



การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบ การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย

พฤศจิกายน 2563

ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์

สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ (ทส.)

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

คำนำ

ด้วยแผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2563 - 2568) ซึ่งเป็นแผนที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี มุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศให้เหมาะสมกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศให้เหมาะสมกับบริบทใหม่ขึ้น โดยหนึ่งในเป้าหมายของยุทธศาสตร์คือการเปิดโอกาสให้มีการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) ได้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี Ultra-High Definition Television: UHD TV หรือที่รู้จักและเรียกกันว่า “4K” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์ที่น่าสนใจและอยู่ระหว่างการศึกษารวบรวมของประเทศต่าง ๆ

เนื่องจากกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ถือเป็นกิจการหลักที่ใช้คลื่นความถี่ตามที่กฎหมายกำหนดไว้ สำนักงาน กสทช. ต้องมีการศึกษาให้รอบด้านเพื่อให้การนำคลื่นความถี่ไปใช้งานอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยได้ศึกษามาตรฐาน และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ กรณีศึกษาจากต่างประเทศในการกำหนดเงื่อนไขทางเทคนิค รวมถึงผลการสำรวจความคิดเห็น และการจัดประชุมกลุ่มย่อยกับผู้มีส่วนได้เสีย เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางความเป็นไปได้ของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ กำหนดแนวทางต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

รายงานผลการศึกษานี้ ประกอบด้วยผลการศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษาของต่างประเทศ มีผลการทดลอง และผลการคำนวณเบื้องต้นอัตราบิตที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาการจัดทำแนวทางหรือหลักเกณฑ์ในการอนุญาตให้มีการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ทั้งนี้ เพื่อให้การใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศไทย

ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์

สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

พฤษภาคม 2563

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	5
1.1 ความเป็นมาของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของประเทศไทย.....	5
1.2 ความสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K.....	6
1.3 การดำเนินงานที่ผ่านมาของสำนักงาน กสทช.	7
1.4 เป้าหมายการดำเนินงานต่อไป	7
บทที่ 2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 มาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการแสดงภาพ	8
2.1.1 High Efficiency Video Coding (HEVC) หรือ H.265	8
2.1.2 High Dynamic Range (HDR)	11
2.1.3 Color gamut.....	19
2.1.4 Frame rate.....	21
2.1.5 Refresh rate.....	24
2.1.6 Surround Video Stitching and Synchronous	27
2.2 มาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเสียง.....	35
2.2.1 Next Generation Audio	35
2.2.2 Audio Codec 3 vs Audio Code 4	36
2.3 มาตรฐานการส่งสัญญาณ	39
2.3.1 HDMI (High Definition Multimedia Interface).....	39
2.3.2 SDI (Serial Digital Interface).....	46
บทที่ 3 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล UHD TV (4K) ในแต่ละประเทศ	47
3.1 ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี.....	47
3.2 ประเทศสเปน	53

บทที่ 4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย	59
บทที่ 5 ข้อเสนอต่อแนวทางการดำเนินการของสำนักงาน กสทช.....	76
 ภาคผนวก ก แบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K.....	80
ภาคผนวก ข สรุปผลแบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K.....	88
ภาคผนวก ค เอกสารประกอบการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K	99
ค.1 วัตถุประสงค์ของการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group).....	100
ค.2 มาตรฐานทางเทคนิคและแนวทางการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K	102
ค.3 4K and TV Technology Trend	117
ค.4 กรณีศึกษาการทดลองการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ ไทยพีบีเอส.....	131
ภาคผนวก ง ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ร่วมการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K	146
อภิธานศัพท์	157
เอกสารอ้างอิง	159

บทที่ 1 บทนำ

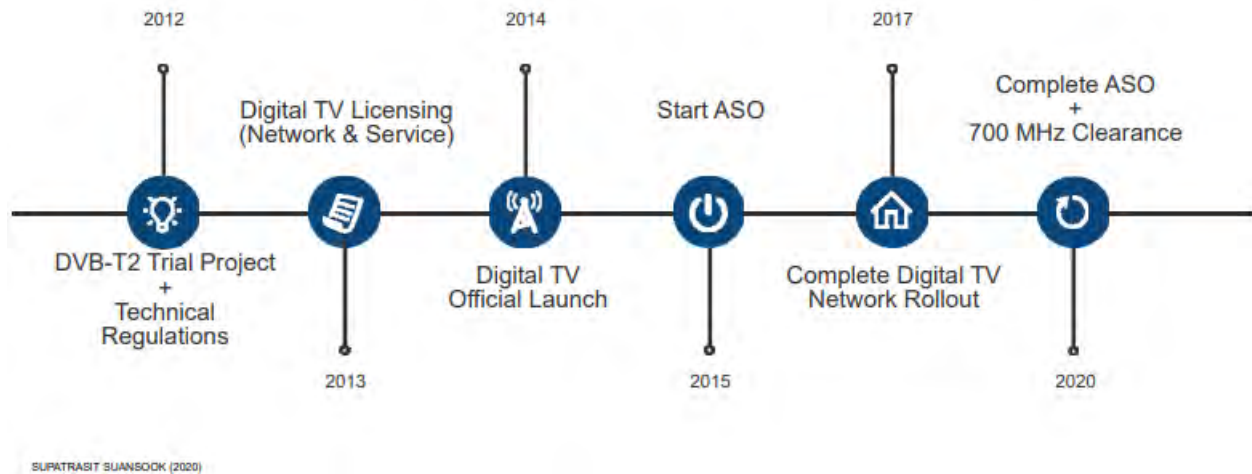
1.1 ความเป็นมาของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของประเทศไทย

นับเป็นเวลานานกว่า 8 ปีแล้ว ที่ประเทศไทยได้เริ่มมีการทดลองทดสอบเพื่อศึกษาข้อกำหนดด้านเทคนิคในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โดยในปี พ.ศ. 2555 มีการเริ่มการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โดยใช้มาตรฐาน Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล DVB-T2 หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2556 ได้เริ่มมีการออกใบอนุญาตสำหรับให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ และบริการช่องรายการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ซึ่งในปีถัดมาจึงมีการเริ่มมีการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแบบ DVB-T2 อย่างเป็นทางการ และเริ่มขยายโครงข่ายเพื่อให้มีพื้นที่ครอบคลุมตามที่ กสทช. กำหนด

ต่อมาในหลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2558 ได้เริ่มมีกระบวนการยุติการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก โดยได้มีการยุติการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อกสถานีแรกที่สถานีเกาะสมุย ทั้งนี้ การติดตั้งโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแล้วเสร็จสมบูรณ์ตามแผนการขยายโครงข่ายในวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2560 โดยครอบคลุมจำนวนครัวเรือนประมาณร้อยละ 95.1 ของจำนวนครัวเรือนทั้งประเทศ มีสถานีทั้งสิ้น 168 สถานี ประกอบด้วยสถานีหลัก 39 สถานี และสถานีเสริม 129 สถานี และเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2563 ได้มีการยุติการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อกสถานีสุดท้ายคือสถานีกรุงเทพ ณ อาคารไบหยก 2 ซึ่งถือว่าเป็นการยุติการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อกของประเทศไทยอย่างสมบูรณ์

ทั้งนี้ ด้วยเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปประกอบกับการส่งเสริมการใช้ประโยชน์คลื่นความถี่อันเป็นทรัพยากรสื่อสารของชาติเพื่อประโยชน์สูงสุดของประชาชนและประโยชน์สาธารณะ ตลอดจนเพื่อให้สอดคล้องกับแนวนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งพัฒนาเศรษฐกิจดิจิทัลและการประกอบกิจการสำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications: IMT) จะก่อให้เกิดผลดีต่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคมของประเทศไทยให้มีความทันสมัย สอดคล้องกับวิวัฒนาการของโลก จึงมีการเรียกคืนคลื่นความถี่จากกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลบางส่วน เพื่อนำไปจัดสรรใหม่ให้กับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT)

Digital TV in Thailand



รูปที่ 1 ลำดับเหตุการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลของประเทศไทย

ที่มา: Technical Standards and Feasibility Study on Trial Project in Thailand โดยคุณสุภัทรสิทธิ์ สวนสุข

1.2 ความสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K

ด้วยแผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2563 - 2568) ได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศให้เหมาะสมกับบริบทใหม่ขึ้น โดยหนึ่งในเป้าหมายของยุทธศาสตร์คือการเปิดโอกาสให้มีการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์ ด้วยเหตุนี้ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยีใหม่ เนื่องจากกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินถือเป็นกิจการที่ใช้คลื่นความถี่ตามที่กฎหมายกำหนดไว้ จึงต้องมีการศึกษาให้รอบด้าน เพื่อให้การนำคลื่นความถี่ไปใช้งานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด สำนักงาน กสทช. จึงกำหนดให้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี Ultra-High Definition Television: UHDTV หรือที่รู้จักและเรียกกันว่า “4K” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์ที่น่าสนใจและอยู่ระหว่างการศึกษาหรือทดสอบของประเทศต่าง ๆ

1.3 การดำเนินงานที่ผ่านมาของสำนักงาน กสทช.

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี 4K ทั้งด้านภาพและเสียง
- 2) ศึกษาความพร้อมหรือความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K
- 3) ทดลองออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านทางสายนำสัญญาณ (ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น) เมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2563
- 4) สำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K จากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในประเทศไทย
- 5) จัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อย (Focus Group) กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2563
- 6) จัดทำข้อเสนอหรือแนวทางการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

1.4 เป้าหมายการดำเนินงานต่อไป

- 1) ปี พ.ศ. 2564 มีการจัดทำแนวทางหรือหลักเกณฑ์ในการอนุญาตให้มีการทดลองทดสอบ และจัดทำแนวทางหรือหลักเกณฑ์ทางเทคนิคในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K
- 2) ปี พ.ศ. 2565 มีการนำเสนอแนวทางและรับฟังความเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในอุตสาหกรรม และมีการนำเสนอแนวทางด้านเทคนิค แนวทางการอนุญาตให้มีการทดลองทดสอบและรายงานผลการศึกษาให้สาธารณะรับทราบ

บทที่ 2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยี Ultra-High Definition Television (UHDTV) หรือ 4K เป็นเทคโนโลยีการแสดงผลความละเอียดของจอภาพที่ถูกพัฒนาให้มีความละเอียด $3840 \times 2160 = 8,294,400$ Pixels ซึ่งมีความละเอียดในแนวนอนมีค่าเท่ากับ 3840 Pixels ซึ่งถ้าหากมีการนำมาเทียบกับเทคโนโลยี Full HD หรือ 2K จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยี 4K จะมีความละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 2K ที่มีค่าประมาณ 2 ล้านพิกเซลเป็น 8 ล้านพิกเซล ซึ่งจะส่งผลให้การรับชมภาพมีความคมชัดมากขึ้นจากเดิมถึง 4 เท่า



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบความละเอียดในการแสดงผลของแต่ละเทคโนโลยี

ที่มา: <https://www.nyfa.edu/student-resources/4k-uhd-tv-how-to-prepare-for-the-new-standard/>

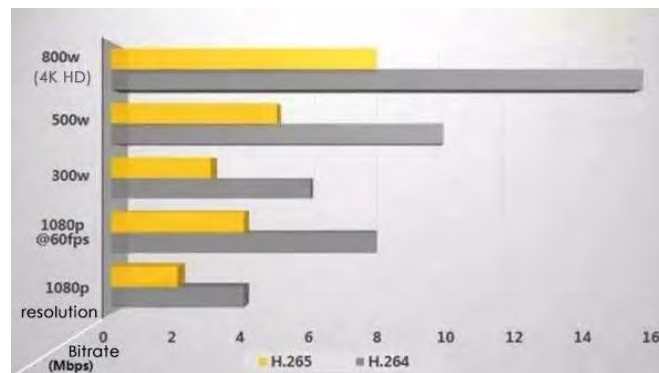
ซึ่งเทคโนโลยี 4K ถูกพัฒนาขึ้นมาจากมาตรฐานที่หลากหลายด้านมารวมเข้าด้วยกัน เพื่อให้เห็นภาพของการพัฒนาของเทคโนโลยี 4K ได้ชัดเจนมากขึ้น จะอธิบายถึงมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องเป็นรายหัวข้อ ต่อไปนี้

2.1 มาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการแสดงภาพ

2.1.1 High Efficiency Video Coding (HEVC) หรือ H.265

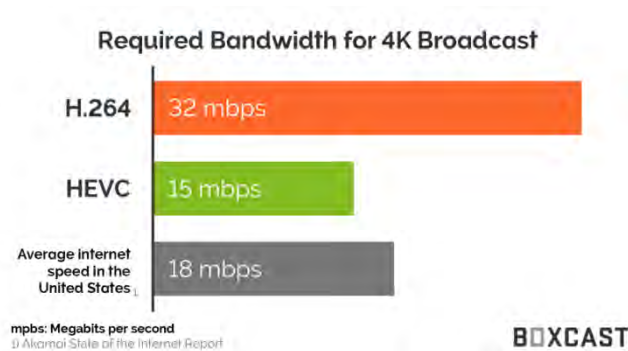
เป็นเทคโนโลยีการบีบอัดวิดีโอรูปแบบใหม่ ที่มีการพัฒนาต่อเรื่องมาจาก Advanced Video Coding (AVC) หรือ H.264 ถูกพัฒนาขึ้นโดย ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) โดยที่ความสามารถในการบีบอัดข้อมูลเป็น 2 เท่าของ H.264 ด้วยระดับคุณภาพของภาพที่เท่ากัน โดยข้อดีของ H.265 เมื่อเทียบกับ H.264 เป็นดังนี้

1) อัตราการบีบอัดข้อมูลที่ดีถึง 30% - 50% เมื่อเทียบกับ H.264



รูปที่ 3 กราฟแสดงอัตราการบีบอัดข้อมูลของ H.265 เมื่อเปรียบเทียบกับ H.264
ที่มา: <https://www.h265encoders.com/h265-tec-h264/>

2) ลดการใช้ Bandwidth ของเครือข่ายในการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 4 กราฟแสดงการใช้งาน Bandwidth สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต

ที่มา: <https://www.boxcast.com/blog/hevc-h.265-vs.-H.264-avc-whats-the-difference>

3) เพิ่มความเร็วในการ streaming

Resolution	Minimum Upload Speed*	
	H.264	H.265
480p	1.5 mbps	0.75 mbps
720p	3 mbps	1.5 mbps
1080p	6 mbps	3 mbps
4K	32 mbps	15 mbps

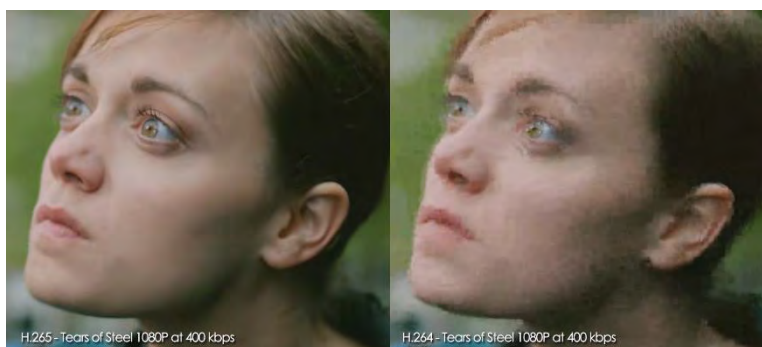
*These values are rough estimates based on stable network environments, calculating upload requirements is very subjective and depends on a number of factors

mbps: Megabits per second

BOXCAST

รูปที่ 5 ตารางแสดงค่าความเร็วขั้นต่ำในการ Upload ไฟล์ UHDTV (4K)

ที่มา: <https://www.boxcast.com/blog/hevc-h.265-vs.-H.264-avc-whats-the-difference>



รูปที่ 6 เปรียบเทียบภาพระหว่างเทคโนโลยี H.265 กับ H.264

ที่มา: <https://x265.com/>

2.1.2 High Dynamic Range (HDR)

เป็นความสามารถในการสร้างภาพหรือวิดีโอที่มีช่วงการรับแสงที่สูงกว่าปกติ ในการใช้งาน HDR กับภาพเคลื่อนไหวนั้นจะเกิดการสร้าง dynamic range ที่สูงขึ้นกว่ากระบวนการปกติ สังเกตได้จากภาพจนไปถึงจอแสดงผลที่ต้องรองรับค่าสีและความต่างของแสงที่มากกว่าปกติ โดยหลักการ HDR นั้นจะมีการเปรียบเทียบคุณลักษณะของภาพที่มีความแตกต่างระหว่างบริเวณที่มืดและที่สว่างและมีการเปรียบเทียบค่าของแสงและเงา (Contrast ratio) จากจอภาพที่สูงกว่าปกติรวมไปถึงความอิ่มตัว (Saturation) ของเม็ดสีที่มีมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้มีความสมจริงใกล้เคียงกับอัตราส่วนแสงและเงาในธรรมชาติมากขึ้น โดยปกติในโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี HDTV (SDR – Standard Dynamic Range) จะใช้งานมาตรฐาน BT.709 Gamma เป็น Transfer function ที่จะเปลี่ยนค่าสัญญาณวิดีโอ (Video signal) เป็นแสงในโทรทัศน์ ซึ่งประเภทนี้จะถูกออกแบบมาให้แสดงภาพที่มีระดับความสว่างได้สูงสุดไม่เกิน 100 Nits (cd/m^2) เท่านั้น และเทคโนโลยี HDR (High Dynamic Range) จึงได้มีการนำ Transfer function ในรูปแบบใหม่ 2 แบบ มาใช้งานเพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ

1. Perceptual Quantization (PQ)

เป็น Transfer function ที่มีการใช้งานเครื่องมือที่ชื่อว่า “Tone Mapping” ซึ่งจะมีการปรับระดับความสว่าง (Light level) โดยมีการอ้างอิงจากค่าเมตาดาต้า (Metadata) เพื่อที่จะแสดงค่าระดับความสว่างออกมาได้อย่างถูกต้อง Tone Mapping เป็นกระบวนการนี้ไม่ใช่เป็นเพียงการทำ EOTF (Electro-Optical Transfer function) บนข้อมูลสัญญาณภาพเท่านั้นแต่ยังเป็นการ map ข้อมูลสัญญาณภาพให้เหมาะสมกับความสามารถในการแสดงผลของโทรทัศน์ โดยยึดถือข้อมูล meta-data เป็นสำคัญ ในตัวอย่างนี้จะเป็นการถ่ายภาพที่มีระดับความสว่างสูงสุด 2000 nits (cd/m^2) ถ้าหากมีการนำภาพที่ไปแสดงบนโทรทัศน์ที่มีความสามารถในการแสดงระดับความสว่างระหว่าง 0 – 2000 nits จะเป็นการแสดงผลภาพจริง ๆ ที่ถูกถ่ายทำมา แต่หากนำภาพไปแสดงบนโทรทัศน์ที่มีความสามารถแตกต่างกัน จะได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 7 ผลลัพธ์เมื่อมีการนำภาพไปแสดงบนโทรทัศน์ที่มีความสามารถแตกต่างกัน

ที่มา: <https://www.venerattech.com/what-is-hdr-tone-mapping/>

ดังนั้นกระบวนการ Tone mapping จะเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อที่จะแสดงภาพของเทคโนโลยี PQ บนโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี HDR ด้วยเหตุนี้เครื่องรับโทรทัศน์จำเป็นต้องรู้ถึงช่วงของระดับความสว่างที่แท้จริงของเนื้อหาการนำเสนอ เพื่อที่จะเอามาใช้ในการอ้างอิงสำหรับกระบวนการ Tone mapping โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกถ่ายโอนมาในรูปแบบของ HDR meta-data หลังจากที่ได้มีการอ่านค่า HDR meta-data เรียบร้อยแล้ว โทรทัศน์จะสามารถพิจารณาได้ว่าค่า tTone mapping ที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ควรจะอยู่ในระดับใด



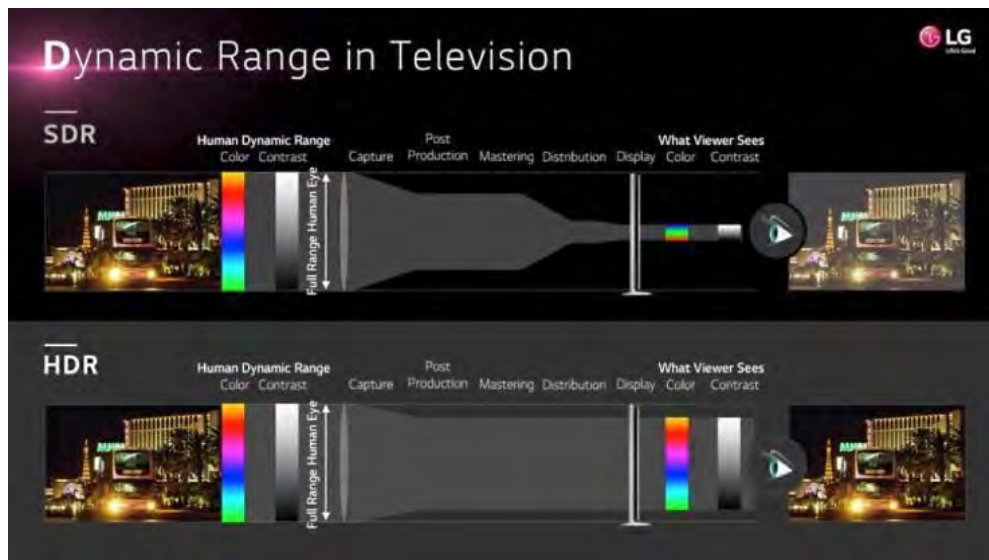
รูปที่ 8 หลักการเปรียบเทียบคุณลักษณะของภาพตามหลักการของเทคโนโลยี HDR

ที่มา: <https://omnilargess.com/zone-system-and-hdr/2015>



รูปที่ 9 เปรียบเทียบกระบวนการด้าน Dynamic Range ระหว่างทีวีแบบ SDR และ HDR

ที่มา: <https://www.wemall.com/blog/2346/we-should-need-4k-hdr-tv-or-not>



รูปที่ 10 ความแตกต่างระหว่าง HDR-TV และ SDR-TV

ที่มา: <https://www.wemall.com/blog/2346/we-should-need-4k-hdr-tv-or-not>

ทั้งนี้ ในปัจจุบันได้มีการนำมาตรฐานของ PQ มาพัฒนาต่อยอดโดยผู้ผลิต สามารถแบ่งออกเป็น 4 มาตรฐาน ดังนี้

1) HDR10 Media Profile (HDR10)

เป็นมาตรฐานการแสดงผลวิดีโอแบบ HDR ที่กำหนดโดยหน่วยงาน Consumer Technology Association (CTA) เป็นองค์กรเอกชนกลางในการสร้างมาตรฐานเทคโนโลยีเพื่อสินค้าสำหรับผู้บริโภคตามบ้านเรือนทั่วไป ถูกคิดขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพในการแสดงช่วงการรับแสงของโทรทัศน์ ด้วยการบันทึกค่าการปรับแต่งจอมอนิเตอร์ที่สตูดิโอปรับตั้งไว้ในขั้นตอนทำไฟล์ต้นฉบับของวีดีโอนั้น ๆ ออกมาเป็นข้อมูล (metadata) การปรับช่วงการรับแสงของภาพที่ถูกพิจารณา “แบบค่าคงที่” (static metadata) ทางด้านมาตรฐาน HDR10 ใช้ขอบเขตสี (Color gamut) มาตรฐาน Rec. 2020 ร่วมกับค่าความสว่างที่แทนค่าด้วยสัญญาณดิจิทัล 10 บิต



รูปที่ 11 HDR10 Media Profile logo

ที่มา: <https://www.ripscomp.net/ready4k-hdr-gaming-monitor/>

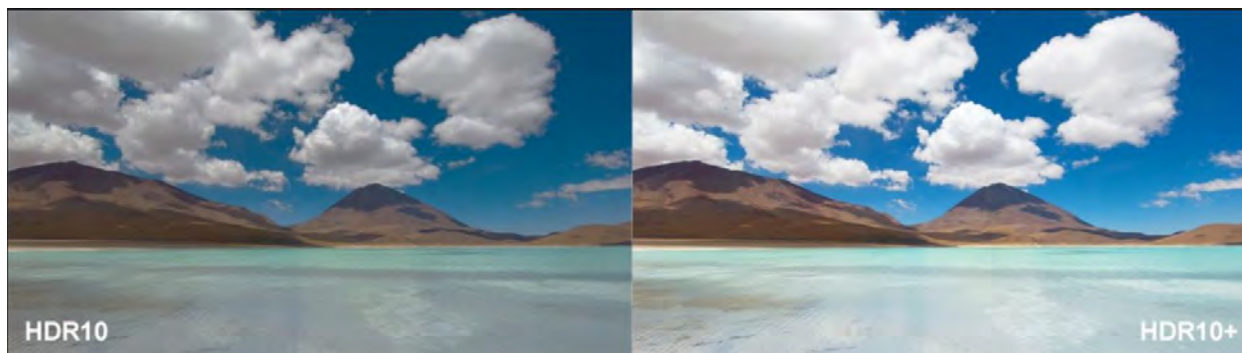
2) HDR10+

เป็นเทคโนโลยีซึ่งปรับปรุงประสิทธิภาพของ HDR10 ด้วยการเพิ่มข้อมูลในการปรับตั้งความสว่างของภาพแบบ scene-by-scene หรือ frame-by-frame กล่าวคือมีข้อมูล (metadata) การปรับช่วงการรับแสงของภาพที่ถูกพิจารณา “ทีละเฟรมภาพ” หรือเรียกว่าเป็น dynamic metadata ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้คุณภาพวิดีโอสามารถแสดงความแตกต่างของช่วงการรับแสงและสีได้เด่นชัดกว่าแบบที่ใช้ “ค่าคงที่” (static metadata) ของช่วงการรับแสงของทั้งวิดีโอ มาเป็นเกณฑ์ในการตั้งค่าช่วงการรับแสงและสีของในแต่ละเฟรมภาพเหมือนในเทคโนโลยี HDR10



รูปที่ 12 HDR10+ Logo

ที่มา: <https://www.pcworld.idg.com.au/article/640669/everything-need-know-about-hdr-tvs/>



รูปที่ 13 เปรียบเทียบเทคโนโลยีภาพของ HDR10 และ HDR10+

ที่มา: <https://www.panasonic.com/th/consumer/home-entertainment/smart-viera-tv-learn/viera-tv/what-s-hdr-and-hdr10.html>



รูปที่ 14 ความแตกต่างของความสามารถในการแสดงแสงและสี

ที่มา: <https://www.allabout.in.th/knowledge-what-is-dynamic-hdr/>

3) Dolby Vision

เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาต่อจาก PQ โดย Dolby Laboratories ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความโดดเด่นทั้งด้านการรองรับ Bit depth มากถึง 12 บิต พร้อมกับรองรับความสว่างสูงสุดถึง 10,000 nits เหนือกว่า HDR10 ที่รองรับแค่ 1,000 nits



รูปที่ 15 Dolby Vision Logo

ที่มา: <https://www.whathifi.com/advice/dolby-vision-hdr-everything-you-need-to-know>



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบคุณภาพของวิดีโอระหว่าง Dolby vision และ วิดีโอ Standard Dynamic range

ที่มา: <https://www.facebook.com/WhatHiFiMagazine/posts/2747751335250501/>

4) Advanced HDR by Technicolor

เป็นมาตรฐานที่ถูกคิดค้นโดยบริษัท Technicolor โดยเน้นการออกแบบเทคโนโลยี HDR สำหรับงาน Broadcast Media และการ Up Scaling วิดีโอแบบ SDR เป็นวิดีโอแบบ HDR ที่สามารถแสดงผลได้ทั้งอุปกรณ์เก่า SDR และอุปกรณ์ใหม่ที่รองรับ HDR บนไฟล์ชุดเดียวกันทั้งยังสามารถทำไฟล์สื่อให้รองรับกับมาตรฐาน HDR อื่น ๆ ได้อีกด้วย

technicolor



รูปที่ 17 Technicolor logo

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Technicolor_logo.svg



รูปที่ 18 ภาพเปรียบเทียบการให้สีสว่างกว่าและสีดำที่ดำลึกกว่า เมื่อใช้เทคโนโลยี Advanced HDR ของ Technicolor (ภาพขวา)

ที่มา: <https://www.avtechguide.com/what-is-advanced-hdr-by-technicolor/>

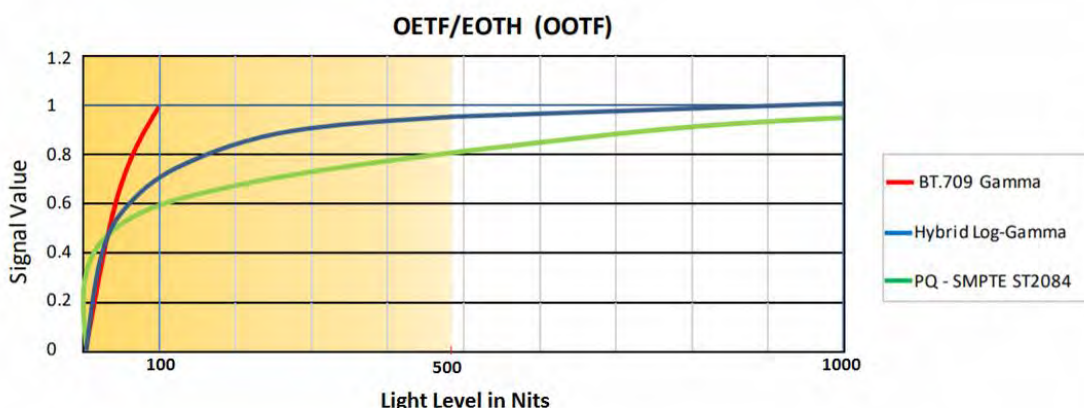
2. Hybrid Log-Gamma (HLG)

เป็น Transfer function ที่มีการปรับระดับความสว่าง (Light Level) ของโทรทัศน์แบบอัตโนมัติโดยขึ้นอยู่กับเนื้อหาและความสามารถในการแสดงผลของโทรทัศน์รุ่นนั้นๆ เทคโนโลยี HLG ถูกพัฒนาโดย BBC (ประเทศอังกฤษ) และ NHK (ประเทศญี่ปุ่น) มีเป้าหมายให้สถานีโทรทัศน์สามารถออกอากาศในคุณภาพระดับ HDR ได้ง่ายและมีความยืดหยุ่น โดยใช้ทรัพยากรน้อยกว่า HDR10 และ Dolby Vision รวมถึงการเข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่ไม่รองรับ HDR ก็สามารถรับชมโดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์และให้ภาพที่ใกล้เคียงกับ HDR ได้อย่างไม่มีปัญหา



รูปที่ 19 Hybrid Log-Gamma (HLG) Logo

ที่มา: <https://www.twblogs.net/a/5c53ea10bd9eee06ef362a9d/zh-cn>



รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Signal Value และ Light Level ของแต่ละเทคโนโลยี

ที่มา: <https://www.venerattech.com/hdr-transfer-functions-hlg-pq/>

จากกราฟด้านบนจะอธิบายถึงระดับความสว่าง (Light Level) กับ Transfer Function ชนิดต่างๆ โดยที่ในแกนแนวนอนจะแสดงถึงค่า Signal Value (ค่า 0 จะเป็นค่าของสีดำ และ 1 จะเป็นค่าเริ่มต้นของสีขาว) และในแกนแนวนอนจะแสดงถึงค่า Light level ในหน่วยของ nits(cd/m^2) ของโทรทัศน์ที่สามารถแสดงได้ จะสังเกตได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกราฟของ HLG และ BT.709 Gamma จะพบว่าในช่วงของ lower brightness regions จะมีความคล้ายคลึงกันอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้โทรทัศน์รุ่นเก่าที่รองรับเทคโนโลยี BT.709 Gamma นั้นก็สามารถรองรับการใช้งานของเทคโนโลยี HLG ด้วยเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบกราฟของเทคโนโลยี PQ กับกราฟของเทคโนโลยี BT.709 Gamma จะพบว่ามี ความแตกต่างกันค่อนข้างมาก หากมีการนำ PQ HDR

image มาแสดงบนโทรทัศน์ที่รองรับการแสดงผลแบบเทคโนโลยี SDR จะส่งผลให้ในช่วง Darker region จะถูก
 แสดงให้มีความสว่างขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยมีการลดค่า contrast levels ของภาพลง ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 21 ภาพแสดงการรองรับเทคโนโลยี PQ มาแสดงบนโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี SDR
 ที่มา: <https://www.venerattech.com/hdr-transfer-functions-hlg-pq/>

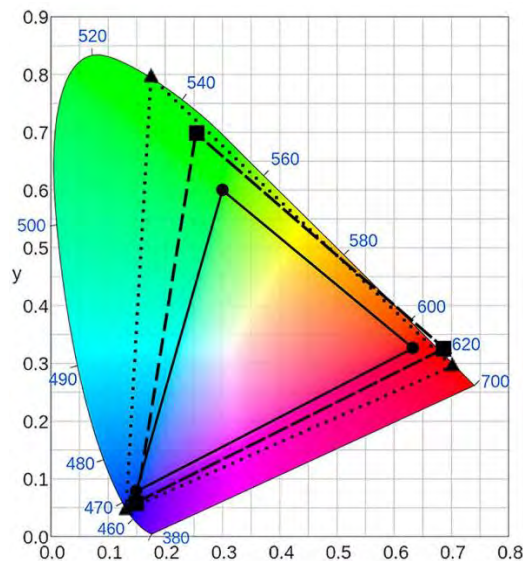
การแสดงผลภาพที่รองรับเทคโนโลยี HLG มาแสดงบนโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี SDR ดังรูป
 ด้านล่าง



รูปที่ 22 ภาพแสดงการรองรับเทคโนโลยี HLG มาแสดงบนโทรทัศน์ที่รองรับเทคโนโลยี SDR
 ที่มา: <https://www.venerattech.com/hdr-transfer-functions-hlg-pq/>

2.1.3 Color gamut

เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยองค์กร CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการแสดงสีของโทรทัศน์



รูปที่ 23 ไดอะแกรมแสดงจำนวนสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้และความสามารถในการแสดงสีในแต่ละเทคโนโลยีของโทรทัศน์

ที่มา: <https://www.cnet.com/news/ultra-hd-tv-color-part-ii-the-future/>

หมายเหตุ: สามเหลี่ยมขนาดเล็ก (●) เป็นความสามารถปัจจุบันของเทคโนโลยี HDTV (Standard SDR Color)
สามเหลี่ยมขนาดกลาง (■) เป็นความสามารถในการแสดงสีของโทรทัศน์ (DCI-P3)
สามเหลี่ยมขนาดใหญ่ (▲) เป็นความสามารถในการแสดงสีของโทรทัศน์ (Rec.2020)

1.1 Wide color gamut (WCG)

เป็นมาตรฐานที่แสดงถึงความสามารถในการแสดงสีของโทรทัศน์ที่ถูกพัฒนาให้สามารถแสดงสีได้มากยิ่งขึ้นและสามารถแสดงสีที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นได้มากยิ่งขึ้น โดยในทางเทคนิคแล้วการแสดงผลของสีที่มากขึ้นของ WCG สามารถเกิดได้จาก 2 ปัจจัยหลัก ๆ ดังนี้

1.1.1 มาตรฐาน WCG พัฒนาความสามารถในการแสดงสีของตัวเองให้เพิ่มมากขึ้นจากเดิม ด้วยการแบ่งแม่สีหลักออกเป็น 2 ชุดด้วยกันนั่นคือ

1) ชุดแม่สีอันดับแรก (Primary Colors) คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)

2) ชุดแม่สีอันดับสอง (Secondary Colors) คือ สีแดงอมม่วง (Magenta) สีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyan) และสีเหลือง (Yellow)

1.1.2 การเพิ่มความหลากหลายของ Bit depth (Bit depth: เป็นการบ่งบอกจำนวนสีที่สามารถมีได้ในหนึ่งแถบสี) โดยการผสมกันของชุดแม่สีหลักแต่ละชุดซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาหลากหลายมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การผสมกันของแต่ละแม่สีนั้นอาจจะก่อให้เกิด สีฟ้าน้ำทะเล (Turquoise blue) ไล่ระดับไปจนถึง สีน้ำเงินเข้ม (Dark blue)

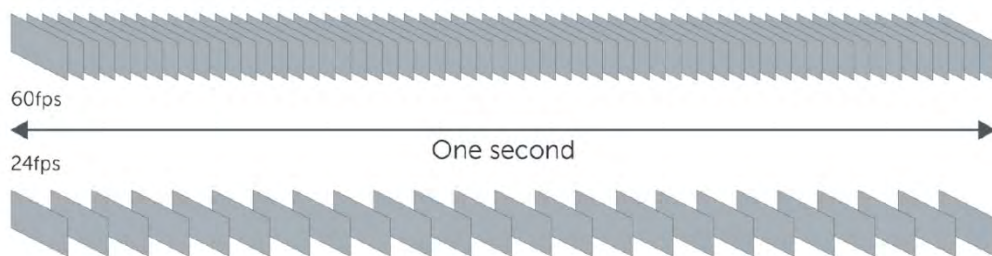


รูปที่ 24 แสดงความแตกต่างระหว่างความสามารถในการแสดงสีของแต่ละมาตรฐาน

ที่มา: <https://www.bjlibachao.com/television-tv/wide-color-gamut-wcg-improves-picture-quality.html#color-gamut>

2.1.4 Frame rate

ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอ นั้นเกิดจากการที่เราถ่ายภาพนิ่งหลาย ๆ ภาพภายในเวลา 1 วินาทีแล้วนำภาพนิ่งเหล่านั้นมาเล่นต่อเนื่องกันก็จะปรากฏออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอ ซึ่งเป็นการเดียวกับการทำสมูทรูปภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจำนวนภาพนิ่งที่จะนำมาใช้เพื่อให้เกิดเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอ นั้นก็คือค่าเฟรมเรต (Frame rate) โดยในแต่ละภาพนิ่งนั้นเปรียบเสมือนเฟรมหนึ่งเฟรมที่ถูกแสดงในเวลาหนึ่งวินาที (Frame per second: fps) ดังนั้นหากวิดีโอที่ถูกถ่ายทำนั้นมีค่าเฟรมเรตเท่ากับ 24 fps นั้นหมายความว่า ในแต่ละวินาทีของการเล่นวิดีโอ นั้นจะแสดงภาพทั้งหมด 24 ภาพ



รูปที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฟรมเรต (Frame rate) ระหว่าง 24 fps กับ 60 fps

ที่มา: <https://www.minitool.com/lib/frame-rate.html>

สำหรับการเลือกใช้งานค่าเฟรมเรต นั้นไม่มีค่าที่ดีที่สุดแต่ค่าเฟรมเรตแต่ละค่า นั้นจะมีความเหมาะสมตามลักษณะการใช้งานและความต้องการของผู้รับชมและผู้ผลิตเป็นส่วนใหญ่ ในที่นี้จะมียปัจจัยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการเลือกใช้ค่าเฟรมเรต ดังนี้

1) Style/Realism

เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณาความเป็นธรรมชาติของคุณภาพของวิดีโอในแง่ของวัตถุที่เคลื่อนไหว ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายทำการแข่งขันรถยนต์ หรือ การถ่ายทอดสดกีฬา โดยธรรมชาติแล้วหากวัตถุที่เราถ่ายทำมีการเคลื่อนไหวเราจะมองเห็นเป็นภาพเบลอ ในส่วนของค่าเฟรมเรตที่เราเลือกใช้นั้นจะทำการจำลอง Motion blur ทำให้คุณภาพของวิดีโอขึ้นอยู่กับปรับการเลือกใช้งานค่าเฟรมเรต หากมีการเลือกใช้งานค่าเฟรมเรตที่มีค่าสูงเกินไป การเคลื่อนไหวของวัตถุจะดูไม่เป็นธรรมชาติและจะเกิดปรากฏการณ์ “Soap Opera effect” ในอีกด้านหนึ่งหากเราเลือกใช้ค่าเฟรมเรตที่มีค่าต่ำเกินไปในวิดีโอที่มีการเคลื่อนไหวของภาพที่มีรายละเอียดน้อยเกินไป จะส่งผลให้การเคลื่อนไหวของวัตถุออกมาอย่างไม่เป็นธรรมชาติเช่นกัน

2) Motion

การเลือกค่าเฟรมเรตโดยพิจารณาจากเนื้อหาวิดีโอที่เราต้องการจะถ่ายทำว่าภายในวิดีโอ นั้นมีการเคลื่อนไหวของวัตถุมากน้อยเพียงใด ถ้าหากภายในวิดีโอ นั้นมีการเคลื่อนไหวของวัตถุจำนวนมาก จะเป็นผลดี ถ้าหากเลือกใช้ค่าเฟรมเรต ที่มีค่าสูงใช้ในการถ่ายทำแต่ก็ไม่ได้จำเป็นที่จะต้องมีการเคลื่อนไหวของวัตถุมากถึง จะเหมาะกับการใช้ค่าเฟรมเรตที่สูง การใช้ค่าเฟรมเรตที่สูงในการถ่ายทำนั้นจะสามารถเก็บรายละเอียดของวัตถุที่

เคลื่อนไหวได้มากกว่าการใช้ค่าเฟรมเรตค่าต่ำ และยังเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ในการตัดต่อ ซึ่งสามารถเลือกลดระดับค่าเฟรมเรตตามความเหมาะสมและความพอใจในการใช้งานได้อีกด้วย

3) Delivery of video/playback

สำหรับการเลือกค่าเฟรมเรตให้เหมาะสมกับการนำเสนอเนื้อหาไปออกอากาศในแต่ละ Platform จะต้องคำนึงความสามารถในการรับรองค่าเฟรมเรตโดยส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานใน Platform นั้น ๆ ว่ามีการรองรับค่าเฟรมเรตเท่าใดบ้าง เช่น

(1) การรับชมเนื้อหาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือการสตรีมมิง (Streaming)

ในการรับชมเนื้อหาผ่านการสตรีมมิงนั้นเป็นที่นิยมอย่างมากโดยเฉพาะ Platform ชื่อว่า YouTube นั้นจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถ upload เนื้อหาได้ในความละเอียด (Resolution) ที่หลากหลาย อาทิ 4K, Full HD โดยจะมีการกำหนดค่าเฟรมเรตให้มีค่าสูงสุดได้ที่ 60 fps

(2) การรับชมเนื้อหาผ่านทางโทรศัพท์และโทรทัศน์หรือจอมอนิเตอร์

การเลือกใช้งานค่าเฟรมเรตที่มีค่าสูงในการออกอากาศนั้นทางฝั่งของผู้รับจำเป็นต้องมีเงื่อนไขพื้นฐานหลากหลายอย่างที่จะส่งผลให้สามารถรับชมเนื้อหาที่มีค่าเฟรมเรตได้ อาทิ อุปกรณ์ที่รองรับค่าเฟรมเรตค่าความละเอียดของการแสดงผล ที่เหมาะสมกับค่าเฟรมเรต

