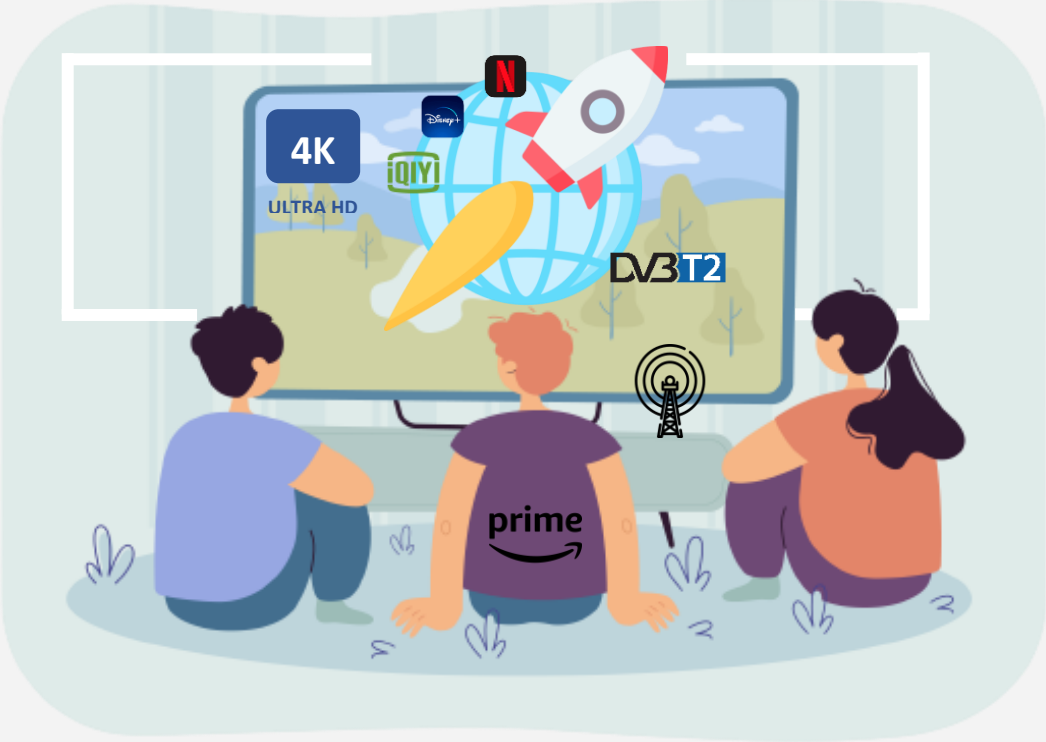


รายงานแนวทางการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยอ้างอิงจากผลการทดลองทดสอบเบื้องต้น

พฤศจิกายน 2566

ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์
สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ (ทส.)
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

สารบัญ

บทนำ 1

การดำเนินการที่ผ่านมา 2

กรอบระยะเวลาการดำเนินการของการทดลอง 6

สรุปรายงานผลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) 9

การนำเทคโนโลยี UHD (4K) ไปใช้งานในกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินและกิจการทางเลือกอื่น 13

1. การนำเทคโนโลยี UHD (4K) ไปใช้งานในกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลในอนาคต 13

2. การนำเทคโนโลยี 4K ไปใช้งานในกิจการทางเลือกอื่น อาทิ แพลตฟอร์ม Over-The-Top (OTT) 14

ข้อเสนอแนะด้านมาตรฐานการผลิตเนื้อหาความละเอียดคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) สำหรับผู้ประกอบการ 20

สรุปผลการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) ที่เกี่ยวข้องกับ 4K 22

ภาคผนวก 24

ภาคผนวก ก 25

ภาคผนวก ข 191

ภาคผนวก ค 193

บทนำ

ด้วยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ประกาศใช้แผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2563 – 2568) (ฉบับปรับปรุง) ที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของอุตสาหกรรม ตลอดจนความสอดคล้องกับกฎหมาย นโยบาย และตอบสนองต่อกฎหมายและแผนระดับชาติที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ทิศทางของแผนแม่บทฉบับนี้ มุ่งเน้นการใช้งานทรัพยากรในกิจการอย่างมีประสิทธิภาพ ทั่วถึง เป็นธรรม ยกระดับการผลิตเนื้อหาที่มุ่งสู่ตลาดต่างประเทศให้สอดคล้องกับบริบทดิจิทัล

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ได้มีประกาศสำนักงาน กสทช. เรื่อง แนวทางด้านเทคนิคในการประเมินข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เพื่อให้การพิจารณาคำขอและข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบเพื่อการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงหรือกิจการโทรทัศน์รวมทั้งการจัดทำผลการประเมินโครงการในเบื้องต้นเป็นไปตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราว รวมทั้งรองรับการขออนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราวในอนาคตเพื่อให้การประเมินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพรอบคอบ และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้รับการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ เพื่อการทดลองการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เป็นการชั่วคราว เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 31 มีนาคม 2566) ซึ่งเป็นการทดลอง หรือทดสอบระบบ โครงข่าย และอุปกรณ์ในกิจการกระจายเสียงหรือกิจการโทรทัศน์ โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ และเป็นการทดลองเพื่อการใช้ประโยชน์ในการกำหนดหลักเกณฑ์ การขออนุญาตประกอบกิจการกระจายเสียงหรือกิจการโทรทัศน์ โดยมิได้มีวัตถุประสงค์ในการแสวงหารายได้เพิ่มเติม เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการทดลอง องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทยได้มีการจัดทำสรุปรายงานผลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) (รายละเอียดเพิ่มเติมตาม ภาคผนวก ก) เสนอต่อสำนักงาน กสทช. ต่อมาได้มีการนำสรุปรายงานผลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เสนอต่อคณะอนุกรรมการด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิค และ กสทช. เพื่อทราบ

การดำเนินการที่ผ่านมา

1. การดำเนินการปี 2563

1) ศึกษาเทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี 4K

2) ศึกษาความพร้อมหรือความเป็นไปได้ในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K

3) ทดลองออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านทางสายนำสัญญาณ (ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น)

4) สำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K จากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในประเทศไทย

5) จัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อย (Focus Group) กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

6) จัดทำข้อเสนอหรือแนวทางการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. ได้จัดทำรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย เผยแพร่ในเว็บไซต์ของสำนักงาน กสทช. ด้วย



รูปที่ 1 รายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบ
การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย

2. การดำเนินการปี 2564

1) มีการจัดการประชุมหารือเกี่ยวกับความพร้อมและความต้องการในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K

2) มีการจัดการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เกี่ยวกับแนวทางด้านเทคนิคในการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

3) มีการสำรวจข้อมูลเครื่องรับโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย จากตัวแทนผู้ผลิตและนำเข้าโทรทัศน์ในประเทศไทย และจัดทำรายงานผลสำรวจเครื่องรับโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K

4) มีการจัดทำร่างประกาศสำนักงาน กสทช. รวมทั้งรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในอุตสาหกรรม เรื่อง แนวทางด้านเทคนิคในการประเมินข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ก่อนเสนอต่อคณะอนุกรรมการที่เกี่ยวข้องและเสนอต่อที่ประชุม กสทช. ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. ได้เผยแพร่รายงานและประกาศข้างต้นในเว็บไซต์ของสำนักงาน กสทช.



รูปที่ 2 รายงานสรุปประเด็นทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการออกอากาศ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K และการสอบทานกฎเกณฑ์ กสทช. ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3 รายงานผลสำรวจเครื่องรับโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
เรื่อง แนวทางด้านเทคนิคในการประเมินข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบ
การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

เพื่อให้การพิจารณาคำขอและข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบเพื่อการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงหรือกิจการโทรทัศน์รวมทั้งการจัดทำเอกการประเมินโครงการในเบื้องต้นเป็นไปตามประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราว ลงวันที่ ๒ สิงหาคม ๒๕๕๕ รวมทั้งรองรับการขออนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราวในอนาคต เพื่อให้การประเมินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รอบคอบ และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ในการประชุม ครั้งที่ ๒๑/๒๕๖๔ เมื่อวันที่ ๑๐ พฤศจิกายน ๒๕๖๔ จึงประกาศแนวทางด้านเทคนิคในการประเมินข้อเสนอโครงการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

"ประกาศหลักเกณฑ์" หมายความว่า ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราว ลงวันที่ ๒ สิงหาคม ๒๕๕๕

"โครงการ" หมายความว่า โครงการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K หรือโครงการอื่นที่มีการดำเนินการในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะต้องได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ตามประกาศหลักเกณฑ์

ข้อ ๒ การขออนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราวสำหรับโครงการ ให้ถือเป็นการขออนุญาตทดลองหรือทดสอบตามประเภทที่ระบุไว้ในข้อ ๔.๒ หรือ ๔.๓ ของประกาศหลักเกณฑ์ แล้วแต่กรณี และให้ดำเนินการตามที่กำหนดไว้ในประกาศหลักเกณฑ์

รูปที่ 4 ประกาศสำนักงาน กสทช. เรื่อง แนวทางด้านเทคนิคในการประเมินข้อเสนอ
โครงการทดลองหรือทดสอบการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

3. การดำเนินการปี 2565 – 2566

1) มีการจัดทำรายงานการประเมินด้านเทคนิคโครงการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

2) สำนักงาน กสทช. อนุญาตให้ องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K เป็นการชั่วคราว โดยใช้ช่องความถี่ที่ 22 ย่านความถี่ที่ 478 – 486 MHz เป็นระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือน นับแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 เป็นต้นไป ระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. และระหว่างเวลา 13.00 – 16.00 น. ของทุกวัน

3) เข้าร่วมการสังเกตการณ์และติดตามความคืบหน้าการทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เป็นการชั่วคราวขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.)

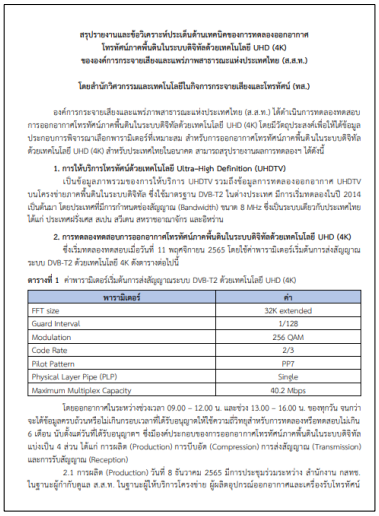
4) องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย ได้สิ้นสุดการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) (ตามกรอบระยะเวลาการดำเนินการทดลอง รูปที่ 7) โดยสำนักงาน กสทช. ได้จัดทำสรุปรายงานและข้อวิเคราะห์ประเด็นด้านเทคนิคของการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) เสนอต่อคณะอนุกรรมการด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิค และ กสทช. เพื่อทราบ



รายงานการประเมินด้านเทคนิค
โครงการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)
ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

จัดทำโดย
สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (พส.)
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

รูปที่ 5 รายงานการประเมินด้านเทคนิคโครงการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย



สรุปรายงานและข้อวิเคราะห์ประเด็นด้านเทคนิคของการทดลองออกอากาศ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)
ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.)

โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (พส.)

องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้ดำเนินการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) สำหรับประเทศไทยในอนาคต สามารถสรุปรายงานผลการทดลองฯ ได้ดังนี้

1. การให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี Ultra-High Definition (UHDTV)

เป็นข้อมูลภาพรวมของการให้บริการ UHDTV รวมถึงข้อมูลการทดลองออกอากาศ UHDTV บนโครงข่ายภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ซึ่งใช้มาตรฐาน DVB-T2 ในต่างประเทศ มีการเริ่มทดลองในปี 2014 เป็นต้นมา โดยประเทศที่มีการกำหนดช่องสัญญาณ (Bandwidth) ขนาด 8 MHz ซึ่งเป็นระบบเดียวกับประเทศไทย ได้แก่ ประเทศอังกฤษ สเปน สวีเดน สหรัฐอเมริกา และอิหร่าน

2. การทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)

ซึ่งเริ่มทดลองทดสอบเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 โดยใช้พารามิเตอร์เริ่มต้นการส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 ด้วยเทคโนโลยี 4K ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นการส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)

พารามิเตอร์	ค่า
FFT size	32K extended
Guard Interval	1/128
Modulation	256 QAM
Code Rate	2/3
Pilot Pattern	PP7
Physical Layer Pipe (PLP)	Single
Maximum Multiplex Capacity	40.2 Mbps

โดยออกอากาศในระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. และช่วง 13.00 – 16.00 น. ของทุกวัน จนกว่าจะได้ข้อมูลครบถ้วนหรือไม่เกินกรอบเวลาที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ความถี่วิทยุสำหรับการทดลองหรือทดสอบไม่เกิน 6 เดือน นับตั้งแต่วันที่ได้รับอนุญาตฯ ซึ่งมีองค์ประกอบของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การผลิต (Production) การบีบอัด (Compression) การส่งสัญญาณ (Transmission) และการรับสัญญาณ (Reception)

2.1 การผลิต (Production) วันที่ 8 ธันวาคม 2565 มีการประชุมร่วมระหว่าง สำนักงาน กสทช. ในฐานะผู้กำกับดูแล ส.ส.ท. ในฐานะผู้ให้บริการโครงข่าย ผู้ผลิตอุปกรณ์ออกอากาศและเครื่องรับโทรทัศน์

รูปที่ 6 สรุปรายงานและข้อวิเคราะห์ประเด็นด้านเทคนิคของการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.)

กรอบระยะเวลาการดำเนินการของการทดลอง

ระยะเวลาการดำเนินการของการทดลองและทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4k) โดยองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 กรอบระยะเวลาการดำเนินการของการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.)

จากรูปที่ 7 รายละเอียดการดำเนินการของการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) มีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2565 : องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้รับอนุญาตให้ทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เป็นระยะเวลา 6 เดือน

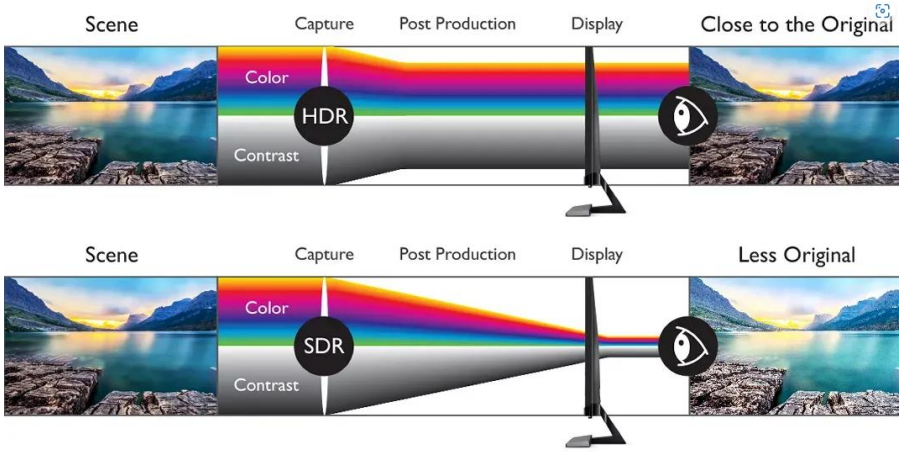
2. เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 : องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้เริ่มทดลองออกออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยมีการใช้งานช่องความถี่ที่ 22 ย่านความถี่ 478 – 486 MHz สำหรับออกอากาศจำนวน 1 ช่องรายการ ในลำดับหมายเลขช่องที่ 49 และจะมีการออกอากาศในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. และช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. รวมถึงมีการทดลองปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์และทดลองใช้งานเทคโนโลยีภาพ (รายละเอียดตามภาคผนวก ก) และได้มีการหารือร่วมกันระหว่างสำนักงาน กสทช. และองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) เพื่อหาอัตราบิตเรตและเทคโนโลยีที่เหมาะกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4k) ในประเทศไทย จนได้ข้อสรุปตามรูปที่ 8

HDR	Color gamut	Bit rate
• HLG	• Short term - BT.709 - BT.2020 • Long term - BT.2020	• 30 Mbps (Excellent) • 20 Mbps (Very good) • 15 Mbps (Good)

รูปที่ 8 การเลือกใช้เทคโนโลยี มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี UHD (4K) และการกำหนดการใช้งานอัตราบิตเรตสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ฯ ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)

จากรูปที่ 8 จะสามารถแบ่งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ออกเป็น 2 ส่วน นั้นคือ

1) เทคโนโลยี High Dynamic Range (HDR)

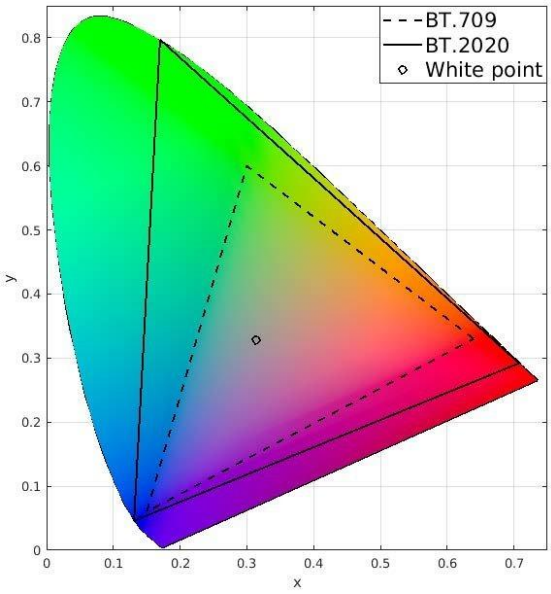


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความสามารถในการแสดงรายละเอียดของระดับความสว่างและความมืดของเทคโนโลยี SDR และ HDR

ที่มา: https://www.benq.com/en-us/knowledge-center/knowledge/hdr-troubleshooting-instruction.html

เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การแสดงผลของภาพและวีดีโอถูกบันทึก สามารถแสดงรายละเอียดความแตกต่างของระดับความสว่างและความมืดได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น ซึ่งเหตุในการเลือกใช้งานเทคโนโลยี HDR แบบ HLG เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถรองรับการแสดงผลทั้งในโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี SDR และโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี HDR ในรูปแบบอื่นๆ เช่น HDR10, HDR10+ และ Dolby Vision ทำให้เหมาะสมกับการนำมาใช้งานสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4k) เป็นอย่างยิ่ง

2) มาตรฐาน Color gamut



รูปที่ 10 การเปรียบความสามารถในการแสดงสีของมาตรฐาน BT.709 และ BT.2020

ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/gamut-of-the-BT709-and-BT2020-color-space-and-HVS-gamut-represented-with-a-CIE-xy_fig1_337621383

เป็นมาตรฐานที่แสดงถึงความสามารถในการแสดงสีของโทรทัศน์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถแสดงสีได้มากยิ่งขึ้นและสามารถแสดงสีที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับสีที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นมากยิ่งขึ้น ซึ่งในช่วงแรกของการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ฯ ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) จะมีการนำเนื้อหาที่ถูกผลิตด้วยมาตรฐาน BT.709 หรือมาตรฐาน BT.2020 มาใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ฯ ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เนื่องจากเนื้อหาที่มีความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ที่ถูกผลิตในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะถูกผลิตด้วยมาตรฐาน BT.709 มากกว่ามาตรฐาน BT.2020 อย่างไรก็ตาม การดำเนินการในระยะยาวหรือภายหลังจากการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ฯ ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) สิ้นสุดลง ควรจะเลือกใช้งานมาตรฐาน BT.2020 สำหรับการผลิตเนื้อหาที่มีความคมชัดสูงยิ่งต่อไป

รวมไปถึงการกำหนดอัตราบิตเรตสำหรับการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ที่ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ การออกอากาศโทรทัศน์ฯ ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ที่อัตราบิตเรต 30 Mbps, 20 Mbps และ 15 Mbps ซึ่งอัตราบิตเรตที่ใช้สำหรับการออกอากาศที่แตกต่างกันนั้นจะบ่งบอกถึงคุณภาพของการออกอากาศที่ผู้รับชมจะได้รับ โดยที่อัตราบิตเรต 15 Mbps จะเป็นค่าต่ำสุดที่สามารถใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยที่ผู้รับชมยังได้รับประสบการณ์ที่น่าพึงพอใจในการรับชมเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K)

3. เมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2566 : องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ยุติการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) เนื่องจากครบกำหนดตามระยะเวลาที่สำนักงาน กสทช. อนุญาตให้องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ทดลองออกอากาศฯ

4. เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2566 : องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้มีหนังสือแจ้งต่อสำนักงาน กสทช. เรื่องสิ้นสุดการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) พร้อมส่งผลรายงานผลการทดลองออกอากาศฯ มายังสำนักงาน กสทช.

สรุปรายงานผลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.)

องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้ดำเนินการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) สำหรับประเทศไทยในอนาคต ซึ่งมีการเริ่มทดลองทดสอบเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 และได้มีการประชุมร่วมระหว่าง สำนักงาน กสทช. และองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) เพื่อกำหนดรูปแบบสัญญาณภาพสำหรับออกอากาศด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบสัญญาณภาพสำหรับออกอากาศด้วยเทคโนโลยี UHD (4K)

เทคโนโลยีมาตรฐานทางเทคนิค	เทคโนโลยี/มาตรฐานทางเทคนิคที่เลือกใช้
Format	UHD
Resolution	3480 × 2160
Scan	Progressive
Frame rate	50 fps
Bit depth	10 Bit
Color space	ITU-T BT.709 /ITU-T BT.2020*
High Dynamic Range: HDR	HDR (HLG)
Chroma Subsampling	4:2:0

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

หมายเหตุ: * เป็นทางเลือก

โดยรูปแบบการทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

1) <u>กรณีที่ 1</u> การออกอากาศบนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP ทดลองออกอากาศด้วยค่าพารามิเตอร์ส่งสัญญาณชุดปัจจุบัน ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชุดพารามิเตอร์ส่งสัญญาณชุดปัจจุบัน

Parameters	Value
FFT size	16K Extended
Guard Interval	19/128
Modulation	64-QAM
Code Rate	3/5
Pilot Pattern	PP2
Guard Interval duration (μS)	266
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ MUX*	21.93
C/N Fixed Rooftop (dB)	15.17

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP นั้นความจุของมัลติเพล็กซ์สูงสุดของระบบเท่ากับ 21.93 Mbps จะสามารถจัดสรรช่องรายการสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP

Option	Resolution			Bitrate (Mbps)		
	UHD	HD	SD	UHD	HD	SD
Option 1	1	-	2	15	-	4
Option 2	1	1	-	15	5	-

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

2) <u>กรณีที่ 2</u> การออกอากาศบนโครงข่ายเดิมแบบ Multiple PLP เนื่องจากข้อจำกัดในการตั้งค่าข้อมูลบริการของอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองในรูปแบบ Multiple PLP ได้

3) <u>กรณีที่ 3</u> การใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือดำเนินการบนโครงข่ายใหม่ ซึ่งได้เลือกแนวทางในการใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือดำเนินการบนโครงข่ายใหม่ โดยมีการแบ่งชุดพารามิเตอร์ออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

3.1) <u>พารามิเตอร์ชุดที่ 1</u> ปรับเปลี่ยนค่า Pilot Pattern โดยกำหนดให้เกณฑ์เวลาป้องกัน (Guard Interval: GI) มีค่าเท่ากับ 266 μs เช่นเดียวกับโครงข่ายปัจจุบัน ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ UHD (4K) ของพารามิเตอร์ชุดที่ 1

Parameters	Value		
FFT size	32K Extended		
Guard Interval	19/256		
Modulation	256-QAM		
Code Rate	3/5		
Pilot Pattern	PP2	PP4	PP8
Guard Interval duration (μS)	266		
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ MUX*	31.2	32.5	33.6
C/N Fixed Rooftop (dB)	19.58	19.18	18.54

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพแห่งประเทศไทย

3.2) พารามิเตอร์ชุดที่ 2 ปรับเกณฑ์อัตราข้อมูล (Code rate) โดยเลือกพารามิเตอร์ FFT size, Pilot Pattern และ Guard Interval ที่ให้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงสุดสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอยู่กับที่ (Fixed reception) ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ UHD (4K) ของพารามิเตอร์ชุดที่ 2

Parameters	Value					
FFT size	32K Extended					
Guard Interval	1/128					
Modulation	256-QAM					
Code Rate	1/2	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
Pilot Pattern	PP7					
Guard Interval duration (μS)	28					
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ MUX*	29.8	35.9	39.9	44.9	47.9	50.0
C/N Fixed Rooftop (dB)	16.29	18.44	20.02	22.06	23.56	24.38

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

ดังนั้น การพิจารณาจัดสรรมัลติเพล็กซ์สำหรับการจัดสรรจำนวนช่องรายการจะขึ้นอยู่กับอัตราบิตของพารามิเตอร์ที่เลือกใช้งาน โดยจากผลการทดลองการใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือดำเนินการบนโครงข่ายใหม่ทั้งกรณีเลือกพารามิเตอร์เพื่อให้ได้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงขึ้น และให้ค่า GI เท่ากับ 266 μs เช่นเดียวกับโครงข่ายปัจจุบัน และกรณีเลือกพารามิเตอร์ที่ให้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงสุด และปรับเปลี่ยน code rate ให้สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ จะสามารถจัดสรรได้ 5 รูปแบบ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ทางเลือกการจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่

Multiplex Allocation	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5
Number of UHD@15M Channels	1	1	-	2	-
Number of UHD@20M Channels	1	-	1	-	2
Number of UHD@30M Channels	-	1	1	-	-
Total Channels	2	2	2	2	2
Bandwidth allocation	Bit rate (kbps)				
Video Bit Rate (CBR)	35000	45000	50000	30000	40000
Audio Bit Rate (2 track @70 kbps/channel)	420	420	420	420	420
Audio Description (1 track @35 kbps/channel)	140	140	140	140	140
Others	665.5	665.5	665.5	665.5	665.5
Total Bandwidth Allocation	36175.5	46175.5	51175.5*	31175.5	41175.5

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

หมายเหตุ * Option 3 เป็นตัวเลือกเดียวที่ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์ที่รองรับการจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบคงที่ (Constant Bit rate) ได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคโนโลยี DVB-T2 ที่สามารถรองรับอัตราบิตสูงสุดประมาณ 50.3 Mbps ดังนั้นอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถจัดสรรแบบแปรผันเพื่อให้ได้ประโยชน์จาก Statistical Multiplexing (StatMux)

การนำเทคโนโลยี UHD (4K) ไปใช้งานในกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินและกิจการทางเลือกอื่น

1. การนำเทคโนโลยี UHD (4K) ไปใช้งานในกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลในอนาคต

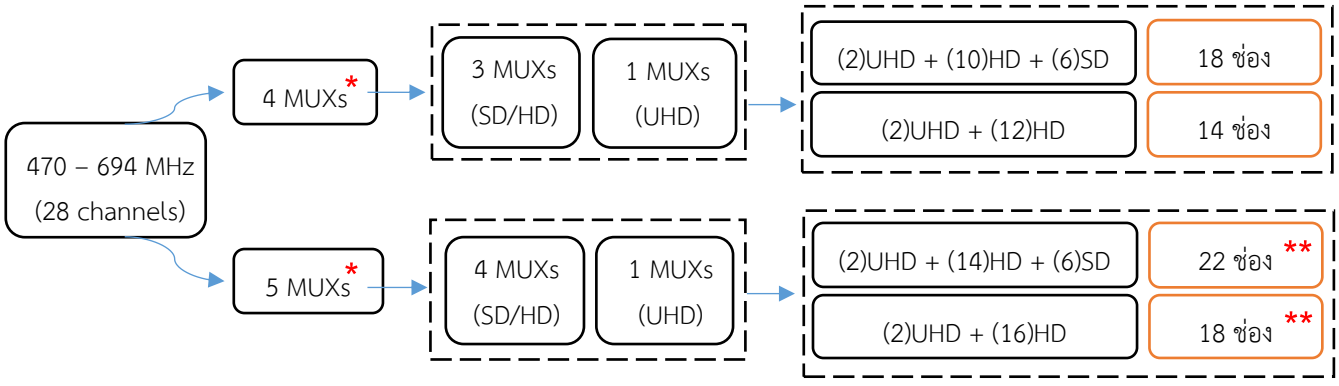
อ้างอิงจากผลการศึกษาและการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ร่วมกันระหว่างสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (สำนัก ทส.) และองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ได้รายละเอียดเทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี UHD (4K) ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายละเอียดเทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี UHD (4K)

เทคโนโลยี/มาตรฐานทางเทคนิค	เทคโนโลยี/มาตรฐานทางเทคนิคที่เลือกใช้		
ความละเอียด (Resolution)	3480 x 2160		
อัตราส่วนภาพ (Aspect ratio)	16:9		
อัตราเฟรม (Frame rate)	50 Hz		
ความลึกของบิต (Bit depth)	8 หรือ 10 บิต		
การเข้ารหัสสัญญาณภาพ (Video Coding)	HEVC (H.265)		
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Audio Coding)	MPEG-4 HE AAC		
ช่วงไดนามิกสูง (High Dynamic Range: HDR)	HLG หรือ HDR10		
อัตราบิต (Bit rate)	15 Mbps (Good)	20 Mbps (Very good)	30 Mbps (Excellent)

ที่มา: องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

โดยความเป็นไปได้ในอนาคตสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ร่วมกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแบบความคมชัดปกติ (SD) และความคมชัดสูง (HD) โดยใช้งานพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศเดิม เพื่อไม่ให้กระทบต่อพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ 1) กรณีผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดิน (Mux) ลดลงเหลือ 4 ราย 2) กรณีผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดิน (Mux) จำนวน 5 ราย ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความเป็นไปได้ในอนาคตสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ร่วมกับการออกอากาศโทรทัศน์ฯ แบบความคมชัดปกติ (SD) และความคมชัดสูง (HD)

หมายเหตุ

* คาดว่าต้องใช้งาน 5 ช่องความถี่ต่อการวางโครงข่าย 1 Mux

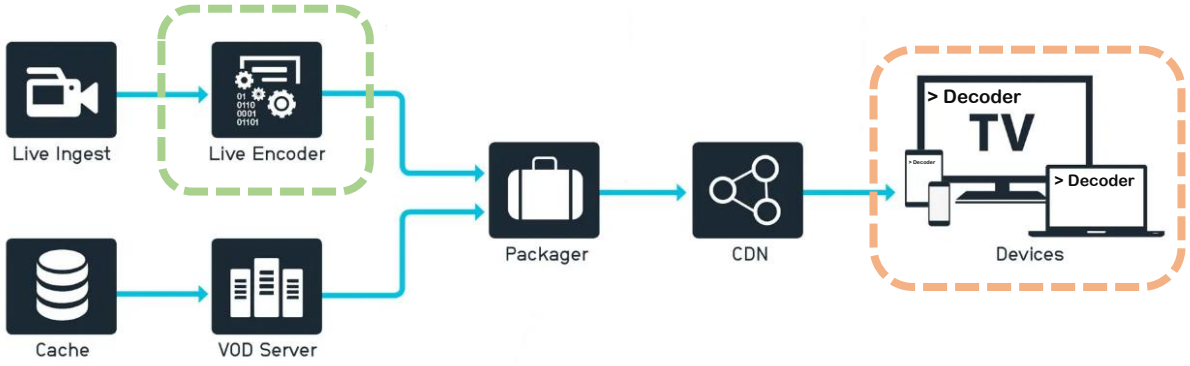
** การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) อาจจะออกอากาศได้เฉพาะบางพื้นที่ เนื่องจาก จำนวนช่องความถี่เหลือเพียง 5 ช่องความถี่ อาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับการออกอากาศทั่วประเทศ

2. การนำเทคโนโลยี 4K ไปใช้งานในกิจการทางเลือกอื่น อาทิ แพลตฟอร์ม Over-The-Top (OTT)

แพลตฟอร์ม Over-the-top (OTT) เป็นการให้บริการเนื้อหาจากสื่อรายการโทรทัศน์ ภาพยนตร์ วีดีโอ ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้รับชมสามารถรับชม ภาพยนตร์ ซีรี่ย์ หรือเนื้อหาต่างๆ ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต โดยองค์ประกอบหลักของแพลตฟอร์ม OTT จะถูกแสดงตามรูปที่ 12 ซึ่งการให้บริการ OTT มีความหยุ่นสำหรับผู้ใช้บริการสามารถรับชมเนื้อหาต่างๆได้ตามความต้องการ จะสามารถเลือกรับชมอะไร ที่ไหนก็ได้ขอเพียงแค่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งแพลตฟอร์มที่ให้บริการ OTT นั้นสามารถรองรับการให้บริการเนื้อหาที่มีความละเอียดในหลากหลายรูปแบบ รวมไปถึงบางแพลตฟอร์มยังมีการให้บริการเนื้อหาที่มีความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยจะมีการเลือกใช้งานเทคโนโลยีด้านภาพและเสียงที่รองรับการให้บริการเนื้อหาที่มีความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ที่แตกต่างกันไป สำหรับแพลตฟอร์ม Over the top (OTT) ภายในประเทศที่รองรับการให้บริการเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ได้แก่ VIPA และ TrueID และแพลตฟอร์ม Over the top (OTT) ต่างประเทศที่รองรับการให้บริการเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ตามตารางที่ 8

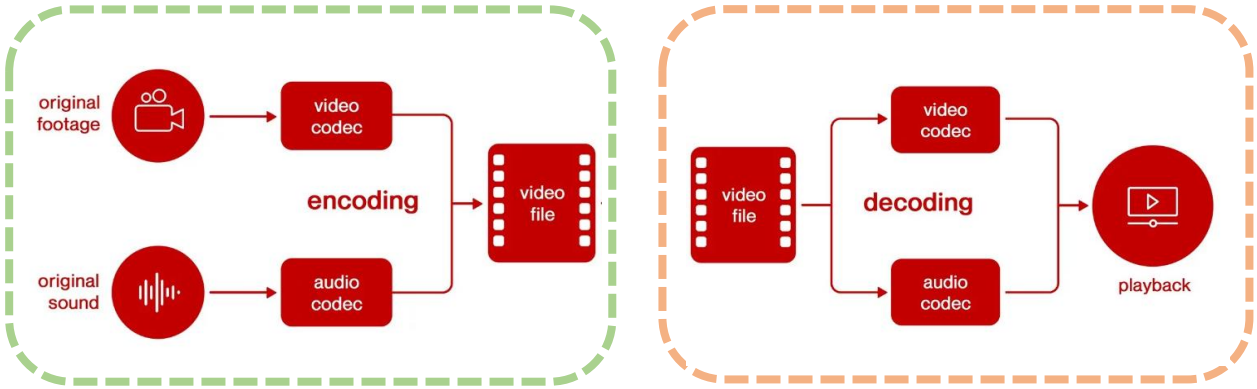
ตารางที่ 8 แพลตฟอร์ม Over the top (OTT) ต่างประเทศที่รองรับการให้บริการเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K)

แพลตฟอร์ม (Over the top: OTT)	ช่วงไดนามิกสูง (High Dynamic Range: HDR)	ระบบเสียง (Audio Systems)	BIT RATE
Prime Video	HDR10+/Dolby Vision	Dolby Atmos	≈ 15 – 20 Mbps
Netflix	HDR10/Dolby Vision	Dolby Atmos	≈ 15 – 20 Mbps
Disney+	HDR10/Dolby Vision	Dolby Atmos	≈ 25 Mbps
iQIYI	Vivid HDR/ Dolby Vision	Dolby Atmos	N/A



ที่มา: https://www.telestream.net/video/sentry.htm

รูปที่ 12 องค์ประกอบของแพลตฟอร์ม Over-the-top (OTT Platform)



ที่มา: https://bianor.com/lp/video-streaming-encoding/

รูปที่ 13 กระบวนการทำงานของตัวเข้าและถอดรหัสภาพเสียง

โดยองค์ประกอบของแพลตฟอร์ม OTT จะสามารถแบ่งออกเป็นหลายส่วนย่อยๆ ตามรูปที่ 12 โดยจะขอกล่าวถึงองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับแพลตฟอร์ม OTT นั้นก็คือตัวเข้าและถอดรหัส (Codec) ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.) ตัวเข้ารหัส (Encoder) และ 2.) ตัวถอดรหัส (Decoder) ตามรูปที่ 13 จะพบว่าตัวเข้าและถอดรหัสนั้นจะถูกแบ่งแยกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ตัวเข้ารหัสและถอดรหัสวีดีโอ (Video Codec)

1.1) H.264/ Advanced Video Coding (AVC)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัส (Codec) ที่ถูกพัฒนาโดย International Telecommunications Unionร่วมกับ International Organization for Standardization/International Electro technical Commission ซึ่งH.264 Codec ได้พัฒนามาจากตัวเข้ารหัสและถอดรหัสวีดีโอ MPEG-2 Part 2 ซึ่งมีความสามารถในการบีบอัดวีดีโอได้ดีกว่า MPEG-2 Part 2 ประมาณ 50 % โดยไม่มีการคุณภาพของวีดีโอ ดังนั้น H.264 Codec จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์เครื่องรับ สตรีมมิ่งแพลตฟอร์ม บราวเซอร์ รวมไปถึงนำไปใช้สำหรับการออกอากาศเนื้อหาความคมชัดสูง (HD) ผ่านโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ดาวเทียม และเคเบิลทีวี

1.2) H.265/ High Efficiency Video Coding (HEVC)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอที่ถูกพัฒนาจาก H.264 โดยผู้พัฒนาเดียวกัน ซึ่ง H.265 จะมีความสามารถในการบีบอัดวีดีโอและรองรับการนำไปใช้งานที่มากกว่า H.264 โดยประสิทธิภาพของตัวเข้ารหัสวีดีโอของ H.265 มีประสิทธิภาพในการบีบอัดวีดีโอที่ดีกว่าตัวเข้ารหัสวีดีโอของ H.264 ถึง 2 เท่า โดยที่ไม่มีการลดคุณภาพของวีดีโอ ส่งผลให้ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธที่ถูกใช้ในการออกอากาศลดลงด้วยเช่นกัน เมื่อมีการเลือกใช้ตัวเข้ารหัสวีดีโอ H.265 สำหรับตัวเข้ารหัสวีดีโอ H.265 ยังคงไม่ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเข้ารหัสวีดีโอ H.264

ในแง่ของจำนวนอุปกรณ์ที่รองรับการถอดรหัสวีดีโอแบบ H.265 และ H.264 จะพบว่าในปัจจุบันอุปกรณ์รองรับการถอดรหัสวีดีโอแบบ H.265 มีเพียง 30% เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่รองรับการ

ถอดรหัสวีดีโอแบบ H.264 รวมไปถึงแพลตฟอร์มออนไลน์ส่วนใหญ่ยังคงรองรับเพียงแค่การเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ H.264 เท่านั้น

1.3) VP9

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอชนิด Open-source และไม่มีการเก็บค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งาน ซึ่งถูกพัฒนาโดยทีมพัฒนาของ Google นั้นหมายความว่าทุกผลิตภัณฑ์ของ Google จะรองรับการถอดรหัสวีดีโอแบบ VP9 รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้งานระบบปฏิบัติการ Android เว็บบราวเซอร์ Chrome, Firefox และแพลตฟอร์มอย่าง YouTube โดยในแง่ของประสิทธิภาพของตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ VP9 เมื่อเปรียบเทียบกับกับประสิทธิภาพของตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ H.265 จะสามารถแบ่งหัวข้อในการเปรียบเทียบออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่

1) ประสิทธิภาพในการบีบอัด (Compression Efficiency) พบว่า ตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ H.265 จะมีประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ VP9 โดยหากเลือกใช้งานตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ H.265 จะช่วยลดการใช้งานแบนด์วิธสำหรับการออกอากาศเนื้อหาประมาณ 0.6 – 38.2% โดยไม่มีกระทบกับคุณภาพของเนื้อหา

2) การรองรับทางด้านฮาร์ตแวร์และซอร์ฟแวร์ (Hardware and Software Support)

- การรองรับทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software Support)

ตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ VP9 จะถูกนำไปใช้ในทุกผลิตภัณฑ์ของ Google แพลตฟอร์มสตรีมมิ่งหลากหลายแพลตฟอร์ม เช่น YouTube, Amazon และ Netflix รวมไปถึงการใช้งานในระบบปฏิบัติการ Windows 10, Mac OS และ Linux

ตัวถอดรหัสวีดีโอ H.265 ถูกนำไปใช้งานสำหรับมีเดียเพลเยอร์ (Media Player) และโปรแกรมตัดต่อวีดีโอ

- การรองรับทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware Support)

ตัวถอดรหัสวีดีโอ VP9 ถูกนำไปใช้งานในอุปกรณ์ที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เวอร์ชั่น 4.4 เป็นต้นไป รวมไปถึงระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) เวอร์ชั่น 14.0 เป็นต้นไป

ตัวถอดรหัสวีดีโอ H.265 ถูกนำไปใช้ในสมาร์ทโฟนและโทรทัศน์ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android)

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสวีดีโอ (Encoding Time) ของตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ H.265 ใช้เวลาน้อยกว่าตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ VP9

1.4) AOMedia Video (AV1)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอชนิด Open-source และไม่มีการเก็บค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งาน นับเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกของตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอที่มีประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ดีกว่าตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโออย่าง VP9 ประมาณ 34 % แต่หากคำนึงถึงอุปกรณ์ที่รองรับการถอดรหัสวีดีโอ AV1 ยังคงไม่แพร่หลายมากนักเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่รองรับการถอดรหัสวีดีโออย่าง H.264, H.265 และ VP9

ในที่นี้จะขอเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอระหว่างตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ AV1 กับ H.265 และ AV1 กับ VP9 ดังนี้

1.4.1) การเปรียบเทียบตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 และ H.265 จะถูกแบ่งหัวข้อในการเปรียบเทียบออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่

1) ประสิทธิภาพในการบีบอัด (Compression Efficiency)

ตัวเข้ารหัสวีดีโอ AV1 มีอัตราส่วนของการบีบอัดที่ดีขึ้นถึง 30% เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ HEVC และ VP9

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสวีดีโอ (Encoding Time)

จากผลการทดลองเปรียบเทียบเวลาสำหรับการดำเนินการเข้ารหัสวีดีโอของ AV1 กับตัวเข้ารหัสวีดีโอของ H.265 พบว่าตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ AV1 ใช้เวลาในการดำเนินการมากกว่าตัวเข้ารหัสวีดีโออย่าง H.265 ถึง 3 เท่า

3) การรองรับทางด้านฮาร์ตแวร์และซอร์ฟแวร์ (Hardware and Software Support)

- การรองรับทางด้านฮาร์ตแวร์ (Hardware Support)

ตัวถอดรหัสวีดีโอ AV1: อุปกรณ์ที่รองรับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ AV1 ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ในระบบปฏิบัติการ Android เช่น มือถือ และแท็ปเล็ต อย่างไรก็ดี อุปกรณ์ที่รองรับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 ยังคงไม่แพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอรูปแบบอื่น เนื่องด้วยความซับซ้อนของกระบวนการเข้าและถอดรหัสวีดีโอ AV1

ตัวถอดรหัสวีดีโอ H.265: จำนวนอุปกรณ์ที่รองรับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ HEVC ในท้องตลาดจะมีจำนวนมากกว่าอุปกรณ์ที่รองรับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโออย่าง AV1 เนื่องจากกระบวนการเข้าและถอดรหัสวีดีโอที่เข้ากันได้กับอุปกรณ์ทุกรูปแบบ

- การรองรับทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software Support)

ตัวถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1: ถูกนำไปใช้งานบน Browser เช่น Chrome, Firefox และแพลตฟอร์มวีดีโอสตรีมมิ่ง อย่างเช่น YouTube, Netflix และ Vimeo รวมไปอุปกรณ์ที่ถูกผลิตจาก Microsoft และ Apple ที่กำลังพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถรองรับตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 ในอนาคตอีกด้วย

ตัวถอดรหัสวีดีโอแบบ HEVC: ถูกนำไปใช้งานร่วมกับซอร์ฟแวร์น้อยกว่าตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านค่าลิขสิทธิในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1.4.2) การเปรียบเทียบตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 และ VP9 จะถูกแบ่งหัวข้อในการเปรียบเทียบออกเป็น 4 หัวข้อ ได้แก่

1) ประสิทธิภาพในการบีบอัด (Compression Efficiency)

หากมีการเปรียบเทียบอัตราการบีบอัดของตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 และ VP9 พบว่า ตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ AV1 มีอัตราการบีบอัดที่ดีกว่าเทคโนโลยีเก่าอย่าง VP9 ประมาณ 30% แต่ต้องแลกมาด้วยการใช้เวลาในการเข้ารหัสวีดีโอที่นานกว่าเทคโนโลยีก่อนหน้า และใช้ทรัพยากรในการดำเนินการที่มากกว่าด้วยเช่นกัน

2) ประสิทธิภาพการเข้ารหัสวีดีโอ (Encoding Efficiency)

ตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ AV1 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวเข้ารหัสวีดีโอแบบ VP9 ถึง 25% แต่ยังคงคุณภาพของวีดีโอไว้ได้เหมือนเดิม

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสวีดีโอ (Encoding Time)

ระยะเวลาในการเข้ารหัสวีดีโอของ AV1 นั้นจะใช้เวลานานกว่าการเข้ารหัสวีดีโอของ HEVC และ VP9 ถึง 3 เท่า

4) การรองรับทางด้านฮาร์ตแวร์และซอร์ฟแวร์ (Hardware and Software Support)

