



รายงานการทดลอง
ส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
ในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

สำนักวิศวกรรม
องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย
วันที่ 5 เมษายน 2566

บทนำ

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

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 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 โดยออกอากาศจากสถานีส่งสัญญาณหลักในโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

รายงานการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 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 ที่อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เพื่อการทดลองหรือทดสอบ 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 แบบรายงานผลการวัดสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล.....	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 ลิ้มิตของ Tier และ Level สำหรับ Main 10 Profile.....	36
ตาราง 19 คุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ.....	37
ตาราง 20 ค่าพารามิเตอร์การส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 โค้งข่าย ส.ส.ท. ปัจจุบัน	37
ตาราง 21 การจัดสรรอัตราบิตของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายเดิมแบบ Single PLP	39
ตาราง 22 เวลาป้องกันของแต่ละ FFT size และ GIF สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHz (หน่วย: μ s)...	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 คุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz.....	68
ตาราง 32 คุณสมบัติสายอากาศ Log-periodic.....	84
ตาราง 33 คุณสมบัติเครื่องรับโทรทัศน์ 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 ทางเลือกการจัดสรรอัตราบิดของมัลติเพล็กซ์บนโครงข่ายใหม่	112

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 เฟสการออกอากาศ UHD โดย DVB Steering Board Committee	1
ภาพ 2 การทดลองออกอากาศ 4K วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565	28
ภาพ 3 การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล.....	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 Yagi 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

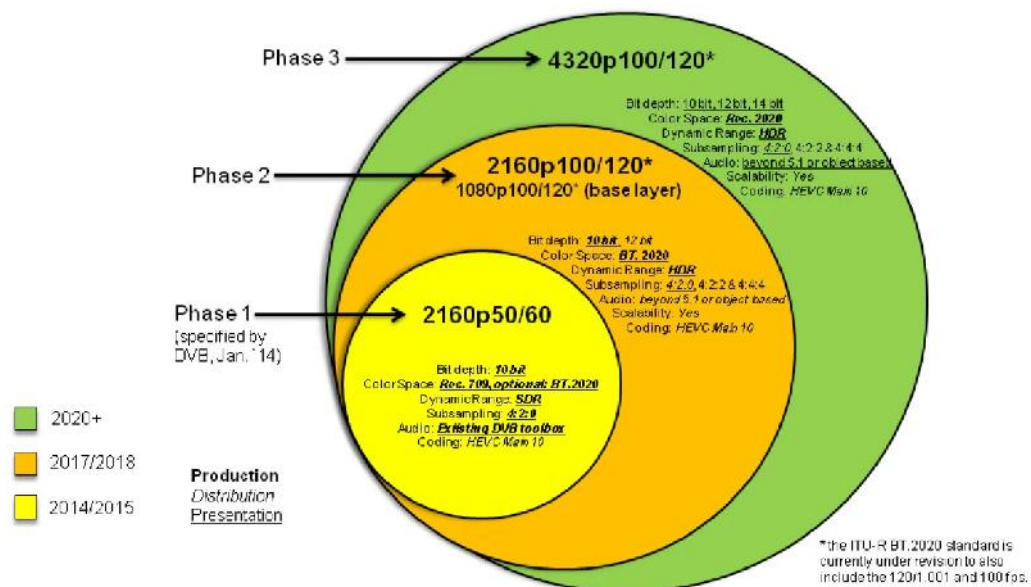
บริการ UHDTV

การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลสำหรับประเทศไทย 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 ทำให้ผู้ให้บริการเนื้อหาที่มีความเป็นไปได้ในการให้บริการด้วยภาพที่มีความละเอียดมากกว่า 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 ได้เพิ่มโครงสร้างของ 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 UHD TV โดยเชื่อว่าถูกส่งผ่านโครงข่ายดาวเทียมและไฟเบอร์ไปทั่วโลกอย่างเป็นทางการ

ประเทศฝรั่งเศส

เริ่มทดลองตั้งแต่ปี ค.ศ. 2014 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้แพลตฟอร์มในทดลองสำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ความคมชัดสูงยิ่ง (UHD TV) 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

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

พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการทดลองการส่งสัญญาณ 4K UHD TV ภาคพื้นดินที่ดำเนินการในประเทศฝรั่งเศสแสดงไว้ในตาราง พื้นที่ครอบคลุมของเครื่องส่งสัญญาณแสดงไว้ดังรูป

ตาราง 2 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHD TV 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 μ s)
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 รวมทั้งส่งสัญญาณที่บันทึกและถูกเข้ารหัสพดเทจไว้ในระหว่างการทดลอง 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 โดยออกอากาศในเมืองเบรตาญ (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

ในการทดลองอนุญาตออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (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 ซึ่งแพลตฟอร์มโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล SD & HD เป็นแพลตฟอร์มหลักในการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบผังรายการ โดยมีรายการความคมชัดสูง (High Definition: HD) เป็นส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการถ่ายทอดสด 4K UHDTV ภาคพื้นดินบนข้อกำหนดของ UHDTV (เฟส 1) และการมอดูเลต 256 QAM OFDM กับสองโปรแกรมใน DTT Multiplex สำหรับตัวเข้ารหัส UHDTV รายการสดเวอร์ชันแรก 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

การทดลองออกอากาศจากพิพิธภัณฑสถาน Prado (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)

การทดสอบในครั้งนี้มีการทดลองออกอากาศครอบคลุมพื้นที่เมืองมหาวิทยาลัย (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 UHD TV 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 Televisión Corporación 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 คณะกรรมการ RTVE ได้เข้าร่วมการทดลอง UHD บน DTT หลายครั้ง ซึ่งไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นว่าการเผยแพร่ UHD ทำได้จริงและมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังชื่นชมข้อดีของการใช้มาตรฐานใหม่ เช่น DVB-T2, HEVC และ AC-4 ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เพื่อเข้าถึงการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสัญญาณที่ดีขึ้นกับความถี่ที่มากขึ้นด้วยคุณสมบัติใหม่เพิ่มเติมเข้าไปกับสัญญาณ 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 Kinopolis 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 มีอัตราบิตรวมประมาณ 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 UHD TV 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 Televisión Corporación (Gsertel, TRedess และ Televisión) 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) ด้วยฟังก์ชันทราสเฟอร์ 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 และตารางข่าวสารแล้วเพื่อให้ได้อัตราบิตต่ำกว่า 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 Valencia 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 ขณะที่ม៉อดูมที่จจะรักษาพื้นที่ครอบคลุมในสเกลที่ใหญ่ขึ้นและความยืดหยุ่นของบริการ

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

การทดลองประสาณ UHD ประเทศสเปน ปี 2021

ในปี 2021 มีการก่อตั้งสมาคม UHD สเปน จากการมีส่วนร่วมของบริษัทมากกว่า 30 แห่ง เพื่อร่วมเริ่มทุกสิ่งในอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการพัฒนา UHD ในสเปน สมาคมประกอบด้วยบริษัทจากหลายส่วนซึ่งต่างกันอุตสาหกรรมที่ล้วนมีส่วนร่วมในการพัฒนา 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 บริการนี้ยังเสริมด้วยบริการอินเทอร์เน็ตที่ช่วยให้ 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 Valencia

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

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

ในปี 2021 Axión ได้เพิ่มเครื่องส่งสัญญาณอีก 4 เครื่อง ใน Granada 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 เพื่อให้ครอบคลุมทั้งเมือง Toledo ออกอากาศคอนเทนต์ 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 UHD TV 4K บน DTT สเปน 2020 (ต่อ)

	ERP: 500 W – Chinchilla Ch 26 ERP: 100 W – Hellin 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 ถูกเข้ารหัสแบบบอโฟไลน์ ส่วนสตรีมที่ 2 ถูกส่งโดยผู้ผลิตโดยตรง ทำให้ไม่ทราบพารามิเตอร์ของสตรีมนี้ ซึ่งสัญญาณ 4K ที่ถูกส่งบนโครงข่าย DTT มีรายละเอียดพารามิเตอร์ดังตาราง

ตาราง 10 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHD TV 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 รวมถึงการทดลองสตรีมคอนเทนต์ออนไลน์ผ่าน 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 ใช้ดิจิทัลมัลติเพล็กซ์ 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 เพรมภาพ 50 เพรมต่อวินาที และกระบวนการบีบอัดสัญญาณใช้ HEVC Main 10 ซึ่งใช้ 10 บิต ในการเก็บข้อมูล ตัวเลือกอื่นจะทำการทดสอบในระหว่างการทดลอง เป็นเทคโนโลยีภายในประเทศของทีวีบรอดแบนด์แบบไฮบริด (Hybrid broadband TV: HbbTV) ซึ่งมีกลไกการโต้ตอบระหว่างผู้ชมและผู้ออกอากาศ การทดลองระยะแรกเกิดขึ้นในสถานีออกอากาศโทรทัศน์ในกรุงเตหะราน และค่อยๆ ขยายไปยังศูนย์ของรัฐอื่นๆ สถานีที่มีคุณภาพ 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 เพรมต่อวินาที เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ต้องการ สัญญาณมีอัตราบิตจนถึง 20 Mbps เทคโนโลยีการส่งสัญญาณที่ใช้เป็น DVB-T2 เพื่อรับประกันความจุของช่องสัญญาณที่ต้องการ คุณลักษณะทางเทคนิคของสัญญาณ พารามิเตอร์ทางเทคนิคของโหมด DVB-T2 และระบบส่งสัญญาณมีรายละเอียดตามตาราง

ตาราง 12 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองออกอากาศ UHD TV 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 UHD TV 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 μ s)
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 dB μ V/m at 10 m

จากข้อมูลการทดลองออกอากาศ UHD TV 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 programmes carried: from 10 to 17 Mbps for UHD and from 3 to 17 Mbps for HD-1080p Statistical multiplexing of 3 UHD programmes	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 programmes carried: one at 24.8 Mbps, one at 12.4 Mbps Three programmes 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

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

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

จากข้อมูลการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลระบบ 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.

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 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

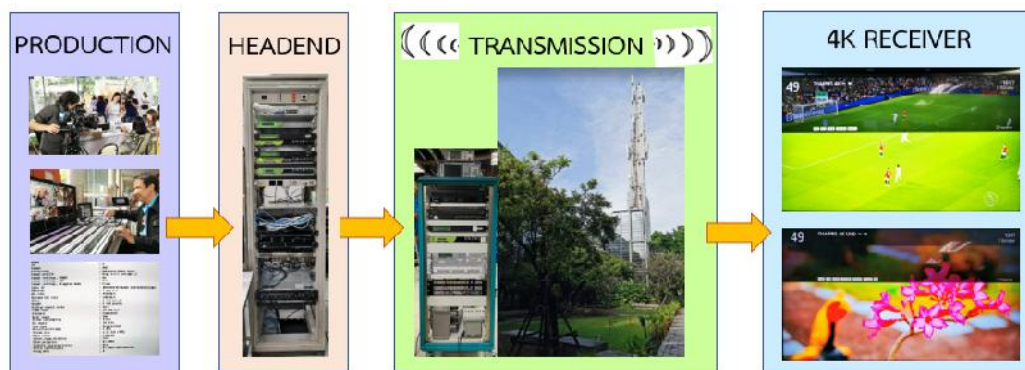
ภาพ 2 การทดลองออกอากาศ 4K วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565



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

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

ภาพ 3 การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล



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

เนื่องจากสัญญาณภาพของเนื้อหาที่ผลิตเพื่อออกอากาศผ่านโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลปัจจุบัน ส่วนใหญ่ไม่ตรงกับรูปแบบสัญญาณภาพที่กำหนดข้างต้น จึงมีการผลิตขึ้นใหม่เพื่อใช้ในการทดลองและออกอากาศ รวมจำนวน 20 ไฟล์ มีรูปแบบสัญญาณภาพตามตาราง

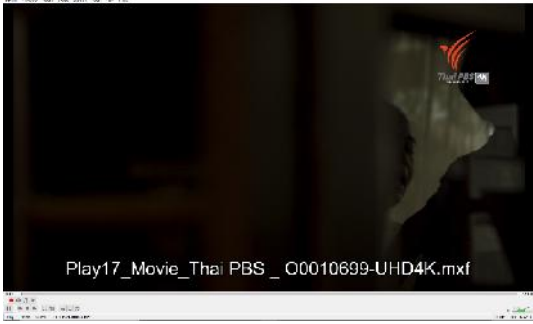
ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ

ชื่อไฟล์	รูปแบบ
 Thai PBS ทดลองออกอากาศ โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ 4K หรือ Ultra High Definition 4K Play00_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
 Play04 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
 Play02_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
 Play04_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

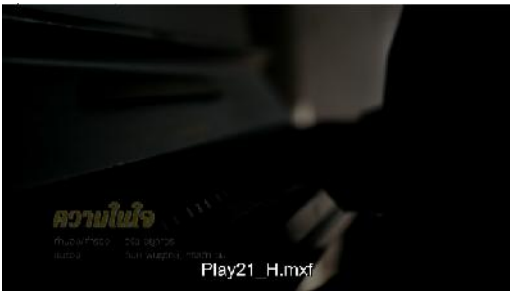
ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 พักโฆษณา Represent Play06_THAIPBS_PADTHAI4KTEST2020.mxf 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
 Play08_TureVision_4k_BT.709_PL.mxf 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
 Play10_TureVision_4k_BT.2020_to_BT.709_Love Nature.mxf 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
 Play12_1_venice.pr422hq 50 UHD 1min.mxf harmonic 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)

 Play13_8 american football 50p pr422hq uhd 1min.mxf 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
 Play14_27 RUGBY_xavciClass300_50.mxf harmonic 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
 Play15_16 raptors 50 pr422hq uhd 45sec.mxf 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
 Play17_Movie_Thai PBS _ O0010699-UHD4K.mxf 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)

 Play19_Movie_Thai PBS _ O0010700-UHD4K.mxf 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

ตาราง 17 เนื้อหาและรูปแบบสัญญาณภาพที่ใช้ทดลองออกอากาศ (ต่อ)

 Play24_N.mxf 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
 Play25_S.mxf 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
 Play26_Q.mxf 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
 Play28_Mindtraveller Music Video TPBS 709.mxf 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

จากรูปแบบสัญญาณภาพสำหรับออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ข้างต้น จึงกำหนดคุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ มีรายละเอียดดังตาราง

ตาราง 19 คุณสมบัติของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ

	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)

ปัจจุบันโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของ ส.ส.ท. กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ตามแนวทางปฏิบัติสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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 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 ถูกเข้ารหัสด้วยเทคโนโลยี High Effective Video Codec (HEVC) เช่นเดียวกับช่องรายการแบบความคมชัดสูงยิ่ง

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

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 $266 \mu\text{s}$ 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	<i>n/a</i>	7	14	<i>n/a</i>	28	<i>n/a</i>	56
4K	<i>n/a</i>	14	28	<i>n/a</i>	56	<i>n/a</i>	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	<i>n/a</i>

จากตาราง จึงกำหนด FFT size เท่ากับ 32K และ GIF เท่ากับ 19/256 เพื่อให้ได้ค่าเวลาป้องกันเท่ากับ $266 \mu\text{s}$

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	<i>n/a</i>	PP7 PP4	PP4 PP5	<i>n/a</i>	PP2 PP3	<i>n/a</i>	PP1
4K	<i>n/a</i>	PP7 PP4	PP4 PP5	<i>n/a</i>	PP2 PP3	<i>n/a</i>	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	<i>n/a</i>

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 $266 \mu\text{s}$ สามารถนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อื่นด้วยโปรแกรม DVB Calculator ได้ผลการคำนวณดังภาพ

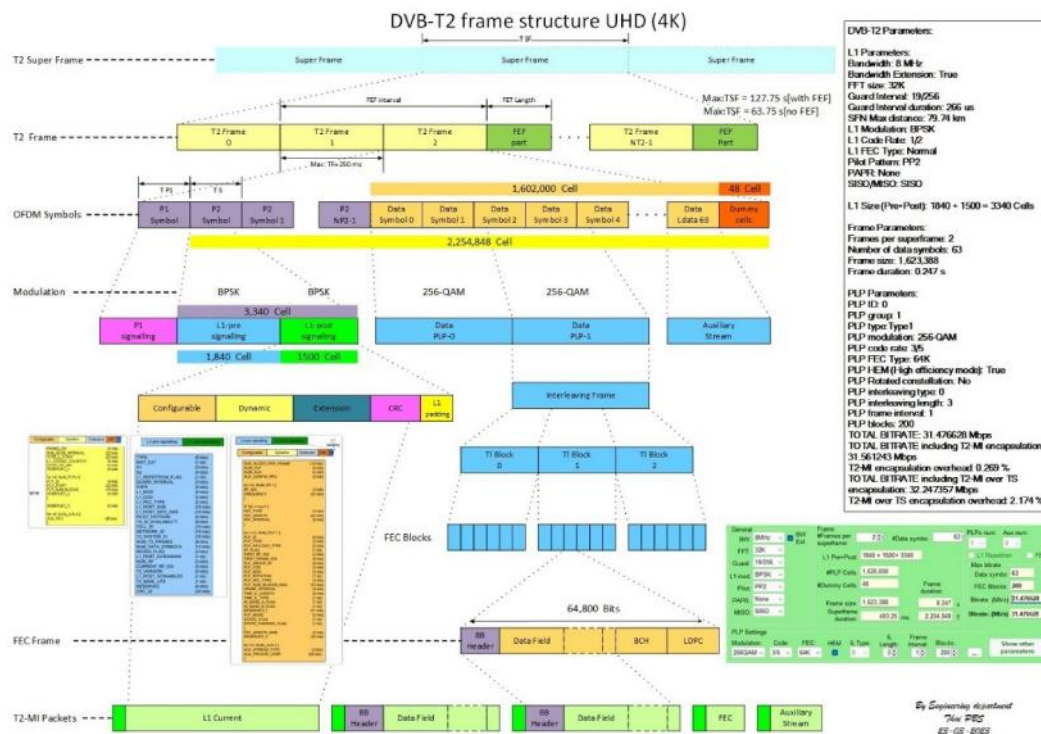
ภาพ 6 ความจุของช่องสัญญาณ 8 MHz, 32K Ext., 19/256, 256-QAM, 3/5, PP2

The screenshot displays the DVB Calculator interface with the following parameters:

- General:**
 - BW: 8MHz
 - FFT: 32K
 - Guard: 19/256
 - L1 mod: BPSK
 - Pilot: PP2
 - PAPR: None
 - MISO: SISO
- Frame:**
 - #Frames per superframe: 2
 - #Data symbols: 63
 - L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340
 - #PLP Cells: 1,620,000
 - #Dummy Cells: 48
 - Frame size: 1,623,388
 - Superframe duration: 493.25 ms
 - Frame duration: 0.247 s
- PLP Settings:**
 - Modulation: 256QAM
 - Code: 3/5
 - FEC: 64K
 - HEM: ☒
 - IL Type: 0
 - IL Length: 3
 - Frame Interval: 1
 - Blocks: 200
- Bitrate:**
 - Max bitrate: Data symbols: 63, FEC Blocks: 200, Bitrate: 31.476628 Mb/s
 - Bitrate (Mb/s): 31.476628

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

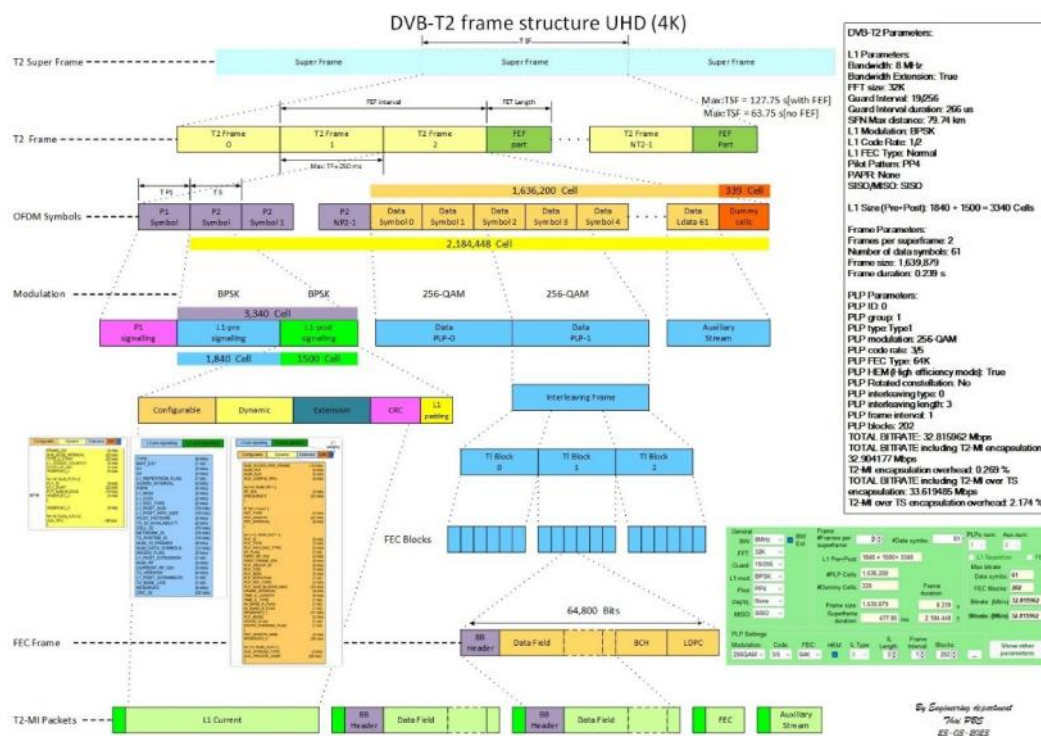
The screenshot shows the configuration interface for DVB-T2 with the following settings:

- General:** BW: 8MHz, FFT: 32K, Guard: 19/256, L1 mod: BPSK, Pilot: PP4, PAPR: None, MISO: SISO.
- Frame:** #Frames per superframe: 2, #Data symbols: 61, L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340, #PLP Cells: 1,636,200, #Dummy Cells: 339, Frame size: 1,639,879, Superframe duration: 477.85 ms, Frame duration: 0.239 s, 2,184,448 T.
- PLP Settings:** Modulation: 256QAM, Code: 3/5, FEC: 64K, HEM: [checked], IL Type: 0, IL Length: 3, Frame Interval: 1, Blocks: 202.
- PLPs num:** Aux num: 1, 0, L1 Repetition: [unchecked], FEF: [unchecked], Max bitrate: Data symbols: 61, FEC Blocks: 202, Bitrate: (Mb/s) 32.815962.