(3) File size

สิ่งสุดท้ายที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการเลือกค่าเฟรมเรตนั้นก็คือนาฬิกาของไฟล์ (File size) และเวลาในการส่งออกข้อมูล (Export time) ยิ่งเลือกค่าเฟรมเรตสูงก็จะมีจำนวนภาพที่ถูกเก็บในแต่ละวินาทีที่มากยิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลให้มีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นไปด้วย และเมื่อมีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นก็จะมีขนาดไฟล์ที่ใหญ่มากขึ้น ดังนั้นจึงใช้เวลาในการส่งออกข้อมูลที่มากขึ้นตามไปด้วย



Asset	 Soccer Ball ▾	 Soccer Ball ▾	 Soccer Ball ▾	 Soccer Ball ▾	 Soccer Ball ▾
Frames per second	5 fps ▾	15 fps ▾	24 fps ▾	30 fps ▾	60 fps ▾
Motion blur	1.0 (Realistic) ▾	1.0 (Realistic) ▾	1.0 (Realistic) ▾	1.0 (Realistic) ▾	1.0 (Realistic) ▾
Velocity	200 px/s ▾	200 px/s ▾	200 px/s ▾	200 px/s ▾	200 px/s ▾

รูปที่ 26 การเปรียบเทียบความแตกต่างของวัตถุที่เคลื่อนไหวในแต่ละค่าเฟรมเรต (Frame rate)

ที่มา: <https://frames-per-second.appspot.com/>

สำหรับค่าเฟรมเรทมีการใช้งานในหลากหลายค่าเพื่อให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของผู้ใช้งาน ดังนั้นจะขออนุญาตยกตัวอย่าง ค่าเฟรมเรทที่ถูกนำไปใช้งานในด้าน ๆ ต่าง ดังนี้

- Frame rate: 24 fps เป็นค่าเฟรมเรท (Frame rate) ที่นิยมใช้งานสำหรับการผลิตภาพยนตร์

- Frame rate: 30 fps เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฟรมเรท 24 fps จะมีการเก็บรายละเอียดของการถ่ายทำภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่านิยมใช้งานสำหรับการผลิตเนื้อหาสำหรับการออกอากาศผ่านทางโทรทัศน์ และเหมาะสำหรับการออกอากาศการแข่งขันกีฬา ชนิดต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามการเคลื่อนไหวของภาพที่ถ่ายทำนั้นจะเริ่มไม่เป็นธรรมชาติและได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ “Soap Opera Effect” เล็กน้อย

- Frame rate: 60 fps เป็นค่าเฟรมเรทในทางอุดมคติของการถ่ายทำวิดีโอที่ภายในเนื้อหานั้นมีรายละเอียดและการเคลื่อนไหวของวัตถุที่ต้องการถ่ายทำเป็นจำนวนมากอยู่ในฉาก ๆ เดียว ยกตัวอย่าง เช่น การถ่ายทำวิดีโอกลุ่มคนจำนวนมากเดินไปมา (People walking) หรือ การถ่ายทำวิดีโอเปลวเทียน (Candles being blown out)



รูปที่ 27 การถ่ายทำวิดีโอเปลวเทียน (Candles being blown out)

ที่มา: <https://www.youtube.com/watch?v=lobxxegPfal>

- Frame rate: 120 fps เป็นค่าเฟรมเรทในทางอุดมคติของการถ่ายทำวิดีโอแบบสโลว์โมชั่น (Slow motion) สำหรับวัตถุที่มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว

- Frame rate: 240 fps เป็นค่าเฟรมเรตในทางอุดมคติของการถ่ายทำวิดีโอแบบ สโลว์โมชั่น สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น ลูกโป่งแตก (Balloons exploding) หรือน้ำกระฉาด (Water splashes) เป็นต้น



รูปที่ 28 การถ่ายทำวิดีโอ slow motion ของลูกโป่งใส่น้ำ

ที่มา: <https://www.youtube.com/watch?v=XIfwTl9c2x0>

2.1.5 Refresh rate

ค่ารีเฟรชเรต (Refresh rate) ของโทรทัศน์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงจำนวนภาพที่ถูกทำซ้ำ (Redrawn) ใน 1 วินาทีโดยอาศัยเทคโนโลยีที่ผู้ผลิตโทรทัศน์เป็นคนพัฒนาขึ้น หรือในอีกความหมายหนึ่งคือจำนวนภาพที่สามารถแสดงได้ในเวลา 1 วินาที การแสดงภาพที่รวดเร็วเนื่องจากค่ารีเฟรชเรต นั้นจะช่วยให้การเคลื่อนไหวของเนื้อหาที่ปรากฏนั้นต่อเนื่อง (Smooth) มากยิ่งขึ้น

ถ้าหากมีการเปรียบเทียบค่ารีเฟรชเรตกับค่าเฟรมเรตก่อนอื่นเลยต้องทำความเข้าใจก่อนว่า ทั้งสองค่านี้เป็นคนละค่ากันเพียงแต่มีความเกี่ยวข้องกัน ดังนี้

1) ค่าเฟรมเรต (Frame rate) นั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความถี่ของภาพเคลื่อนไหวของวิดีโอที่สามารถแสดงได้บนโทรทัศน์

2) ค่ารีเฟรชเรต (Refresh rate) นั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความถี่ของการแสดงภาพเคลื่อนไหวของวิดีโอที่โทรทัศน์สามารถแสดงได้

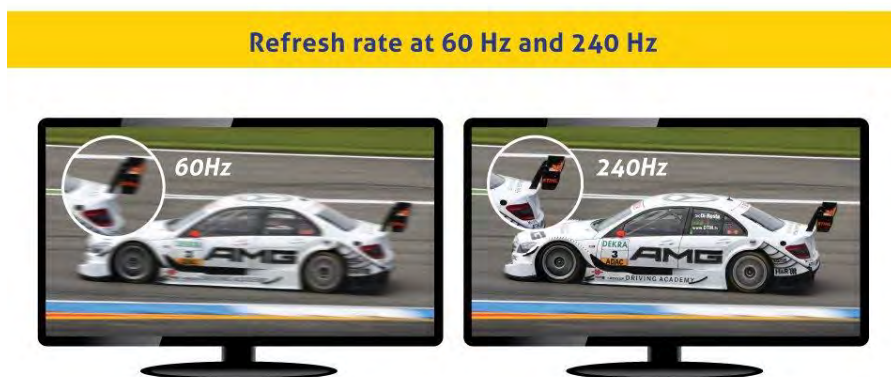
โดยในปัจจุบันมาตรฐานสูงสุดของค่ารีเฟรชเรตในโทรทัศน์นั้นจะอยู่ที่ 120 Hz หมายความว่า โทรทัศน์สามารถแสดงภาพได้ 120 ภาพทุก ๆ 1 วินาที

ถ้าหากเราทำการบันทึกวิดีโอที่ใช้กันค่าเฟรมเรตเท่ากับ 60 fps เพื่อนำวิดีโอมาแสดงที่โทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรต เท่ากับ 120 Hz โดยโทรทัศน์จะทำการสร้างภาพซ้ำ (Redrawn) ในแต่ละเฟรมเป็นจำนวน 2 เท่า คือ $60 \text{ fps} \times 2 = 120 \text{ fps}$ สำหรับวิดีโอที่มีค่าเฟรมเรตเท่ากับ 30 fps โทรทัศน์จะทำการสร้างภาพซ้ำในแต่ละเฟรม

เป็นจำนวน 4 เท่าคือ $30 \text{ fps} \times 4 = 120 \text{ fps}$ อย่างไรก็ตามทั้งสองแบบนี้ประสิทธิภาพในการแสดงของภาพเคลื่อนไหวของวิดีโอที่เท่ากัน ในกรณีที่โทรทัศน์มีค่ารีเฟรชเรตที่แตกต่างกันแสดงวิดีโอที่มีค่าเฟรมเรตที่เท่ากันจะไม่ส่งผลต่อรายละเอียดของวิดีโอ ดังนั้นเมื่อโทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับ 120 Hz จะสามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่าโทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับ 60 Hz

โทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับ 120 Hz สามารถนำเทคโนโลยี Motion Interpolation มาช่วยในการสร้างภาพซ้ำกับวิดีโอที่มีค่าเฟรมเรตเท่ากับ 60 fps ได้เนื่องจากโทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตที่สูงกว่าค่าเฟรมเรตของวิดีโอที่ต้องการแสดง

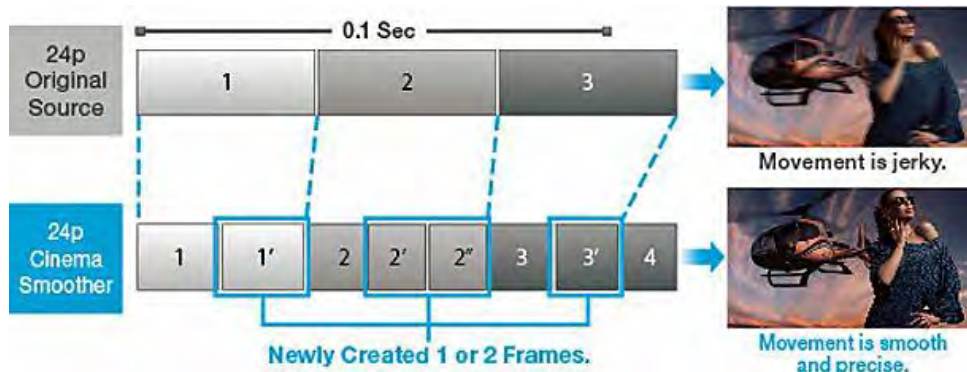
โทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับ 60 Hz ไม่สามารถที่จะนำเทคโนโลยี Motion Interpolation มาช่วยในการสร้างภาพซ้ำกับวิดีโอที่มีค่าเฟรมเรตเท่ากับ 60 fps ได้เนื่องจากโทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับค่าเฟรมเรตของวิดีโอที่ต้องการแสดง ฉะนั้นไม่สามารถสร้างภาพซ้ำได้เกินกว่าความสามารถในการแสดงภาพของโทรทัศน์เองหรือเกินกว่าค่ารีเฟรชเรตของโทรทัศน์นั้น ๆ



รูปที่ 29 เปรียบเทียบค่ารีเฟรชเรต (Refresh rate)

ที่มา: https://cdn2.from.ae/media/wysiwyg/Promotions/Blog/TV_buying_guide/Refresh_rate_V323826756_.jpg

โดยข้อเสียหรือผลกระทบของการใช้เทคโนโลยี Motion Interpolation ในการสร้างภาพซ้ำนั้นจะทำให้การเคลื่อนไหวของภาพนั้นดูไม่สมจริงทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Soap Opera Effect” ทั้งนี้ Motion Interpolation เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มเฟรมเรตของวิดีโอต้นฉบับโดยจะเป็นการสร้าง Frame เพิ่มเข้าไประหว่างเฟรมดั้งเดิม จำนวน 2 เฟรม โดยอาศัยการศึกษาความเป็นไปได้ของการเคลื่อนไหวระหว่างเฟรมทั้งสองเฟรม และสร้างเฟรมใหม่เข้าไประหว่างเฟรมทั้งสองเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของการเคลื่อนไหวระหว่างทั้งสองเฟรมได้ดียิ่งขึ้นลดผลกระทบจากการกระโดดข้ามเฟรม



รูปที่ 30 แสดงกระบวนการทำ Motion Interpolation

ที่มา: <https://www.beartai.com/lifestyle/movies/278131>

Soap Opera Effect (SOE) คือ คำที่ใช้อธิบายคุณภาพของภาพจากหนังที่ฉายในโรงภาพยนตร์ซึ่งถูกถ่ายทำออกมาโดยใช้ค่าเฟรมเรตเท่ากับ 24 fps เมื่อนำภาพยนตร์มาฉายผ่านโทรทัศน์ทำให้เกิดปรากฏการณ์ soap opera effect ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเมื่อนำภาพยนตร์ที่มีค่าเฟรมเรตเท่ากับ 24 fps มาฉายผ่านทางโทรทัศน์ที่มีค่ารีเฟรชเรตเท่ากับ 30 Hz และ 60 Hz นั้น จะไม่สามารถดำเนินการ Motion interpolation ได้อย่างสมบูรณ์ เกิดจากการเพิ่มเฟรมแบบปกติไม่สามารถเพิ่มเฟรมให้มีค่าพอดีกับค่ารีเฟรชเรตของโทรทัศน์ที่นำมาแสดงได้ ตามที่แสดงตามภาพด้านล่างหากมีการเปิดใช้งานเทคโนโลยี Motion Interpolation ภาพจะมีความต่อเนื่องมากกว่าแต่จะเกิดการภาพเหลื่อมกันจากจำนวนเฟรมที่ถูกทำซ้ำมาเชื่อมกันจนรู้สึกเหมือนภาพละลายเหมือนโทรทัศน์รุ่นเก่า



รูปที่ 31 แสดงภาพของภาพยนตร์ขณะที่เปิดใช้งานเทคโนโลยี Motion Interpolation

ที่มา: <https://www.beartai.com/lifestyle/movies/278131>

ถ้าหากมีการปิดเทคโนโลยี Motion Interpolation ตามภาพด้านล่างภาพจะแสดงแบบกระโดดข้ามเฟรมที่มาจากภาพยนตร์จนทำให้รู้สึกว่ภาพกระตุก



รูปที่ 32 แสดงภาพของภาพยนตร์ขณะที่ปิดใช้งานเทคโนโลยี Motion Interpolation

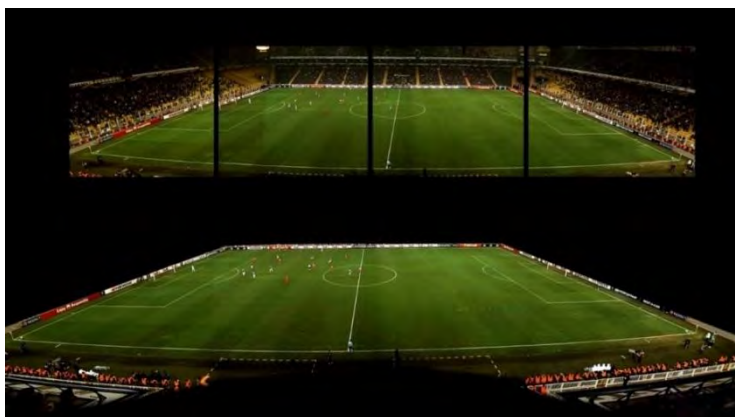
ที่มา: <https://www.beartai.com/lifestyle/movies/278131>

2.1.6 Surround Video Stitching and Synchronous

เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการพัฒนาประสบการณ์การรับชมให้ดียิ่งขึ้น สมจริงมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การใช้เทคโนโลยีนี้สำหรับการถ่ายทอดสดการแข่งขันกีฬาให้เสมือนผู้ชมรู้สึกเหมือนอยู่ในการแข่งขันนั้นจริง ๆ เป็นการถ่ายทอดการแข่งขันกีฬาแบบไม่มีจุดอับสายตาหรือจุดที่มองไม่เห็น ซึ่งจะเกิดขึ้นได้จากการรวมกันของเทคโนโลยีหลัก ๆ 2 ประการคือ

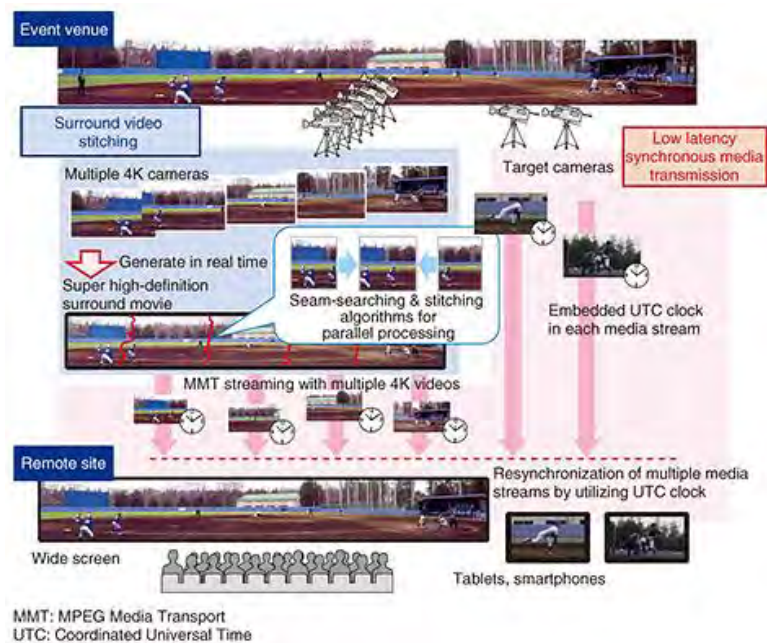
1) Surround video stitching

เป็นการหารอยต่อของวิดีโอเพื่อทำการรวมไฟล์วิดีโอและเสียงทั้งแนวนอนและแนวตั้ง (Horizon and Vertical) แบบเรียลไทม์สำหรับการถ่ายทอดวิดีโอที่มีมุมมองถึง 180 องศาหรือมากกว่านั้นซึ่งเกินกว่าประสิทธิภาพของกล้องเพียง 1 ตัวที่จะสามารถถ่ายทำได้



รูปที่ 33 ตัวอย่างการถ่ายทอดสดกีฬาโดยอาศัยเทคโนโลยี Surround Stitching Video

ที่มา: <https://www.youtube.com/watch?v=zFPke3UudBQ>

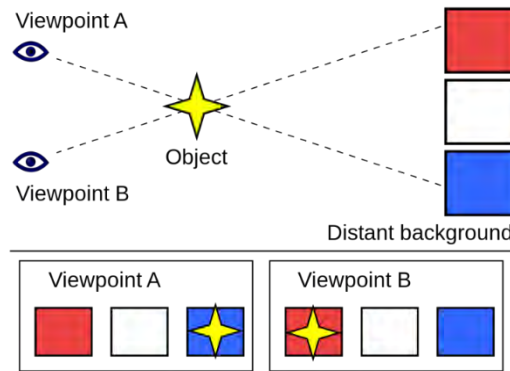


รูปที่ 34 แสดงขั้นตอนของกระบวนการ Surround video stitching และ Synchronization technology
ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

สำหรับขั้นตอนในการทำ Surround video stitching จะมีขั้นตอนดังนี้

(1.1) Real-time video stitching

สำหรับการเชื่อมต่อไฟล์วิดีโอและเสียงแบบเรียลไทม์ (real-time video stitching) หลาย ๆ ไฟล์นั้นจะต้องอาศัยความเร็วในการส่งข้อมูลประมาณ 15 Gbps จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีหรือกระบวนการต่าง ๆ เพื่อมาพัฒนาความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูล ในกรณีที่ต้องการที่จะสร้างไฟล์วิดีโอที่มีมุมมองของภาพ 180 องศา หรือมากกว่านั้น หรือที่เรียกกันว่า พาโนรามา (Panorama) จำเป็นที่จะต้องทำการรวมไฟล์วิดีโอหลายไฟล์ที่มาจากกล้องในแต่ละมุมมองเข้าด้วยกัน จึงต้องมีขั้นตอนของการตรวจสอบหรือแก้ไขคุณภาพของไฟล์วิดีโอเหล่านั้น โดยอาศัยการทำ Correction Processing ในแต่ละไฟล์วิดีโอและเสียงเพื่อลดผลกระทบของความแตกต่างของตำแหน่งของวัตถุเมื่อมองผ่านมุมมองที่แตกต่างกัน (Parallax) เนื่องจากถ่ายทำด้วยกล้องจำนวนมากการเชื่อมต่อ (Stitching Processing) ระหว่างวิดีโอั้นต้องมีการพิจารณตำแหน่งรอยต่อ (Seam search) ของวิดีโอแต่ละวิดีโอจึงจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีวัตถุเคลื่อนที่ (Moving Objects) เมื่อพิจารณาการหาตำแหน่งรอยต่อ (Seam) ของวิดีโอได้แล้วจึงดำเนินการเชื่อมต่อรอยต่อ (Stitching Processing)

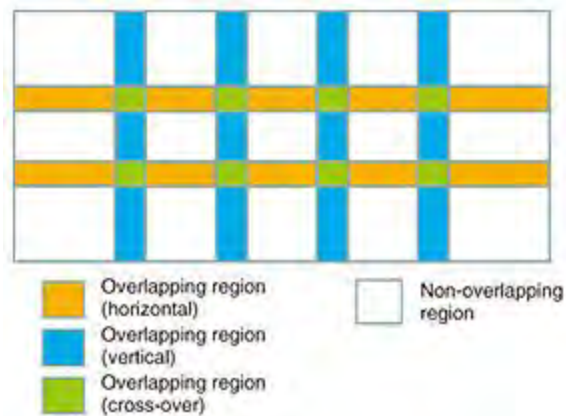


รูปที่ 35 อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งปรากฏ (Parallax)

ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Parallax>

(1.2) Fast seam search

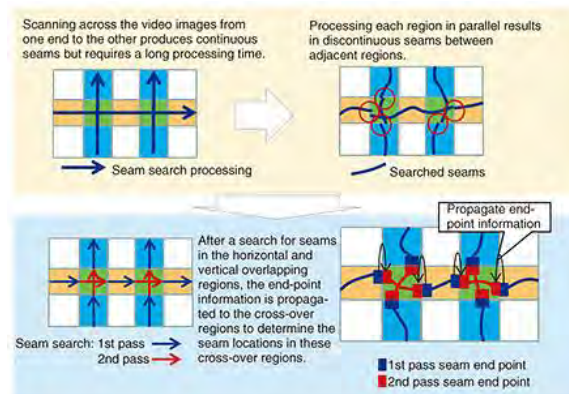
สำหรับการพิจารณาหารอยต่อของวิดีโอโดยมีการพิจารณารอยต่อจากข้อมูลต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น Luminance differences (motion information), edge intensities (shape information) ที่ได้มาจากการกระบวนการวิเคราะห์วิดีโอ (Video Analysis) ในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์วิดีโอ และการหารอยต่อของวิดีโอ (Seam Search) จะดำเนินการไปพร้อมกันเพื่อให้เกิดความเร็วในการดำเนินการหรืออาจจะมีการใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์วิดีโอหารอยต่อจากไฟล์วิดีโอก่อนหน้านี้เพื่อให้เกิดความแม่นยำของตำแหน่งรอยต่อวิดีโอ ทั้งนี้ในการดำเนินการกระบวนการวิเคราะห์วิดีโอ การหารอยต่อของวิดีโออาจไม่สามารถนำข้อมูลจากไฟล์วิดีโอก่อนหน้านี้มาอ้างอิงได้ ปัญหานี้เราสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยกระบวนการตรวจสอบรอยต่อของไฟล์วิดีโอและเสียง (Seam detection Processing) ก่อนหน้านี้โดยทำการลดขนาดของวิดีโอก่อนหน้านี้ลง (Scaled-down video image) และนำข้อมูลคร่าวๆของวิดีโอก่อนหน้านี้มาใช้งานในการหารอยต่อของวิดีโอ (Seam search) จึงส่งผลให้เกิดการประมวลผลที่รวดเร็วและถูกต้องในการหาตำแหน่งรอยต่อของวิดีโอ สำหรับการรวมกันของไฟล์วิดีโอและเสียงทั้งในแนวนอนและแนวตั้งจะต้องมีการเชื่อมรอยต่อ (Stitching Processing) ในหลาย ๆ พื้นที่ที่มีการซ้อนทับกัน ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 36 ตัวอย่างของพื้นที่ที่มีการซ้อนทับกันในการเชื่อมต่อรอยต่อของวิดีโอ (Video Stitching)

ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

ในกระบวนการเชื่อมรอยต่อ (Stitching Processing) ของวิดีโอในแต่ละไฟล์วิดีโอและเสียงทั้งแนวนอนและแนวตั้งจะต้องอาศัยเวลาในการดำเนินการที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการหารอยต่อของไฟล์วิดีโอและเสียงในส่วนที่มีการทับกันหรือข้อมูลที่ซ้ำกันจะมีการดำเนินการไปพร้อมกันกับกระบวนการเชื่อมรอยต่อของไฟล์วิดีโอและเสียง และในส่วนของการค้นหารอยต่อของวิดีโอของแต่ละพื้นที่นั้นจะไม่มีการจัดลำดับหรือพื้นที่ในการดำเนินการก่อนหลัง ดังนั้นจึงสำคัญมากในการแจ้งข้อมูลเมื่อพบจุดรอยต่อของไฟล์วิดีโอและเสียงให้พื้นที่ข้างเคียงได้รับทราบในขณะที่พื้นที่อื่น ๆ ก็ยังคงมีการดำเนินการหารอยต่อและเชื่อมรอยต่อวิดีโออยู่ ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 37 อธิบายถึงขั้นตอนในกระบวนการหารอยต่อและเชื่อมรอยต่อไฟล์วิดีโอและเสียง

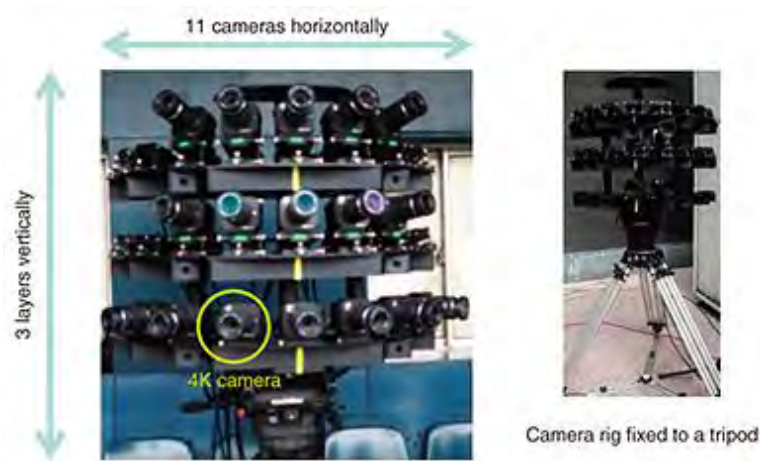
ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

2) Synchronous processing

หลังจากผ่านกระบวนการ Correction Processing หารอยต่อเชื่อมรอยต่อของวิดีโอเรียบร้อยแล้วจะได้ไฟล์วิดีโอและเสียงหนึ่งไฟล์นำมาเข้ากระบวนการซิงโครไนซ์ (Synchronization) โดยจะมีการสร้าง Time stamp ให้กับไฟล์วิดีโอและเสียงก่อนที่ไฟล์วิดีโอและเสียงเหล่านี้จะถูกส่งออกอากาศทุกครั้ง โดยแทนที่จะต้องทำการสร้าง Time stamp ใหม่ทุกครั้งเมื่อต้องการส่งไฟล์วิดีโอและเสียงออกอากาศ เราสามารถที่จะสร้าง Time stamp ได้จาก Time code ที่ถูกเพิ่มโดยกล้องที่ถ่ายทำวิดีโอ นั้น ๆ หรือที่ถูกระบุมาตั้งแต่ตอนนำวิดีโอเข้าสู่ระบบ ในทางกลับกันเมื่อเราทำการเชื่อมรอยต่อของวิดีโอและเสียงเรียบร้อยแล้ว เราสามารถที่จะกู้คืนหรือเรียกใช้งาน Time code เดิมได้ โดยจะมีการส่ง Time code ที่ถูกเพิ่มโดยกล้องที่ถ่ายทำวิดีโอ นั้น ๆ หรือมาจากอุปกรณ์อื่นที่ส่งไฟล์วิดีโอตรงไปยังกระบวนการสุดท้ายก่อนถึงภาคส่งสัญญาณไฟล์วิดีโอและเสียงนั้นคือ ขั้นตอนของการเข้ารหัสสัญญาณ (Encoder) หรือที่ภาคส่งสัญญาณ (Transmission) ส่งผลให้ที่ฝั่งภาครับสามารถทำการเชื่อมรอยต่อของวิดีโอและเสียงได้ทันทีโดยอาศัย Time code เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณวิดีโอและเสียงเข้ากันด้วย โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการ Surround video stitching ทุกครั้งในการส่งสัญญาณวิดีโอและเสียงดังรูปที่ 34

(2.1) Precise video capture from multiple 4K device

ก่อนที่จะมีการดำเนินการเชื่อมรอยต่อวิดีโอในการถ่ายทำวิดีโอด้วยกล้องหลาย ๆ ตัวเพื่อให้ได้มุมมองที่กว้างขึ้นนั้น มักจะเกิดปัญหาความแตกต่างของตำแหน่งของวัตถุเมื่อมองผ่านมุมมองที่แตกต่างกัน (Parallax) โดยเราสามารถลดผลกระทบของปัญหานี้ได้จากกระบวนการ correction processing อย่างไรก็ตามในการทำ correction processing นั้นก็ไม่สามารถที่จะแก้ปัญหานี้ได้อย่าง 100% เนื่องจากผลกระทบของความแตกต่างของตำแหน่งของวัตถุเมื่อมองผ่านมุมมองที่แตกต่างกัน (Parallax) นี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพและความถูกต้องของตำแหน่งของวัตถุที่ถูกถ่ายในวิดีโอ นั้น ๆ ด้วย ดังนั้นในการที่จะทำการเชื่อมรอยต่อวิดีโอให้ได้คุณภาพที่ดีนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการตั้งค่าหรือปรับตำแหน่งของกล้องอย่างถูกต้องแม่นยำเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากความแตกต่างของตำแหน่งของวัตถุที่ถูกถ่ายทำเมื่อมองผ่านมุมมองที่แตกต่างกัน (Parallax) ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จึงได้มีการพัฒนารองกล้องหรือขาตั้งกล้องที่สามารถปรับมุมกล้องหรือตำแหน่งของการถ่ายวิดีโอได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำทั้งในแนวราบและแนวตั้งเพื่อให้คุณภาพของการกระบวนการเชื่อมต่อดียิ่งขึ้น

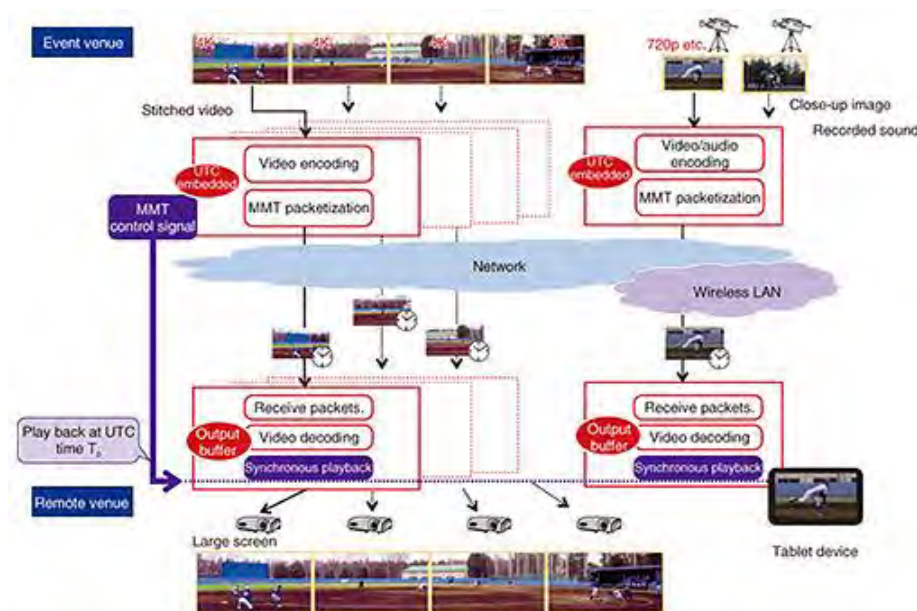


รูปที่ 38 แสดงตัวอย่างของฐานรองกล้องและขาตั้งกล้องที่นำมาใช้งาน

ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

(2.2) การปรับปรุงความเร็วในการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูล (Low-latency media synchronization and transmission technology)

ในขั้นตอนของการส่งสัญญาณวิดีโอและเสียงหลังจากการผ่านขั้นตอนการค้นหารอยต่อของวิดีโอและเชื่อมรอยต่อของวิดีโอ (Seam-Search and Stitching Processing) จะต้องแยกไฟล์วิดีโอและเสียงออกจากกันก่อนที่จะถึงขั้นตอนของการส่งสัญญาณไปยังภาครับ ในส่วนของภาครับสัญญาณจะต้องทำการเชื่อมต่อ (Synchronization) ไฟล์วิดีโอและเสียงเข้าด้วยกัน โดยอาศัย MMT (MPEG Media Transport) เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณและในส่วนของภาครับจะมีขั้นตอนการชดเชยเวลาที่เกิดจากกระบวนการของภาครับ (Playback environment) เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อไฟล์วิดีโอและเสียงในภาครับให้เป็นไฟล์เดียวกันให้ เพื่อสอดคล้องกับอุปกรณ์ในแต่ละภาครับ อาทิ แท็บเล็ต มือถือ ไปจนถึงจอทีวีขนาดใหญ่ โดยเนื้อหาที่ถูกส่งไปยังผู้ชมผ่านทางโครงข่ายต่าง ๆ หากสัญญาณวิดีโอและเสียงถูกส่งมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้เวลาในการรับสัญญาณวิดีโอและเสียงแตกต่างกันออกไป เนื่องจากปัจจัยของการเกิดดีเลย์จากการแพร่สัญญาณ (Propagation delay) และความเร็วในการส่งสัญญาณของแต่ละเส้นทางในแต่ละโครงข่าย การปรับปรุงความเร็วในการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมหน่วยสำรองข้อมูล (Buffer Control) ร่วมกับ MMT ที่สอดคล้องกับสัญญาณและถูกควบคุมการเชื่อมต่อโดยยึดมาตรฐาน UTC (Coordinated Universal Time) เพื่อหลีกเลี่ยงความหลากหลายในแต่ละสัญญาณวิดีโอและเสียงโดยภายใน MMT และจะมีการใช้งาน Error correction coding เพื่อจัดการกับความผิดพลาดของข้อมูลที่ถูกรบกวนระหว่างการส่งให้เหมาะสม



รูปที่ 39 กระบวนการควบคุมการเชื่อมต่อโดยยึดมาตรฐาน UTC

ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

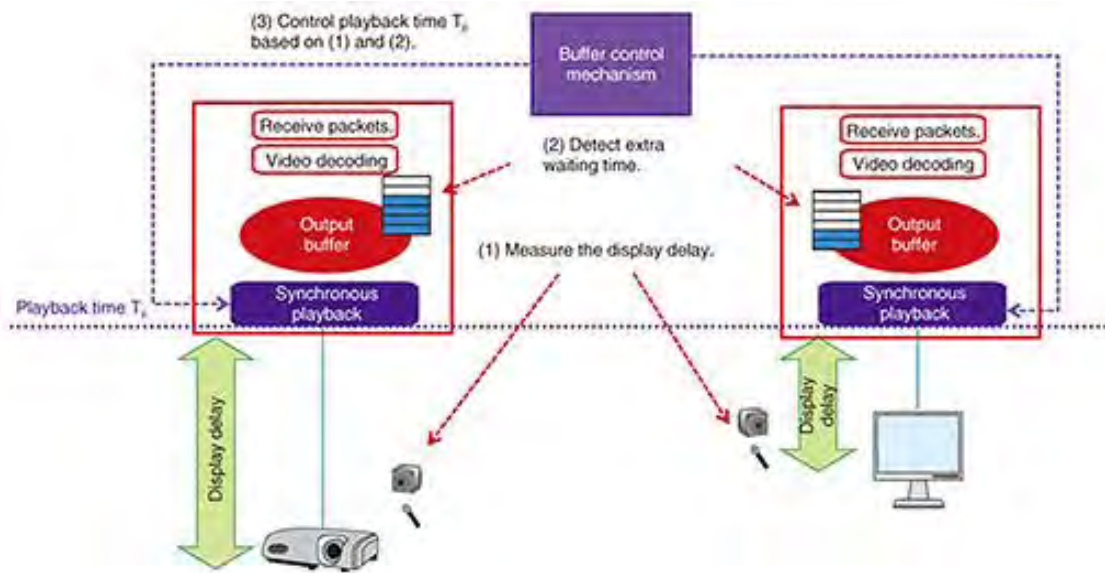
ในส่วนของการปรับปรุงความเร็วในการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูล (Low-latency media synchronization and transmission technology) จะมีการกำหนดให้มีการสำรองข้อมูล (buffer content) ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการแสดงไฟล์วิดีโอและเสียง (playback) ดังนี้

(2.3) Guaranteed synchronization in different playback environments

การส่งสัญญาณโดยอาศัย MMT เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณสามารถทำให้เกิดกระบวนการเชื่อมต่อได้แต่ปัญหาของการเชื่อมต่อของไฟล์วิดีโอและเสียงส่วนใหญ่นั้นจะเกิดจากความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดำเนินการรับสัญญาณและการถอดรหัสสัญญาณรวมถึงผลกระทบที่เกิดจากความล่าช้าของขั้นตอนการแสดงผลภาพของแต่ละอุปกรณ์แสดงผลไฟล์วิดีโอและเสียง (Playback device) ที่ใช้เวลาในการดำเนินการนานกว่าค่าเวลา ซึ่งถูกตั้งไว้เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อกันของการแสดงไฟล์วิดีโอและเสียงแต่ละไฟล์เมื่อครบกำหนดเวลา ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้จากการปรับค่าเวลาจากการวัดค่าความล่าช้าในแต่ละอุปกรณ์แสดงผลไฟล์วิดีโอและเสียง และการเพิ่มเวลา ในหน่วยควบคุมการสำรองข้อมูล (Buffer control) เพื่อให้ค่าเวลาตรงกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการของแต่ละอุปกรณ์แสดงผลไฟล์วิดีโอและเสียงอย่างแท้จริง

(2.4) Reduced latency of video transmission

หน่วยควบคุมการสำรองข้อมูล (Buffer control) ทำหน้าที่ในการเก็บสัญญาณวิดีโอและเสียงที่ถูกถอดรหัสสัญญาณ จนกระทั่งถึงค่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อไฟล์วิดีโอและเสียงเข้าด้วยกัน แต่เมื่อหน่วยควบคุมการสำรองข้อมูลเก็บข้อมูลไฟล์วิดีโอและเสียงเพื่อการเชื่อมต่อมากเกินไปจนความจำเป็นจะส่งผลให้เกิดความล่าช้าขึ้นและจะส่งผลให้ ค่าเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (Latency) มีค่ามากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ข้อมูลไฟล์วิดีโอและเสียงในหน่วยควบคุมการสำรองข้อมูลมีข้อมูลที่มากเกินไป หากมีข้อมูลมากเกินไปจะมีการปรับให้หน่วยควบคุมการสำรองข้อมูลให้กำจัดไฟล์วิดีโอและเสียงที่อยู่ภายในตัวสำรองข้อมูล (Buffer)



รูปที่ 40 การทำงานของหน่วยควบคุมการสำรองข้อมูล (Buffer control)

ที่มา: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>

2.2 มาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเสียง

2.2.1 Next Generation Audio

เทคโนโลยี Next generation Audio (NGA) เป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทในการปฏิวัติวงการของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเสียง โดยเทคโนโลยี NGA จะประกอบไปด้วยการรวบรวมเสียงที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ต่างๆ เช่น Objects หรือ scene-based audio การแยกข้อมูลเสียงหรือแหล่งที่มาของเสียงและการใช้ชุดข้อมูล (Metadata) ในการอธิบายความสัมพันธ์ของเสียงและเชื่อมต่อข้อมูลของเสียงแต่ละชนิดเข้าด้วยกันรวมไปถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่ง (Position) ระดับเสียง (Volume) และการควบคุมจังหวะ (Timing) ซึ่งการรวมกันของสิ่งเหล่านี้เรียกว่า “Renderer”

The Audio Definition Model (ADM) ถูกระบุไว้ใน specified in ITU-R BS.2076 ซึ่งเป็นการเห็นชอบของหลักการและรูปแบบข้อบังคับสำหรับข้อมูล (Metadata) และมีการแนะนำให้ใช้งาน ADM Metadata เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบการเข้ารหัสไฟล์เสียง (Audio Format) ที่ถูกใช้ในการผลิตเนื้อหาสำหรับระบบ NGA โดยที่ The EBU ADM Renderer ถูกพัฒนาเพื่อให้ใช้งานได้อย่างอิสระและเป็นที่ยอมรับที่ใครๆก็สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ โดยที่ EBU ADM Renderer ถูกพัฒนาโดย IRT (Institut für Rundfunktechnik GmbH), BBC (British Broadcasting Corporation), France Television, bcom และ EBU (European Broadcasting Union)

คุณสมบัติเด่นของเทคโนโลยี NGA มีดังนี้

- 1) เสียงที่ความสมจริง (Immersive sound)
- 2) การพัฒนาประสบการณ์การรับฟังของผู้ใช้งาน (Personalizable experiences) ในด้านต่างๆ

ยกตัวอย่างเช่น

(2.1) สามารถเพิ่มเสียงผู้บรรยายให้ชัดเจนขึ้นในขณะที่เสียงอื่นๆยังคงอยู่ในระดับปกติ (Dialog+)

(2.2) สามารถเลือกรับชมรายการด้วยเสียงบรรยายได้หลากหลายภาษา (Multi-language programs)

(2.3) สร้างประสบการณ์ในการรับชมกีฬา (Sports experience) โดยสามารถเลือกรับฟังเสียงบรรยายจากรายการโทรทัศน์หรือเลือกรับฟังเสียงบรรยายจากผู้บรรยายภายในสนามกีฬาหรือสามารถเลือกฟังเสียงบรรยายจากกรอบของสนามกีฬา

3) มีการใช้งานอัตราบิตอย่างคุ้มค่า (Bit rate efficient) กว่าเทคโนโลยีรุ่นก่อน ๆ ดังนั้นในเทคโนโลยีนี้จะไม่ต้องกังวลเรื่องค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้อัตราบิตที่สูงขึ้น

รูปแบบของการเข้ารหัสเสียง (Audio coding) แบบ Next Generation audio (NGA) มี 2 มาตรฐาน คือ MPEG-H และ AC-4

1) MPEG-H Audio หนึ่งในระบบเสียงที่ถูกจัดให้อยู่ในหมวดของ Next-Generation Audio เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนามาให้สามารถเล่นเสียงที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น (Immersive) และมีเปิดให้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งเพื่อให้ได้ประสบการณ์ในการฟัง (Personalizable experiences) ที่ดียิ่งขึ้น ตามความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อที่มั่นใจได้ว่าผู้ใช้งานจะได้รับประสบการณ์ที่ดีที่สุดและความสามารถในการใช้งานได้กับอุปกรณ์ทุกชนิด

ในส่วนของการพัฒนาประสบการณ์การฟัง (Personalizable experiences) ของเทคโนโลยี MPEG-H Audio มีตัวอย่างดังนี้