- การรองรับทางด้านฮาร์ตแวร์ (Hardware Support)

ตัวถอดรหัสวีดีโอ AV1: อุปกรณ์ที่รองรับตัวถอดรหัสวีดีโอ AV1 ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ในระบบปฏิบัติการ Android เช่น มือถือ และแท็ปเล็ต อย่างไรก็ดี อุปกรณ์ที่รองรับตัวถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 ยังคงไม่แพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับตัวถอดรหัสวีดีโอในรูปแบบอื่น เนื่องด้วยความซับซ้อนของกระบวนการเข้าและถอดรหัสวีดีโอของ AV1

ตัวถอดรหัสวีดีโอ VP9: ถูกนำไปใช้งานในอุปกรณ์ที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ตั้งแต่เวอร์ชั่น 4.4 รวมไปถึงระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) เวอร์ชั่น 14.0 เป็นต้นไป

- การรองรับทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software Support)

ตัวถอดรหัสวีดีโอ AV1: ถูกนำไปใช้งานบน Browser เช่น Chrome, Firefox และแพลตฟอร์มวีดีโอสตรีมมิ่ง อย่างเช่น YouTube, Netflix และ Vimeo รวมไปอุปกรณ์ที่ถูกผลิตจาก Microsoft และ Apple กำลังพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถรองรับการถอดรหัสวีดีโอแบบ AV1 อีกด้วย

ตัวถอดรหัสวีดีโอ VP9: ตัวเข้าและถอดรหัสวีดีโอ VP9 จะถูกนำไปใช้ในทุกผลิตภัณฑ์ของ Google แพลตฟอร์มสตรีมมิ่งหลากหลายแพลตฟอร์ม เช่น YouTube, Amazon และ Netflix รวมไปถึงการใช้งานในระบบปฏิบัติการ Windows 10, Mac OS และ Linux

2) ตัวเข้าและถอดรหัสเสียง (Audio Codec)

2.1) Advanced Audio Coding (AAC)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงที่ถูกพัฒนาต่อมาจาก MP3 ซึ่งเป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงแบบที่มีการสูญเสียข้อมูลบางอย่าง เนื่องจากกระบวนการบีบอัดที่น้อยกว่า MP3 ทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพเสียงที่ดีกว่า MP3 ในขณะที่ขนาดของข้อมูลเล็กลงหรือเท่ากัน ซึ่งจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับการออกอากาศเนื้อหาแบบถ่ายทอดสดบนแพลตฟอร์มต่างๆ แต่ทั้งนี้ตัวเข้าและถอดรหัสเสียงแบบนี้จะไม่เหมาะกับงานที่ต้องการเน้นรายละเอียดหรือคุณภาพของเสียง

2.2) Extended High Efficiency AAC (xHE-AAC)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจาก HE-AAC โดย Fraunhofer IIS ซึ่งได้รับการออกแบบให้ใช้กับบริการสตรีมมิ่งและรายการโทรทัศน์ เนื่องจากมีอัตราการบีบอัดและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะมีบิตเรตต่ำสุดที่ 6 Kbps สำหรับระบบเสียงแบบโมโน และ 12 Kbps สำหรับระบบเสียงสเตอริโอ ไปจนถึง 500 Kbps ที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนอัตราบิตเรต (Adaptive Bitrate:

ABR) ของการเข้ารหัสเสียงได้อย่างหลากหลายตามความเร็วของเครือข่ายอินเตอร์เน็ต รองรับการควบคุมความดังได้อย่างสม่ำเสมอบนอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงรองรับอุปกรณ์ที่ใช้งานระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ตั้งแต่เวอร์ชั่น 9 ระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) ตั้งแต่เวอร์ชั่น 13 และระบบปฏิบัติการวินโดว์ 11 ซึ่งตัวเข้าและถอดรหัสเสียงนี้ยังถูกนำไปใช้งานในแพลตฟอร์มระดับโลกอย่าง Netflix และแพลตฟอร์มโซเชียลมิเดียอย่าง Facebook และ Instagram

2.3) Audio Codec -3 (AC-3) หรือ Dolby Digital

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงที่ถูกพัฒนาจาก AC-1 และ AC-2 โดย Dolby Laboratories ซึ่งเป็นตัวเข้ารหัสเสียงแบบมีการสูญเสียข้อมูลบางส่วน เนื่องจากกระบวนการบีบอัด ซึ่งจะรองรับอัตราบิตเรตต่ำสุดที่ 32 Kbps ไปจนถึงอัตราบิตเรตสูงสุดที่ 640 Kbps รวมไปถึงรองรับระบบเสียงแบบ 5.1 Channel และตัวถอดรหัสเสียง AC-3 ได้ถูกนำไปใช้งานในหลากหลายส่วน เช่น การออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ระบบเสียงในโรงภาพยนตร์ อุปกรณ์ที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ไอโอเอส (IOS) ทีวีโอเอส (tvOS) บราวเซอร์อย่าง Safari 11+ และ Microsoft edge ในระบบปฏิบัติการวินโดว์ 10 รวมไปถึงแพลตฟอร์มสตรีมมิ่งอย่าง Netflix และ Amazon

2.4) Enhanced Audio Codec – 3 (EAC-3) หรือ Dolby Digital Plus

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงที่ถูกพัฒนาจาก Dolby Digital (AC-3) โดย Dolby Laboratories ซึ่งจะรองรับอัตราบิตเรตต่ำสุดที่ 32 Kbps ไปจนถึงอัตราบิตเรตสูงสุดที่ 6,144 Kbps รวมไปถึงรองรับระบบเสียงแบบ 5.1, 7.1 Channel สำหรับอุปกรณ์ที่รองรับตัวถอดรหัสเสียง EAC-3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบไอโอเอส (IOS), แมคโอเอส (macOS), ทีวีโอเอส (tvOS) และในระบบปฏิบัติการ Microsoft’s Windows 10

2.5) Audio Codec – 4 (AC-4)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงที่ถูกพัฒนาโดย Dolby Laboratories ซึ่งเป็นรองรับระบบเสียงแบบ 5.1, 5.1.2, 7.1.4 Channel และรองรับระบบ Audio Object โดยตัวเข้าและถอดรหัสเสียงนี้จะมีการใช้งานบิตเรตที่ลดลงถึง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเข้าและถอดรหัสเสียงอย่าง EAC-3 จากผลการทดสอบเมื่อนำตัวเข้าและถอดรหัสเสียงนี้ไปใช้งานใน ATSC 3.0 พบว่าจะมีความต้องการในการใช้งานบิตเรตที่ 96 Kbps, 192 Kbps, 288 Kbps สำหรับระบบเสียงสเตอริโอ ระบบเสียง 5.1 Channel และระบบเสียง 7.1+4 Channel ตามลำดับ สำหรับอุปกรณ์ที่รองรับตัวถอดรหัสเสียงชนิดนี้จะประกอบด้วย โทรทัศน์และ Set-top boxes ที่ถูกผลิตเพื่อขายในทวีปยุโรป โทรศัพท์มือถือ เช่น Samsung, Sony, Huawei

2.6) Free Lossless Audio Codec (FLAC)

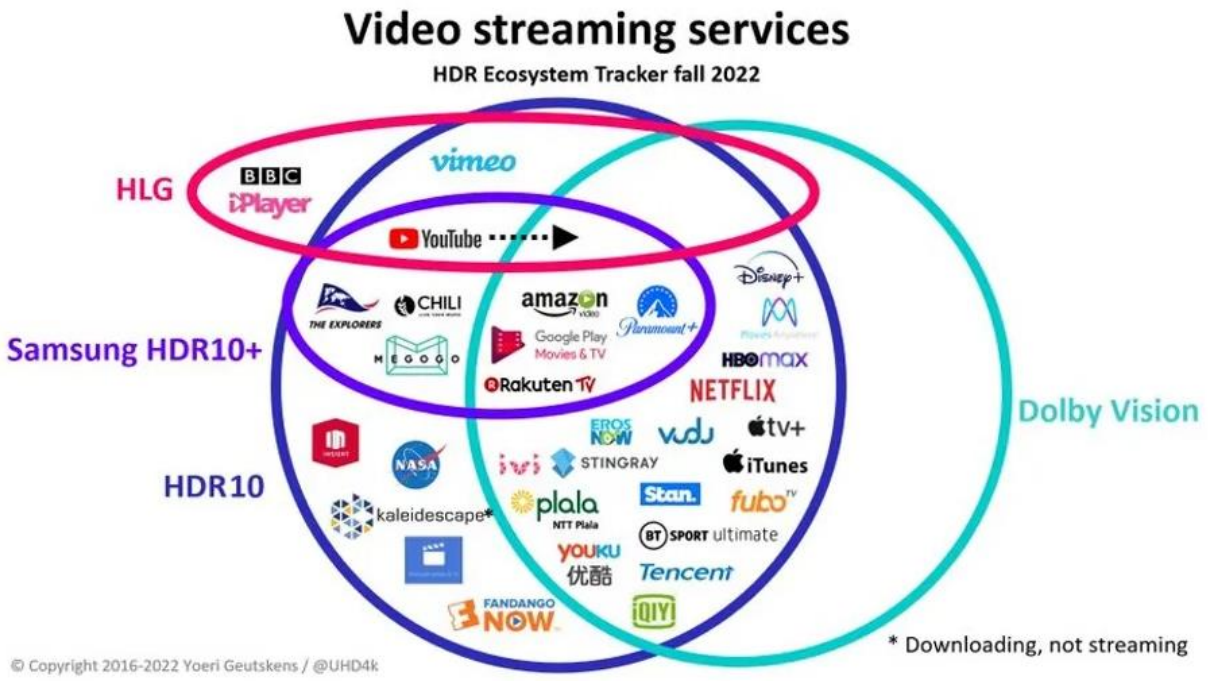
เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงแบบที่ไม่มีการสูญเสียข้อมูล ที่เกิดจากกระบวนการบีบอัดข้อมูล ซึ่งแน่นอนว่าต้องแลกมากับขนาดของข้อมูลที่ค่อนข้างใหญ่ ซึ่งจากเหตุผลในเรื่องของขนาดของข้อมูลหลังจากการบีบอัด ทำให้อุปกรณ์บางประเภทไม่สามารถถอดรหัสหรืออ่านข้อมูลที่ถูกบีบอัดจากตัวเข้ารหัสเสียงนี้ได้ จึงทำให้ตัวเข้าและถอดรหัสเสียงนี้ไม่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

2.7) ALAC (Apple Lossless Audio Codec)

เป็นตัวเข้าและถอดรหัสเสียงแบบที่ไม่มีการสูญเสียข้อมูล อันเนื่องมาจากกระบวนการบีบอัดข้อมูล ทำให้สามารถคงคุณภาพของเสียงให้คงเดิม แต่ต้องแลกมาด้วยขนาดของข้อมูลที่มากกว่า FLAC เล็กน้อย ซึ่งตัวเข้าและถอดรหัสเสียงนี้ถูกพัฒนาโดย ทีมพัฒนาของบริษัท Apple เพื่อรองรับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้งานระบบปฏิบัติการ IOS เป็นหลัก

ข้อเสนอแนะด้านมาตรฐานการผลิตเนื้อหาความละเอียดคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) สำหรับผู้ประกอบการ

สำหรับข้อเสนอแนะด้านมาตรฐานการผลิตเนื้อหาความละเอียดคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) สำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้งานเทคโนโลยีภาพ High Dynamic Range (HDR) ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงตรงกับความต้องการของผู้บริโภค โดยจากผลสำรวจข้อมูลการใช้งานเทคโนโลยีภาพ HDR เพื่อรองรับเนื้อหาความละเอียดแบบความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ของแพลตฟอร์ม OTT ทั่วโลกจำนวน 52 แพลตฟอร์มจากองค์กร Ultra HD Forum ปรากฏตามรูปที่ 14



ที่มา: Climbing the Ultra HD OTT ladder – Ultra HD Forum

รูปที่ 14 ผลสำรวจการใช้งานเทคโนโลยีภาพ HDR ในแต่ละแพลตฟอร์ม

จากรูปที่ 14 จะสังเกตได้ว่า แพลตฟอร์มมากกว่า 90% จะรองรับเทคโนโลยีภาพ HDR แบบ HDR10 และแพลตฟอร์มที่รองรับเทคโนโลยีภาพ HDR แบบ Dolby Vision, HDR10+, HLG ประมาณ 60%, 30%, 5% ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการสำรวจข้างต้น จะได้ข้อเสนอแนะด้านมาตรฐานการผลิตเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง 4K เบื้องต้นสำหรับการใช้งานเทคโนโลยีภาพ HDR ว่า หากผู้ผลิตเนื้อหาต้องการเลือกใช้งานเทคโนโลยีภาพ HDR

ที่นำมาใช้งานร่วมกับเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง 4K ควรเลือกใช้เทคโนโลยีภาพ HDR ที่ได้รับการยอมรับหรือถูกใช้งานในแพลตฟอร์มอย่างแพร่หลายทั่วโลก เช่น เทคโนโลยีภาพ HDR แบบ HDR10 หรือ Dolby Vision หรือเลือกใช้เทคโนโลยีภาพ HDR ตามข้อกำหนดของแพลตฟอร์ม OTT ที่ผู้ผลิตเนื้อหาต้องการนำเนื้อหาไปออกอากาศ

โดยเทคโนโลยีภาพ HDR ที่ได้รับความนิยมและถูกนำไปใช้งานที่ได้กล่าวถึงในข้างต้นนั้น จะมีเงื่อนไขและค่าใช้จ่ายในใช้งานที่แตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึงความแตกต่างในเรื่องของค่าลิขสิทธิ์สำหรับการนำเทคโนโลยีภาพ HDR แบบ HDR10 และ Dolby Vision มาใช้งานร่วมกับการผลิตเนื้อหาความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ดังนี้

ตารางที่ 9 ค่าลิขสิทธิ์ในการนำเทคโนโลยีภาพ HDR แบบ HDR10/HDR10+ ไปใช้งาน

HDR10/HDR10+ License fee			
Category of adopter	Annual Administration	License materials	Certification requirement
Content company, Operating System (OS) Company (e.g. media or game publisher, producer, game developer)	N/A	- Technical Specifications - Test Specifications - Certification Mark - HDR10+ Certification - Mark Usage Guideline	N/A

ที่มา: https://hdr10plus.org/license-program/

ตารางที่ 10 ค่าลิขสิทธิ์ในการนำเทคโนโลยีภาพ HDR แบบ Dolby Vision ไปใช้งาน

Dolby Vision License Options	
Category of adopter	Annual Administration
Dolby Vision Trims License	$ 1,000.00 USD
Dolby Vision eCMU License	$ 500.00 USD
Dolby Vision Annual License Upgrade	$ 1,500.00 USD

ที่มา: https://visionlicense-ww.dolby.com/collections/dolby-vision-license-options

สรุปผลการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) ที่เกี่ยวข้องกับ 4K

ทส. ได้จัดประชุมวันที่ 22 กันยายน 2566 ณ ห้องการ์เด้น 3 - 4 โรงแรมเซ็นจูรี่ พาร์ค เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร โดยผู้เข้าร่วมการประชุมเป็น บุคลากรจากสำนักงาน กสทช. ผู้แทนจากหน่วยงานที่ได้รับอนุญาตให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ผู้แทนจากจากภาคอุตสาหกรรม จำนวน 58 คน ในช่วงเช้าที่ประชุมมีการนำเสนอผลการศึกษาและการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยผู้แทนจากองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ThaiPBS) และการนำเสนอประเด็นด้านเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลในอนาคต โดยผู้แทนจากสำนัก ทส. โดยมีประเด็นหารือในที่ประชุม ดังนี้

- เป้าหมายและการดำเนินการระยะสั้นเกี่ยวกับการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K
  หารือในประเด็นหัวข้อที่จะดำเนินการทดสอบในระยะถัดไป จุดที่จะต้องคำนึงในการทดสอบ ความคาดหวังของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบและข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงในการทดสอบระยะถัดไป

- การใช้งานคลื่นความถี่ 600 MHz สำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล
  หารือในประเด็นคลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลในอนาคต โดยจะต้องสะท้อนมาจากจำนวนช่องรายการ ความคมชัด และโครงข่าย (MUX) ที่จะต้องมีในอนาคต เพื่อให้พิจารณาถึงจำนวนความถี่ที่เหมาะสมที่จะต้องใช้งาน

- เทคโนโลยีสำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
  หารือเกี่ยวกับเทคโนโลยีสำหรับการแพร่ภาคโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลหากมีการใช้เทคโนโลยี DVB-T2 เหมือนปัจจุบัน จะทำให้สามารถใช้โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายเดิมได้ แต่ฟังก์ชั่นและฟีเจอร์ในการแพร่ภาพจะเป็นในรูปแบบเดิม ทั้งนี้ หากมีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่ เช่น 5G Broadcast หรือ ATSC 3.0 จะทำให้ได้ฟังก์ชั่นและฟีเจอร์ในการแพร่ภาพที่มากขึ้น อาจทำให้ประชาชนสนใจรับชมโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลได้มากขึ้น แต่ก็ต้องทำการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายใหม่ รวมถึงเปลี่ยนเครื่องรับซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประชาชน

- พารามิเตอร์โครงข่าย DVB-T2
  หารือเกี่ยวกับพารามิเตอร์โครงข่าย DVB-T2 ในอนาคต จะใช้งานเหมือนปัจจุบันหรือมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ใหม่ แต่จะเน้นที่พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับความทนทานของสัญญาณและปริมาณการรับส่งข้อมูล เช่น การเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อให้มีการรับส่งข้อมูลได้มากขึ้นแต่แลกกับความทนทานของสัญญาณน้อยลง การเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้พื้นที่ครอบคลุมมากขึ้นหรือให้การรับสัญญาณง่ายขึ้น เพื่อให้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดพารามิเตอร์ที่จะใช้งานในการออกอากาศในอนาคต

- จำนวนสถานี

  หารือหลังจากสิ้นสุดใบอนุญาตโครงข่าย หากมีการต่อใบอนุญาตโครงข่ายใหม่จะใช้จำนวนสถานี 168 สถานีเท่าเดิมหรือไม่ หากใช้จำนวนเท่าเดิมก็จะทำให้ไม่มีเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในติดตั้งสถานีใหม่ แต่จะได้พื้นที่ครอบคลุมเท่าเดิม หรือจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนสถานีให้มากกว่า 168 สถานี จะทำให้พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชาชนเข้าถึงโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลได้มากขึ้น แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการติดตั้งสถานีเพิ่มเติม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

- ผู้ให้บริการโครงข่าย

  หารือประเด็นจำนวนของผู้ให้บริการโครงข่ายควรมีจำนวนเท่าใด เช่น มีเพียงรายเดียวเหมือนในบางประเทศเพื่อให้ลดต้นทุนและการลงทุนซ้ำซ้อน การดำเนินการต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่อาจจะมีปัญหาในเรื่องของสินทรัพย์ในปัจจุบัน หรืออาจมี 2-3 ราย หรือจำนวนคงเดิมเหมือนปัจจุบัน โดยขึ้นอยู่กับข้อตกลงกันระหว่างผู้ให้บริการโครงข่ายในปัจจุบัน

- สัญญาณภาพและเสียง

  หารือประเด็นสัญญาณภาพจะคงเดิมเหมือนปัจจุบันหรือไม่ คือมีเพียงความคมชัด SD HD เช่นเดิมและอาจมีความคมชัด 4K อยู่ด้วยโดยจะต้องปัจจัยคำนึงถึงปัจจัยหลัก ได้แก่ Codec, Receiver, Bit rate, Source Cost ซึ่งหากใช้รูปแบบสัญญาณภาพเหมือนในรูปแบบปัจจุบันจะทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายอื่นเพิ่มเติม แต่อาจจะไม่เหมาะสมต่อสถานการณ์เทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้นในอนาคต แต่หากมีการปรับเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพเป็นความคมชัด 4K ทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบริหารโครงข่ายอาจลดน้อยลงจากจำนวนช่องรายการที่น้อยลงต่อโครงข่าย แต่เครื่องรับในปัจจุบันมีโอกาสที่จะไม่สามารถรับได้ และรายการมีเพียงพอต่อการออกอากาศหรือไม่

  หารือประเด็นสัญญาณเสียงลักษณะเช่นเดียวกันกับสัญญาณภาพคือมีปัจจัยหลักที่จะต้องคำนึงถึง ได้แก่ Codec, Receiver, Bit rate, Source Cost โดยจะเป็นในลักษณะ Stereo เหมือนปัจจุบันหรือจะมีการปรับเปลี่ยนเป็น Surround, immersive audio ตามเทคโนโลยี

โดยที่ประชุมได้มีการนำเสนอหัวข้อบรรยาย ประเด็นหารือและมีการอภิปรายกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ได้ข้อสรุปหรือผลลัพธ์จากการประชุมสำหรับประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็นของการประชุมหารือเกี่ยวกับการจัดให้มีต้นแบบของแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการเข้าถึงกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลรายละเอียดปรากฏตาม**ภาคผนวก ข**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



รายงานการทดลอง
ส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
ในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K

สำนักวิศวกรรม
องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย
วันที่ 5 เมษายน 2566

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

บทนำ

รายงานฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อรายงานการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยสำนักวิศวกรรม องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (ส.ส.ท.) ร่วมกับ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) สำนักงานกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม (สำนักงาน กสทช.) เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินด้วยเทคโนโลยี 4K สำหรับประเทศไทย ในอนาคต

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแรกเป็นการทดลองออกอากาศในพื้นที่จำกัด ส่งสัญญาณจากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ถนนวิภาวดี แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ระยะที่สอง จะดำเนินการทดลองออกอากาศในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โดยออกอากาศจากสถานีส่งสัญญาณใบหยก 2 เลขที่ 222 อาคารใบหยก 2 ซอยราชปรารภ 3 ถนนราชปรารภ แขวงถนนพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร และระยะที่สามจะทดลองออกอากาศในพื้นที่สำคัญหรือเมืองใหญ่ทั่วประเทศ โดยออกอากาศจากสถานีส่งสัญญาณหลักในโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล

รายงานการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ระยะแรกประกอบด้วย 5 บท ได้แก่ บท 1 เป็นรายงานการทดลองบริการ UHD บนโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ DVB-T2 ในต่างประเทศ บท 2 เป็นการออกแบบการทดลอง ตั้งแต่การกำหนดรูปแบบสัญญาณภาพในขั้นตอนการผลิต การใช้เทคโนโลยีในบีบอัดสัญญาณ การวางแผนโครงข่ายในระบบส่งสัญญาณ และการรับสัญญาณ บท 3 อธิบายอุปกรณ์ออกอากาศและระบบที่ใช้ในการทดลอง บท 4 เป็นการวัดสัญญาณในภาคสนาม และบท 5 เป็นการสรุปผลการทดลองออกอากาศ

ส.ส.ท. ขอขอบคุณ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ที่อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบ และขอขอบคุณ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ที่ให้คำแนะนำและความเห็นในการกำหนดกรอบและแนวทางในการทดลอง

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.
เมษายน 2566

สารบัญ

หน้า

บท 1 บริการ UHDTV 1
ประเทศฝรั่งเศส 3
ประเทศสเปน 5
ประเทศสวีเดน 19
สหราชอาณาจักร 20
ประเทศอิหร่าน 20
บท 2 การทดลองออกอากาศเทคโนโลยี 4K ส.ส.ท. 28
การผลิต (Production) 30
การบีบอัด (Compression) 36
การส่งสัญญาณ (Transmission) 37
การวางแผนโครงข่าย 38
การรับสัญญาณ (Reception) 56
บท 3 อุปกรณ์และระบบ 63
ระบบ Headend 64
เครื่องส่งโทรทัศน์ 65
สายอากาศ 69
สายนำสัญญาณ 72
การจำลองแบบ 73
บท 4 การวัดสัญญาณภาคสนาม 84
สายอากาศ 84
TV signal & spectrum analyzer 85
เครื่องรับโทรทัศน์ 86
การวัดสัญญาณ 86
บท 5 สรุปผลการทดลอง 110
เอกสารอ้างอิง 114
ภาคผนวก 116
ภาคผนวก ก Harmonic XOS 117
ภาคผนวก ข Harmonic ProStream X 121
ภาคผนวก ค Harmonic NMX 125
ภาคผนวก ง Tredress MP-600W 129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ Spinner BN 616663C1031 131
ภาคผนวก ฉ Kathrein 75010067 133
ภาคผนวก ช RFS LCF78-50JA-A7 138
ภาคผนวก ฌ Farcarro LP45F 140
ภาคผนวก ญ Promax Ranger Neo 4 142
ภาคผนวก ฎ แบบรายงานผลการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 146

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อกำหนดรูปแบบและการส่งสัญญาณภาพ โดย DVB Steering Board Committee 2
ตาราง 2 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ฝรั่งเศส.....3
ตาราง 3 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2014.....6
ตาราง 4 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016-2021 7
ตาราง 5 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016.....9
ตาราง 6 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2017..... 11
ตาราง 7 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2018..... 12
ตาราง 8 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 8K บน DTT สเปน 2020..... 15
ตาราง 9 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 4K บน DTT สเปน 2020..... 18
ตาราง 10 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สวีเดน 19
ตาราง 11 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สหราชอาณาจักร..... 20
ตาราง 12 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT อิหร่าน 21
ตาราง 13 ภาพรวมชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ระบบ DVB-T2..... 24
ตาราง 14 คุณภาพสัญญาณภาพและอัตราข้อมูล UHD บน DTT ระบบ DVB-T2 ในต่างประเทศ .. 27
ตาราง 15 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นการส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 ด้วยเทคโนโลยี 4K..... 28
ตาราง 16 รูปแบบสัญญาณภาพที่กำหนดให้ใช้ทดลองออกอากาศ 30
ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ..... 31
ตาราง 18 ลิมิตของ Tier และ Level สำหรับ Main 10 Profile..... 36
ตาราง 19 คุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ..... 37
ตาราง 20 ค่าพารามิเตอร์การส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 โครงข่าย ส.ส.ท. ปัจจุบัน 37
ตาราง 21 การจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP..... 39
ตาราง 22 เวลาป้องกันของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHz (หน่วย: μs)... 40
ตาราง 23 Pilot Pattern ของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับการรับสัญญาณแบบ SISO 40
ตาราง 24 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz สำหรับ FFT 32K และ GIF 19/256 (หน่วย: Mbps).. 41
ตาราง 25 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน 52
ตาราง 26 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล..... 54
ตาราง 27 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K บนโครงข่ายปัจจุบัน..... 57
ตาราง 28 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน 59
ตาราง 29 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล..... 61
ตาราง 30 ข้อมูลสถานีทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ 4K over DVB-T2..... 63

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง 31 คุณลักษณะของแบนด์พาสฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz 68
ตาราง 32 คุณลักษณะสายอากาศ Log-periodic 84
ตาราง 33 คุณลักษณะเครื่องรับโทรทัศน์ LG 55US660H0TD 86
ตาราง 34 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน 89
ตาราง 35 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน 89
ตาราง 36 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล 90
ตาราง 37 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน 94
ตาราง 38 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน 94
ตาราง 39 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล 95
ตาราง 40 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน 99
ตาราง 41 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน 99
ตาราง 42 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล 100
ตาราง 43 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน 104
ตาราง 44 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน 104
ตาราง 45 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล 105
ตาราง 46 เปรียบเทียบความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุด 108
ตาราง 47 ทางเลือกการจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่ 112

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 เฟสการออกอากาศ UHD โดย DVB Steering Board Committee 1
ภาพ 2 การทดลองออกอากาศ 4K วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 28
ภาพ 3 การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 29
ภาพ 4 การประชุมร่วมระหว่างสำนักงาน กสทช. ส.ส.ท. และผู้ผลิต 29
ภาพ 5 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2 38
ภาพ 6 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2 42
ภาพ 7 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2 43
ภาพ 8 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4 43
ภาพ 9 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4 44
ภาพ 10 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8 44
ภาพ 11 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8 45
ภาพ 12 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7 45
ภาพ 13 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7 46
ภาพ 14 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7 46
ภาพ 15 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7 47
ภาพ 16 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7 47
ภาพ 17 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7 48
ภาพ 18 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7 48
ภาพ 19 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7 49
ภาพ 20 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7 49
ภาพ 21 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7 50
ภาพ 22 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7 50
ภาพ 23 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7 51
ภาพ 24 XOS Harmonic Encoder 64
ภาพ 25 ProStream X – Harmonic Multiplexer 65
ภาพ 26 Harmonic NMX บน Laptop 65
ภาพ 27 เครื่องส่ง Tredess รุ่น MP-600W 65
ภาพ 28 Spinner Bandpass Filter PN BN 616663C1031 66
ภาพ 29 Return loss ของฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz 66
ภาพ 30 Filter Loss ช่อง 22 ที่ 482 MHz 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพ 31 Group Delay ช่อง 22 ที่ 482 MHz 67
ภาพ 32 ชุดเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ 68
ภาพ 33 ลักษณะและมิติของสายอากาศ 69
ภาพ 34 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวนอนที่ 482 MHz 70
ภาพ 35 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวตั้งที่ 482 MHz 70
ภาพ 36 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติที่ 482 MHz 71
ภาพ 37 สายนำสัญญาณ RFS 7/8" CELLFLEX 72
ภาพ 38 Return Loss ช่อง 22 ของระบบสายอากาศ 72
ภาพ 39 ความยาวสายนำสัญญาณ LCF 7/8 – 50 JA 73
ภาพ 40 การส่งสัญญาณ FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2 74
ภาพ 41 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2 74
ภาพ 42 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2 75
ภาพ 43 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2 75
ภาพ 44 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4 76
ภาพ 45 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4 76
ภาพ 46 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8 77
ภาพ 47 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8 77
ภาพ 48 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7 78
ภาพ 49 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7 78
ภาพ 50 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7 79
ภาพ 51 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7 79
ภาพ 52 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7 80
ภาพ 53 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7 80
ภาพ 54 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7 81
ภาพ 55 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7 81
ภาพ 56 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7 82
ภาพ 57 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7 82
ภาพ 58 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 5/6, PP7 83
ภาพ 59 พื้นที่การกระจายคลื่น FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 5/6, PP7 83
ภาพ 60 Yaki antenna – Log-periodic Fracarro LP45F 84

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพ 61 TV signal & spectrum analyzer - Promax Ranger Neo 4 85
ภาพ 62 iDTV LG รุ่น 55US660H0TD 86
ภาพ 63 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ และจุดวัดสัญญาณ 87
ภาพ 64 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 1 88
ภาพ 65 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 1 92
ภาพ 66 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 2 93
ภาพ 67 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 2 97
ภาพ 68 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3 98
ภาพ 69 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3 102
ภาพ 70 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3 103
ภาพ 71 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 4 107

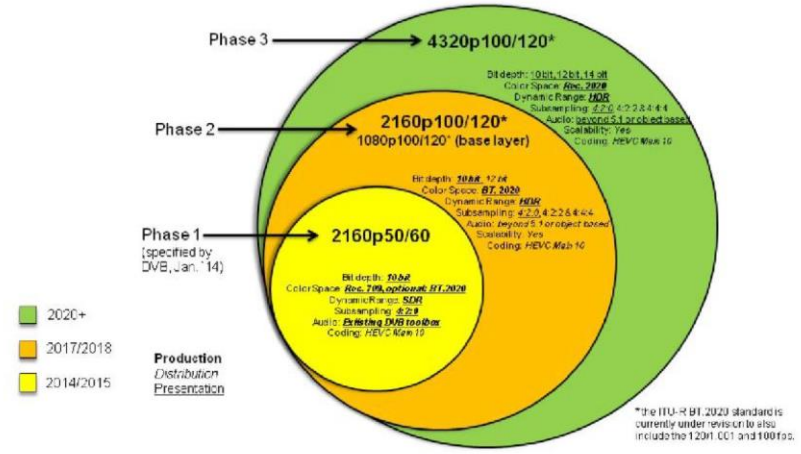
บท 1
บริการ UHDTV

การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลสำหรับประเทศไทย ใช้มาตรฐาน DVB-T2 ที่มีต้นกำเนิดจากยุโรป มีคณะกรรมการกำกับดูแล DVB (DVB Steering Board Committee) ทำหน้าที่กำหนดทิศทางและนโยบายของโครงการ การประสาน จัดลำดับความสำคัญ และการบริหารของโครงการ รวมถึงอนุมัติข้อกำหนดเฉพาะของ DVB และเสนอให้หน่วยงานมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องนำข้อตกลงจากการประชุมไปกำหนดเป็นมาตรฐานร่วมกัน สำหรับใช้ในกลุ่มประเทศสมาชิก

สำหรับบริการ Ultra High Definition คณะกรรมการกำกับดูแล DVB ได้อนุมัติเฟสการออกอากาศบริการ UHD ไว้ 3 เฟส ได้แก่

UHD Phase 1 ได้รับการอนุมัติในการประชุมของคณะกรรมการกำกับดูแล DVB ครั้งที่ 77 ในปี 2014 ทำให้ผู้ให้บริการเนื้อหามีความเป็นไปได้ในการให้บริการด้วยภาพที่มีความละเอียดมากกว่า HDTV 1080p ถึงสี่เท่า ที่อัตราเฟรมสูงถึง 60 เฟรมต่อวินาที ความคมชัดดีขึ้นจากการเพิ่มจำนวนบิตต่อพิกเซลเป็น 10 บิต โปรไฟล์ HEVC Main 10 Level 5.1 มีตัวเลือกหลากหลายสำหรับเนื้อหา UHD ที่มีความละเอียดสูงสุด 2160p

ภาพ 1 เฟสการออกอากาศ UHD โดย DVB Steering Board Committee



credit: https://www.live-production.tv/news/4k-8k-arising/new-standard-guarantees-interoperability-broadcasters-ce-manufacturers.html

UHD Phase 2 ได้รับการอนุมัติในการประชุมของคณะกรรมการกำกับดูแล DVB ครั้งที่ 84 ในปี 2016 ที่ถือเป็นก้าวสำคัญของอุตสาหกรรมโทรทัศน์ เป็นการประกันความสามารถในการทำงาน

ร่วมกัน และทำให้ผู้แพร่ภาพกระจายเสียงและผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค สามารถจัดหาผลิตภัณฑ์และบริการ พร้อมกับคุณสมบัติเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสบการณ์การรับชม ครอบคลุมองค์ประกอบต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพและเสียงสำหรับบริการแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึง High Dynamic Range (HDR) ซึ่งเพิ่มอัตราส่วนคอนทราสต์ (Contrast Ratio) อย่างมากและทำให้ภาพมี 'ประกาย' มากขึ้น โซลูชัน DVB รองรับ Hybrid Log Gamma (HLG) และ Perceptual Quantizer (PQ) นอกจากนี้ High Frame Rate (HFR) ที่สูงกว่า 50/60 Hz ในปัจจุบัน ทำให้ภาพวัตถุเคลื่อนไหวมีความคมชัดยิ่งขึ้น ในส่วนของเสียง DVB ได้เพิ่มโครงร่างของ Next Generation Audio (NGA) ล่าสุดที่รองรับเสียงของวัตถุหรือฉาก คุณสมบัติใหม่เหล่านี้สามารถใช้ร่วมกับการออกอากาศโทรทัศน์ทั้งความคมชัดแบบ HD และ UHD

UHD Phase 3 ได้รับการอนุมัติให้ปรับปรุงข้อกำหนดในการนำเสนอความสามารถในการส่งบริการภาพ 8K UHD ในปี 2021

ตาราง 1 ข้อกำหนดรูปแบบและการส่งสัญญาณภาพ โดย DVB Steering Board Committee

	UHD-1 Phase 1	UHD-1 Phase 2	UHD-2
Popular	4K	4K	8K
Resolution	3 840 x 2 160	3 840 x 2 160	7 680 x 4 320
Scan	Progressive	Progressive	Progressive
Max Frame Rate	50/60 fps	100/120 fps	100/120 fps
Bit Depth	10	10, [12]	10, 12, 14
Color Space	ITU-T BT.709 [ITU-T BT.2020]	ITU-T BT.2020	ITU-T BT.2020
Dynamic Range	SDR	HDR	SDR/HDR
Chroma Subsampling	4:2:0	4:2:0, [4:2:2, 4:4:4]	4:2:0, [4:2:2, 4:4:4]
Audio	5.1	beyond 5.1 or objective based	beyond 5.1 objective based
Video Coding	HEVC main 10	HEVC main 10	HEVC main 10

หมายเหตุ: [x] ทางเลือก

การทดลองออกอากาศ Ultra High Definition Television (UHDTV) บนโครงข่าย Digital Terrestrial Television (DTT) ระบบ DVB-T2 ในต่างประเทศ เริ่มทดลองในปี 2014 เป็นต้นมา โดยประเทศที่มีการกำหนดช่องสัญญาณ 8 MHz ได้แก่ ประเทศฝรั่งเศส สเปน สวีเดน สหราชอาณาจักร และ อิหร่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแข่งขันฟุตบอลโลกปี 2014 ที่ประเทศบราซิล โดยมี 3 เกมการ

แข่งขัน ที่จัดขึ้นใน Epic Maracana Stadium ที่ได้รับการผลิตและเผยแพร่ในรูปแบบ 4K UHDTV โดยเชื่อว่าถูกส่งผ่านโครงข่ายดาวเทียมและไฟเบอร์ไปทั่วโลกอย่างเป็นทางการ

ประเทศฝรั่งเศส

เริ่มทดลองตั้งแต่ปี ค.ศ. 2014 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้แพลตฟอร์มในทดลองสำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) จากหอไอเฟล (Eiffel Tower) ด้วยอัตราข้อมูล 40.215 Mbps โดยมีเป้าหมายเพื่อทดสอบเทคโนโลยีใหม่ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเข้ารหัส High Efficiency Video Coding (HEVC) ของโปรไฟล์ Ultra High Definition (UHD), การออกอากาศ DVB-T2 และการทำงานร่วมกันกับเครื่องรับโทรทัศน์ รวมถึงทำความเข้าใจปัญหาทางเทคนิคที่เป็นไปได้ในบริบทนี้และสาธิตบริการที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้ได้ทรูพุตสูงสุดในระหว่างการทดลอง UHD DVB-T2 มัลติเพล็กซ์ จะถูกส่งจากหอไอเฟล (กรุงปารีส) ตามโปรไฟล์ Multi-frequency Network (MFN) ด้วย Guard Interval (GI) เท่ากับ 1/128 สามารถรับสัญญาณ DVB-T2 มัลติเพล็กซ์ ที่จุดใดก็ได้ในพื้นที่ครอบคลุมการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (Digital Terrestrial Television Broadcasting: DTTB) ซึ่งมีรัศมีประมาณ 25 กิโลเมตร ผ่านสายอากาศมาตรฐานแบบเรค และเครื่องรับโทรทัศน์ที่ติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ DVB-T2 ที่มีชิปเซ็ต HEVC ติดตั้งไว้สำหรับถอดรหัสโปรแกรม UHD

พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการทดลองการส่งสัญญาณ 4K UHDTV ภาคพื้นดินที่ดำเนินการในประเทศฝรั่งเศสแสดงไว้ในตาราง พื้นที่ครอบคลุมของเครื่องส่งสัญญาณแสดงไว้ดังรูป

ตาราง 2 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ฝรั่งเศส

Network topology	MFN (DTTB)
Modulation method	OFDM
Channel bandwidth / Occupied bandwidth	8 / 7.77 MHz
Transmission frequency	514.167 MHz (UHF ch26)
Transmission power	100 W, ERP: 1000 W
Transmission mode	SISO
Carrier modulation	256-QAM
C/N (for Rician channel)	19.7 dB
FFT size (number of radiated carriers)	32k (27,841)
Guard interval ratio (guard interval duration)	1/128 (28 μs)
Pilot pattern	PP7
# OFDM symbols	60

ตาราง 2 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ฝรั่งเศส (ต่อ)

Error-correcting code	Inner: LDPC, code rate = 2/3 Outer: BCH
Data rate	40.215 Mbps
Video coding	HEVC (2160p, UHD-1 phase 1, 8 bit, 50 fps)
Transmitting station	Eiffel Tower
Height of transmitting antenna	313 m
Height of receiving antenna	10 m
Coverage radius	25 km
Minimum median field strength	55 dBμV/m at 10 m

ถ่ายทอดสดโดยส่งสัญญาณ 4K UHDTV ภาคพื้นดินรายการเฟรนช์โอเพ่น (French Open) ซึ่งเป็นแข่งขันเทนนิสระดับนานาชาติ รวมทั้งส่งสัญญาณที่บันทึกและถูกเข้ารหัสฟุตเทจไว้ในระหว่างการทดลอง โดยจะให้ความสนใจกับการถ่ายทอดสดการแข่งขันเทนนิสระดับนานาชาติ “French Open” เท่านั้น

การใช้แพลตฟอร์ม 4K-UHDTV ในการถ่ายทอดสดการแข่งขัน French Open โดยใช้อัตราเฟรม 50 เฟรมต่อวินาที ถือเป็นความท้าทายทางเทคโนโลยี การทดลองดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการออกอากาศในระบบ DVB-T2 กับ UHD-TV ที่มีชิปเซ็ตถอดรหัส HEVC รุ่นแรกในตัวเครื่อง ในระหว่างการแข่งขันช่วงบ่ายของทั้งสองวันเต็ม (3 และ 4 มิถุนายน) ได้ยกเวลาออกอากาศให้กับการถ่ายทอดสดบน UHD โปรแกรม 1 โดยใช้กล้อง UHD เคลื่อนที่ 4 ตัว ในการผลิต UHD จริง สำหรับการแข่งขันที่เหลือใช้กล้อง UHD อยู่กับที่ติดตั้งบนคอร์ทหลัก จะใช้สำหรับการถ่ายทอดสดในรายการ UHD โปรแกรม 1 ด้วยอัตราข้อมูล 22.5 Mbps สำหรับ UHD โปรแกรม 2 ออกอากาศแบบออฟไลน์ภาพยนตร์ UHD ที่มีการเข้ารหัส มีเนื้อหาเกี่ยวกับทะเล คลื่นในพายุ และเรือประมง โดยออกอากาศในเมืองเบอรตาญ (Brittany) ด้วยอัตราข้อมูล 17.5 Mbps

ยิ่งไปกว่านั้น ทั้งสองวันยังทุ่มเทเวลาให้กับการผลิตภาพ UHDTV ที่ถ่ายด้วยกล้อง UHDTV 4 ตัวและกล้อง HD 2 ตัว ที่เพิ่มสเกลเป็น UHD ในทั้งสองวันนี้ได้รับการยินยอมให้มีการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพของโปรแกรม UHD, HD (1920×1080i/25) และ SD (720×576i/25) บนหน้าจอ UHDTV เดียวกัน

ในการทดลองอนุญาตออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล (DTTB) คู่ขนาน โดยรวมภาพการแข่งขัน "French Open" แสดงบนหน้าจอ UHDTV เดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพการรับรู้ของโปรแกรม UHD, HD และ SD

ในการสาธิตมีการดำเนินการรับความเห็นจากทั้งผู้ชมมืออาชีพและทางบ้าน ซึ่งบางคนเพิ่งจะได้รับชมภาพ UHDTV เป็นครั้งแรก โดยถูกเชิญให้รับชมโทรทัศน์ในสภาพแวดล้อมเดียวกับห้องนั่งเล่น โดยนั่งในระยะห่างที่เหมาะสมกับหน้าจอ UHDTV ประมาณ 1.5 เท่าของความสูงของจอโทรทัศน์ขนาดหน้าจอ 65 นิ้ว ผู้รับชมส่วนใหญ่ ประมาณ 60 ถึง 70 คน รู้สึกว่าคุณภาพของภาพในโปรแกรม UHDTV นั้นค่อนข้างดีกว่าคุณภาพของภาพในโปรแกรม SD และ HD เนื่องจากข้อเท็จจริงที่เราสามารถจดจำผู้คนบนอัฒจันทร์ได้แม้ในมุมมองกว้าง ซึ่งเป็นไปไม่ได้ใน HD และเสียงตอบรับอื่นๆ อีกมากมาย เช่น “มันสมจริงมาก เหมือนเรามองผ่านหน้าต่าง”

การทดลองนี้เป็นขั้นตอนสำคัญไปสู่การเปิดตัว UHDTV ภาคพื้นดินในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งแพลตฟอร์มโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล SD & HD เป็นแพลตฟอร์มหลักในการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบผังรายการ โดยมีรายการความคมชัดสูง (High Definition: HD) เป็นส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการถ่ายทอดสด 4K UHDTV ภาคพื้นดินบนข้อกำหนดของ UHDTV (เฟส 1) และการมอดูเลต 256 QAM OFDM กับสองโปรแกรมใน DTT Multiplex สำหรับตัวเข้ารหัส UHDTV รายการสดเวอร์ชั่นแรก นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นขั้นตอนคุณภาพของโปรแกรม UHDTV เมื่อเทียบกับโปรแกรม HD (1920×1080i/25)

ด้วยเหตุนี้ จึงสรุปได้ว่า UHDTV จะเป็นผู้รับช่วงต่อของโทรทัศน์ความคมชัดสูง (High Definition Television: HDTV) อย่างแน่นอน จากข้อสรุปนี้ แพลตฟอร์มการส่งสัญญาณภาคพื้นดิน 4K UHDTV ดังกล่าวจะยังคงใช้งานอยู่ โดยมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนการพัฒนา UHDTV และเตรียมเปิดตัว UHDTV ภาคพื้นดินในฝรั่งเศส ยิ่งไปกว่านั้น จากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันเกี่ยวกับปัญหาทั้งจากมุมมองทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ว่าจะสามารถส่งโปรแกรม UHDTV (เฟส 1) สามโปรแกรมในมัลติเพล็กซ์ DVB-T2 ในประเทศฝรั่งเศสได้ภายในปี 2017

