

สรุปรายงาน การเข้าฝึกอบรม  
Digital Transmission Training Course  
ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ  
ระหว่างวันที่ 18 – 22 สิงหาคม 2557

## สารบัญ

### สรุปการเรียนรู้ วันที่ 1 หัวข้อดังนี้

- Waves & Antennas
- Review of Modulation
- Video & Formats
- General Video Compression
- DVB & Video Coding
- World Digital Radio Standards

### สรุปการเรียนรู้ วันที่ 2 หัวข้อดังนี้

- Video Coding Production & Playout Review
- Keynote Speaker : Bernie O Neil ( Project Director, World DMB)
- Transport Streams & Interfaces
- DVB Family : Modulation & Coding
- Introduction to DAB+
- DAB Coverage Planning

### สรุปการเรียนรู้ วันที่ 3 หัวข้อดังนี้

- Australia DAB+ Case Study
- Planning DVB Networks
- Deployment of DVB Networks
- Key note Speaker : Serge Mal ( Executive VP, Teamcast SA)
- Fundamentals of Digital TV
- COFDM Technology / Single Frequency Networks

### สรุปการเรียนรู้ วันที่ 4 หัวข้อดังนี้

- DVB- T2 Standard / DVB T2 Lite & DAB
- Single measurements
- Demo of complete SFN DVB – T2's chain
- Practical Demonstrations & measurements ( light/ med )
- Practical Demonstrations & measurements ( med / high )
- Keynote Speaker : Dr. Nick Wells, Chairman, DVB Technical Module

### สรุปการดูงาน วันที่ 5 หัวข้อดังนี้

- Arqiva's Main Transmitter Site at Crystal Palace Park
- Digital Television Group ( DTG )

ผู้เข้าอบรมและคณาจารย์ Professor David Crawford, Key Note Speaker: Dr. Nick Wells (Chairman, DVB  
Technical Module, Peter Barnett and Jean- Baptiste Marie



## คลื่น

(Wave)

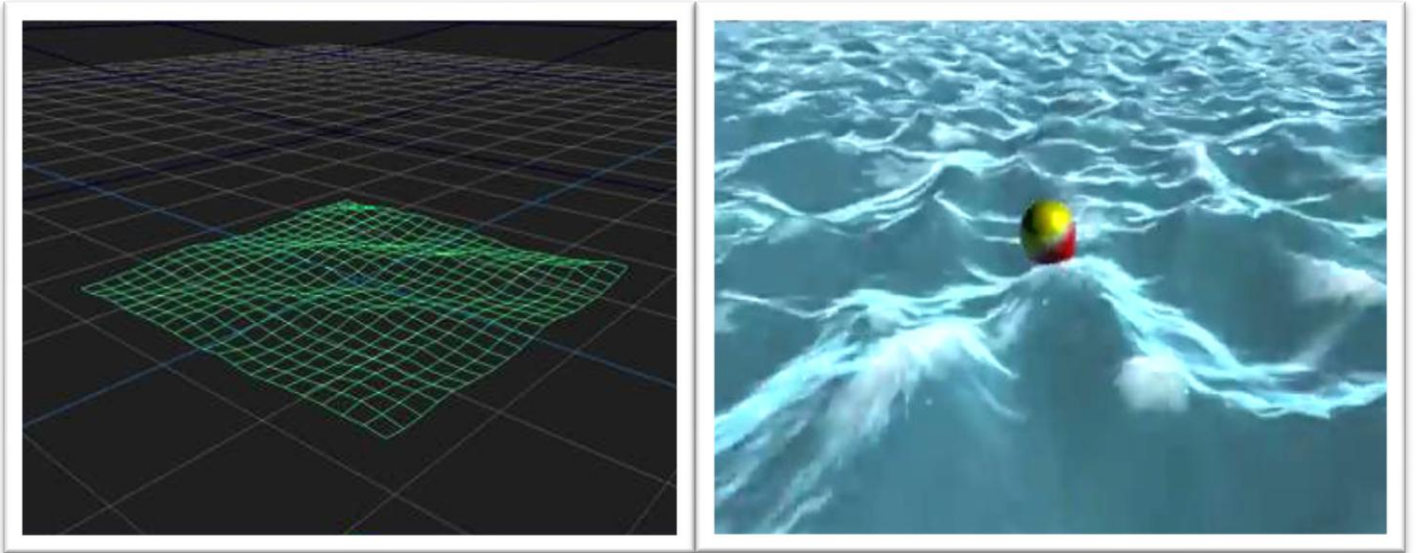
คลื่นและลักษณะของการกำเนิดคลื่น ลองนึกถึงเวลาเราโยนก้อนหินลงไปในน้ำ ทันทีที่ก้อนหินกระทบผิวน้ำจะเกิดลูกคลื่นของน้ำกระจายไปโดยรอบ เป็นวงกลม ออกจากจุดศูนย์กลางที่ก้อนหินนั้นตกกระทบ เราจะสังเกตเห็นว่ารูปคลื่นกระจายกว้างออกไปเรื่อย ๆ แต่ผิวน้ำนั้นเพียงกระเพื่อมขึ้นลงเท่านั้น ซึ่งลักษณะของการถูกรบกวนหรือการกระเพื่อมนั้นจะมีลักษณะกวัดแกว่ง ที่มีการแผ่กระจาย เคลื่อนที่ออกไป จากจุดศูนย์กลางการกำเนิด และมักจะมีการส่งถ่ายพลังงานไปด้วย คลื่นเชิงกลซึ่งเกิดขึ้นใน ตัวกลาง ซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูป จะมีความแรงยืดหยุ่นในการติดตัวกลับ จะเดินทางและส่งผ่านพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในตัวกลาง โดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนตำแหน่งอย่างถาวรของอนุภาคตัวกลาง คือไม่มีการส่งถ่ายอนุภาคนั้นเอง



ภาพที่1: ลักษณะการกระจายของคลื่น

## การเดินทางของคลื่น

การเดินทางของคลื่นวิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ในอากาศและสุญญากาศโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เราสามารถจำลองภาพคลื่นในท้องทะเลที่ได้มีการกระเพื่อมขึ้นลงของลูกคลื่น และสิ่งที่ ของที่อยู่ใต้น้ำจะคอยรับพลังงานคลื่น ทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลง ก็คือตัวรับคลื่น



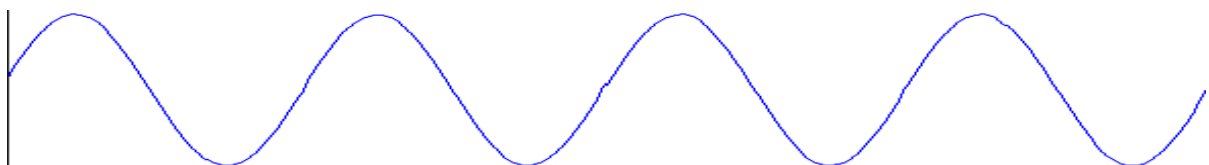
เปรียบได้กับเครื่องรับวิทยุ หรืออุปกรณ์รับสัญญาณอื่นๆ

ภาพที่ 2 และ3: การเดินทางของคลื่น

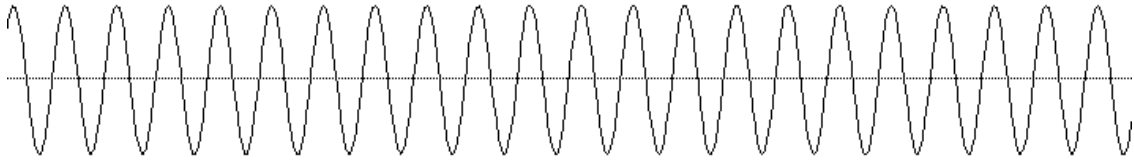
## การผสมคลื่น

(Modulating a Carrier)

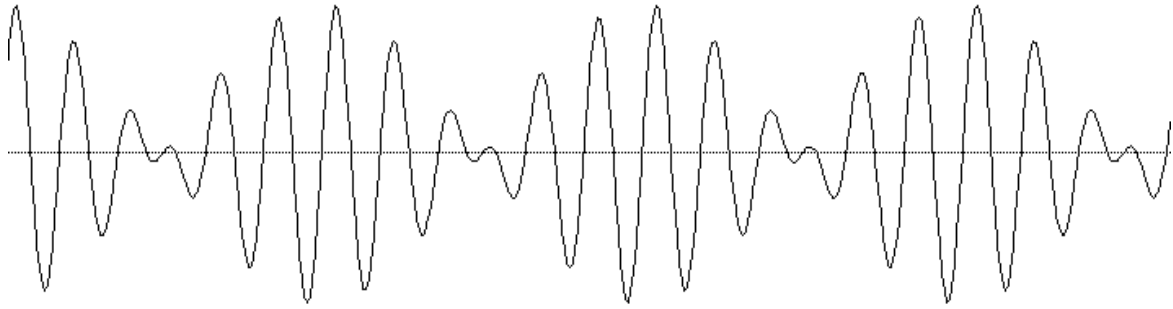
การที่เราต้องการนำพาสัญญาณหรือข้อมูล เป็นการผสมสัญญาณของ ข้อมูลที่เราต้องการส่งเข้าไป เช่น เสียง ภาพ รหัส หรือโค้ดต่างๆ เข้าไปกับสัญญาณ สัญญาณนี้เรียกว่า คลื่นพาห้ (carrier) หรือเรียกอีกชื่อว่าคลื่นพาหะ ซึ่งสัญญาณนี้มี ความถี่ ที่เหมาะกับ ช่องสัญญาณนั้นๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ส่งเข้าไปในช่องสัญญาณเดินทางได้ไกลมากขึ้นและมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การเลือกวิธีมอดูเลต (Modulate) จึงต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของสัญญาณ ความกว้างของแถบความถี่ หรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ประสิทธิภาพของระบบที่ต้องการ รวมถึงความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน เป็นต้น



ภาพที่ 4: (Carrier) คลื่นพาห้



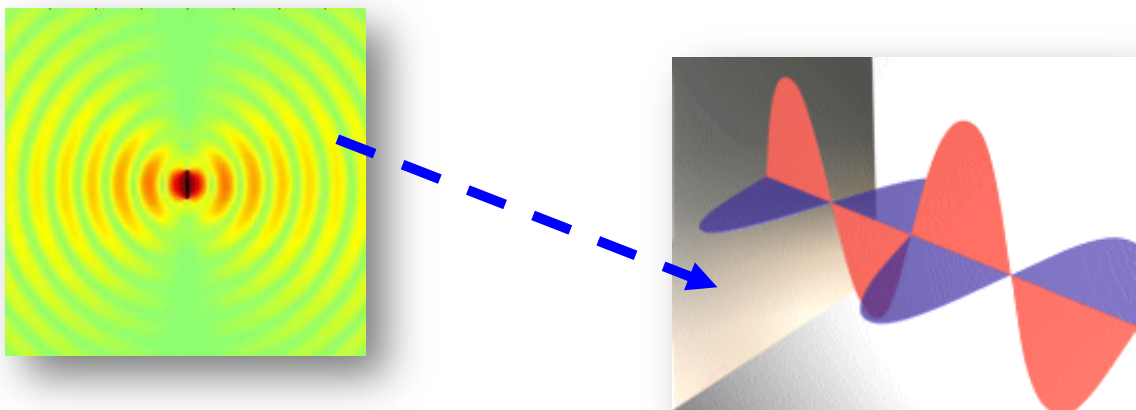
ภาพที่ 5: สัญญาณหรือข้อมูลที่ต้องการส่ง



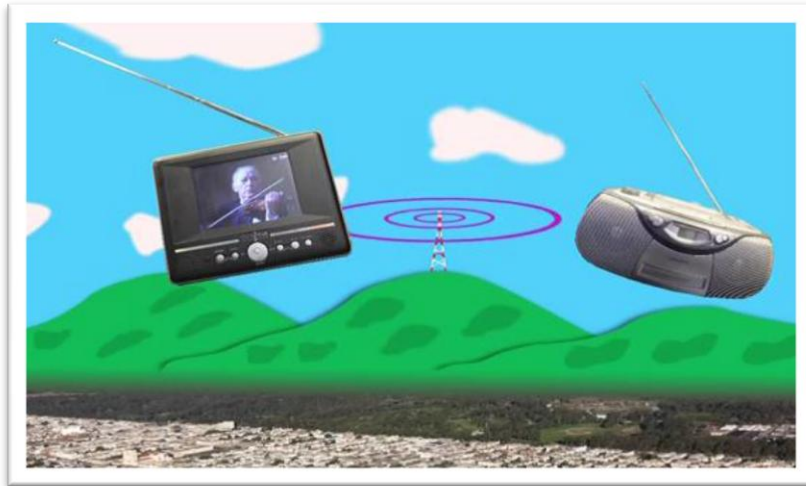
ภาพที่ 6: สัญญาณที่เกิดจากการผสมคลื่น (Modulation)

**คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**  
(Electromagnetic Waves)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า และคุณสมบัติ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีลักษณะเป็นคลื่นตามขวาง ซึ่งประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่มี ต้องอาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้

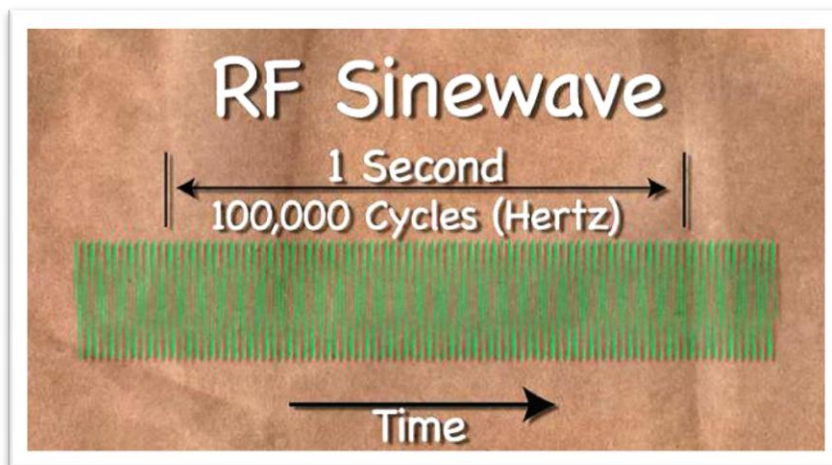


ภาพที่ 7: สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กทำมุมตั้งฉากกันและเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 8: คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถที่เคลื่อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

**ความถี่ (Frequency)** หมายถึง ปริมาณที่แสดง ว่าคลื่นเคลื่อนที่ไปได้กี่ลูก คลื่น (cycle) ในหนึ่งวินาที (second) หน่วยของความถี่คือ รอบต่อวินาที (1/s) หรือ เฮิรตซ์ (hertz) ตัวอย่างจะใช้ว่า Hz เราแทนสัญลักษณ์ความถี่ด้วย  $f$



ภาพที่ 9: Radio Frequency Sinewave

ภาพที่ 9 แสดงจำนวนความถี่ซึ่งนับได้ 100,000 ลูกคลื่น(Cycle) ต่อคาบเวลาใน 1 วินาที ดังนั้นเราสามารถเขียนจำนวนความถี่ออกมาได้เท่ากับ 100,000 Hz หรือ 100 KHz

**ความเร็วของคลื่นวิทยุ** หรือคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่มีความถี่สูงมากอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 10 KHz (10,000Hz) ถึง 300 GHz (300,000,000,000 Hz) ความถี่ในย่านนี้ หูมนุษย์ไม่สามารถรับฟังได้ คลื่นวิทยุสามารถเดินทางไปได้ไกลมาก ด้วยความเร็วเท่ากับคลื่นแสงซึ่งมีความเร็วในการเดินทาง 299,792,458 เมตรต่อวินาที (m/s) เนื่องจาก คลื่นวิทยุเดินทางเคลื่อนที่ไปในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) จึงสามารถเดินทางผ่านไปได้ในทุกหนทุกแห่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางพาคลื่นวิทยุไป ดังนั้น ในสุญญากาศ คลื่นวิทยุก็สามารถเดินทางไปได้ ซึ่งความถี่ของคลื่นวิทยุมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุ และความยาวคลื่น



ภาพที่ 10: คลื่นวิทยุเดินทางไปได้ไกลมาก ด้วยความเร็วเท่ากับคลื่นแสง

**ความยาวคลื่น** คลื่นวิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไปในแต่ละความถี่ ซึ่งคลื่นความถี่ต่ำขนาดคลื่นจะมีความยาวกว่าความถี่สูง นั่นหมายถึงความยาวคลื่นจะแปรผันตามความถี่ ซึ่งวิธีการหาขนาดของความยาวคลื่นสามารถนำความเร็วในการเคลื่อนของคลื่นซึ่งมีความเร็วเท่ากับแสง 299,792,458 เมตรหารด้วยค่าความถี่จะได้ความยาวคลื่นออกมา ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

$\lambda$  = ความยาวคลื่น

$c$  = ความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ 299,792.458 กิโลเมตรต่อวินาที

$f$  = ความถี่ของคลื่น

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\text{ความยาวคลื่น} = \frac{\text{ความเร็วคลื่น}}{\text{ความถี่}}$$

**ตัวอย่าง ความถี่ต่ำ**

ความถี่ 870 KHz

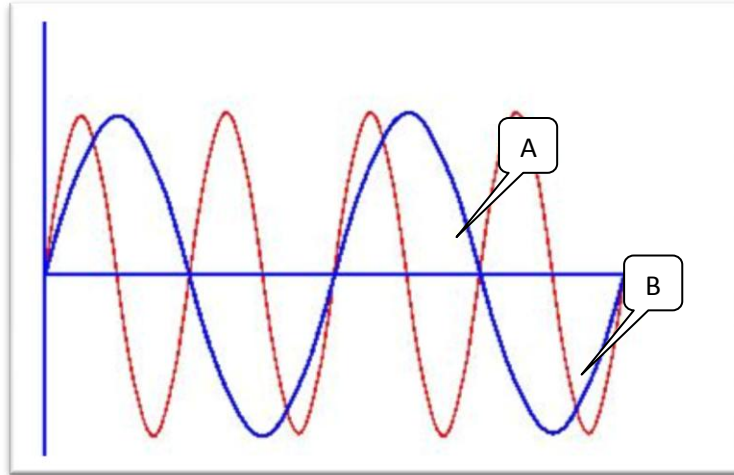
$$= \frac{229792458}{870,000} = 345 \text{ เมตร}$$

**ตัวอย่าง ความถี่สูง**

ความถี่ 870 MHz

$$= \frac{229792458}{870,000,000} = 26.4 \text{ เซนติเมตร}$$

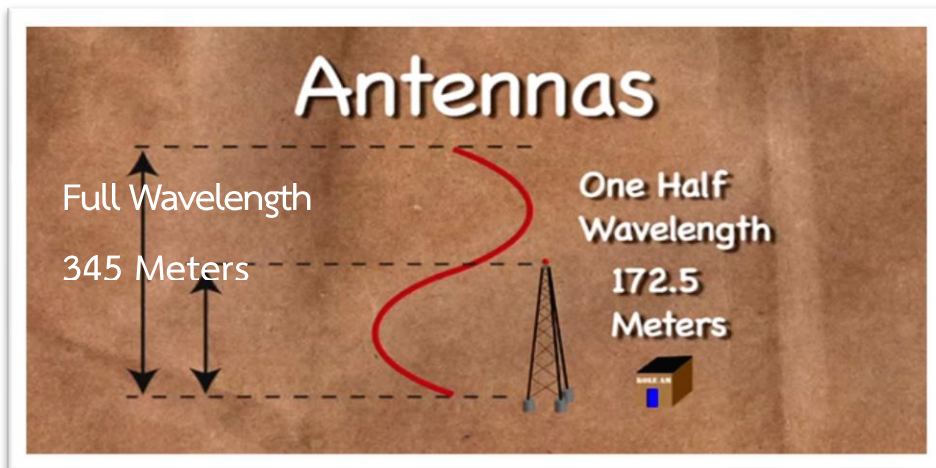




ภาพที่ 11: รูปคลื่น A ความถี่ต่ำ/คลื่น B ความถี่สูง

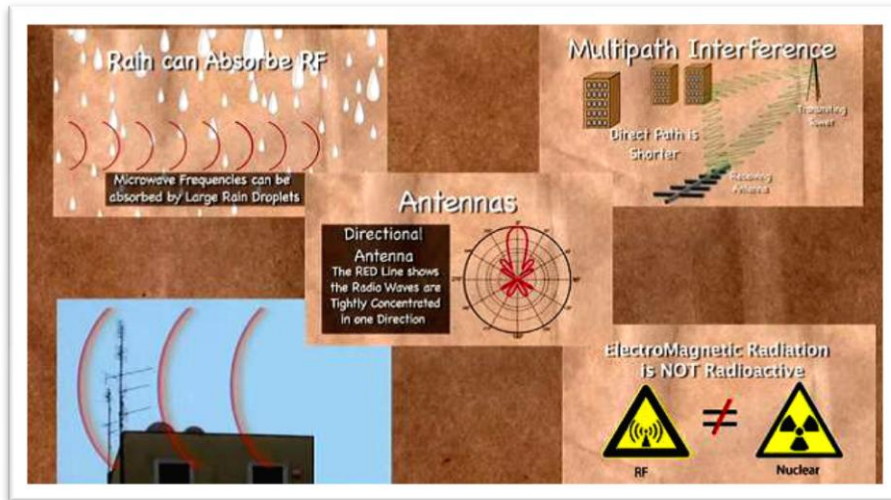
**สายอากาศ**  
(Antenna Size)

ความถี่มีผลต่อขนาดของสายอากาศ เช่น สายอากาศความถี่ต่ำจะมีขนาดยาวเท่ากับความยาวคลื่น ถ้าความยาวคลื่นหรือแลมด้า ( $\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 345 เมตร สายอากาศที่นำมาใช้ต้องยาว 345 เมตร ทั้งนี้การออกแบบสายอากาศสามารถออกแบบเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นได้  $\frac{1}{2}\lambda$



ภาพที่ 12: ความถี่มีผลต่อขนาดของสายอากาศ

คลื่นวิทยุยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผล กระทบต่อการเดินทางของคลื่นมีทั้งที่เป็นธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้นซึ่งคลื่นแต่ละช่วงความถี่จะมีการถูกดูดซับคลื่นจากความชื้นในอากาศ เม็ดฝน หรือถูกปิดกั้นโดย ภูเขา ต้นไม้ อาคาร

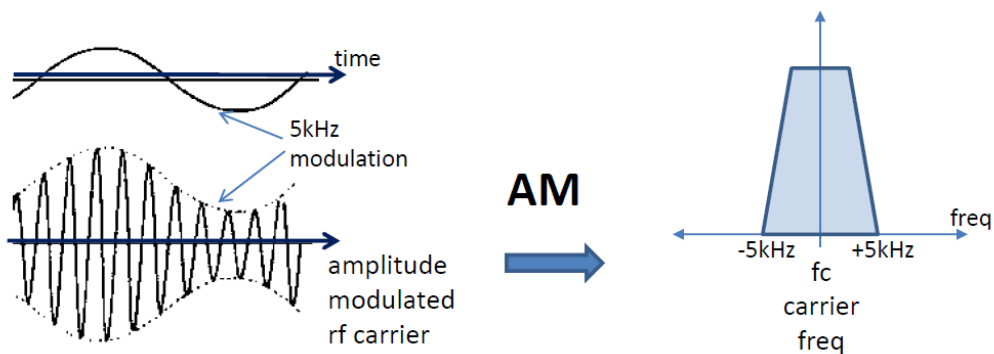


ภาพที่ 13: ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเดินทางของคลื่น

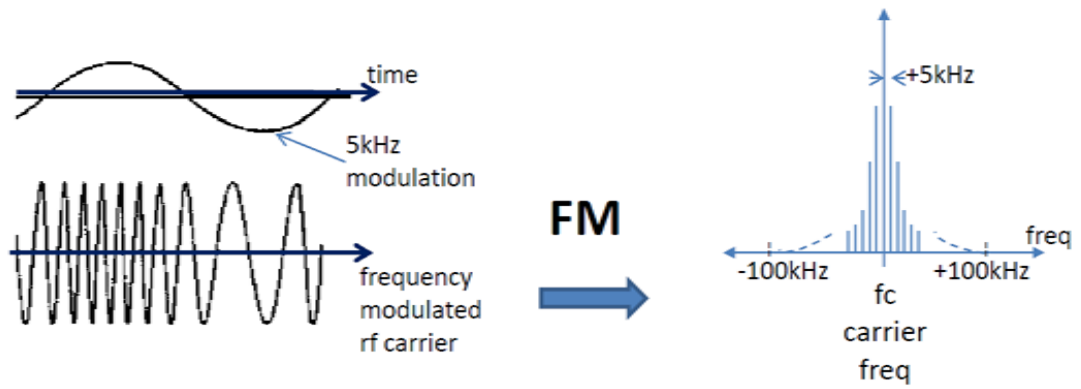
**วิทยุกระจายเสียงแบบอนาล็อก**  
(Analogue Radio Broadcasting)

1. การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation หรือ AM) วิธีนี้จะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณของข้อมูลที่เข้ามา การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการมอดูเลต แต่คุณภาพของสัญญาณไม่ดี มีความต้านทานสัญญาณรบกวนต่ำ ซึ่งเป็นเพราะแบนด์วิธ (Bandwidth) ประมาณ 10 KHz ดังนั้น การมอดูเลตแอมพลิจูดเหมาะกับข้อมูลที่ไม่ต้องการคุณภาพมากนัก เช่น สัญญาณเสียง เป็นต้น

2. การมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation หรือ FM) วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาห์ตามสัญญาณของข้อมูลที่เข้ามา การมอดูเลตแบบความถี่ ให้คุณภาพที่ดีกว่าการมอดูเลตแบบ แอมพลิจูด แต่ระบบจะซับซ้อนกว่า จะมีแบนด์วิธ (Bandwidth) ประมาณ 200 KHz



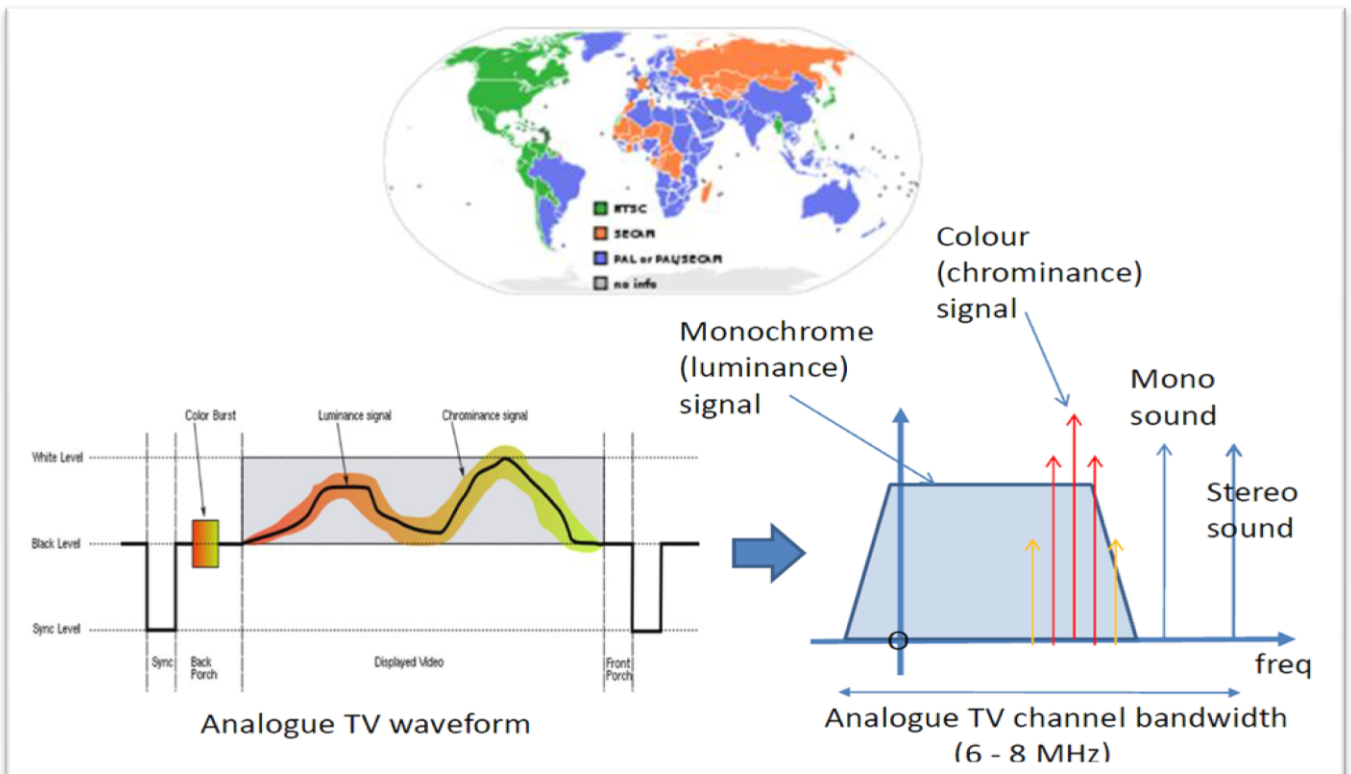
ภาพที่ 14: ขนาดแถบความถี่แบบ AM (Amplitude Modulation)



ภาพที่ 15: ขนาดแถบความถี่แบบ FM (Frequency Modulation)

### โทรทัศน์แบบอนาล็อก (Analogue TV Broadcasting)

โทรทัศน์ (Television) คือ การถ่ายทอดเสียงและภาพพร้อมกันจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยเครื่องที่เปลี่ยนสัญญาณภาพและเสียงเป็นคลื่นโทรทัศน์ เรียกว่า เครื่องส่งโทรทัศน์ (TV Transmission) และเครื่องที่เปลี่ยนคลื่นโทรทัศน์เป็นสัญญาณภาพและเสียง เรียกว่า เครื่องรับโทรทัศน์ (TV Receiver) นอกจากนี้ การแพร่ภาพ (Television Broadcasting) เป็นการส่งกระจายภาพและเสียงออกไปในรูปสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับภาพและเสียงได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การแพร่ภาพโทรทัศน์ ซึ่งจากเดิมที่เป็นการแพร่ภาพแบบไม่จำกัดผู้รับ



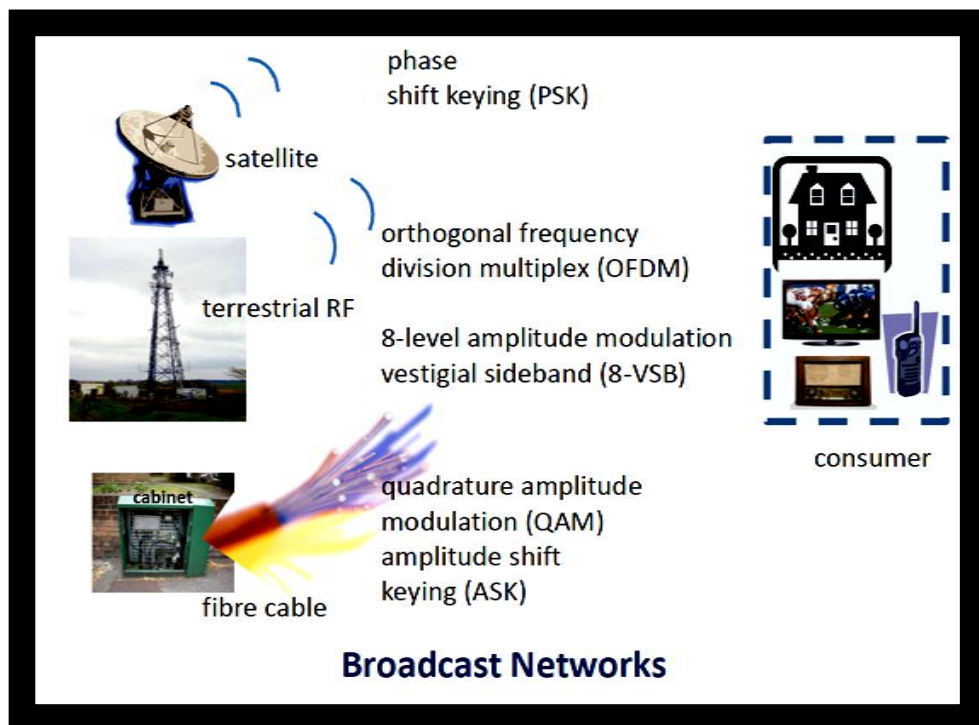
ภาพที่ 16: ขนาดแถบความถี่ TV Analogue

โทรทัศน์อนาล็อก (Analog Television) เป็นโทรทัศน์ที่มีระบบการรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงในรูปสัญญาณอนาล็อกแบบ A.M. และ F.M. โดยมีการส่งเป็นสัญญาณแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการผสมคลื่นแบบ Vestigial Sideband (VSB) ซึ่งเป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่มีการใช้งานทั่วไป เช่น โทรทัศน์ที่เป็นระบบ NTSC, PAL และ SECAM และจะมีแบนด์วิท (bandwidth) ประมาณ 6-8 MHz

**การมอดูเลตสำหรับการส่งแบบดิจิทัล**  
(Modulation for Digital Delivery)

การมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital Modulation) แบ่งย่อยออกได้ดังนี้

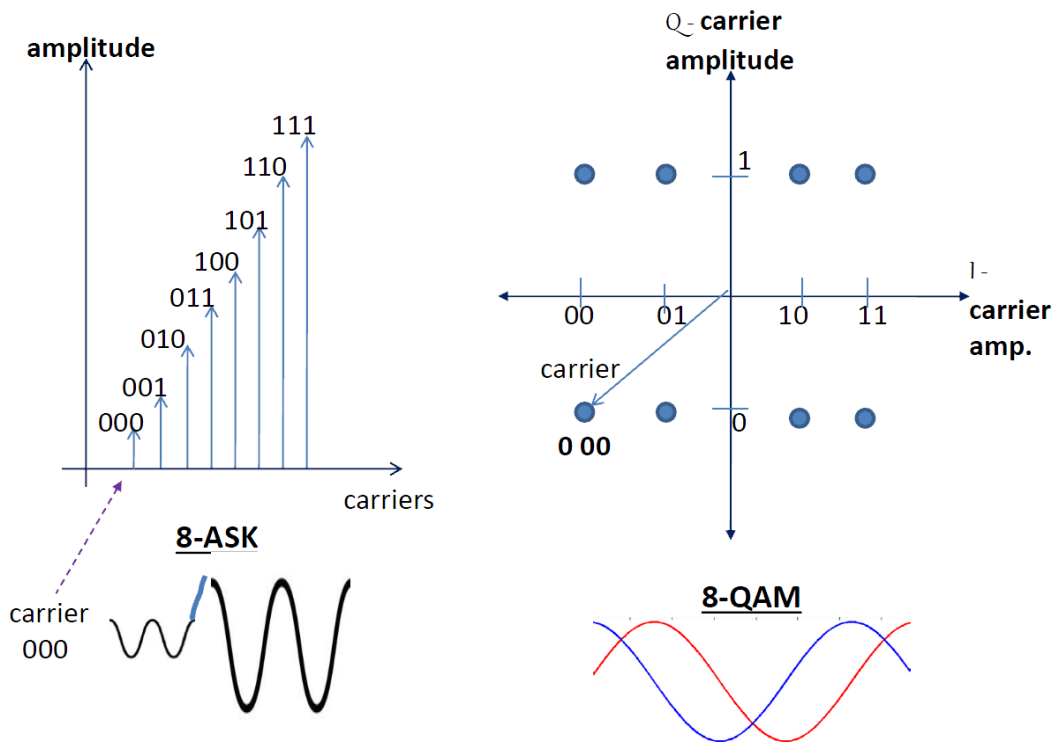
1. เฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying) คือการใช้รูปแบบของสัญญาณที่มี แอมพลิจูด และความถี่เดียวกัน แต่มีการส่งออกมาในจังหวะที่ต่างกัน
2. โอเอฟดีเอ็ม (OFDM - Orthogonal frequency-division multiplexing) เป็นเทคนิคการส่งสัญญาณที่มีพื้นฐานแนวคิดจากเทคนิคเฟสชิฟต์คีย์อิง frequency-division multiplexing (FDM)
3. เป็นการแบ่งสัญญาณอนาล็อก VBS ซึ่งทำงานในลักษณะ amplitude modulation 8-VBS เป็น 8 ส่วน การมอดูเลตแบบ QAM เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห้ตามบิตข้อมูลถึง 2 คุณลักษณะคือ ค่าขนาดแรงดันและมุมเฟส
4. การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude - Shift Keying : ASK) การมอดูเลตวิธีนี้ คือ การให้ความถี่ของคลื่นพาห้ (Carrier Wave) ให้มีค่าแรงดันสัญญาณสูงหรือต่ำ



ภาพที่ 17: โครงข่ายการส่งสัญญาณ

## Amplitude Shift Keying / Quadrature Amplitude Modulation

1. การมอดูเลตแบบดิจิตอลทางแอมพลิจูด (8-ASK : Amplitude-Shift Keying) แบ่งค่าลูกคลื่นออกเป็น 8 ช่วงซึ่งแต่ละช่วงมีการเปลี่ยนค่าขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ตามบิตข้อมูล (ข้อมูล เป็นค่าขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณพาห้)
2. เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห้ตามบิตข้อมูลถึง 2 คุณลักษณะคือ ค่าขนาดแอมพลิจูด และมุมเฟส ซึ่งสามารถเลือกเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าขนาดแอมพลิจูด และมุมเฟสตามลักษณะของ QAM เช่น 8-QAM สามารถเลือกค่าขนาดแอมพลิจูดและมุมได้หลายแบบ เช่น มี 1 ค่าขนาดแอมพลิจูด และ 8 มุมเฟส หรือ มี 2 ค่าขนาดแอมพลิจูด และ 4 มุมเฟสได้เช่นกัน ซึ่งค่าขนาดแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ถูกเลือกใช้สำหรับ QAM สามารถแสดงได้ในกราฟ Constellation diagram โดยรัศมีของพิกัดของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ Constellation diagram แสดงถึงขนาดของสัญญาณพาห้ และมุมของพิกัดแต่ละจุดเป็นมุมเฟสของสัญญาณพาห้ที่นั่นเอง ตัวอย่างของ Constellation diagram ของ 8-QAM และ 16-QAM

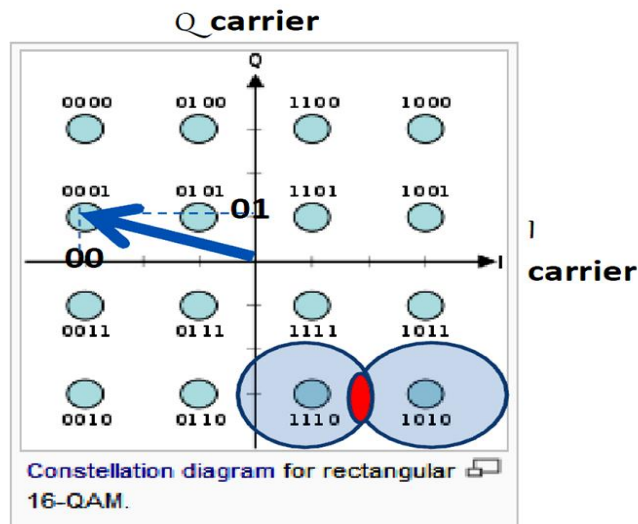


ภาพที่ 18: Amplitude Shift Keying / Quadrature Amplitude Modulation

## Constellation Diagram

เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ตามบิตข้อมูลถึง 2 คุณลักษณะคือ ค่าขนาดแรงดัน และมุมเฟส สามารถเลือกเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดัน และมุมเฟสตามลักษณะของ QAM เช่น 8-QAM สามารถเลือกค่าขนาดและมุมได้หลายแบบ เช่น มี 1 ค่าขนาดแรงดัน และ 8 มุมเฟส หรือ มี 2 ค่าขนาดแรงดัน และ 4 มุมเฟสได้เช่นกัน ซึ่งค่าขนาดและมุมเลื่อนที่ถูกเลือกใช้สำหรับ QAM สามารถแสดงได้ในกราฟ Constellation diagram โดยรัศมีของพิกัดของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ Constellation diagram แสดงถึงขนาดของสัญญาณพาห้ และ มุมของ พิกัดแต่ละจุดเป็นมุมเลื่อนของสัญญาณพาห้ที่นั่นเอง ตัวอย่างของ Constellation diagram ของ 8-QAM และ 16-QAM สำหรับเทคนิคการสร้างสัญญาณ QAM ทำได้ดังแสดงในภาพที่ 19 โดยทางภาคส่งจะทำการสร้างสัญญาณ QAM หนึ่งชุดที่เป็นตัวแทนข้อมูล 2 บิต จึงมีส่วนของการแปลง serial-to-parallel มาช่วย เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณ 2 บิต ( X และ Y) ไปบนสัญญาณพาห้ที่มีความถี่เดียวกัน โดยเอาสัญญาณบิตที่ 1 (X) คูณกับสัญญาณพาห้ที่เป็นสัญญาณ cosine ส่วนบิตที่ 2 (Y) จะถูกคูณกับสัญญาณพาห้ cosine ที่เลื่อนไป 90 องศา นั่นคือ สัญญาณพาห้ sine นั่นเอง จากนั้น สัญญาณของทั้งสองบิตจะถูกรวมเพื่อส่งออกไปพร้อมกันเป็นสัญญาณ QAM ส่วนที่ภาครับจะนำสัญญาณ QAM ที่ได้รับ มาทำการถอดสัญญาณบิต X และ บิต Y ทีละบิต แล้วจึงจัด เรียงลำดับบิตข้อมูลส่งออกไป (Parallel-to-Serial) โดยการถอดบิตข้อมูลบิต X สามารถทำได้ด้วยการนำสัญญาณ QAM คูณกับสัญญาณพาห้ cosine

อย่างไรก็ดี เมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องนำสัญญาณ สัญญาณอาจมีการเลื่อนตัวทำให้สัญญาณ QAM ที่ได้รับอาจเลื่อนไปจากที่ภาคส่งส่งออกมา ดังนั้น จึงต้องมีการ Sync สัญญาณพาห้ cosine ของภาครับให้ตรงกับภาคส่ง โดยปรับเปลี่ยนให้สัญญาณพาห้ตรงกับสัญญาณ QAM ด้วย phase shifter จากนั้น กรองสัญญาณด้วย LPF เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนสุดท้าย จะต้องมีการตัดสินใจว่าสัญญาณที่ได้รับ ควรเป็นข้อมูล '0'หรือ '1' ซึ่งทำได้โดยใช้ Decision Maker และจะได้สัญญาณบิต X กลับออกมาที่ภาครับ ส่วนขั้นตอนในการถอดข้อมูลบิต Y ทำได้เช่นเดียวกัน

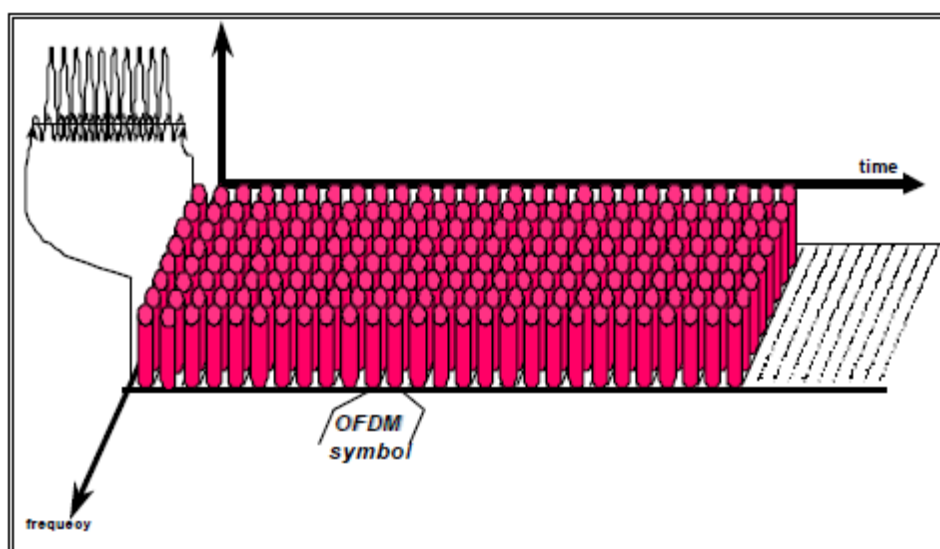


**Symbol 00 01 in 16-QAM**

ภาพที่ 19: Constellation Diagram

## Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM)

โดยข้อเท็จจริงแล้ว “Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ก็คือเทคโนโลยีตัวเดียวกับ OFDM นั่นเอง ข้อแตกต่างระหว่าง 2 สิ่งนี้มีเพียงจุดเดียวก็คือ ข้อมูลที่นำมาเข้ากระบวนการมัลติเพล็กซ์ กล่าวคือ จะมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปลายทางก่อน (Forward Error Correction: FEC) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่เข้ามาเข้าสู่ขั้นตอนการมัลติเพล็กซ์ โดยสรุปก็คือ ความแตกต่างระหว่าง 2 สิ่งนี้ จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเข้ารหัสสัญญาณ แล้วตามด้วยการมัลติเพล็กซ์ นอกจากนี้ ยังต้องแบ่งคลื่นส่งวิทยุเป็นคลื่นสัญญาณวิทยุย่อยๆ หลายความถี่ โดยในแต่ละคลื่นความถี่ย่อยสามารถผสมสัญญาณวิทยุในระบบ QPSK เนื่องจากระบบการส่งใช้คลื่นความถี่มากและในการส่งสัญญาณมีการสะท้อนของคลื่นสัญญาณมาก จึงต้องออกแบบต่างจากการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมและผ่านเคเบิล และในการรับสัญญาณอาจมีความผิดพลาด จึงมีการใช้ error correcting (Reed-Solomon) ส่งสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF และ UHF ความกว้างช่องสัญญาณ Bandwidth 7- 8 MHz. ในการส่งสัญญาณจะได้ข้อมูล 16.59 Mbit/s



ภาพที่ 20: คลื่นส่งวิทยุจะถูกแบ่งย่อยๆ หลายความถี่

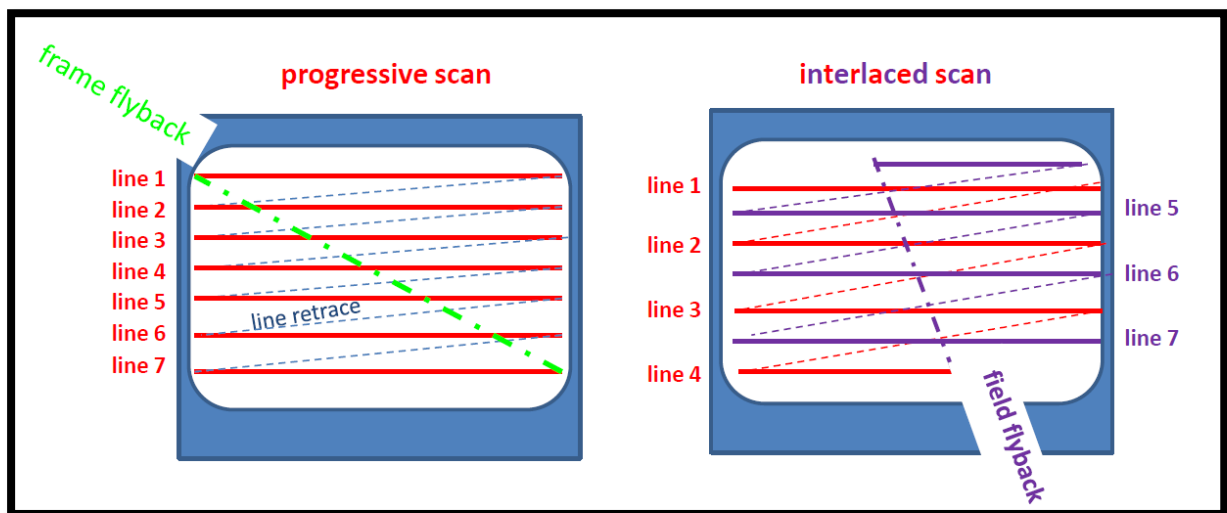
## Video and Formats

### ○ Video

แนวคิดพื้นฐานการบันทึกวิดีโอภาพ คือ การฉายแสงลงบนรูปภาพหรือวัตถุที่ต้องการจะบันทึก ก็จะเกิดเป็นเงาภาพขึ้น ซึ่งเงาภาพดังกล่าวจะส่งผ่าน Direction of Rotation ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านหรือไม่ผ่านรูปภาพไปยัง Phototube ซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตสัญญาณไฟฟ้า โดย Phototube จะผลิตสัญญาณไฟฟ้าแบบหนึ่งเมื่อได้รับสัญญาณภาพที่ผ่าน Direction of Rotation และจะผลิตสัญญาณไฟฟ้าอีกแบบหนึ่งเมื่อไม่ได้รับสัญญาณภาพ ซึ่งสัญญาณทั้งสองจะถูกส่งไปยังเครื่องรับ หลักการดังกล่าวถูกพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้กับการบันทึกภาพด้วยกล้องโทรทัศน์ กล่าว คือ กล้องโทรทัศน์จะแปลงภาพเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจุดหรือสัญลักษณ์ในภาพจะเป็นสัญญาณช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่ำสุดหรือช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นลบ และในภาพดังกล่าว ถ้าบริเวณใดไม่มีจุดหรือสัญลักษณ์ ก็จะเป็นสัญญาณช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูงสุดหรือช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นบวก

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไป แต่ละภาพจะมีรายละเอียดของภาพจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องอาศัยหลายเทคนิคเพื่อมาช่วยให้การบันทึกวิดีโอ เพื่อให้ได้ภาพครบสมบูรณ์เหมือนจริงหรือเหมือนภาพต้นฉบับ โดยในที่นี้ จะกล่าวถึงเทคนิคที่สำคัญที่นำมาประยุกต์ใช้กับการบันทึกวิดีโอโดยสังเขป ดังนี้

- ❖ การสแกนภาพ (Scanning) โดยทั่วไปการสแกนภาพมีสองวิธี ได้แก่
  - วิธี Progressive Scan เป็นการสแกนภาพแนวตั้งจากบนลงล่าง โดยภาพที่ได้จะมีคุณภาพค่อนข้างสูง แต่ต้องใช้ Bandwidth ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามสัญญาณภาพดังกล่าวแม้ผ่านกระบวนการบีบอัดสัญญาณก็ยังคงให้คุณภาพเหมือนกับต้นฉบับ โดยวิธีการนี้ถูกนำมาใช้กับจอคอมพิวเตอร์
  - วิธี Interlaced Scan เป็นการสแกนภาพไขว้ ลักษณะซิกแซกแบบเส้นทแยง โดยภาพที่ได้จะยังคงให้คุณภาพระดับดีแต่ใช้ bandwidth น้อยลงครึ่งหนึ่ง โดยวิธีการนี้ถูกนำมาใช้กับจอโทรทัศน์



ภาพที่ 21: การสแกนภาพแบบ Progressive และ Interlaced

- ❖ สัญญาณวิดีโอ (Video Signals) หลังจากภาพได้ถูกสแกนแล้ว ก็จะถูกแปลงเป็นสัญญาณภาพวิดีโอ ซึ่งสัญญาณภาพดังกล่าวประกอบด้วยสัญญาณแม่สีสามสี กล่าวคือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน (RGB) แต่สัญญาณภาพที่ได้ดังกล่าวก่อนที่จะนำไปใช้งาน ต้องผ่านการกระบวนการแปลงเป็นสัญญาณ Component



โดยสีเขียว (G) จะแปลงเป็นสัญญาณ Y คือ สัญญาณความสว่าง (Luminance) ในขณะที่สีน้ำเงิน (B) จะแปลงเป็นสัญญาณ Cb ส่วนสีแดง (R) จะแปลงเป็นสัญญาณ Cr ทั้ง Cb และ Cr เป็นสัญญาณสี (Color) โดยสัญญาณ Component ที่แปลงเป็น Y Cb Cr จะอยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์ ที่เรียกว่า Chroma matrixing การที่สัญญาณอยู่ในรูปของเมตริกซ์ นอกจากจะให้องค์ประกอบของภาพครบถ้วนแล้ว ยังป้องกันข้อมูลหรือสัญญาณภาพเสียหายหรือสูญหายในระหว่างทางหรือระหว่างการส่งสัญญาณอีกด้วย เพราะหากมีการเสียหายหรือสูญหายเกิดขึ้นก็จะมาสามารถตรวจพบได้จากการ Chroma matrixing โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Gamma Correction Error Filter ทั้งนี้สัญญาณวิดีโอ (Video Signals) ที่ถูกใช้เป็นหลัก คือ สัญญาณ Y ส่วนสัญญาณ Cb Cr จะเป็นการใช้ประกอบในกรณีที่สัญญาณภาพ Y ภาพเกิดการเสียหายหรือสูญหาย

- ❖ Quantisation – Revision คือ ระดับความแตกต่างหรือความผิดพลาด (Quantisation Error) ที่เกิดจากการแปลงภาพหรือวิดีโอเป็นสัญญาณดิจิทัล ทั้งนี้สัญญาณดิจิทัลจะอยู่ในรูปของเลขฐานสอง (0,1) ที่สะท้อนอยู่ในรูปบิตเรท (Bit rate) กล่าวคือ  $2^3$  จะมีค่าเท่ากับ 16 บิต ในขณะที่  $2^4$  จะมีค่าเท่ากับ 64 บิต ซึ่งการที่บิตเรทต่ำ หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณภาพเดิมหรือภาพจริงกับสัญญาณภาพดิจิทัล (Quantisation Error) จะมีค่ามาก ผลก็คือภาพที่ได้ให้ความคมชัดน้อย ในทางกลับกัน การที่บิตเรทสูง หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณภาพเดิมหรือภาพจริงกับสัญญาณภาพดิจิทัล (Quantisation Error) จะมีค่าน้อย ผลก็คือภาพที่ได้จะมีความคมชัดสูง อย่างไรก็ตาม ความคมชัดของภาพที่ขึ้นอยู่กับจำนวนบิตเรท และจะพดพันกับความหนาทวนต่อสัญญาณรบกวน (Noise)
- ❖ Sampling – Revision คือการกรองสัญญาณภาพรบกวน กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนสัญญาณวิดีโอเป็นสัญญาณคลื่นความถี่ จะมีสัญญาณคลื่นบางช่วงเวลาที่ทับกันหรือกวนกันทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัด การแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใส่ตัวกรองสัญญาณ (Filter) โดยการกำหนดค่าสัญญาณภาพในช่วงคลื่นความถี่ที่ต้องการ เพื่อตัด ช่วงสัญญาณภาพในช่วงคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป ทำให้สัญญาณภาพไม่ทับกันหรือกวนกัน เทคนิคการทำ Sampling Revision จะเหมือนกับการกำหนด Guard Band Interval ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล

○ รูปแบบหรือมาตรฐานสัญญาณโทรทัศน์ (Format)

การผลิตรายการโทรทัศน์ในท้องส่งเริ่มนำเอาสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล ตามมาตรฐาน “CCIR 601” มาใช้ตั้งแต่ปี 1990 สัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัลดังกล่าว เป็นไปตามมาตรฐาน “CCIR 601” หรือในปัจจุบัน คือ ITU-BT R601 มีอัตราข้อมูล 270 Mbit/sec โดย ITU ได้กำหนดมาตรฐานและรูปแบบสัญญาณสี (Image Format) ดังนี้

601 image format	sig Horiz resolutn%	C sig Vert resolutn %	Typical appln	Notes
4:4:4	100	100	HD display	Usually RGB signals
4:2:2	50	100	SD TV Studio Rec	D1
4:2:0	50	50	Mpeg i/p	C alternates line by line

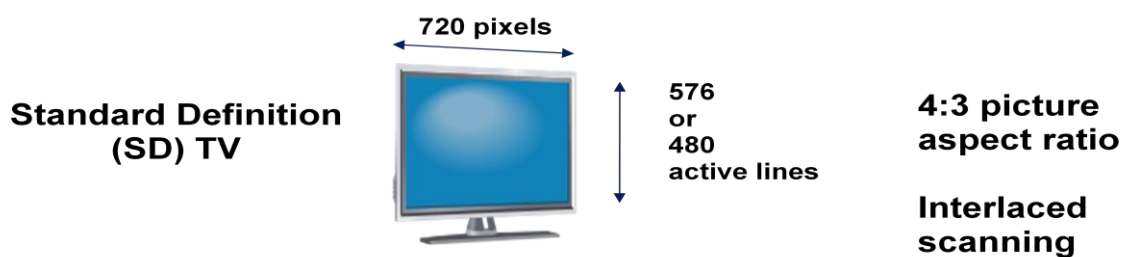
601 image format	sig Horiz resolutn%	C sig Vert resolutn %	Typical appln	Notes
4:1:1	25	100	Consumer DV	C sigs pair for every 4 <sup>th</sup> Y
2:1:0	25	25	Video conf	C alternates line by line

นอกจากมาตรฐานสัญญาณโทรทัศน์ “CCIR 601” แล้วยังมีมาตรฐานสัญญาณของอุปกรณ์อื่นๆ ดังนี้

Image Format	Horiz Resolutn (# pixels/line)	Vert Resolutn (# of lines)	Application	Notes
VGA	640	480	Computing	Square pixels
CIF	360	288	Video-conf	30 frames/s
QCIF	180	144	Portables	15 frames/s
SQCIF	128	96	Handhelds	>5 frames/s

### การกำหนดมาตรฐานเครื่องรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

1. มาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition)

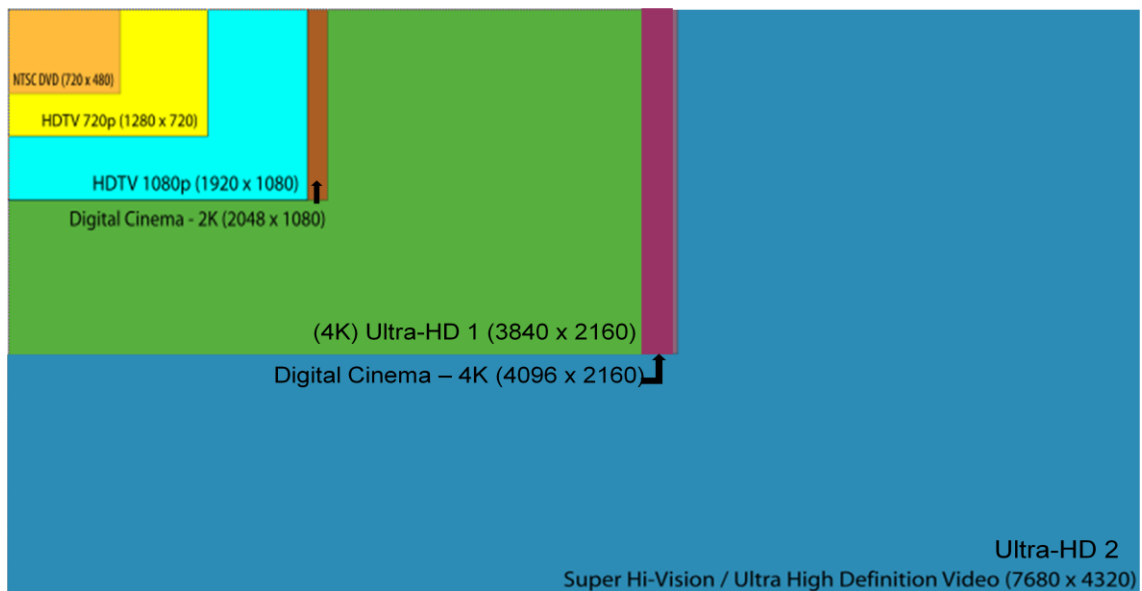


2. มาตรฐานความคมสูง (High Definition)



3. มาตรฐานความคมสูงสุด (Ultra High Definition)

HDTV Format	Image Spatial Resolution HXV	Approx Mpixels Displayed	Image scanning rate (Hz)	Notes
UHD-1C	3840 x 2160	8	Up to 60	2014/15  8/10 bits/pixel
				TYPICAL UNCOMPRESSED BITRATE YCbCr 10bits/pixel  => 10 Gbps
UHD-1H	3840 x 2160	8	Up to 120	2016/17  10 + bits/pixel  New colour space
UHD-2	7680 x 4320	32	Up to 120	2020 +  10-20 bits/pixel  22.2 audio chs

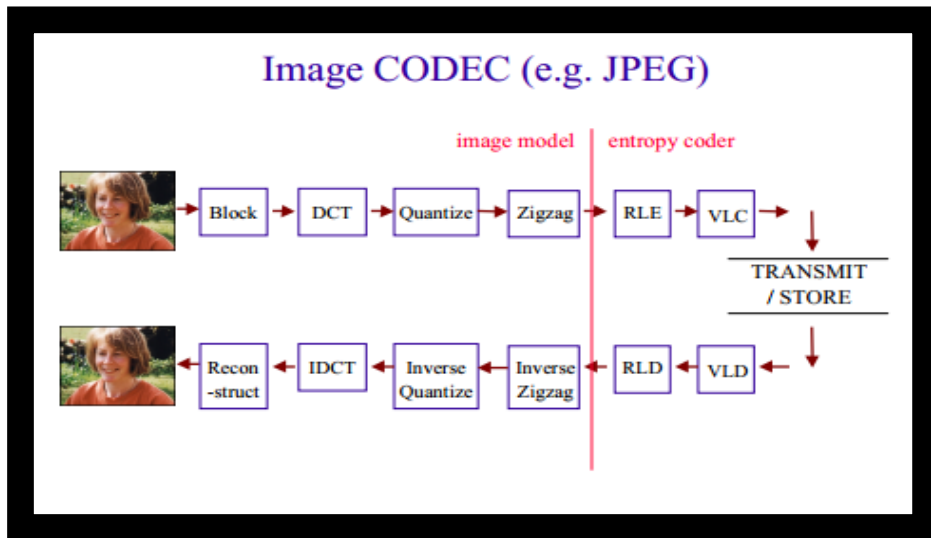


ภาพที่ 22: เมื่อเปรียบเทียบมุมมองจอโทรทัศน์ระหว่าง UHD (4k) เทียบกับ HD และ SD

## General Video Compression

มีกระบวนการหลักในการบีบอัดสัญญาณโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 4 กระบวนการคือ