- (1.1) สามารถที่จะเลือกรับฟังเสียงภายในเนื้อหาได้อย่างอิสระ (Audio presentations)
- (1.2) สามารถเลือกรับชมเนื้อหาได้หลากหลายภาษา (Multi-language programs)
- (1.3) สามารถเพิ่มเสียงผู้บรรยายให้ชัดเจนขึ้นในขณะที่เสียงอื่นๆยังคงอยู่ในระดับปกติ (Dialog+)
- (1.4) สามารถปรับขนาดตัวอักษรและตำแหน่งของคำบรรยายเสียงได้ (Customizable audio description)
- (1.5) สร้างประสบการณ์ในการรับชมกีฬา (Options for sports programs) โดยสามารถเลือกรับฟังเสียงบรรยายจากรายการโทรทัศน์หรือเลือกรับฟังเสียงบรรยายจากผู้บรรยายภายในสนามกีฬา หรือสามารถเลือกฟังเสียงบรรยายรอบของสนามกีฬา
- (1.6) สามารถเลือกรับฟังเสียงนักร้องบนเวทีคอนเสิร์ตหรือจะฟังเสียงขอแฟนเพลงที่อยู่ภายในคอนเสิร์ต (Options for live music)
- (1.7) สามารถเพิ่มเสียงหรือลดเสียงกองเชียร์ภายในสนามกีฬาของแต่ละทีมได้

ในส่วนของความสมจริงของเสียง (Immersed in sound) ของเทคโนโลยี MPEG-H Audio จะขออนุญาตยกตัวอย่างดังนี้

- (1.8) สามารถรับฟังเสียงคนเชียร์กีฬาเสมือนผู้ใช้งานอยู่ท่ามกลางการแข่งขันกีฬา (Live sports events)
- (1.9) สามารถรับฟังเสียงดนตรีเสมือนผู้ใช้งานอยู่ท่ามกลางการแสดงดนตรีนั้นจริงๆ (Live music concerts)

2.2.2 Audio Codec 3 vs Audio Code 4

เทคโนโลยี AC-3 (Audio Code 3) เป็นเทคโนโลยีการเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Digital audio coding) ที่ลดจำนวนข้อมูลที่ต้องใช้งานสำหรับเสียงที่มีคุณภาพสูง ซึ่งก่อนหน้านี้จะมีเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณเสียง AC-1 และ AC-2 ที่ถูกพัฒนาขึ้นและเทคโนโลยี AC-3 เป็นเทคโนโลยีการเข้ารหัส

สัญญาณเสียงเทคโนโลยีแรกที่ใช้รองรับการใช้งานแบบหลายช่องสัญญาณเสียง (Multi-channel digital audio) โดยถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานร่วมกับการออกอากาศโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล (Digital television) การออกอากาศโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลความคมชัดสูง (High definition television) และการออกอากาศโทรทัศน์ผ่านระบบดาวเทียมได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องรวมถึงเทคโนโลยี Audio code ด้วยเช่นกัน จึงเกิดเทคโนโลยีใหม่ขึ้นนั่นคือ เทคโนโลยี AC-4 เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยทีม Dolby laboratories สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณเสียงให้เกิดประสิทธิภาพในการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่ดีขึ้น

โดยเทคโนโลยี Dolby Digital 5.1 ที่ใช้ Audio codec : AC-3 เป็นตัวเข้ารหัสสัญญาณเสียงจะมีการใช้งานแบนด์วิธ (Bandwidth) ในการส่งข้อมูลเท่ากับ 384 Kbps แต่หากใช้ Audio codec : AC-4 เป็นตัวเข้ารหัสสัญญาณเสียงจะมีการใช้งาน แบนด์วิธ (Bandwidth) ในการส่งข้อมูลเพียง 96 Kbps ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการนำเทคโนโลยี AC-4 เป็นตัวเข้ารหัสสัญญาณมีประสิทธิภาพในการเข้ารหัสข้อมูลที่ดีกว่าและใช้ Bandwidth ในการส่งข้อมูลที่น้อยกว่า AC-3 อย่างเห็นได้ชัดและยังคงคุณภาพของสัญญาณเสียงได้ดีเหมือนเดิม

Channel Config	Recommended AC-4 Data Rate	AC-3 Equivalent
Stereo (2.0) CM	64 kbps	192 kbps
5.1 CM	144 kbps	448 kbps
Stereo CM + Stereo CM/AD	128 kbps	384 kbps (192+192)
5.1 CM + Stereo CM/AD	208 kbps	640 kbps (448+192)

รูปที่ 41 ตารางเปรียบเทียบอัตราบิตที่ถูกใช้งานระหว่างเทคโนโลยี AC-4 และเทคโนโลยี AC-3

ที่มา: https://professional.dolby.com/siteassets/tv/home/dolby-vision/dolby_atsc3_hdbk_digi_v04_share.pdf

Conventional Approach		Presentation Approach	
Stream	Data Rate/kbps	Stream	Data Rate/kbps
English 5.1	144	English Commentary 1.0	40
Spanish 5.1	144	Spanish Commentary 1.0	40
Chinese 5.1	144	Chinese Commentary 1.0	40
Commentary-free 5.1	144	Commentary-free 5.1	144
TOTAL	576	TOTAL	264
		Savings	54%

รูปที่ 42 ตารางแสดงถึงความสามารถในการเลือกคำบรรยายและเสียงบรรยายได้มากถึง 3 ภาษา

ที่มา: <https://www.dolby.com/us/en/technologies/ac-4/Next-Generation-Entertainment-Services.pdf>

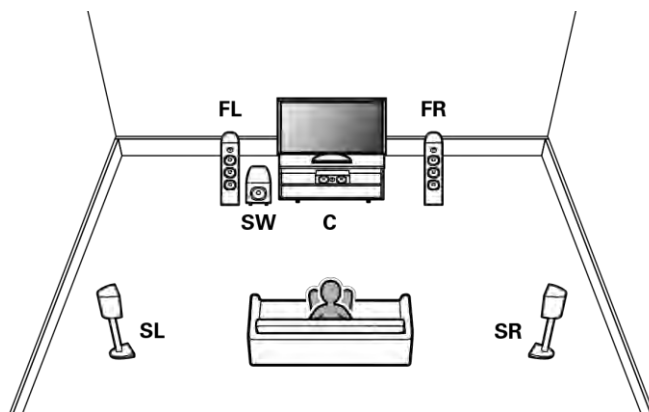
อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี AC-4 ไม่ได้มีข้อดีแค่เรื่องของประสิทธิภาพในการเข้ารหัสข้อมูลเท่านั้น แต่ยังถูกออกแบบมาเพื่อพัฒนาประสบการณ์ของผู้รับชมให้ดียิ่งขึ้นด้วยฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนา (Dialogue

enhancement) ถึงแม้ว่าในโทรทัศน์จะมีฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนา อยู่ในตัวอยู่แล้วแต่ประสิทธิภาพในการทำงานของฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนายังคงมีข้อจำกัดที่ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโทรทัศน์ในแต่ละรุ่น ในส่วนของเทคโนโลยี AC-4 นั้นฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนาจะดำเนินการตั้งแต่ในขั้นตอนของการเข้ารหัสสัญญาณ (Encoder) ทำให้ประสิทธิภาพของฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนานั้นได้ผลลัพธ์ดีกว่าฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนาที่เกิดจากกระบวนการของโทรทัศน์เอง

ฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนานั้นเป็นประโยชน์อย่างมากเพราะเราสามารถที่จะเลือกฟังเสียงภายในเนื้อหา (Content) นั้นๆได้ ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายทอดสดการแข่งขันกีฬา ในกรณีที่เสียงของผู้ชมในสนามดังจนทำให้ผู้ชมโทรทัศน์ไม่ได้ยินเสียงของผู้บรรยายที่บรรยายอยู่ภายในสนามกีฬา ฟังก์ชันการพัฒนาเสียงสนทนาจะช่วยให้ผู้ชมโทรทัศน์สามารถที่จะฟังเสียงของผู้บรรยายหรือเลือกที่จะปิดเสียงของผู้บรรยายและฟังเสียงของบรรยายขณะที่มีการถ่ายทอดสดได้อีกด้วย กล่าวอีกในหนึ่งคือ ผู้รับชมสามารถเลือกรับฟังเสียงที่แตกต่างกันได้ในกรณีที่ดูเนื้อหาเดียวกันก็ตามและยังสามารถเลือกคำบรรยาย (Soundtracks) ได้มากถึง 3 ภาษาตามความต้องการของผู้ชมตามรูปที่ 34 รวมไปถึงฟังก์ชันในการควบคุมระดับความดังของเสียง (Native loudness and dynamic range control) ให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ITU-R ที่ได้กำหนดไว้และในเทคโนโลยี AC-4 ยังให้ความสำคัญของเสียงโดยมีระบบเสียงรอบทิศทาง (Surround sound)

ในขั้นตอนของการแปลงไฟล์เสียง (Audio track) จากสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การเข้ารหัสสัญญาณ (Encoding) โดยในขั้นตอนการแปลงไฟล์เสียงของเทคโนโลยี Dolby Digital นั้นจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ส่วนใดของไฟล์เสียงที่เป็นข้อมูลสำคัญและส่วนใดของไฟล์ข้อมูลที่ไม่สำคัญสามารถละทิ้งได้ ส่งผลให้ไฟล์เสียงที่อาศัยเทคโนโลยี Dolby Digital มีการใช้งานอัตราการส่งข้อมูล (Data rates) ที่น้อยกว่าเทคโนโลยีทั่วไป

โดยในเทคโนโลยี Dolby Digital 5.1 สามารถรองรับช่องสัญญาณเสียงได้มากถึง 5.1 ช่องสัญญาณเสียง ซึ่งในช่องสัญญาณเสียงแต่ละช่องนั้นจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป ในระบบ 5.1 ช่องสัญญาณ 3 ช่องสัญญาณแรกจะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณทางด้านซ้าย ด้านกลาง ด้านขวา จะช่วยทำให้เกิดเสียงที่มีความชัดเจนและตำแหน่งของเสียงที่ตรงกับตำแหน่งวิดีโอที่แสดง (Object-based audio technology) ช่องสัญญาณ 2 ช่องสัญญาณต่อมาเป็น Surround Channel (Left Surround and Right Surround) ซึ่งทำให้เกิดเสียงที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้นเสมือนผู้ชมอยู่ท่ามกลางเหตุการณ์ขณะนั้นจริง ๆ และช่องสัญญาณสุดท้ายเรียกว่า The Low-Frequency Effects (LFE) ใช้สำหรับรองรับเสียงที่มีความถี่ต่ำ รองรับเสียงเบส ซึ่งในช่องสัญญาณสุดท้ายนี้จะใช้ Bandwidth เพียง 0.1 เท่านั้น

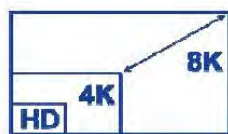


รูปที่ 43 แสดงช่องสัญญาณของ Dolby Digital 5.1

ที่มา: <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-digital.pdf>

จากมาตรฐานทางเทคนิคทั้งหมดที่ได้กล่าวไปข้างต้น จะเห็นว่าในภาพรวมแล้ว เทคโนโลยี 4K ได้มีการพัฒนาจากมาตรฐานหลากหลายด้านทั้งภาพ และเสียง สามารถสรุปภาพรวมได้แสดงดังรูป 44 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

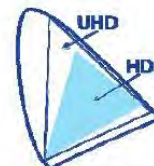
- ความละเอียดจุดภาพที่เพิ่มขึ้น (More Pixel) ส่งผลให้มีการแสดงภาพได้ชัดมากขึ้น และมีรายละเอียดของการแสดงจุดภาพเพิ่มขึ้น
- มีระดับของแสงที่เพิ่มขึ้น (More Light Levels)
- มีการแสดงรายละเอียดของสีที่เพิ่มมากขึ้น (More Colors)
- สามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้ลื่นไหลมากยิ่งขึ้น (More Frames)
- มีเสียงที่สมจริงมากยิ่งขึ้น (Immersive and Personalized audio)



MORE PIXELS



MORE LIGHT LEVELS



MORE COLORS



MORE FRAMES (PER SECOND)



IMMERSIVE AND PERSONALIZED AUDIO

Source: EBU

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

รูปที่ 44 การพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องในเทคโนโลยี 4K

ที่มา: EBU

2.3 มาตรฐานการส่งสัญญาณ

2.3.1 HDMI (High Definition Multimedia Interface)

เป็นระบบการเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียงในระบบดิจิทัลซึ่งทำให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูง มีความคมชัดและให้เสียงรอบทิศทางที่สมบูรณ์แบบมากที่สุด โดยคุณสมบัติหลักๆของ HDMI คือ

- 1) สามารถเชื่อมต่อสัญญาณภาพ เสียง และอินเทอร์เน็ตได้ด้วยสายเส้นเดียว
- 2) สามารถรองรับความละเอียดภาพที่สูงขึ้น
- 3) สามารถรองรับ Color space ที่ส่งให้การแสดงผลของภาพสมจริงมากยิ่งขึ้น

โดยมาตรฐาน HDMI นั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งมาตรฐานล่าสุดของ HDMI ที่จะกล่าวถึงนั้น จะเป็น HDMI 2.0/2.0a/2.0b และ HDMI 2.1 ดังนี้

2.1 HDMI 2.0

เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก HDMI 1.4 เพื่อรองรับความละเอียดระดับ UHD (Ultra High Definition) ได้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น โดยมีการพัฒนาที่สำคัญ ๆ ดังนี้

- 1) รองรับภาพความละเอียดระดับ 4K ที่เฟรมเรต 50/60 fps
- 2) รองรับการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 18 Gbps
- 3) รองรับมาตรฐานของระบบสี BT.2020

HDMI VERSION	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0
Date initially released	12/9/02	5/20/04	8/22/05	6/22/06	6/5/09	9/4/13
Maximum Bandwidth (Gbps)	4.95	4.95	4.95	10.2	10.2	18
Maximum Resolution	1600×1200p60	1600×1200p60	1600×1200p60	2048×1536p75	4096×2160p24	4096×2160p60
Maximum LPCM Audio Channels	8 Channels	8 Channels	8 Channels	8 Channels	8 Channels	32 Channels
Maximum Audio Sampling Rate	768kHz	768kHz	768kHz	768kHz	768kHz	1536kHz

รูปที่ 45 ตารางเปรียบเทียบความสามารถของมาตรฐาน HDMI แต่ละรุ่น

ที่มา: <https://rev.at1987.com/articles/hdmi-cable-types-2/>

2.2 HDMI 2.0a

เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาจากมาตรฐาน HDMI 2.0 เพื่อให้สามารถรองรับการแสดงผลภาพแบบ High Dynamic Range (HDR) ทั้งนี้ HDR มีประโยชน์ในการไลโทนสี เฉดสีต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับการแสดงผลของทีวี

2.3 HDMI 2.0b

เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาจากมาตรฐาน HDMI 2.0a เพื่อให้สามารถรองรับการแสดงผลภาพแบบ Hybrid Log-Gamma (HLG)

2.4 HDMI 2.1

เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก HDMI 2.0 ในหลาย ๆ ด้าน ดังนี้

1) High Resolution Video

เป็นเทคโนโลยีที่สามารถรองรับสัญญาณภาพวิดีโอที่ดีขึ้นทั้งในด้านของ ความละเอียดของภาพ (Frame resolution) ที่สามารถรองรับสัญญาณภาพได้เกินกว่าความคมชัดระดับ 4K เพราะสามารถรองรับได้ถึง ความคมชัดระดับ 10K และ เฟรมเรต (Frame rate) ระดับ 4K/120 fps และ 8K/60 fps



รูปที่ 46 การเปรียบเทียบความคมชัดของแต่ละเทคโนโลยี

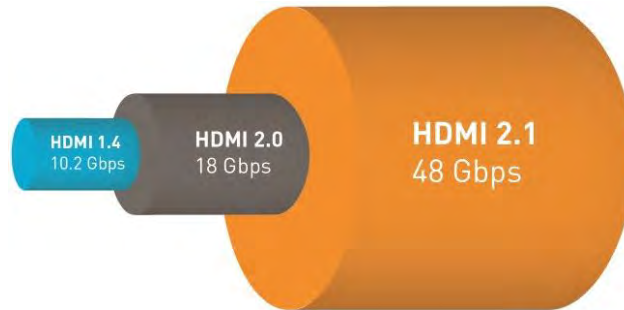
ที่มา: <https://screenrant.com/hdmi-2-1-2-0-differences-comparison/>

2) Dynamic HDR

สามารถรองรับสัญญาณภาพที่ถูกประมวลผลแบบ Dynamic HDR ซึ่งส่งผลให้สามารถแสดงผล ภาพวิดีโอแบบ HDR10+ และ Dolby vision ที่มีรายละเอียดความสว่างและโทนสีที่สมจริงและถูกต้องตาม สัญญาณภาพวิดีโอต้นฉบับมากยิ่งขึ้น

3) Ultra-High Speed HDMI cable

ในเทคโนโลยี HDMI 2.1 สามารถรองรับการส่งผ่านข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุดถึง 48 Gbps มากกว่าสาย HDMI 2.0 ที่มีอัตราความเร็วสูงสุดอยู่แค่ 18 Gbps

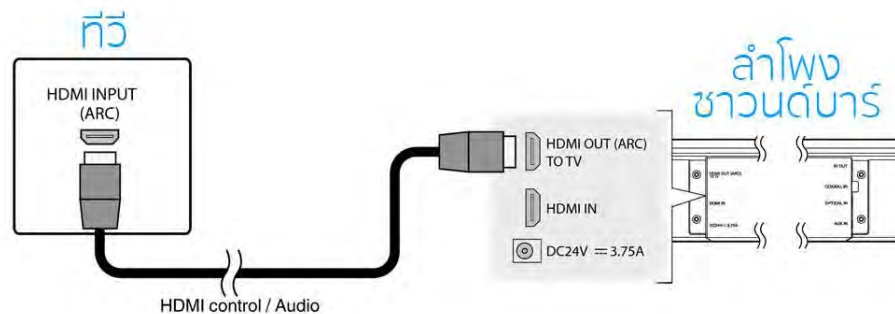


รูปที่ 47 การเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลของมาตรฐาน HDMI

ที่มา: <https://www.avtechguide.com/what-is-hdmi-21-2point1/>

4) HDMI eARC (HDMI Enhance Audio Return Channel)

เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาต่อมาจากเทคโนโลยี Audio Return Channel (ARC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามาพร้อมกับมาตรฐาน HDMI 1.4 ซึ่งถูกติดตั้งในโทรทัศน์เพื่อให้ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล จากโทรทัศน์ไปสู่อุปกรณ์ภายนอก เช่น ลำโพงซาวด์บาร์ (Sound bar)



รูปที่ 48 แสดงการเชื่อมต่อสาย HDMI สำหรับการใช้งาน eARC

ที่มา: [https://www.allabout.in.th/hdmi-arc-](https://www.allabout.in.th/hdmi-arc-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/)

[%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/](https://www.allabout.in.th/hdmi-arc-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/)

โดยเทคโนโลยี ARC จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานแทนที่ช่องสัญญาณเอาต์พุตเสียงแบบดิจิทัล S/PDIF โดยสามารถรองรับมาตรฐานสัญญาณเสียงได้เช่นเดียวกับ S/PDIF ไม่ว่าจะเป็นระบบเสียงแบบ Dolby Digital, DTS และ PCM อีกทั้งยังสามารถรองรับระบบเสียงสเตอริโอจากโทรทัศน์และระบบเสียงรอบทิศทาง 5.1 channel (Dolby Digital 5.1) แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถรองรับสัญญาณเสียงรายละเอียดสูงหรือสัญญาณเสียงที่มีบิตเรตสูง ๆ ได้ เช่น มาตรฐาน Dolby Atmos และ DTS:X

เพื่อการแก้ปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับเทคโนโลยี ARC (Audio Return Channel) จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี eARC (Enhance Audio Return Channel) ที่มาพร้อมกับมาตรฐาน HDMI 2.1 ซึ่งเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นสามารถรองรับระบบเสียงที่มีรายละเอียดสูงได้อย่างสมบูรณ์แบบไม่ว่าจะเป็นระบบเสียงแบบ Dolby Atmos และมาตรฐานเสียงที่ไม่มีการบีบอัดแบบอื่น ๆ

5) Higher Refresh Rate Video

รองรับสัญญาณภาพวิดีโอที่มีค่ารีเฟรชเรต (Refresh rate) เพื่อให้ได้ภาพวิดีโอที่มีการเคลื่อนไหวที่ลื่นไหลและต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 49 เปรียบเทียบอัตรารีเฟรชเรตปกติ (Normal Refresh rate) และอัตรารีเฟรชเรตสูง (High Refresh rate)

ที่มา: https://img.thaibuffer.com/content_upload2/images/Refresh_rate_3.jpg

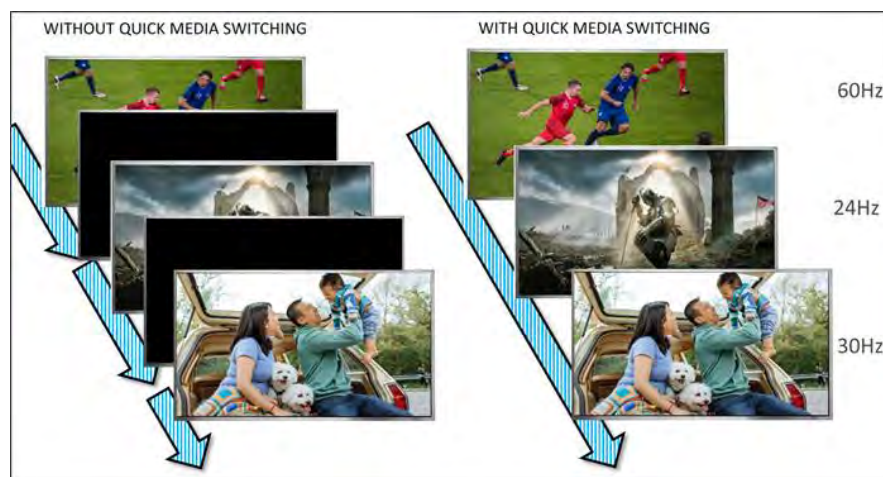
6) Variable Refresh Rate (VRR)

เป็นคุณสมบัติที่ทำให้สามารถปรับอัตรารีเฟรชเรตได้อย่างอิสระ ส่งผลให้ลดปัญหาอาการกระตุก (Lag) และอาการฉีกขาดของภาพวิดีโอ (frame tearing) เพื่อให้เกิดความลื่นไหลและรายละเอียดของภาพวิดีโอที่มีการใช้งานเทคโนโลยี VRR อย่างมากในคอมพิวเตอร์ (Computer) และ คอนโซล (Console) สำหรับการส่งวิดีโอเฟรม (Video Frame) ได้รวดเร็วที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถทำได้ ซึ่งโดยปกติแล้วคุณสมบัติในการปรับอัตรารีเฟรชเรตจะขึ้นอยู่กับตัวกราฟิกการ์ด (GPU) และจอภาพเป็นหลัก ซึ่งในกระบวนการประมวลผลภาพ (Graphics Processors) นั้นจะใช้เวลาในการดำเนินการที่แตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพวิดีโอขณะนั้น ๆ และประสิทธิภาพของกราฟิกการ์ด (GPU) ความละเอียดของภาพวิดีโอที่เลือกใช้งานร่วมไปถึงเฟรมเรต (Frame rate) ที่เลือกใช้งาน

7) Quick Media Switching (QMS)

ออกแบบมาสำหรับสัญญาณวิดีโอและภาพยนตร์ ช่วยลดปัญหาหน่วงช้าของภาพที่เกิดจากการเกิด Blank screen ในช่วงก่อนที่เนื้อหาวิดีโอ (Content) จะถูกแสดงผล โดยอาศัยฟังก์ชัน QMS จะมีการใช้งาน VRR Mechanism เพื่อกำจัด the blackout period เมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งข้อมูลของวิดีโอที่ถูก

ต่อเข้ากับ HDMI ทุกรายได้ทีในแต่ละแหล่งข้อมูลนั้นยังคงมีการแสดงเนื้อหาที่มีค่าความละเอียด (Resolution) ที่เท่ากันและมีการเปลี่ยนเฉพาะค่าเฟรมเรต (Frame rate) ของเนื้อหา



รูปที่ 50 การใช้เทคโนโลยี Quick Media Switching ลดปัญหา Black Screen

ที่มา: <https://www.hdmi.org/spec21Sub/QuickMediaSwitching>

8) Quick Frame Transport (QFT)

เป็นหนึ่งในฟังก์ชันที่ช่วยลดปัญหาความเร็วในการตอบสนองระหว่างเซฟเวอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือมือถือ (Latency) และความหน่วงช้าของภาพวิดีโอส่วนใหญ่จะมีการใช้งานในคอมพิวเตอร์ (Computer) และ เครื่องเล่นเกมแบบคอนโซล (Console) ทำให้การตอบสนองมีความสมจริง (Real-time interactive) มากยิ่งขึ้น โดยกระบวนการ Quick Frame Transport (QFT) จะมีการดำเนินการส่งเฟรมแต่ละเฟรมด้วยอัตราบิตที่มีค่าสูงเพื่อลดค่า “Display latency” (Display latency ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในขั้นตอนของการส่งเฟรมไปยังกราฟิกการ์ด (GPU) จนถึงขั้นตอนของการนำเฟรมที่รับออกมาแสดงผล และการตอบสนอง (responsiveness))

9) Auto Low Latency Mode (ALLM)

เป็นโหมดที่จะช่วยตั้งค่าการตอบสนองระหว่างเซฟเวอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือมือถือ (Latency) ในอุดมคติอย่างอัตโนมัติส่งผลให้การรับชมและการมีการตอบสนองที่ราบรื่นไม่สะดุด โดยโหมด ALLM จะมีการใช้งานในเกมคอนโซล (Console) และอุปกรณ์อื่นที่ส่งสัญญาณไปยังจอแสดงผล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความสามารถของมาตรฐาน HDMI

	HDMI version						
	1	1.1	1.2-1.2a	1.3-1.3a	1.4-1.4b	2.0-2.0b	2.1
Full HD Blu-ray Disc and HD DVD video	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Consumer Electronic Control (CEC)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
DVD-Audio	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Super Audio CD (DSD)	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Auto lip-sync	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Dolby TrueHD / DTS-HD Master Audio bitstream capable	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Updated list of CEC commands	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
3D video	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Ethernet channel (100 Mbit/s)	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Audio return channel (ARC)	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
4 audio streams	No	No	No	No	No	Yes	Yes
2 video streams (Dual View)	No	No	No	No	No	Yes	Yes
Hybrid Log-Gamma (HLG) HDR OETF	No	No	No	No	No	Yes	Yes
Static HDR (HDR static metadata)	No	No	No	No	No	Yes	Yes
Dynamic HDR (HDR dynamic metadata)	No	No	No	No	No	No	Yes
Enhanced audio return channel (eARC)	No	No	No	No	No	No	Yes
Variable Refresh Rate (VRR)	No	No	No	No	No	No	Yes
Quick Media Switching (QMS)	No	No	No	No	No	No	Yes
Quick Frame Transport (QFT)	No	No	No	No	No	No	Yes
Auto Low Latency Mode (ALLM)	No	No	No	No	No	No	Yes
Display Stream Compression (DSC)	No	No	No	No	No	No	Yes
	1	1.1	1.2-1.2a	1.3-1.3a	1.4-1.4b	2.0-2.0b	2.1

ที่มา: <https://www.avtechguide.com/what-is-hdmi-21-2point1/>

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความสามารถในการใช้งานฟังก์ชันต่างๆ

HDMI Version	Max Resolution	Max 4K Frame rate	HDCP 2.2	HDR	WCG	HLG	Dynamic Metadata
1.4	4K	30 Hz	No	No	No	No	No
2.0	4K	60 Hz	Yes	No	No	No	No
2.0a	4K	60 Hz	Yes	Yes	Yes	No	No
2.0b	4K	60 Hz	Yes	Yes	Yes	Yes	No
2.1	10K	120 Hz	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

ที่มา: <https://www.cnet.com/how-to/what-is-hdmi-2-0b/>

2.3.2 SDI (Serial Digital Interface)

เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณดิจิทัลภาพและเสียงแบบไม่มีการบีบอัดข้อมูลตามมาตรฐานการเชื่อมต่อภาพและเสียงดิจิทัล โดยที่ระดับความคมชัดจะถูกกำหนดโดยมาตรฐาน Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) หรือ SMPTE 259M ที่สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลในหลายระดับเช่น

1) มาตรฐาน SMPTE 259M หรือ SD-SDI รองรับการส่งข้อมูล 270 Mbps โดยใช้สายโคแอกเซียลที่มีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม และใช้หัวต่อมาตรฐานแบบ BNC ระยะการเชื่อมต่อสูงสุดของ SMPTE 259M อยู่ที่ 300 เมตร

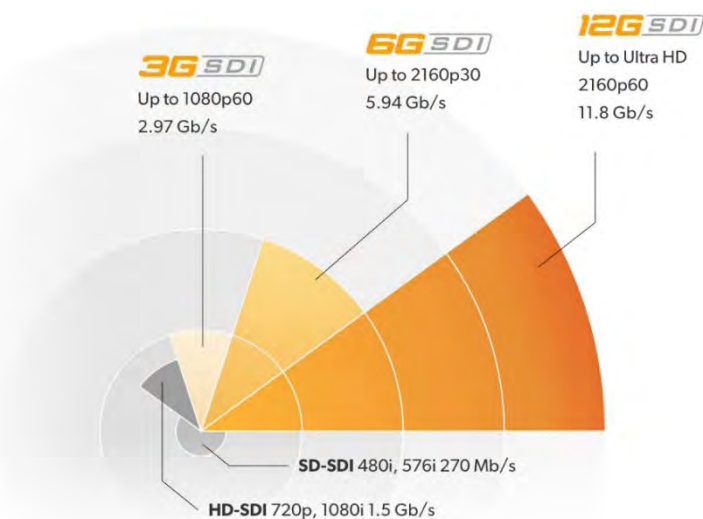
2) มาตรฐาน SMPTE292M หรือ HD-SDI โดยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลขึ้นเป็น 1.5 Gbps ระยะการเชื่อมต่อสูงสุดของ SMPTE-292M อยู่ที่ 100 เมตร ซึ่งพอเพียงกับงานในระดับความคมชัดสูงหรือ 1080i

3) มาตรฐาน SMPTE372M หรือ HD-SDI แบบ Dual Link โดยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลขึ้น 2 เท่าเป็น 2.97 Gbps ใช้สำหรับภาพยนตร์ดิจิทัลซึ่งต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าหรือ 1080p

4) มาตรฐาน SMPTE 424M หรือ 3G-SDI นำมาใช้แทนการต่อแบบ Dual link โดยใช้สายเพียงเส้นเดียวแต่ยังคงอัตราการส่งข้อมูลไว้ที่ 2.97 Gbps อยู่เหมือนเดิม

5) มาตรฐาน SMPTE ST-2081 หรือ 6G-SDI รองรับการส่งข้อมูล 5.940 Gbps

6) มาตรฐาน SMPTE ST-2082 หรือ 12G-SDI รองรับการส่งข้อมูล 11.8 Gbps



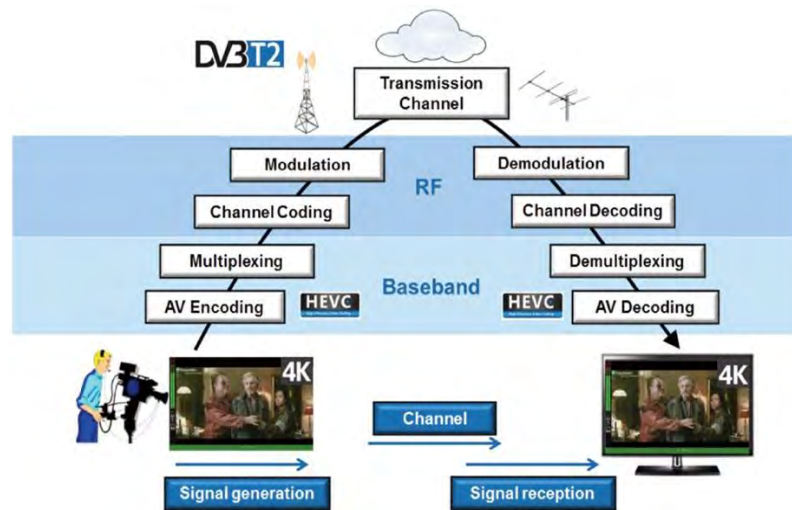
รูปที่ 51 มาตรฐานแต่ละชนิดของ Serial Digital Interface (SDI)

ที่มา: <https://www.facebook.com/shortcut.store/photos/a.139149266805023/207913683261914/?type=3>

บทที่ 3 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล UHDTV (4K) ในแต่ละประเทศ

3.1 ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

เป็นการทดลองออกอากาศ UHDTV (4K) ที่ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี ในปี 2014 โดยใช้อุปกรณ์จากผู้ผลิต Rohde & Schwarz ในเอกสารนี้จะเป็นการอธิบายถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ในระบบโครงข่าย DVB-T2

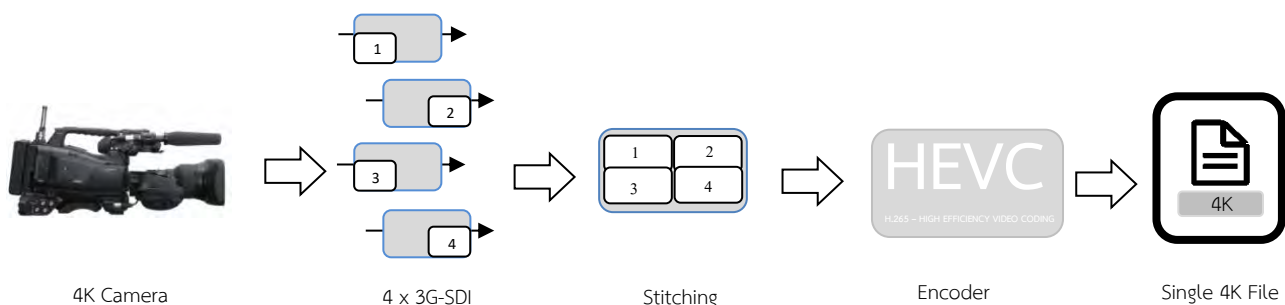


รูปที่ 52 ไดอะแกรมของการทดลองออกอากาศในระบบ UHDTV (4K) ที่ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

จากรูปที่ 52 เป็นไดอะแกรมอธิบายขั้นตอนที่สำคัญในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ทั้งในภาคส่งและภาครับ โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อออกอากาศในระบบโครงข่าย DVB-T2 มีดังนี้

1.1 การสร้างสัญญาณภาพและเสียง UHDTV (4K) (Synchronize the 4x3G-SDI signals into a single 4K image)

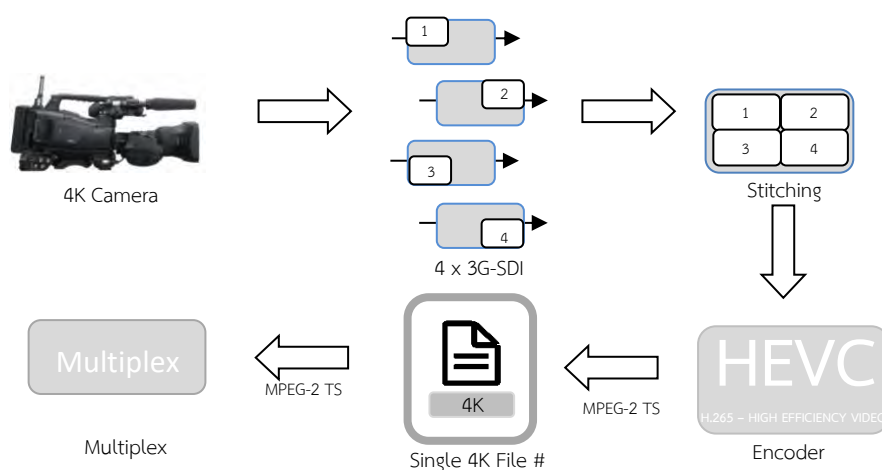


รูปที่ 53 ไดอะแกรมของการสร้างสัญญาณภาพและเสียง UHDTV (4K)

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

จากรูปที่ 53 ในขั้นตอนการสร้างสัญญาณภาพและเสียง UHDTV (4K) จะประกอบด้วยไฟล์ภาพและเสียงที่ถูกส่งผ่าน SDI (Serial Digital Interface) ซึ่งในขั้นตอนการส่งผ่านอุปกรณ์ SDI นั้นจะมีการแบ่งไฟล์ภาพและเสียง 4K เป็น 4 ส่วนเพื่อให้สามารถส่งไฟล์ 4K ที่มีขนาดใหญ่ไปดำเนินการบีบอัดข้อมูล (Encoder) ได้โดยที่ก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลจะต้องผ่านขั้นตอนการเชื่อมต่อไฟล์ 4 ส่วนให้เป็นไฟล์เดียว (Stitching) แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการบีบอัดข้อมูลโดยเทคโนโลยี High Efficiency Video Coder (HEVC)

1.2 การมัลติเพล็กซ์ (Generate the UHDTV multiplex)

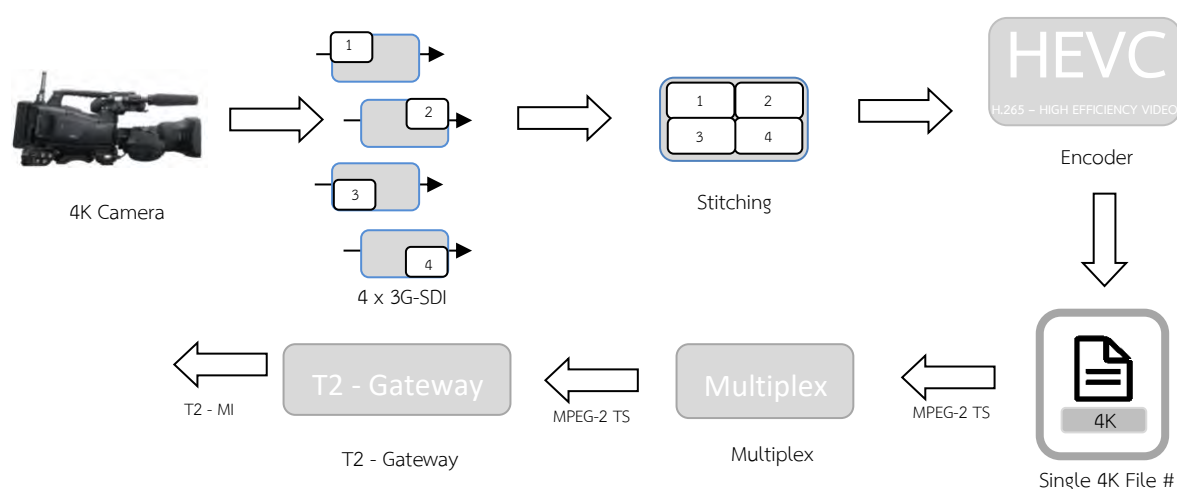


รูปที่ 54 ไดอะแกรมขั้นตอนการนำไฟล์สัญญาณภาพและเสียงไปทำการรวมสัญญาณ

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

หลังจากกระบวนการบีบอัดข้อมูล (HEVC Encoding) ของไฟล์ 4K ที่อุปกรณ์ HEVC Encoders จะมีการสร้างสัญญาณ MPEG-2 transport stream (MPEG-2 TS) ที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลวิดีโอและเสียงรวมไปถึงข้อมูลของรายการที่จำเป็นสำหรับการออกอากาศแบบ Digital Video Broadcasting (DVB) หรือการส่งผ่านโครงข่ายต่างๆไปยังกระบวนการของการรวมสัญญาณ (Multiplexing)

1.3 การสร้างสัญญาณซิงค์โครไนซ์สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลและเครื่องส่งสัญญาณ (Generate the timestamps from the GPS signal into the T2-MI packets and Transmitters on T2-Gateway) T2-Gateway เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำหนด DVB-T2 Parameter และใช้ในการส่งข้อมูล SFN Information สำหรับการออกอากาศแบบ DVB-T2 SFN โดยที่ T2 Gateway จะรับสัญญาณต่อจากขั้นตอนของการบีบอัดสัญญาณ (Encoding) และรวมช่องสัญญาณ (Multiplexing)



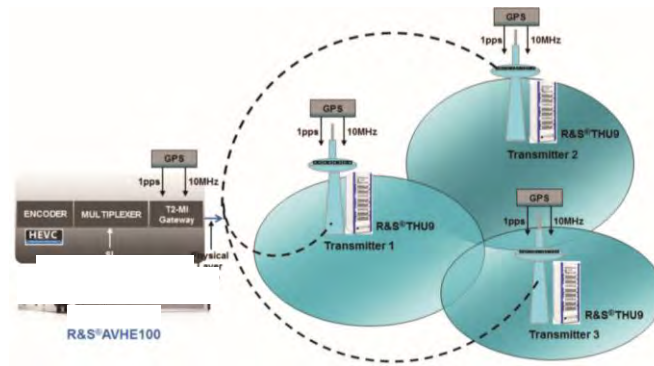
รูปที่ 55 ไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณ MPEG-2 TS โดยอาศัยอุปกรณ์ T2-Gateway

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

1.3.1 การสร้างสัญญาณ T2-MI ที่ T2-Gateway (Generate T2-MI Signal on T2 – Gateway) T2 – Modulator Interface (T2-MI) เป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจาก T2-Gateway ซึ่งสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นนั้นเกิดจากการ Encapsulation ของสัญญาณ MPEG-2 TS และมีการทำซิงค์โครไนซ์สัญญาณ MPEG-2 TS สำหรับการส่งข้อมูลภายในโครงข่ายความถี่เดียว (SFN)

1.3.2 การซิงค์โครไนซ์ทางเวลา (The synchronization time stamps)

การซิงค์โครไนซ์ทางเวลาของสัญญาณ T2-MI และเครื่องส่งสัญญาณในโครงข่ายจะถูกซิงค์โครไนซ์โดยใช้สัญญาณ 1 pps GPS signaling สำหรับการซิงค์โครไนซ์ทางเวลา (Time Reference) และความถี่ 10MHz สำหรับการซิงค์โครไนซ์ทางความถี่ (Frequency Reference)



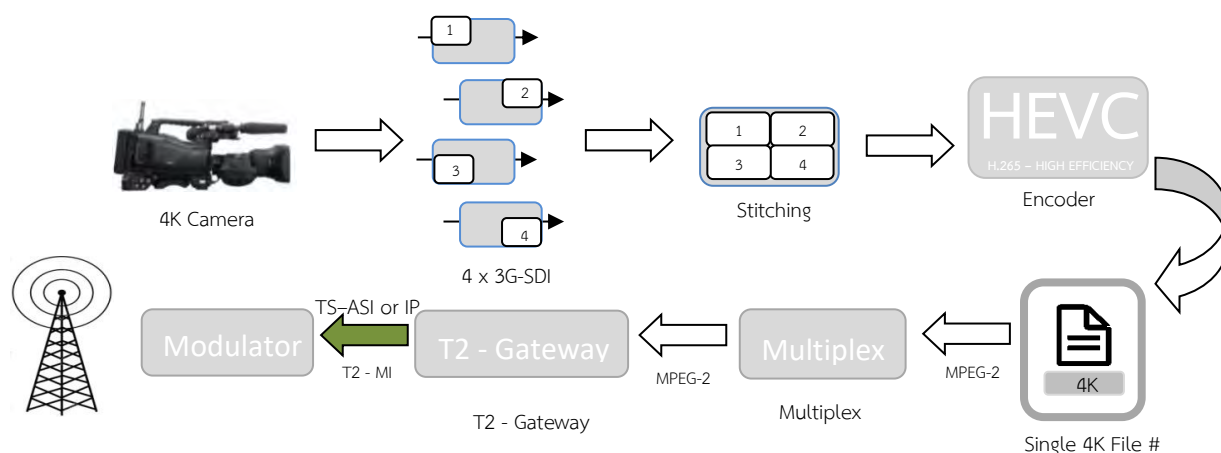
รูปที่ 56 การซิงค์โครไนซ์ของสัญญาณ T2-MI และเครื่องส่งสัญญาณภายในโครงข่าย SFN เดียวกัน