ประเทศสเปน

ประเทศสเปนมีการทดลองออกอากาศ UHDTV หลายครั้ง นับตั้งแต่ปี 2014 จนถึง 2021 โดยสรุป ดังนี้

การทดลองออกอากาศจากพิพิธภัณฑ์ปราโด (Museo del Prado) มาดริด (Madrid) 2014

Radiotelevisión Española หรือ RTVE ผู้ให้บริการโทรทัศน์สาธารณะของประเทศสเปน ร่วมกับมหาวิทยาลัยโปลีเทคนิคแห่งกรุงมาดริด (Universidad Politécnica de Madrid: UPM) และบริษัทในประเทศสเปนที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ได้ทำการทดลอง Ultra High Definition TV ในปี 2014 โดย

จัดทำสารคดีเกี่ยวกับพิพิธภัณฑ์ปราโด ในชื่อ “The Passion of the Prado” ด้วยการผลิตภาพที่มีความละเอียด 4K (3840×2160 พิกเซล)

การทดสอบในครั้งแรกมีการทดลองออกอากาศครอบคลุมพื้นที่เมืองมหาวิทยาลัย (Ciudad Universitaria) ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของกรุงมาดริด โดยส่งจากเครื่องส่งสัญญาณในโรงเรียนวิศวกรรมโทรคมนาคม (ETSI de Telecomunicación – UPM) ใช้การเข้ารหัสภาพ AVC/H.264 และอัตราเฟรม 25p เฟรมต่อวินาที จากนั้นจึงใช้การเข้ารหัสภาพ HEVC/H.265 ที่อัตราเฟรม 50p เฟรมต่อวินาที เพื่อให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น โดยทดสอบที่อัตราบิตตั้งแต่ 20 Mbps จนถึง 35 Mbps ส่งสัญญาณบน DVB-T2 เนื่องจาก DVB-T2 ยอมให้ใช้อัตราบิตได้ประมาณ 50 Mbps ขณะที่อัตราบิตของสัญญาณใช้ถึง 35 Mbps จึงมีอัตราบิตว่างพอที่จะเพิ่มโปรแกรมสำหรับการทดสอบในอนาคต พารามิเตอร์ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง มีรายละเอียดตามตาราง

ตาราง 3 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2014

Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
Frequency	754 MHz (Ch 56)
Power	ERP: 125 W (H)
Carrier modulation	64 QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/128
DVB-T2 FEC	5/6
Pilot pattern	PP7
Theoretical capacity	36.72 Mbps
Video coding	HEVC/H.265
Audio coding	E-AC-3 5.1
Total used bitrate	35 Mbps
Transmitting station	ETSI de Telecomunicación (UPM)

การทดลองออกอากาศโดย The Chair of RTVE at UPM ช่วงปี 2016-2021

The Chair of RTVE at UPM ถูกตั้งขึ้นในปี 2015 โดยความร่วมมือกันระหว่าง RTVE UPM และบริษัทที่เกี่ยวข้อง มีการจัดตั้งคณะกรรมการที่ปรึกษา ประกอบด้วย Cellnex, Dolby, Sapec และ Televés Corporation ทำหน้าที่ให้คำปรึกษากับ The Chair of RTVE at UPM โดยทำงาน

ร่วมกับ Abacanto ทำการทดลอง UHDTV หลายครั้งในช่วงปี 2016 – 2021 มีความร่วมมือเชิงกลยุทธ์ระหว่างหน่วยงานข้างต้นในหลายกิจกรรม อาทิ การฝึกอบรม การวิจัย งานวิชาการ และการเผยแพร่ อย่างไรก็ตามก่อนจะมีการลงนามในข้อตกลง RTVE และ UPM ได้มีการร่วมมือกันในการดำเนินการต่างๆ อยู่ก่อนแล้ว เช่น การทดลอง UHD ครั้งแรกบน DTT หรือการทดลอง HD บน DTT แบบอินเตอร์แอคทีฟเป็นครั้งแรก

แม้ว่าจะมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน แต่การออกอากาศเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งของกิจกรรมของ The Chair of RTVE at UPM ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาประสบการณ์ UHD มากมายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ตามแนวทางทำให้ คณกรรมการ RTVE ได้เข้าร่วมการทดลอง UHD บน DTT หลายครั้ง ซึ่งไม่เพียงแค่แสดงให้เห็นว่าการเผยแพร่ UHD ทำได้จริงและมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังชื่นชมข้อดีของการใช้มาตรฐานใหม่ เช่น DVB-T2, HEVC และ AC-4 ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เพื่อเข้าถึงการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสัญญาณที่ดีขึ้นกับความดื่มด่ำที่มากขึ้นด้วยคุณสมบัติใหม่ที่เพิ่มเข้าไปกับสัญญาณ UHD เช่น HDR – High Dynamic Range, HFR – High Frame Rate, WCG – Wide Color Gamut หรือ NGA – Next Generation Audio

Cellnex หนึ่งในสมาชิกของคณะกรรมการที่ปรึกษา ได้ดำเนินการทดลองออกอากาศ UHD DVB-T2 อย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ต้นปี 2016 เป็นการทดลองทั่วประเทศสเปน มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการรับสัญญาณ โดยใช้พารามิเตอร์ทางเทคนิคมีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 4 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016-2021

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, SDR
Video coding	HEVC/H.265
Audio	2.0
Audio coding	E-AC-3
Bitrate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	36 (Madrid), 43 (Barcelona), 36 (Sevilla), 26 (Malaga), 33 (Santiago de Compostela), 23 (Zaragoza), 41 (Torrente), 43 (Teruel), 48 (Oviedo), 42 (Burgos), 42 (León), 21 (A Coruña)

ตาราง 4 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016-2021 (ต่อ)

Transmitting station	Mijas – Malaga Ch 26 Torrespaña and San Fernando de Henares–Madrid Ch 36 Monte Pedroso – Santiago de Compostela Ch 33 Collserola and Baix Llobregat – Barcelona Ch 43 Valencina – Sevilla Ch 36 La Muela – Zaragoza Ch 23 Torrente – Valencia Ch 41 Teruel – Teruel Ch 43 Oviedo-Naranco – Oviedo Ch 48 Burgos – Burgos Ch 42 El Portillo – León Ch 42 Ares – A Coruña Ch 21
Power	ERP: 2 kW (H) Ch 26 (Mijas) ERP: 15 kW (H) Ch 36 (Torrespaña) ERP: 75 W (H) Ch 36 (San Fernando) ERP: 9 kW (H) Ch 33 (Santiago) ERP: 10 kW (H) Ch 43 (Collserola) ERP: 12 W (H) Ch 43 (Baix Llobregat) ERP: 9 kW (H) Ch 36 (Valencina) ERP: 9 kW (H) Ch 23 (La Muela) ERP: 2 kW (H) Ch 41 (Torrente) ERP: 70 W (H) Ch 43 (Teruel) ERP: 70 W (H) Ch 48 (Oviedo) ERP: 170 W (H) Ch 42 (Burgos) ERP: 200 W (H) Ch 42 (El Portillo) ERP: 14 kW (H) Ch 21 (Ares)
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/8
DVB-T2 FEC	2/3

ตาราง 4 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016-2021 (ต่อ)

Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

การทดลอง UHDTV จากโรงละครหลวง (Teatro Real) แห่งกรุงมาดริด ปี 2016

เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2016 The Chair of RTVE at UPM เข้าร่วมการถ่ายทอดสดโอเปร่า Parsifal ในรูปแบบ UHD ซึ่งริเริ่มโดย Teatro Real, RTVE และ Hispasat ด้วยสัญญาณ 4K ที่มีอัตราเฟรม 50 ภาพต่อวินาที ถ่ายทอดสดโดย RTVE ใน Teatro Real และออกอากาศผ่าน Hispasat หลังจากเข้ารหัสภาพ HEVC และเข้ารหัสเสียง E-AC-3 แบบเรียลไทม์ อัตราบิตเฉลี่ยมีค่าประมาณ 30 Mbps มีการกำหนดจุดรับสัญญาณ 4 แห่ง ได้แก่ โรงภาพยนตร์ Kinepolis ในกรุงมาดริด หอประชุม Prado del Rey และ ETSIT-UPM และหอคอย Collserola ในบาร์เซโลนา ส่งสัญญาณด้วยมาตรฐานใหม่ของ Digital Terrestrial Television (DVB-T2) ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่รอบ Ciudad Universitaria ในกรุงมาดริด โดยใช้ความถี่ 658 MHz (UHF ช่อง 44) ในการส่งสัญญาณ

Cellnex ทำการทดลองลักษณะเดียวกันจากศูนย์กระจายเสียงและแพร่ภาพ Collserola โดยเชื่อมั่นว่าครอบคลุมเขตเมืองบาร์เซโลนา พารามิเตอร์ของ COFDM มอดูเลต ของทั้งสองการทดลอง ใช้การส่งสัญญาณ DVB-T2 ในโหมด 32K extended, GI 1/128 และ PP7 Single PLP กำหนดด้วยมอดูเลต 64-QAM และ FEC 3/4 ทำให้อัตราบิตที่นำไปใช้ได้สูงสุดเป็น 32.6 Mbps

ตาราง 5 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, SDR
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1
Audio coding	E-AC-3
Bitrate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission via Hispasat (satellite)	
Transmission standard	DVB-S2
Frequencies	UP: 14 408 MHz DOWN: 11 608 MHz
Polarity	Vertical
Symbol rate	15 Msym

ตาราง 5 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2016 (ต่อ)

Roll of	0.2
Modulation	8PSK
FEC	3/4
Characteristics of the transmission (DTT)	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	44 (Madrid), 22 (Barcelona)
Transmitting station	ETSIT UPM – Madrid ch 44 Collserola – Barcelona ch 22
Power	ERP: 125 W (H) ch 44 (ETSIT UPM) ERP: 15 KW (H) ch 22 (Collserola)
Carrier modulation	64-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/128
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP7
Theoretical capacity	32.6 Mbps

การทดลองจากพระราชวังหลวง (Palacio Real) กรุงมาดริด ปี 2017

เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2017 The Chair of RTVE at UPM เข้าร่วมการถ่ายทอดสดทางโทรทัศน์ครั้งแรกในสเปนด้วยเทคโนโลยี 4K High Dynamic Range (HDR) ความละเอียด 4K หรือ Ultra High Definition เป็นหนึ่งในการปฏิวัติทางเทคโนโลยีที่สำคัญของภาพและเสียงและพัฒนาไปสู่ HDR ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ของคุณภาพของภาพที่เพิ่มความสว่างและปรับสมดุลของพื้นที่สว่างและพื้นที่มืด

สัญญาณ 4K ถูกเข้ารหัสโดยใช้มาตรฐาน HEVC ที่มีเมตาเดต้าสองลักษณะ ได้แก่ ข้อมูลเมตาแบบคงที่ที่เข้ากันได้กับ HDR10 และข้อมูลเมตาแบบไดนามิกที่เข้ากันได้กับ Dolby Vision ในทางกลับกัน เสียงถูกเข้ารหัสโดยใช้ E-AC-3 (5.1) ด้วยอัตราบิต 128 kbps PID ของเสียงที่สองถูกเข้ารหัสด้วย AC-4 ด้วยอัตราบิต 48 kbps มีอัตามบิตรวมประมาณ 30 Mbps

สัญญาณทีวีออกอากาศในช่องทดสอบ 4K UHD ของ Cellnex Telecom จากศูนย์กระจายเสียงและแพร่ภาพ Torrespaña ในมาดริด บนย่านความถี่ UHF ช่อง 32 ใน Barcelona บนย่าน

ความถี่ UHF ช่อง 43 และใน Sevilla บนย่านความถี่ UHF ช่อง 36 โดยใช้พารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณ DVB-T2 เป็น โหมด 32K extended, GI 1/8 และ pilot pattern PP2 Single PLP กำหนดด้วยมอดูเลต 256-QAM และ FEC 2/3 ทำให้มีอัตราบิตที่ใช้ได้สูงสุด เท่ากับ 33.4 Mbps และจำเป็นต้องมีโทรทัศน์ที่เข้ากันได้กับคุณลักษณะของสัญญาณสำหรับถอดสัญญาณ

ตาราง 6 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2017

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, HDR10 and Dolby Vision
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1
Audio coding	E-AC-3 and AC-4
Bitrate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	32 (Madrid), 36 (Sevilla), 22 (Barcelona)
Transmitting station	Torrespaña and San Fernando de Henares– Madrid Ch 32 Collserola and Baix Llobregat – Barcelona Ch 43 Valencina – Sevilla ch 36
Power	ERP: 15 KW (H) Ch 32 (Torrespaña) ERP: 75 W (H) Ch 32 (San Fernando) ERP: 10 KW (H) Ch 43 (Collserola) ERP: 12 W (H) Ch 43 (Baix Llobregat) ERP: 9 KW (H) Ch 36 (Valencina)
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/8
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

การทดลอง UHD-Phase 2 ปี 2018

การทดลอง UHDTV ที่มีความสมบูรณ์ที่สุดในมุมมองทางเทคนิคที่ประสบความสำเร็จ เกิดขึ้นในวันที่ 4 ตุลาคม 2018 ในการทดลองได้นำเสนอการผลิตและการออกอากาศสัญญาณที่สมบูรณ์ของ UHD1-Phase 2 เป็นครั้งแรกในประเทศสเปน เกิดจากการมีส่วนร่วมของ The Chair of RTVE at UPM, Abacanto Soluciones, SGO, Camaleón Rental, LG และ SONY

การส่งสัญญาณใช้มาตรฐาน DVB-T2 แบบ 4K Ultra High Definition, High Frame Rate (HFR) สูงสุด 100 เฟรมต่อวินาที, High Dynamic Range (HDR) ใช้ HDR 10, Wide Color Gamut (WCG) ใช้ ITU-R BT.2020 และ Next Generation Audio (NGA) สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณภาพและเสียง ใช้ HEVC และ AC-4 ตามลำดับ

สัญญาณ DVB-T2 ออกอากาศจาก ETSIT UPM ใน Ciudad Universitaria (มาดริด) ทางช่อง 44 บนย่านความถี่ UHF (ได้รับการกำหนดชั่วคราวให้กับ The Chair of RTVE at UPM โดย Secretaría de Estado para el Avance Digital สำหรับการทดลองทดสอบ) และทาง ช่อง 4K UHD ของ Cellnex Telecom จากศูนย์กระจายเสียงและแพร่ภาพ Torrespaña และ San Fernando de Henares ใน Madrid (บนย่านความถี่ UHF ช่อง 32), Collserola และ Baix Llobregat ใน Barcelona (บนย่านความถี่ UHF ช่อง 43), Valencina ใน Sevilla (บนย่านความถี่ UHF ช่อง 36), Mijas ใน Malaga (บนย่านความถี่ UHF ช่อง 26) และด้วยความร่วมมือของ Televés Corporation, Monte Pedroso ใน Santiago de Compostela (บนย่านความถี่ UHF ช่อง 33) กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณ DVB-T2 เป็นโหมด 32K extended, GI 1/8 และ Pilot Pattern PP2 Single PLP กำหนดด้วยการมอดูเลต 256 QAM และ FEC 2/3 ทำให้มีอัตราบิตที่ใช้สูงสุด เท่ากับ 33.4 Mbps

ตาราง 7 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2018

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, HDR10, WCG
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1
Audio coding	AC-4
Bitrate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz

ตาราง 7 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สเปน 2018 (ต่อ)

UHF channels	26 (Malaga), 32 (Madrid), 33 (Santiago de Compostela), 36 (Sevilla), 43 (Barcelona), 44 (ETSIT UPM)
Transmitting station	Mijas – Malaga ch 26 Torrespaña and San Fernando de Henares–Madrid Ch 32 Monte Pedroso – Santiago de Compostela Ch 33 Collserola and Baix Llobregat – Barcelona Ch 43 Valencina – Sevilla Ch 36 ETSIT UPM – Madrid Ch 44
Power	ERP: 2 KW (H) Ch 26 (Mijas) ERP: 15 KW (H) Ch 32 (Torrespaña) ERP: 75 W (H) Ch 32 (San Fernando) ERP: 9 KW (H) Ch 33 (Santiago) ERP: 10 KW (H) Ch 43 (Collserola) ERP: 12 W (H) Ch 43 (Baix Llobregat) ERP: 9 KW (H) Ch 36 (Valencina) ERP: 125 W (H) Ch 44 (ETSIT UPM)
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/8
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

การทดลองออกอากาศ UHD-8K บน DVB-T2 ปี 2020

เมื่อวันที่ 21 ตุลาคม The Chair of RTVE at UPM ได้เสนอให้มีการออกอากาศสัญญาณ UHD 8K ใน DVB-T2 เป็นครั้งแรกทั่วโลก โดยเกิดขึ้นจากความร่วมมือของสมาชิกของกรรมการที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยี ได้แก่ Cellnex Telecom, Dolby, Sapec และ Televés Corporation (Gsertel, TRedess และ Televés) รวมถึง Abacanto ในฐานะผู้สนับสนุน โดย SONY ให้ความ

ร่วมมือในการรับสัญญาณ SGO และ Abacanto ร่วมมือกันทำ post-production Samsung และ LG รับดำเนินการในการสร้างภาพ

การส่งสัญญาณใช้มาตรฐาน DVB-T2 โดยมีคุณลักษณะของสัญญาณ ดังต่อไปนี้

- ความละเอียด 8K จากภาพที่มีความละเอียด 7680 × 4320 พิกเซล ซึ่งมีความละเอียดเป็นสี่เท่าของ UHD หรือ 4K

- High Dynamic Range (HDR) ด้วยฟังก์ชันทรานส์เฟอร์ HLG (Hybrid Log-Gamma) ตามมาตรฐาน STD-B67 โดย ARIB (สมาคมธุรกิจและอุตสาหกรรมวิทยุ)

- High Frame Rate (HFR) 50 เฟรมต่อวินาที

- WCG (Wide Color Gamut) ตามคำแนะนำของ ITU-R BT.2020, bit-depth 10 บิต และ Color subsampling 4:2:0

- เสียงแบบหลายช่องสัญญาณ 5.1.4

ข่าวสารที่ถูกบรรจุลงในสัญญาณปริมาณมาก จำเป็นต้องมีมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพในการบีบอัดสูงและสามารถส่งสัญญาณที่มีลักษณะดังกล่าวได้ โดยใช้มาตรฐาน HEVC กับการเข้ารหัสภาพ ใช้มาตรฐาน Dolby AC4 กับการเข้ารหัสเสียง เพื่อให้แน่ใจว่ามีการบีบอัดและสัญญาณที่ถอดออกมาแล้วมีคุณภาพสูงสุด และใช้มาตรฐาน DVB-T2 ในการส่งเนื้อหา

การปรับพารามิเตอร์การบีบอัดอย่างเหมาะสมทำให้สามารถบีบอัดที่อัตราบิตเฉลี่ย 30 Mbps ของคุณภาพการรับชมภาพในระดับสูง และเมื่อรวมกับช่องสัญญาณเสียง และตารางข่าวสารแล้ว เพื่อให้ได้อัตราบิตต่ำกว่า 32 Mbps ที่อนุญาตให้สามารถส่งบนช่องสัญญาณ DVB-T2 ที่มีรายละเอียดตามตาราง

สัญญาณออกอากาศจาก Head end ที่โรงเรียนวิศวกรรมโทรคมนาคม UPM ตั้งอยู่ในเมืองมหาวิทยาลัยแห่งกรุงมาดริด ทางช่อง 44 บนย่านความถี่ UHF ซึ่ง State Secretariat of Telecommunications and Digital Infrastructures – SETID ได้กำหนดให้กับ The Chair of RVTE at UPM ใช้เป็นการชั่วคราวสำหรับการออกอากาศทดสอบ สัญญาณ 8K ยังออกอากาศในช่อง UHD ที่ออกอากาศโดย Cellnex Telecom จากศูนย์กระจายเสียงและแพร่ภาพของ Torrespaña และ San Fernando de Henares ในกรุงมาดริด ทางช่อง 36; Collserola และ Baix Llobregat ใน Barcelona ทางช่อง 43; Valencina ใน Seville ทางช่อง 36; Mijas ใน Malaga ทางช่อง 26; Monte Pedroso ใน Santiago de Compostela ทางช่อง 33; La Muela ใน Zaragoza ทางช่อง 23; และ Torrente ใน Velencia ทางช่อง 41

จากมุมมองทางเทคนิค อัตราบิตของเนื้อหาภาพและเสียงที่เป็นผลจะอยู่ที่ประมาณ 32 Mbps พารามิเตอร์การมอดูเลต COFDM ที่ใช้ในการส่งสัญญาณผ่าน DVB-T2 จาก Head end ที่ UPM เป็น 32K extended, GI 1/128 และ Pilot Pattern PP7 Single PLP ใช้การมอดูเลต 64-QAM และ 5/6 FEC ด้วยค่าที่กำหนดนี้ ทำให้ได้อัตราบิตที่ใช้สูงสุดประมาณ 36 Mbps ซึ่งใช้ในการส่ง

เนื้อหาได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาดใดๆ และการรับสัญญาณที่สถาบัน RTVE ได้ถูกต้อง สำหรับการออกอากาศช่อง UHD โดย Cellnex Telecom ใช้พารามิเตอร์การมอดูเลตในการส่งสัญญาณ DVB-T2 เป็น 32K Extended, 256-QAM, GI 1/8, PP2, FEC 2/3, SISO เป็นการกำหนดค่าที่ใช้สำหรับรองรับอัตราบิตที่ต้องการ ขณะที่มุ่งมั่นที่จะรักษาพื้นที่ครอบคลุมในสเกลที่ใหญ่ขึ้นและความยืดหยุ่นของบริการ

ตาราง 8 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 8K บน DTT สเปน 2020

Characteristics of the signal	
Video	8K resolution: 7 680 x 4 320 HFR 50 fps, HLG and WCG
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1.4
Audio coding	AC-4
Bitrate total	32 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	36 (Madrid), 43 (Barcelona), 36 (Sevilla), 26 (Malaga), 33 (Santiago de Compostela), 23 (Zaragoza), 41 (Valencia), 44 (ETSIT UPM)
Transmitting station	Mijas – Malaga Ch 26 Torrespaña and San Fernando de Henares–Madrid Ch 36 Monte Pedroso – Santiago de Compostela Ch 33 Collserola and Baix Llobregat – Barcelona Ch 43 Valencina – Sevilla Ch 36 La Muela – Zaragoza Ch 23 Torrente – Valencia Ch 41 ETSIT UPM – Madrid Ch 44

ตาราง 8 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 8K บน DTT สเปน 2020 (ต่อ)

Power	ERP: 2 KW (H) Ch 26 (Mijas) ERP: 15 KW (H) Ch 36 (Torrespaña) ERP: 75 W (H) Ch 36 (San Fernando) ERP: 9 KW (H) Ch 33 (Santiago) ERP: 10 KW (H) Ch 43 (Collserola) ERP: 12 W (H) Ch 43 (Baix Llobregat) ERP: 9 KW (H) Ch 36 (Valencina) ERP: 9 KW (H) Ch 23 (La Muela) ERP: 2 KW (H) Ch 41 (Torrente) ERP: 125 W (H) Ch 44 (ETSIT UPM)
Carrier modulation	64-QAM (ETSIT UPM) 256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/128 (ETSIT UPS) 1/8
DVB-T2 FEC	5/6 (ETSIT UPM) 2/3
Pilot pattern	PP7 (ETSIT UPM) PP2
Theoretical capacity	36.72 Mbps (ETSIT UPM) 33.4 Mbps

การทดลองประสาน UHD ประเทศสเปน ปี 2021

ในปี 2021 มีการก่อตั้งสมาคม UHD สเปน จากการมีส่วนร่วมของบริษัทมากกว่า 30 แห่ง เพื่อร่วมเริ่มทุกสิ่งในอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในเกิดการพัฒนา UHD ในสเปน สมาคมประกอบด้วยบริษัทจากหลายส่วนซึ่งต่างกันในอุตสาหกรรมที่ล้วนมีส่วนร่วมในการพัฒนา UHD ในสเปน อาทิ บริษัทผู้ผลิตและผู้ออกอากาศเสนอการผลิต UHD สำหรับการทดลอง ผู้ให้บริการโครงข่ายใช้โครงข่ายเพื่อส่งเนื้อหาผ่านสถานีส่งสัญญาณมากกว่า 40 แห่ง ทั้ง DTT และการส่งผ่านดาวเทียม ผู้ให้บริการด้านเทคนิคสนับสนุนเครื่องส่ง อุปกรณ์เข้ารหัส เพลย์เอาต์ และบริการสตรีมมิ่ง และผู้ผลิตโทรทัศน์

ช่วยจัดหาชุดโทรทัศน์สำหรับการสาธิตเพื่อช่วยสร้างระบบนิเวศ UHD และการรับรู้ของผู้บริโภคมีการพัฒนา

การทดลอง UHD ในสเปน ประกอบด้วย เพลย์เอาต์ UHD สองระบบ สำหรับส่ง HDR หนึ่งสตรีม และ SDR หนึ่งสตรีมไปยังโครงข่ายภาคพื้นดินและโครงข่ายดาวเทียมสำหรับเผยแพร่ครอบคลุมกว่า 40 เมือง บนภาคพื้นดินและทั้งประเทศผ่านดาวเทียม บริการนี้ยังเสริมด้วยบริการอินเทอร์แอคทีฟที่ช่วยให้ SmartTV ที่ใช้ HbbTV 2.0 เข้าถึงเนื้อหาได้โดยใช้บริการสตรีม

การทดลองประกอบด้วยเครื่องส่งสัญญาณจากผู้ให้บริการโครงข่าย ได้แก่ Cellnex, Axión และ Telecom CLM โครงข่าย Cellnex ประกอบด้วย สถานีส่งสัญญาณ 35 แห่ง ครอบคลุม 37% ของประชากร กระจายอยู่ใน 31 จังหวัดของสเปน โครงข่าย Axión ประกอบด้วย เครื่องส่งสัญญาณ 4 เครื่อง ตั้งอยู่ใน Andalucía Axión และผู้กระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะ Radio y Televisión de Andalucía (RTVA) ได้เริ่มส่งสัญญาณ DVB-T2 ในปี 2016 ในงาน 4K Summit ที่จัดขึ้นใน Sevilla โดยใช้เครื่องส่ง 500W มีกำลังส่งออกอากาศ 10kW จากสถานีส่งสัญญาณใน Valencina

ในปี 2017 มีสถานีส่งสัญญาณใหม่ใน Mijas ซึ่งครอบคลุม Malaga โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณขนาด 300W มีกำลังส่งออกอากาศ 6.6 กิโลวัตต์ ถูกเพิ่มเข้าไปบนโครงข่าย UHD ที่เริ่มออกอากาศในงาน 4k Summit 2017 มีการส่งสัญญาณในรูปแบบ HDR ทั้ง HLG และ PQ10 เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบมาตรฐาน HDR ทั้งสองได้ โดยรับได้ทั้งใน Seville และ Malaga

ในปี 2018 มีการถ่ายทอดสดงาน “XLII Exhibición de ganches de caballos en Ronda” ในรูปแบบ UHD ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง

ในปี 2021 Axión ได้เพิ่มเครื่องส่งสัญญาณอีก 4 เครื่อง ใน Grannada จาก Parapanda ในช่อง 48 ใน Huelva จาก Punta Umbría ในช่อง 38 ใน Cádiz จาก San Cristóbal ในช่อง 44 และใน Córdoba จาก Lagar de la Cruz ในช่อง 43 ใช้พารามิเตอร์การส่งสัญญาณ DVB-T2 เป็น FFT 32K Extended, Guard interval 1/128, Pilot pattern PP7, Code rate L1 1/2, FEC L1 16K LDPC, Constellation 64-QAM, Channel bandwidth: 33.7 Mbps, TS bitrate 32 Mbps, Video bitrate 26 Mbps (HEVC), Audio bitrate 320 kbps.

Telecom CLM เริ่มออกอากาศในปี 2019 โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณ 2 เครื่อง ในโครงข่ายแบบ SFN เพื่อให้ครอบคลุมทั่วเมือง Toledo ออกอากาศคอนเทนท์ UHD จาก RTVE และ Ente Público de Radiotelevisión Castilla la Mancha (CMM)

ในปี 2020 การทดลอง UHD ในภูมิภาค Castilla la Mancha ได้เพิ่มสถานีส่งสัญญาณเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมเมือง Ciudad Real, Cuenca, Albacete และ Guadalajara โดยใช้พารามิเตอร์ดังตาราง

ตาราง 9 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 4K บน DTT สเปน 2020

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, SDR
Video coding	HEVC/H.265
Audio	2.0
Audio coding	MPEG Audio Layer 1/2
Bitrate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	35 (Toledo), 33 (Ciudad Real), 35 (Cuenca), 26 (Albacete), 35 (Guadalajara)
Transmitting station	Cerro Palos (Toledo) Ch 35 Toledo II (Toledo) Ch 35 Valle Tiétar (Toledo) Ch 35 – coming soon La Atalaya (Ciudad Real) Ch 33 La Mancha (Ciudad Real) Ch 33 Puertollano (Ciudad Real) Ch 33 Cuenca I (Cuenca) Ch 35 Cuenca II (Cuenca) Ch 35 Chinchilla (Albacete) Ch 26 Hellín (Albacete) Ch 26 (coming soon) Almansa (Albacete) Ch 26 (coming soon) Iriepal (Guadalajara) Ch 35
Power	ERP: 20 W – Cerro Palos Ch 35 ERP: 10 W – Toledo II Ch 35 ERP: 100 W – Valle Tiétar Ch 35 (coming soon) ERP: 100 W – La Atalaya Ch 33 ERP: 100 W – La Mancha Ch 33 ERP: 20 W – Puertollano Ch 33 ERP: 20 W – Cuenca I Ch 35 ERP: 1 W – Cuenca II Ch 35

ตาราง 9 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV 4K บน DTT สเปน 2020 (ต่อ)

	ERP: 500 W – Chinchilla Ch 26 ERP: 100 W – Hellín Ch 26 (coming soon) ERP: 10 W – Almansa Ch 26 (coming soon) ERP: 20 W – Iriepal Ch 35
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/8
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

ประเทศสวีเดน

วันที่ 23 มกราคม 2014 การส่งสัญญาณ 4K ในประเทศสวีเดน เกิดขึ้นเพื่องาน Teracom "TV-Puls" เป็นหลัก ในการออกอากาศหนึ่งสัปดาห์ก่อนและสองสัปดาห์หลังจากวันจัดงาน ใช้สตรีมที่เข้ารหัสแล้วสองสตรีมออกอากาศสลับกันในช่วงเวลาดังกล่าว สตรีมที่ 1 ถูกเข้ารหัสแบบออฟไลน์ ส่วนสตรีมที่ 2 ถูกส่งโดยผู้ผลิตโดยตรง ทำให้ไม่ทราบพารามิเตอร์ของสตรีมนี้ ซึ่งสัญญาณ 4K ที่ถูกส่งบนโครงข่าย DTT มีรายละเอียดพารามิเตอร์ดังตาราง

ตาราง 10 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สวีเดน

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 29.97 fps
Video coding	HEVC/H.265
Bitrate total	24 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	19/256
DVB-T2 FEC	3/5
Pilot pattern	PP4

ตาราง 10 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สวีเดน (ต่อ)

Theoretical capacity	31.7 Mbps

สหราชอาณาจักร

ปี 2014 ความพร้อมของเนื้อหา 4K สำหรับการแข่งขันกีฬาสองรายการสำคัญที่เป็นที่สนใจของสาธารณะในช่วงฤดูร้อน คือ FIFA World Cup ในประเทศบราซิล และ Commonwealth Games ในกลาสโกว์) ทำให้ BBC สามารถทดสอบชุดการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเผยแพร่เนื้อหาได้ รวมถึงการทดลองสตรีมคอนเทนท์ออนไลน์ผ่าน DVB-DASH Arqiva ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโครงข่ายส่งสัญญาณของ BBC โครงข่ายที่มีเครื่องส่งสัญญาณกำลังสูง 3 เครื่อง ออกอากาศสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่บรรจุ UHDTV หนึ่งบริการ ซึ่งสัญญาณ 4K ที่ถูกส่งบนโครงข่าย DTT มีรายละเอียดพารามิเตอร์ดังตาราง

ตาราง 11 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT สหราชอาณาจักร

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, Mixture of 50 fps and 59.94 fps
Video coding	HEVC/H.265
Bitrate total	≤35 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32k extended
Guard interval ratio	1/128
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP7
Theoretical capacity	40.2 Mbps

ประเทศอิหร่าน

การก้าวสู่ความก้าวหน้าในอนาคตสำหรับระบบการออกอากาศในยุคต่อไป เป็นภาระหน้าที่ของผู้กระจายเสียงและแพร่ภาพ IRIB (Islamic Republic of Iran Broadcasting) ซึ่งเป็นผู้กระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งชาติของอิหร่าน (สาธารณรัฐอิสลาม) ทำการติดตั้งการออกอากาศ

ทางโทรทัศน์ 4K (Ultra High Definition) ในเดือนกรกฎาคม 2020 บนเทคโนโลยี DVB-T2 และ HEVC ใช้ภาพที่มีคุณภาพ 4K และเทคโนโลยี HDR โดยข้อกำหนดทางเทคนิคมีรายละเอียดดังนี้

การออกอากาศในประเทศอิหร่านใช้แพลตฟอร์มเดียวกัน คือ ภาคพื้นดินในโหมด MFN ใช้ดิจิตอลมัลติเพล็กซ์ 7 ชุด ออกอากาศในย่านความถี่ UHF ปัจจุบันครอบคลุม 96% ของประชากร ด้วย DTTB และกำลังจะเพิ่มขึ้นเป็น 99.9% สัญญาณ 4K ใช้หนึ่งช่องความถี่ 8MHz เลือกใช้ภาพความละเอียดสูงพิเศษ (UHD) หรือ 4K รวมไปถึง HDR-HDR 10 และเทคโนโลยี WCG โปรแกรมใช้เสียงรอบทิศทาง 6 ช่องเสียง เฟรมภาพ 50 เฟรมต่อวินาที และกระบวนการบีบอัดสัญญาณใช้ HEVC Main 10 ซึ่งใช้ 10 บิต ในการเก็บข้อมูล ตัวเลือกอื่นจะทำการทดสอบในระหว่างการทดลอง เป็นเทคโนโลยีภายในประเทศของทีวีบรอดแบนด์แบบไฮบริด (Hybrid broadband TV: HbbTV) ซึ่งมีกลไกการโต้ตอบระหว่างผู้ชมและผู้ออกอากาศ การทดลองระยะแรกเกิดขึ้นในสถานีออกอากาศโทรทัศน์ในกรุงเตหะราน และค่อยๆ ขยายไปยังศูนย์ของรัฐอื่นๆ สตรีมที่มีคุณภาพ 4K ที่บันทึกไว้จะถูกเข้ารหัสและบีบอัดด้วย HEVC แล้วส่งไปยังสถานีโทรทัศน์ผ่านวงจรใยแก้วนำแสง/ดาวเทียม

เมื่อทราบว่า HDR และ WCG เป็นเทคโนโลยีใหม่ การเปลี่ยนจากมาตรฐาน BT.709 เป็น BT.2020 ปัจจุบันช่อง IRIB 4K มีให้บริการในศูนย์กระจายเสียงและแพร่ภาพของรัฐ 31 แห่ง สำหรับเครื่องรับและโทรทัศน์ 4K ผ่านการออกอากาศภาคพื้นดินและผ่านการออกอากาศผ่านดาวเทียม BADR-5 โดยมีเนื้อหาของช่องเน้นการแนะนำความงามของประเทศอิหร่านเป็นหลัก

มาตรการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้งานนี้ประสบความสำเร็จ ตั้งแต่ขั้นเริ่มแรกจนถึงจบ รวมถึงการยกระดับห่วงโซ่การผลิตภาพ/เสียง การสร้างวงรอบการควบคุมคุณภาพ และการทำให้ HDR เป็นมาตรฐานของเนื้อหา การกำหนดการกระจายสัญญาณไปยังสถานีส่งสัญญาณ และการตั้งค่าอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับโครงข่ายและการเริ่มต้นบริการ HbbTV และช่องทางเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง

การเข้ารหัสภาพ HEVC/H.265 ที่อัตราเฟรม 50 เฟรมต่อวินาที เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ต้องการ สัญญาณมีอัตราบิตจนถึง 20 Mbps เทคโนโลยีการส่งสัญญาณที่ใช้เป็น DVB-T2 เพื่อรับประกันความจุของช่องสัญญาณที่ต้องการ คุณลักษณะทางเทคนิคของสัญญาณ พารามิเตอร์ทางเทคนิคของโหมด DVB-T2 และระบบส่งสัญญาณมีรายละเอียดตามตาราง

ตาราง 12 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT อิหร่าน

Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, HDR10, HLG10, WCG
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1
Audio coding	HE-AAC
Bitrate total	~ 20 Mbps

ตาราง 12 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT อิหร่าน (ต่อ)

Characteristics of the transmission	
Network topology	MFN (DTTB)
Modulation method	OFDM
Transmission standard	DVB-T2
Channel / Occupied Bandwidth	8 / 7.77 MHz
Transmission frequency	738 MHz (UHF Ch 54)
Transmitting station	Jamaran
Transmission power	3 000 W
Transmission mode	SISO
Carrier modulation	256-QAM
C/N (for Rician channel)	18 dB
FFT size (number of radiated carries)	32k (27 841)
Guard interval ratio (guard interval duration)	1/8 (28 μs)
DVB-T2 FEC	2/3
Pilot pattern	PP6
# OFDM symbols	60
Error-correcting code	Inner: LDPC, code rate = 3/5 Outer: BCH
Data rate	~ 35 Mbps
Height of transmitting antenna	90 m
Height of receiving antenna	10 m
Minimum median field strength	54 dBμV/m at 10 m

จากข้อมูลการทดลองออกอากาศ UHDTV บน DVB-T2 ที่ใช้ช่องสัญญาณ 8 MHz ในต่างประเทศ มีการทดลองใช้ชุดพารามิเตอร์สำหรับส่งสัญญาณที่หลากหลาย เพื่อรองรับการส่งข้อมูลที่มีรูปแบบสัญญาณภาพต่างกันทั้ง HDR, HFR และ WCG ให้สามารถนำเสนอบริการ UHD ที่มีคุณภาพสูงไปยังผู้ชมได้ โดยใช้เทคโนโลยี HEVC บีบอัดสัญญาณภาพที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดอัตราข้อมูลที่ต้องการ

ความแตกต่างของชุดพารามิเตอร์ระบบ DVB-T2 ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ UHD ของแต่ละประเทศ มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 13 ภาพรวมชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ระบบ DVB-T2

Country	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard
France	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/128, 256-QAM, FEC2/3, PP7	40.2 Mbps	Two programmes carried: one at 22.5 Mbps, one at 17.5 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 50 frames/s 8 bits/pixel
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/32, 256-QAM, FEC3/5, PP4 or PP6	34.2 Mbps (PP4) 34.9 Mbps (PP6)	Two or three programmmes carried: from 10 to 17 Mbps for UHD and from 3 to 17 Mbps for HD-1080p Statistical multiplexing of 3 UHD programmmes	HEVC	Various combination between 3840 x 2160p 50 frames/s 8 or 10 bits/pixel and 1920 x 1080p 50 frames/s 8 or 10 bits/pixel
		32k, extended mode, GI=1/32, 256-QAM, FEC2/3, PP6	38.8 Mbps	Two programmmes carried: one at 24.8 Mbps, one at 12.4 Mbps Three programmmes carried: one UHD at 24 Mbps, two HD-1080p from 2.5 to 7 Mbps		3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel 1920 x 1080p 50 frames/s 10 bits/pixel
Spain	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/128, 64-QAM, FEC5/6, PP7	36.72 Mbps	35 Mbps (other bit rate also tested)	HEVC	3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/128, 64-QAM, FEC3/4, PP7	32.6 Mbps	30 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 13 ภาพรวมชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ระบบ DVB-T2 (ต่อ)

Country	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard
Spain	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/8, 256-QAM, FEC2/3, PP2	33.4 Mbps	30 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel HDR10 Dolby Vision
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/8, 256-QAM, FEC2/3, PP2	33.4 Mbps	30 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel HDR10 WCG
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/128, 64-QAM, FEC2/3, PP2	36.72 Mbps	32 Mbps	HEVC	7680 x 4320p 50 frames/s 10 bits/pixel HLG WCG
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/8, 256-QAM, FEC2/3, PP2	33.4 Mbps			
	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/8, 256-QAM, FEC2/3, PP2 And 32k, extended mode, GI=1/128, 256-QAM, FEC2/3, PP7	33.4 Mbps	30 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 100 frames/s 10 bits/pixel HDR10 WCG

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 13 ภาพรวมชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHDTV บน DTT ระบบ DVB-T2 (ต่อ)

Country	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard
Sweden	8 MHz	32k, extended mode, GI=19/256, 256-QAM, FEC3/5, PP4	31.7 Mbps	24 Mbps	HEVC	3840 x 2160p 29.97 frames/s 8 bits/pixel
UK	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/128, 256-QAM, FEC2/3, PP7	40.2 Mbps	Variable (some trial at 35 Mbps)	HEVC	Mixture of 3840 x 2160p 50 frames/s and 59.94 frame/s Most of trial at 8 bit/pixel, some at 10 bit/pixel
Iran	8 MHz	32k, extended mode, GI=1/32, 256-QAM, FEC3/5, PP6	< 35 Mbps	~ 20 Mbps	HEVC Main 10	3840 x 2160p 50 frames/s 10 bits/pixel

Source: ITU-R BT.2343-7 (11/2021) Collection of field trials of UHDTV over DTT networks

จากข้อมูลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลระบบ DVB-T2 ด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศที่กำหนดช่องสัญญาณ 8 MHz สามารถสรุปอัตราข้อมูลที่ใช้ในการทดลองออกอากาศซึ่งใช้รูปแบบสัญญาณภาพต่างกัน โดยแบ่งตามเฟสการทดลอง UHD ที่กำหนดโดย DVB มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 14 คุณภาพสัญญาณภาพและอัตราข้อมูลสำหรับ UHD บน DTT ระบบ DVB-T2 ในต่างประเทศ

DVB Phase	Bit Depth (bit)	Frame Rate (fps)	Wide Color Gamut	Dynamic Range	Data Rate (Mbps)
UHD-1 Phase 1	10	50	BT.709	SDR	CBR: 12.4 - 35 VBR: 10 - 17[1]
UHD-1 Phase 2	10	100	BT.2020	HDR	CBR: 30 - 40[2]

Source: ITU-R BT.2073-2 Use of the high efficiency video coding (HEVC) standard for UHDTV and HDTV broadcasting

(1) Signal bit rate of annex section 3.2

(2) The indicated data rates are maximum values for constant data rate transport for critical test sequences to be rated sufficiently high quality for broadcast emission when assessed by experts.

เมื่อพิจารณารูปแบบสัญญาณภาพ และอัตราบิตที่มีการทดลอง UHD-1 Phase 2 ตาม ITU สำนักงาน กสทช. โดย ทส. จึงกำหนดอัตราบิตในการส่งสัญญาณแบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) แบบ Constant Bit Rate (CBR) สำหรับประเทศไทย เป็น 3 ระดับ ได้แก่

1. ระดับคุณภาพทั่วไป อัตราบิต 15.00 – 19.99 Mbps
2. ระดับคุณภาพปานกลาง อัตราบิต 20.00 – 29.99 Mbps
3. ระดับคุณภาพสูง อัตราบิต ≥30.00 Mbps

บท 2
การทดลองออกอากาศเทคโนโลยี 4K ส.ส.ท.