1. กระบวนการเตรียมสัญญาณเพื่อการบีบอัดที่มีประสิทธิภาพ
2. การลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ (Spatial Redundancy) จากเฟรมภาพ หรือ พิลด์ภาพ เรียกว่า การบีบอัดแบบ Intra-frame
3. การลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลา (Temporal Redundancy) โดยใช้ข้อมูลจากหลาย ๆ เฟรมภาพ เรียกว่า การบีบอัดแบบ Inter-frame
4. กระบวนการทั้งสองกระบวนการจะปรับอัตราบิต โดยระบบควบคุมอัตราบิตเพื่อให้ เป็นแบบอัตราบิตคงที่หรือ เป็นแบบอัตราบิตปรับค่าได้ ที่สามารถรักษาคุณภาพให้เกือบคงที่ใด



ภาพที่ 23: กระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพ

จากภาพที่ 23 ข้างต้นแสดงให้เห็นสร้างและการแปลงสัญญาณภาพจะมี 2 ส่วนคือ กล่าวคือ

1. การสร้างและการแปลงสัญญาณภาพ (Image Model) ในการสร้างสัญญาณภาพจะเริ่มจากนำภาพมา กำหนดเป็นบล็อกๆ เป็นสัญญาณสามสีคือ แดง เขียว น้ำเงิน โดยแต่ละบล็อก มีขนาด  $16 \times 16$  บล็อก ซึ่งในแต่ละบล็อกย่อยก็จะถูกแปลงเป็นสัญญาณ Component โดยสัญญาณ Y ซึ่งเป็นความสว่าง (Luminance) จะถูกแบ่งเป็น  $16 \times 16$  บล็อกย่อยๆ อีก ส่วนสัญญาณสี (Color) คือสัญญาณ Cb และ Cr จะถูกแบ่งเป็น  $8 \times 8$  บล็อกย่อยๆ ซึ่งในแต่ละบล็อกขนาด  $8 \times 8$  จะมีรูปแบบหรือ pattern ของภาพ ขนาด 64 pattern หลังจากนั้น ก็จะมีการวิเคราะห์ทั้ง 64 Pattern เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แล้วจะเรียง จากค่ามากไปหาค่าน้อยโดยเริ่มจากมุมซ้ายด้านบน โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากแสดงว่าในบล็อกนั้นมี

pattern แตกต่างกับบล็อกอื่นๆมาก ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์น้อยๆ หรือเป็นศูนย์แสดงว่าในบล็อกนั้นมี pattern แตกต่างกับบล็อกอื่นๆ น้อย หรืออาจเป็นสิ่งเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ เรียกว่า Quantize หลังจากจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์และทราบ pattern แล้วก็สแกนภาพด้วยวิธีการ Zigzag โดยจะสแกนเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หรือมี pattern ที่แตกต่างจากบล็อกอื่นๆ

2. การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณภาพ (Entropy Coder) หลังจากข้อมูลภาพผ่านกระบวนการ Image Model แล้วจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการบีบอัดข้อมูล โดยวิธีที่เรียกว่า RLE (Run Length Encoding) และ VLC (Variable- Length Coding) เพื่อให้เกิดการประหยัดในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ตามลำดับ กล่าวคือ ภาพที่เหมือนกันจะส่งเพียงครั้งเดียว ส่วนที่เหลือจะเป็นการส่งภาพที่มีความแตกต่างจากภาพแรก

ทั้งนี้ สำหรับการกระบวนการในการแปลงสัญญาณภาพจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการสร้างแต่ทำในลักษณะตรงกันข้าม (Reverse)

### Spectrum and Broadcast System

#### Spectrum

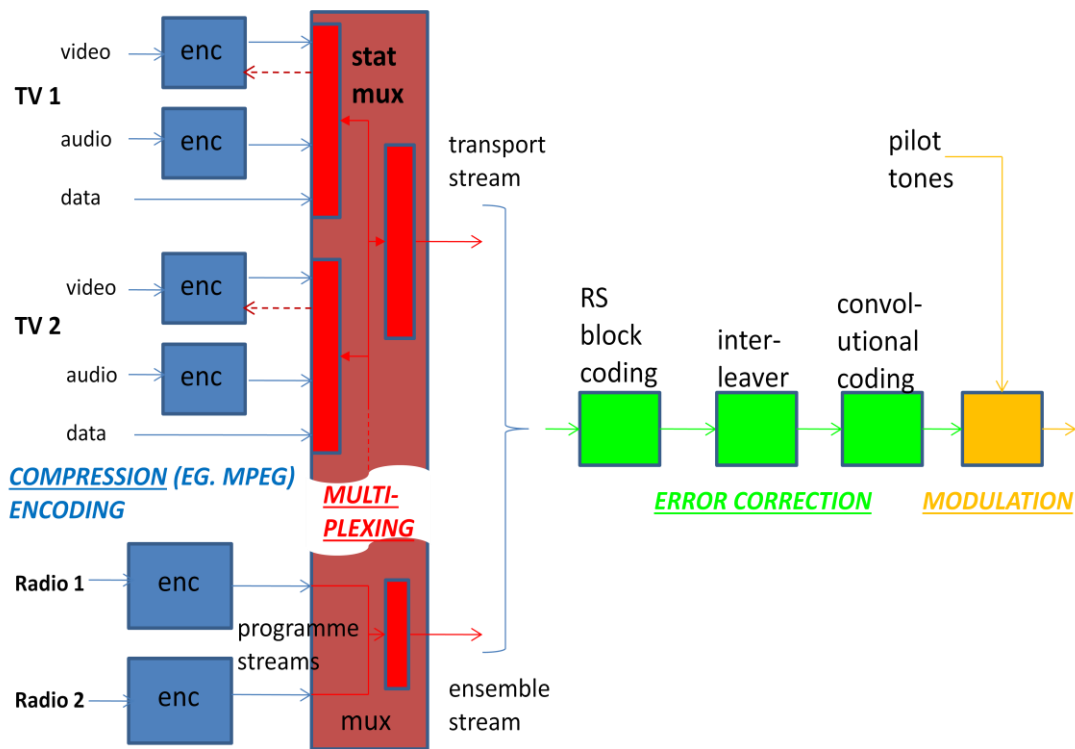
ITU ได้จัดสรรความถี่ย่าน VHF และ UHF สำหรับกิจการ Broadcast (แต่หลายประเทศอาจใช้ความถี่เหล่านี้กับกิจการอื่นๆ เช่น Fix หรือ Mobile ร่วมกับกิจการ Broadcast ด้วย) ไว้ดังนี้คือ

- VHF Band I ความถี่ 47-72 MHz
- VHF Band II ความถี่ 87-108 MHz
- VHF Band III ความถี่ 174-230 MHz
- UHF Band IV,V ความถี่ 470-890 MHz

โดยทั่วไป ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลจะ ใช้กันบนย่านความถี่ UHF มากกว่าย่านความถี่ VHF ประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน คือใช้ UHF Band IV, V ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในปัจจุบัน

## ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ (Broadcast System)

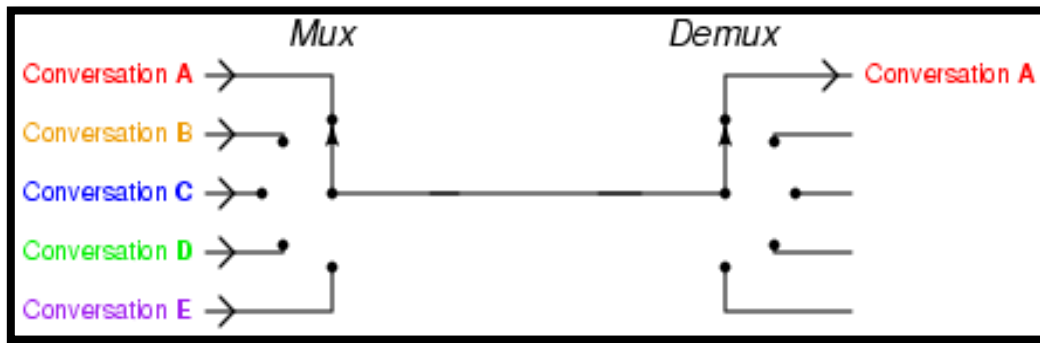
ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลจะใช้ความกว้างของแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) 8 MHz ต่อ Multiplexing ซึ่งสามารถรองรับช่องรายการได้ 6 ถึง 12 ช่องรายการ ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์และขนาดความคมชัดของช่องรายการ ซึ่งหากเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ในระบบอนาล็อกแล้วจะส่งได้เพียง 1 ช่องรายการเท่านั้น โดยกระบวนการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 24: กระบวนการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล

จากภาพที่ 24 ช่องรายการโทรทัศน์และวิทยุแต่ละช่องจะส่งสัญญาณภาพ (Video) สัญญาณเสียง (Audio) และสัญญาณข้อมูล (Data) มายังผู้ร่วมสัญญาณหรือ Multiplexing เมื่อสัญญาณโทรทัศน์เข้ามายัง Mux จะผ่านกระบวนการรวมสัญญาณที่เรียกว่า Stat Mux (เป็นการใช้หลักการทางสถิติในการจัดสรรคลื่นความถี่ตามความต้องการของช่องรายการ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่มีประสิทธิภาพสูงสุด ) สัญญาณที่ออกจาก Multiplexing เรียกว่า สัญญาณ Transport Stream สัญญาณที่ไต่ยังไม่ได้กำหนดค่า หรือยังไม่ได้เข้ารหัสสัญญาณ ดังนั้น จึงต้องกำหนดค่าหรือเข้ายังเข้ารหัสสัญญาณเพื่อให้สัญญาณทนต่อการรบกวนก่อนส่ง สัญญาณไป Modulation โดยการเข้ารหัสสัญญาณจะประกอบด้วย RS Block coding, Interleave และ convol-utional coding

สำหรับการทำงานของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ (Demux) จะทำงานในลักษณะกลับกันกับ Mux ดังแสดงในภาพที่ 25 กล่าวคือช่องรายการ A ก็จะถูกส่งไปยังเครื่องรับเครื่องรับสัญญาณ (Demux) ช่องรายการ A



ภาพที่ 25: Multiplexing

### ประวัติและความเป็นมาของการส่งสัญญาณในกิจการกระจายเสียง

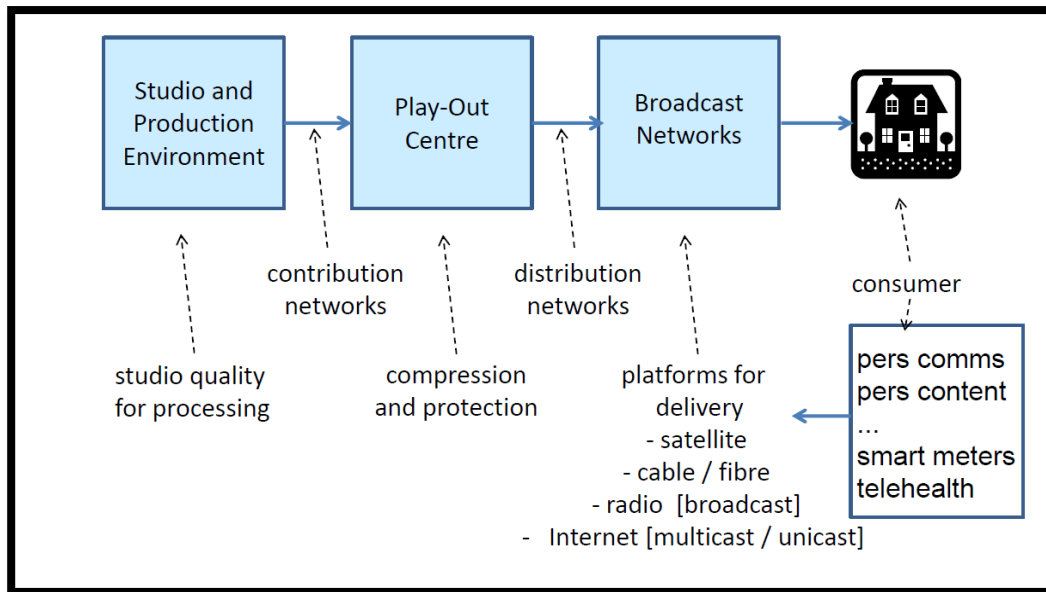
แต่ดั้งเดิมนั้น การส่งสัญญาณในกิจการกระจายเสียงเป็นการส่งสัญญาณแบบทางเดียว หรือเป็นการส่งสัญญาณที่ได้แค่ 1 สัญญาณในการส่งแต่ละครั้ง (Half-duplex) เช่น การส่งโทรเลขภาพ และการส่งสัญญาณวิทยุระบบดั้งเดิม



**Transmission of Transatlantic Radio Signal, 1901  
Poldhu, Cornwall, England**

ภาพที่ 26: ระบบการส่งวิทยุในยุคดั้งเดิม

แต่เมื่อเทคโนโลยีได้มีการพัฒนา จึงทำให้การส่งสัญญาณในกิจการกระจายเสียงเป็นการส่งสัญญาณแบบสองระบบ กล่าวคือ สามารถส่งและรับสัญญาณได้ในเวลาเดียวกัน (Full duplex)



ภาพที่ 27: ระบบการส่งกิจการกระจายเสียงในปัจจุบัน

ในปัจจุบันนั้น ระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินได้ใช้ระบบส่งแบบกำลังสูง (High Power Transmitter) โดยอาศัยเสาส่งและสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น ในสหราชอาณาจักร มีการตั้งเครื่องส่งอยู่ประมาณ 80 แห่งเพื่อให้บริการโครงข่ายดิจิทัลแบบความคมชัดทั่วไป (Digital Standard Definition) ทั่วประเทศ โดยมีระดับการส่งอยู่ระหว่าง 470-870 เมกะเฮิรตซ์

ตารางที่ 1: ประเภทการใช้งาน จำแนกตามความถี่ต่างๆ ของสหราชอาณาจักร

Band	Frequency	Wavelength	Activities
ELF	3-30 Hz	100,000 km – 10,000 km	Communication with submarines
SLF	30-300 Hz	10,000 km – 1000 km	
ULF	300-3000 Hz	1000 km – 100 km	
VLF	3-30 kHz	100 km – 10 km	Time signals, Navigation, Heart rate monitors
LF	30-300 kHz	10 km – 1 km	Navigation, time signals, AM longwave broadcasting, RFID, HF amateur radio



Band	Frequency	Wavelength	Activities
MF	300–3000 kHz	1 km – 100 m	AM (medium-wave) broadcasts, amateur radio, avalanche beacons
HF	3–30 MHz	100 m – 10 m	Shortwave, CB radio, amateur radio, RFID, Over-the-horizon radar, Marine and mobile radio telephony
VHF	30–300 MHz	10 m – 1 m	FM radio, TV broadcasts and ground-to-aircraft and aircraft-to-aircraft communications
UHF	300–3000 MHz	1 m – 100 mm	amateur radio, weather radio, Television broadcasts, microwave ovens, microwave devices/communications, radio astronomy, mobile phones, wireless LAN, Bluetooth, ZigBee, GPS, amateur radio, weather radio
SHF	3–30 GHz	100 mm – 10 mm	Radio astronomy, microwave comms, wireless LAN, most modern radars, communications satellites, satellite television broadcasting, DBS
EHF	30–300 GHz	10 mm – 1 mm	Radio astronomy, high-frequency microwave radio relay, microwave remote sensing
THz/THF	300–3,000 GHz	1 mm – 100 $\mu$ m	Terahertz imaging – a potential replacement for X-rays in some medical applications, sub-mm remote sensing

เมื่อระบบการส่งสัญญาณกิจการกระจายเสียงได้เปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระบบดิจิทัล จึงได้เกิดมาตรฐานทางเทคนิคที่ใช้  
นำส่งสัญญาณอยู่หลากหลายแบบ โดยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

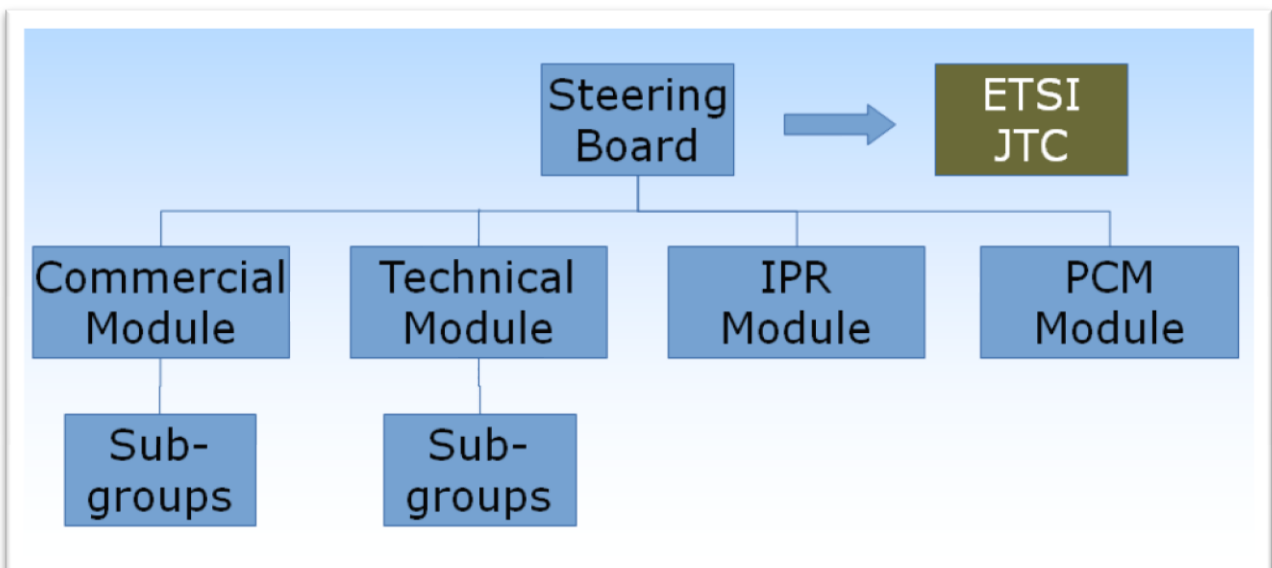
ระบบการส่ง	มาตรฐานทางเทคโนโลยี
การส่งสัญญาณระบบวิทยุดิจิทัล	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HD Radio</li> <li>- EU-147 Family (DAB, DMB)</li> <li>- Digital Radio Mondiale (DRM)</li> </ul>
การส่งสัญญาณระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ATSC</li> <li>- ISDB</li> <li>- DTMB/CMMB</li> <li>- DVB</li> </ul>

### มาตรฐาน DBV ยุคแรก: DVB และหลักการเข้ารหัสสัญญาณภาพ

ข้อดีของระบบดิจิทัลคือ ใน 1 ช่องความถี่ เราสามารถมีได้หลายช่องรายการ ซึ่งแตกต่างจากระบบอนาล็อกที่มีได้แค่ 1 ช่องรายการ นั่นหมายความว่า เราสามารถใช้กำลังส่งที่น้อยลงเพื่อให้บริการได้ในพื้นที่เท่าเดิม และสามารถส่งข้อมูลรายละเอียดช่องรายการ ตารางรายการล่วงหน้า หรือส่งรายการวิทยุ หรือโทรทัศน์ความคมชัดสูงไปได้ในคราวเดียว

DVB เป็นองค์กรสำหรับสร้างและพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล โดยจะยึดโยงกับมาตรฐานของสถาบันด้านเทคนิคของยุโรป (ETSI) มีสมาชิก 197 องค์กร (ข้อมูลจากเดือนกรกฎาคม 2014) แต่มากกว่า 1 ใน 3 เป็นประเทศนอกยุโรป ซึ่งสมาชิก DVB ประกอบด้วย

- ผู้ส่งออกอากาศ
- ผู้ให้บริการโครงข่าย (MUX)
- ผู้ผลิตเครื่องรับ และผู้ผลิตรายการ
- องค์กรกำกับดูแล

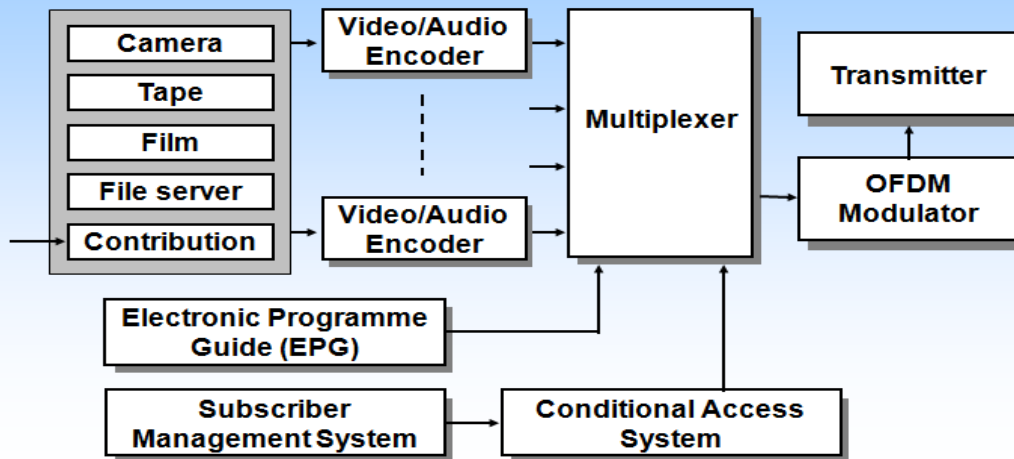


ภาพที่ 28: โครงสร้างภายใน DVB

ทั้งนี้ มาตรฐาน DVB ถูกให้บริการบน 3 แพลตฟอร์ม

- DVB-S และ DVB-S2 ถูกนำไปใช้ในการให้บริการผ่านดาวเทียม
- DVB-C ถูกนำไปใช้ให้บริการทางเคเบิล
- DVB-T และ DVB-T2 ถูกนำไปใช้ให้บริการทางภาคพื้นดินมากกว่า 120 ประเทศ

## The basic building blocks



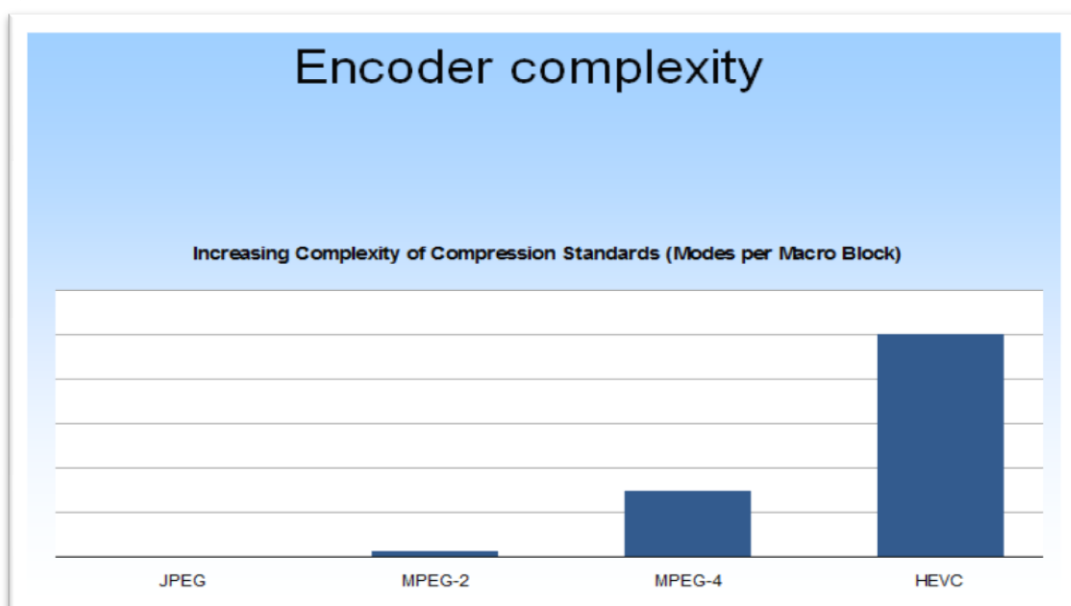
ภาพที่ 29: Basic Building Blocks

### การเข้ารหัสสัญญาณภาพ

แนวคิดของการเข้ารหัสสัญญาณภาพ คือ การลดจำนวนบิตของข้อมูลภาพให้ได้มากที่สุด แต่ยังสามารถคงคุณภาพการรับชมอยู่ได้ ปัจจุบันมีมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณภาพ ดังนี้

- ISO/IEC 13818-2 MPEG-2 Video, ITU-T Rec. H.262 (1994)
- ISO/IEC 14496-10 MPEG-4 Advanced Video Coding (AVC), ITU-T Rec. H.264 (2003)
- ISO/IEC 23008-2 High Efficiency Video Coding (HEVC), ITU-T H.265 (2013)

เราสามารถเรียงลำดับความละเอียดของการเข้ารหัสสัญญาณภาพจากน้อยไปหามากได้ ดังนี้ JPEG, MPEG-2, MPEG-4, HEVC (ภาพที่ 30)

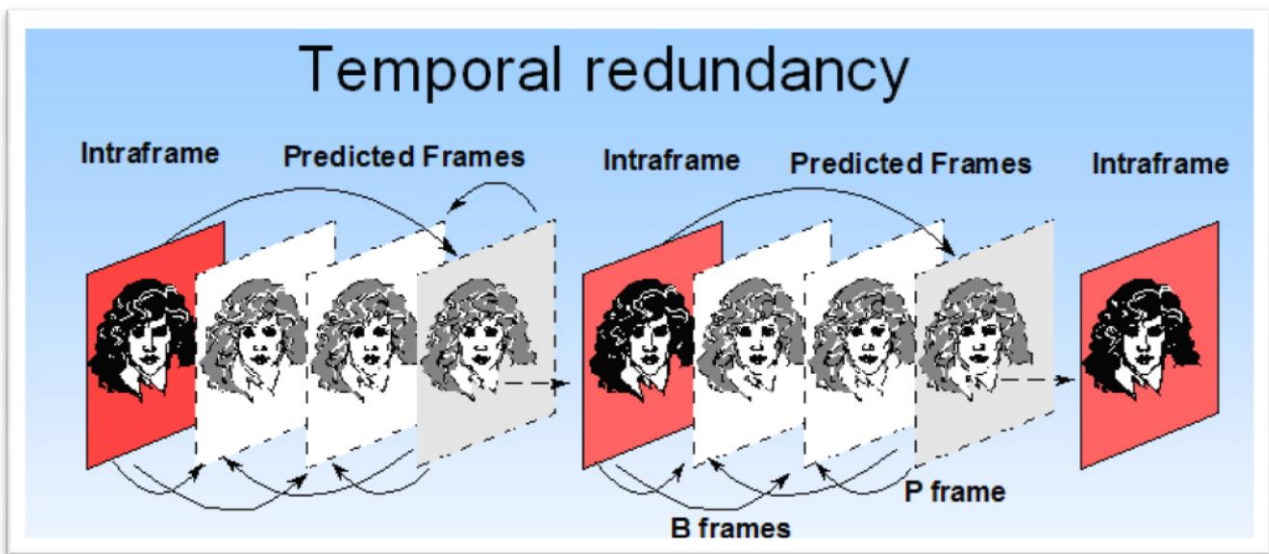


ภาพที่ 30: Encoder Complexity

## การบีบอัดสัญญาณภาพแบบ MPEG-2

หลักการลดบิตเรทมีขั้นตอนดังนี้

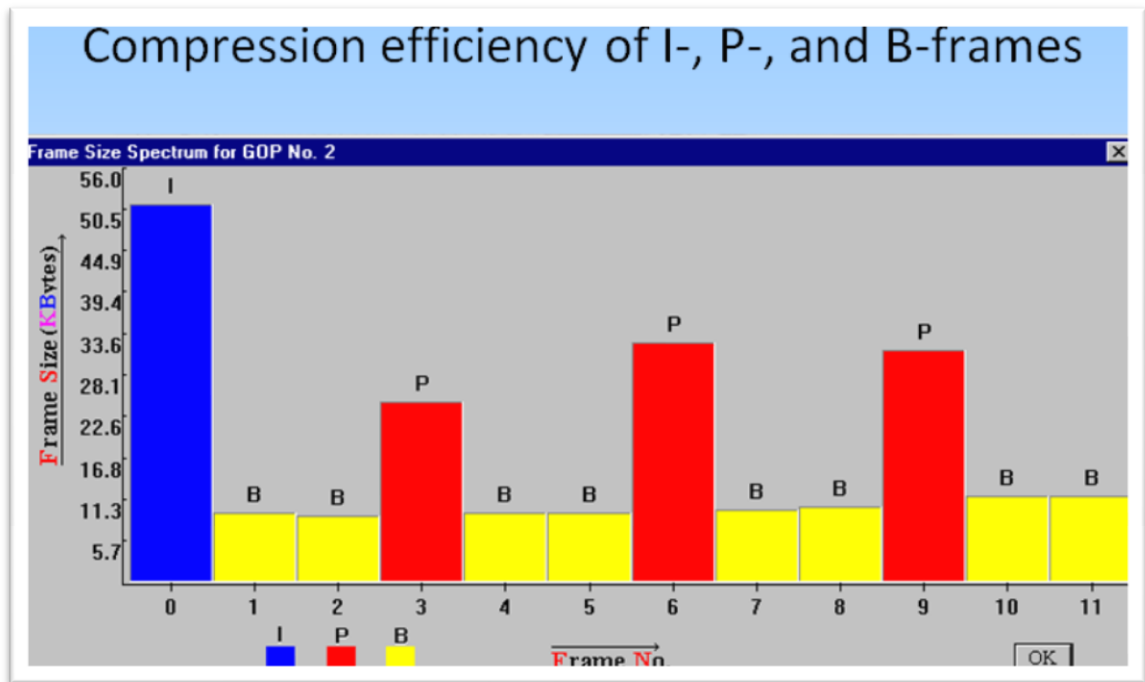
- ลดการซ้ำซ้อนในเชิงเวลาระหว่างเฟรม (Temporal redundancy) เรียกว่า inter-frame compression
- ลดการซ้ำซ้อนของบริเวณพื้นที่ภายในเฟรมเดียวกัน (Spatial redundancy) เรียกว่า intra-frame compression
- การจัดเรียงข้อมูลแบบ DCT coefficients
- ปรับความยาวของข้อมูล Variable length coding (VLC)



ภาพที่ 31: Temporal Redundancy

### การลดการซ้ำซ้อนในเชิงเวลาระหว่างเฟรม (Temporal redundancy)

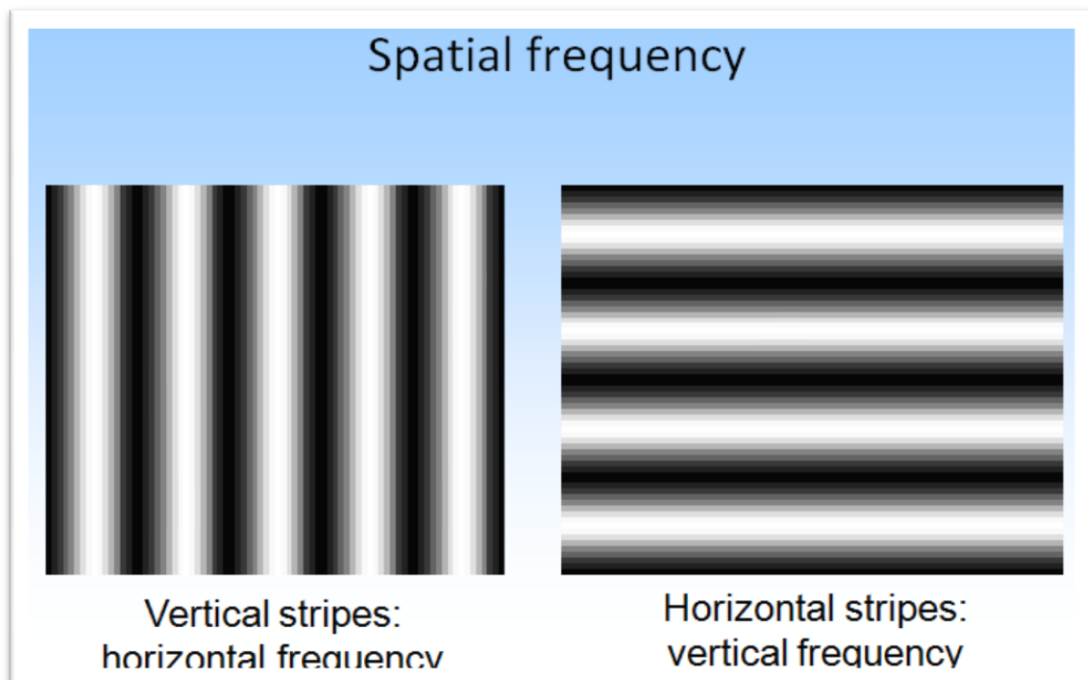
Temporal Redundancy จะเริ่มจากการได้เฟรมแรกที่สุดที่ไม่มีปรับแต่ง และใช้เป็นเฟรมอ้างอิง (I-frames) จากนั้นจะทำการทำนายเฟรมต่อไปโดยสร้างใหม่ขึ้นมา 1 เฟรม (P-frames) โดยดูการเปลี่ยนแปลงของเฟรมแรก จากนั้นจะสร้างเฟรมแทรกระหว่าง I-frames และ P-frames ที่เรียกว่า B - frames โดย P-frames และ B-frames จะใช้หลักการ Temporal redundancy โดยการทำการเคลื่อนไหวเพื่อสร้างเฟรมถัดไป และใช้ DCT เพื่อการส่งข้อมูลความแตกต่างระหว่างเฟรมที่ทำนาย และเฟรมปัจจุบัน ดังนั้น ขนาดหรือจำนวนข้อมูลของ I-frame จะใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ P-frame และ B-frame ตามลำดับ



ภาพที่ 32: Compression Efficiency ของ I-frames, P-frames และ B – frames

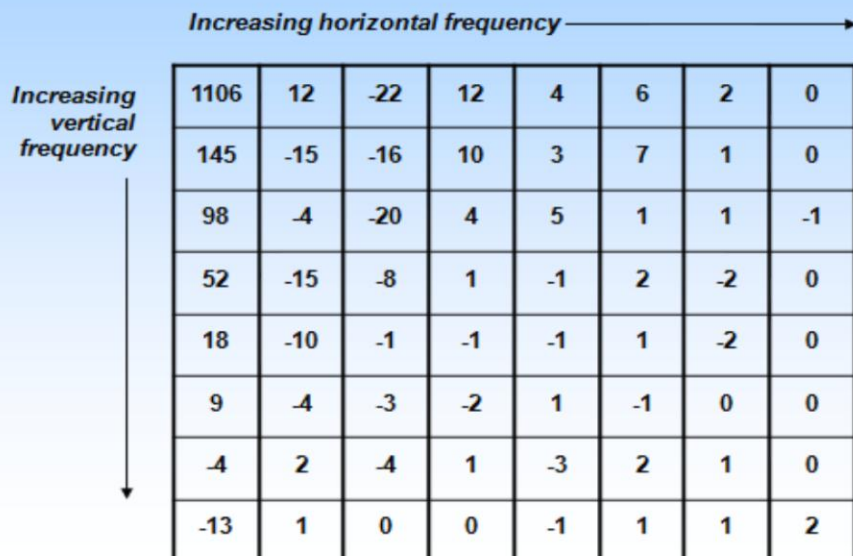
#### Spatial Redundancy

Spatial Redundancy เป็นการเอาแต่ละพิกเซลมาแบ่งเป็นตาราง  $8 \times 8$  เพื่อหาค่าของแต่ละช่องในตาราง โดยการเทียบเคียงกับตารางที่มีการจัดเรียกโทนของภาพแบบมีระเบียบ แล้วใช้การแปลง Discrete cosine ในการลดจำนวนข้อมูลของแต่ละพิกเซล จากนั้นจึงใช้การเรียงข้อมูลแบบ Zig-Zag โดยมีการควบคุมข้อผิดพลาด (Error) ของกระบวนการ และปรับความยาวของข้อมูลด้วย Variable length coding เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด



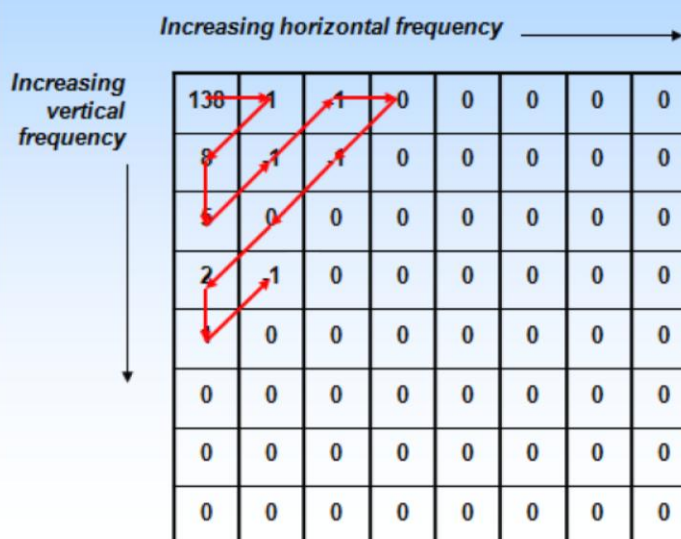
ภาพที่ 33: Spatial Frequency

## Spatial redundancy: Block after Discrete cosine Transform



ภาพที่ 34: Cosine Transform

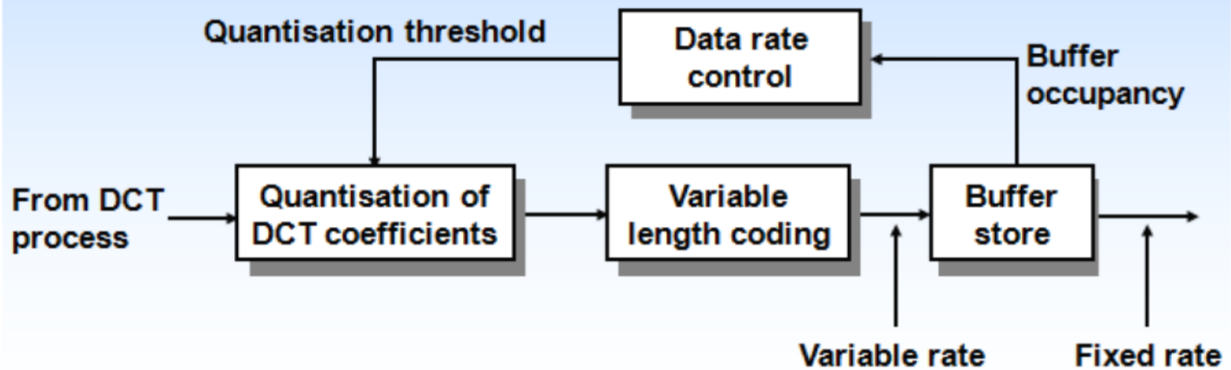
## Spatial redundancy: DCT values after quantisation and scaling



- Convert to serial data by zig-zag scanning.
- Run length coding removes long strings of zeros.
- Variable length coding replaces common values with shorter symbols (like Morse code).

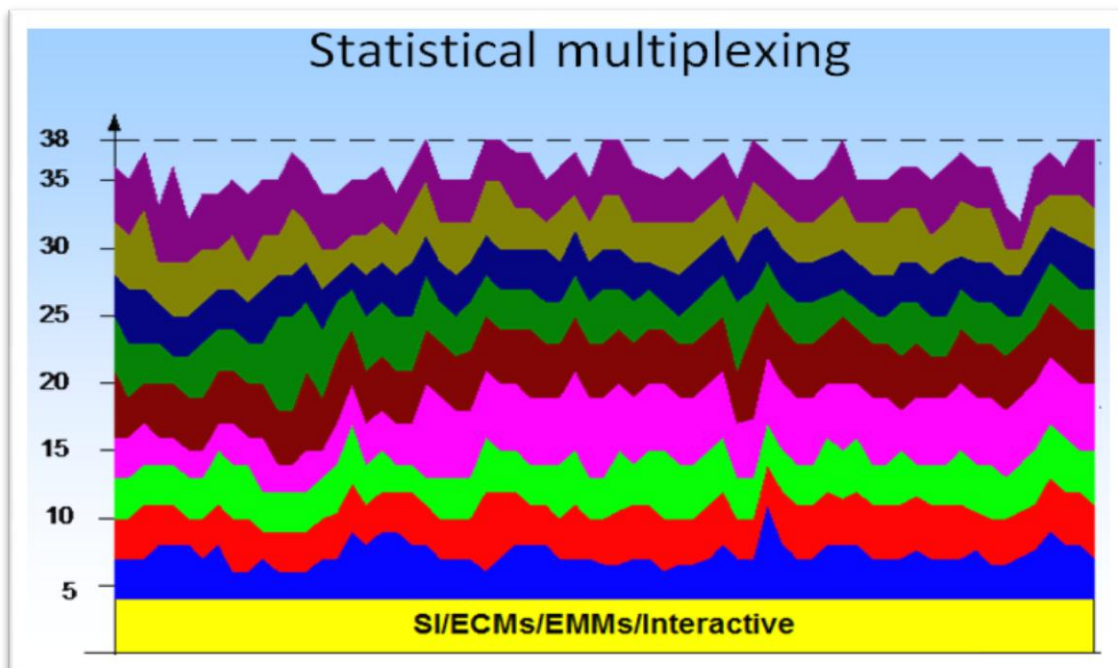
ภาพที่ 35: DCT Values

# Control of quantisation



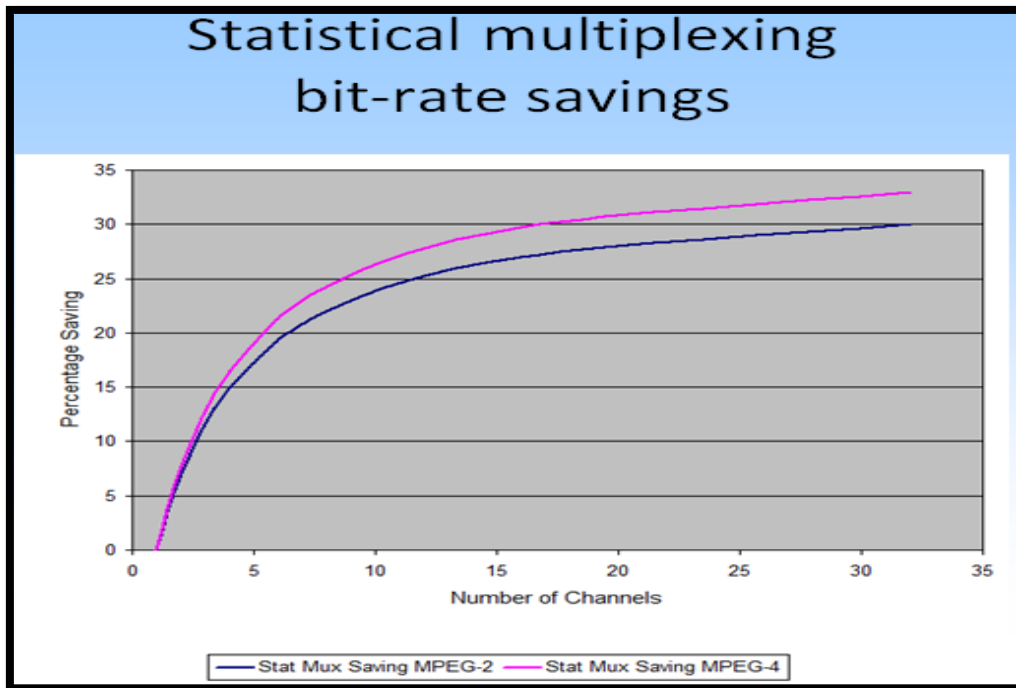
ภาพที่ 36: Control of Quantization

สิ่งไม่พึงประสงค์ในการเข้ารหัส คือ ความบกพร่องที่เกิดจากความแตกต่างของสัญญาณภาพตามมาตรฐาน PAL และ NTSC เช่น การเพี้ยนของสี หรือเกิดจากบิตเรท ที่ไม่คงที่ หรือลักษณะภาพ ผู้อยู่ในขั้นตอนการส่งสามารถเปลี่ยนแปลงคุณภาพของภาพในแต่ละช่องรายการได้ด้วย Statistical Multiplexer ซึ่งสามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ของหลาย ๆ ช่องรายการในกลุ่มเดียวกัน การใช้ Statistical Multiplexer นี้ จะทำให้เราประหยัดแบนด์วิดท์ได้ นอกจากนี้ การใช้การบีบอัดแบบ MPEG-4 จะสามารถประหยัดได้มากกว่า MPEG-2



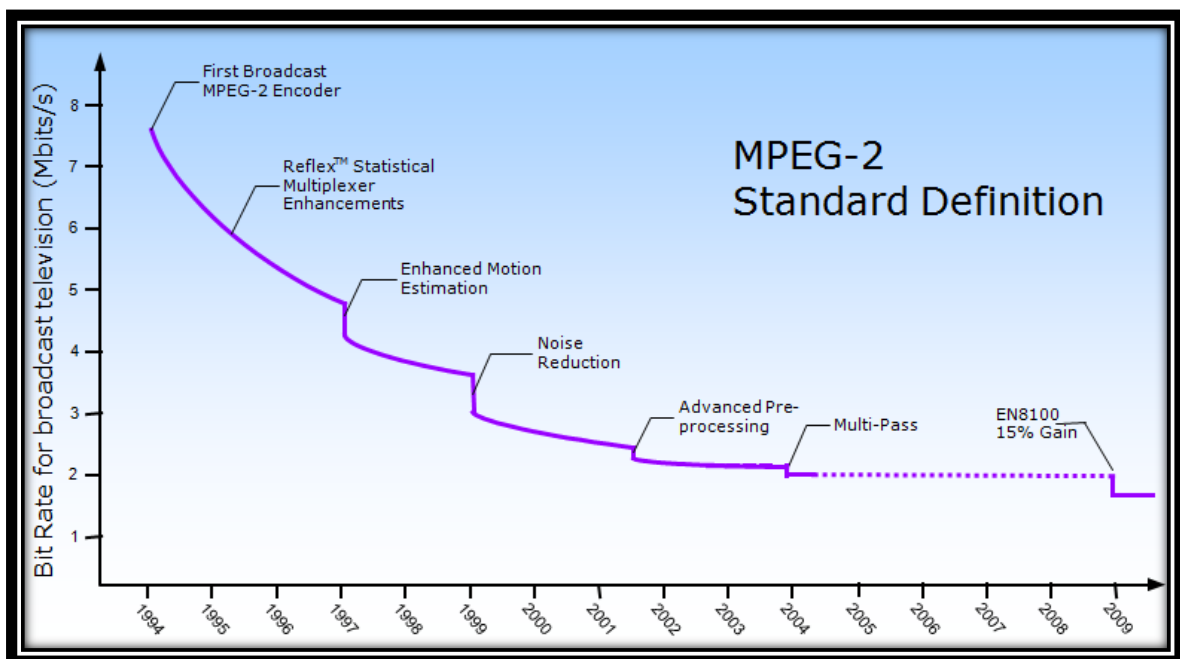
ภาพที่ 37: Statistical Multiplexing





ภาพที่ 38: การประหยัดบิตเรทของ Statiscal Multiplexing

หลักการบีบอัดสัญญาณเสียง MPEG Audio ใช้ขั้นตอนการทำงานคล้ายคลึงกับประสาทสัมผัสการรับฟังเสียงของมนุษย์ ซึ่งแยกแยะความถี่เสียงออกเป็นช่วงย่อยๆ และมีการปรับระดับของสัญญาณเสียงแต่ละช่วงย่อยๆ ให้ตอบสนองต่างกัน



ภาพที่ 39: วิวัฒนาการของการบีบอัดสัญญาณเสียง

ทั้งนี้ รายละเอียดของแต่ละมาตรฐานสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียง มีดังนี้

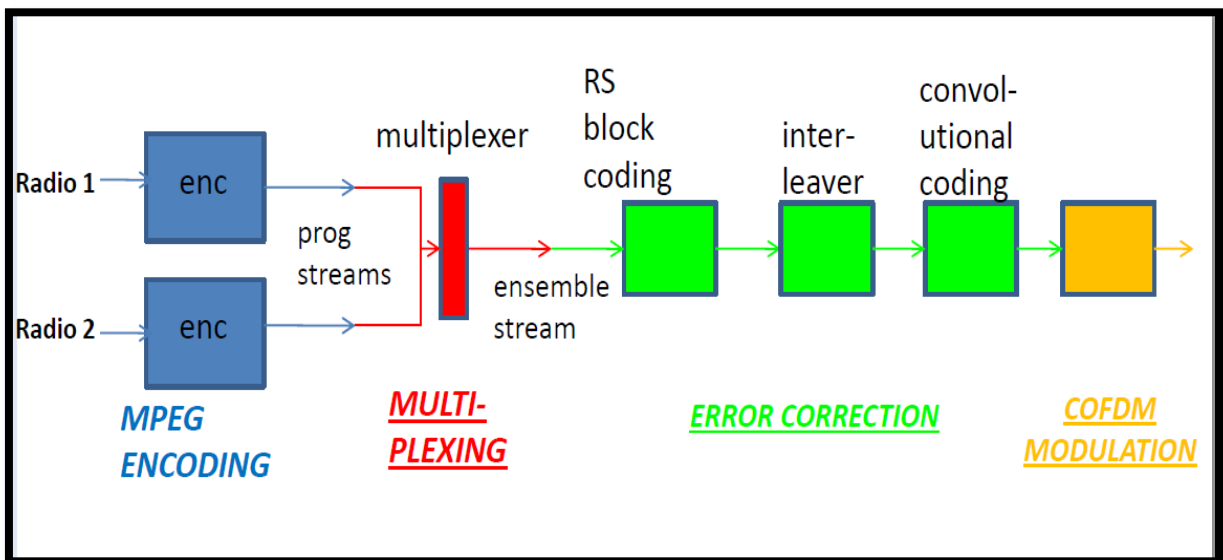
- MPEG-2 SD: ~1.5 - 2Mbit/s
- MPEG-4 SD: ~1.2 - 1.7Mbit/s
- HEVC SD: ~0.8 - 1.5Mbit/s
- Early MPEG-2 HD services : ~15 - 18Mbit/s
- HEVC 1080p : ~3 - 4.5Mbit/s
- A DVB-T2 multiplex with 36Mbit/s capacity : 8-10 HD services

มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีวิทยุดิจิทัล  
(World Digital Radio Standard)

เทคโนโลยีวิทยุดิจิทัลในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มประเภทหลัก คือ

1. ตระกูล DAB
2. ตระกูล DRM และ
3. ตระกูล HD

เทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้น มีคุณลักษณะเหมือนกันบางประการ ได้แก่ 1. การใช้ MPEG สำหรับการเข้ารหัสเสียง เพื่อลดการใช้จำนวน bitrate และ 2. การใช้ COFDM เพื่อการรับสัญญาณในสภาพแวดล้อมที่มีการสะท้อนของสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Multipath environment (ดูภาพประกอบ)



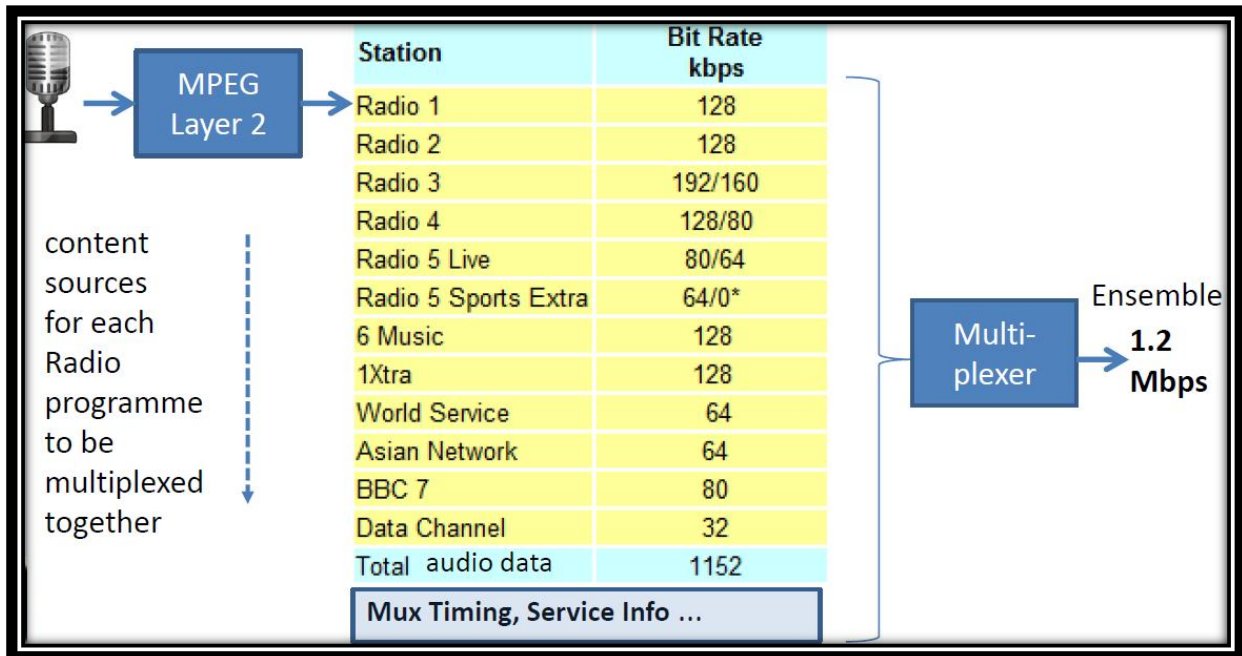
ภาพที่ 40: Generalised Digital Radio Encoder

นอกจากนี้ การที่จะเปลี่ยนผ่านจากระบบวิทยุแบบอนาล็อกไปสู่ในระบบดิจิทัลนั้น ผู้กำกับดูแลยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากการเลือกเทคโนโลยีประกอบด้วย อาทิเช่น เครื่องรับสัญญาณที่มีคุณภาพ เนื้อหาที่น่าเชื่อถือ การตลาด และความหลากหลายของประเภทเครื่องรับสัญญาณที่ประชาชนสามารถเลือกซื้อได้จากร้านค้า

ทั้งนี้ มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีวิทยุดิจิทัลทั้ง 3 ประเภทข้างต้น มีรายละเอียดดังนี้

1. ตระกูล DAB ซึ่งประกอบไปด้วย DAB, DAB+ และ DMB

DAB: เริ่มพัฒนาในปี ค.ศ. 1990 เพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงที่มีคุณภาพสูงในรถยนต์ ซึ่งสัญญาณของ DAB ถูกเรียกว่า Multiplex และ Multiplex นี้ถูกแบ่งย่อยออกเป็น sub-channels ในแง่นี้ sub-channels จะเป็นตัวนำบริการ



เสียง (Audio service) หรือสามารถนำส่งข้อมูลได้ด้วย (Data service) สำหรับเทคโนโลยี DAB นี้ มีประมาณ 10-12 บริการเสียงต่อ 1 Multiplex และใช้ MPEG 2 สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Audio Codec) (สามารถดูตัวอย่างได้จากภาพประกอบข้างล่าง)

ภาพที่ 41: ตัวอย่าง Multiplex ของ BBC สหราชอาณาจักร

เทคโนโลยี DAB ถูกนำไปใช้ในหลายๆประเทศในภูมิภาคยุโรป เช่น สหราชอาณาจักร เดนมาร์ก นอร์เวย์ สวีเดน สวิสเซอร์แลนด์ และเนเธอร์แลนด์

DMB (Digital Multimedia Broadcasting): แรกเริ่มพัฒนาขึ้นเพื่อนำส่งเนื้อหาวิทยุบน DAB Multiplex ซึ่ง DMB ใช้ MPEG2 video transport stream ใน subchannel ของ DAB นั้นหมายความว่า DMB สามารถนำส่งสิ่งต่างๆ เช่น รูปภาพ และข้อมูลแบบ interactive ผ่าน DMB subchannel ไปพร้อมกับเสียง แต่อย่างไรก็ดี การใช้ MPEG2 video transport stream อาจทำให้ประสิทธิภาพการนำส่งลดลง

เทคโนโลยี DMB ถูกนำไปใช้ในประเทศเกาหลีใต้ และประเทศนอร์เวย์ ทั้งนี้ ประเทศฝรั่งเศสก็ได้วางแผนที่จะใช้เทคโนโลยีดังกล่าว แต่ก็เปลี่ยนไปเลือกเทคโนโลยี DAB+ ในภายหลัง

DAB+: ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยี DAB ซึ่งใช้ Transport stream เหมือนเทคโนโลยี DAB และใช้ MPEG 4 HE-AAC สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณเสียง นอกจากนี้ ยังมีการป้องกันการผิดพลาด (Error Protection) โดยการใช้ Reed Solomon สำหรับเทคโนโลยี DAB+ นี้ มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณเสียงมากกว่าเทคโนโลยี DAB ซึ่งสามารถนำส่ง 20 บริการเสียงต่อ 1 Multiplex

เทคโนโลยี DAB+ ถูกนำไปใช้ อย่างแพร่หลาย เช่น ใน ประเทศมอลต้า ประเทศสวีเดน แลนด์ ออสเตรเลีย เยอรมนี และฝรั่งเศส เหตุผลประการสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยี DAB+ เป็นที่ยอมรับ คือ มีโมเดลของ เครื่องรับสัญญาณเป็นจำนวนร้อยละที่สามารถให้ผู้บริโภคเลือกซื้อได้ ซึ่งรวมถึงโมเดลสำหรับรถยนต์ด้วย เทคโนโลยี DAB+ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของประเทศที่ต้องการจะเปลี่ยนผ่านสู่การส่งสัญญาณวิทยุแบบใหม่ในตระกูล DAB

## 2. ตระกูล DRM ซึ่งประกอบไปด้วย DRM 30 และ DRM+

DRM 30: เป็นเทคโนโลยีดั้งเดิมของมาตรฐาน DRM ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในการแพร่ภาพสัญญาณเสียง ระดับระหว่างประเทศโดยใช้ช่อง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้น DRM 30 จึงถูกออกแบบให้ใช้ในช่องต่ำกว่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์ และเหมาะกับการใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างประเทศในความถี่แบบคลื่นสั้น (Short wave) หรือคลื่นเอเอ็ม (AM) ดังนั้น การส่งสัญญาณจึงมีความเสถียรสูงเนื่องจากอยู่ในช่องความถี่ที่ไม่กว้างนัก

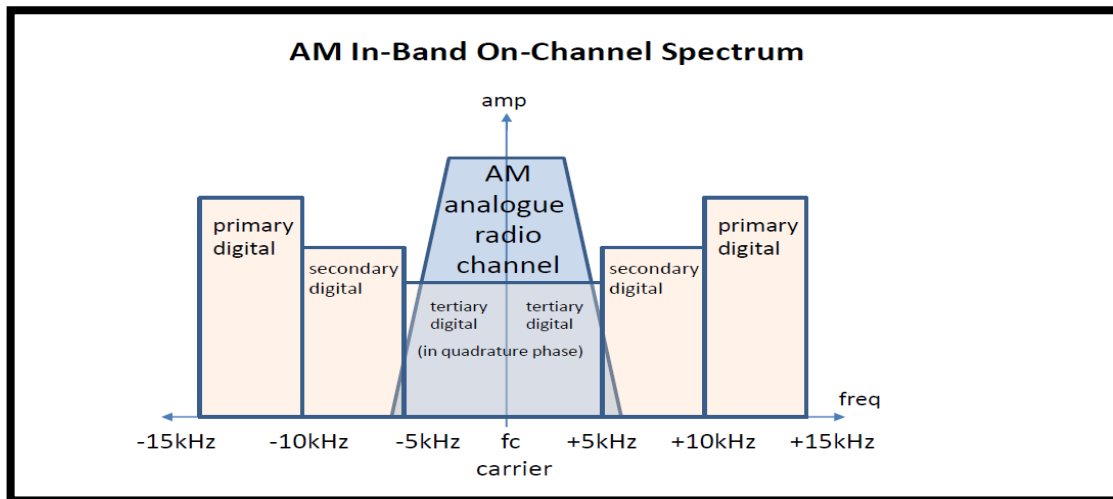
ทั้งนี้ เทคโนโลยี DRM 30 สามารถใช้ COFDM Modulation และสามารถมีทางเลือกของ Constellation อยู่ที่ 4 QAM สำหรับความต้านทาน (Robustness) สูงสุด และ 64 QAM สำหรับบิตเรท (Bitrate) สูงสุด นอกจากนี้ DRM 30 สามารถใช้การเข้ารหัสสัญญาณเสียงได้หลากหลาย ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้ MPEG 4 AACPlus และยังสามารถให้บริการวิทยุได้ถึง 4 ช่องบน 1 DRM Ensemble แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น คุณภาพเสียงที่ได้อาจจะไม่ดีนัก

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยี DRM 30 จะสามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างและมีประสิทธิภาพในการส่ง สูง แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องรับสัญญาณส่งของ DRM 30 ยังมีอยู่น้อย และยังไม่แพร่หลาย ทั้งนี้ เทคโนโลยี DRM 30 ดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในประเทศอินเดีย

DRM+: เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงข้อด้อยของ DRM 30 โดยที่ DRM+ สามารถใช้ส่งสัญญาณในย่าน ความถี่ที่กว้างขึ้นและ สูงขึ้น นั้นหมายความว่า DRM+ สามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีคุณภาพมากขึ้น และสามารถ นำมาใช้ส่งในช่วงคลื่นเอฟเอ็ม (FM) หรือในช่วงแบนด์ 1-3 ทั้งนี้ เทคโนโลยี DRM+ อยู่ในช่วงทดลองใช้งาน แต่ยังไม่ มีประเทศใดนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้

## 3. ตระกูล HD

HD เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในประเทศอเมริกา โดยเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณดิจิทัลได้ พร้อมๆกับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกในช่วงคลื่นเอเอ็มและเอฟเอ็ม (ดูภาพประกอบ) เทคโนโลยี HD นี้ สามารถ ใช้ COFDM Modulation และใช้การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ MPEG 4 AAC นอกจากนี้ยังใช้ Time interleaving เพื่อป้องกันการลดลงของระดับสัญญาณ (Dropout)