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

1.4 กระบวนการส่งสัญญาณที่ใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ไปยังภาคส่ง (Deliver the T2-Modulator Interface (T2-MI) via IP or ASI to the transmitter network)

Asynchronous serial interface (ASI) เป็นการส่งสัญญาณ T2-MI โดยอาศัยสายโคแอกเซียล 75 โอห์ม หรือสายไฟเบอร์ออฟติกโหมด Multimode โดยที่ ASI เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมโทรทัศน์ซึ่งเป็นวิธีการของการส่งสัญญาณข้อมูลที่ต้องการออกอากาศจากสตูดิโอไปยังอุปกรณ์ในภาพส่งก่อนที่จะส่งไปยังผู้รับชม

Internet Protocol (IP) เป็นโปรโตคอลในระดับเน็ตเวิร์กเลเยอร์ ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับแอดเดรสและข้อมูล และควบคุมการส่งข้อมูลบางอย่างที่ใช้ในการหาเส้นทางของแพ็กเก็ต การเชื่อมต่อของ IP เพื่อทำการส่งข้อมูลที่ต้องการออกอากาศจากสตูดิโอไปยังอุปกรณ์ในภาพส่ง



รูปที่ 57 ไดอะแกรมแสดงการส่งสัญญาณ T2-Modulator Interface (T2-MI) ผ่าน IP หรือ ASI ไปยังเครื่องส่งสัญญาณ

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

1.5 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ในประเทศสาธารณรัฐเกาหลี ได้ทำการทดลองแบ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศเป็น 4 โหมด รายละเอียดตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองออกอากาศทีวีดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV)

Constellation	FEC	GI (Guard Interval)	FFT Size	Pilot Pattern	T2-Frame	Num of Blocks	C/N	Data rate
Mode 1 (256 QAM)	2/3	1/16	32K	PP4	47	150	20.8 dB	26.5 Mbps
Mode 2 (64 QAM)	5/6	1/16	32K	PP4	47	116	19.4 dB	25.7 Mbps
Mode 3 (64 QAM)	2/3	1/16	32K	PP4	47	116	16.2 dB	20.5 Mbps
Mode 4 (64 QAM)	2/3	1/8	32K	PP2	45	107	16.2 dB	18.7 Mbps

ที่มา: UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2

ทั้งนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1.5.1 Mode 1 (256 QAM)

เป็นการออกแบบค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ให้เหมาะสมสำหรับเสาอากาศภายนอก (Outdoor Antenna) มีอัตราการรับส่งข้อมูล (Bit rate) สูงสุดถึง 26.6 Mbps และมีการป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี

1.5.2 Mode 2 (64 QAM)

เป็นการออกแบบค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ที่พัฒนามาจาก Mode 1 (256 QAM) เพื่อให้เกิดการป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับ Mode 1 (256 QAM) แต่ก็ส่งผลให้มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ลดลงเล็กน้อย

1.5.3 Mode 3 (64 QAM) และ Mode 4 (64 QAM)

เป็นการออกแบบค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ให้เหมาะสมสำหรับเสาอากาศภายใน (Indoor Antenna) ถึงแม้ว่า Mode 3 (64QAM) และ Mode 4 (64QAM) จะมีการป้องกันจากสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ก็จะมีข้อจำกัดของอัตราการส่งข้อมูล (Bit rate) ที่ส่งข้อมูลได้อย่างจำกัดซึ่งค่อนข้างน่ากังวลหากเกิดกรณีที่เนื้อหาามีเฟรมเรตสูง (High frame rate)

3.2 ประเทศสเปน

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) เป็นการดำเนินงานร่วมกันของ 3 องค์กรหลักๆ คือ RTVE the Corporación de Radio y Televisión Española (Spanish Radio and Television Corporation) ซึ่งถูกก่อตั้งโดยรัฐบาลของประเทศสเปนและมหาวิทยาลัย Politécnica de Madrid (UPM) ร่วมไปถึงบริษัทที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) โดยจะมีการทดลองออกอากาศในช่วงปี ค.ศ. 2016–2019

ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ในประเทศสเปนนั้นจะมีการนำมาตรฐานต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกอากาศ UHDTV ด้วย อาทิเช่น DVB-T2 HEVC E-AC-3 และ AC-4 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่จะช่วยให้มีการใช้งานทรัพยากรของคลื่นให้เกิดประโยชน์สูงสุดและช่วยให้คุณภาพของสัญญาณที่ออกอากาศดียิ่งขึ้น อีกส่วนหนึ่งที่ขาดไม่ได้คงจะเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการพัฒนาคุณภาพของภาพและวีดีโอ เช่น High dynamic rates (HDR) High Frame rates (HFR) และ Wide color gamut (WCG) โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

1. การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ณ โรงละครโอเปร่า (Teatro Real) กรุงมาดริด ในเดือนเมษายน ค.ศ. 2016

ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการออกอากาศตามตารางที่ 4 โดยมีการใช้เฟรมเรต (Frame rate) เท่ากับ 50 FPS และมีการใช้งาน HEVC เป็น Video coding และใช้ E-AC-3 เป็น Audio coding

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ที่โรงละครโอเปร่า (Teatro Real) กรุงมาดริด

หัวข้อ	รายละเอียด
Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, 50 fps, SDR
Video coding	HEVC/H265
Audio	5.1
Audio coding	E-AC-3
Bit rate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission (DTT)	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	Ch.44 (Madrid), Ch.22 (Barcelona)
Transmitting station	ETSITUPM – Madrid Ch.44
	Collserola – Barcelona Ch.22
Power	ERP. 125 W (H) Ch.44 (ETSITUPM)
	ERP. 15 KW (H) Ch.22 (Collserola)

หัวข้อ	รายละเอียด
Characteristics of the transmission (DTT)	
Carrier modulation	64 QAM
FFT size	32K extended
Guard interval ratio (guard interval duration)	1/128
FEC	3/4
Pilot pattern	PP7
Theoretical capacity	32.6 Mbps

ที่มา: <https://www.itu.int/md/R19-WP6A-C-0042>

2. การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ณ พระราชวังแห่งมาดริด (Palacio Real de Madrid) กรุงมาดริด ใน เดือน กรกฎาคม ค.ศ. 2017

ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ในการทดลองนี้จะมีการใช้งาน Video coding: HEVC โดยจะมีการแบ่งชุดข้อมูล (Metadata) และมีการใช้งาน Audio coding ที่แตกต่างกันในส่วนของการ Video coding จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม 1: Static metadata ซึ่งมีการใช้งานกับ High dynamic range (HDR10)

กลุ่ม 2: Dynamic metadata ซึ่งมีการใช้งานกับ Dolby Vision , High dynamic range plus HDR10+)

โดยที่การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) มีการตั้งสถานีส่งสัญญาณทั้งหมด 3 แห่ง แต่ละสถานีส่งสัญญาณใช้ช่องความถี่ที่ต่างกัน และมีการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ณ พระราชวังแห่งมาดริด (Palacio Real de Madrid) กรุงมาดริด

หัวข้อ	รายละเอียด
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
Bit rate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz

หัวข้อ	รายละเอียด
UHF channels	Ch.32 (Madrid),Ch.36 (Sevilla),Ch.43 (Barcelona)
Characteristics of the transmission	
Transmitting station	Torrespaña and San Fernando de Henares– Madrid Ch.32
	Collserola and BaixLlobregat – 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 (BaixLlobregat)
	ERP.9 KW (H) Ch.36 (Valencina)
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32K extended
Guard interval ratio (guard interval duration)	1/8
DVB-T2FEC	2/3
Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

ที่มา: <https://www.itu.int/md/R19-WP6A-C-0042>

3. การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) เฟสที่ 2 ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2018

การทดลองออกอากาศใน Phase 2 เป็นการนำมาตรฐาน DVB-T2 และคุณสมบัติ (characteristics) ของสัญญาณที่เหมาะสมกับการออกอากาศ 4K UHD เช่น การใช้งาน High frame rate (HFR) ที่สูงถึง 100 FPS, HDR10, Wide Color gamut ที่อ้างอิงมาตรฐาน ITU BT2020, Next Generation Audio (NGA) และ HEVC, AC-4 สำหรับ Video and Audio Coding โดยที่มีการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศในระบบ UHDTV ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมาตรฐานความคมชัดสูงยิ่ง (UHDTV) ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2018

หัวข้อ	รายละเอียด
Characteristics of the signal	
Video	4K resolution, HFR 100 fps, HDR10 and WCG
Video coding	HEVC/H.265
Audio	5.1

หัวข้อ	รายละเอียด
Audio coding	AC-4
Bit rate total	30 Mbps
Characteristics of the transmission	
Transmission standard	DVB-T2
Bandwidth	8 MHz
UHF channels	Ch.26 (Malaga), Ch.32 (Madrid), Ch.33 (Santiago de Compostela), Ch.36 (Sevilla), Ch.43 (Barcelona), Ch.44 (ETSITUPM)
Transmitting station	Mijas – Malaga Ch.26
	Torrespaña and San Fernando de Henares– Madrid Ch.32
	Monte Pedroso – Santiago de Compostela Ch.33
	Collserola and BaixLlobregat – Barcelona Ch.43
	Valencina – Sevilla Ch.36
	ETSITUPM – 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 (BaixLlobregat)
	ERP. 9 KW (H) Ch.36 (Valencina)
	ERP. 125 W (H) Ch.44 (ETSITUPM)
Carrier modulation	256-QAM
FFT size	32K extended
Guard interval ratio (guard interval duration)	1/8
DVB-T2FEC	2/3
Pilot pattern	PP2
Theoretical capacity	33.4 Mbps

ที่มา: <https://www.itu.int/md/R19-WP6A-C-0042>

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล UHDTV

Annex section	Country	Transmitter site	Covering	e.r.p.	DTT System	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard	Audio encoding standard	Frequency used
2.1	Korea (Republic of) ³	Kwan-Ak Mountain	South Metropolitan area of Seoul	36.7 kW	DVB-T2	6 MHz	32k, extended mode, $GI = 1/16$, PP4, 256-QAM, FEC 3/4, 4/5, 5/6	< 35.0 Mb/s	Variable (some trials at 25–34 Mb/s)	HEVC Main10 Level 5.1, Max 28 Mb/s	3 840×2 160p 60 frames/s, 8 bits or 10 bits/pixel	MPEG-4 AAC-LC or Dolby AC-3, Max 5.1Ch, Max 600 kb/s	713 MHz (Ch 54 in Korea)
				12.9 kW									701 MHz (Ch 52 in Korea)
				40.0 kW									707 MHz (Ch 53 in Korea)
		Nam Mountain	Central area of Seoul	2.2 kW									713 MHz (Ch 54 in Korea)
		Yong-Moon Mountain	West Metropolitan area of Seoul	8.3 kW									707 MHz (Ch 53 in Korea)
2.2	Korea (Republic of)	Kwan-Ak Mountain	South Metropolitan area of Seoul	39.6 kW	ATSC 3.0	6 MHz	32k, NoC = 0, $GI = 1/138$, 256-QAM, PP10, 2, 256-QAM, 9/15	< 30.0 Mb/s	Variable (17 Mb/s)	HEVC Main10 Level 5.1, Variable (15.5 Mb/s)	3 840×2 160p 60 frames/s, 10 bits/pixel	MPEG-H 3D Audio, Max 10.2Ch	701 MHz (Ch 52 in Korea)
													707 MHz (Ch 53 in Korea)
													762 MHz (Ch 55 in Korea)
		Nam Mountain	Central area of Seoul	18.9 kW									768 MHz (Ch 56 in Korea)
		Gwang-Gyo Mountain	Suwon (Capital city of Gyeonggi province)	7.96 kW									
3	France	Eiffel Tower	City of Paris	1kW	DVB-T2	8 MHz	32k, extended mode, $GI = 1/138$, 256-QAM, FEC 2/3, PP7	40.2 Mb/s	Two programmes carried: one at 22.5 Mb/s, one at 17.5 Mb/s	HEVC	3 840×2 160p 50 frames/s, 8 bits/pixel	HE-AAC 192 kb/s	514 MHz (Ch 26 in Region 1)

ที่มา: ITU-R BT.2343-5 (07/2019), Collection of field trials of UHDTV over DTT networks

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล UHDTV (ต่อ)

Annex section	Country	Transmitter site	Covering	e.r.p.	DTT System	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard	Audio encoding standard	Frequency used	
1.2	Japan	Hitoyoshi	City of Hitoyoshi	140W(H) 135W(V)	ISDB-T ²	6 MHz	32k <i>GI</i> = 1/32 4096-QAM, FEC 3/4 dual-polarized MIMO	91.8 Mb/s	91 Mb/s	MPEG-4 AVC/H.264,	7 680×4 320p 59.94 frame/s 8 bits/pixel	MPEG-4 AAC-LC Max. 22.2ch, Max. 1.8 Mb/s	671 MHz (Ch. 46 in Japan)	
1.3		Hitoyoshi Mizukami	City of Hitoyoshi	Hitoyoshi 140W(H) 135W(V) Mizukami 25W(H) 25W(V)			Space Time Coding-SFN 32k <i>GI</i> = 1/32 4096-QAM, FEC 3/4 dual-polarized MIMO	91.8 Mb/s	91 Mb/s (other bit rates also tested)	HEVC	7 680×4 320p 59.94 frame/s 10 bits/pixel			
		1.4	Kinuta Tokyo	Southern area of Tokyo			93W(H) 93W(V)	16k <i>GI</i> = 1/16 4096 NUC, FEC 3/4 dual-polarized MIMO	84.2 Mb/s	76 Mb/s	MPEG-4 AVC/H.264			7 680×4 320p 59.94 frame/s 8 bits/pixel
1.5		Shuba	Central Tokyo	2.1 kW(H) 2.1 kW(V)			6 MHz	16k <i>GI</i> = 800/16384 1024 NUC FEC 11/16 SISO and dual-polarized MIMO	32.9–65.8 Mb/s	28–56 Mb/s (+ additional 1~2 Mb/s for HDTV)	HEVC	7 680×4 320p 59.94 frame/s 10 bits/pixel	MPEG-H 3D Audio LC level 4 Max. 22.2ch + 3 objects 768 kb/s (512 kb/s to 1.4 Mb/s)	563 MHz (Ch. 28 in Japan)
		Higashiyama Nabeta	City of Nagoya	Higashiyama 980 W(H) 980 W(V) Nabeta 81 W(H) 81 W(V)										605 MHz (Ch. 35 in Japan)

ที่มา: ITU-R BT.2343-5 (07/2019), Collection of field trials of UHDTV over DTT networks

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล UHDTV (ต่อ)

Annex section	Country	Transmitter site	Covering	e.r.p.	DTT System	Channel bandwidth	Transmission mode	Multiplex capacity	Signal bit rate	Video encoding standard	Picture standard	Audio encoding standard	Frequency used
4	Spain	ETSI Tele-comunicación	Ciudad Universitaria, Madrid	125 W	DVB-T2	8 MHz	32k, extended mode, $GI = 1/128$, 64-QAM, FEC 5/6, PP7	36.72 Mb/s	55 Mb/s (other bit rates also tested)	HEVC	3 840 × 2 160p 50 frames/s 8 bits/pixel	E-AC-3 5.1	754 MHz (Ch 56 in Region 1)
5	Sweden	Stockholm Nacka	City of Stockholm	35 kW	DVB-T2	8 MHz	32k, extended mode, $GI = 19/256$, 256-QAM, FEC 3/5, PP4	31.7 Mb/s	24 Mb/s	HEVC	3 840 × 2 160p 29.97 frames/s 8 bits/pixel		618 MHz (Ch 39 in Region 1)
6	UK	Crystal Palace	Greater London (serving over 4.5 million households)	40 kW	DVB-T2	8 MHz	32k, extended mode, $GI = 1/128$, 256-QAM, FEC 2/3, PP7	40.2 Mb/s	Variable (some trials at 35 Mb/s)	HEVC	Mixture of 3 840 × 2 160p 50 frames/s and 3 840 × 2 160p 59.94 frames/s		586 MHz (Ch 35 in Region 1)
		Winter Hill	North west of England, including Manchester and Liverpool (serving 2.7 million households)	22.5 kW		8 MHz							602 MHz (Ch 37 in Region 1)
		Black Hill	Central Scotland, including Glasgow and Edinburgh (serving 1 million households)	39 kW		8 MHz							586 MHz (Ch 35 in Region 1)
7	Brazil	Mt. Sumaré	Parts of Rio de Janeiro metropolitan area	660 W(H) 660 W(V)	ISDB-T ¹	6 MHz	32k, $GI = 1/32$, 4096-QAM, FEC 3/4, dual-polarized MIMO	91.8 Mb/s	85 Mb/s	HEVC	7 680 × 4 320p 59.94 frame/s 10 bits/pixel	MPEG-4 AAC 1.48 Mb/s	569 MHz (Ch 30 in Brazil)
8	China	Jiaxing Radio and Television Building	Jiaxing City urban and country side	10 KW	DTMB-A	8 MHz	32k, $GI = 1/64$, 256APSK, FEC 2/3	39.7 Mb/s	36 Mb/s	H.265	3840 × 2160p 50 frame/s	MPEG-4 AAC 384 Kbps	562 MHz DS-24

ที่มา: ITU-R BT.2343-5 (07/2019), Collection of field trials of UHDTV over DTT networks

บทที่ 4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ด้วยเทคโนโลยี 4K ในประเทศไทย

สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) ได้มีการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านทางสายนำสัญญาณ เมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2563 โดยการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและจำเป็นต่อการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K นั้นจะมีการอ้างอิงตามข้อมูลช่องรายการและโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของประเทศไทย ตามรูปที่ 58



รูปที่ 58 ช่องรายการและโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของประเทศไทย

และมีการจำแนกความเป็นไปได้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ออกเป็น 3 กรณีได้แก่

1. การออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยอาศัยทรัพยากรที่มีเหลืออยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการคำนวณค่า Bit Rate ที่ทาง Mux PRD ใช้อยู่เดิมนั้นจะได้ค่าดังตารางด้านล่าง โดยจะแยกค่า Bit rate ออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าที่แนะนำให้ใช้งาน (Recommend) และค่าที่มีการใช้งานจริงในปัจจุบัน (Average)

ตารางที่ 10 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K

พารามิเตอร์	ค่า
FFT Size	16K ext.
Guard Interval	19/128
Pilot Pattern	PP2
Modulation	64-QAM
Code Rate	3/5
ผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ที่กำหนด	
Required C/N (Fixed reception)	15.17 dB
Bit rate (Recommend) = 7.27 Mbps.	13.59
Bit rate (Average) = 8.87 Mbps.	12.10

เมื่อมีการนำค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ มาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราบิตที่ยังสามารถใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K จะพบว่า หากมีการใช้งานค่าอัตราบิต Bit rate (Recommended) ในการคำนวณหาค่า Bit rate ที่ยังคงสามารถใช้งานจะมีค่าเท่ากับ 13.59 Mbps และถ้ามีการใช้งานค่า Bit rate (Average) ในการคำนวณหาค่า Bit rate ที่ยังคงสามารถใช้งานได้จะมีค่าเท่ากับ 12.10 Mbps

System Parameters

Profile:	BASE	Guard interval (μ s):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μ s):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, Tf (μ s):	266
Modulation:	64-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	3/5	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	21.876
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34

Capacity calculation parameters

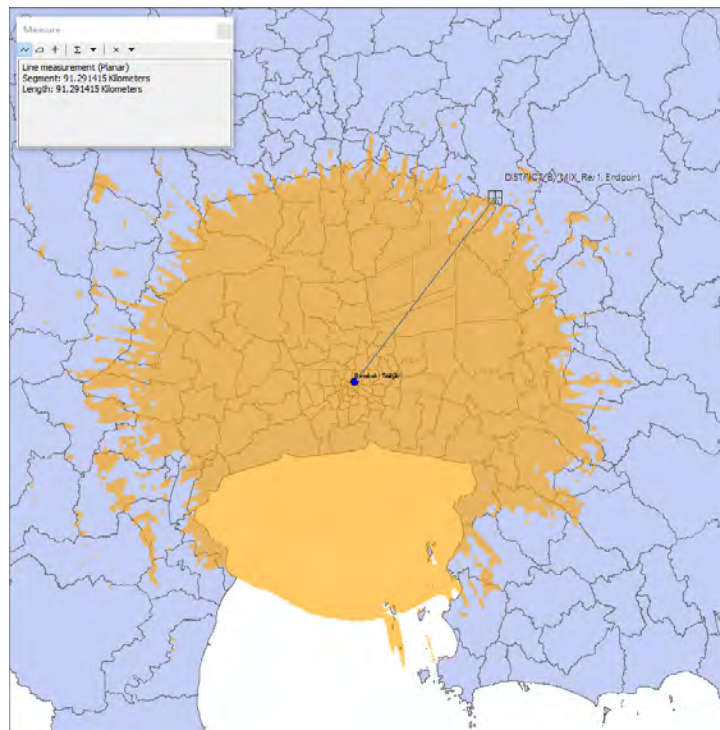
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False		Capacity graph...

SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.06 0.07 0.1
Correction for pilot boosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		

Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	12	Gauss:	14.6
Rice:	12.3	Rice:	14.9
Rayleigh:	14	Rayleigh:	16.6

OK Close

รูปที่ 60 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ



รูปที่ 59 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K

จากรูปที่ 59 จะเห็นว่าเมื่อมีการใช้งานพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ อยู่เดิมนั้นจะพบว่าระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K เท่ากับ 91.25 กิโลเมตร

2. การออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยมีการแยก PLPs ในการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K กับการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยีแบบเดิม

ตารางที่ 11 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K

Parameters		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
FFT Size		16K ext.	16K ext.	16K ext.	16K ext.	16K ext.
Guard Interval		19/128	19/128	19/128	19/128	19/128
Pilot Pattern		PP2	PP2	PP2	PP2	PP2
Modulation		64-QAM	64-QAM	256-QAM	256-QAM	256-QAM
Code Rate		3/4	4/5	1/2	3/5	2/3
Required C/N (dB)		18	19.3	17.4	19.6	21.2
PLP1 : 1HD + 1SD	Bit rate (Rec.) = 7.27 Mbps	17	18	15	18	20
	Bit rate (Average) = 8.87 Mbps	15	16	13.4	16.1	17.8
PLP1 : 2HD + 1SD	Bit rate (Rec.) = 12.37 Mbps	10.74	11.46	9.49	11.39	12.68
	Bit rate (Average) = 15.17 Mbps	7.22	7.70	6.40	7.69	8.56
PLP1 : 2HD + 2SD	Bit rate (Rec.) = 14.27 Mbps	8.33	8.89	7.30	8.88	9.88
	Bit rate (Average) = 17.47 Mbps	4.26	4.49	3.69	4.44	4.49
PLP1 : 2HD + 3SD	Bit rate (Rec.) = 16.17 Mbps	5.92	6.32	5.17	6.2	6.91
	Bit rate (Average) = 19.77 Mbps	1.48	1.58	1.23	1.4	1.64

ตารางที่ 12 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K

Parameters		Mode 6	Mode 7	Mode 8	Mode 9
FFT Size		16K ext.	32K ext.	32K ext.	32K ext.
Guard Interval		19/128	1/32	19/128	19/256
Pilot Pattern		PP2	PP4	PP2	PP2
Modulation		256-QAM	256-QAM	256-QAM	64-QAM
Code Rate		3/4	2/3	3/5	2/3
Required C/N (dB)		23.3	20.8	19.6	16.5
PLP1 :	Bit rate (Rec.) = 7.27 Mbps	22.5	25.5	18.21	16.8
1HD + 1SD	Bit rate (Average) = 8.87 Mbps	20.1	22.9	16.1	14.95
PLP1 :	Bit rate (Rec.) = 12.37 Mbps	14.24	17.7	11.49	11.1
2HD + 1SD	Bit rate (Average) = 15.17 Mbps	9.63	13.7	7.75	7.95
PLP1 :	Bit rate (Rec.) = 14.27 Mbps	11.11	15	8.95	8.95
2HD + 2SD	Bit rate (Average) = 17.47 Mbps	5.55	10.26	4.47	5.45
PLP1 :	Bit rate (Rec.) = 16.17 Mbps	7.77	12.25	6.26	6.8
2HD + 3SD	Bit rate (Average) = 19.77 Mbps	1.85	6.95	1.45	2.8

ในกรณีที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยการแยก PLPs จะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองตามค่าในตารางที่ 11 และตารางที่ 12 โดยในแต่ละ Mode ของการทดลองนั้นจะมีการแบ่งพิจารณาอัตราบิตที่สามารถใช้งานได้ในแต่ละโครงข่าย โดยจะมีการอ้างอิงข้อมูลช่องรายการและโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลของประเทศไทย ก่อนที่จะมีการทดลองทดสอบออกอากาศช่องรายการเพื่อการศึกษาทางไกล (DLTV)

3. การออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยมีการแยกโครงข่ายสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยเฉพาะ

ตารางที่ 13 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K

Parameters	Existing	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
FFT Size	16K ext.	16K ext.	16K ext.	16K ext.	16K ext.
Guard Interval	19/128	19/128	19/128	19/128	19/128
Pilot Pattern	PP2	PP2	PP2	PP2	PP2
Modulation	64-QAM	64-QAM	64-QAM	256-QAM	256-QAM
Code Rate	3/5	3/4	4/5	1/2	3/5
Required C/N (dB)	15.17 dB	18 dB	19.3 dB	17.4 dB	19.6 dB
Bit rate (Average) = 8.87 Mbps	21.86	26.3	28	23.25	27.95

ตารางที่ 14 กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K (ต่อ)

Parameters	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8	Mode 9
FFT Size	16K ext.	16K ext.	32K ext.	32K ext.	32K ext.
Guard Interval	19/128	19/128	1/32	19/128	19/256
Pilot Pattern	PP2	PP2	PP4	PP2	PP2
Modulation	256-QAM	256-QAM	256-QAM	256-QAM	64-QAM
Code Rate	2/3	3/4	2/3	3/5	2/3
Required C/N (dB)	21.2 dB	23.3 dB	20.8 dB	19.6 dB	16.5 dB
Bit rate (Average) = 8.87 Mbps	31.1	35	36.26	27.95	24.95

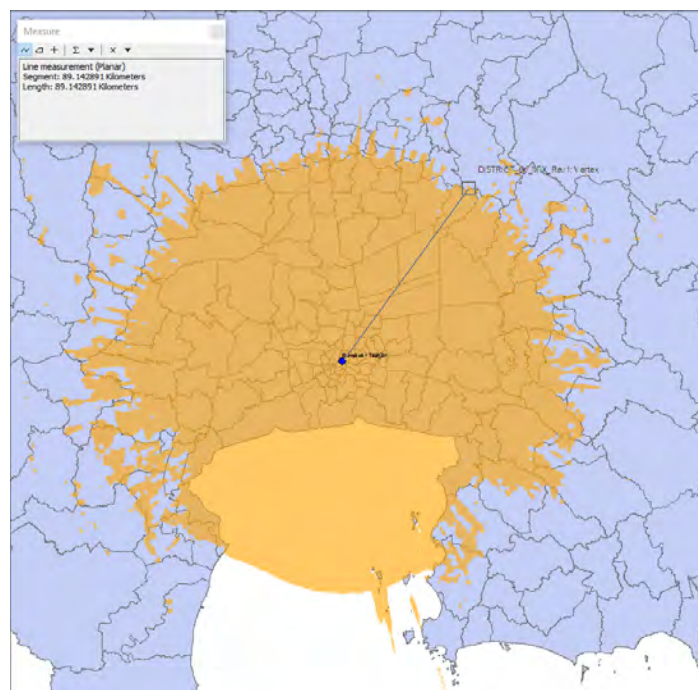
ในกรณีที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K โดยการแยกโครงข่ายสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยีโดยเฉพาะ จะสังเกตได้ว่าค่าอัตราบีตที่ได้ในแต่ละค่าพารามิเตอร์จะแตกต่างกันออกไป ตามตารางที่ 13 และตารางที่ 14 ตามลำดับ

พื้นที่ครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ในแต่ละค่าพารามิเตอร์

Mode 1

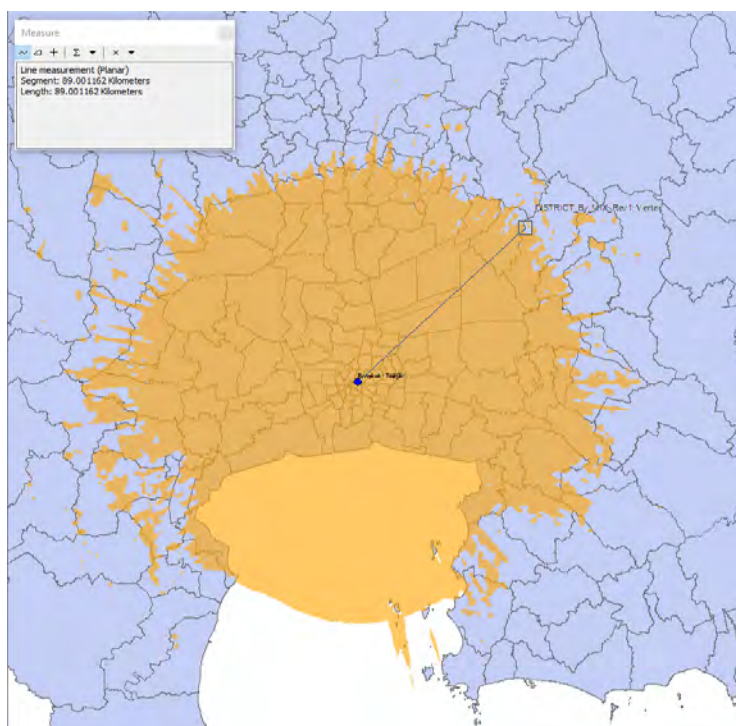
System Parameters			
Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	64-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	3/4	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	27.384
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34
Capacity calculation parameters			
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False	Capacity graph...	
SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.13 0.14 0.23
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		
Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	15.1	Gauss:	17.7
Rice:	15.4	Rice:	18
Rayleigh:	17.7	Rayleigh:	20.4

รูปที่ 61 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 1



รูปที่ 62 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode

Mode 2



รูปที่ 63 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 2

System Parameters			
Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	64-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	4/5	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	29.220
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34
Capacity calculation parameters			
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False	Capacity graph...	
SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.16 0.18 0.33
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		
Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	16.1	Gauss:	18.8
Rice:	16.6	Rice:	19.3
Rayleigh:	19.2	Rayleigh:	22

รูปที่ 64 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 2

Mode 3

System Parameters

Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	256-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	1/2	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	24.196
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34

Capacity calculation parameters

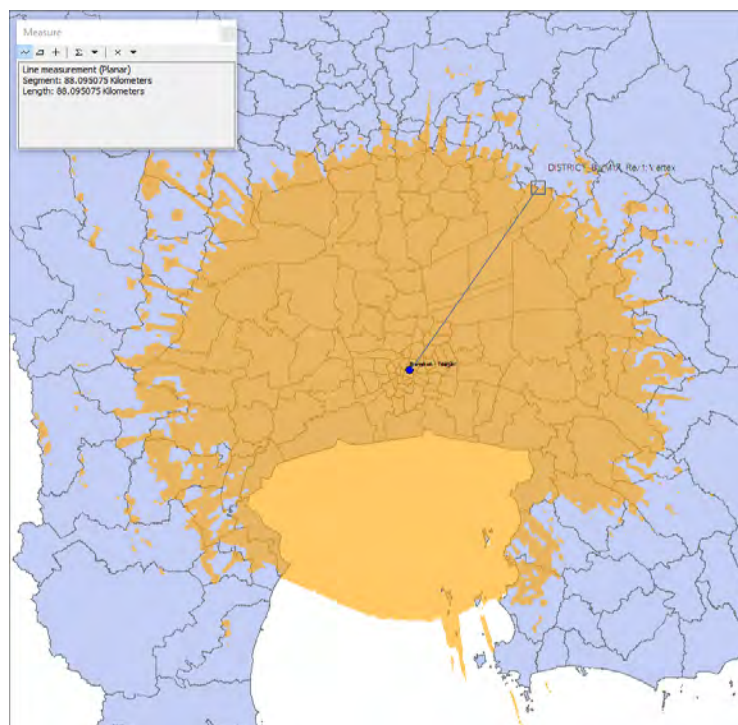
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False		Capacity graph...

SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.08 0.09 0.14
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		

Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	13.2	Gauss:	15.8
Rice:	13.6	Rice:	16.2
Rayleigh:	15.6	Rayleigh:	18.2

OK Close

รูปที่ 65 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 3

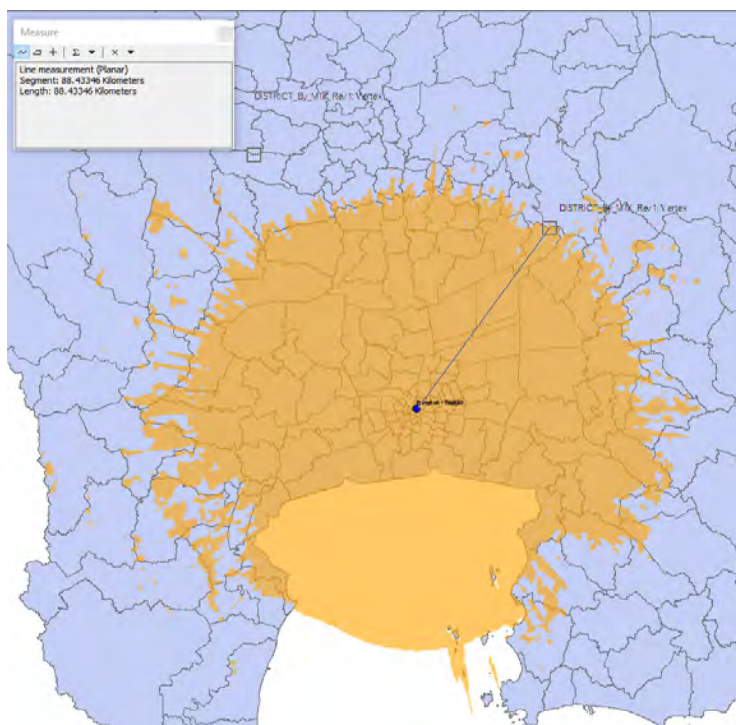


รูปที่ 66 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 3

Mode 4

System Parameters			
Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	256-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	3/5	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	29.076
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34
Capacity calculation parameters			
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False	Capacity graph...	
SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.16 0.17 0.27
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		
Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	16.1	Gauss:	18.8
Rice:	16.3	Rice:	19
Rayleigh:	18.3	Rayleigh:	21.1

รูปที่ 67 ระยะเวลาครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 4



รูปที่ 68 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 4

Mode 5

System Parameters

Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	256-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	2/3	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	32.353
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34

Capacity calculation parameters

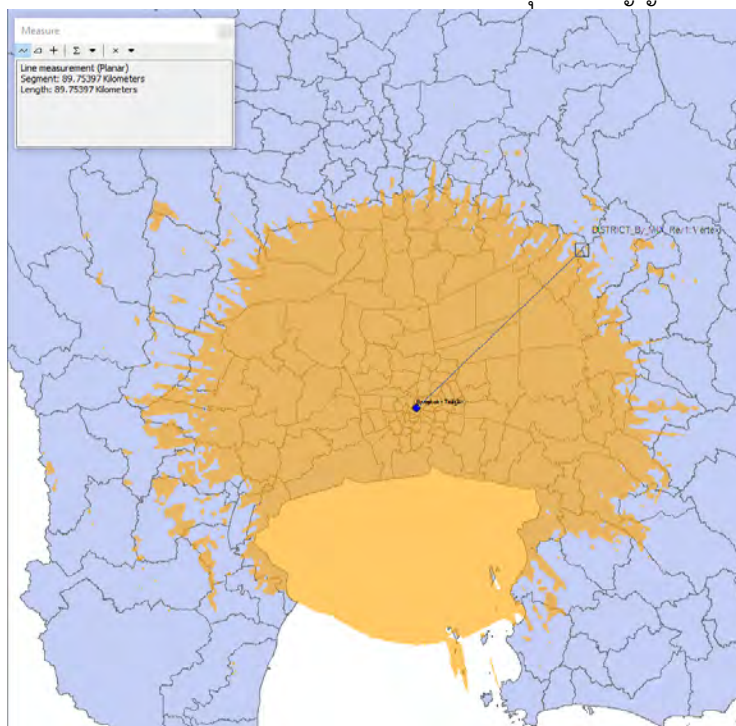
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False		Capacity graph...

SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.24 0.26 0.42
Correction for pilot-boosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		

Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	17.8	Gauss:	20.5
Rice:	18.1	Rice:	20.9
Rayleigh:	20.1	Rayleigh:	23

OK Close

รูปที่ 69 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 5



รูปที่ 70 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 5

Mode 6

System Parameters

Profile:	BASE	Guard interval (μs):	266
FFT size:	16K	Useful symbol time (μs):	1792
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	256-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	3/4	Frame duration (ms):	140.168
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.79
Guard interval:	19/128	P1/P2 overhead (%):	1.63
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	36.396
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	34

Capacity calculation parameters

Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	67	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False		

Capacity graph...

SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.41 0.44 0.77
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		

Required raw C/N (dB)

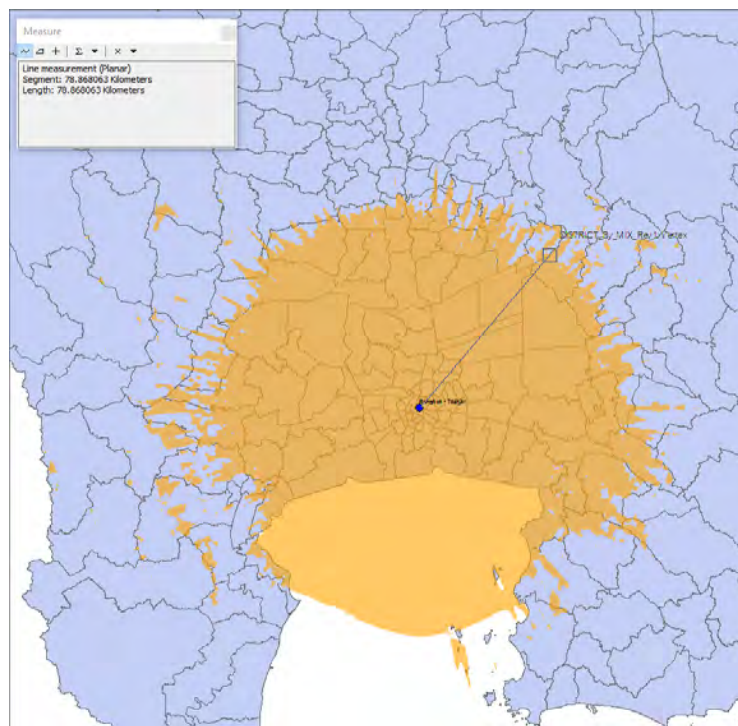
Gauss:	20
Rice:	20.3
Rayleigh:	22.6

Required C/N (dB)

Gauss:	22.9
Rice:	23.2
Rayleigh:	25.9

OK Close

รูปที่ 71 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 6

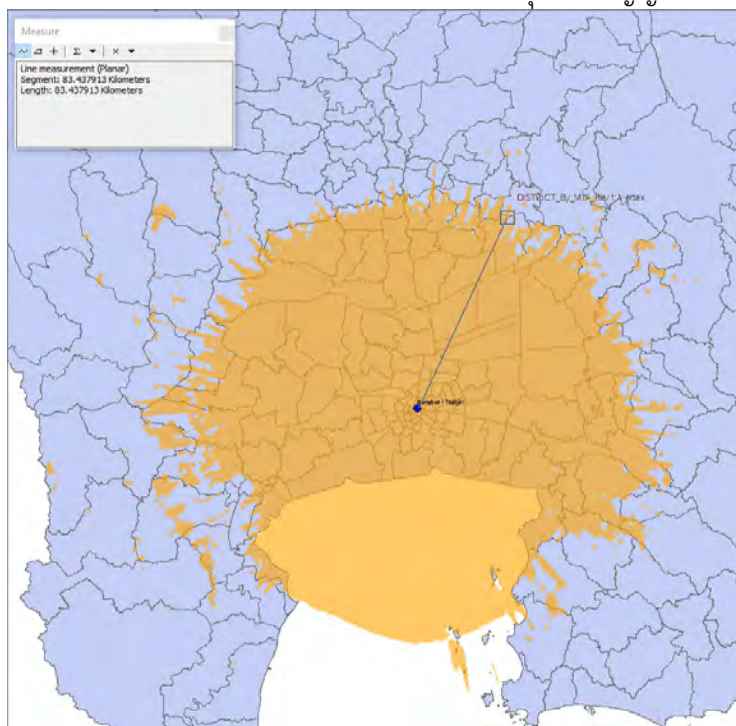


รูปที่ 72 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 6

Mode 7

System Parameters			
Profile:	BASE	Guard interval (μs):	112
FFT size:	32K	Useful symbol time (μs):	3584
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, T _f (μs):	266
Modulation:	256-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	2/3	Frame duration (ms):	221.984
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	4.56
Guard interval:	1/32	P1/P2 overhead (%):	1.77
Scattered pilot pattern:	PP4	Net bit rate (Mbit/s):	37.940
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	20
Capacity calculation parameters			
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	59	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False	Capacity graph...	
SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.22 0.23 0.38
Correction for pilotboosting (dB):	0.5	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	1.5		
Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	17.8	Gauss:	20.1
Rice:	18.1	Rice:	20.4
Rayleigh:	20.1	Rayleigh:	22.6

รูปที่ 73 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 7



รูปที่ 74 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 7

Mode 8


System Parameters

Profile:

BASE

FFT size:

32K

Carrier mode:

Extended

Modulation:

256-QAM

Code rate:

3/5

FEC frame length:

64800

Guard interval:

19/128

Scattered pilot pattern:

PP2

System bandwidth (MHz):

8

TFS #RF:

None

Guard interval (μ s):

532

Useful symbol time (μ s):

3584

Interval of correct equalisation, TF (μ s):

532

Signal bandwidth (MHz):

7.77

Frame duration (ms):

247.184

Pilots in data symbol (%):

8.72

P1/P2 overhead (%):

1.76

Net bit rate (Mbit/s):

29.364

Virtual TFS bit rate (Mbit/s):

N/A

Time interleaving depth (symbols):

20

Capacity calculation parameters

Multi antenna type:

SISO

Data symbols per frame:

59

Future extension frames present:

False

PAPR reduction:

NONE

Mode adaptation:

HEM

Deletion of null packets:

False

Input stream synchronizer:

NONE

Value of PLPs:

1

Value of auxiliary streams:

0

L1 post-signalling modulation:

64-QAM

Repetition of L1-dynamic signalling:

False

Capacity graph...

