

รายงานฉบับสมบูรณ์

(Final Report)

รายงานการศึกษาเทคโนโลยี Application OTT over Wi-Fi หรือเครือข่าย
เคเบิลใยแก้วนำแสงและสายทองแดง

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

จัดทำโดย

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กันยายน 2561

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ	1
2. โครงสร้าง OTT TV และการให้บริการ	15
3. การบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง (Video and Audio Encoding)	19
4. คุณภาพการให้บริการ Quality of Service (QoS)	42
5. โครงข่ายอินเทอร์เน็ตและการส่งวิดีโอผ่านโครงข่าย (Video Streaming)	53
6. Content Delivery Network (CDN)	68
7. เทคโนโลยีการตรวจสอบและป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบริการ OTT TV	93
8. อุปกรณ์การรับชม OTT TV	111
9. แนวทางการกำกับดูแล OTT TV ของต่างประเทศ	115
10. สรุปข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับ OTT TV.....	119
บรรณานุกรม	127

บทที่ 1 บทนำ

ตามพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 ได้กำหนดให้มีสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) มีอำนาจหน้าที่ตามมาตรา 53 ในการ กำกับดูแลการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม และมีภารกิจในการ กำกับดูแล ควบคุมมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์และเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์แบบบอกรับสมาชิกใน กิจการไม่ใช้คลื่นความถี่ ซึ่งปัจจุบันการหลอมรวมเทคโนโลยีสื่อผสม (Multimedia) โดยเฉพาะการให้บริการ โทรทัศน์แบบบอกรับสมาชิกในรูปแบบ Internet Protocol Television (IPTV) หรือ Over The Top Television (OTT TV) ซึ่งเป็นรูปแบบการให้บริการโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี IP-Base หรือ Internet Protocol (IP) โดยการส่งข้อมูลภาพและเสียงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่าง มากทั่วโลก และในประเทศไทยกำลังมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น การ ให้บริการในรูปแบบ IPTV/OTT TV นั้นสามารถส่งข้อมูลเนื้อหารายการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบ ต่าง ๆ ได้ทั้งเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบมีสาย เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ความเร็วสูงมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถเข้าถึงได้เกือบทุกพื้นที่ สามารถ รองรับการส่งรายการโทรทัศน์ที่มีความคมชัดสูง (High Definition TV) ได้ ผู้บริโภคเริ่มเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมการรับชมโทรทัศน์ จากการรับชมโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม (เช่น โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน โทรทัศน์ ดาวเทียม เคเบิลทีวี) มาสู่การรับชมโทรทัศน์แบบ OTT TV มากยิ่งขึ้น OTT TV ได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในอุตสาหกรรมการให้บริการโทรทัศน์อย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงอาจจะมีสิ่งที่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคเป็นวงกว้าง ในอนาคตข้างหน้า ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีมีการกำกับดูแล OTT TV อย่างชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาเพื่อสร้างความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี OTT TV จะช่วยให้การกำหนดมาตรการกำกับดูแลได้อย่างเป็นรูปธรรมมาก ยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของรายงานการศึกษานี้คือ เพื่อการศึกษาทางด้านเทคโนโลยี เทคนิค และมาตรฐานของ การให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบ OTT TV ทั้งทางด้านผู้ให้บริการ เครือข่ายที่สนับสนุน และอุปกรณ์เครื่องรับ ตลอดจน Application ทางด้านผู้ชม เพื่อเป็นการสร้างความรู้ ความเข้าใจเทคโนโลยี OTT TV และสามารถ ประยุกต์ใช้สำหรับการกำกับ ดูแล และกำหนดมาตรฐานทางด้านเทคนิคสำหรับการบริการ OTT TV ต่อไป ในอนาคต