ภาพที่ 42: หลักการของเทคโนโลยี

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยี HD จะทำให้สามารถส่งทั้งคลื่นสัญญาณแบบดิจิทัลและอนาล็อกไปได้ พร้อมๆกัน แต่การส่งสัญญาณคู่ขนานกันไปดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการรบกวนขอ งคลื่นได้ ทั้งนี้ เทคโนโลยี HD ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายใน ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศเม็กซิโก เปอร์เตอร์ริโก และฟิลิปปินส์

## วิทยุดิจิทัล (Digital Radio)

วิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิทัล เป็นเทคโนโลยีใหม่ในศตวรรษ ที่ 21 ที่จะมาแทนที่การส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบ อนาล็อก AM และ FM ซึ่งใช้งานมานาน การส่งสัญญาณวิทยุในระบบดิจิทัลนั้นนอกจากช่วยให้การบริหารคลื่นที่มีอยู่อย่างจำกัดมีประสิทธิภาพขึ้นแล้ว ยังเพิ่มประสบการณ์การรับฟังที่ดีให้แก่ผู้ฟังด้วย เพราะนอกจากคุณภาพเสียงจะดีกว่าแล้ว วิทยุดิจิทัลยังมีคุณลักษณะโดดเด่นอื่นๆ เช่น สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความซึ่งเครื่องรับวิทยุสามารถนำมาใช้แสดงชื่อสถานี ความถี่ ชื่อรายการ ชื่อเพลงและชื่อนักร้องได้ และวิทยุดิจิทัลก็สามารถรับสัญญาณเตือนภัยพิบัติได้อีกด้วย ปัจจุบัน วิทยุดิจิทัลมีการออกอากาศในหลายระบบ เช่น HD Radio (High Definition Radio), DRM (Digital Radio Mondiale), DAB (Digital Audio Broadcasting) และ DAB+ (Digital Audio Broadcasting Plus) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละประเทศว่าระบบใดเหมาะสมกับประเทศของตน

### ทำไมต้องวิทยุดิจิทัล

การให้บริการวิทยุระบบอนาล็อก FM และ AM ซึ่งรู้จักและใช้กันมาเป็นเวลานานนั้นมีความถี่ที่จำกัดและในปัจจุบันคลื่นความถี่เหล่านี้ถูกนำมาใช้งานเกือบหมดแล้ว ส่งผลให้การเพิ่มจำนวนสถานีวิทยุในระบบนี้และการให้บริการในรูปแบบใหม่ทำได้ยาก การเปลี่ยนแปลงวิทยุอนาล็อกเป็นวิทยุดิจิทัลสามารถแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาได้ นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบทั้งทางด้านคุณภาพเสียง ทางเลือกผู้ใช้บริการ และการเพิ่มลูกเล่น ดังนี้

คุณภาพเสียง	ทางเลือก	การเพิ่มลูกเล่น
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีคุณภาพเสียงที่ดีกว่า</li> <li>- ความง่ายในการหาคลื่น</li> <li>- การส่งผ่านข้อมูลอื่นๆประกอบเสียง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถมีสถานีวิทยุมากขึ้นในจำนวนคลื่นความถี่ที่ใช้ที่เท่ากัน</li> <li>- สามารถตั้งสถานีวิทยุเฉพาะทางได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถส่งภาพประกอบเสียงได้</li> <li>- สามารถให้ผู้ฟังสื่อสารกับและระบบได้ (Interactivity)</li> </ul>

ตัวอย่างวิทยุดิจิทัลที่มีขายในท้องตลาด ราคาตั้งแต่ \$25 ขึ้นไป



ตัวอย่างบริษัทผลิตรถยนต์ที่เริ่มใช้วิทยุดิจิทัลสำหรับรถยนต์ มีดังนี้



## หน่วยงานที่สนับสนุนวิทยุดิจิทัล

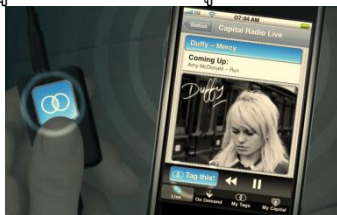
WorldDMB เป็นองค์กรไม่แสวงหากำไรที่สนับสนุนวิทยุดิจิทัลทั่วโลก โดยมีหน้าที่รับผิดชอบหลักในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของวิทยุดิจิทัล DAB และ DAB+ WorldDMB ทำงานร่วมกับผู้ให้บริการกระจายเสียง ผู้ให้บริการโครงข่าย ผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้ผลิตยานพาหนะ ผู้ใช้บริการ รัฐบาล และหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนความร่วมมือระหว่างประเทศ และประสานงานเกี่ยวกับการให้บริการต่างๆ ปัจจุบัน WorldDMB มีสมาชิกมากกว่า 80 บริษัทและองค์กรจาก 22 ประเทศ

## วิทยุดิจิทัลสามารถสร้างมูลค่าให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงอย่างไร

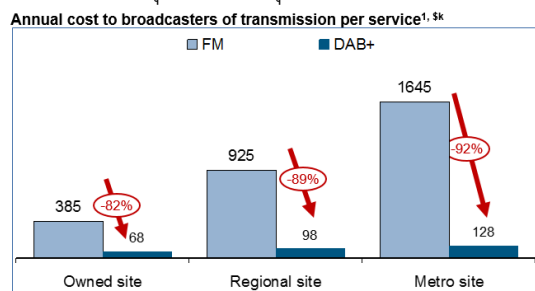
- เพิ่มจำนวนผู้ฟัง:** วิทยุดิจิทัลสามารถสร้างมูลค่าให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงโดยเพิ่มจำนวนผู้ฟังเนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการสถานีวิทยุได้มากกว่าวิทยุอนาล็อก (AM และ FM) และมีประสิทธิภาพในการขยายพื้นที่ให้บริการได้มากกว่า เช่น ในประเทศอังกฤษวิทยุ AM และ FM ครอบคลุมพื้นที่ในเมือง London และ Manchester และมีประชากรผู้ให้บริการจำนวน 14 ล้านคน ในขณะที่วิทยุดิจิทัลในระบบ DAB ครอบคลุมพื้นที่ในหลายภูมิภาค และมีประชากรผู้ให้บริการจำนวน 40 ล้านคน เป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 22
- เพิ่มรายได้:** วิทยุดิจิทัล (DAB+) สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียง โดยสถานีวิทยุต่างๆสามารถหาผู้สนับสนุนรายการได้เพิ่มมากขึ้น และจอภาพสีบนวิทยุดิจิทัลสามารถใส่ข้อมูลต่างๆได้ จึงสร้างโอกาสในการหารายได้ได้มากขึ้น เช่น การใส่รูปสินค้า เครื่องหมายการค้า ข้อเสนอพิเศษ ที่ตั้งร้านค้าและเวลาทำการ และอื่นๆ (ดังภาพประกอบด้านล่าง)



นอกจากนี้ ผู้ใช้บริการสามารถรับฟังเพลงใหม่ๆบนวิทยุดิจิทัล โดยกดปุ่ม Tag เพื่อดูรายละเอียดของเพลง เพิ่มเข้ารายการเพลงโปรด แบ่งปันเพลงให้กับเพื่อน และผู้ให้บริการสามารถรับฟังและเห็นโฆษณาสินค้าทางวิทยุ โดยสามารถสื่อสารกับผู้ให้บริการและขอข้อมูลเพิ่มเติมได้อีกด้วย (ดังภาพประกอบด้านล่าง)



- ลดค่าใช้จ่าย:** วิทยุดิจิทัลทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ให้บริการลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงจากตัวอย่างตารางค่าใช้จ่ายรายปีของผู้ให้บริการเปรียบเทียบระหว่างวิทยุ FM กับวิทยุดิจิทัล DAB+





## การพัฒนาวิทยุดิจิทัลในประเทศต่างๆ

### ทวีปเอเชียแปซิฟิก

ทวีปเอเชียแปซิฟิกมีการเริ่มใช้และวางแผนทดลองออกอากาศวิทยุดิจิทัลในแถบเอเชียแปซิฟิก ดังนี้



### ออสเตรเลีย

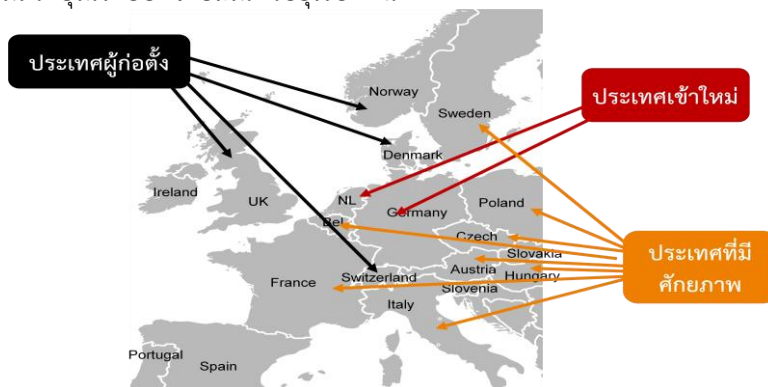
ประเทศออสเตรเลีย มีการเริ่มใช้ DAB+ ในปี ค.ศ. 2009 ใน 5 เมืองใหญ่ๆ และมีการขายอุปกรณ์ที่ใช้กับวิทยุระบบดิจิทัลเป็นจำนวน 1.6 ล้านชิ้น ซึ่งเป็นการเข้าถึงร้อยละ 16 ของครัวเรือนทั้งหมดในประเทศ นอกจากนี้ มาตรฐาน DAB+ ยังใช้กับรถยนต์หลายรุ่น เช่น Toyota Camry Atara SL, Hybrid HL and Aurion V6 Presara; Ford Kuga, Mercedes Benz A45 AMG และ BMW X5

### ฮ่องกง

ประเทศฮ่องกง มีการเริ่มใช้ DAB+ ในปี ค.ศ. 2011 โดยครอบคลุมมากกว่าร้อยละ 70 ของประชากร และมีการขายอุปกรณ์ที่ใช้กับวิทยุระบบดิจิทัลเป็นจำนวน 300,000 ชิ้น โดยมีโครงข่ายระดับชาติจำนวน 1 โครงข่าย และมีช่องวิทยุที่ให้บริการในระบบดิจิทัลจำนวน 15 ช่องรายการ ซึ่งในจำนวนนี้มีการออกอากาศแบบคู่ขนานกับระบบอนาล็อกเดิม 4 ช่อง และออกอากาศในระบบดิจิทัลอย่างเดียว 11 ช่อง

### ทวีปยุโรปและแอฟริกา

มีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระบบดิจิทัลในทวีปยุโรป ดังนี้



### นอร์เวย์

ประเทศนอร์เวย์ มีจำนวนร้อยละ 45 ของผู้ฟังวิทยุรับฟังวิทยุในระบบดิจิทัลและDAB ครอบคลุมร้อยละ 98.8 ของพื้นที่ ประเทศนอร์เวย์เป็นประเทศแรกที่จะเปลี่ยนผ่านจากวิทยุอนาล็อกเป็นวิทยุดิจิทัลได้ทั้งหมด (Digital switchover) และคาดว่าจะสำเร็จในปี ค.ศ. 2017

## อังกฤษ

ประเทศอังกฤษ มีจำนวนร้อยละ 48 ของครัวเรือนทั้งหมดที่ใช้ DAB และสัญญาณ DAB ครอบคลุมร้อยละ 94 ของพื้นที่ทั่วประเทศและถนนสายหลัก คาดว่าภายในปี ค.ศ. 2015 จะมีตัวส่งสัญญาณมากกว่า 360 ราย และมีผู้ให้บริการโครงข่ายธุรกิจระดับชาติเพิ่มขึ้นมาเป็นรายชื่อที่ 2

## เดนมาร์ก

ประเทศเดนมาร์ก มีประชากรจำนวนร้อยละ 34 ที่มีวิทยุดิจิทัล เมื่อแรกเริ่มนั้นประเทศเดนมาร์กเลือกใช้วิทยุดิจิทัลในระบบ DAB แต่ได้มีการเปลี่ยนมาเป็นระบบ DAB+ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า สำหรับการยกเลิกระบบอนาล็อก FM นั้นคาดว่าจะทำได้ในปี ค.ศ. 2019

## สวีตเซอร์แลนด์

ประเทศสวีตเซอร์แลนด์ มีครัวเรือนประมาณร้อยละ 33 ที่ใช้วิทยุดิจิทัล และ DAB ครอบคลุมจำนวนร้อยละ 94 ของพื้นที่ทั่วประเทศ และคาดว่าในปี ค.ศ. 2016 จะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ประเทศสวีตเซอร์แลนด์กำลังอยู่ในขั้นตอนวางแผนในการเปลี่ยนจาก DAB ไป DAB+

## เยอรมนี

ประเทศเยอรมนี เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2011 โดยให้บริการทั้งระดับชาติ ระดับภูมิภาค และระดับท้องถิ่น มีการให้บริการครอบคลุมมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ทั้งหมด

## เนเธอร์แลนด์

ประเทศเนเธอร์แลนด์ เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนกันยายน ค.ศ. 2013 มีการให้บริการร้อยละ 95 ของพื้นที่ทั้งหมด และมีผู้ให้บริการ 26 ราย เป็นบริการทางธุรกิจ 17 ราย และสาธารณะ 9 ราย

## อิตาลี

ประเทศอิตาลี มีการอนุญาตการให้บริการ DAB+ ในเมือง Trentino ในปี ค.ศ. 2012 และมีโครงข่ายแห่งชาติ 2 รายที่อยู่ในระหว่างการทดลอง ซึ่งครอบคลุมร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด หน่วยงานกำกับดูแลของประเทศมีเป้าหมายที่จะให้บริการวิทยุดิจิทัลภายในสามปีข้างหน้า

## ฝรั่งเศส

ประเทศฝรั่งเศส มีการอนุญาตการให้บริการในเมือง Paris, Nice และ Marseille และเริ่มใช้ DAB+ ในปีเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2014

## โปแลนด์

ประเทศโปแลนด์ เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2013 ในเมือง Warsaw และ Katowice และวางแผนที่จะใช้งานอีก 8 เมือง ในปี 2014

## สวีเดน

ประเทศสวีเดน รัฐบาลและผู้ให้บริการกระจายเสียงสนับสนุนวิทยุดิจิทัลในระบบ DAB+ มีการแต่งตั้งที่ปรึกษาที่มีความเชี่ยวชาญพิเศษขึ้นมาเพื่อช่วยพิจารณา ซึ่งรัฐสภาจะทำการตัดสินใจที่จะอนุมัติหรือไม่ ในปี ค.ศ. 2015

## แอฟริกาใต้

ประเทศแอฟริกาใต้กำลังเริ่มการทดลองออกอากาศซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่จาก Pretoria ถึง Johannesburg และเข้าถึงมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด

## การดำเนินการในการพัฒนาวิทยุในระบบดิจิทัล

กระบวนการการเริ่มต้นของวิทยุดิจิทัลนั้นอาศัยความร่วมมือของหลายฝ่ายทั้งผู้ออกนโยบายและระเบียบข้อบังคับ ผู้ให้บริการกระจายเสียง ผู้ให้บริการสัญญาณ ผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้ขายปลีก และผู้บริโภค



หน่วยงานซึ่งทำหน้าที่ออกนโยบายและระเบียบข้อบังคับต้องอาศัยแผนในเชิงเศรษฐกิจที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและออกระเบียบข้อบังคับที่จูงใจให้ผู้ให้บริการกระจายเสียงภาคเอกชน นอกจากนี้แนวทางการดำเนินการควรเป็นไปในแนวทางเดียวกันระหว่างผู้ออกนโยบายและผู้ให้บริการด้วย โดยมีการร่วมกันแสดงความคิดเห็นและวิสัยทัศน์ นอกจากนี้แล้วการนำเสนอเนื้อหารายการจะต้องน่าเชื่อถือและโดดเด่น ซึ่งเครื่องหมายการค้าก็มีบทบาทที่สำคัญ

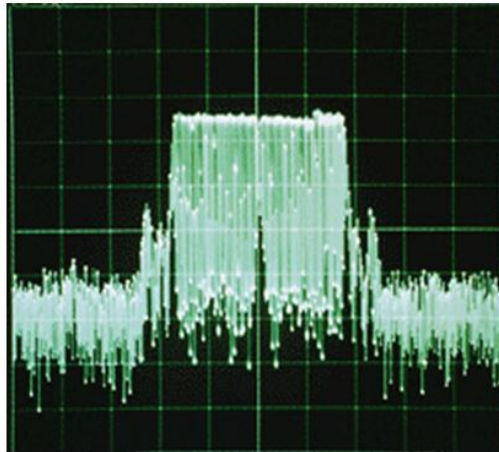
## ความแตกต่างระหว่างวิทยุดิจิทัลในแต่ละระบบ

ในการดำเนินการเปลี่ยนผ่านจากวิทยุอนาล็อกไปสู่วิทยุดิจิทัลนั้น ความเข้าใจในความแตกต่างระหว่างวิทยุดิจิทัลในระบบต่างๆเป็นสิ่งสำคัญในการที่จะทำให้การเปลี่ยนผ่านประสบความสำเร็จ ดังกล่าวนมาแล้วข้างต้นในปัจจุบันวิทยุดิจิทัลมีการออกอากาศในหลายระบบ เช่น HD Radio (High Definition Radio), DRM (Digital Radio Mondiale), DAB (Digital Audio Broadcasting) และ DAB+ (Digital Audio Broadcasting Plus) ซึ่งแต่ละแบบถูกออกแบบการใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น DRM ออกแบบมาใช้กับการส่งกระจายเสียงที่จะทดแทนการส่งวิทยุ AM และวิทยุคลื่นสั้น (SW) โดยการนำคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานอยู่เดิมมาเปลี่ยนเป็นระบบการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิทัล ดังนั้น หากนำมาใช้งานก็จะต้องเลิกการส่งวิทยุกระจายเสียง AM (MW, SW) ในระบบอนาล็อก ส่วน DAB หรือ DAB+ ออกแบบมาใช้งานทดแทนการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ FM แต่จะเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานมาใช้ในย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ VHF Band III ความถี่ 174-240 MHz (และการส่งสัญญาณโทรทัศน์ต้องเปลี่ยนไปใช้ย่านความถี่ UHF แทน) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง DAB+ กับ DAB จะพบว่า DAB+ ให้คุณภาพเสียงดีกว่าเดิม มีประสิทธิภาพสูงและประหยัด ที่กำลังส่งเท่ากันจะครอบคลุมพื้นที่ให้บริการมากกว่า (C/N เพิ่มขึ้น 2 dB) ไม่มีปัญหาเรื่องเสียงรบกวนที่นำราคาเมื่อรับคลื่นของสถานีได้เบาบาง และสามารถให้บริการข้อมูลโปรแกรมรายการ (EPG) ข้อมูลเสริมที่เป็นข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้

## หลักการทำงานด้านเทคนิคของวิทยุดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB+

การส่งกระจายเสียงดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB+ ถูกพัฒนาในปี 2006 โดยพัฒนาต่อมาจาก DAB ซึ่งมีเป้าหมายเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพของการเข้ารหัสสัญญาณเสียง (audio codec) เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณบริการ (service channel) ต่อ 1 ช่องความถี่วิทยุที่ใช้งาน (1 radio channel) ดังแสดงในรูปล่างซึ่งชี้ให้เห็นถึงช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบ DAB+

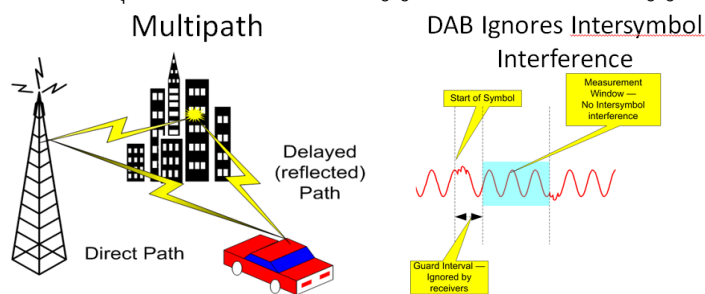
# DAB Ensemble



แต่วัตถุประสงค์ที่สำคัญของ DAB+ คือ การใช้มาตรฐาน DAB ที่มีอยู่แล้ว และให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในการที่จะทำให้ง่ายสำหรับผู้ผลิตเครื่องรับและผู้ให้บริการซึ่งจะเห็นว่ามาตรฐานในการส่งสัญญาณ RF (Radio Frequency Transmission) ยังคงเหมือนเดิมตามเทคโนโลยี DAB คือเป็นการส่งสัญญาณแบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งเกิดจากการผสมสัญญาณ (Modulation) ระหว่างข้อมูลที่ถูกเข้ารหัส (Codec) กับคลื่นพาหะย่อย (sub-carrier) ต่างๆ ซึ่งคลื่นพาหะย่อยแต่ละความถี่ที่อยู่ติดกันจะตั้งฉากกัน (Orthogonal) ทางเวกเตอร์ ประโยชน์ของการส่งสัญญาณแบบ COFDM ของการส่งกระจายเสียงดิจิทัลมาตรฐาน DAB ซึ่งเป็นรากฐานของระบบ DAB+ ประกอบด้วย

1. จำนวนคลื่นพาหะย่อยที่มากถึง 1,536 sub-carrier ซึ่งจะส่งผลให้อัตราข้อมูล (bit rate) ในแต่ละ sub-carrier อยู่ในระดับที่ต่ำ ทำให้ลดปัญหาเรื่องข้อมูลที่ชนกันเสียหายเนื่องจากการรับสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง
2. การที่ช่วงความถี่ใช้งานที่กว้างมากถึง 1.5 MHz ทำให้ลดปัญหาที่เกิดจากบางช่วงความถี่ลดทอน (fading)
3. ช่วงเวลาระยะห่างของข้อมูลที่อยู่ติด (Time Interleaving) มีช่วงกว้างถึง 768 มิลลิวินาที ทำให้ปัญหาความเสียหายของกลุ่มข้อมูลลดลง

ประโยชน์ที่กล่าวมาเหล่านี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ โดยเฉพาะในกรณีสัญญาณสะท้อนจากหลายแหล่ง



รูปข้างต้นแสดงสภาวะการรับสัญญาณจากหลายทิศทาง (Multipath) ซึ่งสัญญาณเหล่านั้นมาจากสถานีส่งแห่งเดียวกัน ดังนั้นเพื่อลด inter-symbol interference (ISI) จึงได้แทรกสิ่งที่เรียกว่า “Guard Interval” ลงไประหว่างชุดข้อมูล (symbol) แต่ละชุด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ กล่าวคือจะช่วยลดผลกระทบจากการ delay ของ indirect wave จะเห็นว่าบริเวณ Guard Interval จะเป็นเวลาที่เพื่อไว้สำหรับ symbol ของ indirect wave ที่มาล่าช้า ซึ่งเครื่องรับจะไม่นำสัญญาณในช่วงนี้มาใช้

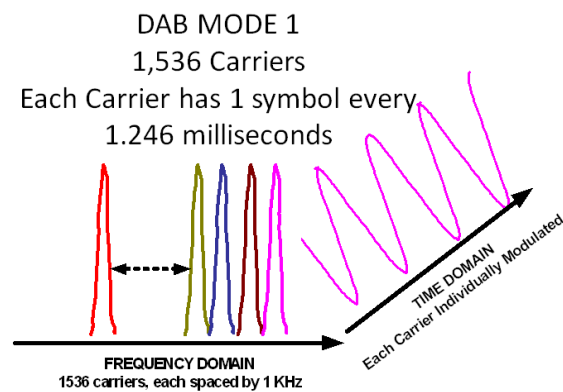
## โหมดการทำงานของระบบ DAB

ระบบ DAB มีอยู่ด้วยกัน 4 โหมดได้แก่

- โหมด 1 ใช้ ออกอากาศภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ VHF Band III (ช่วงความถี่ที่ประมาณ 200 MHz)
- โหมด 2 & 4 ใช้ ออกอากาศภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ L Band (ช่วงความถี่ที่ประมาณที่ 1500 MHz)
- โหมด 3 ใช้ ออกอากาศผ่านดาวเทียม ในย่านความถี่ L Band (ช่วงความถี่ที่ประมาณ 1500 MHz)

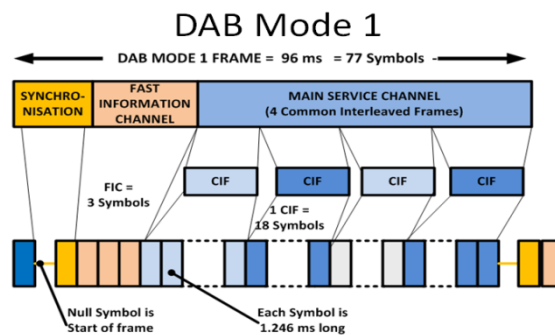
### ระบบ DAB โหมด 1

ระบบ DAB ที่กล่าวมาทั้ง 4 โหมด พบว่าระบบ DAB โหมด 1 มีการใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 99 ระบบ DAB โหมด 1 นี้มีจำนวนคลื่นพาหะย่อย (sub-carrier) มากถึง 1,536 sub-carrier และ ณ ความถี่เดียวกันแต่ละ sub-carrier มีช่วงเวลาห่างกัน 1.246 มิลลิวินาที แสดงดังรูปล่าง



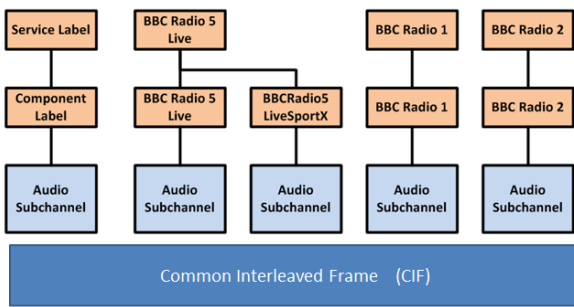
ในส่วนของโครงสร้างเฟรมของ DAB โหมด 1 นั้นใน 1 เฟรมจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- Synchronization ใช้สำหรับทำให้เครื่องรับวิทยุสามารถจับจังหวะช่วงเวลาให้สอดคล้องกับ Symbol ในเฟรม
- Fast Information channel จะบรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณ
- Main service channel คือช่องสัญญาณนั่นเอง ภายในจะประกอบด้วย CIF (Common Interleaved Frame) ซึ่งจะมีจำนวน 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดผ่านกระบวนการ Interleave มาแล้ว

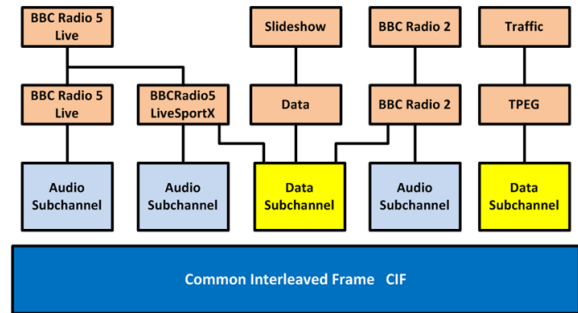


เฟรม CIF จะประกอบด้วยบล็อก Audio Sub-channel โดยบล็อก Audio Sub-channel 1 ชุด รองรับผู้ให้บริการ (service channel) 2 ราย ในช่อง Audio Sub-channel นั้นสามารถใช้เป็นช่อง Data Sub-channel ใช้ในการส่งข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้ด้วย เช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลการจราจร (TPEG) เป็นต้น

## Subchannel Organisation



## Adding Data Services

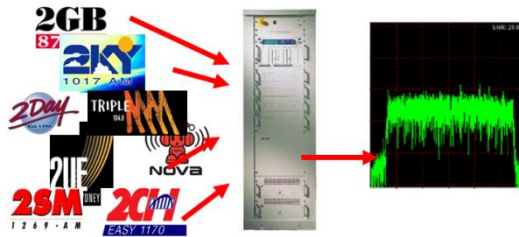


มาตรฐาน DAB+ จะต่างจาก DAB ตรงที่เรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ซึ่งสัญญาณเสียงใน DAB+ จะถูกเข้ารหัสเป็นแบบ Mpeg 4 HE-AAC V.2 ที่มีอัตราบิตประมาณ 48 kbps ซึ่งจะต่ำกว่าแบบระบบ DAB ถึง 1/2 เท่า ที่คุณภาพเสียงเท่ากัน

### การบีบอัดและส่งสัญญาณของวิทยุดิจิทัล

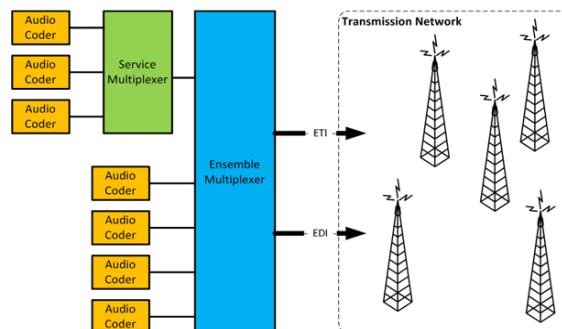
การส่งสัญญาณด้วยมาตรฐาน DAB และ DAB+ นั้นสามารถบีบอัดสัญญาณของหลายช่องรายการไปใน 1 DAB Ensemble ได้ ดังแสดงตัวอย่างด้านล่าง

### DAB Ensemble



ในส่วนของการส่งสัญญาณนั้น Audio coder จะทำหน้าที่เข้ารหัสสัญญาณจากผู้ให้บริการและส่งผ่านไปยัง Ensemble Multiplexer โดยตรง (หรือผ่าน Service Multiplexer) ซึ่งทำหน้าที่รวมสัญญาณทั้งหมดและส่งไปยังเครือข่ายส่งสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศต่อไป ดังแสดงในแผนภาพด้านล่าง

### DAB+ Network



### การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณวิทยุดิจิทัล (Coverage Planning)

ในการเปิดให้บริการกระจายเสียงด้วยเทคโนโลยีใหม่ เช่นการเปิดให้บริการกระจายเสียงระบบดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB หรือ DAB+ นั้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งคือการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผู้รับฟังวิทยุสามารถรับสัญญาณได้อย่างทั่วถึงและสัญญาณที่ได้รับมีคุณภาพที่ดีในระดับที่พึงพอใจ เพราะหากผู้บริโภคซื้ออุปกรณ์ใหม่แต่ไม่สามารถรับฟังได้ตามความคาดหวังแล้วอาจส่งผลให้กระทบให้ขาดความเชื่อมั่นในเทคโนโลยีใหม่ ในขณะที่เดียวกันการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณก็เป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงว่ารายการที่แพร่ออกอากาศออกไปสามารถเข้าถึงผู้ฟังได้อย่างทั่วถึงตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

### เปรียบเทียบวิทยุในระบบอนาล็อกและดิจิตอล

เพื่อความมีประสิทธิภาพในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้น การแผนควรคำนึงถึงความแตกต่างทางเทคโนโลยีของการกระจายเสียงระบบเก่า (ระบบอนาล็อก) และระบบใหม่ (ระบบดิจิตอล) เนื่องจากแต่ละระบบมีคุณลักษณะที่ต่างกันอันเป็นผลให้การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้นมีความต่างกันไปด้วย

ระบบอนาล็อก	ระบบดิจิตอล
<ul style="list-style-type: none"> <li>- การให้บริการวิทยุอนาล็อกจะถูกรบกวนสัญญาณได้โดยง่าย</li> <li>- เกิดการเลือนหายของคลื่นที่เลือกได้ง่าย (Frequency selective fading) กล่าวคือ ในสภาวะแวดล้อมที่คลื่นวิทยุมีการเดินทางหลายเส้นทาง การเลือนหายของคลื่นที่เลือกจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างสูงต่อพลังงานที่เครื่องรับได้ส่งผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนลดลงและข้อมูลที่ได้รับมีความผิดพลาดมากขึ้น</li> <li>- การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกันโดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน (Single Frequency Networks) จะไม่เป็นที่พึงพอใจ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ในกรณีที่มีการรบกวนหรือสอดแทรกจากสัญญาณเดียวกันสะท้อนมาจากหลายๆ ทิศทาง (Multi-Path) สัญญาณดิจิตอลมีความคงทนเมื่อระบบเกิดความผิดพลาดขึ้น (Robustness)</li> <li>- สัญญาณวิทยุในระบบดิจิตอลไวต่อการเลือนหายของเสียงสะท้อนจากการเคลื่อนไหวหลายเส้นทางของคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน (เช่น เสียงสะท้อนจากหน้าผา)</li> <li>- การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกันโดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกันเป็นที่พึงพอใจ</li> </ul>

ในอดีตโครงข่ายโทรศัพท์ในระบบอนาล็อกและโครงข่าย FM วางโครงข่ายตั้งแต่ในยุค 50's และ 60's ซึ่งการส่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Computing power) มีราคาสูง และต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์และเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงปัจจุบันซึ่งพัฒนาเป็นโครงข่ายดิจิตอล (Digital Mobile networks) การส่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไม่ใช่สาระสำคัญอีกต่อไป แต่ฐานข้อมูลภูมิประเทศที่ถูกต้องเท่าที่จะเป็นไปได้ และความแน่นอนของข้อมูลกลายเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากขึ้นในการให้บริการในระบบดิจิตอล

### เปรียบเทียบการส่งสัญญาณระหว่างการให้บริการประจำที่และเคลื่อนที่

นอกเหนือจากความเข้าใจในความแตกต่างระหว่างการส่งสัญญาณในระบบอนาล็อกและระบบดิจิตอลแล้ว การวางแผนความครอบคลุมพื้นที่ของสัญญาณยังต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างลักษณะการส่งสัญญาณแบบประจำที่และแบบเคลื่อนที่ด้วยเนื่องจากความแตกต่างกันนี้มีผลต่อการวางแผนความครอบคลุมพื้นที่

การให้บริการประจำที่ (Fixed)	การให้บริการแบบเคลื่อนที่ (Mobile)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผู้รับชมรู้สถานที่ตั้ง (บ้าน)</li> <li>- สายอากาศ (Antenna) อาจอยู่ในตำแหน่งที่ก่อให้เกิดเสียงสะท้อนของสัญญาณ</li> <li>- ทิศทางการรับสัญญาณ <ul style="list-style-type: none"> <li>■ สร้างขึ้นเพื่อขยายสัญญาณไปยังลูกค้า</li> <li>■ ผู้ติดตั้งรู้ว่าทิศทางที่ตั้งสายอากาศอยู่ที่ใด</li> <li>■ การกำหนดทิศทางของสัญญาณคลื่นความถี่ที่ชัดเจนช่วยในการป้องกันการรบกวนของสัญญาณที่ไม่ต้องการ</li> <li>■ ผู้ใช้บริการสามารถแก้ไขจุดผิดพลาดในพื้นที่ที่วางแผนให้มีการครอบคลุมได้</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผู้ใช้บริการหรือผู้รับฟังสามารถอยู่สถานที่ใดก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน ที่ทำงาน หรือระหว่างการเดินทางก็ตาม</li> <li>- แม้ว่าเสาอากาศต้องการที่จะส่งสัญญาณรอบตัวทุกทิศทาง แต่ในทางปฏิบัติแล้วเสาอากาศไม่ใช่อุปกรณ์ที่สามารถส่งสัญญาณได้รอบตัวทุกทิศทางโดยเมื่อมีการปรับช่องยังมีการรบกวนของสัญญาณจากพื้นที่ที่ไม่ต้องการได้ง่าย</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p>Real Mobile antennas</p>  </div>

## ขั้นตอนในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ

วิธีดำเนินการในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้นประกอบไปด้วยการคาดการณ์กำลังของสัญญาณส่ง และสัญญาณรบกวนในแต่ละพื้นที่ โดยนำปัจจัยที่สำคัญต่างๆมาประกอบการตัดสินใจ ได้แก่

1. Building penetration losses
2. Coverage goal
3. Building shadowing
4. Performance of real receivers

### 1. Building penetration losses

การให้บริการวิทยุจะถูกใช้งานในพื้นที่ที่ประชาชนอยู่อาศัย สิ่งสำคัญในการนำมาพิจารณาวางแผนกำหนดพื้นที่ครอบคลุมคือการวัดแรงกำลังส่งสัญญาณที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยพิจารณาหาค่าคลื่นความถี่ที่อาจสูญเสียไปในระหว่างที่มีการส่งสัญญาณทะลุผ่านอาคารสูงเพื่อประเมินกำลังส่งที่ถูกต้อง

Building Penetration Losses



### 2. Coverage Goal

การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมควรกำหนดเป้าหมายในการครอบคลุมทั้งการรับสัญญาณในร่ม (Indoor) และการรับสัญญาณขณะเคลื่อนไหว (Mobile)

#### 2.1 การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของพื้นที่ในร่ม (Indoor)

การกำหนดวัตถุประสงค์ที่จะให้สัญญาณครอบคลุมทุกตารางนิ้วในบ้านนั้นเป็นไปได้ ผู้ให้บริการจะต้องเคลื่อนย้ายวิทยุไปรอบๆห้องเพื่อหาจุดรับสัญญาณที่ดีที่สุด ดังนั้นวัตถุประสงค์ที่ทำได้จริงและมีประสิทธิภาพมากกว่าคือ การกำหนดระดับความครอบคลุมที่รับได้ เช่น กำหนดพื้นที่ครอบคลุม 95% ของพื้นที่ภายในบ้าน (ทุกห้องภายในบ้านสามารถรับสัญญาณได้) อย่งไรก็ดี อาจเป็นไปได้ที่จะสามารถให้สัญญาณครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ในอาคารคอนกรีตในตัวเมือง เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุมที่บรรลุผลจะอยู่ที่ประมาณ 75% ของพื้นที่อาคารคอนกรีต

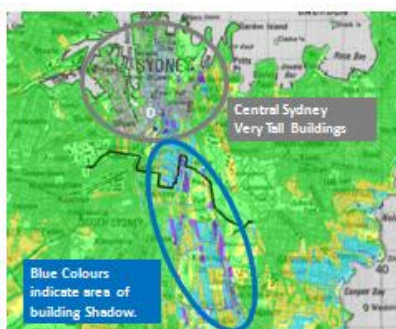
#### 2.2 เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุมขณะใช้ยานพาหนะ (Vehicle)

ผู้ให้บริการมักจะคาดหวังบริการหรือการรับสัญญาณที่คงที่ขณะขับรถ เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุม 99% ของพื้นที่ขณะใช้ยานพาหนะจะประสบผลสำเร็จหากไม่มีความสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณสู่อาคาร (Building penetration losses)

### 3. Building Shadowing

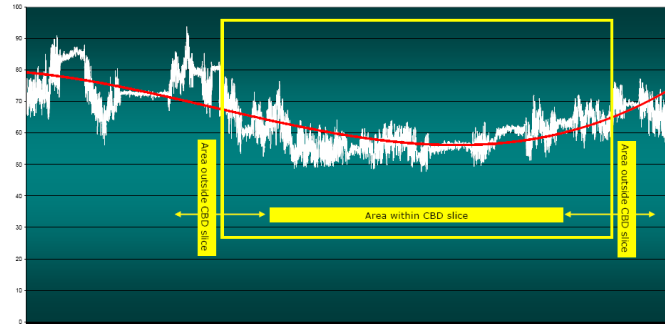
ปัญหาสำคัญของการให้บริการส่งสัญญาณวิทยุในบริเวณที่มีตึกสูงจำนวนมาก จะเกิดเงาขึ้นมาบังพื้นที่รับสัญญาณที่เรียกว่า “Building Shadow” ทำให้สัญญาณคลื่นวิทยุไม่สามารถส่งลงไปถึงบริเวณที่ต้องการให้บริการได้ในพื้นที่ที่มีตึกสูงหลายอาคารจะก่อให้เกิดเงาซึ่งบดบังการรับสัญญาณ ดังรูป

ปัญหาที่เกิดจาก Building Shadowing นี้ปรากฏในกรณีตัวอย่าง ในระหว่างการวางแผนครอบคลุมสัญญาณที่เมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีตึกสูงจำนวนมาก





ซึ่งจากผลการทดสอบสัญญาณขณะขับชีในเมืองซิดนีย์ ปรากฏว่า Building Shadows ส่งผลให้เกิดการลดของสัญญาณเสียงลงถึง 20 เดซิเบล (dB)



ดังนั้น ข้อมูลของตึกสูงในเมืองจึงเป็นปัจจัยประกอบการพิจารณาแผนที่ภูมิประเทศในการวางแผนกำหนดพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ

### การวางแผนความแรงของสัญญาณ (DAB Planning Field Strength)

การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมนั้นรวมถึงการวางแผนความแรงของสัญญาณด้วยโดยใช้ตัวเลขที่แท้จริงจากการตรวจวัดความแรงของสัญญาณ เมื่อ DAB ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1990 ค่าตัวเลขในการตรวจวัดความแรงของสัญญาณก็ต่ำลงมากขณะนี้หลายประเทศกำลังเริ่มปรับฐานการวัดความแรงของสัญญาณวิทยุ โดยประเมินตัวเลขที่แท้จริงของสัญญาณคลื่นความถี่ที่ผ่านตึกสูงและความสามารถในการรับสัญญาณ

ตัวอย่างตารางแสดงตัวเลขที่ใช้วัดความแรงของสัญญาณในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมในประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ ดังแสดงล่างนี้

#### ออสเตรเลีย

Australian Figures	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	63 dBu/m
Suburban Houses (95%)	70 dBuV/m
Urban Concrete structures (75%)	76 dBuV/m

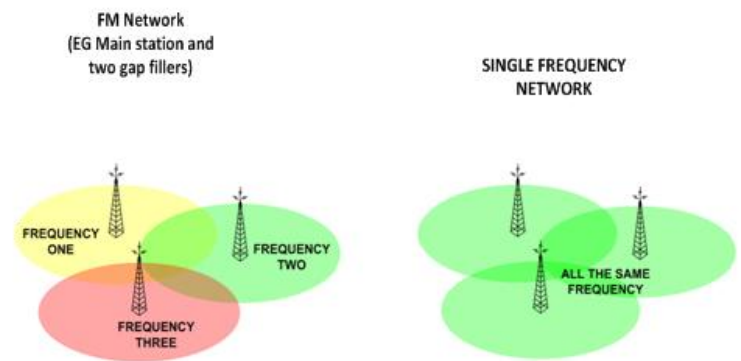
#### อังกฤษ

UK at launch (1995)	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	58 dBu/m

UK revised (2011)	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	58 dBu/m
Suburban Houses – Usable Coverage	64 dBuV/m
Suburban Houses – Strong Coverage	69 dBuV/m
Urban Buildings – Usable Coverage	71 dBuV/m
Urban Buildings – Strong Coverage	77 dBuV/m

## โครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว (Single Frequency Network)

การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกันโดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน เป็นแนวคิดหนึ่งในการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนในพื้นที่ในเมือง ซึ่งนำไปสู่การนำ Single Frequency Network (SFN) มาใช้ในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ ปัจจุบันอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (transmitters) จำนวนมากถูกปรับปรุงเพื่อพัฒนาพื้นที่ครอบคลุมให้ดียิ่งขึ้นอันส่งผลให้การทำ SFN มีความเป็นไปได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าการทำ SFN ต้องอาศัยการขยายจำนวนอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งจะเพิ่มต้นทุนด้านโครงข่าย แต่ต้นทุนดังกล่าวจะถูกแบ่งปันร่วมกันในหลายบริการ ทำให้ผลประโยชน์โดยรวมของการทำ SFN นั้นมากกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมา รูปภาพด้านล่างแสดงความแตกต่างระหว่างโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียวและโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว



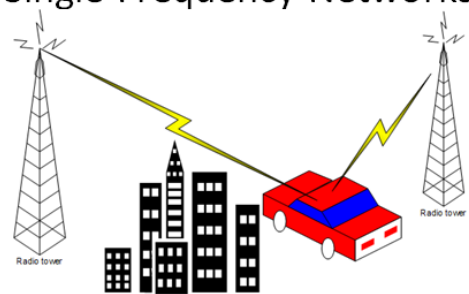
วิทยุดิจิทัลใน  
ได้กล่าวถึง

มาตรฐาน DAB+  
ประสิทธิภาพการ

ใช้งานโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว (SFN) ไว้ดังนี้

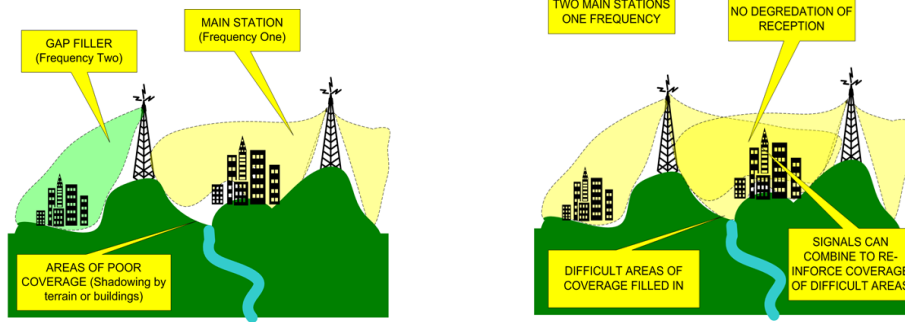
1. ลดปัญหาเรื่องการ Multipath ของสัญญาณที่รับมาจากสถานีส่งที่เดียว เนื่องจากมีสถานีข้างเคียงที่ความถี่เดียวกันช่วยให้เสริมความแรงของสัญญาณ direct wave ให้ดีขึ้น

### Multipath Resilience permits Single Frequency Networks



2. ใช้ประโยชน์จากความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากทุกสถานีส่ง ส่งสัญญาณด้วยความถี่เดียวกันและทุกสถานีส่งเป็นสถานีหลัก (main) ทั้งหมด
3. เสริมจุดอับสัญญาณได้ดีกว่า การส่งแบบเดิมที่ใช้ Gap filler เนื่องจากคุณสมบัติที่สัญญาณจากทุกสถานีที่เป็นความถี่เดียวกันสามารถทับซ้อนกันได้ทำให้เสริมความแรงของสัญญาณให้เข้าถึงพื้นที่อับสัญญาณได้ดีดังรูปล่าง

## Traditional FM Design – Gap Filler DAB DESIGN – 2 Main Stations



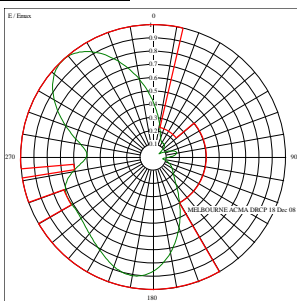
### การขยายอัตรากำลังส่ง (Maximising Power)

โดยทั่วไปแล้วผู้ให้บริการต้องการอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีกำลังส่งสูงเพื่อขยายความแรงของสัญญาณให้การกระจายเสียงครอบคลุมพื้นที่มาก แต่การใช้อัตรากำลังส่งที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดการรบกวนสัญญาณต่อคลื่นสัญญาณอื่นที่มีการใช้งานอยู่ ดังนั้นผู้ให้บริการจึงต้องจำกัดอัตรากำลังส่งและขอบเขตการส่งสัญญาณให้เป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยงานกำกับดูแลในประเทศของตน (Regulator Constraints)

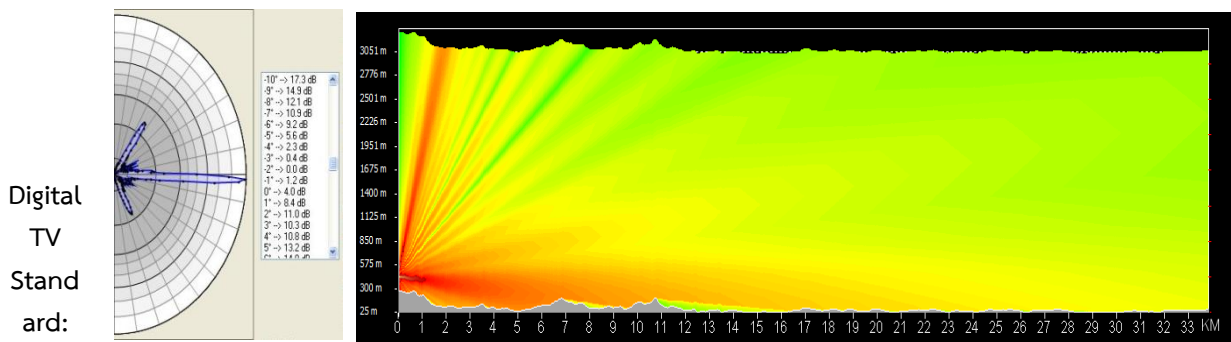
การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านอัตรากำลังส่งของหน่วยงานกำกับนี้อาจส่งผลให้การส่งสัญญาณไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เท่าที่ผู้ให้บริการต้องการ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มระดับพื้นที่ครอบคลุมโดยไม่เพิ่มอัตรากำลังส่งที่เกินจากขอบเขตคือการใช้ Beam Tilt ซึ่งเป็นการปรับองศาของเสาส่งสัญญาณอากาศในแนวทแยงเพื่อให้สัญญาณไม่สูญหายไปใบนานอน ส่งผลให้ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณที่ต้องการได้มากขึ้น

รูปแสดงตัวอย่างผลของการทำ Beam Tilt ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับองศาของเสาส่งอากาศลงสามารถปรับทิศทางการรับสัญญาณไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้ในระดับคุณภาพสัญญาณที่เป็นที่พึงพอใจ

### ก่อนการทำ Beam Tilt



### หลังการทำ Beam Tilt



## Digital TV: DVB and DVB+ Standard

DVB ย่อมาจาก Digital Video Broadcasting เป็นมาตรฐานกลางของการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คิดค้นและพัฒนาโดยกลุ่มองค์กร คณะกรรมการที่รวมตัวกันขึ้นมาเรียกว่า Joint Technical Committee (JTC) คณะกรรมการเหล่านี้ก็มาจากกลุ่มในประเทศยุโรปคือ European Telecommunications Standards Institute (ETSI), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) และ European Broadcasting Union (EBU)

มาตรฐาน DVB ในยุคแรก (1<sup>ST</sup> Generation) แบ่งออกได้เป็นมาตรฐานย่อยๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของการนำไปใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย

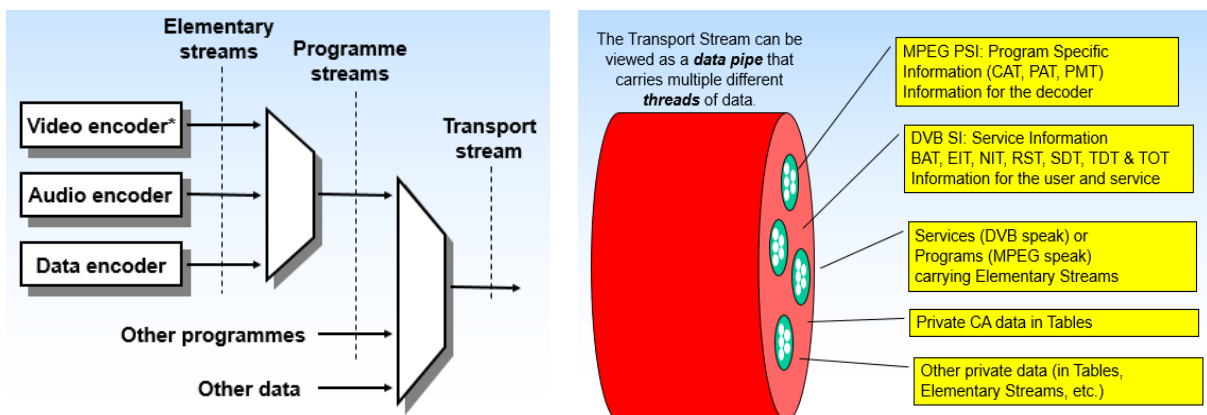
- DVB-S (Satellite) เป็นการส่งข้อมูลสัญญาณผ่านดาวเทียม (มาตรฐานในปี 1994) ซึ่งสัญญาณมีความหนาแน่นสูงที่ค่า C/N (อัตราสัญญาณคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน) ต่ำ
- DVB-C (Cable) ส่งผ่านทางสายเคเบิล (มาตรฐานในปี 1994) ซึ่งปกติค่า C/N จะสูง จึงส่งสัญญาณได้ปริมาณมากด้วยการมอดูเลตในอัตราข้อมูลที่สูง
- DVB-T (Terrestrial) เป็นการกระจายสัญญาณจากเสาสัญญาณเหมือนโทรทัศน์ทั่วไปหรือการส่งทางภาคพื้นดิน (มาตรฐานในปี 1997) การปรับพารามิเตอร์สำหรับการมอดูเลตที่ C/N สูง และพารามิเตอร์อื่นๆ ต้องคำนึงถึงการรับหลายทิศทาง (Multipath)

จะเห็นได้ว่ามาตรฐานหลักๆ จะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ โดยทุกแบบจะมีสิ่งที่เหมือนกันได้แก่ โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream) การเข้ารหัสป้องกัน (error correction : FEC) แต่แตกต่างกันในการมอดูเลตสัญญาณ มาตรฐาน DVB ในยุคที่ 2 ได้พัฒนาเป็น DVB-S2, DVB-C2 และ DVB-T2 ซึ่งได้นำเสนอวิธีการมอดูเลตและการเข้ารหัสป้องกันแบบใหม่

### โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream)

โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream) มีความสำคัญต่อการกระจายเสียงโทรทัศน์ในระบบ DVB เพราะเป็นพื้นฐานในการส่งภาพและเสียง สำหรับมาตรฐาน DVB และ DVB-T2 นั้นใช้มาตรฐาน MPEG-2 ในการส่งกระแสข้อมูลขนส่ง

กระแสข้อมูลขนส่งที่กล่าวมานี้ประกอบไปด้วยกระแสข้อมูลย่อยคือ กระแสข้อมูลรายการ (Programme Stream) หลายสาย ซึ่งแต่ละสายก็ประกอบไปด้วยกระแสข้อมูลพื้นฐาน (Elementary Stream) ที่ยังมีส่วนประกอบย่อยไปอีกคือ Video Encoder, Audio Encoder, และ Data Encoder กระแสข้อมูลขนส่งนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับท่อส่งข้อมูลที่อยู่ในประกอบด้วยสายข้อมูลหลายสายดังแสดงในรูปด้านล่าง



ในอีกมุมหนึ่งกระแสข้อมูลขนส่งที่จะถูกส่งต่อไปออกอากาศนั้นสามารถมองได้ว่าประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

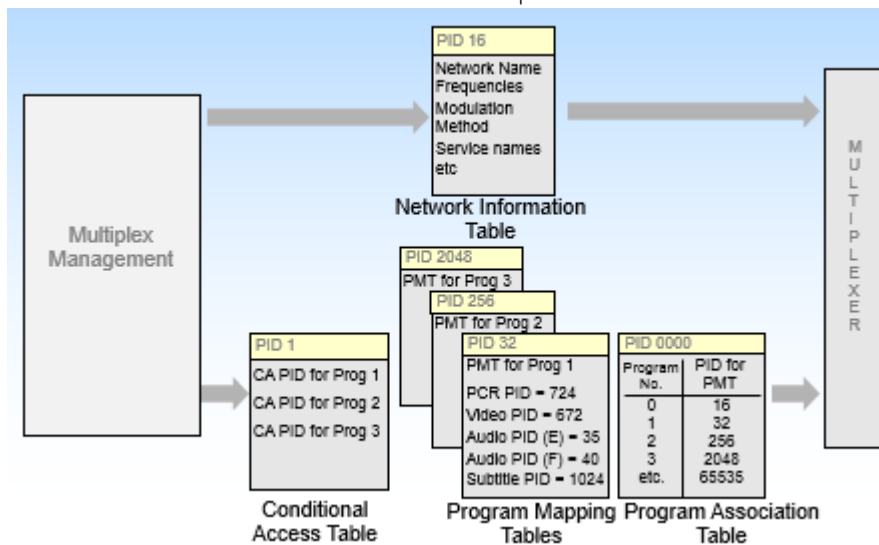
- MPEG Table Section ซึ่งประกอบไปด้วยตารางอ้างอิงต่างๆ ที่ในการที่จะส่งสัญญาณออกไป
- PES Packets ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลหลักคือภาพและเสียง และข้อมูลรอง เช่น Sync Byte, Transport Error Indicator, Transport Priority เป็นต้น

### MPEG Table Section

MPEG Table Section ประกอบไปด้วยข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ที่สำคัญต่อการส่งและรับสัญญาณภาพ ข้อมูลอ้างอิงที่สำคัญนี้ได้แก่

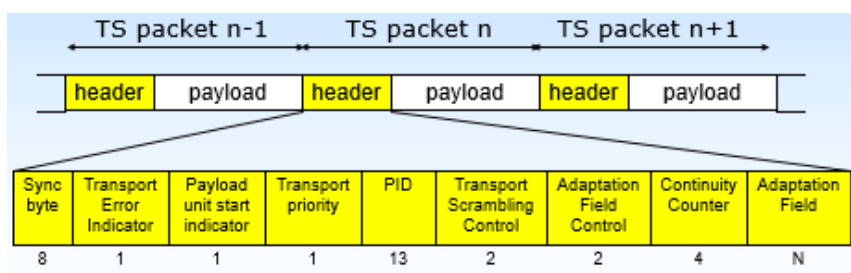
- Program Map Table (PMT): แต่ละโปรแกรมในกระแสข้อมูลขนส่งมีตารางนี้เป็นของตัวเอง ซึ่งตารางนี้อธิบายส่วนประกอบของโปรแกรมรายการและกระแสข้อมูลพื้นฐานของแต่ละโปรแกรมด้วย ตารางนี้ยังสามารถจัดเก็บข้อมูลอื่นที่ต้องการ เช่น Audio and Video encoding parameters, ข้อมูล pan & scan และข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของรายการ
- Program Association Table (PAT): PAT มีค่า PID ที่ 0 ซึ่งค่านี้ถูกนำไปใช้ในการชี้ไปยัง PMT สำหรับแต่ละโปรแกรมหรือบริการ
- Network Information Table (NIT): NIT ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจูนคลื่นสำหรับแต่ละบริการ เช่น ชื่อโครงข่าย เป็นต้น ข้อมูลโครงข่ายในตารางนี้ใช้โดยกล่อง Set-top-box ในการสแกนหาช่องใหม่โดยอัตโนมัติ

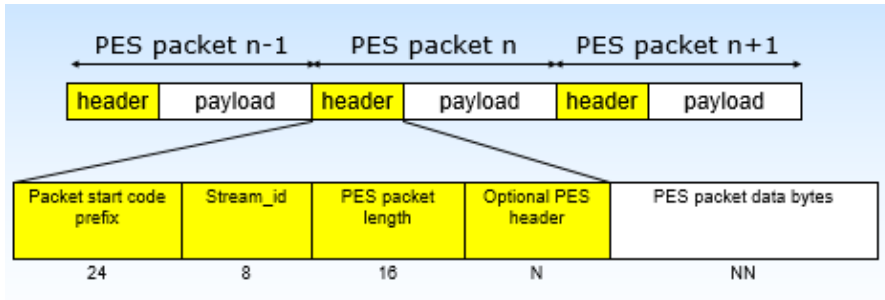
ภาพด้านล่างอธิบายโครงสร้างและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ของ MPEG Table Section ดังอธิบายข้างต้น



### PES Packets

PES Packet ประกอบไปด้วยข้อมูลหลักคือภาพและเสียง (Payload) และข้อมูลรอง (Header) ในส่วนของ Header นั้นประกอบไปด้วยข้อมูลย่อยต่างๆอันเป็นสิ่งสำคัญต่อการอธิบายการส่งข้อมูล เช่น Packet Start Code Prefix, รหัสกระแส (Stream ID), ความยาวของข้อมูล (packet length) เป็นต้น ภาพด้านล่างอธิบายโครงสร้างของ PES Packet โดยละเอียด



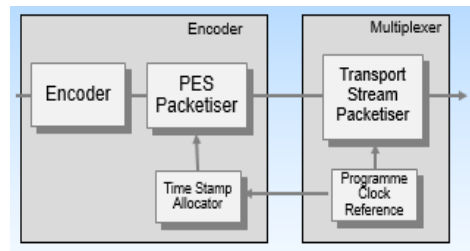


### MPEG Synchronisation

แต่ละกระแสข้อมูลขนส่งที่ส่งด้วย MPEG-2 Transportation สามารถบรรจุโปรแกรมรายการได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การส่งสัญญาณเป็นไปโดยดีและไม่เกิดการสับสนในการแยกสัญญาณที่ปลายทาง แต่ละโปรแกรมรายการจำเป็นต้องมีนาฬิกาโปรแกรม (Programme Clock) ที่เป็นอิสระของตัวเอง จำนวนกลุ่มตัวอย่างของนาฬิกาโปรแกรมหลายอันรวมกันนี้เรียกโดยรวมว่า Programme Clock Reference (ซึ่งการสุ่มตัวอย่างนี้ต้องเกิดขึ้นอย่างน้อยทุกๆ 0.1 วินาที) และถูกลำเลียงไปในกระแสข้อมูลขนส่งด้วย

นอกจากนั้นแล้ว เพื่อให้ข้อมูลเป็นไปในทางเดียวกัน กระแสข้อมูลขนส่งที่ส่งด้วย MPEG-2 Transportation ยังสามารถมี Presentation Time Stamp ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่า 33 bit binary และแสดงในหน่วย 90

KHz. ตัวข้อมูลนี้ทำหน้าที่ระบุเวลาที่ตัว Access Unit ควรถูกนำออกมาจาก Decoder Buffer และนำเสนอต่อผู้ชม