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ของ ส.ส.ท. เริ่มออกอากาศในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 เวลา 11.11 น. โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังตาราง

ตาราง 15 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นการส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 ด้วยเทคโนโลยี 4K

พารามิเตอร์	ค่า
FFT size	32K extended
Guard Interval	1/128
Modulation	256-QAM
Code Rate	2/3
Pilot Pattern	PP7
Physical Layer Pipe (PLP)	Single
Max. Multiplex Capacity	40.2 Mbps

ภาพ 2 การทดลองออกอากาศ 4K วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565

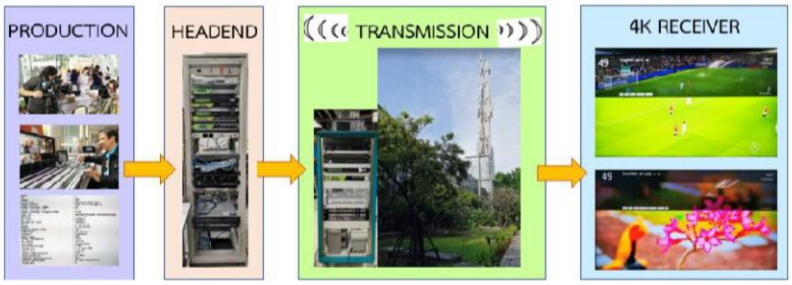


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

โดยออกอากาศในระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. และระหว่างเวลา 13.00 – 16.00 น. ของทุกวัน จนกว่าจะได้ข้อมูลครบถ้วน หรือไม่เกินกรอบเวลาที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ความถี่วิทยุสำหรับการทดลองหรือทดสอบ เป็นระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือน นับตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 เป็นไปตามหนังสือสำนักงาน กสทช. ที่ สทช 2304/51125

องค์ประกอบของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การผลิต (production) การบีบอัด (compression) การส่งสัญญาณ (transmission) และการรับสัญญาณ (reception) ดังภาพ

ภาพ 3 การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล



ภาพ 4 การประชุมร่วมระหว่างสำนักงาน กสทช. ส.ส.ท. และผู้ผลิต



การผลิต (Production)

วันที่ 8 ธันวาคม 2565 มีการประชุมร่วมระหว่าง สำนักงาน กสทช. ในฐานะผู้กำกับดูแล ส.ส.ท. ในฐานะผู้ให้บริการโครงข่าย ผู้ผลิตอุปกรณ์ออกอากาศและเครื่องรับโทรทัศน์ โดยกำหนดรูปแบบสัญญาณภาพสำหรับออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลองพารามิเตอร์ของระบบส่งสัญญาณ ให้ได้อัตราบิตที่สามารถรองรับกับรูปแบบและคุณภาพของสัญญาณภาพที่ต้องการ โดยใช้เฟสการทดลองบริการ UHD ตามมติของคณะกรรมการกำกับดูแล DVB เป็นแนวทาง มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 16 รูปแบบสัญญาณภาพที่กำหนดให้ใช้ทดลองออกอากาศ

	UHD Phase 1
Popular	4K
Resolution	3840 x 2160
Scan	Progressive
Frame Rate	50 fps
Bit Depth	10
Color Space	ITU-T BT.709 [ITU-T BT.2020]
Dynamic Range	HDR (HLG)
Chroma Subsampling	4:2:0

เนื่องจากสัญญาณภาพของเนื้อหาที่ผลิตเพื่อออกอากาศผ่านโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลปัจจุบัน ส่วนใหญ่ไม่ตรงกับรูปแบบสัญญาณภาพที่กำหนดข้างต้น จึงมีการผลิตขึ้นใหม่เพื่อใช้ในการทดลองและออกอากาศ รวมจำนวน 20 ไฟล์ มีรูปแบบสัญญาณภาพตามตาราง

ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ

ชื่อไฟล์	รูปแบบ
 Thai PBS_4K_Promote_Trial.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 interlude 4K_XAVC50FPS.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 THAIPBS_Drone_4K_V3_50p.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:0 Bit depth: 8 bits Color primaries: n/a Transfer function: n/a
 THAIPBS_KAPOW BT.709.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: n/a Transfer function: n/a

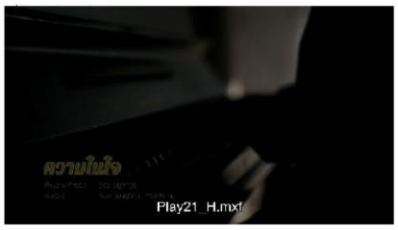
ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 THAIPBS_PADTHAI4KTEST2020.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 TureVision_ 4k_BT.709_PL.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 TureVision_ 4k_BT.2020_to_BT.709_Love Nature.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 8 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: BT.709
 venice pr422hq 50 UHD 1min.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709

ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 american football 50p pr422hq uhd 1min.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 RUGBY_xavciClass300_50.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 raptors 50 pr422hq uhd 45sec.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 Movie_Thai PBS _ O0010699-UHD4K.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709

ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 Movie_Thai PBS _ O0010700-UHD4K.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709
 H.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG
 T.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG
 J.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 N.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG
 S.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG
 Q.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.2020 Transfer function: HLG
 Mindtraveller Music Video TPBS 709.mxf	Resolution: 3840 x 2160p Frame rate: 50 frames Chroma subsampling: 4:2:2 Bit depth: 10 bits Color primaries: BT.709 Transfer function: BT.709

การบีบอัด (Compression)

การเข้ารหัสสัญญาณภาพ (video coding) ที่มีความละเอียด (resolution) 3,840×2,160 แบบ progressive (2160p) สำหรับบริการ UHD โดยใช้การเข้ารหัสด้วย High Efficiency Video Coding (HEVC) ตามมาตรฐาน ISO/IEC 23008-2 หรือ H.265 ตามมาตรฐาน ITU-T H.265 มีการแบ่งโปรไฟล์ตามรูปแบบสัญญาณภาพที่ต้องการเข้ารหัส โดยกำหนดให้ใช้โปรไฟล์ Main 10 และใช้ Main Tier ที่มีลิมิตของแต่ละ Level รายละเอียดดังตาราง

ตาราง 18 ลิมิตของ Tier และ Level สำหรับ Main 10 Profile

Level	Max luma sample size (samples)	Max luma sample rate (samples/s)	Main Tier	
			Max. bit rate (kbits/s)	Min. compression ratio
1	36 864	552 960	128	2
2	122 880	3 686 400	1 500	2
2.1	245 760	7 372 800	3 000	2
3	552 960	16 588 800	6 000	2
3.1	983 040	33 177 600	10 000	2
4	2 228 224	66 846 720	12 000	4
4.1	2 228 224	133 693 440	20 000	4
5	8 912 896	267 386 880	25 000	6
5.1	8 912 896	534 773 760	40 000	8
5.2	8 912 896	1 069 547 520	60 000	8
6	35 651 584	1 069 547 520	60 000	8
6.1	35 651 584	2 139 095 040	120 000	8
6.2	35 651 584	4 278 190 080	240 000	6

จากรูปแบบสัญญาณภาพสำหรับออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ข้างต้น จึงกำหนดคุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 19 คุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ

	UHD Phase 1
Video Coding	HEVC
Profile	Main 10
Bit Depth	10
Tier	Main
Max bit rate	40 000 kbit/s
Level	5.1

การส่งสัญญาณ (Transmission)

ปัจจุบันโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลของ ส.ส.ท. กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ตามแนวทางปฏิบัติสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 จัดทำโดย สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช. มีรายละเอียดดังตาราง

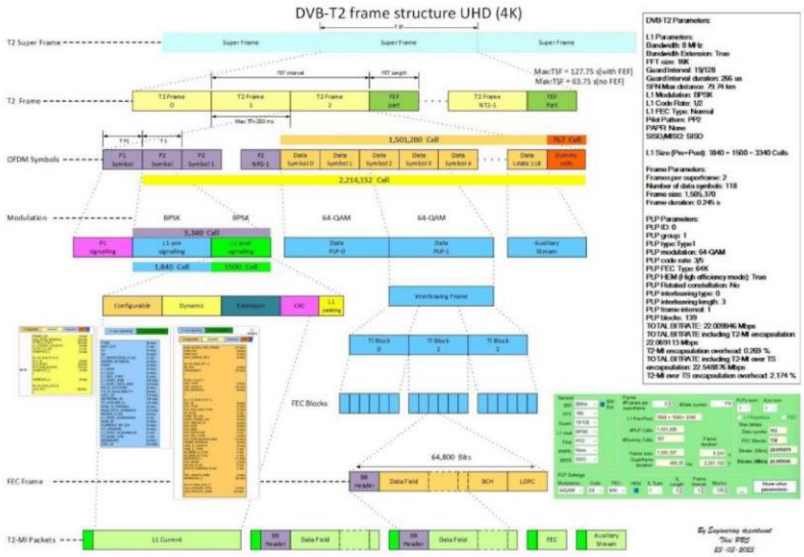
ตาราง 20 ค่าพารามิเตอร์การส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 โครงข่าย ส.ส.ท. ปัจจุบัน

พารามิเตอร์	ค่า
FFT size	16k extended
Guard Interval	19/128
Modulation	64QAM
Code Rate	3/5
Pilot Pattern	PP2
Rotated Constellation	Off
Physical Layer Pipe (PLP)	Single
L1-Post Constellation	BPSK
# T2 Frame per Super Frame	2
# Data Symbol per T2 Frame (symbols)	118
# Max FEC block per interleaving Frame (blocks)	139
# Time Interleaving Block per Interleaving Frame (blocks)	3
ผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ที่กำหนด	
Max. Multiplex Capacity	21.93 Mbps
Time Interleaving Depth	82.9 ms

ตาราง 20 ค่าพารามิเตอร์การส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 โครงข่าย ส.ส.ท. ปัจจุบัน (ต่อ)

C/N Fixed Rooftop	15.17 dB
C/N Portable Indoor	16.91 dB
ระยะห่างสูงสุดของเสาส่ง	79.74 km

ภาพ 5 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2



การวางแผนโครงข่าย

กสทช. ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 โดยประเมินความเป็นไปได้ในการออกอากาศเป็น 3 กรณี ได้แก่

1. การออกอากาศบนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP

ทดลองออกอากาศด้วยค่าพารามิเตอร์ส่งสัญญาณชุดปัจจุบัน โดยอาศัยทรัพยากรที่มีเหลืออยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด จากความจุของมัลติเพล็กซ์สูงสุดของระบบเท่ากับ 21.93 Mbps โดยสามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์ได้ 3 ทางเลือก รายละเอียดตามตาราง

ตาราง 21 การจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP

DVB-T2 Parameters: 16K ext., GI 19/128, PP2, 64QAM, CR 3/5, L1 Post: BPSK, TI Depth 82.9 ms	Total Bit Rate 21.93 Mbps		
	Option 1	Option 2	Option 3
Number of SD Channels	2	-	1
Number of HD Channels	-	1	1
Number of UHD Channels	1	1	1
Total Channels	3	2	3
Bandwidth Allocation	Bit Rate (kbps)		
Video Bit Rate (CBR)	19000	20000	22000
SD = 2.0 Mbps	4000	-	2000
HD = 5.0 Mbps	-	5000	5000
UHD = 15.0 Mbps	15000	15000	15000
Audio Bit Rate (2 track @70 kbps/channel)	420	280	420
Audio Description (1 track @35 kbps/channel)	105	70	105
Subtitle (@100 kbps/channel)	300	200	300
SI			
- EIT / EPG (@200 kbps/mux)	200	200	200
- PMT (@25.75 kbps/channel)	77.25	51.50	77.25
- Others (@64 kbps)	64	64	64
Total Bandwidth Allocation	20166.25	20865.50	23166.25
Reserve for SSU and Others	1763.75	1064.50	-1236.25*

หมายเหตุ

* ทางเลือกที่ 3 ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์รองรับการจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบคงที่ได้ ยกเว้นกรณีที่สัญญาณภาพของช่องรายการมาตรฐานความคมชัดปกติ และมาตรฐานความคมชัดสูง ถูกเข้ารหัสด้วยเทคโนโยลี High Effective Video Codec (HEVC) เช่นเดียวกับช่องรายการแบบความคมชัดสูงยิ่ง

อย่างไรก็ตาม การจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์เพื่อให้สามารถให้บริการช่องรายการแบบความคมชัดสูงยิ่ง (UHD) บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP ทั้ง 3 ทางเลือก ไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ให้บริการโทรทัศน์ในระบบดิจิตอลในอนาคต

2. การออกอากาศบนโครงข่ายเดิมแบบ Multiple PLP

เนื่องจากข้อจำกัดในการตั้งค่าข้อมูลบริการของอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองในรูปแบบ Multiple PLP ด้วยพารามิเตอร์ส่งสัญญาณชุดปัจจุบันใน PLP0 สำหรับช่องรายการ SD และ HD และด้วยพารามิเตอร์ส่งสัญญาณชุดใหม่ใน PLP1 สำหรับช่องรายการ UHD (4K) ได้

3. การใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือดำเนินการบนโครงข่ายใหม่

การเลือกชุดพารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือดำเนินการบนโครงข่ายใหม่ กำหนดเกณฑ์ในการเลือก ดังนี้

1. เกณฑ์เวลาป้องกัน (Guard time) ด้วยการเลือกพารามิเตอร์เพื่อให้ได้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงขึ้น และให้ค่าเวลาป้องกันเท่ากับ 266 μs เช่นเดียวกับโครงข่ายปัจจุบัน

ตาราง 22 เวลาป้องกันของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHz (หน่วย: μs)

FFT size	Guard Interval Fraction (GIF)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
2K	*n/a*	7	14	*n/a*	28	*n/a*	56
4K	*n/a*	14	28	*n/a*	56	*n/a*	112
8K	7	28	56	66.5	112	133	224
16K	14	56	112	133	224	266	448
32K	28	112	224	266	448	532	n/a

จากตาราง จึงกำหนด FFT size เท่ากับ 32K และ GIF เท่ากับ 19/256 เพื่อให้ได้ค่าเวลาป้องกันเท่ากับ 266μs

ตาราง 23 Pilot Pattern ของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับการรับสัญญาณแบบ SISO

FFT size	Guard Interval Fraction (GIF)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
2K	*n/a*	PP7 PP4	PP4 PP5	*n/a*	PP2 PP3	*n/a*	PP1
4K	*n/a*	PP7 PP4	PP4 PP5	*n/a*	PP2 PP3	*n/a*	PP1
8K	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8

ตาราง 23 Pilot Pattern ของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับการรับสัญญาณแบบ SISO (ต่อ)

16K	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
32K	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	*n/a*

จากตาราง ค่า FFT size เท่ากับ 32K และ GIF เท่ากับ 19/256 สามารถเลือก Pilot Pattern ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ PP2, PP8, และ PP4

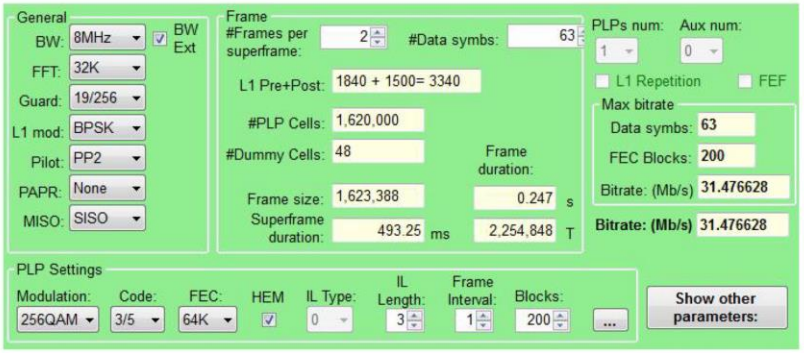
ตาราง 24 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz สำหรับ FFT 32K และ GIF 19/256 (หน่วย: Mbps)

Modulation	Code rate	PP2	PP4	PP6	PP8
64-QAM	1/2	19.6	20.5	20.9	21.1
	3/5	23.6	24.6	25.1	25.4
	2/3	26.2	27.4	28.0	28.3
	3/4	29.5	30.8	31.5	31.8
	4/5	31.5	32.9	33.6	33.9
	5/6	32.8	34.3	35.0	35.4
256-QAM	1/2	26.2	27.4	27.9	28.2
	3/5	31.5	32.9	33.6	33.9
	2/3	35.0	36.6	37.4	37.8
	3/4	39.4	41.2	42.0	42.5
	4/5	42.0	43.9	44.9	45.3
	5/6	43.8	45.8	46.8	47.3

จากตารางความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz สำหรับ FFT 32K และ GIF 19/256 เลือก Modulation เป็น 256-QAM เพื่อให้ช่องสัญญาณมีความจุสูงกว่า 64-QAM โดยที่ code rate ยังเท่ากับ 3/5

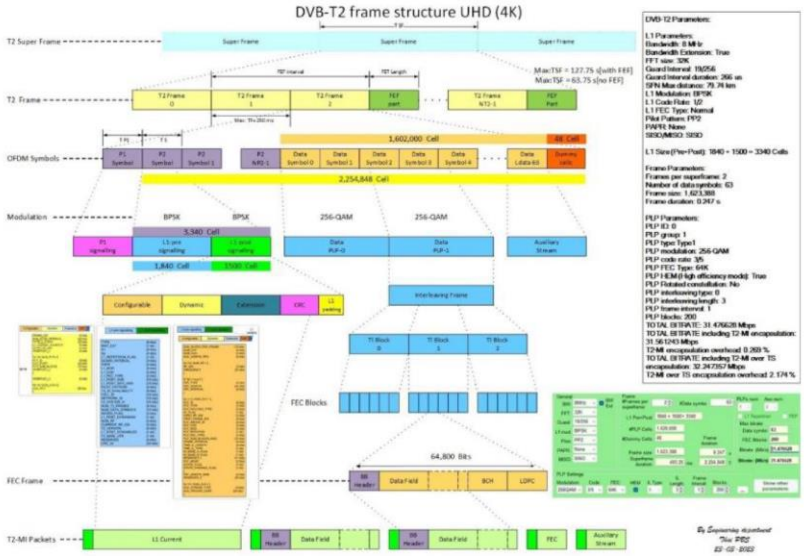
จากค่าพารามิเตอร์ FFT size, GIF และ Modulation ที่เลือกใช้ในการทดลอง เพื่อให้ได้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงขึ้นและคงเวลาป้องกันให้เท่ากับ 266 μs สามารถนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อื่นด้วยโปรแกรม DVB Calculator ได้ผลการคำนวณดังภาพ

ภาพ 6 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2

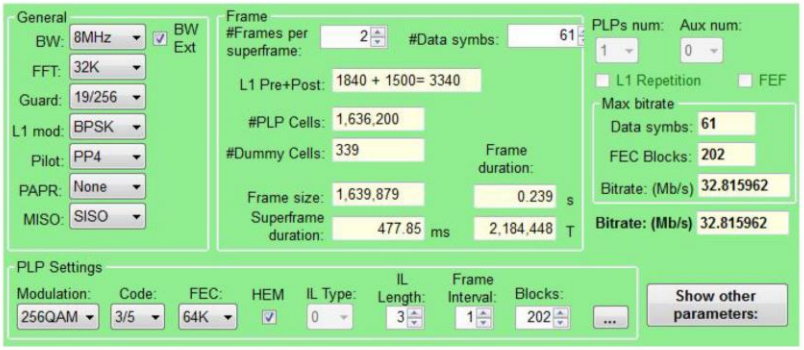


จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 19/256 Pilot pattern PP2 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 3/5 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 31.477 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 63 symbols และ FEC block เท่ากับ 200 blocks

ภาพ 7 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2

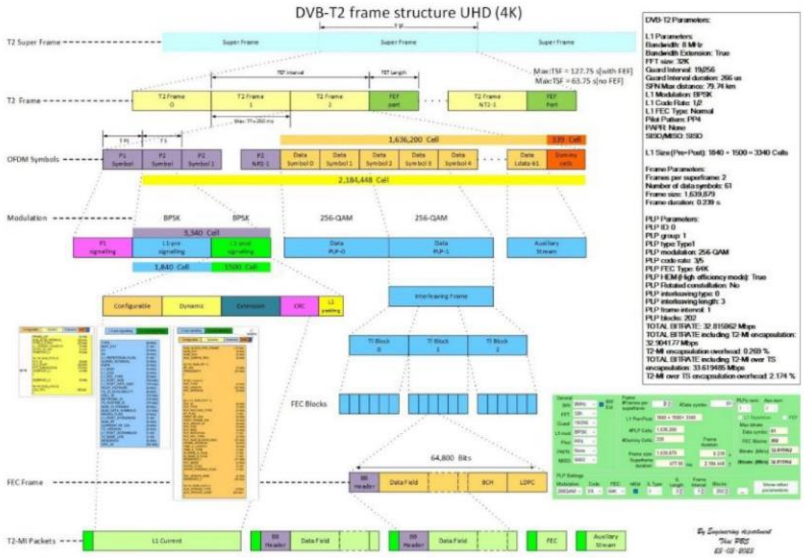


ภาพ 8 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4

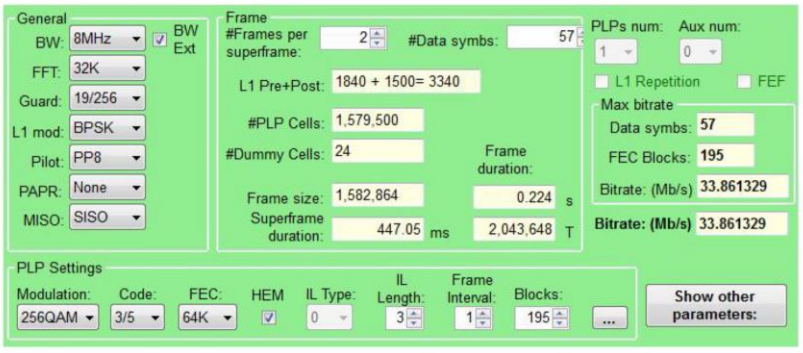


จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 19/256 Pilot pattern PP4 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 3/5 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 32.816 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 61 symbols และ FEC block เท่ากับ 202 blocks

ภาพ 9 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4

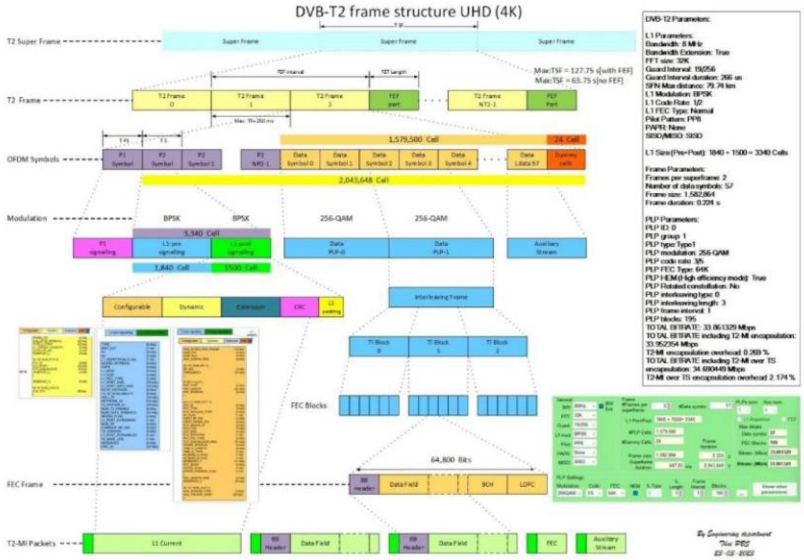


ภาพ 10 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8



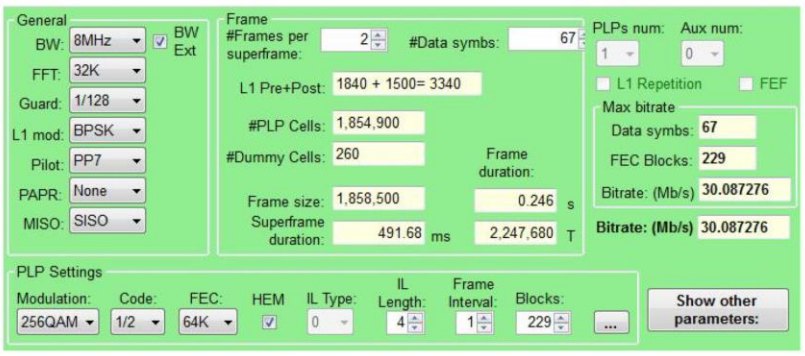
จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 19/256 Pilot pattern PP8 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 3/5 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 33.861 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 57 symbols และ FEC block เท่ากับ 195 blocks

ภาพ 11 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8



2. เกณฑ์อัตราข้อมูล (Data rate) โดยเลือกพารามิเตอร์ FFT size, Pilot Pattern และ GIF ที่ให้อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณสูงสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอยู่กับที่ (Fixed reception) เท่านั้น สามารถนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อื่นด้วยโปรแกรม DVB Calculator และผลการคำนวณดังภาพ

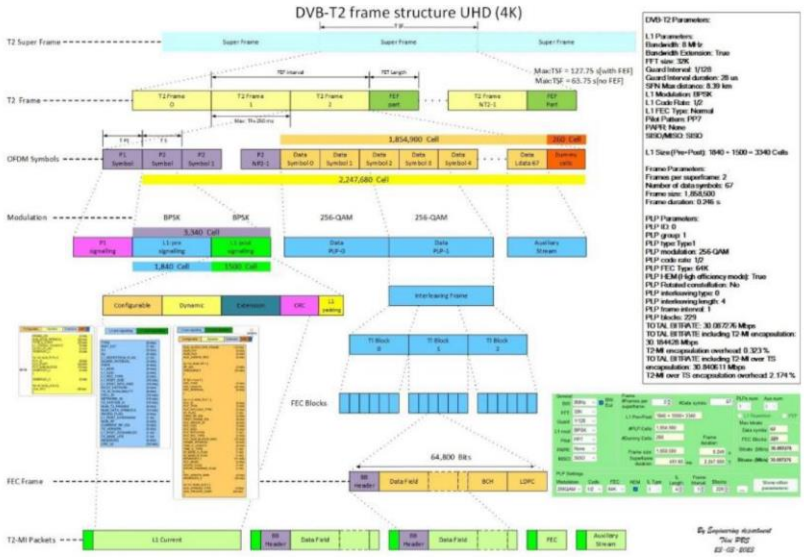
ภาพ 12 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7



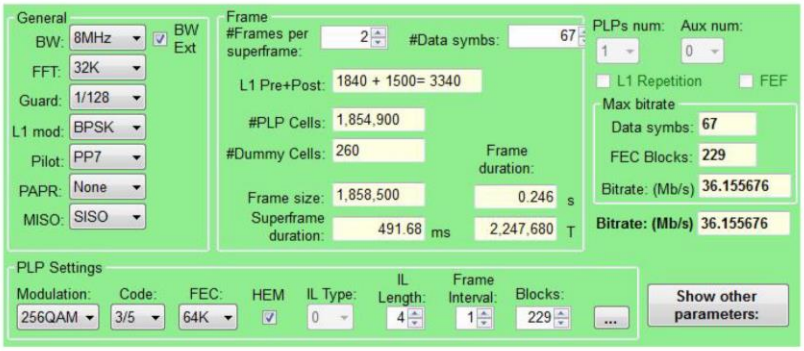
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 1/2 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 30.087 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 13 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7

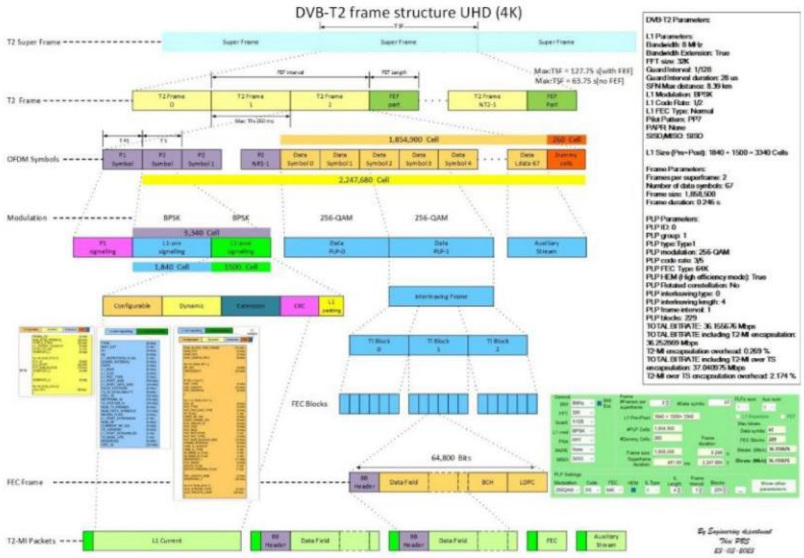


ภาพ 14 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7

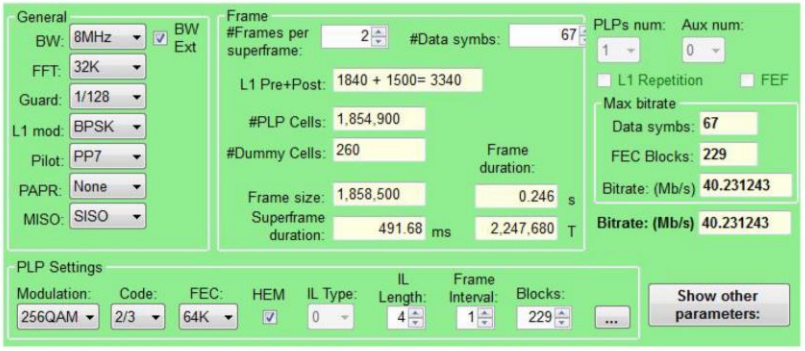


จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 3/5 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 36.156 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 15 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7



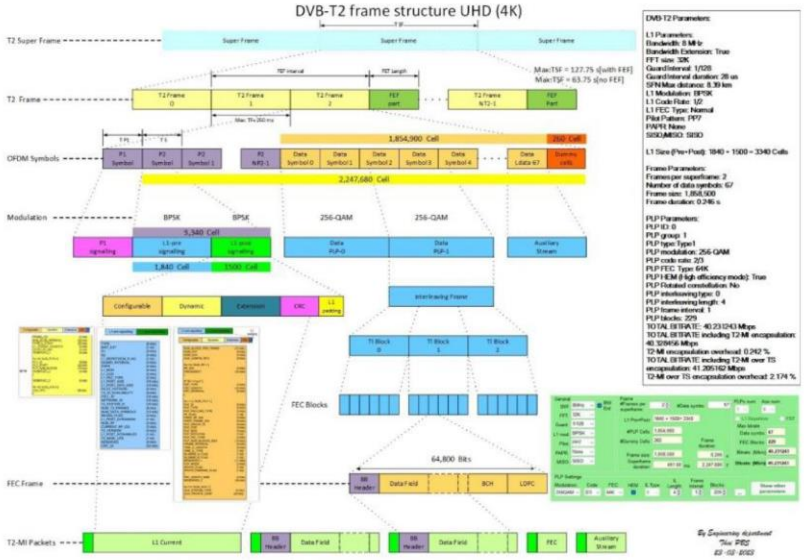
ภาพ 16 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



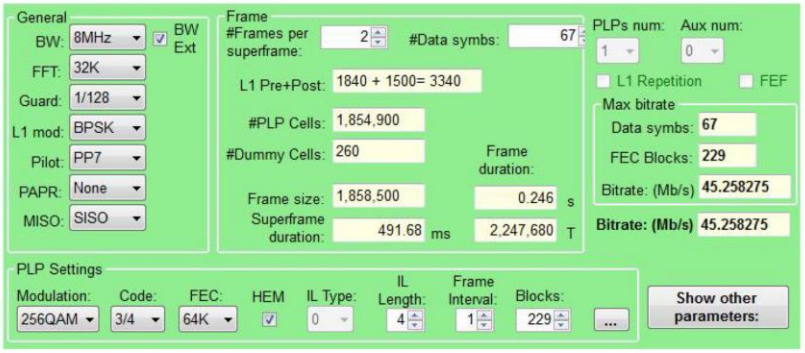
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 2/3 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 40.231 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 17 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



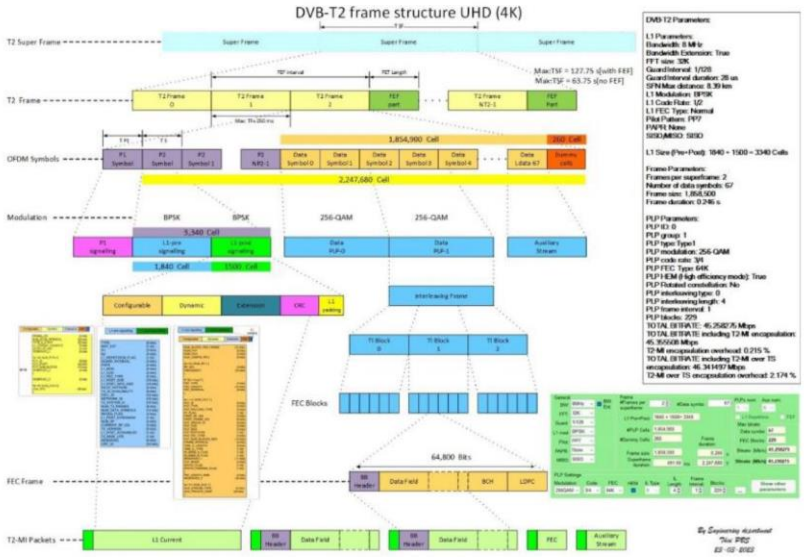
ภาพ 18 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7



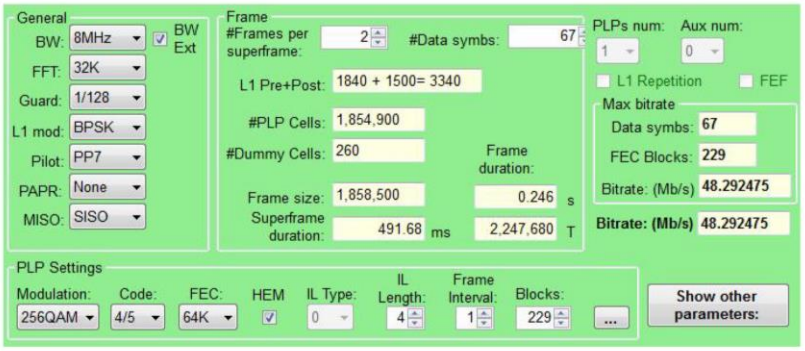
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 3/4 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 45.258 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 19 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7

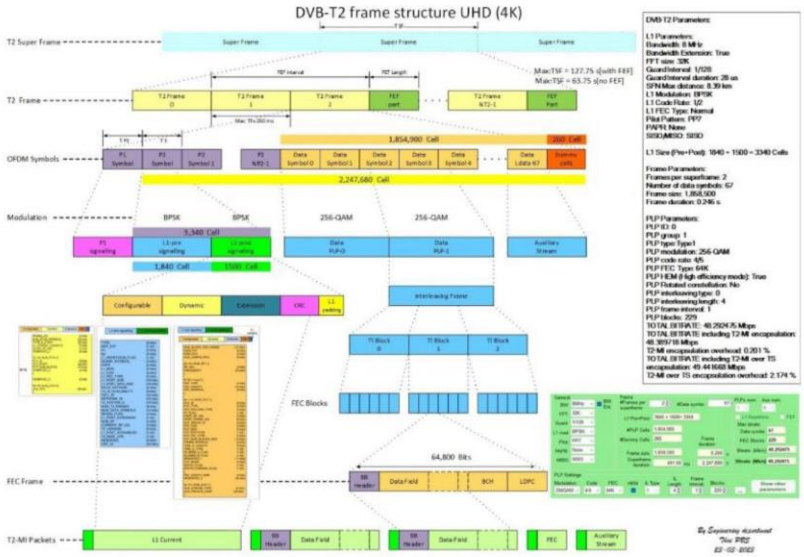


ภาพ 20 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7

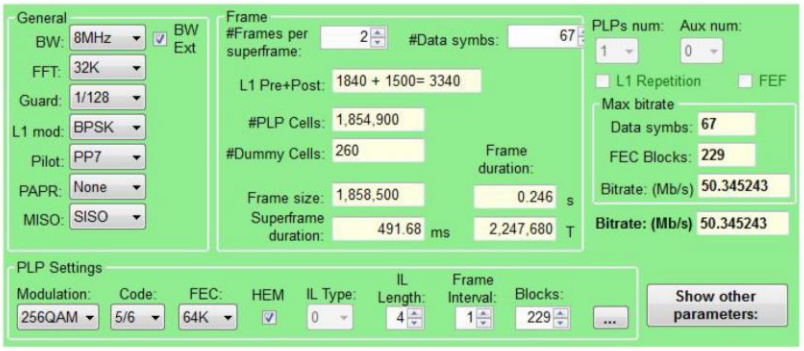


จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 4/5 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 48.292 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 21 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7

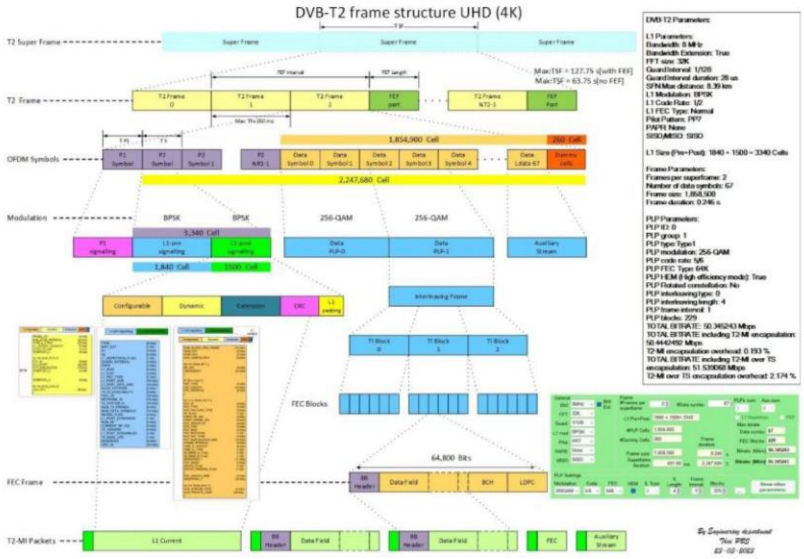


ภาพ 22 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7



จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งในโหมด 32K Extended GIF เท่ากับ 1/128 Pilot pattern PP7 กำหนด Single PLP ด้วย Modulation 256-QAM และ Code rate 5/6 รองรับอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 50.345 Mbps เมื่อกำหนด T2 data symbol เท่ากับ 67 symbols และ FEC block เท่ากับ 229 blocks

ภาพ 23 โครงสร้างเฟรม T2 สำหรับ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 25 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน

พารามิเตอร์	ค่า		
FFT size	32K Extended		
Guard Interval	19/256		
Modulation	256-QAM		
Code Rate	3/5		
Pilot Pattern	PP2	PP4	PP8
Rotated Constellation	Off		
Physical Layer Pipe (PLP)	Single		
L1-Post Constellation	BPSK		
# T2 Frame per Super Frame (frames)	2		
# Data Symbol per T2 Frame (symbols)	63	61	57
# Max FEC block per interleaving Frame (blocks)	200	202	195
# Time Interleaving Block per Interleaving Frame (blocks)	3		
Frame Dummy Size (cells)	48	339	24
Guard Interval duration (μS)	266		
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ DVB Calculator	31.5	32.8	33.9
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ T2-Gateway*	31.3	32.6	33.7
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ MUX*	31.2	32.5	33.6

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 25 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน (ต่อ)

Time Interleaving Depth (ms)	82.6	80.4	74.5
C/N Fixed Rooftop (dB)	19.58	19.18	18.54
C/N Portable Indoor (dB)	21.68	21.28	20.62
ระยะห่างสูงสุดของเสาส่ง (km)	79.74		

หมายเหตุ

* ค่าปรับตั้งที่อุปกรณ์ยอมให้กำหนด

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 26 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

พารามิเตอร์	ค่า					
FFT size	32K Extended					
Guard Interval	1/128					
Modulation	256-QAM					
Code Rate	1/2	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
Pilot Pattern	PP7					
Rotated Constellation	Off					
Physical Layer Pipe (PLP)	Single					
L1-Post Constellation	BPSK					
# T2 Frame per Super Frame (frames)	2					
# Data Symbol per T2 Frame (symbols)	67					
# Max FEC block per interleaving Frame (blocks)	229					
# Time Interleaving Block per Interleaving Frame (blocks)	4					
Frame Dummy Size (cells)	260					
Guard Interval duration (μS)	28					
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ DVB Calculator	30.1	36.2	40.2	45.3	48.3	50.3
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ T2-Gateway*	29.9	36.0	40.0	45.0	48.0	50.1
Max. Multiplex Capacity (Mbps) @ MUX*	29.8	35.9	39.9	44.9	47.9	50.0

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 26 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองส่งสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

Time Interleaving Depth (ms)	62.3					
C/N Fixed Rooftop (dB)	16.29	18.44	20.02	22.06	23.56	24.38
C/N Portable Indoor (dB)	18.34	20.52	22.16	24.58	26.67	28.06
ระยะห่างสูงสุดของเสาส่ง (km)	8.39					

หมายเหตุ

* ค่าปรับตั้งที่อุปกรณ์ยอมให้กำหนด

การรับสัญญาณ (Reception)

การรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ สายอากาศ (antenna) และเครื่องรับ (receiver)

สายอากาศมีคุณลักษณะที่ต้องการทางเทคนิคตาม กสทช. มส. 4004-2561 มาตรฐานทางเทคนิคของสายอากาศรับสัญญาณสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล มีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ใช้กับความถี่วิทยุช่วง 470 – 790 MHz บนย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) มีอัตราขยายของสายอากาศรับสัญญาณภายนอกอาคาร (Outdoor antenna) สูงสุดสูงกว่า 7 dBi และต้องมีการแปรผันของอัตราขยายไม่เกิน ± 3 dB บนย่านความถี่วิทยุ 470 – 790 MHz

เครื่องรับสัญญาณมีคุณลักษณะที่ต้องการทางเทคนิคที่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลในระบบ Second Generation Digital Terresstrial Television Broadcasting System (DVB-T2) แบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (Ultra High Definition: UHD) ในย่านความถี่ 470 – 482 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ (Band width) 8 MHz ตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวน (Noise figure) ไม่เกิน 6 dB ความไวในการรับสัญญาณ (Sensitivity) ขึ้นอยู่กับค่าความแรงสนามไฟฟ้าสมมูลต่ำสุดที่ต้องการ ณ จุดรับสัญญาณที่ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 50% เชิงเวลา และ 50% เชิงพื้นที่ ของช่องความถี่ที่ใช้งาน

สามารถถอดรหัสสัญญาณภาพตามมาตรฐาน MPEG-H HEVC/H.265 ISO/IEC 23008-2 รองรับการแสดงผลความคมชัดสูงยิ่งความละเอียด 3840x2160 แบบ progressive (2160p) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 50 เฟรมต่อวินาที รองรับการช่วงสีแบบ Wide Color Gamut (WCG) ตามมาตรฐาน ITU-R BT.2020 ที่ 10 bit depth และมีฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) แบบ HLG และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 สามารถถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ 2 ช่องเสียง (Stereo) แบบ MPEG-4 HE-AAC v2 ตามมาตรฐาน ISO/IEC 14496-3

การรับสัญญาณของเครื่องรับในโหมดติดตั้งสายอากาศบนหลังคา (Fixed rooftop) ที่ความสูง 10 เมตร ออกอากาศด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ใช้ในการทดลอง ในช่อง 22 ความถี่ 482 MHz ครอบคลุมพื้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ มีตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ (Receiver noise figure) 6 dB การประมาณค่าความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุด มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 27 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K บนโครงข่ายปัจจุบัน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
FFT size	-	-	16K Extended
Guard Interval	-	-	19/128
Modulation	-	-	64-QAM
Code Rate	-	-	3/5
Pilot Pattern	-	-	PP2
Based frequency	f	MHz	650
Min. C/N required by system	C/N	dB	15.17
Receiver noise figure	F	dB	6
Equivalent noise bandwidth	B	MHz	7.77
Receiver noise input power	P_n	dBW	-129.07
Min. receiver signal input power	$P_{s\ min}$	dBW	-113.90
Min. equivalent receiver input voltage, 75 ohms	U_{min}	dBμV	24.85
Feeder loss	L_f	dB	4
Antenna gain relative to half dipole	G_d	dB	11
Effective antenna aperture	A_a	dB m^2	-4.57
Power flux density at receiving location	Φ_{min}	dBW/m^2	-105.33
Min. equivalent field strength at receiving location	E_{min}	dBμV/m	40.47

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 27 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K บนโครงข่ายปัจจุบัน (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
Allowance for man-made noise	P_{mmn}	dB	0
Heigth above ground level (a.g.l.) of receiveing location	-	m	10
Height loss from 10 m to 1.5 m	L_h	dB	0
Building penetration loss	L_b	dB	0
Standard deviation of the penetration loss	-	db	0
Location percentage requirement	-	%	95
Distribution factor	μ	-	1.64
Standard deviation	σ	-	5.5
Location correction factor	C_l	dB	9.02
Min. median power flux density at reception height; 50% time and 50% location	Φ_{med}	dBW/m^2	-96.31
Min. median equivalent field strength at reception height; 50% time and 50% location	E_{med}	$dB\mu V/m$	49.49
Channel frequency	f_1	MHz	482.00
Min. median power flux density at channel frequency	FS_1	$dB\mu V$	46.89

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 28 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า		
FFT size	-	-	32K Extended		
Guard Interval	-	-	19/256		
Modulation	-	-	256-QAM		
Code Rate	-	-	3/5		
Pilot Pattern	-	-	PP2	PP4	PP8
Based frequency	f	MHz	650		
Min. C/N required by system	C/N	dB	19.58	19.18	18.54
Receiver noise figure	F	dB	6	6	6
Equivalent noise bandwidth	B	MHz	7.77	7.77	7.77
Receiver noise input power	P_n	dBW	-129.07	-129.07	-129.07
Min. receiver signal input power	$P_{s\ min}$	dBW	-109.49	-109.89	-110.53
Min. equivalent receiver input voltage, 75 ohms	U_{min}	dBμV	29.26	28.86	28.22
Feeder loss	L_f	dB	4	4	4
Antenna gain relative to half dipole	G_d	dB	11	11	11
Effective antenna aperture	A_a	dB m^2	-4.57	-4.57	-4.57
Power flux density at receiving location	Φ_{min}	dBW/m^2	-100.92	-101.32	-101.96
Min. equivalent field strength at receiving location	E_{min}	dBμV/m	44.88	44.48	43.84