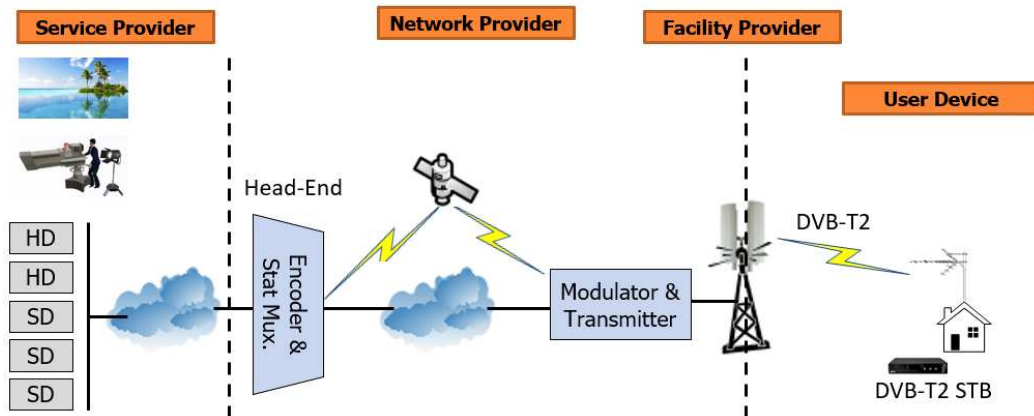
ในการกำกับดูแล OTT TV มีหลายประเด็นคำถามที่ต้องแสวงหาคำตอบในมุมมองทางเทคโนโลยี ตัวอย่างเช่น

- เทคโนโลยี OTT TV มีรูปแบบการให้บริการที่มีความแตกต่างไปจากการให้บริการโทรทัศน์แบบเดิม (ทีวีดิจิทัล ทีวีดาวเทียม และเคเบิลทีวี) อย่างไร มีการกำกับดูแลที่แตกต่างกันอย่างไรบ้าง
- การรับชมโทรทัศน์ OTT TV ใช้อุปกรณ์ในการรับชมที่หลากหลาย ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก Tablet Smartphone SmartTV Set-top-box HDMI-Dongle มีหลายอุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับการใช้งานทั่วไป แต่ถูกนำมาใช้ในการดูรายการโทรทัศน์ จะมีระดับการกำกับดูแลที่เหมาะสมอย่างไร เพื่อไม่ให้กระทบกับการใช้งานโดยทั่วไปของอุปกรณ์เหล่านั้น รวมถึงการกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์รับชม
- มีกลไกในการควบคุมคุณภาพการให้บริการ OTT TV อย่างไร
- มีกลไกในการควบคุมการละเมิดทางลิขสิทธิ์ของเนื้อหาที่ออกรายการอย่างไร
- เนื้อหารายการบางครั้งถูกจัดเก็บและถูกส่งออกมาจากต่างประเทศ จะมีการกลไกการกำกับดูแลเนื้อหารายการที่ไม่เหมาะสมและผิดกฎหมายของประเทศ ได้อย่างไร

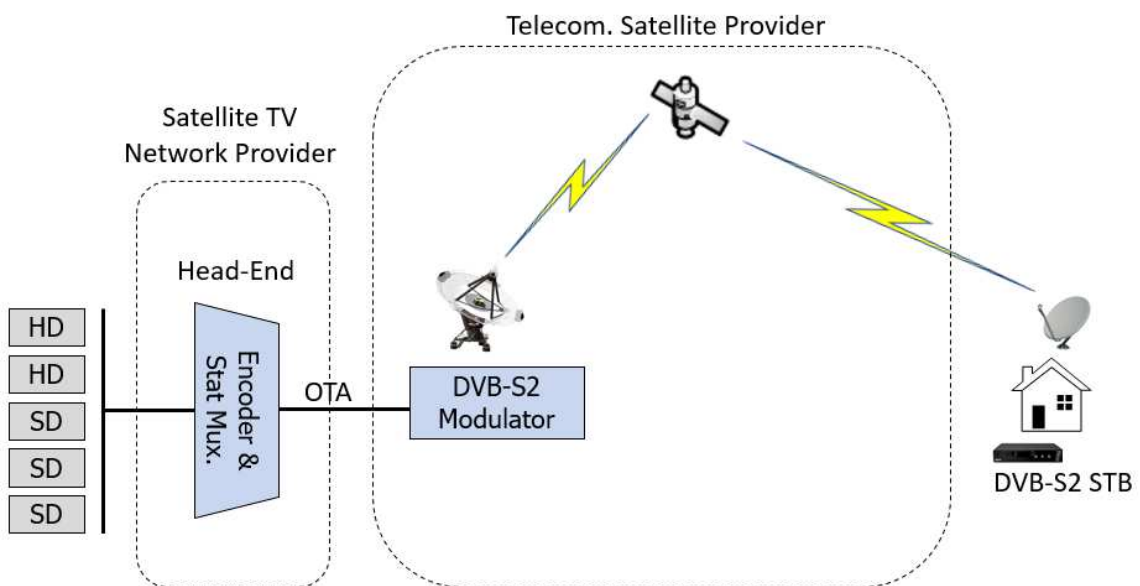
โครงสร้างและการให้บริการโทรทัศน์

การให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบดั้งเดิม (Traditional TV Service) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน มีอยู่ 4 รูปแบบหลัก (รูปที่ 1-1 ถึง 1-4) คือ

