดจะมีผลต่อการวัดมากที่สุด

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสิ่งแวดล้อมถือเป็นความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบ แต่มันไม่จำเป็นต้องมีค่าคงที่ การหาผลของมันต่อการวัดเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้น เราจึงใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อม (Environment Control System: ECS) ให้ได้ค่าคงที่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะให้ได้ร้อยละ 90 หรือมากกว่าของระยะเวลาตลอดปี ถ้าระบบควบคุมสภาพแวดล้อมไม่อยู่ในช่วงเวลาที่ยอมรับได้อาจเป็นการสนับสนุนให้เกิดผลผลิตที่ได้ลดน้อยลงหรือต้องหยุดกระบวนการทำงานก็ได้

2.2.1 Atmospheric Pressure ความดันบรรยากาศ การเปลี่ยนความกดดันบรรยากาศหรือความกดอากาศล้อมรอบเปลี่ยนไป มีผลต่อการวัดในตัวกลางด้านความดัน ซึ่งส่งผลถึง ความดัน อุณหภูมิ การมองเห็น (Optical) และการวัดทางไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดความดันสมบูรณ์ อุณหภูมิของน้ำเดือดจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความดันของบรรยากาศเปลี่ยน สำหรับการชั่งน้ำหนักเมื่อความดันของบรรยากาศเปลี่ยนไปแรงอุ้มน้ำหนักก็เปลี่ยนไป เป็นผลให้ค่าที่ชั่งได้ผิดความจริง อย่างไร

ก็ตามผลที่เกิดจากการเปลี่ยนของความกดอากาศล้อมรอบมักมีผลน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งโดยปกติแล้วความกดดันในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานแบบ PMEL Type I & II ต้องสูงกว่าภายนอกประมาณ 10 Pascals (Newtons/Metre^2) หรือ 0.1 Millibar (0.05 Inch of Water)

2.2.2 Humidity ความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) มีผลต่อคุณภาพการวัด มีผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องวัด เมื่อความชื้นเปลี่ยน ค่าคงที่ฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Constant) ของอากาศก็เปลี่ยนแปลงและเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนค่า Capacitance ในตัวเก็บประจุแบบใช้อากาศเป็น Dielectric และทำให้ค่าความต้านทานที่ได้เปลี่ยนค่าไปด้วย การเปลี่ยนของความชื้นสัมพัทธ์ยังทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการอ่านอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage Current) นอกจากนั้นแล้วความชื้นยังส่งผลความหนาแน่นของอากาศที่เป็นสาเหตุของข้อผิดพลาดในเรื่องของแรงยกตัวในการคำนวณเรื่องเกี่ยวกับแรงด้วย สำหรับท่อนำคลื่น (Waveguide) เมื่อความชื้นเปลี่ยนจะทำให้ค่า Characteristic Impedance และความเร็วของคลื่นเปลี่ยนไป ในสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น ไม้ ผมมนุษย์ ผ้าฉนวนต่างๆ จะเปลี่ยนคุณสมบัติไป

ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินร้อยละ 50 (50% RH) จะทำให้เกิดความชื้นขึ้นบนผิวของจุดที่จะวัดทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไป และถ้าหากความชื้นสูงมากจะทำให้เกิดสนิมขึ้นบนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะทำให้เกิดการผุกร่อนและยังเป็นสื่อไฟฟ้าในสื่อลายวงจรที่ใช้กับความถี่สูง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วโดยเฉพาะในไฟฟ้าแรงสูงหรือเมื่อต้องการวัดกระแสต่ำๆ

ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 20 (20% RH) จะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตและทำให้อุปกรณ์เครื่องวัดเสียหาย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรักษาความชื้นให้อยู่ในปริมาณและบริเวณที่เหมาะสม ซึ่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานแบบ PMEL Type II & III จะใช้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ดีที่สุดในการปฏิบัติงานอยู่ที่ร้อยละ 35 แต่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 หรือไม่เกินกว่าร้อยละ 50 ยกเว้นห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานด้านห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มกัมมันตรังสีต่ำและสูง (Low and High Intensity Radiac) ต้องใช้ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 70 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานแบบ PMEL Type IV จะใช้ความชื้นสัมพัทธ์ในการปฏิบัติงานระหว่างร้อยละ 15 ถึงร้อยละ 70 อีกข้อกำหนดหนึ่งต้องไม่เก็บเครื่องวัดไว้ในระยะเวลาที่ยาวนานโดยที่สภาพที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกินร้อยละ 50

2.2.3 Vibration ความสั่นสะเทือน มีผลต่อการวัดที่ต้องการความละเอียดมาก เป็นสาเหตุให้มีการอ่านค่าผิดพลาดและไม่แน่นอน ความสั่นสะเทือนอาจเหมาะกับเครื่องวัดบางประเภท (ถ้าเป็นเครื่องวัดที่ออกแบบมาให้ใช้วัดการสั่นสะเทือนโดยเฉพาะ) แต่จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์เลยกับเครื่องวัดแบบอื่นๆ ความสั่นสะเทือนจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางอย่างเกิดเสียงรบกวนไมโครโฟนิค ทำให้รบกวนสัญญาณที่ต้องการวัด การสั่นสะเทือนจะทำให้การอ่าน (จากเข็มชี้) ที่พร่า (Blur) ไม่ชัดเจน ส่งผลต่อการแยกชัด (Resolution) ที่ลดลง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องหลีกเลี่ยงหรือจำกัดการสั่นสะเทือนให้เหลือน้อยที่สุด ในพื้นที่ที่มีการสอบเทียบมาตรฐานต้องทำให้เกิดอิสระปราศจากต่อการสั่นสะเทือนเท่าที่จะเป็นไปได้และระดับการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานเป็นแหล่งกำเนิดใดก็ได้ที่น้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร (10 ไมโครนิ้ว) สำหรับความถี่ 0.1 ถึง 30 เฮิรตซ์ (การเคลื่อนที่ตามแนวตั้งสูงสุด) โดยค่าอัตราเร่งสูงสุดเป็น 0.001 G สำหรับ ความถี่ 30 ถึง 200 เฮิรตซ์

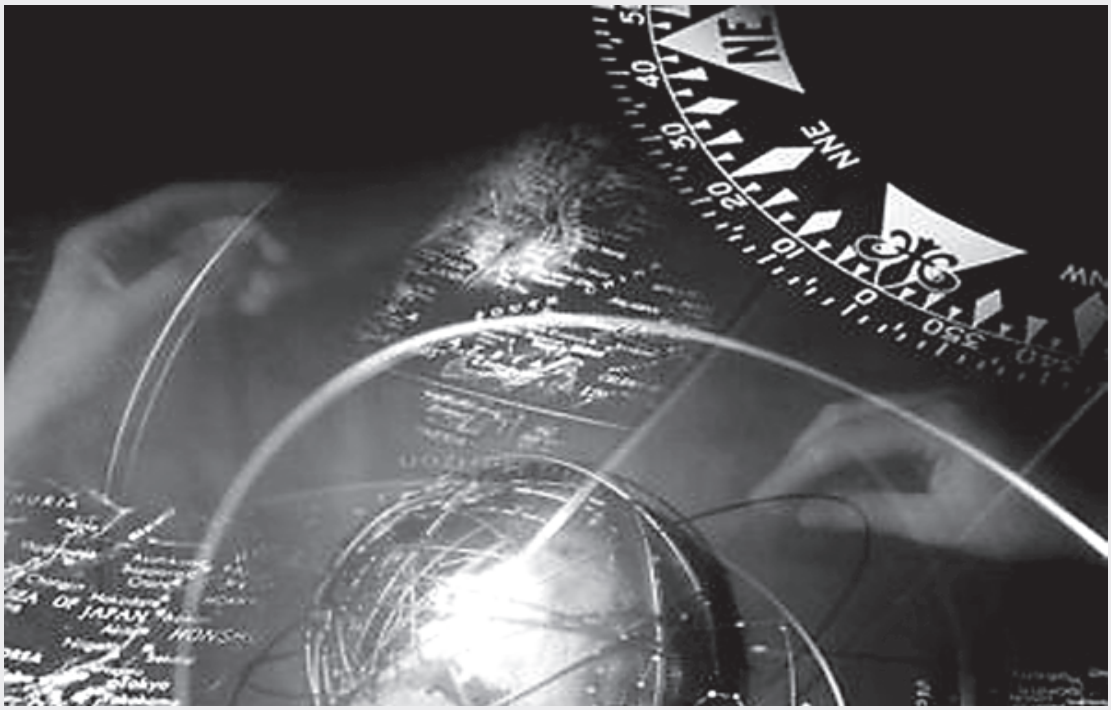
2.2.4 Temperature อุณหภูมิตัวมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูง จะถูกสอบเทียบมาตรฐานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนภายใต้ข้อกำหนด ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้เท่านั้น ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปจากย่านที่กำหนดไว้ ค่าที่อ่านได้ก็จะต่างไปจากเดิม ค่าผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่ต่างไปจากเดิมนี้มักแสดงไว้ในตารางค่าแก้ (Correction Chart) ทางด้านอุณหภูมิที่ติดมากับตัวมาตรฐานหรือเครื่องวัดของบริษัทนั้นๆ ได้ผลิตขึ้นมา โดยสาเหตุใหญ่ๆ แล้วความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการขยายตัวทั้งในของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ที่เป็นตัวแปรสำคัญต่อการวัดปริมาตร ความดัน เซลล์ผลิตแรงดัน และความชื้น หรือเกิดการเปลี่ยนค่าความต้านทานทางไฟฟ้าอันเกิดจากอุณหภูมิ แต่ในบางครั้งอุณหภูมิทำให้เกิดการชดเชยในตัวมันเอง เช่น การวัดแท่งเหล็กกล้าด้วยเครื่องวัดด้วยไมโครมิเตอร์ที่ทำจากเหล็กกล้า ซึ่งมีอัตราการขยายตัวเท่ากัน ก็จะไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น แต่เมื่อนำไมโครมิเตอร์ตัวนี้ไปวัดความยาวของโลหะอื่นๆ ที่มีอัตราการขยายตัวไม่เท่ากันก็เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

ผลเนื่องมาจากความร้อนในหลอดสุญญากาศและในทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในเครื่องวัดสามารถถูกกำจัดโดยการออกแบบที่ดี ผลที่เกิดจากการลดหรือการป้องกัน Long Term Drift เครื่องวัดจะต้องกำหนดผลจากการอุ่นเครื่อง (Warm up) ในขั้นตอนของการวัดหรือการสอบเทียบมาตรฐาน เพื่อไม่ให้ผลนี้มาเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ได้จากการวัดปกติในการใช้เครื่องวัดจะต้องให้เครื่องวัดมีความสมดุลทางอุณหภูมิก่อนที่จะอ่านค่า

ฉะนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งพื้นที่สอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมของห้องปฏิบัติการแบบ PMEL Type II & III ต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 22.8 ± 3.3 องศาเซลเซียส (73 ± 6 องศาฟาเรนไฮต์) พื้นที่สอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมของอุปกรณ์ทางมิติ (Dimension) ต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 20 ± 0.56 องศาเซลเซียส (68 ± 1 องศาฟาเรนไฮต์) นอกจากนี้พื้นที่สอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมของห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มกัมมันตรังสีต่ำและสูง (Low And High Intensity Radiac) อาจจะเปลี่ยนแลงในช่วง 73 ± 15 องศาฟาเรนไฮต์ พื้นที่สอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมของห้องปฏิบัติการแบบ PMEL Type IV ต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 73 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์

ในทางปฏิบัติเครื่องบันทึกอุณหภูมิ/ความชื้นต้องใช้ในอัตราพื้นที่ 2,000 ตารางฟุตต่อหนึ่งเครื่อง หรือต่อหนึ่งห้องที่มีพื้นที่ต่ำกว่า 2,000 ตารางฟุต ซึ่งการวางให้ใกล้กับพื้นที่มีการสอบเทียบมาตรฐานหนาแน่นโดยไม่ให้อุณหภูมิผนังด้านนอกอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนสูงและส่วนจ่ายอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อการบันทึกผลลงในเครื่องบันทึกอุณหภูมิ/ความชื้นนี้

2.2.5 Local Interference การรบกวนคลื่นวิทยุในสถานที่ตั้งจะมีอยู่ในทุกๆ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Field) ที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับกระจายอยู่ทั่วๆ ไป และไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่พึงประสงค์ ไฟฟ้ากระแสสลับจะก่อให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำเข้าไปในเส้นลวด ขดลวด (Choke) และตัวแปลงแรงดัน (Transformer) ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแล้วยังทำลายสนามแม่เหล็กถาวรด้วยการลดความเป็นแม่เหล็กลงในบางส่วน ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแพร่กระจายหรือรับคลื่นโดยเส้นลวดที่ไม่มีการป้องกันโดยเฉพาะเมื่อทำการวัดสัญญาณขนาดต่ำมากๆ และใช้อัตราการขยายที่ค่อนข้างมาก สนามแม่เหล็กที่กระจัดกระจายนี้จะรวมตัวกันเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) หรือสัญญาณที่ผิดเพี้ยน (Distortion Signal) ขึ้น



สนามไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Field) หรือสนามไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ไปหักเหลำอิเล็กตรอนในหลอดจอภาพ หรือจะลดทอนความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัดแบบที่มีส่วนเคลื่อนที่ (Meter Movement) แบบขดลวดเคลื่อนที่ สนามไฟฟ้าสถิตหรือสนามไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดแรงที่ไม่ต้องการด้วยเหมือนกัน โดยเกิดแรงดูดและผลักกับเข็มชี้หรือส่วนเคลื่อนไหวอื่นในเครื่องมือวัด วิธีการแก้ไขทำได้โดยป้องกัน (Shield) สายไฟหรือส่วนอื่นๆ ของวงจรที่เป็นสาเหตุในการเหนี่ยวนำเอาสนามไฟฟ้าเข้ามาให้มากที่สุด

โดยทั่วไปแล้วห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานต้องมีการป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าสถิตไม่ให้มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเกินกว่า 1 โวลต์ต่อเมตรที่ช่วงความถี่สัญญาณวิทยุระหว่าง 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 18 จิกะเฮิรตซ์

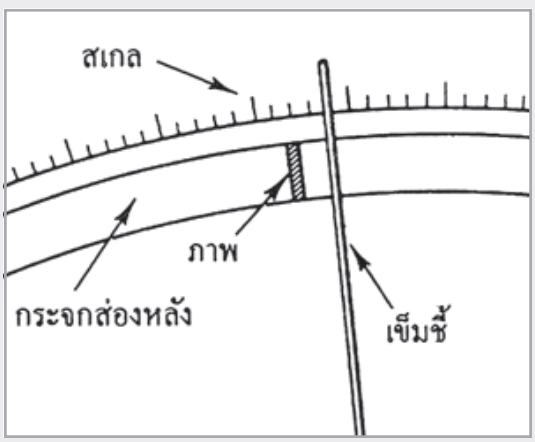
2.2.6 Lighting แสงสว่าง แสงสว่างในทุกพื้นที่ห้องปฏิบัติการต้องสมดุลในการให้เงาที่น้อยที่สุดและให้แสงสว่างที่เป็นรูปแบบเดียวกัน (สว่างเท่ากัน) ซึ่งระดับแสงสว่างที่น้อยที่สุดได้รับการกำหนดมีการรวมความต้องการที่ชดเชยเพิ่มขึ้นจากอุปกรณ์ให้แสงสว่างในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมเนื่องจากการเป็นตัวสะสมฝุ่นและส่งผลต่อความสามารถในการสอบเทียบมาตรฐานที่เพิ่มขึ้น การกำหนดรูปแบบของแสงสว่างต้องทำการวัดที่ไม่สูงกว่าหรือต่ำกว่า 1/6 จากระดับแสงสว่างเฉลี่ยในพื้นที่ การวัดปริมาณแสงสว่างโดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการเฉลี่ยต้องทำการวัดหลังจากมีการใช้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและพื้นที่ซ่อมไปแล้วกว่า 100 ชั่วโมงที่ระดับพื้นที่ผิวแนวนอนของการทำงานและขณะทำการวัดปริมาณแสงสว่างนั้น พื้นที่จะต้องปราศจากสิ่งหรือบุคคลที่อยู่ใกล้ๆ เพื่อลดแสงเงาให้น้อยที่สุดที่จะเกิดแก่ตัวตรวจวัด พึงระลึกว่าค่าแสงสว่างอาจจะตกลงอย่างมากตอนเริ่มต้นเปิดใช้อุปกรณ์ ตารางค่าแสงสว่างสมบูรณ์น้อยที่สุด มีดังนี้

Calibration/Repair/Dimensional	50 Foot Candle
Cleaning	50 FC
Office & Administrative	50 FC
Technical Library	50 FC
Training Room	50 FC
Receiving, Issue	50 FC
Bench Stock	20 FC
AWM/AWP Holding	10 FC
Stairways, Corridors, Airlock	20 FC
Elevators, Shipping Dock	20 FC*
Restroom, Utility, Storage	10 FC*

**Not Less Than 1/5 of the Brightest Adjacent Traffic Area.*

2.3 **Observational Errors** ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการอ่านที่หน้าปัดหรือสเกลแบบเข็มชี้ การแบ่งขีดระหว่างสเกลและการอ่านค่าโดยประมาณจากสเกล ซึ่งสามารถจำกัดค่าให้น้อยลงได้ด้วยการเพิ่มประสบการณ์ความชำนาญหรือเพิ่มความกระตือรือร้นในการสังเกตให้เพิ่มขึ้น แต่ก็ใช่ว่าจะสามารถกำจัดให้หมดไปได้อย่างสมบูรณ์

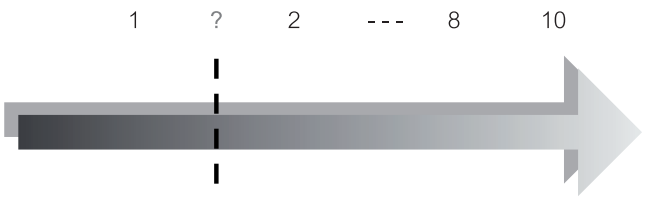
2.3.1 Parallax ความเหลื่อม เมื่อระยะระหว่างเข็มชี้กับสเกลมีระยะที่ห่างกันแน่นอนพอสมควร และการอ่านกระทำจากมุมที่ต่างกันออกไปจะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งปรากฏ (Apparent Displacement) ของเข็มชี้เนื่องจากตำแหน่งของตาผู้อ่านค่าที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลการอ่านที่แตกต่างกันออกไปด้วย



เป็นการยากที่จะบอกว่าค่าใดเป็นค่าที่ถูกต้องกันแน่ เครื่องวัดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยๆ จะออกแบบโดยมีกระจกสะท้อนแสง (Mirror-Backed Scale) ติดไว้ในระนาบเดียวกันกับสเกลใต้เข็มชี้ เพื่อให้ผู้อ่านได้อ่านสเกลจากมุมมองที่ทำให้เข็มชี้ทับกับภาพของเข็มที่ปรากฏในกระจก ซึ่งเป็นการช่วยกำจัดค่าความคลาดเคลื่อนให้หมดไป

2.3.2 Interpolation การแบ่งส่วนสเกล เมื่อเข็มชี้ไม่ตรงกับขีดบนสเกลพอดี จำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (โดยประมาณ) จากผู้อ่านค่าทำให้ความสามารถในการแบ่งส่วนที่เท่ากันอย่างละเอียดในการมองได้ถูกจำกัดลง เป็นสาเหตุในการเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกรณีที่เป็นสเกลแบบเชิงเส้น (Linear Scale) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะไม่มากนัก แต่ถ้าเป็นสเกลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Scale) การแบ่งสเกลให้ถูกต้องไม่สามารถกระทำได้หรือแทบเป็นไปไม่ได้เลย

ตัวอย่าง การอ่านค่าโดยประมาณของจุดกึ่งกลางที่กำหนดให้



0	1	?	2	---	8	10	
0	1	?	4	---	64	100	
0	10	?	100	---	100 M	10 G	
0	1.5	?	3	---	2 k	∞	
	ค่าที่อ่านได้						
0	1	1.50	2	---	8	10	Linear Scale (ค่าเฉลี่ยของ 1 กับ 2)
0	1	2.25	2^2	---	8^2	10^2	Square Law Scale (1.5^2)
0	10	31.62	10^2	---	10^8	10^{10}	Logarithmic Scale ($10^{1.5}$)
0	1.5	2.40	3	---	2k	∞	Nonlinear Scale

โดยทั่วไปแล้วมิเตอร์ตัวหนึ่งมักออกแบบให้วัดได้หลายอย่าง เช่น วัดกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า ความต้านทาน และ Output ฉะนั้น มิเตอร์จึงมีการแบ่งสเกลออกเป็นหลายแบบด้วยกัน โดยทั่วไปสเกลจะแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ

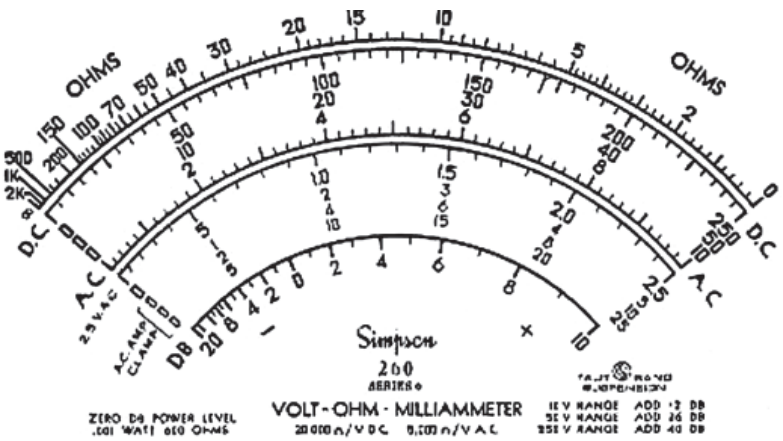
• Linear Scale คือ มิเตอร์ที่แบ่งสเกลออกเป็นส่วนๆ ซึ่งแต่ละส่วน มีขนาดเท่ากันตัวอย่างมิเตอร์ที่ใช้ Linear Scale คือ Moving Coil Meter

• Square Law Meter คือ มิเตอร์ที่แบ่งสเกลในลักษณะ Square Law ตัวอย่างมิเตอร์ที่ใช้สเกลแบบนี้คือ Iron Vane Meter หรือ Thermocouple Meter ลักษณะของสเกล ช่วงแรกถี่ ช่วงหลังจะห่าง

• Logarithmic Scale คือ มิเตอร์ที่แบ่งสเกลตามค่าของ Log บางทีเรียกว่า Db Scale ตัวอย่างของมิเตอร์ที่ใช้ Log Scale คือ Output Meter

• Nonlinear Scale คือ มิเตอร์ที่ไม่สามารถแบ่งสเกลให้เป็นแบบใดๆ ที่กล่าวมาแล้วได้ เช่น สเกลของการวัดค่าความต้านทาน เป็นต้น

2.3.3 Scaling การอ่านสเกล ถ้าอ่านค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดที่มีสเกลไม่ชัดเจนเป็นความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด แต่การอ่านสเกลผิดเป็นความคลาดเคลื่อนของผู้อ่านเอง ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ง่ายที่สุด เราสามารถลดค่าผิดพลาดจากการอ่านสเกลให้น้อยที่สุดได้ เมื่อทั้งความกว้างของเข็มชี้และความกว้างของขีดแบ่งช่อง (Division Mark) มีค่าประมาณ 1/10 (หรือ 0.1) ของระยะห่างระหว่างขีดแบ่งช่อง (ระยะ 1 ช่อง) อัตรานี้จะพบในเครื่องวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพดีมาก สำหรับเครื่องวัดที่การออกแบบสเกลมาอย่างดี ผู้วัดสามารถอ่านค่าได้ใกล้เคียงถึง 0.1 ของช่องสเกล และมีความถูกต้องภายใน ± 0.2 ของช่องสเกล สำหรับสเกลที่มี 100 ช่องความ



คลาดเคลื่อนจากการอ่านค่า 0.1 ช่องที่ขีด 100 จะเกิดความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.1 ของค่าที่วัด แต่ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่า 0.1 ช่องที่ขีด 1/4 (หรือ 0.25) ของสเกลจะมีความคลาดเคลื่อนมากถึงร้อยละ 0.4 ของค่าที่วัด ดังนั้น เพื่อให้เกิดความถูกต้องสูงสุด จะต้องเลือกอ่านค่ากระทำที่ด้านสูงสุดของสเกล

ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ เป็นค่าผิดพลาดที่ยังคงที่ตลอดกระบวนการวัดที่ซ้ำๆ กันหรือทำให้เกิดการ Drift, Cyclic หรือรูปแบบอื่นๆ ที่คาดการณ์ได้ (Predictable) ระหว่างข้อมูลการวัดที่ทำซ้ำกัน ค่าความคลาดเคลื่อนที่คงที่ในผลของการวัดที่ซ้ำๆ กันจะไม่สามารถเห็นได้จากการดูข้อมูล เราจะยังไม่ทราบขนาดและเครื่องหมายของค่าผิดพลาดจนกว่าจะมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากกระบวนการวัดอื่นหรือวิธีอื่น ผู้ทำการวัดจะต้องสามารถกำหนดขอบเขต (Limit) ของความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบเพื่อให้คนอื่นที่จำเป็นต้องใช้ผล (ข้อมูล) เหล่านี้ได้เข้าใจถึงความไม่แน่นอนของข้อมูล

ความคลาดเคลื่อนสุ่มหรือตกค้างถือเป็นความคลาดเคลื่อนเหลืออยู่เมื่อทำการจำกัดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวัดกับความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบออกไปแล้ว อย่างไรก็ตามชื่อที่เรียกก็อาจก่อให้เกิดความสับสน เนื่องจากไม่ว่าจะทำการทดลองหรือวัดได้ดีเพียงใด ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบร่วมอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบที่ร่วมอยู่ไม่จำเป็นต้องเป็นค่าคงที่ หรือมันจะเป็นแบบเป็นระบบในลักษณะที่มันจะแปรไปตามเงื่อนไขของการทดลอง และบางครั้งอาจเป็นไปในลักษณะไม่สม่ำเสมอ การที่เราเรียกความคลาดเคลื่อนแบบนี้ว่าความคลาดเคลื่อนสุ่มเนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่คาดการณ์ไม่ได้ ไม่สม่ำเสมอหรือไม่มีรูปแบบที่แน่นอน เนื่องจากความคลาด-เคลื่อนชนิดนี้เกิดมาจากการรวมเหตุการณ์เล็กๆ จำนวนมาก เช่น การกระทบกันของโมเลกุล

ผลกระทบเนื่องจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในการวัดทางไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมากสำหรับการทดลองที่ออกแบบมาอย่างดีและโดยปกติจะไม่

นำมาคิดในงานที่มีความถูกต้องน้อย อย่างไรก็ตาม สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงเราไม่สามารถละเลยความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้เลย การลดผลของความคลาดเคลื่อนทำได้ด้วยการใช้กรรมวิธีทางสถิติเข้าช่วย หลังจากที่ได้ทำการลดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบจนน้อยที่สุดเท่าที่ยอมรับได้ วิธีการทั่วไปคือทำการวัดปริมาณเดียวกันซ้ำๆ การใช้วิธีทางสถิติศึกษาการกระจายของผลการวัดที่ได้ จะนำไปสู่การประมาณปริมาณซึ่งถือว่ามีความถูกต้องมากกว่าการวัดครั้งเดียว เทคนิคทางสถิตินี้จะใช้กับการกระจายทั้งที่เป็นแบบสมมาตรและอสมมาตรรอบค่ากลาง การกระจายแบบสมมาตรที่พบบ่อยเรียกว่าการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)

3. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวัด (Gross Errors)

วิธีการและเครื่องมือเป็นขั้นแรกของขบวนการวัด วิธีการและเครื่องมือที่ถูกต้องจะทำให้ได้ผลการวัดที่ได้ความถูกต้อง ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย แต่การใช้วิธีการและเครื่องมือที่ด้อยกว่าที่ต้องการ จะเป็นผลลัพธ์ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความต้องการ อาจเป็นผลทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเกินไปอีกด้วย ความคลาดเคลื่อนในกรณีนี้จะมีหลายลักษณะ เช่น

- เกิดจากการขาดความระมัดระวังหรือไม่มีวินัยในการวัด ทำให้อ่านค่าไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะเครื่องวัดแบบชี้ค่าที่มีหลายพิสัยการวัด (Multiranges) การบันทึกค่าที่ได้แตกต่างจากค่าที่อ่านได้ การปรับเครื่องวัดไม่ถูกต้อง หรือเกิดจากการคำนวณผิดพลาด
- เกิดจากการขาดความรู้และความเข้าใจในเครื่องวัด ทำให้เลือกใช้เครื่องวัดที่ไม่เหมาะสมกับงาน หรือใช้งานเครื่องวัดเกินขีดจำกัดของเครื่องวัด
- ขาดความรู้ความเข้าใจในการวัดโดยเฉพาะผู้เริ่มต้นทำการวัด โดยปกติจะมีสองแนวทางในการวัดปริมาณไม่ว่าจะทำการวัดโดยวิธีตรงหรือวิธีอ้อม นั่นคือทำการวัดปริมาณในลักษณะที่ปริมาณที่ต้องการวัดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากวิธีที่ใช้ และยอมรับความคิดที่ว่า ปริมาณเปลี่ยนแปลงไปโดยกระบวนการวัด แล้วทำการวัดปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นทำการแก้ผลเนื่องจากการรบกวน

จะเห็นว่าแนวทางแรกไม่มีทางทำได้ เนื่องจากจะต้องมีผลกระทบจากการวัดต่อปริมาณที่ทำการวัดเมื่อสิ่งแวดล้อมที่จะวัดมันเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะเป็นประโยชน์ในกรณีการปฏิบัติที่มีการรบกวนมีค่าน้อยจนไม่สามารถตรวจพบได้ หรือกรณีที่มันมีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวัดสามารถแบ่งออกเป็น

3.1 **Mistakes** ความเข้าใจผิด เป็นการใช้วิธีการวัด (ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการวัด) ที่ผิดพลาด วิธีการ (รวมทั้งเครื่องมือ) ที่ถูกต้องทำให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้องตามที่ต้องการ

3.2 **Misuse of Equipment, Procedure and Data** การนำอุปกรณ์ ขั้นตอนการดำเนินการและข้อมูลไปใช้ในทางที่ผิด การเลือกใช้เครื่องมือเครื่องวัดผิดไม่เหมาะสม โดยใช้ความชำนาญแทนการวัดตามรายละเอียดที่กำหนดจากคู่มือเอกสารเทคนิค (Technical Order) ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเครื่องมือและขั้นตอนของการดำเนินการวิธีการปฏิบัติงาน รวมทั้งได้ข้อมูลที่ผิดพลาดในการใช้งาน ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่าย (ในกรณีที่เลือกใช้เครื่องมือที่ดีกว่าที่ต้องการ) มากเกินไป

3.3 **Blunders (A Foolish Mistake)** ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากความเซ่อ ความซุ่มซ่าม งุ่มง่าม

3.4 **Mathematics** การคำนวณผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้ทฤษฎีที่ผิดหรือขั้นตอนที่ปฏิบัติในการคำนวณผิด ในการวัดส่วนใหญ่จะมีการทำการคำนวณเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ การคำนวณอาจจะมีทั้งกระทำบนกระดาษหรือการใช้

โปรแกรมช่วยการคำนวณ ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทั้งทฤษฎีควบคู่ไปกับการปฏิบัติ จึงจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง

3.4.1 หลักการเลขนัยสำคัญ

1) เลขตัวสุดท้าย (ขวาสุด) จะแทนเลขหลักที่ไม่แน่นอน

2) เป็นที่เข้าใจว่า (ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่น) จะมีความไม่แน่นอนทั้งหมด 1 หน่วยในเลขตัวสุดท้าย เช่น 80.4 มีค่าความจริงอยู่ระหว่าง 80.35 และ 80.45

3) เลข 1 2 3 4 5 6 7 8 และ 9 เป็นเลขที่มีนัยสำคัญ

4) เลข 0 จะไม่มีนัยสำคัญเลย ถ้าเลข 0 นั้นเพียงแต่มีหน้าที่บอกถึงตำแหน่งของจุดทศนิยม เช่น 0.000216 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

5) เลข 0 จะมีนัยสำคัญ เมื่อถูกนำหน้าหรือตามโดยเลขที่มีนัยสำคัญ หรือเมื่อไม่ได้ทำหน้าที่เพียงบอกขนาดของปริมาณ เช่น 3.0026 มีนัยสำคัญ 4 ตัว, 380000 มีนัยสำคัญ 5 ตัว และ 380000 มีนัยสำคัญ 1 ตัว

6) เพื่อหลีกเลี่ยงการปรากฏของเลข 0 จากเลขหลักที่ไม่แน่นอนใช้วิธีการเขียนแบบ Scientific Notation แทน เช่น 380000 = 3.80000×10^5 มีนัยสำคัญ 5 ตัว, 380000 = 3.8×10^5 มีนัยสำคัญ 1 ตัว

โดยหลักการดังกล่าวมาแล้ว ถ้ากำหนดค่าความต้านทานเป็น 106 โอห์ม จะหมายความว่าความต้านทานที่แท้จริงของมันใกล้เคียง 106 โอห์ม มากกว่าใกล้ 107 และ 105 โอห์ม (เป็น 106 + 0.5) แล้วถ้าตัวต้านทานถูกกำหนดว่ามีค่าความต้านทาน 106.0 โอห์มจะหมายความว่าอย่างไร? (เป็น 106.0 + 0.05) แล้วความแตกต่างของความเร็วแสง 1.86 x 105 ไมล์/วินาทีกับ 186,000 ไมล์/วินาที จะหมายความแตกต่างกันอย่างไร?