ตาราง 28 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์ช่วงเวลาป้องกัน (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า		
Allowance for man-made noise	P_{mmn}	dB	0	0	0
Heigth above ground level (a.g.l.) of receiveing location	-	m	10	10	10
Height loss from 10 m to 1.5 m	L_h	dB	0	0	0
Building penetration loss	L_b	dB	0	0	0
Standard deviation of the penetration loss	-	db	0	0	0
Location percentage requirement	-	%	95	95	95
Distribution factor	μ	-	1.64	1.64	1.64
Standard deviation	σ	-	5.5	5.5	5.5
Location correction factor	C_l	dB	9.02	9.02	9.02
Min. median power flux density at reception height; 50% time and 50% location	Φ_{med}	dBW/m^2	-91.90	-92.30	-92.94
Min. median equivalent field strength at reception height; 50% time and 50% location	E_{med}	$dB\mu V/m$	53.90	53.50	52.86
Channel frequency	f_1	MHz	482	482	482
Min. median power flux density at channel frequency	FS_1	$dB\mu V$	51.30	50.90	50.26

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 29 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า					
FFT size	-	-	32K Extended					
Guard Interval	-	-	1/128					
Modulation	-	-	256-QAM					
Code Rate	-	-	1/2	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
Pilot Pattern	-	-	PP7					
Based frequency	f	MHz	650					
Min. C/N required by system	C/N	dB	16.29	18.44	20.02	22.06	23.56	24.38
Receiver noise figure	F	dB	6	6	6	6	6	6
Equivalent noise bandwidth	B	MHz	7.77	7.77	7.77	7.77	7.77	7.77
Receiver noise input power	P_n	dBW	-129.07	-129.07	-129.07	-129.07	-129.07	-129.07
Min. receiver signal input power	$P_{s\ min}$	dBW	-112.78	-110.63	-109.05	-107.01	-105.51	-104.69
Min. equivalent receiver input voltage, 75 ohms	U_{min}	dBμV	25.97	28.12	29.70	31.74	33.24	34.06
Feeder loss	L_f	dB	4	4	4	4	4	4
Antenna gain relative to half dipole	G_d	dB	11	11	11	11	11	11
Effective antenna aperture	A_a	dB m^2	-4.57	-4.57	-4.57	-4.57	-4.57	-4.57
Power flux density at receiving location	Φ_{min}	dBW/m^2	-104.21	-102.06	-100.48	-98.44	-96.94	-96.12
Min. equivalent field strength at receiving location	E_{min}	dBμV/m	41.59	43.74	45.32	47.36	48.86	49.68

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 29 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า					
Allowance for man-made noise	P_{mmn}	dB	0	0	0	0	0	0
Heigth above ground level (a.g.l.) of receiveing location	-	m	10	10	10	10	10	10
Height loss from 10 m to 1.5 m	L_h	dB	0	0	0	0	0	0
Building penetration loss	L_b	dB	0	0	0	0	0	0
Standard deviation of the penetration loss	-	db	0	0	0	0	0	0
Location percentage requirement	-	%	95	95	95	95	95	95
Distribution factor	μ	-	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
Standard deviation	σ	-	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Location correction factor	C_l	dB	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02
Min. median power flux density at reception height; 50% time and 50% location	Φ_{med}	dBW/m^2	-95.19	-93.04	-91.46	-89.42	-87.92	-87.10
Min. median equivalent field strength at reception height; 50% time and 50% location	E_{med}	dBμV/m	50.61	52.76	54.34	56.38	57.88	58.70
Channel frequency	f_1	MHz	482	482	482	482	482	482
Min. median power flux density at channel frequency	FS_1	dBμV	48.01	50.16	51.74	53.78	55.28	56.10

บท 3
อุปกรณ์และระบบ

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล ด้วยเทคโนโลยี 4K ระยะแรกจากสถานีส่งสัญญาณ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ถนนวิภาวดีรังสิต เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ช่องความถี่ 22 ย่านความถี่ UHF (Ultra High Frequency) มีกำลังส่งออกอากาศ 767 วัตต์ รายละเอียดตามตาราง

ตาราง 30 ข้อมูลสถานีทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ 4K over DVB-T2

ข้อมูล	ค่า
สถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์	กรุงเทพฯ
ช่อง	22
ความถี่ (MHz)	478-486
ที่ตั้ง	ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่
ตำบล / แขวง	ตลาดบางเขน
อำเภอ / เขต	หลักสี่
Latitude	13.86688
Longitude	100.5744
Average/Ground Level (m)	10
Tower/Mast Height (m)	40
Effective Height (m)	50
Tower	Self-Support
Antenna System	Omnidirectional
Antenna Pattern	Omni
Beam Tilt (degree)	1.5
Null Fill (%)	> 30
Transmission Line Type	7/8"
Design Power Rating (W)	400
Maximum Input Power Rating (kW)	5
Main Feeder Loss (dB) @130 m	3.49
Filter Loss	0.21

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 30 ข้อมูลสถานีทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ 4K over DVB-T2 (ต่อ)

ข้อมูล	ค่า
Other Loss	0.2
Antenna Gain (dB)	5.76
Antenna System Gain (dB)	1.86
Transmitter Power (W)	500
ERP (W)	767

การติดตั้งอุปกรณ์และระบบของสถานีส่งสัญญาณ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศ UHDTV ประกอบด้วย Headend เครื่องส่งโทรทัศน์ สายนำสัญญาณ และสายอากาศ

ระบบ Headend

ระบบ Headend ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ Encoder Multiplexer และ Network Management System ซึ่งระบบที่ใช้ในการทดลองส่งสัญญาณ UHDTV ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทร์เนอร์ยี่ อินสทรูเม้นท์ จำกัด ในฐานะตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ Harmonic นำอุปกรณ์เข้าร่วมการทดลอง ดังนี้

Encoder

Encoder ยี่ห้อ Harmonic รองรับ UHD ชื่อ XOS ใช้ Advanced Media Processor ในการบีบอัดสัญญาณภาพและเสียง มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 24 XOS Harmonic Encoder



Multiplexer

Multiplexer ยี่ห้อ Harmonic ชื่อ ProStream X ทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์สัญญาณ รองรับสัญญาณรูปแบบ SD, HD และ UHD และการเข้ารหัสแบบ MPEG-2, MPEG-4 AVC และ HEVC มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

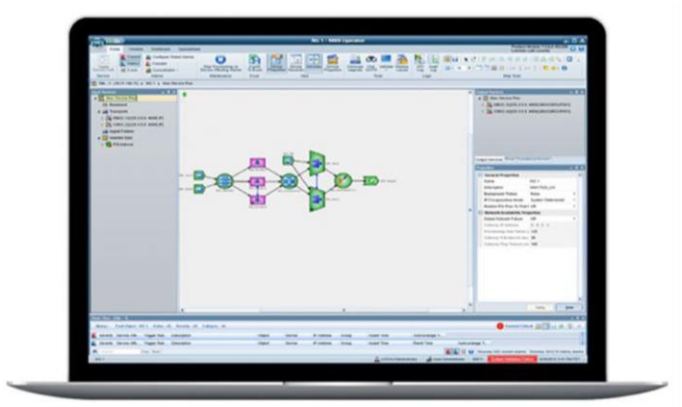
ภาพ 25 ProStream X – Harmonic Multiplexer



Network Management System

Network Management System ยี่ห้อ Harmonic ชื่อ NMX สำหรับจัดการและตรวจสอบการตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น การเข้ารหัส และการปรับอัตราข้อมูล แสดงสถานะของบริการและฮาร์ดแวร์ รวมถึงการแจ้งเตือนที่ มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 26 Harmonic NMX บน Laptop



เครื่องส่งโทรทัศน์

เครื่องส่งโทรทัศน์ ยี่ห้อ Tredess รุ่น MP-600W ขนาดกำลังส่งสูงสุด 600 วัตต์ มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 27 เครื่องส่ง Tredess รุ่น MP-600W



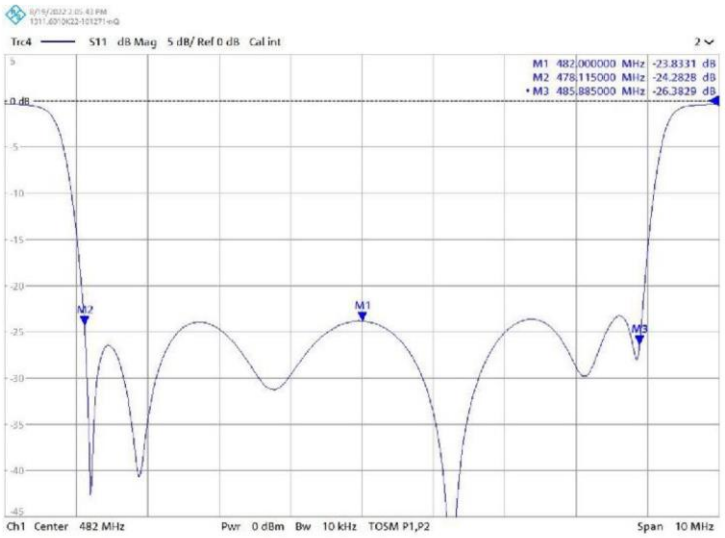
ติดตั้งแบนด์พาสฟิลเตอร์ (bandpass filter) ยี่ห้อ Spinner หมายเลขพาร์ท (part number) BN 616663C1031 มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 28 Spinner Bandpass Filter PN BN 616663C1031



การปรับตั้งฟิลเตอร์มีรายละเอียดตามตาราง

ภาพ 29 Return loss ของฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz



ภาพแสดง Reture loss ของฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz มีค่าประมาณ -24.28 dB

บท 4
การวัดสัญญาณภาคสนาม

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K จากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ใช้เครื่องส่งโทรทัศน์ ยี่ห้อ Tredess รุ่น MP-600R กำลังส่ง 500 W ผ่านสายอากาศชนิด Omnidirectional ยี่ห้อ Kathrein รุ่น 75010067 ช่อง 22 ความถี่ 482 MHz โพลาไรเซชันแนวนอน อัตราขยายสายอากาศ 5.76 dBd มีกำลังส่งออกอากาศ (ERP) ประมาณ 767 W ทำการวัดสัญญาณในพื้นที่ครอบคลุมการออกอากาศในรัศมีประมาณ 10 กิโลเมตร โดยมีอุปกรณ์ในการวัดสัญญาณภาคสนาม ดังนี้

1. Antenna
2. TV signal & spectrum analyzer ยี่ห้อ PROMAX รุ่น RANGER Neo 4
3. Television ยี่ห้อ LG รุ่น 55US660H0TD
4. Attenuator

สายอากาศ

สายอากาศที่ใช้ในการทดลองรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบยากิ (Yaki antenna) Log-periodic ยี่ห้อ Fracarro รุ่น LP45F มีคุณลักษณะทั่วไปดังภาพ และมีคุณลักษณะทางเทคนิคตามตาราง

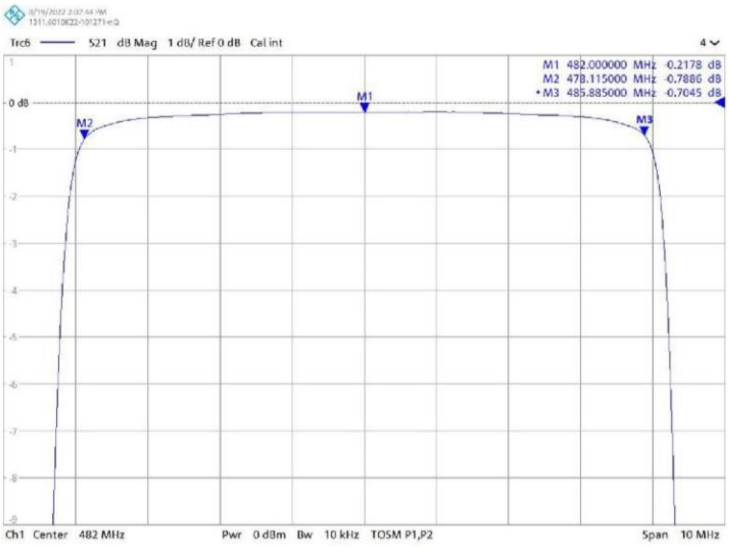
ภาพ 60 Yaki antenna – Log-periodic Fracarro LP45F



ตาราง 32 คุณลักษณะสายอากาศ Log-periodic

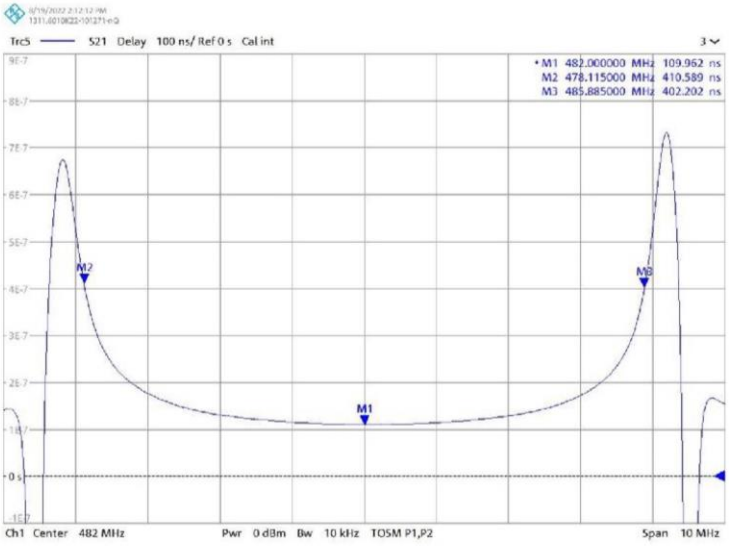
Description	Unit	LP45F
Fracarro code		216149
Elements	No.	6

ภาพ 30 Filter Loss ช่อง 22 ที่ 482 MHz



ภาพแสดงค่า Filter loss ช่อง 22 ที่ 482 MHz มีค่าประมาณ -0.21 dB

ภาพ 31 Group Delay ช่อง 22 ที่ 482 MHz



ภาพแสดง Group delay ช่อง 22 ที่ 478.115 MHz มีค่าเท่ากับ 410.589 ns และที่ 485.885 MHz มีค่าเท่ากับ 402.202 ns

ตาราง 31 คุณลักษณะของแบนด์พาสฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz

พารามิเตอร์	ค่า
ช่อง	22
ความถี่ (MHz)	482 MHz
Return Loss	-24.28 dB
Filter Loss	-0.21 dB
Group Delay @ 478.115	410.589 ns
@ 485.885	402.202 ns

ภาพ 32 ชุดเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

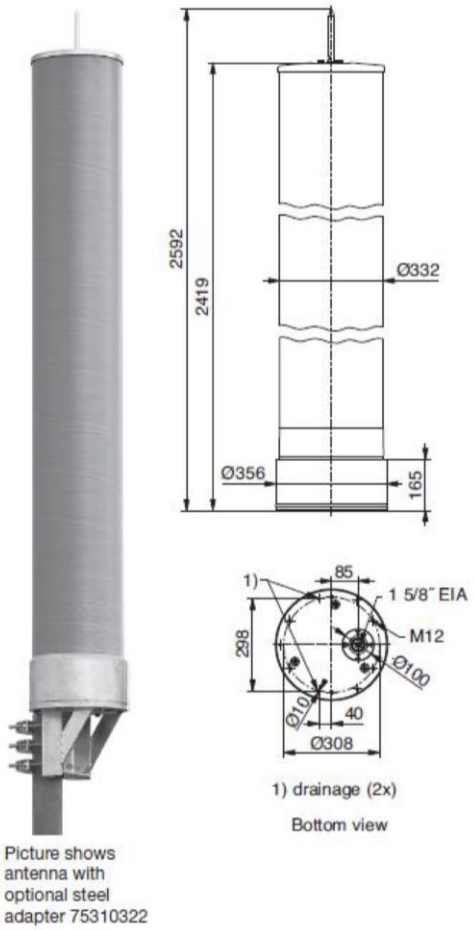


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

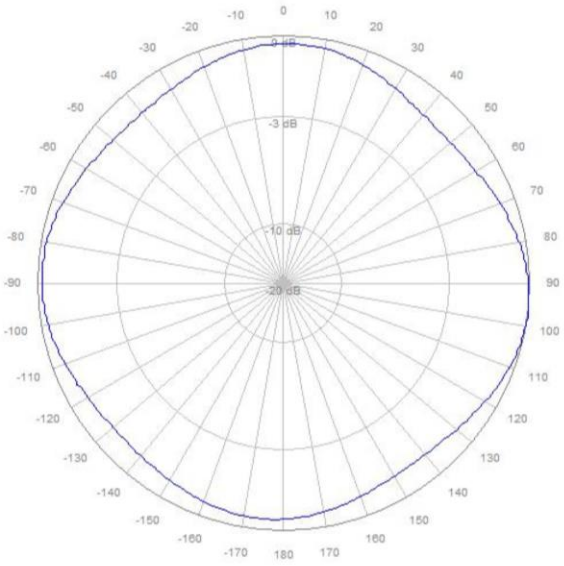
สายอากาศ

สายอากาศชนิด Omnidirectional ยี่ห้อ Kathrein รุ่น 75010067 ช่วงความถี่ 470 - 862 MHz โพลาไรเซชันแนวนอน อัตราขยายสายอากาศ 8 dBd ที่ Mid-band กำลังสูงสุด 5kW รายละเอียดตามภาคผนวก

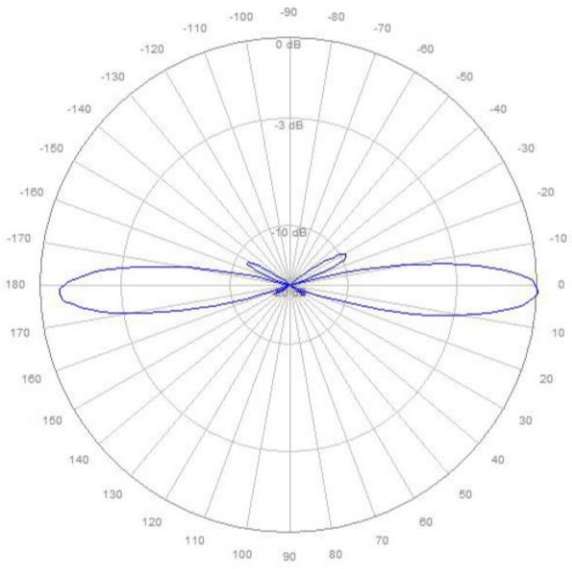
ภาพ 33 ลักษณะและมิติของสายอากาศ



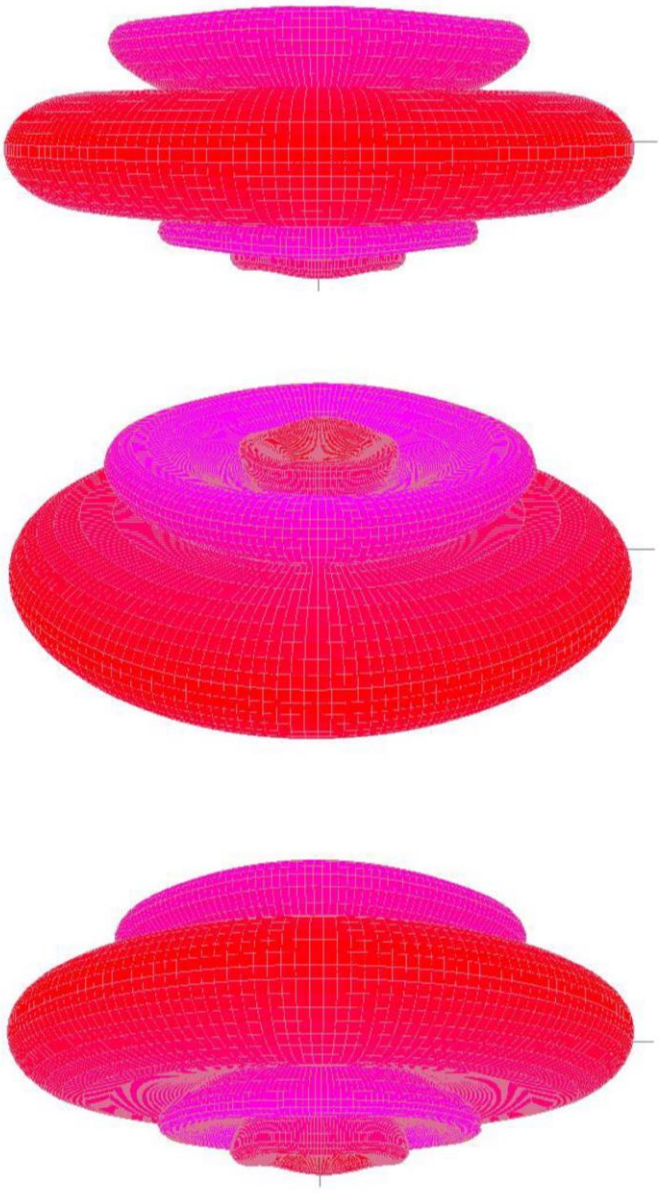
ภาพ 34 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวนอนที่ 482 MHz



ภาพ 35 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวตั้งที่ 482 MHz



ภาพ 36 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติที่ 482 MHz



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

สายนำสัญญาณ

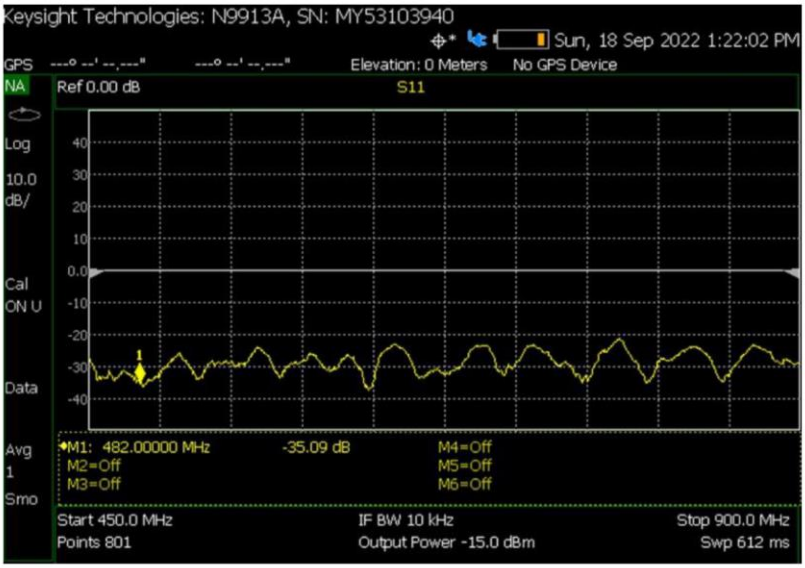
สายนำสัญญาณตั้งยี่ห้อ RFS รุ่น LCF78-50JA-A7 สายโคแอคเชียลโฟมไดอิเล็กตริกความสูญเสียต่ำคุณภาพดี (premium attenuation low-loss foam-dielectric coaxial cable) ขนาด 7/8" มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก ติดตั้งจากสายอากาศมายังเครื่องส่งโทรทัศน์ มีระยะสายโดยรวมประมาณ 130 มีค่าความสูญเสียในสายนำสัญญาณประมาณ 3.49 dB

ภาพ 37 สายนำสัญญาณ RFS 7/8" CELLFLEX



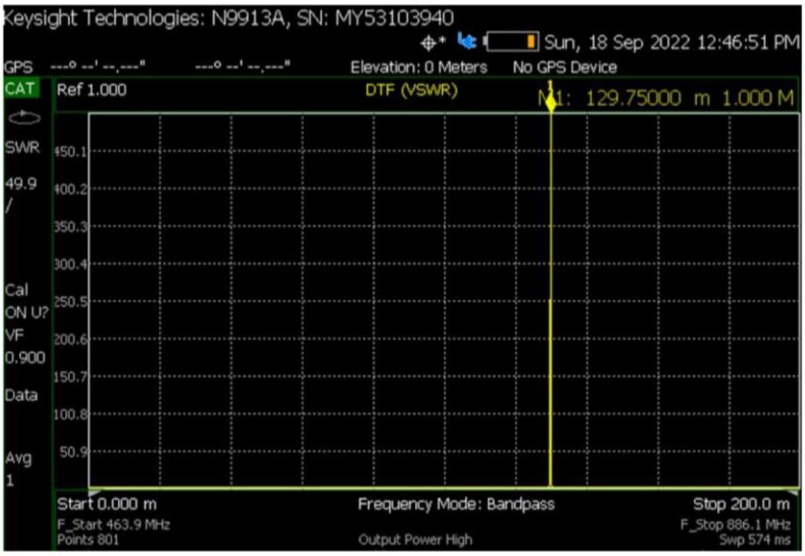
7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric
Coaxial Cable

ภาพ 38 Return Loss ช่อง 22 ของระบบสายอากาศ



ภาพแสดงค่า Return loss ช่อง 22 ความถี่ 482 MHz ของระบบสายอากาศที่ติดตั้งในสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ มีค่าประมาณ -35.09 dB

ภาพ 39 ความยาวสายนำสัญญาณ LCF 7/8 – 50 JA

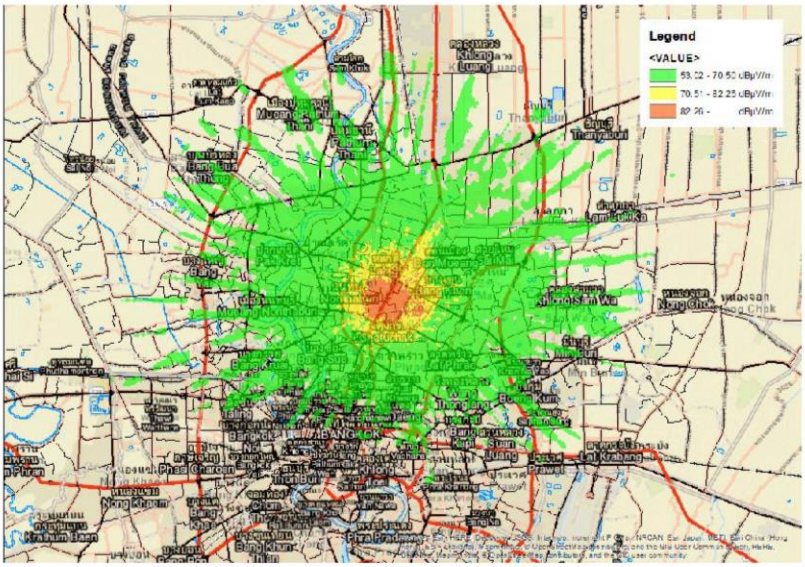


ภาพแสดงความยาวสายนำสัญญาณ LCF 7/8 – 50 JA ของระบบสายอากาศที่ติดตั้งในสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ มีค่าประมาณ 130 เมตร

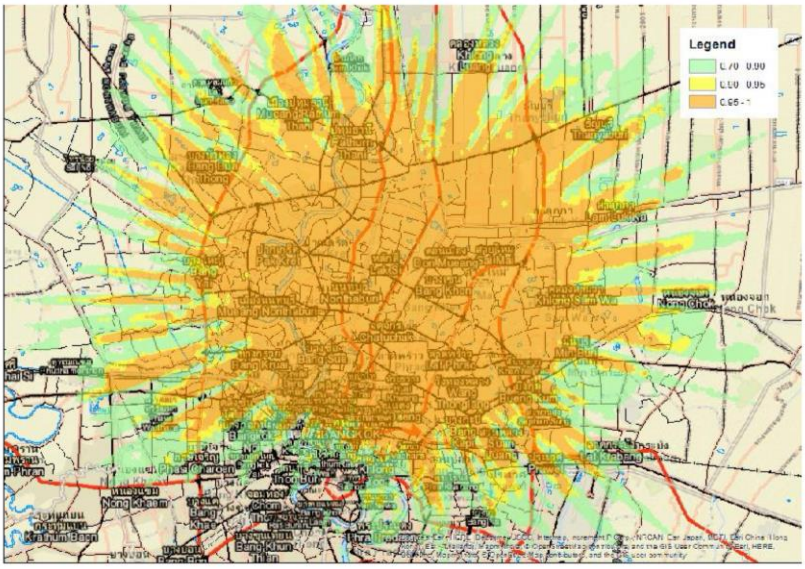
การจำลองแบบ

การจำลองแบบการกระจายคลื่นจากสถานีส่งสัญญาณ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผนโครงข่าย โดยใช้โปรแกรม Progira ได้ผลการจำลองแบบดังภาพ

ภาพ 40 การส่งสัญญาณ FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2

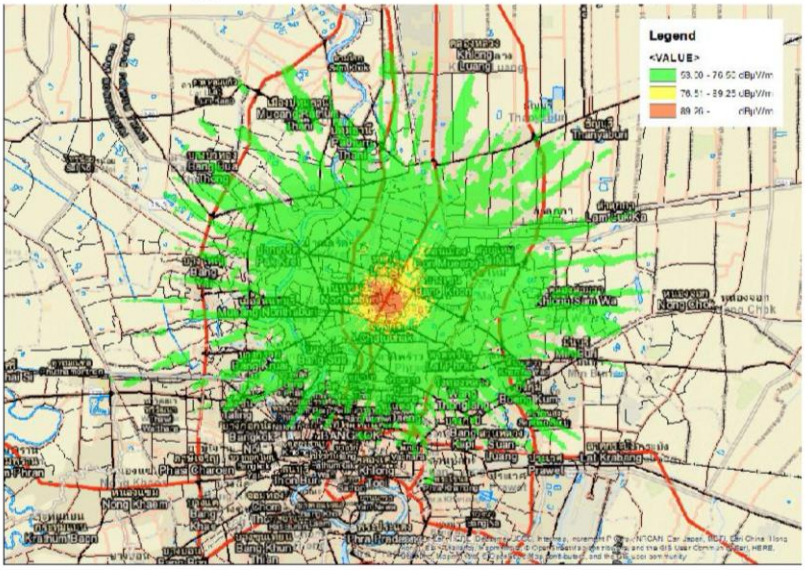


ภาพ 41 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2

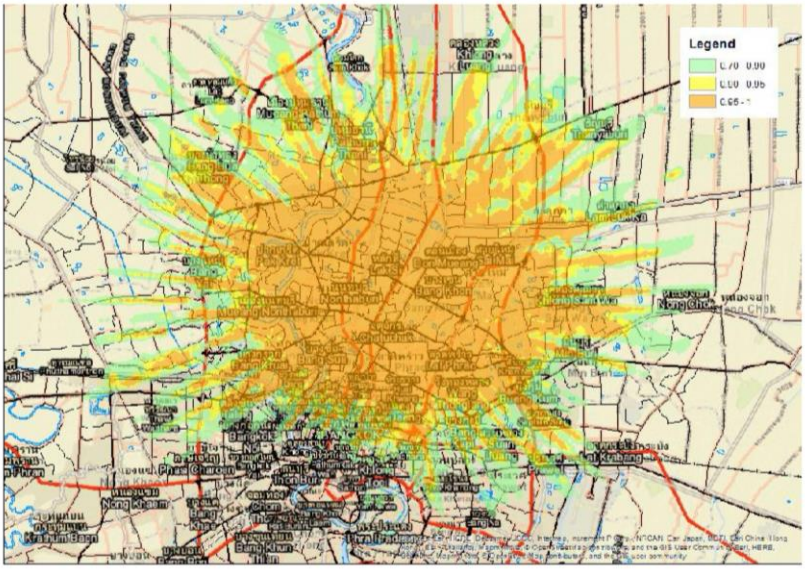


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

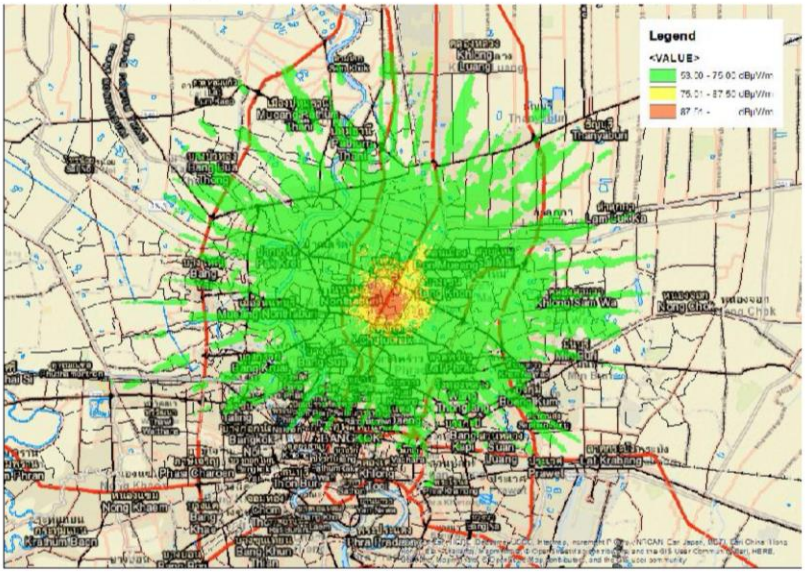
ภาพ 42 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2



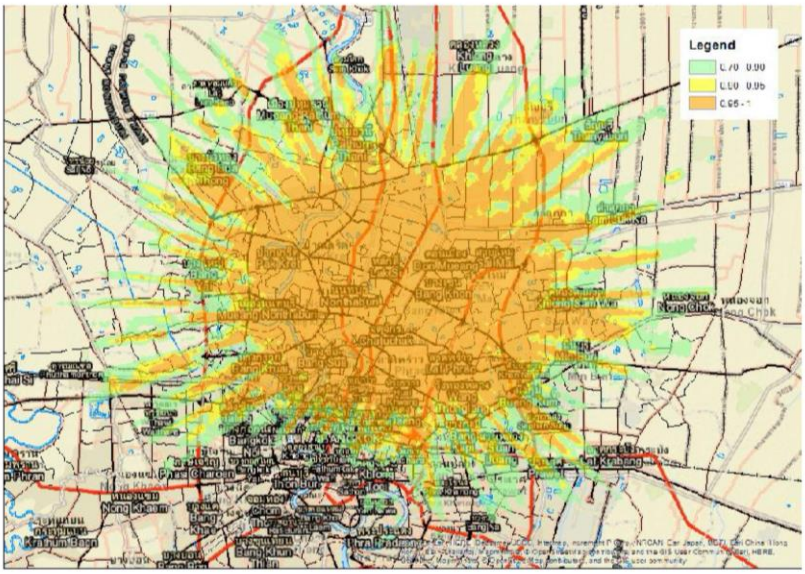
ภาพ 43 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2



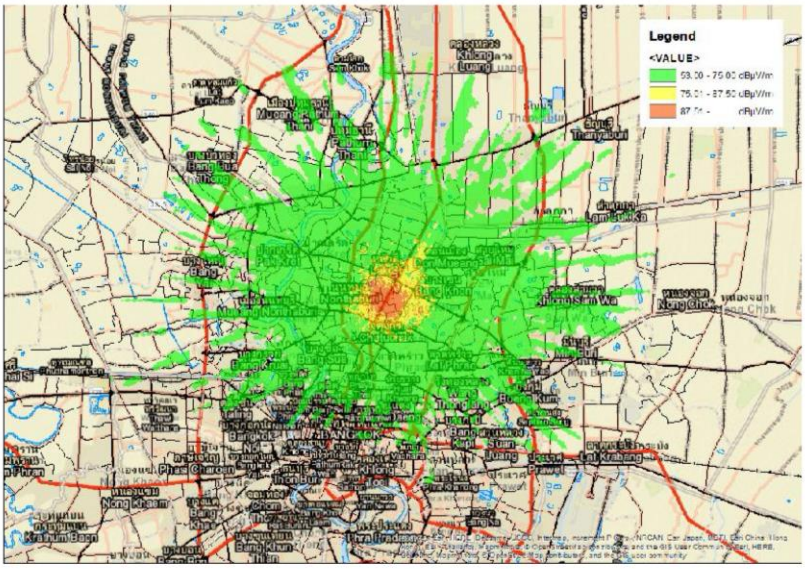
ภาพ 44 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4



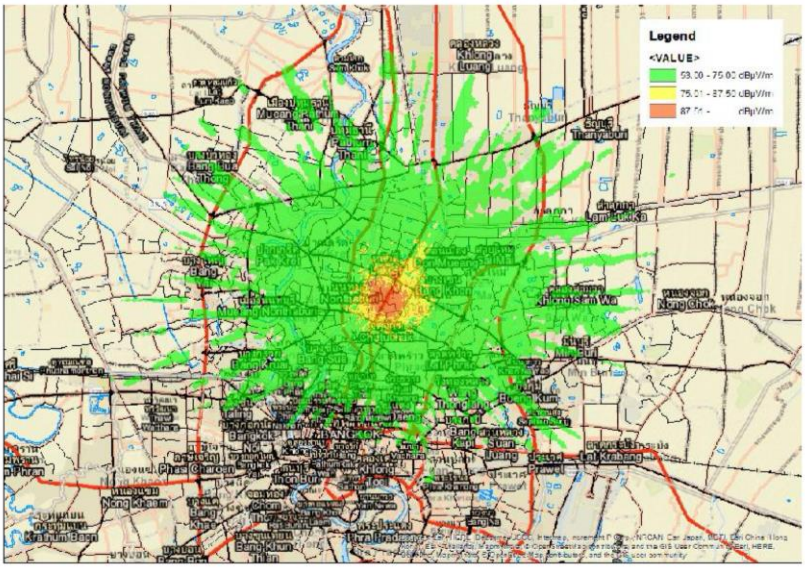
ภาพ 45 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4



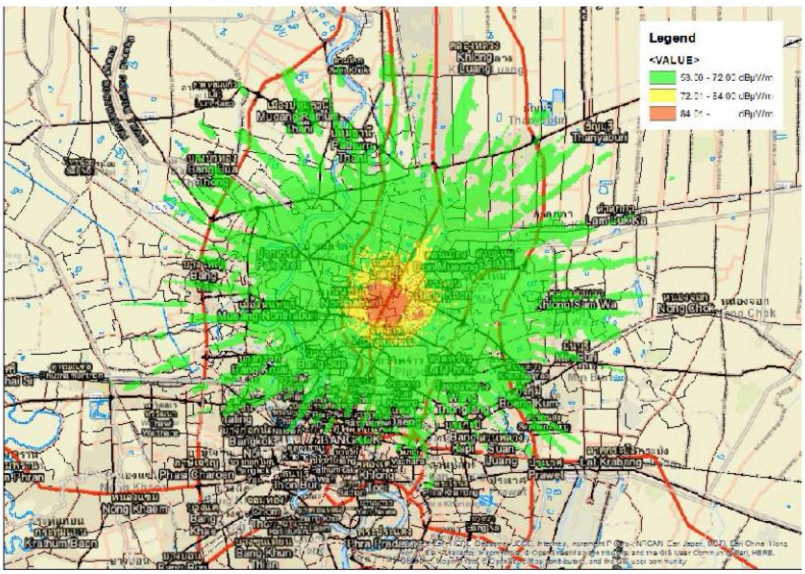
ภาพ 46 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8



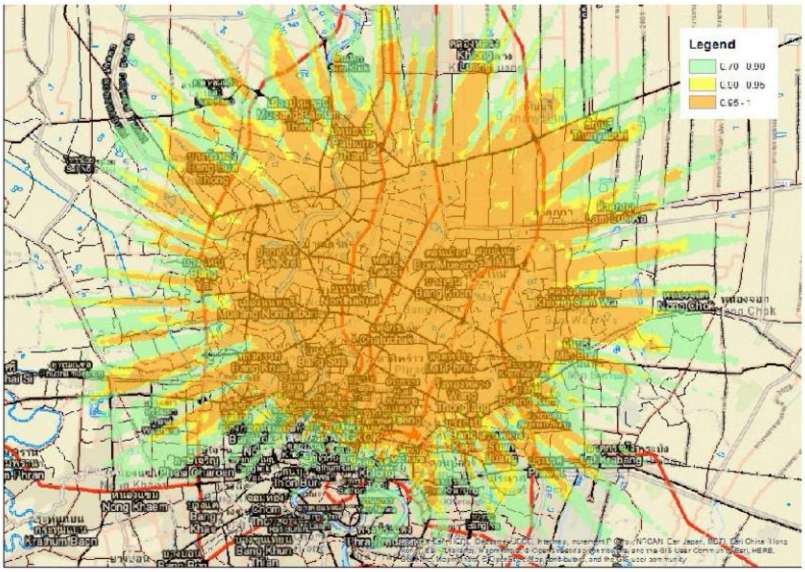
ภาพ 47 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8



ภาพ 48 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7

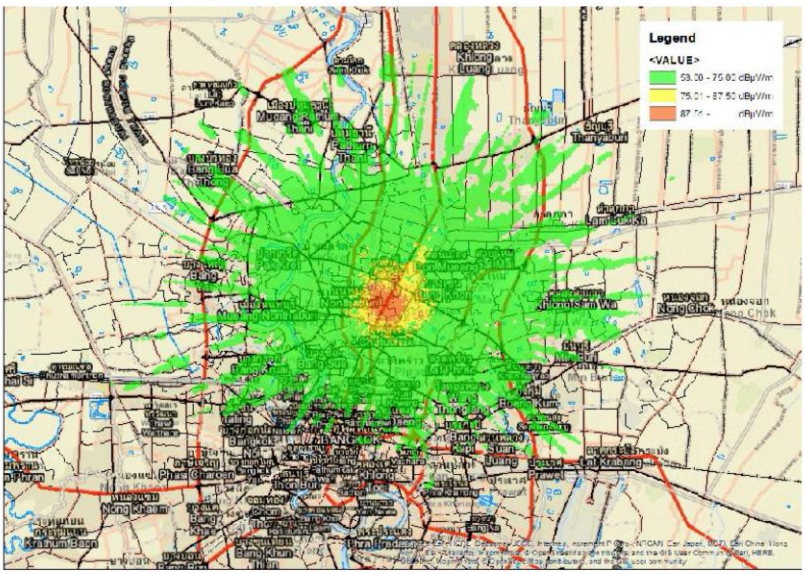


ภาพ 49 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7

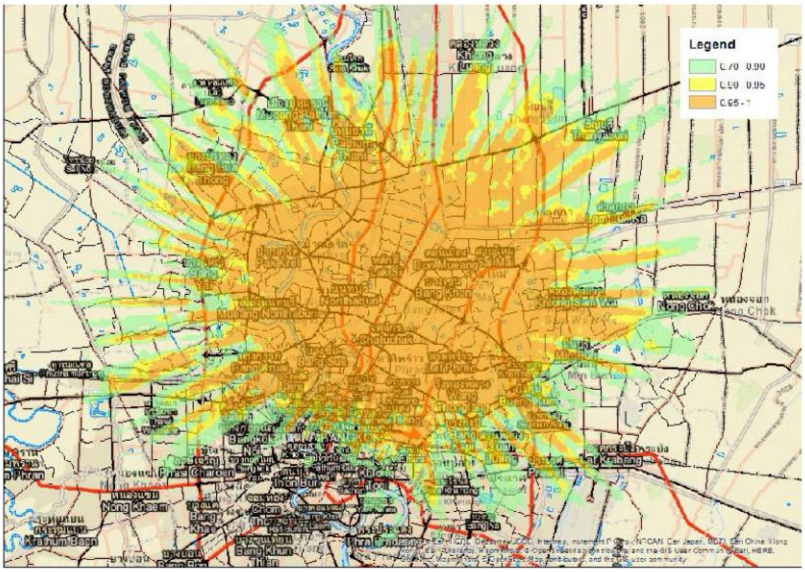


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 50 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7

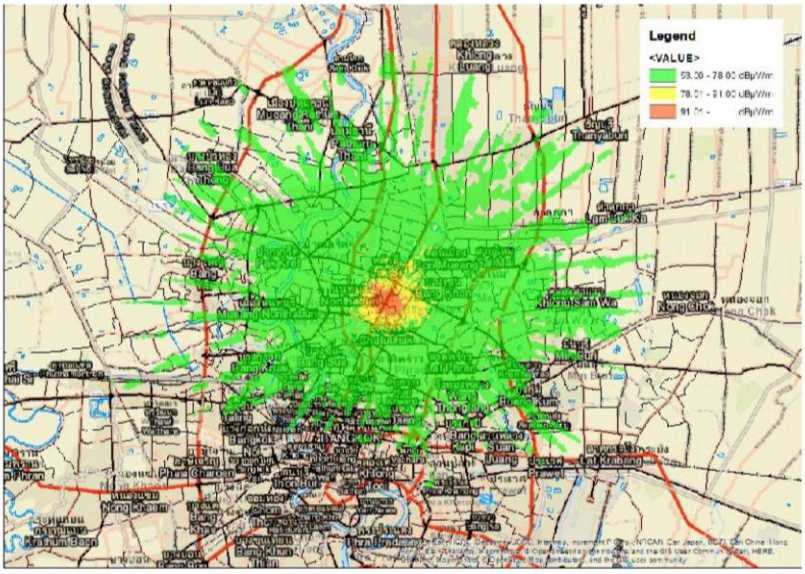


ภาพ 51 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7

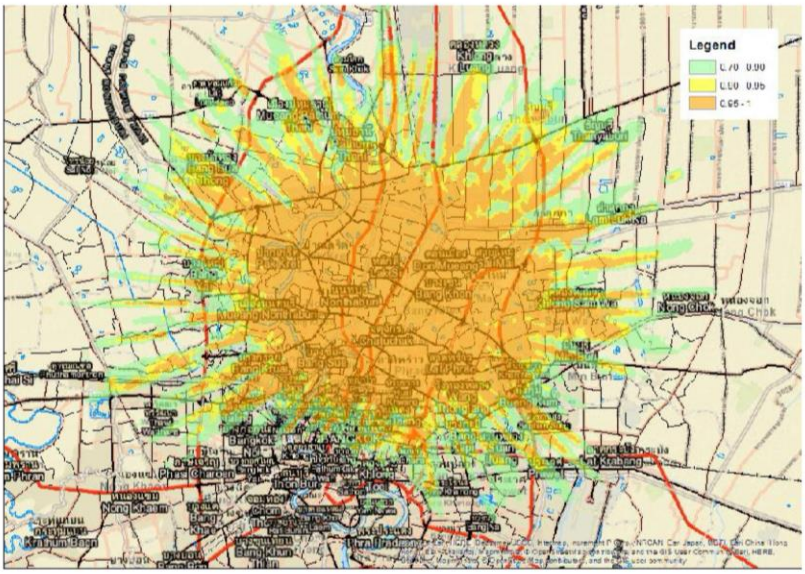


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

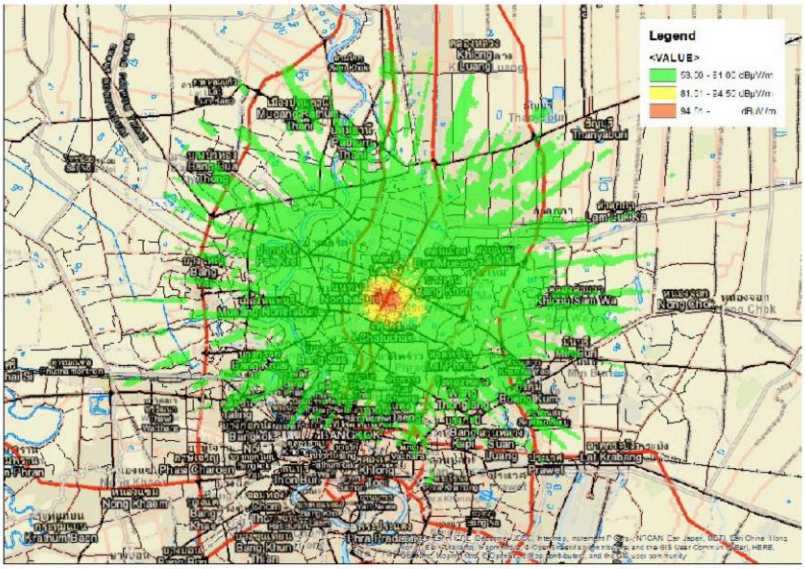
ภาพ 52 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7