### ข้อมูลเฉพาะรายการ Program Specific Information (PSI)

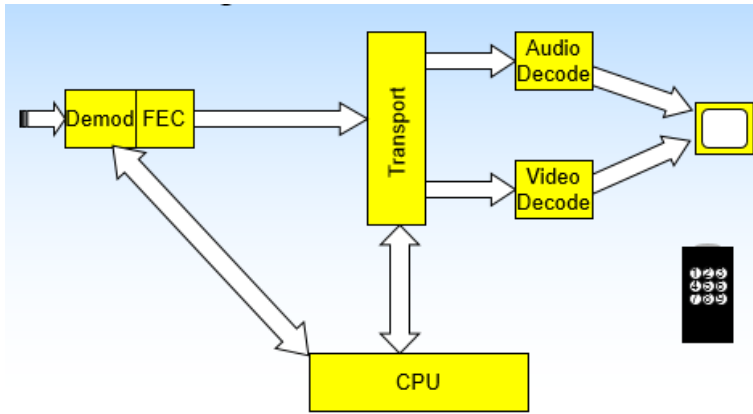
ตัว Program Specific Information (PSI) เป็นส่วนหนึ่งของกระแสข้อมูลขนส่งซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานในการเข้าถึงรายการหรือบริการ สิ่งแรกที่เครื่องรับสัญญาณทำคือดึงข้อมูล Program Association Table (PAT) มา ซึ่งตารางนี้จะให้รายชื่อบริการที่มีอยู่ในแต่ละกระแสข้อมูลขนส่งนั้นๆ และจะบอกเครื่องรับสัญญาณว่า Program Map Table (PMT) สามารถหาได้ที่ไหน ซึ่งตัว PMT นี้เองที่ทำหน้าที่ในการบอกเครื่องรับสัญญาณว่าจะทำการแปลงรหัสสัญญาณได้อย่างไร

### ข้อมูลบริการ Service Information (SI)

เนื่องจากข้อมูล Program Specific Information (PSI) ที่กล่าวข้างต้นเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเข้าใจได้โดยผู้ชมรายการเพราะเป็นข้อมูลที่อ่านออกโดยระบบเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ผู้ชมรายการได้รับข้อมูลการให้บริการของรายการที่วันนั้นๆ DVB จึงได้มีการให้ข้อมูล Service Information (SI) ที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ ซึ่งได้แก่ชื่อรายการและหมายเลขรายการ

### หมายเลขช่อง (Logical Channel Number)

การจัดหมายเลขช่องเป็นหนทางที่สะดวกและเข้าใจง่ายเพื่อให้ผู้ชมรายการสามารถเข้าถึงช่องรายการที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น หมายเลขของสถานีโทรทัศน์ที่ชื่อ ช่อง 4 อาจได้รับการจัดสรรช่องหมายเลข 4 ดังนั้นผู้ชมที่ต้องการชมรายการของสถานีนี้ก็กดรีโมทคอนโทรลทีวีไปที่หมายเลข 4 กระบวนการเลือกช่องสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิภาพดังนี้



1. เมื่อเริ่มเปิดทีวี ตัว CPU ของทีวีจะทำการกลั่นกรองข้อมูล Program Specific Information (PSI) จากกระแสข้อมูลขนส่งออกมา เพื่อสร้างตารางรายละเอียดข้อมูลบริการ
2. จากนั้นเมื่อผู้ชมรายการทีวีที่กรอกคีย์โมดคอนโทรลของทีวี ตัว CPU ก็เข้าไปที่กระแสข้อมูลขนส่งอีกครั้งเพื่อดึงข้อมูล Program Association Table (PAT) มีค่า PID ที่ 0 ออกมา และดึง Programme Mapping Table ออกมาด้วย
3. เมื่อถึงจุดนี้กระแสขนส่งสามารถส่งผ่านไปยังตัว Audio Decoder และ Video Decoder เพื่อแสดงภาพให้แก่ผู้รับชมได้

### การประสานกระแสขนส่ง (Transport Stream Interface)

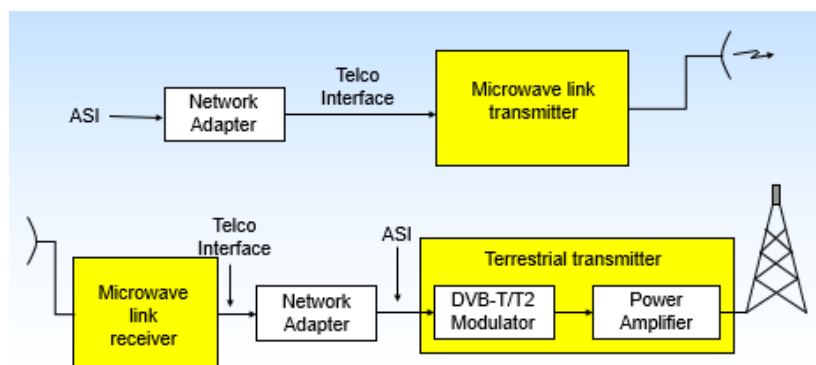
ตัวประสานงานที่ทำหน้าเป็น Interface ของกระแสขนส่งข้อมูลในมาตรฐาน MPEG-2 นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Asynchronous Serial Interface (ASI) ที่เรียกว่า EN50083-9 (CENELEC) ตัว ASI นี้ใช้ 270Mbit/s fixed line clock rate และสามารถขนถ่ายกระแสขนส่งข้อมูลโดยไม่มีกระตุก
2. IP Over Ethernet, SMPTE 2022 ซึ่งเป็นการส่งผ่านโดยใช้ระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ

### ช่องทางการกระจายสัญญาณ (Distribution)

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์นั้นสามารถทำได้หลายช่องทาง ดังต่อไปนี้

- ผ่าน IP LAN/WAN
- ใช้ ASI ผ่านไปยังสายไฟเบอร์สติก
- ผ่านดาวเทียมโดยใช้มาตรฐาน DVB-S or DVB-S2 ซึ่งเหมาะกับโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียวและมีตัวส่งหลายตัว แต่อาจจะประสบปัญหาการรบกวนอันเนื่องมาจากพระอาทิตย์ (Sun Outage) หรือฝนตก
- ผ่าน Network adapter ไปยัง E3 (34Mbit/s), DS3 (45Mbit/s), E4 (140Mbit/s) หรือ SDH STM1 และ SONET OC-3 (155Mbit/s)
- ผ่าน Microwave link โดยใช้มาตรฐาน DVB-S or DVB-S2 โดยแสดงแผนภูมิการกระจายสัญญาณดังรูปล่างนี้



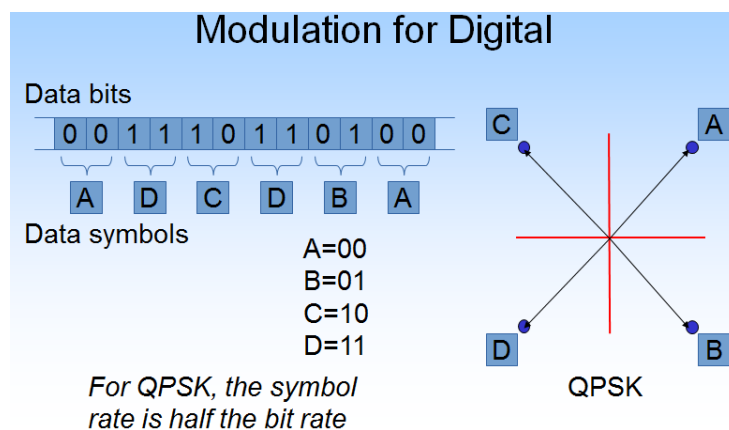
## การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Coding) ของกลุ่มมาตรฐาน DVB

สิ่งสำคัญในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล DVB ก็คือส่วนที่เรียกว่า OFDM ซึ่งย่อมาจาก Orthogonal Frequency Division Multiplex หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ FDM (Frequency Division Multiplex) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์ (การรวม) สัญญาณหลายๆ สัญญาณ หรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกัน เพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้น จำเป็นที่จะต้องมียุ่บป้องกัน (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่องโดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเปล่า หรือกล่าวในอีกหนึ่งได้ว่า กรรมวิธี OFDM ก็คือเทคโนโลยีของการฝากข้อมูลที่ต้องการส่งออกอากาศไปกับคลื่นพาห้ (หรือที่เรียกว่า sub-carrier) หลายๆ ตัวเพื่อสร้างความหลากหลายทางความถี่ (frequency diversity) ให้เกิดขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ที่จะกระจายความเสี่ยงไม่ให้ข้อมูลทั้งหมดไปถูกฝากอยู่กับคลื่นพาห้เพียงตัวเดียวเฉกเช่นที่เกิดขึ้นกับระบบสื่อสารอนาล็อก ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของยู่บป้องกัน โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าเสนอคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกัน ไม่รบกวนกัน สามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉากต่อกันเรียกว่าวิธีนี้ว่า Orthogonal เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน

ส่วนคำว่า “COFDM” มาจาก “Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ที่จริงแล้วก็คือเทคโนโลยีตัวเดียวกับ OFDM นั่นเอง ข้อแตกต่างระหว่าง COFDM และ OFDM มีเพียงจุดเดียวก็คือ จะมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปลายทางก่อน (Forward Error Correction; FEC) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ออกมาเข้าขั้นตอน OFDM เป็นลำดับต่อไป สรุปว่าความแตกต่างระหว่าง COFDM กับ OFDM อยู่ที่การทำ COFDM จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเข้ารหัสสัญญาณเพื่อการทำ FEC แล้วตามด้วยการมัลติเพล็กซ์แบบ OFDM

## การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)

การมอดูเลตสัญญาณในระบบดิจิตอลคือการฝากข้อมูลดิจิตอล 0 หรือ 1 ไปบนคลื่นความถี่พาห้ (carrier) โดยแปลงเป็นข้อมูลสัญลักษณ์ (Data symbols) ก่อนนำข้อมูลสัญลักษณ์ ไปแทนเป็นลักษณะขนาดและเฟสของคลื่นพาห้

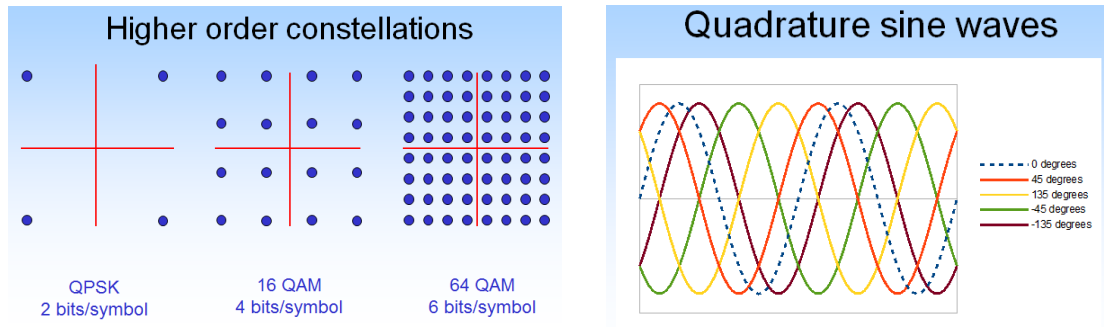


รูปบนแสดงให้เห็นถึงการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลแบบ QPSK ซึ่งให้ symbol rate เป็น  $\frac{1}{2}$  ของ bit rate ตามรูปจะเห็นว่า ข้อมูลสัญลักษณ์ A B C และ D จะแทนด้วยข้อมูลดิจิตอล 2 บิต คือ 00 01 10 และ 11 ตามลำดับ โดยข้อมูลสัญลักษณ์จะเป็นคลื่นพาห้ที่มีความถี่เดียวกัน ขนาด Amplitude เท่ากัน โดย A มีเฟส 45 องศา B มีเฟส -45 องศา C มีเฟส 135 องศา และ D มีเฟส -135 องศา ซึ่งจะเห็นว่ามีความต่างเฟสกัน 90 องศา ระหว่างข้อมูลสัญลักษณ์ด้วยกัน เรียกว่า Quadrature

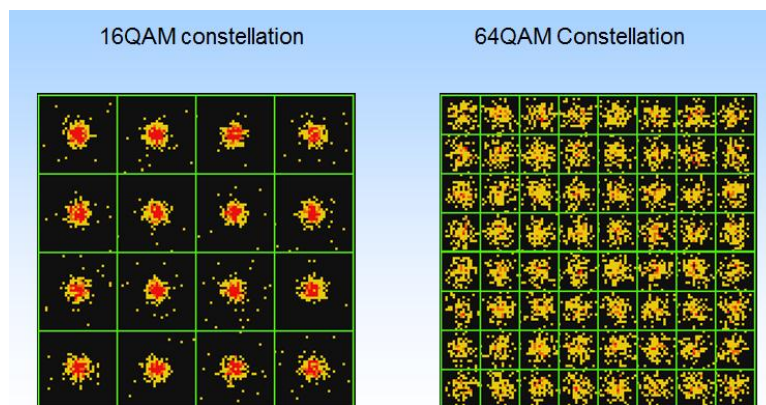


เมื่อนำข้อมูลสัญลักษณ์ A มุมเฟส 45 องศา B มุมเฟส -45 องศา C มุมเฟส 135 องศา และ D มุมเฟส -135 องศา ที่เป็นคลื่นความถี่พหุคูณที่มีขนาด Amplitude เท่ากัน แสดงในรูปสัญญาณ sine wave ในเชิงเวลา ซึ่งจะมีลักษณะตามรูปด้านขวา

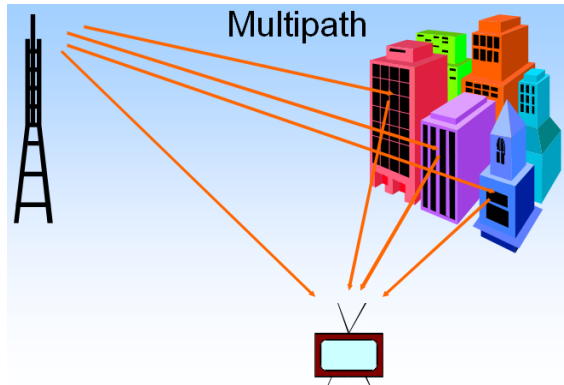
การมอดูเลตสัญญาณมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และแบบ QAM (ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก เช่น 16QAM, 64QAM, 256 QAM) โดยแต่ละโหมดจะให้อัตรา bit ต่อ symbol ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จะเห็นว่าการมอดูเลตสัญญาณแบบ 64 QAM จะให้การส่งข้อมูลได้สูงที่สุดคือ 1 symbol ต่อข้อมูล 6 bit ดังแสดงในรูปด้านล่างนี้



การมอดูเลตสัญญาณแบบ QAM นั้นทำโดยลักษณะ Gray coding ซึ่งแต่ละ symbol ที่ใกล้กันทั้งในแนวนอนหรือแนวตั้ง จะมีความต่างของข้อมูล 1 bit ในขณะที่ symbol ที่ใกล้กันในแนวทแยงมุม จะมีความต่างของข้อมูล 2 bit แต่ในทางปฏิบัติเมื่อเครื่องรับทำการรับสัญญาณที่มอดูเลชัน แบบ 16QAM และ 64QAM จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จะมีการกระจายจากจุด symbol ต่างๆ ที่ควรจะเป็น และจะเห็นว่า การมอดูเลตสัญญาณแบบ 64QAM มีโอกาสเกิดความผิดพลาดของข้อมูล (error) สูงกว่าการมอดูเลตสัญญาณแบบ 16 QAM ดังแสดงด้านล่าง



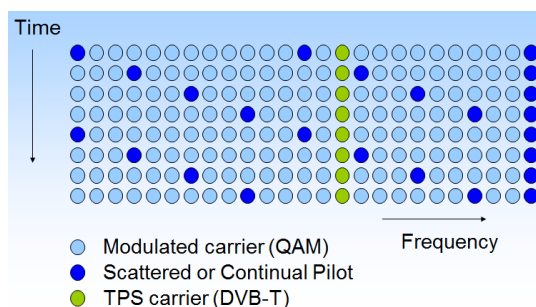
ในความเป็นจริงสัญญาณที่ส่งมาจากหลายทิศทาง (เรียกลักษณะนี้ว่า Multipath) ซึ่งในระบบ DVB-T2 ถือว่าสัญญาณที่สะท้อน (indirect path) มาถึงเครื่องรับเป็นส่วนเสริมให้กับสัญญาณหลัก (direct path) ให้มีความแรงขึ้น ดังนั้นถือได้ว่าระบบ DVB-T2 มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณเข้าซ้อนจากหลายทิศทาง (Multipath) ดังแสดงในรูป



กรณีที่สัญญาณสะท้อน (indirect path) ที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการรบกวนสัญญาณหลัก กล่าวคือหากสัญญาณชุดที่ 1 มาถึงเครื่องรับล่าช้า (delay) และมาผสมหรือรบกวนกับสัญญาณหลัก (direct path) ชุดที่ 2 กรณีนี้เราเรียกว่า inter-symbol interference (ISI) ดังนั้นเพื่อลด inter-symbol interference (ISI) จึงได้แทรกสิ่งทีเรียกว่า “Guard Interval” (GI) ลงไป ทั้งนี้ GI เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอในการรับสัญญาณระบบดิจิทัล กล่าวคือ GI จะช่วยลดผลกระทบจาก delay signal อันเนื่องมาจาก indirect wave ที่วิ่งเข้ามาถึงเครื่องรับ ผลจากการแทรก GI จะทำให้ 1 ช่วงเวลาของสัญญาณเพิ่มขึ้น โดย 1 ช่วงเวลาของสัญญาณจะประกอบด้วย 2 ช่วงเวลาย่อยคือ Guard interval duration และ useful symbol duration ถ้า GI มากขึ้น ค่า GI period และ GI length ก็จะมากขึ้นและเมื่อเพิ่ม sub-carrier จาก 2k (2000) เป็น 8k จะพบว่าค่า GI period และ GI length จะเพิ่มมากขึ้นตามไปอีกเช่นกัน เป็นผลอันเนื่องมาจากอัตราบิต (bit rate) ในแต่ละ sub-carrier ลดลง ดังแสดงในตารางด้านล่างนี้

Guard interval options in DVB-T				
GI	2K		8K	
	GI period (μs)	GI length (km)	GI period (μs)	GI length (km)
1/32	7	2.1	28	8.4
1/16	14	4.2	56	16.8
1/8	28	8.4	112	33.6
1/4	56	16.8	224	67.2

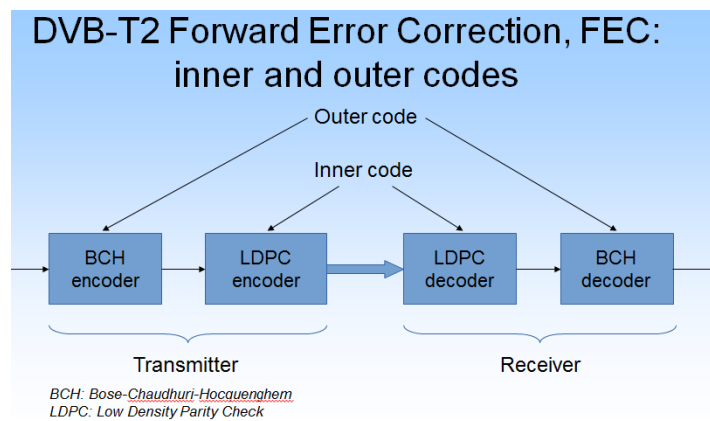
การจับคู่ (Mapping) pilot cells เข้ากับ sub-carrier ต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการ synchronization ของเครื่องรับ ตำแหน่งของ sub-carrier สำหรับ pilot cell ดังกล่าวจะถูกกำหนดเอาไว้ล่วงหน้าแล้ว ตัวอย่างหนึ่งในการ mapping pilot cell คือการการจับคู่ของ sub-carrier เข้ากับ pilot cell ดังรูปด้านล่างนี้



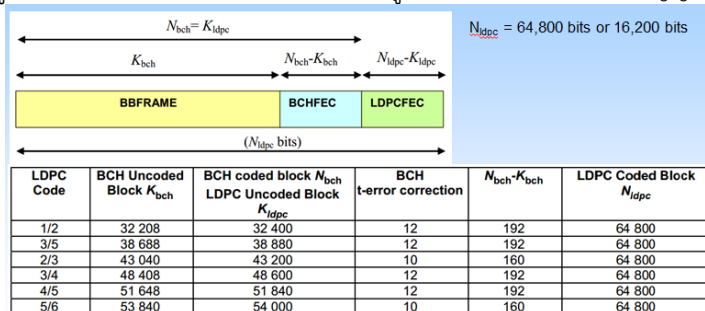
ซึ่งตัวอย่างนี้เป็นแบบหนึ่งจากการจับคู่ทั้งหมด 8 แบบ การเลือกแต่ละแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามเครื่องรับที่ใช้งานเช่น เครื่องรับเป็นแบบอยู่กับที่ (Fix) เครื่องรับเป็นแบบเดินเคลื่อนที่ (Portable) หรือเครื่องรับเป็นแบบเคลื่อนที่ (Mobile) เป็นต้น

### การแก้ไขสัญญาณ (Error Correction)

เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความทนทานต่อการรบกวนและการรบกวนในระหว่างการส่ง จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ของข้อมูล (0 หรือ 1) สำหรับ DVB-T2 นั้นทางฝั่งส่ง (Transmitter) จะเข้ารหัส 2 ชั้น การเข้ารหัสชั้นที่ 1 คือการเข้ารหัสภายนอก (Outer code) จะเป็นการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) การเข้ารหัสชั้นที่ 2 คือการเข้ารหัสภายใน (Inner code) เป็นการเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ดังแสดงได้ดังนี้



รูปด้านบนแสดงบล็อกไดอะแกรมลำดับการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ฝั่งส่ง (Transmitter) และการถอดรหัสของฝั่งรับ (Receiver) สำหรับการเข้ารหัสภายในเราสามารถเลือกปรับค่าพารามิเตอร์ในชั้นนี้ได้ตามความเหมาะสมโดยอัตราการเข้ารหัสแบบ LDPC มีอยู่ 5 โหมด 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 ถ้าเข้ารหัสแบบ LDPC ที่โหมด 1/2 ดังแสดงในรูปล่าง ซึ่งผลที่ได้คือจะให้อัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ แต่จะทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง (C/N ต่ำ)

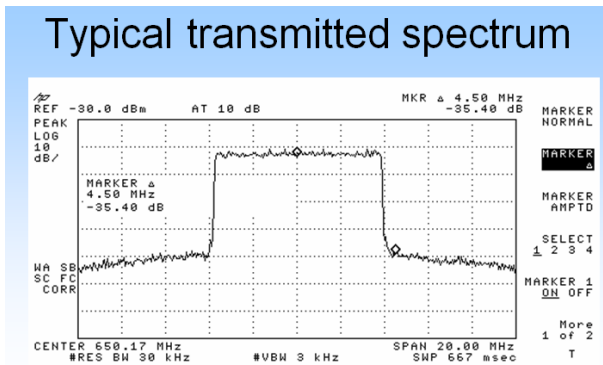


Choosing *low* code rate (e.g. 1/2) gives  
a *lower data capacity*  
but  
a *more rugged signal (lower C/N)*

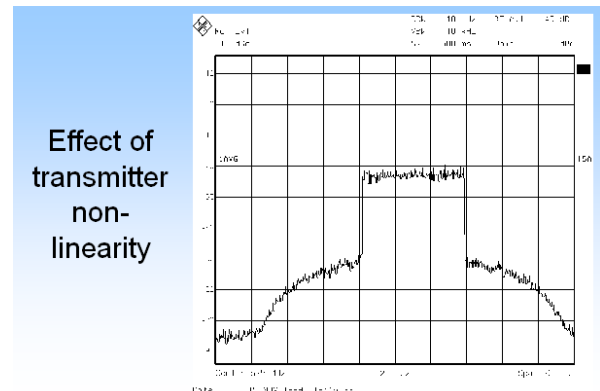
### การส่งออกอากาศ (Transmitted)

สำหรับการส่งออกอากาศ (transmitted) เครื่องส่งที่ดีควรขยายสัญญาณที่จะส่งออกไปอย่างไม่ผิดเพี้ยนหรือมีอัตราขยายที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงความถี่ใช้งาน ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความถี่อื่นที่ไม่พึงประสงค์ไปรบกวนการสื่อสารของช่องความถี่ข้างเคียง แต่ในความเป็นจริงหรือทางปฏิบัติแล้ว ถ้าปรับกำลังส่งเต็มความสามารถสูงสุดของเครื่องส่ง (max. power) ในช่วงกำลังส่งสูงสุดอัตราขยายของเครื่องส่งจะมีความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) คือจะเกิดสัญญาณความถี่ข้างเคียงขึ้น ทำให้มีผลไปรบกวนช่องความถี่ข้างเคียงได้ วิธีแก้ที่ดีที่สุดคือปรับลดกำลังส่งของเครื่องส่งให้ทำงานในช่วงเชิงเส้น (linear) ซึ่งจะได้ผลการขยายสัญญาณที่ไม่ผิดเพี้ยน

รูปตัวอย่างลักษณะคลื่นส่งออกโดยทั่วไป



รูปตัวอย่างคลื่นที่ไม่เป็นเชิงเส้น



### ความแตกต่างระหว่าง DVB-T2 และ DVB-T

จากที่กล่าวมา DVB-T2 มีหลักการทำงานคล้ายๆกับ DVB-T แต่มีประสิทธิภาพดีขึ้นมากกว่า 30-50 % เทคโนโลยีที่ใช้ใน DVB-T2 จะเป็นเทคโนโลยีที่มีการปรับปรุงพัฒนา ซึ่งในระบบ DVB-T ไม่มี เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ MPEG2 จะเปลี่ยนเป็น MPEG4/AVC (ISO/IEC Standard) หรือเรียกอีกว่า H.264 (ITU-T-standard) ก็ได้ เพราะเป็นมาตรฐานที่พัฒนารวมกัน บางคนเรียกรวมกันว่า H.264/AVC, AVC/H.264, H.264/MPEG-4 AVC หรือ MPEG-4/H.264 AVC

นอกจากนั้น DVB-T2 ได้เพิ่มตัวเลือกของแต่ละพารามิเตอร์ เช่น ค่าการมอดูเลชันของ DVB-T2 เพิ่มเป็น 256QAM ซึ่งจะสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 8 bits/symbol แนนอนว่าค่า useful Bitrates ก็จะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นต้น จากการศึกษาของประเทศอังกฤษ ถ้าเข้ารหัส DVB-T profile ที่ 64-QAM, 8k mode, coding rate 2/3, guard interval 1/32 จะมีประสิทธิภาพความคงทนเทียบเท่ากับ DVB-T2 profile ที่ 256-QAM, 32k mode, coding rate 3/5, guard interval 1/128 แต่ให้บิตเรตเพิ่มขึ้นจาก 24.13 Mbit/s (DVB-T) เป็น 35.4 Mbit/s (DVB-T2) หรือเพิ่มกว่า 46.5% ถ้าเทียบเป็นจำนวนรายการ DVB-T2 จะส่ง HD ได้ 3 – 4 ช่อง (SD 12 ช่อง) ในขณะที่ DVB-T ส่ง HD ได้ 1– 2 ช่อง (SD 6-7 ช่อง)

DVB-T vs DVB-T2		
	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

เทคนิคที่ช่วยให้ประสิทธิภาพความคงทนของสัญญาณ DVB-T2 ดียิ่งขึ้น ประกอบด้วย

- Rotated constellations เพิ่มความทนทานต่อการสูญเสีย, Gain เพิ่มขึ้น 3 dB, ไม่เกิดการสูญเสียที่ Gaussian Channel
- Alamouti Code เพิ่มการปรับปรุงให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในโครงข่ายความถี่เดียว (SFN) มากขึ้น
- Time Slicing (Power Saving) ช่วยในการประหยัดพลังงาน
- Physical Layer Pipes (PLP) ทำให้สามารถแยกชั้นของแต่ละการบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- FEC ใช้รหัสการป้องกันแบบ Low Density Parity Check (LDPC) ใช้ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose Chaudhuri Hocquengham) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า “Turbo-code” ถึง 30% (แบบเดียวกับที่ใช้กับ DVB-S2) ทำให้สัญญาณมีความทนทานต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น

## วิทยุดิจิทัล (Digital Radio)

วิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิทัล เป็นเทคโนโลยีใหม่ในศตวรรษ ที่ 21 ที่จะมาแทนที่การส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบ อนาล็อก AM และ FM ซึ่งใช้งานมานาน การส่งสัญญาณวิทยุในระบบดิจิทัลนั้นนอกจากช่วยให้การบริหารคลื่นที่มีอยู่อย่างจำกัดมีประสิทธิภาพขึ้นแล้ว ยังเพิ่มประสบการณ์การรับฟังที่ดีให้แก่ผู้ฟังด้วย เพราะนอกจากคุณภาพเสียงจะดีกว่าแล้ว วิทยุดิจิทัลยังมีคุณลักษณะโดดเด่นอื่นๆ เช่น สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความซึ่งเครื่องรับวิทยุสามารถนำมาใช้แสดงชื่อสถานี ความถี่ ชื่อรายการ ชื่อเพลงและชื่อนักร้องได้ และวิทยุดิจิทัลก็สามารถรับสัญญาณเตือนภัยพิบัติได้อีกด้วย ปัจจุบัน วิทยุดิจิทัลมีการออกอากาศในหลายระบบ เช่น HD Radio (High Definition Radio), DRM (Digital Radio Mondiale), DAB (Digital Audio Broadcasting) และ DAB+ (Digital Audio Broadcasting Plus) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละประเทศว่าระบบใดเหมาะสมกับประเทศของตน

### ทำไมต้องวิทยุดิจิทัล

การให้บริการวิทยุระบบอนาล็อก FM และ AM ซึ่งรู้จักและใช้กันมาเป็นเวลานานนั้นมีความถี่ที่จำกัดและในปัจจุบันคลื่นความถี่เหล่านี้ถูกนำมาใช้งานเกือบหมดแล้ว ส่งผลให้การเพิ่มจำนวนสถานีวิทยุในระบบนี้และการให้บริการในรูปแบบใหม่ทำได้ยาก การเปลี่ยนแปลงวิทยุอนาล็อกเป็นวิทยุดิจิทัลสามารถแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาได้ นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบทั้งทางด้านคุณภาพเสียง ทางเลือกผู้ใช้บริการ และการเพิ่มลูกเล่น ดังนี้

คุณภาพเสียง	ทางเลือก	การเพิ่มลูกเล่น
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีคุณภาพเสียงที่ดีกว่า</li> <li>- ความง่ายในการหาคลื่น</li> <li>- การส่งผ่านข้อมูลอื่นๆประกอบเสียง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถมีสถานีวิทยุมากขึ้นในจำนวนคลื่นความถี่ที่ใช้ที่เท่ากัน</li> <li>- สามารถตั้งสถานีวิทยุเฉพาะทางได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถส่งภาพประกอบเสียงได้</li> <li>- สามารถให้ผู้ฟังสื่อสารกับและระบบได้ (Interactivity)</li> </ul>

ตัวอย่างวิทยุดิจิทัลที่มีขายในท้องตลาด ราคาตั้งแต่ \$25 ขึ้นไป



ตัวอย่างบริษัทผลิตรถยนต์ที่เริ่มใช้วิทยุดิจิทัลสำหรับรถยนต์ มีดังนี้



## หน่วยงานที่สนับสนุนวิทยุดิจิทัล

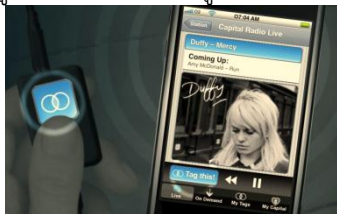
WorldDMB เป็นองค์กรไม่แสวงหากำไรที่สนับสนุนวิทยุดิจิทัลทั่วโลก โดยมีหน้าที่รับผิดชอบหลักในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของวิทยุดิจิทัล DAB และ DAB+ WorldDMB ทำงานร่วมกับผู้ให้บริการกระจายเสียง ผู้ให้บริการโครงข่าย ผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้ผลิตยานพาหนะ ผู้ใช้บริการ รัฐบาล และหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนความร่วมมือระหว่างประเทศ และประสานงานเกี่ยวกับการให้บริการต่างๆ ปัจจุบัน WorldDMB มีสมาชิกมากกว่า 80 บริษัทและองค์กรจาก 22 ประเทศ

## วิทยุดิจิทัลสามารถสร้างมูลค่าให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงอย่างไร

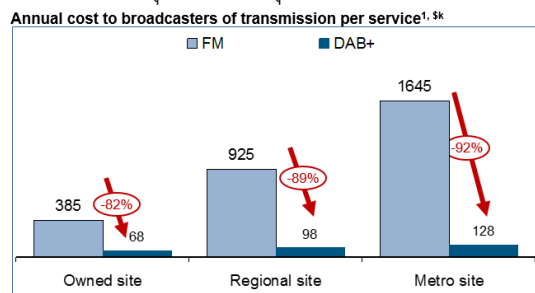
- เพิ่มจำนวนผู้ฟัง:** วิทยุดิจิทัลสามารถสร้างมูลค่าให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงโดยเพิ่มจำนวนผู้ฟังเนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการสถานีวิทยุได้มากกว่าวิทยุอนาล็อก (AM และ FM) และมีประสิทธิภาพในการขยายพื้นที่ให้บริการได้มากกว่า เช่น ในประเทศอังกฤษวิทยุ AM และ FM ครอบคลุมพื้นที่ในเมือง London และ Manchester และมีประชากรผู้ให้บริการจำนวน 14 ล้านคน ในขณะที่วิทยุดิจิทัลในระบบ DAB ครอบคลุมพื้นที่ในหลายภูมิภาค และมีประชากรผู้ให้บริการจำนวน 40 ล้านคน เป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 22
- เพิ่มรายได้:** วิทยุดิจิทัล (DAB+) สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียง โดยสถานีวิทยุต่างๆสามารถหาผู้สนับสนุนรายการได้เพิ่มมากขึ้น และจอภาพสีบนวิทยุดิจิทัลสามารถใส่ข้อมูลต่างๆได้ จึงสร้างโอกาสในการหารายได้ได้มากขึ้น เช่น การใส่รูปสินค้า เครื่องหมายการค้า ข้อเสนอพิเศษ ที่ตั้งร้านค้าและเวลาทำการ และอื่นๆ (ดังภาพประกอบด้านล่าง)



นอกจากนี้ ผู้ใช้บริการสามารถรับฟังเพลงใหม่ๆบนวิทยุดิจิทัล โดยกดปุ่ม Tag เพื่อดูรายละเอียดของเพลง เพิ่มเข้ารายการเพลงโปรด แบ่งปันเพลงให้กับเพื่อน และผู้ให้บริการสามารถรับฟังและเห็นโฆษณาสินค้าทางวิทยุ โดยสามารถสื่อสารกับผู้ให้บริการและขอข้อมูลเพิ่มเติมได้อีกด้วย (ดังภาพประกอบด้านล่าง)



- ลดค่าใช้จ่าย:** วิทยุดิจิทัลทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ให้บริการลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงจากตัวอย่างตารางค่าใช้จ่ายรายปีของผู้ให้บริการเปรียบเทียบระหว่างวิทยุ FM กับวิทยุดิจิทัล DAB+



## การพัฒนาวิทยุดิจิทัลในประเทศต่างๆ

### ทวีปเอเชียแปซิฟิก

ทวีปเอเชียแปซิฟิกมีการเริ่มใช้และวางแผนทดลองออกอากาศวิทยุดิจิทัลในแถบเอเชียแปซิฟิก ดังนี้



### ออสเตรเลีย

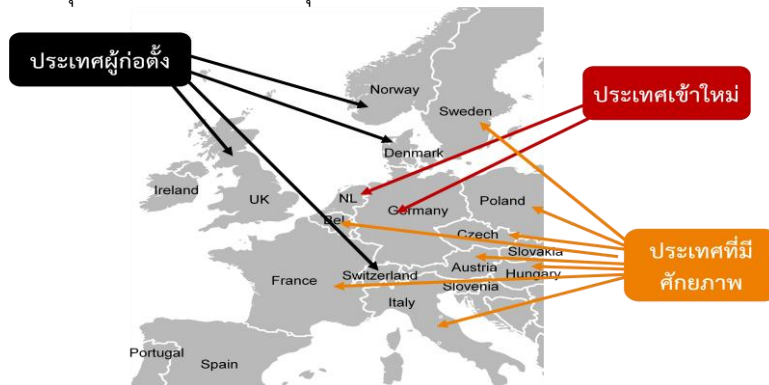
ประเทศออสเตรเลีย มีการเริ่มใช้ DAB+ ในปี ค.ศ. 2009 ใน 5 เมืองใหญ่ๆ และมีการขายอุปกรณ์ที่ใช้กับวิทยุระบบดิจิทัลเป็นจำนวน 1.6 ล้านชิ้น ซึ่งเป็นการเข้าถึงร้อยละ 16 ของครัวเรือนทั้งหมดในประเทศ นอกจากนี้ มาตรฐาน DAB+ ยังใช้กับรถยนต์หลายรุ่น เช่น Toyota Camry Atara SL, Hybrid HL and Aurion V6 Presara; Ford Kuga, Mercedes Benz A45 AMG และ BMW X5

### ฮ่องกง

ประเทศฮ่องกง มีการเริ่มใช้ DAB+ ในปี ค.ศ. 2011 โดยครอบคลุมมากกว่าร้อยละ 70 ของประชากร และมีการขายอุปกรณ์ที่ใช้กับวิทยุระบบดิจิทัลเป็นจำนวน 300,000 ชิ้น โดยมีโครงข่ายระดับชาติจำนวน 1 โครงข่าย และมีช่องวิทยุที่ให้บริการในระบบดิจิทัลจำนวน 15 ช่องรายการ ซึ่งในจำนวนนี้มีการออกอากาศแบบคู่ขนานกับระบบอนาล็อกเดิม 4 ช่อง และออกอากาศในระบบดิจิทัลอย่างเดียว 11 ช่อง

### ทวีปยุโรปและแอฟริกา

มีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระบบดิจิทัลในทวีปยุโรป ดังนี้



## **นอร์เวย์**

ประเทศนอร์เวย์ มีจำนวนร้อยละ 45 ของผู้ฟังวิทยุรับฟังวิทยุในระบบดิจิทัลและDAB ครอบคลุมร้อยละ 98.8 ของพื้นที่ทั่วประเทศนอร์เวย์เป็นประเทศแรกที่จะเปลี่ยนผ่านจากวิทยุอนาล็อกเป็นวิทยุดิจิทัลได้ทั้งหมด (Digital switchover) และคาดว่าจะสำเร็จในปี ค.ศ. 2017

## **อังกฤษ**

ประเทศอังกฤษ มีจำนวนร้อยละ 48 ของครัวเรือนทั้งหมดที่ใช้ DAB และสัญญาณ DAB ครอบคลุมร้อยละ 94 ของพื้นที่ทั่วประเทศและถนนสายหลัก คาดว่าภายในปี ค.ศ. 2015 จะมีตัวส่งสัญญาณมากกว่า 360 ราย และมีผู้ให้บริการโครงข่ายธุรกิจระดับชาติเพิ่มขึ้นมาเป็นรายชื่อที่ 2

## **เดนมาร์ก**

ประเทศเดนมาร์ก มีประชากรจำนวนร้อยละ 34 ที่มีวิทยุดิจิทัล เมื่อแรกเริ่มนั้นประเทศเดนมาร์กเลือกใช้วิทยุดิจิทัลในระบบ DAB แต่ได้มีการเปลี่ยนมาเป็นระบบ DAB+ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า สำหรับการยกเลิกระบบอนาล็อก FM นั้นคาดว่าจะทำได้ในปี ค.ศ. 2019

## **สวีตเซอร์แลนด์**

ประเทศสวีตเซอร์แลนด์ มีครัวเรือนประมาณร้อยละ 33 ที่ใช้วิทยุดิจิทัล และ DAB ครอบคลุมจำนวนร้อยละ 94 ของพื้นที่ทั่วประเทศ และคาดว่าในปี ค.ศ. 2016 จะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ประเทศสวีตเซอร์แลนด์กำลังอยู่ในขั้นตอนวางแผนในการเปลี่ยนจาก DAB ไป DAB+

## **เยอรมนี**

ประเทศเยอรมนี เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2011 โดยให้บริการทั้งระดับชาติ ระดับภูมิภาค และระดับท้องถิ่น มีการให้บริการครอบคลุมมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ทั้งหมด

## **เนเธอร์แลนด์**

ประเทศเนเธอร์แลนด์ เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนกันยายน ค.ศ. 2013 มีการให้บริการร้อยละ 95 ของพื้นที่ทั้งหมด และมีผู้ให้บริการ 26 ราย เป็นบริการทางธุรกิจ 17 ราย และสาธารณะ 9 ราย

## **อิตาลี**

ประเทศอิตาลี มีการอนุญาตการให้บริการ DAB+ ในเมือง Trentino ในปี ค.ศ. 2012 และมีโครงข่ายแห่งชาติ 2 รายที่อยู่ในระหว่างการทดลอง ซึ่งครอบคลุมร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด หน่วยงานกำกับดูแลของประเทศมีเป้าหมายที่จะให้บริการวิทยุดิจิทัลภายในสามปีข้างหน้า

## **ฝรั่งเศส**

ประเทศฝรั่งเศส มีการอนุญาตการให้บริการในเมือง Paris, Nice และ Marseille และเริ่มใช้ DAB+ ในปีเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2014

## **โปแลนด์**

ประเทศโปแลนด์ เริ่มใช้ DAB+ ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2013 ในเมือง Warsaw และ Katowice และวางแผนที่จะใช้งานอีก 8 เมือง ในปี 2014



## สวีเดน

ประเทศสวีเดน รัฐบาลและผู้ให้บริการกระจายเสียงสนับสนุนวิทยุดิจิทัลในระบบ DAB+ มีการแต่งตั้งที่ปรึกษาที่มีความเชี่ยวชาญพิเศษขึ้นมาเพื่อช่วยพิจารณา ซึ่งรัฐสภาจะทำการตัดสินใจที่จะอนุมัติหรือไม่ ในปี ค.ศ. 2015

## แอฟริกาใต้

ประเทศแอฟริกาใต้กำลังเริ่มการทดลองออกอากาศซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่จาก Pretoria ถึง Johannesburg และเข้าถึงมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด

## การดำเนินการในการพัฒนาวิทยุในระบบดิจิทัล

กระบวนการการเริ่มต้นของวิทยุดิจิทัลนั้นอาศัยความร่วมมือของหลายฝ่ายทั้งผู้ออกนโยบายและระเบียบข้อบังคับ ผู้ให้บริการกระจายเสียง ผู้ให้บริการสัญญาณ ผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้ขายปลีก และผู้บริโภค



หน่วยงานซึ่งทำหน้าที่ผู้ออกนโยบายและระเบียบข้อบังคับต้องอาศัยแผนในเชิงเศรษฐกิจที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและออกระเบียบข้อบังคับที่จูงใจให้ผู้ให้บริการกระจายเสียงภาคเอกชน นอกจากนี้แนวทางการดำเนินการควรเป็นไปในแนวทางเดียวกันระหว่างผู้ออกนโยบายและผู้ให้บริการด้วย โดยมีการร่วมกันแสดงความคิดเห็นและวิสัยทัศน์ นอกจากนี้แล้วการนำเสนอเนื้อหารายการจะต้องน่าเชื่อถือและโดดเด่น ซึ่งเครื่องหมายการค้าก็มีบทบาทที่สำคัญ

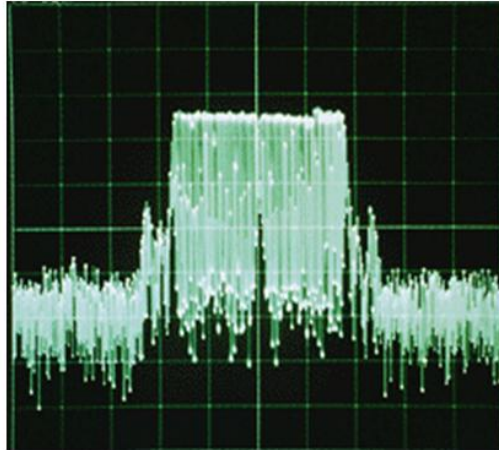
## ความแตกต่างระหว่างวิทยุดิจิทัลในแต่ละระบบ

ในการดำเนินการเปลี่ยนผ่านจากวิทยุอนาล็อกไปสู่วิทยุดิจิทัลนั้น ความเข้าใจในความแตกต่างระหว่างวิทยุดิจิทัลในระบบต่างๆเป็นสิ่งสำคัญในการที่จะทำให้การเปลี่ยนผ่านประสบความสำเร็จ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นในปัจจุบันวิทยุดิจิทัลมีการออกอากาศในหลายระบบ เช่น HD Radio (High Definition Radio), DRM (Digital Radio Mondiale), DAB (Digital Audio Broadcasting) และ DAB+ (Digital Audio Broadcasting Plus) ซึ่งแต่ละแบบถูกออกแบบการใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น DRM ออกแบบมาใช้ในการส่งกระจายเสียงที่จะทดแทนการส่งวิทยุ AM และวิทยุคลื่นสั้น (SW) โดยการนำคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานอยู่เดิมมาเปลี่ยนเป็นระบบการส่งกระจายเสียงในระบบดิจิทัล ดังนั้น หากนำมาใช้งานก็จะต้องเลิกการส่งวิทยุกระจายเสียง AM (MW, SW) ในระบบอนาล็อก ส่วน DAB หรือ DAB+ ออกแบบมาใช้งานทดแทนการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ FM แต่จะเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานมาใช้ในย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ VHF Band III ความถี่ 174-240 MHz (และการส่งสัญญาณโทรทัศน์ต้องเปลี่ยน ไปใช้ย่านความถี่ UHF แทน) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง DAB+ กับ DAB จะพบว่า DAB+ ให้คุณภาพเสียงดีกว่าเดิม มีประสิทธิภาพสูงและประหยัด ที่กำลังส่งเท่ากันจะครอบคลุมพื้นที่ให้บริการมากกว่า (C/N เพิ่มขึ้น 2 dB) ไม่มีปัญหาเรื่องเสียงรบกวนที่นำราคาเมื่อรับคลื่นของสถานีได้เบาบาง และสามารถให้บริการข้อมูลโปรแกรมรายการ (EPG) ข้อมูลเสริมที่เป็นข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้

## หลักการทางด้านเทคนิคของวิทยุดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB+

การส่งกระจายเสียงดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB+ ถูกพัฒนาในปี 2006 โดยพัฒนาต่อมาจาก DAB ซึ่งมีเป้าหมายเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพของการเข้ารหัสสัญญาณเสียง (audio codec) เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณบริการ (service channel) ต่อ 1 ช่องความถี่วิทยุที่ใช้งาน (1 radio channel) ดังแสดงในรูปล่างซึ่งชี้ให้เห็นถึงช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบ DAB+

### DAB Ensemble

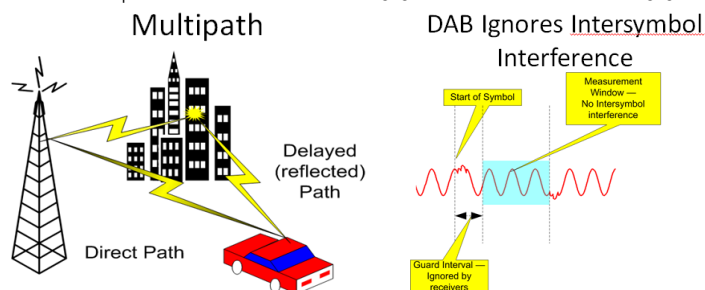


แต่วัตถุประสงค์ที่สำคัญของ DAB+ คือ การใช้มาตรฐาน DAB ที่มีอยู่แล้ว และให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในการที่จะทำให้ง่ายสำหรับผู้ผลิตเครื่องรับและผู้ให้บริการซึ่งจะเห็นว่ามาตรฐานในการส่งสัญญาณ RF (Radio Frequency Transmission) ยังคงเหมือนเดิมตามเทคโนโลยี DAB คือเป็นการส่งสัญญาณแบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งเกิดจากการผสมสัญญาณ (Modulation) ระหว่างข้อมูลที่ถูกรหัส (Codec) กับคลื่นพาหะย่อย (sub-carrier) ต่างๆ ซึ่งคลื่นพาหะย่อยแต่ละความถี่ที่อยู่ติดกันจะตั้งฉากกัน (Orthogonal) ทางเวกเตอร์

ประโยชน์ของการส่งสัญญาณแบบ COFDM ของการส่งกระจายเสียงดิจิทัลในมาตรฐาน DAB ซึ่งเป็นรากฐานของระบบ DAB+ ประกอบด้วย

4. จำนวนคลื่นพาหะย่อยที่มากถึง 1,536 sub-carrier ซึ่งจะส่งผลให้อัตราข้อมูล (bit rate) ในแต่ละ sub-carrier อยู่ในระดับที่ต่ำ ทำให้ลดปัญหาเรื่องข้อมูลที่ชนกันเสียหายเนื่องจากการรับสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง
5. การที่ช่วงความถี่ใช้งานที่กว้างมากถึง 1.5 MHz ทำให้ลดปัญหาที่เกิดจากบางช่วงความถี่ลดทอน (fading)
6. ช่วงเวลาระยะห่างของข้อมูลที่อยู่ติด (Time Interleaving) มีช่วงกว้างถึง 768 มิลลิวินาที ทำให้ปัญหาความเสียหายของกลุ่มข้อมูลลดลง

ประโยชน์ที่กล่าวมาเหล่านี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ โดยเฉพาะในกรณีสัญญาณสะท้อนจากหลายแหล่ง



รูปข้างต้นแสดงสภาวะการรับสัญญาณจากหลายทิศทาง (Multipath) ซึ่งสัญญาณเหล่านั้นมาจากสถานีส่งแห่งเดียวกัน ดังนั้นเพื่อลด inter-symbol interference (ISI) จึงได้แทรกสิ่งที่เรียกว่า “Guard Interval” ลงไประหว่างชุดข้อมูล (symbol) แต่ละชุด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ กล่าวคือจะช่วยลดผลกระทบจากการ delay ของ indirect wave จะเห็นว่าบริเวณ Guard Interval จะเป็นเวลาที่เพื่อไว้สำหรับ symbol ของ indirect wave ที่มาล่าช้า ซึ่งเครื่องรับจะไม่นำสัญญาณในช่วงนี้มาใช้

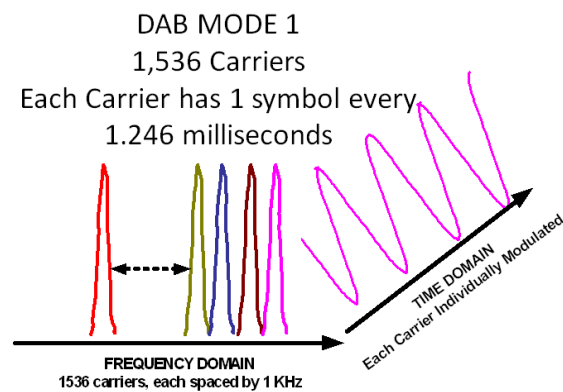
## โหมดการทำงานของระบบ DAB

ระบบ DAB มีอยู่ด้วยกัน 4 โหมดได้แก่

- โหมด 1 ใช้ ออกอากาศภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ VHF Band III (ช่วงความถี่ที่ประมาณ 200 MHz)
- โหมด 2 & 4 ใช้ ออกอากาศภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ L Band (ช่วงความถี่ที่ประมาณที่ 1500 MHz)
- โหมด 3 ใช้ ออกอากาศผ่านดาวเทียม ในย่านความถี่ L Band (ช่วงความถี่ที่ประมาณ 1500 MHz)

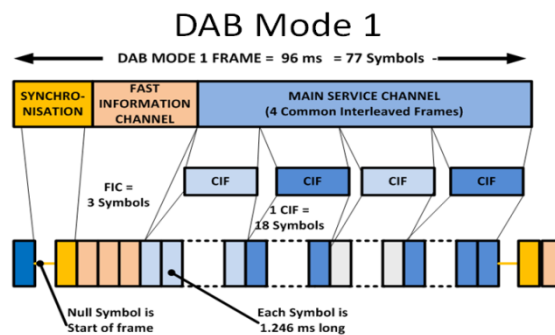
### ระบบ DAB โหมด 1

ระบบ DAB ที่กล่าวมาทั้ง 4 โหมด พบว่าระบบ DAB โหมด 1 มีการใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 99 ระบบ DAB โหมด 1 นี้มีจำนวนคลื่นพาหะย่อย (sub-carrier) มากถึง 1,536 sub-carrier และ ณ ความถี่เดียวกันแต่ละ sub-carrier มีช่วงเวลาห่างกัน 1.246 มิลลิวินาที แสดงดังรูปล่าง



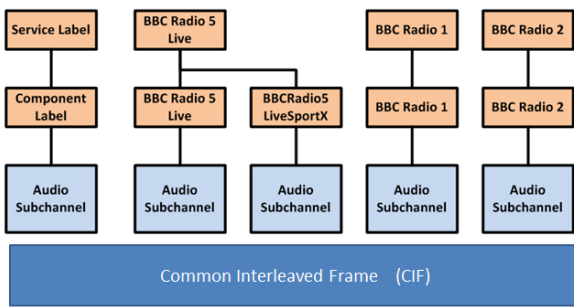
ในส่วนของโครงสร้างเฟรมของ DAB โหมด 1 นั้นใน 1 เฟรมจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- Synchronization ใช้สำหรับทำให้เครื่องรับวิทยุสามารถจับจังหวะช่วงเวลาให้สอดคล้องกับ Symbol ในเฟรม
- Fast Information channel จะบรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณ
- Main service channel คือช่องสัญญาณนั่นเอง ภายในจะประกอบด้วย CIF (Common Interleaved Frame) ซึ่งจะมีจำนวน 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดผ่านกระบวนการ Interleave มาแล้ว

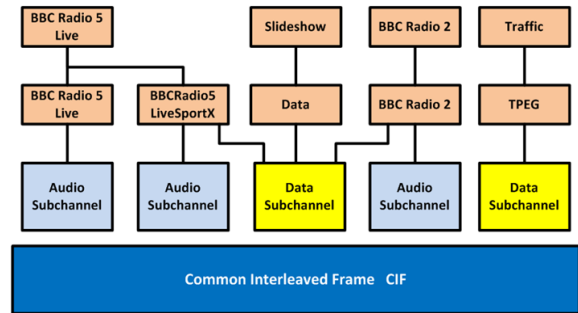


เฟรม CIF จะประกอบด้วยบล็อก Audio Sub-channel โดยบล็อก Audio Sub-channel 1 ชุด รองรับผู้ให้บริการ (service channel) 2 ราย ในช่อง Audio Sub-channel นั้นสามารถใช้เป็นช่อง Data Sub-channel ใช้ในการส่งข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้ด้วย เช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลการจราจร (TPEG) เป็นต้น

## Subchannel Organisation



## Adding Data Services

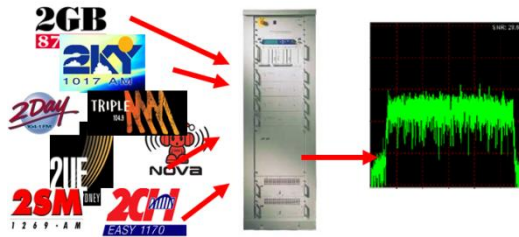


มาตรฐาน DAB+ จะต่างจาก DAB ตรงที่เรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ซึ่งสัญญาณเสียงใน DAB+ จะถูกเข้ารหัสเป็นแบบ Mpeg 4 HE-AAC V.2 ที่มีอัตราบิตประมาณ 48 kbps ซึ่งจะต่ำกว่าแบบระบบ DAB ถึง 1/2 เท่า ที่คุณภาพเสียงเท่ากัน

### การบีบอัดและส่งสัญญาณของวิทยุดิจิทัล

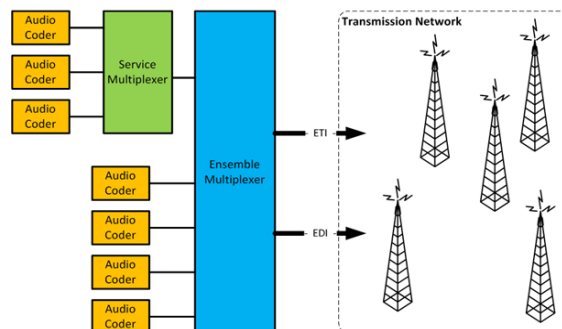
การส่งสัญญาณด้วยมาตรฐาน DAB และ DAB+ นั้นสามารถบีบอัดสัญญาณของหลายช่องรายการไปใน 1 DAB Ensemble ได้ ดังแสดงตัวอย่างด้านล่าง

### DAB Ensemble



ในส่วนของการส่งสัญญาณนั้น Audio coder จะทำหน้าที่เข้ารหัสสัญญาณจากผู้ให้บริการและส่งผ่านไปยัง Ensemble Multiplexer โดยตรง (หรือผ่าน Service Multiplexer) ซึ่งทำหน้าที่รวมสัญญาณทั้งหมดและส่งไปยังเครือข่ายส่งสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศต่อไป ดังแสดงในแผนภาพด้านล่าง

### DAB+ Network



### การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณวิทยุดิจิทัล (Coverage Planning)

ในการเปิดให้บริการกระจายเสียงด้วยเทคโนโลยีใหม่ เช่นการเปิดให้บริการกระจายเสียงระบบดิจิทัลด้วยมาตรฐาน DAB หรือ DAB+ นั้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งคือการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผู้รับฟังวิทยุสามารถรับสัญญาณได้อย่างทั่วถึงและสัญญาณที่ได้รับมีคุณภาพที่ดีในระดับที่พึงพอใจ เพราะหากผู้บริโภคซื้ออุปกรณ์ใหม่แต่ไม่สามารถรับฟังได้ตามความคาดหวังแล้วอาจส่งผลให้กระทบให้ขาดความเชื่อมั่นในเทคโนโลยีใหม่ ในขณะที่การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณก็เป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ให้บริการกระจายเสียงว่ารายการที่แพร่ออกอากาศออกไปสามารถเข้าถึงผู้ฟังได้อย่างทั่วถึงตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

### เปรียบเทียบวิทยุในระบบอนาล็อกและดิจิตอล

เพื่อความมีประสิทธิภาพในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้น การแผนควรคำนึงถึงความแตกต่างทางเทคโนโลยีของการกระจายเสียงระบบเก่า (ระบบอนาล็อก) และระบบใหม่ (ระบบดิจิตอล) เนื่องจากแต่ละระบบมีคุณลักษณะที่ต่างกันอันเป็นผลให้การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้นมีความต่างกันไปด้วย

ระบบอนาล็อก	ระบบดิจิตอล
<ul style="list-style-type: none"> <li>- การให้บริการวิทยุอนาล็อกจะถูกรบกวนสัญญาณได้ง่าย</li> <li>- เกิดการเลือนหายของคลื่นที่เลือกได้ง่าย (Frequency selective fading) กล่าวคือ ในสภาวะแวดล้อมที่คลื่นวิทยุมีการเดินทางหลายเส้นทาง การเลือนหายของคลื่นที่เลือกจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอย่างสูงต่อพลังงานที่เครื่องรับได้ส่งผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนลดลงและ ข้อมูลที่ได้รับมีความผิดพลาดมากขึ้น</li> <li>- การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกัน โดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน (Single Frequency Networks) จะไม่เป็นที่พึงพอใจ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ในกรณีที่มีการรบกวนหรือสอดแทรกจากสัญญาณเดียวกันสะท้อนมาจากหลายๆ ทิศทาง (Multi-Path) สัญญาณดิจิตอลมีความคงทนเมื่อระบบเกิดความผิดพลาดขึ้น (Robustness)</li> <li>- สัญญาณวิทยุในระบบดิจิตอลไวต่อการเลือนหายของเสียงสะท้อนจากการเคลื่อนไหวหลายเส้นทางของคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน (เช่น เสียงสะท้อนจากหน้าผา)</li> <li>- การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกัน โดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกันเป็นที่พึงพอใจ</li> </ul>

ในอดีตโครงข่ายโทรศัพท์ในในระบบอนาล็อกและโครงข่าย FM วางโครงข่ายตั้งแต่ในยุค 50's และ 60's ซึ่งการส่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Computing power) มีราคาสูง และต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์และเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงปัจจุบันซึ่งพัฒนามาเป็นโครงข่ายดิจิตอล (Digital Mobile networks) การส่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไม่ใช่สาระสำคัญอีกต่อไป แต่ฐานข้อมูลภูมิประเทศที่ถูกต้องเท่าที่จะเป็นไปได้ และความแน่นอนของข้อมูลกลายเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากขึ้นในการให้บริการในระบบดิจิตอล

### เปรียบเทียบการส่งสัญญาณระหว่างการให้บริการประจำที่และเคลื่อนที่

นอกเหนือจากความเข้าใจในความแตกต่างระหว่างการส่งสัญญาณในระบบอนาล็อกและระบบดิจิตอลแล้ว การวางแผนความครอบคลุมพื้นที่ของสัญญาณยังต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างลักษณะการส่งสัญญาณแบบประจำที่และแบบเคลื่อนที่ด้วยเนื่องจากความแตกต่างกันนี้มีผลต่อการวางแผนความครอบคลุมพื้นที่

การให้บริการประจำที่ (Fixed)	การให้บริการแบบเคลื่อนที่ (Mobile)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผู้รับขมูร์สถานที่ตั้ง (บ้าน)</li> <li>- สายอากาศ (Antenna) อาจอยู่ในตำแหน่งที่ก่อให้เกิดเสียงสะท้อนของสัญญาณ</li> <li>- ทิศทางการรับสัญญาณ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ สร้างขึ้นเพื่อขยายสัญญาณไปยังลูกค้า</li> <li>▪ ผู้ติดตั้งรู้ว่าทิศทางที่ตั้งสายอากาศอยู่ที่ใด</li> <li>▪ การกำหนดทิศทางของสัญญาณคลื่นความถี่ที่ชัดเจนช่วยในการป้องกันการรบกวนของสัญญาณที่ไม่ต้องการ</li> <li>▪ ผู้ใช้บริการสามารถแก้ไขจุดผิดพลาดในพื้นที่ที่วางแผนให้มีการครอบคลุมได้</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผู้ใช้บริการหรือผู้รับฟังสามารถอยู่สถานที่ใดก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน ที่ทำงาน หรือระหว่างการเดินทางก็ตาม</li> <li>- แม้ว่าเสาอากาศต้องการที่จะส่งสัญญาณรอบตัวทุกทิศทาง แต่ในทางปฏิบัติแล้วเสาอากาศไม่ใช่อุปกรณ์ที่สามารถส่งสัญญาณได้รอบตัวทุกทิศทางโดยเมื่อมีการปรับช่องยังมีการรบกวนของสัญญาณจากพื้นที่ที่ไม่ต้องการได้ง่าย</li> </ul> <p style="text-align: center;">Real Mobile antennas</p> 