3.4.2 หลักการเลขปัดเศษ

เมื่อต้องการปัดเลขให้เหลือเพียงจำนวนเลขนัยสำคัญที่ต้องการ ให้พิจารณาเลขต่อจากหลักที่ไม่แน่นอนหรือเลขต่อจากจำนวนนัยสำคัญที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการปัดเลข 2.3463 ให้มีเลขนัยสำคัญเพียง 3 ตำแหน่ง ให้พิจารณาหลักที่ 4 คือ เลข 6

1) ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่ามากกว่า 5 ให้บวกเลขหลักข้างหน้าเพิ่มอีก 1 เช่น 2.346 เป็น 2.35

2) ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ตัดเลขหลักนั้นทิ้ง เช่น 2.3445 เป็น 2.34

3) ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่าเท่ากับ 5 และตามด้วยเลขที่มีค่ามากกว่า 0 ให้บวกเลขหลักข้างหน้าอีก 1 เช่น 2.3451 เป็น 2.35 หรือตามด้วย 0 หรือไม่มีเลขตาม ให้ปัด (บวกหรือตัดทิ้ง) เลขหลักข้างหน้าเป็นเลขคู่เสมอ เช่น 2.345 เป็น 2.34 หรือ 2.335 เป็น 2.34

3.4.3 หลักการแสดงจำนวนเลขนัยสำคัญจากผลลัพธ์ที่ต้องการ

1) ในการบวกหรือลบเลข ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนหลักของทศนิยมเท่ากับจำนวนหลักทศนิยมที่น้อยที่สุด เช่น 102.25 + 0.0076 = 102.26 หรือ 102.25-0.0076 = 102.24

2) ในการคูณ หาร ยกกำลัง หรือถอดราก ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนหลักของทศนิยมเท่ากับจำนวนเลขที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น $102.25 \times 0.0076 = 1.02 \times 10^2 \times 7.6 \times 10^{-3} = 7.8 \times 10^{-3}$

3) ในการคำนวณค่า Logarithm นั้น จำนวนหลักของ Mantissa ของ Log. นั้นจะไม่เกินจำนวนเลขนัยสำคัญของจำนวนที่นำมาหาค่า Log เช่น Log. (102.25) = 2.0096 ไม่ใช่ 2.009663317

4) ในกรณีที่ไม่มีการกำหนดความไม่แน่นอนนอกเหนือไปจากข้อ 1 ของหลักการของเลขนัยสำคัญ การบันทึกผลค่าของความไม่แน่นอน (กรณีความผิดพลาดแบบเป็นระบบ) หรือความผิดพลาดที่น่าจะเป็น (กรณีความผิดพลาดแบบแรนดอม) ต้องการเลขนัยสำคัญไม่เกิน 2 ตัว

5) กรณีการหาค่าเฉลี่ยปริมาณ 4 ปริมาณหรือมากกว่า จะเพิ่มเลขอีก 1 หลัก (จากจำนวนนัยสำคัญของแต่ละปริมาณ) เนื่องจากอาจจะมีนัยสำคัญ

ในทางปฏิบัติค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องวัดแต่ละตัวจะถูกกำหนดโดยชั้น (Class) ของเครื่องวัด ซึ่งเป็นตัวกำหนดความละเอียดรวมถึงความยาวของสเกลบนหน้าปัดของเครื่องวัด เช่น ชั้น 2.5 จะมีค่าความผิดพลาด 2.5% ของปริมาณเต็มสเกล (Full Scale)

การลดความคลาดเคลื่อน

1. การลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

ยังคงมีแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในค่าที่อ่านได้ ซึ่งไม่สามารถหาค่าได้โดยวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กับความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ แหล่งกำเนิดนี้จะมีขนาดและเครื่องหมายที่แปรไปและเมื่อรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ ผลของมันจะกระทบต่อเครื่องวัดในลักษณะสุ่ม มันเป็นความคลาดเคลื่อนที่หลงเหลืออยู่หลังจากคิดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบแล้ว ในเครื่องวัดบางแบบเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม แต่ในเครื่องวัดแบบที่มีความละเอียดสูงเราจะพบเห็นการกระจายของค่าที่อ่านได้ เราสามารถนำวิธีทางสถิติมาใช้หาค่าประมาณที่ดีที่สุดของขนาดจริงของค่าที่กระจายที่ได้รับจากการวัดปริมาณเดียวกันซ้ำๆ

2. การลดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ

เนื่องจากลักษณะของความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบคือ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะมีขนาดและเครื่องหมายที่เหมือนกันสำหรับทุกๆ การวัดที่ซ้ำกัน ถ้าหากเรารู้ขนาดและเครื่องหมายเราก็สามารถใส่ค่าแก้เข้าไป ทำให้สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนนี้ได้

อย่างไรก็ตาม แม้ทำการวัดที่ซ้ำกัน เราจะทราบได้อย่างไรว่า “ขนาดและเครื่องหมายของความคลาดเคลื่อน เป็นอย่างไร?” ถ้าหากการวัดโดนรบกวนด้วยไบอัสเดียวกัน วิธีเดียวที่สามารถตรวจจับไบอัสนี้ก็คือ ทำการวัดโดยการใช้เครื่องวัดหรือวิธีการวัดอื่น เช่น ถ้าเราวิเคราะห์การต่อวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ เราจะพบว่ากำลังที่แสดงโดยเครื่องวัด จะมีค่ามากกว่าค่าที่ควรจะเป็นเท่ากับการสิ้นเปลืองกำลังเนื่องจากขดแรงดันหรือขดกระแส (ซึ่งขึ้นกับวิธีการต่อขดแรงดันหรือขดกระแสทั้งสอง) เมื่อเรารู้ค่าความต้านทานของขดลวด เราจะสามารถคำนวณกำลังสูญเสียในขดลวดและสามารถใส่ค่าแก้ ทำให้ได้ค่ากำลังที่ถูกต้อง

ลองพิจารณาเครื่องวัดมีสเกลและเข็มชี้เครื่องหนึ่ง เครื่องวัดเครื่องนี้แสดงค่าผิดพลาดเนื่องจากไม่ได้ตั้งให้เข็มชี้ค่าศูนย์ก่อนเริ่มวัด ค่าความคลาดเคลื่อนจะกระทบกระเทือนต่อการวัดค่าทุกค่าที่บันทึกและส่งผลต่อเนื่องทุกครั้งที่นำค่าหรือผลไปใช้ต่อไป มันจะเป็นความคลาดเคลื่อนแบบที่คงที่สำหรับการใช้ครั้งต่อไปหากยังคงวัดซ้ำแต่ยังไม่ปรับ “ศูนย์” ผลที่ได้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนด้วยปริมาณเท่ากันเช่นเคย ความคลาดเคลื่อนนี้คือ ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบมีผลกระทบสม่ำเสมอและคาดการณ์ได้ แม้ว่าจะไม่รู้ขนาดที่แท้จริงก็ตาม

เมื่อรู้ว่ามีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบอยู่ ผู้ทำการวัดจะต้องทำการกำหนดขอบเขตของความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบที่เขายอมให้เกิดขึ้นในกระบวนการวัด การกำหนดนี้ทำให้ผู้ที่ใช้ผลของการวัดนี้ได้รับข้อมูลที่เขาต้องการรวมถึงตัวเลขที่แสดงความไม่เที่ยงตรง เพื่อที่จะตัดสินถึงความถูกต้องของผลการวัดนั้น

อย่างไรก็ตาม ถ้าหากเราเปลี่ยนขั้นตอนดำเนินการวัด โดยมีการตั้งตำแหน่ง “ศูนย์” อย่าง

ระมัดระวังทุกครั้งของการวัดซ้ำ จะมีความคลาดเคลื่อนค่าน้อยๆ เนื่องจากการปรับศูนย์เหลืออยู่ และจะแตกต่างกันไปในแต่ละครั้ง ภายหลังการวัดหลายๆ ครั้งจะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนนี้จะมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และการเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างหรือข้อมูลชุดนี้ จะเป็นตัวแสดงการกระจายที่ดี ขณะนี้เราได้ทำการลดหรือกำจัดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบจากการปรับศูนย์ได้ แต่ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มอาจจะมีค่ามากกว่าที่เคยมีอยู่ก่อน จะเห็นว่าโดยการเปลี่ยนขั้นตอนดำเนินการวัด เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบโดยมีความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมากขึ้นเล็กน้อย

ถ้าคิดว่าการดำเนินการวัดในย่อหน้าที่ผ่านมาได้ข้อมูลมาหนึ่งชุด และเราทำการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลหลายชุด (โดยมีการปรับศูนย์ก่อนหาข้อมูลแต่ละชุด) เราจะได้ค่าเฉลี่ยของมันที่มีความเที่ยงตรงเพิ่มมากขึ้น คือมันจะมีการแปรข้อมูลน้อยกว่าข้อมูลชุดเดียว จะเห็นว่าการเปลี่ยนวิธีการวัดจะช่วยปรับปรุงผลการวัดให้ดีขึ้น ผู้ทำการวัดจะต้องแน่ใจว่า ได้ลดความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบจนมีขนาดที่ตัดทิ้งได้ หรือกำจัดออกจนหมด เหลือไว้แต่ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มซึ่งสามารถจัดการในลักษณะ Objective โดยใช้กรรมวิธีทางสถิติ

เครื่องวัดบางเครื่องดึงกำลังจากวงจรที่กำลังทำการวัด ซึ่งนอกจากจะเป็นการรบกวนวงจรวัดแล้วยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงปรารถนาและไม่รู้ ในบางครั้งการต่อเครื่องวัดกับวงจรวัดอาจจะไม่ดีพอ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่ยากแก่การแก้ไข ผลของสิ่งแวดล้อมต่อสมรรถนะเครื่องวัดจะต้องมีการควบคุม อย่างไรก็ตาม การหาขอบเขตความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบจะเป็นเรื่องที่ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ทำการวัด (Subjective) แต่การจัดการกับความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มสามารถใช้กรรมวิธีทางสถิติที่ไม่ขึ้นกับผู้ทำการวัด (Objective)

การเลือกเครื่องมือวัดสำหรับงานการวัดโดยจำเพาะ ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำหลังจากการทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเบื้องต้นก่อน ถ้าหากจำเป็นต้องใส่ค่าแก้ (Correction) เข้าไปเพื่อแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เรารู้ ค่าความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัดที่หลงเหลืออยู่ควรจะมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์อื่นหรือแหล่งความคลาดเคลื่อนอื่นในกระบวนการวัด

3. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวัด

3.1 มีความรู้ความเข้าใจ สิ่งที่ผู้ทำการวัดทุกคนจะต้องมีคือ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะจำเพาะ (Characteristic) มีขีดจำกัด (Limitation) และสมรรถนะ ตามปกติของอุปกรณ์การวัดทุกชิ้นที่ใช้จะต้องมีความเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานของการวัดเพื่อสามารถเข้าใจปัญหาด้านการวัดทั้งหมดที่เผชิญอยู่ ผู้ทำการวัดจะต้องมีความสามารถในการเลือกเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ผลที่ได้เทียบกับทฤษฎี

3.2 มีเทคนิค เช่น การแทนเครื่องมือที่มีปัญหาด้วยเครื่องมือที่คล้ายกัน การสลับที่ระหว่างเครื่องมือที่คล้ายกัน การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพื่อดูผลกระทบของพารามิเตอร์นั้นต่อระบบการวัดโดยรวม ใช้วิธีที่เป็นอิสระแตกต่างกันในการวัดปริมาณเดียวกัน ใช้การวัดซ้ำปริมาณเดียวกัน เป็นต้น

3.3 มีวินัย มีการวางแผนขั้นตอนการดำเนินการ มีความสุขุมรอบคอบในการวัด ในการบันทึกค่าโดยตรงอย่างมีระเบียบตามลำดับ บันทึกรายละเอียดทุกสิ่งที่เกี่ยวข้องในการจัดการวัด รวมถึงเงื่อนไขต่างๆ

การประเมินความไม่แน่นอนตาม Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

เนื่องจากผลการวัดไม่สามารถเปรียบเทียบ

กันได้หรือประเมินความเชื่อถือได้ ถ้าปราศจากสิ่งบ่งชี้คุณภาพในเชิงปริมาณของค่าที่รายงาน ซึ่งสิ่งบ่งชี้นี้คือ “ความไม่แน่นอน” ที่รายงานมาด้วย

แนวคิดที่ความไม่แน่นอนในฐานะที่เป็นคุณสมบัติเชิงปริมาณเป็นเรื่องใหม่ในประวัติศาสตร์ของการวัด รวมทั้งความคลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนได้ถูกนำมาใช้ในเชิงวิทยาศาสตร์และมาตรวิทยามาช้านาน รวมถึงแม้ว่าความคลาดเคลื่อนจะได้รับการประเมินและแก้ค่าแล้ว แต่ก็ยังคงมีความไม่แน่นอนของความถูกต้องของค่าที่รายงานอยู่ดี ซึ่งความไม่แน่นอนของการวัดนี้จะมีค่าไม่เกิน 1/3 ของความคลาดเคลื่อนสูงสุดเสมอ

เพื่อให้การประเมินความไม่แน่นอน เป็นไปอย่างคงเส้นคงวาและยอมรับระหว่างกันทั่วโลก องค์กรระหว่างประเทศได้จัดทำแนวทางเพื่อการประเมินความไม่แน่นอนของผลการวัด คือ GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)

ความจำเป็นที่จะต้องรายงานผลการวัด ในรูปของค่าจริงที่ตกลงยอมรับ (Conventional true value)

1. เพื่อให้เป็นความเชื่อถือและยอมรับอย่างเป็นทางการ ในเรื่องผลการวัดและการทดสอบข้อกำหนดจำเพาะและมาตรฐาน ซึ่งผลการวัดที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นทางการจะต้องเปรียบเทียบกันได้, สามารถสอบกลับได้สู่หน่วยวัด SI และได้รับการยอมรับโดยบุคคลที่สาม (3rd Party Accredited)
2. เพื่อความเป็นอิสระ จากกำแพงการค้า
3. เพื่อการรับช่วงงาน และการส่งมอบงาน
4. เพื่อการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ
5. เพื่อสุขอนามัย สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย
6. เพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. เพื่อการประกันคุณภาพ การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ

กระบวนการประมาณความไม่แน่นอนของการวัด (Process of Measurement Uncertainty Estimation)

ขั้นตอนที่ 1 บ่งชี้ปริมาณที่ถูกวัด (Specify Measurement) ว่ากำลังวัดอะไร ความสัมพันธ์ระหว่าง “ปริมาณที่ถูกวัด” (Measurand) กับปริมาณอินพุท (Input Quantities) และค่าแก้สำหรับ Systematic Errors

ขั้นตอนที่ 2 บ่งชี้แหล่งที่มาของความไม่แน่นอน (Identify Uncertainty Sources) คือแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ของความไม่แน่นอน รวมทั้งแหล่งของความไม่แน่นอนที่มีผลกระทบต่อทุกปริมาณอินพุท

ขั้นตอนที่ 3 ให้ปริมาณความไม่แน่นอน (Quantity Uncertainty Component) ด้วยการวัดหรือประมาณขนาดของส่วนประกอบ (คำนวณเป็นตัวเลข) ของความไม่แน่นอนที่เป็นแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่บ่งชี้ไว้แล้ว หรือทำการศึกษาเพิ่มเติมให้แน่ใจว่าแหล่งที่มาทั้งหมดของความไม่แน่นอน ได้รับพิจารณาแล้วอย่างเพียงพอ

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณความไม่แน่นอนรวม (Calculate Combined Uncertainty) โดยใช้กฎทางสถิติรวมความไม่แน่นอนจากทุกแหล่งและใช้ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor) ที่เหมาะสม

วิธีการในอุดมคติ (Ideal Method) ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดควรจะเป็นสากล ใช้ได้กับการวัดทุกชนิดและทุกข้อมูล Input ซึ่งปริมาณที่ใช้ในการแสดงค่าความแน่นอนควรจะสอดคล้องกันภายในกับค่าที่รายงาน (Internally Consistent) และสามารถส่งต่อได้ (Transferable)

ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty)

ความไม่แน่นอนของการวัดคือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลของการวัด ซึ่งบอกลักษณะการกระจายของค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล เช่น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือผลคูณที่กำหนดให้) หรือครึ่งหนึ่งของช่วงที่มีระดับของความเชื่อมั่นที่แสดงไว้

เป็นการยากที่จะทำความเข้าใจกับคำนิยามและการวัดของ “ค่าความคลาดเคลื่อน” จึงทำให้สถาบันทางมาตรวิทยาได้กำหนดวิธีการในการวัด “ค่าความไม่แน่นอนไว้แทน” การวัดค่าความไม่แน่นอนได้ถูกกำหนดเป็นพิสัยหรือระยะ (Range) ของค่า โดยส่วนใหญ่มักเป็นค่ากลางของค่าที่เกิดจากการวัดทั้งหมดที่ได้รวมกับค่าจริงและความน่าจะเป็น ขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่ไม่ทราบค่าแน่นอน ค่าความไม่แน่นอนจะเป็นค่าที่แสดงถึงสภาพจิตใจของนักมาตรวิทยาจากการวัดปริมาณที่แท้จริง ค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นการบอกข้อมูลที่ยินยอมให้ผู้ใช้งานเครื่องวัดสามารถทำการคำนวณอัตราเสี่ยงในการใช้ผลการวัดจากเครื่องวัดนั้นๆ

ผลการวัดหลังการแก้ค่าแล้วก็ยังคงเป็นเพียงค่าประมาณ (Estimate) เพราะความไม่แน่นอนที่เกิดจาก Random Effect และความไม่สมบูรณ์ของค่า Correction เหลืออยู่

Uncertainty and Error เป็นการแสดงเส้นโค้งของการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) อธิบายให้เห็นว่าค่าที่แท้จริง (True Value) จะอยู่ที่ใดก็ได้ภายใต้เส้นโค้งดังกล่าว ซึ่งโดยมากแล้วชอบที่จะให้อยู่ตรงกลางของส่วนโค้งมากที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นค่าที่แสดงด้วยปริมาณทางฟิสิกส์ที่แท้จริงได้ ทั้งที่ทราบค่าได้แน่นอนและไม่ทราบค่าได้ ขึ้นอยู่กับว่าขนาดของความคลาดเคลื่อนและระดับของความมั่นใจ (แสดงเป็นค่าตัวเลขภายใต้เส้นโค้ง) ของค่าที่แท้จริงมีมากน้อยเพียงใด

แหล่งที่เป็นไปได้ของความไม่แน่นอนของการวัด

1. นิยาม (Definition) ที่ไม่สมบูรณ์ของปริมาณที่ถูกวัด
2. ความไม่สมบูรณ์ของการทำให้เป็นจริง (Realization)
3. การสุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนของปริมาณที่ถูกวัด
4. ความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ของผลกระทบของสภาวะแวดล้อมและการวัดสภาวะแวดล้อมที่ไม่สมบูรณ์
5. ความลำเอียง (Bias) ของการอ่านเครื่องมือวัดแบบ Analog
6. ความละเอียด (Resolution) ของเครื่องมือวัด
7. การไม่ทราบค่าที่แน่นอนของมาตรฐานการวัดและวัสดุอ้างอิง
8. ความไม่แน่นอนของค่าคงที่ และพารามิเตอร์อื่นๆ
9. ความเหมาะสมของวิธีการ และขั้นตอนการวัด
10. ความผันแปรของผลการวัดซ้ำๆ กันภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน
11. การเลื่อนค่า (Drift) ของเครื่องมือวัดและมาตรฐานการวัด

The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement; M3003, 1st Ed.: 1997

NAMAS (National Measurement Accredittetion Service) Accreditation Standard, M10 กำหนดให้ห้องปฏิบัติการที่ผ่านการรับรองขีดความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 กำหนดค่าความไม่แน่นอนโดยประมาณของการวัดของตัวมันเองสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน

ทุกประเภท โดยให้ใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับแล้ว ซึ่งการยอมรับที่ว่านี้อาจจะพบในการปฏิบัติตามเอกสารขั้นตอนการทำงานที่ได้อธิบายไว้ในเอกสารเล่มนี้ที่ทำขึ้นแทน NIS 3003, Ed. 8th: 1995 และได้เพิ่มเนื้อหาสำหรับประยุกต์ใช้งานในทุกสาขาการวัดที่ต้องทำการสอบเทียบมาตรฐาน

ความต้องการในการประมาณค่าความไม่แน่นอนในการวัดได้ถูกประยุกต์ใช้กับผลการวัดทุกชนิดที่มาจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน และสิ่งเหล่านี้ก็ได้ถูกประยุกต์ใช้กับผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการทดสอบด้วยภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ถ้าเป็นความต้องการของลูกค้า
- ถ้าเป็นความต้องการของข้อกำหนดลักษณะเฉพาะ ในการปฏิบัติการให้บรรลุถึงผลการทดสอบนั้น
- ถ้าความไม่แน่นอนมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการนำมาประยุกต์ใช้หรือการตรวจสอบความใช้ได้ของผลการสอบเทียบ เช่น ที่ซึ่งค่าความไม่แน่นอนมีผลต่อการเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะหรือข้อจำกัด

นอกจากนั้นยังเป็นความต้องการสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานทั่วไป ในการที่จะทำให้เกิดผลสำเร็จในการสอบเทียบมาตรฐานภายในห้องปฏิบัติการเพื่อสนับสนุนกิจกรรมในการรับรองค่าความไม่แน่นอนโดยประมาณที่เกิดขึ้นในกิจการนี้ รายละเอียดที่มากกว่านี้สามารถอ่านจาก ส่วนที่ 3 ของ M10 ในภาคผนวก เรื่องระบบการวัดและการสอบเทียบมาตรฐาน

ความจำเป็นในระดับสากลที่ต้องยอมรับเอกสารขั้นตอนการทำงานเพื่ออธิบายการวัดค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้เป็นมาตรฐานสากลถูกนำเข้าพิจารณาจากผู้มีอำนาจด้านมาตรวิทยาในระดับสากลในปี ค.ศ. 1981 และคณะกรรมการองค์กรมาตรวิทยาสากล (CIPM: Comite International Des Poids et Measures) ได้รับการตรวจรับรองร่างสรุปกรรมวิธีการอธิบาย [1] ที่ได้จัดทำขึ้นโดยคณะทำงานที่มาจากห้องปฏิบัติการมาตรฐานระดับประเทศหลัก รวมทั้งองค์กรมาตรฐานสากล (International Standardization Organization: ISO) ก็ได้รับมอบภารกิจให้ปรับปรุง/พัฒนารายละเอียดข้อแนะนำที่จะต้องประยุกต์ใช้กับทุกระดับของความถูกต้องแม่นยำ ตั้งแต่การวิจัยขั้นพื้นฐานจนถึงห้องปฏิบัติการในโรงงานให้มีแนวทางในการอธิบายค่าความไม่แน่นอนเป็นแนวทางเดียวกัน ความรับผิดชอบในการเตรียมการณ์ เช่น การรวบรวม การทำความเข้าใจอย่างมากและการสรุปด้านเอกสารที่มีขอบเขตกว้างขวางมากด้านการวัดได้ถูกกำหนดให้ ISO Technical Advisory Group of Metrology (ISO/TAG4/WG3) ทำให้มีการจัดทำและถูกพิมพ์เป็นเอกสารชื่อ “ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [2] in 1993” หลังจากที่มีการอ้างถึงแบบที่เรียกว่า “Guide” และปัจจุบันนี้ได้จัดทำเอกสารนี้เป็นมาตรฐานของ สถาบันมาตรฐานของสหราชอาณาจักร (BSI) เรียบร้อยแล้ว

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนได้กำหนดไว้ในเอกสารฉบับนี้ ประกอบด้วยข้อความตรงกับคำแนะนำที่ทำขึ้นใน Guide และเอกสาร R2 [3] ของ EAL (The European Cooperation for the Accreditation of Laboratories ซึ่งรวมกันกับ WECC) มีบางพื้นที่ที่ EAR R2 ใช้คำว่า “Standard Uncertainty of the Output Estimate” แทนคำว่า “Combined Standard Uncertainty” ซึ่งถูกใช้ใน Guide และที่ซึ่งไม่เหมือนกันเกิดขึ้นการพิมพ์ M 3003: 1997 ยังคงยืนยันที่จะใช้ตาม NIS 3003 (ดังปรากฏใน Section 10) และในเวลาเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ได้รับการแก้ไขในการพิมพ์ครั้งนี้ ดังนี้

• แก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพิมพ์ NIS 3003 Ed. 8; 1995

• พัฒนารูปแบบการนำเสนอเอกสารและขยายครอบคลุมถึงกิจกรรมการทดสอบที่คาดหวังเพิ่มเติมด้วย

• บางตัวอย่างในภาคผนวก H มีการใช้ข้อมูลที่ได้รับจากเอกสารของผู้ใช้งานมาทำให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น

• แต่ละส่วนได้อธิบาย "Best Measurement capability" และการใช้เครื่องคำนวณ หรือมีการเพิ่มเอกสารมาตรฐานแบบต่างๆ เข้าในครั้งนี้ด้วย

• ที่ซึ่งมีการเพิ่มเทอมของการแสดงค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ถูกแสดงในย่านการวัดที่กำหนด

ผนวก D, E, F และ G ในการพิมพ์ครั้งนี้ได้จัดแสดงค่าอย่างละเอียดของแหล่งกำเนิดของความไม่แน่นอนทั่วๆ ไป รวมถึงความไม่แน่นอนอย่างหลากหลายสาขาการสอบเทียบ

ในผนวก H ได้แสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ M 3003 ในการแสดงค่าความไม่แน่นอนในสาขาเหล่านี้

ผนวก I แสดงสภาพที่การแสดงค่าความไม่แน่นอนได้รับการกำหนดเป็นย่านของการวัดมากกว่าผลการวัดครั้งเดียว

ผนวก J จะเกี่ยวข้องกับการรายงาน "Compliance with Specification"

การแสดงค่าโดยรวมของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบแสดงไว้ในผนวก K

การใช้เครื่องคำนวณและการใช้เอกสารมาตรฐานแบบต่างๆ ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจะมีการนำขึ้นมาพิจารณาถึงในผนวก L

ยิ่งไปกว่านั้น ถ้อยคำและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการพิมพ์ครั้งนี้ได้มีการวางให้เป็นแนวเดียวกับ Guide ซึ่งตารางเต็มรูปแบบของสัญลักษณ์และคำนิยามได้รับการวางไว้ใน Section 10 นิยามของคำศัพท์ด้านมาตรวิทยาทั่วๆ ไปบางคำก็ได้รับการพิมพ์ไว้ใน Guide เช่นกัน

GUM ได้แยกความไม่แน่นอนออกตามพื้นฐานของวิธีการประเมิน ดังนี้

1. ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) : ความไม่แน่นอนของการวัดที่แสดงในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

2. การประเมิน Type A (Type A Evaluation) : การประเมินความไม่แน่นอนโดยการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรม การสังเกตบางครั้งเรียกว่า Type A Standard Uncertainty

3. การประเมิน Type B (Type B Evaluation) : การประเมินความไม่แน่นอนโดยวิธีอื่นนอกจากการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรรมการสังเกตบางครั้งเรียกว่า Type B Standard Uncertainty

4. ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty) : ความไม่แน่นอนมาตรฐานของผลการวัดที่ได้จากค่าของปริมาณจำนวนหนึ่ง เท่ากับรากที่สองที่เป็นบวกของผลบวกของเทอมที่เป็น Covariance หรือ Incovariance ของปริมาณเหล่านั้นที่ได้รับการ Weight ตามการเปลี่ยนแปลงของผลการวัดต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล่านี้

5. ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty) : ปริมาณที่กำหนดช่วงรอบๆ ผลการวัดที่อาจหวังได้ว่าครอบคลุมส่วนใหญ่ของการแจกแจงของค่าที่สามารถจะเป็นตัวแทนของปริมาณที่ถูกวัด

6. ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor) : ตัวประกอบที่เป็นตัวเลขใช้เป็นตัวคูณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอน

ขยาย (ตัวประกอบครอบคลุม; k มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3)

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty)

ในขบวนการวัดทั่วๆ ไปสามารถพิจารณาได้ว่าปริมาณการป้อนที่ใส่เข้าไปโดยประมาณให้กำหนดแทนด้วยสัญลักษณ์ x ที่แสดงให้เห็นค่าโดยประมาณของการวัดหรือปริมาณที่ได้รับด้วยสัญลักษณ์ y ซึ่งในกรณีส่วนใหญ่แล้วจะมีปริมาณการป้อนที่มากกว่าหนึ่งค่าที่เขียนแทนได้ด้วย x_i และค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับค่าโดยประมาณของแต่ละปริมาณการป้อนกำหนดได้ด้วย $u(x_i)$

ในขบวนการวัดโดยปกติแล้วสามารถจัดรูปแบบด้วยความสัมพันธ์ของหน้าที่ที่ใช้งานระหว่างปริมาณที่ป้อนให้โดยประมาณกับปริมาณที่ได้รับโดยประมาณของการวัดในรูปของสมการ

$$y = f(x_1, x_2, x_3, ..., x_n) \quad \text{..... (1)}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าความต้านทานทางไฟฟ้า R, ได้ถูกทำการวัดในรูปแบบของ แรงดัน V, และกระแส I, แล้วความสัมพันธ์ที่ได้คือ R = f (V,I) = V/I รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของขบวนการวัดนี้ได้ถูกใช้เพื่อพิสูจน์ปริมาณการป้อนที่มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในรูปของค่าความไม่แน่นอน และความสัมพันธ์ที่มีต่อการวัดค่าความไม่แน่นอนรวมทั้งหมด ในบางกรณีปริมาณการป้อนให้กับเครื่องวัดไม่ได้เป็นหน่วยเดียวกันกับปริมาณการวัดที่ได้รับ ดังตัวอย่างที่กล่าวด้านบน และค่าความไม่แน่นอนแต่ละค่าที่ป้อนให้ จำเป็นต้องคูณด้วยตัวประกอบที่เหมาะสม (Appropriate Factor) เพื่อให้ได้ค่าที่อยู่ในรูปเดียวกัน ก่อนที่จะถูกรวมเข้ากับค่าความไม่แน่นอนอื่นๆ

ประมาณความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A (Type A Evaluation)

1. **ตัวกลางเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean or Average)**: การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบ Type A นี้ตามปกติใช้เพื่อการได้ค่าสำหรับการวัดซ้ำที่หรือการคาดเดาไม่ได้ที่ถูกแสดงของขบวนการวัดในกรณีนี้โดยเฉพาะในการวัดบางครั้งองค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนที่คาดเดาไม่ได้ อาจจะไม่มีนัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนค่าความไม่แน่นอนอื่นๆ แต่กระนั้นก็ตามมีกระบวนการวัดบางชนิดที่ความสำคัญของความเกี่ยวข้องของผลกระทบค่าความไม่แน่นอนอย่างคาดเดาไม่ได้ได้ถูกกำหนดขึ้น เมื่อผลการวัดที่มีนัยสำคัญได้ถูกแพร่ในตัวอย่างของผลการวัดค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์หรือค่าเฉลี่ยของผลการวัดที่ได้ควรจะมีการคำนวณ ถ้ามีค่าสำหรับการวัดซ้ำที่เป็นอิสระจำนวน N ครั้ง แล้วค่าเฉลี่ยที่ได้รับหาได้จากสูตร

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \quad \text{..... (2)}$$

เมื่อ X_k แทนค่าการวัดครั้งที่ K ของปริมาณการวัด X

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง (Experimental Standard Deviation) การกระจายของผลการวัดภายในพิสัยที่แตกต่างกันแสดงถึงคุณสมบัติหรือความสามารถในการวัดที่ซ้ำที่ที่ได้ของขบวนการวัดนั้น และขึ้นอยู่กับเครื่องวัดที่ใช้ วิธีการวัด และบางครั้งขึ้นกับคนที่ทำการวัดด้วย อย่างไรก็ตามประโยชน์ทางสถิติที่มากกว่านั้นคือ การเบี่ยงเบนมาตรฐาน S ของค่าตัวอย่างที่ได้รวมกันอยู่จำนวน N ครั้งสามารถกำหนดได้จาก

$$S = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \overline{x})^2} \quad \text{..... (3)}$$

3. **ถ้ามีการทำการวัดด้วยจำนวนครั้งที่มากกว่า** สำหรับการวัดสภาพเดิมตามข้อ 2. แล้วนำแต่ละค่าของกลุ่มตัวอย่างที่วัดได้มาพิจารณาจะได้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการวัดที่มีค่า n มากกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะเข้าใกล้ค่ากลางที่จำกัดของการกระจายของทุกค่าที่เป็นไปได้ ความหนาแน่นของการกระจายความน่าจะเป็นมีความเป็นไปได้ที่จะอยู่ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ ในทางปฏิบัติกระบวนการวัดอาจจะจำกัดต่อการตอบสนองของการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยที่มีค่าค่อนข้างมากได้เป็นสาเหตุให้รูปปกติถูกตัดหรือแหว่งไป

4. **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของการทดลอง (Experimental Standard Deviation of the Mean: ESDM)** : แบบการกระจายที่แท้จริงได้ถูกตัดออกไปในบางส่วนจากผลของการวัดในหนึ่งชุดของตัวอย่างที่ทำการวัดค่าโดยประมาณ $S(X_k)$ สามารถทำให้เกิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่อาจเป็นไปได้ทั้งหมดของผลการวัดจากความสัมพันธ์ของ

$$S_{(x_k)} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2} \quad \text{..... (4)}$$

จะสังเกตได้ว่าผลที่ได้รับจะแตกต่างจาก การเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่เกิดจากตัวของมันเองที่ ส่วนประกอบ 1/(n-1) ใช้แทน 1/n ในเครื่องหมายรากที่สอง และความแตกต่างนี้จะยิ่งเล็กลงในขณะที่จำนวนครั้งในการวัดได้เพิ่มขึ้น

5. **ค่าโดยประมาณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย**ที่ยังไม่ได้แก้ไขของผลการวัดจะหาได้จากสมการ

$$S_{(\bar{x})} = \frac{S_{(x_k)}}{\sqrt{n}} \quad \text{..... (5)}$$

ในระหว่างการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดที่ปฏิบัติกัน ถ้าเราไม่สามารถทำการวัดหลายครั้งได้ด้วยเหตุผลบางประการ ในกรณีเหล่านี้การประมาณค่าความไม่แน่นอนจะอาศัยการประมาณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดแบบ Type A ที่ทำมาก่อนหลายๆ ครั้งในการกำหนดหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงความจริงได้โดยไม่ต้องทำการวัดหลายๆ ครั้ง ถ้ามีการใช้การประเมินในครั้งก่อนของ $S(X_k)$ ค่า N ก็ถูกใช้ในสมการที่ (5) เพื่อคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าจำนวนการอ่านซ้ำที่ในการสอบเทียบมาตรฐานและจะไม่ใช้สมการที่ (4) ในการหาค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยประมาณ

6. **เมื่อไรก็ตามที่สามารถทำได้ การวัดในการสอบเทียบมาตรฐานควรจะวัดอย่างน้อยสองครั้งขึ้นไป**ในส่วนหนึ่งของเอกสารขั้นตอนการทำงานอย่างไรก็ตามการวัดเพื่อการสอบเทียบมาตรฐานเพียงครั้งเดียวก็สามารถยอมรับได้เมื่อเราสามารถแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของผลการวัดรวมทั้งการแสดงค่าของบริภัณฑ์เครื่องวัดที่ถูกสอบเทียบมีค่าน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง สำหรับการสอบเทียบมาตรฐานบางงานออกแบบมาให้มีการวัดเพื่อการสอบเทียบมาตรฐานเพียงครั้งเดียวบนบริภัณฑ์เครื่องวัดที่ได้รับการสอบเทียบมาตรฐานเท่านั้น แม้ว่าเราจะรู้ว่ามีความสามารถในการอ่านค่าซ้ำที่ไม่สมบูรณ์แบบและให้ค่าความเบี่ยงเบนของค่าที่อ่านได้ที่มีผลมากก็ตาม ซึ่งกรณีนี้จำเป็นที่จะต้องนำการประเมินค่าการเบี่ยงเบนในครั้งก่อนๆ มาใช้ ขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวอย่างบริภัณฑ์เครื่องวัดและกลุ่มตัวอย่างว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนสำหรับบริภัณฑ์เครื่องวัดได้ดีเพียงใด เพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินที่ต่ำกว่าจากค่าความเป็นจริงควรใช้ค่าความเบี่ยงเบนที่มีค่าสูงสุดของ $S(X_k)$ มากกว่าที่จะใช้ค่าเฉลี่ย และควรที่จะมีการทบทวนข้อมูลที่ได้รับจากการตรวจประเมินค่าในครั้งก่อนๆ อย่างเป็นประจำ

และทำให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลาถ้าจำเป็น เมื่อทำการวัดเพียงครั้งเดียวในการสอบเทียบมาตรฐาน ค่าของ N ที่อยู่ในรากที่สองจึงมีค่าเท่ากับ 1

7. **เครื่องวัดและลำดับในระบบการวัดหรือในเอกสารขั้นตอนการทำงานไม่มีการเปลี่ยนแปลง** อย่างไรก็ตาม ถ้าหากผลการวัดที่กระทำอยู่มีการแกว่งไปมาควรจะหยุดทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อน เพื่อหาสาเหตุก่อนที่จะดำเนินการตามขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานต่อๆ ไป

8. **ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถแก้ค่าให้ถูกต้องได้สำหรับองค์ประกอบการวัดค่าความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถจะคาดเดาได้ก็ตาม** สมการที่ (5) ได้แสดงให้เห็นถึงผลดีของการเพิ่มจำนวนครั้งในการวัดเพื่อการสอบเทียบมาตรฐานที่ทำให้ค่าการวัดค่าความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถจะคาดเดาได้เล็กลง เหมือนกับการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่เป็นไปได้ในครั้งก่อนๆ อย่างไรก็ตามจะพบว่าเราไม่สามารถลดค่าความไม่แน่นอนลงได้มากนักแม้ว่าจะทำการวัดซ้ำที่มากยิ่งขึ้นเท่าใดก็ตาม และบ่อยครั้งที่ไม่มีความจำเป็นที่จะทำการวัดซ้ำๆ เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถจะคาดเดาได้ที่ทำเกินกว่า 10 ครั้ง โดยมักจะทำการวัดเพียง 4 ครั้งก็เพียงพอแล้ว

9. **กรรมวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ** ค่าการวัดสำหรับการประมาณองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถคาดเดาได้แบบ Type A ได้กล่าวมาแล้วตั้งแต่ต้น อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ไม่สามารถคาดเดาได้อาจจะทำให้การแสดงผลของบริภัณฑ์เครื่องวัดแกว่งไปแกว่งมา เหมือนถูกรบกวนจากทั้งสิ่งรบกวนในคุณสมบัติประจำตัวและรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่มีนัยสำคัญ เราอาจจะทำได้แค่เพียงการประมาณค่าอย่างจำกัดต่อพิสัยของค่าที่ต้องแสดงเท่านั้น นี่ไม่ใช่สภาพที่ปกติที่จะปรากฏบ่อยนักในการสอบเทียบมาตรฐาน หากแต่เมื่อเกิดขึ้นเมื่อใด จำเป็นต้องใช้การประเมินองค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนแบบ Type B เข้าช่วย

10. **ความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A (Type A Standard Uncertainty)** : คำว่า “ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน” ใช้ในกรณีที่ค่าความไม่แน่นอนสำหรับผลการวัดของผลการวัดที่แสดงในรูปของการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviations) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของปริมาณที่ป้อนให้ X_i จะประมาณได้จากค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำที่จากสูตร

$$u(x_i) = s(\bar{x}) \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อค่าที่ได้มีการคำนวณจากสมการที่ (5)

11. **ความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A ที่ประเมินจาก Pooled Experimental Standard Deviation, Sp:** สำหรับการวัดที่กระทำภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีข้อมูลของคุณลักษณะของระบบการวัดเดิมอยู่แล้ว ความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ ประเมินได้จาก

$$u(x_i) = \frac{Sp}{\sqrt{n}} \quad \text{.....(7)}$$

การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบ Type B (Type B Evaluation)

1. บางครั้งองค์ประกอบการวัดค่าความไม่แน่นอนที่รวมกันของระบบที่เกี่ยวข้องกับการวัดมักทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่ยังคงมีค่าคงที่ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ขณะที่กระบวนการวัดได้เกิดขึ้น เราสามารถประเมินค่าแบบ Type B ส่วนที่สำคัญที่สุดขององค์ประกอบความไม่แน่นอนที่รวมกันของระบบที่เกี่ยวข้องกับการวัดคือ ค่าความไม่แน่นอนในการแก้ไขค่าของผลการวัดของเครื่องมือวัดที่สอบเทียบมาตรฐานจากห้องปฏิบัติการมาตรฐานระดับสูงในระบบการสอบเทียบมาตรฐานของระดับประเทศที่

แสดงผลในใบรับรองผลการสอบเทียบมาตรฐาน (Certification) อย่างไรก็ตาม มักจะพบโดยเสมอว่าค่าความไม่แน่นอนประเภทนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นในบริภัณฑ์เครื่องวัดที่หน่วยผู้ใช้ครอบครองอยู่ในห้องปฏิบัติการของตนเอง ความสำเร็จในการประเมินค่าความไม่แน่นอนประเภทนี้จะขึ้นกับความรู้ในรายละเอียดของกระบวนการวัดเป็นอย่างมาก และประสบการณ์ของที่ผ่านมาของผู้ทำการวัด จึงมีความจำเป็นอย่างที่สุดสำหรับความรอบคอบไม่ประมาทในการป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น ต้องมีการให้ความสำคัญในเรื่องนี้กับผู้ที่ทำการประเมิน ตัวอย่างง่ายๆ ที่เกิดขึ้นเป็นปกติคือ ความผิดพลาดที่ใช้ค่าแก้ผิด การเขียนคัดลอกค่าผิด และข้อผิดพลาดจากการออกแบบโปรแกรมควบคุม หรือรายงานผลในกระบวนการวัดที่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์แบบ การแสดงค่าความผิดพลาดที่กล่าวมานี้ไม่รวมอยู่ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ Type B

2. ในการประเมินค่าองค์ประกอบการวัดค่าความไม่แน่นอนที่รวมกันของระบบที่เกี่ยวข้องกับการวัด (Type B) มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในสิ่งต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย เพื่อดูว่ามีแหล่งความผิดพลาดใดบ้างที่จะมีผลกระทบต่อกระบวนการวัด

2.1 การรายงานค่าความไม่แน่นอนสำหรับมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้และการเลื่อนค่า (Drift) หรือความไม่คงที่ในค่าของมัน หรือของการอ่าน

2.2 การสอบเทียบมาตรฐานหรือเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐาน รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เช่น สายต่อ เป็นต้น รวมทั้งการเลื่อนค่าหรือความไม่คงที่ในค่าของมันหรือของการอ่าน

2.3 บริภัณฑ์เครื่องวัดที่กำลังได้รับการสอบเทียบมาตรฐานหรือถูกวัด ตัวอย่างเช่น การแยกชัด (Resolution) ของบริภัณฑ์เครื่องวัดและความไม่คงที่ใดๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสอบเทียบมาตรฐาน

2.4 เอกสารขั้นตอนการทำงาน หรือเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน

2.5 ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบจากข้อ 2.1-2.4 ที่กล่าวมาแล้ว

รายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งของความคลาดเคลื่อนและค่าความไม่แน่นอน ได้รับการกำหนดไว้ใน ผนวก D, E, F และ G สำหรับการสอบเทียบด้านอิเล็กทรอนิกส์ มวล อุณหภูมิ และมิติ ตามลำดับ

3. ถ้าเป็นไปได้ เมื่อไรก็ตามที่มีการวัดการแก้ค่าค่าความผิดพลาด ควรจะกำหนดให้ได้ว่าบริภัณฑ์เครื่องวัดที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานหรือแหล่งอื่นๆ มีค่าความผิดพลาดอยู่เท่าใด และให้ถือว่าค่าความผิดพลาดที่มีเครื่องหมายบวกถ้าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง และการแก้ค่าความผิดพลาดให้นำค่าความผิดพลาดที่รู้ค่าไปลบออกจากค่าที่ได้จากการวัด ในบางครั้งเพื่อให้ง่ายเข้าในกระบวนการวัด เราชอบที่จะปฏิบัติเหมือนกับว่าค่าความไม่แน่นอนที่รวมกันของระบบนั้นมีค่าเท่ากับ (+) ขนาดค่าความผิดพลาดที่ไม่ถูกต้องในกรณีที่ค่าความผิดพลาดนั้นมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับค่าความไม่แน่นอนอื่นๆ

4. ในการพิสูจน์องค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนที่รวมกันและเกิดขึ้นตลอดเวลาของระบบที่เกี่ยวข้องกับการวัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ว่ามีอะไรบ้างและเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่เคยมีอยู่หรือจากพื้นฐานทางทฤษฎีของผู้ทำการประเมินโดยประเมินแต่ละองค์ประกอบในลักษณะที่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นรูปแบบของการเกิดค่าความไม่แน่นอนแบบใด ตามปกติแล้วรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนจะเป็นแบบปกติ (รูประฆังคว่ำ) แต่ในบางกรณีอาจจะมีข้อพิจารณาอื่นๆ ที่ชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการเกิดค่าความไม่แน่นอนนั้นอาจจะรูปแบบอื่นๆ ได้