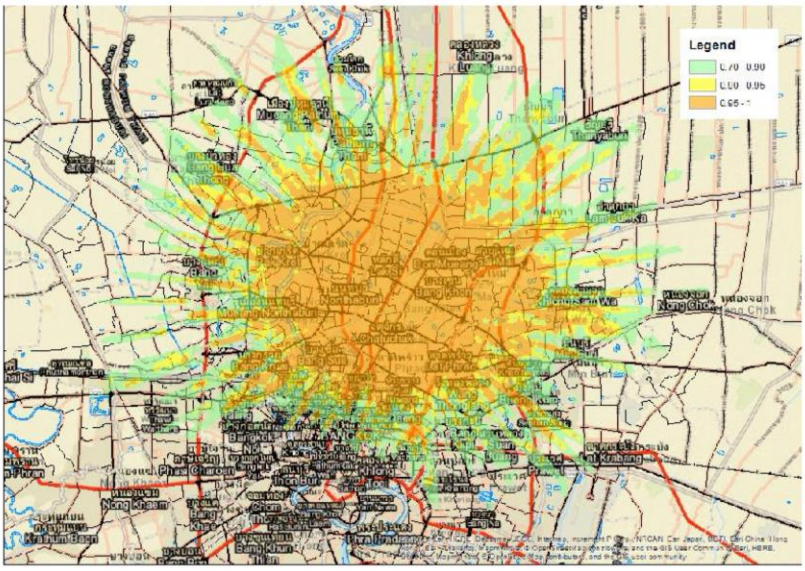
ภาพ 53 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7



ภาพ 54 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7

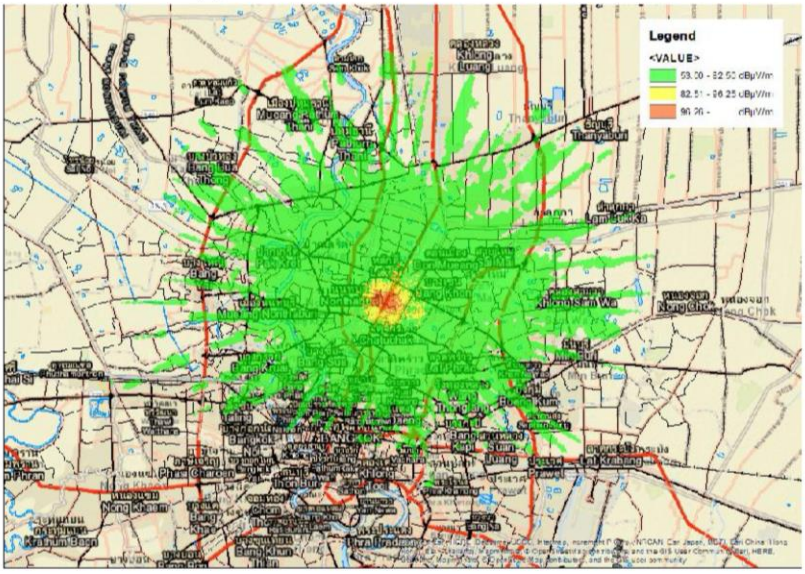


ภาพ 55 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7

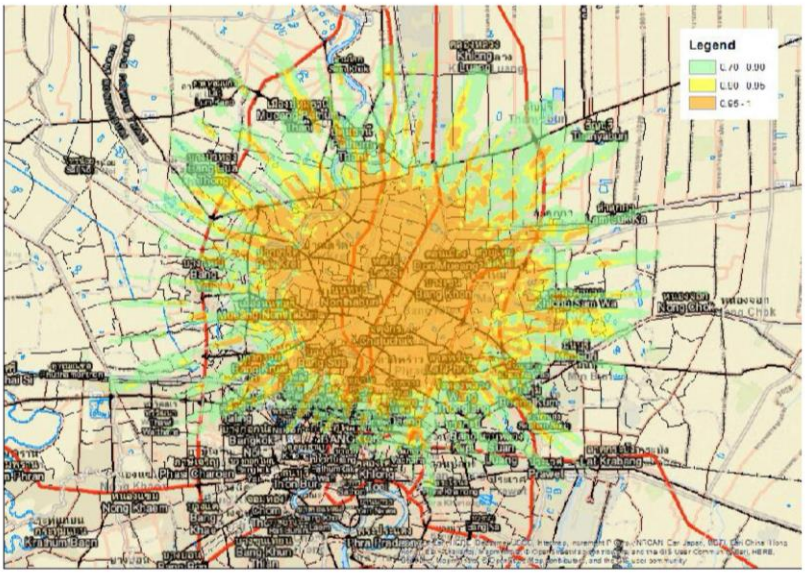


สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

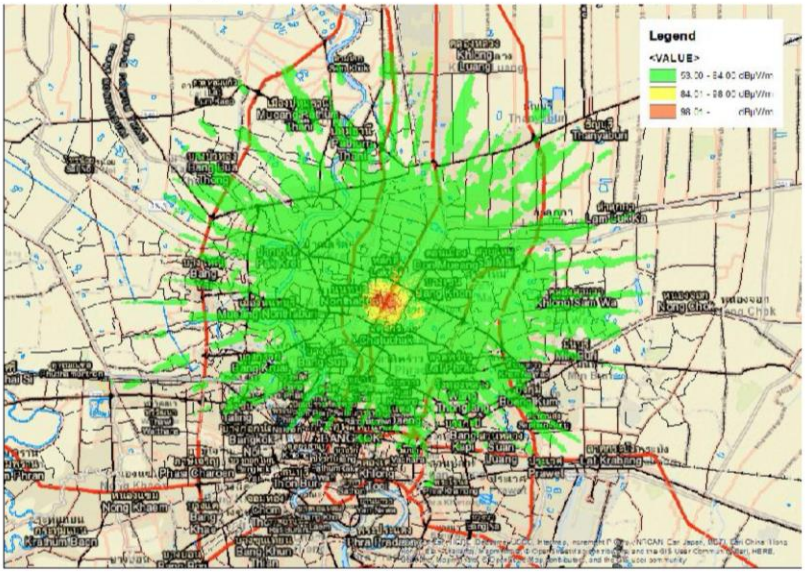
ภาพ 56 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7



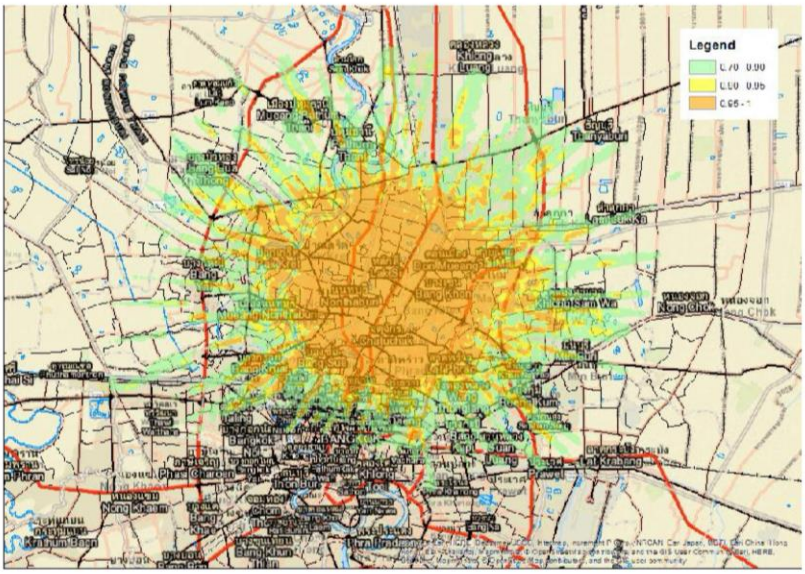
ภาพ 57 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7



ภาพ 58 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 5/6, PP7



ภาพ 59 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 5/6, PP7



บท 4
การวัดสัญญาณภาคสนาม

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K จากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ใช้เครื่องส่งโทรทัศน์ ยี่ห้อ Tredess รุ่น MP-600R กำลังส่ง 500 W ผ่านสายอากาศชนิด Omnidirectional ยี่ห้อ Kathrein รุ่น 75010067 ช่อง 22 ความถี่ 482 MHz โพลาไรเซชันแนวนอน อัตราขยายสายอากาศ 5.76 dBd มีกำลังส่งออกอากาศ (ERP) ประมาณ 767 W ทำการวัดสัญญาณในพื้นที่ครอบคลุมการออกอากาศในรัศมีประมาณ 10 กิโลเมตร โดยมีอุปกรณ์ในการวัดสัญญาณภาคสนาม ดังนี้

1. Antenna
2. TV signal & spectrum analyzer ยี่ห้อ PROMAX รุ่น RANGER Neo 4
3. Television ยี่ห้อ LG รุ่น 55US660H0TD
4. Attenuator

สายอากาศ

สายอากาศที่ใช้ในการทดลองรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบยากิ (Yaki antenna) Log-periodic ยี่ห้อ Fracarro รุ่น LP45F มีคุณลักษณะทั่วไปดังภาพ และมีคุณลักษณะทางเทคนิคตามตาราง

ภาพ 60 Yaki antenna – Log-periodic Fracarro LP45F



ตาราง 32 คุณลักษณะสายอากาศ Log-periodic

Description	Unit	LP45F
Fracarro code		216149
Elements	No.	6

ตาราง 32 คุณลักษณะสายอากาศ Log-periodic (ต่อ)

Description	Unit	LP45F
Band		UHF
Channel		E21-E69
Technical Characteristics		
Bandwidth	MHz	470-862
Maximum Gain	dBi	11
Front-to-back ration	dB	36
Return loss	dB	-15
Beamwidth (-3dB)	°	±/-28
Impedance	Ohm	75
Connector	Type	F
Maximum mast	mm	60
Dimensions	mm	99 x 32

TV signal & spectrum analyzer

TV signal & spectrum analyzer ยี่ห้อ PROMAX รุ่น RANGER Neo 4 สามารถถอดรหัสสัญญาณภาพ 4K และมีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 61 TV signal & spectrum analyzer - Promax Ranger Neo 4



เครื่องรับโทรทัศน์

เครื่องรับโทรทัศน์ยี่ห้อ LG รุ่น 55US660H0TD ประเภท iDTV มีคุณลักษณะทางเทคนิค ดังตาราง

ภาพ 62 iDTV LG รุ่น 55US660H0TD



ตาราง 33 คุณลักษณะเครื่องรับโทรทัศน์ LG 55US660H0TD

รายละเอียด	คุณลักษณะ
Broadcasting system Digital Analog	 DVB-T2/C PAL/SECAM
Display	55 inch
Resolution	3480 x 2160 (UHD)
Dynamic range	HDR10 Pro HLG

การวัดสัญญาณ

การวัดสัญญาณภาคสนามด้วยรถวัดสัญญาณโทรทัศน์ ที่สามารถวัดสัญญาณที่ความสูง 10 เมตร ในพื้นที่ทดลองออกอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ซึ่งมีรัศมีประมาณ 10 กิโลเมตร จำนวน 4 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 ทิศตะวันตก บริเวณอาคารส่งสัญญาณดาวเทียม บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ตำบลบางกระสอ อำเภอเมืองนนทบุรี นนทบุรี พิกัดละติจูดที่ 13.867905 หรือ 13 52.074

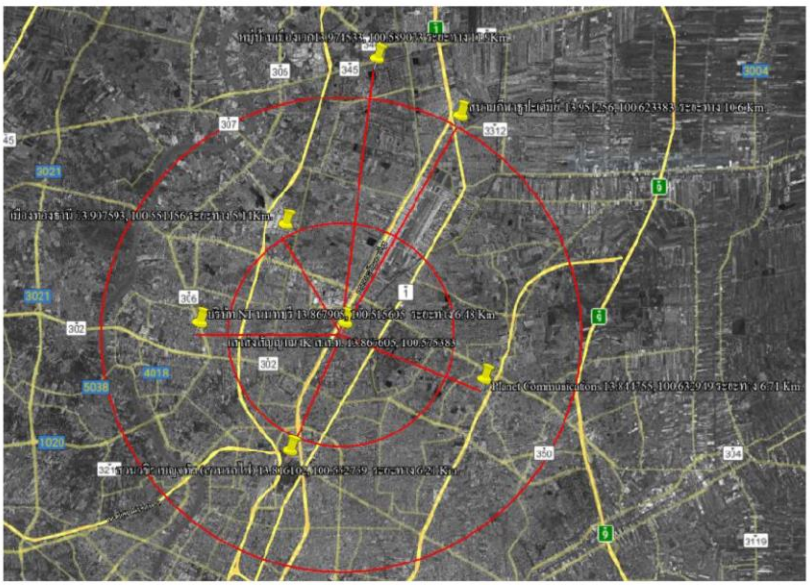
องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.515605 หรือ 100 30.936 องศาตะวันออก มีระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ประมาณ 6.48 กิโลเมตร

จุดที่ 2 ทิศใต้ บริเวณลานจอดรถวชิรเบญจทัศ (สวนรถไฟ) แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร พิกัดละติจูดที่ 13.816102 หรือ 13 48.966 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.552759 หรือ 100 33.166 องศาตะวันออก มีระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ประมาณ 6.21 กิโลเมตร

จุดที่ 3 ทิศตะวันออก บริเวณลานจอดรถ บริษัท แพลนเน็ต คอมมิวนิเคชั่น เอเชีย จำกัด (มหาชน) แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร พิกัดละติจูดที่ 13.844755 หรือ 13 50.685 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.632949 หรือ 100 37.977 องศาตะวันออก มีระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ประมาณ 6.71 กิโลเมตร

จุดที่ 4 ทิศเหนือ บริเวณริมบึงในพื้นที่หมู่บ้านเมืองเอก ตำบลหลักหก อำเภอเมืองปทุมธานี พิกัดละติจูดที่ 13.974533 หรือ 13 58.472 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.589073 หรือ 100 35.344 องศาตะวันออก มีระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ประมาณ 11.9 กิโลเมตร

ภาพ 63 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ และจุดวัดสัญญาณ



ภาพ 64 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 1



ค่าการวัดสัญญาณ ณ จุดที่ 1 แสดงดังตาราง และทำการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ด้วยโปรแกรม Progira แสดงให้เห็นว่า จากฐานข้อมูลความสูงในระดับ clutter ของโปรแกรม ณ จุดนี้ สามารถรับสัญญาณแบบ Line of Sight (LOS) ได้ ดังภาพ

ตาราง 34 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
16K Ext.	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	26.0	12.0	>11.00	0	1.0E-01	1.1E-05	-	-
64-QAM		MUX: 21.80	15.17		Max	43.8	30.3	>28.60	17.7	1.0E-06	1.0E-07	92	100
GIF 19/128		T2GW: 21.90	Portable:	LG	Min								
PP2		DVB CAL: 21.93	16.91		Max								

ตาราง 35 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.5	18.4	>15.60	1.8	9.0E-02	1.0E-08	26	94
256-QAM		MUX: 31.20	19.58		Max	44.0	30.4	>28.60	13.5	6.3E-04	1.0E-08	78	100
GIF 19/256		T2GW: 31.30	Portable:	LG	Min							14	42
PP2		DVB CAL: 31.48	21.68		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.6	17.3	>13.80	1.8	1.0E-01	1.9E-07	22	73
256-QAM		MUX: 32.50	19.18		Max	47.0	30.7	>31.60	13.8	1.9E-04	1.0E-08	78	100
GIF 19/256		T2GW: 32.60	Portable:	LG	Min							13	40
PP4		DVB CAL: 32.82	21.28		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.4	14.4	>14.70	-2.7	1.0E-01	8.9E-08	22	75
256-QAM		MUX: 33.60	18.54		Max	47.0	22.8	>31.10	5.9	1.9E-03	1.0E-07	78	100
GIF 19/256		T2GW: 33.70	Portable:	LG	Min							13	35
PP8		DVB CAL: 33.86	20.62		Max								

ตาราง 36 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

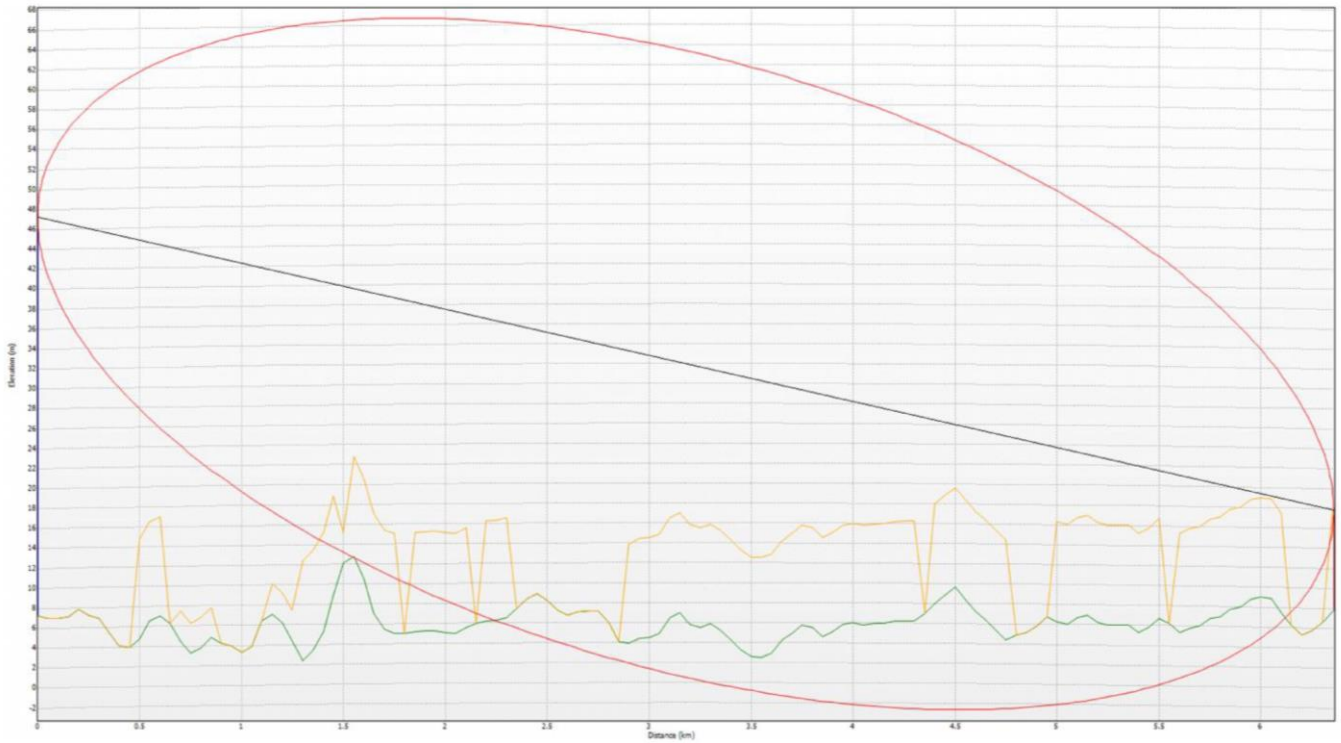
DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	1/2	ENC: 29.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	27.0	14.6	>11.30	0	1.0E-01	1.1E-05	18	53
256-QAM		MUX: 29.80	16.29		Max	47.2	30.5	>31.60	15.9	2.4E-04	1.0E-08	86	100
GIF 1/128		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min							9	16
PP7		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 35.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.2	17.8	>15.10	0.8	9.9E-02	3.3E-08	22	65
256-QAM		MUX: 35.90	18.44		Max	46.9	30.5	>31.10	13.6	2.4E-04	1.0E-08	86	100
GIF 1/128		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min							10	16
PP7		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext.	2/3	ENC: 39.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.7	18.2	>15.40	0.3	8.9E-02	3.9E-09	18	57
256-QAM		MUX: 39.90	20.02		Max	46.9	30.5	>31.60	12.4	2.3E-04	1.0E-08	74	100
GIF 1/128		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min							10	18
PP7		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext.	3/4	ENC: 44.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	33.4	20.6	>17.80	0.4	5.6E-02	1.1E-08	22	64
256-QAM		MUX: 44.90	22.06		Max	47.2	30.3	>31.40	10.4	2.5E-04	1.0E-08	58	100
GIF 1/128		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min							10	20
PP7		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext.	4/5	ENC: 47.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	34.5	22.1	>19.00	0.4	4.5E-02	1.0E-08	18	54
256-QAM		MUX: 47.90	23.56		Max	47.2	30.2	>31.20	9.0	2.9E-04	1.0E-08	58	100
GIF 1/128		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							10	15
PP7		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

ตาราง 36 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	5/6	ENC: 49.50	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	35.0	22.6	>19.10	0.6	4.1E-02	4.3E-07	18	46
256-QAM		MUX: 50.00	24.38		Max	47.1	30.6	>30.90	8.7	2.3E-04	1.0E-08	50	100
GIF 1/128		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min							14	35
PP7		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 65 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 1



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 66 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 2



ค่าการวัดสัญญาณ ณ จุดที่ 2 แสดงดังตาราง และทำการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ด้วยโปรแกรม Progira แสดงให้เห็นว่า จากฐานข้อมูลความสูงในระดับ clutter ของโปรแกรม ณ จุดนี้ มีอุปสรรคที่สามารถขัดขวางการรับสัญญาณแบบ LOS ในพื้นที่ clutter ที่ระยะ 5.85 กิโลเมตร ทางอากาศ ดังภาพ

ตาราง 37 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
16K Ext.	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	25.70	13.30	>9.5	0.7	9.4E-02	1.0E-07	14	80
64-QAM		MUX: 21.80	15.17		Max	55.20	33.10	>38.8	20.5	1.0E-06	1.0E-08	95	100
GIF 19/128		T2GW: 21.90	Portable:	LG	Min							8	33
PP2		DVB CAL: 21.93	16.91		Max								

ตาราง 38 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.3	18.4	>14.8	1.5	9.6E-02	1.6E-08	14	83
256-QAM		MUX: 31.20	19.58		Max	54.4	32.9	>38.3	16.0	3.5E-05	1.0E-08	94	100
GIF 19/256		T2GW: 31.30	Portable:	LG	Min							8	7
PP2		DVB CAL: 31.48	21.68		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.2	18.0	>14.3	1.1	9.8E-02	8.1E-09	14	73
256-QAM		MUX: 32.50	19.18		Max	54.5	33.1	>38.6	16.2	3.9E-05	1.0E-08	94	100
GIF 19/256		T2GW: 32.60	Portable:	LG	Min							8	6
PP4		DVB CAL: 32.82	21.28		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	31.1	15.0	>15.0	-1.9	9.5E-02	1.0E-07	18	8
256-QAM		MUX: 33.60	18.54		Max	54.5	24.8	>38.1	7.9	1.2E-03	1.0E-08	94	100
GIF 19/256		T2GW: 33.70	Portable:	LG	Min							8	32
PP8		DVB CAL: 33.86	20.62		Max								

ตาราง 39 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	1/2	ENC: 29.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	27.0	15.1	>11.3	0.5	1.0E-01	4.2E-06	10	63
256-QAM		MUX: 29.80	16.29		Max	54.6	32.6	>38.3	18.0	1.1E-04	1.0E-08	96	100
GIF 1/128		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min							8	13
PP7		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 35.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.7	17.4	>13.5	0.5	1.0E-01	3.2E-07	14	53
256-QAM		MUX: 35.90	18.44		Max	54.7	32.2	>38.1	15.3	9.9E-05	1.0E-08	94	100
GIF 1/128		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min							8	10
PP7		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext.	2/3	ENC: 39.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	31.0	18.9	>15.0	0.8	8.8E-02	1.0E-08	10	50
256-QAM		MUX: 39.90	20.02		Max	54.2	32.5	>37.5	14.4	1.1E-04	1.0E-08	93	100
GIF 1/128		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min							8	14
PP7		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext.	3/4	ENC: 44.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	33.0	20.9	>16.9	1.0	6.2E-02	1.0E-07	10	41
256-QAM		MUX: 44.90	22.06		Max	54.6	32.5	>38.0	12.6	1.2E-04	1.0E-08	92	100
GIF 1/128		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min							4	5
PP7		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext.	4/5	ENC: 47.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	35.0	22.8	>18.9	1.6	4.0E-02	1.0E-08	14	49
256-QAM		MUX: 47.90	23.56		Max	54.6	32.7	>37.9	11.5	1.2E-04	1.0E-08	92	100
GIF 1/128		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							9	10
PP7		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

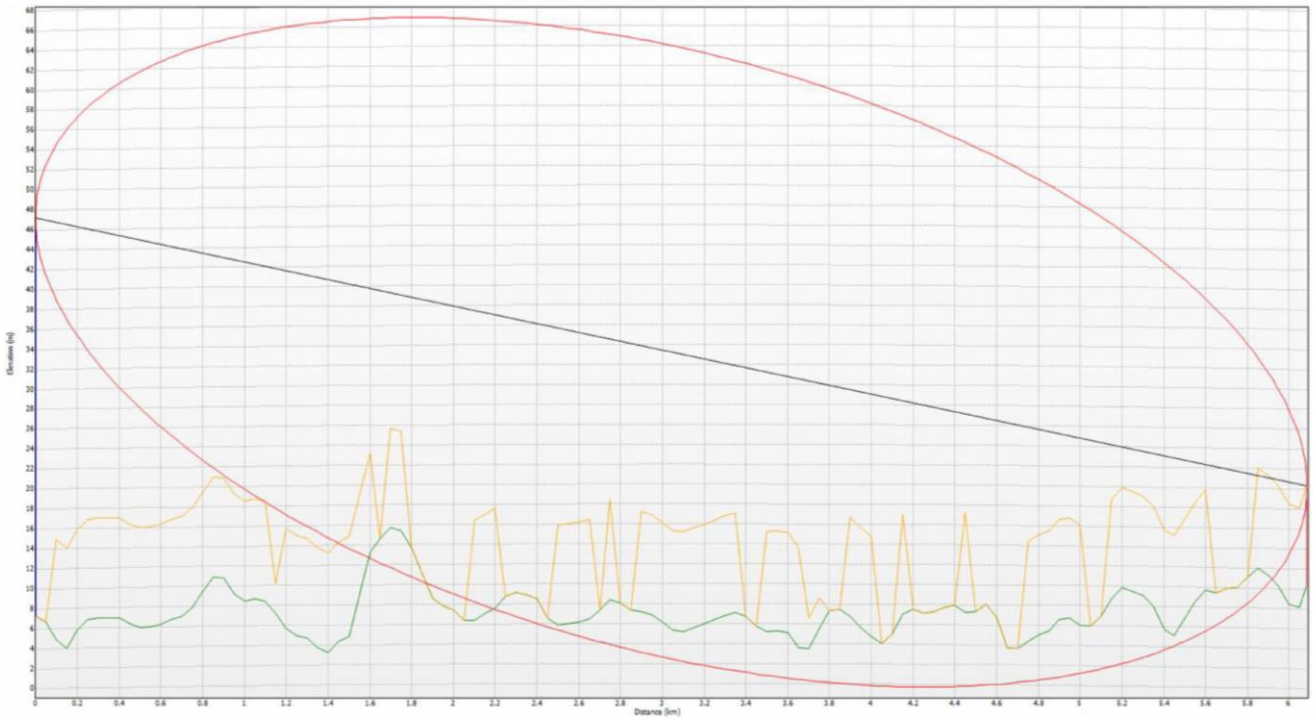
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 39 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	5/6	ENC: 49.50	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	35.5	23.3	>20.3	1.4	3.5E-02	1.0E-08	10	48
256-QAM		MUX: 50.00	24.38		Max	54.7	32.3	>38.2	10.4	1.1E-04	1.0E-08	91	100
GIF 1/128		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min							8	6
PP7		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 67 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 2



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 68 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3



ค่าการวัดสัญญาณ ณ จุดที่ 3 แสดงดังตาราง และทำการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ด้วยโปรแกรม Progira แสดงให้เห็นว่า จากฐานข้อมูลความสูงในระดับ clutter ของโปรแกรม ณ จุดนี้ มีอุปสรรคที่สามารถขัดขวางการรับสัญญาณแบบ LOS ในพื้นที่ clutter ที่ระยะ 10.8-10.9 กิโลเมตร ทางอากาศ ดังภาพ

ตาราง 40 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
16K Ext.	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	24.7	13.0	>9.3	0.4	1.0E-01	6.5E-08	10	70
64-QAM		MUX: 21.80	15.17		Max	46.4	30.3	>31.0	17.7	5.4E-06	1.0E-08	92	100
GIF 19/128		T2GW: 21.90	Portable:	LG	Min							9	37
PP2		DVB CAL: 21.93	16.91		Max								

ตาราง 41 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.6	17.1	>13.1	0.2	1.0E-01	5.6E-07	10	75
256-QAM		MUX: 31.20	19.58		Max	46.3	31.4	>30.6	14.5	3.7E-04	1.0E-08	93	100
GIF 19/256		T2GW: 31.30	Portable:	LG	Min								
PP2		DVB CAL: 31.48	21.68		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.9	17.6	>14.1	0.7	1.0E-01	6.0E-08	14	86
256-QAM		MUX: 32.50	19.18		Max	46.4	30.00	>30.5	13.1	4.9E-04	1.0E-08	86	100
GIF 19/256		T2GW: 32.60	Portable:	LG	Min	26.9						8	30
PP4		DVB CAL: 32.82	21.28		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.8	12.2	>15.3	-4.7	1.0E-01	2.5E-06	14	68
256-QAM		MUX: 33.60	18.54		Max	46.6	15.8	>30.9	-1.1	1.5E-02	1.0E-07	94	100
GIF 19/256		T2GW: 33.70	Portable:	LG	Min							8	21
PP8		DVB CAL: 33.86	20.62		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 42 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBµV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	1/2	ENC: 29.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	26.7	15.0	>11.4	0.4	1.0E-01	9.7E-06	14	63
256-QAM		MUX: 29.80	16.29		Max	46.2	29.9	>31.0	15.3	6.0E-04	1.0E-08	90	100
GIF 1/128		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min	25.2						8	26
PP7		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 35.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.3	17.4	>13.7	0.5	1.0E-01	6.1E-07	10	50
256-QAM		MUX: 35.90	18.44		Max	46.4	30.0	>30.8	13.1	5.8E-04	1.0E-08	86	100
GIF 1/128		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min	28.0						8	23
PP7		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext.	2/3	ENC: 39.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.9	18.8	>14.4	0.7	8.7E-02	1.0E-08	10	50
256-QAM		MUX: 39.90	20.02		Max	46.4	30.2	>31.2	12.1	5.6E-04	1.0E-08	78	100
GIF 1/128		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min	27.9						8	23
PP7		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext.	3/4	ENC: 44.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	33.2	21.2	>17.9	1.3	6.0E-02	7.1E-09	14	59
256-QAM		MUX: 44.90	22.06		Max	46.4	30.3	>30.2	10.4	5.2E-04	1.0E-08	70	100
GIF 1/128		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min	30.8						8	10
PP7		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext.	4/5	ENC: 47.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	34.3	21.9	>18.6	0.7	4.9E-02	3.9E-07	14	51
256-QAM		MUX: 47.90	23.56		Max	46.3	30.3	>30.6	9.1	5.2E-04	1.0E-08	66	100
GIF 1/128		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min	31.7						8	10
PP7		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

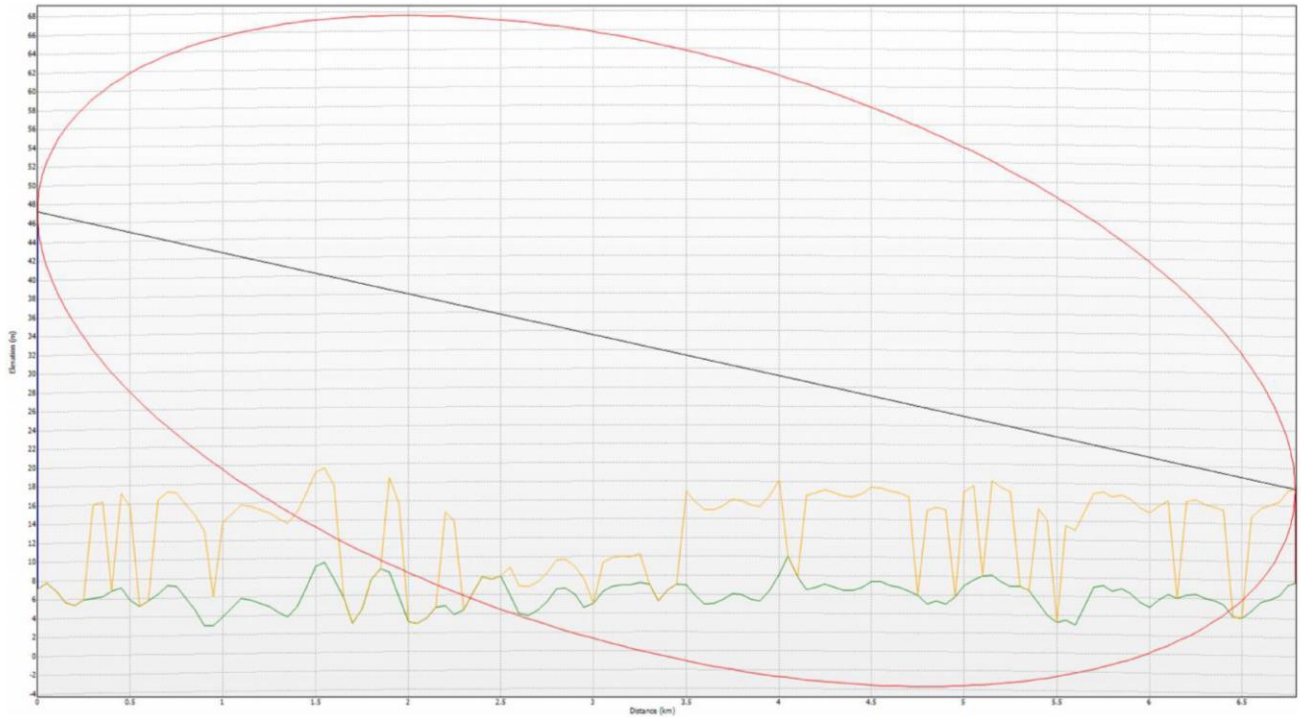
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 42 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	5/6	ENC: 49.50	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	35.6	23.0	>19.9	1.1	3.6E-02	1.0E-07	14	49
256-QAM		MUX: 50.00	24.38		Max	46.6	30.2	>31.1	8.3	5.3E-04	1.0E-08	62	100
GIF 1/128		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min	32.7						8	12
PP7		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 69 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 70 การวัดสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3



ค่าการวัดสัญญาณ ณ จุดที่ 4 แสดงดังตาราง และทำการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ด้วยโปรแกรม Progira แสดงให้เห็นว่า จากฐานข้อมูลความสูงในระดับ clutter ของโปรแกรม ณ จุดนี้ สามารถรับสัญญาณแบบ LOS ได้ ดังภาพ

ตาราง 43 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
16K Ext.	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	25.2	12.0	>9.6	-0.6	1.0E-01	2.1E-06	18	65
64-QAM		MUX: 21.80	15.17		Max	36.9	23.9	>21.0	11.3	6.7E-04	1.0E-07	70	100
GIF 19/128		T2GW: 21.90	Portable:	LG	Min	23.0						9	7
PP2		DVB CAL: 21.93	16.91		Max								

ตาราง 44 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.5	16.7	>13.7	-0.2	1.0E-01	2.8E-05	14	81
256-QAM		MUX: 31.20	19.58		Max	37.0	23.4	>21.1	6.5	2.3E-02	1.0E-08	46	100
GIF 19/256		T2GW: 31.30	Portable:	LG	Min	27						8	19
PP2		DVB CAL: 31.48	21.68		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	29.6	16.4	>14.6	-0.5	1.0E-01	2.5E-05	14	73
256-QAM		MUX: 32.50	19.18		Max	37.0	23.7	>21.3	6.8	2.4E-02	1.0E-08	46	100
GIF 19/256		T2GW: 32.60	Portable:	LG	Min	27.1						9	10
PP4		DVB CAL: 32.82	21.28		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	-	-	-	-	-	-	-	-
256-QAM		MUX: 33.60	18.54		Max	36.9	-	>21.4	-	-	-	46	100
GIF 19/256		T2GW: 33.70	Portable:	LG	Min	27.0						9	16
PP8		DVB CAL: 33.86	20.62		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 45 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

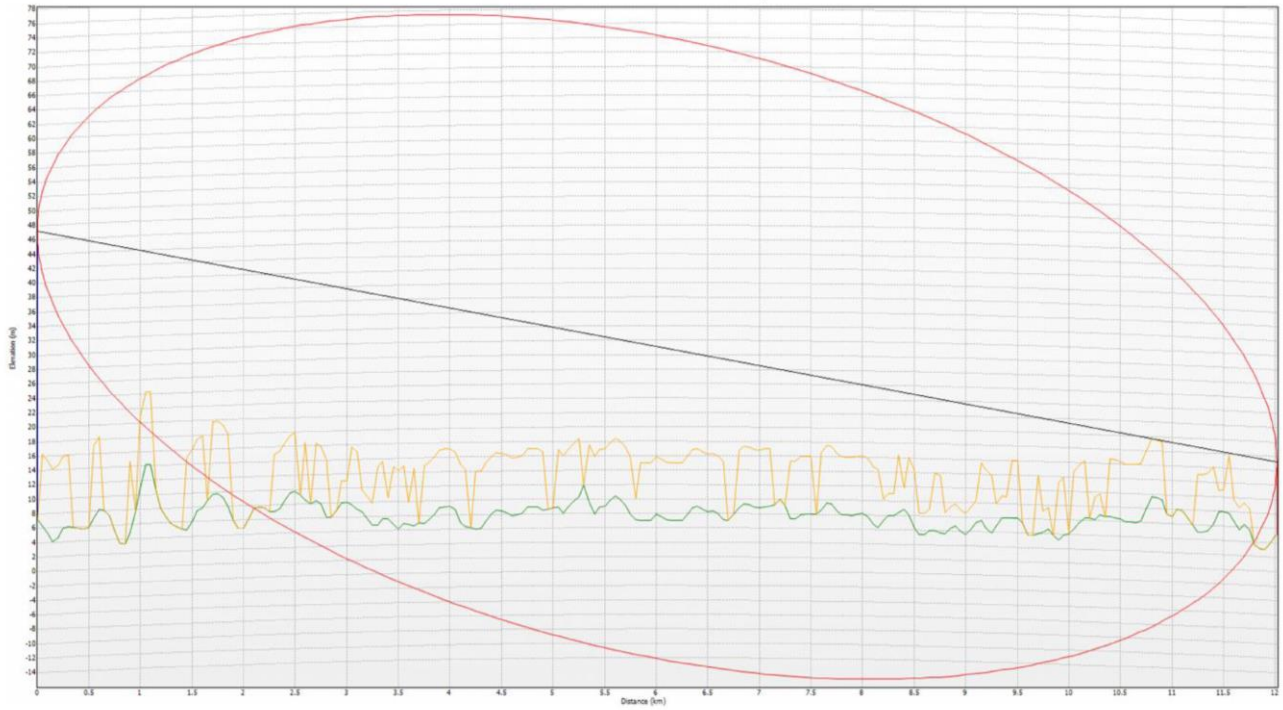
DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	1/2	ENC: 29.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	27.5	15.2	>12.0	0.6	1.0E-01	2.7E-08	14	53
256-QAM		MUX: 29.80	16.29		Max	36.9	23.9	>21.4	9.3	2.5E-02	1.0E-08	54	100
GIF 1/128		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min	26.0						8	10
PP7		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext.	3/5	ENC: 35.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.1	17.0	>14.7	0.1	1.0E-01	9.5E-09	18	55
256-QAM		MUX: 35.90	18.44		Max	37.0	23..6	>21.5	6.7	2.5E-02	1.0E-08	46	100
GIF 1/128		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min	27						9	10
PP7		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext.	2/3	ENC: 39.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	30.8	18.2	>15.2	0.1	9.1E-02	8.5E-07	14	44
256-QAM		MUX: 39.90	20.02		Max	36.6	23.7	>21.1	5.6	2.7E-02	1.0E-08	38	100
GIF 1/128		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min	29.0						9	14
PP7		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext.	3/4	ENC: 44.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	33.8	20.8	>18.3	0.9	5.6E-02	4.5E-06	14	50
256-QAM		MUX: 44.90	22.06		Max	36.7	23.6	>21.1	3.7	2.6E-02	1.0E-08	34	100
GIF 1/128		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min	31.0						9	11
PP7		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext.	4/5	ENC: 47.40	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	34.0	21.4	>18.7	0.2	5.1E-02	4.5E-06	14	50
256-QAM		MUX: 47.90	23.56		Max	36.7	23.5	>21.6	1.6	2.6E-02	1.0E-08	26	89
GIF 1/128		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							9	11
PP7		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

ตาราง 45 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dBμV)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext.	5/6	ENC: 49.50	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	35.1	22.3	>19.6	0.4	4.0E-02	4.3E-07	14	48
256-QAM		MUX: 50.00	24.38		Max	36.7	23.4	>21.4	2.2	2.6E-02	1.0E-08	22	68
GIF 1/128		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min							9	15
PP7		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาพ 71 โปรไฟล์วิถีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 4



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ตาราง 46 เปรียบเทียบความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุด

DVB-T2 Parameters	ความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุด (dBμV)					หมายเหตุ
	ค่าคำนวณ EBU TECH 3348	จุดที่ 1 (6.48 km)	จุดที่ 2 (6.21 km)	จุดที่ 3 (6.71 km)	จุดที่ 4 (11.9 km)	
พารามิเตอร์ DVB-T2 ปัจจุบัน						
16K Ext., 19/128, 64-QAM, PP2, FEC 3/5	46.89	43.8	***55.2***	46.4	36.9	
พารามิเตอร์ตามเกณฑ์เวลาป้องกัน						
32K Ext., 19/256, 256-QAM, PP2, FEC 3/5	51.30	44.0	***54.4***	46.3	37.0	
32K Ext., 19/256, 256-QAM, PP4, FEC 3/5	50.90	47.0	***54.5***	46.4	37.0	
32K Ext., 19/256, 256-QAM, PP8, FEC 3/5	50.26	47.0	***54.5***	46.6	36.9	
พารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล						
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 1/2	48.01	47.2	***54.6***	46.2	36.9	
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 3/5	50.16	46.9	***54.7***	46.4	37.0	
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 2/3	51.74	46.9	***54.2***	46.4	36.6	
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 3/4	53.78	47.2	***54.6***	46.4	36.7	
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 4/5	55.28	47.2	54.6	46.3	36.7	
32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 5/6	56.10	47.1	54.7	46.6	36.7	

การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุดที่ได้จากการประมาณ กับค่าที่ได้จากเครื่อง TV signal & spectrum analyzer ยี่ห้อ PROMAX รุ่น RANGER Neo4 รับสัญญาณในโหมดติดตั้งสายอากาศบนหลังคา (Fixed rooftop) ที่ความสูง 10 เมตร ออกอากาศด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ใช้ในการทดลอง 10 รูปแบบ ในช่อง 22 ความถี่ 482 MHz ครอบคลุมพื้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ มีตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ (Receiver noise figure) 6 dB พบว่า ณ จุดวัดที่ 2 มีระยะห่างทางอากาศ 6.21 km มีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุดส่วนใหญ่สูงกว่าค่าคำนวณ ยกเว้นการส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 4/5 และ 32K Ext., 1/128, 256-QAM, PP7, FEC 5/6 ที่มีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์กำลังต่ำสุดต่ำกว่าค่าคำนวณเพียงเล็กน้อย แม้ว่าผลการวิเคราะห์ภูมิประเทศด้วยโปรแกรม Progira จะแสดงให้เห็นว่า จากฐานข้อมูลความสูงในระดับ clutter ของโปรแกรม ณ จุดนี้ มีอุปสรรคที่สามารถขัดขวางการรับสัญญาณแบบ LOS ในพื้นที่ clutter ที่ระยะ 5.85 กิโลเมตร ทางอากาศก็ตาม จึงพอประเมินได้ว่า ระยะการออกอากาศประสิทธิผลของการทดลองตาม EBU Tech 3348 มีรัศมีประมาณ 6 กิโลเมตร

บท 5
สรุปผลการทดลอง

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยมีอัตราบิต 15 Mbps 20 Mbps และ 30 Mbps เพื่อรองรับรูปแบบสัญญาณภาพที่กำหนด มีแนวทางการส่งสัญญาณ ดังนี้

1. การส่งสัญญาณบนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP ที่ให้อัตราบิตสูงสุดเท่ากับ 21.93 Mbps สามารถรองรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ DVB-T2 แบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (Ultra High Definition: UHD) ได้ 1 โปรแกรม ที่อัตราบิตคงที่ 15.0 Mbps เท่านั้น โดยสามารถส่งสัญญาณพร้อมกับแบบมาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition: SD) จำนวน 2 โปรแกรม ที่อัตราบิตคงที่ 2.0 Mbps หรือส่งสัญญาณพร้อมกับแบบมาตรฐานความคมชัดสูง (High Definition: HD) จำนวน 1 โปรแกรม ที่อัตราบิตคงที่ 5.0 Mbps อย่างไรก็ตาม การส่งสัญญาณแบบมาตรฐาน UHD พร้อมกับสัญญาณแบบมาตรฐาน HD และ SD รวม 3 โปรแกรม บนโครงข่ายเดิมหรือใช้พารามิเตอร์เดียวกันกับโครงข่าย ส.ส.ท. ปัจจุบัน อยู่บนเงื่อนไขที่สัญญาณภาพแบบมาตรฐาน HD และ SD ใช้เทคโนโลยี HEVC เช่นเดียวกับ UHD

2. การส่งสัญญาณบนโครงข่ายเดิมแบบ Multiple PLP ไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์

3. การส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่ใหม่หรือบนโครงข่ายใหม่ โดยวางแผนโครงข่ายด้วยเกณฑ์ ดังนี้

3.1 เกณฑ์เวลาป้องกัน กำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้ FFT size 32K Extended GIF 19/256 Modulation 256-QAM และ Code rate 3/5 โดยทดสอบ Pilot pattern 3 รูปแบบ ได้แก่ PP2 PP4 และ PP8 ให้อัตราบิตตาม DVB calculator ที่ 31.5 Mbps, 33.6 Mbps และ 33.9 Mbps ตามลำดับ สามารถรองรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ DVB-T2 แบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (Ultra High Definition: UHD) จำนวน 2 โปรแกรม ที่อัตราบิตคงที่ 15.0 Mbps ได้ ทั้ง 3 Pilot pattern และเมื่อเปลี่ยน Pilot pattern จาก PP2 เป็น PP4 และ PP8 สัญญาณที่รับได้มีค่า MER (Modulation Error Rate) และ LM (Link Margin) ลดลง ทำให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้มีลดลง

3.2 เกณฑ์อัตราข้อมูล กำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้ FFT size 32K Extended และ GIF 1/128 Modulation 256-QAM Pilot pattern PP7 โดยทดสอบ Code rate 6 อัตรา ได้แก่ 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/4 และ 5/6 ให้อัตราบิตตาม DVB calculator ที่ 30.1 Mbps, 36.2 Mbps, 40.2 Mbps, 45.3 Mbps, 48.3 Mbps, 50.3 Mbps ตามลำดับ สามารถรองรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ DVB-T2 แบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (Ultra High Definition: UHD) จำนวน 2 โปรแกรม

ที่อัตราบิตคงที่ 15.0 Mbps ได้ ยกเว้น Code rate 1/2 และเมื่อ Code rate เพิ่มขึ้นจาก สัญญาณที่รับได้มีค่า MER (Modulation Error Rate) ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ LM (Link Margin) ลดลง เนื่องจาก Required C/N เพิ่มขึ้น ทำให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้มีแนวโน้มลดลง

การส่งสัญญาณ DVB-T2 ด้วยพารามิเตอร์ 10 ฉากทัศน์ ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K บนโครงข่ายใหม่ เพื่อให้รองรับการส่งสัญญาณแบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHD) ให้ได้อย่างน้อย 2 ช่องรายการ สามารถจัดสรรได้ 6 รูปแบบ แต่ด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยี DVB-T2 ที่สามารถรองรับอัตราบิตสูงสุด ประมาณ 50.3 Mbps ดังนั้น การจัดสรรมัลติเพล็กซ์สำหรับสัญญาณภาพแบบอัตราบิตคงที่ (Constant Bit Rate: CBR) ทำให้มีทางเลือกในการจัดสรรมัลติเพล็กซ์ได้ 4 ทางเลือก ในกรณีที่ใช้ความสามารถของ Statmux การจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบแปรผัน (Variable Bit Rate: VBR) จะทำให้มีทางเลือกในการจัดสรรมัลติเพล็กซ์ได้ 5 ทางเลือก มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 47 ทางเลือกการจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่

Multiplex allocation	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5	Option 6
Number of UHD@15M Channels	1	1	-	2	-	-
Number of UHD@20M Channels	1	-	1	-	2	-
Number of UHD@30M Channels	-	1	1	-	-	2
Total Channels	2	2	2	2	2	2
Bandwidth allocation	Bit rate (kbps)					
Video Bit Rate (CBR)	35000	45000	50000	30000	40000	60000
UHD@15M = 15.0 Mbps	15000	15000	-	30000	-	-
UHD@20M = 20.0 Mbps	20000	-	20000	-	40000	-
UHD@30M = 30.0 Mbps	-	30000	30000	-	-	60000
Audio Bit Rate (2 track @70 kbps/channel)	420	420	420	420	420	420
Audio Description (1 track @35 kbps/channel)	140	140	140	140	140	140
Subtitle (@100 kbps/channel)	300	300	300	300	300	300
SI						
- EIT / EPG (@200 kbps/mux)	200	200	200	200	200	200
- PMT (@25.75 kbps/channel)	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
- Others (@64 kbps)	64	64	64	64	64	64
Total Bandwidth Allocation	36175.5	46175.5	51175.5*	31175.5	41175.5	61175.5**

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

หมายเหตุ

* ทางเลือกที่ 3 ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์รองรับการจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบคงที่ได้ โดยมีความเป็นได้ที่จะสามารถจัดสรรแบบแปรผันเพื่อให้ได้ประโยชน์จาก Statmux

** ทางเลือกที่ 6 ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์ได้ เนื่องจากอัตราบิตที่ต้องการสูงกว่าอัตราบิตสูงสุดของระบบ DVB-T2 มากเกินไป

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

เอกสารอ้างอิง

สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). แนวทางปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับการให้บริกาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล. สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. (2563). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบ การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย.

สำนักกฎหมายกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). กสทช. มส. 4002-2560 มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล. สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.

สำนักกฎหมายกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). กสทช. มส. 4004-2561 มาตรฐานทางเทคนิคของสายอากาศรับสัญญาณสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล. สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.

ETSI. (2012). ETSI TS 101 154 v1.11.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2015). ETSI TS 101 154 v2.1.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2017). ETSI TS 101 154 v2.3.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2018). ETSI TS 101 154 v2.4.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2019). ETSI TS 101 154 v2.6.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2022). ETSI TS 101 154 v2.7.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2004). ETSI TS 101 191 v1.4.1 DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization. Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2012). ETSI TS 102 773 v1.3.1 Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2010). ETSI TS 302 755 v1.2.1 Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2010). ETSI EN 302 755 v1.2.1 Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2011). ETSI EN 302 755 v1.3.1 Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ETSI. (2015). ETSI EN 302 755 v1.4.1 Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Retrieved July 15, 2022, from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/

ISO/IEC 14496-3:2009: Information Technology – Codeing of audio-visual objects – Part 3: Audio

ITU. (2015). Recommendation ITU-R BT.2020-2 Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange. Retrieved July 15, 2022, from https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.2020

ITU. (2018). Recommendation ITU-R BT.2020-2 Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange. Retrieved July 15, 2022, from https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.2100

ITU. (2015). Recommendation ITU-T H.265 High efficiency video coding. Retrieved July 15, 2022, from https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Harmonic XOS

XOS Advanced Media Processor



The XOS Advanced Media Processor is a high performance live media processor for broadcast and streaming applications.

Key Business Benefits

Application versatility
The XOS Advanced Media Processor is the latest generation of Harmonic software-based video appliances. XOS can be used for either broadcast or streaming applications, and is adapted to multiple deployment environments. Classic infrastructures are supported with SDI, ASI, and satellite RF interfaces. Full-IP architectures are also supported: XOS handles MPEG compressed formats, as well as the latest SMPTE ST 2022-6 and SMPTE ST 2110 standards.



XOS Advanced Media Processor Inputs and Functionality

XOS is packed with features to address any kind of video processing application. In addition to its market-leading compression engine, XOS integrates a broad range of audio codecs, including Dolby AC-4, an advanced video pre-processing engine, a broadcast multiplexer with statmux support, and a state-of-the-art packager for streaming applications. From decoding to encoding, from HDR processing to audio loudness management, Harmonic has you covered.

Improved cost of ownership
XOS Advanced Media Processor's unparalleled function integration and performance dramatically reduce the number of appliances required for a given application, significantly improving your cost of ownership.

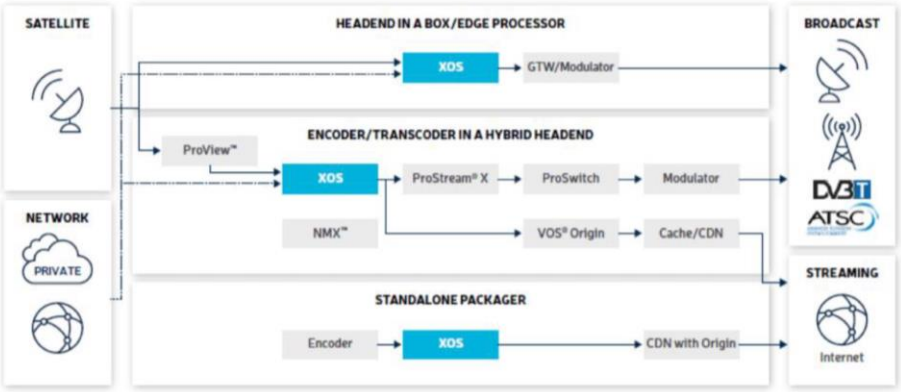
As a software solution, XOS is available as an appliance through the use of standard IT servers, as well as software-only Docker containers for virtualized deployments.

harmonicinc.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

XOS Advanced Media Processor

harmonic



XOS Advanced Media Processor Workflow Examples

XOS can serve a wide range of applications and workflows with various computational needs. As such, XOS is offered pre-configured for multiple server platforms to ensure the right performance level at the right cost for your application.

Future-proof solution
The XOS Advanced Media Processor benefits from the latest microservices technology used in Harmonic Cloud and SaaS solutions.

XOS can be operated standalone thanks to its web-based user interface and it is also integrated into the Harmonic NMX™ Network Management System. In addition, XOS provides a feature-complete RESTful API, shared with other Harmonic Cloud and SaaS solutions, and enabling configuration, control, and monitoring from any external system. This greatly simplifies the implementation of hybrid systems where on-premise appliances are mixed with our Cloud solutions, resulting in maximum simplicity and flexibility.

Unique Features

Premium video compression
Powered by Harmonic PURE™ Compression Engine, the XOS Advanced Media Processor delivers excellent picture quality at any bitrate while optimizing CPU power consumption. XOS lowers video bitrates by using AI-based algorithms implemented for all video codecs including MPEG-2, AVC, and HEVC.

Flawless UHD
The XOS Advanced Media Processor supports multiple UHD 10-bit transcoding in a single 1-RU server. It also supports SD and HD encoding for multi-profile encoding applications. XOS performs statistical multiplexing for optimal bandwidth usage on cable, terrestrial, and satellite networks.

XOS simplifies conversions between SDR and different HDR formats and color spaces, including HDR10, HLG, BT.709, and BT.2020. It also feeds legacy networks requiring SDR from a HDR source. In addition, XOS maintains a constant output SDR/HDR format from sources with various dynamic ranges.

Innovative streaming
The XOS Advanced Media Processor uses EyeQ™ technology, which can reduce your streaming delivery costs by up to 50%, while improving viewer quality-of-experience. Harmonic EyeQ™ content-aware encoding is fully compatible with standard protocols and players. XOS simplifies streaming architectures with its built-in low-latency push packager that supports DASH and fragmented HLS, to reach standard broadcast latencies in streaming applications (CMAF).

Perfect Edge processor
With its numerous features and wide range of interfaces, the XOS Advanced Media Processor is the perfect choice for small Headends (where everything needs to be contained in a single box) and for Edge transcoding applications. The XOS Advanced Media Processor connects directly to both Cloud and Satellite networks.

harmonicinc.com

XOS Advanced Media Processor

harmonic

SPECIFICATIONS

VIDEO INPUT/OUTPUTS

Live Inputs	SDI (SD/HD/3G, UHD as 4 quadrant or 2SI) MPEG-2 TS over IP HLS SMPTE 2022-6 SMPTE 2110 DVB-S2X IGMP v2/v3 Advanced Source Redundancy with 2022-7 support
Broadcast Live Outputs	MPEG-2 TS over IP (2022-7 compliant) ASI Outputs MPTS and SPTS Standalone Statmux Remote Statmux compatible with Electra X2/XVM and ProStream X/9000
Streaming Outputs	Synchronized ABR Encoding MPEG-2 TS over IP (ATS with EBP) Apple® HLS Microsoft Smooth Streaming (MSS) MPEG DASH RTMP/RTMPS

VIDEO PROCESSING

Features	Broadcast & Mobile/Web Encoding Content-aware Encoding with EyeQ™
Encoding Profiles	
MPEG-2	MP@ML MP@HL
MPEG-4 AVC	BP@L3 MP@L3 HP@L4 High 4:2:2 @ L4.1
HEVC	Main@L5.1 (main tier) Main 10@ L5.1 (main tier)
Decoding Profiles	
AVS+	HD
AVS2	UHD
MPEG-2	MP@ML MP@HL
MPEG-4 AVC	MP@L3 HP@L4 High 422@L4.1
HEVC	Main @L5.1 up to 100 Mbps Main 10 @L5.1 up to 100 Mbps
Sony LLVC	HD UHD
Resolutions and Frame Rates	
Frame Rate Adjustment	Up to 3840x2160p @50/60 fps Up to 1920x1080i @25/30 fps 1-60 fps
Processing Capabilities	Picture Resizing (Up/Down) Smart De-Interlacing Noise Reduction Logo and Slate Overlays Video Watermarking Frame Rate Conversion PIP Encoding
HDR & WCG Capabilities	HDR Signaling: HDR10, HLG, Dolby Vision, and SL-HDR1 WCG Signaling: BT.2020, BT.709, and BT.601 Tone Mapping (HDR10/HLG → SDR) Tone Expansion (SDR → HDR10/HLG) Dynamic HDR Metadata Generation

AUDIO PROCESSING

Features	Any-to-Any Audio Transcoding Stereo and Multi-Channel Support
Encoding Profiles	MPEG-1 Layer II AAC-LC/HE-AAC v1/v2 AC-3 (Dolby Digital®) E-AC-3 (Dolby Digital Plus™) Dolby AC-4
Decoding Profiles	MPEG-1 Layer II AAC-LC/HE-AAC v1/v2 AC-3 E-AC-3 Dolby E with Auto Switch
Processing Capabilities	Automatic Loudness Control (EBU R 128, A-weighted, K-weighted) Audio Pass-Through including Dolby ATMOS Nielsen Audio Watermarking Resampling Stereo/Mono Conversion Surround Down Mixing Static Gain Adjustment Delay Adjustment

DATA FEATURES

VANC Processing	Teletext (OP-47/SMPTE-2031) CEA-608/708 DVB Subtitles Passthrough and Burn-in ARIB SMPTE-2038 SCTE-35/SCTE-104 VITC WSS/AFD

PACKAGING FEATURES

Ad Insertion	Conversion to SCTE-35 Annotations
Audio, Data, and Video Selection	Exclusion of services per packaging technology
Segmented Media Formats	HLS-TS, CMAF, DASH, MSS
Protocols	WebDAV, HTTP Post, RTMP/RTMPS
Closed Captions and Subtitles	CEA-608/708 Passthrough CEA-608/708 to WebVTT (HLS, DASH) and TTML (HSS) Teletext or Cavena P31 to WebVTT (HLS, DASH) or TTML (HSS) DVB Subtitle Conversion to SMPTE-TT (OCR)
DRM	Multi-Key Encryption CPIX API ATSC 3.0 Compatible

MANAGEMENT

User Interfaces	Harmonic NMX™ Network Management System Standalone Web-based Interface
API	RESTful API shared with VOS® SNMP ESAM (decision on SCTE-35 processing)
In-band Control	From Input TS via DMS™ Management System
Redundancy	Unit Based 1+1 N+M

DEPLOYMENT OPTIONS

Appliances	1-RU server, various models depending on requested processing capacity: • XOS Model Small • XOS Model Medium • XOS Model Large Input/outputs via optional cards: • Up to 16 3G-SDI • Up to 8 GB Ethernet interfaces • Up to Dual 25GB interfaces • Up to 8 DVB-S2X inputs • Up to 4 ASI outputs
Software Applications	Compatible with COTS servers Available as bare metal, VM, and Docker containers

© 2020 Harmonic Inc. All rights reserved. Harmonic and the Harmonic logo are trademarks, registered trademarks or service marks of Harmonic Inc. in the United States and other countries. Other company, product, and service names mentioned herein may be trademarks or service marks of their respective owners. All product and application features and specifications are subject to change at Harmonic's sole discretion at any time and without notice. 10.06.20

harmonicinc.com

ภาคผนวก ข

Harmonic ProStream X

harmonic

ProStream X

VIDEO STREAM PROCESSOR & GATEWAY



The Harmonic ProStream® X software-based stream processing and gateway provides best-in-class, high-performance stream processing for mission-critical broadcast, cable, satellite, terrestrial, IPTV and OTT delivery applications. Benefit from a variety of advanced video processing capabilities, including multiplexing, scrambling, splicing, SRT delivery and blackout switching.

As the successor to the market-leading ProStream 9100 stream processor, the ProStream X system allows users to leverage the versatility and agility of software-based infrastructure. The platform integrates 10Gbps throughput with a variety of advanced video processing applications, including multiplexing, splicing, blackout switching, and DVB CSA3 encryption. ProStream X also serves as a high-throughput video gateway featuring socket address flipping and ASI-to-IP conversion.

On top of the high throughput and remultiplexing, ProStream X can be used as a DVB-T2 gateway. ProStream X is capable of encapsulating a multiplex into a DVB T2-MI stream, providing signalization, transmission and synchronization parameters to DVB-T2 modulators. It also has the capability to apply DVB-T MIP insertion by adding synchronization marks in the DVB-T transport stream. In addition, ProStream X offers DVB-SIS support, allowing DTH and DVB-T2 coexistence on the same platform.

ProStream X runs on a 1-RU COTS HPE® server and pairs with Harmonic's Electra® X2 advanced media processor and XOS to deliver a compact solution for encoding and distributing superior-quality IP and ASI video streams. This high-density architecture reduces the amount of rack space required to meet fluctuating stream processing requirements, helping operators reduce capex and opex. High reliability and simplified serviceability result in an all-in-one-box experience for high-throughput stream processing at low TCO.

SD, HD and UHD formats as well as MPEG-2, MPEG-4 AVC and HEVC codecs are all supported on ProStream X. This appliance is available in several deployment models for a perfect fit with infrastructure requirements, including a server with ProStream X, a virtual machine with XVM, and a bare-metal installation with ProStream Docker.

Business Benefits

DVB Single Illumination Service support (DVB-SIS)
ProStream X supports the DVB-SIS standard, that allows the TS to be delivered in parallel to both DTH and terrestrial receivers, fully integrated with Harmonic XOS. The ProStream X is compliant with SFN broadcasting, supporting both single and multiple PLPs. The main benefits of DVB-SIS include bandwidth optimization to reduce opex and using a standardized solution that complies with DTH, DVB-T and DVB-T2 standards. The use of DVB-SIS allows operators to reuse existing equipment instead of doubling the equipment for both DTH and terrestrial distribution. Harmonic offers an end-to-end solution using the company's top-of-the-line products including XOS for best-in-class video quality and SIS reception, ProStream, ProSwitch, all managed by Harmonic NMX.

Scrambling
ProStream X integrates with major conditional access systems (CAS) and is the first stream processor to offer 128-bit DVB CSA3 encryption support. Integrated and certified by Cisco and Irdeto, it is the most secure stream processing solution for distributing UHD broadcast services. DVB CSA2, AES, and BISS fixed key scrambling are also supported, as well as trick mode for video on demand.

ProStream scrambling technology is known in the industry for its stability and high performance. The ProStream X platform can scramble any format of video, audio and data elementary stream (e.g., MPEG-2, MPEG-4 AVC, HEVC, AC-3, AAC, HE-AAC), as well as multiplex MPEG TS. The solution easily integrates into existing architectures and reduces cost and complexity by eliminating the need for multiple devices in distributed cable, satellite or telecom networks.

Statistical Multiplexing
Harmonic's DiviTrackIP™ option integrates statistical multiplexing and IP switching by connecting ProStream X systems with remote Harmonic Electra X2 encoders across a LAN or WAN, allowing any ProStream X in the network to efficiently manage the encoders' statmux pools. ProStream X also supports regional statmux capability for the terrestrial market, allowing a single encoding instance to be part of multiple DiviTrack IP pools. This capability answers the need to encode and generate regionalized transport streams with both common (shared) national and unique regional channels. The use of the regional statmux feature reduces the number of encoders required to support regionalized feeds and eliminates unnecessary national common program duplication.

HIGHLIGHTS

- Multiplexing and scrambling of up to 2,000 simultaneous broadcast services
- High-throughput 10Gbps video gateway
- Advanced multiplexing of any service from any input to any output
- Target average bitrate
- DataTrack
- IP networking and mirroring
- DiviTrack IP statistical multiplexing with remote distributed encoders
- Live-to-live splicing for MPEG-2, MPEG-4 AVC, and HEVC video streams
- DVB CSA3, DVB CSA2 and AES scrambling
- Slate insertion for service disruption messages
- Emergency Alert System (EAS) compliance including SCTE-18 Trigger
- SRT listener/caller gateway for hundreds of streams
- DVB-SIS complaint

harmonicinc.com

ProStream® X VIDEO STREAM PROCESSOR & GATEWAY

harmonic

In addition, ProStream X enhances statmux with a DataTrack capability that allows non-video PIDs (e.g., audio, ancillary data, teletext, subtitling) into the statmux pool. When not in use, the ProStream X statmux mechanism frees up the bandwidth provisioned for these PIDs, allowing them to be reallocated to video to improve quality. The DataTrack capability is also valid in CBR systems where no advanced allocation is required for occasional PIDs without risking an overflow.

ProStream statmux also includes a unique target average bitrate application, which enables operators to apply the long-term average bitrate for each video based on the user configured bitrate. For operators that have multiple customers sharing channels in the same statmux pool, the feature will secure the average bitrate customers are paying for, over the long term, while maintaining high video quality.

Linear Ad Splicing
Linear ad splicing, or digital program insertion, on ProStream X enables the GOP-accurate insertion of local and regional ads directly into live-to-air MPEG-2, MPEG-4 AVC and HEVC SD/HD transport streams. With this capability, operators can increase average revenue per user by allowing advertisers to reach differentiated viewers with targeted ads.

The powerful capability enables broadcasters to implement advanced advertising capabilities for hundreds of channels without needing to purchase a standalone, box-level splicing solution, saving costs while simultaneously opening up new revenue streams. In addition, by eliminating the need to decode signals to insert ads, workflows are optimized, and video quality is maintained at the highest possible level.

ProStream X supports live-to-live splicing, which allows ProStream X to switch between main and alternative live feeds seamlessly, with no ETR 290 errors at output. In statmux applications that include switchover to an alternate program, the alternate programs become part of the statmux VBR pool.

Digital Turnaround
With standard IP and DVB input and output interfaces, the ProStream X processor is easily incorporated into existing headend environments and supports multiple digital turnaround applications. The platform's robust, extensible and highly scalable design supports MPEG remultiplexing, including PID remapping, prioritizing and filtering, insertion and generation of PSI/SI tables and PID multicast. Device, port and input TS redundancy are supported, as well as multiple IP sockets for MPTS and SPTS applications. The compact platform not only reduces rack space and power requirements, but also simplifies network infrastructure while delivering a high-availability solution.

High-Density Software-Based R-PHY Video Engine
When operating as part of Harmonic's innovative CableOS vCCAP solution, ProStream X serves as a powerful video engine that feeds both broadcast and VOD content to as many as 100 R-PHY devices (RPDs) per single ProStream X server. Content may be pre-encrypted, or scrambled in real time by ProStream X.

Pay-As-You-Grow Scalability
As processing needs evolve, the ProStream X platform makes it easy to incrementally add or upgrade I/O modules and firmware licenses, simplifying scalability and extending the system's value.

Technical Benefits

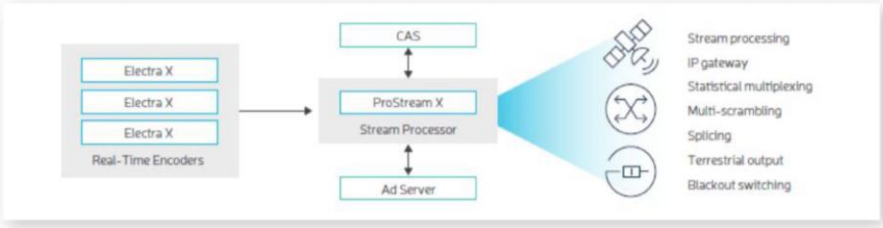
High-Throughput Video Processing
ProStream X offers the choice of quad 10GbE, dual 10GbE or ASI I/O. The high-throughput 10GbE option supports up to 1,000 transport streams and 2,000 simultaneous multiplexing and scrambling services. Video gateway capabilities include socket address flipping, ASI-to-IP conversion and IP mirroring. The dual 10GbE interfaces also reduce the number of required router ports and enable a simplified IP addressing scheme.

High Reliability, Simplified Serviceability
Maintenance on the ProStream X platform is simplified with hot-swappable fan assemblies and dual redundant power supplies. Changing processors and I/O modules is quick and easy. These thoughtful serviceability features improve system reliability and reduce the chance for downtime, increasing the opportunity to generate revenue.

Control and Management
Processing on the ProStream X is easily configured and controlled with Harmonic's NMX™ Digital Service Manager video management system, a service-oriented solution for mass configuring, monitoring and automated redundancy in centralized or distributed architectures. An intuitive and user-friendly web-based GUI is also available.

World-Class Service and Support
Harmonic stands behind the ProStream X system with comprehensive service and support programs, including system design, service deployment, technical support and network maintenance. World-class service plans and a global network of flexible and responsive support professionals help ensure your ability to deliver outstanding "anytime, anywhere, any-device" video experiences.

ProStream X: The Heart of the Headend



harmonicinc.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ProStream® X VIDEO STREAM PROCESSOR & GATEWAY

harmonic

SPECIFICATIONS

10GBE IP I/O

Type	IEEE 802.3z
IP Ports	Four independent
Connectors	Four 10GbE ports, RJ45 on board PCIe option cards for either two or four 10GbE ports SFP (up to three cards per platform) Support for IEEE 802.Q VLAN tagging
I/O Speed	Up to 10 Gbps
IP Encapsulation	MPEG TS over RTP/UDP/IP/MAC 1 to 7 TS/IP
MPEG Format	188 B per TS
MPEG Transport Streams	MPTS and SPTS
I/O Processing	1,000 sockets Up to 10 Gb per platform (configuration dependent)
Maximum Bitrate per Socket	300 Mbps
Addressing	Multicast Unicast
Management	IGMPv2/v3

ASI I/O

Type	ASI Input/output
ASI Ports	Eight ports per card, up to three cards per platform
Connectors	Eight mini-DIN ports
I/O Direction	Configurable, input or output, per port
MPEG Format	188/204 B per TS
I/O Processing	One MPTS/SPTS per port Up to 213 Mbps per input or output

MANAGEMENT INTERFACES

Ethernet	1000Base-TX
Connectors	Two RJ45 (1 management, 1 CAS)

SCRAMBLING

SCS	Internal
Standards	DVB common scrambling Open CAS DVB CSA2, DVB CSA3, AES-CBC, AES-ECB Fix key scrambling and descrambling
CAS connections	Simultaneous connections to 30 different CA systems
BISS Encryption	Mode 1
Number of ECMs	2,000 ECMs per platform

STATMUX CONTROL

Codecs Supported	MPEG-2, MPEG-4 AVC, HEVC
Formats Supported	SD, HD, UHD, interlaced, progressive
Frame Rates Supported	PAL, NTSC

DVB-T2 GATEWAY

Encapsulation of any generated multiplex into DVB-T2 frames
Generation of up to eight DVB T2-MI streams over ASI or IP
Interface for external PTP server or 1 PPS/GPS
Support of single and multi-PLP

DVB-T SFN ADAPTATION

Supports MIP Insertion for an SFN network based on the DVB-T standard ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06)
Generation of up to 20 DVB-T TSs over ASI or IP
Interface for external PTP (IEEE 1588) Server or 1 PPS/GPS

DVB SIS

Supports DVB-SIS output standard ETSI TS 103 615
Generation of up to eight DVB-SIS output streams, and up to 36 groups per SIS service for regionalization
Support of single PLP
Fully integrated with Harmonic XOS, ProSwitch and NMX

REMULTIPLEXING

Routing	Any input to any output
PID	Remapping, filtering, multicasting
PID Multicasting	Any input PID can be multicast to multiple TS outputs with different remapping and processing (different CW, if scrambled)
PSI/SI	Extraction, injection, spooling, regeneration
Output Mirroring	Any to any
Advanced Stream Processing	Linear ad insertion splicing, SCTE-35 triggering for hundreds of channels Live-to-live splicing, slate insertion, blackout switching, PID range, Emergency Alert System (EAS)
SRT	Listener/caller in both source or destination application MPTS and SPTS AES-128 to AES-256 encryption (including AES 192) up to 4 Gbps throughput

CABLEOS

Emergency Alert System (EAS) with SCTE-18 Triggering
PTP (IEEE 1588) clock synchronization
UDP-based VOD routing, as part of CableOS solution over 1G/10G Ethernet connection
Tier-based and session-based DVB scrambling of up to 2,000 VOD streams, as part of the CableOS solution

REDUNDANCY

Device	1:1 Under NMX or stand-alone GUI management
Internal	Any-to-any input TS TS output mirroring Port redundancy Service redundancy
Triggers	ETR 290

SYSTEM MANAGEMENT

NMX™ Digital Service Manager 8.7.0 or later
Stand-alone web user interface

PHYSICAL

Dimensions (W x H x D)	17.11 in x 1.69 in x 27.83 in (1 RU) 43.46 cm x 4.29 cm x 70.7cm
Weight	35.86 lbs /16.26 kg

POWER

Power Supplies	Dual redundant
Voltage	100 V to 240 V
Line Frequency	50-60 Hz
Actual Power Consumption	295W without optional card

ENVIRONMENTAL

Cooling	Seven fans, hot-swappable
Operating Temperature ASHRAE Class A2	 +50° to +95° F +10° to +35° C
Storage Temperature	-22° to +140° F -30° to +60° C
Safety Compliance	EN 60950-1:2006 + A11:2009 +A1:2010 +A12:2011 +A2:2013 EN 62479:2010)
Electromagnetic Compliance (Class A)	EN 55032:2012 Class A EN 55024:2010 EN 61000-3-2:2014 EN 61000-3-3:2013

harmonicinc.com

ภาคผนวก ค

Harmonic NMX

harmonic

NMX™

NETWORK MANAGEMENT SYSTEM



Harmonic's NMX™ Network Management System is the definitive video network management solution, encompassing a powerful set of tools for monitoring and managing Harmonic compressed digital video and audio systems.

NMX allows operators to run their technical infrastructure in a way that parallels their business — as a series of revenue-generating workflows rather than as a set of discrete hardware components. Available for both traditional hardware-based infrastructures and next-generation, virtualized environments, NMX offers a simple and intuitive interface for creating and modifying channel lineups. It can also be used to set system parameters, whether encoding or rate-shaping; in this instance, the underlying equipment is automatically reconfigured to accommodate the new settings. Status for services and hardware, including alarms, is passed through to the top level, ensuring that problems are quickly detected and resolved. Redundancy is automated.

Adding, reconfiguring or removing services or equipment is fast, easy and error-free with NMX. Templating, wizards, consolidated data views and powerful cut-and-paste functions are available for both service and system modifications. A three-pane layout affords the operator an easier overview into their service paths through the network elements.

NMX is designed for 24x7 management of Harmonic Electra® encoders, ProStream® stream processors, the new generation of XOS appliances including packager for OTT applications and other components in the workflow. It can run on a single computer or be distributed across multiple servers for maximum availability. Service and configuration data are stored in a reliable, industrial-strength database. NMX provides multi-level security, ensuring full control of operational privileges. In addition, a comprehensive audit trail and consolidated alarm log pinpoint hardware or operational problems.

In a virtualized video infrastructure featuring the VM versions of Electra X and ProStream X, NMX is used to perform the application-level management and provisioning. NMX provides the video network group creation, service configurations, application alarm/events/fault monitoring and failover in the same way it manages and provisions dedicated video-processing appliances. NMX server itself can be deployed as a VM running under VMware vSphere®.

NMX is highly scalable and extensible, growing in tandem with the environment it supports. The client/server architecture supports both the centralized management of even the most geographically distributed environments, as well as the remote management of a centralized environment, all using standard TCP/IP LAN/WAN technologies. The use of standard-based interfaces enables NMX to interconnect with other subsystems, including umbrella management, conditional access, automation, and scheduling. As the managed environment grows in scope and scale, NMX can distribute its processes across multiple PC platforms, as necessary, providing inexpensive raw processing power.

Moreover, through historical analysis, NMX offers detailed reporting of bandwidth usage and alarm behaviors, allowing operators to identify system-wide trends and improve overall network stability.

HIGHLIGHTS

- Service-oriented to work the way operators work
- "Input to output" GUI and functionality
- Template, spreadsheet, and wizard-based configuration for fast system setup
- Scalable to any size system
- Manage traditional hardware-based and virtualized video infrastructures
- Centralized management of geographically distributed systems
- Distributed processing for high availability
- Flexible redundancy management
- Global Recovery System management through umbrella NMX feature
- Powerful automation interface
- Internal DPI server supports SCTE standard digital program insertion cue message injection
- User administration/security/audit trail tools
- Extensible third-party device monitoring using GPI closures and SNMP
- Historical and statistical analysis of bandwidth and alarm behaviors
- Advanced automation and scheduling engine

harmonicinc.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

NMX™ NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

harmonic

FEATURE SUMMARY

- Network, Service Control & Provisioning
- Redundancy Support (1:1, N:1, N:M)
- Basic Alarm Package (Pending alarms, history alarms, status colors on icons)
- PSI/SI Package (PSI/SI table support, private descriptors)
- CAS Package
- Advanced Alarm Package (Advanced alarm configuration, alarm forwarding, consolidated alarm viewer)
- Security Management Package (Full user administration tools, audit trail)
- Automation Server Package (Access the automation server and scheduling engine)
- Distributed Management Package (Monitoring and control of geographically distributed systems)
- NMX PC Fail-Safe Package (NMX 1:1 redundancy, auto-restart)
- Available as a VM
- Maximum number of connected client applications: 25

APPLICATIONS

- Satellite
- Centralized or distributed cable
- Virtualized Video Infrastructure
- VOD
- Multiscreen
- Terrestrial
- Telco
- Network distribution
- Backhaul
- Network PVR

USER-FRIENDLY

- Templates at device and system level
- Cut, copy and paste functions
- Wizard-based setup
- Batch-driven automation tools
- Spreadsheet tool User-friendly

SERVICE MANAGEMENT

- Simple template-based service setup
- Extraction of service information
- Service level or PID level manipulation
- Service tracking across topology
- Dynamic PSI/SI table generation
- Completely flexible private descriptor generation
- Virtual service and stream management
- Service-oriented alarms and analysis
- Program suspend/resume

TOPOLOGY MANAGEMENT

- Graphical view of network and devices
- Geographical background maps
- Multi-level maps
- Component backplane views
- Cut, copy and paste replication
- Template-based topologies
- Online and offline operation

CONFIGURATION MANAGEMENT

- Device, module and port-level configuration
- Consolidated views for easy setup
- Template-based configuration

FAULT MANAGEMENT

- Manual or automatic redundancy switching
- Router-based, path-based or IP-based redundancy mechanisms
- GPI (contact closure) device monitoring tool
- SNMP-based monitoring of third-party hardware
- Alarm configuration
- Monitoring and alarm logging, highlights affected services and hardware
- Standard PERL scripting tool for automatic emails, pages or SMS messaging on fault conditions
- SNMP-based alarm forwarding agent with alarm filtering

SECURITY MANAGEMENT

- Full user administration tools for multi-user environments
- LDAP user authentication support
- Multi-level access privilege
- Access can be geographically limited
- Lockouts to manage secure modifications in multi-user operations
- Comprehensive audit trail

TABLE SUPPORT

- MPEG-2, DVB, ATSC compliant
- PSI/SI generation
- Flexible descriptor generation
- Accepts PSI/SI from external sources

CONDITIONAL ACCESS SUPPORT

- DVB Simulcrypt V3
- OpenCAS
- AES
- Full CAS redundancy support
- Internal EIS

TRAFFIC/AUTOMATION/EIS INTERFACES

- Advanced scheduler with timeline user interface
- Easy external triggering of user-defined service/configuration states
- DVB EIS-Muxconfig support
- DVB SIMPCOMP-MUXNOTIFY support
- Internal EIS
- Extensive coverage and easy to integrate RESTful API
- Internal DPI server supports SCTE standard DPI cue message injection

SOFTWARE MANAGEMENT

- Storage and distribution of software for easy update across distributed networks
- Background download

NMX FAIL-SAFE MANAGEMENT

- Automatic 1:1 NMX server redundancy
- Auto-restart capability
- Powerful catalog and service plan backup/restore management

harmonicinc.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

NMX™ NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

harmonic

MONITORING SOLUTIONS

- Integrated with multiple monitoring solution vendors for an integrated headend
- Control and integration with a wide array of decoders

STATISTICAL ANALYSIS

- Statistical analysis of alarm behavior
- Inventory and device status reports

STANDARDS-BASED

- SNMP
- XML
- TCP/IP
- REST

DEPLOYMENT OPTION: APPLIANCE

Server model	HPE ProLiant DL360 Gen10
Hard Drives	Dual SSDs - RAID 1 – hot swappable
NIC	Four 1GbE ports (RJ45)
Power	Dual redundant power supplies, hot swappable 100/240 VAC, 50/60 Hz input Max power @ Room temp – 265W (904 BTU) Max power @ Max temp – 325W (1109 BTU)
Environmental	Operating temperature: 10°C to 35°C (50°F to 95°F) Non-operating temperature: -30°C to 60°C (-22°F to 140°F) Operating humidity: 8% to 90% EMC Class A: FCC, CE, VCCI, KC, CCC, TCVN, CTick, BSMI Product Safety: US/CA NRTL, CB Scheme, BIS, CCC, EAC, BSMI Product Materials: EU RoHS, China RoHS, EU REACH, WEEE
Physical	1-RU server Dimensions (HxWxD): 4.3 x 43.5 x 70.7 cm (1.7 x 17.1 x 27.8 in) Weight: 15kg (33 Lbs)
Management (IPMI)	Yes. HW alarm monitoring Integrated in NMX SW (thru iLO).
Operating System	Windows Server 2019 / SQL Server 2017

DEPLOYMENT OPTION: VM OR CUSTOM HARDWARE

Recommended System Requirements:

Processor	16 virtual CPUs (Intel® Xeon® processor E5-2620 equivalent)
Memory	32 GB RAM
Disk size	480 GB
NIC	Four 1GbE ports
Operating System (for Custom Hardware)	Windows Server 2019 / SQL Server 2017 (included in NMX ova file)

ORDERING INFORMATION

NMX-HWP-3G-A	NMX 1RU, High performance HPE server, for NMX SW version 8.5 and beyond. Windows Server 2019 and SQL 2017 included.
LIC-NMX-BASE	NMX Software Enterprise version 7 and beyond – License
LIC-NMX-BASE-BCKP	NMX Software Base Backup License (for 1+1 Redundancy).
LIC-NMX-BASE-VM	NMX (VM) Software Enterprise version 8.5 and beyond – License
LIC-NMX-BASE-BCKP-VM	NMX (VM) Software Base Backup License (for 1+1 redundancy), version 8.5 and beyond
SW-NMX-REST-API-E	Software license for Managing and Monitoring devices and services using NMX Restful API
SW-NMX-EIS-E	Software license to enable NMX Internal EIS (Event Information Scheduler) – ProStream CAS
SW-NMX-DCO-E	NMX Client License (Designer, Operator) – one is provided in NMX base SW. One license per additional client to be connected at the same time
SW-NMX-SEO-E	NMX Software Stream Editor License. Stream editor client – one is provided in NMX base SW. One license per additional client to be connected at the same time
LIC-NMX-DEVICE-CONF	Software license for Management of device whose configuration is under NMX control (Electra X/XOS, ProStream X, SDI routers and 2:1 switches, etc). Per device. Monitoring-only devices does not require any license
SW-NMX-DEMO-E	NMX Demo license – Temporary enables all software option - 90 Days

© 2020 Harmonic Inc. All rights reserved. Harmonic, the Harmonic logo, Electra, and NMX are trademarks, registered trademarks or service marks of Harmonic Inc. in the United States and other countries. Other company, product and service names mentioned herein may be trademarks or service marks of their respective owners. All product and application features and specifications are subject to change at Harmonic's sole discretion at any time and without notice.
04.16.2020

harmonicinc.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ง

Tredress MP-600W

TRedess DTT TRANSMITTERS up to 5000W (6000W for ATSC 1.0)

Fourth Series **Medium & High Power** I Technical specifications

Output power (Before filter) COFDM modulations	**600 W**	**1200 W**	**1800 W**	**2400 W**	**3000 W**	**3600 W**	**4800 W**
Output power (Before filter) ATSC 1.0	**750 W**	**1500 W**	**2500 W**	**3000 W**	**3750 W**	**4500 W**	**6000 W**
Nº of Amplifiers	1	2	3	4	5	6	8
Final amplifier type	UWB Asymmetrical Doherty						
Efficiency (Typical)	41% (COFDM Modulation)						
Frequency range	UHF (470-700 Mhz)						
Standards	DVB-T/H ETSI EN 300744, ETSI EN 302304, TR 101191, EN 50083-9 DVB-T2 ETSI EN 302755 V1.3.1, TS 102 831, TS 102 773 ISDB-T ARIB_STD-B31 v1.6, ABNT NBR15601:2007 ATSC A/53, A/153, A/110; ATSC 3.0 Upgreadeable						
Inputs	DVB-T/H/T2: 2x ASI/T2-MI BNC-female - 2x TSoIP 10/100/1000 (UDP, RTP, RTP-FEC) RJ-45 Optional: RF input 1xN-female (VHF and UHF); DVB-S2 input 1xF-female with CAM and BISS 1/E ISDB-T/Tb: 2x ASI/BTS BNC-female - 2x TSoIP 10/100/1000 (UDP, RTP, RTP-FEC) RJ-45 Optional: DVB-S2 input 1xF-female with CAM and BISS 1/E ATSC: 2 xASI/SMPTE BNC-female - 2x TSoIP 10/100/1000 (UDP, RTP, RTP-FEC) RJ-45 Programmable seamless switching between all inputs						
MER	> 36 dB						
IMD (Shoulder)	> 38 dB						
Precorrection	Digital adaptative, linear and non-linear						
Crest factor	≤ 13 dB						
RF output connector	DIN 7/16	EIA 7/8" *	EIA 1 5/8" *				
10 MHz reference input	BNC female 50 Ω (-15 to +10 dBm)						
10 MHz reference output	BNC female 50 Ω						
1 pps reference input	BNC female 50 Ω (TTL)						
GPS/GNSS (Option)	SMA female 50 Ω Connector Stability < ±1x10exp-9 (0ºC to 60ºC) Holdover: <0.8µs after 4 hours; <12 µs after 24 hours						
OCXO (Option)	Stability < ±5x10exp-9 (0ºC to 60ºC) Aging: < ±5x10exp-10/day < ±5x10exp-8/year						
Local control	Front LCD display with keyboard and LED indications. Micro-SD card to save and restore configurations settings.						
Remote control	Ethernet (web application and SNMP); I/O contacts						
Operating temperature range	-5ºC to 45ºC						
Relative humidity (max.)	95% · Non condensing						
Altitude of operation	≤ 2500 m above sea level (> 2500m on request)						
Cooling	Force air (with air dust filters for dusty air atmospheric conditions)						
Supply Voltage	110/230 VAC (single phase) 47 to 63 Hz	110/230 VAC (single phase) 208/415 V (three phase 4 wires) 47 to 63 Hz					
Safety	EN 60950-1:2006+A1:2010+A11:2009 +A12:2011 · EN 60215:1989+A1:92+A2:94						
EMC	ETSI EN 301 489-1 V1.9.2 (2011-09); ETSI EN 301 489-14 V1.2.1 (2003-05); EN 61000-4-5, heavy Industry level						
Spectrum efficiency	ETSI EN 302 296-2 V1.2.1 (2011-05)						

* Other RF output connectors under request

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก จ

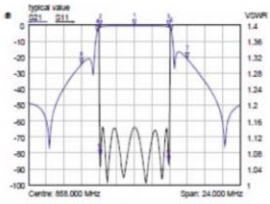
Spinner BN 616663C1031

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

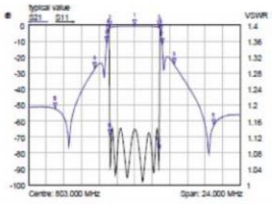
1.3 kW - 1.6 kW UHF DTV Bandpass Filters

- Mask filters for ATV and DTV
- For 6, 7 and 8 MHz channel bandwidth
- With cross coupling (notch function)
- Tuneable within whole UHF range
- Temperature compensated
- DC block
- Installation horizontally or vertically
- Low profile design

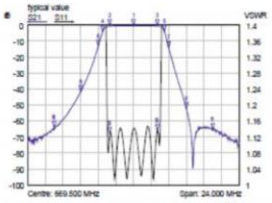




Typical diagram AS6224



Typical diagram AS6229



Typical diagram AS6228

Part Number	BN 616663C1031	BN 616663C1033
Frequency range	470 - 860 MHz	
Number/size of cavities	6/120	
Harmonics attenuation	≥ 50 dB for f ≤ 1100 MHz	
TV standard	DVB-T @ 8 MHz ($\hat{U}/U_{rms}$ = 13 dB)	ISDB-T @ 6 MHz ($\hat{U}/U_{rms}$ = 13 dB) / ATSC 1.0 @ 6 MHz ($\hat{U}/U_{rms}$ = 11 dB)
Average input power	≤ **1.6 kW**	≤ **1.3 kW**
Tuning instruction	AS6224	AS6229 / AS6228
Insertion loss & mask filtering (alternative tuning on request)	470 MHz – 860 MHz f_0 ≤ 0.3 dB – ≤ 0.4 dB $f_0 \pm 3.805$ ≤ 0.8 dB – ≤ 1.1 dB $f_0 \pm 3.885$ ≤ 0.9 dB – ≤ 1.3 dB $f_0 \pm 4.2$ ≥ 4 dB $f_0 \pm 6.0$ ≥ 20 dB $f_0 \pm 12.0$ ≥ 40 dB	470 MHz – 803 MHz f_0 ≤ 0.35 dB – ≤ 0.5 dB $f_0 \pm 2.79$ ≤ 1.10 dB – ≤ 1.4 dB $f_0 \pm 3.00$ ≥ 3 dB $f_0 \pm 3.15$ ≥ 5 dB $f_0 \pm 4.50$ ≥ 17 dB $f_0 \pm 9.00$ ≥ 38 dB $f_0 \pm 15.0$ ≥ 48 dB	470 MHz – 803 MHz f_0 ≤ 0.40 dB – ≤ 0.55 dB $f_0 \pm 2.69$ ≤ 0.55 dB – ≤ 1.30 dB $f_0 \pm 3.5$ ≥ 3 dB $f_0 \pm 4.0$ ≥ 8 dB $f_0 \pm 6.0$ ≥ 30 dB $f_0 \pm 9.0$ ≥ 65 dB
VSWR (passband range)	≤ 1.15	≤ 1.15 / ≤ 1.15
Group delay variation	Δτ ≤ 350 ns	Δτ ≤ 450 ns / Δτ ≤ 250 ns
Temperature stability	≤ 2 kHz / K	
Connector	1 5/8" SMS unflanged	1 5/8" EIA
Dimensions (L x W x H) mm	463 x 300 x 277	480 x 300 x 277
Weight	≈ 20 kg	
Environmental conditions	For limitations see „Environmental Conditions for Broadcast Products".	