## ขั้นตอนในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ

วิธีดำเนินการในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณนั้นประกอบไปด้วยการคาดการณ์กำลังของสัญญาณส่ง และสัญญาณรบกวนในแต่ละพื้นที่ โดยนำปัจจัยที่สำคัญต่างๆมาประกอบการตัดสินใจ ได้แก่

5. Building penetration losses
6. Coverage goal
7. Building shadowing
8. Performance of real receivers

### 4. Building penetration losses

การให้บริการวิทยุจะถูกใช้งานในพื้นที่ที่ประชาชนอยู่อาศัย สิ่งสำคัญในการนำมาพิจารณาวางแผนกำหนดพื้นที่ครอบคลุมคือการวัดแรงกำลังส่งสัญญาณที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยพิจารณาหาค่าคลื่นความถี่ที่อาจสูญเสียไปในระหว่างที่มีการส่งสัญญาณทะลุผ่านอาคารสูงเพื่อประเมินกำลังส่งที่ถูกต้อง

Building Penetration Losses



### 5. Coverage Goal

การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมควรกำหนดเป้าหมายในการครอบคลุมทั้งการรับสัญญาณในร่ม (Indoor) และการรับสัญญาณขณะเคลื่อนไหว (Mobile)

#### 5.1 การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมของพื้นที่ในร่ม (Indoor)

การกำหนดวัตถุประสงค์ที่จะให้สัญญาณครอบคลุมทุกตารางนิ้วในบ้านนั้นเป็นไปได้ ผู้ให้บริการจะต้องเคลื่อนย้ายวิทยุไปรอบๆห้องเพื่อหาจุดรับสัญญาณที่ดีที่สุด ดังนั้นวัตถุประสงค์ที่ทำได้จริงและมีประสิทธิภาพมากกว่าคือกำหนดระดับความครอบคลุมที่รับได้ เช่น กำหนดพื้นที่ครอบคลุม 95% ของพื้นที่ภายในบ้าน (ทุกห้องภายในบ้านสามารถรับสัญญาณได้) อย่งไรก็ดี อาจเป็นไปได้ที่จะสามารถให้สัญญาณครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ในอาคารคอนกรีตในตัวเมือง เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุมที่บรรลุผลจะอยู่ที่ประมาณ 75% ของพื้นที่อาคารคอนกรีต

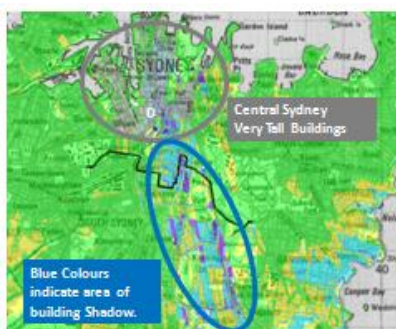
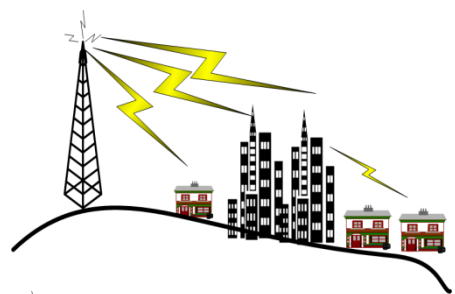
#### 2.2 เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุมขณะใช้ยานพาหนะ (Vehicle)

ผู้ให้บริการมักจะคาดหวังบริการหรือการรับสัญญาณที่คงที่ขณะขับรถ เป้าหมายพื้นที่ครอบคลุม 99% ของพื้นที่ขณะใช้ยานพาหนะจะประสบผลสำเร็จหากไม่มีความสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณสู่อาคาร (Building penetration losses)

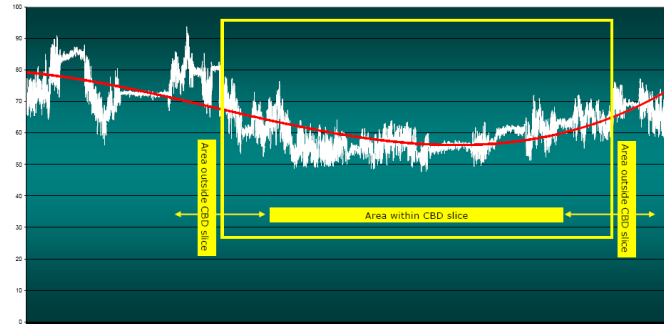
### 6. Building Shadowing

ปัญหาสำคัญของการให้บริการส่งสัญญาณวิทยุในบริเวณที่มีตึกสูงจำนวนมาก จะเกิดเงาขึ้นมาบังพื้นที่รับสัญญาณที่เรียกว่า “Building Shadow” ทำให้สัญญาณคลื่นวิทยุไม่สามารถส่งลงไปถึงบริเวณที่ต้องการให้บริการได้ในพื้นที่ที่มีตึกสูงหลายอาคารจะก่อให้เกิดเงาซึ่งบดบังการรับสัญญาณ ดังรูป

ปัญหาที่เกิดจาก Building Shadowing นี้ปรากฏในกรณีตัวอย่าง ในระหว่างการวางแผนครอบคลุมสัญญาณที่เมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีตึกสูงจำนวนมาก



ซึ่งจากผลการทดสอบสัญญาณขณะขับชีในเมืองซิดนีย์ ปรากฏว่า Building Shadows ส่งผลให้เกิดการลดของสัญญาณเสียงลงถึง 20 เดซิเบล (dB)



ดังนั้น ข้อมูลของตึกสูงในตัวเมืองจึงเป็นปัจจัยประกอบการพิจารณาแผนที่ภูมิประเทศในการวางแผนกำหนดพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ

### การวางแผนความแรงของสัญญาณ (DAB Planning Field Strength)

การวางแผนพื้นที่ครอบคลุมนั้นรวมถึงการวางแผนความแรงของสัญญาณด้วยโดยใช้ตัวเลขที่แท้จริงจากการตรวจวัดความแรงของสัญญาณ เมื่อ DAB ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1990 ค่าตัวเลขในการตรวจวัดความแรงของสัญญาณก็ต่ำลงมากขณะนี้หลายประเทศกำลังเริ่มปรับฐานการวัดความแรงของสัญญาณวิทยุ โดยประเมินตัวเลขที่แท้จริงของสัญญาณคลื่นความถี่ที่ผ่านตึกสูงและความสามารถในการรับสัญญาณ

ตัวอย่างตารางแสดงตัวเลขที่ใช้วัดความแรงของสัญญาณในการวางแผนพื้นที่ครอบคลุมในประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ ดังแสดงล่างนี้

#### ออสเตรเลีย

Australian Figures	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	63 <u>dBu/m</u>
Suburban Houses (95%)	70 dBuV/m
Urban Concrete structures (75%)	76 dBuV/m

#### อังกฤษ

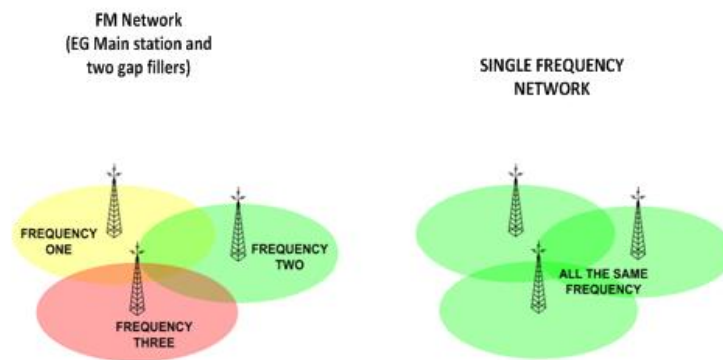
UK at launch (1995)	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	58 <u>dBu/m</u>

UK revised (2011)	Field strength at 10 metres
Mobile Vehicle (99%)	58 <u>dBu/m</u>
Suburban Houses – Usable Coverage	64 dBuV/m
Suburban Houses – Strong Coverage	69 dBuV/m
Urban Buildings – Usable Coverage	71 dBuV/m
Urban Buildings – Strong Coverage	77 dBuV/m

## โครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว (Single Frequency Network)

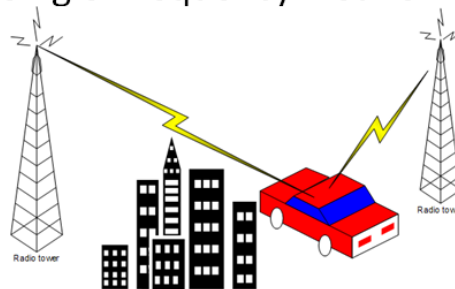
การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกันโดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน เป็นแนวคิดหนึ่งในการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนในพื้นที่ในเมือง ซึ่งนำไปสู่การนำ Single Frequency Network (SFN) มาใช้ในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ ปัจจุบันอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (transmitters) จำนวนมากถูกปรับปรุงเพื่อพัฒนาพื้นที่ครอบคลุมให้ดียิ่งขึ้นอันส่งผลให้การทำ SFN มีความเป็นไปได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าการทำ SFN ต้องอาศัยการขยายจำนวนอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งจะเพิ่มต้นทุนด้านโครงข่าย แต่ต้นทุนดังกล่าวจะถูกแบ่งปันร่วมกันในหลายบริการ ทำให้ผลประโยชน์โดยรวมของการทำ SFN นั้นมากกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมา รูปภาพด้านล่างแสดงความแตกต่างระหว่างโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียวและโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว

วิทยุดิจิทัลในมาตรฐาน DAB+ ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพการใช้งานโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียว (SFN) ไว้ดังนี้



4. ลดปัญหาเรื่องการ Multipath ของสัญญาณที่รับมาจากสถานีส่งที่เดียว เนื่องจากมีสถานีข้างเคียงที่ความถี่เดียวกันช่วยให้เสริมความแรงของสัญญาณ direct wave ให้ดีขึ้น

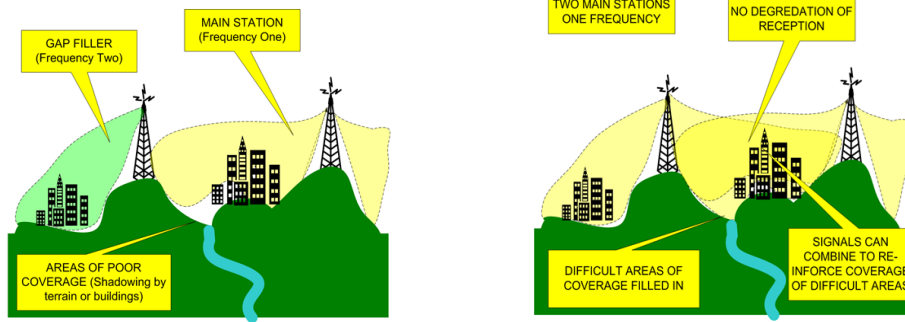
## Multipath Resilience permits Single Frequency Networks



5. ใช้ประโยชน์จากความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากทุกสถานีส่ง ส่งสัญญาณด้วยความถี่เดียวกันและทุกสถานีส่งเป็นสถานีหลัก (main) ทั้งหมด
6. เสริมจุดอับสัญญาณได้ดีกว่า การส่งแบบเดิมที่ใช้ Gap filler เนื่องจากคุณสมบัติที่สัญญาณจากทุกสถานีที่เป็นความถี่เดียวกันสามารถทับซ้อนกันได้ทำให้เสริมความแรงของสัญญาณให้เข้าถึงพื้นที่อับสัญญาณได้ดีดังรูปล่าง



## Traditional FM Design – Gap Filler DAB DESIGN – 2 Main Stations



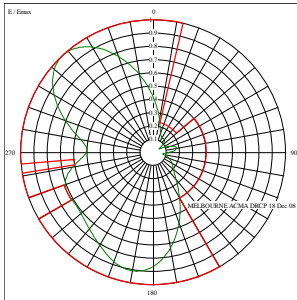
### การขยายอัตรากำลังส่ง (Maximising Power)

โดยทั่วไปแล้วผู้ให้บริการต้องการอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีกำลังสูงเพื่อขยายความแรงของสัญญาณให้การกระจายเสียงครอบคลุมพื้นที่มาก แต่การใช้่อัตรากำลังส่งที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดการรบกวนสัญญาณต่อคลื่นสัญญาณอื่นที่มีการใช้งานอยู่ ดังนั้นผู้ให้บริการจึงต้องจำกัดอัตรากำลังส่งและขอบเขตการส่งสัญญาณให้เป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยงานกำกับดูแลในประเทศของตน (Regulator Constraints)

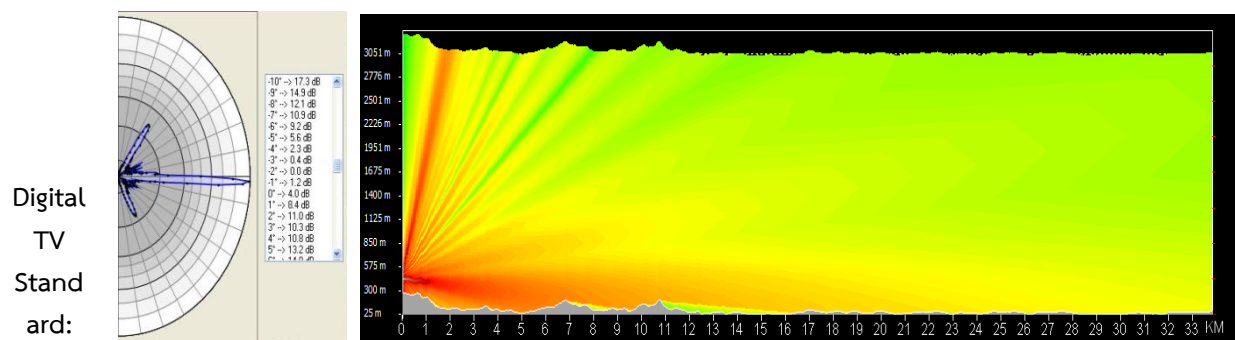
การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านอัตรากำลังส่งของหน่วยงานกำกับนี้อาจส่งผลให้การส่งสัญญาณไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เท่าที่ผู้ให้บริการต้องการ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มระดับพื้นที่ที่ครอบคลุมโดยไม่เพิ่มอัตรากำลังส่งที่เกินจากขอบเขตคือการใช้ Beam Tilt ซึ่งเป็นการปรับองศาของเสาส่งสัญญาณอากาศในแนวทแยงเพื่อให้สัญญาณไม่สูญหายไปไหนวนอน ส่งผลให้ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณที่ต้องการได้มากขึ้น

รูปแสดงตัวอย่างผลของการทำ Beam Tilt ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับองศาของเสาส่งอากาศลงสามารถปรับทิศทางการรับสัญญาณไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้ในระดับคุณภาพสัญญาณที่เป็นที่พึงพอใจ

### ก่อนการทำ Beam Tilt



### หลังการทำ Beam Tilt



## Digital TV: DVB and DVB+ Standard

DVB ย่อมาจาก Digital Video Broadcasting เป็นมาตรฐานกลางของการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คิดค้นและพัฒนาโดยกลุ่มองค์กร คณะกรรมการที่รวมตัวกันขึ้นมาเรียกว่า Joint Technical Committee (JTC) คณะกรรมการเหล่านี้ก็มาจากกลุ่มในประเทศยุโรปคือ European Telecommunications Standards Institute (ETSI), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) และ European Broadcasting Union (EBU)

มาตรฐาน DVB ในยุคแรก (1<sup>ST</sup> Generation) แบ่งออกได้เป็นมาตรฐานย่อยๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของการนำไปใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย

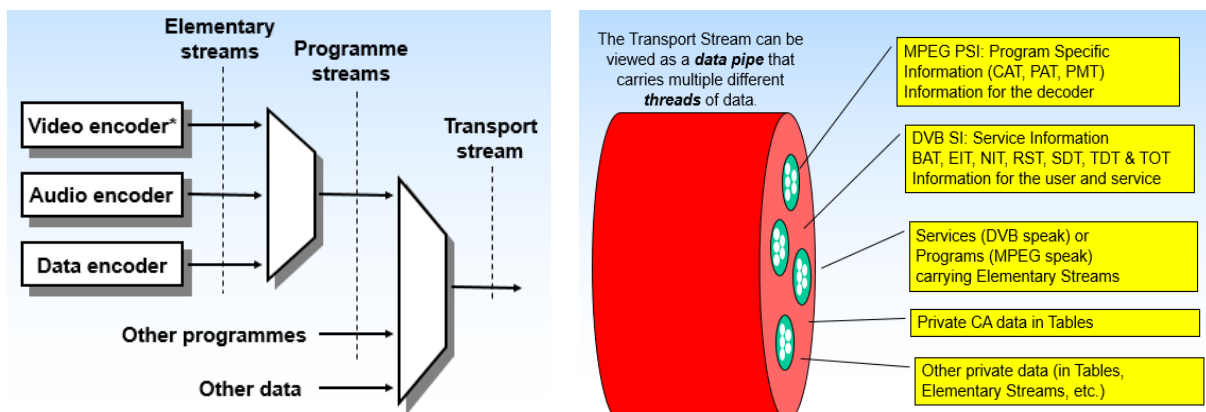
- DVB-S (Satellite) เป็นการส่งข้อมูลสัญญาณผ่านดาวเทียม (มาตรฐานในปี 1994) ซึ่งสัญญาณมีความหนาแน่นสูงที่ค่า C/N (อัตราสัญญาณคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน) ต่ำ
- DVB-C (Cable) ส่งผ่านทางสายเคเบิล (มาตรฐานในปี 1994) ซึ่งปกติค่า C/N จะสูง จึงส่งสัญญาณได้ปริมาณมากด้วยการมอดูเลตในอัตราข้อมูลที่สูง
- DVB-T (Terrestrial) เป็นการกระจายสัญญาณจากเสาสัญญาณเหมือนโทรทัศน์ทั่วไปหรือการส่งทางภาคพื้นดิน (มาตรฐานในปี 1997) การปรับพารามิเตอร์สำหรับการมอดูเลตที่ C/N สูง และพารามิเตอร์อื่นๆ ต้องคำนึงถึงการรับหลายทิศทาง (Multipath)

จะเห็นได้ว่ามาตรฐานหลักๆ จะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ โดยทุกแบบจะมีสิ่งที่เหมือนกันได้แก่ โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream) การเข้ารหัสป้องกัน (error correction : FEC) แต่แตกต่างกันในการมอดูเลตสัญญาณ มาตรฐาน DVB ในยุคที่ 2 ได้พัฒนาเป็น DVB-S2, DVB-C2 และ DVB-T2 ซึ่งได้นำเสนอวิธีการมอดูเลตและการเข้ารหัสป้องกันแบบใหม่

### โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream)

โครงสร้างกระแสข้อมูลขนส่ง (Transport Stream) มีความสำคัญต่อการกระจายเสียงโทรทัศน์ในระบบ DVB เพราะเป็นพื้นฐานในการส่งภาพและเสียง สำหรับมาตรฐาน DVB และ DVB-T2 นั้นใช้มาตรฐาน MPEG-2 ในการส่งกระแสข้อมูลขนส่ง

กระแสข้อมูลขนส่งที่กล่าวมานี้ประกอบไปด้วยกระแสข้อมูลย่อยคือ กระแสข้อมูลรายการ (Programme Stream) หลายสาย ซึ่งแต่ละสายก็ประกอบไปด้วยกระแสข้อมูลพื้นฐาน (Elementary Stream) ที่ยังมีส่วนประกอบย่อยไปอีกคือ Video Encoder, Audio Encoder, และ Data Encoder กระแสข้อมูลขนส่งนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับท่อส่งข้อมูลที่อยู่ในประกอบด้วยสายข้อมูลหลายสายดังแสดงในรูปด้านล่าง



ในอีกมุมหนึ่งกระแสข้อมูลขนส่งที่จะถูกส่งต่อไปออกอากาศนั้นสามารถมองได้ว่าประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

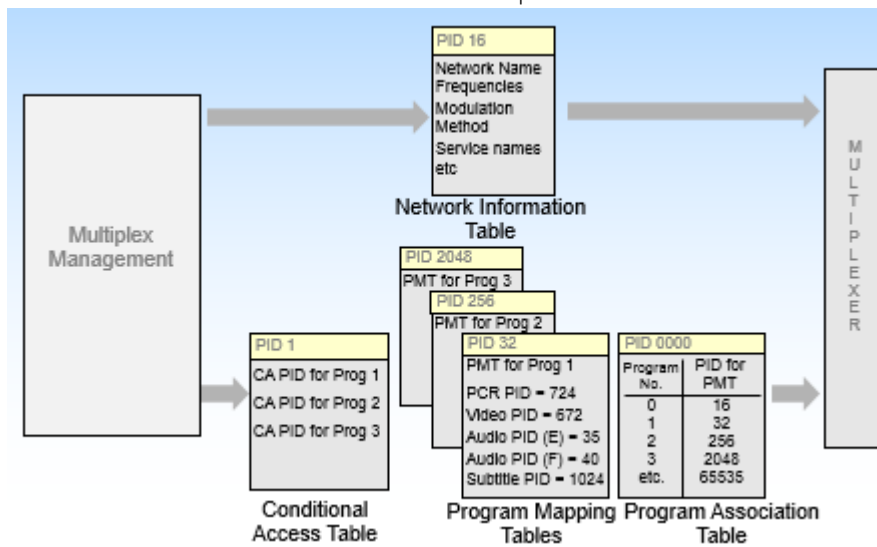
- MPEG Table Section ซึ่งประกอบไปด้วยตารางอ้างอิงต่างๆในการที่จะส่งสัญญาณออกไป
- PES Packets ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลหลักคือภาพและเสียง และข้อมูลรอง เช่น Sync Byte, Transport Error Indicator, Transport Priority เป็นต้น

### MPEG Table Section

MPEG Table Section ประกอบไปด้วยข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ที่สำคัญต่อการส่งและรับสัญญาณภาพ ข้อมูลอ้างอิงที่สำคัญนี้ได้แก่

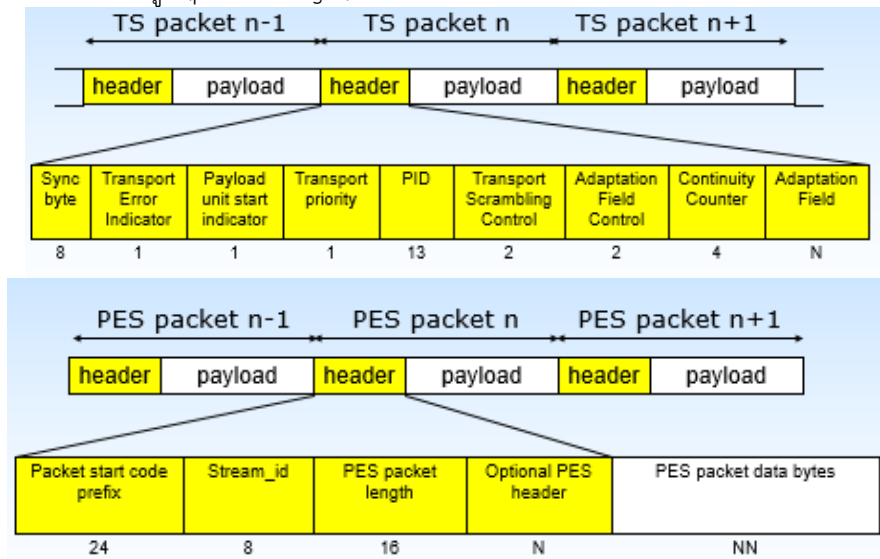
- Program Map Table (PMT): แต่ละโปรแกรมในกระแสข้อมูลขนส่งมีตารางนี้เป็นของตัวเอง ซึ่งตารางนี้อธิบายส่วนประกอบของโปรแกรมรายการและกระแสข้อมูลพื้นฐานของแต่ละโปรแกรมด้วย ตารางนี้ยังสามารถจัดเก็บข้อมูลอื่นที่ต้องการ เช่น Audio and Video encoding parameters, ข้อมูล pan & scan และข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของรายการ
- Program Association Table (PAT): PAT มีค่า PID ที่ 0 ซึ่งค่านี้ถูกนำไปใช้ในการชี้ไปยัง PMT สำหรับแต่ละโปรแกรมหรือบริการ
- Network Information Table (NIT): NIT ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจูนคลื่นสำหรับแต่ละบริการ เช่น ชื่อโครงข่าย เป็นต้น ข้อมูลโครงข่ายในตารางนี้ใช้โดยกล่อง Set-top-box ในการสแกนหาช่องใหม่โดยอัตโนมัติ

ภาพด้านล่างอธิบายโครงสร้างและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆของ MPEG Table Section ดังอธิบายข้างต้น



## PES Packets

PES Packet ประกอบไปด้วยข้อมูลหลักคือภาพและเสียง (Payload) และข้อมูลรอง (Header) ในส่วนของ Header นั้น ประกอบไปด้วยข้อมูลย่อยต่างๆอันเป็นสิ่งสำคัญต่อการอธิบายการส่งข้อมูล เช่น Packet Start Code Prefix, รหัสกระแส (Stream ID), ความยาวของข้อมูล (packet length) เป็นต้น ภาพด้านล่างอธิบายโครงสร้างของ PES Packet โดยละเอียด

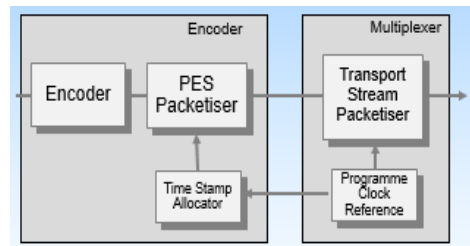


## MPEG Synchronisation

แต่ละกระแสข้อมูลขนส่งที่ส่งด้วย MPEG-2 Transportation สามารถบรรจุโปรแกรมรายการได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การส่งสัญญาณเป็นไปโดยดีและไม่เกิดการสับสนในการแยกสัญญาณที่ปลายทาง แต่ละโปรแกรมรายการ จำเป็นต้องมีนาฬิกาโปรแกรม (Programme Clock) ที่เป็นอิสระของตัวเอง จำนวนกลุ่มตัวอย่างของนาฬิกาโปรแกรมหลายอันรวมกันนี้เรียกโดยรวมว่า Programme Clock Reference (ซึ่งการสุ่มตัวอย่างนี้ต้องเกิดขึ้นอย่างน้อยทุกๆ 0.1 วินาที) และถูกกล่าวถึงไปในกระแสข้อมูลขนส่งด้วย

นอกจากนั้นแล้ว เพื่อให้ข้อมูลเป็นไปในทางเดียวกัน กระแสข้อมูลขนส่งที่ส่งด้วย MPEG-2 Transportation ยังสามารถมี Presentation Time Stamp ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่า 33 bit binary และแสดงในหน่วย 90

KHz. ตัวข้อมูลนี้ทำหน้าที่ระบุเวลาที่ตัว Access Unit ควรถูกนำออกมาจาก Decoder Buffer และนำเสนอต่อผู้ชม



## ข้อมูลเฉพาะรายการ Program Specific Information (PSI)

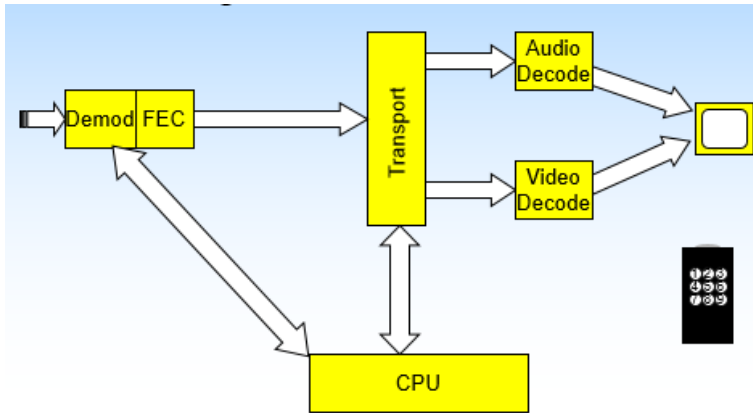
ตัว Program Specific Information (PSI) เป็นส่วนหนึ่งของกระแสข้อมูลขนส่งซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานในการเข้าถึงรายการหรือบริการ สิ่งแรกที่เครื่องรับสัญญาณทำคือดึงข้อมูล Program Association Table (PAT) มา ซึ่งตารางนี้จะให้รายชื่อบริการที่มีอยู่ในแต่ละกระแสข้อมูลขนส่งนั้นๆและจะบอกเครื่องรับสัญญาณว่า Program Map Table (PMT) สามารถหาได้ที่ไหน ซึ่งตัว PMT นี้เองที่ทำหน้าที่ในการบอกเครื่องรับสัญญาณว่าจะทำการแปลงรหัสสัญญาณได้อย่างไร

## ข้อมูลบริการ Service Information (SI)

เนื่องจากข้อมูล Program Specific Information (PSI) ที่กล่าวข้างต้นเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเข้าใจได้โดยผู้ชมรายการเพราะเป็นข้อมูลที่อ่านออกโดยระบบเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ผู้ชมรายการได้รับข้อมูลการให้บริการของรายการที่วันๆ DVB จึงได้มีการให้ข้อมูล Service Information (SI) ที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ ซึ่งได้แก่ชื่อรายการและหมายเลขรายการ

### หมายเลขช่อง (Logical Channel Number)

การจัดหมายเลขช่องเป็นหนทางที่สะดวกและเข้าใจง่ายเพื่อให้ผู้ชมรายการสามารถเข้าถึงช่องรายการที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น หมายเลขของสถานีโทรทัศน์ที่ชื่อ ช่อง 4 อาจได้รับการจัดสรรช่องหมายเลข 4 ดังนั้นผู้ชมที่ต้องการชมรายการของสถานีนี้ก็กดรีโมทคอนโทรลทีวีไปที่หมายเลข 4 กระบวนการเลือกช่องสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิภาพดังนี้



- เมื่อเริ่มเปิดทีวี ตัว CPU ของทีวีจะทำการกลั่นกรองข้อมูล Program Specific Information (PSI) จากกระแสข้อมูลขนส่งออกมา เพื่อสร้างตารางรายละเอียดข้อมูลบริการ
- จากนั้นเมื่อผู้ชมรายการที่รีโมทคอนโทรลของทีวี ตัว CPU ก็เข้าไปที่กระแสข้อมูลขนส่งอีกครั้งเพื่อดึงข้อมูล Program Association Table (PAT) มีค่า PID ที่ 0 ออกมา และดึง Programme Mapping Table ออกมาด้วย
- เมื่อถึงจุดนี้กระแสขนส่งสามารถส่งผ่านไปยังตัว Audio Decoder และ Video Decoder เพื่อแสดงภาพให้แก่ผู้รับชมได้

### การประสานกระแสขนส่ง (Transport Stream Interface)

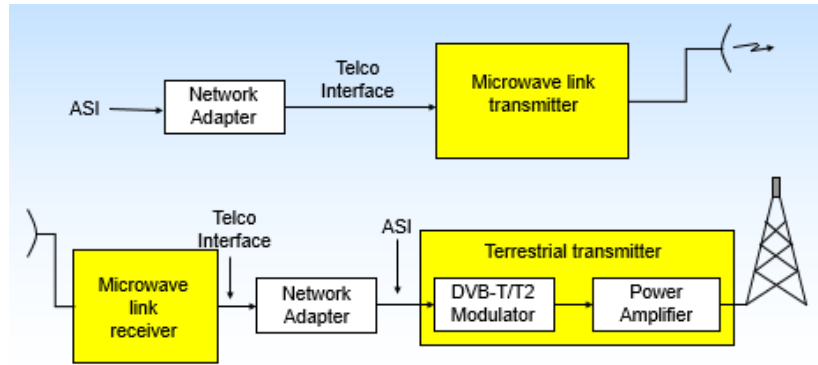
ตัวประสานงานที่ทำหน้าเป็น Interface ของกระแสขนส่งข้อมูลในมาตรฐาน MPEG-2 นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Asynchronous Serial Interface (ASI) ที่เรียกว่า EN50083-9 (CENELEC) ตัว ASI นี้ใช้ 270Mbit/s fixed line clock rate และสามารถขนถ่ายกระแสขนส่งข้อมูลโดยไม่มีกระแสตัด
2. IP Over Ethernet, SMPTE 2022 ซึ่งเป็นการส่งผ่านโดยใช้ระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ

### ช่องทางการกระจายสัญญาณ (Distribution)

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์นั้นสามารถทำได้หลายช่องทาง ดังต่อไปนี้

- ผ่าน IP LAN/WAN
- ใช้ ASI ผ่านไปยังสายไฟเบอร์ออปติก
- ผ่านดาวเทียมโดยใช้มาตรฐาน DVB-S or DVB-S2 ซึ่งเหมาะกับโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่เดียวและมีตัวส่งหลายตัว แต่อาจจะประสบปัญหาการรบกวนอันเนื่องมาจากพระอาทิตย์ (Sun Outage) หรือฝนตก
- ผ่าน Network adapter ไปยัง E3 (34Mbit/s), DS3 (45Mbit/s), E4 (140Mbit/s) หรือ SDH STM1 และ SONET OC-3 (155Mbit/s)
- ผ่าน Microwave link โดยใช้มาตรฐาน DVB-S or DVB-S2 โดยแสดงแผนภูมิการกระจายสัญญาณดังรูปข้างนี้



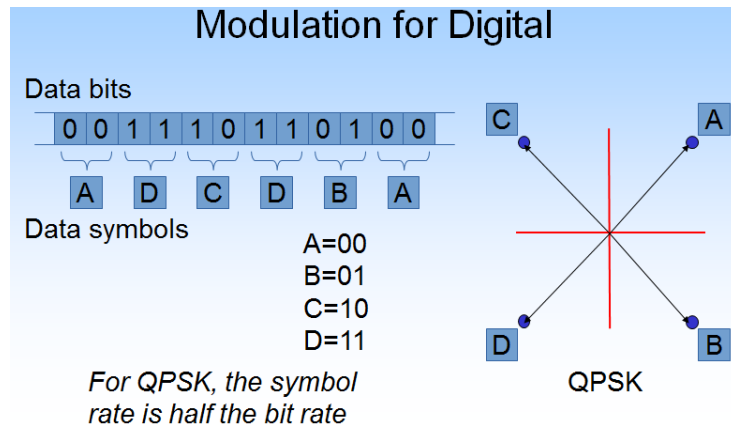
**การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Coding) ของกลุ่มมาตรฐาน DVB**

สิ่งสำคัญในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล DVB ก็คือส่วนที่เรียกว่า OFDM ซึ่งย่อมาจาก Orthogonal Frequency Division Multiplex หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ FDM (Frequency Division Multiplex) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์ (การรวม) สัญญาณหลายๆ สัญญาณ หรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกัน เพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้น จำเป็นที่จะต้องมียุ่บช่องว่าง (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่องโดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเปล่า หรือกล่าวในอีกหนึ่งได้ว่า กรรมวิธี OFDM ก็คือเทคโนโลยีของการฝากข้อมูลที่ต้องการส่งออกอากาศไปกับคลื่นพาห้ (หรือที่เรียกว่า sub-carrier) หลายๆ ตัวเพื่อสร้างความหลากหลายทางความถี่ (frequency diversity) ให้เกิดขึ้นด้วย วัตถุประสงค์ที่จะกระจายความเสี่ยงไม่ให้ข้อมูลทั้งหมดไปถูกฝากอยู่กับคลื่นพาห้เพียงตัวเดียวเช่นที่เกิดขึ้นกับระบบสื่อสารอนาล็อก ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของยู่บช่องว่าง โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าเสนอคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มียู่บเป็นอิสระต่อกัน ไม่กวนกัน สามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉากต่อกันเรียกวิธีนี้ว่า Orthogonal เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน

ส่วนคำว่า “COFDM” มาจาก “Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ที่จริงแล้วก็คือ เทคโนโลยีตัวเดียวกับ OFDM นั่นเอง ข้อแตกต่างระหว่าง COFDM และ OFDM มีเพียงจุดเดียวก็คือ จะมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปลายทางก่อน (Forward Error Correction; FEC) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาเข้าขั้นตอน OFDM เป็นลำดับต่อไป สรุปว่าความแตกต่างระหว่าง COFDM กับ OFDM อยู่ที่การทำ COFDM จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ เข้ารหัสสัญญาณเพื่อการทำ FEC แล้วตามด้วยการมัลติเพล็กซ์แบบ OFDM

## การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)

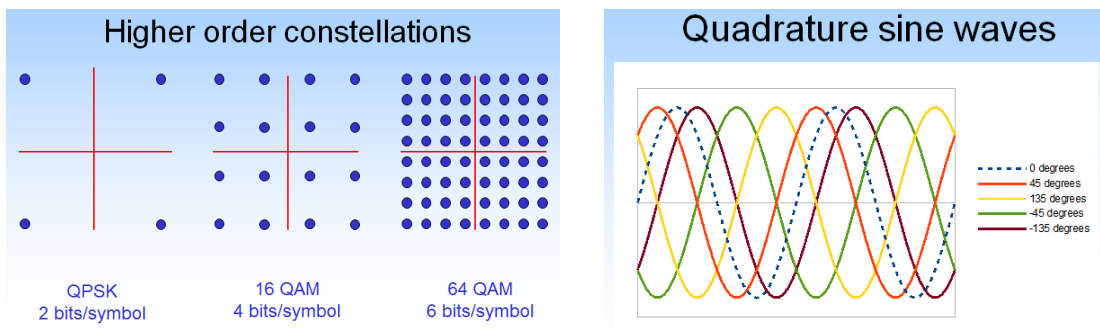
การมอดูเลตสัญญาณในระบบดิจิทัลคือการฝากข้อมูลดิจิทัล 0 หรือ 1 ไปบนคลื่นความถี่พาห้ (carrier) โดยแปลงเป็นข้อมูลสัญลักษณ์ (Data symbols) ก่อนนำข้อมูลสัญลักษณ์ ไปแทนเป็นลักษณะขนาดและเฟสของคลื่นพาห้



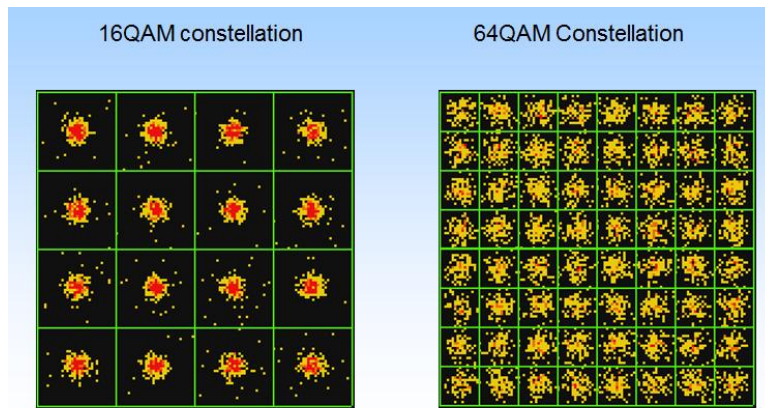
รูปบนแสดงให้เห็นถึงการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลแบบ QPSK ซึ่งให้ symbol rate เป็น  $\frac{1}{2}$  ของ bit rate ตามรูปจะเห็นว่า ข้อมูลสัญลักษณ์ A B C และ D จะแทนด้วยข้อมูลดิจิทัล 2 บิต คือ 00 01 10 และ 11 ตามลำดับ โดยข้อมูลสัญลักษณ์จะเป็นคลื่นพาห้ที่มีความถี่เดียวกัน ขนาด Amplitude เท่ากัน โดย A มีเฟส 45 องศา B มีเฟส -45 องศา C มีเฟส 135 องศา และ D มีเฟส -135 องศา ซึ่งจะเห็นว่ามีความต่างเฟสกัน 90 องศา ระหว่างข้อมูลสัญลักษณ์ด้วยกัน เรียกว่า Quadrature

เมื่อนำข้อมูลสัญลักษณ์ A มุมเฟส 45 องศา B มุมเฟส -45 องศา C มุมเฟส 135 องศา และ D มุมเฟส -135 องศา ที่เป็นคลื่นความถี่พาห้ที่มีขนาด Amplitude เท่ากัน แสดงในรูปสัญญาณ sine wave ในเชิงเวลา ซึ่งจะมีลักษณะตามรูปด้านขวา

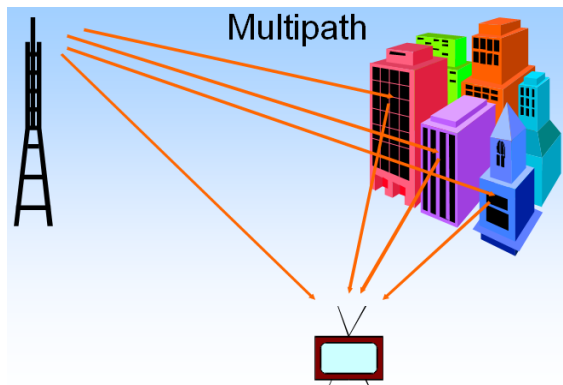
การมอดูเลตสัญญาณมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และแบบ QAM (ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก เช่น 16QAM, 64QAM, 256 QAM) โดยแต่ละโหมดจะให้อัตรา bit ต่อ symbol ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จะเห็นว่า การมอดูเลตสัญญาณแบบ 64 QAM จะให้การส่งข้อมูลได้สูงที่สุดคือ 1 symbol ต่อข้อมูล 6 bit ดังแสดงในรูปด้านล่างนี้



การมอดูเลตสัญญาณแบบ QAM นั้นทำโดยลักษณะ Gray coding ซึ่งแต่ละ symbol ที่ใกล้กันทั้งในแนวนอนหรือแนวตั้ง จะมีความต่างของข้อมูล 1 bit ในขณะที่ symbol ที่ใกล้กันในแนวทแยงมุม จะมีความต่างของข้อมูล 2 bit แต่ในทางปฏิบัติเมื่อเครื่องรับทำการรับสัญญาณที่มอดูเลชัน แบบ 16QAM และ 64QAM จะเห็นว่าสัญลักษณ์ที่ได้จะมีการกระจายจากจุด symbol ต่างๆ ที่ควรจะเป็น และจะเห็นว่า การมอดูเลตสัญญาณแบบ 64QAM มีโอกาสเกิดความผิดพลาดของข้อมูล (error) สูงกว่าการมอดูเลตสัญญาณแบบ 16 QAM ดังแสดงด้านล่าง



ในความเป็นจริงสัญญาณที่ส่งมาจากหลายทิศทาง (เรียกลักษณะนี้ว่า Multipath) ซึ่งในระบบ DVB-T2 ถือว่าสัญญาณที่สะท้อน (indirect path) มาถึงเครื่องรับเป็นส่วนเสริมให้กับสัญญาณหลัก (direct path) ให้มีความแรงขึ้น ดังนั้นถือว่าระบบ DVB-T2 มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากหลายทิศทาง (Multipath) ดังแสดงในรูป

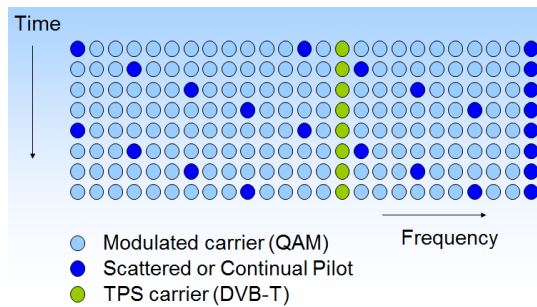


กรณีที่สัญญาณสะท้อน (indirect path) ที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการรบกวนสัญญาณหลัก กล่าวคือหากสัญญาณชุดที่ 1 มาถึงเครื่องรับล่าช้า (delay) และมาผสมหรือรบกวนกับสัญญาณหลัก (direct path) ชุดที่ 2 กรณีนี้เราเรียกว่า inter-symbol interference (ISI) ดังนั้นเพื่อลด inter-symbol interference (ISI) จึงได้แทรกสิ่งที่เรียกว่า “Guard Interval” (GI) ลงไป ทั้งนี้ GI เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอในการรับสัญญาณระบบดิจิทัล กล่าวคือ GI จะช่วยลดผลกระทบจาก delay signal อันเนื่องมาจาก indirect wave ที่วิ่งเข้ามาถึงเครื่องรับ ผลจากการแทรก GI จะทำให้ 1 ช่วงเวลาของสัญญาณเพิ่มขึ้น โดย 1 ช่วงเวลาของสัญญาณจะประกอบด้วย 2 ช่วงเวลาย่อยคือ Guard interval duration และ useful symbol duration ถ้า GI มากขึ้น ค่า GI period และ GI length ก็จะมีมากขึ้นและเมื่อเพิ่ม sub-carrier จาก 2k (2000) เป็น 8k จะพบว่าค่า GI period และ GI length จะเพิ่มมากขึ้นตามไปอีกเช่นกัน เป็นผลอันเนื่องมาจากอัตราบิต (bit rate) ในแต่ละ sub-carrier ลดลง ดังแสดงในตารางด้านล่างนี้

Guard interval options in DVB-T				
	2K		8K	
GI	GI period (μs)	GI length (km)	GI period (μs)	GI length (km)
1/32	7	2.1	28	8.4
1/16	14	4.2	56	16.8
1/8	28	8.4	112	33.6
1/4	56	16.8	224	67.2



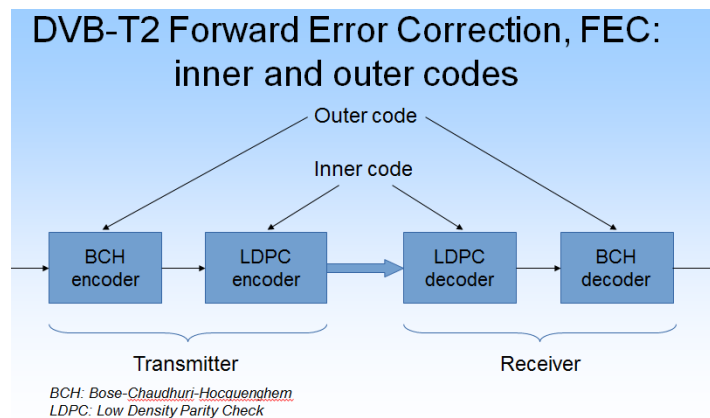
การจับคู่ (Mapping) pilot cells เข้ากับ sub-carrier ต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการ synchronization ของเครื่องรับ ตำแหน่งของ sub-carrier สำหรับ pilot cell ดังกล่าวจะถูกกำหนดเอาไว้ล่วงหน้าแล้ว ตัวอย่างหนึ่งในการ mapping pilot cell คือการการจับคู่ของ sub-carrier เข้ากับ pilot cell ดังรูปด้านล่างนี้



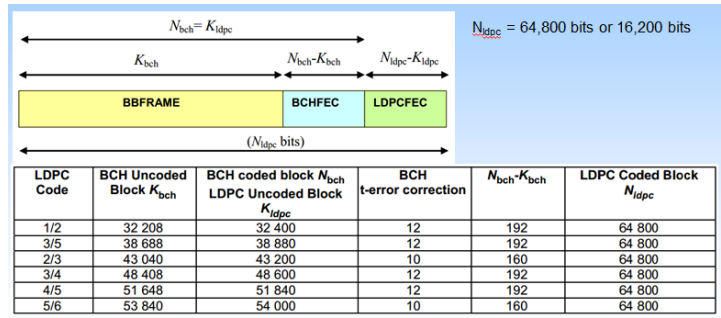
ซึ่งตัวอย่างนี้เป็นแบบหนึ่งจากการจับคู่ทั้งหมด 8 แบบ การเลือกแต่ละแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามเครื่องรับที่ใช้งานเช่น เครื่องรับเป็นแบบอยู่กับที่ (Fix) เครื่องรับเป็นแบบเดินเคลื่อนที่ (Portable) หรือเครื่องรับเป็นแบบเคลื่อนที่ (Mobile) เป็นต้น

### การแก้ไขสัญญาณ (Error Correction)

เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความทนทานต่อการรบกวนและการรบกวนในระหว่างการส่ง จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ของข้อมูล (0 หรือ 1) สำหรับ DVB-T2 นั้นทางฝั่งส่ง (Transmitter) จะเข้ารหัส 2 ชั้น การเข้ารหัสชั้นที่ 1 คือการเข้ารหัสภายนอก (Outer code) จะเป็นการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) การเข้ารหัสชั้นที่ 2 คือการเข้ารหัสภายใน (Inner code) เป็นการเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ดังแสดงได้ดังนี้



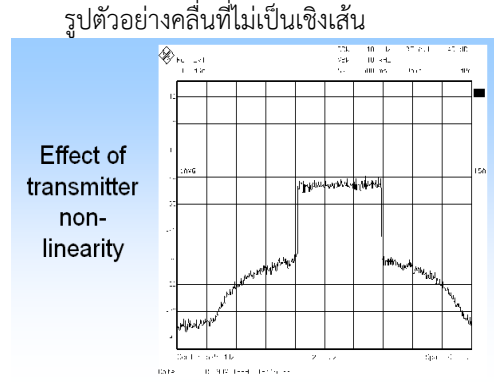
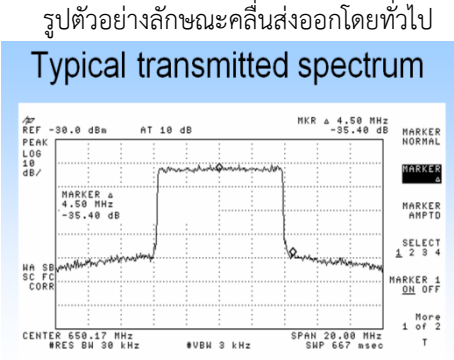
รูปด้านบนแสดงบล็อกไดอะแกรมลำดับการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ฝั่งส่ง (Transmitter) และการถอดรหัสของฝั่งรับ (Receiver) สำหรับการเข้ารหัสภายในเราสามารถเลือกปรับค่าพารามิเตอร์ในชั้นนี้ได้ตามความเหมาะสมโดยอัตราการเข้ารหัสแบบ LDPC มีอยู่ 5 โหมด 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 ถ้าเข้ารหัสแบบ LDPC ที่โหมด 1/2 ดังแสดงในรูปล่าง ซึ่งผลที่ได้คือจะให้อัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ แต่จะทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง (C/N ต่ำ)



Choosing *low* code rate (e.g. 1/2) gives a *lower data capacity* but a *more rugged signal* (lower C/N)

### การส่งออกอากาศ (Transmitted)

สำหรับการส่งออกอากาศ (transmitted) เครื่องส่งที่ดีควรขยายสัญญาณที่จะส่งออกได้อย่างไม่ผิดเพี้ยนหรือมีอัตราขยายที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงความถี่ใช้งาน ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความถี่อื่นที่ไม่พึงประสงค์ไปรบกวนการสื่อสารของช่องความถี่ข้างเคียง แต่ในความเป็นจริงหรือทางปฏิบัติแล้ว ถ้าปรับกำลังส่งเต็มความสามารถสูงสุดของเครื่องส่ง (max. power) ในช่วงกำลังส่งสูงสุดอัตราขยายของเครื่องส่งจะมีความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) คือจะเกิดสัญญาณความถี่ข้างเคียงขึ้น ทำให้มีผลไปรบกวนช่องความถี่ข้างเคียงได้ วิธีแก้ที่ดีที่สุดคือปรับลดกำลังส่งของเครื่องส่งให้ทำงานในช่วงเชิงเส้น (linear) ซึ่งจะได้ผลการขยายสัญญาณที่ไม่ผิดเพี้ยน



### ความแตกต่างระหว่าง DVB-T2 และ DVB-T

จากที่กล่าวมา DVB-T2 มีหลักการการทำงานคล้ายๆกับ DVB-T แต่มีประสิทธิภาพดีขึ้นมากกว่า 30-50 % เทคโนโลยีที่ใช้ใน DVB-T2 จะเป็นเทคโนโลยีที่มีการปรับปรุงพัฒนา ซึ่งในระบบ DVB-T ไม่มี เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ MPEG2 จะเปลี่ยนเป็น MPEG4/AVC (ISO/IEC Standard) หรือเรียกอีกว่า H.264 (ITU-T-standard) ก็ได้ เพราะเป็นมาตรฐานที่พัฒนารวมกัน บางคนเรียกรวมกันว่า H.264/AVC, AVC/H.264, H.264/MPEG-4 AVC หรือ MPEG-4/H.264 AVC

นอกจากนั้น DVB-T2 ได้เพิ่มตัวเลือกของแต่ละพารามิเตอร์ เช่น ค่าการมอดูเลชันของ DVB-T2 เพิ่มเป็น 256QAM ซึ่งจะสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 8 bits/symbol แน่นนอนว่าค่า useful Bitrates ก็จะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นต้น จากการศึกษาของประเทศอังกฤษ ถ้าเข้ารหัส DVB-T profile ที่ 64-QAM, 8k mode, coding rate 2/3, guard interval 1/32 จะมีประสิทธิภาพความคงทนเทียบเท่ากับ DVB-T2 profile ที่ 256-QAM, 32k mode, coding rate 3/5, guard interval 1/128 แต่ให้บิตเรตเพิ่มขึ้นจาก 24.13 Mbit/s (DVB-T) เป็น 35.4 Mbit/s (DVB-T2) หรือเพิ่มกว่า 46.5% ถ้าเทียบเป็นจำนวนรายการ DVB-T2 จะส่ง HD ได้ 3 - 4 ช่อง (SD 12 ช่อง) ในขณะที่ DVB-T ส่ง HD ได้ 1- 2 ช่อง (SD 6-7 ช่อง)

DVB-T vs DVB-T2		
	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

เทคนิคที่ช่วยให้ประสิทธิภาพความคงทนของสัญญาณ DVB-T2 ดียิ่งขึ้น ประกอบด้วย

- Rotated constellations เพิ่มความทนทานต่อการสูญเสีย, Gain เพิ่มขึ้น 3 dB, ไม่เกิดการสูญเสียที่ Gaussian Channel
- Alamouti Code เพิ่มการปรับปรุงให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในโครงข่ายความถี่เดียว (SFN) มากขึ้น
- Time Slicing (Power Saving) ช่วยในการประหยัดพลังงาน
- Physical Layer Pipes (PLP) ทำให้สามารถแยกชั้นของแต่ละการบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- FEC ใช้รหัสการป้องกันแบบ Low Density Parity Check (LDPC) ใช้ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose Chaudhuri Hocquengham) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า "Turbo-code" ถึง 30% (แบบเดียวกับที่ใช้กับ DVB-S2) ทำให้สัญญาณมีความทนทานต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น

การเปิดตัวการออกอากาศด้วยวิทยุระบบดิจิทัล (Digital Audio Broadcasting: DAB+)  
 กรณีศึกษาของประเทศออสเตรเลีย  
 บรรยายโดย Richard Morris BSc C.Eng MIET (Signal Broadcast Consulting)  
 richard@signalbroadcast.co.uk

การออกอากาศด้วยวิทยุระบบดิจิทัล โดยอาศัยเทคโนโลยี Digital Audio Broadcasting (DAB+) เริ่มดำเนินการ  
 ในประเทศออสเตรเลีย เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2552 ที่เมือง Adelaide, Perth, Sydney, Brisbane, Melbourne

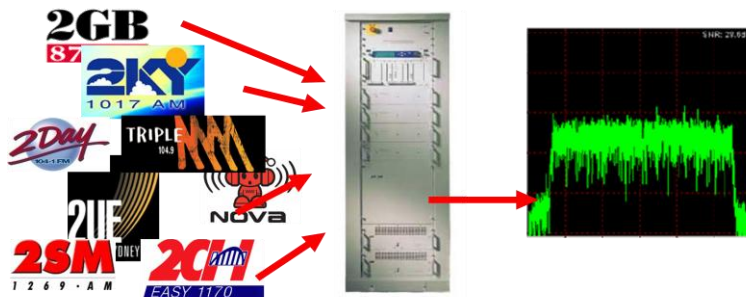
การเปิดตัวสำหรับการบริการ รูปแบบใหม่อาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยตามความเห็นร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องใน  
 อุตสาหกรรม ทั้งนี้ ต้องมีการวางกรอบแนวทางการดำเนินการ การวางแผนโครงข่าย การดำเนินการร่วมกันกับผู้ประกอบการ  
 รายย่อย การสื่อสารกับผู้บริโภค รวมทั้งการดำเนินการติดตั้งโครงข่าย

ทำไมจึงต้องเป็นเทคโนโลยี DAB +

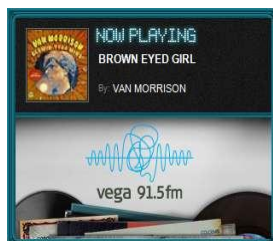
1. สามารถให้บริการต่างๆ มากมายและหลากหลาย ดังตัวอย่างของบริการในเมืองซิดนีย์ต่อไปนี้



2. ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อช่องรายการต่ำ เนื่องจากแต่ละช่องรายการสามารถใช้งานเครื่องส่งและอุปกรณ์โครงข่ายร่วมกัน  
 ได้ โดยการออกอากาศบนช่องความถี่เดียวกันสามารถให้บริการได้ถึงกว่า 15 ช่องรายการ



3. สามารถรองรับการให้บริการรูปแบบใหม่ อาทิ การให้บริการข้อมูลประกอบระหว่างการออกอากาศ เช่น ข้อมูลผล  
 การแข่งขันฟุตบอล ข้อมูลนักร้องหรือเนื้อเพลง



#### 4. มีเครื่องรับสัญญาณที่หลากหลาย



#### ประโยชน์อื่นๆของการออกอากาศด้วยระบบดิจิทัล(DAB+)

มีความต้องการค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่า จึงทำให้

- มีพื้นที่ครอบคลุมที่กว้างกว่า
- สามารถแพร่กระจายสัญญาณเข้าไปภายในอาคารได้ดีกว่า

สามารถรองรับการส่งข้อมูลภาพในแบบ Slide Show

- สามารถรองรับการส่งข้อมูลภาพในแบบ Slide Show โดยอาศัย XPAD เป็นตัวส่งผ่านภาพ โดยในระบบ DAB+ สามารถป้องกันข้อมูล (payload) ขนาดใหญ่ได้ด้วยการกำหนดให้ XPAD สามารถปรับขนาดได้

การตอบสนองต่อความผิดพลาดที่ดีกว่า

- ไม่มีเสียงรบกวนให้ได้ยินเมื่อเกิดความผิดพลาดของสัญญาณเสียง
- เมื่อเกิดการรบกวนหรือข้อผิดพลาด จะเข้าสู่สถานะเงียบ (mutes) โดยการเพดสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเสียงที่ยังมีคุณภาพดีสัญญาณสุดท้าย และเพดสัญญาณเสียงกลับเข้ามาอีกครั้งเมื่อพบสัญญาณเสียงที่คุณภาพดีอีกครั้งหนึ่ง

#### ความเห็นชอบของคณะกรรมการ (Getting Broadcasters to agree)

- ผู้ให้บริการบางรายต้องการใช้งานเทคโนโลยีใหม่
- ขณะที่ผู้ให้บริการรายอื่นๆยังคงมีความลังเลในการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งอาจมีกลุ่มผู้ฟังน้อยมากในช่วงเปิดตัว
- อย่างไรก็ตามในแต่ละประเทศจะมีประเด็นที่แตกต่างกันออกไป

การออกใบอนุญาตให้บริการมัลติเพล็กซ์สำหรับวิทยุในระบบดิจิทัล (กรณีศึกษาของอังกฤษและออสเตรเลีย)  
กรอบกำหนดกฎเกณฑ์ในอังกฤษ (UK Regulatory Framework)

กรอบกำหนดกฎเกณฑ์ในอังกฤษ สามารถสรุปได้ดังนี้

- ออกใบอนุญาตให้กับผู้ให้บริการมัลติเพล็กซ์ โดยไม่จำกัดเฉพาะผู้ให้บริการกระจายเสียงรายเดียว แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรายเดิม
- แต่ละสถานีวิทยุซึ่งออกอากาศบนระบบ DAB จะได้รับการขยายขอบข่ายของการอนุญาตจากใบอนุญาตออกอากาศวิทยุในระบบแอนะล็อกเดิม
- ผู้แข่งขันรายใหม่ สามารถออกอากาศในระบบดิจิทัลได้ โดยต้องมีการเจรจาร่วมกับผู้ให้บริการมัลติเพล็กซ์
- มีโครงข่ายหรือมัลติเพล็กซ์ในระดับประเทศ (National Multiplex) 2 มัลติเพล็กซ์ โดยอาศัยการวางโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network) ทั้งนี้ มี 1 มัลติเพล็กซ์สำหรับบริการสาธารณะ และอีก 1 มัลติเพล็กซ์สำหรับเอกชน (private broadcasters)

- มีโครงข่ายหรือมัลติเพล็กซ์ระดับภูมิภาค (Regional Multiplex) อยู่จำนวนหนึ่ง แต่ไม่ประสบความสำเร็จและต้องปิดตัวลงภายหลังการออกอากาศเป็นเวลาสิบปี
- มีโครงข่ายหรือมัลติเพล็กซ์ระดับท้องถิ่น (Local Multiplex) เพื่อครอบคลุมเมืองใหญ่หนึ่งเมืองหรือเมืองเล็ก 2-3 เมือง โดยมีพื้นที่ครอบคลุมใกล้เคียงกับวิทยุระบบเอฟเอ็ม

#### กรอบกำหนดกฎเกณฑ์ในออสเตรเลีย (Australian Regulatory Framework)

กรอบกำหนดกฎเกณฑ์ระหว่างออสเตรเลียและอังกฤษ แตกต่างกันดังนี้

- การมีนิติบุคคลเพิ่มขึ้นมาเพื่อบริหารจัดการมัลติเพล็กซ์ โดยเป็นนิติบุคคลที่แสวงหากำไร ประเทศออสเตรเลียคิดว่าสามารถดำเนินการได้โดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่านี้
- กรณีของประเทศไทย สัญญากับผู้ให้บริการมัลติเพล็กซ์ไม่มีความยืดหยุ่น โดยสัญญาจะสิ้นสุดในเวลา 8 ปี โดยกำหนดอัตราบิตคงที่ (fixed bit rate)