Show other parameters:

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

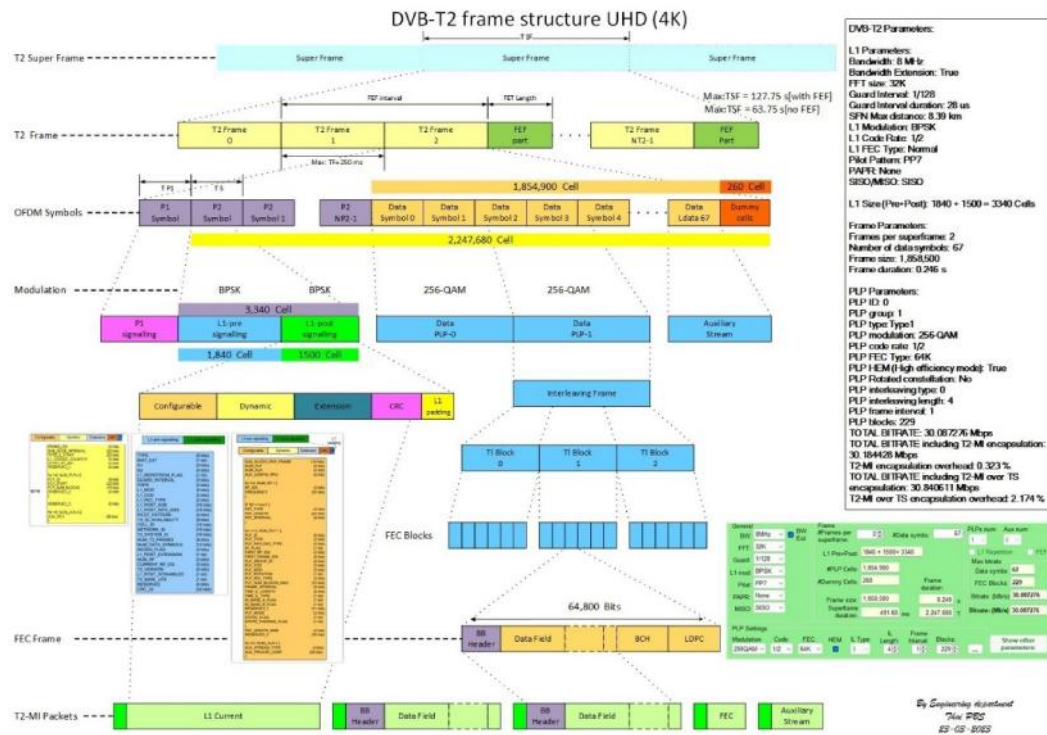
The screenshot shows the following parameters and calculations:

- General:** BW: 8MHz, FFT: 32K, Guard: 19/256, L1 mod: BPSK, Pilot: PP8, PAPR: None, MISO: SISO.
- Frame:** #Frames per superframe: 2, #Data symbols: 57, L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340, #PLP Cells: 1,579,500, #Dummy Cells: 24, Frame size: 1,582,864, Superframe duration: 447.05 ms, Frame duration: 0.224 s, 2,043,648 T.
- PLPs num:** 1, Aux num: 0.
- Max bitrate:** Data symbols: 57, FEC Blocks: 195, Bitrate: (Mb/s) 33.861329.
- PLP Settings:** Modulation: 256QAM, Code: 3/5, FEC: 64K, HEM: [checked], IL Type: 0, IL Length: 3, Frame Interval: 1, Blocks: 195.

จากภาพแสดงผลการคำนวณของ DVB-T2 ในช่องสัญญาณ 8 MHz กำหนดให้ส่งโน้มนัด 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

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

General

BW: 8MHz ☒ BW Ext

FFT: 32K

Guard: 1/128

L1 mod: BPSK

Pilot: PP7

PAPR: None

MISO: SISO

Frame

#Frames per superframe: 2 #Data symbols: 67

L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340

#PLP Cells: 1,854,900

#Dummy Cells: 260

Frame size: 1,858,500

Superframe duration: 491.68 ms

Frame duration: 0.246 s

2,247,680 T

PLPs num: 1 **Aux num:** 0

☐ L1 Repetition ☐ FEF

Max bitrate

Data symbols: 67

FEC Blocks: 229

Bitrate: (Mb/s) 36.155676

Bitrate: (Mb/s) 36.155676

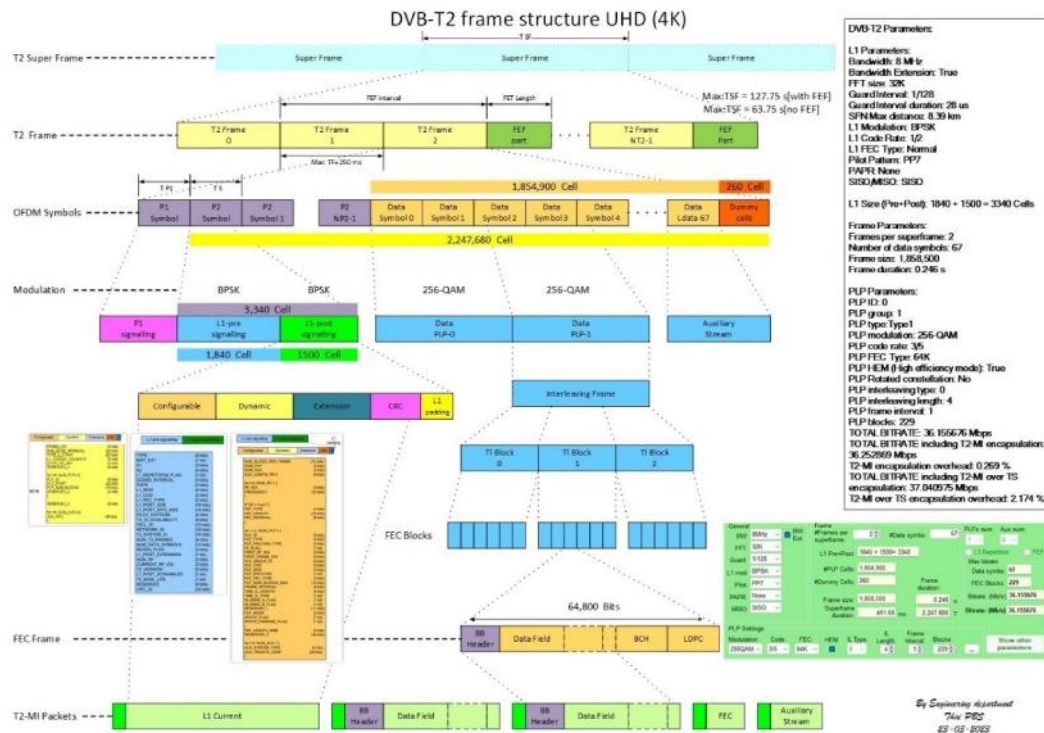
PLP Settings

Modulation: 256QAM Code: 3/5 FEC: 64K HEM: ☒ IL Type: 0 IL Length: 4 Frame Interval: 1 Blocks: 229

Show other parameters:

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

General

BW: 8MHz ☒ BW Ext

FFT: 32K

Guard: 1/128

L1 mod: BPSK

Pilot: PP7

PAPR: None

MISO: SISO

Frame

#Frames per superframe: 2 #Data symbols: 67

L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340

#PLP Cells: 1,854,900

#Dummy Cells: 260

Frame size: 1,858,500

Superframe duration: 491.68 ms

Frame duration: 0.246 s

2,247,680 T

PLPs num: 1 **Aux num:** 0

☐ L1 Repetition ☐ FEF

Max bitrate

Data symbols: 67

FEC Blocks: 229

Bitrate: (Mb/s) 40.231243

Bitrate: (Mb/s) 40.231243

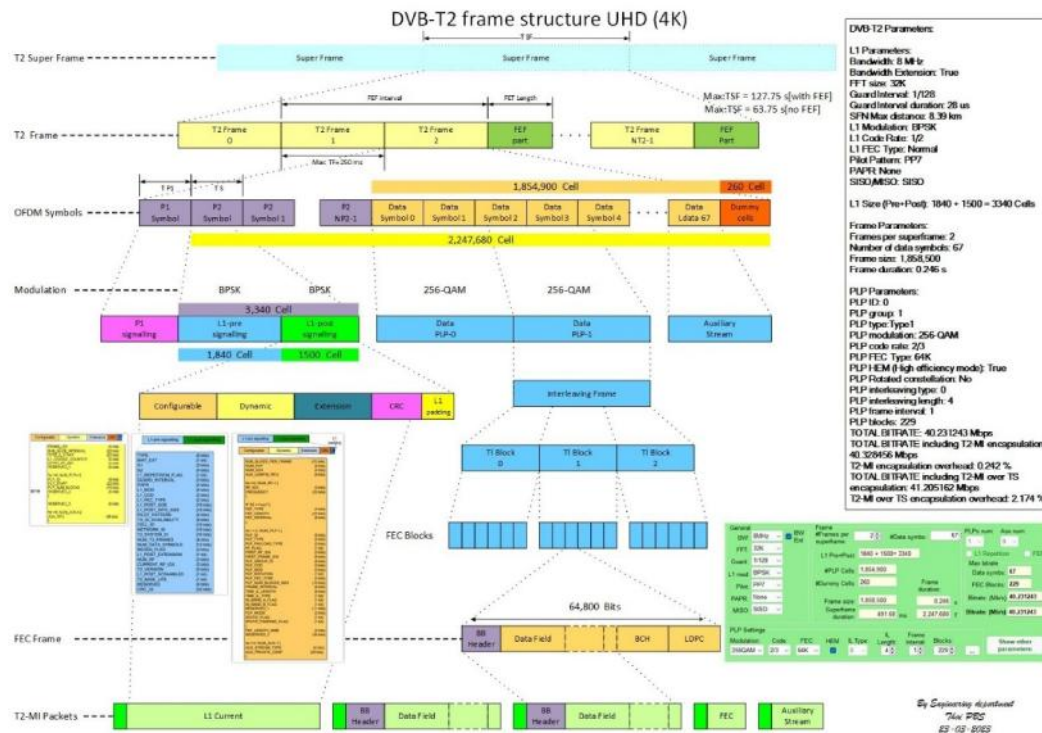
PLP Settings

Modulation: 256QAM Code: 2/3 FEC: 64K HEM: ☒ IL Type: 0 IL Length: 4 Frame Interval: 1 Blocks: 229

Show other parameters:

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

General

BW: 8MHz ☒ BW Ext

FFT: 32K

Guard: 1/128

L1 mod: BPSK

Pilot: PP7

PAPR: None

MISO: SISO

Frame

#Frames per superframe: 2

#Data symbols: 67

L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340

#PLP Cells: 1,854,900

#Dummy Cells: 260

Frame size: 1,858,500

Superframe duration: 491.68 ms

Frame duration: 0.246 s

2,247,680 T

PLP Settings

Modulation: 256QAM

Code: 3/4

FEC: 64K

HEM: ☒

IL Type: 0

IL Length: 4

Frame Interval: 1

Blocks: 229

PLPs num: 1

Aux num: 0

☐ L1 Repetition ☐ FEF

Max bitrate

Data symbols: 67

FEC Blocks: 229

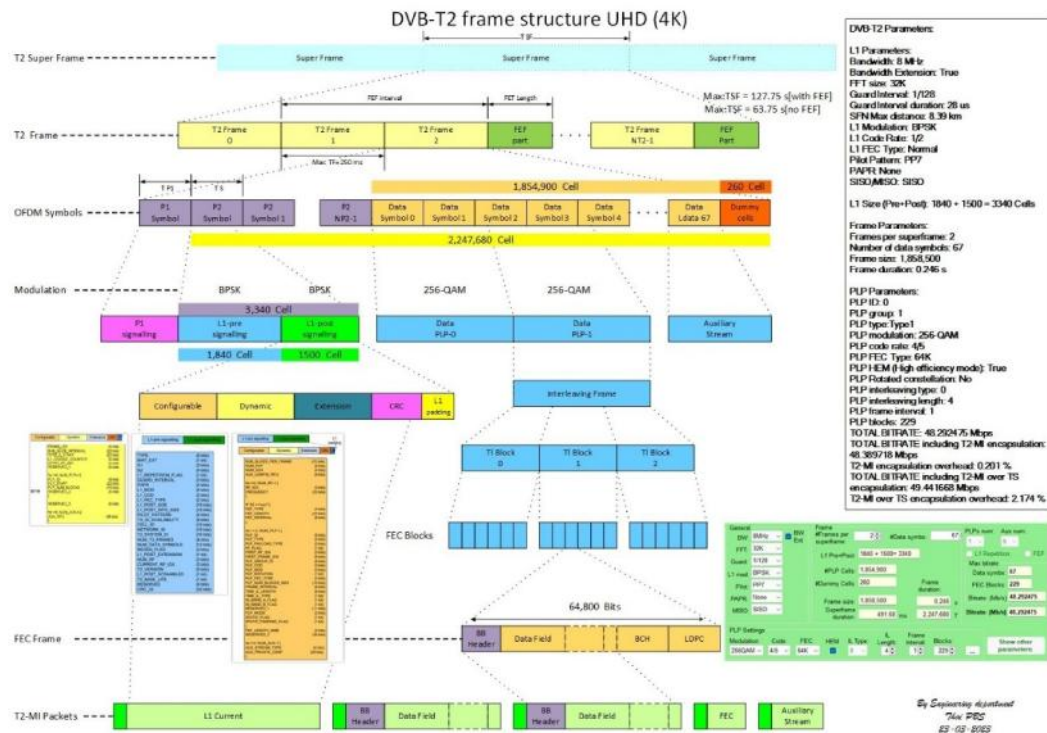
Bitrate: (Mb/s) 45.258275

Bitrate: (Mb/s) 45.258275

Show other parameters:

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

General

BW: 8MHz ☒ BW Ext

FFT: 32K

Guard: 1/128

L1 mod: BPSK

Pilot: PP7

PAPR: None

MISO: SISO

Frame

#Frames per superframe: 2

#Data symbols: 67

L1 Pre+Post: 1840 + 1500 = 3340

#PLP Cells: 1,854,900

#Dummy Cells: 260

Frame duration: 0.246 s

Frame size: 1,858,500

Superframe duration: 491.68 ms

2,247,680 T

PLPs num: 1

Aux num: 0

☐ L1 Repetition ☐ FEF

Max bitrate

Data symbols: 67

FEC Blocks: 229

Bitrate: (Mb/s) 50.345243

Bitrate: (Mb/s) 50.345243

PLP Settings

Modulation: 256QAM

Code: 5/6

FEC: 64K

HEM: ☒

IL Type: 0

IL Length: 4

Frame Interval: 1

Blocks: 229

Show other parameters:

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 (μ S)	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

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
ระยะทางสูงสุดของเสาส่ง (km)	79.74		

หมายเหตุ

* ค่าปรับตั้งที่อุปกรณ์ยอมให้กำหนด

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

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
ระยะทางสูงสุดของเสาส่ง (km)	8.39					

หมายเหตุ

* ค่าปรับตั้งที่อุปกรณ์ยอมให้กำหนด

การรับสัญญาณ (Reception)

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

สายอากาศมีคุณลักษณะที่ต้องการทางเทคนิคตาม กสทช. มส. 4004-2561 มาตรฐานทางเทคนิคของสายอากาศรับสัญญาณสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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

เครื่องรับสัญญาณมีคุณลักษณะที่ต้องการทางเทคนิคที่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในระบบ Second Generation Digital Terrestrial 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 เปอร์เซนต์ 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	$U_{\min}$	dB μ V	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	$\Phi_{\min}$	dBW/m ²	-105.33
Min. equivalent field strength at receiving location	$E_{\min}$	dB μ V/m	40.47

ตาราง 27 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K บนโครงข่ายปัจจุบัน (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
Allowance for man-made noise	P_{mmn}	dB	0
Height above ground level (a.g.l.) of receiving 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 μ V/m	49.49
Channel frequency	f_1	MHz	482.00
Min. median power flux density at channel frequency	FS_1	dB μ V	46.89

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}	dB μ V	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}	dB μ V/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
Height above ground level (a.g.l.) of receiving 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 μ 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 μ V	51.30	50.90	50.26

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	$U_{\min}$	dB μ V	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	$\Phi_{\min}$	dBW/m ²	-104.21	-102.06	-100.48	-98.44	-96.94	-96.12
Min. equivalent field strength at receiving location	$E_{\min}$	dB μ V/m	41.59	43.74	45.32	47.36	48.86	49.68

ตาราง 29 ค่าพารามิเตอร์ของการรับสัญญาณ 4K ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า					
Allowance for man-made noise	P_{mmn}	dB	0	0	0	0	0	0
Height above ground level (a.g.l.) of receiving 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}	dB μ V/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	dB μ V	48.01	50.16	51.74	53.78	55.28	56.10

บท 3

อุปกรณ์และระบบ

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ด้วยเทคโนโลยี 4K ระยะแรกจาก สถานีส่งสัญญาณ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ถนนวิภาวดีรังสิต เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ช่องความถี่ 22 ย่านความถี่ UHF (Ultra High Frequency) มีกำลังส่งออกอากาศ 767 วัตต์ รายละเอียดตาม ตาราง

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

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 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทร์เนอร์ ยี่ อินสทรุเมนต์ 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

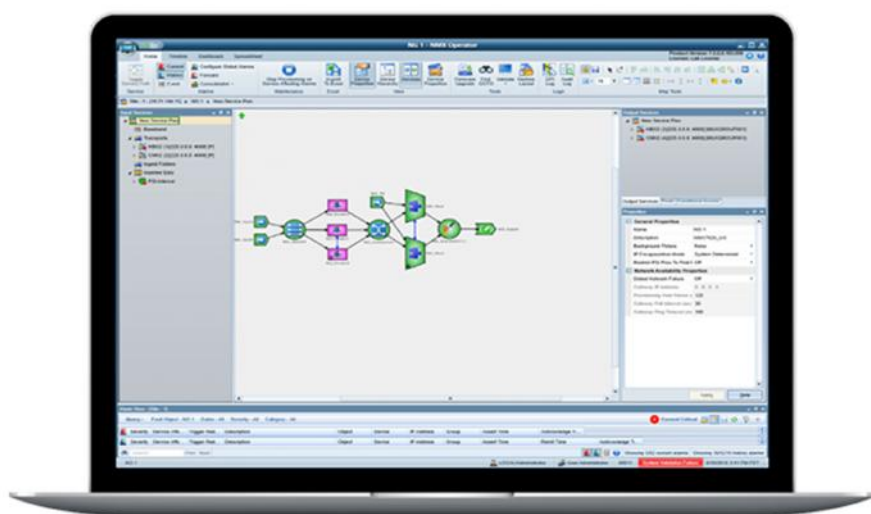
ภาพ 25 ProStream X – Harmonic Multiplexer



Network Management System

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

ภาพ 26 Harmonic NMX บน Laptop



เครื่องส่งโทรทัศน์

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

ภาพ 27 เครื่องส่ง Tredess รุ่น MP-600W



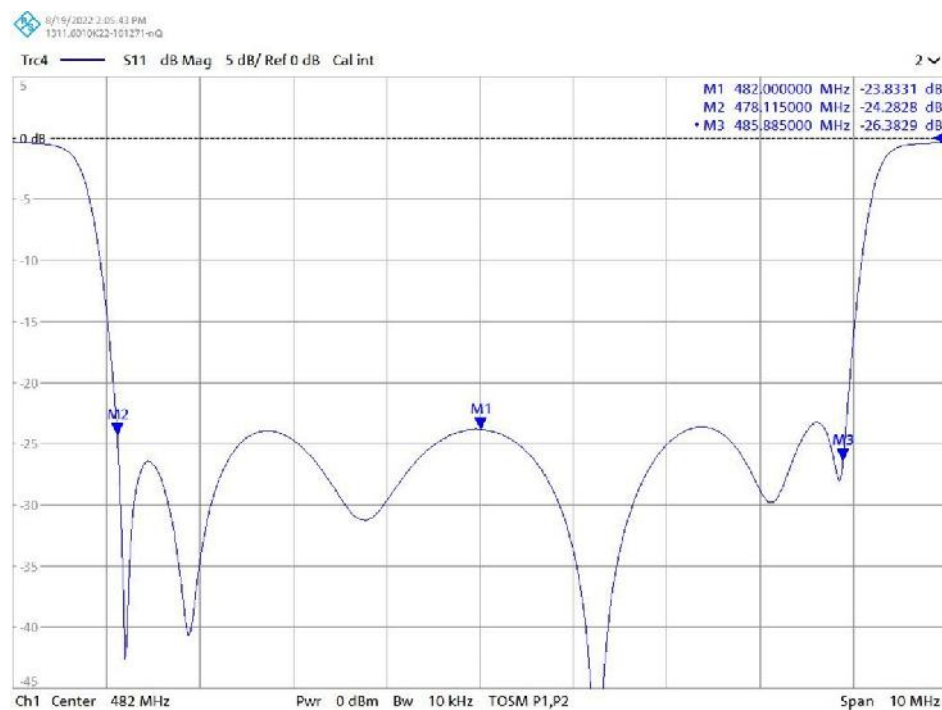
ติดตั้งแบนด์พาสฟิลเตอร์ (bandpass filter) ยี่ห้อ Spinner หมายเลขพาร์ท (part number) BN 616663C1031 มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก

ภาพ 28 Spinner Bandpass Filter PN BN 616663C1031



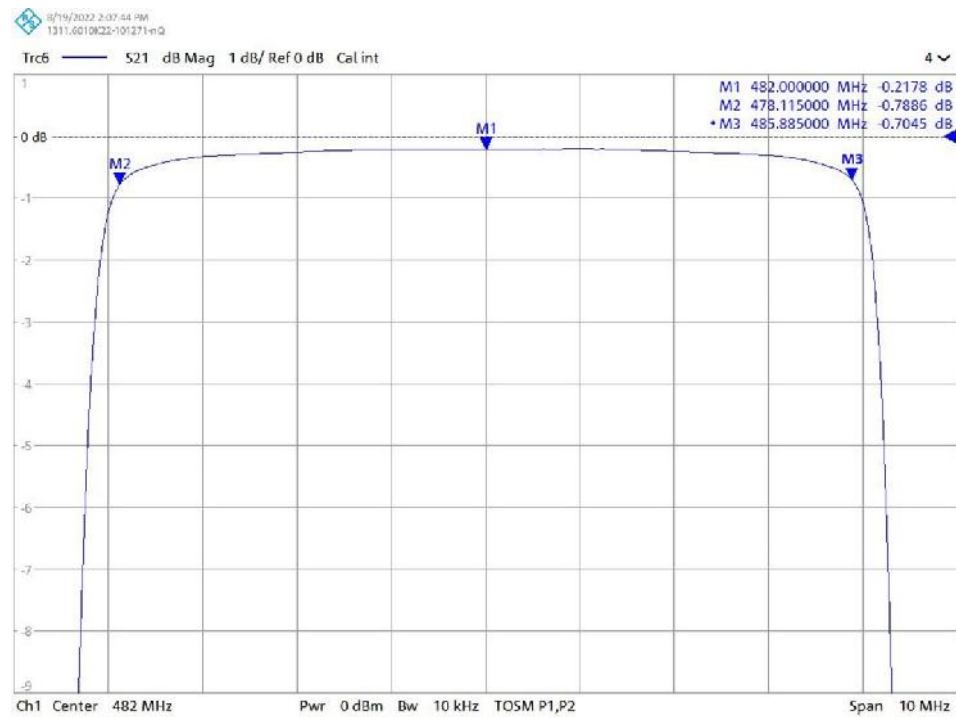
การปรับตั้งฟิลเตอร์มีรายละเอียดตามตาราง

ภาพ 29 Return loss ของฟิลเตอร์ ช่อง 22 ที่ 482 MHz



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

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 คุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ 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

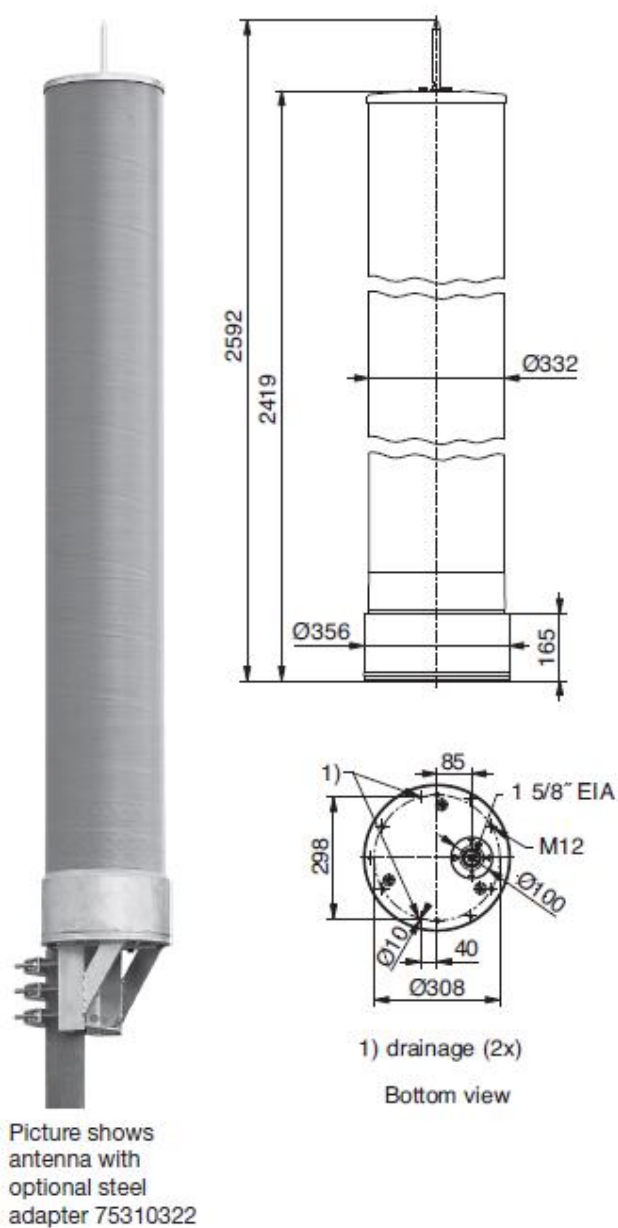
ภาพ 32 ชุดเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์



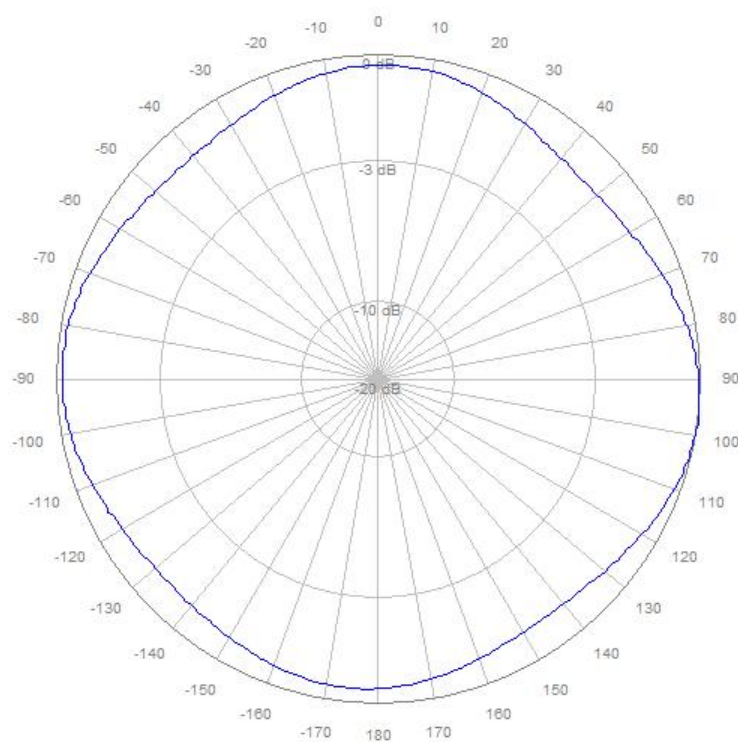
สายอากาศ

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

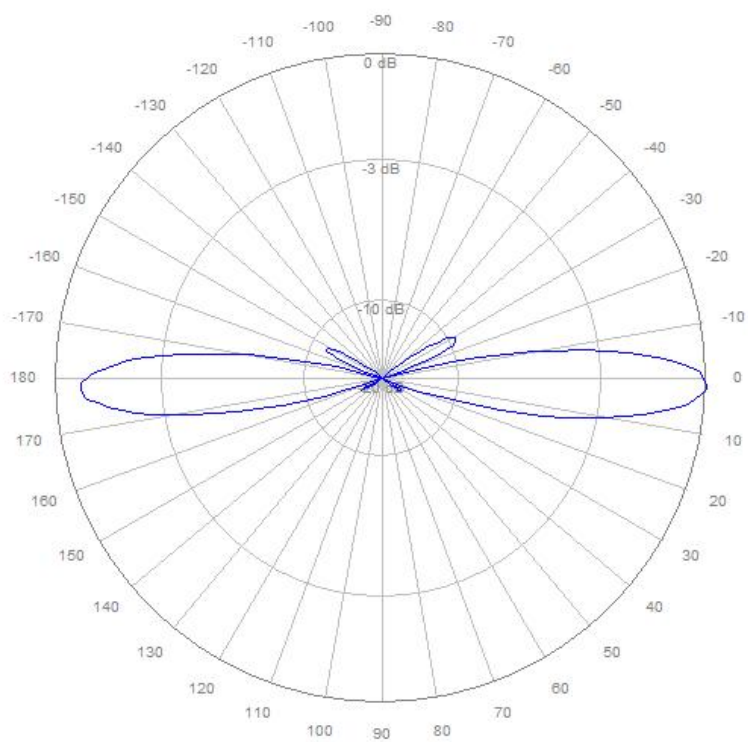
ภาพ 33 ลักษณะและมิติของสายอากาศ



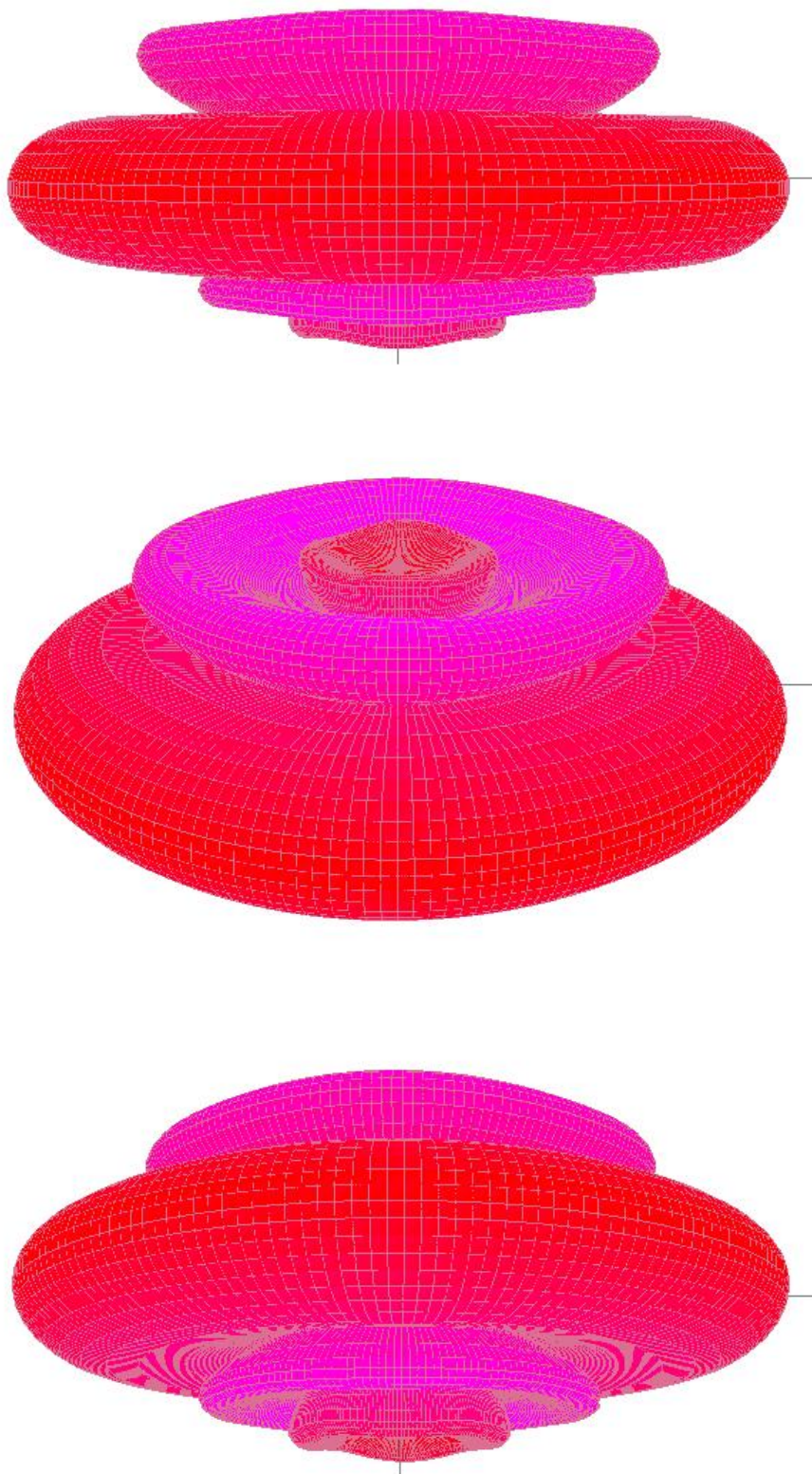
ภาพ 34 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวนอนที่ 482 MHz



ภาพ 35 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแนวตั้งที่ 482 MHz



ภาพ 36 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติที่ 482 MHz



สายนำสัญญาณ

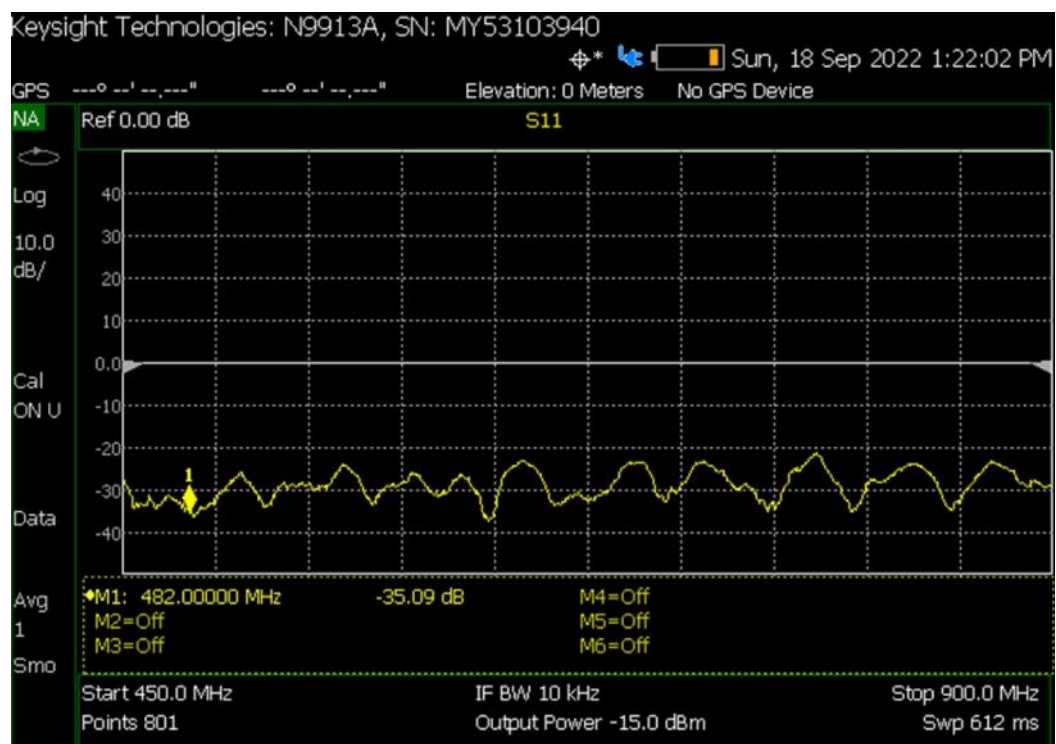
สายนำสัญญาณตั้งยี่ห้อ RFS รุ่น LCF78-50JA-A7 สายโคแอกเซียลโฟมไดอิเล็กตริกความสูญเสียต่ำคุณภาพดี (premium attenuation low-loss foam-dielectric coaxial cable) ขนาด 7/8" มีคุณลักษณะทางเทคนิคตามภาคผนวก ติดตั้งจากสายอากาศมายังเครื่องส่งโทรทัศน์ มีระยะสายโดยรวมประมาณ 130 มีค่าความสูญเสียในสายนำสัญญาณประมาณ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

ภาพ 37 สายนำสัญญาณ RFS 7/8" CELLFLEX



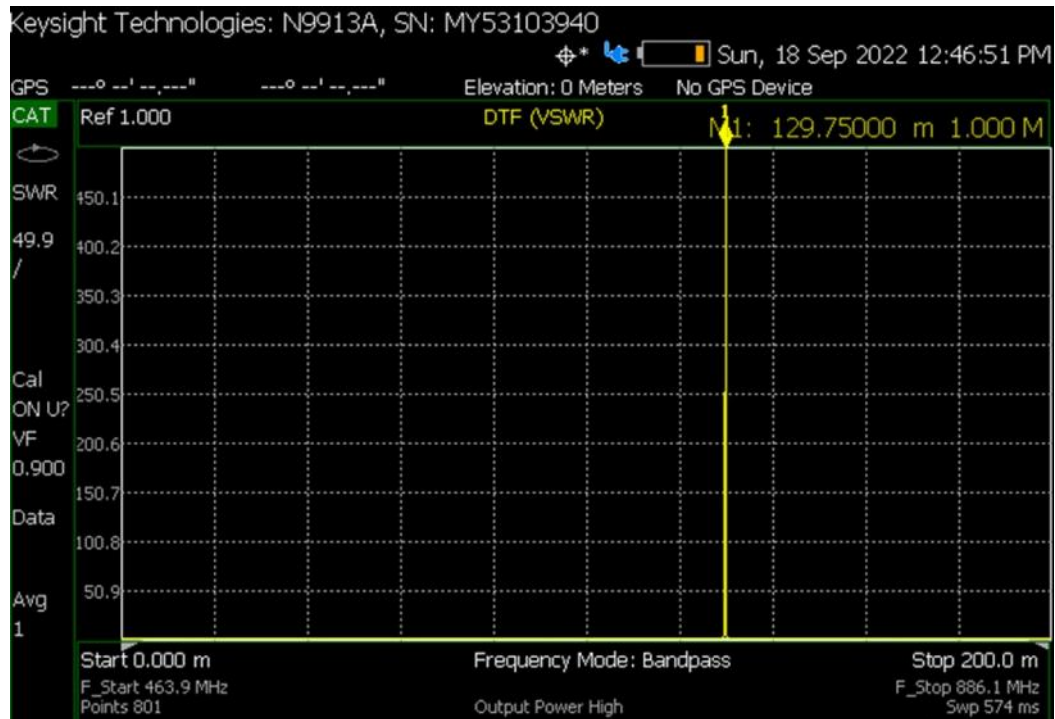
7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

ภาพ 38 Return Loss ช่อง 22 ของระบบสายอากาศ



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

ภาพ 39 ความยาวสายนำสัญญาณ LCF 7/8 – 50 JA

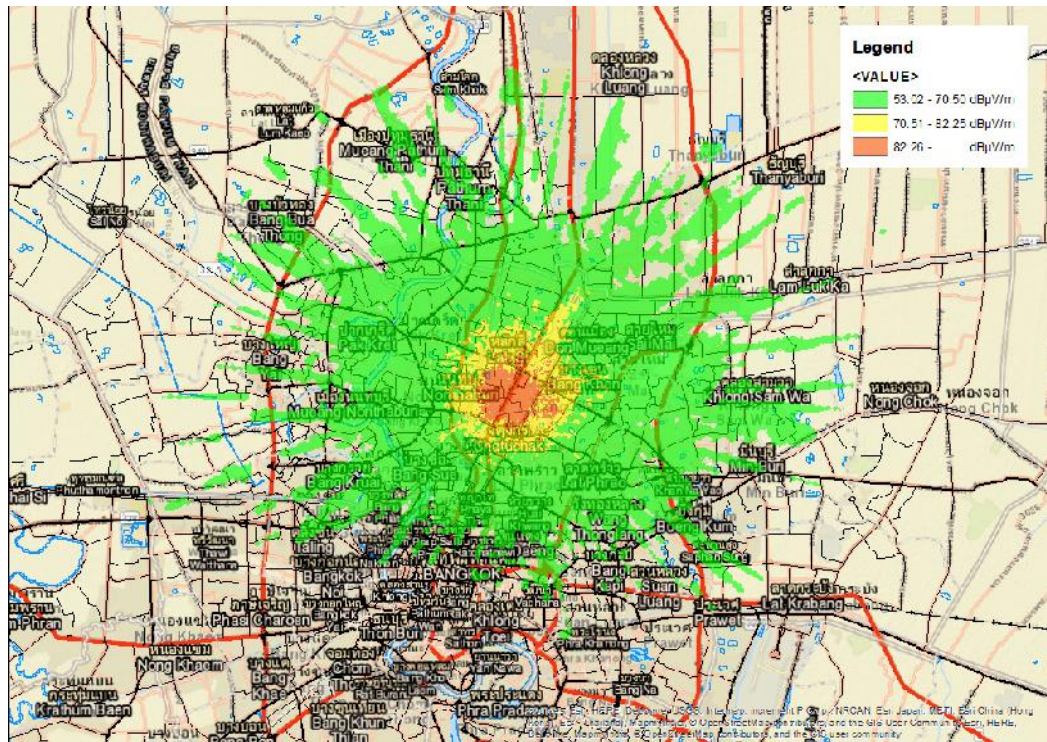


ภาพแสดงความยาวสายนำสัญญาณ LCF 7/8 – 50 JA ของระบบสายอากาศที่ติดตั้งใน
สถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ มีค่าประมาณ 130 เมตร