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ฉ

Kathrein 75010067

Omnidirectional Antenna 470–862 MHz

KATHREIN

Polarization H

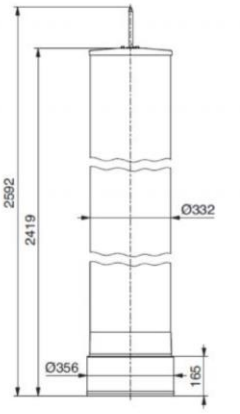
- Broadband omnidirectional antenna.

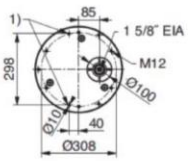
Order No.	75010067
Input	1⅝" EIA flange
Max. power	5 kW (at 40 °C ambient temperature)
Frequency range	470 – 862 MHz
VSWR	< 1.1
Gain	8 dBd
Vertical 3 dB beam width	13°
Impedance	50 Ω
Polarization	Horizontal
Weight	70 kg
Wind load (at 160 km/h)	590 N
Max. wind velocity	225 km/h
Height	2419 mm

Material:	Omnidirectional antenna in protective fiberglass radome with a diameter of 332 mm. Radome color: Light grey (RAL 7035). Flange: Hot-dip galvanized steel.
Attachment:	Onto a fitting counterflange or to tubular masts by using the optional steel adapter 75310322 (to be ordered separately).
Grounding:	Via mounting parts.



Picture shows antenna with optional steel adapter 75310322

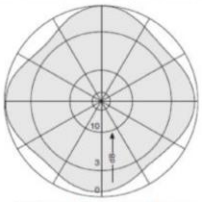




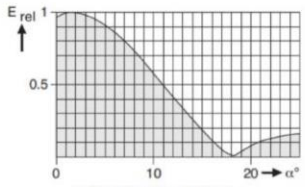
1) drainage (2x)

Bottom view

Radiation Patterns (at mid-band)



Horizontal Radiation Pattern

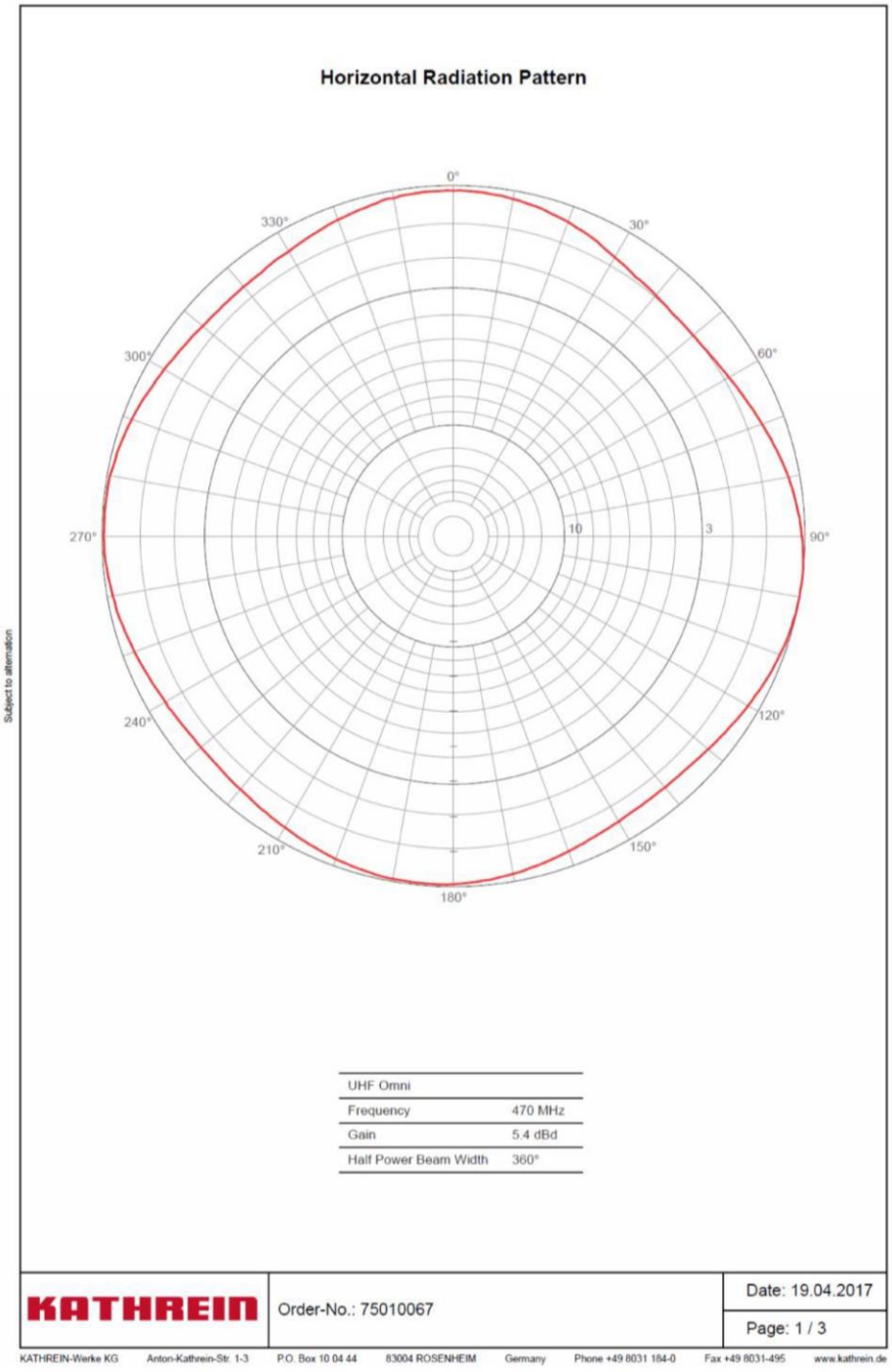


Vertical Radiation Pattern
1.5° electrical downtilt

936.3624/a Subject to alteration.

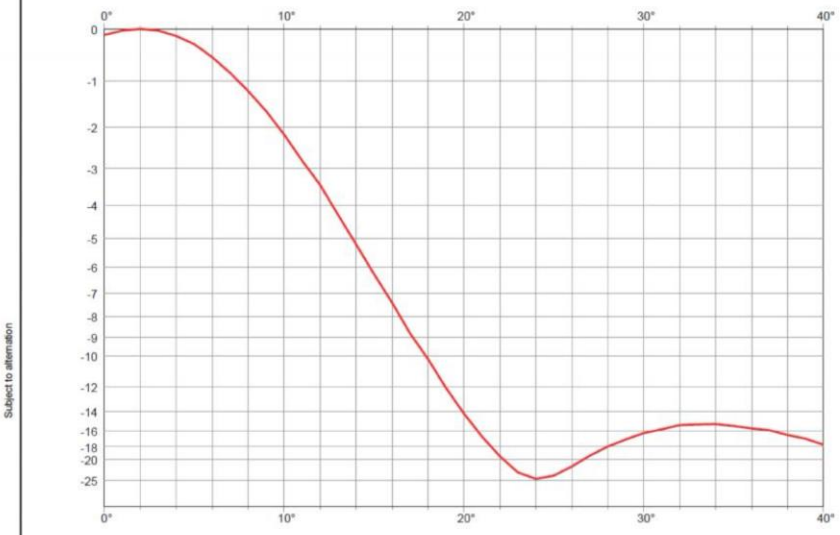
Kathrein USA Greenway Plaza II, 2400 Lakeside Blvd., Suite 650, Richardson TX 75082
Phone: 214.238.8800 Fax: 214.238.8801 Email: info@kathrein.com

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

Vertical Radiation Pattern

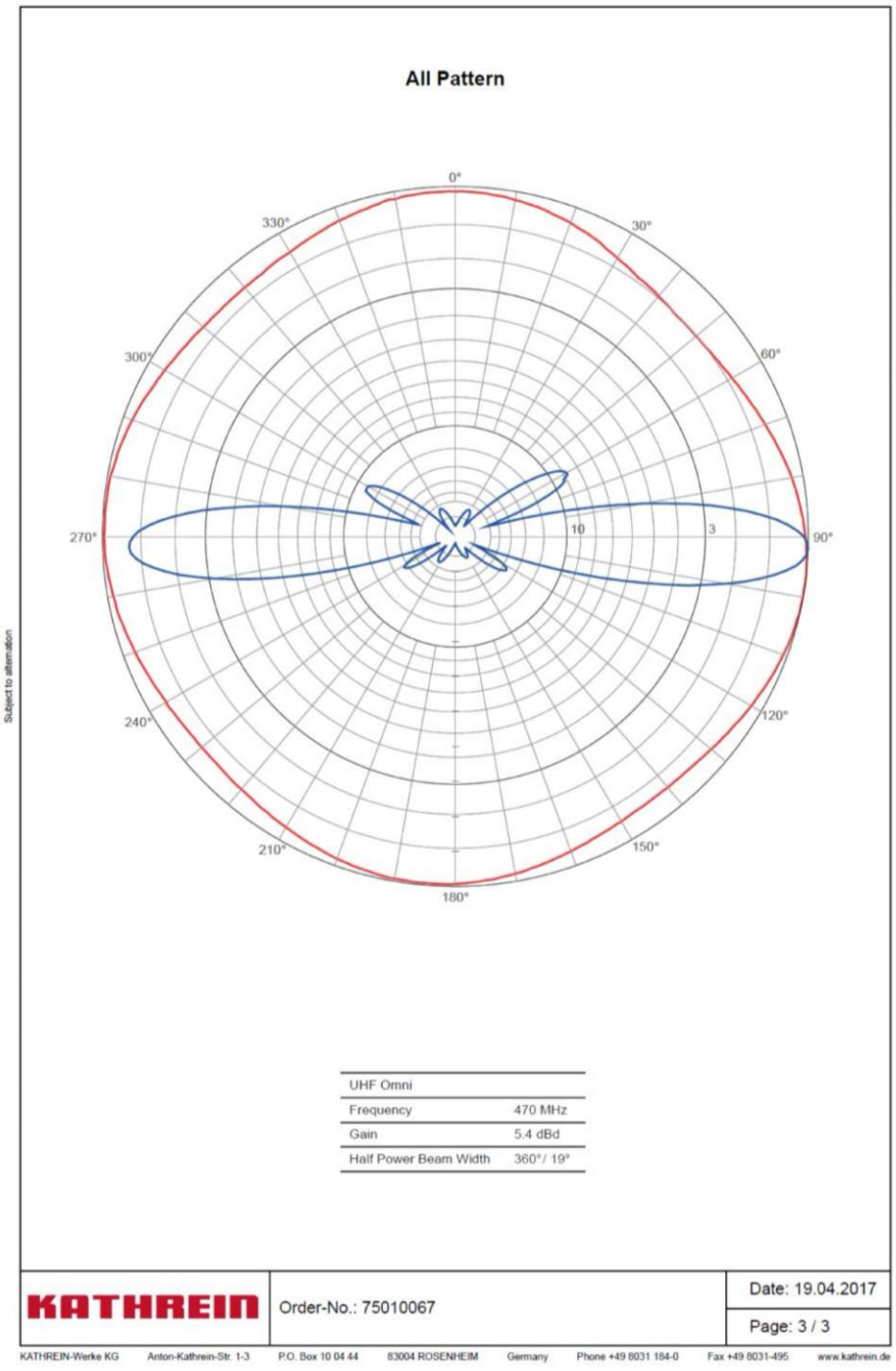


UHF Omni	
Frequency	470 MHz
Gain	5.4 dBd
Half Power Beam Width	19°

KATHREIN | Order-No.: 75010067 | Date: 19.04.2017 | Page: 2 / 3

KATHREIN-Werke KG Anton-Kathrein-Str. 1-3 P.O. Box 10 04 44 83004 ROSENHEIM Germany Phone +49 8031 184-0 Fax +49 8031-495 www.kathrein.de

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ช

RFS LCF78-50JA-A7

Product Data Sheet **LCF78-50JA-A7**

7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX®7/8" premium attenuation low loss flexible cable

Application: Main feed line



7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Features/Benefits

- **Ultra Low Attenuation**
  The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremly efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- **Complete Shielding**
  The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RFI/EMI shield that minimizes system interference.
- **Low VSWR**
  Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- **Outstanding Intermodulation Performance**
  CELLFLEX® coaxial cable?s solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- **High Power Rating**
  Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- **Wide Range of Application**
  Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.

Technical Features

Structure

Inner conductor:	Copper Tube	[mm (in)]	9.32 (0.37)
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	22.4 (0.88)
Outer conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	25.2 (0.99)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	27.8 (1.09)

Mechanical Properties

Weight, approximately	[kg/m (lb/ft)]	0.41 (0.28)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in)]	120 (5)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in)]	250 (10)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]	13 (9.6)
Max. tensile force	[N (lb)]	1440 (324)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]	0.8 / 1 (2.75 / 3.25)

Electrical Properties

Characteristic impedance	[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]	90
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]	74 (22.5)
Inductance	[µH/m (µH/ft)]	0.185 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]	5
Jacket spark test RMS	[V]	8000
Peak power rating	[kW]	85
RF Peak voltage rating	[V]	2920
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.54 (0.47)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.55 (0.47)

Recommended Temperature Range

Storage temperature	[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)
Installation temperature	[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance:	Halogene Free	
VSWR Performance:	Premium for 698 - 794, 824 - 960, 1710 - 1755, 1850 - 1990, 2110 - 2155 MHz	24 (1.135)
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.	

Frequency	Attenuation		Power
[MHz]	[dB/100m]	[dB/100ft]	[kW]
0.5	0.0780	0.0238	85.0
1.0	0.110	0.0336	85.0
1.5	0.135	0.0412	73.6
2.0	0.156	0.0476	63.7
10	0.351	0.107	28.3
20	0.498	0.152	20.0
30	0.612	0.186	16.2
50	0.793	0.242	12.5
88	1.06	0.323	9.38
100	1.13	0.345	8.80
108	1.18	0.358	8.42
150	1.39	0.425	7.15
174	1.50	0.458	6.63
200	1.62	0.493	6.14
300	2.0	0.608	4.97
400	2.32	0.707	4.28
450	2.47	0.753	4.02
500	2.61	0.796	3.81
512	2.64	0.806	3.77
600	2.88	0.876	3.45
700	3.12	0.951	3.19
750	3.24	0.987	3.07
800	3.35	1.02	2.97
824	3.41	1.04	2.91
894	3.56	1.08	2.79
900	3.57	1.09	2.78
925	3.62	1.10	2.75
960	3.70	1.13	2.69
1000	3.78	1.15	2.63
1250	4.27	1.30	2.33
1400	4.54	1.38	2.19
1500	4.71	1.44	2.11
1700	5.05	1.54	1.97
1800	5.21	1.59	1.91
2000	5.52	1.68	1.80
2100	5.67	1.73	1.75
2200	5.82	1.77	1.71
2400	6.11	1.86	1.63
2500	6.25	1.91	1.59
2600	6.39	1.95	1.56
2700	6.53	1.99	1.52
3000	6.93	2.11	1.43
3500	7.56	2.30	1.31
4000	8.16	2.49	1.22
4900	9.17	2.80	1.08
5000	9.28	2.83	1.07

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ฌ

Farcarro LP45F

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

Data Sheet

FRACARRO

LOG - PERIODIC Aerials

LP45F LP SERIES

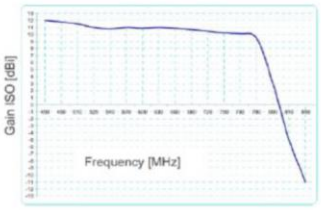
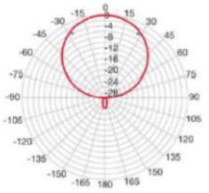


Log-periodic pre-assembled aerials characterized by: extremely easy connection due to the connector being located near the mast clamp. High level design of the dipole connection guarantees a highly reliable RF contact. Due to the specific mast clamp these aerials can be assembled in vertical or horizontal polarisation without additional accessories. They are characterized by excellent mechanical clamp resistance of the boom elements, excellent mechanical resistance at the rotation around the mast and good electrical performances.
F connector is protected by a cap with bayonet clamp.

Main Specifications

- Bandwidth 862MHz
- Impedance 75 Ohm
- UHF Band
- 60 mm is the maximum mast clamp diameter

Description	Unit	LP45F
Fracarro code		216149
Elements	No.	6
Band		UHF
Channels		E21-E69
Technical Characteristics		
Bandwidth	MHz	470-862
Maximum Gain	dBi	11
Front-to-back ratio	dB	36
Return loss	dB	-15
Beamwidth (-3dB)	°	±/-28
Impedance	Ohm	75
Connector	Type	F
Maximum mast	mm	60
Dimensions	mm	99 x 32

LP45F			
GAIN (Band UHF) X: Frequency (MHz) Y: gain ISO (dBi)		DIRECTIVITY (Band UHF)	

fracarro.com Thailand distributor: www.hstn.co.th/fracarro

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ญ

Promax Ranger Neo 4



สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

SPECIFICATIONS	RANGER *Neo* Lite	RANGER *Neo* +	RANGER *Neo* 2	RANGER *Neo* 3	RANGER *Neo* 4
DIGITAL BROADCAST STANDARDS	DVB-T/T2, DVB-T2 lite DVB-C/C2 DVB-S/S2 DVB-S2 Multistream ISDB-T/Tb DSS, ACM / VCM / CCM		*... Also includes:* MPEG-TS	*... Also includes:* DVB-T2-MI	
AUDIO CODECS	MPEG-1, MPEG-2, AAC, HE-AAC, Dolby Digital, Dolby Digital Plus				
VIDEO CODECS	MPEG-2, MPEG-4 / H.264, HEVC / H.265				
INPUTS AND OUTPUTS	- Universal RF input 50/75 Ω - HDMI output - IP interface for remote control - Analogue Video/Audio input - 2xUSB (Type-A) for data transfering		*... Also includes:* - ASI-TS input and output (BNC Female, 75 Ω) - IPTV multicast input (UDP / RTP, RJ45) - Common Interface slot	*... Also includes:* - 1 pps input	
FUNCTIONS	- Constellation diagram - LTE ingress test - Dynamic echoes analysis - StealthID (instant identification of tuning parameters) - PLS (Physical Layer Scrambling) - Ultra fast spectrum analyzer (70 ms sweep time) - 4K Frame grabber - MAX and MIN hold - FM RDS radio measurement and decoding - Screenshots and Datalogger for measurement reports - Beacon-Flyaways for SNG & VSAT - Wideband LNB - WiFi 2.4 GHz - LTE 1.8 GHz - OTT - Service recording - Field strength measurement - Task planner				
ADDITIONAL FUNCTIONS		- Merogram - Spectrogram - Signal monitoring - Remote control (webControl) - MER by carrier - Video/Audio Streaming - SCAN + TILT - Shoulder attenuation	*... Also includes:* - TS recording - TS analysis - IPTV multicast measurement and decoding	*... Also includes:* - Network delay (DVB) - DVB-T2-MI analysis	*... Also includes:* - 4K decoder
SPECTRUM ANALYZER **Frequency Margin**	From 5 - 1000 MHz (Terrestrial) From 250 - 2500 MHz (Satellite)				
Measurement range	From 10 - 130 dBµV				
Span	Full / 500 / 200 / 100 / 50 / 20 / 10 MHz				
Resolution bandwidths	100 kHz	100, 200 kHz 1 MHz	2 kHz (terrestrial) 10, 20, 30, 40, 100, 200 kHz 1 MHz		
MEASUREMENT MODE (please refer to STANDARDS section)					
Frequency Margin	From 5 - 1000 MHz (Terrestrial) From 250 - 2350 MHz (Satellite)				
DVB-T COFDM	Power (35 to 115 dBµV), CBER, VBER, MER, C/N, Link margin				
DVB-T2 Base and Lite COFDM	Power (35 to 115 dBµV), CBER, C/N, LBER, MER, Link Margin, BCH ESR, LDP iterations, Wrong packets				
DVB-C QAM	Power (45 to 115 dBµV), BER, MER, C/N, Link margin				
DVB-C2 COFDM	Power (45 to 115 dBµV), CBER, MER, C/N, LBER, BCH ESR, LDP iterations, wrong packets				
PAL, SECAM and NTSC	M, N, B, G, I, D, K and L				
FM radio	Level measurement				
DVB-S QPSK	Power (35 to 115 dBµV), CBER, MER, C/N, Link Margin				
DVB-S2 QPSK, 8PSK, 16/32APSK	Power (35 to 115 dBµV), CBER, LBER, MER, C/N, BCH ESR, Wrong packets, Link Margin				
DSS QPSK	Power (35 to 115 dBµV), CBER, VBER, MER, C/N, Link margin				
INTERNAL STORAGE	6 GB for measurement protocols, screenshots and transport stream recordings				
PC CONNECTION (via ethernet interface)	NetUpdate 4 (free software) + Free and automatic firmware updates + User customised channel plans + Measurement reports and screenshots				
GENERAL	Hybrid operation: Touch screen (7") or conventional keyboard DiSEqC 2.x generator (DiSEqC 1.2 commands implemented) dCSS / SCD 2 (EN50607) and SATCR/SCD (EN50494)				
BATTERY	> 2h	> 4 h (smart battery)			
HARD CASE	Optional	Included			

OPTIONS	RANGER*Neo* +	RANGER*Neo* 2	RANGER*Neo* 3	RANGER*Neo* 4
GPS Coverage Analysis	Available	Available	**Included**	**Included**
Advanced DAB/DAB+ analyzer	-	Available	Available	Available
Advanced FM radio analyzer	-	Available	Available	Available
Rack assembly 19" 4U: 482 (W.) x 178 (H.) x 205 (D.) mm	Available	Available	Available	Available
OPM + Optical-to-RF converter + WiFi 5 GHz + LTE 2.6 GHz + 6 GHz RF input	Available	Available	Available	Available
WiFi 5 GHz + LTE 2.6 GHz + 6 GHz RF input	Available	Available	Available	Available

SPECIFICATIONS REFER TO EUROPEAN VERSION

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

PROMAX

RANGERNeo TV analyzers

A new breed of analyzers for a new world



✓ Included
● Optional

	RANGER Neo								HD RANGER	
	4	3	2		+		Lite		Ultra Lite	Eco
	DVB ISDB-T	DVB ISDB-T	DVB ISDB-T	ATSC	DVB ISDB-T	ATSC	DVB ISDB-T	ATSC	DVB	DVB
4K decoder	✓									
HEVC H.265 decoder + 4K Frame Grabber	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
MPEG-2 and MPEG-4 H.264 decoder	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Touch screen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Wide band LNB Compatibility (wbLNB)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2.4 GHz Wi-Fi analyzer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
1.8 GHz LTE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
OTT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Service recording	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
HDMI output	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Video/Audio input	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USB interface	2x Type A	2x Type A	2x Type A	2x Type A	2x Type A	2x Type A	2x Type A	2x Type A	1x Mini USB	1x Mini USB
Battery time	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 2 h	> 2 h	> 2 h	> 2 h
Resolution filter 100 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resolution filters 200 kHz, 1 MHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
Resolution filters 2, 10, 20, 30, 40 kHz	✓	✓	✓	✓						
Echoes analysis	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓
Constellation diagram	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
webControl and Video/Audio *Streaming*	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Spectrogram	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
DVB-T/T2: Merogram and MER by carrier	✓	✓	✓		✓					
SCAN + TILT	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
IPTV analyzer	✓	✓	✓	✓						
TS-ASI input and output	✓	✓	✓	✓						
TS analysis and recording	✓	✓	✓	✓						
Common Interface (encrypted channels)	✓	✓	✓	✓						
Shoulder attenuation measurement	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
T2-MI	✓	✓								
Network delay Margin (DVB)	✓	✓								
GPS for drive test	✓	✓	●	●	●	●				
Signal monitoring	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Advanced DAB/DAB+ analyzer	●	●	●							
Advanced FM radio analyzer	●	●	●							
OPM + Optical-to-RF + WiFi 5G + LTE 2.6G + 6 G RF input	●	●	●	●	●	●				
WiFi 5 GHz + LTE 2.6 GHz + 6 GHz RF input	●	●	●	●	●	●				
ATSC standard				✓		✓		✓		
ISDB-T standard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
DVB-T/T2 standard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DVB-S/S2, DSS and ACM/VCM standards	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DVB-C standard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DVB-C2 standard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
QAM annex B standard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
PSIP analysis				✓						
Closed Caption				✓						
Soft carrying bag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hard transport case	✓	✓	✓	✓	✓	✓				

DESIGN AND SPECIFICATIONS ARE SUBJECT TO CHANGES WITHOUT PRIOR NOTICE. 09/22

www.promaxelectronics.com

ภาคผนวก ฎ

แบบรายงานผลการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

	แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ **โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล**	**ผู้บันทึก** _____Thai PBS_____ **วันที่บันทึก** __26/01/2566 เวลา_13.00 น.

ส่วนที่ 1 การวัดสัญญาณแบบ Line-of-Sight ที่ความสูงของสายอากาศ 10 เมตร

1.1 สถานที่ _บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ นนทบุรี _ตำบล/แขวง _บางกระสอ_อำเภอ/เขต __นนทบุรี __

จังหวัด ____นนทบุรี __ Latitude ____13.867905 _____Longitude____ 100.515605 ____

ข้อมูลสภาพแวดล้อม ☐เทศบาลนคร ☐เทศบาลเมือง ☐เทศบาลตำบล ☐ชานเมือง ☑อื่นๆ _____

ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2.93 เมตร_____ ข้อมูลอื่นๆ_____

สถานีส่งสัญญาณ ___ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่__ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง _6.48_ กม. มุม 90°





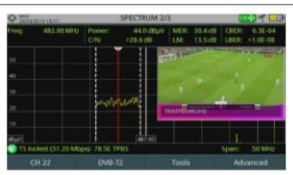
1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 10 เมตร

	FFT 16K Ext. GIF 19/128 MOD. 64-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP4	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM, 3/5, PP8	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 1/2, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBμV)	43.8	44.0	47.0	47.0	46.9
C/N (dB)	>28.6	>28.6	>31.60	>31.10	>31.60
MER (dB)	30.3	30.4	30.7	22.8	30.5
CBER	1.0E-06	6.3E-04	1.9E-04	1.9E-03	2.3E-04
LBER	1.0E-07	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-07	1.0E-08

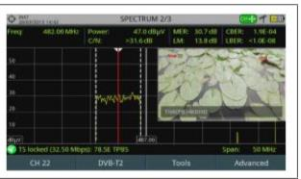
สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.



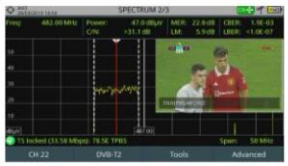
16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2



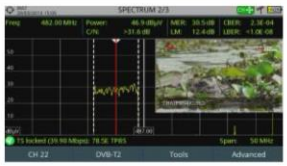
32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8

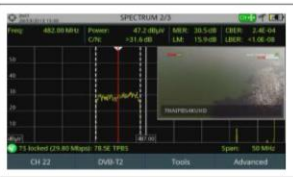


32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7

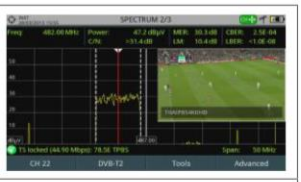
	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 2/3, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/4, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 4/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 5/6, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBµV)	46.9	47.2	47.2	47.2	47.1
C/N (dB)	>31.10	>31.60	>31.40	>31.20	>30.90
MER (dB)	30.5	30.5	30.3	30.2	30.6
CBER	2.4E-04	2.4E-04	2.5E-04	2.9E-04	2.3E-04
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7



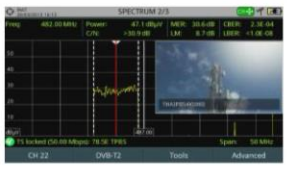
32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7

แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ **โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล**	**ผู้บันทึก** _____Thai PBS_____ **วันที่บันทึก** __03/02/2566 เวลา_13.30 น.

ส่วนที่ 1 การวัดสัญญาณแบบ Line-of-Sight ที่ความสูงของสายอากาศ 10 เมตร

1.1 สถานที่ ___สวนวชิรเบญจทัศ (สวนรถไฟ) ___ตำบล/แขวง __จตุจักร__ อำเภอ/เขต __กรุงเทพมหานคร__

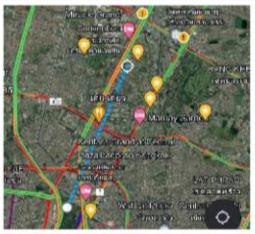
จังหวัด ____กรุงเทพมหานคร__ Latitude ____13.8161108____Longitude____ 100.5527628____

ข้อมูลสภาพแวดล้อม ☐เทศบาลนคร ☐เทศบาลเมือง ☐เทศบาลตำบล ☐ชานเมือง ☑อื่นๆ _____

ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2.12 เมตร_____ ข้อมูลอื่นๆ_____

สถานีส่งสัญญาณ ___ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่____ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง __6.21__ กม. มุม 23°



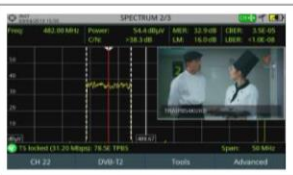


1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 10 เมตร

	FFT 16K Ext. GIF 19/128 MOD. 64-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP4	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM, 3/5, PP8	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 1/2, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBμV)	55.20	54.4	54.5	54.5	54.2
C/N (dB)	>38.8	>38.3	>38.6	>38.1	>37.5
MER (dB)	33.10	32.9	33.1	24.8	32.5
CBER	1.0E-06	3.5E-05	3.9E-05	1.2E-03	1.1E-04
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08



16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8

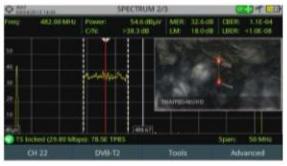


32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7

	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 2/3, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/4, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 4/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 5/6, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBµV)	54.7	54.6	54.6	54.6	54.7
C/N (dB)	>38.1	>38.3	>38.0	>37.9	>38.2
MER (dB)	32.2	32.6	32.5	32.7	32.3
CBER	9.9E-05	1.1E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.1E-04
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7

แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ **โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล**	**ผู้บันทึก** _____Thai PBS_____ **วันที่บันทึก** ___13/02/2566 **เวลา**__13.00 น.

ส่วนที่ 1 การวัดสัญญาณแบบ Line-of-Sight ที่ความสูงของสายอากาศ 10 เมตร

1.1 สถานที่ ___บริษัท Planet Communication___ตำบล/แขวง __ท่าแร้ง__ อำเภอ/เขต ____บางเขน____

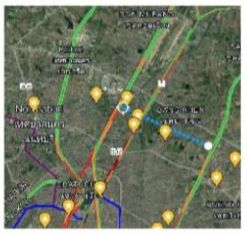
จังหวัด ____กรุงเทพมหานคร__ Latitude ____13.844750_____Longitude ____100.632936____

ข้อมูลสภาพแวดล้อม ☐เทศบาลนคร ☐เทศบาลเมือง ☐เทศบาลตำบล ☐ชานเมือง ☑อื่นๆ _____

ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1.96 เมตร_____ ข้อมูลอื่นๆ_____

สถานีส่งสัญญาณ__ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่_ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง__6.7 กม.__ มุม 293°__





1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 10 เมตร

	FFT 16K Ext. GIF 19/128 MOD. 64-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP4	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM, 3/5, PP8	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 1/2, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBμV)	46.4	46.3	46.40	46.6	46.4
C/N (dB)	>31.0	>30.6	>30.5	>30.9	>31.2
MER (dB)	30.3	31.4	30.00	15.8	30.2
CBER	5.4E-06	3.7E-04	4.9E-04	1.5E-02	5.6E-04
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-07	1.0E-08



16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2



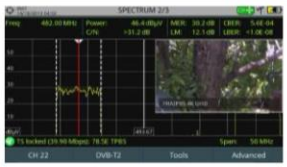
32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7

	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 2/3, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/4, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 4/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 5/6, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBµV)	46.4	46.2	46.4	46.3	46.6
C/N (dB)	>30.8	>31.0	>30.2	>30.6	>31.1
MER (dB)	30.0	29.9	30.3	30.3	30.2
CBER	5.8E-04	6.0E-04	5.2E-04	5.2E-04	5.3E-04
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7



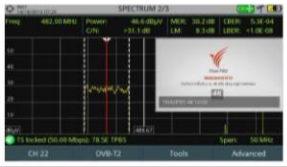
32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7

แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ **โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล**	**ผู้บันทึก** _____Thai PBS_____ **วันที่บันทึก** __24/02/2566 เวลา_11.00 น.

ส่วนที่ 1 การวัดสัญญาณแบบ Line-of-Sight ที่ความสูงของสายอากาศ 10 เมตร

1.1 สถานที่ ___หมู่บ้านเมืองเอก___ตำบล/แขวง __หลักหก__ อำเภอ/เขต ____ปทุมธานี____

จังหวัด ____ปทุมธานี__ Latitude ____13.974533_____Longitude____100.589073____

ข้อมูลสภาพแวดล้อม ☐เทศบาลนคร ☐เทศบาลเมือง ☐เทศบาลตำบล ☐ชานเมือง ☑อื่นๆ _____

ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1.53 เมตร_____ ข้อมูลอื่นๆ_____

สถานีส่งสัญญาณ ___ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่_____ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง __11.9 กม.มุม 186°



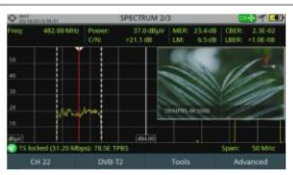


1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล 10 เมตร

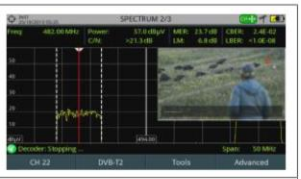
	FFT 16K Ext. GIF 19/128 MOD. 64-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP2	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP4	FFT 32K Ext. GIF 19/256 MOD. 256-QAM, 3/5, PP8	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 1/2, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBμV)	36.9	37.0	37.0	36.9	36.6
C/N (dB)	>21.0	>21.1	>21.3	>21.4	>21.1
MER (dB)	23.9	23.4	23.7	-	23.7
CBER	6.7E-04	2.3E-02	2.4E-02	-	2.7E-02
LBER	1.0E-07	1.0E-08	1.0E-08	-	1.0E-08



16K Ext., 19/128, 64-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP4



32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP8

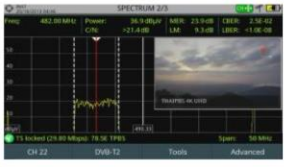


32K Ext., 1/128, 256-QAM, 1/2, PP7

	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 2/3, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 3/4, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 4/5, PP7	FFT 32K Ext. GIF 1/128 MOD. 256-QAM FEC 5/6, PP7
Quality (0,1)	1	1	1	1	1
Power (dBµV)	37.0	36.9	36.7	34.0	36.7
C/N (dB)	>21.5	>21.4	>21.1	>18.7	>21.4
MER (dB)	23..6	23.9	23.6	21.4	23.4
CBER	2.5E-02	2.5E-02	2.6E-02	5.1E-02	2.6E-02
LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	4.5E-06	1.0E-08



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 2/3, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 3/4, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 4/5, PP7



32K Ext., 1/128, 256-QAM, 5/6, PP7

สำนักวิศวกรรม ส.ส.ท.

ภาคผนวก ข

สรุปประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็นของการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) ที่เกี่ยวข้องกับ 4K

วันอังคารที่ 22 กันยายน 2566 เวลา 9.30 – 16.00 น.
ณ ห้องการ์เด้น 3-4 โรงแรมเซ็นจูรี่ พาร์ค เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร

หารือในประเด็น

- เป้าหมายและการดำเนินการระยะสั้นเกี่ยวกับการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K
- การใช้งานคลื่นความถี่ 600 MHz สำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล
- เทคโนโลยีสำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
- พารามิเตอร์โครงข่าย DVB-T2
- จำนวนสถานี
- ผู้ให้บริการโครงข่าย
- สัญญาณภาพและเสียง

ผู้แสดงความเห็น/หน่วยงาน	ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	หมายเหตุ
หลายหน่วยงาน	- หากออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K 2 ช่องต่อโครงข่าย จะทำให้มีการอากาศ 4K 10 ช่อง ประเทศไทยพร้อมที่จะมี 4K 10 ช่องแล้วหรือไม่ เพราะจะทำให้เครื่องรับ (Set-top-box) ไม่สามารถรับได้ - การตั้งสถานีเสริมเพิ่มเติมในพื้นที่ ที่ไม่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินได้ - เป็นไปได้ไหมที่นำงบประมาณจากกองทุน USO มาลงทุนทำโครงข่ายที่รองรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อที่จะทำให้ผู้ประกอบการนำเงินไปทุนในการผลิตเนื้อหารายการแทน	- รับเป็นประเด็นที่เก็บไว้หารือในอนาคต
TPBS	- มาตรฐานของเสียงที่ใช้ทดลองทดสอบเป็นแบบใดบ้าง - ทาง TPBS แนะนำว่าจากการทดลองทดสอบใช้เป็นมาตรฐาน Stereo เหมาะสมที่สุด - จำนวนสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดินควรจะคงจำนวนสถานีไว้เท่าเดิม	-
กรมประชาสัมพันธ์	- การออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K มีความเป็นไปได้ในทางเทคนิค แต่ในทางเศรษฐศาสตร์จะคุ้มค่าหรือไม่ - การเปลี่ยนจากการออกอากาศ HD เป็น 4K จะเป็นเรื่องที่ค่อนข้างลำบาก ถ้าเป็นช่องใหม่จะดีกว่า - ควรมีการเตรียมแพลตฟอร์มแห่งชาติไปควบคู่ด้วย - แนวโน้มค่าเช่าโครงข่ายมีโอกาสลดได้แต่ไม่มาก เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการอากาศ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกอากาศ อายุใช้งานค่อนข้างน้อย และเทคโนโลยีไม่ค่อยพัฒนาแล้ว เนื่องจากเปลี่ยนไปพัฒนาฝั่งโทรคมนาคม	-
Workpoint	- การทดลองทดสอบทางเทคนิคควรมีการเปิดให้สถานีโทรทัศน์รายอื่นสามารถนำเนื้อหารายเข้าร่วมทดลองทดสอบและได้รับสนับสนุนจาก สำนักงาน กสทช.	-

ผู้แสดงความเห็น/หน่วยงาน	ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	หมายเหตุ
PPTV	- มีโอกาสเปลี่ยนจาก MFN เป็น SFN ทั่วประเทศหรือไม่ - ในแต่ละสถานีสามารถมีการแทรกโฆษณาของแต่ละพื้นที่ได้หรือไม่	-
หลายหน่วยงาน	- ในช่วงที่ทดลองทดสอบสายอากาศภาครับรูปแบบ log periodic มีประสิทธิภาพแตกต่างกับ Yagi หรือไม่ - สำนักงาน กสทช. มีแผนเปลี่ยนผ่านอย่างไร และมองถึงการออกอากาศบน Platform อื่นด้วยหรือไม่ - การใช้งานความถี่ของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลย่าน 600 MHz จะต้องเป็นไปตาม EBU หรือไม่ - คุณลักษณะทางเทคนิคของโครงข่าย อาจลองพิจารณาปรับเปลี่ยนโดยเน้นเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมมากขึ้น - สัญญาณภาพควรมีความละเอียดอย่างน้อย HD ทุกช่องรายการ - การร่วมการดำเนินงานโครงข่ายไม่สามารถทำได้ เนื่องจากจะเกิดปัญหาทางด้านบุคลากรและทรัพย์สินของแต่ละโครงข่าย - ควรมีการสำรวจผู้บริหารถึงประเด็นที่เกี่ยวกับธุรกิจหลังหมดอายุใบอนุญาตปี ๒๕๗๒ - การออกอากาศ 4K เพียงแค่หัวเมืองใหญ่ จะถือเป็นการเลือกปฏิบัติหรือไม่ - ผู้บริโภคได้ประโยชน์อะไรจาก 4K เพราะในปัจจุบันโทรทัศน์ที่ใช้ตามครัวเรือนส่วนมากไม่เกิน 50 นิ้ว ผู้รับชมสามารถเห็นความแตกต่างของคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปได้หรือไม่	-

ภาคผนวก ค

แนวทางด้านเทคนิคสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K

โดยอ้างอิงจากผลการทดลองสอบเบื้องต้น

จากผลการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี UHD (4K) ทั้ง 3 รูปแบบ ขององค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศ (รายละเอียดการทดลองปรากฏตามภาคผนวก ก) พบว่า เพื่อทำให้รองรับการส่งสัญญาณแบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง UHD (4K) ได้อย่างน้อย 2 ช่องรายการ ต่อหนึ่งโครงข่าย สามารถจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่ได้ 5 ทางเลือก มีรายละเอียดตามตารางที่ 12

ตาราง 12 ทางเลือกการจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่

Multiplex Allocation	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5
Number of UHD@15M Channels	1	1	-	2	-
Number of UHD@20M Channels	1	-	1	-	2
Number of UHD@30M Channels	-	1	1	-	-
Total Channels	2	2	2	2	2
Bandwidth allocation	Bit rate (kbps)				
Video Bit Rate (CBR)	35000	45000	50000	30000	40000
Audio Bit Rate (2 track @70 kbps/channel)	420	420	420	420	420
Audio Description (1 track @35 kbps/channel)	140	140	140	140	140
Others	665.5	665.5	665.5	665.5	665.5
Total Bandwidth Allocation	36175.5	46175.5	51175.5*	31175.5	41175.5

หมายเหตุ * Option 3 เป็นตัวเลือกเดียวที่ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์ที่รองรับการจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบคงที่ (Constant Bit rate) ได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคโนโลยี DVB-T2 ที่สามารถรองรับอัตราบิตสูงสุด ประมาณ 50.3 Mbps ดังนั้นอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถจัดสรรแบบแปรผันเพื่อให้ได้ประโยชน์จาก Statistical Multiplexing (StatMux)