5. เมื่อมีความเป็นไปได้ที่จะประเมินองค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนที่เราทราบค่าเพียงขอบเขตสูงสุดหรือต่ำสุดที่จะส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนแบบ Systematic ในการวัดปริมาณที่สามารถส่งอิทธิพลถึง เราจะถือได้ว่ารูปแบบการเกิดค่าความไม่แน่นอนจะเป็นแบบการเบี่ยงเบนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) เนื่องจากเราถือว่ามีโอกาสเกิดค่าความผิดพลาดได้เท่าเดิมตลอดเวลา แล้วถ้าเรากำหนดให้ a_i เป็นครึ่งหนึ่งของพิสัย (ขอบเขต) ของการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะทำให้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ ดังนี้

$$u(x_i) = a_i/\sqrt{3} \quad \text{..... (8)}$$

6. ค่าความไม่แน่นอนที่ได้มาจากใบรับรองผลการสอบเทียบมาตรฐานที่กำหนดระดับของค่าความมั่นใจในการวัดหรือกำหนดตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor; K) ไว้แล้ว เราถือได้ว่ารูปแบบการเกิดการเบี่ยงเบนความน่าจะเป็นของค่าความไม่แน่นอนเป็นแบบปกติ และสามารถหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ ได้ดังนี้

$$u(x_i) = \text{Expand Uncertainty}/k \quad \text{..... (9)}$$

พิจารณา สำหรับคำจำกัดความของการค่าความไม่แน่นอนที่ขยายแผ่กว้าง ตัวอย่างเช่น ในใบรับรองผลการสอบเทียบมาตรฐานของ NAMAS กำหนดให้รายงานค่าความไม่แน่นอนพร้อมกับระบุระดับความมั่นใจในการวัดที่ไม่น้อยกว่า 95% (ค่า k = 2) สำหรับการใช้ค่า k แทนระดับความมั่นใจที่กว้างมากกว่านี้จะหมายถึงว่า k สามารถใช้เป็นตัวกำหนดค่าความไม่แน่นอนโดยตรงตามที่ได้กล่าวมาแล้วภายใต้ข้อสันนิษฐานที่เป็นปกติ เราสามารถกำหนดระดับความมั่นใจในการวัด 99% ด้วย k = 2.58 และ 99.7% ด้วย k = 3.0

7. เมื่อบริภัณฑ์เครื่องวัดได้รับการรับรองผลการสอบเทียบมาตรฐานและเราแน่ใจได้แต่เพียงว่าบริภัณฑ์เครื่องวัดที่เราใช้งานอยู่นั้นเป็นไปตามรายละเอียดที่ระบุในคู่มือเอกสารทางเทคนิคที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ หรือเรามั่นใจเพียงแต่ว่าบริภัณฑ์เครื่องวัดนั้นจะทำงานอยู่ในข้อกำหนดแล้วค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบมาตรฐานควรจะได้รับการพิจารณา อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติมักจะไม่มีการกำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิตว่าบริภัณฑ์เครื่องวัดมีระดับความมั่นใจอยู่ที่ใด ดังนั้น จึงต้องมีการใช้รูปแบบของการเกิดการเบี่ยงเบนความน่าจะเป็นของค่าความไม่แน่นอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากเราถือว่าการเกิดค่าความไม่แน่นอนประเภทนี้เกิดขึ้นตลอดเวลา ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ กำหนดเป็น

$$u(x_i) = \text{Tolerance Limit}/\sqrt{3}$$

จากสูตรที่กำหนด ถ้าหาก Tolerance Limit ได้ถูกอ้างถึง พร้อมกับระดับความมั่นใจที่ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตให้มากับบริภัณฑ์เครื่องวัด จะทำให้เราสามารถหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จาก

$$u(x_i) = \text{Tolerance Limit}/3$$

การรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน

1. ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty) ความไม่แน่นอนมาตรฐานของผลการวัดที่มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลบวกความแปรปรวนของปริมาณเหล่านี้ เมื่อเราทราบองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนในการวัดแต่ละองค์ประกอบตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้นไม่ว่าจะเป็น Type A หรือ Type B ก็ตาม โดยค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแทนด้วย $u(x_i)$ และปริมาณที่ป้อนให้แทน

ด้วย x_i ขั้นต่อมาก็คือ การรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $y = f(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$ เข้าด้วยกัน การรวม $u(x_i)$ เข้าด้วยกันโดย "Law of Propagation of Uncertainty" หรือวิธี "Root Sum of Square: RSS" ที่เราเรียกว่า การค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของผลการอ่าน เราสามารถหาคำนวณได้ด้วยสมการ

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} c_i^2 u^2(x_i)} \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)} \quad (10)$$

เมื่อ C_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความไว (Sensitive Coefficient) ที่ได้มาจากการหาค่าอนุพันธ์บางส่วน (Partial Derivative) จาก $\partial f/\partial x_i$ หรือในบางกรณีเราเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ที่รู้ค่า เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ออุณหภูมิ สมการปกติที่ใช้ในการรวมค่าการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน หาได้จากสมการ

$$u_c(y) = \sqrt{\left[\frac{c_1 U_1}{k}\right]^2 + \frac{c_2^2 a_2^2 + c_3^2 a_3^2}{3} + c_4^2 u^2(x_4)}$$

เมื่อ U_1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนความน่าจะเป็นที่มีรูปแบบปกติ a_2, a_3 เป็นค่าความไม่แน่นอนที่มีรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งได้มาจากการประเมินแบบ Type B และ $U(x_4)$ ได้จากการประเมินแบบ Type A

2. ความจำเป็นในการคำนวณเพื่อให้ได้รับค่าสัมประสิทธิ์ความไว (Sensitive Coefficient) โดยการ Partial Differentiation อาจจะเป็นกระบวนการที่ยืดยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องและการประมาณค่าความไม่แน่นอนต้องคิดเป็นช่วงๆ ของค่า ถ้าความสัมพันธ์ในหน้าที่การทำงานต่างๆ ในการวัดไม่สามารถรู้ได้ในระบบการวัดนั้น ในบางครั้งเราอาจจะหาค่าสัมประสิทธิ์ความไวในทางปฏิบัติจริงได้ โดยการเปลี่ยนค่าใดค่าหนึ่งที่รู้ค่าที่ป้อนให้ในขณะที่รักษาค่าที่ป้อนอื่นๆ ให้คงที่ไว้แล้วทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จากการอ่าน ในลักษณะเดียวกันเราสามารถใช้ได้เมื่อเรารู้ค่า f แต่ความซับซ้อนของค่า f ที่ต้องหาค่าจาก Partial Derivative คล้ายกับว่าจะกลายเป็นค่าความผิดพลาดไป ในขณะที่ค่า Partial Derivative ของ $\partial f/\partial x_i$ ถูกแทนที่ด้วย $\Delta f/\Delta x_i$ เมื่อ Δf คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากค่า f ที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่า Δx_i ใน x_i มีความจำเป็นที่จะเลือกการเปลี่ยนแปลงขนาดของ Δx_i อย่างระมัดระวัง มันควรจะทำให้เกิดการสมดุลระหว่างค่าที่ใหญ่อย่างเพียงพอที่จะได้รับค่าความถูกต้องที่เป็นตัวเลขที่มีนัยสำคัญใน Δf และค่าที่เล็กเพียงพอที่จะใช้กับการคำนวณที่ใช้กับ Partial Derivative ที่สามารถให้ค่าโดยประมาณได้

3. ความสัมพันธ์ของหน้าที่การทำงานจะต้องเป็นไปในลักษณะที่เป็นการบวกหรือการลบของปริมาณ Input เช่น

$$\begin{aligned} W_X &= f(W_S, D_S, \delta I_D, \delta C, Ab) \\ &= W_S + D_S + \delta I_D + \delta C + Ab \end{aligned}$$

แล้วปริมาณ Input จะต้องอยู่ในหน่วยเดียวกัน เหมือนปริมาณ Output และ Partial Derivative จะเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (เอกภาพ)

4. ถ้าความสัมพันธ์ของหน้าที่การทำงานมีรูปแบบ $y = Cx_1^{P1}.\, x_2^{P2} .....x_m^{Pm}$, เมื่อค่าตัวยกกำลัง P_i เป็นค่าที่รู้ค่าแน่นอนว่าเป็นบวกหรือลบ การแสดงค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมโดยทั่วไป แสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left[\frac{p_i u(x_i)}{|x_i|}\right]^2} \quad \text{..... (11)}$$

รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่เหมือนกับสมการที่ (10) แต่ประกอบด้วยค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานกับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมแสดงค่าความสัมพันธ์กัน ในหลายๆ กรณี Pi อาจจะเป็น +1 หรือ -1 ซึ่งทำให้ง่ายมากขึ้นในการคำนวณ ตัวอย่างเช่น

$P = f(V, I) = VI$ และ $\frac{u(P)}{P} = \sqrt{[\frac{u(V)}{V}]^2 + [\frac{u(I)}{I}]^2}$

$V = f(V, R) = V^2/R$ และ $\frac{u(P)}{P} = \sqrt{[\frac{2u(V)}{V}]^2 + [\frac{u(R)}{R}]^2}$

$V = f(P, Z) = (P.Z)^{1/2}$ และ $\frac{u(V)}{V} = \sqrt{[\frac{u(P)}{2P}]^2 + [\frac{u(Z)}{2Z}]^2}$

กรณีปริมาณอินพุทมีสหสัมพันธ์

1. การใช้ในการหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมตามสมการที่ (10) และ (11) จะใช้ได้เฉพาะกับกรณีที่ไม่มีการแสดงความเกี่ยวกันของค่าที่ป้อนให้โดยประมาณ นั่นคือปริมาณที่ป้อนให้ต้องเป็นอิสระจากกันและกัน อาจจะมีกรณีที่ปริมาณที่ป้อนให้บางอย่างส่งผลเสียถึงปริมาณที่มีผลกระทบเหมือนกัน เช่น อุณหภูมิหรือจากค่าความผิดพลาดในบริภัณฑ์เครื่องวัดเฉพาะที่ใช้สำหรับการวัดที่แยกต่างหากในกระบวนการเดียวกัน ในกรณีเช่นนี้ปริมาณที่ป้อนให้ไม่ได้เป็นอิสระจากกันและกัน และสมการที่จะได้รับในการค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมต้องมีการดัดแปลงเนื่องจากค่าที่ป้อนให้บริภัณฑ์เครื่องวัดแต่ละค่าเปลี่ยนไป

2. ผลจากปริมาณอินพุทมีสหสัมพันธ์ในบางครั้งอาจจะทำให้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมลดลง เช่น กรณีที่ใช้เครื่องมือวัดเป็นตัวเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตรฐานกับตัวที่ไม่ทราบค่า ในบางครั้งการวัดค่าความผิดพลาดจะรวมกันในทิศทางเดียวกันตลอดเสมอ และทำให้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ความรู้ที่เกี่ยวกับการแก้ค่าที่เป็นไปได้สามารถวิเคราะห์ได้จากความสัมพันธ์ของหน้าที่การทำงานระหว่างปริมาณที่ป้อนให้กับปริมาณที่ได้รับเสมอ แต่มันมีความจำเป็นที่จะวิเคราะห์ ผลลัพธ์การแก้ค่าให้ถูกต้องโดยการวางแผนการวัดหลายๆ ครั้งติดต่อกัน

3. ถ้ามีความสงสัยในปริมาณสหสัมพันธ์ที่เป็นบวกระหว่างปริมาณ Input ต่างๆ แต่ระดับของปริมาณอินพุทมีสหสัมพันธ์ไม่สามารถกำหนดได้อย่างง่ายๆ วิธีการที่ตรงที่สุดที่จะได้ค่าที่ต้องการ คือ การรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานทั้งหมดเพื่อให้ได้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานใหม่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับแบบปกติทั่วไปที่ใช้ในสมการที่ (10) หรือ (11) รายละเอียดที่จะต้องปฏิบัติต่อปริมาณที่ป้อนให้ที่เกี่ยวข้องกันใน Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: 1995 ควรจะได้รับการพิจารณาบนพื้นฐานของการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; $r(x_i, x_j)$)

Expand Uncertainty and Level of Confidence

1. ในเรื่องของการสอบเทียบมาตรฐานมีความจำเป็นที่จะกำหนดระดับความมั่นใจบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจะมีประโยชน์อย่างมากที่จะมีการทำให้ถูกต้องอย่างมีเหตุมีผลในการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้และตีความที่ถูกต้องให้กับค่าความไม่แน่นอนให้มีความหมายอย่างเหมาะสมในการรายงานในใบรับรองการสอบเทียบมาตรฐานในรูปแบบของความน่าจะเป็นข้อความของความน่าจะเป็นที่รายงานค่าของผลการวัดที่มีความสัมพันธ์ ($\pm$) กับค่าความไม่แน่นอนที่ได้กำหนดพิสัยที่ยอมรับได้ของค่าที่รวม

ค่าจริงเอาไว้ด้วยแล้ว ในการพิจารณาที่มากกว่านั้น คือค่าของระดับความมั่นใจที่เลือกใช้ ถึงแม้ว่าค่าระดับความมั่นใจที่ดีที่สุดที่กำหนดเป็นข้อความของการวัดค่าความไม่แน่นอนรวมของการวัดมักจะเป็นที่ต้องการอย่างเสมอ ในระบบการสอบเทียบมาตรฐานของห้องปฏิบัติการสากลที่มีการแบ่งระดับชั้นของห้องปฏิบัติการออกเป็นหลายระดับนั้น จะมีความเกี่ยวข้องในเรื่องของการถ่ายทอดค่าความไม่แน่นอนจากระดับที่สูงกว่าไปยังระดับล่างๆ ทำให้ระดับของความมั่นใจที่สูงที่สุดนี้ในบางครั้งไม่สามารถทำได้ในการวัดหลายๆ ประเภท

2. คำแนะนำใน Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement แสดงให้รู้ว่ามีความจำเป็นที่จะเตรียมการกำหนดค่าระดับของความมั่นใจที่เกี่ยวข้องกับค่าความไม่แน่นอนรวม และใช้ข้อความอธิบายค่าความไม่แน่นอน (U) ที่ได้มาจากการคูณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมด้วยตัวประกอบ (Coverage Factor; k) ดังนั้นค่าที่ได้จึงเป็น

$$U = ku_c(y) \quad \text{.....(12)}$$

3. เอกสาร NIS 3003 ของ NAMAS ตามแนวทางของ EAL กำหนดให้ใช้ค่า Coverage Factor; k = 2 ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ขยายแผ่กว้าง (Expand Uncertainty) ค่าของ k จะเป็นตัวกำหนดระดับของความมั่นใจที่ 95% (95.5%) โดยประมาณ อย่างไรก็ตามถ้าองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนประเภท Random Uncertainty ที่นำมามีมากกว่าองค์ประกอบอื่นๆ หรือจำนวนครั้งในการวัดที่น้อยมาก อาจจะทำให้การกระจายความน่าจะเป็นไม่เป็นรูปแบบที่ปกติ และค่า k ที่มีค่าเท่ากับ 2 นี้จะให้ระดับของความมั่นใจที่น้อยกว่า 95% กรณีที่สภาพแวดล้อมเป็นแบบนี้ขั้นตอนการปฏิบัติได้กำหนดไว้แล้วในผนวก B จะถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้รับค่า k ที่เพื่อรักษาระดับความมั่นใจที่ 95% โดยประมาณ บรรทัดฐานที่ใช้ในการหาค่าว่าได้มาตรฐานหรือไม่ให้ใช้ขั้นตอนการปฏิบัติในผนวก B ดังนี้

โดยทั่วไป ถ้าการประเมินค่าความไม่แน่นอนพบว่ามีแต่องค์ประกอบชนิด A เท่านั้นที่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการวัด และจำนวนครั้งของการวัดมากกว่า 2 ครั้ง รวมทั้งค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมากกว่า 2 เท่าของความไม่แน่นอนชนิด A แล้วให้ใช้ k = 2 ที่ระดับความมั่นใจ 95% และไม่มีความจำเป็นที่จะใช้ ผนวก B เพื่อให้ได้ค่า k ที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดที่มากกว่านี้ในการตัดสินใจเป็นบรรทัดฐาน ได้กำหนดไว้ในย่อหน้า B7

4. ระดับของความมั่นใจในการวัดอุดมคติที่กล่าวถึงนี้ ควรจะมีค่ามากที่สุดที่ระดับของความมั่นใจ 100% ของความน่าจะเป็น ถ้าหากองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนทั้งหมดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า การรวมกันโดยตรงของค่าความไม่แน่นอนนี้บางครั้งทำให้ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการประเมินนั้นโตเกินไป เนื่องจากว่าค่าความไม่แน่นอนบางตัวเล็กมากและเปลี่ยนแปลงอยู่ตรงกลางของค่าความไม่แน่นอนรวม มันจึงไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนรวมที่ได้จากค่าความไม่แน่นอนอื่นๆ ที่ใหญ่กว่า อย่างไรก็ตามการปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวนำไปสู่การพิจารณาในการเพิ่มค่าความไม่แน่นอนรวมด้วยค่าความไม่แน่นอนเล็กน้อยที่ค่าที่แท้จริงอยู่ใกล้กับค่าจำกัดพิสัยการวัดที่ได้เมื่อปริมาณที่ป้อนให้ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน การบวกค่าที่ได้เข้าด้วยกันในบางครั้งทำให้เกิดความมั่นใจในค่าความไม่แน่นอนมากขึ้น ที่เราเรียกว่า Safety Factor ที่มีความจำเป็นต่อผู้ใช้งานบริภัณฑ์เครื่องวัดและต้องจำได้และสามารถกำหนดค่าโดยไม่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบมาตรฐานค่าความไม่แน่นอน สำหรับการคำนวณ

ค่าความไม่แน่นอนจะไม่แสดงค่านี้ลงในเอกสารประกอบการคำนวณค่าความไม่แน่นอน

5. ถ้าระดับของความมั่นใจที่ 95% ไม่เพียงพอต่อการวัดเฉพาะทางบางประเภท ให้คำนวณค่าความไม่แน่นอนที่มีระดับของความมั่นใจ 99.7% (k=3) แทน

6. ในทางปฏิบัติถ้าการระบุประโยคหรือข้อความเกี่ยวกับระดับความเชื่อมั่น โดยเฉพาะที่ระดับของความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่าความไม่แน่นอน เช่น 95% ไม่สามารถกำหนดได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากเราไม่สามารถรู้ค่าความน่าจะเป็นของปัจจัยค่าความไม่แน่นอนที่แท้จริงของสิ่งที่ถูกวัดได้ อย่างไรก็ตาม ความสามารถรายงานค่าระดับของความมั่นใจโดยประมาณจะให้ความหมายที่มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อผลการวัด

7. ในบางกรณี ผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดโดยวิธีที่กล่าวมาแล้วที่ระดับของความมั่นใจ 95% ทำให้ค่าความไม่แน่นอนรวมสูงกว่าค่าความไม่แน่นอนที่บวกกันโดยตรง แสดงว่าค่าความไม่แน่นอนชนิดที่เป็น Systematic บางตัวมีค่าสูงมากทำให้ การคำนวณได้ค่าที่เกินจริง สภาพเช่นนี้เกิดจากเมื่อมีองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนในแบบ B ในลักษณะที่เป็นรูปตัว U (U-shape) หรือข้อสมมุติฐานที่เป็นองค์ประกอบความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) ซึ่งถ้าหากมีกรณีนี้เกิดขึ้นจะต้องมีการคำนวณโดยวิธีใหม่ ซึ่งสามารถดูได้จากตัวอย่างในภาคผนวก C ในเอกสาร Guide เพื่อใช้ในการคำนวณให้ได้ค่า U

Reporting of Results

1. หลังจากผู้ทำการสอบเทียบมาตรฐานบริภัณฑ์เครื่องวัด ได้ทำการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนรวมที่ระดับของความมั่นใจน้อยที่สุดที่ 95% ค่าที่วัดได้และค่าความไม่แน่นอนที่ขยายแผ่กว้างควรได้รับการรายงานผลการวัดให้อยู่ในรูปของ $y \pm U$ และต้องมีประโยคดังต่อไปนี้ปรากฏในใบรายงานผลการสอบเทียบด้วย

"The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = 2, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements."

2. กรณีที่ขั้นตอนการปฏิบัติในภาคผนวก B ได้มีการปฏิบัติตาม ค่าที่แท้จริงของ Coverage Factor ต้องถูกนำมาแทนสำหรับค่า k = 2 แล้วให้ใช้ประโยคข้างล่างนี้

"The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = XX, which for t-distribution with V_{eff} = YY effective degree of freedom corresponces to a coverage propability of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements."

3. โดยปกติการใช้คำ "โดยประมาณ" ในคำอธิบายนี้ ทำให้เกิดการพิจารณาปริมาณแบบขัดแย้งกันได้ในความหมายเฉพาะ สำหรับวัตถุประสงค์ของเอกสารนี้คำว่า "โดยประมาณ" ได้รับการแปลความว่าเป็น "ได้ผลอย่างแท้จริง" หรือ "สำหรับวัตถุประสงค์ที่จะปฏิบัติได้อย่างแท้จริงมากที่สุด"

4. ในกรณีที่สภาพแวดล้อมพิเศษซึ่งความไม่แน่นอนชนิด B มีความโดดเด่น มีการเขียนไว้ในผนวก C และถ้ามีการรายงานค่าความไม่แน่นอนทั้งสองแบบให้อ้างถึงผนวก I

5. การรายงานค่าความไม่แน่นอนมักรายงานเป็นแบบ ($\pm$) ในรูปแบบของหน่วยใดๆ ของการวัด หรือค่าความสัมพันธ์ เช่น ในรูปของร้อยละ (%) หนึ่งส่วนในล้านส่วน (PPM) หรือ 1

ใน 10^6 เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามอาจจะมีกรณีที่ขีดจำกัดบนและล่างมีความต่างกัน เช่น กรณี Cosine Error ได้รับการพิจารณาถึง และความแตกต่างมีค่าไม่มากนักให้ใช้ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ใหญ่กว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าความแตกต่างมีนัยสำคัญให้แยกคิดประเมิน แยกรายงาน

6. จำนวนของตัวเลขในการรายงานค่าความไม่แน่นอน ควรจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการวัดที่แท้จริง ในมุมมองของกระบวนการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะไม่ค่อยมีการแสดงหลักนัยสำคัญที่เกินกว่า 2 หลัก ค่าความไม่แน่นอนควรจะมีการปัดเศษเป็นจำนวนตัวเลขที่เหมาะสม แต่ต้องมีการปัดเศษที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเลขนัยสำคัญของระดับของความมั่นใจในผลการวัดให้ลดน้อยลงได้

7. โดยปกติค่าทางตัวเลขของผลการวัดควรทำการปัดเศษให้เป็นค่าหลักนัยสำคัญที่น้อยที่สุดของความไม่แน่นอนขยายที่อ้างถึง ถ้าไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะใช้หลักมากกว่านั้นกฎปกติของการปัดเศษทิ้งจะนำมาใช้ ยกเว้นการปัดเศษนั้นที่ทำให้ค่าความไม่แน่นอนลดลงมากกว่า 5% การปัดขึ้นจะถูกนำมาใช้ และการปัดเศษจะทำเพียงครั้งเดียวในตอนท้ายสุดของการคำนวณ เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการสะสมของความคลาดเคลื่อนของเลขนัยสำคัญ ◎

เอกสารอ้างอิง

United Kingdom Accreditation Servive, **The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement; M 3003**, 1st Ed., UK: 1997.

Fluke Corporation, Philosophy in Practice; Calibration, 2nd Ed., UK: 1994.

เอก ไชยสวัสดิ์, ดร., **การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า**, บ.ดวงกมลสมัย จก., กทม.: 2539.

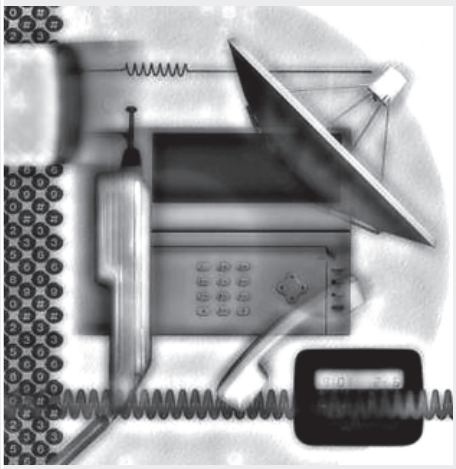
U.S. Navy, **Physical Measurement; NAVAIR 17-35QAL-2**, The Metron Corporation, Monclair, California, U.S.A.: 1982.

การปรับปรุงสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็มโดยใช้เทคนิคการรวมการพยากรณ์
Performance Optimization of GSM Mobile Telephone System by Combining Forecasting Techniques

ผศ. พิเชฐ ม่วงนวล และ ผศ. ถวิล พึ่งมา
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคโดยวิธีการรวมการพยากรณ์ (วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและวิธีการถดถอยเชิงเส้นเข้าด้วยกัน) ทำให้มีค่าปริมาณทราฟฟิคที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าทราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น โดยนำผลที่ได้ไปปรับปรุงสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม โดยผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคการใช้เทคนิคการรวมการพยากรณ์ ซึ่งจะให้ค่าปริมาณทราฟฟิคจากการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น



Abstract

This paper proposes a traffic forecasting by combining two forecasting technique, which are the least square method and linear regressing method, to perform the better forecasting, close to the existing

real world. The result of this forecasting will be used in optimization of the GSM Mobile telephone system. From the result, it shows that the combining forecasting give the close result to the existing real world than using only one of two forecasting techniques.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบจีเอสเอ็มมีผู้นิยมใช้งานเป็นจำนวนมาก จึงเกิดปัญหาอย่างหนึ่งขึ้น คือ จำนวนของช่องสัญญาณในแต่ละสถานีฐาน (Base Transceiver Station) ไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่าเกิดการติดขัดหรือในกรณีที่มีผู้ใช้บริการในแต่ละสถานีฐานลดลงกว่าจำนวนของช่องสัญญาณที่ติดตั้งไว้ ก็สามารถนำช่องสัญญาณไปใช้ที่สถานีฐานอื่นได้ด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวางแผนล่วงหน้าเพื่อที่จะปรับปรุงความจุของช่องสัญญาณในแต่ละสถานีฐานให้เป็นไปตามปริมาณทราฟฟิคที่จะเกิดขึ้นจริง ซึ่งการปรับปรุงนี้จะทำให้สมรรถนะของทั้งระบบดีขึ้น บทความฉบับนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยการพยากรณ์ล่วงหน้าในพื้นที่ๆ มีปริมาณทราฟฟิคแตกต่างกัน เช่น ในย่านธุรกิจ บนถนน บริเวณชานเมือง เพื่อหาปริมาณที่แท้จริง ซึ่งจะสามารถนำมาปรับปรุงสมรรถภาพในการจัดช่องสัญญาณ ให้มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่เกิดขึ้นจริงได้โดยไม่มีการติดขัด (Blocking) การพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้ามีหลายวิธี เช่น วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และวิธีการถดถอย (Simple Regression Method) ในแต่ละวิธีจะมีเทคนิคการพยากรณ์ที่ต่างกันและให้ผลการพยากรณ์ที่แตกต่างกันด้วย โดยแต่ละเทคนิคนั้นจะมีความเหมาะสมกับปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐาน พิจารณาได้จากค่าความผิดพลาดของปริมาณทราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริงกับปริมาณทราฟฟิคที่พยากรณ์ได้ ในบทความได้นำเสนอเทคนิคการพยากรณ์แบบใหม่ โดยใช้การรวมเทคนิคการพยากรณ์ แต่ละวิธีเข้าด้วยกันด้วยการถ่วงน้ำหนักตามความแม่นยำ ซึ่งปริมาณทราฟฟิคที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้จะถูกถ่วงน้ำหนักไปตามวิธีการที่ให้ค่าปริมาณทราฟฟิคได้ใกล้เคียงกับปริมาณทราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด ดังนั้น วิธีการที่นำเสนอนี้จะทำให้การพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคมีความแม่นยำมากขึ้น และสามารถนำผลจากการพยากรณ์ไปวางแผนกำหนดจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละสถานีฐาน รวมทั้งอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ ของระบบได้อย่างถูกต้อง

2. วิธีพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค

2.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เป็นเทคนิคการพยากรณ์โดยสร้างเส้นแนวโน้มที่ให้ผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าแนวโน้มกับค่าของข้อมูลที่รวบรวมได้ให้มีค่าน้อยที่สุดจาก[1]

$$\sum_{i=1}^{n} (Y_i - Y_c)^2 = \text{มีค่าน้อยที่สุด} \qquad (1)$$

โดยที่ Y_i = ค่าของมูลที่เก็บรวบรวมไว้ $i = 1,\ldots\ldots, n$ และ Y_c = ค่าแนวโน้ม

2.1.1 **พยากรณ์โดยใช้สมการเส้นตรง**

$$Y_c = a+bX \qquad (2)$$

โดยที่ X เป็นอนุกรมของเวลา และ a, b เป็นค่าคงที่

จากสมการ (1) และ (2) จะได้

$$\sum_{i=1}^{n} (Y_i - Y_c)^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - (a+bX))^2 = 0 \qquad (3)$$

ต้องการให้สมการ (3) มีค่าน้อยที่สุดทำได้โดยการหาอนุพันธ์บางส่วนเทียบกับ *a, b* จะหาค่าของ *a, b* ได้

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} xY_i}{\sum_{i=1}^{n} X^2} \quad (4)$$

$$a = \overline{Y}_i \quad (5)$$

2.1.2 **พยากรณ์โดยใช้สมการเอ็กโปเน็นเชียล**

$$Y_c = ab^X \quad (6)$$

จะได้ $\log Y_c = \log a + (\log b)X$ (7)

จะหาค่าของ *a, b* ได้คือ

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log Y_i}{n} \quad (8)$$

$$\log b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x \log Y_i}{\sum_{i=1}^{n} X^2} \quad (9)$$

2.1.3 **พยากรณ์โดยใช้โพลิโนเมียลกำลังสอง**

$$Y_c = a+bX+cX^2 \quad (10)$$

จะหาค่าของ *a, b, c* ได้คือ

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y - c\sum_{i=1}^{n} x^2}{n} \quad (11)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} xY}{x^2} \quad (12)$$

$$c = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x^2Y - \sum_{i=1}^{n} x^2 \sum_{i=1}^{n} xY}{n\sum_{i=1}^{n} x^4 - \left(\sum_{i=1}^{n} x^2\right)} \quad (13)$$

2.2 วิธีการสมการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เป็นการศึกษาเพื่อหาสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (*Y*) กับตัวแปรอิสระ (*X*) โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง แต่ในที่นี้เสนอเพียงความสัมพันธ์แบบที่เป็นเส้นตรง และเรียกว่า “การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)”

การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายมีรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (14)$$

β_0 = ระยะที่เส้นตรงตัดแกน Y (Y–intercept) ซึ่งเป็นระยะบนแกน Y เมื่อค่า X เท่ากับ 0

β_1 = ความชัน (Slope) ของเส้นตรง (เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลง Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย)

ε = ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม ซึ่งอาจจะเกิดจากการเก็บข้อมูลคลาดเคลื่อน หรือการคำนวณคลาดเคลื่อน หรือกล่าวเป็นอีกนัยหนึ่ง คือ ค่า Y ทุกตัว จะไม่เท่ากับ $\beta_0 + \beta_1 X$ เสมอไป แต่ Y อาจจะแตกต่างจาก $\beta_0 + \beta_1 X$ ความแตกต่างนี้ คือ ε ซึ่ง ε นี้จะเกิดขึ้นอย่างสุ่ม

$$Y_i = b_0 + b_1 X_1 + e \quad (15)$$

โดยมีข้อกำหนดเบื้องต้นดังนี้

1. ค่า *e* มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ หรือ $E(e)$
2. ค่า *e* มีค่าความแปรปรวนคงที่ หรือ $Var(e)$ = ค่าคงที่
3. ค่า *e* มีการแจกแจงแบบปกติ
4. แต่ละค่าของ *e* เป็นอิสระต่อกัน

สมการที่ใช้ในการประมาณค่าของ Y คือ

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_{1i} \quad (16)$$

$\hat{Y}_i$ = ค่าประมาณของ Y_i b_0 = สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวอย่างซึ่งเป็นค่าคงที่โดยประมาณของ β_0

b_1 = สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวอย่างซึ่งเป็นค่าคงที่โดยประมาณของ β_1

2.3 การรวมเทคนิคการพยากรณ์ (Combining Forecast)

2.3.1 **การรวมเทคนิคการพยากรณ์โดยถ่วงน้ำหนักเท่ากัน**

วิธีการนี้จะให้น้ำหนักของเทคนิคที่นำมารวมกันเท่าๆ กัน

$$F_{ct} = W_1 F_{1t} + W_2 F_{2t} + \ldots\ldots\ldots W_k F_{kt} \quad (17)$$

โดยที่ $W_1 = W_2 = W_3 \ldots\ldots\ldots = W_k$ (18)

2.3.2 **การรวมเทคนิคการพยากรณ์โดยถ่วงน้ำหนักตามความแม่นยำ**

2.3.2.1 Average Forecast Error (FE)

จาก $F_{ct} = W_1 F_{1t} + W_2 F_{2t} + \ldots\ldots W_k F_{kt}$ (19)

โดยสามารถหา W_1, W_2 ได้จาก

$$W_1 = \frac{FE_2}{FE_1 + FE_2} \quad (20)$$

$$W_2 = \frac{FE_1}{FE_1 + FE_2} \quad (21)$$

โดยสามารถหา FE_1, FE_2 ได้จาก

$$FE_1 = \frac{(X_{t1} - F_{t1})}{n} \quad (22)$$

$$FE_2 = \frac{(X_{t2} - F_{t2})}{n} \quad (23)$$

เมื่อ X_t : ค่าที่เกิดขึ้นจริงงวดที่ t

F_t : ค่าจากการพยากรณ์งวดที่ t

n : จำนวนงวดของการพยากรณ์

2.3.2.2 Average Absolute Forecast Error (AFE)

สูตร $F_{ct} = W_1 F_{1t} + W_2 F_{2t} + \ldots W_k F_{kt}$ (24)

โดยสามารถหา W_1, W_2 ได้จาก

$$W_1 = \frac{AFE_2}{AFE_1 + AFE_2} \quad (25)$$

$$W_2 = \frac{AFE_1}{AFE_1 + AFE_2} \quad (26)$$

โดยสามารถหา AFE_1, AFE_2 ได้จาก

$$AFE_1 = \frac{\left|X_{t1} - F_{t1}\right|}{n} \quad (27)$$

$$AFE_2 = \frac{\left|X_{t2} - F_{t2}\right|}{n} \quad (28)$$

เมื่อ X_t : ค่าที่เกิดขึ้นจริงงวดที่ t

F_t : ค่าจากการพยากรณ์งวดที่ t

n : จำนวนงวดของการพยากรณ์

3. การปรับปรุงประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณ

การแก้ปัญหา GOS เป็นการปรับปรุงโครงข่าย ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้วิธีการเพิ่มอุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์ Transceivers การใช้เทคนิค Underlay/Overlay Cell หรือการติดตั้ง Macro/Micro Cells ใหม่ เป็นต้น

เครื่องมือที่แสดงในงานวิจัยนี้สามารถพยากรณ์ พื้นที่ที่มีค่า GOS ต่ำ หรือเป็นจุดที่มีปริมาณทราฟฟิคสูงได้อย่างแม่นยำ และแสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิคหรือการวางแผนทางด้านการกำหนดอุปกรณ์ที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญ

โดยทั่วไปแล้ว ในการติดตั้งอุปกรณ์ Transceiver ในแต่ละสถานีฐานนั้นจะกำหนดปริมาณทราฟฟิคสูงสุดที่รองรับได้ และติดตั้งอุปกรณ์ให้น้อยที่สุด ในขณะที่ทราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริงอาจสูงกว่าที่กำหนดไว้ จึงอาจทำให้ GOS เกินมาตรฐานได้

แนวทางแก้ไขทางหนึ่ง โดยไม่ต้องเพิ่มจำนวน Transceiver คือ การยืมช่องสัญญาณจากเซลล์อื่นที่มีปริมาณทราฟฟิคต่ำ (Lightly Loaded Sector) มาใช้ โดยการใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด (Hybrid Channel Allocation, HCA) เป็นการนำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ (Fixed Channel Allocation, FCA) กับแบบไดนามิก (Dynamic Channel Allocation, DCA) มารวมกัน โดยกำหนดช่องสัญญาณพื้นฐานให้เป็นแบบฟิก (N_f) ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณทราฟฟิคในชั่วโมงเร่งด่วนที่ได้จากการพยากรณ์ในแต่ละวัน ขณะที่ช่องสัญญาณที่เหลือจะกำหนดให้เป็นแบบไดนามิก (N_d) [2]

โดยเมื่อนำการพยากรณ์แบบต่างๆ ที่เหมาะสมมาใช้กับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ

ไฮบริด เพื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างจำนวนช่องสัญญาณคงที่ (N_f) กับจำนวนช่องสัญญาณไดนามิค (N_d) ที่เหมาะสมในช่วงปริมาณทราฟฟิคสูง (Heavily Loaded) และปริมาณทราฟฟิคต่ำ (Lightly Loaded) โดยมีการนำช่องสัญญาณไดนามิกจากเซลล์ที่มีปริมาณทราฟฟิคต่ำมาใช้กับเซลล์ที่มีปริมาณทราฟฟิคสูง ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการเรียกติดขัดลดลงตามมาตรฐาน ITU [3]

$$GOS_{HCA} = E(A, N_{HCA}) \tag{29}$$

$$N_{\mathrm{HCA}} = \begin{cases} N_f + N_d + N_{d_SecterX}, & when\ heavily\ loaded \\ N_f, & when\ heavily\ loaded \end{cases}$$

4. การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาโมเดลที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ทราฟฟิค โดยสามารถนำไปใช้กับพื้นที่ต่างๆ กัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

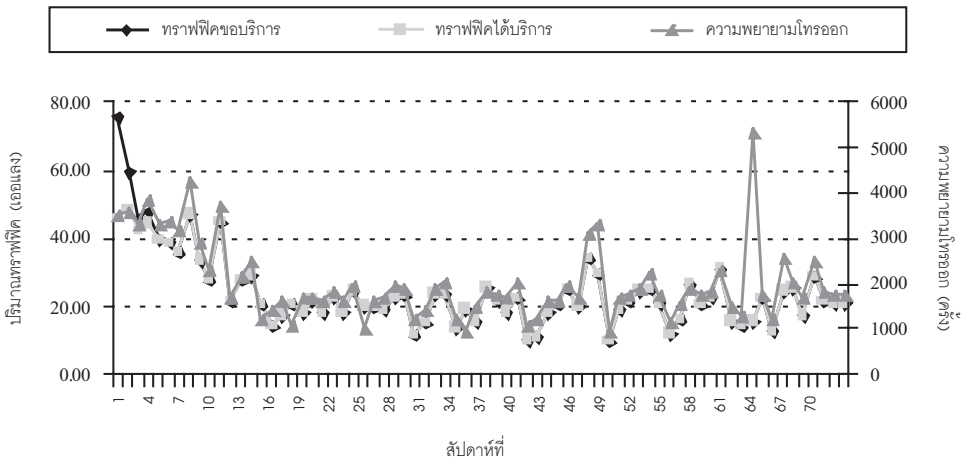
ตารางที่ 1 ขั้นตอนในการทดลอง

1. การเตรียมข้อมูลปริมาณทราฟฟิคสำหรับทดลองหาโมเดล
• รวบรวมปริมาณทราฟฟิคจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
• คำนวณปริมาณทราฟฟิคได้บริการเป็นปริมาณทราฟฟิคขอบริการ
2. หาลักษณะโมเดลที่เหมาะสมที่สุดมาพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคในแต่ละพื้นที่
• พยากรณ์ในพื้นที่ธุรกิจ
• พยากรณ์ในพื้นที่บนถนน
• พื้นที่ชานเมือง
3. เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วยต่างๆ
• วิธีกำลังสองน้อยที่สุด
• วิธีโพลีโนเมียล
• วิธีเอ็กโปเน็นเชียล
• วิธีการถดถอย
• วิธีรวมการพยากรณ์
4. ทำการจัดสรรช่องสัญญาณของสถานีฐาน
• หาจุดสูงสุดและต่ำสุดของปริมาณทราฟฟิค
• กำหนดสัดส่วนช่องสัญญาณตามปริมาณทราฟฟิค
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการจัดสรรช่องสัญญาณวิธีต่างๆ
• เปรียบเทียบกับวิธีตายตัว
• เปรียบเทียบวิธีไฮบริด