กรอบกำหนดกฎเกณฑ์ในออสเตรเลีย โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ผู้ให้บริการกระจายเสียงรายเดิมสามารถให้บริการบนระบบดิจิทัลได้
- ผู้ให้บริการแต่ละรายจะได้รับการจัดสรรบิตเรตสำหรับให้บริการได้ 2 รายการ
- ใบอนุญาตให้บริการมัลติเพล็กซ์จะเป็นการอนุญาตให้ผู้ให้บริการกระจายเสียงมีสิทธิร่วมกัน ดังนั้นจึงถือได้ว่าไม่มีผู้ให้บริการมัลติเพล็กซ์
- ไม่มีคู่แข่งรายใหม่ใน 6 ปี
- แยกมัลติเพล็กซ์สำหรับบริการสาธารณะกับเอกชนในแต่ละเมือง
- ทุกมัลติเพล็กซ์เป็นลักษณะท้องถิ่น แม้ว่าบางมัลติเพล็กซ์จะให้บริการช่องรายการระดับชาติ (national service) ก็ตาม

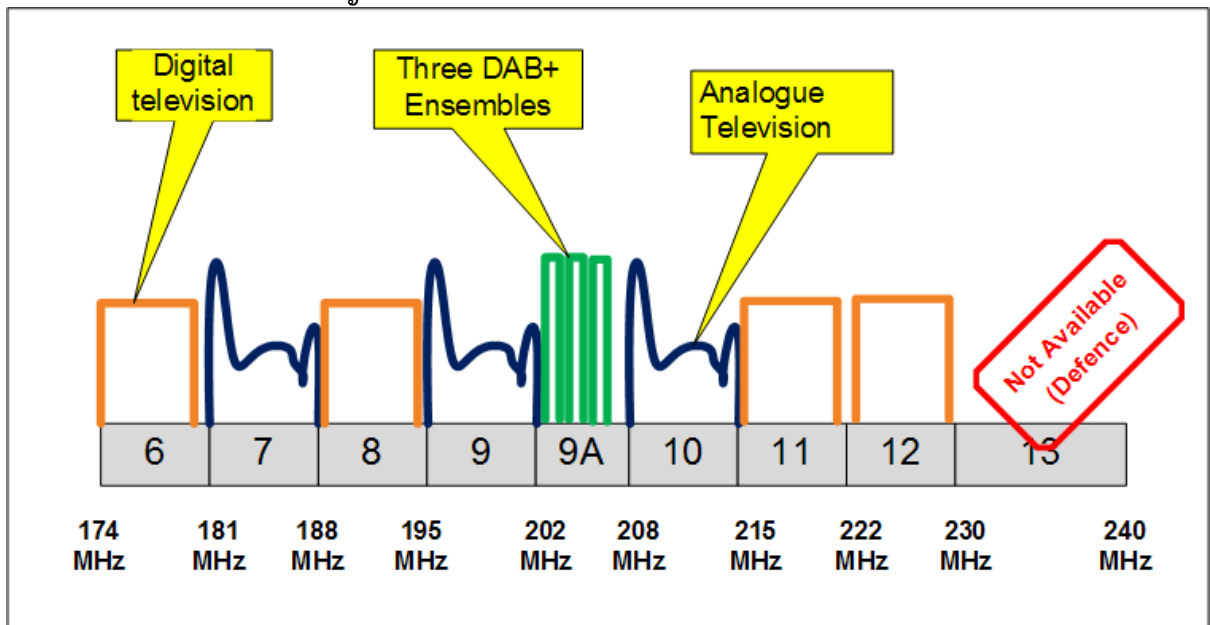
ตัวอย่างการออกอากาศวิทยุระบบดิจิทัลในซิดนีย์ (Bitrates in Use – Example Sydney)

- ออกอากาศด้วย 3 มัลติเพล็กซ์
- มีประมาณ 19 รายการในแต่ละมัลติเพล็กซ์
- ให้บริการทั้งสิ้น 56 รายการบนระบบ DAB+ ในเขตซิดนีย์

ตัวอย่างการจัดการบิตเรตในการออกอากาศวิทยุระบบดิจิตอลในซิดนีย์ (DAB+ Bitrates in Sydney)

อัตราบิต (กิโลบิต/วินาที)	จำนวนการให้บริการ
32	4 (speech)
40	5
48	16
56	3
64	16
72	2
80	5
96	4
128	1

### ปัญหาของการหนาแน่นของการใช้งานคลื่นความถี่



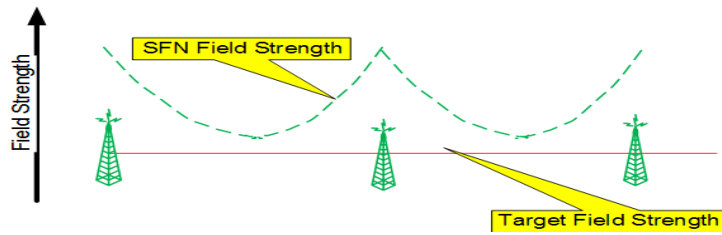
จากรูปข้างต้นพบว่า VHF Band III มีการใช้งานหนาแน่นทั้งโทรทัศน์ระบบแอนะล็อก โทรทัศน์ระบบดิจิตอล และวิทยุระบบดิจิตอล

- โทรทัศน์ระบบดิจิตอล : ช่อง 6,8,11
- โทรทัศน์ระบบแอนะล็อก : ช่อง 7,9,10
- วิทยุระบบดิจิตอล : ช่อง 9A (ให้บริการ 3 มัลติเพล็กซ์)

จากความหนาแน่นของการใช้งานคลื่นความถี่บนย่านนี้ ทำให้การวางแผนความถี่วิทยุต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนกันของคลื่นความถี่

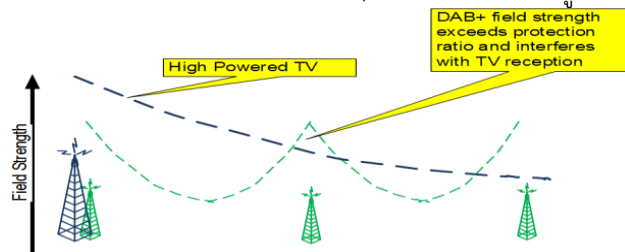
### การวางแผนโครงข่ายวิทยุระบบดิจิทัลโดยอาศัยโครงข่ายความถี่เดียว (SFN)

- อาศัยช่องความถี่เดียวกันบนสถานีเครื่องส่งที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน
- มีสถานีเครื่องส่งหลายสถานีและอาศัยกำลังส่งขนาดกลาง (medium power)

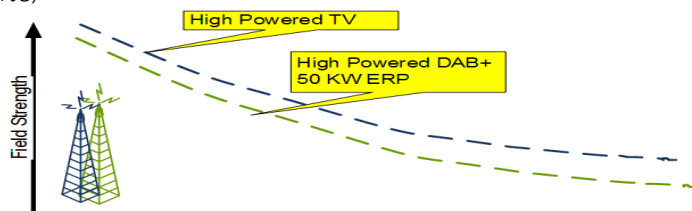


### ปัญหาของเครื่องส่งบนย่านความถี่เดียวกัน (Problems with transmitters in same band)

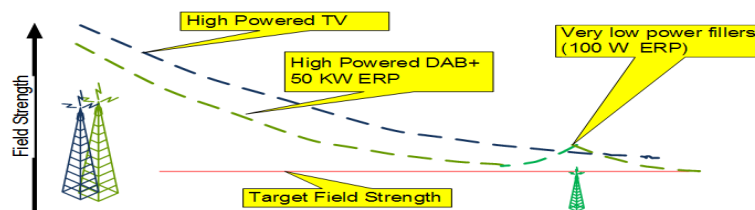
ตัวอย่างดังรูปด้านล่างนี้เป็นการออกอากาศโทรทัศน์ร่วมกับวิทยุระบบดิจิทัลบนย่านความถี่เดียวกัน พบว่าจะวิทยุระบบดิจิทัลจะถูกรบกวนและไม่สามารถรับฟังได้เกือบทั้งพื้นที่ (ช่วงเส้นประสีเขียวอยู่ต่ำกว่าเส้นประสีน้ำเงิน)



จากปัญหาข้างต้นสามารถลดผลจากการรบกวนได้โดยการติดตั้งเครื่องส่งโทรทัศน์และวิทยุระบบดิจิทัลให้อยู่ใกล้กันหรืออยู่บนเสาเดียวกัน ดังรูปด้านล่างนี้ (สัญญาณจากเครื่องส่งโทรทัศน์และวิทยุระบบดิจิทัลจะลดทอนในสัดส่วนที่เท่ากันซึ่งทำให้ผลการรบกวนลดลงด้วย)



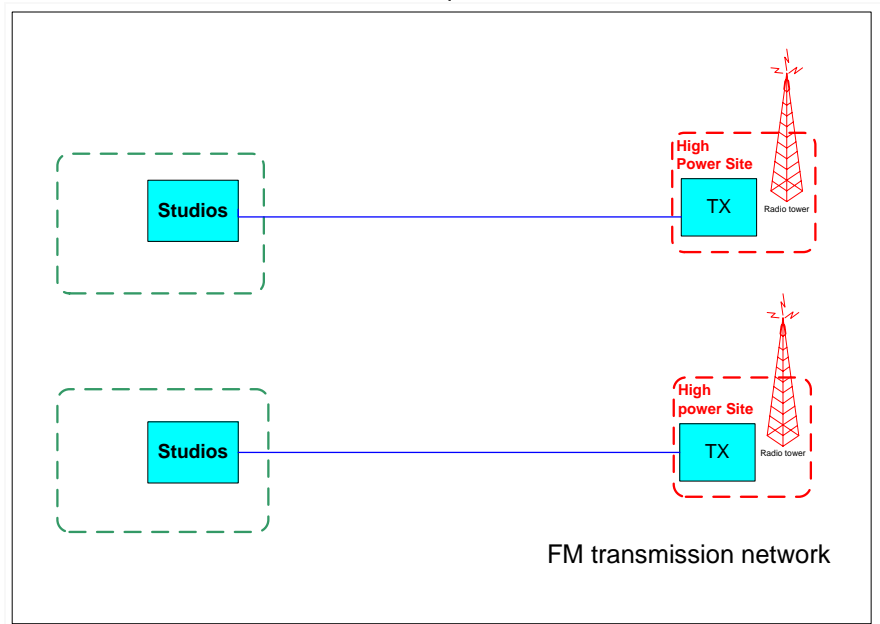
นอกจากนี้ อาจติดตั้งสถานีเสริมจุดบอดขนาดเล็กเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณหรือขยายพื้นที่ครอบคลุม



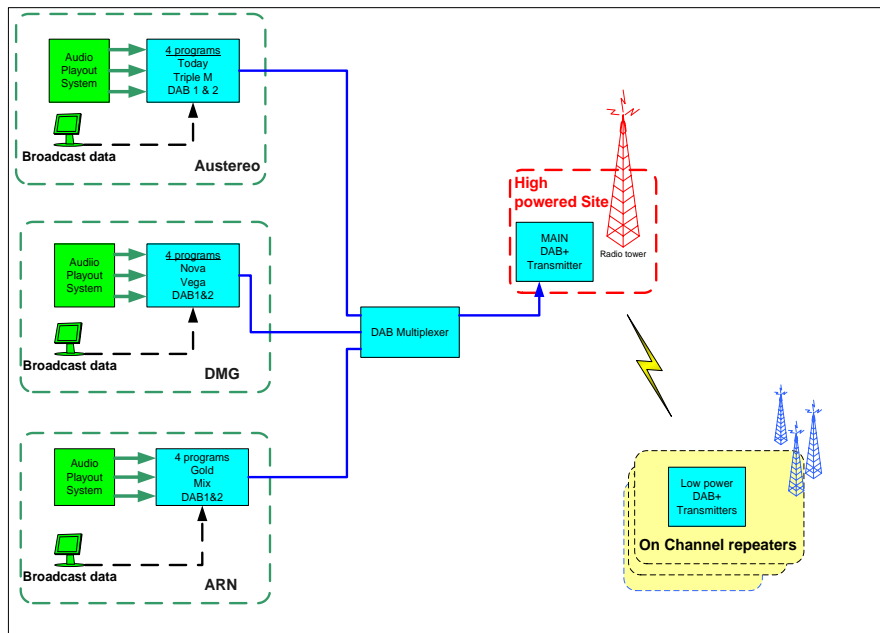
เปรียบเทียบสถาปัตยกรรมโครงข่ายระหว่างวิทยุระบบแอนะล็อกและระบบดิจิทัล



โครงข่ายส่งสัญญาณวิทยุระบบเอเอ็ม และเอฟเอ็ม



โครงข่ายส่งสัญญาณวิทยุระบบดิจิตอล



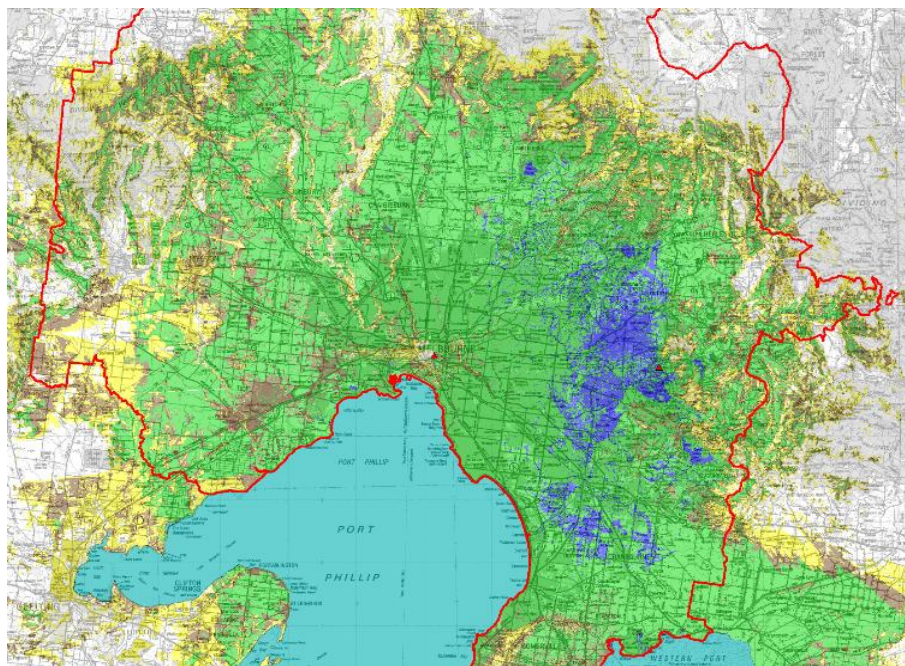
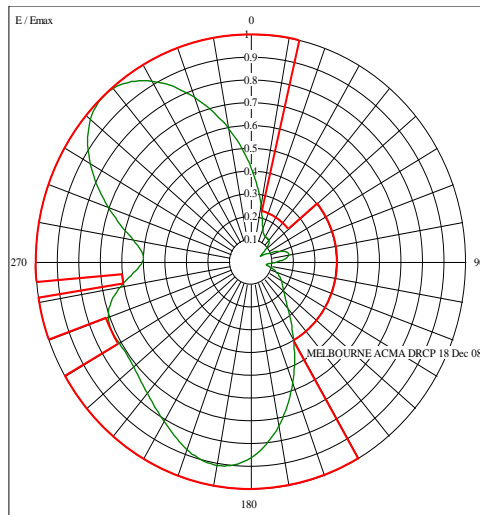
หากเปรียบเทียบสถาปัตยกรรมโครงข่ายระหว่างวิทยุระบบแอนะล็อกและระบบดิจิตอล จะพบว่าในระบบดิจิตอลนั้นจะมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่า แต่อย่างไรก็ตามความยุ่งยากซับซ้อนนี้ทำให้การบริหารจัดการโครงข่ายมีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นมากขึ้น รวมทั้งใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

ตัวอย่างการกำหนดกรอบแนวทางด้านเทคนิคเพื่อหลีกเลี่ยง/แก้ไขปัญหารบกวน รวมทั้งปัญหาจุดบอด

- การออกแบบสายอากาศมีความจำเป็นต้องดำเนินการอย่างรอบคอบและคำนึงถึงการรบกวน
- ผู้ให้บริการต้องการออกอากาศด้วยกำลังส่งที่สูงเพื่อให้สามารถแพร่กระจายสัญญาณในอาคารได้มาก ในขณะที่หน่วยงานกำกับดูแลจำเป็นต้องจำกัดกำลังส่งเพื่อป้องกันการรบกวนในกิจการหรือบริการอื่นบนย่านความถี่เดียวกัน

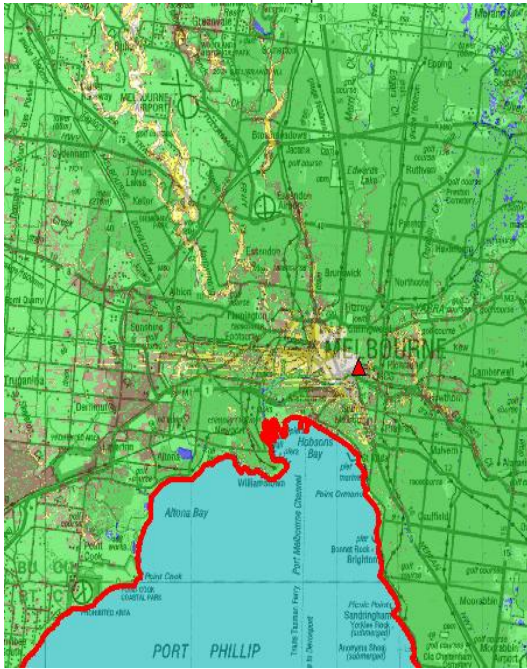
ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการจำกัดการแพร่กระจายคลื่นเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนคือการเพิ่มมุมกดของสายอากาศ (antenna beam tilt) เพื่อให้การแพร่กระจายคลื่นอยู่ในพื้นที่ที่จำกัดมากขึ้น

เมลเบิร์น



นอกจากนี้ หากพบว่าพื้นที่บริเวณใดไม่สามารถรับสัญญาณได้โดยเฉพาะพื้นที่ใกล้กับเสาส่งและได้รับผลจากตึกสูงบังสัญญาณ อาจพิจารณาติดตั้งสถานีเสริมจุดบอดเป็นการเพิ่มเติมก็ได้

ก่อนติดตั้งสถานีเสริมจุดบอด



หลังติดตั้งสถานีเสริมจุดบอด



## การวางแผนและวางโครงข่ายโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล (DVB Networks)

บรรยายโดย Peter Barnett

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกของการวางแผนและติดตั้งโครงข่ายคือการระบุเป้าหมายการรับสัญญาณตามสภาพแวดล้อม โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะดังนี้

- การรับสัญญาณบนดาดฟ้า
- แบบพกพาภายในอาคาร
- แบบพกพาภายนอกอาคาร

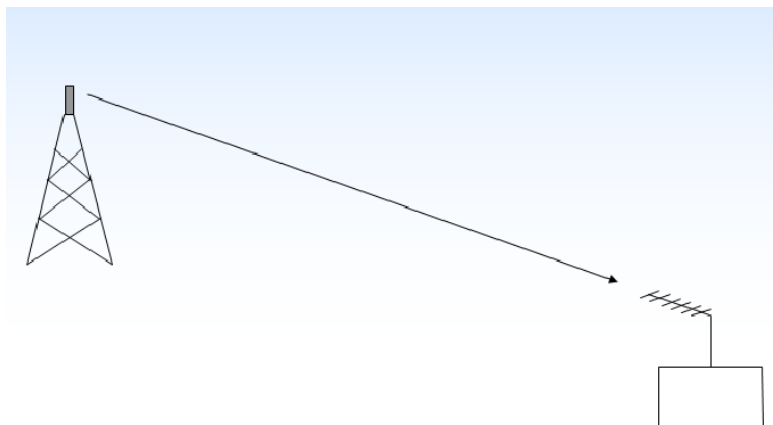
### การเลือกโหมดการทำงานและพารามิเตอร์ของระบบ DVB-T2

1. เริ่มต้นด้วยจำนวนของคลื่นพาห์ (sub-carrier) หรือขนาดของ FFT (FFT size)
  - สำหรับการรับสัญญาณบนดาดฟ้า ใช้ 32k ซึ่งจะช่วยป้องกันการสอดแทรกกรบกวนของสัญญาณสะท้อน
  - สำหรับการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่ Doppler อาจมีความสำคัญ จึงควรใช้ FFT ขนาดเล็ก : 8k, 4k, 2k, หรือ 1k เท่าที่จำเป็น
2. การเลือกรูปแบบสัญญาณไฟลิต

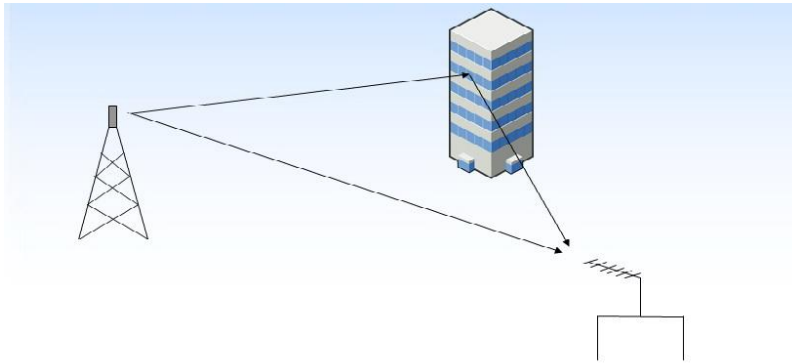
Pilot pattern	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
Separation (freq)	3	6	6	12	12	24	24	6
Separation (time)	4	2	4	2	4	2	4	16
Pilots overhead	8.33%	8.33%	4.17%	4.17%	2.08%	2.08%	1.04%	1.04%

- สำหรับช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น แบบเคลื่อนที่ ใช้รูปแบบที่แยกเวลาสั้นที่สุด เช่น PP2, PP4 หรือ PP7
- สำหรับการรับสัญญาณบนดาดฟ้า ให้เลือกที่ต่ำสุด เช่น PP7
- PP8 อาจจะไม่นำมาใช้ในการรับสัญญาณ

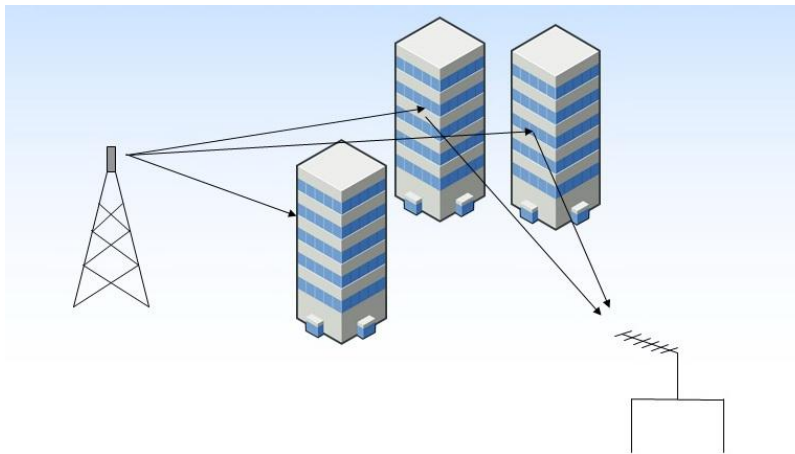
Channel model : Gaussian -- เส้นทางเดียวจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังผู้รับ ด้วยเสียงแทรกที่ถูกทำลายไปเท่านั้น



**Channel Models : Rician** -- มีลักษณะเส้นทางตรงและในเส้นทางอ้อมจะมีพลังงานต่ำกว่า ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการรับสัญญาณที่คาดฟ้า



**Channel Models : Rayleigh** -- ลักษณะแบบไม่มีเส้นทางหลัก แต่มีหลายเส้นทางจับคู่กันในระดับต่ำ



**การคำนวณค่าขั้นต่ำของอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (C/N)**

- พิจารณาจากพื้นฐานในลักษณะโหมดที่เลือก โดยดูจากมอดูเลชั่น (Modulation) และการป้องกันความผิดพลาดล่วงหน้า (Forward error correction)
- อาศัยค่าชดเชยดังนี้
  - การแก้ไข BER
  - การแก้ไข pilot boost
  - ประมาณการช่องสัญญาณจริง
  - การแก้ไข Backstop noise
  - การแก้ไขช่องสัญญาณแบบ Rician หรือ Rayleigh
- การคำนวณและแก้ไข/ชดเชยค่าข้างต้นจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ขั้นต่ำซึ่งต้องการโดยเครื่องรับสัญญาณ

### การคำนวณสัญญาณต่ำสุดของตัวรับสัญญาณ

- สมมติว่าตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวน (noise figure) เป็น 6dB การคำนวณที่มีประสิทธิภาพในการบ่อนข้อมูล คือ -99dBm (75Ω)
  - เพิ่มขึ้นค่า C/N จะได้รับสัญญาณ ช่วงต่ำสุด เช่น  $C/N_{min} = 20\text{dBm}$ ,  $C_{min} = -99+20 = -79\text{dBm}$
- \*\*\* $C_{min}$  = minimum carrier

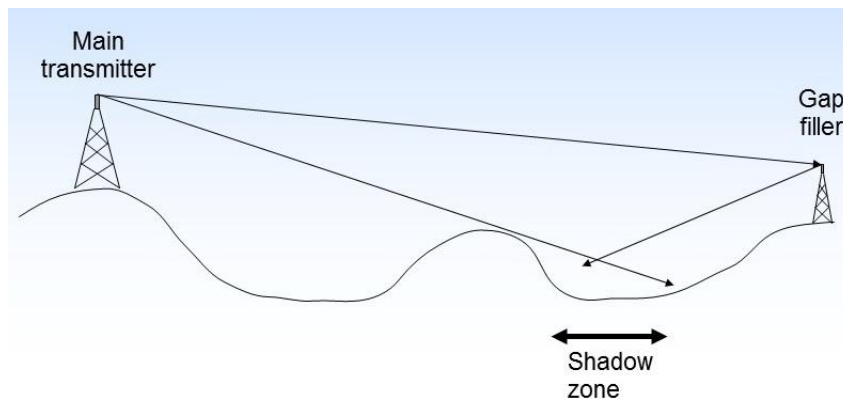
### การคำนวณความแข็งแรงของสนามสัญญาณ

- ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการบ่อนความผิดพลาดระหว่างเสาอากาศและเครื่องรับสัญญาณ และให้รู้ไปถึงเสาอากาศและความถี่ การคำนวณนี้จำเป็นต้องใช้ความแข็งแรงของเสาอากาศด้วย
- ถ้าเครื่องส่งสัญญาณไม่สามารถส่งสัญญาณไปถึงได้ ให้เพิ่มแรงส่งเครื่องรับสัญญาณ หรือใช้โหมด DVB-T2 ที่มีกำลังมากขึ้น

### โครงสร้างเครือข่าย

- เครื่องส่งสัญญาณเดี่ยว สามารถครอบคลุมการรับสัญญาณที่คาดฟ้า ซึ่งอาจจะต้องใช้ Gap Fillers (การขยายสัญญาณสำหรับพื้นที่อับสัญญาณ)
- สำหรับการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่และพกพาได้, เครือข่ายขนาดเล็ก, จะต้องส่งสัญญาณแบบใกล้ๆ ในพื้นที่ที่สูงขึ้นอาจมีความผิดพลาดสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้เสาอากาศในการเข้าถึงการรับสัญญาณบนดาดฟ้าได้

### Gap filler (การขยายสัญญาณ สำหรับพื้นที่อับสัญญาณ)



- ลักษณะทางภูมิประเทศอาจทำให้เกิดพื้นที่ที่สัญญาณไม่เพียงพอ โดยสามารถนำสัญญาณกลับเข้ามาในพื้นที่ได้โดยเครื่องขยายสัญญาณในช่องว่างที่อับสัญญาณ
- เป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการเติมสัญญาณ
- การเคลื่อนย้าย/เปลี่ยนตำแหน่งสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องส่งสัญญาณอื่น จะเปลี่ยนความถี่ไปอีกช่องทางและกลับมาอีกครั้ง

### การครอบคลุมทั่วภูมิภาค

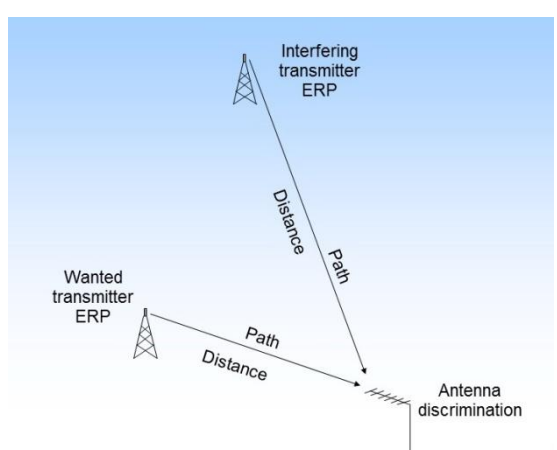
- หากต้องการที่จะส่งสัญญาณให้ครอบคลุมมากกว่าสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งให้บริการ ต้องแจ้งจำนวนของเครื่องส่งสัญญาณด้วย
- สิ่งเหล่านี้สามารถอยู่ในเครือข่ายที่มีหลายความถี่หรือเครือข่ายความถี่เดียว

### อัตราการใช้ร่วมกัน

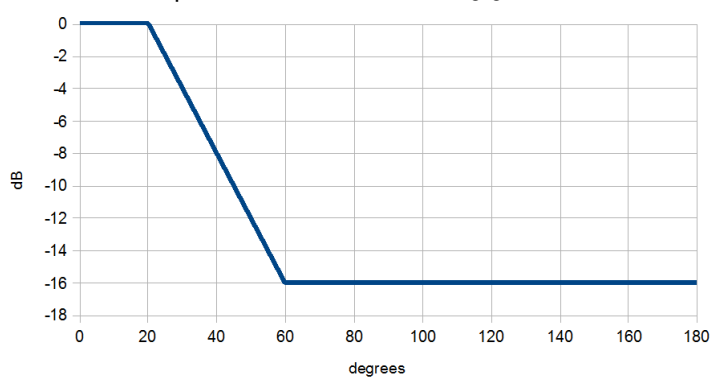
ในการออกแบบเครือข่ายเป็นสิ่งสำคัญมาก ก็เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณที่ได้รับนั้น เป็นการทำงานปกติของเครื่องรับสัญญาณ กล่าวคือ

- เหนือกว่าระดับสัญญาณต่ำสุด
- ต่ำกว่าระดับสัญญาณสูงสุด
- ไม่มีสัญญาณแทรกจากเครื่องส่งสัญญาณอื่นๆในช่องทางเดียวกัน
- ไม่มีสัญญาณแทรกจากเครื่องส่งสัญญาณอื่นๆ ในช่องทางที่ใกล้/ติด กัน

### ปัจจัยที่มีผลรบกวน



### การคำนวณการรับสัญญาณโดยพิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศรับสัญญาณ

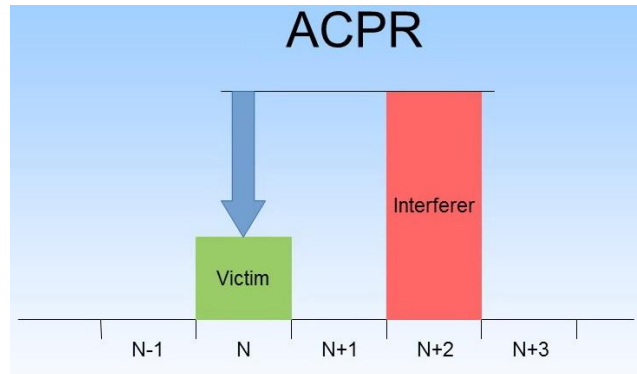


- แนะนำ ITU-R BT.419-3 ที่เตรียมไว้เป็นรูปแบบการเลือกเสาอากาศที่มันสามารถใช้สำหรับที่วางรูปแบบมาแล้ว
- เสาอากาศของผู้บริโภคบางคนก็ไม่ใช่แบบนี้

### อัตราส่วนป้องกันการรบกวน กรณีช่องความถี่เดียวกัน (Co-channel)

- ยกเว้นในกรณีของโครงข่ายความถี่เดียว สัญญาณซึ่งได้รับจากเครื่องส่งซึ่งไม่ประสงค์ (unwanted transmitter) จะถูกมองว่าเป็นสัญญาณรบกวน
- การรบกวนบนช่องความถี่เดียวกันเป็นการลดทอนคุณภาพของสัญญาณ ควรมีการรบกวนที่น้อยมาก

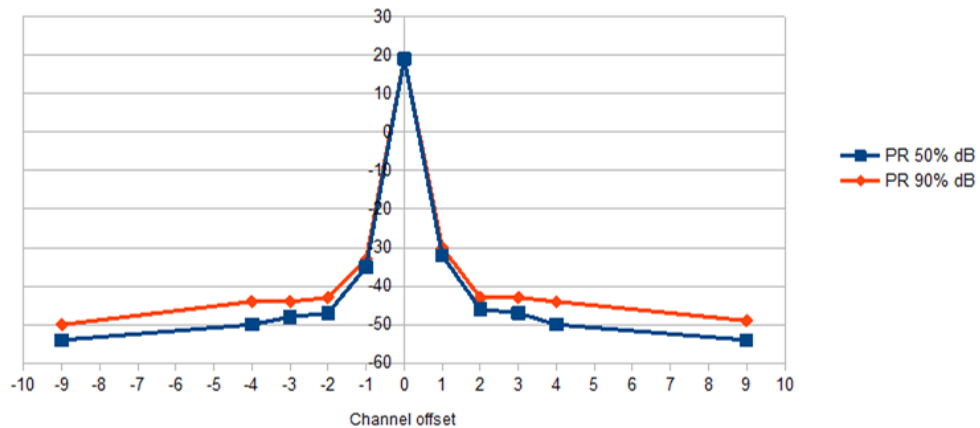
### อัตราส่วนป้องกันการรบกวน กรณีช่องความถี่ประชิด (Adjacent channel)



- ACPR (ลูกศรสีน้ำเงิน) เป็นปริมาณที่วัดได้ โดยเป็นการเพิ่มระดับของสัญญาณรบกวนจนไม่สามารถรับสัญญาณได้
- ACPR เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของเครื่องรับสัญญาณ และจะแตกต่างกันไปในเครื่องรับสัญญาณแต่ละรุ่น

DVB-T2 measured receiver protection ratios

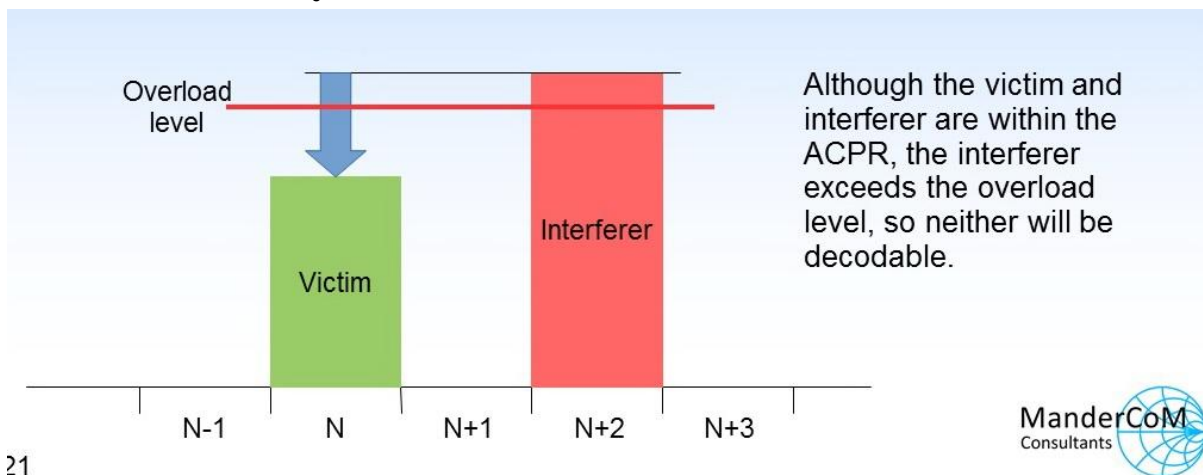
8MHz, 32k, 256QAM, 2/3 FEC, Si tuner



- ACPR ที่มีค่าเป็นลบ หมายความว่า สัญญาณที่ต้องการสามารถมีระดับต่ำกว่าสัญญาณรบกวนได้

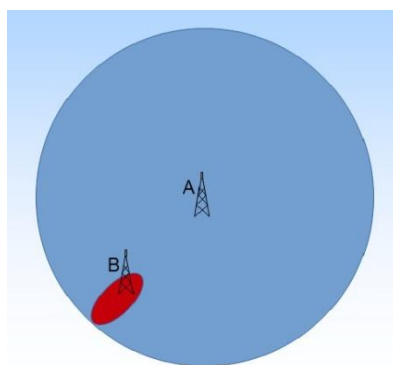


## การรบกวนจากช่องความถี่ที่อยู่ติดกันมาก



21

- หากช่องสัญญาณที่อยู่ในระดับที่ติดกันมากเกินไป จากนั้นสัญญาณที่ถูกรบกวนจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ไม่ว่าจะมีความแรงของสัญญาณระดับใด เรียกว่าเกิด **overload Hole punching**



- ผู้กระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ A ดำเนินการส่งสัญญาณ A ครอบคลุมพื้นที่สีน้ำเงิน
- ผู้กระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ B ดำเนินการส่งสัญญาณ B บนช่องทางที่ติดกัน
- ผู้รับสัญญาณในพื้นที่สีแดง ไม่สามารถรับสัญญาณ A ได้ เพราะมีระดับความแตกต่างระหว่าง B และ A ที่ยุ่งยากซับซ้อน ของผู้รับสัญญาณ ACPR หรือ B ได้บล็อกผู้รับสัญญาณไว้
- Hole punching จะหลีกเลี่ยงได้โดยติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณในพื้นที่เดียวกัน
- ประโยชน์เพิ่มเติมของการหลีกเลี่ยงความต้องการใช้เสาอากาศสองเสาในทุกๆที่

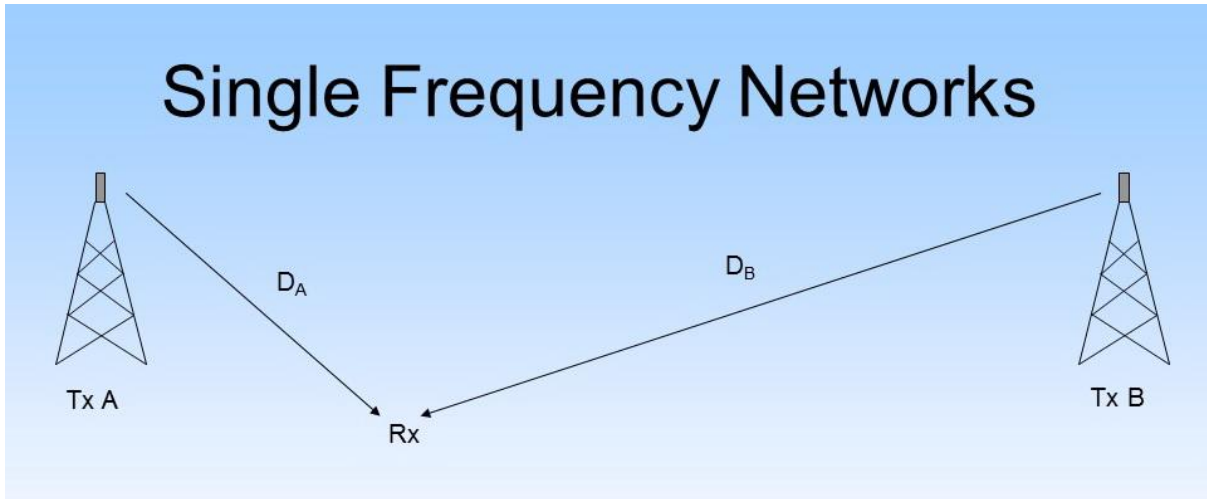
## โครงข่ายความถี่เดียว

Specification : DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN)

Synchronization : TS 101 191 V1.4.1 (2004-06)

- ในสถานการณ์ปกติ ที่ได้รับสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณสองเครื่องพร้อมกันจากช่องทางเดียวกัน จะทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลง

- DVB-T และ -T2 ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ผู้รับสัญญาณไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างระหว่างผู้รับหลายช่องทางกับผู้รับสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณสองเครื่องได้เหมือนกัน ให้สัญญาณอย่างใดอย่างหนึ่งป้องกันการสอดแทรกของสัญญาณรบกวน



- RX ส่งมาจาก Tx A ดีกว่าที่ส่งมาจาก Tx B และเส้นทางที่แตกต่างกันของ  $D_B - D_A$
- ถ้า  $D_B - D_A <$  ระยะทางการป้องกันการสอดแทรกของสัญญาณรบกวน แล้วการรับสัญญาณไม่ได้ลดลง
- ถ้า  $D_B - D_A >$  ระยะทางการป้องกันการสอดแทรกของสัญญาณรบกวน ส่งมาจาก Tx A จะมีมากขึ้นกว่าที่ส่งมาจาก Tx B

#### ข้อดี SFNs

- เส้นสัญญาณมีประสิทธิภาพ : ใช้ช่องน้อยลงในการครอบคลุมทุกพื้นที่
- SFNs มีประสิทธิภาพมากโดยเฉพาะกับเครื่องรับสัญญาณที่มีเสาอากาศรอบทิศทาง ในขณะที่ได้รับสัญญาณจากเครื่องมากกว่าหนึ่งเครื่องจะช่วยแก้ไขพื้นที่ที่อัปเดตสัญญาณให้ครอบคลุม

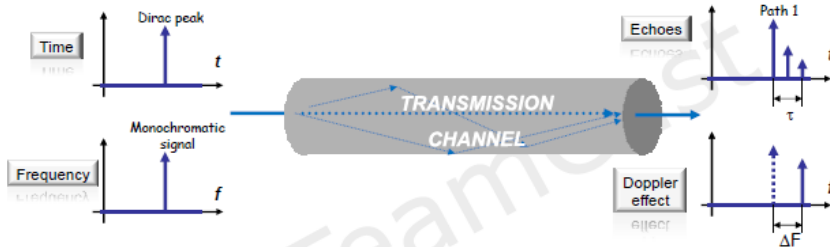
#### ข้อด้อย SFNs

- ในระดับภูมิภาค ไม่มีการเขียนโปรแกรมที่ได้รับอนุญาตของ SFN
- มีค่าใช้จ่ายบางอย่างเพิ่มเติมในการดำเนินการประสานโครงการ
- ต้องใช้การป้องกันสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง (DVB-T2 มีตัวเลือกการป้องกันสัญญาณรบกวนมากกว่า DVB-T)

## พื้นฐานของดิจิตอลทีวี (Fundamentals of the Digital TV)

บรรยายโดย Jean-Baptiste Marie, TeamCast

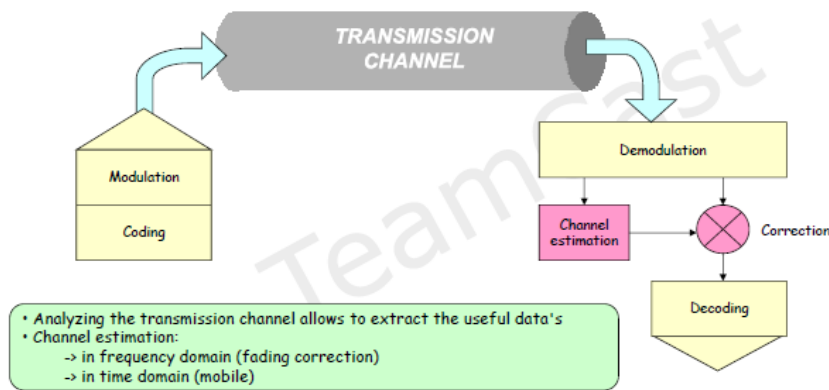
การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอลโดยอาศัยคลื่นความถี่นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญของสัญญาณ 2 ส่วน ได้แก่ เวลา (time) และความถี่ (frequency) โดยการแพร่กระจายสัญญาณผ่านอากาศนั้น ถือเป็น การส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ (transmission channel) ซึ่งส่งผลให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงเวลาและเชิงความถี่



**การเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลา** : จากรูปด้านบนพบว่าเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องสัญญาณ (อากาศ) ซึ่งในสถานการณ์จริงจะพบว่ามีสิ่งกีดขวาง อาทิ อาคาร ต้นไม้ ป้ายโฆษณา ทำให้สัญญาณบริเวณจุดรับสัญญาณนั้นจะมีทั้งจากทางตรงและสัญญาณสะท้อน (echoes)

**การเปลี่ยนแปลงในเชิงความถี่** : นอกจากนี้ในด้านความถี่ก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน กล่าวคือเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องสัญญาณ (อากาศ) ซึ่งมีสิ่งกีดขวางตามที่กล่าวมาข้างต้น จะทำให้ความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยเฉพาะเมื่อรับสัญญาณขณะเคลื่อนที่ โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Doppler

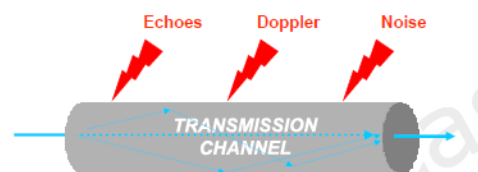
จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงจากต้นทางมายังปลายทางรับสัญญาณ จึงทำให้ต้องมีกระบวนการที่สามารถลดความผิดพลาดหรือลดผลกระทบต่อข้อมูลที่ส่ง จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ ดังนั้นจึงมีกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณ (coding) มอดูเลตสัญญาณ (modulate) รวมทั้งแก้ไขข้อผิดพลาด (error correction) ดังรูปด้านล่างนี้



### ช่องสัญญาณ (transmission channel)

ช่องสัญญาณ (transmission channel) มีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งผ่าน

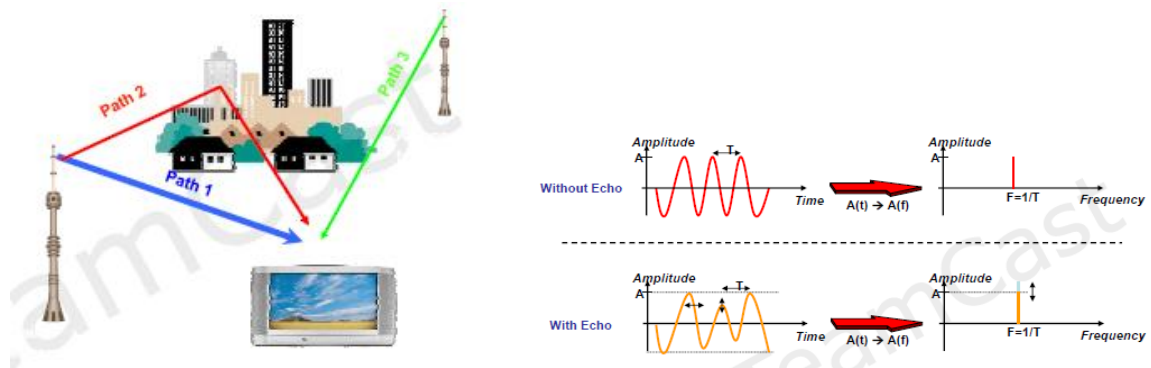
- การสะท้อน (Echoes)
- ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ (Doppler effect)
- สัญญาณรบกวน (Noise)



## 1. การสะท้อน (Echoes)

คือผลที่เกิดจากสัญญาณที่สะท้อนมาเข้าเครื่องรับในช่วงเวลาที่แตกต่างสัญญาณตรง (direct signal) ทำให้เกิดดีเลย์ และการเฟดของสัญญาณ (fading effect) โดยแบ่งได้ 2 กรณีดังนี้

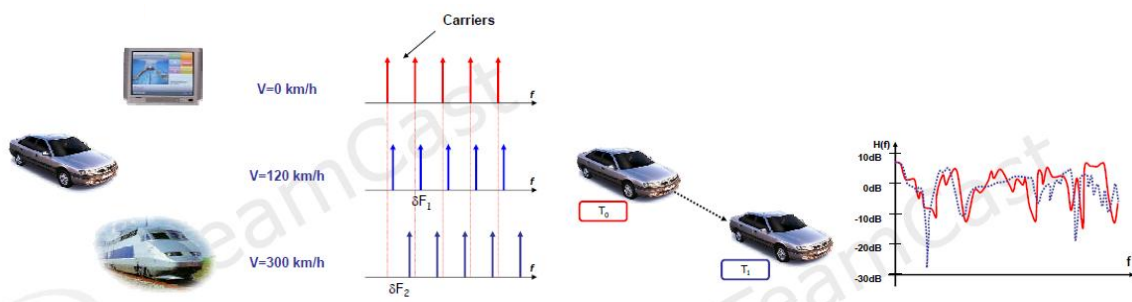
- 1.1 แบบพาสซีฟ (passive) เกิดจากการสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหรือสิ่งแวดล้อม – Path 2 ในรูปด้านล่าง
- 1.2 แบบแอทีฟ (active) เกิดจากสัญญาณจากเครื่องส่งภายใต้โครงข่าย SFN เดียวกัน – Path 3 ในรูปด้านล่าง



ผลจากสัญญาณสะท้อน (Echoes) ทำสัญญาณสัญญาณรวมที่จุดรับสัญญาณมีโอกาสเสริมและหักล้างกับสัญญาณจากทางตรง ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่จุดรับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป จนอาจทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ในกรณีที่เกิดการสะท้อนมากเกินไป (การสะท้อนมากหรือน้อยขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เขตชุมชนเมืองมีโอกาสเกิดการสะท้อนได้มาก และเขตชนบทมีโอกาสเกิดการสะท้อนน้อยกว่า)

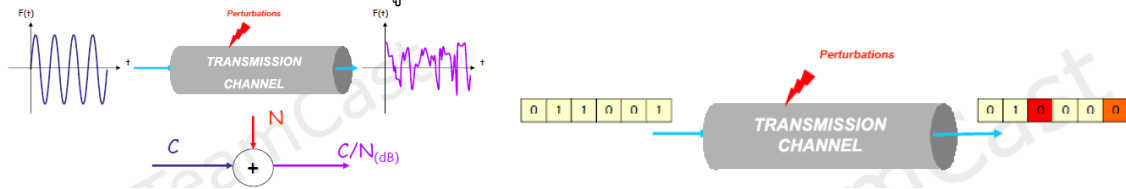
## 2. ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler effect)

คือปรากฏการณ์ที่เกิดการรับสัญญาณในขณะที่เคลื่อนที่หรืออาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมมีการเคลื่อนที่ก็ได้ โดยผลของปรากฏการณ์นี้ จะทำให้ความถี่ของสัญญาณเลื่อนออกจากตำแหน่งที่ส่งไป (frequency shift) ยิ่งการรับสัญญาณขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะปรากฏเด่นชัดขึ้น



### 3. สัญญาณรบกวน (Noise)

คือการรบกวนของช่องสัญญาณในลักษณะสุ่ม (random) ทำให้สัญญาณที่ปลายทางเกิดความผิดเพี้ยนไปจากต้นทาง โดยในระบบการส่งสัญญาณหนึ่งๆ สัญญาณที่ปลายทางนั้นจะต้องมีค่า  $C/N$  (อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน) มากเกินข้อกำหนดของพารามิเตอร์ระบบจึงจะทำให้สามารถถอดรหัสสัญญาณได้ ทั้งนี้ ในระบบ DVB-T2 นั้น ค่า  $C/N$  ที่ต้องการ จะมีค่าตามการปรับพารามิเตอร์ของการมอดูเลตสัญญาณ (modulation) และอัตราการใช้รหัส (code rate) เป็นหลัก และการวัดข้อผิดพลาดนั้น นิยมวัดในรูปแบบของ Bit Error Ratio (BER)



#### ประเภทของช่องสัญญาณในทางทฤษฎี

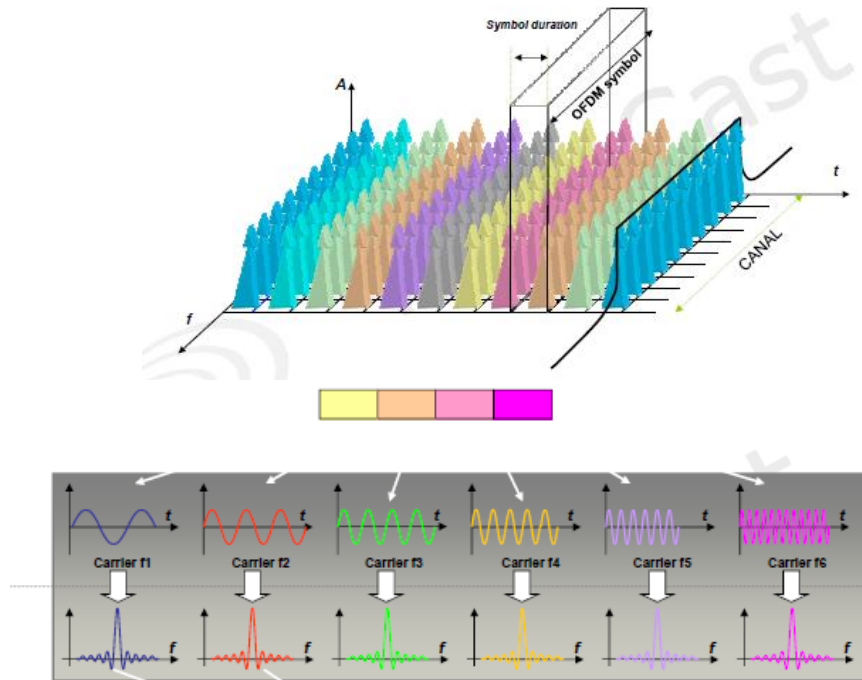
ประเภท	ลักษณะ	ตัวอย่างการใช้งาน
Gaussian	เป็นช่องสัญญาณในอุดมคติ ไม่มีสัญญาณสะท้อน	จำลองช่องสัญญาณสำหรับการรับสัญญาณแบบ fixed rooftop ในอุดมคติ
Ricean	เป็นช่องสัญญาณที่มีสัญญาณหลักหนึ่งสัญญาณและมีสัญญาณสะท้อนหลายสัญญาณ	จำลองช่องสัญญาณสำหรับการรับสัญญาณแบบ fixed rooftop
Rayleigh	เป็นช่องสัญญาณที่ไม่ปรากฏสัญญาณหลักเด่นชัด แต่จะประกอบไปด้วยสัญญาณสะท้อนหลายสัญญาณ	จำลองช่องสัญญาณสำหรับการรับสัญญาณแบบ portable indoor/outdoor
Mobile	เป็นช่องสัญญาณที่มีสัญญาณสะท้อนหลายสัญญาณและมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (frequency shift)	จำลองช่องสัญญาณสำหรับการรับสัญญาณแบบ เคลื่อนที่

## เทคโนโลยี COFDM และโครงข่ายความถี่เดี่ยว (Single Frequency Networks)

บรรยายโดย Jean-Baptiste Marie, TeamCast

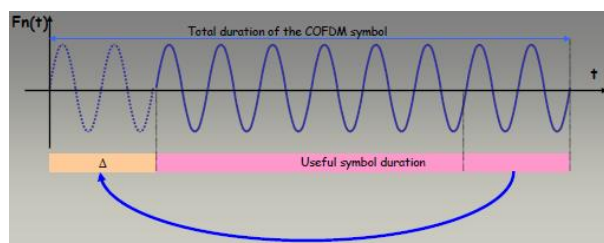
### เทคโนโลยีพื้นฐานของโทรทัศน์ดิจิทัล

เทคโนโลยีพื้นฐานของโทรทัศน์ดิจิทัลอาศัยเทคโนโลยี COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งเป็นการแบ่งคลื่นความถี่ออกเป็นคลื่นพาห่อย่อย (sub-carriers) จำนวนมาก โดยแต่ละคลื่นพาห่อย่อยจะมีคุณสมบัติตั้งฉากซึ่งกันและกัน (Orthogonal) นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัส (Coding) เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดล่วงหน้าด้วย (Forward Error Correction)


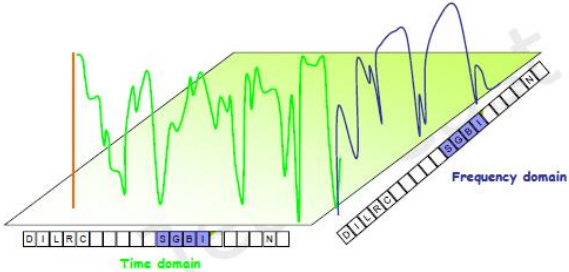



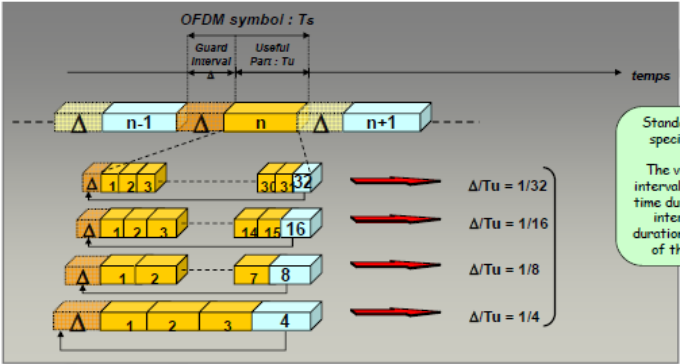
รูปแสดงตัวอย่างสัญญาณ OFDM และคลื่นพาห่อย่อย (sub-carriers)

คุณลักษณะทางเทคนิคที่สำคัญของสัญญาณ OFDM คือการทนทานต่อสัญญาณสะท้อนหรือการนำสัญญาณสะท้อนมาใช้ประโยชน์เนื่องจากการกำหนดระยะเวลาห่างของสัญญาณลักษณะในเชิงเวลา (symbol duration:  $T_u$ ) ซึ่งขึ้นกับการเลือก FFT size ในแต่ละแบบ และการกำหนดช่วงเวลาป้องกัน (Guard interval: GI)



ข้อจำกัดของการส่งสัญญาณในสถานการณ์จริงของการออกอากาศ

ข้อจำกัดของช่องสัญญาณ	ปัญหา/อุปสรรค	เทคนิค/เทคโนโลยีที่ใช้แก้ไข	ตัวอย่าง
สัญญาณรบกวน (Noise)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Random phenomenon</li> <li>- Transmission errors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Correlate the useful data's</li> <li>- Coding</li> <li>- Interleaving</li> </ul> <p><i>Choose a robust modulation (QAM)</i></p>	<p>หากต้องการสัญญาณมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้น อาจทำได้โดยการปรับอัตราเข้ารหัส (Code rate) ให้ต่ำลง (มีการป้องกันมากขึ้น) หรืออาจปรับมอดูเลตชันให้ต่ำลง (เช่น จาก 64QAM เป็น 16QAM) ทั้งนี้ การปรับในสองพารามิเตอร์นี้จะทำให้การทนทานต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น แต่จะส่งผลให้อัตราบิต (Bitrate) ต่ำลง</p>  <p>ทั้งนี้ การเข้ารหัสสัญญาณของระบบ DVB-T2 อาศัย BCH และ LDPC</p>
การเฟดเชิงความถี่ (Frequency selective)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fading/lost of some frequencies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Multi-carriers modulation</li> <li>- Frequency interleaving</li> </ul>	<p>การลดผลกระทบในเชิงความถี่หรือการสูญเสียคลื่นพาห်บางความถี่ไปจนทำให้ข้อมูลเสียหายนั้น สามารถแก้ไขหรือลดผลกระทบได้โดยการสลับคลื่นพาห်ของข้อมูล เพื่อให้ความเสี่ยงของการสูญหายของข้อมูลลดลง</p> 
การเฟดเชิงเวลา	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Changes of the channel</li> </ul>	Time interleaving	การลดผลกระทบในเชิงเวลาหรือการสูญเสียสัญลักษณ์ (symbol) ไป สามารถแก้ไขหรือ

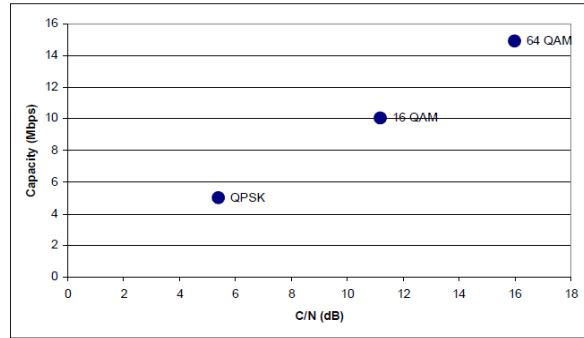
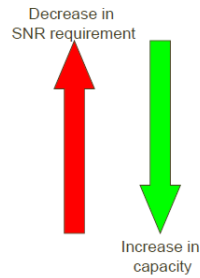
ข้อจำกัดของช่องสัญญาณ	ปัญหา/อุปสรรค	เทคนิค/เทคโนโลยีที่ใช้แก้ไข	ตัวอย่าง
(Time selective)	response - Mobility		<p>ลดผลกระทบได้โดยการสลับช่วงเวลาของการส่งข้อมูล เพื่อให้ความเสี่ยงของการสูญหายของแต่ละสัญลักษณ์ (symbol) ลดลง</p> 
สัญญาณสะท้อน (Echoes)	- Echoes interferences with the main path	Add of the Guard Interval	<p>การแก้ไขหรือลดผลจากการสัญญาณสะท้อนทำได้โดยการเพิ่มเวลาป้องกัน (Guard Interval) ให้สูงขึ้น แต่จะส่งผลให้อัตราบิดลดลงด้วย</p>  <p>Standard guard interval specified for DVB-T.</p> <p>The value of the guard interval is the ratio of the time duration of the guard interval to the time duration of the useful part of the OFDM symbol</p>
ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler effects)	- Spectrum changes in frequencies (Doppler)	Inter-carriers distances	<p>การแก้ไขหรือลดผลจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างคลื่นพาห้ (inter-carrier distance) แต่จะส่งผลให้ความทนทานต่อ impulsive noise และระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่งลดลงด้วย</p>



พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญของระบบ DVB-T/T2

Modulation Scheme

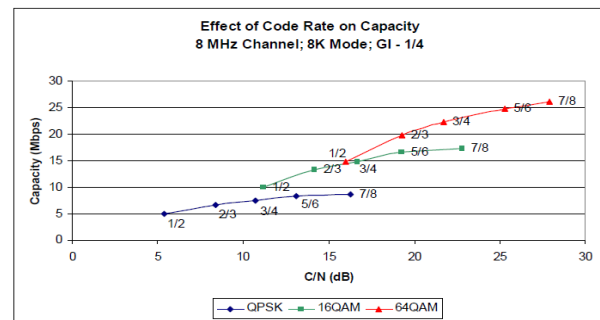
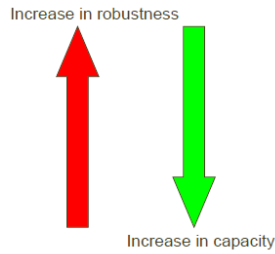
- QPSK (2 bits/symbol)
- 16QAM (4 bits/symbol)
- 64QAM (6 bits/symbol)



8 MHz BW, 8K FTT size, 1/4 GI, 1/2 code rate

Error Correction (อัตราส่วนข้อมูลจริงต่อข้อมูลที่ถูกลง)

- 1/2
- 2/3
- 3/4
- 5/6
- 7/8



C/N figures based on a Rayleigh channel

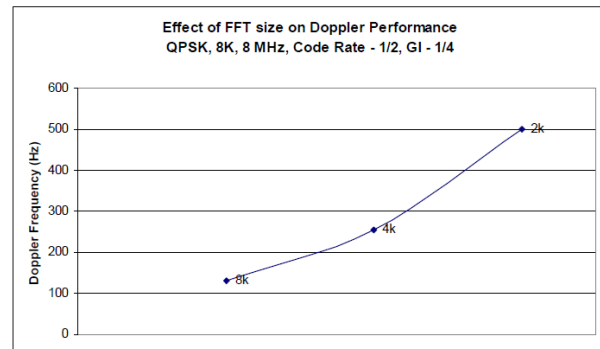
FTT Size

(maximum number of carriers modulated within the channel bandwidth 7MHz or 8MHz)

8K = 8096 potential carriers

2K = 2048 potential carriers

\*\* จำนวน carrier จะทำให้รู้ระยะระหว่างcarrier (carrier spacing) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพขณะเคลื่อนที่เนื่องจาก Doppler shift จะส่งผลให้เกิด inter-carrier interference

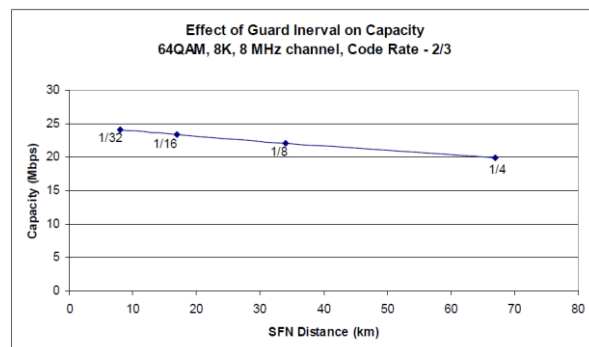
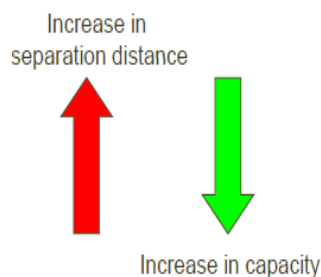


More FTT size = more SFN Tx separation distance.  
Less FTT size = more Doppler performance (better for mobile)

Guard Interval – Extension of symbol

(อัตราส่วนของ GI ต่อช่วงเวลาทั้งหมดในการส่งหนึ่งสัญลักษณ์)

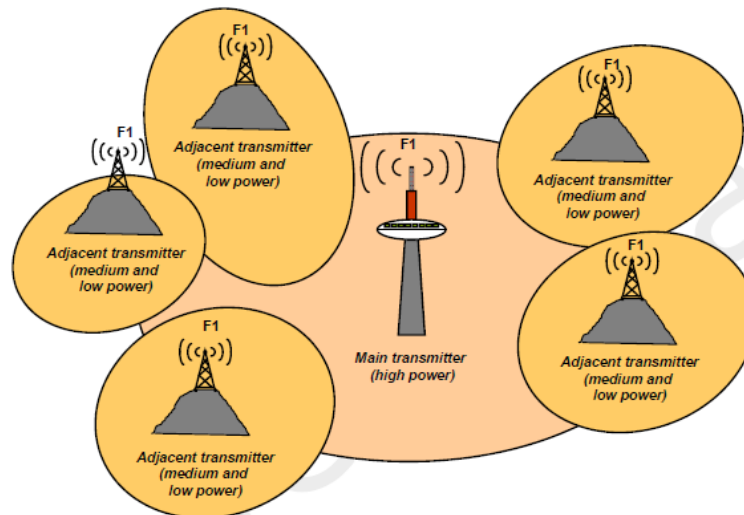
- 1/4
- 1/8
- 1/16
- 1/32



Longer symbol period to combat multipath effect

## โครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN)

โครงข่ายความถี่เดียว หรือ Single Frequency Network (SFN) นั้น สามารถเกิดขึ้นได้ในยุคของโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล เนื่องจากอาศัยข้อดีและคุณสมบัติของสัญญาณ OFDM (และการกำหนดช่วงเวลาป้องกัน) จึงทำให้สามารถออกแบบโครงข่ายซึ่งสถานีเครื่องส่งที่อยู่บริเวณใกล้กันสามารถใช้ความถี่เดียวกันได้โดยไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกันดังเช่นปรากฏในระบบแอนะล็อก



โครงข่ายแบบ SFN ถือได้ว่ามีจุดเด่นเรื่องประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่อย่างมาก เนื่องจากใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่น้อยลง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องของการรบกวนแบบ self-interference หรือ inter-symbol interference ซึ่งเกิดจากสัญญาณจากแต่ละสถานีส่งมาถึงเครื่องรับในเวลาไม่พร้อมกันและออกนอกกรอบเวลาของ guard interval ดังนั้นโครงข่ายแบบ SFN ซึ่งอาศัยเทคโนโลยี COFDM จึงมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางสูงสุดของเครื่องส่ง เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณจากแต่ละแหล่งที่ไปถึงแต่ละจุดของเขตบริการยังอยู่ในกรอบเวลาของ guard interval

ข้อดีของโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network, SFN)

1. ใช้งานความถี่วิทยุย่าน VHF/UHF อย่างมีประสิทธิภาพ (1 ช่องความถี่วิทยุสำหรับการใช้งาน 1 มัลติเพล็กซ์)
2. สามารถจัดการกำลังส่งของเครื่องส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถออกแบบพื้นที่ครอบคลุมให้การกระจายสัญญาณไปครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายได้ดีขึ้น
3. มีความยืดหยุ่นในการติดตั้ง โดยสามารถติดตั้งเครื่องส่งเพิ่มเติมเพื่อเสริมจุดบอดได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องจัดสรรความถี่ใหม่

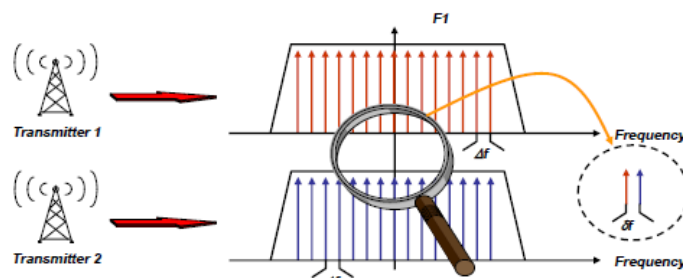
ทั้งนี้ การออกแบบและใช้งานโครงข่ายความถี่เดียวจะสามารถเกิดขึ้นได้โดยต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. ออกอากาศบนช่องความถี่เดียวกัน (ความถี่ตรงกัน) – On the same channel

วัตถุประสงค์: เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างคลื่นพาห์ (inter-carrier interference)

ขอบเขตความทนทาน: ไม่เกิน  $\pm \Delta f/1000$

เทคนิคที่ใช้: เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงความถี่เดียวกัน (GPS frequency)

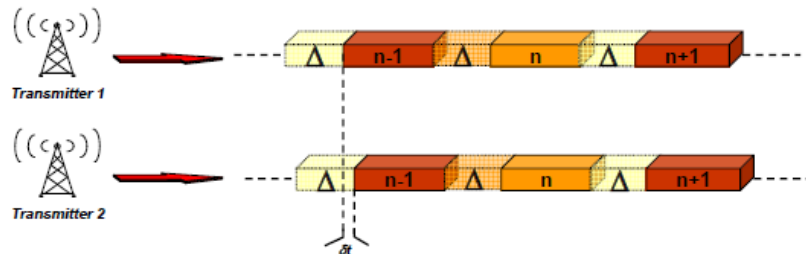


2. ออกอากาศในเวลาเดียวกัน – At the same time

วัตถุประสงค์: เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างคลื่นพาห์ (inter-carrier interference)

ขอบเขตความทนทาน: ไม่เกิน +/- 1  $\mu$ s

เทคนิคที่ใช้: เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงเวลาเดียวกัน (Pulse Per Second, pps)

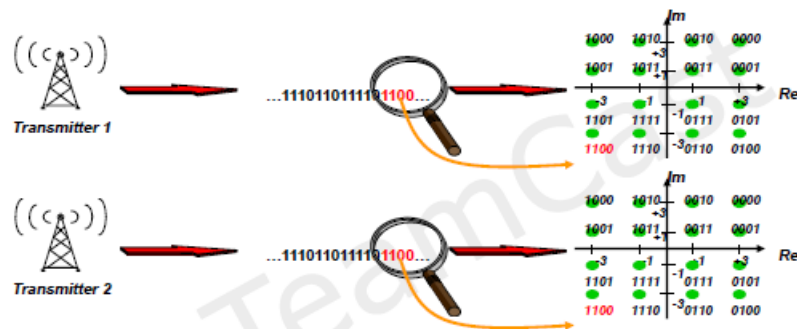


3. ออกอากาศรายการที่เหมือนกัน (บิตต่อบิต) – Exactly the same content

วัตถุประสงค์: เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (inter-symbol interference)

ขอบเขตความทนทาน: ไม่เกิน +/- 1  $\mu$ s

เทคนิคที่ใช้: เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงเวลาเดียวกัน (Pulse Per Second, pps)



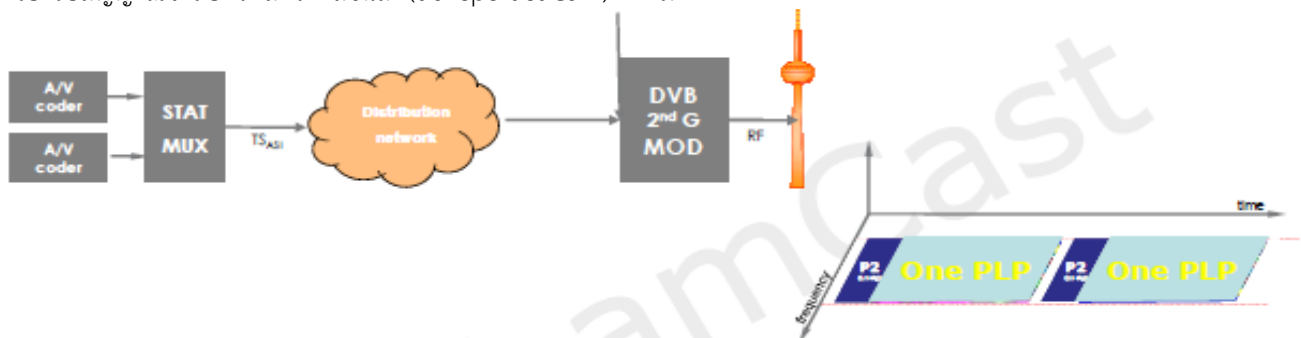
มาตรฐานเทคโนโลยีระบบ DVB-T2

โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบ DVB-T2 เป็นเทคโนโลยีซึ่งพัฒนาจากตระกูล DVB (Digital Video Broadcasting)

โดยมีโหมดการทำงาน 2 โหมดดังนี้

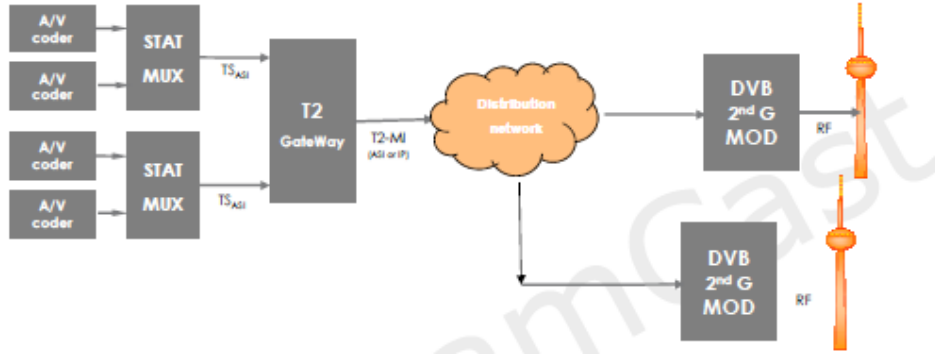
โหมด A (System A mode)

โหมด A (System A mode) คือ การทำงานของระบบ DVB-T2 ซึ่งอาศัย Physical Layer Pipe เพียง 1 PLP โดยเครื่องรับสัญญาณจะถอดรหัสกระแสขนส่ง (transport stream) ทั้งหมด



## โหมด B (System B mode)

โหมด B (System B mode) คือ การทำงานของระบบ DVB-T2 ซึ่งอาศัย Physical Layer Pipe มากกว่า 1 PLP (สูงสุดไม่เกิน 255 PLP) ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์ T2 Gateway เพื่อบริหารจัดการกระแสขนส่งของแต่ละ PLP และสร้างอินเตอร์เฟซของ DVB-T2 (T2 Modulator Interface, T2MI) นอกจากนี้ Mode B ยังรองรับการใช้งานโครงข่ายความถี่เดียว (SFN) โดยการส่งสัญญาณข้อมูลที่จำเป็นผ่านทาง T2 Gateway อีกด้วย

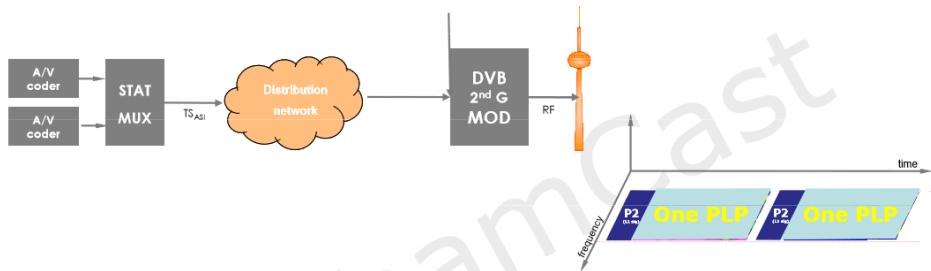


## มาตรฐาน DVB-T2

### ระบบและสถาปัตยกรรมของมาตรฐาน DVB-T2

ระบบของ DVB-T2 นั้นจะแบ่งออกเป็น ๒ ลักษณะ คือ System A mode และ System B mode

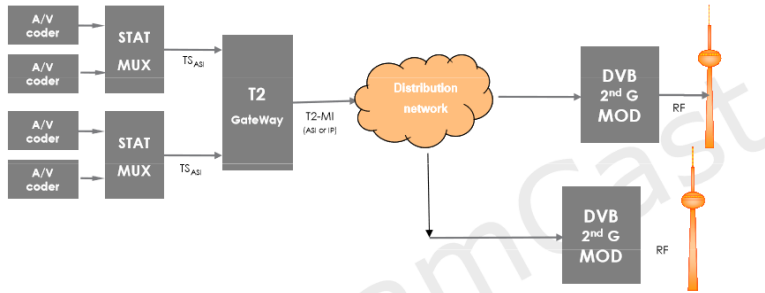
### System A mode



T2 modulator จะแปลง Transport stream (TS) multiplex ได้เพียง ๑ Physical Layer Pipe (PLP) เท่านั้น ซึ่งทางด้านเครื่องรับจะต้อง demodulate ทั้งหมด stream ถือว่าเป็นการส่ง ๑ multiplex ใน ๑ PLP (non-hierarchical modes)

System B mode (Multi PLP และ SFN)

**System B mode (multi PLP & SFN)**

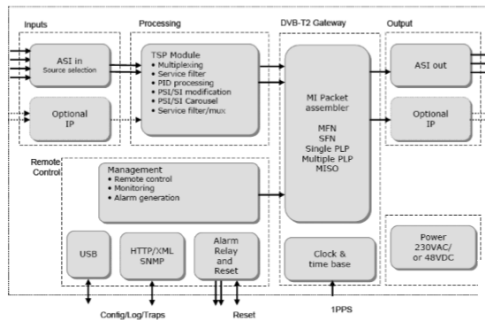


สำหรับ System B ซึ่งมีการใช้ Statistical multiplexer ทำให้มีการรวมสัญญาณกันกับผู้ให้บริการ ช่องรายการในรูปแบบ transport streams (TS multiplexes) โดยจะมี T2 Gateway เป็นตัวแปลงสัญญาณ TS multiplexes ไปเป็น PLP ได้หลาย PLP โดยจะออกมาเป็น T2-MI packet ซึ่งฝั่งรับจะต้อง demodulate ทีละ PLP โดย system B จะมีลักษณะเป็น hierarchical mode

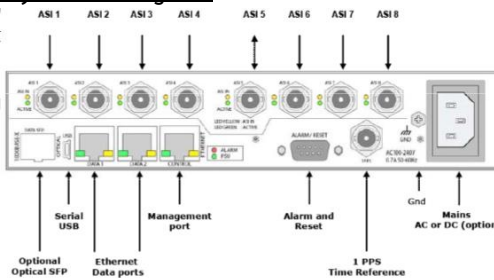
- แบ่งเป็น layer ที่มี priority สูงและต่ำ
- แบ่งตามความแตกต่างระหว่าง ๒ PLP จากการเข้ารหัสและการมอดูเลชั่นที่แตกต่างกัน

สำหรับ System B แบบ multiple PLPs จะไม่สามารถมี input streams และ PLPs ได้เกิน ๒๕๕ และจะมี common PLP สำหรับการส่งสัญญาณ โดยแต่ละ PLP จะมีการ FEC, interleaving และการมอดูเลชั่นแยกกัน และจะส่งสัญญาณด้วย ๑ ความถี่

DVB-T2 Gateway

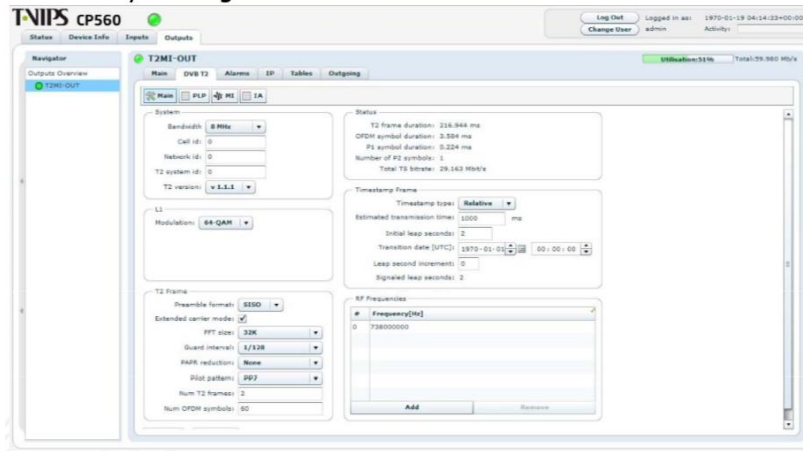


DVB-T2 Gateway block diagram



## DVB-T2 Gateway layout

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์และการควบคุม DVB-T2 Gateway นั้นสามารถควบคุมได้ผ่าน Web interface ดังแสดงในภาพ

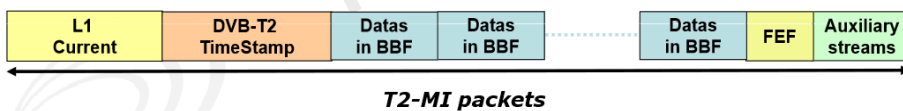


## T2-MI

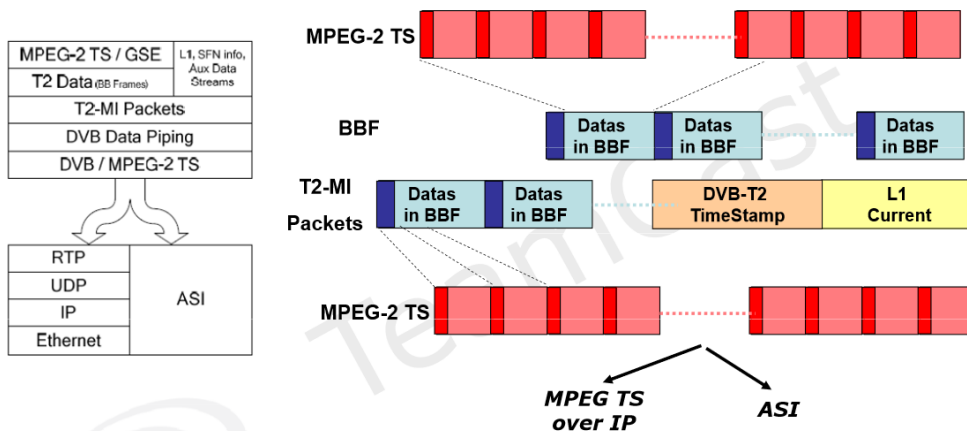
### Interface ของ T2-MI

แบ่งออกเป็น ๕ interface ได้แก่

- L1 เพื่อส่งสัญญาณข้อมูล (data) เพื่อสร้าง T2-Frames
- DVB-T2 timestamp ไว้สำหรับการ synchronization สัญญาณให้เวลาตรงกัน
- Data (MPEG-2 TS หรือ GSE) ซึ่งถูกบรรจุอยู่ใน Baseband frame (BBF) ที่เป็นรูปแบบของ packet ที่ใช้เป็น input ในการทำ FEC(LDPC) coding box โดย BBF จะมีอยู่ใน DVB-S2 และ DVB-C2 ด้วย
- FEF (Future Extension Frame) : DVB-NGH
- Auxiliary streams ซึ่งทางฝั่งรับสามารถปฏิเสธไม่รับข้อมูลได้

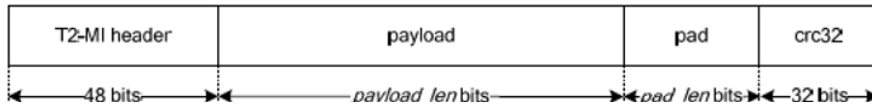


T2-MI จะ encapsulate เป็น MPEG-2 Transport stream และสามารถส่งได้ทั้งเป็น IP และ ASI



## T2-MI protocol stack

T2-MI แต่ละ packet ประกอบด้วย header 6 bytes ตามด้วย payload และส่วน padding



## DVB-T2 physical layer

### FEC (Forward Error Correction ) Encoding

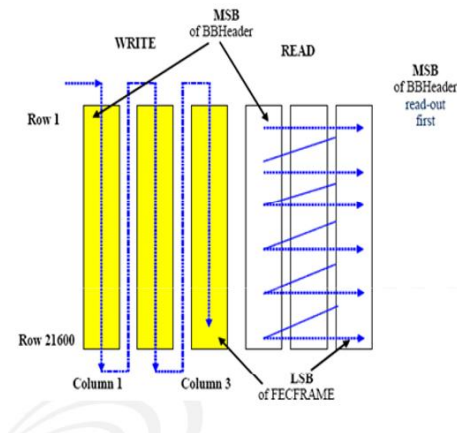
เป็นกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณที่มีการเพิ่มบิตที่เป็นรหัสตรวจสอบเข้าไปในชุดข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการแก้ข้อมูลที่ผิดพลาดที่เครื่องใช้ปลายทาง สำหรับ DVB-T2 จะมี ๒ แบบคือ BCH และ LDPC โดยที่ BCH เหมาะสำหรับแก้ข้อมูลที่ผิดพลาดหลายๆตัว และสามารถถอดรหัสได้ง่าย ซึ่งในระบบ DVB-T2 นั้นจะใช้สำหรับแก้ข้อมูลที่ผิดพลาดที่ยังคงเหลือหลังจากใช้วิธีถอดรหัสแบบ LDPC

เช่น ในกรณีที่มีข้อมูล data เป็น ๕๓๔๘๐ หากมี BCH FEC เป็น ๑๖๐ บิต ซึ่งรวมทั้งหมดเป็น ๕๔,๐๐๐ บิต หากต้องการค่า LDPC code rate เป็น ๕/๖ หมายถึง จะต้องใช้ LDPC FEC 1/6 ของ FEC Frame คือ ๑๐,๘๐๐ บิต ( FEC Frameจะมีจำนวนบิตทั้งหมดเป็น ๖๔.๘๐๐ บิต)

### Bit Interleaver

เป็นการนำ FEC frame มาจัดเรียงตำแหน่งของบิตใหม่ ซึ่งทำได้เฉพาะกรณีที่เป็นการมอดูเลชันแบบ ๑๖QAM ,64QAM และ ๒๕๖QAM เท่านั้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งไปหากช่องสัญญาณมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเป็นผลทำให้ข้อมูลเดิมนั้นหาย แต่เมื่อทำการกระบวนการ de-interleaving จะทำให้ด้านรับสามารถคาดเดาข้อมูลที่ถูกต้องได้

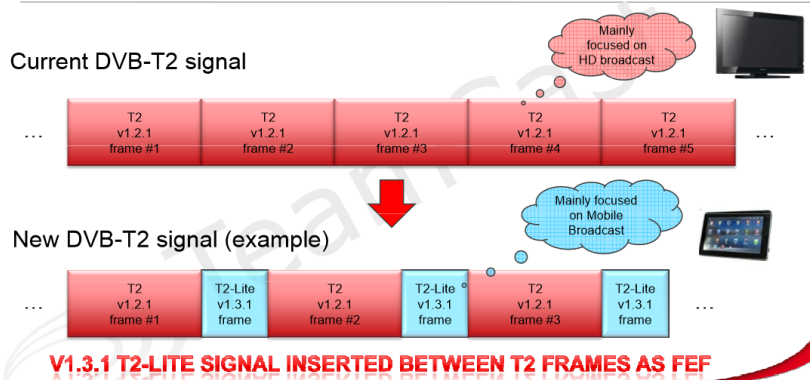
โดยการ interleaving ๒ บิต โดยการเขียน FEC frame แบบแนวตั้งและอ่านแบบแนวนอน



## Hybrid T2-Lite/T2 Base

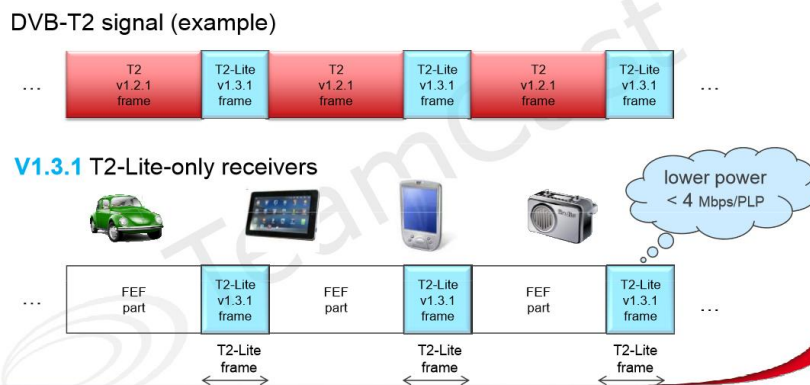
จะเป็นการแทรกเฟรม T2-Lite (V 1.3.1) สลับกับ T2 ซึ่งจะทำให้สามารถรับสัญญาณได้ทั้งเครื่องรับที่เป็น T2 และ T2-lite only ดังแสดงในภาพ

### Hybrid T2-Lite/T2-Base



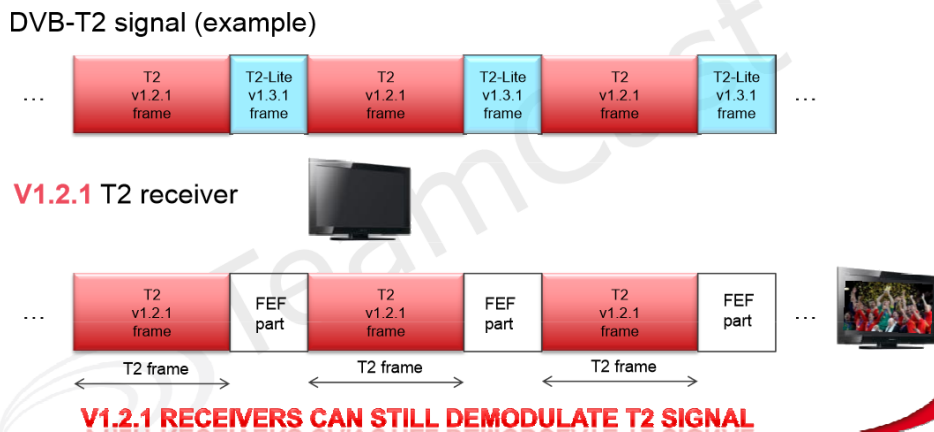
เครื่องรับประเภท mobile ก็สามารรถรับข้อมูลที่เป็นเฟรมช่วง T2-lite

### Hybrid reception on mobile receivers



เครื่องรับ T2 v 1.2.1 ยังคงสามารถรับสัญญาณได้เหมือนปกติ

### Hybrid reception on current receivers

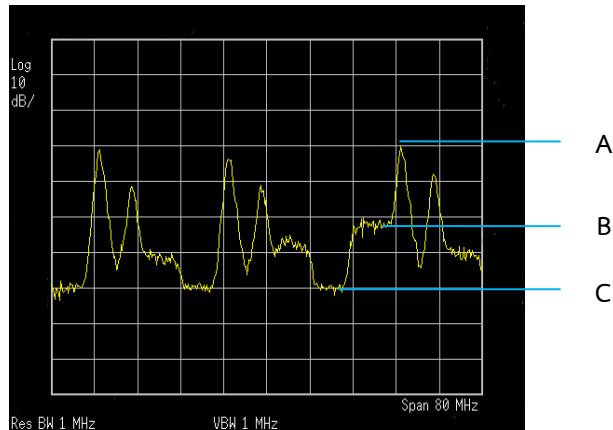




## การวัดสัญญาณ (Signal Measurement)

### การวัดค่ากำลังส่ง (Power)

โดยปกติแล้วการวัดสัญญาณค่ากำลังส่งของโทรทัศน์นั้น หากจะนับตั้งแต่เครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณได้ที่ระดับ -80dBm ในขณะที่เครื่องส่งมีกำลังส่งออกที่ระดับ 20 kW (+73dBm) ซึ่งจะมีความแตกต่างถึง 153dBm ดังนั้น โดยการวัดสัญญาณที่ระดับกำลังส่งสูงกับกำลังส่งต่ำจะใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน ประกอบกับการวัดกำลังส่งสามารถใช้วิธีการและเครื่องมือที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจในการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดนั้นๆ ด้วยว่าลักษณะของสัญญาณเป็นอย่างไร ส่วนไหนเป็นส่วนของสัญญาณจริงๆ ส่วนไหนเป็นค่าสัญญาณการรบกวน ดังตำแหน่งตามจุด A B หรือ C ดังตัวอย่างในรูป



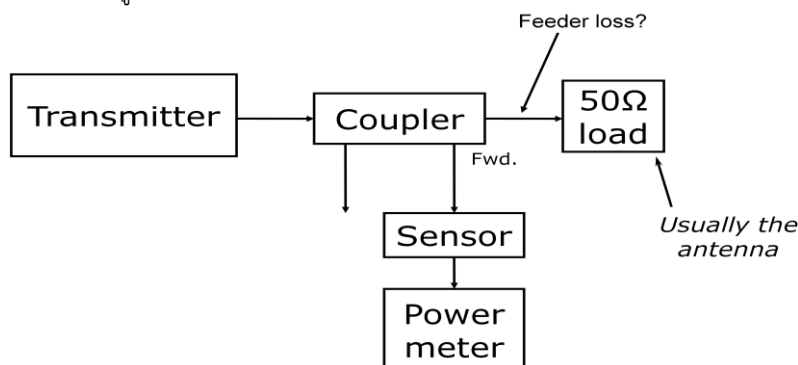
นอกจากนี้ ยังต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้ในการวัดด้วย ว่ามีค่าอิมพีแดนซ์เป็นเท่าไร เนื่องจากสายแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่างกัน เช่นสายที่ใช้กับเครื่องมือวัดส่วนใหญ่จะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม ในขณะที่สายที่ใช้ทำงานกับเครื่องรับตามบ้านทั่วไป หรือระบบการกระจายสัญญาณของโทรทัศน์จะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ 75 โอห์ม

ลำดับต่อมาจะต้องเข้าใจในหน่วยของการวัด ซึ่งการวัดระดับสัญญาณ RF โดยปกติจะวัดเป็นค่ากำลังส่ง (Power) ไม่ใช่ค่าแรงดัน (voltage) โดยหน่วยการวัดกำลังส่งใช้เป็นวัตต์ (Watt) ปกติแล้วระดับการส่งสัญญาณที่ส่งออกมานั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้หน่วยวัดเป็น dBm และ dBuv ซึ่ง dBm หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัตต์มิลลิวัตต์ เช่น กำลังส่ง 20mW เท่ากับ 13dBm และ dBuv หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัด Voltage

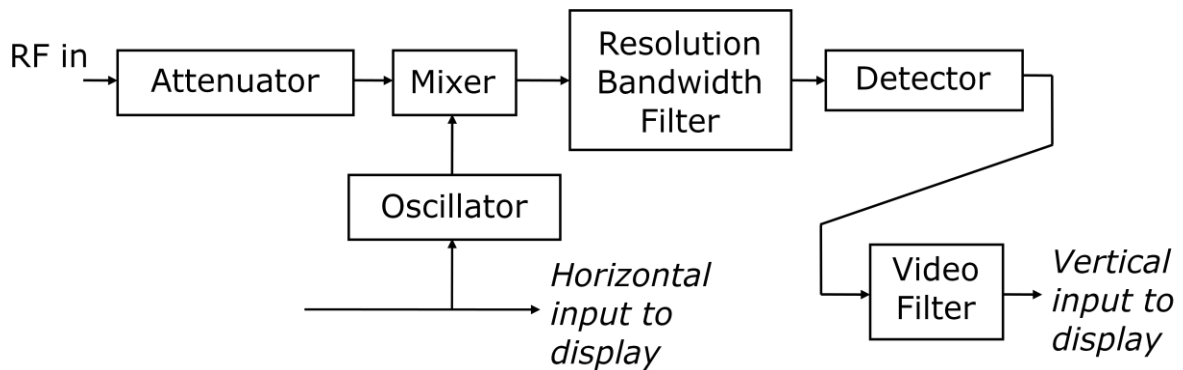
สำหรับการวัดค่ากำลังส่ง จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการวัดและ เช่น

- Absorption metering
- Through-line metering
- Spectrum analyzer

โดยวิธีการแรก คือ Through-line metering จะมีลักษณะของการต่อวัดในระบบการให้บริการ โดยจะมีการ coupling สัญญาณโดยอุปกรณ์ Coupler และใช้ power meter ในการวัดค่าสัญญาณที่ได้ออกจะ จะมีความแม่นยำมากที่สุด รายละเอียดการต่อวัดตามรูปข้างล่างนี้



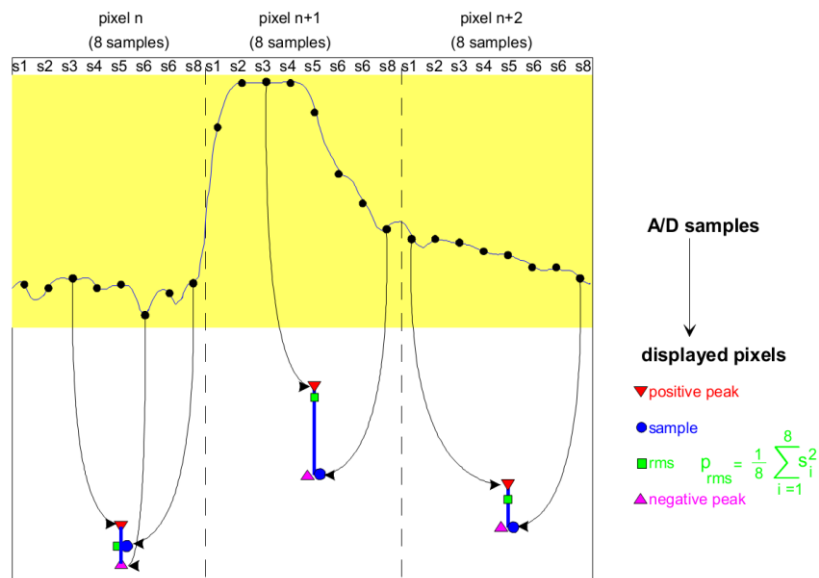
และในรูปถัดไปจะเป็นการวัดโดยใช้ Spectrum analyzer ซึ่งความแม่นยำที่ได้จากเครื่องวัด ที่ได้จาก Spectrum analyzers ปกติแล้วจะค่อนข้างแม่นยำ (0.1-0.2dB) หากเปรียบเทียบกัน โดยเฉพาะการวัดที่ความถี่เดียวกัน และจะมีความแม่นยำถึง 1.5 dB สำหรับการวัดกำลังส่ง แต่การใช้ Power meter จะวัดกำลังส่งได้แม่นยำที่สุด



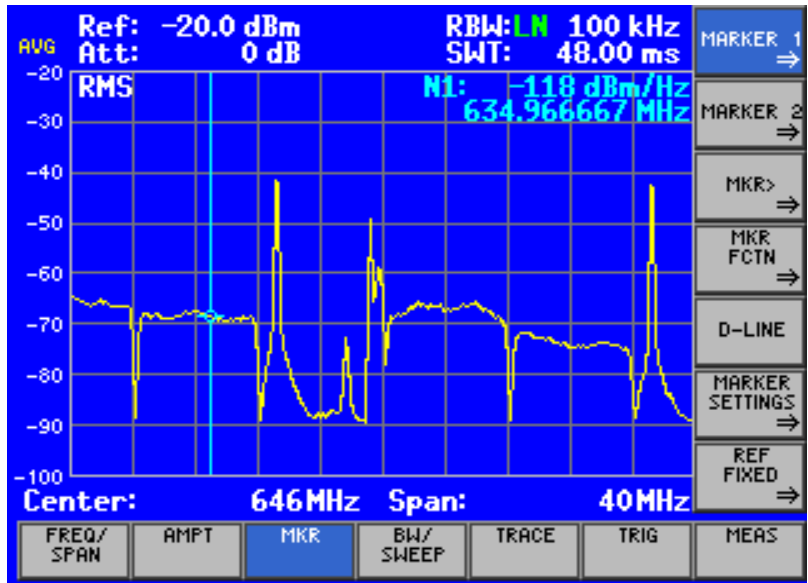
โดยการตั้งค่าการวัดสำหรับ Spectrum analyzer จะต้องตั้งค่าต่างๆ อันประกอบด้วย

- Center frequency
- Span
- Resolution bandwidth
- Video filter และ
- Detector types

ซึ่งการตั้งค่าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น sweep width, sweep time, resolution bandwidth และ video bandwidth สำหรับการวัดด้วย spectrum analyzer จะมีความสำคัญอย่างมากต่อความถูกต้องของการวัด ซึ่งในเบื้องต้นคงต้องทำความเข้าใจกับระบบ detector ที่ใช้ใน spectrum analyzer โดยปกติจะมีค่า sampling rate ที่ 32 MHz และการแสดงผลของหน้าจอที่ 256 pixels

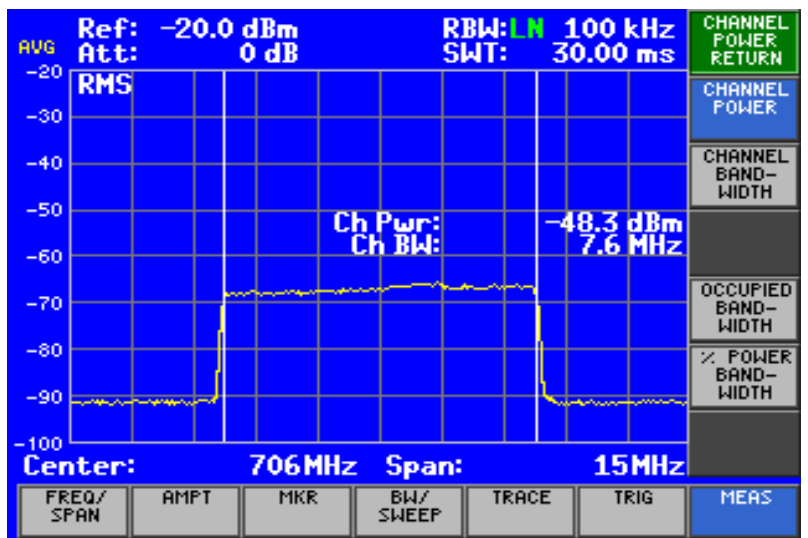


โดยในการวัดจะเริ่มต้นการตั้งค่าความถี่ และการ span สำหรับการแสดงผลในหน้าจอ ต่อจากนั้นจะเป็นการตั้งค่า RSW (Resolution bandwidth) โดยให้สอดคล้องกับตำแหน่งของสัญญาณ ต่อจากนั้นก็จะเป็นการเลื่อน marker ไปยังจุดสูงสุดของสัญญาณที่วัดได้และอ่านค่ากำลังส่งที่ได้ หรืออาจจะอ่านค่ากำลังส่งเมื่อเปรียบเทียบกับ noise โดยใช้ฟังก์ชัน noise marker ดังตัวอย่างตามภาพข้างล่างนี้

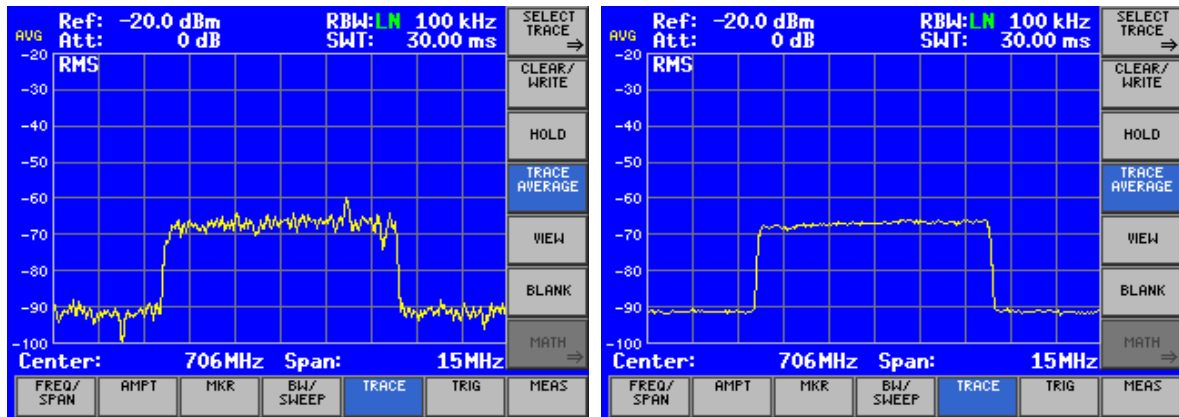


จากรูปค่าที่ได้จาก Noise marker เท่ากับ -118 dBm ของการวัดสัญญาณที่มี BW 7.6 MHz หรือมีค่าเท่ากับ 68.8 dBHZ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่ากำลังส่งได้เท่ากับ  $-118 + 68.8 = -49.2$  dBm โดยจะต้องไม่ลืมว่า insertion loss จะต้อง matching กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

ในกรณีที่ Noise marker ไม่มีความแน่นอนของ BW ก็จะแนะนำให้วัดค่าโดยใช้ฟังก์ชัน Channel power ซึ่งเป็นการวัดค่ากำลังส่งในระบบดิจิทัล ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตั้งค่าการวัดให้ถูกต้อง ดังตัวอย่างการวัด Channel power ได้ผลตามรูปข้างล่างนี้



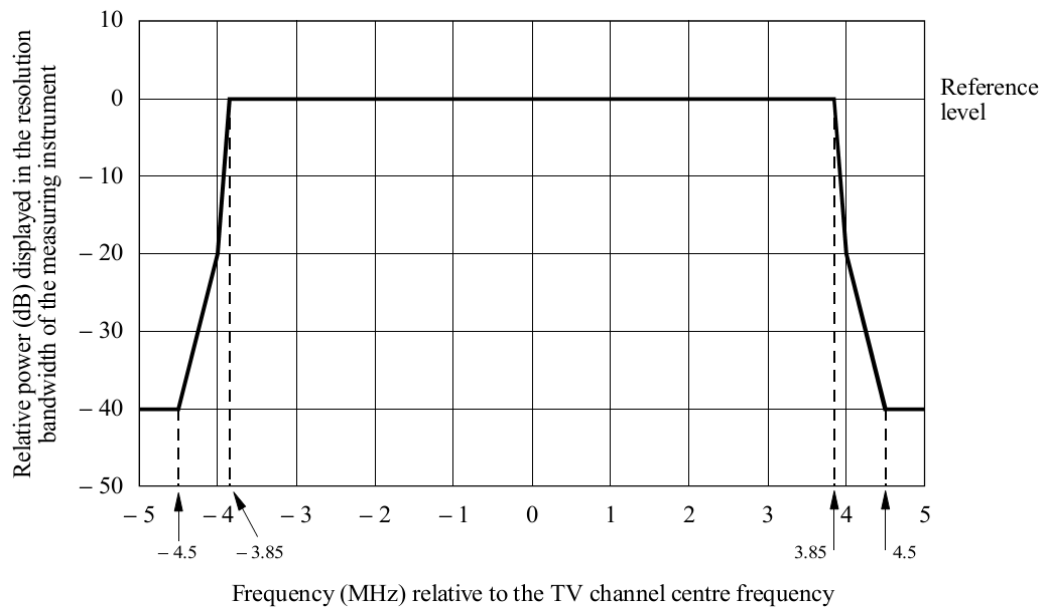
นอกจากนี้อาจจะใช้ trace average เพื่อให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่มีความคมชัดมากขึ้น ดังตัวอย่างการใช้และไม่ใช้ trace average ตามรูปข้างล่างนี้



กรณีไม่ใช้ trace average

กรณีใช้ trace average

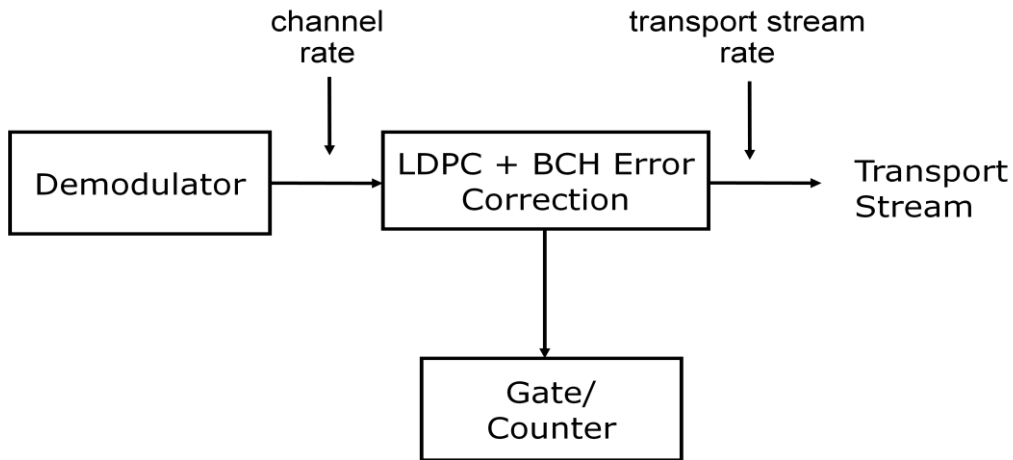
หรือในกรณีของการวัดที่มีสัญญาณมากกว่า 1 สัญญาณ อาจเกิด adjacent channel ได้ ดังนั้นการตั้งค่าการวัดสำหรับ ACLR จะต้องการการตั้ง mark เพื่อการวัดให้เป็นไปตามค่าที่ ITU กำหนดตามรูปข้างล่างนี้



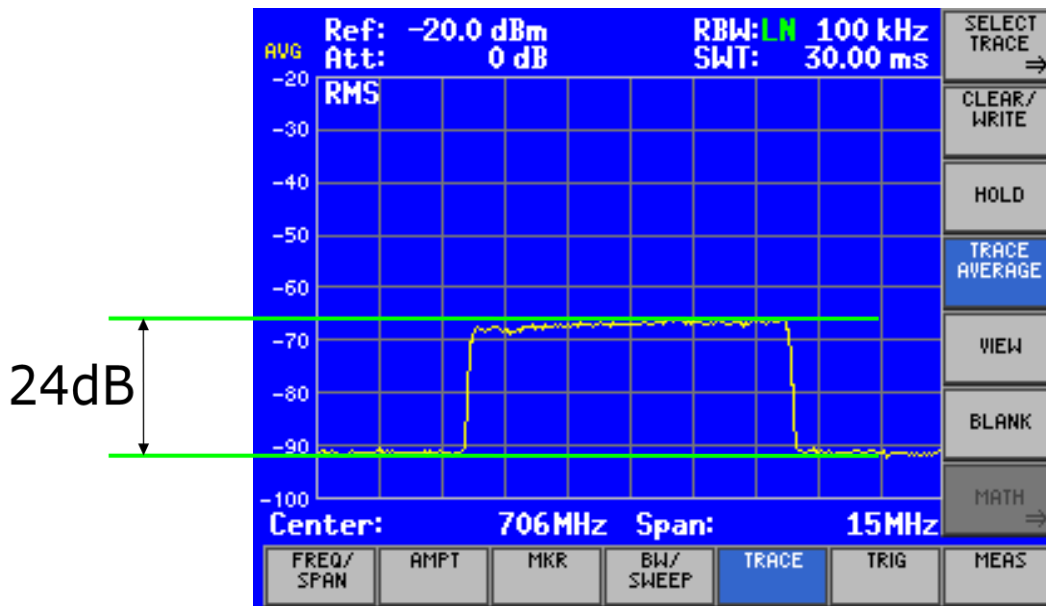
โดยต้องมีการตั้งค่า RSW : 10 kHz, span : 10 MHz, Sweep : 300 ms และ VBW : 10 kHz

## การวัดคุณภาพของสัญญาณ (Signal Quality)

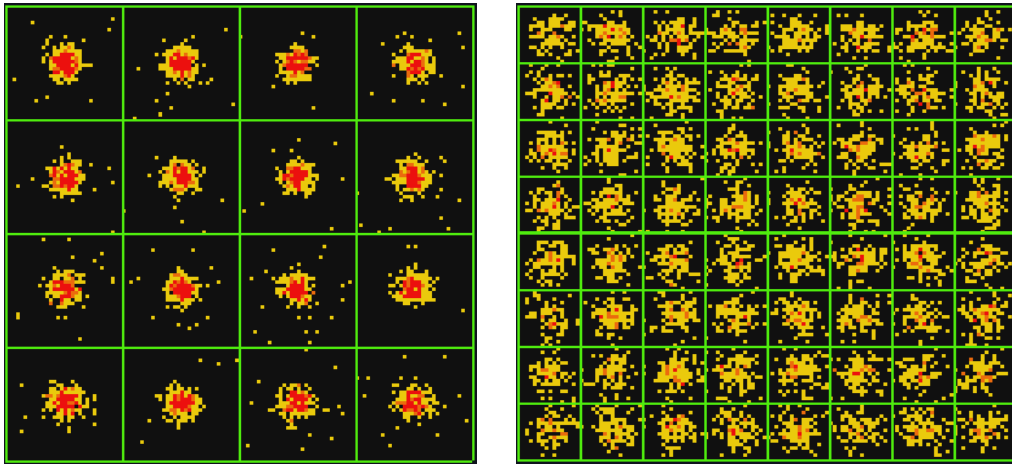
การวัดค่าความผิดพลาด หรือ Bit Error Ratio (BER) ซึ่งจะมีวิธีการทดสอบตามรูปข้างล่างนี้



โดยค่า BER จะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งค่า BER น้อย (คุณภาพของสัญญาณจะดี) สำหรับอีกค่าที่จะมีการทดสอบคือ อัตราส่วน C/N (อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน) โดย อัตราส่วน C/N (บางครั้งเรียก CNR) เป็นอัตราส่วนที่สำคัญของดิจิทัลทีวี เพราะเป็นขอบของการตรวจจับสัญญาณ โดยค่าอัตราส่วน C/N จะเปลี่ยนตาม Channel type (Gaussian, Ricean, Rayleigh) อัตราส่วน C/N จะใช้ในการรับสัญญาณโดยขอบของการตรวจจับสัญญาณ (cliff edge) จะต้องชัดเจน มิฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของการแพร่กระจายคลื่น หรือการรบกวนจากการใช้ช่องความถี่เดียวกัน จะทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ ทำให้ผู้รับชมเกิดความรำคาญได้



และอีกค่าที่มีการทดสอบ คือ Modulation Error Ratio (MER) ซึ่ง ค่า MER เป็นการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่า ideal ดังนั้นจะสามารถตรวจสอบการรบกวนจากการใช้ความถี่ช่องเดียวกันได้ และจะเป็นผลดีสำหรับการตรวจสอบจากการส่ง เพราะว่าค่า MER จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยที่จะส่งผลต่อค่า BER โดยทั่วไปในการส่งสัญญาณค่า MER จะอยู่ที่ 32 ถึง 35 dB และ ถ้าการส่งสัญญาณมีค่า MER สูงและการรบกวนเป็นแค่การเสื่อมลงของสัญญาณที่รับได้ ดังนั้น  $MER=C/N$

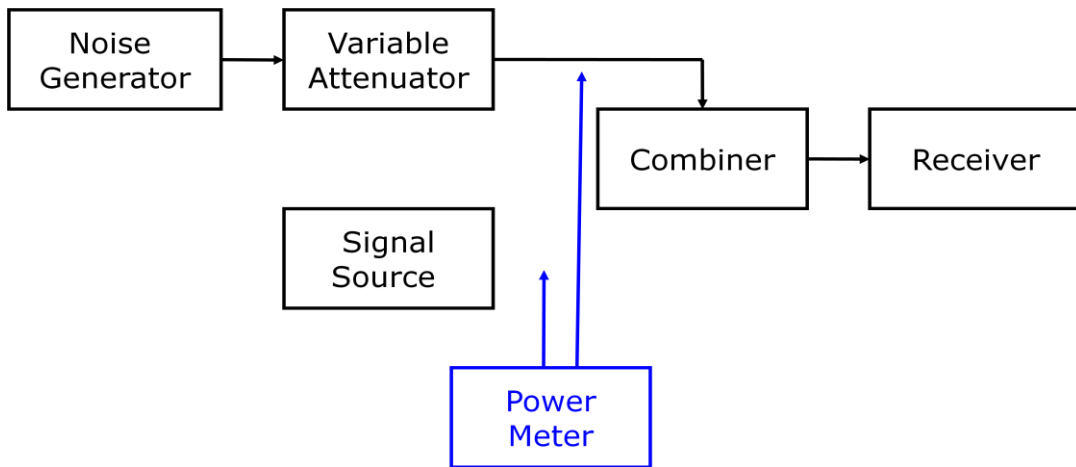


16QAM

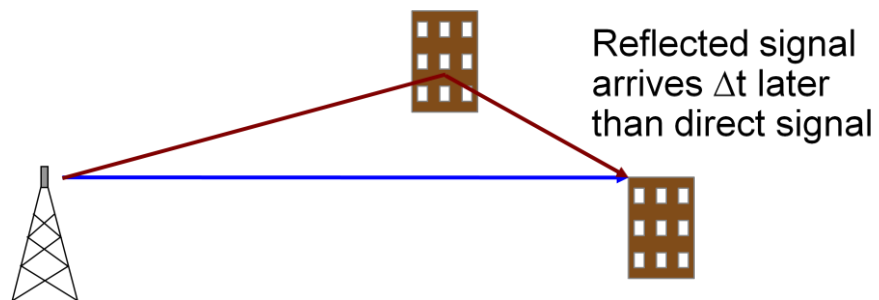
64QAM

รูปลักษณะของ Constellation diagram ที่วัดได้

นอกจากนี้ จะเป็นการทดสอบการลดลงของคุณภาพสัญญาณเนื่องจากการถูกรบกวน โดยการวัดคุณภาพสัญญาณที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของสัญญาณที่อาจจะเกิดการถูกรบกวนจากภายนอก โดยเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้ที่ระดับ 20 db และหากมีค่าการรบกวนจนทำให้ค่า C/N เท่ากับ 20.5 dB แสดงว่าสัญญาณนี้ถูกทำให้เสื่อมลงไป 0.5 dB ซึ่งมีการกำหนดรูปแบบการทดสอบตามรูปข้างล่างนี้



และสุดท้ายเป็นการทดสอบกรณีที่สัญญาณที่เครื่องรับรับได้เมื่อเกินกว่าค่า Guard interval ที่สัญญาณสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่างทำให้สัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้เกินกว่าค่า Guard interval



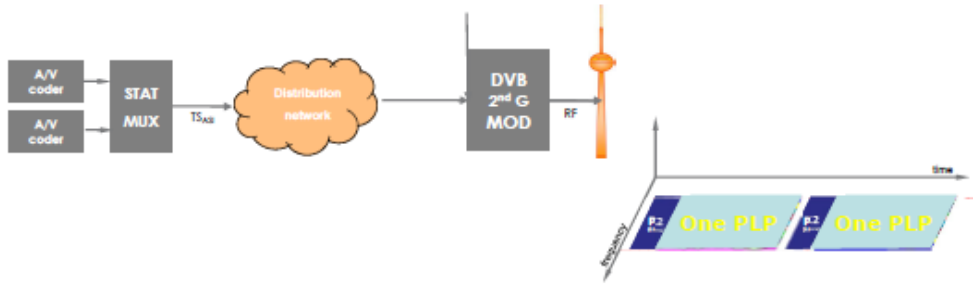
## การทดลองวัดสัญญาณ

การทดลองวัดสัญญาณสำหรับการรับและส่งสัญญาณโทรทัศน์ ได้มีการแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด คือ

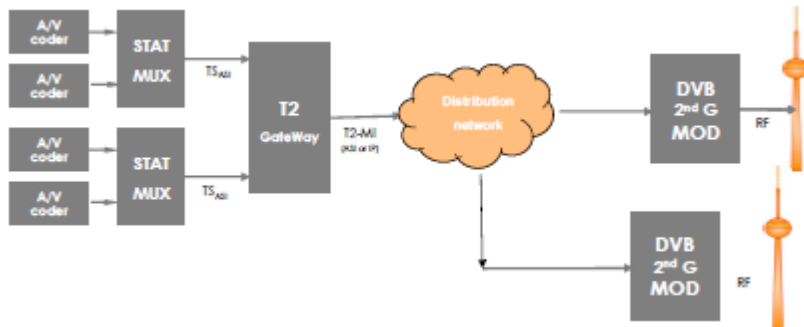
1. การทดลองกรณีมีสัญญาณเกิดการรบกวนจากภายนอก จะมีผลอย่างไรต่อคุณภาพสัญญาณ โดยใช้เครื่องมือ Spectrum Analyzer และ Broadcast Analyzer

2. การทดลองโดยการจำลองเหตุการณ์ใน 2 รูปแบบ คือ

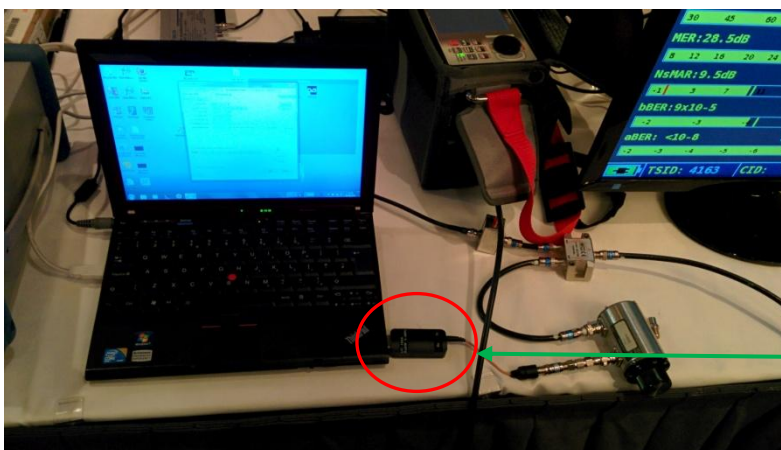
2.1 System A : เป็นการทดลองส่งสัญญาณของ 2 ช่องรายการ โดยใช้เครื่องส่งเพียงชุดเดียว



2.2 System B : เป็นการทดลองส่งสัญญาณของ 2 ช่องรายการ โดยใช้เครื่องส่ง 2 ชุด และใช้ความถี่เดียวกัน เพื่อทดสอบการให้บริการแบบ SFN โดยการใช้อุปกรณ์ T2 Gateway