SFP2QEF (dB):

0.1

Correction for pilot boosting (dB):

0.4

Penalty for real channel estimation (dB):

2

Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):

0.16 0.17 0.27

TFS gain (dB):

0

Required raw C/N (dB)

Gauss:

16.1

Rice:

16.3

Rayleigh:

18.3

Required C/N (dB)

Gauss:

18.8

Rice:

19

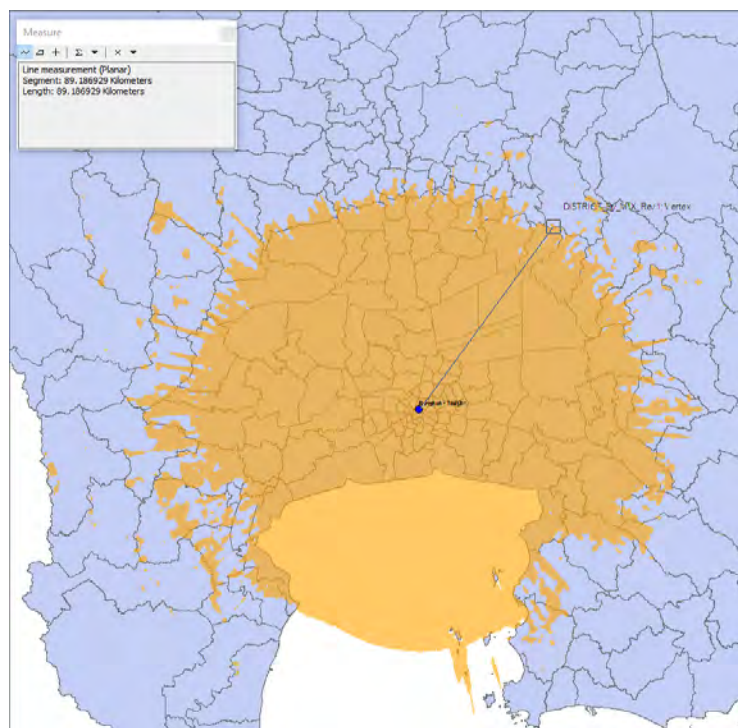
Rayleigh:

21.1

OK

Close

รูปที่ 75 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 8



รูปที่ 76 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 8

Mode 9

System Parameters

Profile:	BASE	Guard interval (μ s):	266
FFT size:	32K	Useful symbol time (μ s):	3584
Carrier mode:	Extended	Interval of correct equalisation, TF (μ s):	532
Modulation:	64-QAM	Signal bandwidth (MHz):	7.77
Code rate:	2/3	Frame duration (ms):	231.224
FEC frame length:	64800	Pilots in data symbol (%):	8.72
Guard interval:	19/256	P1/P2 overhead (%):	1.76
Scattered pilot pattern:	PP2	Net bit rate (Mbit/s):	26.150
System bandwidth (MHz):	8	Virtual TFS bit rate (Mbit/s):	N/A
TFS #RF:	None	Time interleaving depth (symbols):	20

Capacity calculation parameters

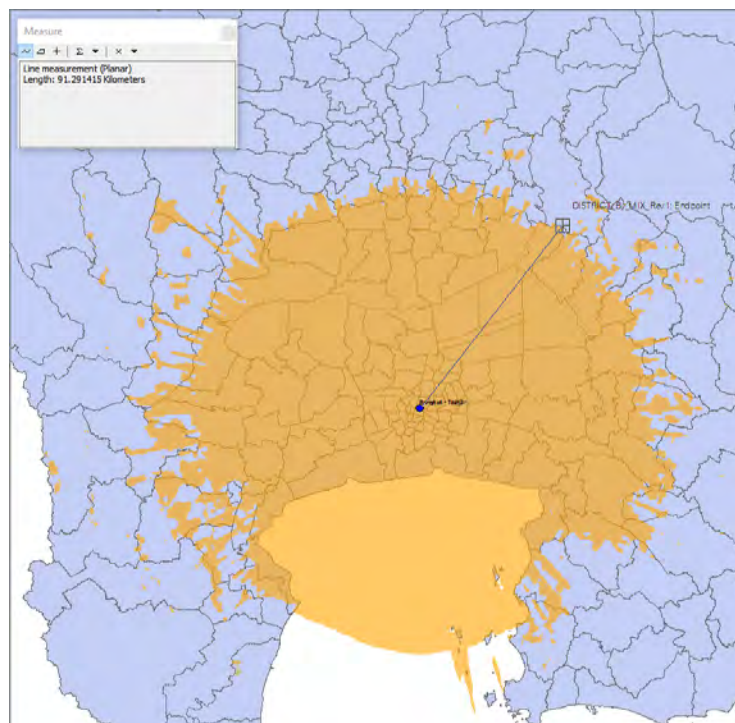
Multi antenna type:	SISO	Input stream synchronizer:	NONE
Data symbols per frame:	59	Value of PLPs:	1
Future extension frames present:	False	Value of auxiliary streams:	0
PAPR reduction:	NONE	L1 post-signalling modulation:	64-QAM
Mode adaptation:	HEM	Repetition of L1-dynamic signalling:	False
Deletion of null packets:	False	Capacity graph...	

SFP2QEF (dB):	0.1	Back-stop noise margin @ -33 dBc (dB):	0.09 0.09 0.14
Correction for pilotboosting (dB):	0.4	TFS gain (dB):	0
Penalty for real channel estimation (dB):	2		

Required raw C/N (dB)		Required C/N (dB)	
Gauss:	13.5	Gauss:	16.1
Rice:	13.8	Rice:	16.4
Rayleigh:	15.6	Rayleigh:	18.2

OK Close

รูปที่ 77 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของ Mode 9



รูปที่ 78 ระยะครอบคลุมของการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นๆ ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ Mode 9



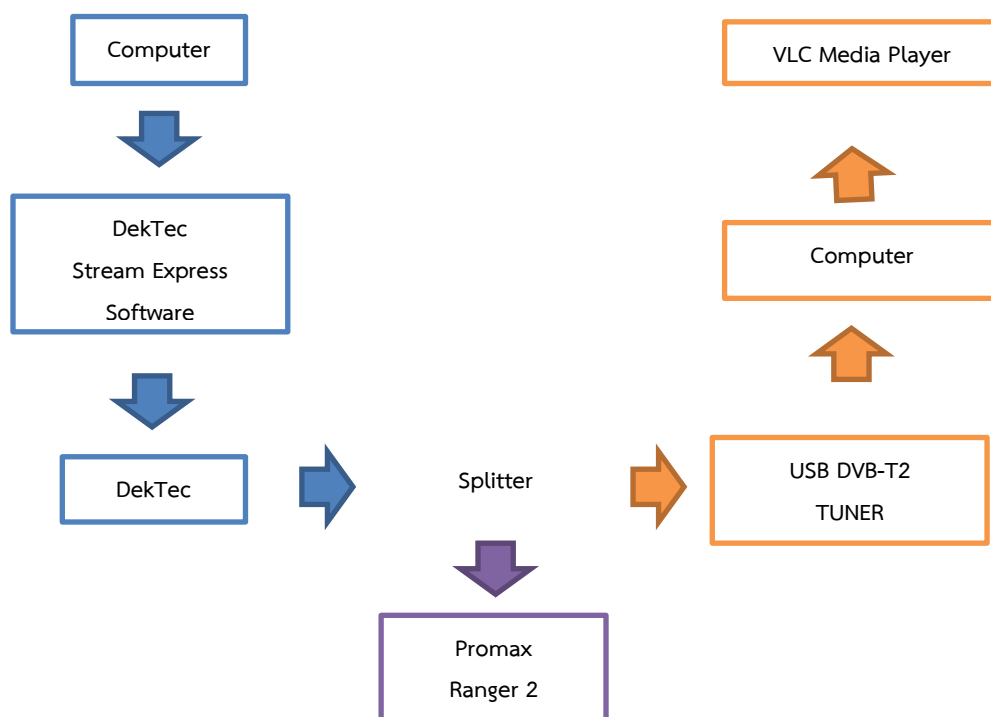
รูปที่ 79 การทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านสายนำสัญญาณ

จากรูปที่ 79 การทดลองทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านสายนำสัญญาณนั้น ทส. ได้มีการทดสอบโดยเลือกใช้งานพารามิเตอร์ค่าเดียวกันกับที่ใช้ในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลปัจจุบัน

โดย Transport Stream ที่ใช้ในการทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านสายนำสัญญาณมีรายละเอียดดังนี้

- ความละเอียดของวิดีโอ : 3840 x 2160
- เฟรมเรต : 24 fps
- การบีบอัดสัญญาณภาพ : HEVC (H.265)

สำหรับการทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ผ่านสายนำสัญญาณนั้นจะมีอุปกรณ์และมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 80 แผนภาพแสดงการทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K

โดยขั้นตอนของการในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K จะขออธิบายดังนี้

1. เปิด Transport Stream ด้วยโปรแกรม “DekTec Stream Express” ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกันกับ “DekTec” ซึ่งต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะจำลองการส่งสัญญาณออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ
2. ต่อสายนำสัญญาณเข้ากับ “ DekTec” อีกฝั่งเพื่อที่จะต่อเข้ากับ “ Splitter” เพื่อทำการแยกสัญญาณที่จำลองการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ให้ไปยังเครื่องมือวัด “ Promax” และไปยัง “ USB DVB-T2 TUNER” เพื่อเป็นการจำลองฝั่งภาครับ
3. การเชื่อมต่อสัญญาณไปยัง “Promax” เพื่อเป็นการดูค่าพารามิเตอร์ที่เรากำหนดในช่วงของการจำลองการส่งออกอากาศสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ
4. การเชื่อมต่อสัญญาณไปยัง “USB DVB-T2 TUNER” เพื่อให้อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากภาคส่งเข้าสู่ภาครับ
5. อุปกรณ์ “USB DVB-T2 TUNER” จะถูกเชื่อมต่อไว้กับคอมพิวเตอร์และอาศัยการใช้งานโปรแกรม VLC Media Player เป็นตัวถอดรหัสสัญญาณจากภาคส่งและแสดงภาพออกมา

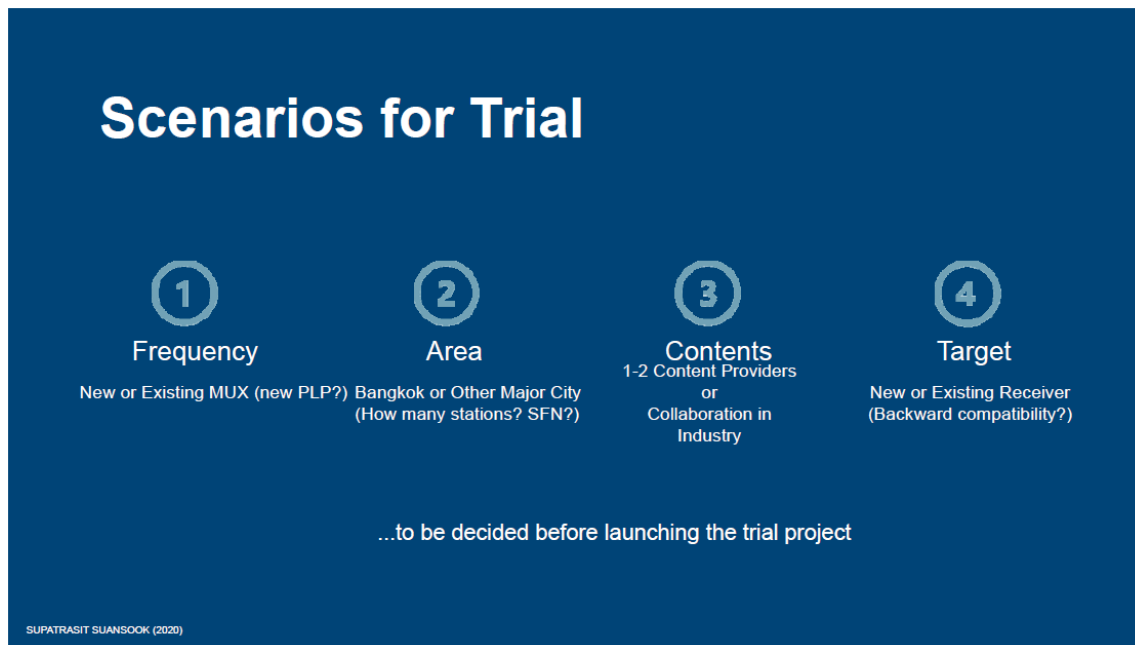
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินการของสำนักงาน กสทช.

นอกจากการศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี 4K การศึกษาการดำเนินการของประเทศต่าง ๆ การทดลองส่งสัญญาณทางสาย และการคำนวณอัตราบิตจากพารามิเตอร์ของระบบ DVB-T2 ที่สามารถใช้งานได้ ในบริบทของประเทศไทยแล้ว สำนักงาน กสทช. โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและ โทรทัศน์ (ทส.) ยังได้จัดทำแบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินใน ระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (ผู้ให้บริการโทรทัศน์และผู้ให้บริการ โครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล) โดยมีแบบสำรวจเป็นไปตามภาคผนวก ก และผลการสำรวจเป็นไป ตามภาคผนวก ข

โดยภายหลังจากการเก็บข้อมูลจากแบบสำรวจข้างต้น สำนักงาน กสทช. ได้จัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2563 เพื่อเป็นการหารือและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียใน กิจการโทรทัศน์ (เอกสารประกอบการประชุมกลุ่มย่อยเป็นไปตามเอกสารแนบ ค) ซึ่งผู้ประกอบการและผู้ที่มีส่วน ได้ส่วนเสียในกิจการโทรทัศน์มีข้อคิดเห็น ข้อซักถาม รวมทั้งความกังวลในหลากหลายด้านตามที่ได้มีการสรุปไว้ใน ผลการประชุมย่อย (Focus Group) ในภาคผนวก ง

จากการศึกษาและการดำเนินการที่ผ่านมา สำนัก ทส. มีข้อเสนอแนะแนวทางการทดลองหรือทดสอบการ ออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยแบ่งข้อเสนอเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ควรกำหนดแนวทางการทดลองหรือทดสอบ (Scenario) เบื้องต้นก่อนอนุญาตให้มีการทดลองหรือ ทดสอบ โดยอย่างน้อยต้องระบุแนวทางดังนี้ (รายละเอียดเป็นไปตามรูปที่ 81)
 - 1.1 คลื่นความถี่ที่จะใช้งาน
 - 1.2 พื้นที่ทดลองหรือทดสอบ
 - 1.3 เนื้อหารายการที่จะทดลองหรือทดสอบ
 - 1.4 กลุ่มเป้าหมาย



รูปที่ 81 กำหนดแนวทางการทดลองหรือทดสอบ (Scenario) เบื้องต้นก่อนอนุญาตให้มีการทดลองหรือทดสอบ

- ควรกำหนดแผนการทดสอบ (Test Plan) รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่จะทดลองหรือทดสอบ อย่างน้อยอาจต้องกำหนดหัวข้อที่จะทดสอบดังรูปที่ 82



รูปที่ 82 กำหนดแผนการทดสอบ (Test Plan) รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่จะทดลองหรือทดสอบ

นอกจากนี้ ได้มีการจัดทำร่างแผนดำเนินการ (Drafted Roadmap) สำหรับการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อรองรับการดำเนินงานภายในปี พ.ศ. 2564-2565 ไว้ดังนี้

- กำหนดวัตถุประสงค์และกลุ่มเป้าหมายในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยมีแนวทางในการจัดทำแบบสำรวจให้แก่ผู้ผลิตโทรทัศน์เพิ่มเติม เพื่อให้มีข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้งานหรือวางจำหน่ายในปัจจุบัน โดยจะเป็นข้อมูลตั้งต้นในการกำหนดกลุ่มเป้าหมายและแนวทางการทดลองทดสอบอย่างชัดเจน
- มีกำหนดแนวทางหรือหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมให้มีการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K โดยหากมีการทดลองทดสอบจะต้องมีการประเมินผลในทางเทคนิค ประกอบกับการสำรวจความคิดเห็นหรือความพึงพอใจจากผู้รับชมที่มีโอกาสรับชมการทดลองทดสอบการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาแนวทางหรือข้อกำหนดต่อไป
- การกำหนดมาตรฐานด้านเทคนิค พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศ อัตราบิต ตลอดจนหลักเกณฑ์ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้อง

ภายหลังการทดลองทดสอบและกำหนดแนวทาง/หลักเกณฑ์ทางเทคนิคที่ชัดเจนแล้ว อาจต้องกำหนดแผนงานในส่วนถัดไปเพื่อส่งเสริมให้เกิดการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K เพื่อรองรับการให้บริการเชิงพาณิชย์ในอนาคต ดังนี้

- การสำรวจโอกาสและผลกระทบทางธุรกิจ รวมไปถึงแนวทางการให้บริการการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K
- การจัดทำหรือปรับปรุงแก้ไขกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
- การออกใบอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K
- การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K อย่างเป็นทางการ



รูปที่ 83 แนวทางแผนการดำเนินการ (Roadmap) สำหรับการทดลองทดสอบการ
ออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินด้วยเทคโนโลยี 4K

ภาคผนวก ก

แบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
ในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K



แบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับ การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

ความเป็นมา

ด้วยแผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2563 - 2568) กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศให้เหมาะสมกับบริบทใหม่ขึ้น โดยหนึ่งในเป้าหมายของยุทธศาสตร์คือการเปิดโอกาสให้มีการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์ ด้วยเหตุนี้ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยีใหม่ เนื่องจากกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินถือเป็นกิจการที่ใช้คลื่นความถี่ตามที่กฎหมายกำหนดไว้ จึงต้องมีการศึกษาให้รอบด้าน เพื่อให้การนำคลื่นความถี่ไปใช้งานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด สำนักงาน กสทช. จึงกำหนดให้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์ที่น่าสนใจและอยู่ระหว่างการศึกษารหัสหรือทดสอบของประเทศต่าง ๆ

ในการนี้ เพื่อให้การศึกษาข้างต้น มีข้อมูลและความคิดเห็นครบถ้วนสมบูรณ์ จึงมีความจำเป็นต้องยังในการสำรวจข้อมูลความพร้อมและความคิดเห็นจากผู้ประกอบกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ทั้งในส่วนของผู้ให้บริการโครงข่ายและช่องรายการ สำนักงาน กสทช. จึงได้จัดทำแบบสำรวจนี้ขึ้น โดยแบ่งการสำรวจข้อมูลเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้กรอกแบบสำรวจ

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจความพร้อมการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

ส่วนที่ 3 แบบสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

โปรดส่งแบบสำรวจกลับมาที่ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ : bc.standard@nbt.go.th ภายในวันที่ 16 ตุลาคม 2563

สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.)

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม โปรดติดต่อ (66)2 271 7600 ต่อ 5925 5923 592

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้กรอกแบบสำรวจ

ชื่อ-นามสกุล	
ตำแหน่ง	
หน่วยงาน	
เบอร์โทรศัพท์	
E-mail	

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจความพร้อมการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่าน

ประเด็น	ระดับ				
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
ด้านความพร้อมในการออกอากาศ					
1. บุคลากรในหน่วยงานของท่านมีความรู้และความเข้าใจด้านเทคนิคเกี่ยวกับโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลเพียงใด					
2. บุคลากรในหน่วยงานของท่านมีความรู้และความเข้าใจด้านเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยี 4K เพียงใด					
3. หน่วยงานของท่านมีประสบการณ์ในการทดลองออกอากาศหรือทดลองทดสอบในลักษณะอื่น ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					
4. หน่วยงานของท่านมีความสนใจในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยีโทรทัศน์ 4K มากน้อยเพียงใด					
ด้านความพร้อมในผลิตรายการ					
5. อุปกรณ์ในการถ่ายทำ (เช่น กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์) ในหน่วยงานของท่าน รองรับเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					
6. อุปกรณ์หรือระบบในการตัดต่อหรือผลิตรายการ (เช่น ระบบส่งสัญญาณจากสตูดิโอ ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการผลิต ระบบจัดเก็บหรือบริหารจัดการไฟล์มีเดีย) รองรับเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					

ประเด็น	ระดับ				
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
7. หน่วยงานของท่านมีความพร้อมในการผลิตเนื้อหารายการที่มีความคมชัดระดับ 4K มากน้อยเพียงใด (เช่น สถานที่ถ่ายทำ การจัดเตรียมเนื้อหารายการ การจัดแสง หรือการแต่งหน้า)					
8. หน่วยงานของท่านมีแผนในการลงทุนหรือจัดหาอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในอนาคต มากน้อยเพียงใด					

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่าน

9. หากหน่วยงานของท่านมีแผนในการลงทุนหรือจัดหาอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในอนาคต ท่านคาดว่าจะจัดหาในช่วงเวลาใด (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

- ☐ อยู่ระหว่างการพิจารณา
 ☐ ภายใน 6 เดือน
 ☐ ภายใน 1 ปี
☐ ภายใน 3 ปี
 ☐ มากกว่า 3 ปี
 ☐ ยังไม่มีแผน/ยังไม่กำหนด

10. หากหน่วยงานของท่านมองเห็นมีโอกาสในการเสริมสร้างธุรกิจหรือส่งเสริมภารกิจ จากการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K หรือไม่ อย่างไร

- ☐ มี
 ☐ ไม่มี

โปรดระบุเหตุผล

ส่วนที่ 3 แบบสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่าน

ประเด็น	ระดับ				
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
1. ท่านคิดว่าปัจจุบันโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมีความจำเป็นที่จะต้องออกอากาศหรือทดลองทดสอบการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					
2. ท่านคิดว่าความเพียงพอของคลื่นความถี่ เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					
3. ท่านคิดว่าการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K จะส่งผลกระทบต่อรายได้จากการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยความคมชัดแบบเดิม (ทั้ง SD และ HD) มากน้อยเพียงใด					
4. ท่านคิดว่าการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรายการโทรทัศน์ที่ออกอากาศด้วยความคมชัดแบบเดิม (ทั้ง SD และ HD) มากน้อยเพียงใด					
5. ท่านคิดว่าข้อกฎหมายหรือการอนุญาต จะเป็นอุปสรรคต่อการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด					
6. ท่านคิดว่าผู้รับชมโทรทัศน์มีความต้องการรับชมโทรทัศน์ 4K มากน้อยเพียงใด					
7. ท่านคิดว่าผู้รับชมโทรทัศน์มีความพร้อมด้านอุปกรณ์ในการรับชมโทรทัศน์ 4K มากน้อยเพียงใด					

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสี่เหลี่ยมที่ตรงกับความเห็นของท่าน

8. ท่านคิดว่าปัจจัยใดมีผลต่อการตัดสินใจลงทุนผลิตและออกอากาศรายการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K มากที่สุด (เลือกตอบไม่เกิน 3 ข้อ)

- ☐ งบประมาณ ☐ ความคมชัด ☐ เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ☐ ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์และระบบ
- ☐ ความต้องการของผู้รับชม ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

9. ท่านคิดว่าเนื้อหารายการที่เหมาะสมในการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K มากที่สุด คือเนื้อหารายการประเภทใด (เลือกตอบไม่เกิน 3 ข้อ)

- ☐ บันเทิง ☐ สารคดี ☐ ศิลปะและวัฒนธรรม ☐ การศึกษา ☐ ท่องเที่ยว
- ☐ กีฬา ☐ ข่าว ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

10. หากมีการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลในอนาคต ท่านคิดว่าควรมีพื้นที่ครอบคลุมในลักษณะใด (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

- ☐ เฉพาะเมืองใหญ่ ☐ ทั่วประเทศ ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

11. หากมีการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลด้วยเทคโนโลยี 4K ในอนาคต ท่านคิดว่าควรมีลักษณะการให้บริการแบบใด (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

- ☐ ให้บริการเป็นการทั่วไป (ฟรี) ☐ ให้บริการแบบบอกรับเป็นสมาชิก (มีค่าใช้จ่าย)
- ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

12. หากมีการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ในอนาคต ท่านคิดว่าควรมีจำนวนช่องรายการกี่ช่อง จึงเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

☐ 1 ช่องรายการ ☐ 2 ช่องรายการ ☐ 3 ช่องรายการ

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____ ช่องรายการ)

13. ท่านคิดว่าสิ่งใดจะเป็นปัจจัยในการส่งเสริมให้เกิดความแพร่หลายของการให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K มากที่สุด (เลือกตอบไม่เกิน 3 ข้อ)

☐ ความคมชัด

☐ ความน่าสนใจของเนื้อหารายการ

☐ ความต้องการของผู้รับชม

☐ ความแพร่หลายของอุปกรณ์ภาครับหรือจอโทรทัศน์

☐ ราคาของอุปกรณ์ภาครับหรือจอโทรทัศน์

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

14. ท่านคิดว่าสิ่งใดจะเป็นอุปสรรคต่อความแพร่หลายของการให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K มากที่สุด (เลือกตอบไม่เกิน 3 ข้อ)

☐ พฤติกรรมของผู้รับชม

☐ งบประมาณที่จะต้องใช้ในการลงทุนด้านการผลิต

☐ งบประมาณที่จะต้องใช้ในการลงทุนด้านการออกอากาศ

☐ ความแพร่หลายของอุปกรณ์ภาครับหรือจอโทรทัศน์

☐ ราคาของอุปกรณ์ภาครับหรือจอโทรทัศน์

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ : _____)

15. ท่านคิดว่าสำนักงาน กสทช. จะมีส่วนผลักดันให้เกิดการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K ได้อย่างไรบ้าง

16. ความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะอื่นๆ

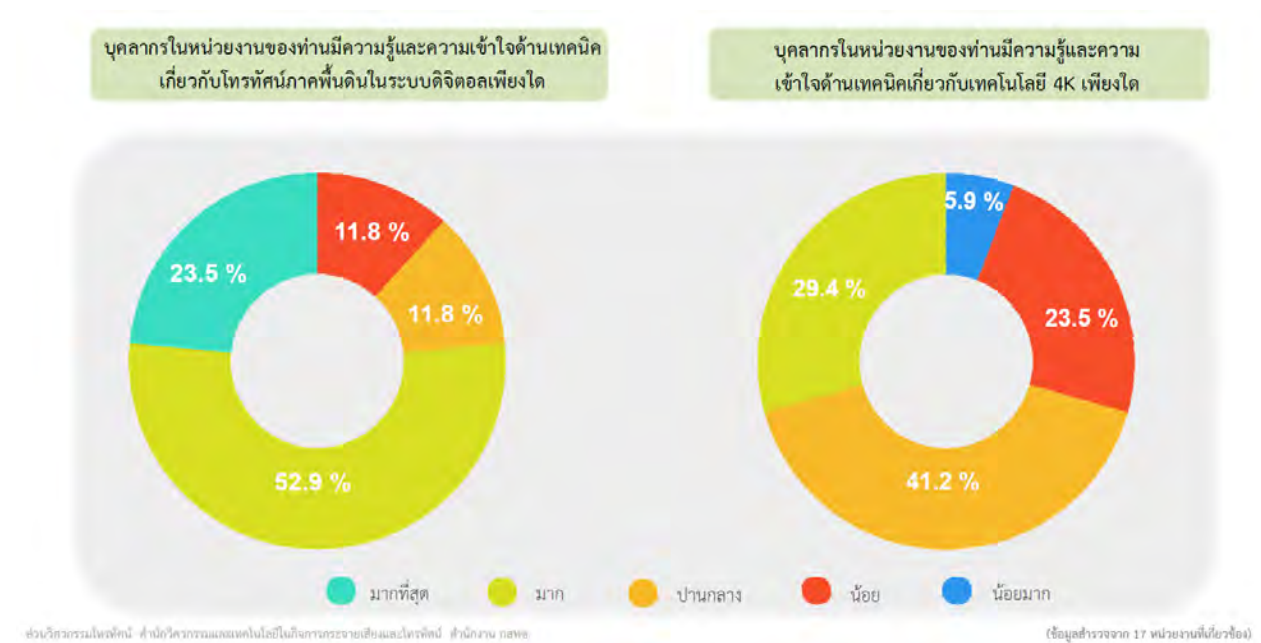
“ขอขอบพระคุณที่ท่านกรุณาตอบแบบสำรวจของสำนักงาน กสทช.”

ภาคผนวก ข

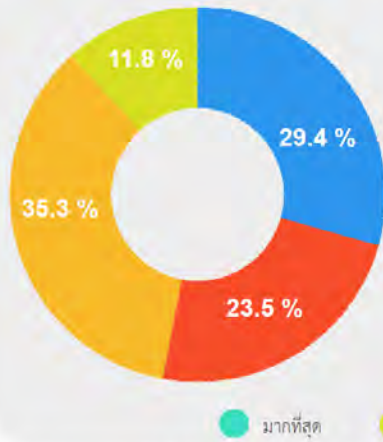
สรุปผลแบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดิน
ในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

หัวข้อของแบบสำรวจความพร้อมและความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K จะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ดังนี้

1. ความพร้อมในการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

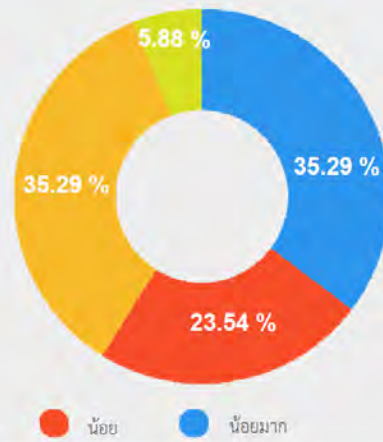


ความพร้อมของอุปกรณ์ในการถ่ายทำ (เช่น กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์)
ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ภายในหน่วยงาน



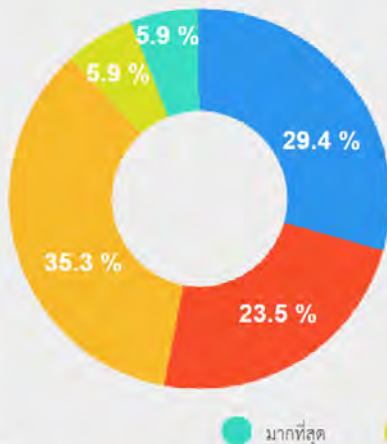
ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคนิคโสตทัศนศึกษาและโสตทัศนศึกษา สำนักงาน กสทช.

อุปกรณ์หรือระบบในการติดต่อหรือผลิตรายการ
(เช่น ระบบส่งสัญญาณจากสตูดิโอ) ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ภายในหน่วยงาน



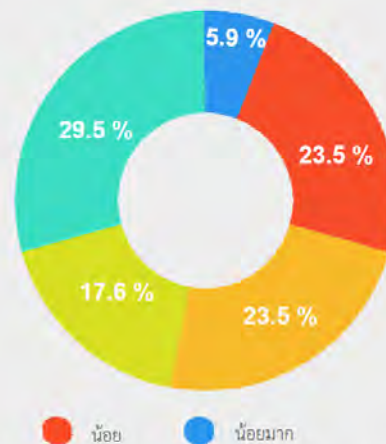
(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

หน่วยงานของท่านมีประสบการณ์ในการทดลองออกอากาศหรือทดลอง
ทดสอบในลักษณะอื่น ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด



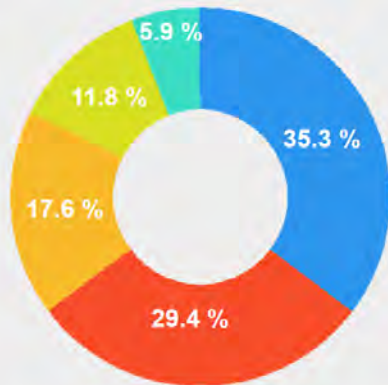
ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคนิคโสตทัศนศึกษาและโสตทัศนศึกษา สำนักงาน กสทช.

หน่วยงานของท่านมีความสนใจในการทดลองทดสอบการออกอากาศ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K มากน้อยเพียงใด



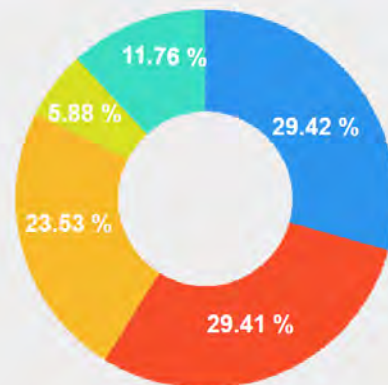
(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

ความพร้อมในการผลิตเนื้อหารายการที่มีความคมชัดระดับ 4K ในหน่วยงานของท่าน



สำนักงานการเลือกตั้ง สำนักงานการตรวจและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

แผนการลงทุนหรือการจัดหาอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในอนาคต ภายในหน่วยงานของท่าน



(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

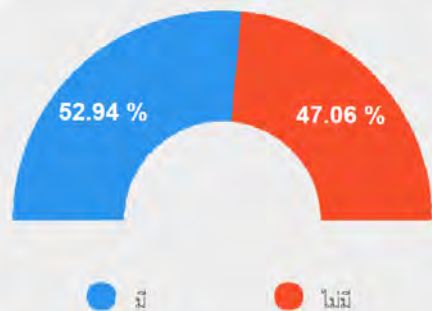
ช่วงเวลาของแผนการลงทุนหรือจัดหาอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี 4K ในอนาคต



สำนักงานการเลือกตั้ง สำนักงานการตรวจและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

ท่านคิดว่าการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K
มีโอกาสร่วมสร้างธุรกิจหรือส่งเสริมภารกิจของท่านหรือไม่ ?



มี เนื่องจาก...

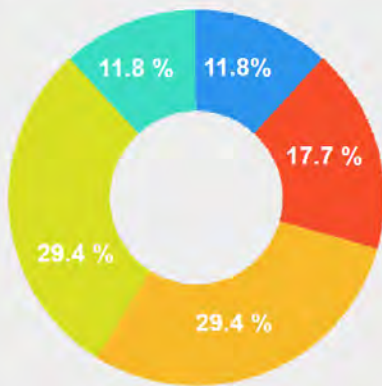
1. ในกรณีผู้ให้บริการโครงข่ายฯ หากมีการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K จะช่วยให้สามารถใช้งานโครงข่ายฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. หากมีการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K จะช่วยส่งเสริมจำนวนคนดูจากระบบโทรทัศน์อื่นๆ ให้กลับมาดูโทรทัศน์ในระบบภาคพื้นดินเพิ่มขึ้นและสามารถสร้างโอกาสทางธุรกิจให้แก่ผู้ได้รับใบอนุญาตเพิ่มขึ้น

ไม่มี เนื่องจาก...

1. ราคาของโทรทัศน์ที่สามารถรับชมภาพ 4K ได้นั้นยังมีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับรายได้ของประชากรส่วนใหญ่ของประเทศ
2. ในปัจจุบันสามารถเลือกรับชมเนื้อหาแบบ 4K ได้จากอินเทอร์เน็ตอยู่แล้ว รวมถึงมีคอนเทนต์ฟรีมากมายให้เลือกรับชม ดังนั้นการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K จึงไม่ได้สร้างโอกาสที่จะทำให้ผู้ชมสนใจรับชมรายการได้เลย
3. เนื่องจากรายได้ของโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ มาจาก "การโฆษณา" ฉะนั้น "ความคมชัดของรายการ ไม่ได้มีผลต่อการเลือกโฆษณาของเอกชน"

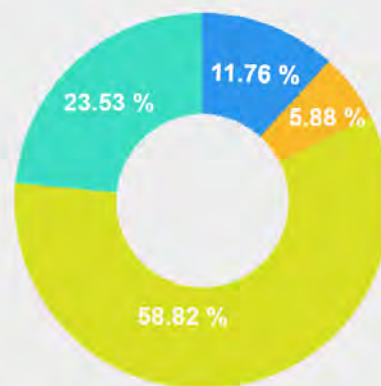
2. ความเห็นเกี่ยวกับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

ความจำเป็นในการทดลองทดสอบการ
ออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K



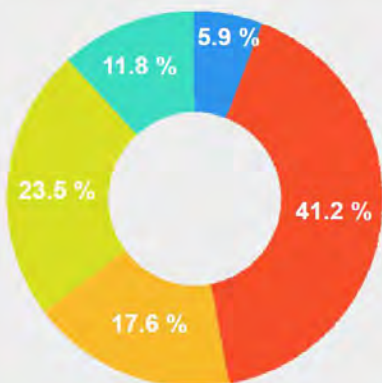
ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักงานการแพร่เทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

ความกังวลด้านความเพียงพอของคลื่นความถี่ หากมี
การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K



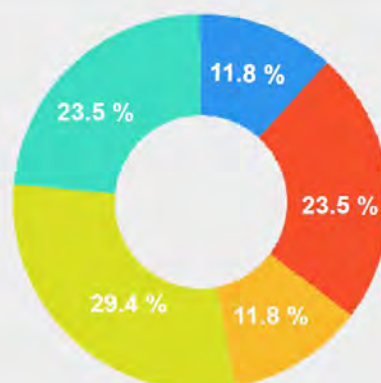
(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

ความกังวลสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K
จะส่งผลกระทบต่อรายได้จากการออกอากาศโทรทัศน์แบบเดิม (SD และ HD)



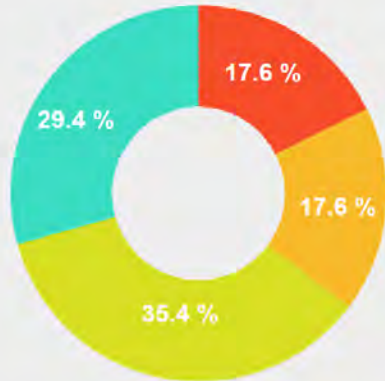
ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักงานการแพร่เทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

ความกังวลด้านผลกระทบต่อคุณภาพของรายการโทรทัศน์ที่ออกอากาศแบบเดิม
(SD และ HD) เมื่อมีการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K



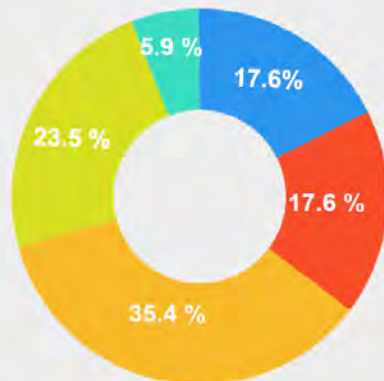
(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

ความกังวลด้านข้อกฎหมายหรือการอนุญาต จะเป็นอุปสรรคต่อการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K



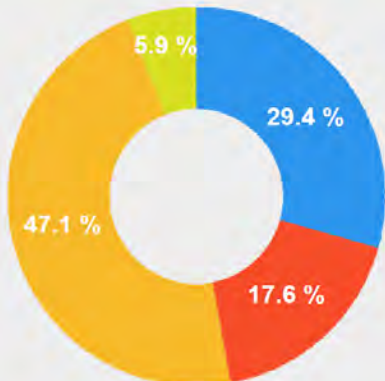
ส่วนวิศวกรชมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

ความต้องการรับชมโทรทัศน์ 4K ของผู้รับชมโทรทัศน์



(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

ความพร้อมด้านอุปกรณ์ในการรับชมโทรทัศน์ 4K ของผู้รับชมโทรทัศน์



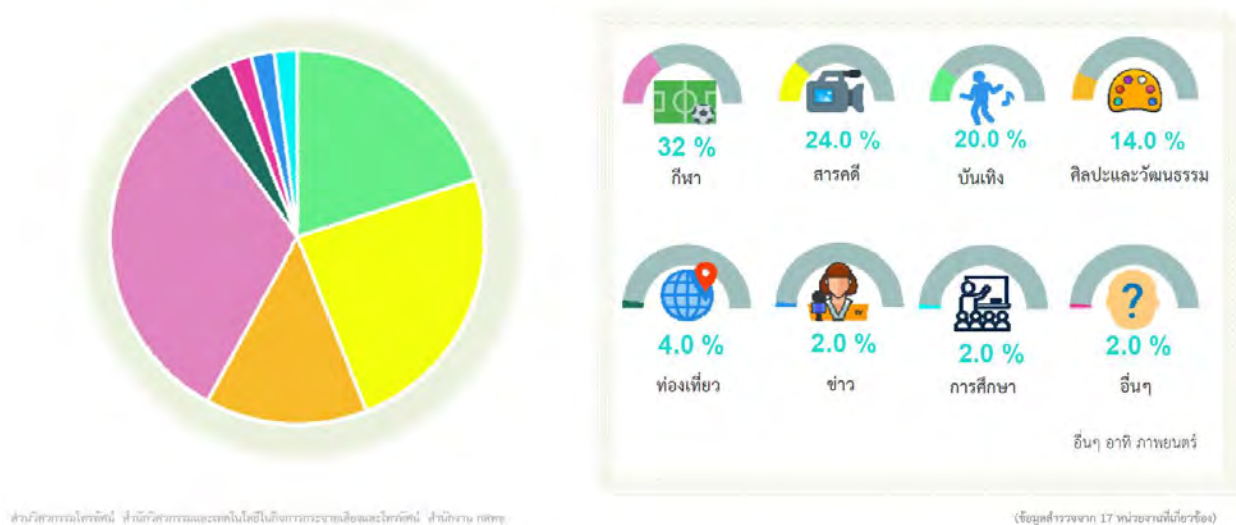
ส่วนวิศวกรชมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

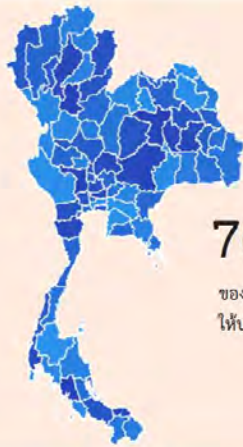
ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุนผลิตและออกอากาศรายการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K



เนื้อหารายการที่เหมาะสมในการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K



การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ควรมีพื้นที่ครอบคลุมในลักษณะใด



76.47%

ของผลสำรวจพบว่า ต้องการให้มีการ
ให้บริการทั่วประเทศ



23.53%

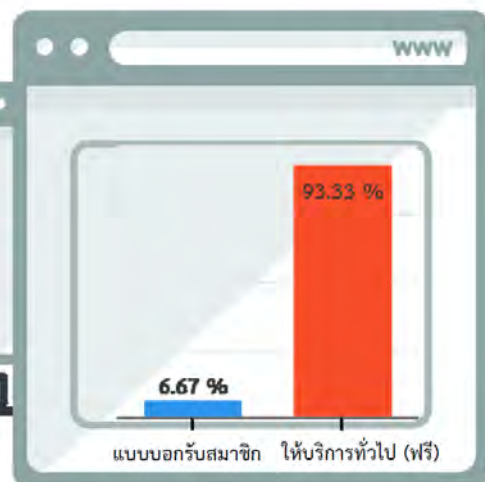
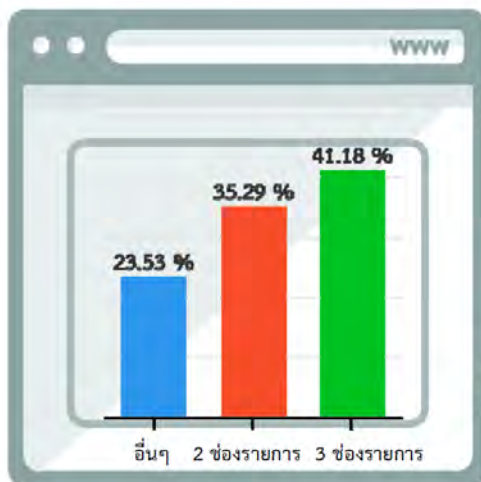
ของผลสำรวจพบว่า ต้องการให้มีการ
ให้บริการเฉพาะเมืองใหญ่

ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยจนถึงปี 2560)

จำนวนช่องรายการสำหรับการให้บริการโทรทัศน์พื้นดินฯ
ด้วยเทคโนโลยี 4K จากผลสำรวจพบว่า

การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K ควรมีลักษณะการ
ให้บริการแบบใด



อื่นๆ เช่น 5 ช่องรายการ 7 ช่องรายการ และทุกช่องรายการ

ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยจนถึงปี 2560)

ปัจจัยในการส่งเสริมให้เกิดความแพร่หลายของการให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K



ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

อุปสรรคที่มีผลต่อความแพร่หลายของการให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K



ส่วนวิศวกรรมโทรทัศน์ สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในการกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช.