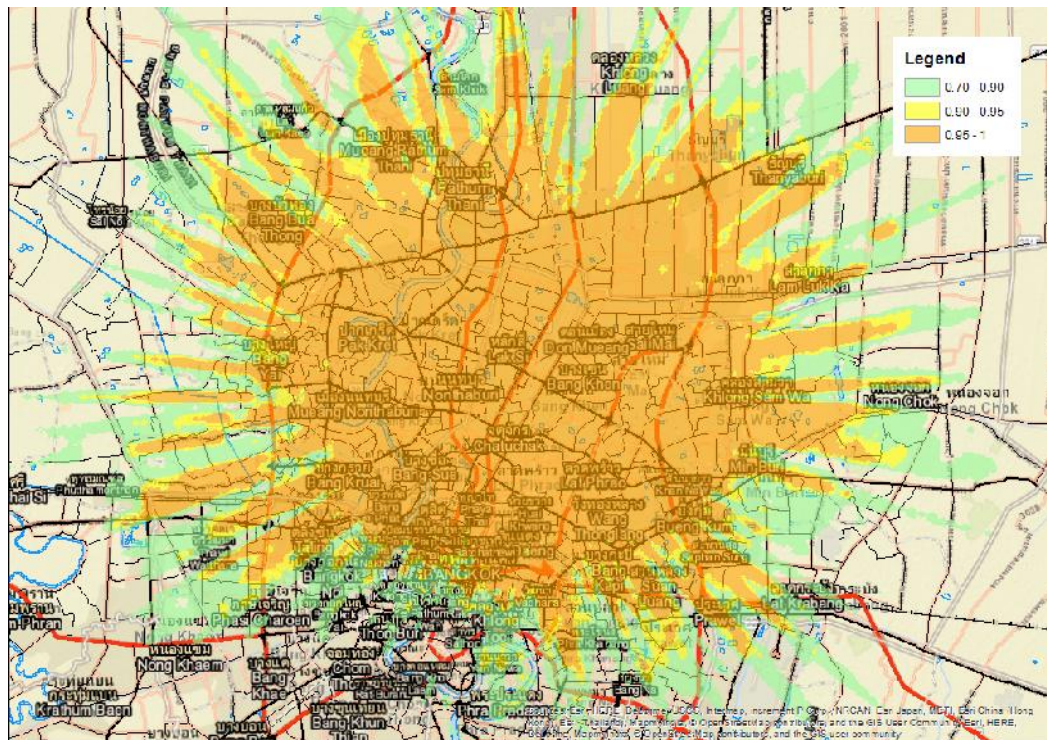
การจำลองแบบ

การจำลองแบบการกระจายคลื่นจากสถานีส่งสัญญาณ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ด้วย
ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผนโครงข่าย โดยใช้โปรแกรม Progira
ได้ผลการจำลองแบบดังภาพ

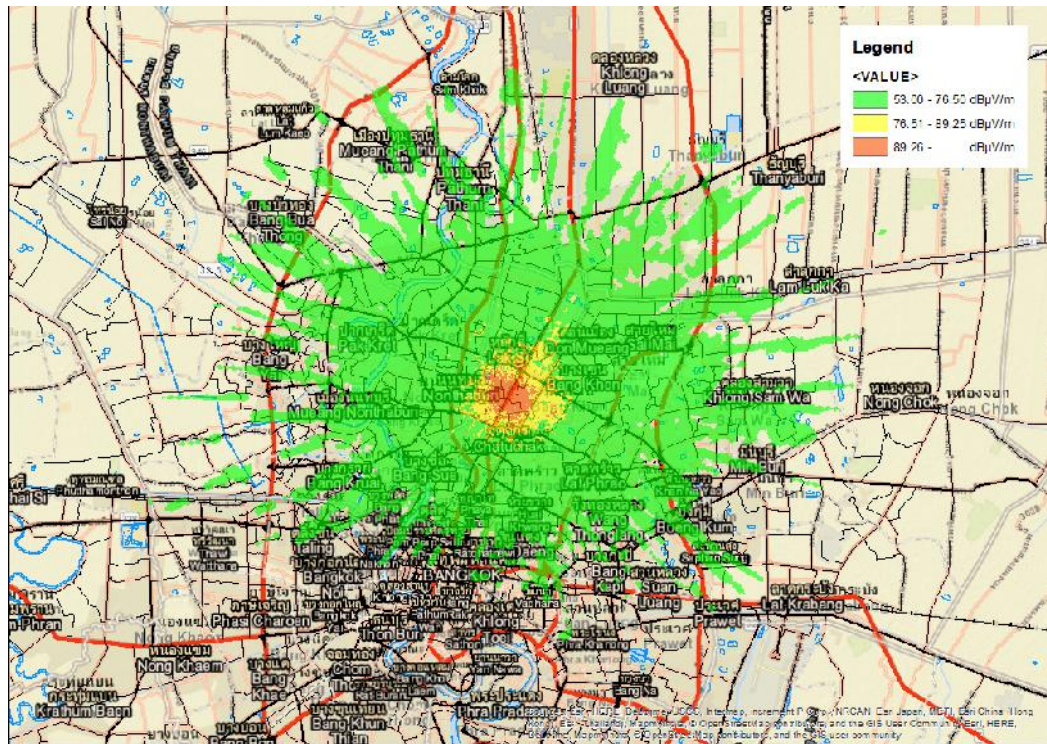
ภาพ 40 การส่งสัญญาณ FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2



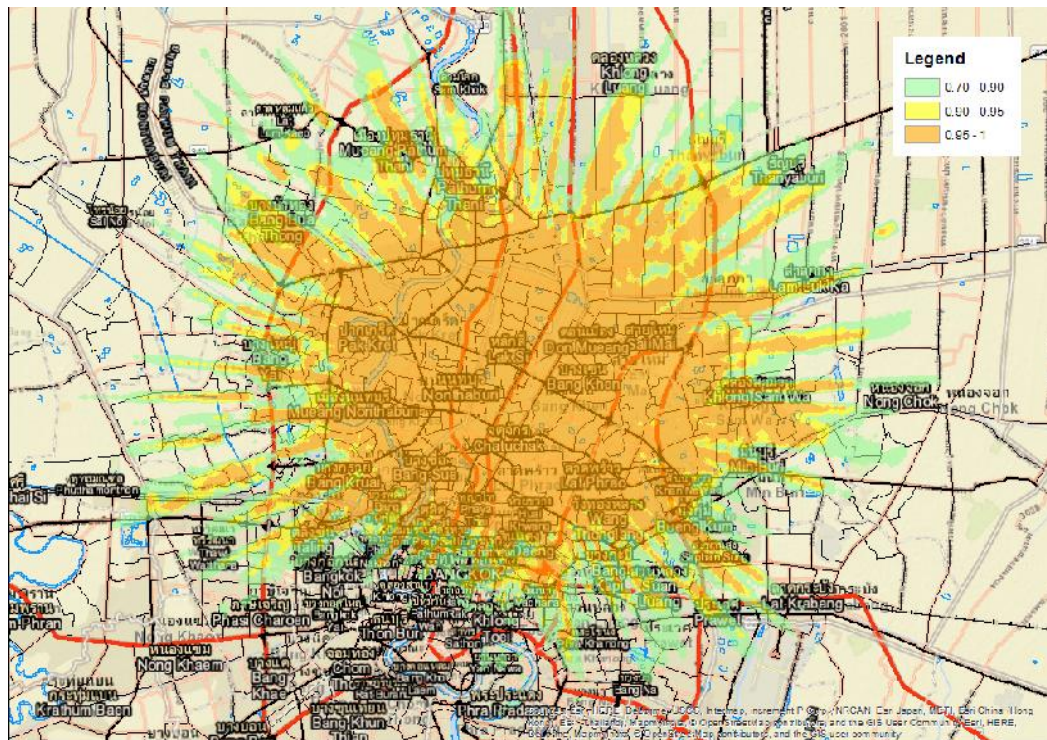
ภาพ 41 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 16K Ext., GIF 19/128, MOD. 64-QAM, FEC 3/5, PP2



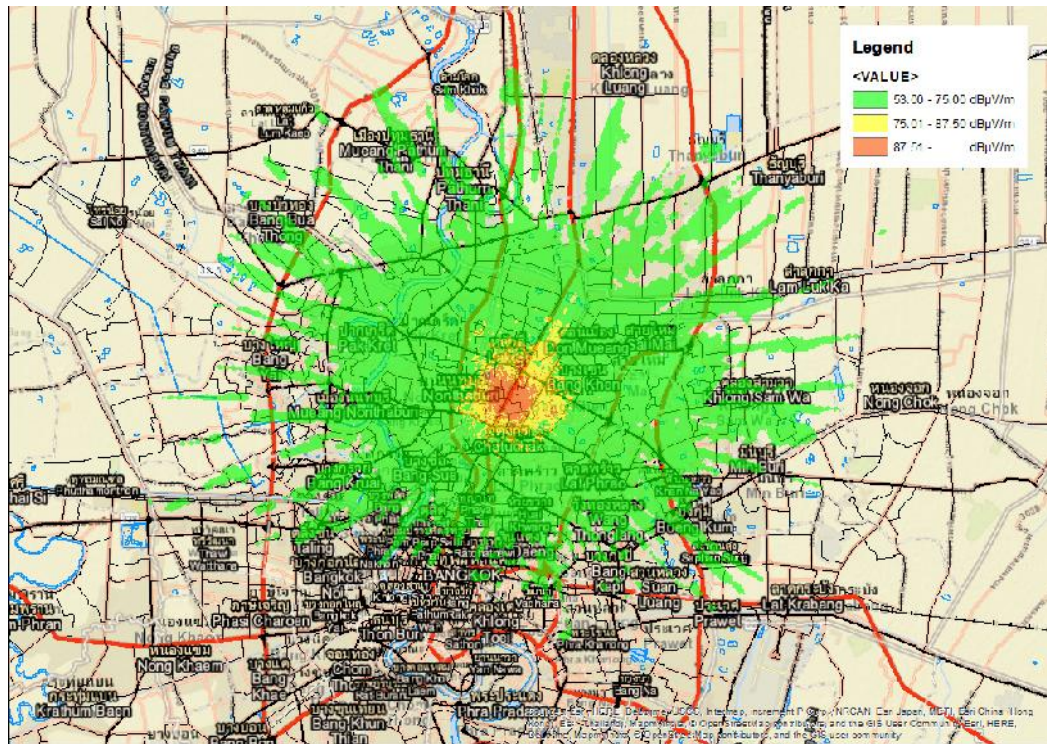
ภาพ 42 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2



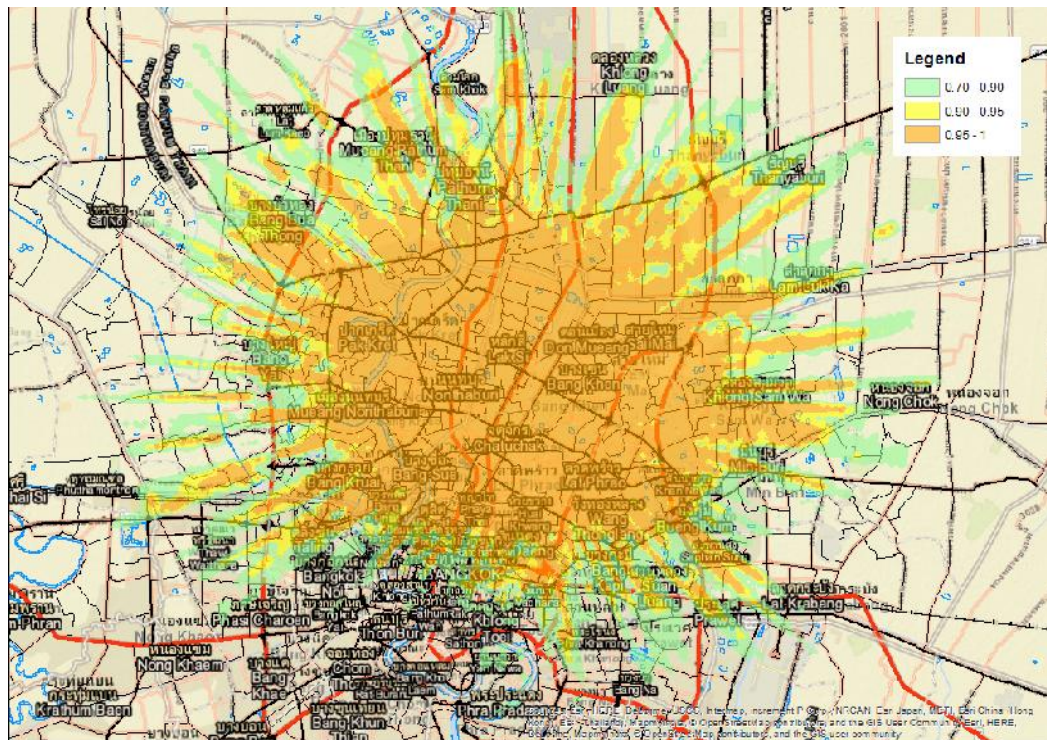
ภาพ 43 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP2



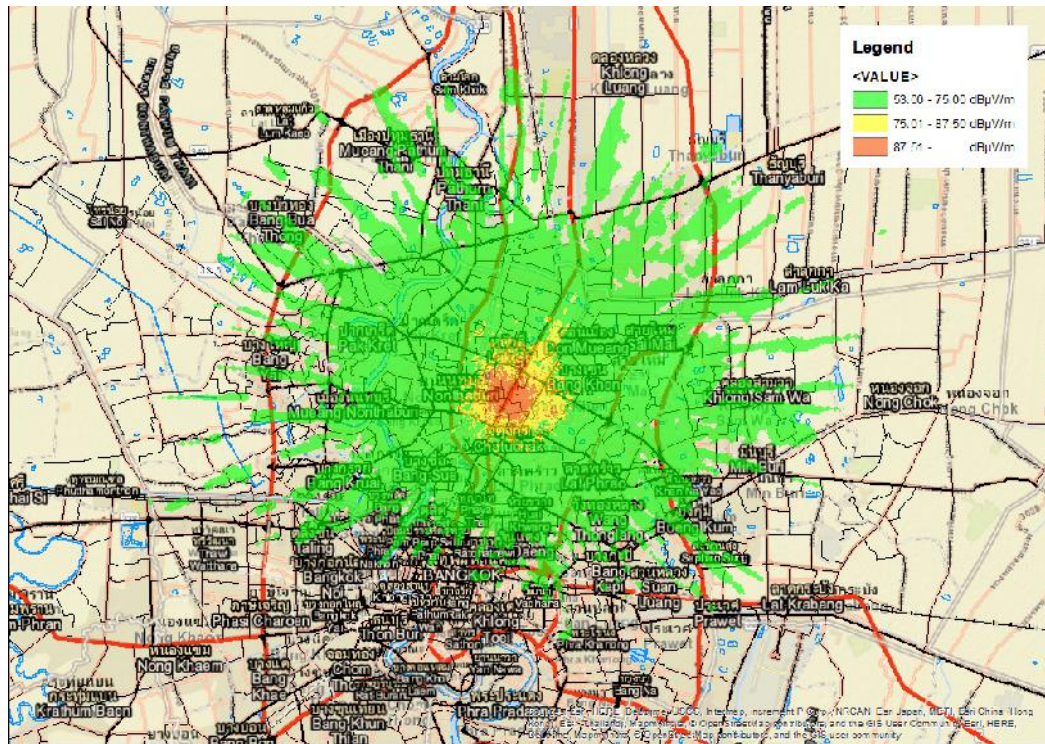
ภาพ 44 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4



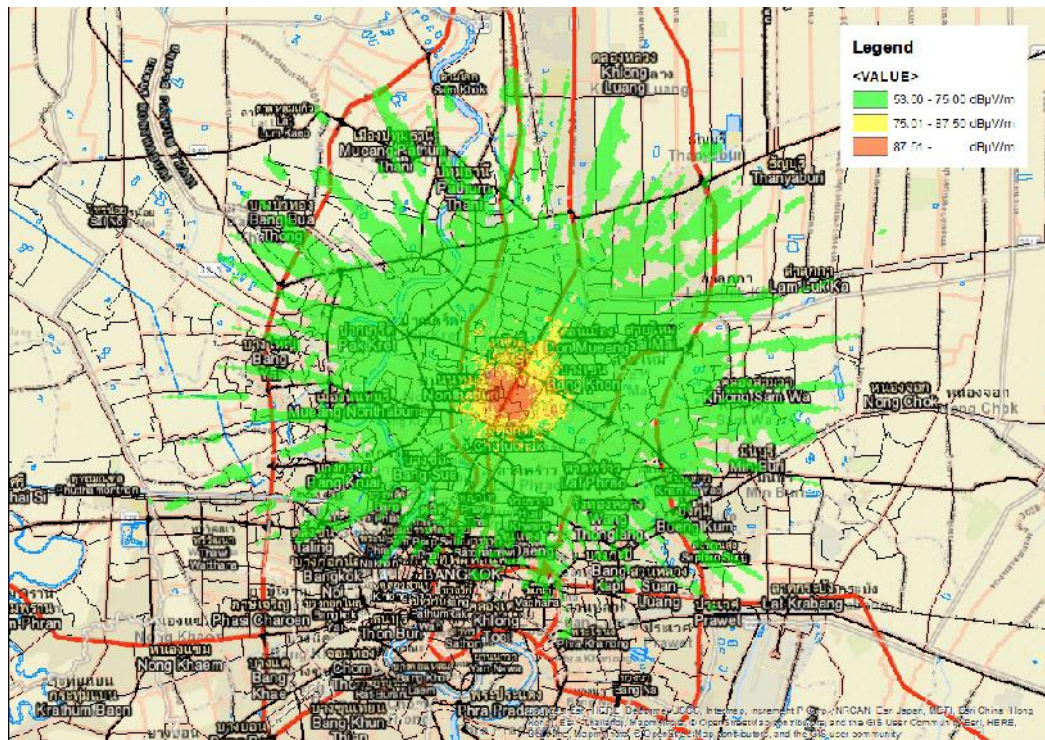
ภาพ 45 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP4



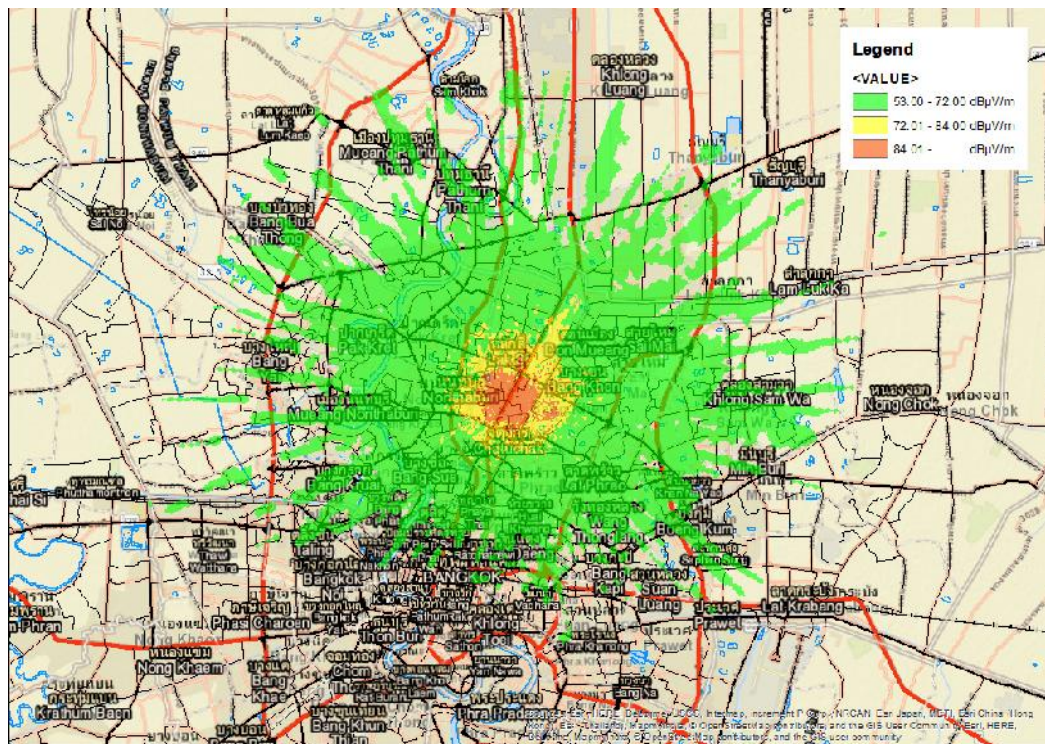
ภาพ 46 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8



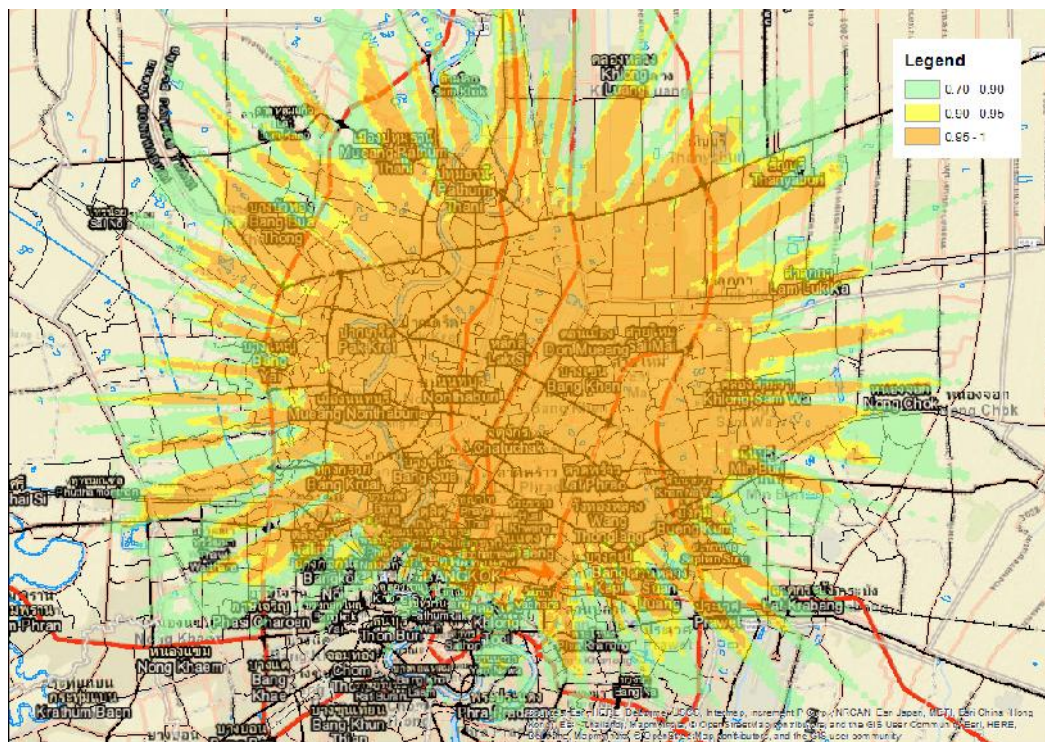
ภาพ 47 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 19/256, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP8