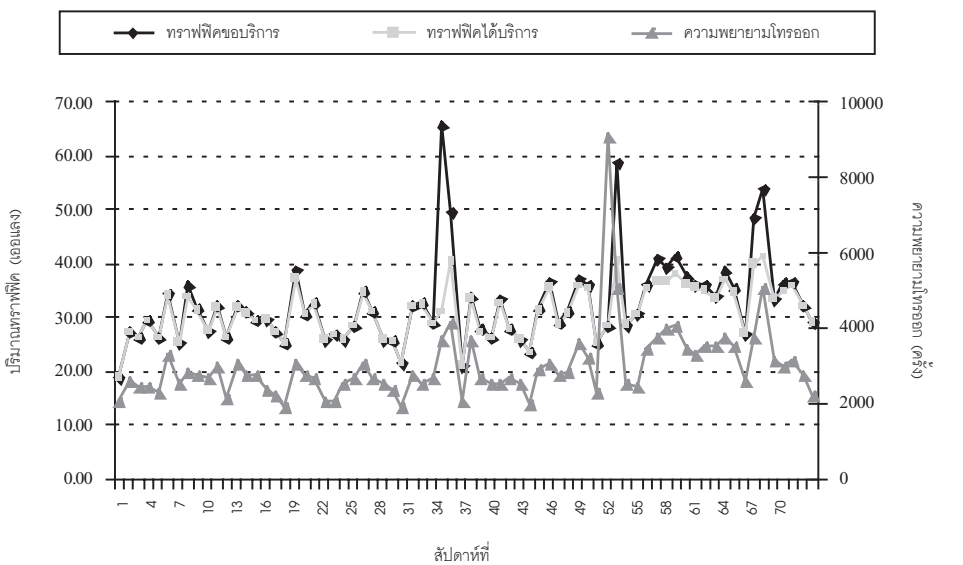
4.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง

ข้อมูลปริมาณทราฟฟิคที่นำมาใช้ในการทดลองได้มาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็มของบริษัท โทเทิ่ล แอ็คเซ็ส คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) โดยเป็นข้อมูลจาก NMS (Network Management System) ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2546 จนถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2548 ในช่วงเวลาที่ทำการวัด คือ ตั้งแต่เวลา 8.00-24.00 น.ทุกวัน จากนั้นคัดเลือกข้อมูลปริมาณทราฟฟิคสูงสุดของแต่ละวันในแต่ละสัปดาห์ สำหรับสถานีฐานที่ทำการวัดปริมาณทราฟฟิคจะเป็นสถานีฐานบริเวณสยามเซ็นเตอร์ โดยมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทั้งบริเวณศูนย์การค้ามาบุญครองและบริเวณสยามสแควร์ บริเวณพื้นที่ถนน ได้แก่ สถานีฐานถนนพระราม 9 มีพื้นที่ให้บริการบริเวณถนนพระราม 9 ซึ่งมีรถสัญจรตลอดวันและมีปริมาณรถมาก ส่วนบริเวณชานเมือง ได้แก่ สถานีฐานซึ่งตั้งอยู่บริเวณถนนฉลองกรุง และนิคมอุตสาหกรรม

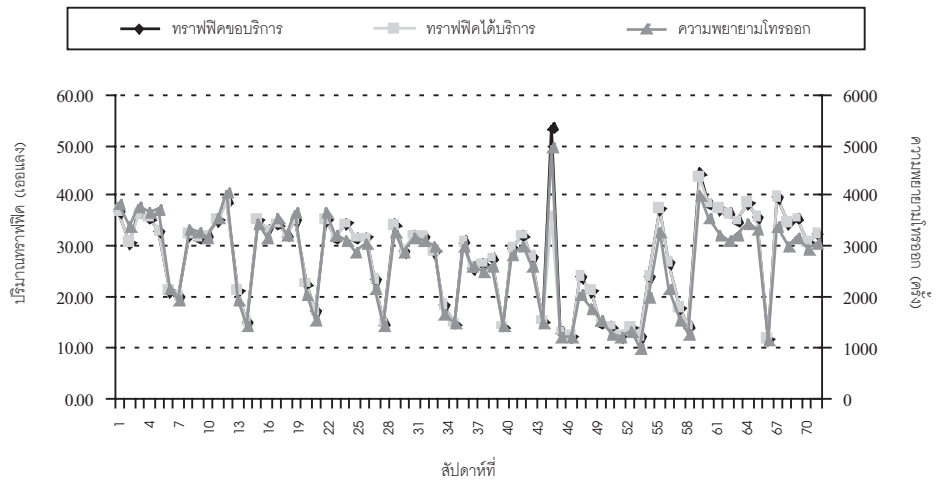
จากข้อมูลปริมาณทราฟฟิคได้บริการจะนำมาแปลงเป็นปริมาณทราฟฟิคขอบริการ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาแบ่งออกเป็น 2 ชุดๆ ละ 36 สัปดาห์ โดยชุดแรกสำหรับสร้างสมการเพื่อการพยากรณ์ และชุดที่สองสำหรับทดสอบความแม่นยำของสมการที่ได้ โดยข้อมูลปริมาณทราฟฟิคสำหรับทั้ง 72 สัปดาห์ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 1 ถึง 3



รูปที่ 1 ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์ ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 72



รูปที่ 2 ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานถนนพระราม 9 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 72



รูปที่ 3 ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 72

4.3 การหาโมเดลเพื่อการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค

จากข้อมูลปริมาณทราฟฟิคซึ่งรวบรวมได้จำนวนทั้งสิ้น 72 สัปดาห์ได้นำข้อมูลชุดแรกจำนวน 36 สัปดาห์ มาทำการหาโมเดลเพื่อการพยากรณ์ด้วยวิธีดังต่อไปนี้คือ วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด วิธีการโพลิโนเมียล วิธีเอ็กโปเน็นเชียล วิธีการถดถอย และวิธีรวมการพยากรณ์

4.3.1 **วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด**

โดยการใช้วิธีการกำลังสองน้อยตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 ทำให้ได้สมการดังนี้

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

$$Y_c = 25.55 - 0.41X \quad (30)$$

สถานีฐานถนนพระราม 9

$$Y_c = 30.43 + 0.11X \quad (31)$$

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 29.39 - 0.09X \quad (32)$$

4.3.2 **วิธีการโพลิโนเมียล**

โดยการใช้วิธีการโพลิโนเมียลตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 ทำให้ได้สมการดังนี้

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

$$Y_c = 21.1493 - 0.4131X + 0.0102X^2 \quad (33)$$

สถานีฐานถนนพระราม 9

$$Y_c = 29.3772 + 0.1135X + 0.0024X^2 \quad (34)$$

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 29.6848 - 0.0918X - 0.0007X^2 \quad (35)$$

4.3.3 **วิธีการเอ็กโปเน็นเชียล**

โดยการใช้วิธีการเอ็กโปเน็นเชียลตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 ทำให้ได้สมการดังนี้

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

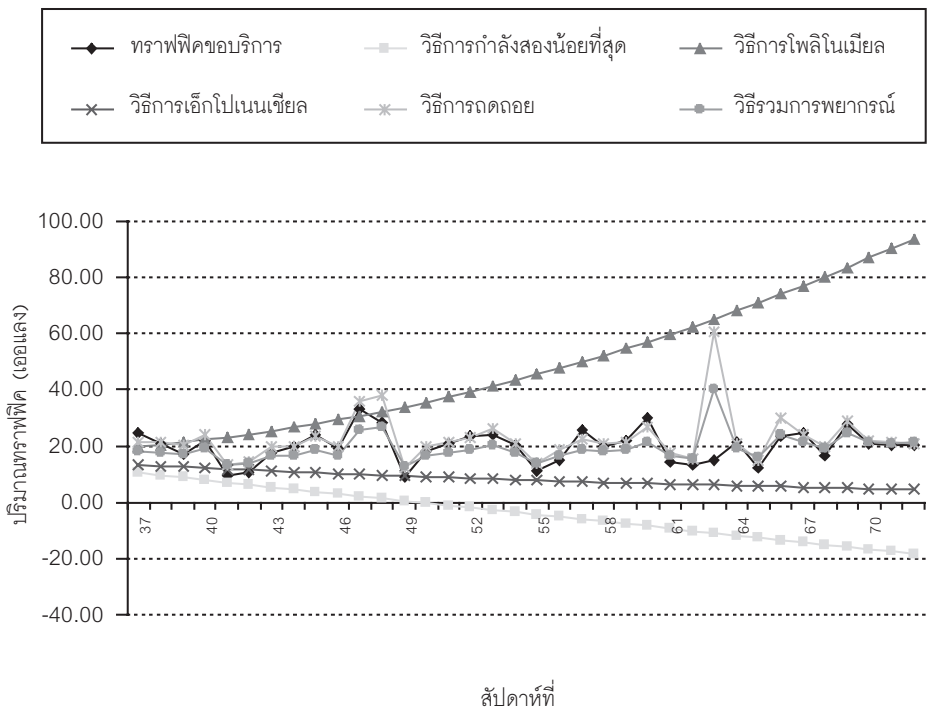
$$Y_c = 10^{1.3732 - 0.0066X} \quad (36)$$

สถานีฐานถนนพระราม 9

$$Y_c = 10^{1.417 + 0.0012X} \quad (37)$$

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 10^{1.453 - 0.0015X} \quad (38)$$



รูปที่ 4 การพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์ ในช่วงสัปดาห์ที่ 37 ถึง 72

4.3.4 **วิธีการสมการถดถอย**

โดยการใช้วิธีการสมการถดถอยตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 ทำให้ได้สมการดังนี้

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

$$Y_c = 1.1007+0.0112X \quad (39)$$

สถานีฐานถนนพระราม 9

$$Y_c = -6.8908+0.0142X \quad (40)$$

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 3.4783+0.0088X \quad (41)$$

4.3.5 **วิธีการรวมการพยากรณ์**

โดยการใช้วิธีการสมการถดถอยตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 ทำให้ได้สมการดังนี้

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

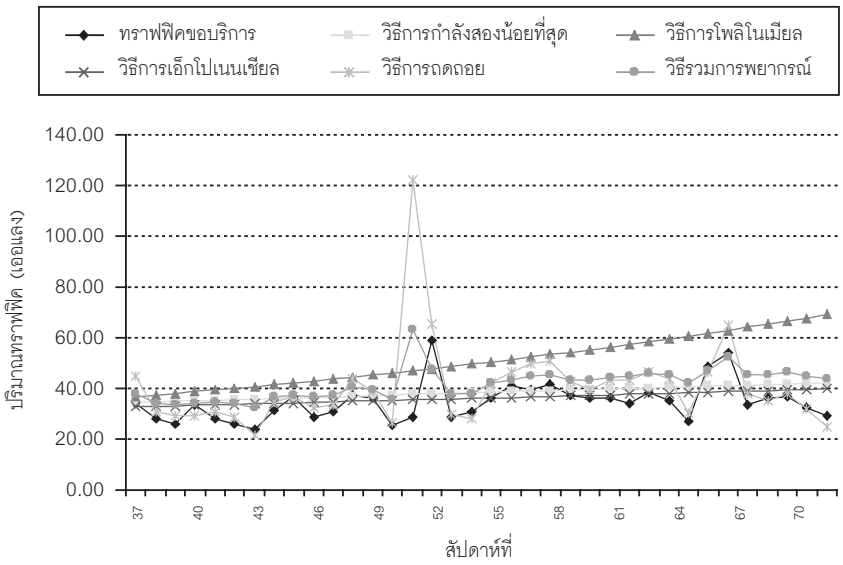
$$Y_c = 0.54X_1+0.17X_2+0.13X_3+0.16X_4 \quad (42)$$

สถานีฐานถนนพระราม 9

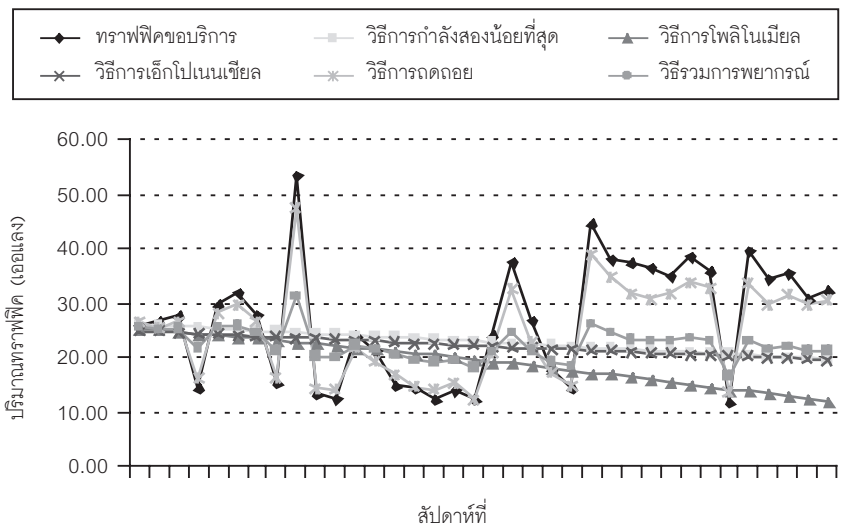
$$Y_c = 0.28X_1+0.24X_2+0.25X_3+0.23X_4 \quad (43)$$

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 0.33X_1+0.22X_2+0.22X_3+0.23X_4 \quad (44)$$



รูปที่ 5 การพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานถนนพระราม 9 ในช่วงสัปดาห์ที่ 37 ถึง 72



รูปที่ 6 การพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคของสถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร ในช่วงสัปดาห์ที่ 37 ถึง 72

ตารางที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์ด้วยวิธีการต่างๆ

สถานีฐาน	วิธีการ ถดถอย	วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด	วิธีการ โพลิโนเมียล	วิธีการ เอ็กโปเน็นเชียล	วิธีรวม การพยากรณ์
สยามเซ็นเตอร์	8.62%	59.50%	28.47%	28.47%	9.98%
พระรามเก้า	10.73%	9.93%	26.18%	8.11%	12.45%
เจ้าคุณทหาร	4.80%	21.39%	21.38%	20.99%	15.58%

จากนั้นนำวิธีต่างมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับทราฟฟิคที่ของบริการได้ผลดังรูปที่ 4-6

4.4 การตรวจสอบความแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค

จากข้อมูลเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค ทำให้สามารถเลือกสมการที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคสำหรับสถานีฐานในแต่ละพื้นที่ดังนี้

พื้นที่ย่านธุรกิจ

สถานีฐานศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์

$$Y_c = 0.54X_1 + 0.17X_2 + 0.13X_3 + 0.16X_4 \quad (45)$$

พื้นที่บนถนน

สถานีฐานถนนพระราม 9

$$Y_c = 10^{1.416+0.0012X} \quad (46)$$

พื้นที่ชานเมือง

สถานีฐานไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร

$$Y_c = 3.4783 + 0.0088X \quad (47)$$

5. การวัดประสิทธิภาพและการปรับปรุงสถานีฐาน

การวัดประสิทธิภาพและการปรับปรุงโครงข่ายจะพิจารณาได้จาก 2 พารามิเตอร์หลัก คือ Carrier-to-cochannel Interference Ratio (C/I_c) และ Blocking Propability (E) หรือคุณภาพการให้บริการ GOS (GOS จะอยู่ในช่วง 2-5%) ซึ่งในบทความนี้จะพิจารณาคุณภาพการให้บริการเป็นหลัก โดยใช้ Erlang B [4] หาได้จากสมการ

$$GOS = E(A, N) = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=1}^{N} A^i / i!} \quad (48)$$

5.1 การกำหนดสัดส่วนช่องสัญญาณแบบไฮบริด

การกำหนดสัดส่วนช่องสัญญาณแบบไฮบริด ต้องกำหนดให้สัมพันธ์กับปริมาณทราฟฟิค โดยกำหนดช่องสัญญาณพื้นฐานเป็นแบบตายตัว (ค่าที่ได้จากการพยากรณ์) และกำหนดช่องที่เหลือเป็นแบบไดนามิก

ในการพยากรณ์ทราฟฟิคด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้รู้จุดสูงสุดและต่ำสุดของปริมาณทราฟฟิคได้ค่อนข้างแม่นยำ ดังนั้น เราจึงสามารถนำมาลดปัญหาการเรียกติดขัดในช่วงทราฟฟิคสูงได้ โดยการกำหนดสัดส่วนช่องสัญญาณใหม่ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3

สำหรับสถานีฐานถนนพระราม 9 จากปริมาณทราฟฟิคที่ได้พยากรณ์ไว้จากสัปดาห์ที่ 37 ถึง 72 ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 47 จำนวนของช่องสัญญาณที่ติดตั้งไว้จำนวน 44 ช่อง จะไม่สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิคที่เกิดขึ้นได้ (ช่องสัญญาณจำนวน 44 ช่อง ที่ GOS = 2% จะรองรับได้ประมาณ 34.68 เออแลง) โดยเมื่อทำการปรับปรุงจำนวนช่องสัญญาณด้วยวิธีไฮบริดตามตารางที่ 3 โดยนำช่องสัญญาณจากพื้นที่ใกล้เคียงที่เหลือมาเพิ่มจะทำให้ค่าการติดขัดลดลงได้เมื่อปริมาณทราฟฟิคสูงขึ้น และยังคง GOS ไว้ได้

ตารางที่ 3 การปรับปรุงจำนวนช่องสัญญาณของสถานีฐานถนนพระราม 9 ด้วยวิธีไฮบริด

สัปดาห์ที่	ปริมาณทราฟฟิคจากการพยากรณ์ (เออแลง)	ช่องสัญญาณแบบไฮบริด (N_f/N_d)
37	32.82	44/8
38	33.00	44/8
39	33.18	44/8
40	33.37	44/8
41	33.55	44/8
42	33.74	44/8
43	33.92	44/8
44	34.11	44/8
45	34.30	44/8
46	34.49	44/8
47	34.68	44/8
48	34.87	44/8
49	35.07	44/8
50	35.26	44/8
51	35.46	44/8
52	35.65	44/8
53	35.85	44/8
54	36.05	44/8

สัปดาห์ที่	ปริมาณทราฟฟิคจากการพยากรณ์ (เออแลง)	ช่องสัญญาณแบบไฮบริด (N_f/N_d)
55	36.25	44/8
56	36.45	44/8
57	36.65	44/8
58	36.86	44/8
59	37.06	44/8
60	37.26	44/8
61	37.47	44/8
62	37.68	44/8
63	37.89	44/8
64	38.10	44/8
65	38.31	44/8
66	38.52	44/8
67	38.73	44/8
68	38.95	44/8
69	39.17	44/8
70	39.38	44/8
71	39.60	44/8
72	39.82	44/8

ตารางที่ 4 การปรับปรุงจำนวนช่องสัญญาณด้วยวิธีไฮบริดของสถานีฐานถนนพระราม 9

สัปดาห์ที่	การเรียกติดขัด			ช่องสัญญาณที่นำมาเพิ่ม
	ปริมาณทราฟฟิคจากการพยากรณ์ (เออแลง)	จัดช่องสัญญาณด้วยวิธีคงที่ (%)	จัดช่องสัญญาณด้วยวิธีไฮบริด (%)	
37	32.82	0	0	0
38	33.00	0	0	0
39	33.18	0	0	0
40	33.37	0	0	0
41	33.55	0	0	0
42	33.74	0	0	0
43	33.92	0	0	0
44	34.11	0	0	0
45	34.30	0	0	0
46	34.49	0	0	0
47	34.68	2.00	0.13	8
48	34.87	2.12	0.14	8
49	35.07	2.22	0.23	8
50	35.26	2.36	0.17	8
51	35.46	2.47	0.19	8
52	35.65	2.62	0.21	8
53	35.85	2.75	0.23	8
54	36.05	2.89	0.25	8

สัปดาห์ที่	การเรียกติดขัด			ช่องสัญญาณที่นำมาเพิ่ม
	ปริมาณทราฟฟิคจากการพยากรณ์ (เออแลง)	จัดช่องสัญญาณด้วยวิธีคงที่ (%)	จัดช่องสัญญาณด้วยวิธีไฮบริด (%)	
55	36.25	3.03	0.27	8
56	36.45	3.19	0.30	8
57	36.65	3.35	0.33	8
58	36.86	3.49	0.35	8
59	37.06	3.67	0.38	8
60	37.26	3.86	0.42	8
61	37.47	4.02	0.45	8
62	37.68	4.19	0.49	8
63	37.89	4.37	0.53	8
64	38.10	4.56	0.57	8
65	38.31	4.76	0.62	8
66	38.52	4.97	0.67	8
67	38.73	5.19	0.73	8
68	38.95	5.38	0.78	8
69	39.17	5.57	0.84	8
70	39.38	5.83	0.90	8
71	39.60	6.04	0.97	8
72	39.82	6.27	1.04	8

5.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการจัดสรรช่องสัญญาณวิธีอื่น

ในตารางที่ 4 กรณีที่มีการกำหนดช่องสัญญาณไว้เป็น 44 ช่องสัญญาณ ข้อมูลจากการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคพบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 47-72 เป็นช่วงที่มีปริมาณทราฟฟิคสูง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงโครงข่ายด้วยการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริดโดยสามารถนำช่องสัญญาณไดนามิค (Dynamic Channel, N_d) ของพื้นที่ที่มีเปอร์เซ็นต์การเรียกติดขัดต่ำไปใช้กับพื้นที่อื่นที่มีเปอร์เซ็นต์การเรียกติดขัดสูงได้ (นำช่องสัญญาณจากพื้นที่ใกล้เคียง จำนวน 8 ช่องสัญญาณ มาใช้กับสถานีฐานถนนพระราม 9) จากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด จะช่วยทำให้การเรียกติดขัดในสถานีฐานถนนพระราม 9 ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการกำหนดช่องสัญญาณแบบตายตัว จะเห็นได้ว่าสามารถรองรับทราฟฟิคได้เพิ่มขึ้น

6. บทสรุป

จากการหาสมการที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค ในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ 1) บริเวณย่านธุรกิจ (ศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์) 2) บริเวณพื้นที่ถนน (ถนนพระราม 9) 3) บริเวณชานเมือง (บริเวณไปรษณีย์โทรเลขเจ้าคุณทหาร) พบว่าในแต่ละพื้นที่มีปริมาณทราฟฟิคแตกต่างกัน ทำให้ได้สมการที่เหมาะสมแตกต่างกันตามปริมาณทราฟฟิคที่เกิดขึ้น

ในการทดสอบหาสมการที่เหมาะสมได้นำวิธีพยากรณ์แบบต่างๆ คือ 1) วิธีเส้นตรง 2) วิธีโพลิโนเมียล 3) วิธีเอ็กโปเน็นเชียล 4) วิธีการถดถอย 5) วิธีรวมพยากรณ์ โดยวิธีการที่เหมาะสมจะให้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด คือ แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำ โดยในแต่ละวิธีจะต้องใช้ข้อมูลในอดีตที่รวบรวมมาเป็นเวลากว่า 1 ปี โดยวิธีเส้นตรง วิธีโพลิโนเมียล และวิธีเอ็กโปเน็นเชียลนั้น จะใช้ข้อมูลปริมาณทราฟฟิคในอดีตเพียงอย่างเดียว โดยความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปริมาณทราฟฟิค ส่วนวิธีการถดถอยจะใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณทราฟฟิคกับค่าความพยายามเรียก และส่วนวิธีรวมการพยากรณ์จะได้ผลการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคตามการถ่วงน้ำหนักของวิธีที่ให้ความถูกต้องที่สุด

ผลจากการพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิค ได้นำมาพยากรณ์ปริมาณทราฟฟิคในแต่ละสถานีฐานของแต่ละพื้นที่ให้บริการโดยได้ปรับปรุงการจัดสรรช่องสัญญาณใหม่ จากเดิมในแบบคงที่ เป็นการจัดช่องสัญญาณแบบไฮบริด ทำให้สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิคได้สูงขึ้น โดยค่า GOS จะอยู่ในมาตรฐาน 2% ทำให้ลดปัญหาการเรียกติดขัดในชั่วโมงเร่งด่วนได้ดีขึ้น ◎

7. เอกสารอ้างอิง

ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, การวิเคราะห์อนุกรมเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2541

W.C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunication System*, New York: McGraw Hill, 1990

E.J. Wilmes, K.T. Erickson, "Two Methods of Neural Network Controlled Dynamic Channel Allocation for Mobile Radio System", *Proc. IEEE Globecom*, pp. 746-750, 1996

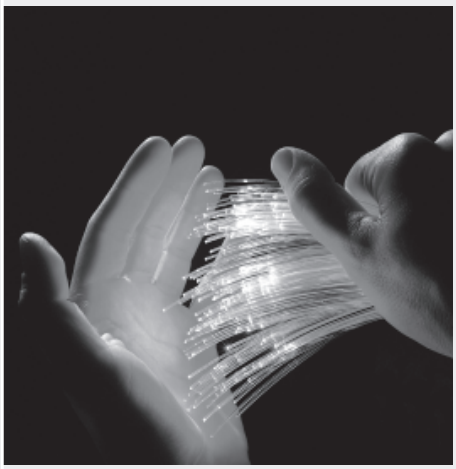
M.D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, Florida, U.S.A.: CRC Press, 1993

FTTH-Fiber To The Home

รศ.ดร. อธิคม ฤกษบุตร
รองอธิการบดี และคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

“ในอนาคต ถนนข้อมูลทุกสายจะวิ่งเข้าหาคุณด้วยความเร็วแสงเข้าสู่บ้านของคุณโดยตรง”

บทความนี้อธิบายถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ FTTH ซึ่งเป็นระบบสื่อสารที่ต่อเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสงเข้าสู่บ้านหรือที่พักอาศัยของผู้ใช้โดยตรง โดยเนื้อหาประกอบด้วยวิวัฒนาการของ FTTH หลักการทำงานเชิงเทคนิค และการบริการข้อมูลบนเครือข่าย FTTH



1. บทนำ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ธุรกิจของโทรศัพท์มือถือ นับว่าเป็นธุรกิจที่ร้อนแรงอย่างมาก ทั้งนี้ก็ด้วยเหตุผลของการใช้งานที่สะดวกสบาย ผู้ใช้สามารถพกพาไปกับตัวได้ตลอดเวลา ส่งผลให้ผู้ประกอบการในธุรกิจด้านนี้ต่างก็ประสบผลสำเร็จกันไปตามๆ กัน จากการแข่งขันที่รุนแรงในวงการโทรศัพท์มือถือ ดูเหมือนจะก่อให้เกิดผลดีต่อผู้บริโภคอยู่บ้างในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ลดลงในรูปแบบต่างๆ (ทำให้ต้อง

ปวดหัวคิดคำนวณหาความคุ้มเมื่อต้องเลือกแพ็กเก็จต่างๆ) และรูปแบบของเนื้อหา (content) ที่หลากหลายมากขึ้น (แต่ก็อาจต้องจ่ายเพิ่มขึ้นด้วย) ที่ผ่านมาโทรศัพท์มือถือมิเพียงทำกำไรจากการสนทนาเท่านั้น แต่การบริการอื่นๆ เช่น การส่งข้อความอย่าง SMS MMS และการดาวน์โหลดรูปภาพและเสียงเพลง ฯลฯ ก็ทำกำไรให้กับวงการไม่น้อย ปัจจุบันการส่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวอย่างคลิปวิดีโอ (video clip) เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การให้บริการรูปแบบเนื้อหา (content) ของโทรศัพท์มือถือ สุดท้ายก็ต้องถูกจำกัดอยู่ในระดับหนึ่ง เนื่องจากระบบของมันไม่สามารถรองรับการสื่อสารที่มีปริมาณสูงๆ อย่างเช่น การส่งภาพเคลื่อนไหวที่มีความคมชัดสูงตามเวลาจริง (real time) ได้

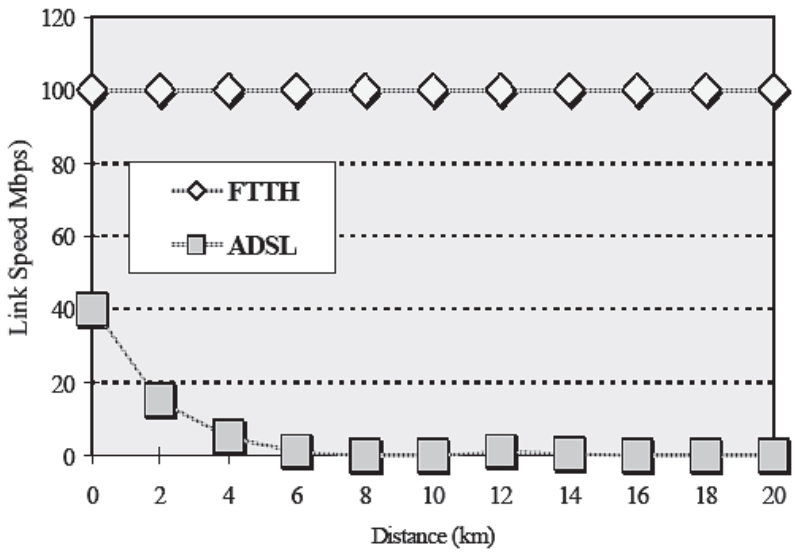
ในช่วงที่วงการธุรกิจของโทรศัพท์มือถือกำลังก่อตัวขึ้นอย่างร้อนแรงนั้น เชื่อว่ายังมีบางคน (รวมทั้งผู้เขียน) คงสงสัยว่าทำไมธุรกิจของโทรศัพท์ระบบมีสาย (fixed line) หรือที่เรียกง่ายๆ ว่า ระบบโทรศัพท์บ้าน(และสำนักงาน) กลับดูเงียบเหงาแทบไม่มีอะไรที่น่าสนใจเลย ทั้งๆ ที่การเชื่อมโยงสายสื่อสัญญาณด้วยสายไปยังผู้ใช้ สามารถสื่อสัญญาณที่มีปริมาณข้อมูลหรือแบนด์วิดสูงๆ ได้ อีกทั้งลูกเล่นในการให้บริการก็สามารถทำได้ไม่น้อยหน้าแถมยังดีกว่าระบบโทรศัพท์มือถือด้วยซ้ำและที่สำคัญระบบมีสายสามารถให้บริการต่อวงการอินเทอร์เน็ต (ที่กำลังโตวันโตคืน) ได้อย่างเต็มที่อีกด้วย !!

หลายครั้งทีเดียวที่เรามักลืมที่จะใส่ใจกับสิ่งดีๆ ที่มีอยู่ หากมีสิ่งอื่นที่ร้อนแรงและน่าสนใจมาวนเวียนให้เห็นอยู่ใกล้ๆ ธุรกิจของโทรศัพท์บ้านก็เป็นสิ่งที่นักธุรกิจอาจมองข้ามไปบ้างเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในที่สุดก็มีผู้เห็นคุณค่าของระบบโทรศัพท์บ้าน และได้ทำให้วงการโทรศัพท์บ้านกลับมามีสีสันขึ้นมากอีก ด้วยการให้บริการระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงด้วยระบบ ADSL เป็นต้น

1.1 จาก ADSL สู่ FTTH

ระบบ **ADSL** (**A**synchronous **D**igital **S**ubscriber **L**ine) เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ช่วยให้ข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์สูงๆ (เช่น ภาพ) สามารถเดินทางในระบบสายส่งทองแดงได้ โดยทั่วไปสายโทรศัพท์ที่เดินไปยังบ้านผู้เช่าหรือที่เรียกว่าสายดร็อบไวร์ (drop wire) ก็จะเป็นสายทองแดงเส้นเล็กๆ ที่มีขีดจำกัดในการส่งผ่านข้อมูลได้ไม่มาก แต่การที่ผู้เช่าสามารถใช้สายทองแดงสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ เช่น สัญญาณภาพ หรือรวมไปถึงการสื่อสัญญาณดิจิตอลที่มีอัตราการส่งข้อมูลหรือบิตเรต (bit rate) สูงได้ นั่นก็เพราะเทคโนโลยี ADSL จะทำหน้าหน้าที่บีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงจากเดิม จนสามารถส่งผ่านไปในสายทองแดงซึ่งเปรียบเสมือนท่อที่มีขนาดเล็กได้ โดยปกติ ADSL ที่ให้บริการพื้นฐาน จะให้ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 1-2 Mb/s (บ้านเราเริ่มที่ 128 kb/s) แต่ตัวระบบเองก็มีความสามารถที่จะส่งข้อมูลผ่านสายทองแดงด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเป็น 12, 24 และ 40 Mb/s ได้ ซึ่งระบบที่มีความเร็วสูงขึ้นนี้บางทีอาจเรียกชื่อระบบเป็น **HDSL** (**H**igh bit rate **D**igital **S**ubscriber **L**ine) หรือ **VHDSL** (**V**ery **H**igh bit rate **D**igital **S**ubscriber **L**ine) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การส่งข้อมูลผ่านสายส่งทองแดงมีข้อด้อยประการหนึ่งตรงที่ความเร็วในการสื่อข้อมูลจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 1)

แม้ว่า ADSL/HDSL/VHDSL จะสามารถส่งข้อมูลได้มากในช่วงเวลาสั้นๆ ก็ตาม แต่เมื่อเทียบกับอัตราการเติบโตของผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตประกอบกับความต้องการสื่อสารข้อมูลในหลายๆ รูปแบบ โดยเฉพาะข้อมูลที่เป็นสัญญาณภาพอย่างต่อเนื่อง ความเร็วที่ระบบ xDSL (x หมายถึงอาจเป็น A หรือ H หรือ VH ก็ได้) สามารถตอบสนองได้ กลับดูจะช้าเกินไป จึงจำเป็นต้องหาทางออกใหม่ ซึ่งในที่สุดก็ถึงเวลาของการนำ



รูปที่ 1 เปรียบเทียบความเร็วในการสื่อสัญญาณของระบบ ADSL กับ FTTH เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

เส้นใยนำแสงมาแทนที่ระบบสายส่งทองแดงเพื่อการเข้าถึง (access) บ้านผู้เช่า (subscriber) ด้วยระบบที่เรียกว่า **FTTH (Fiber-To-The-Home)** (บางคนเรียก **FTTP**–Fiber To The Premise) ทั้งนี้เส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติเปรียบเสมือนท่อนำสัญญาณขนาดใหญ่ที่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ด้วยความเร็วสูงๆ ได้ (ปัจจุบันความเร็วข้อมูลสูงสุดที่เดินทางในเส้นใยนำแสงอยู่ในเทอมของเทอราบิตต่อวินาที (Tb/s) หรือ 1,000,000,000,000 บิตต่อวินาที) ทำให้ FTTH สามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลได้หลายรูปแบบพร้อมกัน เช่น ระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง และระบบเคเบิลทีวี (CATV) เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าว หลายคนเชื่อว่า FTTH จะเป็นทางเลือกที่สำคัญของระบบโครงข่ายที่ให้บริการผู้เช่าในอาคารบ้านเรือนด้วยระบบบรอดแบนด์ความเร็วสูง (จริงๆ) หรือ Broadband-access network

1.2 ความเป็นมาของ FTTH

แนวความคิดในการนำระบบ FTTH เข้ามาใช้เพื่อเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงไปสู่บ้านผู้เช่าโดยตรง เริ่มขึ้นในราวกลางทศวรรษที่ 1970s แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ อุปสรรคสำคัญในขณะนั้นคือระบบและเส้นใยนำแสงมีราคาแพงมาก เมื่อเทียบกับระบบสายส่งทองแดง ทำให้ภาคธุรกิจไม่สนใจลงทุนโดยเฉพาะในส่วนที่ต้องเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงสู่บ้านผู้เช่าโดยตรง และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในส่วนนี้ ระบบ **FTTC (Fiber To The Curb)** และระบบ **HFC (Hybrid Fiber/Coax)** จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมานี้จะใช้ระบบสายส่งสัญญาณแบบผสม คือ มีทั้งเส้นใยนำแสงและสายส่งทองแดงใช้งานร่วมกันในโครงข่าย โดยระบบ FTTC จะเน้นที่การใช้งานสายส่งเส้นใยนำแสงตลอดโครงข่ายไปสิ้นสุดยังหัวถนนหรือปากทางเข้าหมู่บ้านเท่านั้น ในส่วนของสายส่งที่เข้าถึงบ้าน

ผู้เช่ายังคงเป็นสายทองแดงอยู่ ทำให้ระบบ FTTC และ HFC มีราคาถูกลงกว่า FTTH (ในขณะนั้น) มาก แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถให้บริการข้อมูลความเร็วสูงได้ เพราะโครงข่ายส่วนใหญ่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ทั้งนี้ ระบบ HFC กลับเป็นที่นิยมกว่า FTTC เพราะราคาค่อนข้างจะถูกกว่า เนื่องจากระบบสายส่งยังคงมีส่วนประกอบของสายส่งทองแดงมากกว่า ตัวอย่างของระบบ HFC ที่นำมาใช้ในบ้านเรา ได้แก่ ระบบเคเบิลทีวี (ที่เป็นเคเบิลจริงๆ ไม่ใช่ส่วนของการรับสัญญาณผ่านดาวเทียม)

ต่อมาเมื่อถึงยุคสมัยของการสื่อสารข้อมูลยุคโลกาภิวัตน์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ต ความต้องการในการสื่อสารข้อมูลเริ่มขยายตัวขึ้นมาก เพราะในทุกๆ เดือนจะมีจำนวนผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ความต้องการในการสื่อสารข้อมูลปริมาณมากที่มีความเร็วสูง ก็เริ่มเพิ่มมากขึ้นด้วยตามลำดับ ในขณะที่โลกได้ถูกย่อลงด้วยการเชื่อมโยงด้วยระบบโครงข่ายและอินเทอร์เน็ต ทำให้ปริมาณผู้ใช้ที่ต้องการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงเริ่มมีมากขึ้น เช่น กลุ่มผู้ใช้ที่เป็นธนาคาร ต่างต้องการเชื่อมโยงระบบสื่อสารข้อมูลของตนเองระหว่างสาขาต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว ผู้ให้บริการจึงได้นำระบบบริการแบบ **ISDN (Integrated Services Digital Network)** เข้ามาใช้ โดยตัวระบบทำงานสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล ทำให้ข้อมูลต่างๆ ที่มีลักษณะพื้นฐานดั้งเดิมไม่เหมือนกัน สามารถสื่อสารร่วมกันได้ เนื่องจากข้อมูลทุกประเภทจะถูกทำให้เป็นดิจิตอล ซึ่งมีสถานะเพียง 2 ระดับ คือ ศูนย์ “0” กับหนึ่ง “1” เท่านั้น ดังนั้นข้อมูลทุกชนิดจึงถูกระบบมองเห็นเป็นแบบเดียวกันหมด ทำให้สื่อสารร่วมกันได้ นอกจากนี้ระบบ ISDN ยังถูกออกแบบให้ใช้สายส่งเส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่าหรือสำนักงานได้โดยตรง ผู้เช่าเพียงแต่แจ้งความจำนงและเสียค่าบริการเฉพาะ ก็สามารถใช้งานได้สำหรับผู้ใช้บริการที่ต้องการสื่อสารข้อมูลส่วนตัวด้วยท่อสัญญาณขนาดใหญ่ ก็อาจทำได้ด้วยการเช่าสายส่ง (leased line) ที่เป็นเส้นใยนำแสง