(ข้อมูลสำรวจจาก 17 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)

สิ่งที่ต้องการให้ กสทช. ผลักดัน และข้อเสนอแนะอื่นๆ

#1 | สนับสนุนงบประมาณที่ใช้ในการทดลองออกอากาศ

#2 | สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำเนื้อหารายการ 4K

#3 | การหาผู้ช่วยเชี่ยวชาญมาช่วยให้ความรู้กับผู้ปฏิบัติงาน

#4 | ให้ กสทช. ประชาสัมพันธ์การทดลองออกอากาศให้ประชาชนได้รับทราบอย่างทั่วถึง

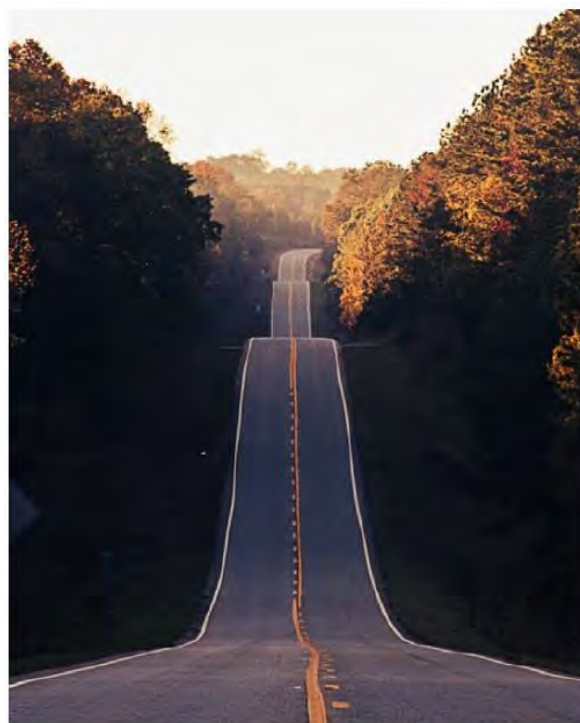
#5 | มีการกระตุ้นให้ประชาชนทราบถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการรับชมรายการโทรทัศน์ในระบบ 4K

ภาคผนวก ค

เอกสารประกอบการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

ค.1วัตถุประสงค์ของการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)



Broadcasting Master Plan 2

B.E.2563 - 2568

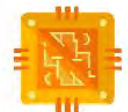
ยุทธศาสตร์ที่
การพัฒนากิจการโทรทัศน์ของประเทศ
ให้เหมาะสมกับบริบทใหม่

2



วัตถุประสงค์
เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรในกิจการโทรทัศน์
อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1



เป้าหมาย #2

เปิดโอกาสให้มีการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์

ตัวชี้วัด #2

มีการสื่อสารให้สาธารณะรับทราบถึงความพร้อม
ในการอนุญาตการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในกิจการโทรทัศน์

กลยุทธ์ #2

การสร้างความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี
ในกิจการโทรทัศน์

(Draft) Action Plan

ลำดับ	แผนงาน	2563				2564				2565				2566			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1	ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K และจัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อยกับผู้มีส่วนได้เสีย																
2	กำหนดแนวทางด้านเทคนิคหรือหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง																
3	กำหนดหลักเกณฑ์หรือกรอบแนวทางการอนุญาตให้ทดสอบ																
4	นำเสนอแนวทางด้านเทคนิค แนวทางการอนุญาตให้มีการทดสอบ และรายงานผลการศึกษาให้สาธารณชนรับทราบ																

* อาจมีการแก้ไขปรับปรุงตามความเหมาะสม

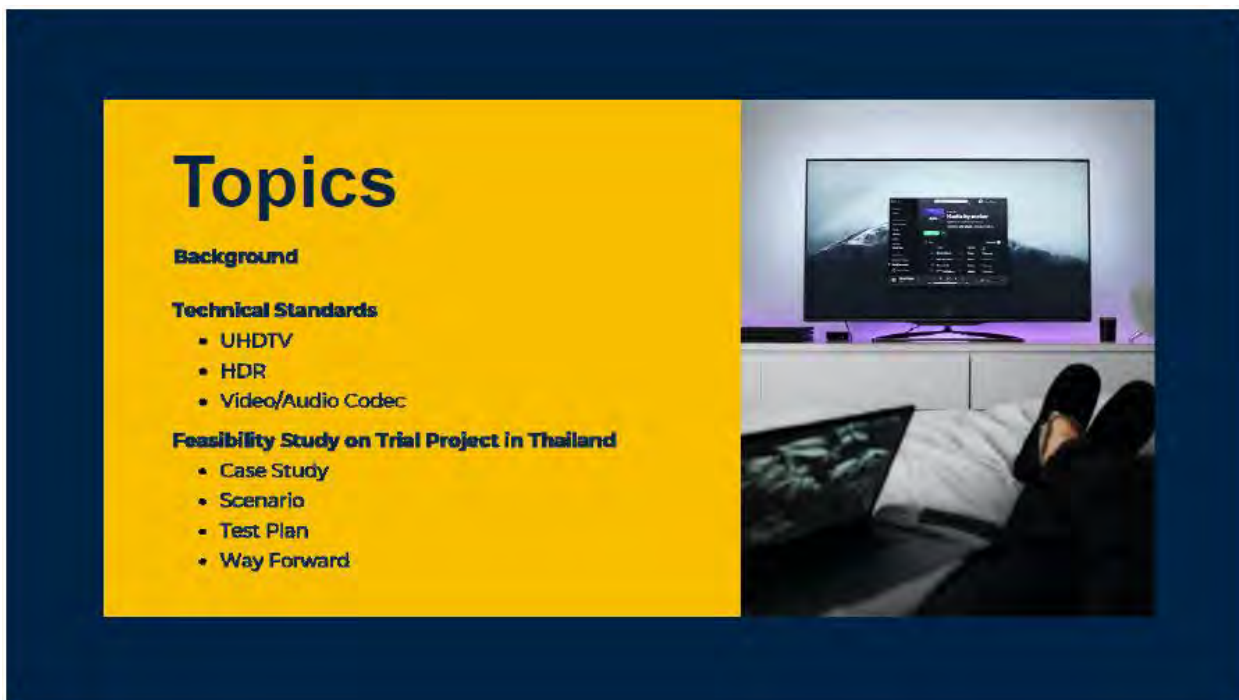
"THANK
YOU!"



PARITA WONGCHUTINAT

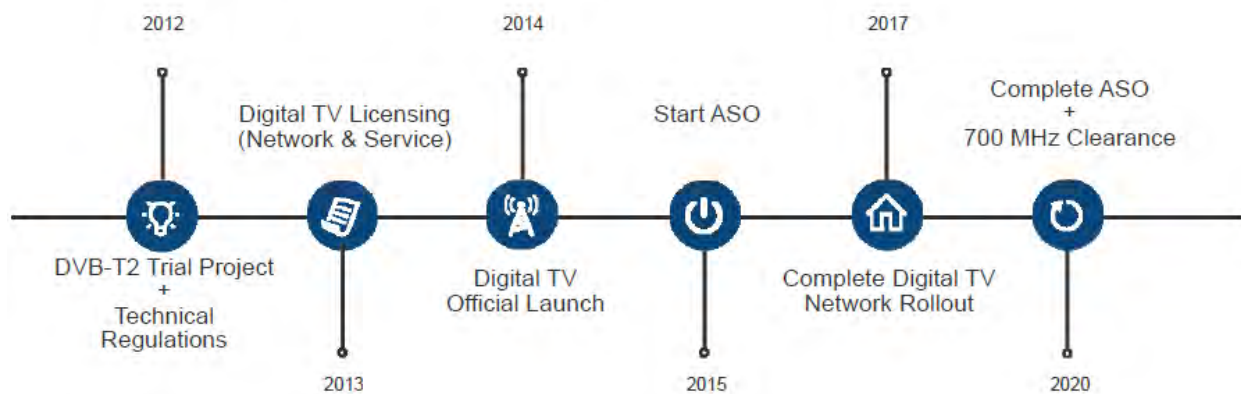
Executive Director
Broadcasting Technology and Engineering Bureau
Office of NBTC
paritaw@gmail.com

ค.2 มาตรฐานทางเทคนิคและแนวทางการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K



BACKGROUND

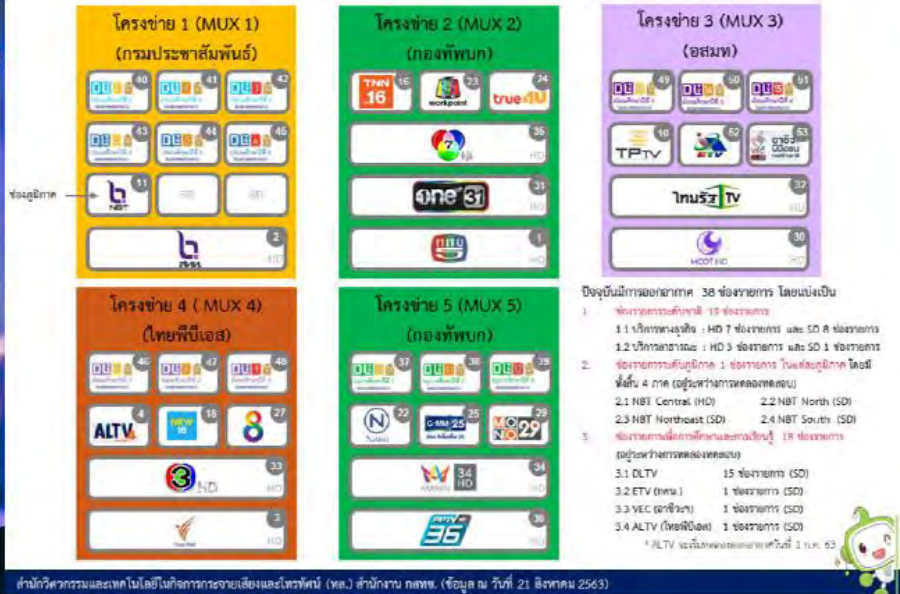
Digital TV in Thailand



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



Current MUX Loading



Broadcasting Master Plan 2 B.E.2563 - 2568

ยุทธศาสตร์ที่ 2
การพัฒนาบริการโทรทัศน์ของประเทศ
ให้เหมาะสมกับบริบทใหม่

วัตถุประสงค์ 1
เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรในการบริการโทรทัศน์
อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

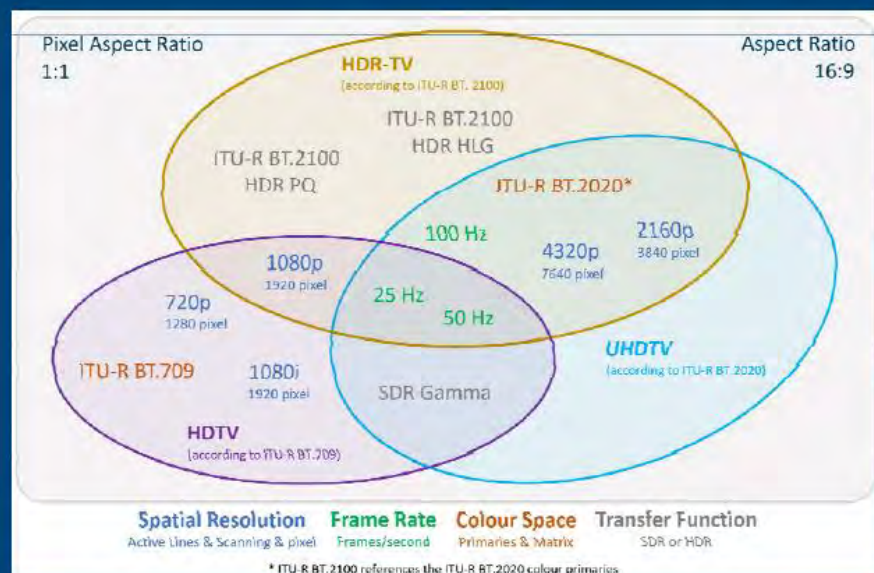


เป้าหมาย #2
เปิดโอกาสให้มีการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในการบริการโทรทัศน์
ตัวชี้วัด #2
มีการสื่อสารให้สาธารณะรับทราบถึงความพร้อม
ในการอนุญาตการทดลองเทคโนโลยีใหม่ในการบริการโทรทัศน์
กลยุทธ์ #2
การสร้างความเข้าใจและความรู้ใหม่เกี่ยวกับเทคโนโลยี
ในการบริการโทรทัศน์

TECHNICAL STANDARDS

UHD?
HDR?
4k or
8k?

Source: IRT



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

UHD TV

ITU

- Recommendation ITU-R BT.2020: Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange
- Recommendation ITU-R BT.2100: Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange

DVB

- ETSI TS 101 154: Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding In Broadcast and Broadband Applications

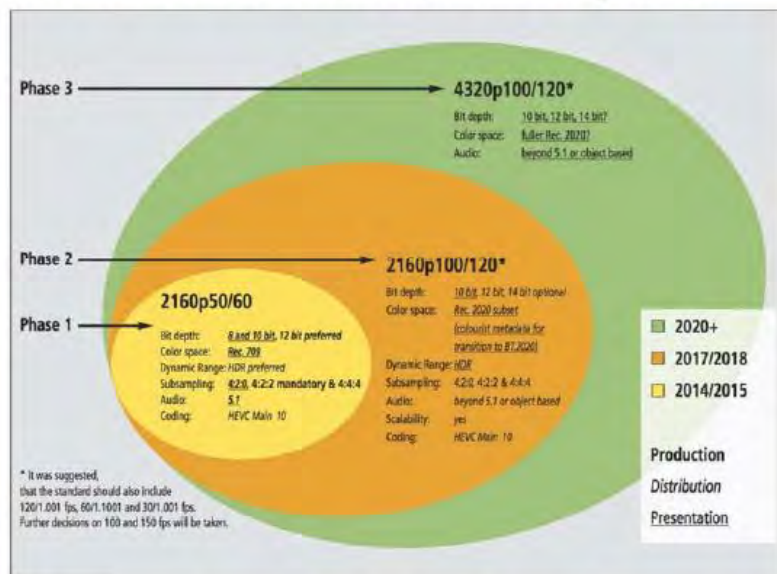


SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Phases of UHD Introduction by DVB

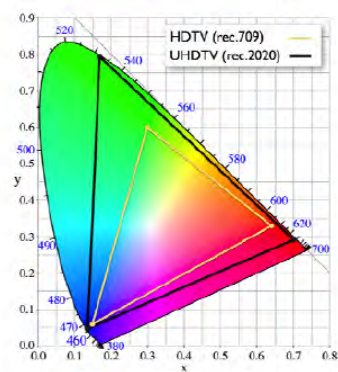


Phases of Ultra HD introduction as endorsed by the DVB Steering Board on 23 November 2013
(Source: DVB/EBU)



Recommendation ITU-R BT.2020

Ultra-high definition television (UHDTV) will provide viewers with an enhanced visual experience primarily by having a wide field of view both horizontally and vertically with appropriate screen sizes relevant to usage at home and in public places. UHDTV applications require system parameters that go beyond the levels of HDTV.



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

PARAMETERS	UHDTV (BT.2020)	HDTV (BT.709 PART 2)
PIXEL COUNT	7,680 X 4,320, 3,840 X 2,160	1,920 X 1,080
FRAME FREQUENCY	120, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001	60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001
SCANNING	PROGRESSIVE	PROGRESSIVE/INTERLACED
COLORIMETRY	X Y	X Y
	R 0.708 G 0.170 B 0.131 W 0.3127	0.292 0.797 0.046 0.3290
NONLINEAR TRANSFER FUNCTION	$E = \begin{cases} 4.5E, & 0 \leq E < \beta \\ \alpha E^{1/\beta}, & \beta \leq E \leq 1 \end{cases}$	SAME AS ON THE LEFT
COLOR EQUATIONS	$Y'_c = (0.2627R + 0.6780G + 0.0593B)$ $C'_b = \begin{cases} \frac{B'-Y'_c}{1.9404}, & -0.9702 \leq B'-Y'_c \leq 0 \\ \frac{B'-Y'_c}{1.5816}, & 0 < B'-Y'_c \leq 0.7908 \end{cases}$ $C'_r = \begin{cases} \frac{R'-Y'_c}{1.7187}, & -0.8592 \leq R'-Y'_c \leq 0 \\ \frac{R'-Y'_c}{0.9936}, & 0 < R'-Y'_c \leq 0.4968 \end{cases}$	$Y' = 0.2627R' + 0.6780G' + 0.0593B'$ $C'_b = \frac{B'-Y'}{1.8814}$ $C'_r = \frac{R'-Y'}{1.7746}$
CHROMA SUBSAMPLING	4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	4:2:2
BIT DEPTH	12, 10	10, 8



Recommendation ITU-R BT.2100

High Dynamic Range Television (HDR-TV) provides viewers with an enhanced visual experience by providing images that have been produced to look correct on brighter displays, that provide much brighter highlights, and that provide improved detail in dark areas.



Perceptual Quantization



Hybrid Log-Gamma

The PQ specification achieves a very wide range of brightness levels for a given bit depth using a non-linear transfer function that is finely tuned to match the human visual system. The HLG specification offers a degree of compatibility with legacy displays by more closely matching the previously established television transfer curves.

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



ETSI TS 101 154

The present document provides implementation guidelines and conformance points for the use of audio-visual coding utilizing MPEG-2 Systems in satellite, cable and terrestrial broadcasting systems and in IP-based networks, and for the use of video coding for adaptive bitrate delivery over IP-based networks. The present document covers Standard Definition Television (SDTV), High Definition Television (HDTV), Plano Stereoscopic 3DTV and Ultra High Definition Television (UHDTV). More specifically, the present document covers the first and second phases of the DVB UHDTV specification, as well as the DVB Next Generation Audio specification.

HEVC UHDTV
HEVC HDR UHDTV
HEVC HDR HFR UHDTV / HEVC HFR
UHDTV

MPEG-4 HE AAC
MPEG-H
AC-3 / E-AC-3
AC-4

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Video and Audio Codec



Video Codec

- HEVC



Audio Codec

- Stereo
- Surround
- NGA (MPEG-H and AC-4)

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

NGA

WHAT DOES NGA OFFER?

Next-generation audio adds several dimensions compared to legacy audio.

- 1 NGA provides an opportunity to bring immersive audio to the listener
- 2 NGA can provide personalized experiences. For the first time, listeners can interact with the audio and adapt it to their preferences, including for accessibility reasons.
- 3 NGA is more bit rate efficient than previous technologies, so these new features don't come at the cost of higher bit rates.

THE ROLE OF THE RENDERER

One of the key concepts that makes NGA possible is the renderer. In this context, a renderer is like a combination of upmixer and a panel that can attenuate or amplify individual sources and place them in three dimensional space. Sources could be individual objects, complex beds, or scene-based audio.

The renderer is built into the end-user devices and sources are delivered as separate components to the devices. This is the change that makes it possible to personalize the experience to the listener's situation.

The renderer is controlled by rendering metadata originating at the mixing desk, but it can interpret that metadata against device capabilities and user preferences, such as dialogue level preference. The ITU Audio Definition Model (ADM), specified in ITU-R BS.2076, is a set of agreed grammar and format rules for that metadata. Usage of ADM metadata is recommended to describe audio formats used in programme production for NGA systems

Source: EBU

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



Ultra HD Forum

UHD Service Tracker B2C

146

SERVICES

73%

LINEAR

45%

HDR

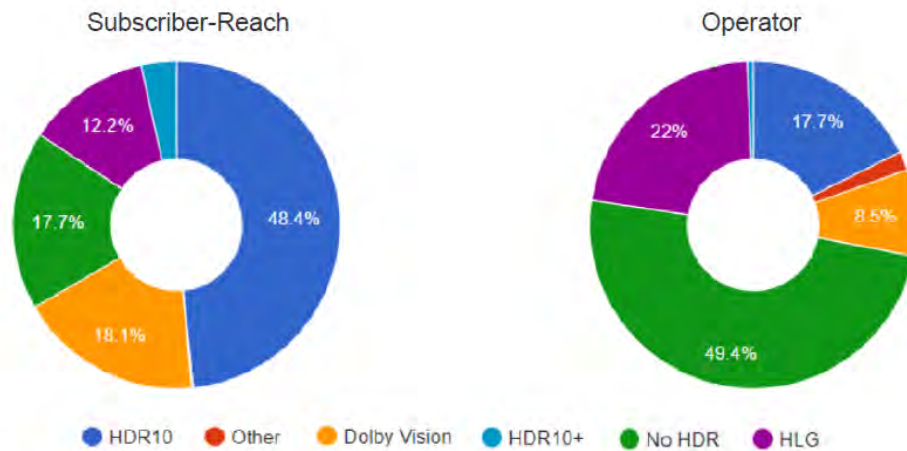
22%

NGA

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



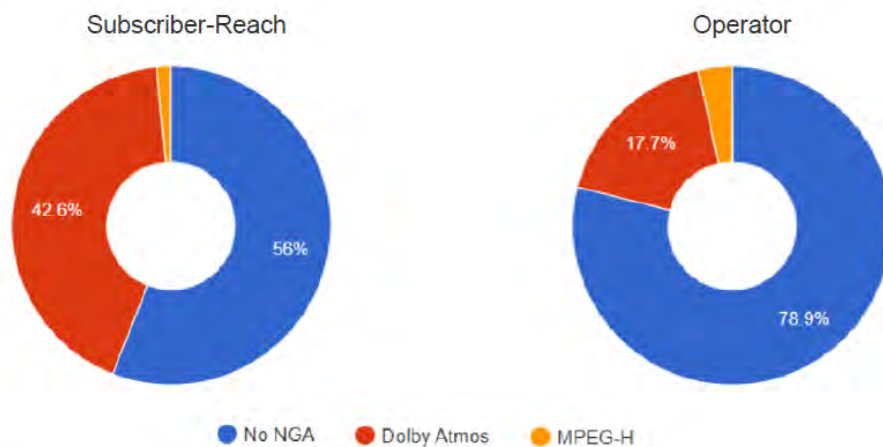
Ultra HD Forum: HDR Summary



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



Ultra HD Forum: NGA Summary



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

FEASIBILITY STUDY ON TRIAL PROJECT IN THAILAND

Case Study

Only trials using DVB-T2 with 8 MHz Bandwidth

Country	Transmitter Site	ERP	Transmission Mode	Multiplex Capacity	Signal Bit Rate	Video Encoding Standard	Picture Standard	Audio Encoding Standard
France	Eiffel Tower	1 kW	32k extended, GI 1/128, 256QAM, FEC 2/3, PP7	40.2 Mbps	2 programs at 22.5 Mbps and 17.5 Mbps	HEVC	3840x2160p 50 fps 8 bits/pixel	HE-AAC 192 kbps
Spain	ETSI Telecommunication	125 W	32k extended, GI 1/128, 64QAM, FEC 5/6, PP7	36.72 Mbps	35 Mbps (other bit rates also tested)	HEVC	3840x2160p 50 fps 8 bits/pixel	E-AC-3 5.1
Sweden	Stockholm Nacka	35 kW	32k extended, GI 1/128, 256QAM, FEC 3/5, PP4	31.7 Mbps	24 Mbps	HEVC	3840x2160p 29.97 fps 8 bits/pixel	
UK	Crystal Palace Winter Hill Black Hill	40 kW 22.5kW 39 kW	32k extended, GI 1/128, 256QAM, FEC 2/3, PP7	40.2 Mbps	Variable (some trials at 35 Mbps)	HEVC	3840x2160p 50 and 59.94 fps Mostly at 8 bits/pixel, some at 10 bits/pixel	

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Source: ITU

Scenarios for Trial

1

Frequency

New or Existing MUX (new PLP?) Bangkok or Other Major City
(How many stations? SFN?)

2

Area

3

Contents

1-2 Content Providers
or
Collaboration in
Industry

4

Target

New or Existing Receiver
(Backward compatibility?)

...to be decided before launching the trial project

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



Test Plan



Resolution/
Aspect Ratio



Frame Rate



Bit Depth



Video Codec



Audio Codec



HDR



DVB-T2
Parameters



Bit Rate

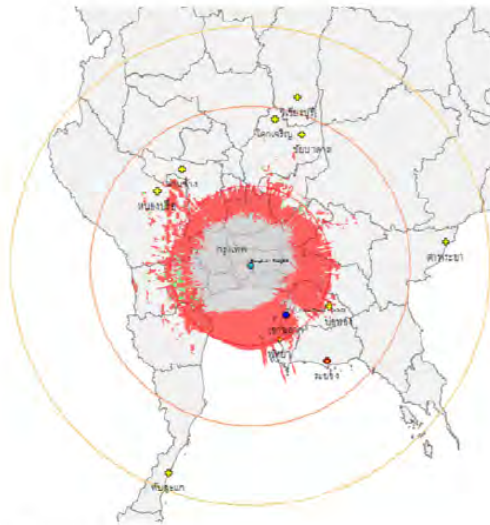


Reception Mode

* Take into account the production equipment and receiver specification

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Frequency Channel 29 in Bangkok ?



SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Using Channel 29 in Bangkok is likely to receive co-channel interference from other stations located in other provinces.

This picture shows the simulation result based on TX with 64QAM and 10 kW ERP.

Taking into account the Digital TV Frequency Plan (2019), the channel group Db shall be used in Bangkok, therefore **frequency channel 22** can be assigned to additional network in Bangkok.

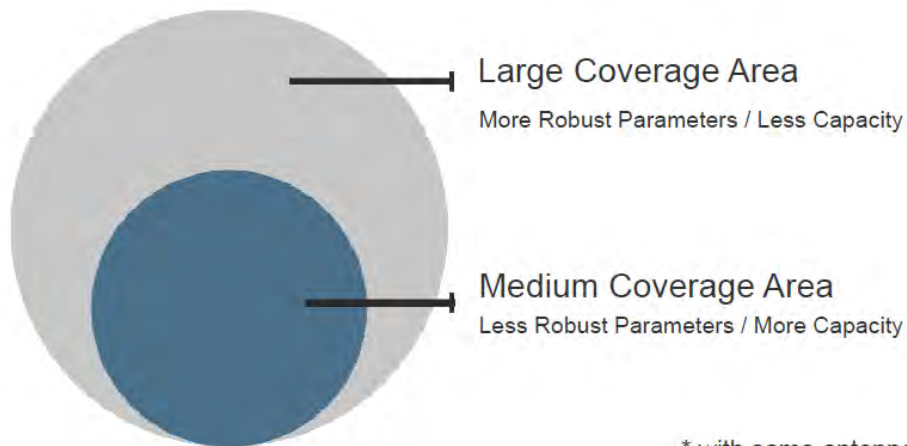
DVB-T2 Parameters

FFT Size (Small) • Smaller SFN size • Worse Impulsive Noise Tolerance • Better Mobility	1k 2k 4k 8k 16k (ext) 32k (ext)	FFT Size (Large) • Larger SFN size • Better Impulsive Noise Tolerance • Worse Mobility
Guard Interval (Short) • Less Overhead • Smaller SFN size	1/128 1/32 1/16 19/256 1/8 19/128 1/4	Guard Interval (Long) • More Overhead • Larger SFN size
Modulation (Lower Order) • More Robust Signal • Less Capacity	QPSK 16-QAM 64-QAM 256-QAM	Modulation (Higher Order) • Less Robust Signal • More Capacity
Code Rate (Low) • More Robust Signal • Less Capacity	1/2 3/5 2/3 3/4 4/5 5/6	Code Rate (High) • Less Robust Signal • More Capacity
Pilot Pattern (Low) • More Robust Signal • Less Capacity	PP1 PP2 PP3 PP4 PP5 PP6 PP7 PP8	Pilot Pattern (High) • Less Robust Signal • More Capacity

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

DVB-T2 Parameters

Robustness vs Capacity



* with same antenna height and ERP

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

Example

Assumption: Existing MUX has 1 SD + 1 HD which is equal to approx. 9 Mbps.

Existing MUX (Remaining Capacity)

16k extended
GI 19/128
64QAM
FEC 3/5
PP2

Remaining
Cap.
= 12 Mbps
C/N
= 15.17 dB

Existing MUX (New PLP)

16k extended
GI 19/128
64QAM
FEC 4/5
PP2

Remaining
Cap.
= 16 Mbps
Req. C/N
= 19.3 dB

16k extended
GI 19/128
256QAM
FEC 3/4
PP2

Remaining
Cap.
= 20 Mbps
Req. C/N
= 23.3 dB

New MUX

16k extended
GI 19/128
64QAM
FEC 3/5
PP2

Capacity
= 22 Mbps
Req. C/N
= 15.17 dB

32k extended
GI 19/128
256QAM
FEC 3/5
PP2

Capacity
= 28 Mbps
Req. C/N
= 19.6 dB

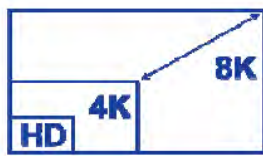
32k extended
GI 1/32
256QAM
FEC 2/3
PP4

Capacity
= 36 Mbps
Req. C/N
= 20.8 dB

If SFN is required for network rollout, GI has to be carefully considered.

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)

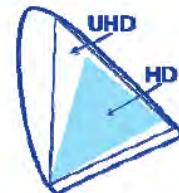
Summary of UHDTV



MORE PIXELS



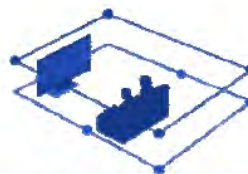
MORE LIGHT LEVELS



MORE COLORS



MORE FRAMES (PER SECOND)



IMMERSIVE AND PERSONALIZED AUDIO

Source: EBU

SUPATRASIT SUANSOOK (2020)



"THANK
YOU!"



SUPATRASIT SUANSOOK

Director of Television Engineering Division
Broadcasting Technology and Engineering Bureau
Office of NBTC
supatrasit.s@nbt.go.th, botakoong@gmail.com

ค.3 4K and TV Technology Trend

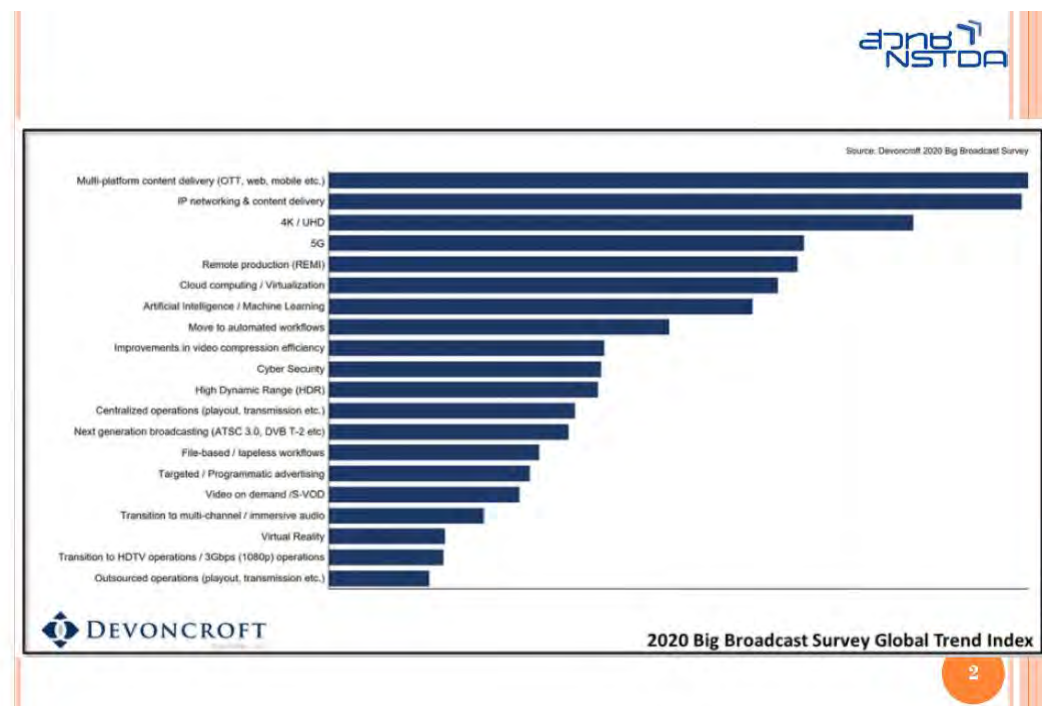


4K AND TV TECHNOLOGY TREND



1

ดร. กิตติ วงศ์ถาวรวาวัฒน์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

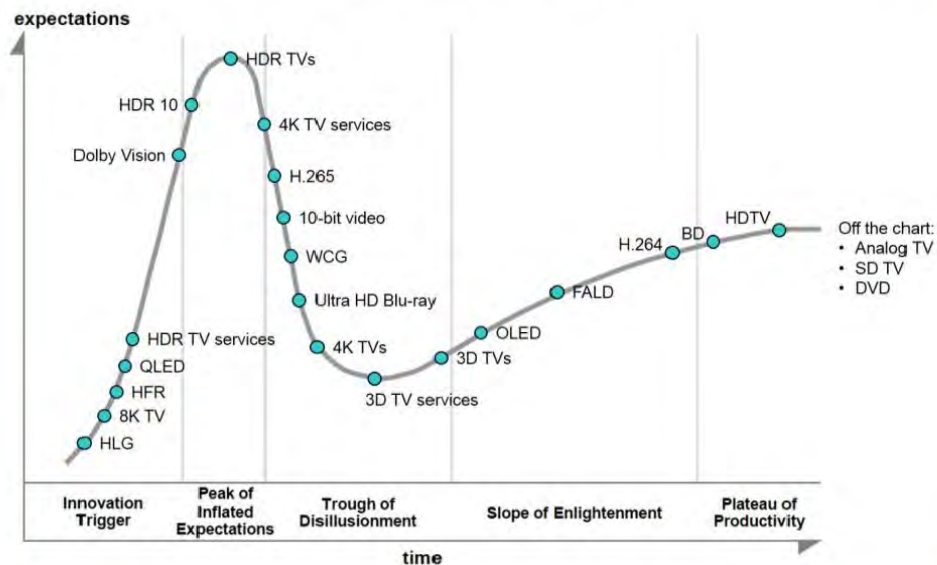


MULTI-PLATFORM DELIVERY



3

HYPE CYCLE TV TECHNOLOGY 2016



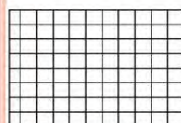
Source: <http://yoeri.geutskens.com/blog/tv-technology-hype-cycle.html>

NEXT GEN. TV DISPLAY

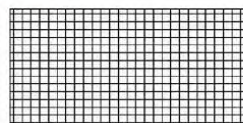
- Better Pixel (SD → HD → UHD, 4K, 8K)
- Better Contrast (High Dynamic Range, HDR)
- Better Color (Wide Color Gamut, WCG, Deep Color Resolution)
- Better Motion Picture (High Frame Rate, HFR)

5

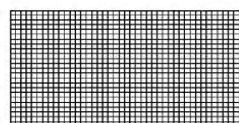
BETTER PIXEL



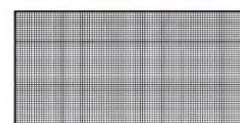
480i
640x480
307,200 pixels



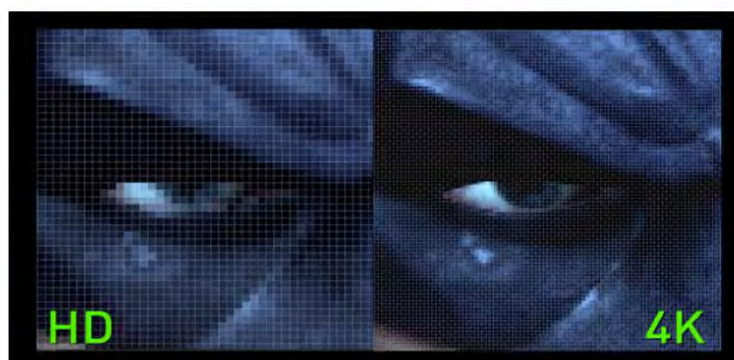
720p
1280x720
921,600 pixels



1080p
1920x1080
2,073,600 pixels



2160p (4K)
3840x2160
8,296,400 pixels



6

*Source: Realm

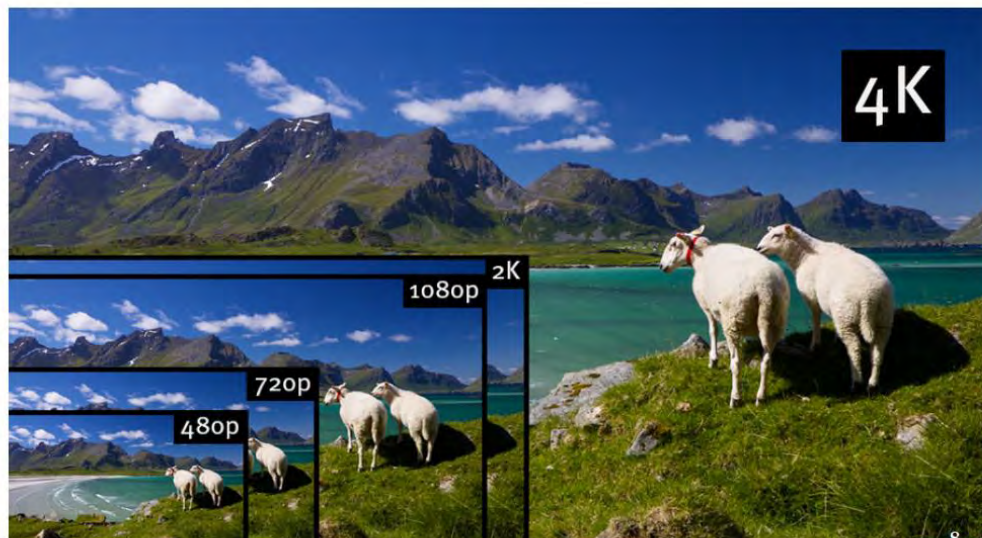
ULTRA HDTV (4K, 8K)



- 4K UHDTV (2160p) has a resolution of 3840×2160 (8.3 megapixels), 4 times the pixels of 1920×1080 (2.1 megapixels).
- 8K UHDTV (4320p) has a resolution of 7680×4320 (33.2 megapixels), 16 times the pixels of current 1080p HDTV,

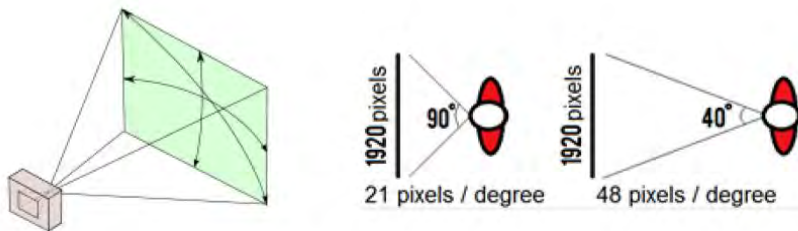


BETTER PIXEL



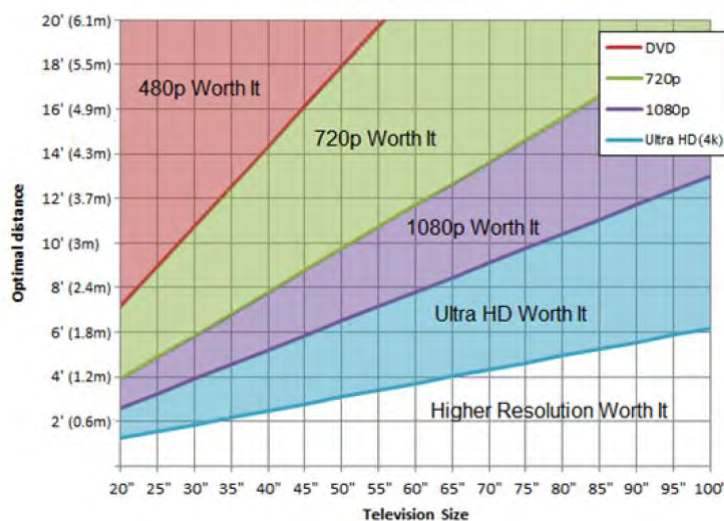
ระยะห่างการรับชม VS ขนาดของจอภาพ

- ความสามารถในการแยกแยะจุดสองจุดที่อยู่ใกล้กัน สำหรับคนสายตปกติ (20/20) อยู่ที่ 1/60 ของ 1 องศา หรือ ระยะห่าง 1 Pixel ต่อ 1/60 องศา หรือ 60 pixel ต่อ 1 องศา
- ถ้าดูจอภาพความละเอียด 1080p (1920 x 1080) จะมีมุม $1920/60 = 32$ องศา



ระยะห่างการรับชม VS ขนาดของจอภาพ

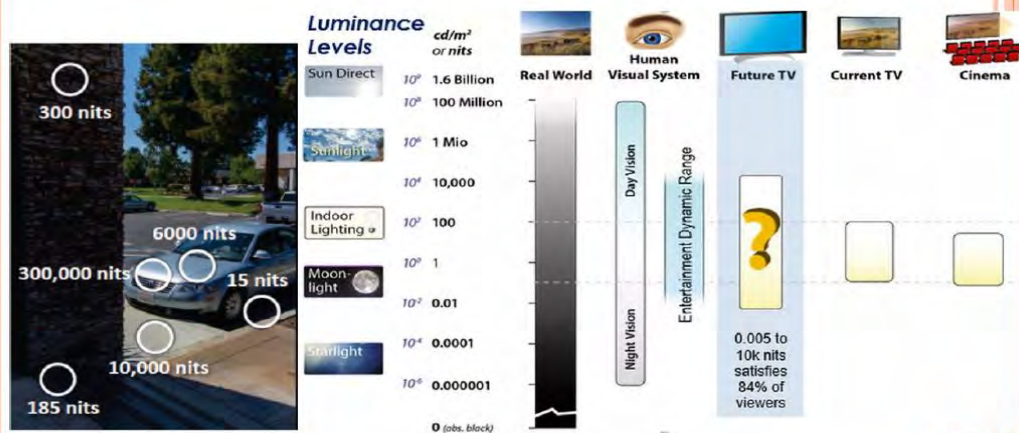
Optimal viewing distance by the size of the television and the resolution