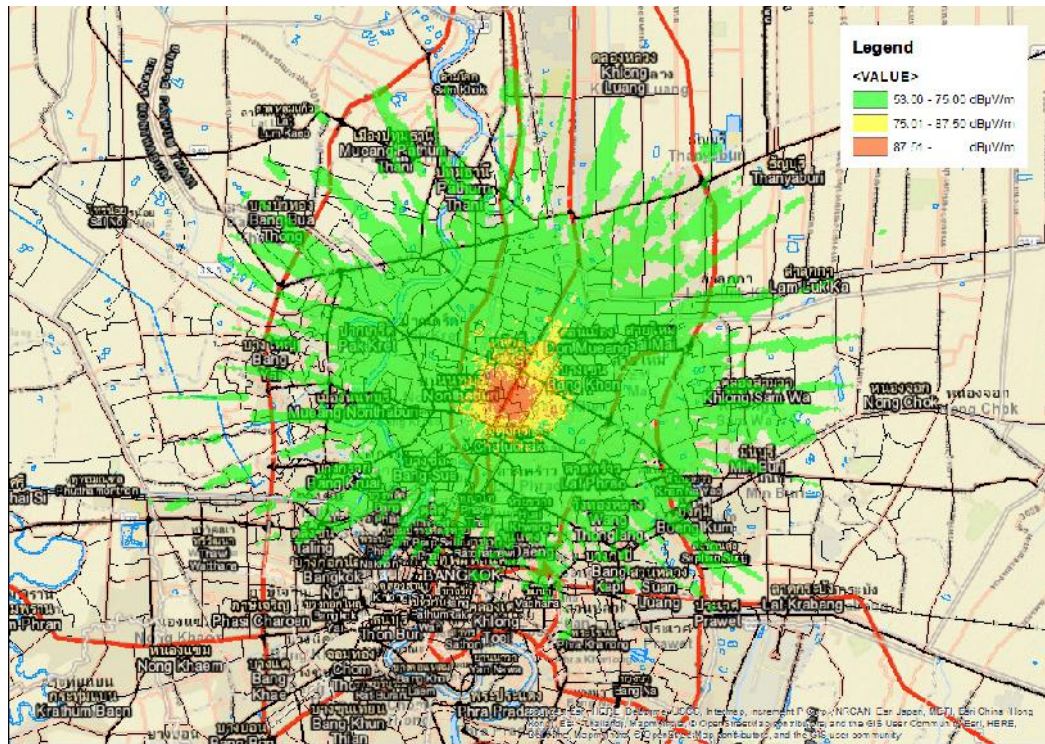
ภาพ 48 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7



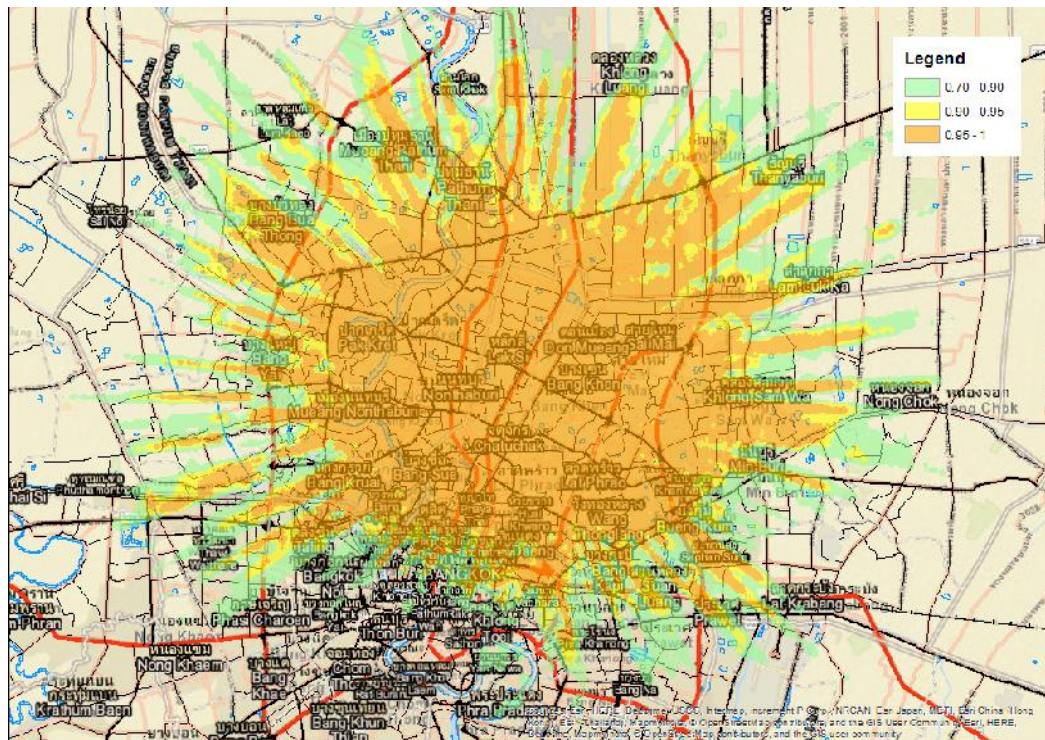
ภาพ 49 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 1/2, PP7



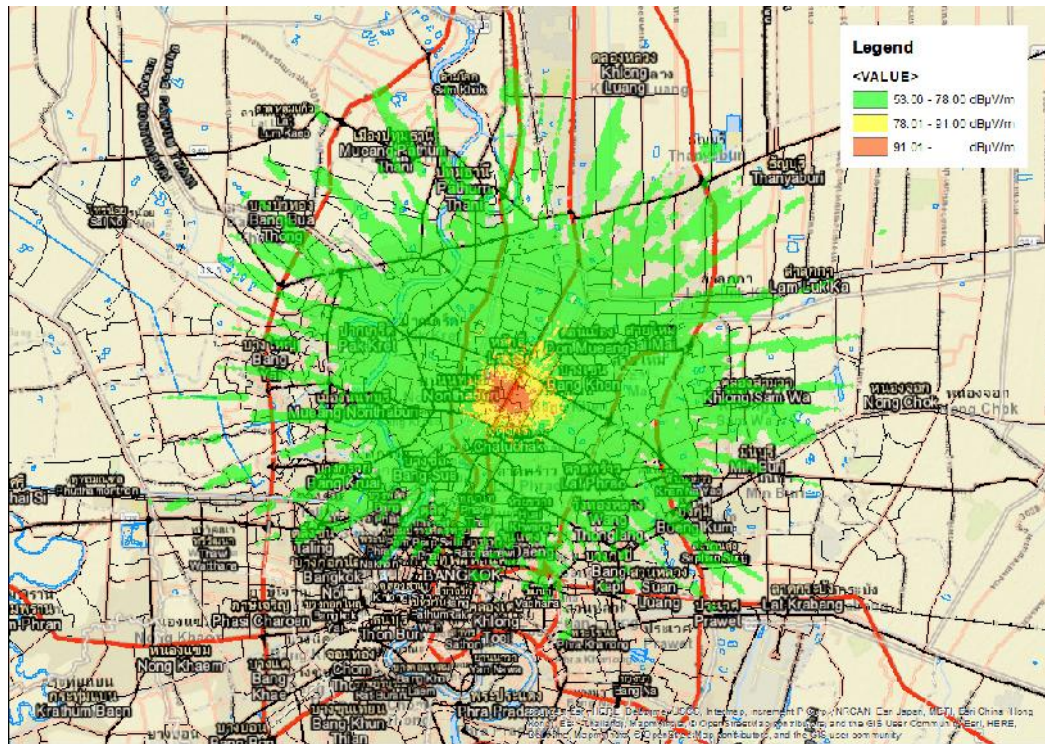
ภาพ 50 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7



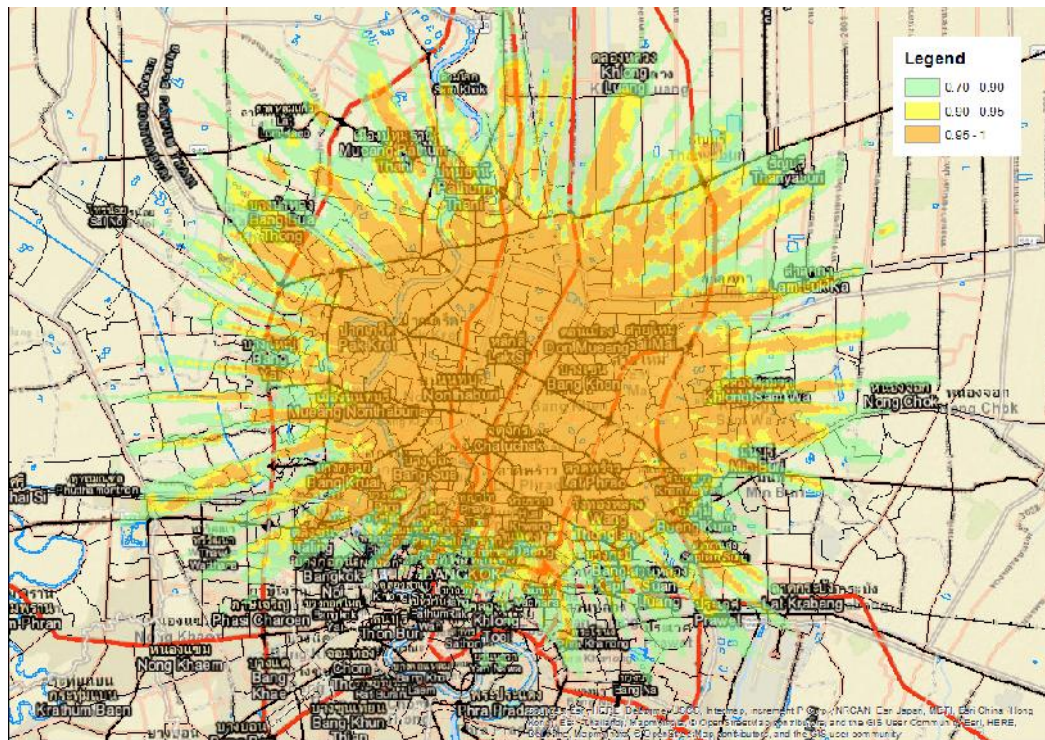
ภาพ 51 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/5, PP7



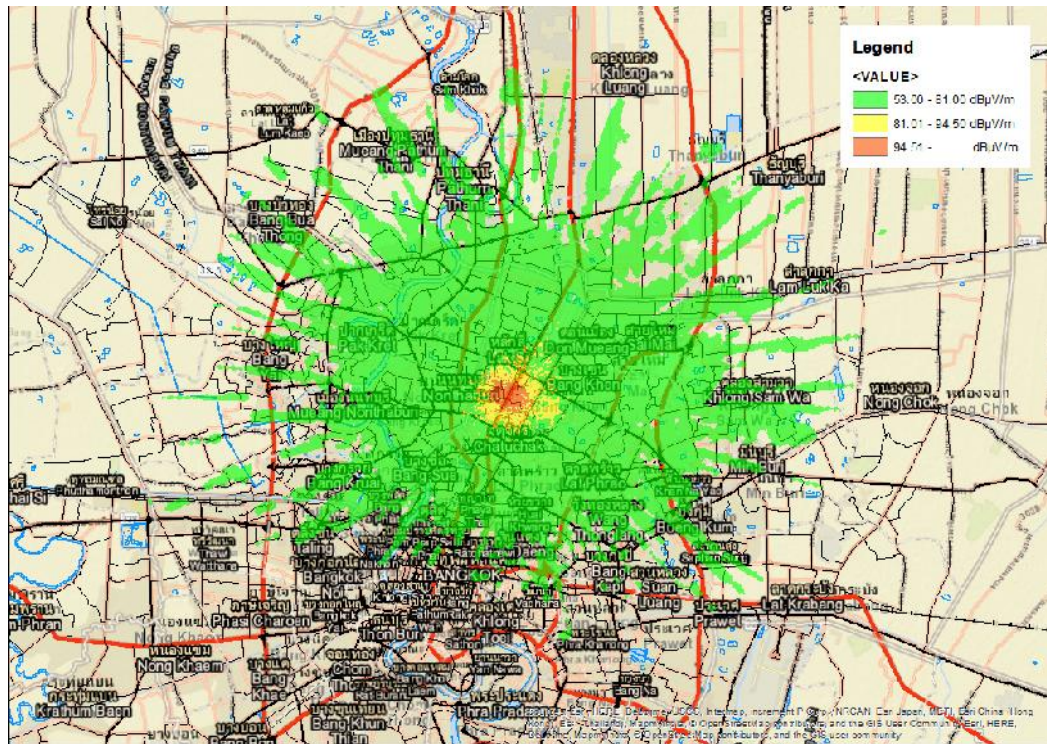
ภาพ 52 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7



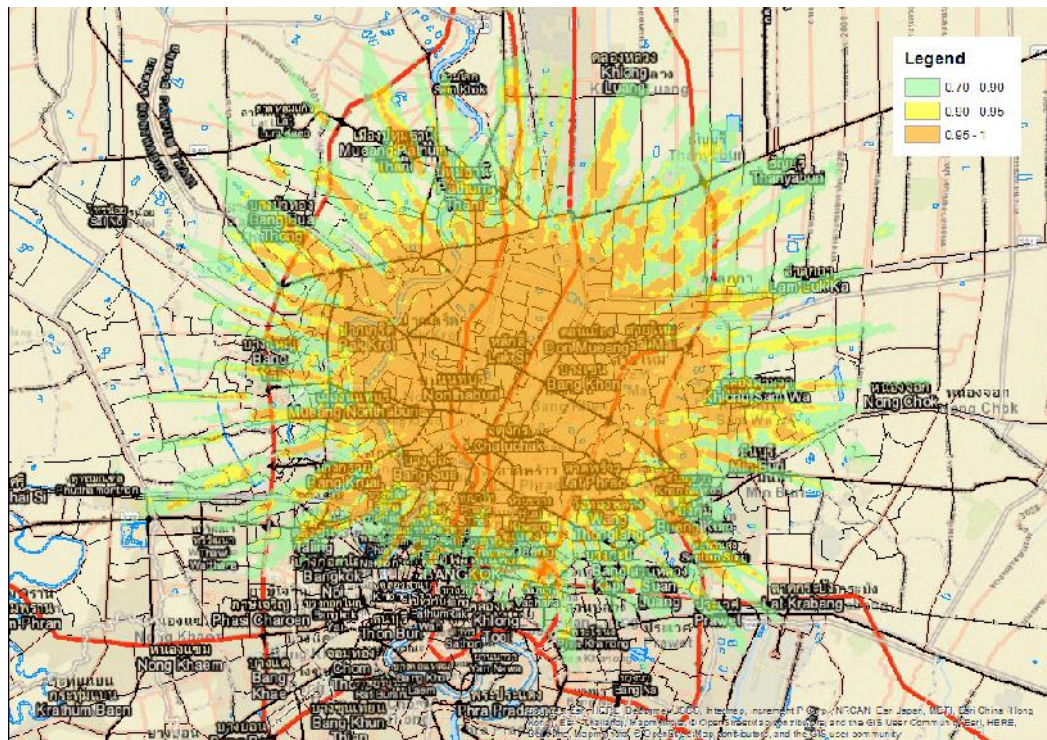
ภาพ 53 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 2/3, PP7



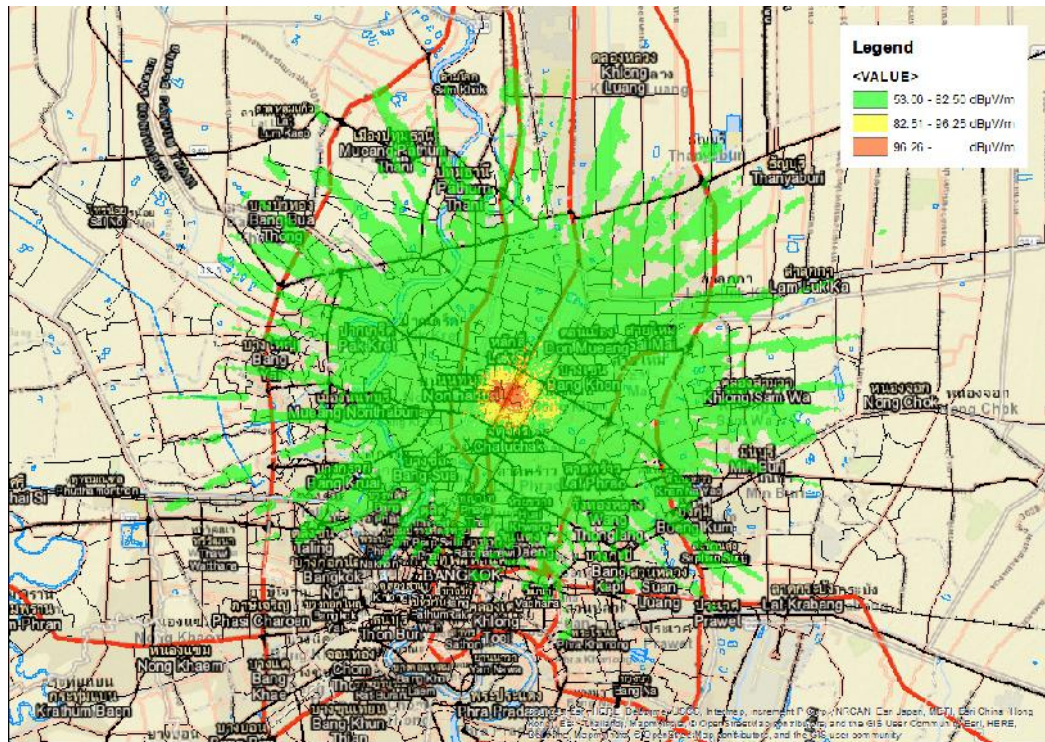
ภาพ 54 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7



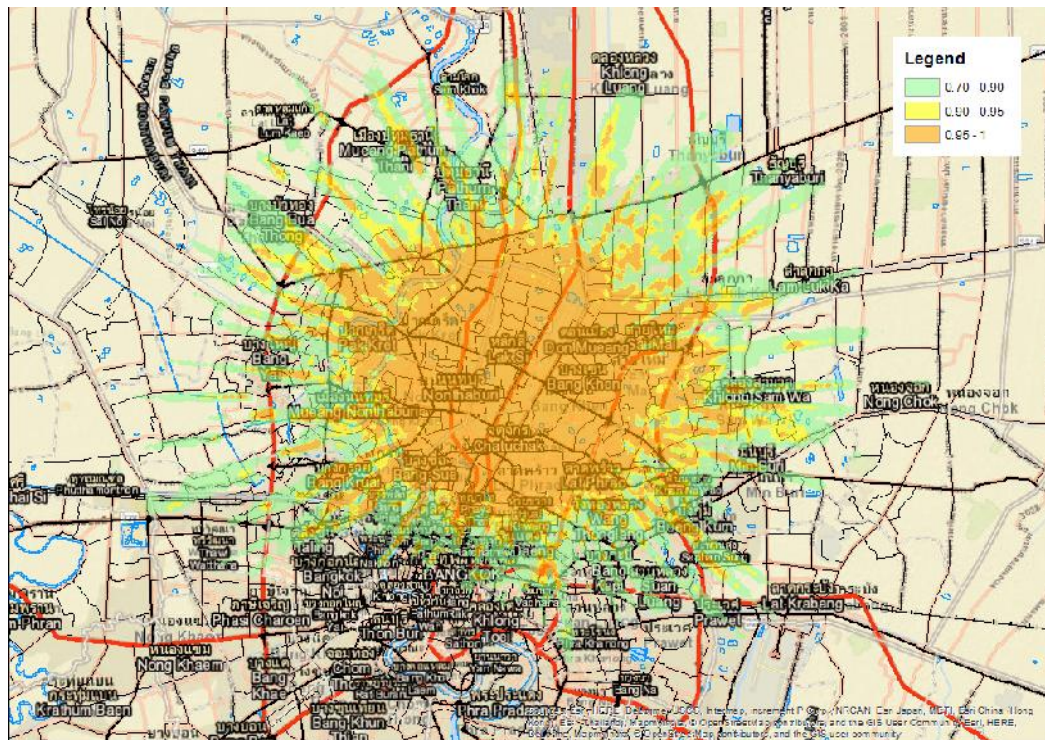
ภาพ 55 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 3/4, PP7



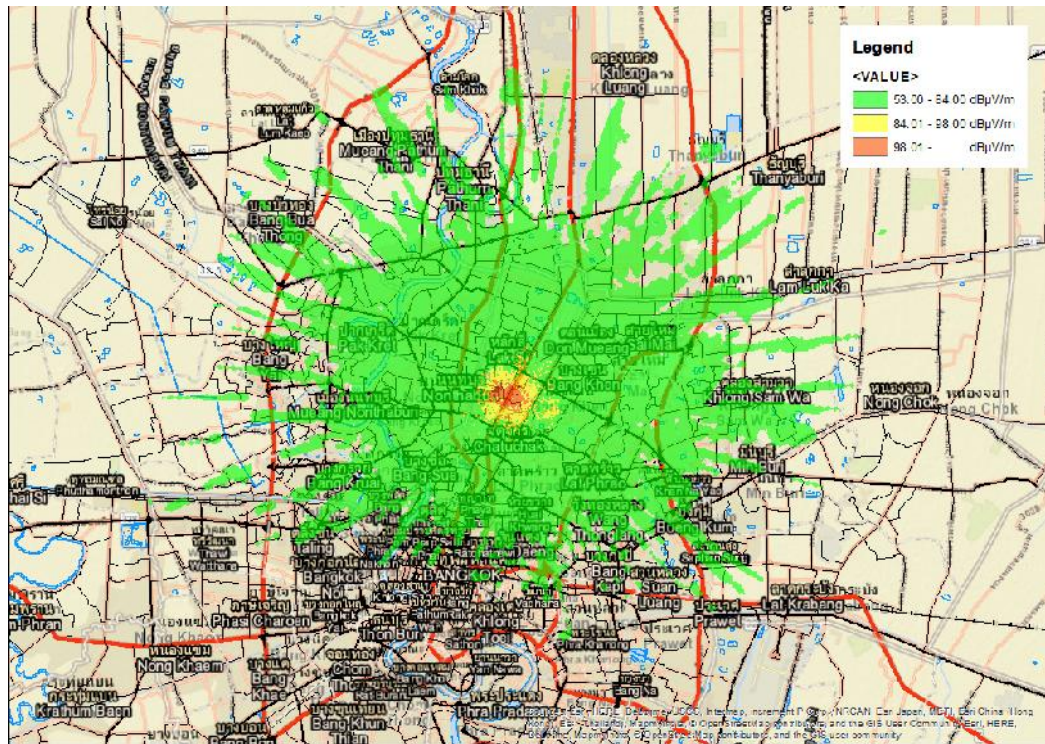
ภาพ 56 การส่งสัญญาณ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7