ระบบ ISDN เป็นระบบที่เสมือนเป็นก้าวแรกให้มีการใช้เส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่า แต่ ISDN เองถูกออกแบบขึ้นโดยเน้นที่ระบบสลับสายหรือสวิตชิ่ง (switching) อีกทั้งการเช่าคู่สายเส้นใยนำแสงเพื่อขอใช้บริการ ค่อนข้างจะมีราคาแพง ทำให้ระบบ ISDN ไม่เป็นที่นิยมของผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ต แต่ด้วยปริมาณข้อมูลสื่อสารที่นับวันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงได้มีการพัฒนาระบบ ADSL ขึ้น เพื่อให้ผู้เช่ายังคงสามารถใช้สายส่งทองแดงเดิมได้ แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงได้ด้วยการเพิ่มค่าใช้บริการอีกไม่มากนัก

การเติบโตของของระบบอินเทอร์เน็ตในอัตราก้าวหน้า (หากมองเป็นก้าวกระโดดก็คงไม่ผิดนัก) และความต้องการบริโภคข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ทำให้ ADSL เริ่มมีปัญหาในการให้บริการ แม้ว่า HDSL จะสามารถให้บริการได้สูงถึง 40 Mb/s ก็ตาม ความนิยมของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตที่ต้องการสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ข้อมูลภาพนิ่งที่มีความละเอียดสูง และข้อมูลภาพเคลื่อนไหว ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแข่งขันในการให้บริการแบบบรอดแบนด์ (Broadband) มากยิ่งขึ้น ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง มีการพัฒนาไปจากเดิมมาก ทำให้ระบบสื่อสารเชิงแสงมีราคาถูกลง จึงได้มีการนำเทคโนโลยี FTTH เข้ามาใช้ใหม่ เพื่อเป็นทางออกของการให้บริการแบบบรอดแบนด์ (จริงๆ)

FTTH เริ่มทำให้ตลาดการให้บริการข้อมูลแบบบรอดแบนด์ชนิดเข้าถึงบ้านผู้ใช้โดยตรงเริ่มคึกคักขึ้นก็ในช่วงเริ่มสหัสวรรษใหม่ (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา) ปัจจุบันในแต่ละเดือนจะมีจำนวนผู้ใช้ FTTH เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 100,000 ราย ในบรรดาประเทศต่างๆ ที่เป็นผู้นำในการให้บริการ FTTH เช่น อเมริกา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และบางประเทศใน

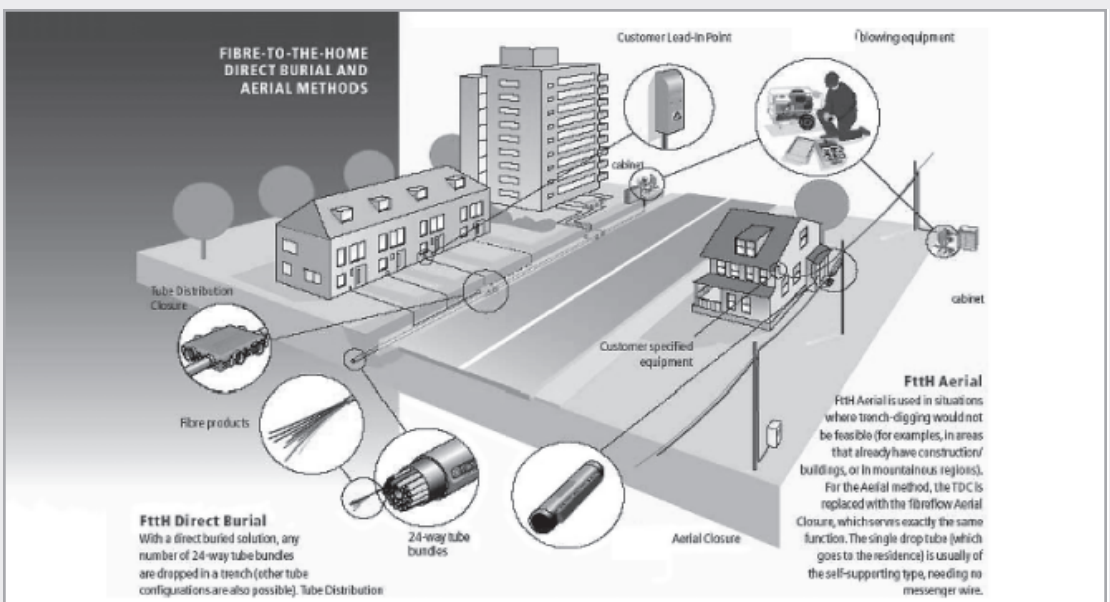
ยุโรปนั้น ญี่ปุ่นดูจะเป็นประเทศที่มีอัตราการเติบโตของ FTTH มากที่สุดในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ญี่ปุ่นเริ่มนำระบบ FTTH เข้ามาใช้อย่างจริงจังในปี ค.ศ. 2002 (พ.ศ. 2545) โดยบริษัท NTT ทั้งนี้ผู้ใช้บริการจะสามารถสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วขั้นต่ำประมาณ 100-150 Mb/s ด้วยการเสียค่าใช้จ่ายที่แพงกว่า ADSL ประมาณไม่เกินสองเท่า (แต่ข้อมูลมีความเร็วมากกว่าร่วม 100 เท่า !) และเมื่อถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548) ได้มีสมาชิกผู้ใช้บริการมากถึง 2.8 ล้านราย ทั้งนี้บริษัท NTT ตั้งเป้าไว้ว่าน่าจะมีผู้ใช้บริการถึง 30 ล้านรายในปี ค.ศ. 2010 (พ.ศ. 2553)

ในส่วนของตลาดในเมืองไทย ระบบ ADSL เริ่มมีบทบาทในการทำให้ธุรกิจการให้บริการข้อมูลแบบบรอดแบนด์มีความคึกคักขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 เป็นต้นมา ด้วยการให้บริการข้อมูลด้วยอัตราเร็วประมาณ 1-2 Mb/s โดยผู้เช่าเสียค่าบริการในอัตราที่ยอมรับได้ อีกทั้งการแข่งขันที่กำลังก่อตัวขึ้นน่าจะมีแนวโน้มทำให้ค่าบริการถูกลงพร้อมกับการให้บริการด้วยอัตราการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่า ปัจจุบัน (พ.ศ. 2549) เริ่มมีกลุ่มผู้ประกอบการหลายรายในเมืองไทยเริ่มหาพันธมิตรและวางแผนที่จะนำระบบ FTTH มาให้บริการในเมืองไทยกันแล้ว

2. ความสำคัญของ FTTH ในวงการสื่อสาร

2.1 ทำไมต้องเป็น FTTH

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ FTTH เป็นระบบที่น่าสนใจสำหรับผู้เช่า (subscriber) หรือผู้ใช้ (user) โดยเฉพาะผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตมีอยู่ 2 ประการ คือ ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูง (high capacity) และระบบมีความน่าเชื่อถือ (system reliability)



รูปที่ 2 ระบบข่ายสายเคเบิลเส้นใยนำแสงในระบบ FTTH
ที่มีการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงทั้งที่เป็นแบบแขวนอากาศหรือฝังดินไปยังบ้านผู้ใช้โดยตรง

โครงสร้างพื้นฐานของสายส่งที่ใช้ในระบบ FTTH ถูกกำหนดให้เป็นเส้นใยนำแสงตลอดเส้นทางจากผู้ให้บริการไปจนถึงบ้านผู้เช่า ทำให้ได้ท่อนำสัญญาณที่มีขนาดใหญ่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ในคราวเดียวกัน โดยปกติระบบโครงข่ายสื่อสารที่เป็นเส้นทางหลักขนาดใหญ่หรือแบ็กโบน (backbone) ต่างก็ใช้สายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสงแทบทั้งสิ้น ดังนั้น การนำเส้นใยนำแสงมาใช้ในการเข้าถึง (access) ผู้เช่าโดยตรง ย่อมสามารถรองรับความเร็วในการสื่อสารข้อมูลได้ทั้งสิ้น ในระบบ FTTH ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลจะเริ่มต้นที่ 100 Mb/s (บางทีก็เริ่มที่ 150 Mb/s) ซึ่งถือว่าเร็วกว่า ADSL ถึง 100 เท่า (เมื่อเทียบกับ 1 Mb/s) โดยหลักการแล้ว FTTH ได้ถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) ได้ด้วย ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 622 Mb/s ยิ่งไปกว่านั้น โครงข่ายเส้นใยนำแสงมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ชนิด**พอน (PON-Passive Optical Network)** ซึ่งเป็นลักษณะของโครงข่ายที่มีส่วนของอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (passive) คือสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องป้อนกำลังงานจากภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ชนิดพอน (PON) สามารถรองรับการทำงานในรูปแบบต่างๆ ที่อยู่ในโครงข่ายได้ในเวลาเดียวกัน การออกแบบให้ PON มีอัตราการร่วมใช้งาน (sharing ratio) ลดลง หรือการเพิ่มความยาวคลื่นแสงที่เป็นคลื่นพาห์ สามารถทำให้ FTTH สื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วขนาด 2.488 Mb/s ได้อย่างสบาย

การใช้เส้นใยนำแสงเป็นสื่อสัญญาณ (Transmission) ของระบบ FTTH ทำให้ข้อมูลที่เดินทางระหว่างสถานีมีลักษณะเป็นแสง ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าในระบบสายส่งทองแดง ลองนึกดูถึงระบบโทรศัพท์แบบเดิม ในขณะที่มีการใช้งานสนทนากันอยู่ อาจมีผู้ไม่หวังดีทำการลักลอบดักฟังด้วยการนำเครื่องโทรศัพท์มาต่อพ่วง (Tapping) กับสายโทรศัพท์ที่เชื่อมต่อเข้าบ้านคู่สนทนา (แน่นอนต้องต่อพ่วงนอกบ้าน โดยไม่ให้ใครรู้) เพียงแค่นี้ข้อมูลก็ไม่เป็นความลับอีกต่อไป หรือหากว่ามีการสื่อสารเป็นข้อมูลดิจิตอล คนที่มีความรู้ (แต่ใช้ในทางที่ผิด) ก็สามารถนำสายไฟมาต่อพ่วง (Tapping) เพื่อดึงสัญญาณไฟฟ้าออกมาได้โดยง่าย ลักษณะเช่นนี้ทำให้การสื่อสารข้อมูลไม่มีความปลอดภัยและไม่น่าเชื่อถือ ในกรณีของเส้นใยนำแสง การดึงข้อมูลออกมาจากสายส่งไม่สามารถทำได้โดยง่ายเหมือนสายไฟฟ้า เพราะแสงจะเดินทางอยู่ภายในแนวแกนกลางของเส้นใยนำแสง ไม่มีการรั่วไหลออกสู่ภายนอกทางผิวโดยรอบ การนำเส้นใยนำแสงอื่นมาสัมผัสผิวเส้นใยนำแสง (เหมือนสายไฟฟ้า) ไม่อาจทำให้แสงส่งผ่านระหว่างกันได้ จึงทำให้การลักลอบดึงสัญญาณแสงไม่อาจทำได้โดยสะดวก (หากจะทำจริงๆ ต้องลงทุนใช้อุปกรณ์และวิธีการพิเศษ ซึ่งไม่คุ้มกัน) จึงทำให้การสื่อสารระบบ FTTH มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ เส้นใยนำแสงในระบบสื่อสารมักทำมาจากแก้ว ไม่เป็นสนิมเหมือนสายไฟ ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูง อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานสูงกว่าสายทองแดงอีกด้วย

2.2 ข้อดีของระบบ FTTH

แนวความคิดของเทคโนโลยี FTTH มีมานานร่วม 40 ปี แต่เพิ่งจะมามีบทบาทต่อระบบสื่อสารในช่วงเวลาเพียงไม่กี่ปีมานี้ ทั้งนี้มิใช่เพียงแค่เหตุผลที่เส้นใยนำแสงมีราคาถูกลงเท่านั้น แต่ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่เป็นข้อดีของระบบ ดังนี้

- **ระบบมีความเร็วสูง (High Capacity)**

- เส้นใยนำแสงมีข้อดีเหนือระบบสายส่งอื่นอย่างมากตรงที่สามารถสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่มากๆ ได้ เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติเสมือนเป็นท่อส่งสัญญาณที่มีขนาดใหญ่มากนั่นเอง ในระบบสื่อสารปัจจุบัน การส่งข้อมูล

แบบดิจิตอลกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากทำให้ข้อมูลมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม การสร้างข้อมูลดิจิตอลจากข้อมูลดั้งเดิมที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (เช่น ภาพและเสียง) ทำให้ข้อมูลมีขนาดใหญ่กว่าเดิมมาก ดังนั้น หากต้องการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ให้ถึงปลายทางโดยรวดเร็ว ต้องส่งผ่านสายส่งด้วยอัตราเร็ว (bit rate) ที่สูง ซึ่งเส้นใยนำแสงสามารถรองรับการทำงานในลักษณะเช่นนี้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเพิ่มเติมก็ได้ ในส่วนของระบบ FTTH เอง ถูกออกแบบให้สามารถสื่อสารข้อมูลที่ความเร็วปกติประมาณ 155 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ซึ่งถือว่ามีความเร็วมากกว่าระบบ ADSL (ที่ความเร็วปกติ 1.5 Mb/s) ร่วมร้อยเท่าเลยทีเดียว

- ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลของ FTTH ที่ให้บริการในบ้านเรา อาจเริ่มต้นที่ความเร็วต่ำกว่า 155 Mb/s ซึ่งถือว่ายังต่ำกว่ามาตรฐานพื้นฐานของมัน แสดงให้เห็นว่าระบบ FTTH สามารถรองรับการใช้ในงานการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงมากในอนาคตได้อย่างไม่ต้องสงสัย หากผู้ใช้บริการต้องการความเร็วที่มากขึ้น (แน่นอนก็ต้องเสียค่าบริการเพิ่มขึ้น) ก็สามารถเลือกความเร็ว (ตามที่ผู้ให้บริการกำหนด)ได้มากถึง 622 Mb/s หากข้อมูลที่วิ่งอยู่ระบบ FTTH ทำงานร่วมกับระบบสื่อสารแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) ในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการ

- ยิ่งไปกว่านั้น ระบบ FTTH ยังมีความยืดหยุ่นสูง หากมีการปรับปรุงระบบ PON (Passive Optical Network ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป) ให้มีสมรรถนะสูงขึ้น หรือ หากมีการนำระบบ DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) ซึ่งเป็นระบบการมัลติเพล็กส์เชิงแสงที่ใช้ความยาวคลื่นแสงเป็นคลื่นพาห์ (Carrier) มากกว่าหนึ่งความยาวคลื่น (ดังที่ใช้ในระบบมาตรฐานของ FTTH) ก็สามารถเพิ่มความเร็วของ FTTH ได้สูงถึง 2.488 Gb/s เลยทีเดียว

- เมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการสื่อสารข้อมูล กับราคาการให้บริการซึ่งอาจสูงกว่าระบบ xDSL ไม่มาก จะพบว่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยข้อมูล (เช่น y บาทต่อข้อมูลที่ 1 Mb/s) จะถูกกว่าระบบที่ใช้ไฟฟ้าเป็นสื่อสัญญาณมาก

- **ระบบมีความน่าเชื่อถือ (System Reliability)**

- จากผลสำรวจพบว่า ในกรณีของการพิจารณาเลือกใช้ระบบสื่อสารระยะไกล ลูกค้าในปัจจุบันให้ความสนใจต่อระบบสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือสูงเป็นอันดับต้นๆ เหนือรายละเอียดที่เกี่ยวกับราคาค่าใช้จ่ายซึ่งสอดคล้องกับระบบFTTH

- ความน่าเชื่อถือของระบบ FTTH เกิดจากระบบสายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสง ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงในระบบสื่อสารโทรคมนาคมมักเป็นแก้ว ทั้งนี้แก้วจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูง อีกทั้งแก้วไม่เป็นสนิม ทำให้เส้นใยนำแสงมีอายุการใช้งานนานมาก (เมื่อเทียบกับสายไฟโลหะ) ในการใช้งานจริงวัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มเส้นใยในลักษณะของสายเคเบิลอาจสึกกร่อนไปก่อนตัวเส้นใยนำแสงเอง อย่างไรก็ตาม เคเบิลเส้นใยนำแสงมักมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 50 ปีขึ้นไป ซึ่งถือว่านานพอที่จะทำให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในการนำสัญญาณของระบบ FTTH

- วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าโดยธรรมชาติ ทำให้ปราศจากปัญหาเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลสื่อสารไม่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนสายส่งทองแดง สัญญาณสื่อสารในระบบ FTTH จึงเป็นสัญญาณที่สะอาดและเชื่อถือได้สูง

- ระบบ FTTH ใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่งสัญญาณส่งไปยังบ้านของผู้ใช้ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า ONU (Optical Network Unit) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายในบ้านของผู้เช่า ONU นี้ทำหน้าที่

กระจายสัญญาณซึ่งส่วนใหญ่เป็นสัญญาณไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในบ้าน เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรือ โทรทัศน์ เป็นต้น เนื่องจากสายส่งสัญญาณที่ต่อเข้ากับ ONU เป็นเส้นใยนำแสง ทำให้ไม่มีส่วนของตัวนำเชื่อมต่อเหมือนระบบโทรศัพท์ ทำให้ช่วยลดแรงไฟกระชาก (electrical surge) ที่อาจเกิดจากฟ้าผ่า และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า

- **ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (FTTH Powering)**

- ในระบบโทรศัพท์ที่ใช้สายทองแดงแบบเดิม (POT–Plain Old Telephone) มีข้อดีตรงที่ระบบยังคงใช้งานได้เมื่อไฟดับ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ทำให้ระบบทำงานมาจากชุมสายโทรศัพท์ ไม่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าที่ใช้อยู่ภายในบ้าน แต่ในระบบ FTTH อุปกรณ์ ONU (Optical Network Unit) ที่ติดตั้งอยู่ภายในบ้านของผู้ใช้ถือเป็นอุปกรณ์ประเภท active ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้ตัวมันทำงานได้ ประกอบกับเส้นใยนำแสงไม่สามารถนำพลังงานไฟฟ้าได้เหมือนระบบสายโทรศัพท์ทองแดง จึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเฉพาะสำหรับ ONU นอกจากนี้ ONU ควรมีแบตเตอรี่สำรองเพื่อทำให้ตัวมันสามารถทำงานได้แม้ไฟจะดับ ทำให้ระบบต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหรือ IFC (Installed First Costs) และค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งาน (Life-Cycle Costs: LCC) เพิ่มขึ้น

- อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถออกแบบให้ ONU มีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก รวมทั้งกินไฟต่ำ ซึ่งเมื่อคิดคำนวณเปรียบเทียบกับระบบ POT ที่ต้องใช้ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากชุมสาย (ในขณะที่ระบบ FTTH ระบบพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ที่บ้านผู้ใช้) กลับกลายเป็นว่าพลังงานรวมที่เกิดขึ้นในระบบ FTTH กลับมีค่าน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลดีกับสภาพเศรษฐกิจของประเทศในระดับมหภาค

2.3 เทคโนโลยีขับเคลื่อน FTTH

แรงขับเคลื่อนสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยี FTTH ก้าวเข้าสู่เชิงพาณิชย์ ได้แก่เทคโนโลยีต่างๆ ที่ผ่านกระบวนการพัฒนามาแล้วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องโดยตรงมี 5 ประเภท ได้แก่

- **แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์**

– แหล่งกำเนิดแสงชนิดสารกึ่งตัวนำที่มักใช้ในระบบสื่อสารเชิงแสงมี 2 ประเภท คือ แอลอีดี (LED–Light Emitting Diode) และเลเซอร์ไดโอด (LD–Laser Diode) ในระบบสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วสูงจำเป็นต้องใช้เลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาของการเกิดดิสเพอร์ชั่น (dispersion) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้สัญญาณพัลส์แสงเกิดการกระจายเชิงเวลาตามระยะทางที่เดินทาง (ยิ่งระยะทางไกลขึ้นเท่าไร พัลส์จะยิ่งมีความกว้างมากขึ้นเท่านั้น) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติหากจำเป็นต้องติดตั้งเลเซอร์ไดโอดในงานข่ายสายตอนนอก (outside plant) ซึ่งมีช่วงเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมค่อนข้างกว้าง (โดยเฉพาะเมืองไทย จะมีความร้อนสูงมากในตอนกลางวัน) จะทำให้การทำงานของเลเซอร์ไดโอดมีประสิทธิภาพลดลง โดยเฉพาะค่ากระแสเทรสโฮล (threshold current) หรือกระแสต่ำสุดที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวมัน (ตามสภาพแวดล้อม)เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มแสงที่เปล่งออกมามีค่าลดลง โดยทั่วไปการแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการเพิ่มส่วนของวงจรตรวจวัดความเข้มแสงขาออก และเพิ่มส่วนของวงจรป้อนกลับเพื่อทำให้วงจรขับสัญญาณชดเชยค่ากระแสขับตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ทำให้ให้เลเซอร์ไดโอดขับค่าความเข้มแสงตามต้องการออกมา นอกจากนี้ยังอาจต้องเพิ่มส่วนของอุปกรณ์ระบายความร้อนหรือตัวลดอุณหภูมิ (cooler) เพื่อป้องกันไม่ให้เลเซอร์ไดโอดร้อนเกินไป เหล่านี้ ล้วนทำให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอดมีความซับซ้อนและยุ่งยากขึ้น

– *เทคโนโลยีปัจจุบัน สามารถออกแบบเลเซอร์ไดโอดให้มีความไวต่ออุณหภูมิลดลง ดังเช่น เลเซอร์ไดโอดชนิดเฟบรีเพอโรต์ (FP: Fabry-Perot) ชนิดโหมดร่วมตามแนวยาว (multi-longitudinal mode) ซึ่งใช้เทคโนโลยีควอนตัมเวล (strained-layer multi-quantum-well: SL-MQW) ทำให้สามารถนำมาใช้งานในสภาพกลางแจ้งเช่นงานข่ายสายตอนนอกได้ โดยที่วงจรขับกระแสไม่จำเป็นต้องมีความยุ่งยากดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้ตัวขับสัญญาณแสงมีต้นทุนที่ถูกลง ทั้งในส่วนของการติดตั้งและการดูแลซ่อมแซม*

– *การส่งผ่านสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังเส้นใยนำแสงในระบบสื่อสารจำเป็นต้องถูกออกแบบให้มีค่าการส่งผ่านกำลังงาน (coupling) สูง ในอดีตปัญหาการส่งผ่านกำลังงานต่ำเกิดจาก ขนาดของพื้นที่เปล่งแสงซึ่งมักพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดสนาม (MFD–Mode Field Diameter) ระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงมักมีค่าแตกต่างกันมาก แต่ปัจจุบันสามารถพัฒนาให้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ประกอบกับการพัฒนาในเรื่องของตัวถังอุปกรณ์ (component packaging) ช่วยให้การต่อเชื่อมระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงในแนวเดียวกันมีความแน่นอนและมีเสถียรภาพ จึงทำให้ค่าการสูญเสียสัญญาณบริเวณรอยต่อระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงมีค่าน้อยมาก*

– *เทคโนโลยีเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม (เช่น พลาสติกบางประเภท) ในการสร้างตัวถังอุปกรณ์ มีส่วนทำให้เลเซอร์ไดโอดมีราคาถูกลงแต่ยังคงความแข็งแรงทนทานในการใช้งานอยู่ อีกทั้งยังช่วยให้เลเซอร์ไดโอดทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิกว้าง โดยมีผลกระทบต่อความชื้นน้อยมากอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีความสำคัญต่อการใช้งานของระบบ FTTH เป็นอย่างยิ่ง*

• **ตัวแยกและส่งผ่านสัญญาณตามความยาวคลื่น (Splitter and WDM coupler)**

– *โครงสร้างของระบบเครือข่าย FTTH (รายละเอียดจะกล่าวถึงต่อไป) จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกแสง (splitter) ในงานข่ายสายตอนนอก เพื่อแยกสัญญาณไปยังบ้านผู้ใช้ อุปกรณ์แยกแสงที่นิยมใช้กันมาแต่ครั้งอดีต ได้แก่คับเปลอร์เส้นใยแก้ว (fiber coupler) ชนิด FBT (Fused Biconical Coupler) ชนิด 2x2 ซึ่งมีคุณสมบัติในการแบ่งแยกสัญญาณขาเข้าไปสู่ขาออกในเส้นทางต่างๆ โดยมีสัดส่วนความเข้มแสงแต่ละแนวทางเป็นไปตามที่ออกแบบ อีกทั้งคับเปลอร์เส้นใยแก้วชนิด FBT ยังสามารถออกแบบให้การทำงานขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นได้อีกด้วย (WDM coupler) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัวแยกแสงโดยใช้ท่อนำแสงแบบระนาบที่ใช้ซิลิกอนเป็นวัสดุหลัก (silicon planar waveguide) ซึ่งราคาของตัวแยกแสงทั้งสองค่อนข้างจะมีราคาสูงหากมีการสั่งซื้อเพียงไม่กี่ตัวเช่นในอดีต อย่างไรก็ตาม การที่ระบบ FTTH เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้งานตัวแยกแสงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้ราคาของอุปกรณ์มีราคาถูกลงอย่างมาก (เพราะสามารถผลิตเป็น mass product ได้) อีกทั้งคุณภาพของอุปกรณ์ยังดีกว่าแต่ก่อนอีกด้วย*

– *เทคโนโลยีปัจจุบันได้พัฒนาให้ตัวแยกแสงที่ใช้ท่อนำแสงแบบระนาบมีขนาดเล็กลง (เช่น 1.5 mm x 2 cm) มีความสามารถในการแยกแสงให้มีแสงขาออกได้หลายทาง สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ (เช่น >100°C) และที่สำคัญมีค่าการสูญเสียสัญญาณ (excess loss) ต่ำ (<0.5 dB) นอกจากนี้ ยังสามารถทำงานได้มากกว่า 50,000 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง โดยคุณภาพสัญญาณยังคงเดิมอีกด้วย*

– *เทคโนโลยีการแยกแสงแบบระนาบที่มีฟังก์ชั่นการทำงานขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง*

(WDM Coupler) ดังเช่นอุปกรณ์ที่เรียกว่า WGR (waveguide grating router) เป็นอุปกรณ์ที่อาจจะยังไม่มีให้เห็นในเชิงพาณิชย์นัก แต่ก็ถือว่าน่าจะเป็นอุปกรณ์ในอนาคตของ FTTH ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเกี่ยวกับความเร็วในการสื่อสัญญาณและการทับซ้อนของระบบสื่อสัญญาณต่างชนิดกันโดยไม่รบกวนกัน ทำให้เชื่อมั่นได้ว่า FTTH เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน อีกทั้งยังมีเส้นทางในการพัฒนาไปได้อีกมากในอนาคต

• เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ หรือ PON (Passive Optical Network)

– ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการติดตั้งระบบสื่อสารมักเกี่ยวข้องกับงานข่ายสายตอนนอก ระบบ FTTH เป็นระบบที่อุปกรณ์ข่ายสายตอนนอกเป็นเครือข่ายเส้นใยนำแสงที่บรรจุข้อมูลได้มาก ทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลสำหรับผู้ใช้จำนวนมากผ่านเส้นใยนำแสงเพียงเส้นเดียวได้ในเส้นทางหลักของการสื่อข้อมูล จากนั้นจึงค่อยใช้ตัวแยกแสงทำการแยกข้อมูลไปยังบ้านผู้ใช้อีกทีหนึ่ง การที่โครงสร้างของระบบเป็นเช่นนี้จะทำให้ระบบมีราคาถูกลง เพราะเส้นใยนำแสงสามารถใช้เป็นเส้นทางร่วมของการสื่อสารข้อมูลได้ ประกอบกับตัวแยกแสง (เช่น คับเปลอร์ชนิด FBT) เป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ (passive) (หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องป้อนพลังงานจากภายนอกให้กับตัวอุปกรณ์) ซึ่งลักษณะเครือข่ายเช่นนี้เรียกว่าเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ หรือ PON (Passive Optical Network – ตัวย่ออ่านออกเสียงว่า "พอน") จึงทำให้ค่าใช้จ่ายของเครือข่าย FTTH มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับปริมาณข้อมูลที่ให้บริการ

– ระบบ FTTH สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีมัลติเพล็กซ์เชิงแสงหรือ WDM (Wavelength Division Multiplexing) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถสื่อสารข้อมูลต่างชนิดกันด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันไปในเส้นใยนำแสงเส้นเดียวกันได้ อันจะทำให้ปริมาณข้อมูลหรือความเร็วในการสื่อสารข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างมากตามตัวคูณของจำนวนความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ตัวอย่างเช่น เครือข่าย FTTH ที่ใช้แสงเพียงความยาวคลื่นเดียวให้บริการที่ความเร็ว 100 Mb/s หากทำการปรับปรุงส่วนของภาคส่งให้มีความยาวคลื่นแสงสำหรับสื่อสารได้พร้อมกันเป็นจำนวน 4 ความยาวคลื่น ระบบเดิมจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า หรือ 400 Mb/s ในทันที จากจุดนี้จะเห็นว่าระบบเครือข่ายของ FTTH สามารถพัฒนาให้เป็นแบบ PON-WDM ได้โดยแทบไม่ต้องไปปรับปรุงแก้ไขงานข่ายสายตอนนอกเลย จากรายงานในปัจจุบันพบว่า ระบบ FTTH ในเชิงพาณิชย์สามารถให้บริการเครือข่ายแบบ PON-WDM ที่ใช้ความยาวคลื่นแสงร่วมกันถึง 16 ความยาวคลื่นแสงกันแล้ว และมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้มีจำนวนมากขึ้นไปเรื่อยๆ

• การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบเอทีเอ็ม (ATM transport)

– แม้ว่า FTTH จะมีข้อดีในเรื่องของความน่าเชื่อถือและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล แต่การที่จะต้องให้บริการเครือข่ายที่มีผู้ใช้มากมายและหลากหลาย ทำให้มีข้อมูลหลากหลายชนิดเดินทางอยู่ในระบบ ปัญหาสำคัญในตอนนี้ก็คือทำอย่างไรที่จะทำให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน สามารถสื่อสารร่วมกันได้ในระบบเดียวกัน ซึ่งทางออกของปัญหานี้ก็คือการนำระบบสื่อสัญญาณแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) เข้ามาใช้บนเครือข่ายของ FTTH

– โปรโตคอลของ ATM เป็นโปรโตคอลที่มีความยืดหยุ่นสูง และเป็นที่นิยมใช้ในเครือข่ายสื่อสารทั่วไป ในระบบ ATM ข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเสียง ภาพ ข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรืออื่นๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะถูกทำให้เป็นข้อมูลดิจิตอลเหมือนกัน จากนั้นข้อมูลนี้จะถูกจัดกลุ่มเรียกว่าเซลล์

(cell) ก่อนถูกส่งออกไปยังปลายทางในลักษณะของการสื่อสัญญาณแบบแพ็กเก็ต (packet switching) ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบหลากหลายได้ในเครือข่ายเดียวกัน

– มาตรฐานทางเทคนิคของระบบ ATM ที่ใช้งานบนเครือข่าย PON (เรียกว่า ATM-PON หรือ APON) ถือเป็นมาตรฐานสากล รายละเอียดทางเทคนิคสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จาก ITU-T G.983

• การบีบอัดข้อมูลภาพ (Video Compression)

– ในบรรดาข้อมูลชนิดต่างๆ ที่ใช้สื่อสารกัน ข้อมูลภาพจัดว่าเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ แถบความกว้างความถี่หรือแบนด์วิดท์ (bandwidth) ของสัญญาณภาพเคลื่อนไหวมีค่าประมาณ 6 MHz และเมื่อผ่านกระบวนแปลงสัญญาณให้เป็นข้อมูลดิจิตอลตามปกติจะต้องใช้อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลถึง 96 Mb/s!! ซึ่งจะเห็นว่าการสื่อสารข้อมูลภาพเคลื่อนไหวผ่านเครือข่ายที่เป็นสายไฟทองแดงไม่สามารถทำได้เลย อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาเทคนิคการบีบอัดภาพให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถสื่อสารผ่านสายส่งที่มีแบนด์วิดท์แคบอย่างสายทองแดงได้ แต่ถ้าสังเกตให้ดี จะพบว่ารายละเอียดหลายอย่างขาดหายไป ภาพที่ได้อาจไม่ใช่ตามเวลาจริงร้อยเปอร์เซ็นต์ (มีหน่วงเวลาไปบ้าง) หรืออาจมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบไม่ต่อเนื่องจริงๆ (จุดนี้สังเกตได้ชัด หากปรับขยายจอภาพให้ใหญ่ขึ้น)

– แม้ว่าระบบ FTTH จะใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ซึ่งโดยปกติเส้นใยนำแสงมีแบนด์วิดท์สูงกว่าสายส่งทองแดงมาก แต่การออกแบบระบบสวิตชิ่งและหาเส้นทางที่ชุมสาย (ระบบ FTTH อาจเรียกส่วนชุมสายนี้เป็น CO–Central Office) ก็ยังคงเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยความเร็วต่ำกว่าความสามารถของเส้นใยนำแสงมาก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการควบคุมค่าใช้จ่ายของต้นทุน เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถจ่ายค่าบริการในอัตราที่สามารถจ่ายได้ตามสภาพเศรษฐกิจ ดังนั้น การสื่อสัญญาณภาพเคลื่อนไหวที่ต้องอาศัยความเร็วสูง จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเช่นเดียวกับสายส่งทองแดง อย่างไรก็ตาม การที่มีเส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาในการสื่อสัญญาณเลย โดยสิ่งที่ต้องสนใจก็คือคุณภาพของสัญญาณมากกว่า

– เทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณภาพในปัจจุบันได้พัฒนาไปมาก ตัวอย่างเช่น การบีบอัดภาพตามมาตรฐานของเทคนิค MPEG ซึ่งมีหลายระดับตั้งแต่ MPEG-1, MPEG-2, ... , MPEG-5, ... ทำให้สัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดมีขนาดเล็กลง ในขณะเดียวกันคุณภาพของสัญญาณที่ได้ก็เพิ่มขึ้น ในกรณีของมาตรฐาน MPEG-2 สามารถบีบอัดสัญญาณภาพลงมาได้เหลือเพียง 1.5 – 6 Mb/s โดยที่คุณภาพของภาพเคลื่อนไหวตามเวลาจริง (real time) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีทีเดียว ยิ่งไปกว่านั้น ในระบบของสัญญาณภาพความละเอียดสูงหรือ (HDTV–High Definition Television) ซึ่งมีขนาดของข้อมูลดิจิตอลอยู่ที่ 1 Gb/s สามารถใช้เทคโนโลยีของ MPEG บีบอัดลงได้เหลือเพียง 20 Mb/s เท่านั้น !! และที่สำคัญอุปกรณ์ที่เป็นชิพ (chip) ในการประมวลสัญญาณภาพ ก็มีราคาถูกลง และเมื่อต้องซื้อเป็นปริมาณมากเพื่อมาใช้ในระบบ FTTH ก็ยิ่งทำให้ต้นทุนรวมต่อปริมาณข้อมูลมีราคาไม่แพงเลย

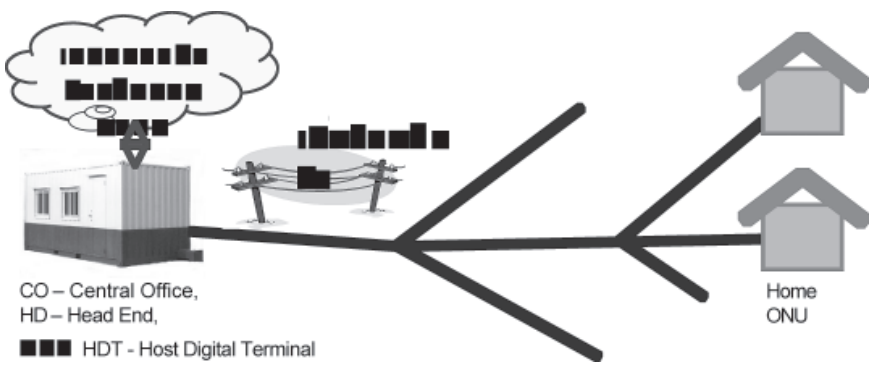
– ระบบ FTTH เป็นระบบที่สามารถสื่อสารสัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการบีบอัดภาพแบบดิจิตอลดังกล่าวได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร็วพื้นฐานของ FTTH ที่ประมาณ 100-150 Mb/s แล้วจะพบว่า ช่องสัญญาณมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสื่อสัญญาณภาพที่มีคุณภาพสูงได้อย่างสบาย หลายช่องพร้อมกัน อันจะทำให้การบริการข้อมูลเป็นไปอย่างไร้ขีดจำกัด

3. โครงสร้างทางเทคนิคของระบบ FTTH

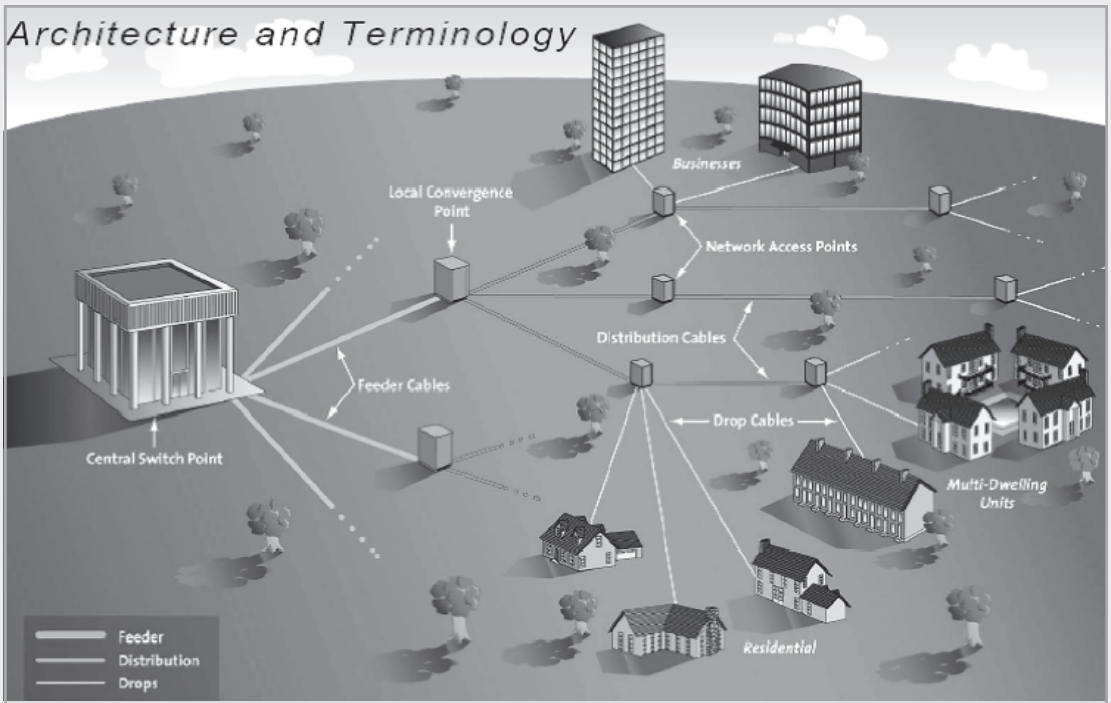
3.1 โครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างทางเทคนิคพื้นฐานของระบบ FTTH แสดงดังรูปที่ 3 หากเราจินตนาการถึงเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมทั่วไป ให้นึกถึงภาพคล้ายกลุ่มก้อนเมฆในรูป ซึ่งหมายถึงว่า โครงสร้างภายในโครงข่ายจะเป็นอะไรก็ตาม เราจะไม่สนใจ (เพราะมันคงซับซ้อนมาก) รู้แต่ว่ามันสามารถทำให้ข้อมูลเดินทางจากต้นทางไปถึงปลายทางได้ก็พอ ในระบบ FTTH จะมีชุมสายที่เป็นสำนักงานกลาง เรียกว่า **CO** (Central Office) หรือบางทีเรียกว่า **HDT** (Host Digital Terminal) หรือ **HD** (Head End) ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับสัญญาณการให้บริการไปยังผู้ใช้ที่อยู่ในเขตควบคุมของ CO อีกทั้งยังต้องทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับระบบสื่อสารโทรคมนาคม (กลุ่มก้อนเมฆในรูป) เพื่อรับส่งข้อมูลไปยังที่อื่นตามความต้องการของผู้ใช้