Screen Size	Optimal Distance 1080p
25"	3.3' (1 m)
30"	4' (1.22 m)
35"	4.6' (1.40 m)
40"	5.3' (1.62 m)
45"	6' (1.83 m)
50"	6.6' (2.01 m)
55"	7.3' (2.23 m)
60"	8' (2.44 m)
65"	8.6' (2.62 m)
70"	9.3' (2.83 m)



COLOR AND CONTRAST

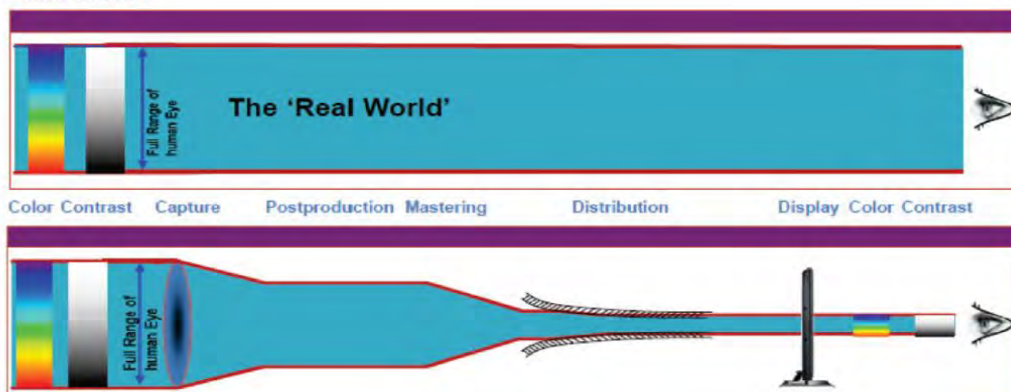


11

*Source: Dolby

COLOR AND CONTRAST

Color Contrast

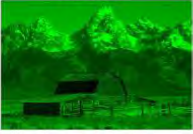
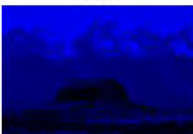


12

*Source: Dolby

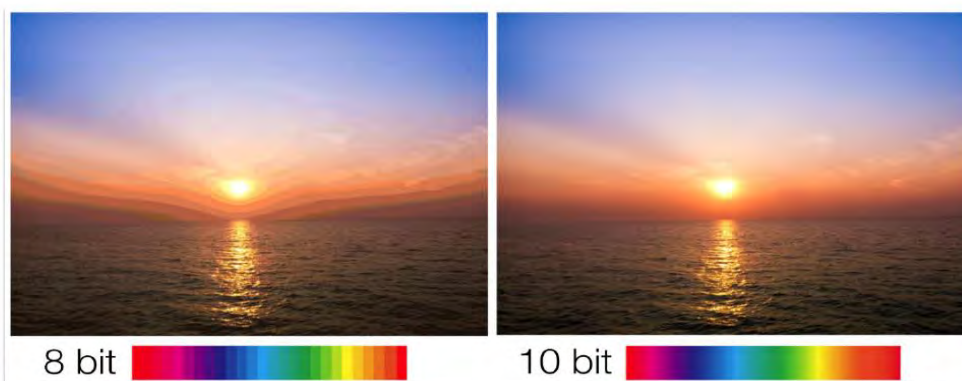
IMPROVE CONTRAST AND COLOR
→ INCREASE BIT PER PIXEL (CONTENT)

Bit per pixel per color

	Red	Luminance (Y)	8 bit → 10 or 12 bit
			
	Green	Chrominance (Pb)	8 bit → 10 or 12 bit
			
	Blue	Chrominance (Pr)	8 bit → 10 or 12 bit
			

13

IMPROVE CONTRAST AND COLOR
→ INCREASE BIT PER PIXEL (CONTENT)



14

Source: Vittorio Giovara

BETTER CONTRAST (HDR) - CONTENT

Underexposure to capture
"Highlight"



Overexposure to capture
"Shadow"



HDR



15

Source: Omnilargess

BETTER CONTRAST (HDR)

VIDEO



Standard Dynamic Range

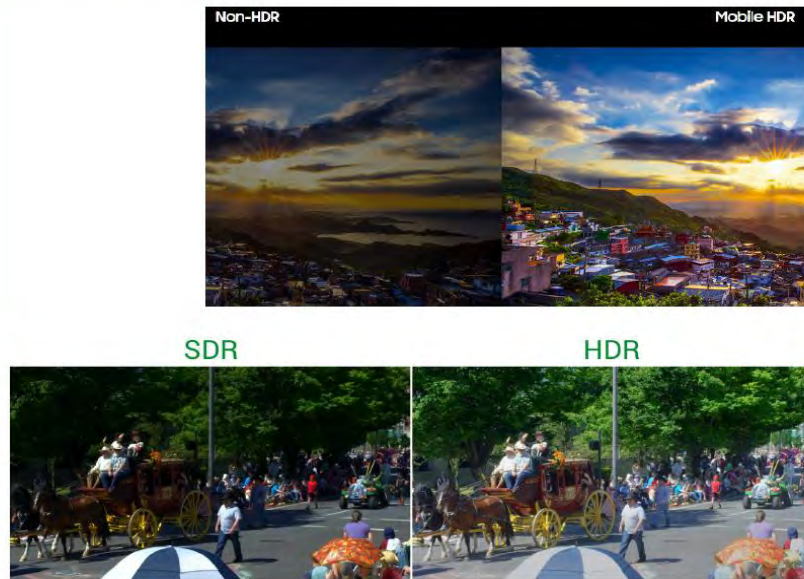


High Dynamic Range

16

Source: Tab-Tv

BETTER CONTRAST (HDR)



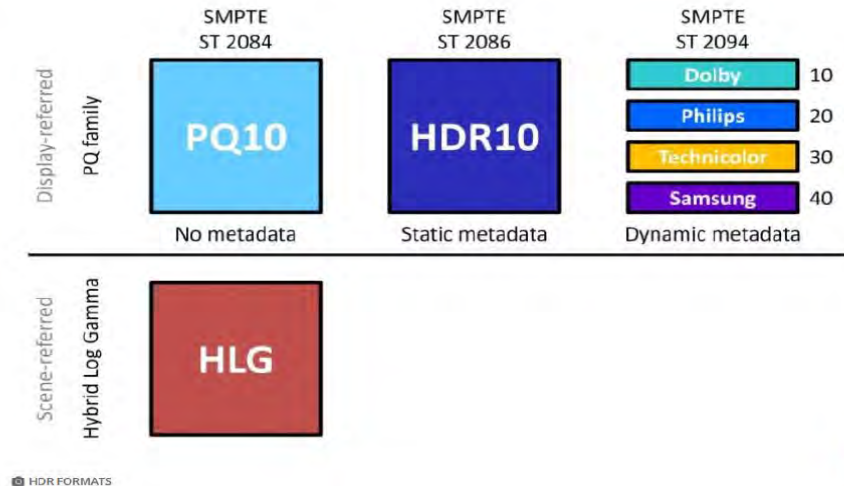
17

HDR STANDARD

- HDR10 (Generic HDR)
 - Open Standard
 - Static metadata
- HDR10+ by Samsung
 - Like HDR10 but with frame by frame metadata
- Dolby Vision by Dolby
 - Backward compatibility with HDR10
 - Like HDR10 but with frame by frame metadata
- Hybrid Log Gamma (HLG) by BBC and NHK
 - Aimed for Broadcasting
 - No metadata
 - Included in ATSC 3.0, DVB UHD-1 Phase 2

18

HDR STANDARD



19

Source: Yoeri Geutskens

HDR STANDARD

SMPTE HDR Standards

- ST 2084:2014** - High Dynamic Range EOTF of Mastering Reference Displays
 - defines 'display referred' EOTF curve with absolute luminance values based on human visual model
 - called Perceptual Quantizer (PQ)
- ST 2086:2014** - Mastering Display Color Volume Metadata supporting High Luminance and Wide Color Gamut images
 - specifies mastering display primaries, white point and min/max luminance
- ST 2094-2:2017** - Content-dependent Metadata for Color Volume Transformation of High-Luminance and Wide Color Gamut images
 - specifies dynamic metadata used in the color volume transformation of source content mastered with HDR and/or WCG imagery, when such content is rendered for presentation on a display having a smaller color volume
- ST 2094-10:** Dolby (Parametric Tone Mapping)
- ST 2094-20:** Philips (Parameter-based Color Volume Reconstruction)
- ST 2094-30:** Technicolor (Reference-based Color Volume Remapping)
- ST 2094-40:** Samsung (Scene-based Color Volume Mapping)

20

Source: Yoeri Geutskens

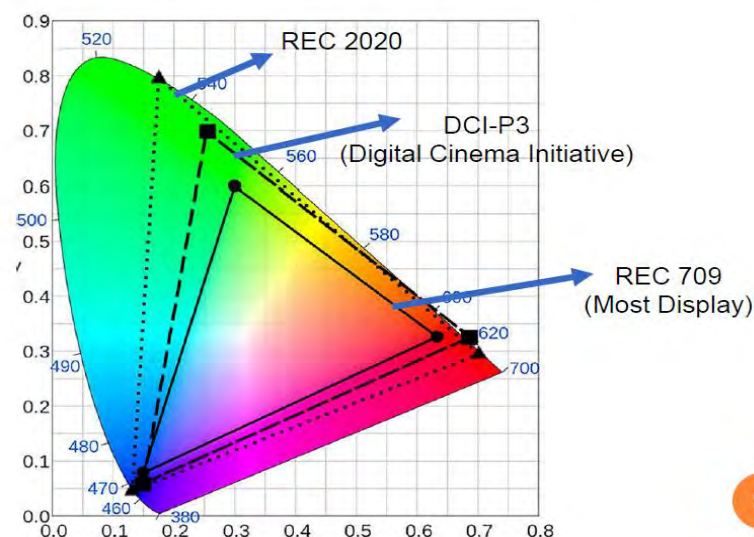
HDR (ACCESS THE CONTENT)

- Ultra HD Blu-ray
- Streaming Services
 - Amazon Prime
 - Netflix
 - VUDU
 - Youtube
- Smartphones (Some)
- 4K UHD TV
- Chromecast, Roku

- Apple iPhone X
- Apple iPhone 8
- Apple iPhone 8 Plus
- Apple iPad Pro (2nd-gen)
- LG G6
- LG V30
- Razer Phone
- Samsung Galaxy Note 8
- Samsung Galaxy S9
- Samsung Galaxy S9+
- Samsung Galaxy Tab S3
- Samsung Galaxy Book
- Sony Xperia XZ Premium
- Sony Xperia XZ1
- Sony Xperia XZ2
- Sony Xperia XZ2 Compact

21

BETTER COLOR - WIDE COLOR GAMUT (WCG)



22

Source: CNET

BETTER COLOR - WIDE COLOR GAMUT (WCG) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



23

Source: Viewsonic

BETTER MOTION PICTURE (HIGH FRAME RATE, HFR) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Motion Blur



24

Source: Muvi

UHD Alliance 'Ultra HD Premium' definition

	Display	Content	Distribution
Image resolution	3840×2160	3840×2160	3840×2160
Color Bit Depth	10-bit signal	Minimum 10-bit signal depth	Minimum 10-bit signal depth
Color Palette	Signal input: BT.2020 color representation Display reproduction: More than 90% of P3 color space	BT.2020 color representation	BT.2020 color representation
High Dynamic Range	SMPTE ST 2084 EOTF A combination of peak brightness and black level either: More than 1000 nits peak brightness and less than 0.05 nits black level or More than 540 nits peak brightness and less than 0.0005 nits black level	SMPTE ST 2084 EOTF Mastering displays recommended to exceed 1000 nits in brightness, less than 0.03 black level, minimum of DCI-P3 color space	SMPTE ST 2084 EOTF

Ultra HD Forum – Phase A (*** FOCUSED ON END-TO-END CONTENT DELIVERY)

Parameter	Values
Spatial Resolution	1080p* or 2160p
Color Gamut	BT.709, BT.2020
Bit Depth	10-bit
Dynamic Range	SDR, PQ, HLG
Frame Rate**	24, 25, 30, 50, 60
Video Codec	HEVC, Main 10, Level 5.1
Audio Channels	Stereo or 5.1 or channel-based immersive audio
Audio Codec	AC-3, EAC-3, HE-ACC, AAC-LC
Broadcast security	AES or DVB-CSA3, using a minimum of 128 bits key size
IPTV / OTT security	AES as defined by DVB
Transmission	Broadcast (TS), Multicast (IP), Unicast Live & On demand (DASH ISO BMFF)
Captions/Subtitles Coding (in/out formats)	CTA-608/708, ETSI 300 743, ETSI 300 472, SCTE-27, IMSC1

Technology roadmap for Ultra HD content distribution

CE connectivity	HDMI 1.4a		HDMI 2.0		2.0a	2.0b	HDMI 2.1						
MPEG Profile/Level	Main/4.1		Main/5.0	Main 10/5.1			Main 10/6.1						
Resolution	1920×1080p		3840×2160p				7680×4320p						
Frame rate	25/30fps			50/60fps			100/120fps						
Color depth	8-bit			10-bit			12-bit						
Color gamut	Rec.709			DCI-P3 – Rec.2020 WCG									
Dynamic range	SDR					HDR static metadata	HDR dynamic metadata						
Audio	Multi-channel Audio (5.1-7.1)					NGA: ch-based		Next-Gen Audio: object-based					
				2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DVB Project	Pre-UHD		UHD-1 Phase 1			UHD-1 Phase 2			UHD-2				
Ultra HD Forum						Phase A		Phase B					

Source: Yoeri Geutskens, @UHD4k

NEXT GEN. TV DISPLAY

- Better Pixel (SD → HD → UHD, 4K, 8K)
- Better Contrast (High Dynamic Range, HDR)
- Better Color (Wide Color Gamut, WCG, Deep Color Resolution)
- Better Motion Picture (High Frame Rate, HFR)



Contents with more data rate



Need more bandwidth (higher speed)
from delivery network

28

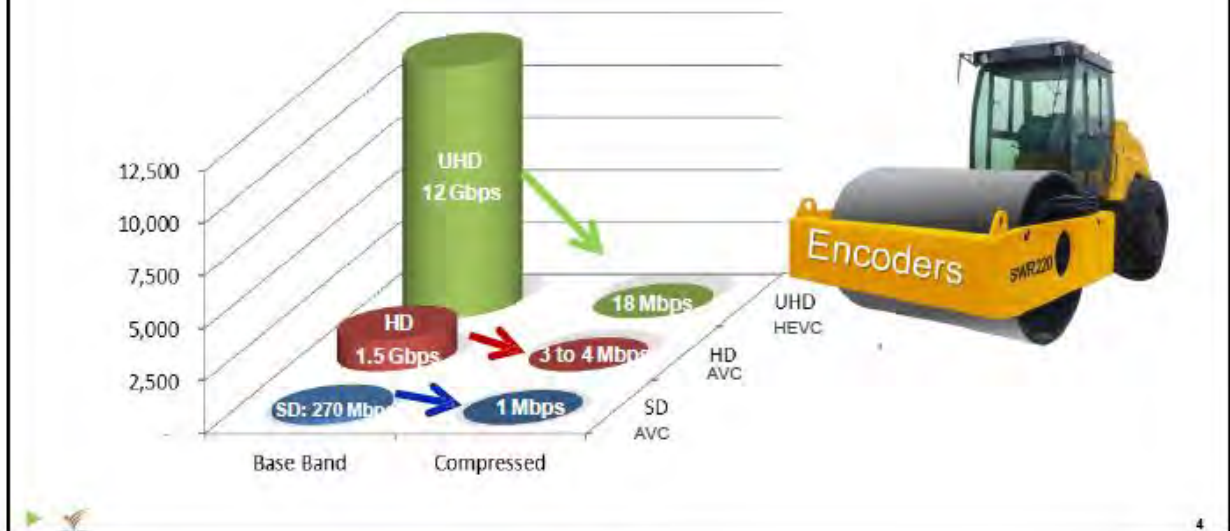
ค.4 กรณีศึกษาการทดลองการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ ไทยพีบีเอส



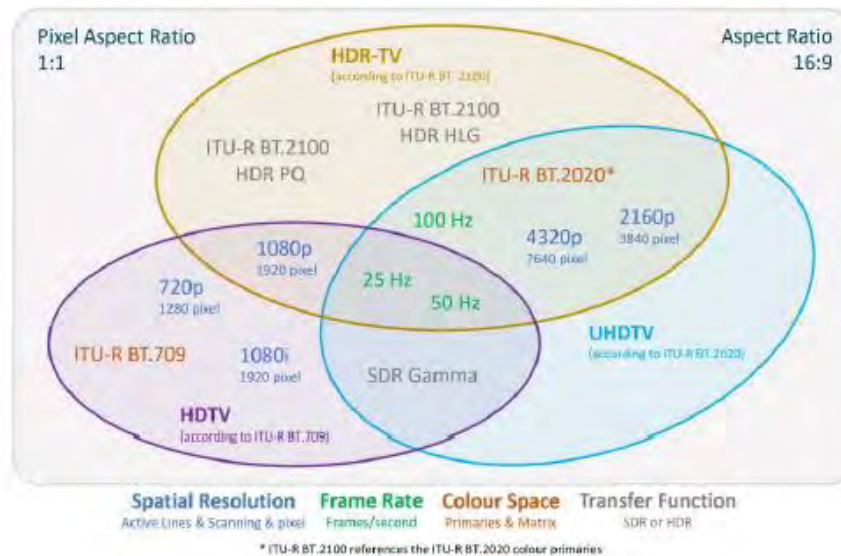
แนวโน้มของเทคโนโลยีสำหรับการใช้งาน DVB-T2 / DTH



ระบบ Compression สำหรับ Broadcast

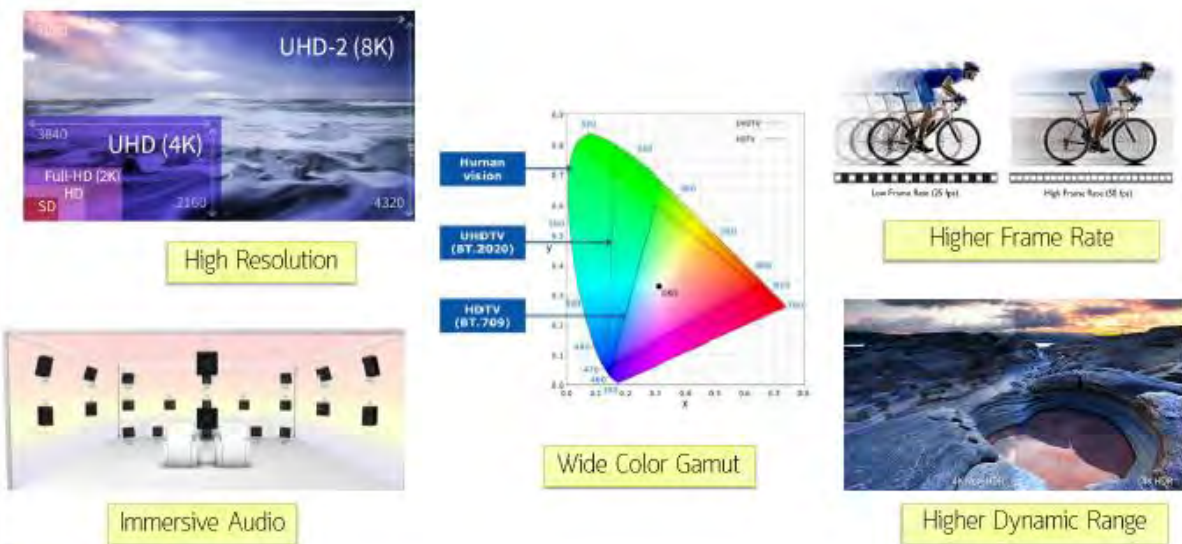


Overview of TV Systems



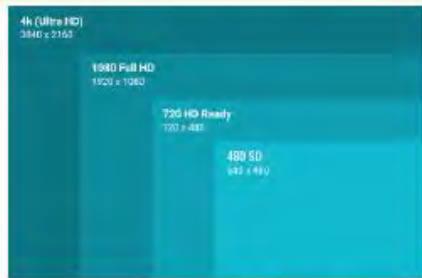
5

คุณสมบัติของ UHD (Ultra HD)



6

HR : High Resolution



Resolution	Measurements (in pixels)	Pixel count
4K (UHD)	3,840 x 2,160	8,294,400
1980p (Full HD)	1,920 x 1,080	2,073,600
720p (HD Ready)	1,280 x 720	921,600
480p (SD)	960 x 480	307,000



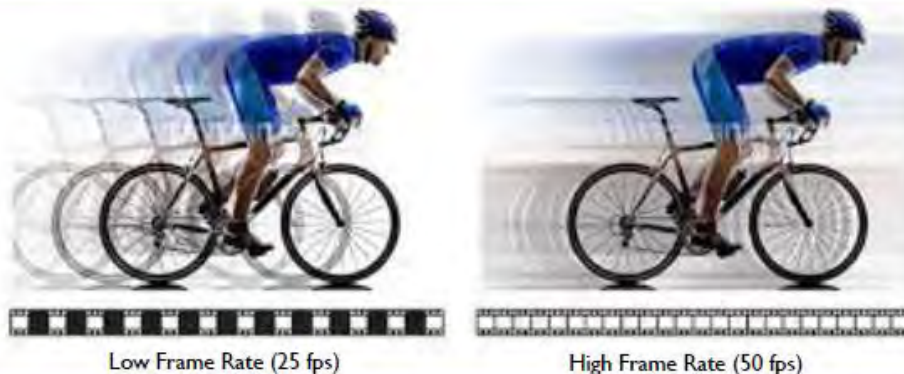
- SD Resolution 640X480 = 307,000 Pixel
- HD (2K) Resolution 1,920x1080 = 2,073,600 Pixel
- UHD-1 (4K) Resolution 3,840x2,160 = 8,294,400 Pixel 4 เท่าของ HD
- UHD-2 (8K) Resolution 7,680x4,320 = 33,177,600 Pixel 16 เท่าของ HD

HDR : Higher Dynamic Range



Higher Dynamic Range : HDR ภาพจะมีความเข้มและความสว่างแตกต่างกันมากขึ้น จากการใช้ Dynamic Range แบบ 4K Non-HDR มีผลให้ภาพที่สว่างมากๆ เช่นท้องฟ้าสว่างจนอ้อมตัวไม่สามารถแสดงสีที่แท้จริงของท้องฟ้าขณะนั้นๆได้ เพราะความสว่างแทนที่ เมื่อขยาย Dynamic Range ให้กว้างขึ้นก็จะเห็นรายละเอียดของสับนท้องฟ้าที่สว่างไสวพร้อมกับจะเห็นรายละเอียดของภาพในที่มืดด้วยโทรทัศน์ 4K HDR

HFR : Higher Frame Rate

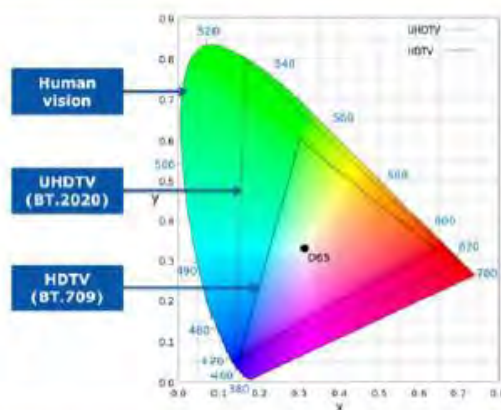


Higher Frame Rate การเพิ่มจำนวนภาพต่อวินาทีมีผลให้ภาพเคลื่อนไหวจะชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโทรทัศน์ HD ที่แสดงภาพ 25 ภาพต่อวินาที ที่เหมาะกับการเคลื่อนไหวในรายการละคร รายการกีฬาที่มีภาพที่เคลื่อนไหวเร็วกว่า หากเพิ่มจำนวนภาพเป็น 50 ภาพต่อวินาทีจะเหมาะกับการกีฬาอย่างมาก จึงได้กำหนดให้มีจำนวนภาพเป็น 50 ภาพต่อวินาทีสำหรับ UHD-1 (4K) และเพิ่มเป็น 100 หรือ 150 ภาพต่อวินาทีสำหรับ UHD-2 (8K)



8

WCG : Wide Color Gamut

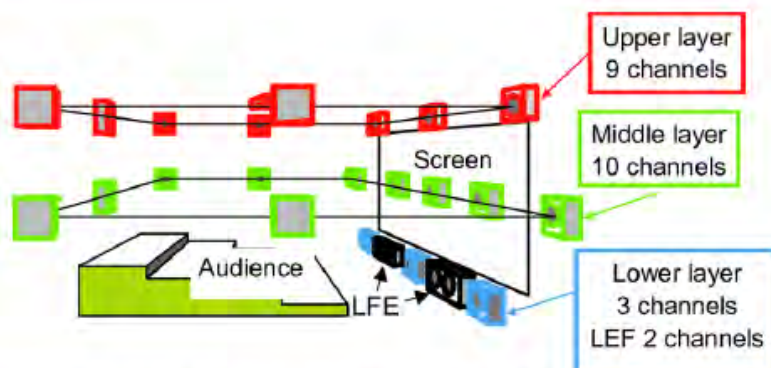


Wide Color Gamut สำหรับโทรทัศน์ UHD ถูกกำหนดโดย ITU-R BT-2020 เพื่อเป็นบทพิสูจน์อนาคตที่ดีกว่าของโทรทัศน์ที่มีหลายทศวรรษแล้ว ภาพแสงสีที่มองเห็นบนจอโทรทัศน์เป็นการผสมกันระหว่างแม่สี 3 สี คือสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เมื่อแม่สียืบบ้างออกไปก็จะได้แสงสีที่ผสมกันจำนวนมากขึ้น ภาพจะมีสีสันเป็นธรรมชาติมากขึ้น UHD จะมีความสามารถแสดงสีได้ใกล้เคียงกับธรรมชาติการมองเห็นด้วยตามนุษย์



10

Immersive Audio



Immersive Audio ระบบเสียงแบบสามมิติ จำนวน 22.2 ช่องเสียง (ITU-R BS.2051-2) เสียงจะมาจากทุกทิศทางทั้งบน ล่าง ซ้าย ขวา หน้าหลัง โดยมี 9 ทิศทางด้านบน 10 ทิศทางในระนาบกลาง 3 ทิศทางระดับล่างพร้อมลำโพงเสียงความถี่ต่ำมากอีก 2 ทิศทาง เสียงที่มาจากข้างบนจะสร้างความรู้สึกของผู้ชมให้เหมือนกับอยู่ท่ามกลางเหตุการณ์จริง สร้างขอบเขตของเสียงให้กว้างขึ้น เสียงที่มาจากระดับกลางจะเป็นเสียงพื้นฐาน สร้างขอบเขตเสียงครอบคลุมพื้นที่ที่รับฟัง เสียงความถี่ต่ำมาก 2 ทิศทางจะยกระดับขอบเขตของเสียงให้สัมพันธ์กับภาพบนจอ

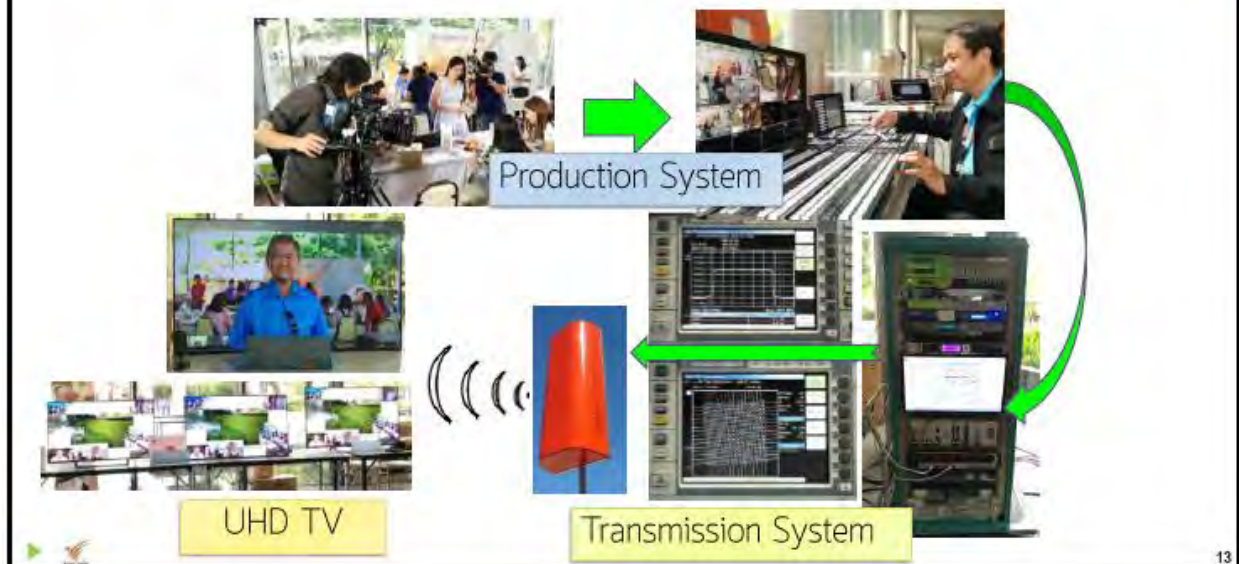
11

ตารางเปรียบเทียบ Parameter ที่ออกอากาศ UHD & HD

Encoder Parameter	4K UHD	HDTV
Video Coding	H.265	H.264
Video Bitrate	11,140 Gbps	1.485 Gbps
Video Bitrate (Compression)	22 Mbps	4 Mbps
Video Resolution	3,840 x 2,160	1,920 x 1,080
Scan Type	Progressive	Interlaced
Max Frame Rate	50 fps	25 fps
Bit Depth	10 Bit	8 Bit
Color	BT-2020	BT-709
Audio Format	HE AAC v2	HE AAC v2
Audio Bitrate	32 kbps	64 kbps

12

ไทยพีบีเอส ได้ทำการทดลองออกอากาศระบบ UHD ผ่านระบบ DVB-T2 ปี 2561



13

ไทยพีบีเอส ได้ทำการทดลองออกอากาศระบบ UHD ผ่านระบบ DVB-T2 ปี 2561

กรณีศึกษาการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K ของ ไทยพีบีเอส

2 รูปแบบ

- รูปแบบที่ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP



- รูปแบบที่ 2 การส่งสัญญาณรูปแบบ Single PLP ที่ออกอากาศในปัจจุบัน



14

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP

รูปแบบการจัดโครงข่ายใหม่ของ ส.ส.ท. รองรับ UHD

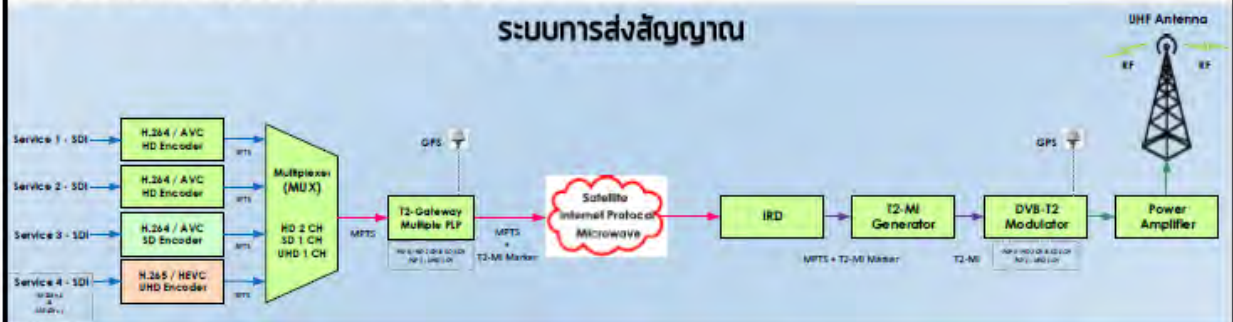


15

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP (ต่อ)

สถาปัตยกรรม UHD ผ่านระบบ DVB-T2

ระบบการส่งสัญญาณ



ระบบการรับสัญญาณ



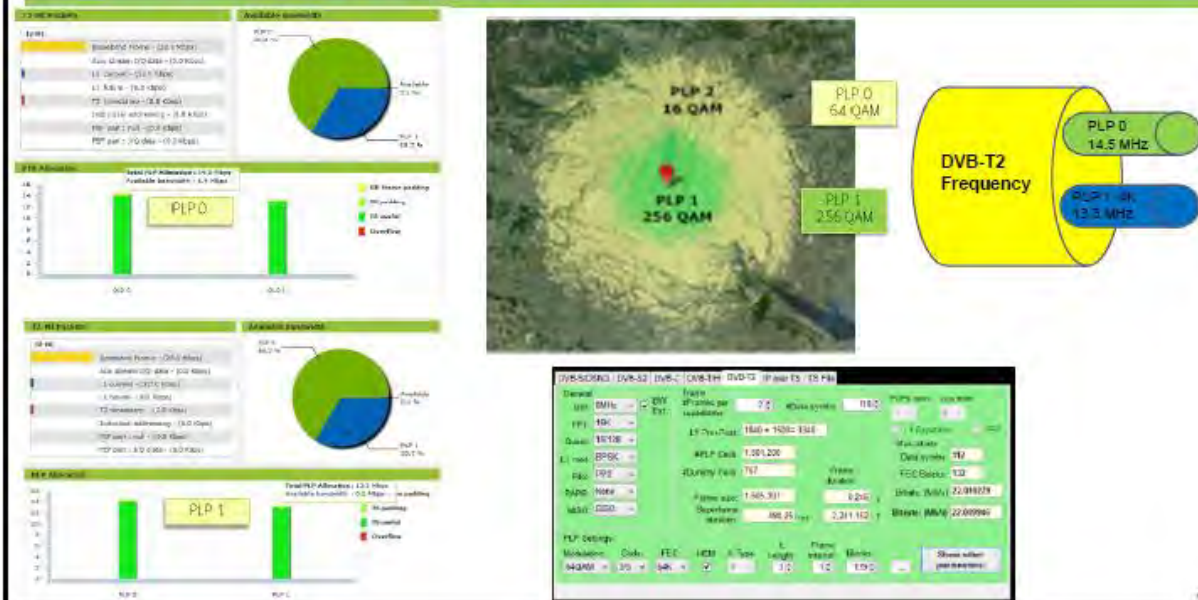
16

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP (ต่อ)

Service Provider Name	TPBS			
Max ID	4			
T-S ID	40			
Network ID	0x3104(Hex)			
Channel Name	3 HD	CH8	THAI PBS HD	TPBS 4K(2PLP)
Service ID	33	27	3	4
LCN	33	27	3	4
Program Number	33	27	3	4
Input Port to Encoder	Encoder #1 Port 1	Encoder #1 Port 2	Encoder #2 Port 1	Encoder #2 Port 2
Video Pool	12.1			
Maximum Transport Bitrate	15.8 Mbps			
Minimum Bitrate	2 Mbps	0.75 Mbps	2 Mbps	12.5 Mbps
Maximum Bitrate	7 Mbps	2.5 Mbps	7 Mbps	12.5 Mbps
Priority	Medium	Medium	Medium	Medium
Video Codec	H.264(4:2:0)	H.264(4:2:0)	H.264(4:2:0)	H.265(4:2:0)
Resolution	1920 x 1080	720 x 576	1920 x 1080	3840 x 2160
Frame rate	25	25	25	50
Aspect Ratio	16:9	4:3	16:9	16:9
Audio 1	THA	THA	THA	THA
Bitrate	64 Kbps	64 Kbps	64 Kbps	64 Kbps
Sampling Frequencies	48 KHz	48 KHz	48 KHz	48 KHz
Mode	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
Audio Group	1 Pair 1	1 Pair 1	1 Pair 1	1 Pair 1
Audio 2	QAM	QAM	QAM	QAM
Bitrate	64 Kbps	64 Kbps	64 Kbps	64 Kbps
Sampling Frequencies	48 KHz	48 KHz	48 KHz	48 KHz
Mode	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
Audio Group	1 Pair 2	1 Pair 2	1 Pair 2	1 Pair 2
Audio 3	NAB	NAB	NAB	NAB
Bitrate	32 Kbps	32 Kbps	32 Kbps	32 Kbps
Sampling Frequencies	48 KHz	48 KHz	48 KHz	48 KHz
Mode	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
Audio Group	2 Pair 1	2 Pair 1	2 Pair 1	2 Pair 1
DMT PID	129	127	103	109
Video PID	1331	1271	1031	1041
PCR PID	1331	1271	1031	1041
Audio1 PID	1332	1272	1032	1042
Audio2 PID	1333	1273	1033	1043
Audio3 PID	1334	1274	1034	1044
Subtit PID	1335	1275	1035	1045

17

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP (ต่อ)



18

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP (ต่อ)

Frame Structure

Number of T2 Frames per Super Frame: 2
 Number of Data Symbols per T2 Frame: 128
 Number of Sub-Slots per Frame: 128

Data Modulation

QAM Modulation: 64QAM
 FFT Mode: 2K
 Guard Interval: 1/32
 Scattered pilot pattern: 1/16

Physical Layer Parameters

PLP 0
 PLP Type: 1
 Group ID: 0

PLP Parameters

PLP 0
 PLP Type: 1
 Group ID: 0
 Max FEC Blocks per Interleaving Frame: 128
 T2 Blocks per Interleaving Frame: 128
 Interleaving pattern: 1/16

PLP Parameter ของ T2 Gateway ซึ่งเป็นทรานมิเตอร์ของ PLP 0

รูปแบบ 1 การส่งสัญญาณรูปแบบ Multi PLP (ต่อ)

Frame Structure

Number of T2 Frames per Super Frame: 2
 Number of Data Symbols per T2 Frame: 128
 Number of Sub-Slots per Frame: 128

Data Modulation

QAM Modulation: 64QAM
 FFT Mode: 2K
 Guard Interval: 1/32
 Scattered pilot pattern: 1/16

Physical Layer Parameters

PLP 1
 PLP Type: 1
 Group ID: 0

PLP Parameters

PLP 1
 PLP Type: 1
 Group ID: 0
 Max FEC Blocks per Interleaving Frame: 128
 T2 Blocks per Interleaving Frame: 128
 Interleaving pattern: 1/16

PLP Parameter ของ T2 Gateway ซึ่งเป็นทรานมิเตอร์ของ PLP 1

รูปแบบที่ 2 Fixed rooftop reception แบบ Single PLP



21

รูปแบบที่ 2 Fixed rooftop reception แบบ Single PLP (ต่อ)

สถาปัตยกรรม UHD ฟาระบบ DVB-T2

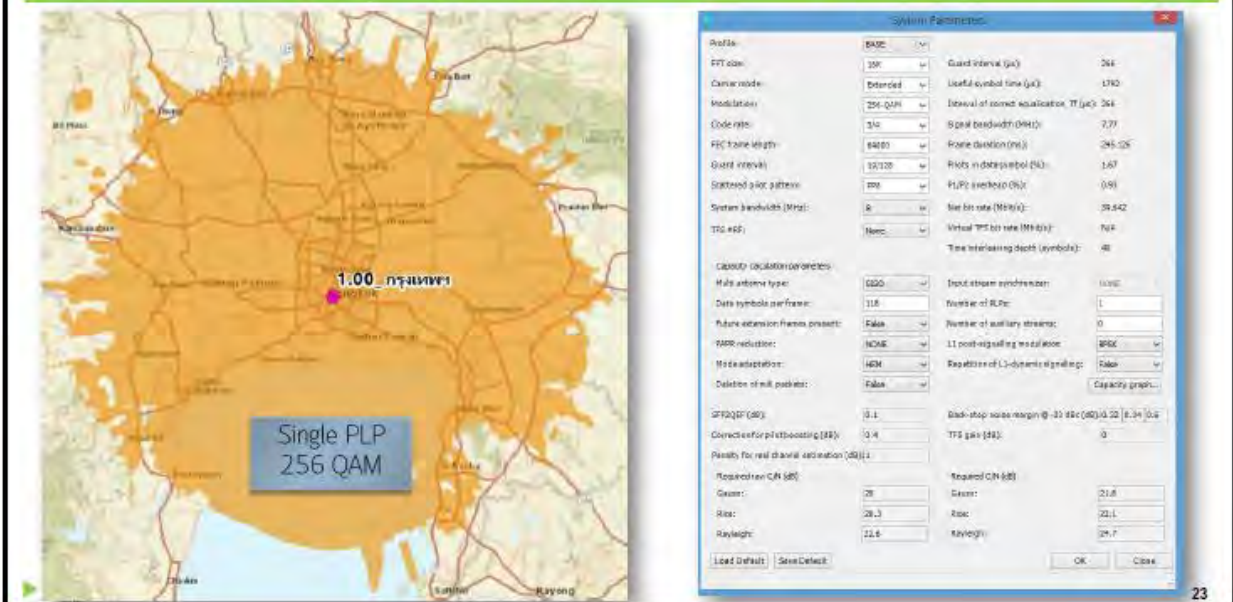


ระบบการรับสัญญาณ



22

รูปแบบที่ 2 Fixed rooftop reception แบบ Single PLP (ต่อ)



23

รูปแบบที่ 2 Fixed rooftop reception แบบ Single PLP (ต่อ)

The figure shows a screenshot of the 'Remark Software DVB Calculator' interface. The 'DVB-T2' tab is selected. The 'General' section contains various settings for the transmission. The 'Frame' section shows the number of frames per superframe and the number of data symbols. The 'PLPs num' and 'Aux num' are set to 1 and 0 respectively. The 'Max bitrate' section shows the data symbols, FEC blocks, and bitrate in Mb/s. The 'PLP Settings' section shows the modulation, code, FEC, HEM, IL Type, IL Length, Frame Interval, and Blocks.