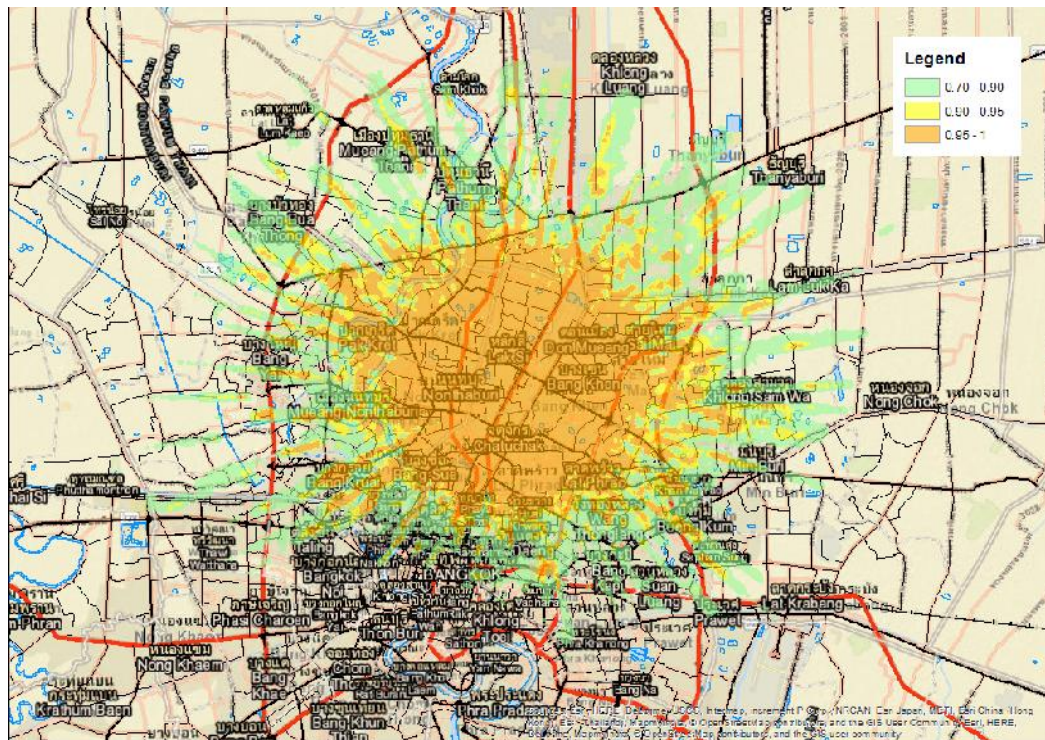
ภาพ 57 พื้นที่การกระจายคลื่นของ FFT 32K Ext., GIF 1/128, MOD. 256-QAM, FEC 4/5, PP7



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

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 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 โพลาริเซชันแนวนอน 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

สายอากาศ

สายอากาศที่ใช้ในการทดลองรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบยาคี (Yagi antenna) Log-periodic ยี่ห้อ Fracarro รุ่น LP45F มีคุณลักษณะทั่วไปดังภาพ และมีคุณลักษณะทางเทคนิคตามตาราง

ภาพ 60 Yagi 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	DVB-T2/C
Analog	PAL/SECAM
Display	55 inch
Resolution	3480 x 2160 (UHD)
Dynamic range	HDR10 Pro HLG

การวัดสัญญาณ

การวัดสัญญาณภาคสนามด้วยรวัดสัญญาณโทรทัศน์ 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

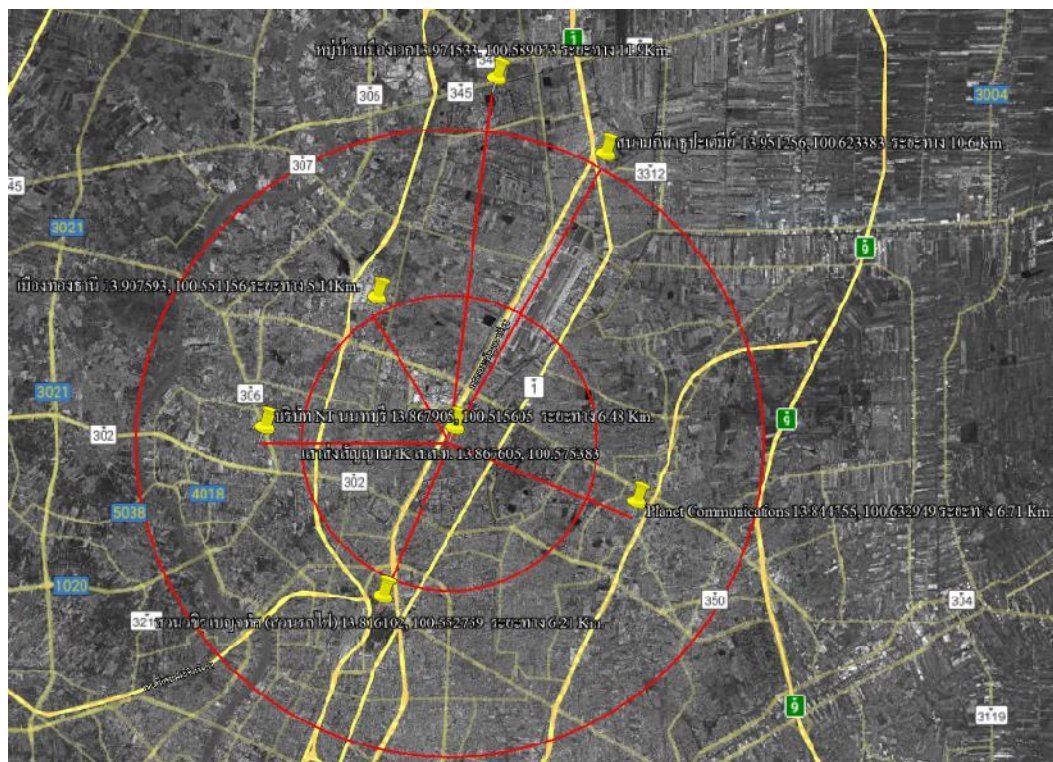
องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.515605 หรือ 100 30.936 องศาตะวันออก มีระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณฯ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ ประมาณ 6.48 กิโลเมตร

จุดที่ 2 ทิศใต้ บริเวณลานจอดรถรถวิชัยเบญจทัศ (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. 64-QAM GIF 19/128 PP2	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop: 15.17	PROMAX	Min	26.0	12.0	>11.00	0	1.0E-01	1.1E-05	-	-
		MUX: 21.80			Max	43.8	30.3	>28.60	17.7	1.0E-06	1.0E-07	92	100
		T2GW: 21.90	Portable: 16.91	LG	Min								
		DVB CAL: 21.93			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. 256-QAM GIF 19/256 PP2	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop: 19.58	PROMAX	Min	30.5	18.4	>15.60	1.8	9.0E-02	1.0E-08	26	94
		MUX: 31.20			Max	44.0	30.4	>28.60	13.5	6.3E-04	1.0E-08	78	100
		T2GW: 31.30	Portable: 21.68	LG	Min							14	42
		DVB CAL: 31.48			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP4	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop: 19.18	PROMAX	Min	29.6	17.3	>13.80	1.8	1.0E-01	1.9E-07	22	73
		MUX: 32.50			Max	47.0	30.7	>31.60	13.8	1.9E-04	1.0E-08	78	100
		T2GW: 32.60	Portable: 21.28	LG	Min							13	40
		DVB CAL: 32.82			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP8	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop: 18.54	PROMAX	Min	30.4	14.4	>14.70	-2.7	1.0E-01	8.9E-08	22	75
		MUX: 33.60			Max	47.0	22.8	>31.10	5.9	1.9E-03	1.0E-07	78	100
		T2GW: 33.70	Portable: 20.62	LG	Min							13	35
		DVB CAL: 33.86			Max								

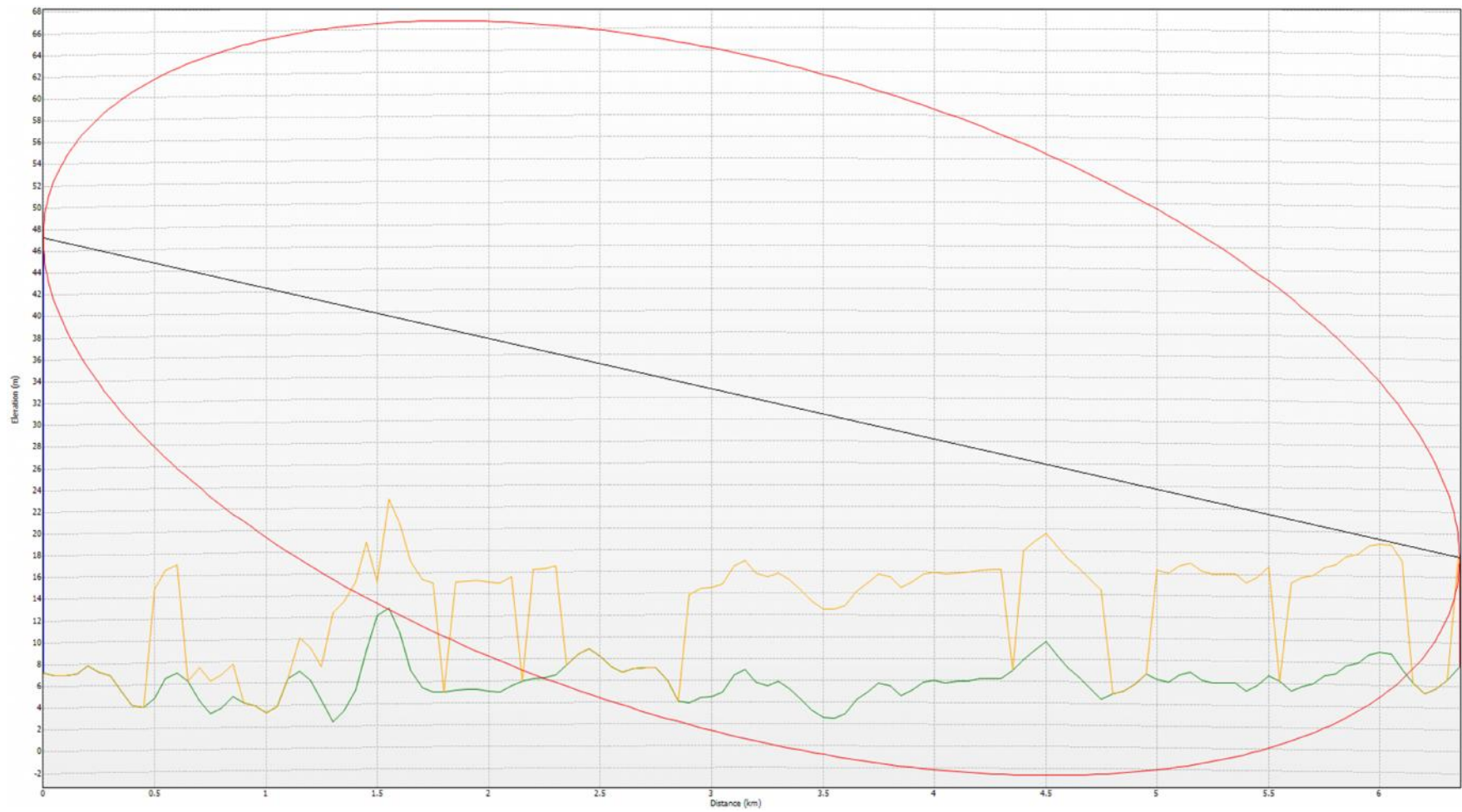
ตาราง 36 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 1 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	1/2	ENC: 29.30	Fixed Rooftop:	PROMAX	Min	27.0	14.6	>11.30	0	1.0E-01	1.1E-05	18	53
		MUX: 29.80	16.29		Max	47.2	30.5	>31.60	15.9	2.4E-04	1.0E-08	86	100
		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min							9	16
		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 35.90	18.44		Max	46.9	30.5	>31.10	13.6	2.4E-04	1.0E-08	86	100
		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min							10	16
		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 39.90	20.02		Max	46.9	30.5	>31.60	12.4	2.3E-04	1.0E-08	74	100
		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min							10	18
		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 44.90	22.06		Max	47.2	30.3	>31.40	10.4	2.5E-04	1.0E-08	58	100
		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min							10	20
		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 47.90	23.56		Max	47.2	30.2	>31.20	9.0	2.9E-04	1.0E-08	58	100
		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							10	15
		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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 50.00	24.38		Max	47.1	30.6	>30.90	8.7	2.3E-04	1.0E-08	50	100
		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min							14	35
		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

ภาพ 65 โปรไฟล์การรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 1



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. 64-QAM GIF 19/128 PP2	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop: 15.17	PROMAX	Min	25.70	13.30	>9.5	0.7	9.4E-02	1.0E-07	14	80
		MUX: 21.80			Max	55.20	33.10	>38.8	20.5	1.0E-06	1.0E-08	95	100
		T2GW: 21.90	Portable: 16.91	LG	Min							8	33
		DVB CAL: 21.93			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. 256-QAM GIF 19/256 PP2	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop: 19.58	PROMAX	Min	30.3	18.4	>14.8	1.5	9.6E-02	1.6E-08	14	83
		MUX: 31.20			Max	54.4	32.9	>38.3	16.0	3.5E-05	1.0E-08	94	100
		T2GW: 31.30	Portable: 21.68	LG	Min							8	7
		DVB CAL: 31.48			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP4	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop: 19.18	PROMAX	Min	30.2	18.0	>14.3	1.1	9.8E-02	8.1E-09	14	73
		MUX: 32.50			Max	54.5	33.1	>38.6	16.2	3.9E-05	1.0E-08	94	100
		T2GW: 32.60	Portable: 21.28	LG	Min							8	6
		DVB CAL: 32.82			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP8	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop: 18.54	PROMAX	Min	31.1	15.0	>15.0	-1.9	9.5E-02	1.0E-07	18	8
		MUX: 33.60			Max	54.5	24.8	>38.1	7.9	1.2E-03	1.0E-08	94	100
		T2GW: 33.70	Portable: 20.62	LG	Min							8	32
		DVB CAL: 33.86			Max								

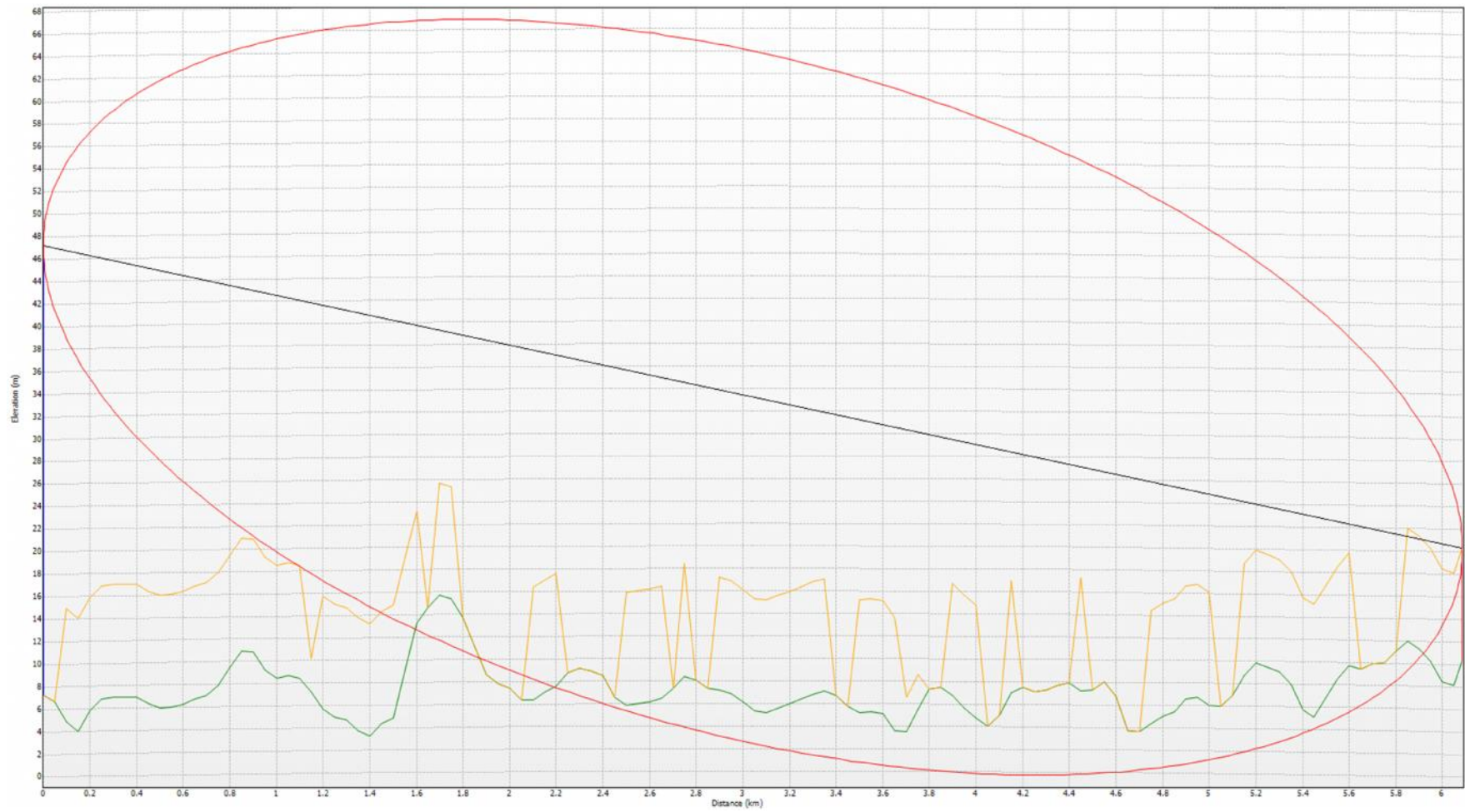
ตาราง 39 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 2 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 29.80	16.29		Max	54.6	32.6	>38.3	18.0	1.1E-04	1.0E-08	96	100
		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min							8	13
		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 35.90	18.44		Max	54.7	32.2	>38.1	15.3	9.9E-05	1.0E-08	94	100
		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min							8	10
		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 39.90	20.02		Max	54.2	32.5	>37.5	14.4	1.1E-04	1.0E-08	93	100
		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min							8	14
		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 44.90	22.06		Max	54.6	32.5	>38.0	12.6	1.2E-04	1.0E-08	92	100
		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min							4	5
		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 47.90	23.56		Max	54.6	32.7	>37.9	11.5	1.2E-04	1.0E-08	92	100
		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							9	10
		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	5/6	ENC: 49.50	Fixed Rooftop: 24.38	PROMAX	Min	35.5	23.3	>20.3	1.4	3.5E-02	1.0E-08	10	48
		MUX: 50.00			Max	54.7	32.3	>38.2	10.4	1.1E-04	1.0E-08	91	100
		T2GW: 50.10	Portable: 28.06	LG	Min							8	6
		DVB CAL: 50.35			Max								

ภาพ 67 โปรไฟล์วิธีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 2



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. 64-QAM GIF 19/128 PP2	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop: 15.17	PROMAX	Min	24.7	13.0	>9.3	0.4	1.0E-01	6.5E-08	10	70
		MUX: 21.80			Max	46.4	30.3	>31.0	17.7	5.4E-06	1.0E-08	92	100
		T2GW: 21.90	Portable: 16.91	LG	Min							9	37
		DVB CAL: 21.93			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. 256-QAM GIF 19/256 PP2	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop: 19.58	PROMAX	Min	29.6	17.1	>13.1	0.2	1.0E-01	5.6E-07	10	75
		MUX: 31.20			Max	46.3	31.4	>30.6	14.5	3.7E-04	1.0E-08	93	100
		T2GW: 31.30	Portable: 21.68	LG	Min								
		DVB CAL: 31.48			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP4	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop: 19.18	PROMAX	Min	29.9	17.6	>14.1	0.7	1.0E-01	6.0E-08	14	86
		MUX: 32.50			Max	46.4	30.00	>30.5	13.1	4.9E-04	1.0E-08	86	100
		T2GW: 32.60	Portable: 21.28	LG	Min	26.9						8	30
		DVB CAL: 32.82			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP8	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop: 18.54	PROMAX	Min	30.8	12.2	>15.3	-4.7	1.0E-01	2.5E-06	14	68
		MUX: 33.60			Max	46.6	15.8	>30.9	-1.1	1.5E-02	1.0E-07	94	100
		T2GW: 33.70	Portable: 20.62	LG	Min							8	21
		DVB CAL: 33.86			Max								