ภายใน CO จะประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ประมวลสัญญาณ เช่น ตัดต่อหรือสลับสาย (switching) จัดหาเส้นทางการเดินทางของข้อมูล (routing) และอื่นๆ ตามที่จำเป็น ระหว่าง CO กับบ้านผู้ใช้ เป็นงานข่ายสายตอนนอก ประกอบด้วยเส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังกลุ่มบ้านผู้ใช้ในลักษณะของการกระจาย (distribution) ไปยังชุมชนเข้าสู่บ้านผู้ใช้ตามลำดับ เส้นใยนำแสงที่ออกจาก CO ต้องมีความสามารถในการสื่อสัญญาณที่มีปริมาณข้อมูลมากๆ ได้ ส่วนของเคเบิลเส้นใยนำแสงส่วนนี้เรียกว่า **ฟีดเดอร์** (feeder) (ดูรูปที่ 4) เส้นทางเดินของสายส่งเส้นใยนำแสงจากฟีดเดอร์จะถูกแยกออกเป็นเส้นทางย่อยเพื่อส่งข้อมูลไปยังชุมชนต่างๆ ส่วนของเคเบิลเส้นใยนำแสงส่วนนี้เรียกว่า **ดิสตริบิวชั่น** (Distribution) ในแต่ละชุมชนหรือกลุ่มผู้ใช้ปลายทางจะมีตัวแยกข้อมูลส่งผ่านสายส่งเส้นใยนำแสงไปแต่ละบ้านโดยเฉพาะ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการเข้าถึง หรือ **แอกเซส** (access) และสายเคเบิลเส้นใยนำแสงในส่วนของ access นี้จะถูกเรียกว่าเป็น **drop cable** (ในทำนองเดียวกับระบบโทรศัพท์สายทองแดง) ด้านปลายของเส้นใยนำแสงที่เข้าไปยังบ้านผู้ใช้ จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่า **ONU** (Optical Network Unit) หรือบางคนเรียกว่า **ONT** (Optical Network



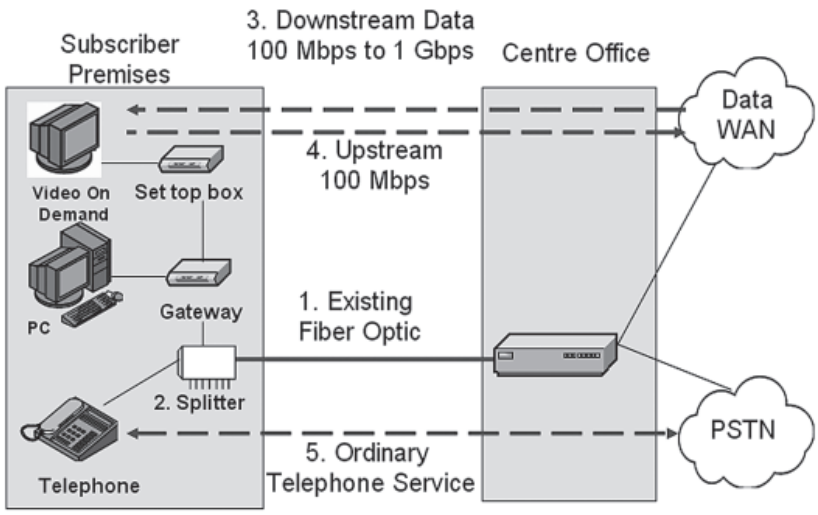
รูปที่ 3 โครงสร้างทางเทคนิคพื้นฐานของระบบ FTTH



รูปที่ 4 รายละเอียดโครงสร้างของ FTTH

Termination) เพื่อทำหน้าที่กระจายสัญญาณทั้งในรูปแบบของสัญญาณแสงและไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ใช้งาน ซึ่งอาจเป็น โทรศัพท์ โทรทัศน์ โทรสาร หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทั้งนี้จำนวนอุปกรณ์ใช้งานในบ้านของผู้ใช้อาจมีได้มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ ขึ้นกับปริมาณข้อมูล (ความเร็ว) ที่ใช้บริการ (จ่ายเงินมากก็ได้ข้อมูลมาก) และรูปแบบการให้บริการของผู้ให้บริการ (Operator)

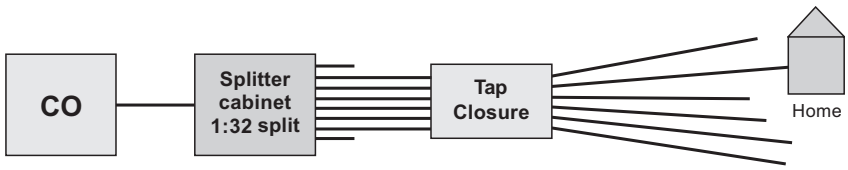
รูปแบบการส่งสัญญาณระหว่าง CO ไปยัง ONU ในบ้านผู้ใช้และการกระจายสัญญาณข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5 จะเห็นว่าผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องยกเลิกสายโทรศัพท์เดิมก็ได้ เพราะระบบโทรศัพท์เดิมที่ข้อมูลวิ่งอยู่บนเครือข่ายพื้นฐาน PSTN (Public Switching Telephone Network) ก็ยังคงทำงานตามปกติ แม้ว่า CO ของ FTTH จะมีการให้บริการโทรศัพท์ก็ตาม อุปกรณ์ ONU ภายในบ้าน อาจประกอบด้วยส่วนของตัวแยกสัญญาณและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมกับการต่อเชื่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าปลายทาง (เช่น โทรทัศน์ หรือคอมพิวเตอร์) เพื่อให้เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยปกติ การสื่อสารข้อมูลจาก CO ถึงบ้านผู้ใช้ซึ่งถือเป็นการสื่อสารข้อมูลขาลง (downstream) และจากบ้านผู้ใช้ไปยัง CO ซึ่งถือเป็นการสื่อสารข้อมูลขาขึ้น (upstream) มักมีค่าความเร็วแตกต่างกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 5 ที่แสดงถึงระบบที่มีความเร็วข้อมูลขาลง (downstream) เปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง 100 Mb/s–1 Gb/s ในขณะที่ความเร็วข้อมูลขาขึ้น (upstream) มีค่าไม่เกิน 100 Mb/s นอกจากนี้ระบบ FTTH ยังสามารถกำหนดให้ความยาวคลื่นแสงที่เป็นคลื่นพาห์ (carrier) ระหว่างการส่งข้อมูลขาลง (downstream) และขาขึ้น (upstream) มีค่าแตกต่างกัน หรือใช้ความยาวคลื่นเดียวกันก็ได้



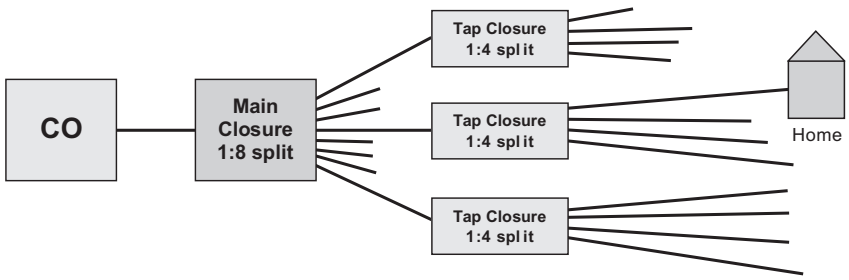
รูปที่ 5 รูปแบบการสื่อสัญญาณของ FTTH และการกระจายสัญญาณภายในบ้านผู้ใช้ (บล็อกซ้ายมือ)

3.2 รูปแบบการเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณ

โครงสร้างพื้นฐานสำคัญของระบบ FTTH เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงจาก CO ไปยังบ้านผู้ใช้ ยิ่งระบบ FTTH มีจำนวนบ้านผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่าไร ก็จำเป็นต้องเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงมากขึ้นเท่านั้น (ผู้ประกอบกิจการขายเคเบิลเส้นใยนำแสงน่าจะยิ้มออก) รูปแบบการเดินสายส่งสัญญาณจาก CO ไปยังบ้านผู้ใช้ มีลักษณะเป็นแบบ point-to-multipoint network (PTMPN) ซึ่งในระบบ FTTH สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) และแบบกระจาย (Distributed Splitting) ดังแสดงในรูปที่ 6 ในลักษณะของการเดินสายส่งแบบรวมศูนย์กลาง ระบบการแยกสายไปยังชุมชนต่างๆ จะถูกแยกไปในลักษณะ 1 สาย ต่อ 1 ชุมชน และเมื่อไปถึงชุมชนต่างๆ เส้นใยนำแสงจะถูกแบ่งแยกเข้าไปยังบ้านผู้เช่าอีกทีหนึ่ง เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ PON (Passive Optical Network) ที่ใช้ในระบบ FTTH อาจแบ่งแยกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกตามลักษณะของตัวแยกแสง (splitter) ที่ใช้ เช่น ระบบ PON ทั่วไปอาจใช้ตัวแยกแสงชนิด 1:4 หรือ 1:8 ระบบ EPON ใช้ตัวแยกชนิด 1:16 ในขณะที่ระบบ BPON ใช้ตัวแยกชนิด 1:32 โดยที่ระบบสามารถทำงานได้กับความยาวคลื่นแสงสูงสุดถึง 3 ความยาวคลื่น (1490 nm และ 1310 nm สำหรับข้อมูลเสียงและข้อมูลดิจิตอลที่เป็น data และ 1550 สำหรับข้อมูลภาพ) ที่ความเร็วสูงสุดประมาณ 622 Mb/s ปัจจุบัน เริ่มมีผู้ผลิตหลายรายพัฒนาระบบ GPON ขึ้นมา สำหรับทำงานกับตัวแยกแสง (splitter) ชนิด 1:64 ทั้งนี้ระบบ GPON ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสัญญาณสูงขึ้น มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงถึง 2.4 Gb/s อีกทั้งยังสามารถให้บริการไปยังบ้านผู้ใช้ที่อยู่ห่างไกลจาก CO มากกว่า 30 กิโลเมตรได้อีกด้วย



(ก) การแยกสายส่งสัญญาณแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting)



(ข) การแยกสายส่งสัญญาณแบบกระจาย (Distributed Splitting)

รูปที่ 6 รูปแบบการเชื่อมโยงสายส่งเคเบิลเส้นใยนำแสงในระบบ FTTH

การเดินสายส่งแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) มีข้อดี ดังนี้

- การทดสอบเครือข่ายเส้นใยนำแสงทำได้โดยง่าย
- การเปลี่ยนแปลงไปใช้ตัวแยกแสงที่มีอัตราส่วนการแยกมากขึ้น สามารถทำได้โดยง่าย
- มักใช้เป็นระบบพื้นฐานก่อนที่จะเปลี่ยนไปใช้ระบบอื่นในอนาคต

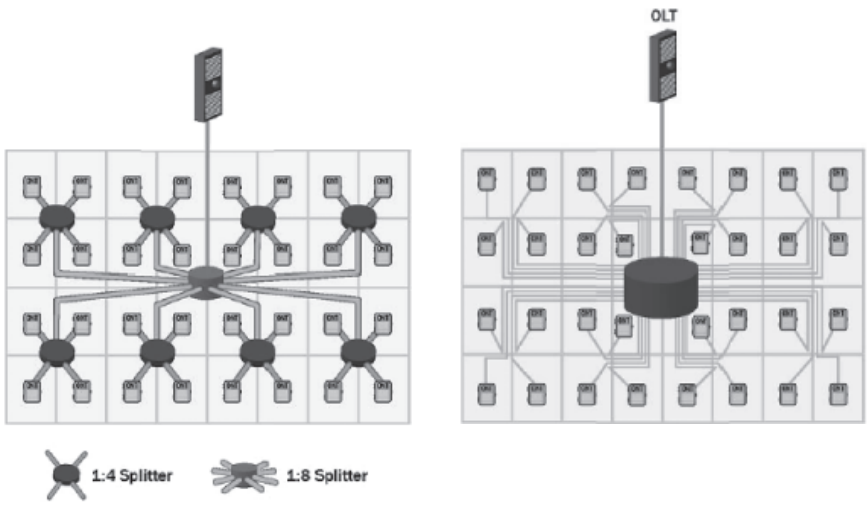
ส่วนการเดินสายส่งแบบการกระจาย (Distributed Splitting) มีข้อดีดังนี้

- ใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงน้อยกว่า ทำให้มีต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินการต่ำกว่า
- ค่าใช้จ่ายในส่วนของตู้แยก (cabinet) จะถูกกว่า เพราะส่วนใหญ่ตู้แยกมีขนาดเล็ก อีกทั้งสามารถใช้หัวต่อ (closure) สำหรับการเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ซึ่งมีราคาถูก ในตู้แยกได้

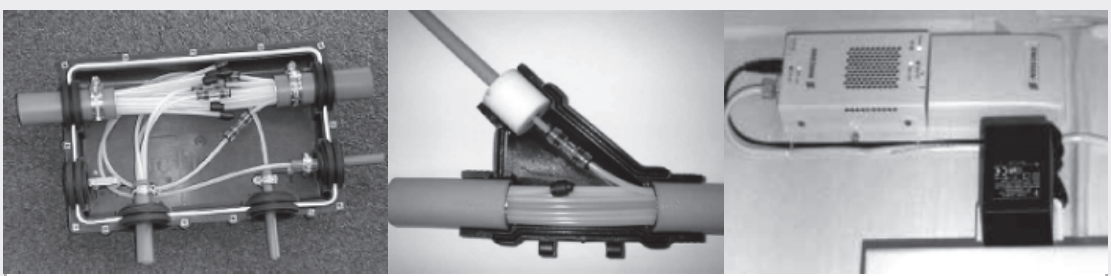
อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงสายส่งด้วยรูปแบบการกระจาย (Distributed Splitting) มีข้อด้อยตรงที่การทดสอบเครือข่ายมีต้นทุนเพิ่มขึ้น ทำให้การใช้งานโครงข่ายในอนาคตขาดความยืดหยุ่น ดังนั้น ผู้ให้บริการส่วนใหญ่จึงมักเลือกใช้รูปแบบของการเดินสายแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) ในเครือข่าย FTTH แม้ว่าราคาในการติดตั้งจะสูงกว่าก็ตาม

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการออกแบบเครือข่ายเชื่อมโยงของเคเบิลเส้นใยนำแสงทั้ง 2 รูปแบบเปรียบเทียบกัน ภาพด้านซ้ายแสดงรูปแบบการแยกเส้นทางสายส่งแบบกระจาย (Distributed Splitting)

ที่ใช้ตัวแยกแสงชนิด 1:8 และ 1:4 ต่อเรียงลำดับกันไป (คล้ายแบบ cascade) ในขณะที่ภาพด้านขวาแสดงรูปแบบการรวมศูนย์กลางเพื่อแยกเส้นทางไปยังบ้านผู้ใช้ (Centralized Splitting) โดยใช้ตัวแยกแสง (splitter) ชนิด 1x32 เพียงตัวเดียว จะเห็นว่าระบบมีความยุ่งยากน้อยกว่าแต่ต้องใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงมากกว่า (หมายเหตุ **OLT** ในรูปที่ 7 หมายถึง Optical Line Termination) ส่วนรูปที่ 8 แสดงภาพถ่ายของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ในระบบสายส่งของ FTTH



รูปที่ 7 ตัวอย่างการเชื่อมโยงสายส่งแบบรวมศูนย์กลางเพื่อกแยกเส้นทางไปยังผู้ใช้ (Centralized Splitting)



รูปที่ 8 ภาพตัวอย่างแสดงจุดต่อและแยกสายของเคเบิลเส้นใยนำแสง (ภาพซ้ายและภาพกลาง) และอุปกรณ์ ONU ภายในอาคาร (ภาพขวา)

3.3 เครือข่าย PON สำหรับ FTTH

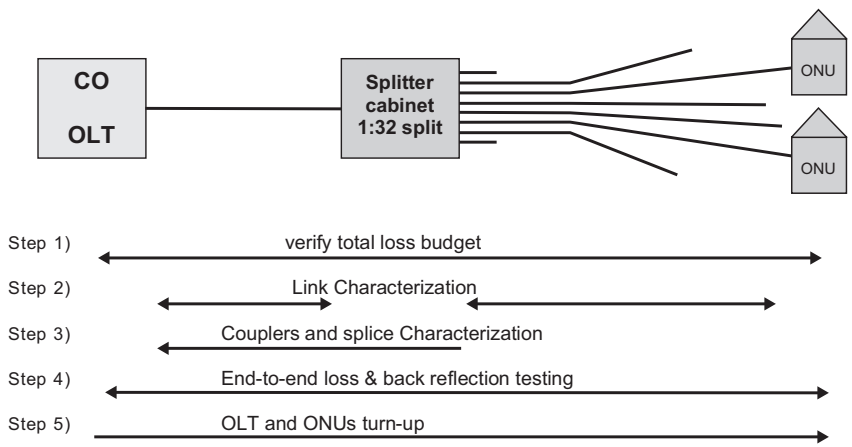
ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นว่า ระบบ FTTH ใช้เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ หรือ PON (Passive Optical Network) ที่สามารถให้บริการกับผู้ใช้ที่อยู่ห่างออกไปตั้งแต่ไม่กี่ร้อยเมตรไปถึงหลายกิโลเมตรได้ ดังรายละเอียดที่ได้แสดงไว้สำหรับ PON แบบต่างๆ ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดทางเทคนิคของระบบเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟหรือ PON แบบต่างๆ

ชนิด และ โปรโตรคอล	ความเร็ว และระยะทาง	สัดส่วน การแยกแสง	มาตรฐาน ที่ใช้	Power Budget	ชนิดของ เส้นใยนำแสง
BPON Broadband Passive Optical Network ATM	622 or 155 Mb/s Downstream 1490 nm 155 Mb/s upstream 1310 nm 20 km (max)	1:32 (max)	ITU G.983.3 2001	Class A Optics 20 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std. SMF)
GPON Gigabit capable Passive Optical Network ATM or Ethernet	2.488 or 1.244 Gb/s downstream 2.488 or 1.244 Gb/s or 622 Mb/s or 155 Mb/s upstream 60 km (max)	1:64 (max)	ITU G.984.2	Class A Optics 20 dB Class B Optics 25 dB Class C Optics 30 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std SMF)
EPON Ethernet Passive Optical Network	1.25 Gb/s downstream (D) and upstream (U) 1000BASE-PX10 10km 1000BASE-PX20 20 km	1:16 (nominal) 1:32 (permitted)	IEEE802.3ah	PX-10U 23 dB PX-10D 21 dB PX-20U 26 dB PX-20D 26 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std SMF)

3.4 แนวทางการทดสอบระบบสายส่ง FTTH

ระบบเครือข่าย FTTH ที่ติดตั้งแล้วเสร็จจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ การทดสอบเครือข่าย FTTH มีรูปแบบในทำนองเดียวกับการทดสอบระบบสายส่งเส้นใยนำแสงทั่วไป เนื่องจากระบบ FTTH เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ในเมืองไทย หัวข้อนี้จึงขอแนะนำหลักการเบื้องต้นในการทดสอบระบบสายส่ง FTTH ที่มีโครงสร้างอย่างง่าย ดังรูปที่ 9 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานต่อไป



รูปที่ 9 เครือข่ายเคเบิลเส้นใยนำแสงอย่างง่ายของระบบ FTTH

สมมุติเรามีระบบเครือข่าย FTTH แบบง่ายไม่ซับซ้อนดังรูปที่ 9 ขั้นตอนการทดสอบระบบเครือข่ายเชื่อมโยง อาจเป็นดังนี้

- **<u>ขั้นตอนที่ 1</u>** ตรวจสอบค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดในระบบสายส่ง (total budget) จาก CO ไปยัง ONU ที่บ้านของผู้ใช้แต่ละรายว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ทั้งนี้การทดสอบต้องเริ่มจากการทดสอบอุปกรณ์แต่ละตัวที่นำมาใช้ในเส้นทางเชื่อมโยงก่อนดำเนินการติดตั้งเชื่อมโยง ตัวอย่างเช่น

- ระบบ PON class-B ควรมีค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดในระบบสายส่งไม่เกิน 25 dB ในขณะที่ระบบ PON class-C มีค่าไม่เกิน 30 dB เป็นต้น

- ค่าการสูญเสียสัญญาณที่ตัวแยกแสงมักเป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณในระบบ ตัวอย่างเช่น ตัวแยกแสงชนิด 1:32 ควรมีค่าการสูญเสียสัญญาณไม่เกิน 16 dB

- สำหรับคับเปลอร์ชนิด WDM ควรมีค่าการลดทอนประมาณ 0.7 – 1 dB

- ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดของหัวต่อ (connector) และการเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ในระบบสายส่ง ควรมีค่าประมาณ 2-3 dB

- ค่าการลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยนำแสงมีค่าขึ้นกับความยาวคลื่นที่ใช้ และค่าความยาวรวมของสายส่ง (เช่น 0.33 dB/km @ 1310nm) ซึ่งจะส่งผลให้สายส่งในระบบ FTTH โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 4-20 กิโลเมตร

- หากมีการสื่อสารสัญญาณภาพ

แบบอนาล็อก ต้องคำนึงถึงค่าการลดทอนสัญญาณ การสะท้อนแสงตอนปลายเส้นใยนำแสง และค่าระยะทางสูงสุดระหว่างต้นทางกับปลายทางเป็นพิเศษ โดยทั่วไปค่าการลดทอน ณ จุดต่อที่ ONT ควรมีค่าประมาณ 3-5 dB

- ค่าการลดทอนสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงในระบบสายส่ง ต้องมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุด (loss budget หรือ power budget) ที่ได้ออกแบบไว้

• **ขั้นตอนที่ 2** ตรวจสอบคุณสมบัติของสายเชื่อมโยงแต่ละเส้น ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 9 สายเชื่อมโยงจาก OC ไปบ้านผู้เช่า 1 หลัง ประกอบด้วยสายเชื่อมโยง (link) 2 เส้น ในขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาว่าเส้นทางแต่ละเส้นประกอบด้วยสายเคเบิลกี่เส้นนำมาเชื่อมต่อกัน (สำหรับระยะทางที่ยาวกว่าความยาวเคเบิลที่ถูกผลิต) จากนั้นจึงทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นทุกเส้นที่นำมาใช้ ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเส้นใยนำแสงที่นำมาใช้ในระบบ FTTH ว่ามีค่าการลดทอนสัญญาณเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ การทดสอบอาจใช้โอทีดีอาร์ (OTDR) ตรวจสอบกับสายเคเบิลแต่ละเส้นในขณะที่ยังไม่มีการเชื่อมต่อใดๆ ในระบบเครือข่ายเลย

- ตัวอย่างเช่น ระบบ PON ที่เลือกใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงตามมาตรฐาน G.652C ค่าการลดทอนสัญญาณที่ตรวจสอบด้วย OTDR ควรมีค่าประมาณ 0.33 dB/km @ 1310 nm, 0.21 dB/km @ 1490 nm และ 0.19 dB/km @ 1550 nm เป็นต้น

- การพิจารณาตรวจสอบขนาดของคอร์ของเส้นใยแก้ว (เช่นค่ามากสุดและน้อยสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ตามสเป็ก) ก็ช่วยให้เกิดความมั่นใจได้ว่า การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วสามารถกระทำได้โดยมีค่าการลดทอนต่ำสุด (ดูรายละเอียดในบทที่ 7 ของเอกสารอ้างอิง [5])

- หากสามารถทำการทดสอบเมื่อเคเบิลเส้นใยนำแสงถูกจัดวางในเส้นทางที่กำหนดก่อนเชื่อมต่อ จะทำให้ทราบเงื่อนไขในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น เพราะในการติดตั้งบางครั้งอาจทำให้เคเบิลเส้นใยนำแสงมีค่าการโค้งงอไม่เป็นไปตามสเป็ก อีกทั้งบางกรณีอาจทำให้เกิด micro bending ซึ่งเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดค่าการลดทอนสัญญาณเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไป ค่าการสูญเสียสัญญาณที่เกิดจาก micro bending มักมีค่ามาก เมื่อใช้ความยาวคลื่นแสงที่มากขึ้น

• **ขั้นตอนที่ 3** ตรวจสอบคุณสมบัติของจุดเชื่อมต่อและจุดแยกสาย หลังจากที่ทำการเชื่อมต่อปลายสายเส้นใยนำแสงที่เดินมาจาก CO เข้ากับคับเปลอร์ที่ทำหน้าที่แยกสายแล้ว ควรทำการทดสอบค่าการสูญเสียสัญญาณและค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ที่จุดเชื่อมต่อนี้ ด้วย OTDR เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิตตามที่ได้ตรวจสอบในขั้นตอนที่ 1 ที่แต่ละเส้นทางขาออกของตัวแยกแสงที่ค่าความยาวคลื่น 1310, 1490 และ 1550 นาโนเมตร เทคนิคการตรวจวัดที่สำคัญต้องตั้งค่าการป้อนแสงของ OTDR ให้สามารถแสดงคุณสมบัติของตัวแยกแสงได้ มิฉะนั้นค่าการสูญเสียสัญญาณของตัวแยกแสงอาจอยู่ในช่วง dead zone ของ OTDR ซึ่งทำให้ไม่สามารถมองเห็นค่าที่ต้องการได้ อีกทั้งบางคนที่ไม่เข้าใจการทำงานของ OTDR อาจคิดว่าไม่มีค่าการสูญเสียสัญญาณเกิดขึ้นที่ตัวแยกแสง อันจะทำให้การติดตั้งและทดสอบมีความผิดพลาดได้

- ค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ของสัญญาณแสงที่จุดเชื่อมต่อของคับเปลอร์หรือตัวแยกแสง ควรมีค่าประมาณ -35 dB หรือดีกว่านี้ตามมาตรฐานของ ITU-T G.983.1

• **ขั้นตอนที่ 4** หลังจากทำการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงเข้ากับเส้นทางขาออกของตัวแยกแสง และเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงเข้ากับ ONU ที่บ้าน

ผู้ใช้แล้ว ต้องทำการทดสอบค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริงในระบบสายส่ง และในแต่ละส่วนย่อยในระบบ รวมถึงค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณแสง (backreflection) ทั้งหมดภายในระบบจาก CO ไปยัง ONU ที่บ้านของผู้ใช้แต่ละราย (end-to-end testing) ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบจะต้องกระทำทั้งสองด้านจาก CO มองเข้าไปในสายส่ง และจาก ONU มองย้อนกลับไปหา CO ที่ค่าความยาวคลื่น 1310, 1490, และ 1550 นาโนเมตร (nm)

- ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดในระบบ PON Class-B ต้องมีค่าไม่เกิน 25 dB

- ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดในระบบ PON Class-C ต้องมีค่าไม่เกิน 30 dB

- อย่าลืมว่าการใช้ OTDR เพื่อวัดค่าการสูญเสียสัญญาณของคับเปลอร์และตัวแยกแสง ต้องปรับค่าเริ่มต้นของ OTDR ให้สามารถวัดค่าต่างๆ ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ การใช้ OTDR ยังช่วยให้เราตรวจสอบระยะทางของระบบในแต่ละส่วนได้อีกด้วย

- ค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ในแต่ละจุดควรมีค่าเป็นไปตามที่กำหนด โดยทั่วไปเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ถ้ามีค่า -40 dB ถือว่าดีมาก อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ระหว่าง -30 ถึง -35 dB ถือว่าใช้ได้ แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า -30 dB ควรทำการแก้ไข

- ค่าการสูญเสียสัญญาณ ณ จุดเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ควรมีค่าต่ำกว่า 0.1 dB

- **<u>ขั้นตอนที่ 5</u>** หลังจากทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของเครือข่ายแล้ว ควรทำการตรวจสอบค่ากำลังงานแสงที่ตอนปลายของเส้นใยนำแสงก่อนส่งผ่านมาที่ ONU/ONT ให้มีค่าเป็นไปตามที่กำหนด โดยทั่วไปมักออกแบบให้มีค่า +4 dBm ก่อนส่งเข้า ONU ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบในทุกค่าความยาวคลื่นคือ 1310/1490/1550 นาโนเมตร

4. การให้บริการผ่านระบบ FTTH

การที่ระบบ FTTH ใช้เครือข่ายเส้นใยนำแสงต่อเชื่อมโยงเข้าสู่บ้านผู้ใช้โดยตรง ทำให้ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่สามารถเดินทางมาถึงผู้ใช้ด้วยความเร็วสูง ในยุคแรกของการสื่อสารโทรคมนาคม การสื่อสารจะทำรายได้จากการสนทนาผ่านระบบโทรศัพท์ ต่อมานักธุรกิจเริ่มเห็นความสำคัญของระบบสื่อสารมากกว่าที่จะใช้เพียงแค่การติดต่อสื่อสารโดยถือเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญที่ช่วยทำรายได้ให้กับภาคธุรกิจมากขึ้น จากจุดนี้เป็นเหตุให้เกิดรูปแบบในการให้บริการแบบต่างๆ ทั้งรูปแบบทางเทคนิคและรูปแบบของเนื้อหาข้อมูลที่ให้บริการ ยิ่งระบบสื่อสารโทรคมนาคมพัฒนาถึงขั้นไร้พรมแดนด้วยระบบสื่อสัญญาณความเร็วสูง ยิ่งทำให้ธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมมีสีสันมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 10 แสดงสัดส่วนรายได้ที่เกิดจากการทำธุรกิจบนเครือข่าย FTTH ในเขตพื้นที่บางแห่งในอเมริกา จะเห็นว่าในปี ค.ศ. 2005 สัดส่วนรายได้รวมมีค่าเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2002 เกือบเท่าตัว โดยที่รูปแบบของการให้บริการมีหลากหลายมากขึ้น ตัวอย่างเช่น

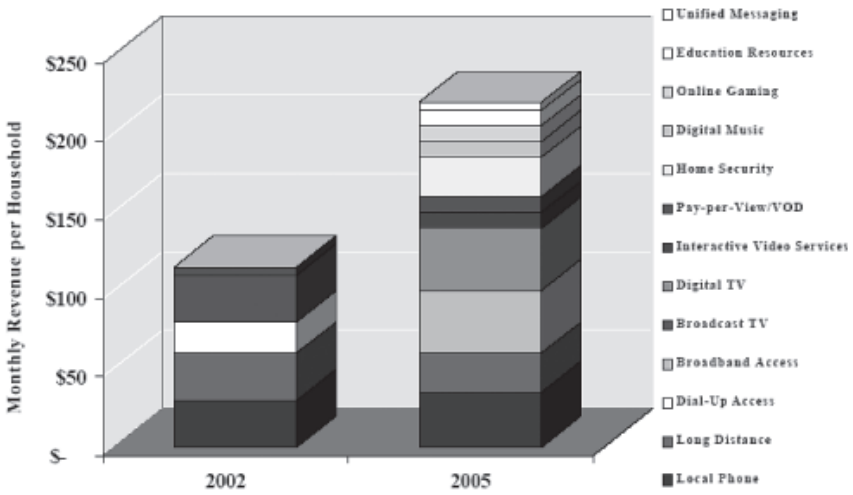
- การให้บริการโทรศัพท์ท้องถิ่นและโทรศัพท์ทางไกล

- การให้บริการข้อมูลชนิดบรอดแบนด์ รวมทั้งการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ซึ่งถือเป็นจุดขายหลักในปัจจุบัน

- การแพร่กระจายสัญญาณภาพไปยังสมาชิกเช่นเดียวกับระบบเคเบิลทีวี

- การให้บริการโทรทัศน์แบบดิจิตอล (digital TV) ซึ่งมีคุณสมบัติของภาพและเสียงดีกว่าระบบอนาล็อกในปัจจุบันมาก

- การให้บริการ Video on demand หรือ pay per view โดยที่ลูกค้าสามารถเลือกดูภาพยนตร์ที่ต้องการได้ตามเวลาที่ต้องการ



ที่มา: eMarket 2002

รูปที่ 10 กราฟแท่งเปรียบเทียบสัดส่วนรายได้ที่เกิดจากการทำธุรกิจบนเครือข่าย FTTH ในพื้นที่หนึ่งของอเมริกา

- การให้บริการระบบความปลอดภัยภายในบ้านพักอาศัย (Home Security) โดยการใช้กล้องทีวีวงจรปิดตรวจจับสัญญาณภาพภายในอาคาร แล้วส่งไปยังศูนย์บริการที่อยู่ห่างไกลออกไป ซึ่งมีเจ้าหน้าที่คอยตรวจสอบความผิดปกติอยู่ตลอดเวลา ช่วยให้เจ้าของบ้านอุ่นใจปลอดภัยมากขึ้น

- การให้บริการเพลงแบบดิจิตอล (digital music) ปัจจุบันคุณภาพเสียงที่ดี สามารถส่งผ่านระหว่างผู้สนใจในดนตรีผ่านระบบอินเทอร์เน็ต อย่างไรก็ตาม การสื่อสารผ่านระบบ FTTH ย่อมทำให้ได้คุณภาพเสียงที่ดียิ่งขึ้นไปอีก

- เกมส์ออนไลน์ (game online) เป็นบริการอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังมาแรงสามารถทำรายได้สูงมาก หากเกมส์นั้นได้รับความนิยมในหมู่คนจำนวนมาก

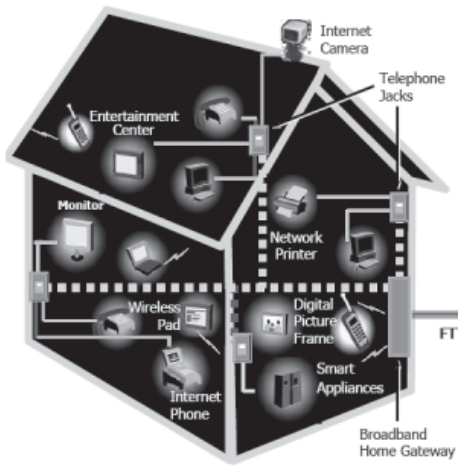
- การให้บริการในส่วนของระบบการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต หรือระบบ e-Learning ช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลมีความสะดวกมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเองอีกด้วย

- ระบบการแพทย์ทางไกล (Tele-medicine) ช่วยให้การวินิจฉัยโรค และการรักษาเบื้องต้น สามารถกระทำได้แม้ว่าผู้ป่วยและแพทย์ผู้เชี่ยวชาญจะอยู่ห่างไกลกันคนละซีกโลก

- ฯลฯ

5. บทสรุป

จากตัวอย่างของแนวทางการทำธุรกิจผ่านเครือข่ายความเร็วสูงเช่น FTTH ข้างต้น บางคนมองว่าอาจจะเป็นการให้บริการไปยังหน่วยงานมากกว่าการให้บริการแบบส่วนตัวไปยังบ้านพักอาศัย



รูปที่ 11 ตัวอย่างการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน จากข้อมูลที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย FTTH

ทีนี้ลองมาพิจารณารูปที่ 11 ซึ่งแสดงถึงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบต่างๆ โดยใช้การสื่อสัญญาณผ่านเครือข่าย FTTH จะเห็นว่ามีอุปกรณ์ต่างๆมากมายที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันส่วนบุคคล อีกทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกสบายและความเพลิดเพลินใจให้กับผู้ใช้ที่อาศัยอยู่ในบ้านได้อย่างดียิ่ง เช่น การใช้บริการอินเทอร์เน็ต การใช้โทรศัพท์ระบบ VoIP (Voice over IP) ผ่านอินเทอร์เน็ต (VDO over IP ก็กำลังจะมาแล้ว) ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าระบบปัจจุบันมาก การจัดทำห้องพักผ่อนแห่งความบันเทิง (Entertainment Center) ระบบเฝ้าระวังด้วยกล้องวงจรปิดผ่านเครือข่าย (Internet Camera) การรับส่งภาพดิจิตอล เป็นต้น ดังนั้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่า ระบบ FTTH จะช่วยทำให้ชีวิตประจำวันของคนเราเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเทคโนโลยีของ FTTH จะให้ความสมบูรณ์ในเรื่องของเทคนิค เส้นทางเดินของระบบ FTTH ในบ้านเรา คงต้องใช้เวลาในการเดินทางอีกระยะหนึ่ง ไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นสภาพเศรษฐกิจของสังคม ความพร้อมของโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน การส่งเสริมของภาครัฐ ทั้งในเรื่องของข้อกำหนดกฎระเบียบและการส่งเสริมอุตสาหกรรม ตลอดไปถึงพฤติกรรมและความพร้อมของประชาชนที่เป็นผู้บริโภค แต่แล้วในที่สุดเชื่อว่า FTTH ต้องเกิดขึ้นและเป็นที่ยอมรับของสังคมบ้านเราอย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะถึงวันนั้น การเตรียมความพร้อมในเรื่องของความรู้ความเข้าใจในวันนี้ ย่อมทำให้เกิดประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบในอนาคต และยังสร้างความได้เปรียบในเชิงธุรกิจอีกด้วยอย่างแน่นอน ◎

6. เอกสารอ้างอิง

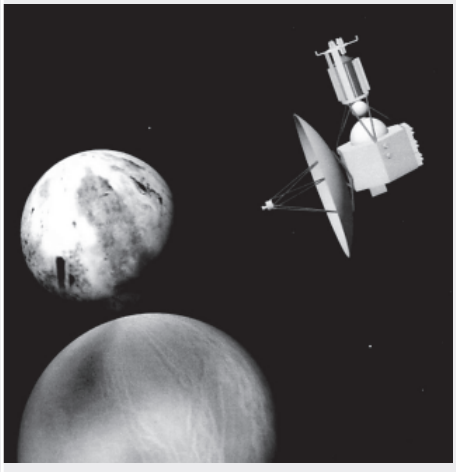
1. F. J. Effenberger and K. W. Lu, “An Overview of FTTH Networks — Past History, Current Status, and Future Designs”, SPIE Proceeding, vol. 2917, pp. 293-304
2. S. T. Wilkinson and Y. Nakano, “Fiber to the Home in the US and Japan: Differences and Opportunities”, Proceedings of 2004 FTTH Conference, pp. 1-7, 2004
3. www.alcatel.com/fttu
4. B. Perkians, “Optimal Splitter Placement in PONs”, Proceedings of 2004 FTTH Conference
5. อธิคม ฤกษบุตร, “เส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น”, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์ซีดับบลิวซี พริ้นติ้ง, พ.ศ. 2546
6. S. C. Chabot, “Fiber-Optic Testing Challenges in Point-to-Multipoint PON testing”, www.exfo.com
7. J. George, “Optical System Design Considerations for FTTP”, FTTH Conference, 2003
8. H. Serrander, “Report from a Broadband Society”, www.ericsson.com

เทคโนโลยีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจาก SDTV สู่ HDTV

นางสาวฉัตรเพชร บุณยเกตุ และนายปรีดา ศิลป์วิทยารักษ์
ผู้ชำนาญการด้านวิศวกรรมสื่อสาร บริษัท ชินแซทเทลไลท์ จำกัด (มหาชน)

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2471 ได้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์สำเร็จเป็นครั้งแรก ในระยะทางมากกว่าหนึ่งไมล์ในประเทศสหรัฐอเมริกา จากนั้นได้มีการพัฒนาการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านสื่อต่างๆ จนกระทั่งมีการแพร่กระจายสัญญาณผ่านดาวเทียมที่สามารถให้บริการข้ามทวีป และทั่วโลกได้ อย่างไรก็ตามเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีมากขึ้นทุกวัน ทั้งในด้านของคุณภาพของสัญญาณ และจำนวนช่องการส่งสัญญาณ จึงมีการพัฒนาระบบโทรทัศน์ ควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม



สำหรับการพัฒนาระบบโทรทัศน์ มีการพัฒนาจากระบบอนาล็อก ไปสู่ระบบดิจิตอลเพื่อพัฒนาคุณภาพของสัญญาณ และยิ่งไปกว่านั้นยังมีการพัฒนาในด้านความละเอียดของภาพ ยกตัวอย่างเช่น ระบบโทรทัศน์ความคมชัดสูง (HDTV: High Definition Television) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจ และการตอบรับในปัจจุบัน

ส่วนการพัฒนาเทคโนโลยีการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณที่มีข้อมูลมากๆ ในจำนวนช่องสัญญาณที่มีจำกัดของดาวเทียม จึงมีการพัฒนาการบีบอัดข้อมูล (Compression) และเพื่อให้มีความแม่นยำถูกต้องในการส่งสัญญาณ จึงมีการพัฒนาการเข้ารหัสในรูปแบบต่างๆ ซึ่งในที่สุดแล้ว จะทำให้สามารถแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ HDTV ที่มีข้อมูล และความละเอียดมากผ่านดาวเทียมได้

ในบทความนี้ จะได้นำเสนอวิวัฒนาการของสัญญาณโทรทัศน์ ทั้งมาตรฐานสัญญาณโทรทัศน์ปัจจุบัน (SDTV) ไปจนถึงมาตรฐานของสัญญาณโทรทัศน์ระบบ HDTV จากนั้นจะกล่าวถึงเทคโนโลยีการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม ทั้งระบบอนาล็อกและดิจิตอล

2. วิวัฒนาการของรูปแบบ และมาตรฐานของสัญญาณโทรทัศน์

2.1 มาตรฐานสัญญาณโทรทัศน์ (SDTV: Standard Definition TV) ระบบ NTSC และ PAL/SECAM

ถึงแม้ว่าองค์กร ATSC: Advanced Television Committee ซึ่งเป็นองค์กรที่พัฒนามาตรฐานระบบโทรทัศน์ดิจิตอล ให้คำนิยามของระบบ SDTV ว่าหมายถึง ระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล แต่อย่างไรก็ตาม ความละเอียดที่ได้จากระบบโทรทัศน์ดิจิตอลยังมีความใกล้เคียงกับระบบโทรทัศน์แบบอนาล็อกอยู่ และมีรูปแบบมาตรฐานที่พัฒนามาจากระบบอนาล็อก เนื่องจากต้องการคงโครงสร้างแบบเดิมไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลักการ interlaced ในระบบโทรทัศน์อนาล็อก โดยที่รูปแบบมาตรฐานของสัญญาณโทรทัศน์หลักๆ ในปัจจุบันสำหรับทั้งระบบโทรทัศน์แบบอนาล็อก และแบบดิจิตอลที่ใช้กันมีอยู่ 3 ระบบ ได้แก่ NTSC (National Television Systems Committee) ในสหรัฐเมริกา, PAL (Phase Alternation Line rate) ในยุโรป และ SECAM (Sequential Couleur avec Memoire) ในฝรั่งเศส และรัสเซีย เป็นต้น โดยมีข้อแตกต่างที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1. จำนวนเส้นแนวนอนในหนึ่งภาพ
2. จำนวนเฟรมในหนึ่งวินาที
3. ความกว้างของแบนด์วิดท์ที่ใช้

ทั้งสามระบบมี Aspect Ratio ที่ 4:3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของขนาดภาพแนวนอนต่อภาพแนวตั้ง

หลักการของสัญญาณโทรทัศน์ใช้หลักการ Interlaced คือ การสแกนภาพแต่ละ frame (เฟรม) จำนวน 2 ครั้ง ครั้งแรกจะสแกนแนวเส้นคี่ แล้วจากนั้นจะสแกนแนวเส้นคู่ ดังนั้นภาพหนึ่งเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 field (ฟิลด์) คือ เส้นแนวคู่ และ เส้นแนวคี่ ถึงแม้ว่าภาพแต่ละเฟรมจะแสดงภาพที่ไม่เหมือนกัน แต่เมื่อมาวางต่อกัน สมองของคนเราจะเห็นเป็นภาพรวมกันสมบูรณ์เป็นภาพหนึ่งเฟรมได้ แต่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดทอนคุณภาพของสัญญาณ

มาตรฐาน NTSC ย่อมาจาก National Television Standards Committee ซึ่งเป็นองค์กรที่รับผิดชอบในการจัดตั้งมาตรฐานของโทรทัศน์และวิดีโอในสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1953 มาตรฐาน NTSC ได้กำหนดอัตราการรีเฟรช อยู่ที่ 60 half-frames หรือ field (ฟิลด์) ต่อวินาที (interlaced) ในแต่ละเฟรมจะมี 525 เส้นแนวนอนซึ่งมีความละเอียด 427 พิกเซล และสามารถแยกสีที่แตกต่างกันได้ถึง 16 ล้านสีด้วยกัน อย่างไรก็ดี มาตรฐาน NTSC นี้ไม่สามารถต่อเชื่อมเข้ากันหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ เนื่องจากจอคอมพิวเตอร์นี้ใช้วิธีที่เรียกว่า progressive-scan ที่มีการรีเฟรชทุกๆ เฟรมเพียงครั้งเดียว

ลักษณะของระบบ Interlaced

ลักษณะของระบบ Progressive-scan

ถึงแม้ว่าเสถียรภาพของสีในระบบ NTSC นี้จะเป็นที่ยอมรับในระบบปิด นั่นคือการส่งสัญญาณโดยตรงจากวิดีโอสู่วิดีโอ แต่สำหรับการกระจายสัญญาณ (broadcast) นี้ มักจะเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนของสีเนื่องจากการสะท้อนและการเดินทางของสัญญาณ composite (multi-path signal effect). Engineers lovingly defined NTSC as actually meaning “Never The Same Color”.

มาตรฐาน PAL ย่อมาจาก Phase Altering Line เริ่มในปี ค.ศ. 1967 เป็นการพัฒนามาจากระบบ NTSC ในประเทศเยอรมัน และสามารถแก้ไขปัญหาการผิดเพี้ยนสีในการส่งกระจายสัญญาณได้ และเป็นมาตรฐานของสัญญาณโทรทัศน์ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ยกเว้น สหรัฐอเมริกา แคนนาดา และ ญี่ปุ่น เป็นต้น ส่วน**มาตรฐาน SECAM** ย่อมาจาก (Sequential Couleur avec Memoire) ซึ่งมีการทำงานคล้ายกับมาตรฐาน PAL โดยที่มีการกำหนดอัตราการรีเฟรชอยู่ที่ 50 half-frames หรือ field ต่อวินาที ซึ่งจำนวนฟิลด์ในหนึ่งวินาทีนี้เป็นตัวเลขที่สอดคล้องกับความถี่ของไฟฟ้าในประเทศนั้นๆ ในแต่ละเฟรมจะมี 625 เส้นแนวนอน ข้อดีของจำนวนเส้นที่มากกว่าระบบ NTSC จำนวน 100 เส้นนี้จะทำให้ได้ภาพที่มีความละเอียดและความคมชัดมากขึ้น แต่ระบบ PAL ก็มีข้อเสียของจำนวนฟิลด์ต่อวินาทีที่ลดลง ทำให้การกระพริบ (flicker) อาจถูกสังเกตเห็นได้

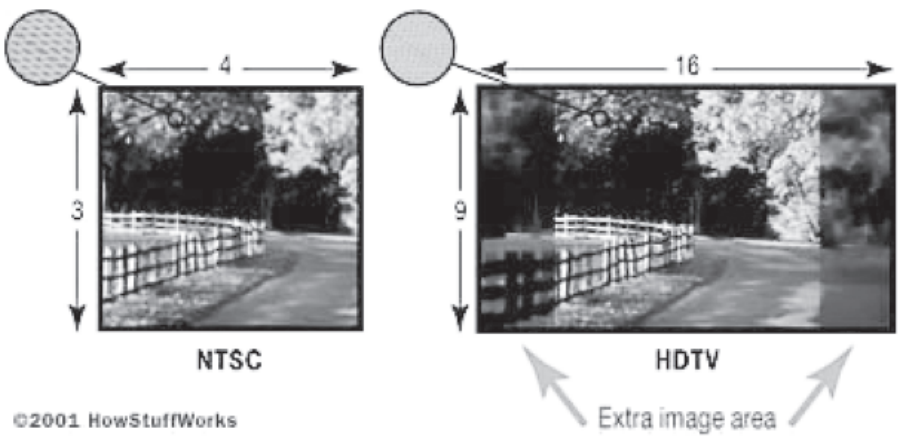
ในความเป็นจริงทั้งสองระบบจะมีการแสดงภาพด้วยจำนวนเส้นที่น้อยกว่าจำนวนเส้นที่กล่าวมาเล็กน้อย หรือที่เรียกว่า active line ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ 484 เส้นสำหรับระบบ NTSC และ 575 เส้นสำหรับระบบ PAL ซึ่งจำนวนเส้นที่ให้รายละเอียดมากขึ้นในระบบ PAL นี้ก็จะทำให้มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น โดยทั่วไประบบ NTSC มีแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ (video bandwidth) ประมาณ 4.2 เมกะเฮิรตซ์ ในการส่งสัญญาณโดยที่ไม่มีการบีบอัดข้อมูล ในขณะที่ระบบ PAL มีแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพประมาณ 5 เมกะเฮิรตซ์ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละประเทศ

SYSTEM	Lines	Active Lines	Vertical Resolution	Aspect Ratio	Horizontal Resolution	Frame Rate
NTSC	525	484	242	4:3	427	30
PAL	625	575	290	4:3	425	25
SECAM	625	575	290	4:3	465	25

2.2 มาตรฐานสัญญาณโทรทัศน์ ระบบโทรทัศน์ HDTV

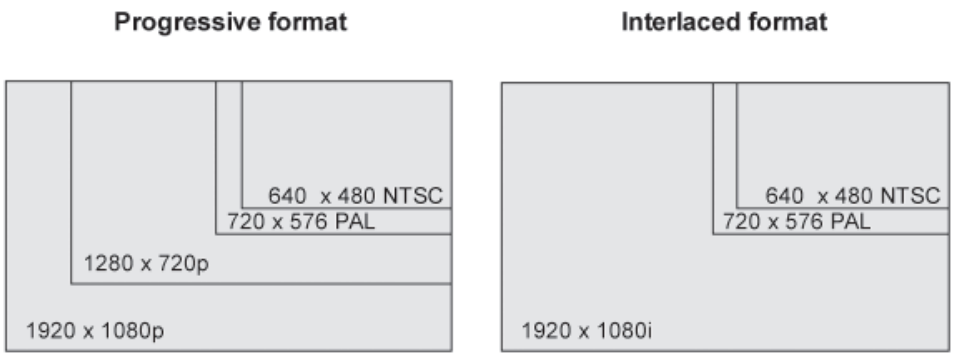
ระบบ HDTV เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงกระตุ้นมาจากภาพยนตร์จอกว้าง หลังจากที่ภาพยนตร์จอกว้างได้รับการนำเสนอไม่นานผู้ผลิตภาพยนตร์ได้ค้นพบว่าผู้ชมภาพยนตร์จอกว้าง ในแต่ละที่นั่งได้รับอรรถรส มีความรู้สึกของการเป็นส่วนหนึ่งของภาพยนตร์ (being there) ซึ่งไม่สามารถรับได้กับระบบภาพยนตร์ธรรมดา ในต้นปี ค.ศ. 1980 บริษัทโซนี่ และ NHK ได้แนะนำระบบโทรทัศน์ HDTV ให้กับผู้ผลิตภาพยนตร์

HDTV ย่อมาจาก High Definition Television ซึ่งหมายถึง การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความละเอียดสูงกว่าสัญญาณโทรทัศน์ในรูปแบบทั่วๆ ไป ของ NTSC, SECAM และ PAL ข้อแตกต่างหลักๆ ระหว่างสัญญาณโทรทัศน์ HDTV และสัญญาณโทรทัศน์โดยทั่วๆ ไปของระบบ NTSC, SECAM, PAL มี 3 ประการ ได้แก่



เปรียบเทียบมาตรฐานของจอกว้าง (Aspect ratio)
4:3 ของระบบ NTSC/PAL/SECAM กับ 16:9 ของระบบ HDTV

แหล่งที่มา: http://www.howstuffworks.com/hdtv.htm



เปรียบเทียบจำนวนพิกเซลของระบบ NTSC/PAL และ HDTV

1. ความละเอียดของภาพที่สูงขึ้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นข้อแตกต่างที่มีความเด่นชัดมาก

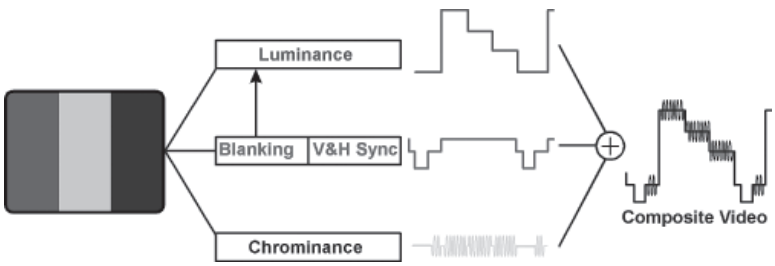
2. ใช้มาตรฐานของจอกว้าง (aspect ratio) 16:9 แทนที่ 4:3 ซึ่งทำให้ภาพเหมือนกับภาพที่ได้จากภาพยนตร์ (movie-like)

3. ความสามารถในการรองรับ Multi-Channel Audio เช่น ระบบ Dolby Digital

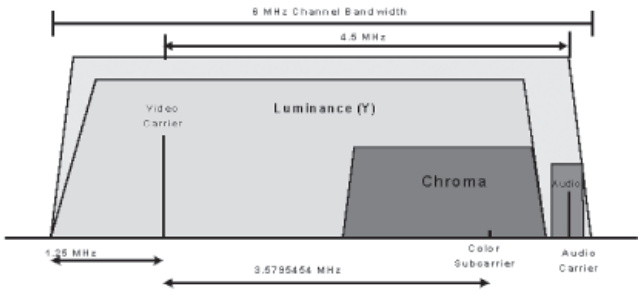
รายละเอียดของภาพสำหรับระบบดิจิตอลหมายถึง จำนวนพิกเซลของภาพ และสำหรับระบบอนาล็อกจะหมายถึงจำนวนเส้นแนวนอน สำหรับระบบ SDTV ที่ใช้รูปแบบ NTSC มีจำนวนพิกเซลอยู่ที่ 640 x 480i60 พิกเซล และรูปแบบ PAL หรือ SECAM มีจำนวนพิกเซลเท่ากับ 720 x 576i50 พิกเซล โดยที่ i แทนระบบ interlace แต่สำหรับระบบ HDTV ที่มีความละเอียดสูง จะมีจำนวนพิกเซลสูงสุดอยู่ที่ 1920 x 1080p60 พิกเซล โดยที่ p แทนระบบ progressive ซึ่งหมายความว่ามีจำนวน 1920 พิกเซลในหนึ่งแนวเส้นนอน โดยมีทั้งหมดเป็นจำนวน 1080 เส้น และมีการรีเฟรชแบบ progressive ด้วยอัตราเร็ว 60 เฟรมต่อวินาที นอกจากนี้มาตรฐานรูปแบบ HDTV ยังมีอีก ดังเช่น 1280 x 720p หรือ 1440 x 1080i เป็นต้น

2.3 การใช้งานแบนด์วิดท์ของสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ประกอบไปด้วยสัญญาณภาพ (composite video) และสัญญาณเสียง โดยที่สัญญาณภาพนี้จะประกอบไปด้วย 1) ข้อมูลของภาพขาวดำ หรือความสว่าง (luminance) 2) ข้อมูลสี (chroma) และ 3) สัญญาณควบคุมจังหวะ (sync information) สัญญาณภาพดังกล่าวจะถูกมอดูเลตที่ความถี่หนึ่งด้วยการมอดูเลตแบบ AM (Amplitude Modulation) และสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตที่อีกความถี่หนึ่งด้วยการมอดูเลตแบบ FM (Frequency Modulation) โดยทั้งหมดจะรวมกันอยู่ภายในแบนด์วิดท์ 6 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นแบนด์วิดท์มาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในปัจจุบัน



องค์ประกอบสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์



แถบความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์เมื่อได้มีการมอดูเลตแล้ว

สำหรับระบบอนาล็อก ในระบบ NTSC ที่มีจำนวนเส้น 252 เส้น และมีอัตราการรีเฟรชที่ 30 เฮิรตซ์ โดยที่มีรายละเอียดในจำนวนเส้นที่ประมาณ 427 พิกเซล จะให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพอยู่ที่ 3.5 เมกะเฮิรตซ์เท่านั้น ในขณะที่ระบบโทรทัศน์ดิจิตอล HDTV ซึ่งมีจำนวนเส้นมากถึง 1050 เส้น และมี 600 พิกเซลในแต่ละเส้น ที่อัตราการรีเฟรชเท่ากัน จะให้แบนด์วิดท์กว้างถึง 18 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งไม่สามารถส่งกระจายสัญญาณในแบนด์วิดท์มาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ขนาด 6 เมกะเฮิรตซ์ในปัจจุบันได้

การแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ด้วยระบบอนาล็อกนั้นยังมีปัญหาของคุณภาพสัญญาณอยู่มาก ทั้งในเรื่องของสีเพี้ยน สัญญาณรบกวนเกิดภาพซ้อน และเมื่อสัญญาณอ่อนก็อาจเกิดเป็นเม็ดในภาพที่เรียกว่า snow ได้ นอกจากนี้ปัญหาของสัญญาณรบกวนทำให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในเมืองเดียวกันไม่สามารถจะส่งสัญญาณที่ความถี่ใกล้เคียงกันได้ ต้องส่งช่องเว้นช่อง อย่างเช่น ในกรุงเทพฯ จะต้องส่งสัญญาณที่ช่อง 3 5 7 9 11 ซึ่งถ้าจะส่งช่อง 2 4 6 8 10 จะต้องส่งให้ห่างจากกรุงเทพฯ อย่างน้อย 200 กิโลเมตร โดยที่ปัญหาที่กล่าวมานี้ สามารถแก้ไขได้หมดในระบบสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล

ถึงแม้ว่าระบบ SDTV ที่เป็นระบบสัญญาณดิจิตอลแล้วนั้น จะมีความละเอียดไม่เท่ากับระบบ HDTV แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบอนาล็อก โดยระบบดิจิตอลนั้นจะมีการแทนแต่ละพิกเซลด้วยตัวเลข เช่น ในพิกเซลด้านบน

ซ้ายสุดที่เป็นภาพท้องฟ้าอาจถูกแทนที่ด้วยสีแดง 0 หน่วยสีเขียว 2 หน่วย และสีน้ำเงิน 255 หน่วย โดยจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ 0 และ 1 ในระบบสัญญาณดิจิตอล ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลที่ซ้ำๆ กันได้ จึงทำให้ระบบดิจิตอลมีการใช้งานแบนด์วิดท์ลดลง ข้อดีของแบนด์วิดท์ที่มีขนาดเล็กลงนี้คือ สามารถนำแบนด์วิดท์ไปใช้ให้บริการใหม่ๆ เช่น การแพร่ภาพหลายๆ ช่อง (multi channeling) การให้บริการ HDTV บริการโต้ตอบ (interactive service) ได้

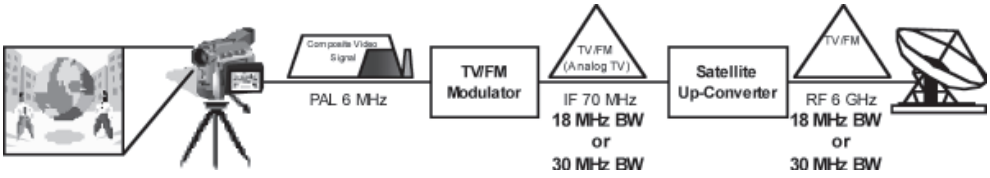
ด้วยวิวัฒนาการของระบบดิจิตอลดังกล่าว ได้เริ่มมีการนำระบบดิจิตอลมาแทนระบบอนาล็อก ยกตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกานั้นมีการวางแผนที่จะดำเนินการเปลี่ยนแปลงระบบแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้เป็นระบบดิจิตอลทั้งหมดในปี ค.ศ. 2009 อย่างไรก็ดี สำหรับประเทศไทยนั้น การแพร่กระจายสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์ ไปยังบ้านเรือนยังเป็นระบบอนาล็อกอยู่ และการปรับเปลี่ยนไปสู่ระบบดิจิตอลนั้นอาจต้องใช้เวลาอีกสักระยะหนึ่ง เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การลงทุนในการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานใหม่ การเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องรับโทรทัศน์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดิจิตอลได้ การเปลี่ยนแผนการจัดสรรคลื่นความถี่ของประเทศ เป็นต้น

3. วิวัฒนาการของการให้บริการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเป็นการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านสื่อกลางที่เป็นดาวเทียมแทนที่จะเป็นการกระจายผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดินหรือผ่านสายเคเบิ้ล ดาวเทียมดวงแรกที่ใช้เพื่อการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (satelltie TV broadcasting) คือ ดาวเทียม Telstar ของบริษัท AT&T ถูกส่งโดยองค์การ NASA เมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2505 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมครั้งแรกเป็นการส่งสัญญาณจากทวีปอเมริกาเหนือ ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกไปยังยุโรปผ่านยังดาวเทียม ทำให้ประชาชนในประเทศฝรั่งเศส และประเทศอังกฤษสามารถชมการแถลงการณ์ของประธานาธิบดีเคนเนดี้ได้ นอกจากนี้ยังทำให้ประชาชนในประเทศสหรัฐอเมริกาเองก็สามารถชมกระบวนการเปลี่ยนผลัดเวรทหาร (the changing of the guard) บริเวณหน้าพระราชวังบัคกิ้งแฮม ประเทศอังกฤษได้

ในปี พ.ศ. 2522 ได้เริ่มมีการนำระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมาใช้เพื่อแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ เข้ามาใช้ในประเทศไทย โดยมีการนำระบบดาวเทียมเข้ามาแพร่สัญญาณภาพ

ดาวเทียม TELSTAR ดาวเทียมที่ใช้ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์เป็นดวงแรก



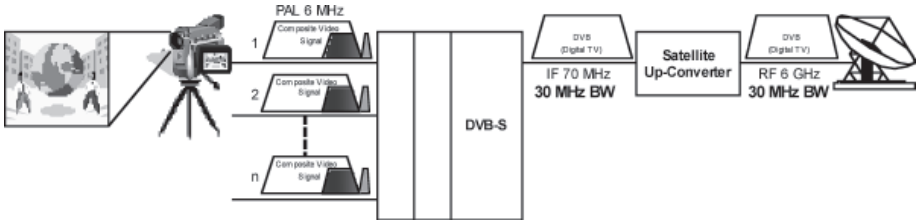
บล็อกไดอะแกรมการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในระบบอนาล็อก (TV-FM)

ไปยังสถานีทวนสัญญาณลูกข่าย เพื่อแพร่กระจายสัญญาณภาพที่ได้รับจากทางสถานีแม่ข่ายอีกครั้งในต่างจังหวัด ทำให้ประชาชนทั้งประเทศสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้พร้อมๆ กัน เทคโนโลยีการแพร่สัญญาณภาพผ่านดาวเทียมที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วงนั้นจะเป็นเทคโนโลยีแบบ Analog โดยการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์หนึ่งช่องนั้นจะใช้ Bandwidth ค่อนข้างมาก โดยจะใช้พื้นที่ประมาณ 1/2 หรือ 1 ช่องทรานสปอนเดอร์

แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบสัญญาณโทรทัศน์ (PAL/NTSC/SECAM) ให้มีการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมในรูปแบบของ Digital หรือเราเรียกมาตรฐานนี้ว่า DVB-S (Digital Video Broadcast-Satellite) ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะนำมาใช้งานผสมผสานร่วมกันกับเทคนิคการบีบอัดสัญญาณ (Data Compression) หรือ MPEG-2 (Motion Picture Experts Group-2) ซึ่งเป็นการบีบอัดข้อมูลที่อาศัยหลักการของการที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถสังเกตความคมชัดของภาพที่เคลื่อนไหวได้ การส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวทำให้ช่องสัญญาณดาวเทียมถูกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ 1 ช่องด้วย Bandwidth ลดลงจากระบบอนาล็อกถึง 4-6 เท่า

นอกจากนี้เรายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมด้วยการนำเอาเทคโนโลยี Multiplex มาทำหน้าที่ในการรวมช่องโทรทัศน์หลายๆ ช่องเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถส่งรายการต่างๆ หลายๆ รายการไปได้ในคราวเดียว อีกทั้งยังเป็นการใช้กำลังงานของช่องสัญญาณดาวเทียมได้อย่างเต็มที่ ดังบล็อกไดอะแกรมข้างล่างนี้

บล็อกไดอะแกรมการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในระบบดิจิตอล (DVB)



บล็อกไดอะแกรมการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในระบบดิจิตอล (DVB)
แบบ Multiple Carriers per Channel

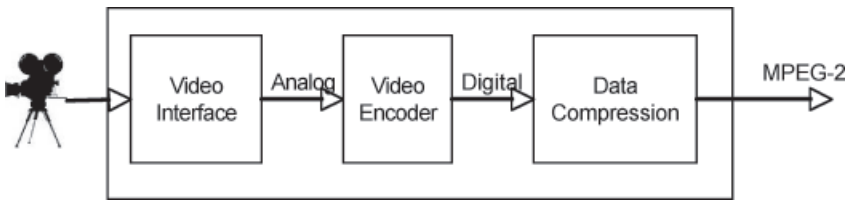
3.1 การบีบอัดข้อมูล (Data Compression)

หน้าที่หลักของ MPEG คือ การนำเอาสัญญาณอนาล็อก หรือสัญญาณดิจิตอลมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลในรูปแบบแพ็คเก็ต เพื่อให้มีการส่งผ่านไปยังเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น MPEG เป็นการพัฒนามาจาก JPEG (Joint Picture Expert Group) ซึ่งเป็นมาตรฐานของการบีบอัดภาพนิ่ง โดย MPEG นี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

MPEG-1 ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานกับวิดีโอที่ดูตามบ้าน หรือเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ VHS (Video Home System) ที่ใช้อัตราการส่งผ่านข้อมูลเพียง 1.5 MBPS ซึ่งไฟล์ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบนี้สามารถใช้เครื่องเล่น CD ทั่วไปอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ แต่ยังให้ภาพที่ค่อนข้างหยาบ สัญญาณสีแต่ละจุดไม่สามารถกำหนดเป็นสีที่ถูกต้องได้ ถ้าเป็นระบบที่ใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ช่วยในการถอดรหัสจะสามารถแสดงภาพที่ชัดเจนได้เต็มจอภาพ แต่ถ้าใช้ซอฟต์แวร์อย่างเดียวจะแสดงภาพที่ชัดเจนได้เพียงครึ่งจอภาพ

MPEG-2 ได้มีการกำหนดให้เป็น International Standard คือ ISO/IEC 13818 ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณภาพและเสียงสำหรับการแพร่กระจายผ่านทางดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง MPEG-2 นั้นถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมภาพยนตร์ หลักการบีบอัดข้อมูลนั้น เริ่มจากการที่ภาพจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ และจะคำนวณทีละหลายๆ ภาพเรียกว่า GOP (Group Of Picture) ซึ่งเป็นการมองภาพครั้งละ 8-24 ภาพ โดยจะดูจากภาพที่หนึ่งของ GOP เป็นหลัก จากนั้นคอมพิวเตอร์จะคำนวณผลเพื่อแทนค่าจุดสีต่างๆ และจะทำการเข้ารหัสภาพแล้วมองภาพถัดไป ว่ามีความแตกต่างจากภาพแรกที่จุดใด จากนั้นทำการเปรียบเทียบ และเก็บเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างของภาพไว้ในเฟรมนั้น ส่วนภาพต่อไปก็ทำการเปรียบเทียบกับภาพติดกัน แล้วเก็บส่วนต่างไว้เช่นกัน ทำให้สามารถลดข้อมูลที่ต้องการเก็บ และเก็บบันทึกข้อมูลที่ต้องการถอดรหัสได้

หลังจากที่ได้สัญญาณ MPEG-2 (transport stream) แล้ว เราจะนำเอาสัญญาณดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการเตรียมความพร้อมเพื่อส่งไปยังดาวเทียมและส่งต่อไปยังผู้รับปลายทางอีกครั้ง ซึ่งเราเรียกกระบวนการนี้ว่า ระบบการแพร่กระจายสัญญาณภาพดิจิตอล (Digital Video Broadcast หรือ DVB)



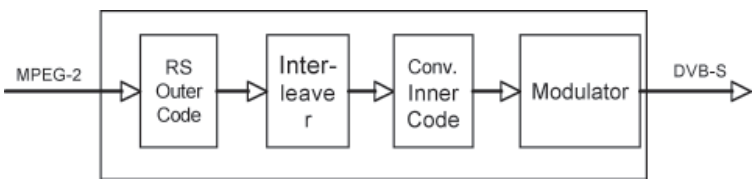
ภาพบล็อกไดอะแกรมของการบีบอัดสัญญาณ

แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนไปถึง MPEG-4 ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นมาตรฐานที่ใช้งานทางด้านมัลติมีเดียที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ต่ำ สามารถรวมภาพ เสียง และส่วนประกอบอื่นๆ ที่คอมพิวเตอร์สร้างขึ้นได้ ซึ่งมาตรฐาน MPEG-4 นี้จะใช้งานสำหรับมัลติมีเดียที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต เช่น VideoPhone และ Broadcast TV เป็นต้น

3.2 ระบบการแพร่กระจายสัญญาณภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (Digital Video Broadcast-Satellite หรือ DVB-S)

ในระบบการแพร่กระจายสัญญาณภาพดิจิตอล สัญญาณ MPEG-2 นี้จะถูกนำไปเข้ารหัสโดยแบ่งการเข้ารหัสเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ Outer Code-Reed Solomon และ Inner Code โดยที่ Outer Code-Reed Solomon จะรับข้อมูลจาก MPEG-2 จำนวน 188 ไบท์ แล้วทำการใส่รหัสแก้ไขความผิดพลาดเข้าไปเป็นจำนวน 16 ไบท์ (RS 188/204) ซึ่งจะสามารถแก้ไขค่าความผิดพลาด (BER: Bit Error Rate) จาก 10-4 ให้เป็น 10-10 ได้

หลังจากทำ Outer Code แล้ว ก็จะทำการเข้ารหัสอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า Inner Code ซึ่งเป็นการเข้ารหัสแบบ Convolution Coding โดย Bandwidth ของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการให้ภาครับมีค่าความผิดพลาดต่ำ เราจะต้องทำการเข้ารหัสตัวแก้ไขความผิดพลาดมาก ซึ่งจะทำให้ใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมากตามไปด้วย หลังจากเข้ารหัสเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สัญญาณดังกล่าวก็จะถูกนำไปมอดูเลต (modulate) กับคลื่นพาห์ (carrier) เพื่อส่งไปยังดาวเทียมต่อไป



ภาพบล็อกไดอะแกรมของ DVB-S

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนา DVB-S2 ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า DVB-S ถึง 30% โดยการปรับปรุงการเข้ารหัสให้มีความหลากหลายและให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าเดิม ทำให้การใช้งานทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมที่มีกำลังงานอยู่อย่างจำกัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็วสูงขึ้นโดยที่ยังคงคุณภาพของสัญญาณได้ นอกจากนี้ DVB-S2 ยังเพิ่มความสามารถในการปฏิสัมพันธ์ (Interactive Services) กับผู้ชมได้อีกด้วย

4. บทสรุป

การแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น และได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแบ่งการพัฒนาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีโทรทัศน์ เพื่อให้มีความละเอียด และความคมชัดมากขึ้น ส่วนที่ 2 การพัฒนาประสิทธิภาพการบีบอัดข้อมูล และส่วนที่ 3 การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมเพื่อให้มีการใช้งานทรัพยากรช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การพัฒนาสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ SDTV (PAL หรือ NTSC) นั้น มีการพัฒนามาจากระบบอนาล็อก สู่ระบบดิจิตอล ที่ให้คุณภาพสูงขึ้น โดยรายละเอียดของภาพยังคงไม่ต่างจากเดิม แต่ในแง่ของคุณภาพนั้นจะมีความคมชัดมากขึ้น การผิดเพี้ยนของสีลดลง สัญญาณรบกวนลดลง สำหรับการรับโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล (SDTV) ในปัจจุบันโดยใช้เครื่องรับโทรทัศน์แบบอนาล็อกซึ่งมีอยู่มากมายทั่วโลกนับพันล้านเครื่องนั้น สามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์เซททอป (set top box) กับเครื่องรับในระบบอนาล็อกธรรมดา เพื่อแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นอนาล็อกก่อน ต่อมาได้มีการพัฒนาสัญญาณโทรทัศน์ในแง่ของความละเอียดของภาพ โดยได้พัฒนาจากระบบ SDTV ไปสู่ระบบ HDTV ที่มีความคมชัดมากขึ้น แต่ต้องการแบนด์วิดท์กว้าง จึงทำให้ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล

สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลนั้น มีวิวัฒนาการเริ่มต้นมาจากการบีบอัดภาพนิ่ง หรือ JPEG นั่นเอง การพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถบีบอัดภาพเคลื่อนไหวเป็นผลสำเร็จ โดยมาตรฐานการบีบอัดภาพเคลื่อนไหว MPEG นี้ได้เริ่มจากมาตรฐาน MPEG-1 ซึ่งถูกพัฒนาสำหรับใช้งานกับวิดีโอที่ดูตามบ้านจนกระทั่งปัจจุบันนี้เรามีมาตรฐาน MPEG-2 ที่มีคุณสมบัติดีขึ้น และเหมาะสมกับการใช้งานแพร่สัญญาณภาพและเสียงผ่านดาวเทียม และในอีกไม่นานนี้มาตรฐาน MPEG ก็มีแนวโน้มที่จะพัฒนาคุณภาพดีขึ้นจนไปถึง MPEG-4

การพัฒนาการแพร่กระจายสัญญาณภาพและเสียงผ่านดาวเทียม หรือ Digital Video Broadcast-Satellite (DVB-S) ก็มีการพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาการบีบอัดสัญญาณภาพและเสียง ซึ่งในอนาคตอันใกล้นี้ ก็จะมีมาตรฐานใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งในส่วนของการใช้งานแบนด์วิดท์ และกำลังงานของตัวดาวเทียม ในมาตรฐาน DVB-S2 นั่นเอง

ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีโทรทัศน์ที่ทำให้ราคาของเครื่องรับโทรทัศน์ระบบ HDTV มีราคาต่ำลงอย่างมาก ประกอบทั้งความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีดาวเทียม การใช้งานดาวเทียม และการแข่งขันทางด้านราคาในปัจจุบันทำให้ค่าเช่าทรานสปอนเดอร์มีราคาเหมาะสมที่สามารถทำให้เริ่มมีการใช้ HDTV ผ่านดาวเทียมบ้างแล้ว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาจาก Northern Sky Research (NSR) ยืนยันความชัดเจนว่าเทคโนโลยี HDTV ที่เริ่มมีการใช้งานแล้วในประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย ในวงแคบๆ จะเริ่มแพร่ขยายมากขึ้น และจะเข้ามา

แทนที่เทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิตอลทั่วไปในที่สุด (Ref: Satmagazine.com, April 2005 - March 2006)

สำหรับประเทศไทย ดาวเทียมไทยคม 5 ที่ถูกส่งขึ้นไปยังอวกาศเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ที่ผ่านมานั้น มีศักยภาพที่สามารถให้บริการส่งสัญญาณในลักษณะส่งตรงถึงบ้าน หรือไดเร็กต์ทูโฮม สำหรับระบบ HDTV ได้ รวมทั้งอุปกรณ์เซททอป (set top box) ที่ได้เริ่มมีการพัฒนาสำหรับตลาดใหญ่ (mass product) ขึ้น ส่งผลให้อุปกรณ์มีราคาถูกลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้การขยายธุรกิจโทรทัศน์น่าจะมีแนวโน้มมากขึ้น โดยแนวโน้มของ HDTV น่าจะเริ่มมีความชัดเจนมากขึ้นในช่วงของการจัดการแข่งขันโอลิมปิกที่ประเทศจีน ปี ค.ศ. 2008 ◎

เอกสารอ้างอิง

1. www.mlesat.com/evolutio.html
2. www.atsc.org/standards/a_53e-with-Amend-1.pdf
3. www.thaitv3.com
4. www.en.wikipedia.org/wiki/HDTV
5. www.en.wikipedia.org/wiki/Satellie_televison
6. www.avdeals.ca/clsssroom/what_is_dtv_full.htm
7. www.howstuffworks.com/hdtv.htm
8. www.att.com/history/television/
9. www.videoexpert.home.att.net/artic3/253dtv.htm
10. www.cybercollege.com/dtv_stans.htm

เทคโนโลยีการสื่อสารทางแสง กับโครงข่ายในอนาคต

ดร. อนรรฆ มุทิตาเจริญ
ส่วนวางแผนและวิศวกรรมสื่อสัญญาณภายในประเทศ ฝ่ายวางแผนและวิศวกรรม
บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด

บทนำ

ในโลกวันนี้คงปฏิเสธไม่ได้ว่า การติดต่อสื่อสารเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคน ช่วงปีก่อนทศวรรษที่ 80 การสื่อสารส่วนใหญ่เชื่อมผ่านโทรศัพท์ซึ่งอาศัยสัญญาณไฟฟ้าผ่านเคเบิ้ลทองแดง หลังจากมีการค้นพบเคเบิ้ลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ในช่วงทศวรรษที่ 70 และนำมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์กำเนิดแสง Semiconductor Laser ที่สามารถทำการมอดดูเลชั่นที่ความเร็วสูงได้ หลังจากนั้นนักวิจัยหลายกลุ่มเริ่มสนใจพัฒนาใยแก้วนำแสงและตัวกำเนิดแสงเพื่อนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยสัญญาณแสง โดยหวังว่าการสื่อสารทางแสงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารมากกว่าสัญญาณไฟฟ้าผ่านเคเบิ้ลทองแดง ในช่วงทศวรรษที่ 80 ได้มีการนำเคเบิ้ลใยแก้วนำแสงมาใช้ในการสื่อสารอย่างจริงจัง ปัจจุบันนี้สัญญาณแสงสามารถรองรับจำนวนข้อมูล (Bandwidth) อย่างมหาศาล ซึ่ง Bandwidth ที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้สามารถ