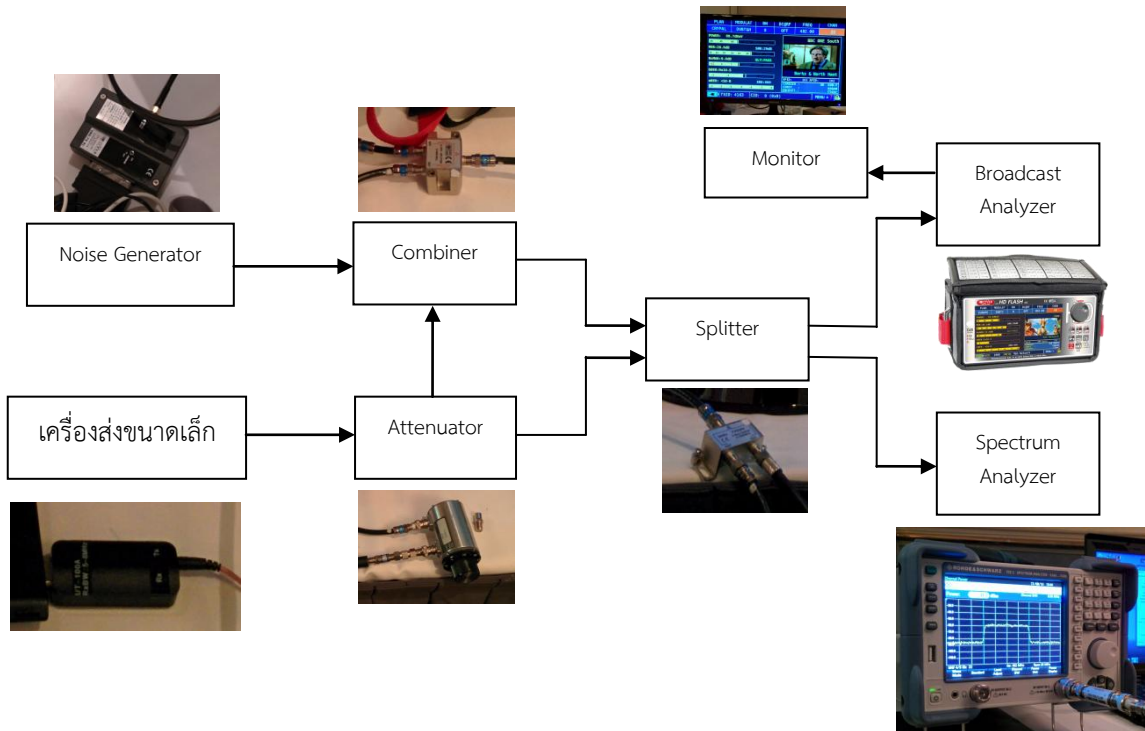


สำหรับการทดลองในชุดแรก จะทดลองโดยใช้เครื่องส่งขนาดเล็กในลักษณะ USB สามารถตั้งค่าต่างๆ ตามพารามิเตอร์ที่ต้องการผ่านโปรแกรมควบคุม ผ่านคอมพิวเตอร์

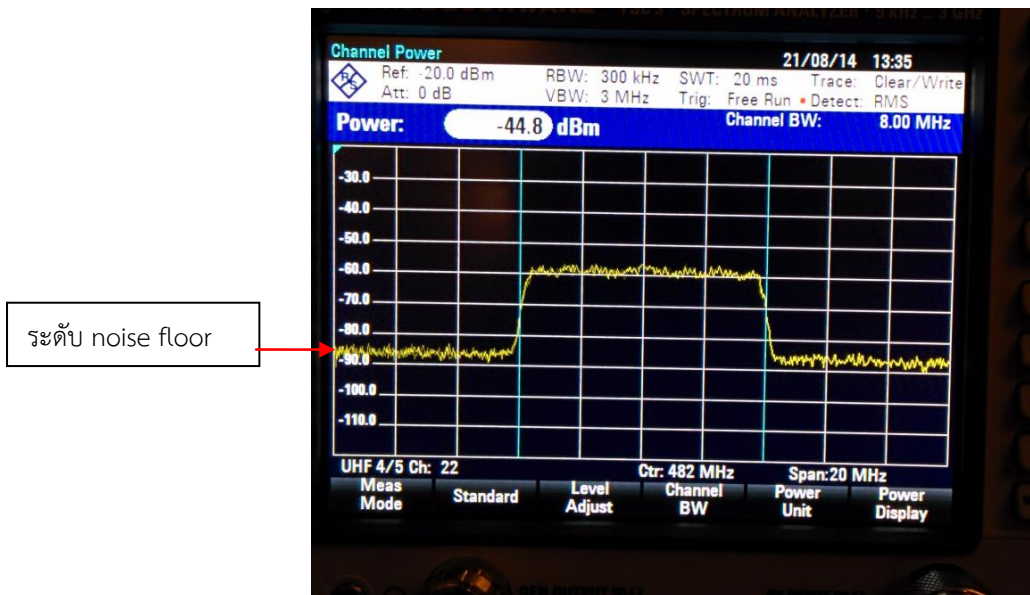


เครื่องส่งขนาดเล็กแบบ USB

โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้



ซึ่งในการทดลองจะพบว่า เมื่อมีสัญญาณรบกวน (มีการส่งสัญญาณจาก Noise Gen) จะจนถึงค่าๆ หนึ่ง จะทำให้ การรับของสัญญาณไม่สามารถรับได้ โดยการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงจากจอมอนิเตอร์ ในขณะที่สัญญาณจาก Spectrum Analyzer ก็จะทำให้เห็นว่า มีระดับสัญญาณรบกวนยกระดับเพิ่มขึ้นจากระดับ noise floor





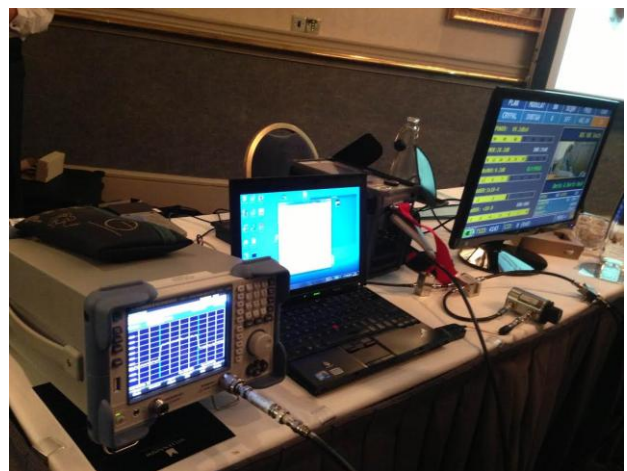
จากรูปเป็นค่าที่วัดได้จากระดับสัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวนจากภายนอก หากมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกจะทำให้ค่า noise floor ยกสูงขึ้น หรือหากสังเกตจาก monitor จะเห็นได้ชัดเจนว่าระดับสัญญาณ Fail



QLY: PASS

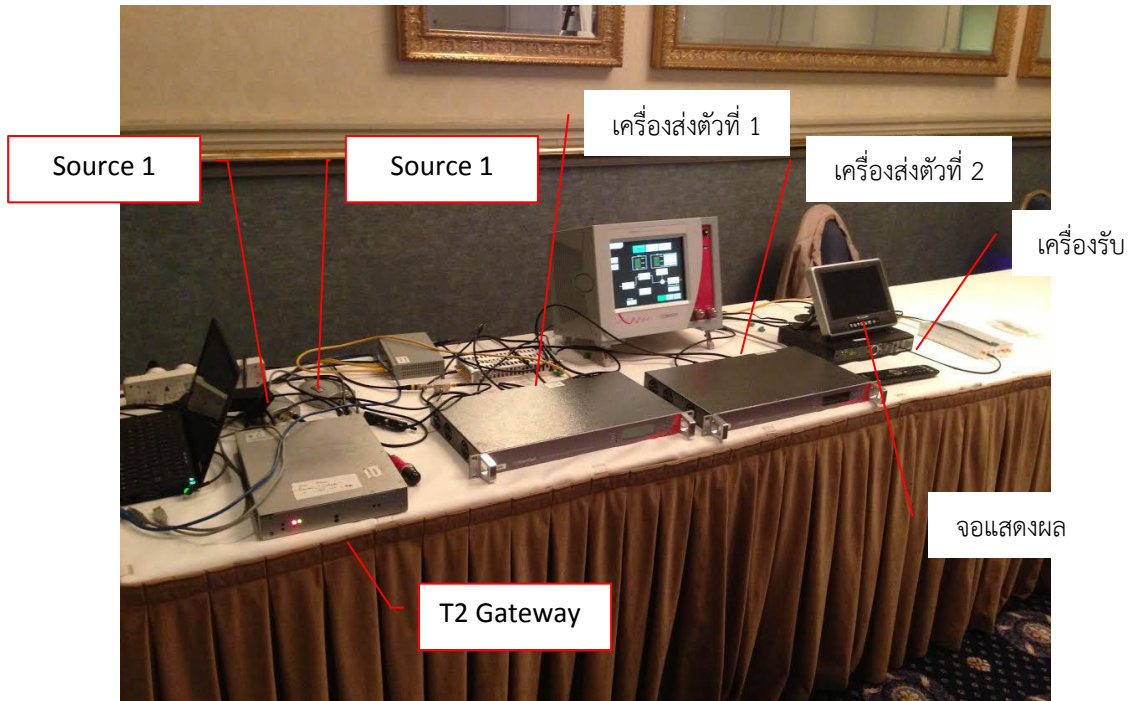


QLY: FAIL

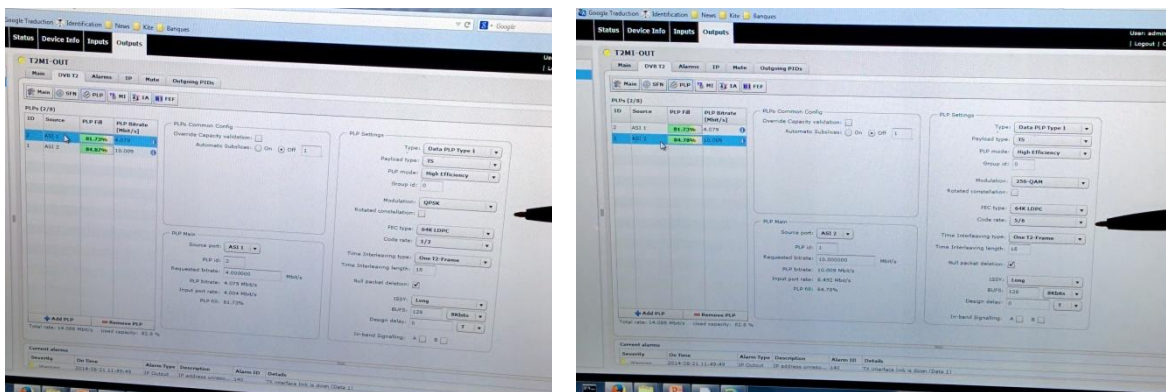


ภาพรวมระบบที่ใช้ทดลองและบรรยากาศการทดลอง

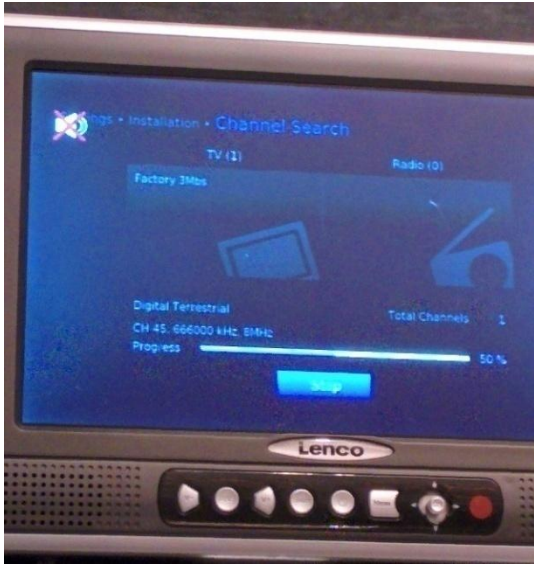
ส่วนที่สองเป็นการทดลอง เพื่อแสดงให้เห็นว่าการให้บริการในแบบ SFN (Single Frequency Network) ผลที่ได้จะเป็นอย่างไร โดยจะมีอุปกรณ์ T2 Gateway เข้ามาทำหน้าที่ในการบริหารจัดการ เมื่อมีการส่งข้อมูลมาแต่ละ PLP เพื่อส่งไปยังเครื่องส่งที่ทำหน้าที่ส่งออกอากาศ โดยใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งการทำระบบ SFN จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้สถานีต่างๆ มีการออกอากาศที่สอดคล้องกันทั้งระบบ สามารถทำได้โดยการให้ GPS ในการทำหน้าที่ Sync Time เดียวกันทั้งระบบ



ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



จากรูปด้านบนเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับเครื่องส่งแต่ละตัวที่จะทดลองในระบบ SFN โดยเครื่องส่งตัวแรกตัวแรกจะส่งแบบ SD กำหนดค่า Modulation แบบ QPSK, FEC แบบ 64k LDPC, Code rate ใช้ 1/2 จะใช้ Bid rate ประมาณ 4 Mbps ส่วนตัวที่ 2 จะกำหนดค่า Modulation แบบ 256 QAM, FEC แบบ 64k LDPC, Code rate ใช้ 5/6 จะใช้ Bid rate ประมาณ 10 Mbps ซึ่งในการทดลองจะมีการทดลองเพิ่มค่า C/N เพื่อแสดงให้เห็นว่าการมีสัญญาณรบกวนเกินกว่าค่าสัญญาณจะทำให้ไม่เครื่องรับไม่สามารถรับภาพได้ หรือในกรณีเลวร้ายก็ไม่สามารถรับช่องรายการได้เลย ดังภาพข้างล่างนี้



กรณีเพิ่มระดับ C/N จนทำให้หาสัญญาณไม่เจอ



กรณีเพิ่มค่า C/N ที่ทำให้คุณภาพสัญญาณลดลง



บรรยายภาคการบรรยายประกอบการทดลอง

## DVB considerations on the opportunities for TV services over future mobile networks

### อนาคตของการให้บริการโทรทัศน์บนเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ

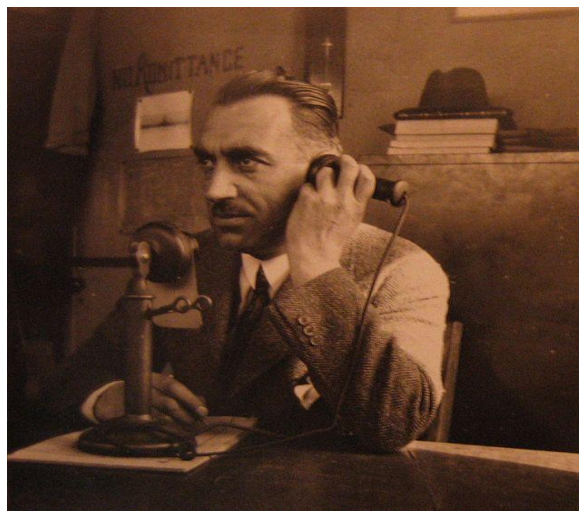
#### ประวัติความเป็นมา

ปัจจุบันเราไม่อาจปฏิเสธได้ว่าโทรศัพท์มือถือเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ “โทรศัพท์” เป็นสื่อประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้รับความนิยมจากประชาชนอย่างมาก เพราะเป็นสื่อที่ให้ทั้งภาพและเสียง ซึ่งสามารถนำเสนอได้หลากหลายรูปแบบและมีปัจจัยมากมายที่จะดึงดูดความสนใจของผู้ชมตลอดเวลา นอกจากนี้ อุตสาหกรรมโทรศัพท์ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญทางเศรษฐกิจ ด้วยศักยภาพของสื่อโทรศัพท์ที่สามารถเข้าถึงประชาชนได้แทบทุกพื้นที่ รวดเร็ว จึงเป็นแรงผลักดันให้สื่อโทรศัพท์มีบทบาทมากขึ้นเป็นทวีคูณ<sup>1</sup> จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่มูลค่าทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมโทรศัพท์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้นทุกปี แต่ก็มีข้อจำกัดคือ การรับชมรายการต่างๆ ทางโทรศัพท์ไม่สามารถทำ ได้หากผู้รับชมไม่ได้นั่งอยู่หน้าจอโทรศัพท์ สำหรับ “โทรศัพท์มือถือ” ในอดีตเป็นเพียงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีไว้สำหรับใช้โทรศัพท์ไปยังบุคคลอื่นๆ เพื่อสนทนาและส่งข้อความตัวอักษรถึงกันเท่านั้น แต่ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือ มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้สามารถ ใช้งานได้หลากหลาย จนถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์สารพัดประโยชน์ที่สามารถช่วยอำนวยความสะดวก วกให้แก่ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี จึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ที่อำนวยความสะดวก และเติมเต็มให้กับชีวิตผู้คนแห่งยุคเทคโนโลยี อันเป็นการรวมเทคโนโลยี Broadcasting และ Telecommunication เข้าด้วยกัน นั่นคือ Mobile Broadcasting ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

อย่างไรก็ดี ในอดีตที่ผ่านมา รูปแบบการให้บริการกระจายเสียงและโทรทัศน์บนมือถือ หรือที่เรียกว่า Mobile Broadcasting ไม่ได้รับความนิยมมากนัก หลายประเทศไม่ค่อยประสบความสำเร็จนักเนื่องจากเหตุผล ต่อไปนี้

(๑) ผู้รับบริการไม่ต้องการแบกรับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การรับชมโทรทัศน์บนจอโทรศัพท์มือถือ เป็นสื่อเฉพาะบุคคล ที่ ผู้รับบริการ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายลงทุนในการจัดซื้อ โทรศัพท์แบบที่รองรับบริการได้ (Smartphone) เสียค่าโทรศัพท์ และเสียค่าสมาชิกรายเดือนให้กับผู้ให้บริการ ซึ่งผู้รับบริการจะต้องคำนึงถึงการให้บริการให้คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไป

(๒) เครื่องรับโทรทัศน์ขนาดเล็ก กโทรทัศน์ในสมัยก่อนพกพาไม่สะดวก โดยชนิด ที่ สามารถหิ้วเคลื่อนย้ายได้ เรียกว่าโทรทัศน์ชนิดกระเป๋าหิ้ว สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์เมื่อเคลื่อนย้ายจาก สถานที่แห่งหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง แต่การรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบอนาล็อกของโทรทัศน์แบบกระเป๋าหิ้วที่มีสายอากาศในตัว จะต้องปรับสายอากาศจึงจะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ชัดเจน แต่ถ้าหิ้วเคลื่อนที่ไปหรือนำไปติดตั้งในยานพาหนะที่เคลื่อนที่ การรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบอนาล็อกก็จะมีปัญหาสัญญาณภาพล้ม หรือหลุดหายระหว่าง การเคลื่อนที่ ประกอบกับข้อจำกัดในการใช้ชุดหูฟังที่เหมาะสม เนื่องจากในอดีตชุดหูฟังมีขนาดใหญ่ทำให้พกพาไม่สะดวก รายละเอียดตามภาพ



ภาพจาก : [http://en.wikipedia.org/wiki/Handset#mediaviewer/File:Enea\\_Bossi\\_Sr\\_-\\_USA,\\_1930s.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/Handset#mediaviewer/File:Enea_Bossi_Sr_-_USA,_1930s.JPG)

แสดงภาพ อุปกรณ์ชุดหูฟังในยุคก่อนศตวรรษที่ ๒๐

<sup>1</sup> Asian Development Bank Institute, “Audio-visual Services: International Trade and Cultural Policy;”, <<http://www.adbi.org/files/2012.04.17.wp355.audiovisual.svc.intl.trade.cultural.policy.pdf>>, (April 2012).

(๓) การให้บริการไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการไม่มีการกำหนดมาตรฐานการให้บริการโทรทัศน์เป็นการทั่วไป กล่าวคือ การรับชมรายการโทรทัศน์จากเครื่องโทรศัพท์มือถือ เป็นเรื่องที่ยากเหมือนทำได้ง่าย ทว่าสิ่งที่ดูเหมือนเรียบง่ายนั้นอยู่ภายใต้การพัฒนาทางเทคโนโลยีและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานอย่างต่อเนื่องยาวนาน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การนำรายการโทรทัศน์ ไปปรากฏบนจอโทรศัพท์ขนาดเล็ก ไม่ใช่เรื่องง่าย วงการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องทำงานร่วมกัน ตั้งแต่การออกแบบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานผลิตเครื่องโทรศัพท์ การพัฒนาซอฟต์แวร์ สถานีโทรทัศน์และผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ เพื่อเตรียมการเรื่องระบบการส่ง และยังจำเป็นต้องมีกระบวนการผลิตเนื้อหาที่เหมาะสมกับการรับชมโดยเครื่องโทรศัพท์มือถือโดยเฉพาะ แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคโนโลยีในอดีต ทำให้ความร่วมมือดังกล่าวไม่สัมฤทธิ์ผลเท่าใดนัก

(๔) ผู้รับบริการยังไม่มีความพร้อมในการรับชมรายการโทรทัศน์บนโทรศัพท์มือถือ ไม่ว่าจะเป็นความพร้อมในเชิงกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ให้บริการที่ยังไม่ครอบคลุม ความเร็วอินเทอร์เน็ตไม่เพียงพอ หรือระยะห่างระหว่างจุดรับ บริการและจุดกระจายสัญญาณ เป็นต้น และความพร้อมในเชิงอัตภาพ ได้แก่ การขาดความรู้เข้าใจกระบวนการทำงานของการรับชมรายการโทรทัศน์บนโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

(๕) รูปแบบการให้บริการยังไม่น่าสนใจเท่าที่ควร

แต่ปัจจุบัน การให้บริการกระจายเสียง และโทรทัศน์บนอุปกรณ์มือถือ ได้เปลี่ยนแปลงไป ผู้ให้บริการกระจายเสียงและโทรทัศน์และผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือสามารถร่วมมือกันเพื่อสร้างมาตรฐานสากล อันจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งภาคส่วนธุรกิจกระจายเสียงและโทรทัศน์เอง และภาคส่วนธุรกิจโทรศัพท์มือถือ ดังนี้

(๑) ประโยชน์ต่อภาคธุรกิจกระจายเสียงและโทรทัศน์ : มีส่วนในการรักษาและเพิ่มความสำเร็จทางธุรกิจให้ เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

(๒) ประโยชน์ต่อภาคส่วนธุรกิจโทรศัพท์มือถือ : มีส่วนให้ได้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่า (Cost-Effectiveness)<sup>2</sup> และมี ผลต่อการให้บริการโทรทัศน์ หรือ VDO รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ อันเกิดการหลอมรวมเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน อย่างมีประสิทธิภาพ



นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาในเชิงธุรกิจจะพบว่าตลาดอุตสาหกรรมโทรศัพท์มือถือก็ขยายตัวมากขึ้นเช่นกัน กล่าวคือ

(๑) การเติบโตขึ้นของตลาดโทรศัพท์มือถือ คนส่วนใหญ่นิยมใช้โทรศัพท์มือถือที่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ (Smartphone) รวมถึงอุปกรณ์สื่อสารพกพา เช่น แท็บเล็ต มากขึ้น ประกอบกับความก้าวหน้าทาง เทคโนโลยีในปัจจุบัน การให้บริการโทรทัศน์บนโทรศัพท์มือถือสามารถทำได้และได้รับการพิสูจน์แล้วด้วยการใช้งานในหลายประเทศที่มีความพร้อม ซึ่งปัจจุบันมีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลกไม่น้อยกว่าสี่พันล้านคน และ มากกว่าห้าร้อยล้านคนเป็นเครื่องโทรศัพท์ชนิด Smartphone ที่มีความสามารถรองรับการใช้งานแบบสื่อผสมหรือรับสัญญาณโทรทัศน์ขณะเคลื่อนที่ได้ และแน่นอนว่า

<sup>2</sup> Cost-Effectiveness หมายถึง ตัวบ่งชี้วัดความคุ้มค่า หรือตัวบ่งชี้ที่แสดงค่าใช้จ่ายของผลลัพธ์ที่แสดงถึงความคุ้มค่า (Value for money) ที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ

จำนวนผู้ใช้อุปกรณ์ประเภทนี้ย่อมเพิ่มขึ้นตลอดเวลาด้วยอัตราแบบก้าวหน้า ย่อมมีผลกระทบต่อโดยตรงให้โทรศัพท์มือถือดังกล่าวราคาถูกลงตามปัจจัยการตลาด

(๒) การเติบโตขึ้นของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ที่พ่วงกับการให้บริการโทรทัศน์และ VDO เนื่องจาก ค่านิยมของคนส่วนใหญ่ต้องการให้เครื่องโทรศัพท์มือถือที่พกติดตัวอยู่สามารถรับชมหรือติดตามเหตุการณ์ข่าวสารสำคัญๆ ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา หรืออาจเป็นการใช้เพื่อความบันเทิง การรับชมกีฬา หรืออื่นใดก็ตามที่มากกว่าศักยภาพเดิมของโทรศัพท์มือถือในอดีตสามารถทำได้ ดังนั้น การเสนอบริการรับชมรายการโทรทัศน์และ VDO บนโทรศัพท์มือถือ จึงเป็นมาตรการจูงใจที่สำคัญของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ ที่จะผลักดันให้เกิดการขยายตัวของบริการนี้ และผลประโยชน์ทางธุรกิจไปใน

### **ถึงเวลาของ Mobile broadcasting แล้วหรือไม่**

ตลาดกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์กำลังพยายามกำหนดมาตรฐานสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดิน (TV terrestrial broadcasting) กล่าวคือ

(๑) การเกิดขึ้นของระบบการแพร่กระจายคลื่นความถี่ เช่น ระบบ ATSC<sup>3</sup>, ISDB<sup>4</sup> เป็นต้น

(๒) การเกิดขึ้นของระบบ DVB-T2<sup>5</sup> ซึ่งปัจจุบันได้รับการยอมรับกว่า ๕๗ ประเทศ และถือเป็นระบบที่ใช้เป็นหลักในการแพร่ภาพกระจายเสียงบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

(๓) มีเป้าหมาย ให้มีเครื่องรับสัญญาณบนหลังการถยนต์ หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่

(๔) โครงข่าย เคลื่อนที่ได้รับความนิยมสูงขึ้น ทั้งนี้ ถูกคาดหวังว่าได้รับอิทธิพลจากความนิยมของการให้บริการโทรทัศน์และ VDO แบบ on demand นั้นเอง

---

3 ระบบ ATSC ย่อมาจากคำว่า "Advanced TV System Committee" หรือเรียกอีกอย่างว่า 8VSB ( Vestigial Sideband ) ถือกำเนิดในปี ค.ศ. ๑๙๘๒ จากการรวมตัวของ FCC, JICT, EIA, IEEE, NAB, NCTA, SMPTE รวมทั้งหน่วยงานและบริษัทต่างๆ รวม ๑๔๐ แห่ง เพื่อเป็นองค์กรนานาชาติที่ไม่หวังผลกำไร โดยระบบนี้สร้างขึ้นมาเพื่อจัดสรรช่องให้เป็นระบบ ให้ภาพชัดไม่มีสัญญาณรบกวน รองรับภาพความละเอียดสูง (HDTV) และใส่ช่องได้จำนวนมาก (Multicasting ) พร้อมบริการข้อมูลเสริมอื่นๆ รวมทั้งระบบอินเทอร์เน็ต อีกด้วย ผู้ให้บริการสามารถเลือกนำมาเสนอได้ โดยระบบนี้ได้รับการรับรองจาก คณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐในปี ค.ศ. ๑๙๙๖, ข้อมูลจาก [http://dtv.mcot.net/techno\\_one.php?dateone=1243415842](http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1243415842)

4 ISDB ย่อมาจาก Integrated Services Digital Broadcasting ได้ถูกพัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี ค.ศ. ๑๙๙๓ ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทั้งโทรทัศน์ระบบดิจิทัล (ISDB-T) และระบบวิทยุดิจิทัล (ISDB-Tsb) ระบบ ISDB ได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมโดย Digital Broadcasting Expert Group (DiBEG) ระบบ ISDB มี ๒ รูปแบบ คือ แบบ Narrow band สำหรับการส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและข้อมูลต่างๆ และแบบ Wide band สำหรับการส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (ISDB-T) มีความยืดหยุ่นต่อการส่งสัญญาณโทรทัศน์หรือสัญญาณเสียง และยังสามารถสนับสนุนการบริการแบบ Multimedia อื่นๆ อีกด้วยซึ่ง ทำให้การส่งข้อมูลดิจิทัลมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น , ข้อมูลจาก [http://dtv.mcot.net/techno\\_one.php?dateone=1243415842](http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1243415842)

5 DVB-T2 เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำการผสมสัญญาณ (modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งาน ในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ และเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับ เครื่อง รับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า ๕๐% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล อื่นๆ ที่ใช้งานในโลก , ข้อมูลจาก <http://www.dvbt2thailand.com/tag/dvb-t2-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/>



ภาพจาก : <http://www.leotech.co.th/pro/solution-headend-iptv.php>

จึงถือเป็นโอกาสที่ดีของอุตสาหกรรมกระจายเสียงและโทรทัศน์ และอุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่จะเชื่อมโยงเทคโนโลยีของทั้งสองภาคส่วนให้ใกล้ชิดกันมากขึ้น และส่งผลต่อการพัฒนามาตรฐานการให้บริการกระจายเสียงและโทรทัศน์ที่ใช้คลื่นความถี่ให้มีความเหมาะสม และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อทั้งอุตสาหกรรมกระจายเสียงและโทรทัศน์ และอุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย

นับแต่อดีตเป็นต้นมา พฤติกรรมของผู้รับบริการโทรทัศน์ และ VDO เริ่มเปลี่ยนแปลงไป โดย TV on demand และ VDO on demand ได้รับความนิยมมากขึ้น ซึ่ง TV on demand และ VDO on demand ก็คือ ระบบการเรียกดูวิดีโอตามสั่งที่จะอำนวยความสะดวกให้ผู้รับบริการสามารถเลือกชมรายการโทรทัศน์หรือข้อมูลภาพเคลื่อนไหวพร้อมเสียงได้ตามต้องการแม้จะเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม โดยสามารถใช้งานนี้ได้จากเครือข่ายสื่อสาร Telecommunications Networks สร้างสะดวกสบายในการรับสัญญาณ เนื่องจากระบบสื่อสารโทรคมนาคมมีเครือข่ายบริการครอบคลุมทั่วประเทศ ทำให้ผู้รับบริการโทรทัศน์มือถือ มีช่วงเวลาเพิ่มขึ้นในรับชมรายการโทรทัศน์ ผู้รับบริการสามารถเรียกดูข้อมูลที่เป็นภาพเคลื่อนไหวได้ทุกเมื่อและสามารถควบคุมข้อมูลวิดีโออื่นๆ โดยสามารถย้อนกลับ หรือรอไปข้างหน้า หรือหยุดชั่วคราว ได้ตามต้องการ ทั้งนี้ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเป็นปัจจัยสำคัญในการให้บริการ on demand ประกอบกับการรับบริการดังกล่าวสามารถรองรับได้ทั้งระบบ LAN Line และ WIFI หรือแม้กระทั่งการรับบริการผ่านระบบ 3G, 4G ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์โดยตรง ดังนั้น เมื่อตลาดอุตสาหกรรมโทรศัพท์มือถือเติบโตขึ้น บริการ TV on demand และ VDO on demand ก็ย่อมเติบโตขึ้นเช่นเดียวกัน



## พัฒนาการทางเทคโนโลยีจากการให้บริการ Mobile Broadcasting

สำหรับประเทศที่เลือกใช้การรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในระบบ DVB-T2 เพื่อให้การนำเทคโนโลยีไปใช้มีความสอดคล้องและเกิดประโยชน์สูงสุด จึงมักเลือกใช้ระบบ DVB-H เป็นระบบการส่งสัญญาณเพื่อให้บริการ โทรทัศน์บนโทรศัพท์มือถือ มีลักษณะ ดังนี้<sup>6</sup>

(๑) DVB-H ดัดแปลงมาจาก DVB-T ซึ่งเป็นระบบการส่งโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ใช้เทคโนโลยี OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) เป็นการแบ่งคลื่นความถี่ (Bandwidth) ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ

(๒) OFDM เป็นการแบ่งคลื่นความถี่ในการส่งสัญญาณหลายความถี่ ในแถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน ข้อมูลสัญญาณโทรทัศน์จะถูกแบ่งข้อมูลกระจายเพื่อแยกส่งไปกับคลื่นความถี่หลายๆ คลื่น และมีการใช้ error correcting (Reed-Solomon) เพราะ ข้อมูลภาพและเสียงที่ถูกแบ่งเป็นส่วนๆ อาจมีหลายรายการส่งออกไปพร้อมกัน เมื่อถูกส่งแพร่ภาพออกอากาศไปแล้ว เครื่องรับโทรทัศน์เมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะนำมาจัดการและแบ่งออกเป็นสัญญาณโทรทัศน์หลายๆ รายการตามที่ได้รับ

(๓) ในการส่งโทรทัศน์มือถือ DVB-H ก่อนที่ ส่งออกอากาศโดยการเข้ารหัส COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) จะต้องมี การเปลี่ยนสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่ลดขนาดข้อมูลให้น้อยลง หรือที่เรียกว่า การบีบอัดสัญญาณ (compress signal) จากนั้นก็จะส่งข้อมูลทั้งหมดผ่านเข้าไปในระบบ 3G streaming server

(๔) ระบบการส่งสัญญาณ DVB-H นี้ยังใช้เทคนิคแบ่งการส่งสัญญาณเป็นช่วงเวลา (time slicing technique) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องโทรศัพท์มือถืออีกด้วย

## ประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยีการให้บริการ Mobile Broadcasting

(๑) ผู้รับบริการสามารถรับบริการได้ทุกที่แม้ ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารและนอกอาคาร หรือแม้ในขณะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เนื่องจาก การให้บริการรายการโทรทัศน์บนโทรศัพท์มือถือจะครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ เช่นเดียวกับพื้นที่ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์

(๒) สามารถรับบริการได้ ทั้ง LANE Line และ WIFI หรือแม้กระทั่งการรับบริการผ่านระบบ 3G, 4G ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์โดยตรง

(๓) เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยี Broadcasting และ Telecommunication ใช้ร่วมกันได้ จึงไม่ต้องลงทุนโครงสร้างพื้นฐานในกิจการใดกิจการหนึ่งเพิ่มเติม

(๔) ใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อย จากข้อมูลข้างต้น DVB-H ได้กำหนดช่องสัญญาณการส่งข้อมูลในอัตราความเร็วสูง ซึ่งสามารถใช้ในลักษณะแยกอิสระ หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โทรศัพท์มือถือที่เรียกว่า Time-slicing ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับโทรศัพท์มือถือโดยมีการส่งข้อมูลเป็นช่วง ๆ และในช่วงที่ไม่มีการส่งข้อมูล เครื่องรับโทรศัพท์มือถือจะปิดพลังงาน ที่ใช้ ทำให้ประหยัดพลังงานของแบตเตอรี่ ของเครื่องรับโทรศัพท์มือถือนั้น

(๕) เปิดโอกาสให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเนื้อหาสื่อมีโอกาสสร้างสรรค์ผลงานและแจกจ่ายไปตามช่องทางแบบใหม่ รวมไปถึงการเปิดโอกาสทางการโฆษณา ประชาสัมพันธ์ หรือการตลาดแนวใหม่ ในขณะที่ผู้ให้บริการกิจการโทรทัศน์และผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ก็ได้ตลาดใหม่ๆ มีโอกาสขยายกิจการให้เจริญเติบโต อีกทั้งเป็นการเปิดโอกาสให้กับโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวงการธุรกิจซอฟต์แวร์ใหม่ๆ ที่จะตามมาในอนาคต

<sup>6</sup> ข้อมูลบางส่วนจาก [http://www.prd.go.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=24905&filename=expert](http://www.prd.go.th/ewt_dl_link.php?nid=24905&filename=expert)



## บทสรุป

การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตย่อมทำให้เครื่องโทรศัพท์มือถือไม่ได้ทำหน้าที่เพียงใช้เพื่อการพูดคุยเพียงเท่านั้น แต่โทรศัพท์มือถือกลายเป็นอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถรับชมและสร้างเนื้อหาได้ การใช้งานเพื่อความบันเทิง และการใช้งานเพื่อการทำธุรกิจประกอบอาชีพ

อีกทั้ง เทคโนโลยี Mobile Broadcasting หรือการรับชมรายการโทรทัศน์ทางโทรศัพท์มือถือ ยังเป็นการสร้างโอกาสที่กว้างมากขึ้นและเปิดยุคใหม่ มุมมองใหม่ให้กับผู้รับบริการ ผู้รับบริการจะได้สัมผัสกับพลังการสร้างสรรค์ของสื่อผสมที่อยู่ภายในเครื่องโทรศัพท์อย่างเต็มประสิทธิภาพ และโดยที่ตามคุณลักษณะของเนื้อหาที่จำเป็นต้องแตกต่างจากการออกอากาศรายการ โทรทัศน์ตามปกติ เป็นเงื่อนไขสำคัญสำหรับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ดังนั้น เทคโนโลยีนี้จึงเอื้อให้เกิดโอกาสต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเนื้อหาสื่อ ให้มีโอกาสสร้างสรรค์ผลงานและแจกจ่ายไปตามช่องทางแบบใหม่ รวมไปถึงการเปิดโอกาสในการโฆษณาประชาสัมพันธ์หรือการตลาดแนวใหม่ และเป็นการเปิดโอกาสให้กับโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวงการธุรกิจซอฟต์แวร์ใหม่ๆ ที่จะถูกพัฒนาขึ้นมาในอนาคตอันใกล้ต่อไป

.....

## การเยี่ยมชมสถานี Arqiva ณ เมืองคริสตัลพาเลซ (Crystal Palace) ประเทศสหราชอาณาจักร (United Kingdom)

สถานีเครื่องส่งออกอากาศของเมืองคริสตัลพาเลซนั้น อยู่ภายใต้การดำเนินการของบริษัท Arqiva ครอบคลุมประชากรจำนวน ๑๒ ล้านคน รัศมีออกอากาศประมาณ ๔๐ ไมล์แพร่สัญญาณบริเวณเมืองลอนดอน สถานที่ตั้งอยู่ที่ Crystal Palace Park, London, SE19



บริษัท Arqiva Crystal Palace เป็นบริษัทที่ให้บริการด้านโครงสร้างพื้นฐาน (Network) และการออกอากาศ การส่งสัญญาณผ่านสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities)

ลูกค้าของบริษัท Arqiva ได้แก่



ภายในสถานีออกอากาศของ Arqiva ประกอบไปด้วย

๑. เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบเอเอ็ม (Analog Radio ; AM Medium Wave)
๒. เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม (FM VHF)
๓. เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบดิจิตอล (DAB)
๔. เครื่องส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (DVB-T)
๕. เครื่องส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (DVB-T2)

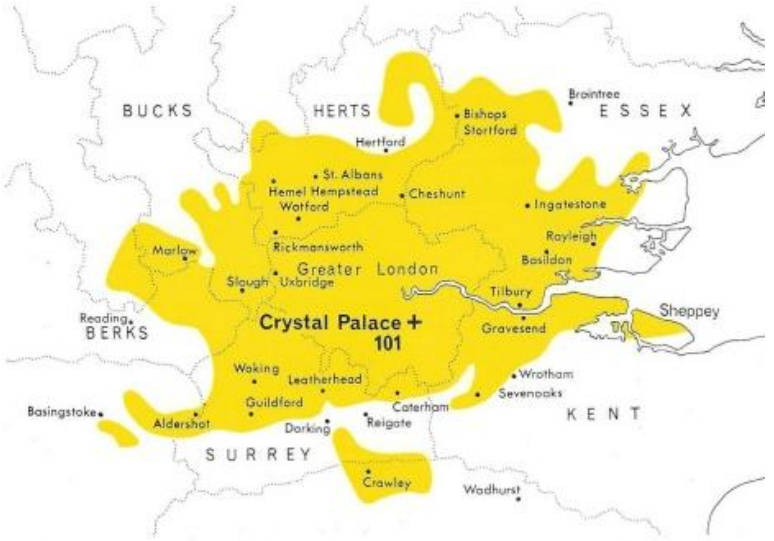
สิ่งอำนวยความสะดวกของสถานี Arqiva ณ เมืองคริสตัลพาเลซ (Crystal Palace) แบ่งออกเป็น

### ๑. เสาอากาศ (Antenna Tower)

เสาอากาศ (Antenna Tower) นี้ความสูง ๒๑๙ เมตร และมีการติดตั้งสายอากาศที่ความสูง ๓๑๓ เมตร ส่วนประกอบของสายอากาศประกอบด้วย



รูปที่ ๑ สายอากาศ



รูปที่ ๒ แสดงพื้นที่การ

๑. สายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ออกที่ความถี่ดังนี้

ระบบ	ความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	ช่อง ความถี่	กำลังส่ง (กิโลวัตต์)	ประเภท
DVB-T	๔๘๒	๒๒	๒๐๐	ธุรกิจ
DVB-T	๔๙๐	๒๓	๒๐๐	สาธารณะ
DVB-T	๔๙๐	๒๕	๒๐๐	ธุรกิจ
DVB-T	๕๑๔	๒๖	๒๐๐	สาธารณะ
DVB-T	๕๒๙.๘๓๓	๒๘-	๒๐๐	ธุรกิจ
DVB-T2	๕๔๕.๘๓๓	๓๐-	๒๐๐	สาธารณะ
DVB-T2	๕๗๐	๓๓	๓๖.๓	สาธารณะ

๒. สายอากาศวิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล (DAB) ออกที่ความถี่ดังนี้

ระบบ	ความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	ช่อง ความถี่	กำลังส่ง (กิโลวัตต์)	ผู้ให้บริการ
DAB	๒๒๒.๐๖๔	๑๑D	๖.๕	Digital One
DAB	๒๒๓.๙๓๖	๑๒A	๒.๑	Switch London
DAB	๒๒๕.๖๔๘	๑๒B	๑๐	BBC National DAB

๓. สายอากาศวิทยุกระจายเสียงระบบแอนะล็อก (Analogue Radio (FM VHF))

ผู้ให้บริการ	ความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	กำลังส่ง (กิโลวัตต์)
BBC Radio 1	๙๘.๕	๔
BBC Radio 2	๘๘.๘	๔
BBC Radio 3	๙๑.๐	๔
BBC Radio 4	๙๓.๒	๔
BBC London	๙๔.๙	๔
Capital Xtra	๙๖.๙	๐.๕
Classic FM	๑๐๐.๖	๒
Absolute Radio	๑๐๕.๘	๔
XFM London	๑๐๔.๙	๒.๙

๔. สายอากาศวิทยุกระจายเสียงระบบเอเอ็ม

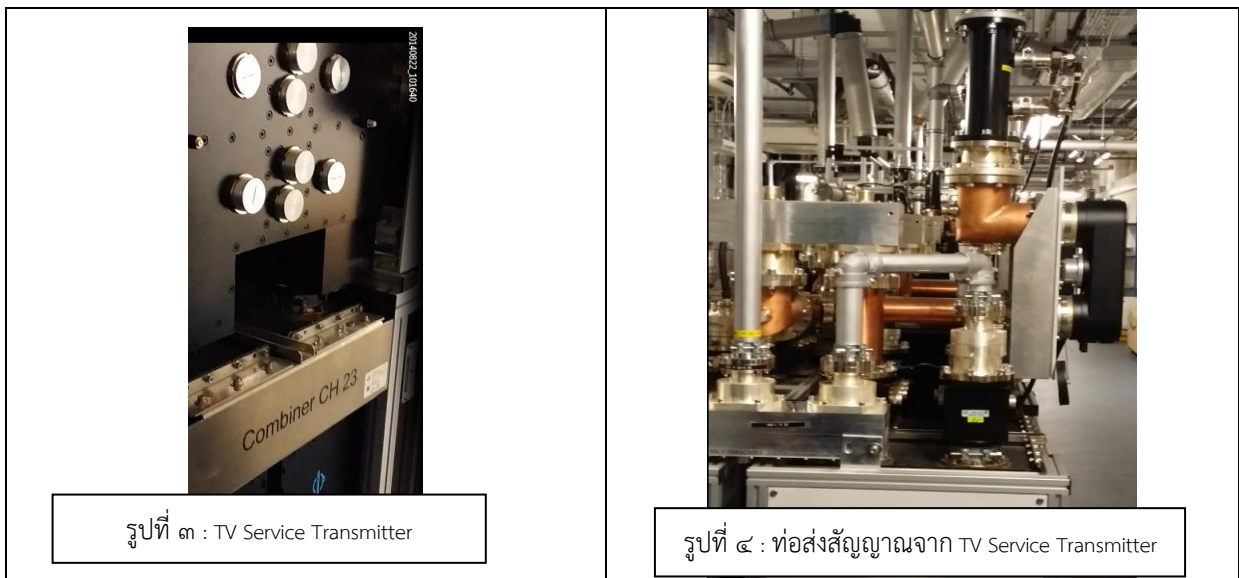
ผู้ให้บริการ	ความถี่ (กิโลเฮิร์ตซ์)	กำลังส่ง (กิโลวัตต์)
Spectrum	๕๕๘	๑
BBC Radio 4	๗๒๐	๐.๗๕
Kismast Radio	๑๐๓๕	๒.๕

๒. เครื่องส่ง (Transmitter)

๒.๑) อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (DTT Service)

๒.๑.๑ Combiner Room

๑) Combiner

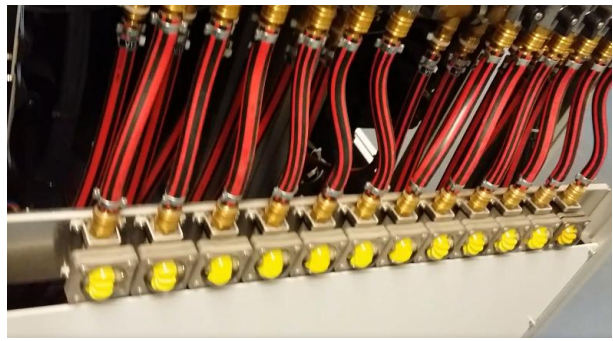


รูปที่ ๓ : TV Service Transmitter

รูปที่ ๔ : ท่อส่งสัญญาณจาก TV Service Transmitter



รูปที่ ๕ : ท่อส่งสัญญาณ Combined ไปยัง Antenna TS 71



รูปที่ ๖ : ระบบรักษาอุณหภูมิของ Combiner

### การใช้งาน Combiner

ภาพข้างต้นแสดงอุปกรณ์ Combiner ซึ่งจะประกอบด้วย TV Service Transmitter (รูปที่ ๓) ของแต่ละช่อง ตัวอย่างเช่น ช่อง ๓๐ ช่อง ๒๘ ช่อง ๒๓ เป็นต้น ซึ่งในห้องนี้จะมีทั้งหมด ๖ เครื่อง ๖ ความถี่ ที่จะต้องถูกส่งไปออกอากาศที่ Antenna เดียว ทำให้ต้องใช้ระบบ Combiner (รูปที่ ๔) เมื่อสัญญาณถูกรวมแล้วจะมีการส่งสัญญาณไปที่ Antenna เลขที่ TS71 (รูปที่ ๕) อุปกรณ์ Combiner นี้ใช้พลังงานสูงถึง ๒๐๐ kwatt ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นท่ออลูมิเนียม จึงต้องมีระบบรักษาอุณหภูมิของ Combiner ด้วยการใช้น้ำหล่อเย็น (รูปที่ ๖)

### ๒) Multiplexer Service (DVB-T)



รูปที่ ๗ : Multiplex System



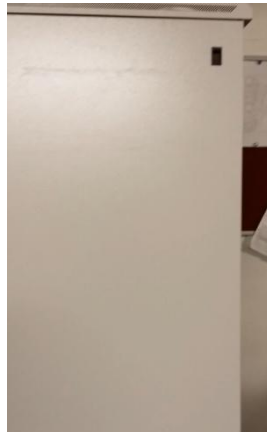
รูปที่ ๘ : ท่อส่งสัญญาณจาก Multiplexer CH33 และ CH35



รูปที่ ๙ : ท่อส่งสัญญาณจาก ๒ Multiplexer ไปยัง  
Combiner ไปยัง Antenna TS 71

ทั้งสองช่องนี้จะส่งสัญญาณผ่านท่อ (รูปที่ ๘) ไปยังระบบ Combiner โดยผ่านไปยังท่อในรูปที่ ๙ แล้วเข้าสู่กระบวนการรวมสัญญาณก่อนส่งไปยัง Antenna ต่อไป

### ๓) Protection System



รูปที่ ๑๐ : อุปกรณ์ป้องกันระบบ

ทำหน้าที่ช่วยรักษาให้ระบบยังคงทำงานอยู่ได้ตลอดด้วยการตรวจสอบอุณหภูมิและปรับให้คงที่ตลอดเวลา เนื่องจากทั้งระบบใช้พลังงานสูงถึง ๒๐๐ kW นอกจากนี้ยังมีระบบ UV Sensor และ Temperature Sensor ตรวจสอบเพื่อหาความผิดปกติในขณะที่มีการออกอากาศ



รูปที่ ๑๑ : Amplifier



รูปที่ ๑๒ : ท่อส่งสัญญาณ



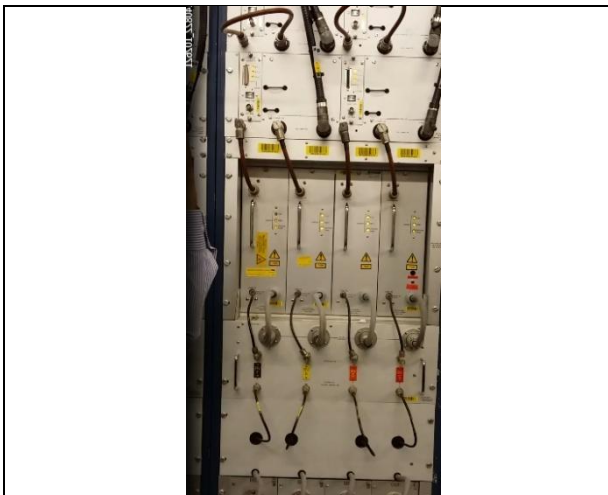
รูปที่ ๑๓ : ภาพการรับส่งสัญญาณแบบ SD



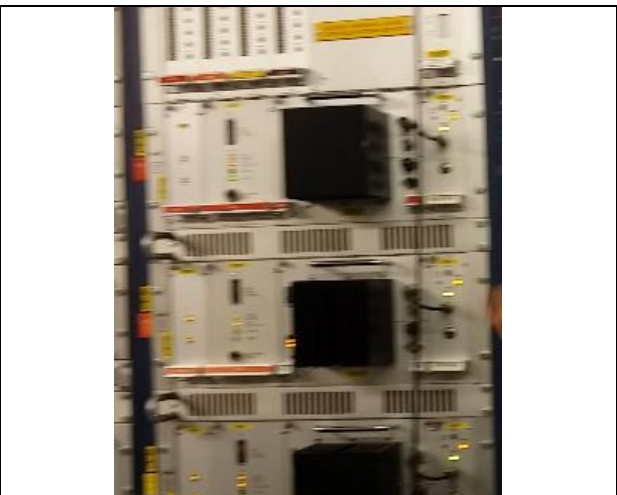
รูปที่ ๑๔ : ภาพการรับส่งสัญญาณแบบHD

## ๒.๒) อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการให้บริการวิทยุกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม (FM Radio Service)

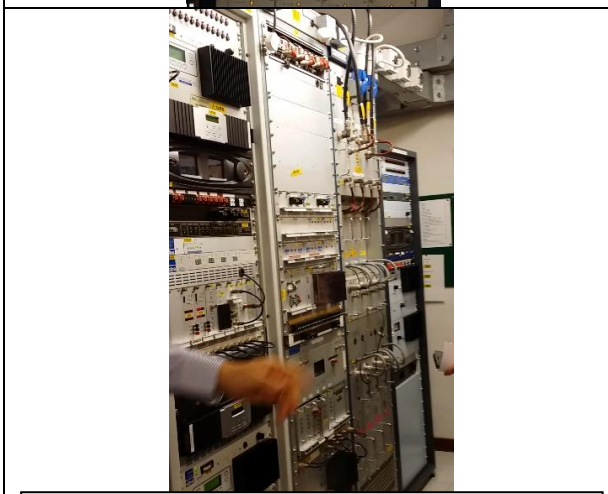
### ๒.๒.๑ การรับส่งสัญญาณวิทยุในระบบเอฟเอ็ม (FM)



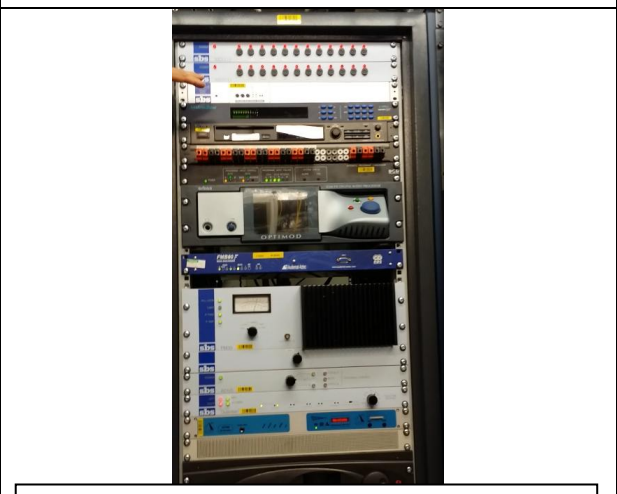
รูปที่ ๑๕ : Amplifier



รูปที่ ๑๖ : อุปกรณ์ Retransmit



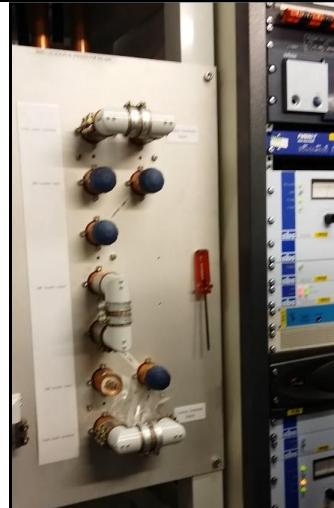
รูปที่ ๑๗ : Amplifier และระบบ Retransmit ของ BBC



รูปที่ ๑๘ : อุปกรณ์ใหม่สำหรับ New Single Service



รูปที่ ๑๙ : สายรวมสัญญาณ ๒ Coax



รูปที่ ๒๐ : สายรวมสัญญาณ ๒ Coax

### ๒.๒.๒ การส่งสัญญาณวิทยุในระบบดิจิตอล (DAB Transmission)



รูปที่ ๒๑ : DAB Transmitter



กลุ่มทีวีดิจิทัล (DTG) เป็นสมาชิกในสมาคมสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัล เผยแพร่และรักษาข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (DTT) ซึ่งเรียกว่า D-Book

### อะไรคือ D-Book?

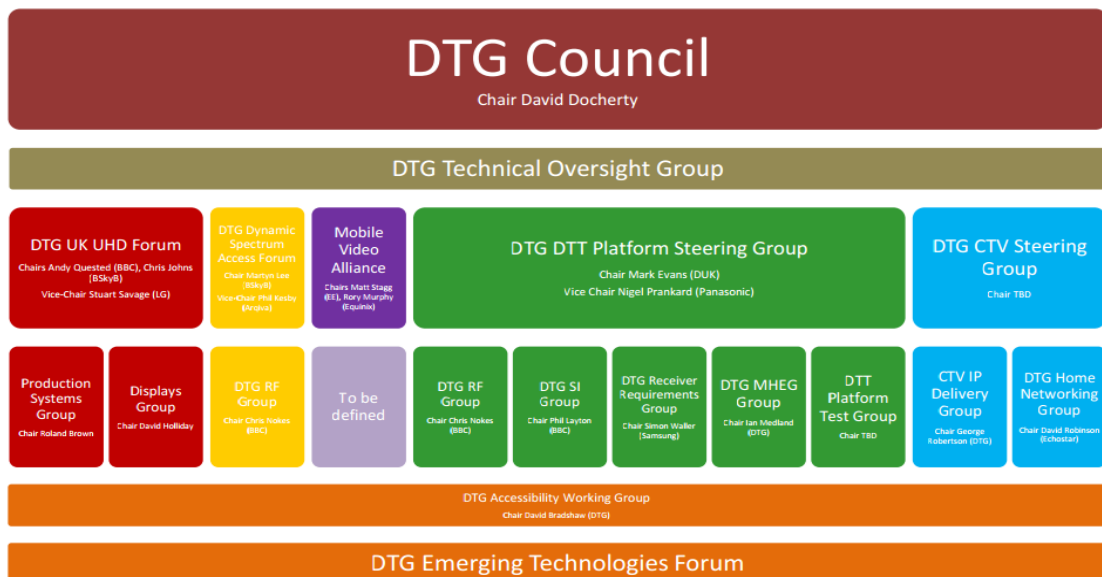
D-Book เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (Freeview และ Freeview HD) โดยที่ DTG จะมีการเผยแพร่และการบำรุงรักษา D-Book มานานกว่าทศวรรษและมีข้อกำหนดการปรับปรุงเป็นประจำทุกปีเพื่อให้ทันกับการก้าวของการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ในประเทศสหราชอาณาจักร



### ความเป็นมา

The Digital Group เป็นสมาคมซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอุตสาหกรรม Digital TV ถูกสร้างขึ้นในปี 1995 โดยบีบีซี, BSkyB, BT Group, ช่อง4, ช่องไอทีวี (เครือข่ายโทรทัศน์) NTL Incorporated, Pace และ Sony ในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการดำเนินงานโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินในประเทศสหราชอาณาจักร มีสมาชิกมากกว่า 125 ราย ประกอบไปด้วย ผู้ให้บริการกระจายเสียงและโทรทัศน์, ผู้ให้บริการ platforms, ผู้ผลิต, ผู้ให้บริการด้านเทคโนโลยี, หน่วยงานของรัฐ, องค์กรกำกับดูแล ซึ่งเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร และกลุ่มผู้บริโภคได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025 ด้านการให้บริการทดสอบมาตรฐานของ Freeview HD, Freesat HD และ at800 (LTE)

โครงสร้างคณะกรรมการของ DTG



DTG มีการดำเนินงานในลักษณะของคณะกรรมการ โดยจะมี ผู้เชี่ยวชาญ ในแต่ละด้านเป็นหัวหน้าคณะกรรมการ ซึ่งสมาชิก DTG สามารถเข้ามามีส่วนร่วมในคณะกรรมการได้ตามความสนใจ ของสมาชิก DTG เอง ทำให้มีการแลกเปลี่ยนความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีของโทรทัศน์ดิจิทัลและเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

## บทบาทและหน้าที่สำคัญของ Digital TV Group (DTG)

๑. การทำกิจกรรมในระดับนานาชาติทำงานร่วมกับองค์กรเกี่ยวกับมาตรฐานและอุตสาหกรรม ในทวีปยุโรปและนานาชาติ รวมถึง ISO , ETSI , HbbTV, MPEG , DigiTAG , EBU , FAME และ IPTV Forum โดยมีการจัดทำ
  - D-Book ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ ISO/IEC 62216 E-book
  - หนังสืออ้างอิงเกี่ยวกับ Platform Specification ทั่วโลก อาทิเช่น ประเทศออสเตรเลีย (Australia) , ประเทศนิวซีแลนด์ (New Zealand) , ฮองกง (Hong Kong) , ประเทศแอฟริกาใต้ (South Africa) และ ประเทศไอร์แลนด์ (Ireland)
  - การทดสอบของ DTG ได้มีการพัฒนาให้สอดคล้องกับการทดสอบของหลายประเทศ เช่น ประเทศออสเตรเลีย (Australia), ประเทศนิวซีแลนด์ (New Zealand), ฮองกง (Hong Kong) , ประเทศแอฟริกาใต้ (South Africa), ประเทศไอร์แลนด์ (Ireland) และประเทศกานา (Ghana)
  - มีการให้บริการทั้งในประเทศสหราชอาณาจักรและประเทศนิวซีแลนด์
๒. การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบดิจิทัล (Digital Transition)
  - มีการบริหารจัดการเกี่ยวกับข้อมูลทางเทคนิค (D-Book)
  - มีการออกแบบระบบการทดสอบ
๓. เป็นห้องปฏิบัติการทดสอบเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล (DTT Receiver Zoo)



รูปที่ ๒๒ : DTT Receiver Zoo



รูปที่ ๒๓ : DTT Receiver Zoo (2)



รูปที่ ๒๔ : การแสดงผลของ STB ประเภทต่างๆ เพื่อแสดงผลบนจอมอนิเตอร์

DTT receiver zoo เป็นการทดสอบการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบดิจิทัลโดยมีการทดสอบเครื่องรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัลทั้ง DVB-T, DVB-T2 และ Set Top Box แบบ Hybrid (สามารถรับได้ทั้ง DVB-T, DVB-T2 และ DVB-S) ซึ่งมีเครื่องรับมากกว่า ๔๐๐ เครื่อง และ iDTV (Integrated digital television) เพื่อประเมินผลกระทบหรือปัญหาจากเครื่องรับดังกล่าว

### รายชื่อผู้เข้าอบรม

1. นางสาวณัฐชญา ทวีวิทย์ชาครีเยะ
2. นายปิยพงษ์ เชื้ออาษา
3. นายธีรพจน์ อัญญะโพธิ์
4. นางสาวนิตามณี สมบัติเรือง
5. นายชินประภา ปิ่นแก้ว
6. นายวัฒน์ สินทร์
7. นางสาววันทนีย์ วรียนันท์กุล
8. นายณัฐกานต์ หวานแก้ว
9. นายอรรถพล รัตนวิทย์
10. นายสุรชัย ลิ้มป์แสงรุจี
11. นายสุภัทรสิทธิ์ สวนสุข
12. นางสาวพิมพ์ชนก นามสวาท
13. นายศักดิ์ดา มะเกลี้ยง
14. นางธัญพร เปาทอง
15. นางสาวศิริเพ็ญ สุขสารัญ
16. นายอาคม สุวรรณรักษา
17. นางสาวเนติมา คงแคล้ว
18. นางกัญจน์รัศม์ ตั้งพงษาพันธุ์
19. นางจิตสุภา ฤทธิผลิน
20. นางสาวอัจฉรีย์ เจริญ

### ผู้จัดทำโครงการและประสานงาน

1. นางสาวสกลกฤตา ลิ้มปิสวัสดิ์
2. นางสาวสบายใจ วงศางาม

## บทสรุป

การจัดโครงการ การเข้าฝึกอบรม Digital Transmission Training Course ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ระหว่างวันที่ 18 – 22 สิงหาคม 2557 สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) โดยตามมติของบอร์ด กสท. เล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาบุคลากรของสำนักงาน เพื่อให้เข้าใจในเนื้อหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านเทคนิคที่เป็นพื้นฐานหลักหรือหัวใจของการทำงานในด้าน กิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ตลอดจนเพื่อให้สามารถศึกษากับผู้เชี่ยวชาญโดยตรงและมีประสบการณ์ที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก

ในการนี้ผู้จัดการโครงการและประสานงานโครงการ ตลอดจนผู้เข้าอบรมทุกคน ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนให้โครงการนี้ได้พัฒนาบุคลากร และก่อให้เกิดประโยชน์ ต่อการพัฒนางานของสำนักงาน กสทช. ต่อไป