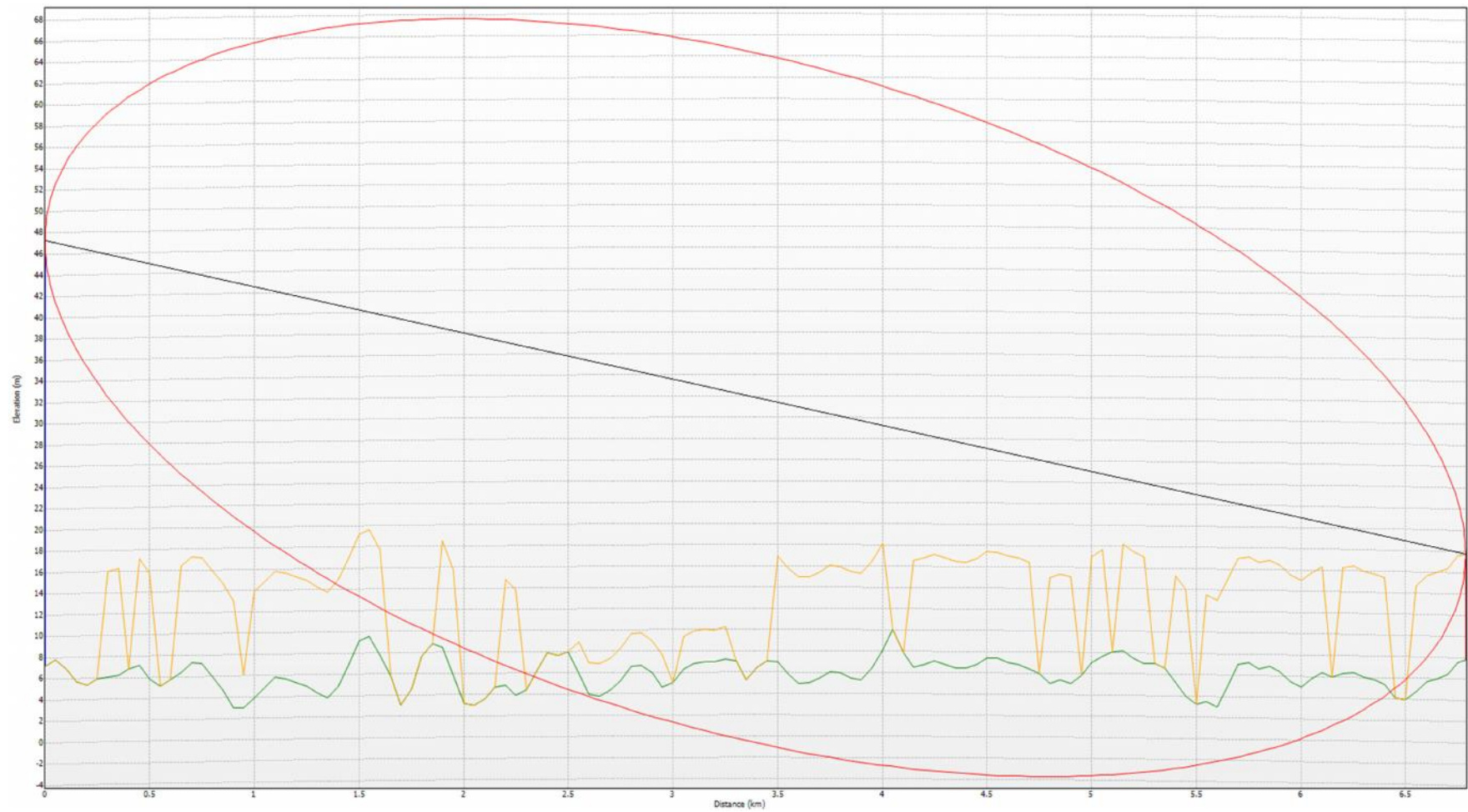
ตาราง 42 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 29.80	16.29		Max	46.2	29.9	>31.0	15.3	6.0E-04	1.0E-08	90	100
		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min	25.2						8	26
		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 35.90	18.44		Max	46.4	30.0	>30.8	13.1	5.8E-04	1.0E-08	86	100
		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min	28.0						8	23
		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 39.90	20.02		Max	46.4	30.2	>31.2	12.1	5.6E-04	1.0E-08	78	100
		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min	27.9						8	23
		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 44.90	22.06		Max	46.4	30.3	>30.2	10.4	5.2E-04	1.0E-08	70	100
		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min	30.8						8	10
		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 47.90	23.56		Max	46.3	30.3	>30.6	9.1	5.2E-04	1.0E-08	66	100
		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min	31.7						8	10
		DVB CAL: 48.29	26.67		Max								

ตาราง 42 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 3 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล (ต่อ)

DVB-T2 Parameters	Code rate	Bit rate (Mbps)	Required C/N (dB)	Receiver	Limit	Power (dB μ V)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 50.00	24.38		Max	46.6	30.2	>31.1	8.3	5.3E-04	1.0E-08	62	100
		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min	32.7						8	12
		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

ภาพ 69 โปรไฟล์วิธีการรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 3



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. 64-QAM GIF 19/128 PP2	3/5	ENC: 21.30	Fixed Rooftop: 15.17	PROMAX	Min	25.2	12.0	>9.6	-0.6	1.0E-01	2.1E-06	18	65
		MUX: 21.80			Max	36.9	23.9	>21.0	11.3	6.7E-04	1.0E-07	70	100
		T2GW: 21.90	Portable: 16.91	LG	Min	23.0						9	7
		DVB CAL: 21.93			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. 256-QAM GIF 19/256 PP2	3/5	ENC: 30.70	Fixed Rooftop: 19.58	PROMAX	Min	29.5	16.7	>13.7	-0.2	1.0E-01	2.8E-05	14	81
		MUX: 31.20			Max	37.0	23.4	>21.1	6.5	2.3E-02	1.0E-08	46	100
		T2GW: 31.30	Portable: 21.68	LG	Min	27						8	19
		DVB CAL: 31.48			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP4	3/5	ENC: 32.00	Fixed Rooftop: 19.18	PROMAX	Min	29.6	16.4	>14.6	-0.5	1.0E-01	2.5E-05	14	73
		MUX: 32.50			Max	37.0	23.7	>21.3	6.8	2.4E-02	1.0E-08	46	100
		T2GW: 32.60	Portable: 21.28	LG	Min	27.1						9	10
		DVB CAL: 32.82			Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 19/256 PP8	3/5	ENC: 33.10	Fixed Rooftop: 18.54	PROMAX	Min	-	-	-	-	-	-	-	-
		MUX: 33.60			Max	36.9	-	>21.4	-	-	-	46	100
		T2GW: 33.70	Portable: 20.62	LG	Min	27.0						9	16
		DVB CAL: 33.86			Max								

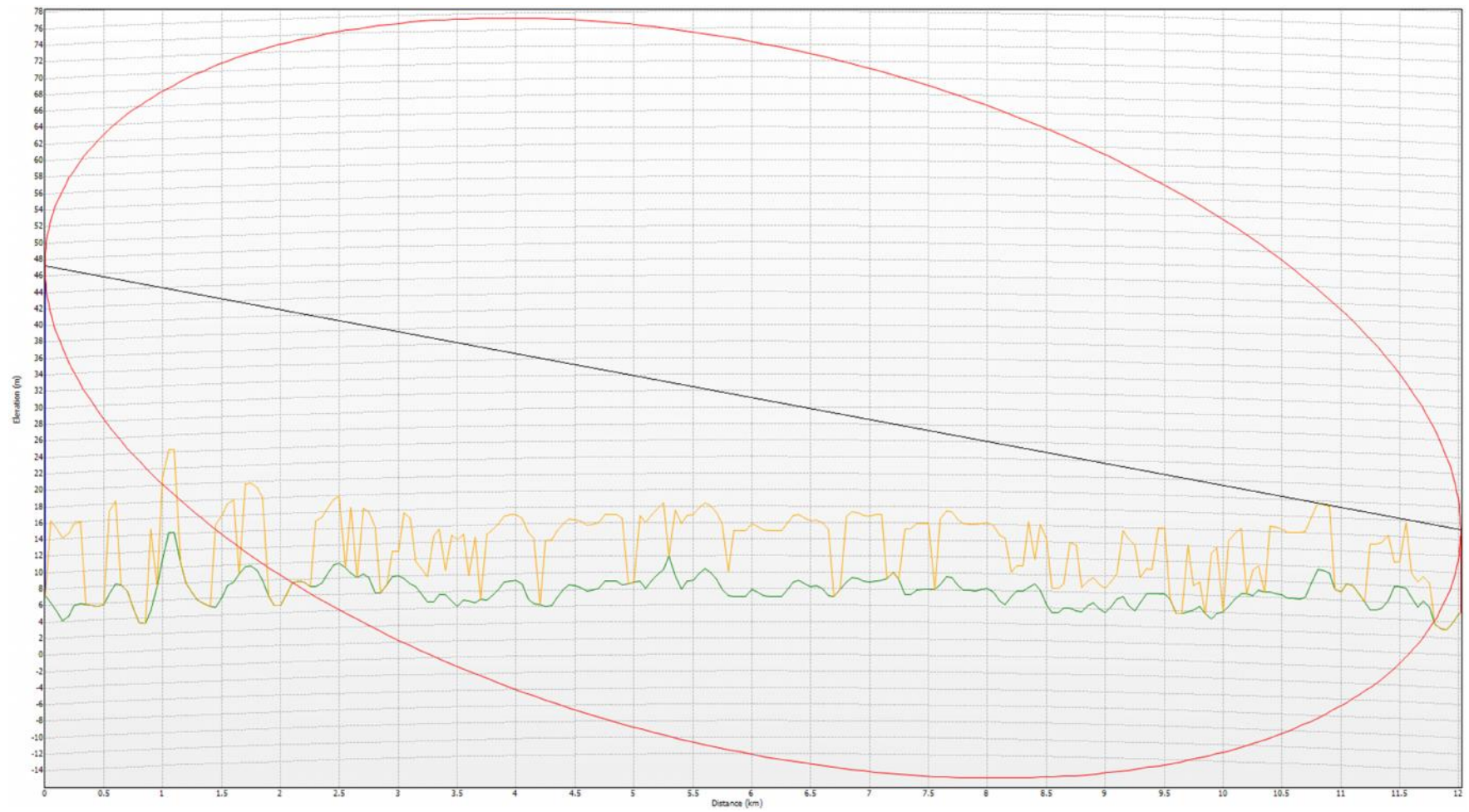
ตาราง 45 การรับสัญญาณจุดวัดที่ 4 ส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ตามเกณฑ์อัตราข้อมูล

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. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 29.80	16.29		Max	36.9	23.9	>21.4	9.3	2.5E-02	1.0E-08	54	100
		T2GW: 29.90	Portable:	LG	Min	26.0						8	10
		DVB CAL: 30.09	18.34		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 35.90	18.44		Max	37.0	23.6	>21.5	6.7	2.5E-02	1.0E-08	46	100
		T2GW: 36.00	Portable:	LG	Min	27						9	10
		DVB CAL: 36.16	20.52		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 39.90	20.02		Max	36.6	23.7	>21.1	5.6	2.7E-02	1.0E-08	38	100
		T2GW: 40.00	Portable:	LG	Min	29.0						9	14
		DVB CAL: 40.23	22.16		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 44.90	22.06		Max	36.7	23.6	>21.1	3.7	2.6E-02	1.0E-08	34	100
		T2GW: 45.00	Portable:	LG	Min	31.0						9	11
		DVB CAL: 45.26	24.58		Max								
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 47.90	23.56		Max	36.7	23.5	>21.6	1.6	2.6E-02	1.0E-08	26	89
		T2GW: 48.00	Portable:	LG	Min							9	11
		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 (dB μ V)	MER	C/N (dB)	LM (dB)	CBER	LBER	Strength (%)	Qaulity (%)
32K Ext. 256-QAM GIF 1/128 PP7	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
		MUX: 50.00	24.38		Max	36.7	23.4	>21.4	2.2	2.6E-02	1.0E-08	22	68
		T2GW: 50.10	Portable:	LG	Min							9	15
		DVB CAL: 50.35	28.06		Max								

ภาพ 71 โปรไฟล์การรับสัญญาณ ณ จุดวัดที่ 4



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 ระยะการออกอากาศประสิทธิภาพของการทดลองตาม EBU Tech 3348 มีรัศมีประมาณ 6 กิโลเมตร

บท 5

สรุปผลการทดลอง

การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 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) ลดลงเนื่องจาก Required C/N เพิ่มขึ้น ทำให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้มีแนวโน้มลดลง

การส่งสัญญาณ DVB-T2 ด้วยพารามิเตอร์ 10 ฉากทัศน์ ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K บนโครงข่ายใหม่ เพื่อให้รองรับการส่งสัญญาณแบบมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHD) ให้ได้อย่างน้อย 2 ช่องรายการ สามารถจัดสรรได้ 6 รูปแบบ แต่ด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยี DVB-T2 ที่สามารถรองรับอัตราบิตสูงสุด ประมาณ 50.3 Mbps ดังนั้นการจัดสรรมัลติเพล็กซ์สำหรับสัญญาณภาพแบบอัตราบิตคงที่ (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**

หมายเหตุ

* ทางเลือกที่ 3 ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์รองรับการจัดสรรอัตราบิตของสัญญาณภาพแบบคงที่ได้ โดยมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถจัดสรรแบบแปรผันเพื่อให้ได้ประโยชน์จาก Statmux

** ทางเลือกที่ 6 ไม่สามารถจัดสรรมัลติเพล็กซ์ได้ เนื่องจากอัตราบิตที่ต้องการสูงกว่าอัตราบิตสูงสุดของระบบ DVB-T2 มากเกินไป

เอกสารอ้างอิง

- สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). แนวทางปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.
- สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. (2563). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบ การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย.
- สำนักกฎหมายกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). กสทช. มส. 4002-2560 มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.
- สำนักกฎหมายกระจายเสียงและโทรทัศน์. (2560). กสทช. มส. 4004-2561 มาตรฐานทางเทคนิคของสายอากาศรับสัญญาณสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. 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 – Coding 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

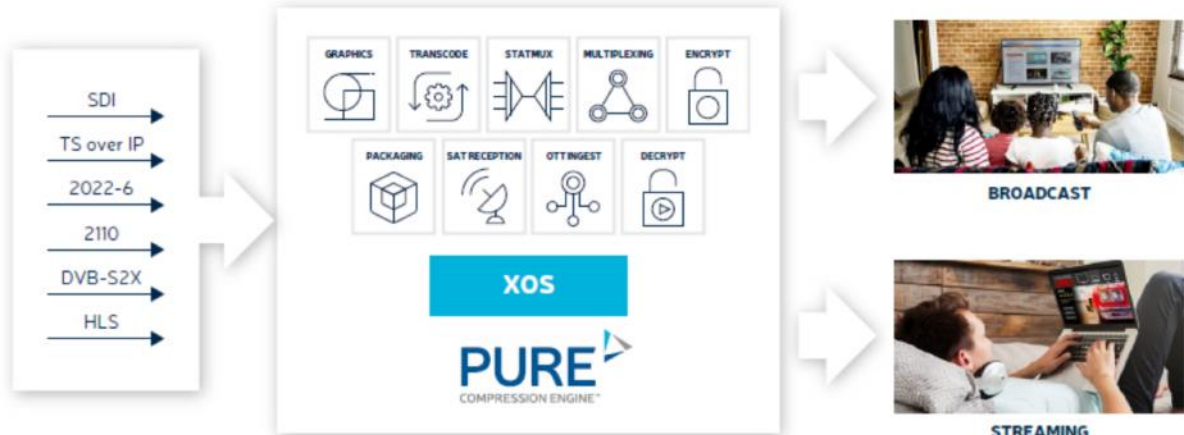


The XOS Advanced Media Processor is a high performance live media processor for broadcast and streaming applications.

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

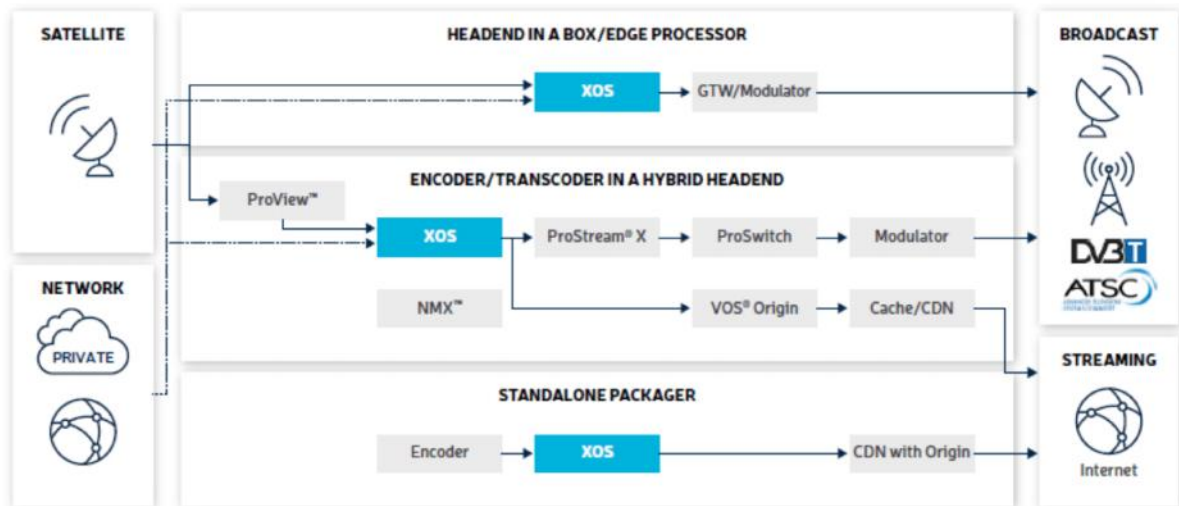
XOS is packed with features to address any kind of video processing application. In addition to its market-leading compression engine, XOS integrates a broad range of audio codecs, including Dolby AC-4, an advanced video pre-processing engine, a broadcast multiplexer with statmux support, and a state-of-the-art 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.

XOS Advanced Media Processor



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.

XOS Advanced Media Processor



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 BP@L3 MP@L3 HP@L4
MPEG-4 AVC	High 4:2:2 @ L4.1 Main@L5.1 (main tier) Main 10@ L5.1 (main tier)
HEVC	
Decoding Profiles	
AVS+	HD
AVS2	UHD
MPEG-2	MP@ML MP@HL MP@L3 HP@L4
MPEG-4 AVC	High 422@L4.1 Main @L5.1 up to 100 Mbps Main 10 @L5.1 up to 100 Mbps
HEVC	
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-HDR 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 NM™ 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

ภาคผนวก ข

Harmonic ProStream X



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



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 multicasting. 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.

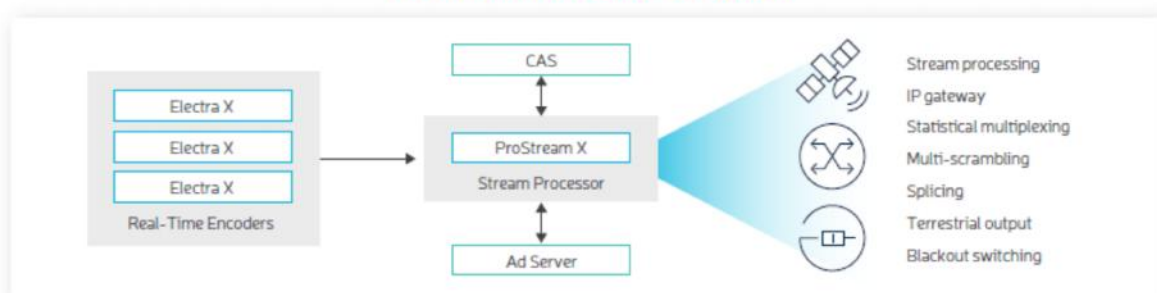
Control and Management

Processing on the ProStream X is easily configured and controlled with Harmonic's NMXTM 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



ProStream® X VIDEO STREAM PROCESSOR & GATEWAY



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 + A1:2009 + A1:2010 + A1:2011 + 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

ภาคผนวก ค

Harmonic NMX

NMX™

NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

harmonic



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

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

NMX™ NETWORK MANAGEMENT SYSTEM



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

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
N° 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-TARIB_STD-B31v1.6, ABNT NBR15601:2007 ATSCA/53, A/153, A/110; ATSC3.0 Upgradeable						
Inputs	DVB-T/H/T2: 2x ASI/T2-MI BNC-female - 2x TSolP 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 TSolP 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 TSolP 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 (0°C to 60°C) Holdover: <0.8µs after 4 hours; <12 µs after 24 hours						
OCXO (Option)	Stability < ±5x10exp-9 (0°C to 60°C) 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	-5°C to 45°C						
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

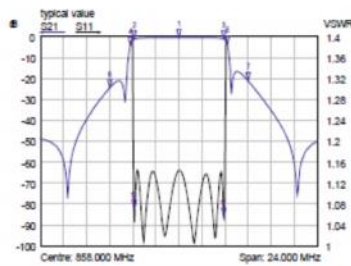
ภาคผนวก จ

Spinner BN 616663C1031

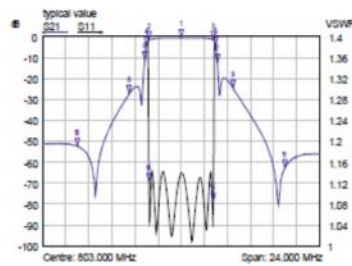


1.3 kW - 1.6 kW UHF DTV Bandpass Filters

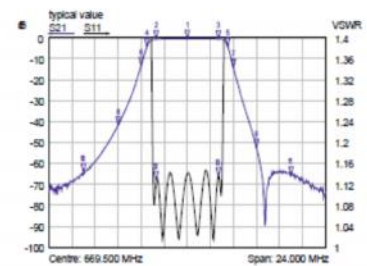
- Mask filters for ATV and DTV
- For 6, 7 and 8 MHz channel bandwidth
- With cross coupling (notch function)
- Tuneable within whole UHF range
- Temperature compensated
- DC block
- Installation horizontally or vertically
- Low profile design



Typical diagram AS6224



Typical diagram AS6229



Typical diagram AS6228

Bandpass
Filters

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 (Ü/U _{ms} = 13 dB)			ISDB-T @ 6 MHz (Ü/U _{ms} = 13 dB)			ATSC 1.0 @ 6 MHz (Ü/U _{ms} = 11 dB)	
Average input power	≤ 1.6 kW			≤ 1.3 kW			≤ 1.3 kW	
Tuning instruction	AS6224			AS6229			AS6228	
Insertion loss & mask filtering (alternative tuning on request)	470 MHz	860 MHz		470 MHz	803 MHz		470 MHz	803 MHz
	f ₀	≤ 0.3 dB	≤ 0.4 dB	f ₀	≤ 0.35 dB	≤ 0.5 dB	f ₀	≤ 0.40 dB ≤ 0.55 dB
	f ₀ ± 3.805	≤ 0.8 dB	≤ 1.1 dB	f ₀ ± 2.79	≤ 1.10 dB	≤ 1.4 dB	f ₀ ± 2.69	≤ 0.55 dB ≤ 1.30 dB
	f ₀ ± 3.885	≤ 0.9 dB	≤ 1.3 dB	f ₀ ± 3.00	≥ 3 dB		f ₀ ± 3.5	≥ 3 dB
	f ₀ ± 4.2	≥ 4 dB		f ₀ ± 3.15	≥ 5 dB		f ₀ ± 4.0	≥ 8 dB
	f ₀ ± 6.0	≥ 20 dB		f ₀ ± 4.50	≥ 17 dB		f ₀ ± 6.0	≥ 30 dB
	f ₀ ± 12.0	≥ 40 dB		f ₀ ± 9.00	≥ 38 dB		f ₀ ± 9.0	≥ 65 dB
				f ₀ ± 15.0	≥ 48 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“.							