Section	Parameter	Value
General	BW	8MHz
	FFT	16K
	Guard	19/128
	L1 mod	BPSK
	Pilot	PP8
	PAPR	None
	MISO	SISO
Frame	#Frames per superframe	2
	#Data symbols	118
	L1 Pre+Post	1840 + 1500 = 3340
	#PLP Cells	1,620,000
PLPs num	PLPs num	1
	Aux num	0
	L1 Repetition	☐
	FEC	☐
Max bitrate	Data symbols	115
	FEC Blocks	195
	Bitrate (Mb/s)	39.649618
	Bitrate (Mb/s)	39.642011
PLP Settings	Modulation	256QAM
	Code	3/4
	FEC	64K
	HEM	☒
	IL Type	0
	IL Length	3
	Frame Interval	1
	Blocks	200

Remark Software DVB Calculator

24

รูปแบบที่ 2 Fixed rooftop reception แบบ Single PLP (ต่อ)

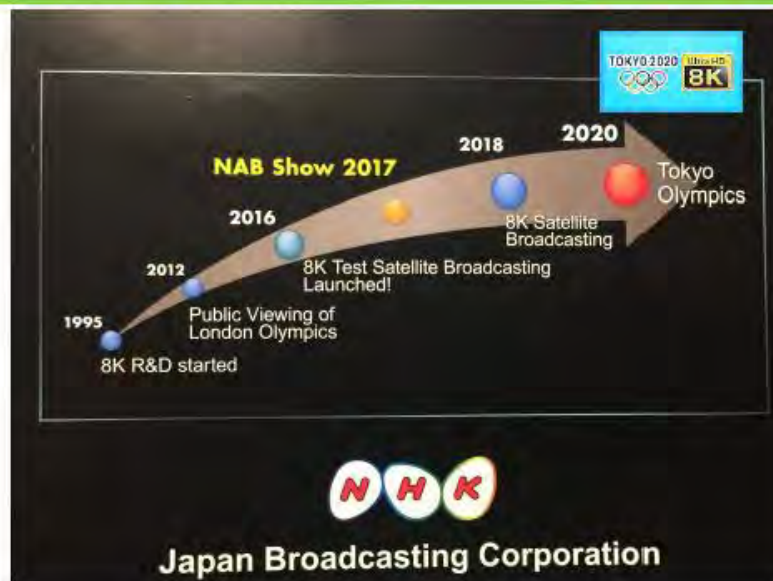
The figure displays four screenshots of software interfaces for configuring T2 Frame and PLP parameters:

- Top Left:** T2 Frame Structure configuration window. It shows parameters for T2 Frame Structure, including Number of T2 Frames per Super Frame, Number of Sub-Frames per T2 Frame, and Number of Sub-Slices per Frame. It also includes a table for T2 Frame Parameters.
- Top Right:** PLP Parameter configuration window. It shows parameters for PLP, including PLP ID, PLP Type, and PLP Name. It also includes a table for PLP Parameters.
- Bottom Left:** T2 Frame Parameter configuration window. It shows parameters for T2 Frame, including T2 Frame ID, T2 Frame Type, and T2 Frame Name. It also includes a table for T2 Frame Parameters.
- Bottom Right:** PLP Parameter configuration window. It shows parameters for PLP, including PLP ID, PLP Type, and PLP Name. It also includes a table for PLP Parameters.

Caption: รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ T2 Frame และ PLP

25

NHK's Roadmap of 8K



26

การทดลองออกอากาศ 8k ผ่านระบบภาคพื้นดิน ของ NHK ปี 2561



27

การออกอากาศระบบดิจิทัล UHD (4K) ผ่านระบบดาวเทียม

150.0°E	Odus D3	Ku	181014
154.0°E	UCSAT 2B	Ku	170717
140.0°E	Express AT2	Ku	171118
130.0°E	ChinaSat 8C	C	200605
128.0°E	UCSAT 3A	Ku	200410
125.0°E	ChinaSat 6A	C	180927
122.0°E	AsiaSat 9	C	191216
120.0°E	AsiaSat 6/Thaicom 7	C	200704
116.0°E	Koreasat 6	Ku	170110
	BSAT 3A	Ku	200504
	BSAT 3C/UCSAT 110R	Ku	200904
110.0°E	UCSAT 15	Ku	200507
	BSAT 4A	Ku	200904
91.5°E	Measat 3	D	191215
	Measat 3a	D	201017
88.0°E	ST 2	Ku	190510
83.0°E	G-Sat 30	Ku	160906
78.0°E	Thaicom 8	Ku	200421
75.0°E	ARS 2A	Ku	190418
56.0°E	Express AT1	Ku	200424
50.0°E	Turksat 4B	Ku	181120
42.0°E	Turksat 3A	Ku	200216
36.0°E	Express AMU1	Ku	190217
	Eutelsat 35B	Ku	190711
28.0°E	Astra 2E	Ku	200611
	Astra 2F	Ku	200722
26.0°E	Badr 5	Ku	200819
25.0°E	Eutelsat 1	Ku	171021
	Astra 1KR	Ku	201012
19.0°E	Astra 1L	Ku	190616
	Astra 1M	Ku	191209
	Astra 1N	Ku	181127
16.0°E	Eutelsat 15A	Ku	200409
	Holbird 13B	Ku	201013
13.0°E	Holbird 13C	Ku	200207
	Holbird 13E	Ku	200922
7.0°E	Eutelsat 7C	Ku	200421
4.0°E	SES 5	Ku	161013
	Thor 7	Ku	201013
0.0°W	Intelsat 18-02	Ku	200923
0.0°W	Ampas 7	Ku	191017
5.0°W	Eutelsat 5 West B	Ku	201019
20.0°W	Hispasat 30W-5	Ku	200502
40.0°W	SES 6	D	190720
42.0°W	Intelsat 11	D	200416
45.0°W	Intelsat 14	C	190820
58.0°W	Intelsat 21	C	170712
65.0°W	Eutelsat 65 West A	C	160804
72.0°W	himiq 5	Ku	180216
95.0°W	Intelsat 31	Ku	180804
	Intelsat 38	Ku	180303
101.0°W	SES 1	C	191105
103.0°W	DirectTV 10/12	C	180927
127.0°W	Galaxy 13/Horizons 1	D	160912
129.0°W	Clotel 2	Ku	180216

การออกอากาศระบบดิจิทัล
UHD ผ่านระบบดาวเทียม
ทั่วโลก 55 ดวง จำนวน
141 รายการ

www.lyngsat.com/uhd/index.html

28

การออกอากาศระบบดิจิทัล UHD (4K) ผ่านภาคพื้นดิน

Country	BW	Transmission mode	Multiplex capacity	Video encoding	Picture standard
Japan	6 MHz	32k, GI = 1/32, 4096-QAM, FEC 3/4, dual-polarized MIMO	91.8 Mb/s	MPEG-4 AVC/H.264	7680x4320p, 59.94 frame/s, 8 bits/pixel
		Space Time Coding-SPN, 32k, GI = 1/32, 4096-QAM, FEC 3/4, dual-polarized	91.8 Mb/s	HEVC	7680x4320p, 59.94 frame/s, 10 bits/pixel
		16k, GI = 1/16, 4096-QAM, FEC 3/4, dual-polarized MIMO	84.2 Mb/s	MPEG-4 AVC/H.264	7680x4320p, 59.94 frame/s, 8 bits/pixel
		16k, GI = 800/16384, 1024-QAM, FEC 11/16, STS-O and dual-polarized MIMO	32.9-65.8 Mb/s	HEVC	7680x4320p, 59.94 frame/s, 10 bits/pixel
Korea	6 MHz	32k, extended mode, GI = 1/16, PP4, 256-QAM, FEC 3/4, 4/5, 5/6	< 35.0 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 60 frames/s, 10 bits/pixel
Korea	6 MHz	32k, NoC = 0, GI6, 1536, PP16, 2, 256-QAM, 9/15	< 30.0 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 60 frames/s, 10 bits/pixel
France	8 MHz	32k, extended mode, GI = 1/128, 256-QAM, FEC2/3, PP7	40.2 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 50 frames/s, 8 bits/pixel
Spain	8 MHz	32k, extended mode, GI = 1/128, 64-QAM, FEC5/6, PP7	36.72 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 50 frames/s, 8 bits/pixel
Sweden	8 MHz	32k, extended mode, GI = 19/256, 256-QAM, FEC 3/5, PP4	31.7 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 29.97 frames/s, 8 bits/pixel
UK	8 MHz	32k, extended mode, GI = 1/128, 256-QAM, FEC 2/3, PP7	40.2 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 50 frames/s, 10 bits/pixel
Brazil	6 MHz	32k, GI = 1/32, 4096-QAM, FEC 3/4, dual-polarized MIMO	91.8 Mb/s	HEVC	7680x4320p, 59.94 frame/s, 10 bits/pixel
China	8 MHz	32k, GI = 1/64, 256QPSK, FEC 2/3	39.7 Mb/s	H.265	3840x2160p, 50 frames/s, 10 bits/pixel
Thailand	8 MHz	32k, extended mode, GI = 19/128, 256-QAM, FEC3/4, PP8	39.6 Mb/s	HEVC	3840x2160p, 50 frames/s, 10 bits/pixel

การออกอากาศระบบดิจิทัล UHD ผ่านภาคพื้นดิน ในต่างประเทศปัจจุบันมีออกอากาศ 8 ประเทศ ได้แก่ ประเทศ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ฝรั่งเศส สเปน สวีเดน อังกฤษ บราซิล จีน และไทย

https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-definition_television

29

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป การเปรียบเทียบการส่งรูปแบบ Multi PLP และ Single PLP

Multi PLP	Single PLP
ส่งทุกตัว ใช้โครงข่ายเดิม 168 สถานี	ส่งทุกตัว ใช้โครงข่ายใหม่
Utilization Capacity ที่เหลือ คุณภาพขึ้นกับ Bitrate ที่เหลือ	กำหนดคุณภาพได้
ไม่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ใหม่ที T2 Frame ได้	สามารถกำหนดพารามิเตอร์ใหม่ที T2 Frame ได้
ไม่ต้องเพิ่ม MUX	ต้องเพิ่ม MUX ใหม่
รูปแบบการให้บริการเหมือนเดิม	รูปแบบการให้บริการได้หลากหลาย

ข้อเสนอแนะ กสทช

- ควรที่จะมีนโยบายสอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านโครงข่ายพื้นฐานเทคโนโลยีดิจิทัลระยะ 5 ปี (64-68) ของคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) เพื่อการยกระดับการให้บริการการให้บริการ UHD ภาคพื้นดิน
- สนับสนุนผู้ผลิตเครื่องรับโทรทัศน์ UHD ที่รองรับระบบ DVB-T2 ซึ่งจำหน่ายไปแล้วกว่าล้านเครื่อง
- สามารถใช้ประโยชน์ Capacity ของโครงข่ายที่ว่างอยู่ได้อย่างคุ้มค่า
- ควรสนับสนุนให้เกิดการทดลองหรือการให้บริการ UHD เพื่อให้ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายและไม่คิดค่าใช้จ่าย เนื่องจากเป็น ระบบ Free TV
- ควรสนับสนุนให้มีการผลิตรายการประเภท 4K เพื่อนำมาออกอากาศในการทดลอง หรือสนับสนุนลิขสิทธิ์ที่มาจากต่างประเทศแบบ 4K เช่น โอลิมปิก โดยสนับสนุนผ่านกองทุน กทปส.

30

ภาคผนวก ง

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ร่วมการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)
เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศ
โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

สรุปผลการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K

วันพุธที่ 28 ตุลาคม 2563 เวลา 8.30 – 16.30 น.

ณ ห้องประชุมอารีย์ ชั้น 22 โรงแรมเดอะควอเตอร์อารีย์ บาย ยูเอชจี (ถนนพหลโยธิน)

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
ประเด็นแนวทางในการทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K		
1. กรณีการตราพระราชกฤษฎีกา ตามมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติองค์การจัดสรรคลื่นความถี่ฯ สอบถามความชัดเจนว่ามีดำเนินการออกหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ต่าง ๆ อย่างไร เพราะกังวลว่าหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อแผนการดำเนินการ 4K หรือไม่ เพราะถ้าหากหลักเกณฑ์ไม่ได้คำนึงถึงการวางแผนในการนำคลื่นความถี่มาใช้ในการให้บริการ 4K แล้วยังมีการเปิดโอกาสให้ทางผู้ประกอบการโทรคมนาคมสามารถเข้ามาใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ อาจจะมีการกระทบกับแผนการดำเนินการที่เรากำลังทำอยู่นี้ หรืออาจเกิดการรบกวนกันระหว่างกิจการ จึงสอบถามความชัดเจนจากทาง สำนักงาน กสทช. กรณีการตราพระราชกฤษฎีกา ตามมาตรา 30 ว่าได้ดำเนินการอะไรไปแล้วบ้าง	นายธนกร สุขใส ผู้แทนองค์การกระจายเสียง และ แพร่ภาพสาธารณะ แห่งประเทศไทย	ผู้แทนสำนักงาน กสทช. ได้แจ้งรายละเอียด ดังนี้ 1. การตราพระราชกฤษฎีกาตาม มาตรา 30 เป็นการเพิ่มเติมเนื้อหาในคำนำว่า “การหลอมรวม” เพื่อให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น คือ ใน 1 ย่านความถี่สามารถใช้งานได้มากกว่า 1 กิจการ โดยมีหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับมาตรา 30 จำนวน 4 ฉบับ ดังนี้ - แผนแม่บทบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) ซึ่งจะมีรายละเอียดของตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ - หลักเกณฑ์การขออนุญาตประกอบกิจการเพิ่มเติม (การอนุญาตให้ใช้มากกว่า 1 กิจการ) - หลักเกณฑ์การโอนใบอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ - หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่โดยวิธีอื่นนอกจากวิธีประมูล โดยสรุปคือ หากต้องการให้ย่านความถี่ใดๆ ใช้งานได้มากกว่า 1 กิจการจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ กสทช. ประกาศกำหนด ดังนั้น หากว่าจะมีการอนุญาตให้ทางผู้ประกอบการโทรคมนาคมมาใช้ ก็จะต้องมีการประกาศกำหนดเป็นการล่วงหน้า ซึ่งต้องกำหนดตั้งแต่ในแผนแม่บทบริหารคลื่นความถี่ฯ โดยระบุในตารางกำหนดคลื่นความถี่

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
		แห่งชาติ ว่าย่านดังกล่าวจะมีทั้งกิจการโทรคมนาคมและกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ หลังจากนั้นจะมีการพิจารณาให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้มากกว่า 1 กิจการ กล่าวคือหากมีการยื่นคำขอมายังหน่วยงาน จะมีการพิจารณาคำขอตามหลักเกณฑ์ ซึ่งในย่านความถี่นั้นๆ ต้องมีการประกาศก่อนว่าให้ใช้งานได้มากกว่า 1 กิจการ 2. ในประเด็นของการรบกวนระหว่างกิจการคาดว่าจะไม่มีผลกระทบ เนื่องจากหากจะมีการอนุญาตให้กิจการอื่นเข้ามาร่วมใช้งานบนย่านความถี่เดียวกับกับกิจการโทรทัศน์ในบางพื้นที่หนึ่ง พื้นที่ใดก็ตาม จะต้องมีการวิเคราะห์คำนวณทางเทคนิคเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบหรือเกิดการรบกวนทางเทคนิคอย่างแน่นอน
2. คาดว่าจะให้บริการ 4K จำนวน 2-3 ช่องรายการ ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโครงข่าย (Mux) ใหม่ หากมีโครงข่ายเพิ่ม 1-2 โครงข่าย ประกอบกับเกิดการหลอมรวมกับกิจการอื่นที่ไม่ใช่กิจการโทรทัศน์ จะมีคลื่นความถี่เพียงพอหรือไม่ จะสามารถใช้งานความถี่ที่มีในปัจจุบันได้หรือไม่ หรือมีความจำเป็นต้องออกหลักเกณฑ์ และเปิดรับฟังความคิดเห็นต่อการร่วมใช้ย่านความถี่กับกิจการอื่น ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่อย่างไร	นายธนกร สุขใส ผู้แทนองค์การกระจายเสียง และ แพร่ภาพสาธารณะ แห่งประเทศไทย	1. ประเด็นหากมีการตัดสินใจทดสอบ 4K โดยเกิดโครงข่ายใหม่ ใช้ช่องความถี่ใหม่ นั้นสามารถดำเนินการได้ตามหลักเกณฑ์ด้านการทดลองทดสอบ ซึ่งจะอ้างอิงการใช้ช่องความถี่ตามแผนความถี่วิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลได้ เนื่องจากในแผนความถี่วิทยุมีการจัดช่องความถี่ไว้แล้วว่าพื้นที่ไหน มีช่องความถี่ที่ว่างอยู่ สามารถนำไปใช้งานได้ และหากจะมีการอนุญาตให้กิจการอื่นเข้ามาร่วมใช้งานบนย่านความถี่เดียวกับกับกิจการโทรทัศน์ในบางพื้นที่หนึ่ง พื้นที่ใดก็ตาม จะต้องมีการวิเคราะห์คำนวณทางเทคนิคเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบหรือเกิดการรบกวนทางเทคนิคอยู่แล้ว 2. ในประเด็นข้อซักถามประเด็นคลื่นความถี่จะเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่นั้น ต้องพิจารณาและเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในด้านเทคนิค หากต้องการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K ทั่วทั้งประเทศ คาดว่าความถี่จะไม่เพียงพอ เนื่องจากตอนนี้มีความถี่สำรองเพียงแค่ 3 ความถี่ แต่ถ้าจะสร้างโครงข่ายใหม่เพื่อขยายให้ทั่วทั้งประเทศต้องใช้ 5

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
		ความถี่ ซึ่งหากดำเนินการในบางพื้นที่ หรือตามจังหวัดที่เป็นเมืองใหญ่ คาดว่ามีความถี่ใช้งานอย่างเพียงพอ
3. สอบถามการทดลองทดสอบ (Trial) กรณีการพูดเรื่องแนวทาง (Scenario) ต่างๆ ในทางปฏิบัติจะมีแนวทางการดำเนินการอย่างไร คือจะมีการตัดสินใจโดย กสทช. หรือ สำนักงาน กสทช. ใครจะเป็นผู้กำหนด Scenario แล้วใช้ระยะเวลาขนาดไหน	คุณบัณฑิต คำนึ่ง ผู้แทนบริษัท บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง จำกัด	กรณีแนวทาง (scenario) ผู้ที่จะขอทดลองทดสอบต้องเป็นผู้ตัดสินใจ ก่อนเสนอขอทดลองทดสอบ โดย 4 ประเด็นที่ต้องตัดสินใจ ได้แก่ - คลื่นความถี่ : จะดำเนินการบนโครงข่ายใหม่ หรือใช้โครงข่ายที่มีอยู่เดิม - พื้นที่ : ต้องการออกอากาศบริเวณใดบ้าง เฉพาะกรุงเทพมหานคร เฉพาะจังหวัดใหญ่ จะออกอากาศจำนวนกี่สถานี มีการใช้งานแบบโครงข่ายความถี่เดียวหรือไม่ - เนื้อหารายการ : มีการออกอากาศที่รายการ หรือจะร่วมกันผลิต - เป้าหมาย: การรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณรุ่นที่มีอยู่เดิม หรือเครื่องรับสัญญาณรุ่นใหม่ ต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ของการรับสัญญาณด้วยเครื่องรับรุ่นเดิม (Backward Compatibility) หรือไม่ ทั้งนี้คาดว่าในทางปฏิบัติ สำนักงาน กสทช.จะกำหนดหลักเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับการทดสอบก่อน โดยกำหนดคุณลักษณะผู้ยื่นขอมาทดสอบ กำหนดเอกสารที่ต้องเสนอ กำหนดแนวทางการทดสอบ (4 ประเด็นข้างต้น) พิจารณาแผนการทดสอบ (Test Plan) ภายหลังจากการทดลองทดสอบแล้ว ต้องมีการสรุปและประเมินผลร่วมกันระหว่างสำนักงาน กสทช. และผู้ยื่นขอทดลองทดสอบ ส่วนระยะเวลาคาดว่าจะจะเป็นไปตาม (ร่าง) แผนการดำเนินการ ดังนี้

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ																																																																																																										
		<table><tr><th rowspan="2">ลำดับ</th><th rowspan="2">แผนงาน</th><th colspan="4">2563</th><th colspan="4">2564</th><th colspan="4">2565</th><th colspan="4">2566</th></tr><tr><th>Q1</th><th>Q2</th><th>Q3</th><th>Q4</th><th>Q1</th><th>Q2</th><th>Q3</th><th>Q4</th><th>Q1</th><th>Q2</th><th>Q3</th><th>Q4</th><th>Q1</th><th>Q2</th><th>Q3</th><th>Q4</th></tr><tr><td>1</td><td>ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K และจัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อยร่วมกับผู้มีส่วนได้เสีย</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>กำหนดแนวทางด้านเทคนิคหรือหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>กำหนดหลักเกณฑ์หรือกรอบแนวทางการอนุญาตให้ทดสอบ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>นำเสนอแนวทางด้านเทคนิค แนวทางการอนุญาตให้มีการทดสอบ และรายงานผลการศึกษาให้สาธารณะรับทราบ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> * อาจมีการแก้ไขปรับปรุงตามความเหมาะสม	ลำดับ	แผนงาน	2563				2564				2565				2566				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	1	ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K และจัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อยร่วมกับผู้มีส่วนได้เสีย																	2	กำหนดแนวทางด้านเทคนิคหรือหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง																	3	กำหนดหลักเกณฑ์หรือกรอบแนวทางการอนุญาตให้ทดสอบ																	4	นำเสนอแนวทางด้านเทคนิค แนวทางการอนุญาตให้มีการทดสอบ และรายงานผลการศึกษาให้สาธารณะรับทราบ																
ลำดับ	แผนงาน	2563				2564				2565				2566																																																																																														
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4																																																																																											
1	ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหรือทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี 4K และจัดการประชุมรับฟังความคิดเห็นกลุ่มย่อยร่วมกับผู้มีส่วนได้เสีย																																																																																																											
2	กำหนดแนวทางด้านเทคนิคหรือหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง																																																																																																											
3	กำหนดหลักเกณฑ์หรือกรอบแนวทางการอนุญาตให้ทดสอบ																																																																																																											
4	นำเสนอแนวทางด้านเทคนิค แนวทางการอนุญาตให้มีการทดสอบ และรายงานผลการศึกษาให้สาธารณะรับทราบ																																																																																																											
4. ใครจะเป็นผู้เข้าร่วมการทดลองทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองทดสอบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี 4K	คุณบัณฑิต คำนึง ผู้แทนบริษัท บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง จำกัด	ทุกหน่วยงานสามารถเข้าร่วมการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกอากาศด้วยเทคโนโลยี 4K โดยอาจจะเป็นการยื่นเข้ามาร่วมกันระหว่างผู้ให้บริการโทรทัศน์ฯ (Service Provider) และผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ฯ (Network Provider) ก็ได้ ซึ่งแนวทางคือให้ทางผู้ที่จะขอทดลองทดสอบยื่นเอกสารข้อเสนอ (Proposal) ทางด้านเทคนิค รวมถึงเอกสารแสดงความพร้อมในการทดสอบมายังสำนักงาน กสทช. เพื่อดำเนินการเสนอต่อ กสทช. พิจารณาเห็นชอบเนื่องจากต้องมีการใช้คลื่นความถี่ และดำเนินการอนุญาตการทดลองทดสอบต่อไป																																																																																																										
5. มีข้อเสนอว่าหากดำเนินการทดสอบจริงควรมีการรวมกลุ่มทดสอบ ซึ่งมีข้อกังวลใน 2 ประเด็น ได้แก่ - เนื้อหารายการ (Content) - การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทดลองทดสอบ ทั้งนี้ ในฐานะผู้ให้บริการโครงข่าย มีความประสงค์ให้ สำนักงาน กสทช. สนับสนุนในลักษณะเดียวกับกรณีโครงการทดลองออกอากาศวิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิทัล (DAB+) โดยผู้ที่จะได้ประโยชน์จากการทดลองทดสอบก็คือผู้เข้าร่วมทดสอบ และสำนักงาน กสทช.	นายธนกร สุขใส ผู้แทนองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย	รับประเด็นกรณีโครงการสนับสนุน และการเร่งดำเนินการ เพื่อนำไปพิจารณาความเป็นไปได้ในการดำเนินการต่อไป อย่างไรก็ตาม ในเบื้องต้นทาง สำนักงาน กสทช. เห็นด้วยกับแนวคิดในการรวมกลุ่มกันทำการทดลองทดสอบ ซึ่งอาจจะต้องมีผู้เป็นเจ้าภาพ เนื่องจากปัจจุบันโครงข่ายมีการใช้งานเต็มความจุแล้ว จึงจำเป็นต้องมีเจ้าภาพในการทำโครงข่ายใหม่ รวมทั้งการลงทุนอุปกรณ์ และการผลิตเนื้อหารายการด้วย																																																																																																										

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
เพราะสำนักงาน กสทช. จะได้ข้อสรุปที่ชัดเจน เพื่อนำไปสู่การพิจารณาว่ามีความเหมาะสมในการประกอบกิจการในส่วนนี้หรือไม่ และมีข้อเสนอแนะว่าควรเร่งดำเนินการให้มีข้อสรุปก่อนช่วง Olympic เดือนกรกฎาคม 2564 เพื่อเตรียมความพร้อมในการออกอากาศ 4K ในช่วงเวลานั้น เนื่องจากช่วงนั้นอาจจะเป็นตัวขับเคลื่อนได้		
6. เสนอแนะว่าเพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดการทดลองทดสอบเทคโนโลยี 4K สำนักงาน กสทช. อาจคิดหลักเกณฑ์ หรือแนวทางกรณีผู้ร่วมเข้าทดสอบ (ผู้ให้บริการโครงข่ายหรือผู้ให้บริการช่องรายการ) นำค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ 4K ไปลดหย่อนค่าธรรมเนียมได้เต็มจำนวน เพื่อเร่งการทดลองทดสอบให้เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น	คุณธัญพัฒน์ ตั้งทวีทอง Associate Director TNN	รับประเด็นเพื่อนำไปพิจารณาความเป็นไปได้ในการดำเนินการต่อไป
ประเด็นการกำหนดและจัดทำแผนการทดสอบ (พารามิเตอร์ในการทดสอบออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินฯ ด้วยเทคโนโลยี 4K)		
7. แจ้งรายละเอียดและนำเสนอแผนการทดสอบ (Test plan) ต่อที่ประชุม ดังนี้ - เครื่องรับ 4K มีการนำเข้ามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 คาดว่ามีอยู่ในตลาดประมาณ 1 ล้านเครื่อง โดยยังไม่ได้เปิดใช้งานให้รับสัญญาณได้ตามมาตรฐานของสำนักงาน กสทช.	นายปัญญา วัฒนวังสกุล ผู้แทนจากกลุ่ม ผู้ประกอบการเครื่องรับ สัญญาณโทรทัศน์	สำนักงาน กสทช. มีความเห็นในเบื้องต้นว่า เมื่อจะมีการทดลองทดสอบ หรือมีความชัดเจนต่อการดำเนินการทดสอบ ทางสำนักงาน กสทช. โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) จะส่งแบบสำรวจไปยังผู้ผลิตเครื่องรับสัญญาณว่าเครื่องรับที่มีในตลาดรองรับ 4K จำนวนเท่าไร รองรับมาตรฐานทางเทคนิคแบบใดบ้าง

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
- ในมุมมองของผู้ประกอบการอยากให้เกิดขึ้นภายในปีหน้าช่วงกีฬา Olympic เพื่อเป็นการกระตุ้นตลาด และเป็นการสนับสนุนให้ประชาชนรับชมโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลให้มากขึ้น - Resolution ต้องมีค่า 2160p และ Aspect Ratio มีค่า 16:9 - Frame Rate โดยทั่วไป LCD หรือ OLED มาตรฐานจะเป็น 50 Hz หรือ 60 Hz ขึ้นกับสัญญาณมาตรฐานของประเทศนั้นๆ (Native Signal) ซึ่งจอภาพบางรุ่นมีความสามารถแสดงเป็น 2 เท่า หรือ 4 เท่า (สูงสุด 240 Hz) จะมีราคาสูงขึ้น ซึ่งไมโครโปรเซสเซอร์ (Micro Processor) จะต้องมีความสามารถในการแสดงภาพด้วย จึงแนะนำที่ 50 Hz เพราะในประเทศไทยเป็นแบบ PAL - Bit Depth โดยทั่วไปในตลาดจะเป็น 8 bit แต่สำหรับโทรทัศน์รุ่นที่มีคุณภาพระดับสูงสุด (Hi-end) จะมีจำนวน 10 bit ซึ่งจำนวน Bit Depth ที่แตกต่างกันมีผลต่อ Color gamut แต่จะส่งผลให้อัตราบิต (Bit Rate) สูงขึ้นตามไปด้วย จึงมีความเห็นว่าในขั้นตอนของการทดสอบก็อาจต้องลองพิจารณาในรายละเอียดของค่า Bit Depth		รวมไปถึงกรณีที่ต้องการทดสอบรุ่นที่มีคุณภาพระดับสูงสุด (Hi-end) ก็อาจต้องมีการจัดทำแผนการทดสอบ เช่น ในช่วง 2 สัปดาห์แรกอาจจะทดสอบพารามิเตอร์ (Parameter) ชุดที่หนึ่ง และในช่วง 2 สัปดาห์ถัดไป จะทดสอบอีกพารามิเตอร์ชุดที่สอง เพื่อให้ทดสอบได้ครอบคลุมทุกการทำงาน และทุกรุ่น ทั้งนี้ต้องมีการประชาสัมพันธ์ เพื่อสื่อสารไปยังผู้รับชมด้วยว่าสัปดาห์นี้จะมีการทดสอบส่งสัญญาณด้วยพารามิเตอร์ชุดใด และเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ของผู้รับชมสามารถทำงานได้สมบูรณ์หรือไม่ โดยควรมีช่องทางเพื่อให้ผู้รับชมสามารถแจ้งข้อเสนอแนะมาได้ด้วย

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
อีกครั้ง อย่างไรก็ตามโดยพื้นฐานแล้วค่า Bit Depth สามารถแปลงค่า (Transform) ได้ด้วยอุปกรณ์ VDO Decoder ได้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าความสมบูรณ์ของการแสดงภาพจะขึ้นกับคุณภาพของอุปกรณ์ Decoder ด้วย - Video Codec สามารถใช้งานเริ่มต้นที่มาตรฐาน H.265 ได้ - Audio Codec มาตรฐานทั่วไปคือ HE-AAC แต่ก็มีโทรทัศน์หลายรุ่นที่รองรับมาตรฐานของ Dolby Audio (Dolby MS12) ในการทดสอบจึงสามารถทดลองในมาตรฐานนี้ได้ ส่วนกรณี Dolby Atmos จะเป็นเฉพาะรุ่นที่มีคุณภาพระดับสูงสุด (Hi-end) ที่จะสามารถถอดรหัสเสียงของ Dolby Atmos ได้ - HDR ส่วนใหญ่จะรองรับ HDR10 และ HDR10+ ส่วนรุ่นที่รองรับ Dolby vision จะเป็นกลุ่มเครื่องรับรุ่นที่มีคุณภาพระดับสูงสุด (Hi-end) - DVB-T2 Parameters หากไม่มีการเปลี่ยนแปลง คาดว่าไม่มีผลกระทบ - Bit rate คาดว่าไม่มีผลกระทบ - Reception mode เป็นแบบ Fix reception		

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
8. ทำไมเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีค่า Frame rate 50 Hz ถึงมีมากที่สุด แล้วมีเครื่องรับสัญญาณที่รองรับ 100 Hz หรือไม่อย่างไร	คุณบัณฑิต คำนึ่ง ผู้แทนบริษัท บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง จำกัด	ผู้แทนจากกลุ่มผู้ประกอบการเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ได้แจ้งให้ทราบว่าเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีค่า Frame rate 50 Hz เป็นมาตรฐานของการที่โปรเซสเซอร์ประมวลผลได้ และต้นทุนเหมาะสม เนื่องจากหน้าจอ Frame rate 100 Hz ขึ้นไปนั้น โปรเซสเซอร์ก็จะต้องประมวลผลสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนสูงขึ้นตามไปด้วย
ประเด็นข้อเสนอแนะ ข้อสอบถาม และความเห็นอื่นๆ		
9. ในการถ่ายทำรายการ ทาง PPTV ได้ถ่ายทำเป็น 1080i จึงไม่ได้เพื่ออุปกรณ์ไว้สำหรับการถ่ายทำด้วยระบบ 4K เพราะเกรงว่าถ้าซื้ออุปกรณ์ไปแล้วหากมีการกำหนดมาตรฐานในภายหลัง อาจจะไม่สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มี	คุณบัณฑิต คำนึ่ง ผู้แทนบริษัท บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง จำกัด	รับทราบ
10. ทางผู้ผลิตโทรทัศน์ได้เก็บสัญญาณจาก TPBS ที่ทดลองทดสอบ 4K ในงานแสดงนวัตกรรม และได้นำสัญญาณดังกล่าวมาออกอากาศแบบ 4K ผ่านอุปกรณ์ T2 -Modulator และทดสอบการรับด้วยเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ที่มีอยู่ปัจจุบันมารับสัญญาณ ซึ่งเครื่องรับทุกยี่ห้อสามารถรับสัญญาณและแสดงผลได้ ซึ่งจะเห็นว่า TPBS มีความพร้อมสำหรับเรื่อง 4K มาก อีกทั้งทางผู้ประกอบการเครื่องรับโทรทัศน์ก็มีความพร้อมเช่นกัน	นายปัญญา วัฒนวังสกุล ผู้แทนจากกลุ่ม ผู้ประกอบการเครื่องรับ สัญญาณโทรทัศน์	รับทราบ
11. เห็นควรว่าในการทำ 4K อย่างน้อยต้องใช้ Bit Dept 10bit HDR ซึ่งถ้าจะลงทุนดำเนินการออกอากาศ 4K บนระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินใน	คุณไพโรจน์ ปิ่นแก้ว	รับประเด็นเพื่อนำไปพิจารณาความเป็นไปได้ในการดำเนินการต่อไป

ประเด็นข้อซักถาม/ข้อคิดเห็น	ผู้แสดงความเห็น/ หน่วยงาน	การตอบข้อซักถาม/แนวทางการดำเนินการ
ระบบดิจิทัล ต้องคำนึงถึงคุณค่าด้วย ต้องดู วัตถุประสงค์ว่าจะทำอะไร มี Business model เป็นแบบไหน แล้วในส่วนของการทดลองก็ คือทางอุตสาหกรรมต้องสนับสนุนด้วยจึงจะสำเร็จ ส่วนการผลิตเนื้อหารายการที่เป็น 4K นั้นถือว่าเป็น ข้อดีและควรสนับสนุน ตัวอย่างเหมือน ประเทศเกาหลีที่ผลิต รายการที่มีความคมชัดแบบ 4K ขายได้ทั่วโลก และสามารถนำไปออกอากาศ ทางด้าน OTT หรือแพลตฟอร์มอื่นๆ ได้ด้วย		
12. แจ้งข้อมูลของ Olympic เมื่อปีที่ผ่านมา พบว่ามี การถ่ายทำเนื้อหารายการ (Content) ทั้งหมด 36 ช่องรายการ โดยถ่ายทำด้วยความคมชัดแบบ 4K จำนวน 25 ช่อง และความคมชัดแบบ 8K จำนวน 8 ช่อง ซึ่งแทบจะไม่มีถ่ายทำด้วยความคมชัด แบบ HD เลย	คุณบัณฑิต คำนิง ผู้แทนบริษัท บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง จำกัด	รับทราบ

ภาพบรรยากาศการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)



อภิธานศัพท์

AC-3	Audio Coding 3
AC-4	Audio Coding 4
ASI	Asynchronous serial interface
AVC	Advance Video Coding
ALLM	Auto Low Latency Mode
DVB	Digital Video Broadcasting
E-AC3	Enhance Audio Coding 3
eARC	Enhance Audio Return Channel
EOTF	Electro-optical transfer function
FEC	Forward error correction
FFT	Fast Fourier Transform
Gbps	Gigabits per second
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HDR	High Dynamic Range
HDR10	High Dynamic Range10
HDR10+	High Dynamic Range10 Plus
HEVC	High Efficiency Video Coding
HLG	Hybrid Log-Gamma
IP	Internet Protocol
kbps	Kilobits per second
MPEG-2	Moving Pictures Expert Group - 2
MPEG-2 TS	MPEG-2 Transport Stream
Nits	A non-SI unit used to describe the luminance
OETF	Optical-electro transfer function
OOTF	Opto-optical transfer function
PPS	Pulse per second
PQ	Perceptual Quantization
QAM	Quadrature amplitude modulation
QMS	Quick Media Switching
QFT	Quick Frame Transport
SDI	Serial Digital Interface
SDR	Standard Dynamic Range

SFN	Single Frequency Network
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
T2-MI	T2 Modulator Interface
UHDTV	Ultra-high definition television
UHF	Ultra-high Frequency
VRR	Variable Refresh Rate
VCEG	Video Coding Experts Group
WCG	Wide Color Gamut

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shortcut Store. September 11, 2018. SDI คืออะไร. Retrieved May 16, 2020. From <https://en-gb.facebook.com/shortcut.store/photos/a.139149266805023/207913683261914/?type=3>
- [2] Hussain Kanchwala. August 21, 2019. What is Wide Color Gamut (WCG) and how it improves picture quality. Retrieved May 17, 2020. Form <https://www.bijlibachao.com/television-tv/wide-color-gamut-wcg-improves-picture-quality.html#color-gamut>
- [3] Geoffrey Morrison. March 20, 2017. What is wide color gamut (WCG). Retrieved May 17, 2020. From <https://www.cnet.com/how-to/what-is-wide-color-gamut-wcg/>
- [4] Nattawut R. February 21, 2017. 4K HDR TV. Retrieved March 16, 2020. from <https://www.wemall.com/blog/2346/we-should-need-4k-hdr-tv-or-not>
- [5] ธาณี โหมดสง่า. August 15, 2019. Dynamic HDR – เทคโนโลยีที่ใช้ในการแสดงภาพวิดีโอบนทีวีได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด. Retrieved March 16, 2020. From <https://www.allabout.in.th/knowledge-what-is-dynamic-hdr/>
- [6] Hussain Kanchwala. August 22, 2019. What is HDR and how it impacts TV Picture Quality. Retrieved May 17, 2020. From <https://www.bijlibachao.com/appliances/hdr-impacts-tv-picture-quality.html>
- [7] OPTCORE. November 21, 2017. Introduction to SDI, HD-SDI, 3G-SDI, 6G-SDI, 12G-SDI and 24G-SDI. Retrieved May 16, 2020. From <https://www.optcore.net/introduction-to-sdi/>
- [8] Geoffrey Morrison. June 8, 2017. What is HDMI 2.0b. Retrieved May 19, 2020. From <https://www.cnet.com/how-to/what-is-hdmi-2-0b/>
- [9] Ng Chong Seng. January 4, 2020. Buying a 4K TV: What you need to know about HDCP 2.2, HDMI 2.0, and HEVC & UHD. Retrieved May 19, 2020. From <https://www.hardwarezone.com.sg/feature-4k-tv-buying-guide-singapore>
- [10] About AT1987. March 6, 2016. มารู้จักประเภทของสาย HDMI กันเถอะ (ฉบับ HDMI 2.0). Retrieved 20, 2020. From <https://rev.at1987.com/articles/hdmi-cable-types-2/>
- [11] มนตรี คงมหาพฤกษ์. October 17, 2018. HDMI 2.1 คืออะไร เป็นสาย HDMI สำหรับอนาคตจริงหรือ. Retrieved May 20, 2020. From <https://www.avtechguide.com/what-is-hdmi-21-2point1/>
- [12] HDMI Licensing Administrator, Inc. (HDMI LA). May 22, 2020. Quick Frame Transport (QFT). Retrieved June 26, 2020. From <https://www.hdmi.org/spec21Sub/QuickFrameTransport>
- [13] HDMI Licensing Administrator, Inc. (HDMI LA). May 22, 2020. Variable Refresh rate (VRR). Retrieved June 26, 2020. From <https://www.hdmi.org/spec21Sub/VariableRefreshRate>
- [14] HDMI Licensing Administrator, Inc. (HDMI LA). May 22, 2020. Auto Low Latency Mode (ALLM). Retrieved June 26, 2020. From <https://www.hdmi.org/spec21Sub/AutoLowLatencyMode>
- [15] HDMI Licensing Administrator, Inc. (HDMI LA). May 22, 2020. Quick Media Switching (QMS). Retrieved June 26, 2020. From <https://www.hdmi.org/spec21Sub/QuickMediaSwitching>
- [16] Doug Brunner is an Instructional Designer at TechSmith. March 2017. Frame Rate: A Beginner's Guide. Retrieved June 8, 2020. From <https://www.techsmith.com/blog/frame-rate-beginners-guide/>

- [17] A Girl from Mars. February 1, 2017. FPS หรือ Frame Rate คืออะไร สำคัญยังไงจำเป็นแค่ไหนไปดูกัน!. Retrieved June 8, 2020. From <https://www.acerspace.com/thing-to-know-about-frame-rate/>
- [18] BLACKBOXMYCAR. March 11, 2020. 4K or 60 FPS: Which is More Important. Retrieved June 8, 2020. From <https://www.blackboxmycar.com/blogs/news/4k-or-60fps-which-is-more-important>
- [19] TanaponNoich. September 15, 2018. โนแลนเปิดศึก ! เมื่อผู้กำกับระดับโลกออกมาประท้วง Smooth Motion หรือฟังก์ชันภาพนุ่มในทีวี ! ว่าแต่มันคืออะไร ? . Retrieved June 11, 2020. From <https://www.beartai.com/lifestyle/movies/278131>
- [20] Home Cinema Guide. What is a TV Refresh Rate Understanding 60 Hz, 120 Hz and 240 Hz for 1080p and 4K TVs. Retrieved June 11, 2020. From <https://www.the-home-cinema-guide.com/tv-refresh-rate-explained.html>
- [21] Nik Dimitrakopoulos, Broadcast Rohde&Schwarz Korea LTD. September 16, 2014. UHD 4K end-to-end broadcasting over DVB-T2. Retrieved February 21, 2020. From https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/7bm90_1/7BM90_0E.pdf
- [22] ITU-R Radio communication Sector of ITU. July 2019. ITU-R BT.2343-5 (07/2019), Collection of field trials of UHDTV over DTT networks. Retrieved February 21, 2020. From <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2343-5-2019>
- [23] Chairman, WP 6A. (2020-03-16).Report of the meeting of Working Party 6A (Geneva, 4-12 February 2020), Annex 04 - Preliminary draft revision of Report ITU-R BT.2343-5 - Collection of field trials of UHDTV over DTT networks. Retrieved March 31, 2020. from <https://www.itu.int/md/R19-WP6A-C-0042>
- [24] T. Nakachi, T. Yamaguchi, Y. Tonomura, and T. Fujii. Surround Video Stitching and Synchronous Transmission Technology for Immersive Live Broadcasting of Entire Sports Venues. Retrieved April 17, 2020. from <https://www.nttreview.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201712fa4.html>
- [25] Steve Withers. January 11, 2016. Dolby demonstrate their new AC-4 audio codec. Retrieved April 13, 2020. From <https://www.avforums.com/articles/dolby-demonstrate-their-new-ac-4-audio-codec.12262?fbclid=IwAR0eBUcdU9FO5PrTHhVAu2bqvc5iwSK2VA446HxuGu6HQfHhLh6nvKY9rl>
- [26] Dolby Laboratories, Inc. May 9, 2019. Dolby Digital 5.1. Retrieved April 13, 2020. From <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-digital.html>
- [27] Jeffrey Riedmiller. July 14, 2015. Creating Technology to Power Next-Generation Entertainment. Retrieved April 14, 2020. From <https://www.linkedin.com/pulse/creating-technology-power-next-generation-jeffrey-riedmiller>
- [28] Veneratech. June 17, 2019. HDR Insights Article 1: High Dynamic Range – Introduction & Benefits. Retrieved November 11, 2020. From <https://www.veneratech.com/introduction-to-high-dynamic-range/>
- [29] Veneratech. June 17, 2019. HDR Insights Article 2: PQ and HLG transfer functions for HDR. Retrieved November 11, 2020. From <https://www.veneratech.com/hdr-transfer-functions-hlg-pq/>
- [30] Veneratech. June 17, 2019. HDR Insights Article 3: Understanding HDR Tone Mapping. Retrieved November 11, 2020. From <https://www.veneratech.com/what-is-hdr-tone-mapping>