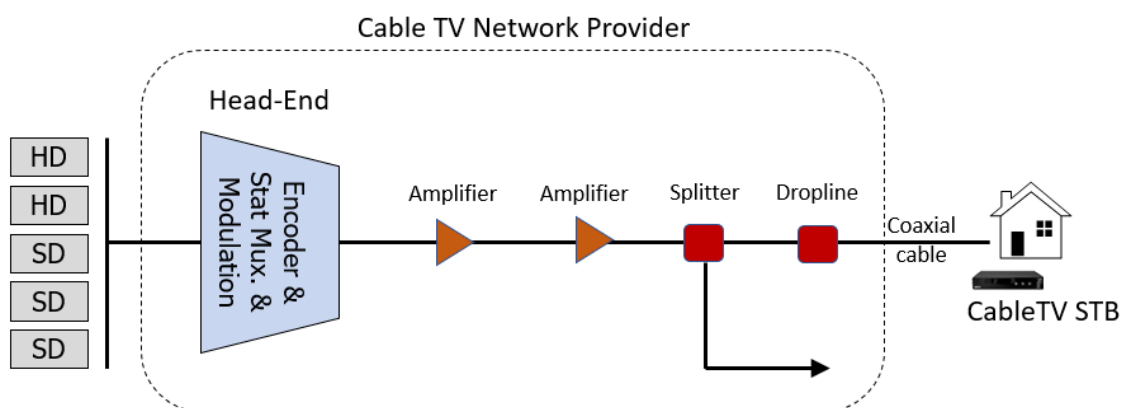
1. การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (Digital TV หรือ DTV) ตัวอย่างเทคโนโลยี เช่น DVB-T, DVB-T2, ISDB-T, ATSC 3.0 เป็นต้น
2. การให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัลผ่านดาวเทียม ตัวอย่างเทคโนโลยี เช่น DVB-S, DVB-S2
3. การให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัลผ่านเคเบิล หรือเคเบิลทีวี ตัวอย่างเทคโนโลยี เช่น DVB-C, DVB-C2, DOCSIS 3.1
4. การให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัลผ่าน IP หรือ IPTV



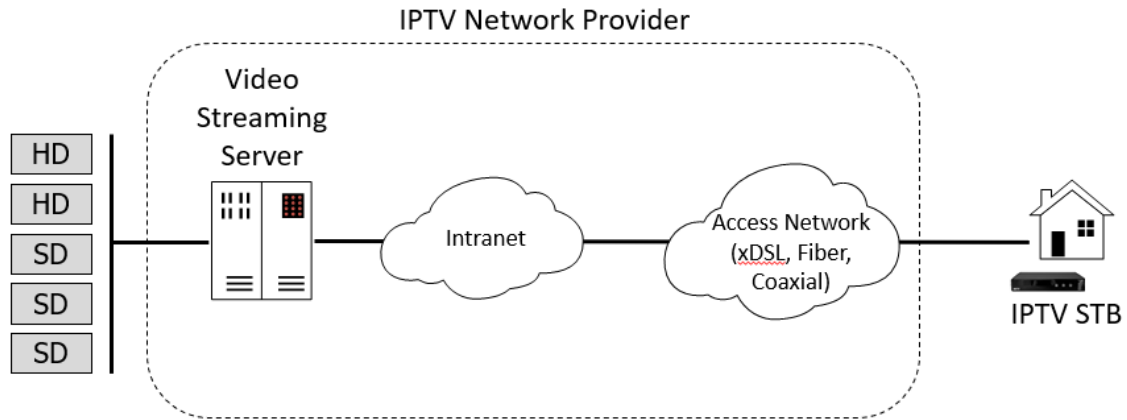
รูปที่ 1-1: โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล



รูปที่ 1-2: โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม



รูปที่ 1-3: เคเบิลทีวี

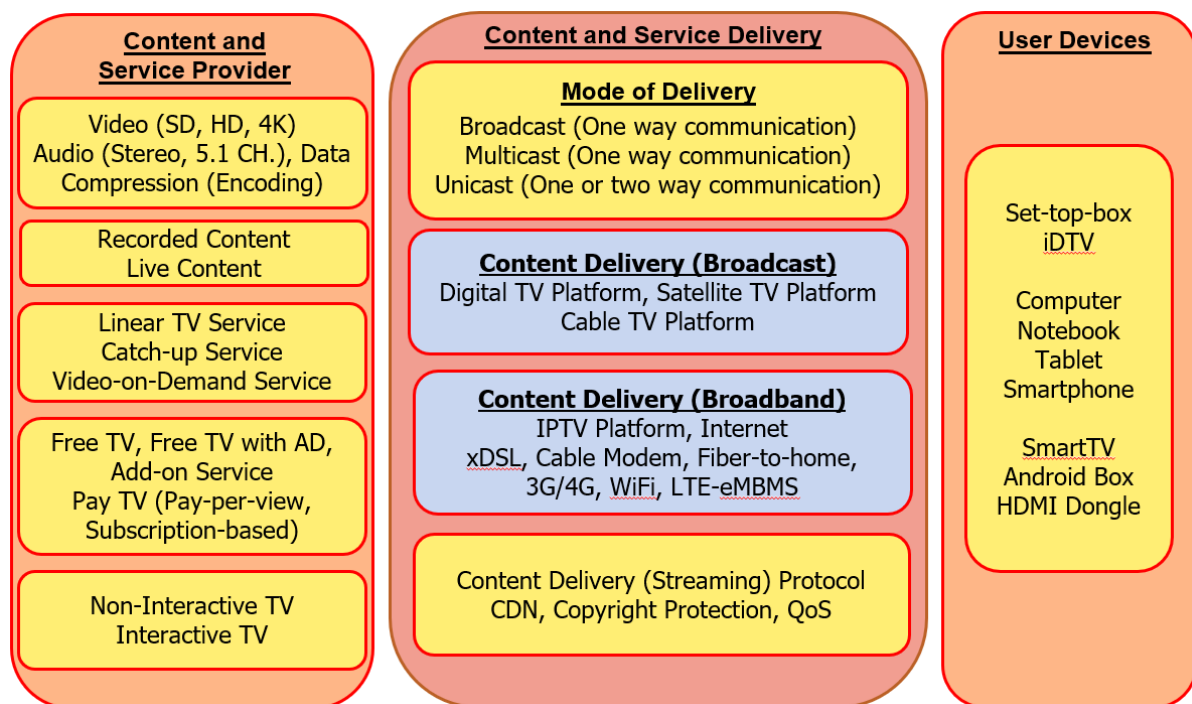


รูปที่ 1-4: โทรทัศน์ผ่าน IP

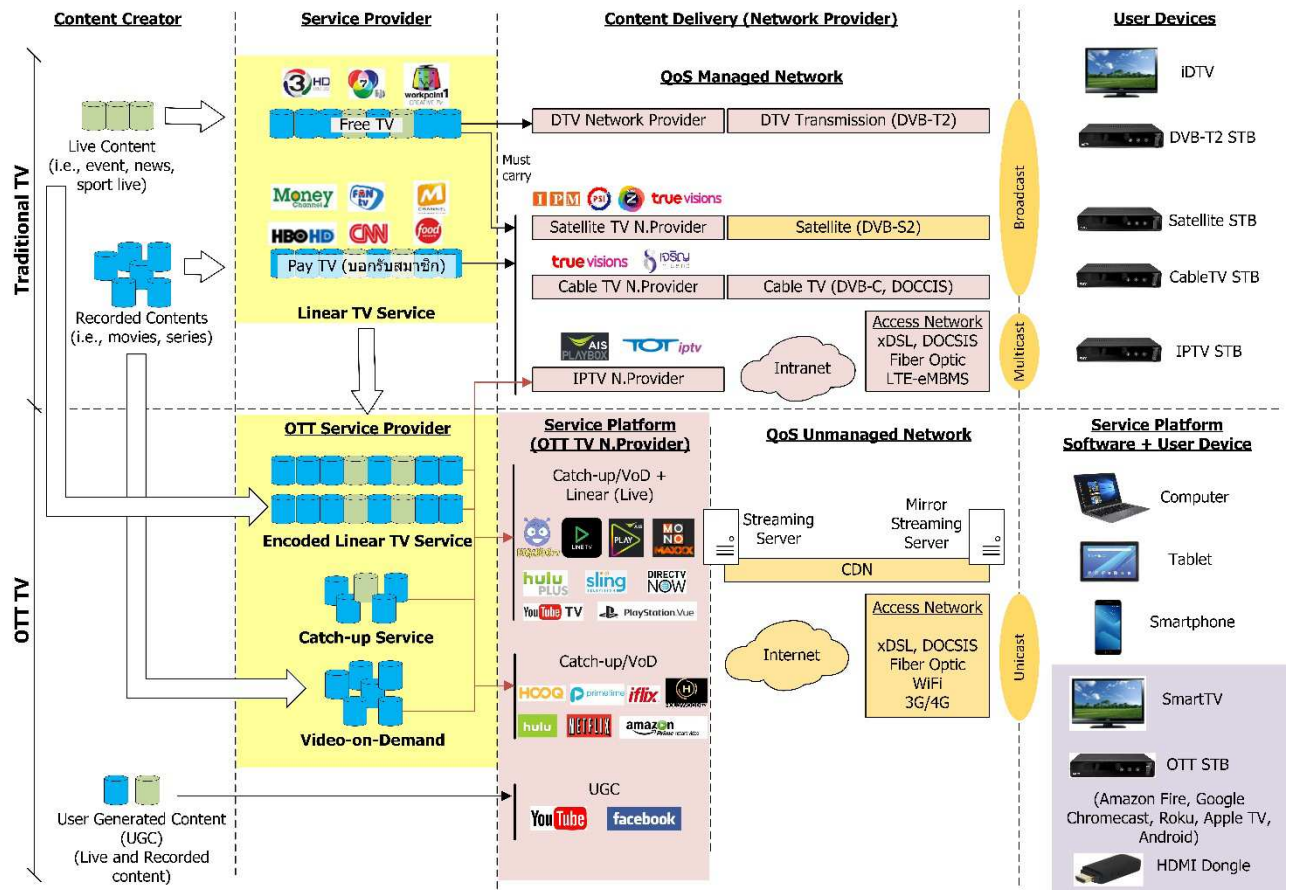
จากรูปแบบการให้บริการโทรทัศน์ทั้งสี่รูปแบบ รวมถึงการให้บริการโทรทัศน์ OTT TV สามารถสรุปเป็นภาพรวมของโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์ หรือ Television Service Chain (ดังรูปที่ 1-5) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

1. ผู้ให้บริการเนื้อหารายการและผู้ให้บริการโทรทัศน์ (Content and Service Provider) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดทำเนื้อหา การรวบรวมเนื้อหา มีประเด็นที่เกี่ยวข้อง เช่น
 - a. คุณสมบัติทางเทคนิคของ Content คุณสมบัติของ Video, Audio, Data ความละเอียดของภาพและเสียง