ภาคผนวก จ

Kathrein 75010067

Omnidirectional Antenna

470–862 MHz

Polarization

H

KATHREIN

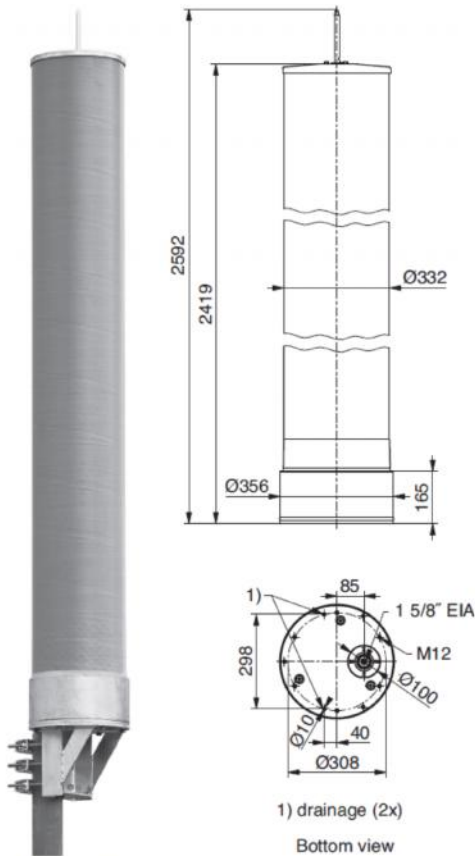
- Broadband omnidirectional antenna.

Order No.	75010067
Input	1 5/8" 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.

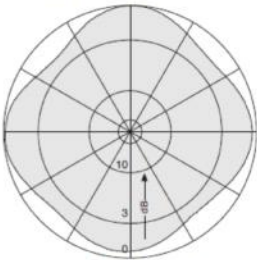
Attachment: Onto a fitting counterflange or to tubular masts by using the optional steel adapter 75310322 (to be ordered separately).

Grounding: Via mounting parts.

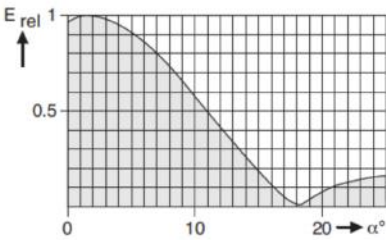


Picture shows antenna with optional steel adapter 75310322

Radiation Patterns (at mid-band)



Horizontal Radiation Pattern

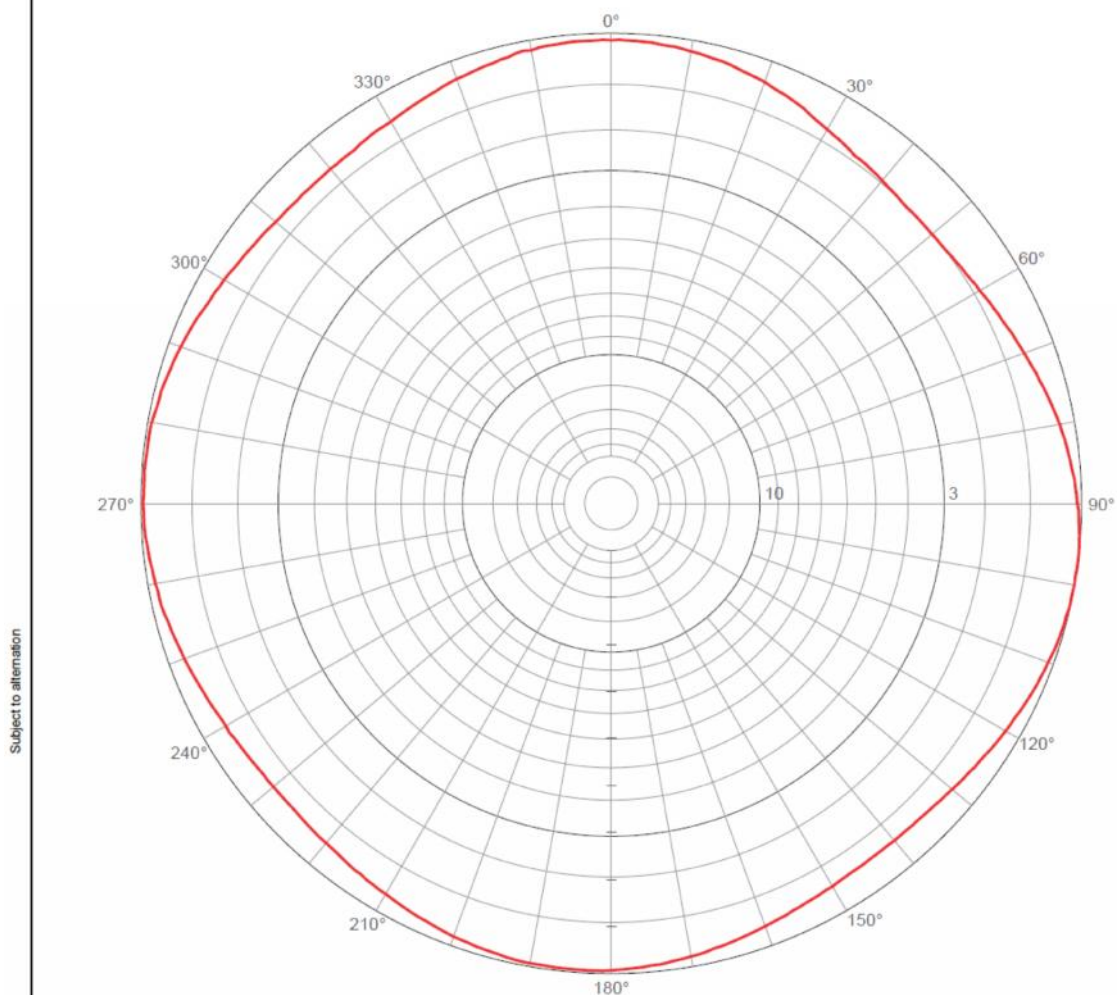


Vertical Radiation Pattern
1.5° electrical downtilt

936.3624/1a Subject to alteration.

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathreinusa.com

Horizontal Radiation Pattern



UHF Omni	
Frequency	470 MHz
Gain	5.4 dBd
Half Power Beam Width	360°

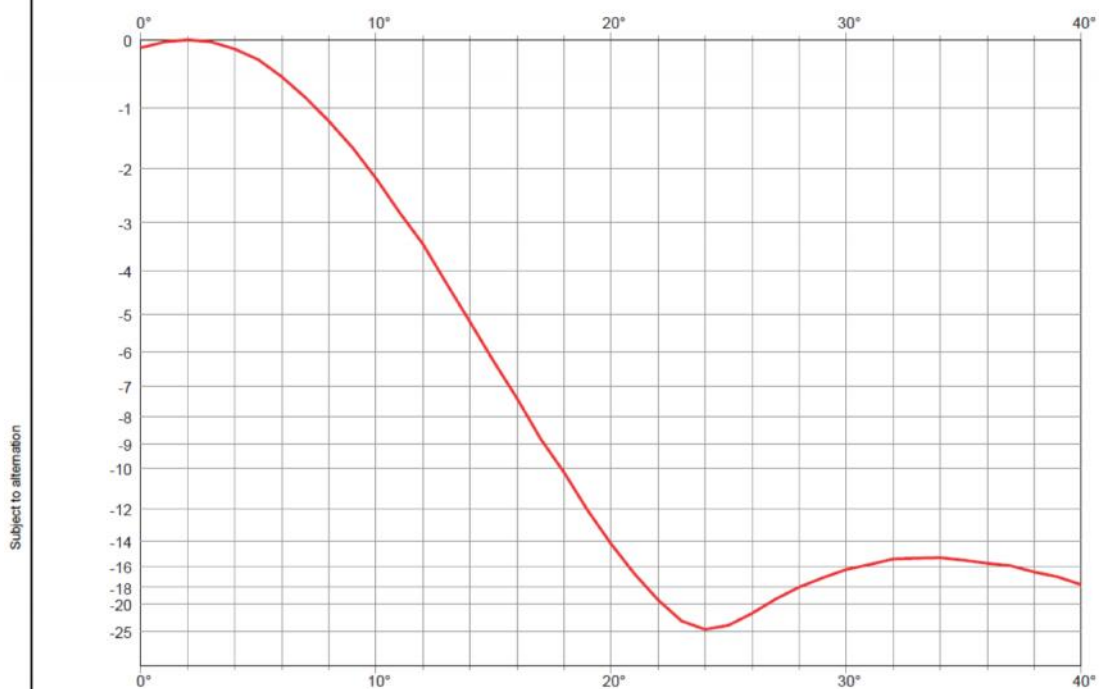
KATHREIN

Order-No.: 75010067

Date: 19.04.2017

Page: 1 / 3

Vertical Radiation Pattern



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

KATHREIN

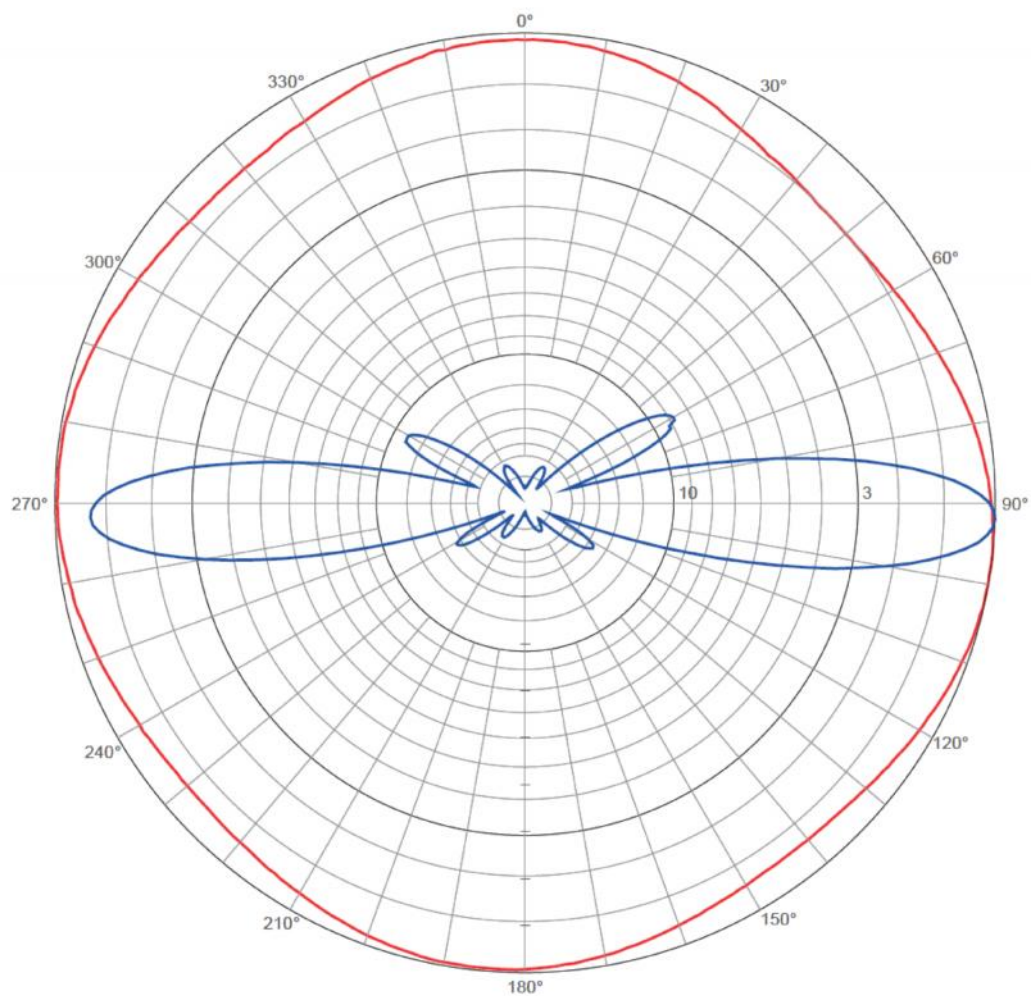
Order-No.: 75010067

Date: 19.04.2017

Page: 2 / 3

All Pattern

Subject to alternation



UHF Omni	
Frequency	470 MHz
Gain	5.4 dBd
Half Power Beam Width	360° / 19°

KATHREIN

Order-No.: 75010067

Date: 19.04.2017

Page: 3 / 3

ภาคผนวก ข

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 extremely 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
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.

Frequency [MHz]	Attenuation		Power [kW]
	[dB/100m]	[dB/100ft]	
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

RFS The Clear Choice®

LCF78-50JA-A7

Rev: C / 30.Jul.2012

Print Date: 20.08.2015

Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com/>

Radio Frequency Systems

ภาคผนวก ณ

Farcarro LP45F

Data Sheet



LOG - PERIODIC Aerials LP45F LP SERIES



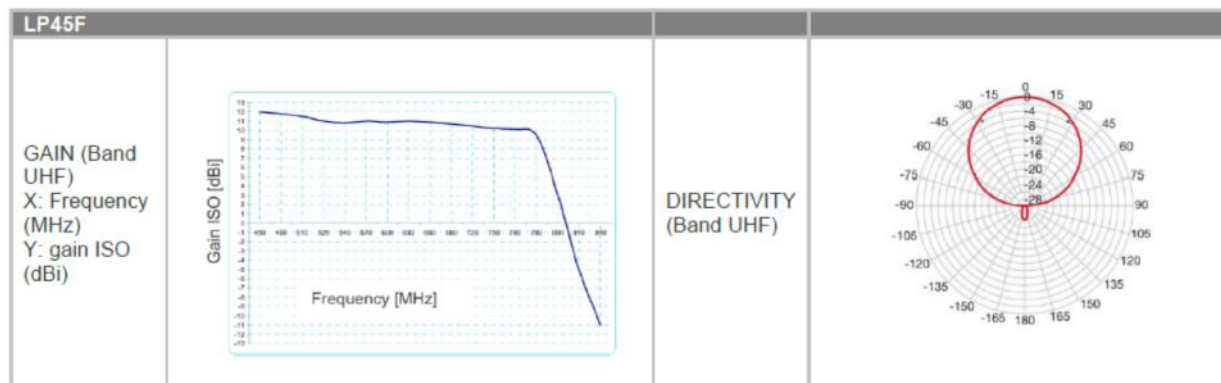
Log-periodic pre-assembled aerials characterized by: extremely easy connection due to the connector being located near the mast clamp. High level design of the dipole connection guarantees a highly reliable RF contact. Due to the specific mast clamp these aerials can be assembled in vertical or horizontal 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



ภาคผนวก ญ

Promax Ranger Neo 4



BROADCAST, CABLE, SATELLITE,
IPTV, OPTICAL FIBRE AND WIFI

TV & SPECTRUM ANALYZERS

www.promaxelectronics.com





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/Ts 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 transferring		... 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 Measurement range Span Resolution bandwidths	From 5 - 1000 MHz (Terrestrial) From 250 - 2500 MHz (Satellite) From 10 - 130 dBμV Full / 500 / 200 / 100 / 50 / 20 / 10 MHz				
	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 DVB-T COFDM DVB-T2 Base and Lite COFDM DVB-C QAM DVB-C2 COFDM PAL, SECAM and NTSC FM radio DVB-S QPSK DVB-S2 QPSK, 8PSK, 16/32APSK DSS QPSK	From 5 - 1000 MHz (Terrestrial) From 250 - 2350 MHz (Satellite) Power (35 to 115 dBμV), CBER, VBER, MER, C/N, Link margin Power (35 to 115 dBμV), CBER, C/N, LBER, MER, Link Margin, BCH ESR, LDP iterations, Wrong packets Power (45 to 115 dBμV), BER, MER, C/N, Link margin Power (45 to 115 dBμV), CBER, MER, C/N, LBER, BCH ESR, LDP iterations, wrong packets M, N, B, G, I, D, K and L Level measurement Power (35 to 115 dBμV), CBER, MER, C/N, Link Margin Power (35 to 115 dBμV), CBER, LBER, MER, C/N, BCH ESR, Wrong packets, Link Margin 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 DSEqC 2.x generator (DSEqC 1.2 commands implemented) dCSS / SCD 2 (EN50607) and SATCR/SCD (EN50494)				
BATTERY	> 2h	> 4 h (smart battery)			
HARD CASE	Optional	Included			

OPTIONS	RANGERNeo +	RANGERNeo 2	RANGERNeo 3	RANGERNeo 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



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	1x Mini USB	1x Mini USB
Battery time	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 4 h	> 4 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

ภาคผนวก ก

แบบรายงานผลการวัดสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล



แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

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 _____

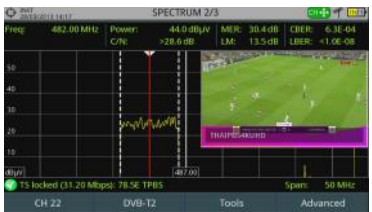
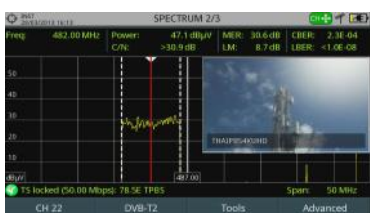
ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2.93 เมตร _____ ข้อมูลอื่นๆ _____

สถานีส่งสัญญาณ __ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่__ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง _6.48_ กม. มุม 90°



1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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

					
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				

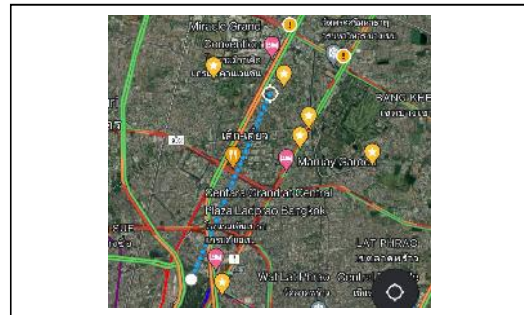


แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

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 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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	



แบบรายงานผลการวัดสัญญาณ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

ผู้บันทึก _____ Thai PBS _____
วันที่บันทึก _____ 13/02/2566 เวลา _____ 13.00 น.

ส่วนที่ 1 การวัดสัญญาณแบบ Line-of-Sight ที่ความสูงของสายอากาศ 10 เมตร

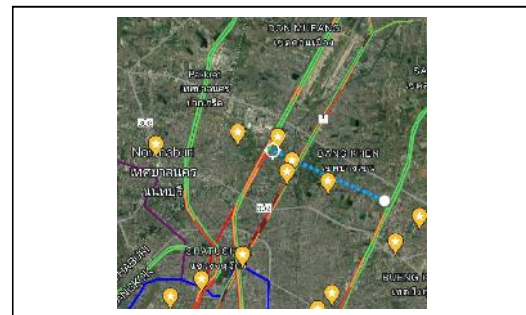
1.1 สถานที่ _____ บริษัท Planet Communication _____ ตำบล/แขวง _____ ทำแรงแ _____ อำเภอ/เขต _____ บางเขน _____

จังหวัด _____ กรุงเทพมหานคร _____ Latitude _____ 13.844750 _____ Longitude _____ 100.632936 _____

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

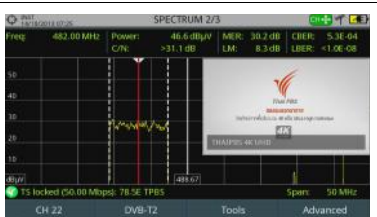
ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1.96 เมตร _____ ข้อมูลอื่นๆ _____

สถานีส่งสัญญาณ _____ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ _____ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง _____ 6.7 กม. _____ มุม 293° _____



1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

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 _____

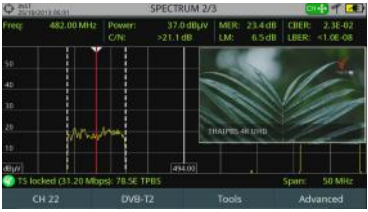
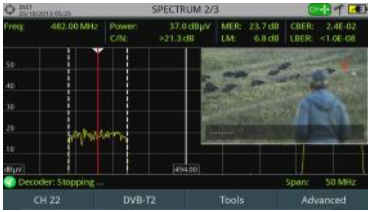
ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1.53 เมตร _____ ข้อมูลอื่นๆ _____

สถานีส่งสัญญาณ _____ ส.ส.ท. สำนักงานใหญ่ _____ ระยะห่างทางอากาศจากสถานีส่ง _____ 11.9 กม. มุม 186°



1.2 คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล 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				