รองรับบริการได้หลากหลายมากขึ้น ทุกวันนี้มีการนำสายเคเบิ้ลใยแก้วมาใช้ในโครงข่ายเพื่อทดแทนการใช้เคเบิ้ลทองแดง ไม่ว่าบริเวณจะเป็นแบบระยะทางไกล (Long Haul) ระหว่างจังหวัดหรือประเทศ หรือในเมือง (Metro) ที่มีปริมาณการใช้ Bandwidth สูง เพราะนอกจากจะสามารถรองรับ Bandwidth ได้มากกว่าแล้วยังสามารถลดต้นทุนของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาและเพิ่มคุณภาพการให้บริการ (QoS: Quality of Service) แก่ลูกค้าได้อีกด้วย

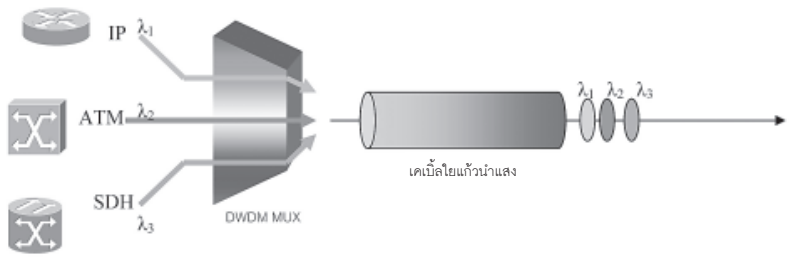
ปัจจุบันผู้ให้บริการด้านโทรคมนาคมได้ใช้โครงข่ายหลัก (Core Network) โดยการสื่อสารทางแสงผ่านเทคโนโลยีที่รู้จักกันว่า “Dense Wavelength Digital Multiplex” (DWDM) โดยเทคโนโลยี DWDM นี้สามารถรองรับ Bandwidth ได้มากกว่าโครงข่ายทองแดงกว่าแสนหรือล้านเท่า ทั้งนี้เทคโนโลยี ASON/GMPLS (Automatic Switched Optical Network/Generalized Mutiprotocol Label Switching) ได้ถูกนำมาใช้ร่วมในโครงข่ายหลักเพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพแก่โครงข่ายหลัก

การให้บริการในระดับ Last Mile แก่ผู้รับบริการที่ใช้โครงข่ายผ่าน Central Office ทุกวันนี้ยังใช้ทองแดงเป็นพื้นฐานหลัก ดังนั้น การให้บริการด้วยความเร็วสูงไปยังลูกค้าตามบ้านหรือบริษัทฯ และหน่วยงานต่างๆ ยังคงถูกจำกัดด้วยเทคโนโลยี XDSL และ Hybrid Fiber Coax (HFC) แม้ว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ที่อาจนำมาใช้แทนได้ เช่น Wireless Transmission ก็ยังคงมีข้อจำกัดที่ต้องใช้อุปกรณ์รับส่ง ดังนั้น การให้บริการสื่อสารทุกวันนี้ทำให้ผู้ให้บริการทางด้านโทรคมนาคมไม่สามารถให้บริการที่ต้องการ Bandwidth ที่สูงได้เช่น บริการ Triple Play (Voice, Video และ Data) ถึงแม้ดูเหมือนว่าการนำ Fiber Optic Cable มาใช้จะสามารถกำจัดปัญหาข้างต้นได้ ก็ยังติดปัญหาสำคัญอีกประการคือ ระบบการให้บริการผ่านสายเคเบิ้ลใยแก้วไปยังลูกค้าตามบ้านและบริษัทต่างๆ จำเป็นต้องมีการลงทุนสูงในการเชื่อมต่อสายเคเบิ้ลใยแก้วจากลูกค้าไปยัง Central Office การเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point ที่มีจำนวนมาก ต้องการใช้สายเคเบิ้ลใยแก้วและอุปกรณ์ที่เรียกว่า Active Component (อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดสัญญาณแสงด้วยการเปลี่ยนมาจากสัญญาณไฟฟ้า) เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษามากขึ้นตามไปด้วย ปัจจุบันเทคโนโลยี FTTx (Fiber-To-The-Home หรือ Fiber-To-The-Premises) ทำให้อุปสรรคเหล่านั้นหมดไป เนื่องจากเทคโนโลยี FTTx ใช้อุปกรณ์ชนิด Passive Optical Network (PON) (อุปกรณ์ที่สามารถส่งผ่านสัญญาณแสงไปยังปลายทางโดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณไฟฟ้า) ทำให้ลูกค้าหลายรายใช้การเชื่อมต่อร่วมกันได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ Active Component อีกต่อไป สายเคเบิ้ลใยแก้วซึ่งเดินมาจากอุปกรณ์ OLT (Optical Line Terminal) ที่ติดตั้งอยู่ที่ Central Office จะมาสิ้นสุดที่ FDH (Fiber Distribution Hub) และจาก Hub นั้นสายเคเบิ้ลใยแก้วจะถูกกระจายไปยังลูกค้าต่างๆ ที่ติดตั้งอุปกรณ์ ONT (Optical Network Terminal) ด้วยเทคโนโลยี FTTx ผู้ให้บริการสามารถลดต้นทุนในการเดินสายเคเบิ้ลจาก Central Office ไปยังลูกค้าแต่ละรายและไม่ต้องรองรับค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ในอนาคตเนื่องจากใช้อุปกรณ์แบบ PON อีกด้วย

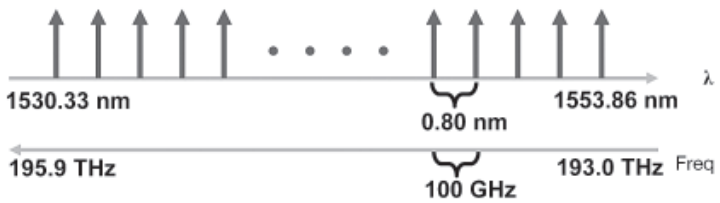
เทคโนโลยีอีกประเภทหนึ่งที่มีการพูดถึงกันมาก นั่นคือ NGN (Next Generation Network) เทคโนโลยี NGN เกิดขึ้นมาด้วยความหวังที่จะเป็นโครงข่ายใหม่ล่าสุดที่สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่โครงข่ายปัจจุบันมีอยู่ จุดประสงค์หลักของการนำโครงข่าย NGN มาใช้ในการให้บริการคือ การที่นำบริการต่างๆ ที่มีอยู่ให้มาอยู่ในระบบ/โครงข่าย (Platform) เดียวกัน นอกจากนี้โครงข่าย NGN ยังทำให้มีการประยุกต์ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อมารองรับบริการที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น FTTX, IPTV, VoIP ฯลฯ ผ่านโครงข่ายดังกล่าวอีกด้วย

โครงข่าย DWDM, CWDM และเทคโนโลยี GMPLS

โดยทั่วไปโครงข่ายทางแสง (Optical Network) ที่เป็นโครงข่ายหลักของผู้ให้บริการทางด้านโทรคมนาคม จะมี DWDM เป็นโครงข่ายพื้นฐานตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น โครงข่ายนี้ปัจจุบันสามารถรองรับความจุของข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก โดยใช้หลักการมัลติเพล็กซ์แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยทั่วไปแต่ละความยาวคลื่นจะสามารถรองรับความจุของข้อมูล ได้ที่ 2.5 Gbps หรือ 10 Gbps ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ โดยมีมาตรฐานของความยาวคลื่นที่กำหนดใน Recommendation ITU-T G.694.1 เพื่อให้อุปกรณ์ของแต่ละยี่ห้อสามารถเชื่อมต่อกันได้ โดยทั่วไปความยาวคลื่นที่ใช้ในการส่งสัญญาณแสงในโครงข่าย DWDM จะอยู่ระหว่าง 1530-1565 nm (C-band) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวเมื่อถูกส่งไปในเคเบิ้ลใยแก้วนำแสงแล้วจะมีค่าความลดทอนต่ำที่สุด ในอนาคตระบบ DWDM ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานที่ความยาวคลื่นระหว่าง 1565-1625 (L-band) อีกด้วยหากมีความต้องการในการใช้งานเพิ่มเติม นอกจากนี้โครงข่าย DWDM นั้นยังมีความสามารถในการรองรับ Protocol จากโครงข่ายชนิดต่างๆ กันได้ ไม่ว่าจะเป็น SONET SDH IP และ ATM และบริการบางชนิดยังสามารถผ่านโครงข่าย DWDM โดยตรงได้ เช่น ESCON FICON หรือ Fiber Channel



รูปที่ 1 แสงความสามารถของระบบ DWDM ในการมัลติเพล็กซ์บริการต่างๆ ของแต่ละความยาวคลื่นแสง เข้าไปในเคเบิ้ลใยแก้วเส้นเดียวกัน



รูปที่ 2 แสดง Wavelength Grid และ Channel Spacing ตามมาตรฐาน ITU-T สำหรับ C-Band

นอกจากระบบ DWDM ที่ถูกนำมาใช้เป็นโครงข่ายหลักของระบบโทรคมนาคมแล้ว ยังมีการมัลติเพล็กซ์แสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ผ่านเทคโนโลยีอีกชนิดที่เรียกว่า CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) ลักษณะของโครงข่าย CWDM จะคล้ายกับโครงข่าย DWDM เพียงแต่ระบบ CWDM นั้นใช้ความยาวคลื่นที่ไม่มีมาตรฐานรองรับแน่นอน ดังนั้น อุปกรณ์ CWDM อาจมีปัญหาในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างยี่ห้อกัน นอกจากนี้ CWDM ยังรองรับ Bandwidth ได้น้อยกว่าระบบ DWDM อีกด้วย เพราะระบบ CWDM มีระยะห่างระหว่างช่องความยาวคลื่น (Channel Spacing) มากกว่าระบบ DWDM ทำให้สามารถรองรับจำนวนช่องสัญญาณได้น้อยกว่า (โดยทั่วไปประมาณ 16 ช่องสัญญาณ) ระบบ CWDM ใช้งานที่ความยาวคลื่นประมาณ 1260 nm ดังนั้น ระบบ CWDM มักจะนิยมใช้สำหรับโครงข่ายในเมืองหรือระหว่างพื้นที่ที่ไม่กว้างมากแต่มีอัตราการใช้งานสูง (High Traffic)

เนื่องจากความต้องการใช้งานปริมาณ Bandwidth ที่เพิ่มมากขึ้น ผู้ให้บริการหลายรายจึงจำเป็นต้องมองหาช่องทางที่สามารถทำให้มีโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพ และสามารถรองรับบริการได้หลากหลายมากขึ้นซึ่งโครงข่ายนั้นไม่เพียงแต่จะต้องรองรับบริการใหม่ๆ ได้ แต่จะต้องรองรับบริการเดิมที่ผู้ให้บริการมีอยู่ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริการผ่านโครงข่าย SDH, IP, ATM และ DWDM ปัจจุบันโครงข่ายที่มีการพูดถึงกันนั้นเป็นโครงข่ายที่ใช้เทคโนโลยี ASON/GMPLS (Automatic Switched Optical Network และ Generalized Multiprotocol Label Switching) ซึ่งโครงข่ายนี้จะสามารถรองรับความต้องการในทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ราคา เสถียรภาพ และรองรับการขยายบริการเพิ่มเติมในอนาคตได้

โครงข่ายที่ใช้งานในปัจจุบันมีการป้องกันแบบวงแหวน (Ring Protection) ซึ่งหากเส้นทางที่ใช้งานเกิดเสียหายระบบจะทำการเปลี่ยนเส้นทางการเดินไปอีกทางหนึ่งแบบอัตโนมัติ ในประเทศไทยสายเคเบิ้ลที่ใช้งานส่วนมากจะถูกแขวนเอาไว้บนเสาไฟฟ้าซึ่งเสี่ยงต่อการขาดหากมีอุบัติเหตุหรือมีรถบรรทุกเกี่ยวสายหรือเกิดภัยธรรมชาติ อุบัติเหตุที่เกิดกับระบบ DWDM เช่น สายเคเบิ้ลขาด สถานีติดตั้งอุปกรณ์เสียหาย แม้แต่ความผิดพลาดในการใช้งานจากผู้ใช้งานเอง จะก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างร้ายแรงเพราะระบบมีการส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก ด้วยโครงข่ายที่ใช้เทคโนโลยี ASON และ GMPLS Routing Protocol จะทำให้การป้องกันเปลี่ยนจาก Ring เป็น Mesh ทำให้ระบบรองรับความเสียหายได้ดีกว่าระบบเดิม นอกจากนี้เทคโนโลยี ASON/GMPLS ยังเพิ่มการป้องกันให้มีหลากหลายวิธีมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นแบบ Pre-computed, Dynamic Restoration, หรือ M:N ดังนั้นเทคโนโลยีดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งและเสถียรภาพ ให้กับโครงข่ายหลักและทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมสามารถเพิ่ม SLA ให้แก่ระบบอีกด้วย

ปัญหาอีกประการหนึ่งในโครงข่ายปัจจุบัน คือ เรื่องการใช้งานจัดวงจรแก่ลูกค้า เนื่องจากการจัดวงจรต้องใช้บุคลากรในการเลือกเส้นทางให้แก่ลูกค้าด้วยมือ การจัดวงจรบางครั้งใช้เวลาเป็นสัปดาห์และบ่อยครั้งต้องใช้ระบบจัดการ (Management System) ของอุปกรณ์หลายยี่ห้อร่วมกันในการจัดวงจรแต่ละวงจร นอกจากนี้ระบบจัดการยังเป็นแบบ บนลงล่าง (Top-down System) ซึ่งระบบฐานข้อมูลจะถูกเพิ่มเติมด้วยมือ เป็นเหตุให้ไม่มีการอัพเดตฐานข้อมูลอย่างสม่ำเสมอและมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง เทคโนโลยี ASON จะเพิ่มความฉลาดให้กับโครงข่ายทำให้โครงข่ายจัดวงจรได้โดยอัตโนมัติโดยการใช้ Intelligent

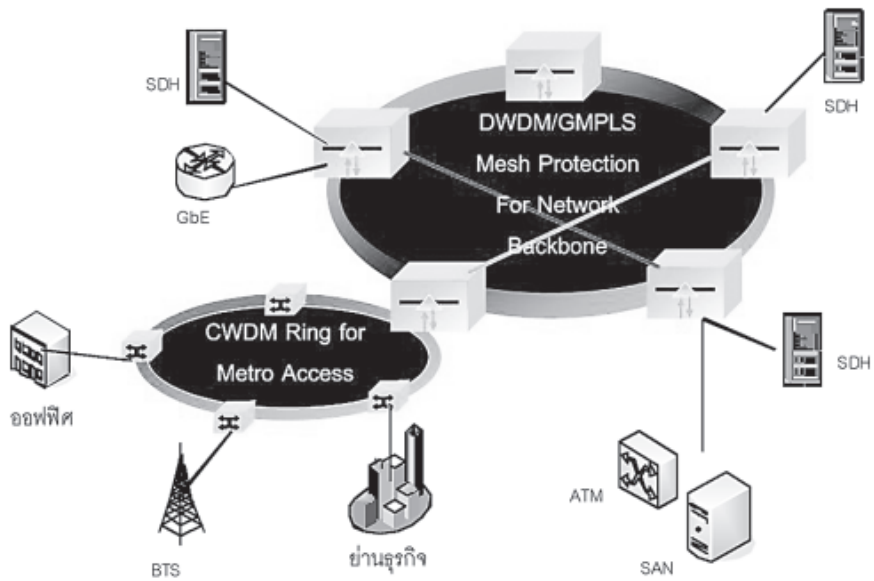
Control Plane โดยเทคโนโลยี ASON จะเพิ่มความฉลาดให้แก่อุปกรณ์แต่ละตัว ทำให้อุปกรณ์แต่ละตัวทำตัวเสมือนเป็นฐานข้อมูลเองแทนระบบจัดการ เทคโนโลยี ASON ปัจจุบันบรรจุอยู่ในมาตรฐาน ITU-T G.8080 IETF (GMPLS) และ OIF I-NNI U-NNI และ UNI

นอกจากนี้เทคโนโลยี ASON ยังช่วยลดต้นทุนในการจัดการและรองรับการขยายในอนาคต Signaling และ Routing Protocol ใน Control Plane จะทำให้เกิดการกระจายข้อมูลของโครงข่ายไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในโครงข่ายและก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานดังต่อไปนี้

- การจัดการวงจรสามารถทำได้อย่างรวดเร็วเพียงไม่กี่นาทีโดยแทบไม่ต้องใช้คน
- มีฐานข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำและทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

ว่ากันว่าการนำเทคโนโลยี ASON/GMPLS มาใช้ในโครงข่ายจะสามารถลดต้นทุนด้าน Capex ลงได้ถึง 60 เปอร์เซนต์และต้นทุนด้าน Opex ลงได้ถึง 34 เปอร์เซนต์

บริการใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นผ่านเทคโนโลยี ASON คือ BoD (Bandwidth on Demand) และ OVPN (Optical Virtual Private Network) บริการ BoD ทำให้ลูกค้ามีความยืดหยุ่นในการเลือก Bandwidth ให้เหมาะกับความต้องการของลูกค้าเองโดยไม่ต้องผ่านผู้ให้บริการในการเลือกเปลี่ยน Bandwidth ให้สำหรับบริการ OVPN ผู้ให้บริการจะจัดระบบที่มีความปลอดภัยแก่กลุ่มลูกค้าที่ใช้โครงข่าย ASON/GMPLS OVPN เพื่อรองรับการใช้งานของลูกค้าต่างๆ เช่น โครงข่าย Edge Router ของ ISP, การซื้อขาย Bandwidth ระหว่างผู้ให้บริการโทรคมนาคมหรือ WANs สำหรับบริษัทฯ หน่วยงานต่างๆ

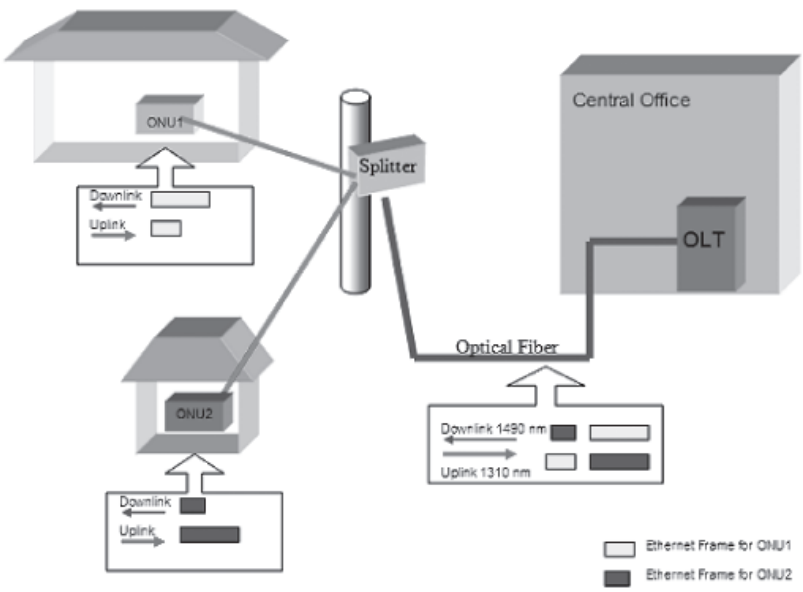


รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างโครงข่าย DWDM CWDM และ ASON/GMPLS

เทคโนโลยี FTTx

เทคโนโลยี FTTx เริ่มมีการทดลองใช้ในปี 1997 โดยบริษัท NTT ที่ประเทศญี่ปุ่นเริ่มทดลองให้บริการแบบ PDS (Passive Double Star) แก่ผู้ทดลองใช้ด้วยความเร็ว 10 Mbps ต่อมาในปี 2004 บริษัท NTT เริ่มให้บริการเต็มรูปแบบด้วยเทคโนโลยี FTTH ที่รองรับความเร็ว 1 Gbps บริษัท NTT นั้นได้ใช้อุปกรณ์ชนิด Gigabit Ethernet-passive Optical Network (GE-PON) ซึ่งใช้เทคโนโลยี Gigabit Ethernet บริการ FTTH ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งประสบความสำเร็จอย่างสูง ข้อมูลทางการตลาดแสดงว่าในกลางปี 2005 ญี่ปุ่นมีลูกค้า Broadband กว่า 21 ล้านคนและ 3.9 ล้านคนใช้สาย FTTH ซึ่งจำนวนดังกล่าวมากกว่าลูกค้าที่ใช้ Cable Internet และเป็นที่สองรองจากลูกค้าที่ใช้บริการผ่าน ADSL และปลายปี 2005 อัตราการเติบโตของ FTTH มากกว่าอัตราการเติบโตของบริการ ADSL เรียบร้อยแล้ว เป็นการแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี FTTH เริ่มที่จะเข้ามาแทนที่ บริการ Broadband ผ่าน ADSL และ Cable Internet อย่างแน่นอน นอกจากนี้ NTT คาดว่าในปี 2010 จะมีผู้ใช้บริการ FTTH มากกว่า 30 ล้านราย

ในปี 1995 British Telecom, Bell South, Bell Canada, NTT และบริษัทต่างๆ ทางด้าน Telecommunications ได้ร่วมกันก่อตั้ง FSAN (Full-Service Access Network) เพื่อร่วมกันทำระบบที่มีมาตรฐาน ให้เหมาะกับการพัฒนาอุปกรณ์ปลายทาง (Access-network) และต่อมา The International Telecommunication Union (ITU)



รูปที่ 4 การใช้งานของอุปกรณ์ OLT และ ONT

ได้รับเอาข้อกำหนดของ FSAN มาเข้าเป็นหนึ่งใน Recommendation โดยฉบับแรกที่เกี่ยวเนื่องกับเทคโนโลยี FTTx คือ ITU-T G.983.1 ซึ่งเป็นข้อกำหนดของ ATM-base PONs ได้กลายมาเป็นระบบมาตรฐานที่นานาชาติยอมรับในปี 1998

ระบบ PON ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ OLT ที่ติดตั้งที่ Central Office และ ONT ที่ผู้รับบริการ โดย OLT จะส่งสัญญาณแสงเพื่อให้บริการเสียง และข้อมูล ที่หน้าต่างความยาวคลื่น 1490 nm และ ONT จะส่งสัญญาณ Upstream ที่ความยาวคลื่นแสง 1310 nm ด้วยความยาวคลื่นที่ต่างกันระหว่าง Downstream และ Upstream ทำให้ FTTx สามารถรับ/ส่งข้อมูลโดยใช้เคเบิ้ลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว โดยข้อมูลจะไม่ทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4

เทคโนโลยี FTTx แบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5

เทคโนโลยี FTTx สามารถรองรับ Bandwidth ต่างๆ กันได้แล้วแต่ความต้องการของลูกค้า โดยทั่วไปจะรองรับ Bandwidth ที่ความเร็ว 155 Mbps (STM-1), 622 Mbps (STM-4), 1 Gbps, และ 2.5 Gbps เทคโนโลยี FTTx แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ เช่น ATM-PON, BPON, GE-PON และ EPON ซึ่ง ITU แบ่งเทคโนโลยี FTTx ออกตามชนิดของ Protocol ที่ใช้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

รูปที่ 5 ชนิดของสถาปัตยกรรม FTTx

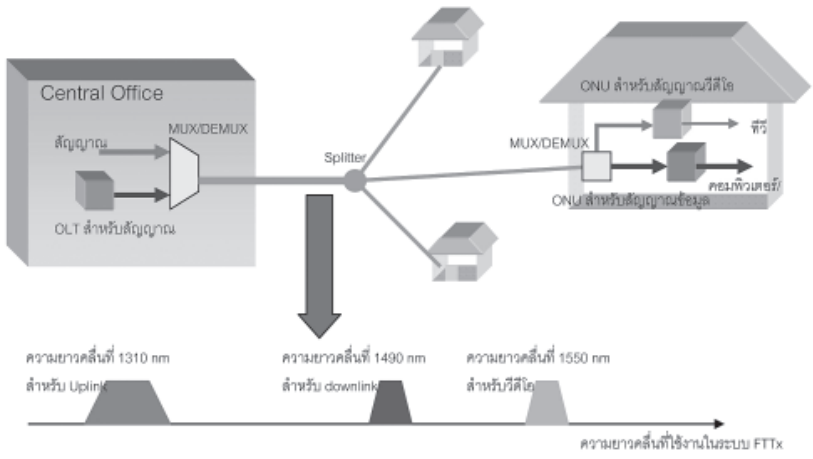
ตารางที่ 1 ชนิดของ PONs

ชนิด	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)	EPON (Eternet PON)
Protocol	ATM	ATM	ATM and GEM (GPON Encapsulated Method)	Ethernet
มาตรฐาน	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3	ITU-T G.984	IEEE802.3ah
ความเร็ว	Symmetric: 155/622 Mbps Asymmetric: Down:622 Mbps Up:155 Mbps	Symmetric: 155/622 Mbps Asymmetric: Down:622 Mbps Up:155 Mbps	Symmetric: 1244/488 Mbps Asymmetric Down:1244/488 Mbps Up:155/622/1244 Mbps	Symmetric: 1.25 Gbps
Split Ratio	Up to 32	Up to 32	Up to 64	Up to 32
ระยะทาง	20 km	20 km	20 km	10 km (single fiber), 20 km (dual fiber)

สำหรับการให้บริการ Video ผ่านระบบ PON ปัจจุบันสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือ การใช้เทคโนโลยี Wavelength Multiplexing และอีกวิธีคือ การใช้การสื่อสารแบบ IP ในการใช้ Wavelength Multiplexing สัญญาณ Video จะถูกส่งผ่านไปยังปลายทางด้วยความยาวคลื่นที่ต่างจากที่ใช้ในบริการเสียง (Voice) และข้อมูล (Data) ทั้งสองความยาวคลื่นจะถูกมัลติเพล็กซ์และส่งไปยังลูกค้าผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน สำหรับการให้บริการ Video ผ่านการสื่อสารแบบ IP สัญญาณ Video และข้อมูลจะถูกส่งไปผ่านไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกัน

เนื่องจากสัญญาณสำหรับการให้บริการข้อมูล (Data) และ Video ใช้ความยาวคลื่นที่ต่างกัน ดังนั้น สัญญาณที่ส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกันจะไม่เกิดการรบกวนกัน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 ITU-T ได้กำหนดการใช้ Wavelength Multiplexing สำหรับระบบ PON ไว้ใน Recommendation G.983.3 และเนื่องจาก G983.3 เริ่มแรกถูกกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของ B-PON Standard ทำให้บริการ Video สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ปลายทางที่เป็นทั้งระบบ B-PON และ GE-PON

สัญญาณวิดีโอที่ใช้ให้บริการในระบบ FTTx จะถูกมอดดูเลชั่นได้สองวิธี วิธีแรกคือ การมอดดูเลชั่นโดยตรงโดยต้นกำเนิดแสงจะถูกมอดดูเลชั่นโดยตรงจากสัญญาณไฟฟ้าของวิดีโอที่ Bandwidth 770 MHz ซึ่งเป็นที่ใช้กันโดยทั่วไปในระบบโทรทัศน์ถ้าเคเบิ้ลทีวีใช้การมอดดูเลชั่นแบบ 64 QAM แต่ละ Carrier จะสามารถรองรับความเร็วที่ 30 เมกะบิตต่อวินาที นั่นหมายความว่า แต่ละ Carrier สามารถรองรับทีวีมาตรฐานได้ 4 ถึง 5 ช่อง หรือ 1 ช่องของทีวีที่มีความคมชัดสูง (High Definition TV) ดังนั้นระบบจะรองรับทีวีได้รวมทั้งหมดประมาณ 500 ช่องของทีวีมาตรฐาน วิธีการมอดดูเลชั่นอีกวิธีคือ Frequency Modulation (FM) โดยจะมีการแปลงสัญญาณวิดีโอเป็นสัญญาณ FM (ตาม



รูปที่ 6 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณวิดีโอกับสัญญาณข้อมูลในระบบ FTTx

มาตรฐาน ITU-T, J.185) ที่มีความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 3 GHz และนำสัญญาณ FM นั้นมามอดดูเลตต้นกำเนิดแสงกลายเป็นสัญญาณแสงของวิดีโอส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง

สำหรับการส่งสัญญาณวิดีโอผ่านการสื่อสารแบบ IP นั้นข้อมูลของบริการวิดีโอจะถูกส่งไปในช่องสัญญาณเดียวกับข้อมูลอื่นๆ ซึ่งการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่า IPTV แต่ข้อเสียของการส่งสัญญาณวิดีโอแบบนี้คือ IPTV ของแต่ละบริษัทฯจะมีการทำงานไม่เหมือนกัน ดังนั้นผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องซื้อ Set Top Box (STB) จากผู้ให้บริการเท่านั้น นอกจากนี้สัญญาณวิดีโอถูกส่งไปพร้อมกับข้อมูลบริการอื่นๆ ดังนั้น ระบบจำเป็นต้องมี Quality of Service (QoS) ในการกำหนดคุณภาพของบริการวิดีโอด้วย

เทคโนโลยี NGN

เมื่อระบบอินเทอร์เน็ตได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีการนำระบบ IP ซึ่งอยู่บนสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบ Packet-based มาใช้ในการรับส่งข้อมูลจากบริการต่างๆ ข้อดีอย่างหนึ่งของการส่งผ่านข้อมูลแบบ Packet-based คือ ทำให้มีการใช้ Bandwidth อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะข้อมูลของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีการใช้ Bandwidth ร่วมกัน อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบอย่างหนึ่งของการส่งผ่านข้อมูลแบบ Packet-based คือ คุณภาพการให้บริการเพราะไม่สามารถควบคุมได้ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น หากจะมีการนำโครงข่ายแบบ Packet-based มาใช้นำการรองรับบริการทุกประเภท จึงจำเป็นที่จะต้องมีโครงข่ายที่สามารถควบคุมคุณภาพการให้บริการได้ ซึ่งปัจจุบันโครงข่ายที่ใช้กันคือ IP/MPLS ด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวข้อมูลจากบริการ IP ต่างๆ จะถูกเพิ่ม Label เพื่อกำหนดลักษณะของข้อมูล เช่น ชนิดของบริการ จุดหมายปลายทาง และคุณภาพของบริการควรเป็นเช่นไร เพื่อทำให้โครงข่าย IP นั้นสามารถจำแนกชนิดและคุณภาพในการให้บริการได้

Next Generation Network หรือ NGN นั้นเป็นโครงข่ายที่รองรับบริการต่างๆที่อยู่ในลักษณะ IP Packet-based ประโยชน์หลักๆ ที่ทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมสนใจที่จะนำโครงข่าย NGN มาใช้ คือ

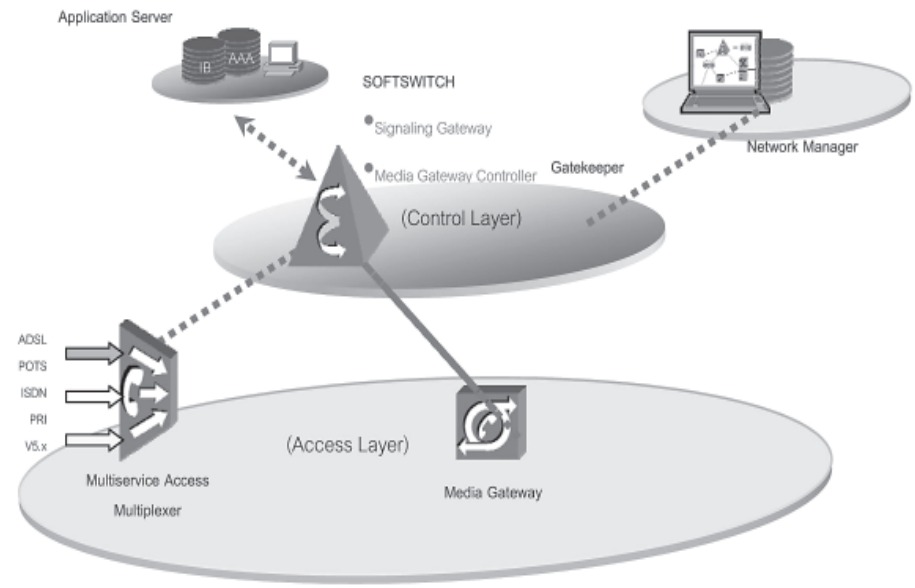
- NGN สามารถรองรับการให้บริการเสียงผ่านระบบ VoIP (Voice over IP) โดยที่ไม่ต้องอาศัยสวิทช์ทำให้ลดต้นทุนไปได้

- NGN ทำให้บริการต่างๆ มาอยู่ในระบบ/โครงข่าย (Platform) เดียว ไม่ว่าจะเป็นบริการแบบใช้สาย (Wireline), ไร้สาย (Wireless: CDMA, GSM, และ 3G) และข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Packet เข้าด้วยกันเพื่อให้บริการ เสียง ข้อมูล และมัลติมีเดีย

- โครงข่าย NGN ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องมีการแบ่งลำดับชั้นต่างๆ (Hierarchy) เหมือนโครงข่ายโทรศัพท์ดั้งเดิม

สถาปัตยกรรมของโครงข่าย NGN เป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 7

ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 7 โครงข่าย NGN ประกอบไปด้วย 3 ระดับ (Layers) โดย Access Layer เป็นระดับล่างสุดซึ่งประกอบไปด้วย MG (Media Gateway) ทำหน้าที่เป็น Converter ในการเปลี่ยนโปรโตคอลจากโครงข่ายอื่นๆที่เชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย NGN นอกจากนี้ MG ยังทำหน้าที่ในการส่งบริการต่างๆ ไปยังผู้รับบริการ ไม่ว่าเป็นบริการเสียง ข้อมูล หรือวิดีโอ MG ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน IETF RFC 3015 MG และมี



รูปที่ 7 สถาปัตยกรรม NGN

อินเตอร์เฟสต่างๆ สำหรับเชื่อมต่อกับโครงข่ายแต่ละชนิด เช่น STM-1 สำหรับโครงข่าย SDH, E1 สำหรับโครงข่าย PSTN, และ Ethernet/FE/GigE สำหรับโครงข่าย IP Layer ถัดมาในโครงข่าย NGN คือ Control Layer ซึ่งมีอุปกรณ์หลักที่เรียกว่า Softswitch ซึ่งประกอบไปด้วย MGC (MG Controller) และ SG (Signaling Gateway) SG ทำหน้าที่ในการจัด Signaling ของข้อมูลต่างๆ ให้อยู่มาตรฐาน SS7 โดยทั่วไป SG สามารถรองรับอินเตอร์เฟสแบบ SIGTRAN (มาตรฐาน IETF SS7 สำหรับการใช้โทรศัพท์บน IP) และ IP Proxy Function (SIP) ส่วน MGC ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวควบคุมหลักของ MG และจัดการลงทะเบียนอุปกรณ์ปลายทางให้อยู่ในโครงข่าย NGN สำหรับ Layer สุดท้ายของโครงข่าย NGN คือ Application และ Management Layer ซึ่งประกอบไปด้วย Application Server ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลต่างๆ ของระบบ เก็บข้อมูลของโครงข่าย จำนวนและค่าใช้จ่ายในการใช้งานของลูกค้า และยังทำหน้าที่ AAA (Authentication, Authorization, Accounting) ของผู้รับบริการในเครือข่ายอีกด้วย

การนำบริการ VoIP มาใช้แทนที่บริการ PSTN เป็นเป้าหมายหลักอย่างหนึ่งของผู้ให้บริการโทรคมนาคมเพราะสามารถลดต้นทุนได้ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นหลักๆ ที่ต้องคำนึงถึงหากผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะนำโครงข่าย NGN มาใช้ในการให้บริการ VoIP แทนบริการ PSTN แบบเต็มรูปแบบ ดังต่อไปนี้

- Reliability: VoIP มักจะถูกเปรียบเทียบกับบริการ PSTN ในด้านของราคาที่ถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ราคาที่ถูกลงของอุปกรณ์ด้าน PSTN ทำให้ประโยชน์ข้อนี้ไม่ชัดเจนมากนัก

- Quality of Service (QoS): เพื่อที่ทำให้บริการผ่าน Internet สามารถกำหนด QoS ได้

- มีการนำเสนอเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาใช้ เช่น Integrated Services Model, The Differentiate Service Model, MPLS อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ในโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่อย่างแท้จริง

- AAA, Security และ NAT/Firewall: ความปลอดภัยและ AAA เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการควบคุม QoS และการให้บริการ VoIP อย่างไรก็ตาม หากนำ VoIP ไปให้บริการแก่บริษัทต่างๆ ที่มีการติดตั้ง NAT/Firewall ผู้ให้บริการจะต้องทำการสำรวจระบบ ตลอดจนอินเตอร์เฟสและ Protocol ต่างๆ เพื่อที่จะมั่นใจว่าสามารถให้บริการ VoIP ผ่าน Firewalls และ NAT ของลูกค้าได้

- Multi-connection, Multi-party, และ Multimedia: โครงข่าย NGN ใช้เทคโนโลยี VoIP มาให้บริการชนิด Multi-connection, Multi-party และ Multimedia

- Governmental Regulation: ในระบบ PSTN มีระเบียบข้อบังคับในเรื่อง การตรวจสอบที่มาของหมายเลข บริการสายด่วนฉุกเฉิน (Emergency Call) ฯลฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริการสายด่วนฉุกเฉิน (Emergency Call) ถือเป็นเรื่องที่สำคัญหากจะนำโครงข่าย NGN มาให้บริการ ในระบบ PSTN หมายเลขแต่ละหมายเลขที่เรียกเข้ามาจะสามารถกำหนดที่อยู่ได้หรือในระบบ Wireless การกำหนดที่อยู่สามารถตรวจสอบจาก Cell Site ที่เรียกผ่านไป ทำให้การเรียก Emergency Call สามารถถูกส่งไปยังสถานีตำรวจและโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุดได้ในขณะที่ VoIP ใช้ IP ในการกำหนดผู้ใช้งานซึ่งไม่ได้สื่อถึงสถานที่ที่มีการเรียกไป หากไม่มีการแก้ไขในปัญหาดังกล่าวบริการ VoIP ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้ให้บริการแทนระบบ PSTN ได้

- มาตรฐาน: มีมาตรฐานหลายชนิดที่ใช้ในบริการ VoIP เช่น IETF, ETSI, ITU, 3GPP, IN Forum ฯลฯ

ด้วยการนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาใช้ในระบบโทรคมนาคม ทำให้สามารถตอบรับความต้องการในการสื่อสารของผู้ให้บริการและผู้รับบริการได้อย่างไร้ขีดจำกัด เทคโนโลยีทางแสง DWDM และ ASON/GMPLS ทำให้ผู้ให้บริการสามารถรับ/ส่งข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เทคโนโลยี FTTx ทำให้บริการต่างๆ ในรูปแบบของ เสียง ข้อมูล และมัลติมีเดีย ส่งผ่านถึงผู้รับบริการผ่านสายเคเบิ้ลใยแก้วและอุปกรณ์ปลายทางตัวเดียวด้วยต้นทุนในการบริการที่ถูกลง และเทคโนโลยี NGN ทำให้บริการต่างๆ อยู่ในรูปแบบ IP ซึ่งง่ายต่อการจัดการ ลดต้นทุนการให้บริการที่มีอยู่ในปัจจุบัน และเพิ่มบริการใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างง่ายดาย ◎