 - b. เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง
 - c. ลักษณะของ Content เช่น เนื้อหาที่บันทึกถาวร (Recorded Content) เนื้อหาการสด (Live Content) และ เนื้อหาที่ผู้ใช้ทั่วไปสร้างขึ้นเอง (User Generated Content) เป็นต้น
 - d. ลักษณะการให้บริการโทรทัศน์ เช่น การบริการโทรทัศน์แบบต่อเนื่อง (Linear TV Service) การให้บริการโทรทัศน์ที่ย้อนกลับมาชมใหม่ได้ (Catch-up Service) การให้บริการโทรทัศน์ตามความต้องการของผู้รับชม (Video-on-demand Service)
 - e. การให้บริการโทรทัศน์ที่เป็นการทั่วไป (Free TV) การให้บริการโทรทัศน์แบบบอกรับสมาชิก (Pay TV)
 - f. การให้บริการโทรทัศน์แบบโต้ตอบได้ (Interactive TV)
2. การเผยแพร่เนื้อหาและบริการโทรทัศน์ (Content and Service Delivery) ซึ่งเกี่ยวข้องกับผู้ใช้บริการโครงข่ายที่ใช้ในการส่งต่อและเผยแพร่เนื้อหาจากผู้ให้บริการโทรทัศน์ไปสู่ผู้รับชม มีประเด็นที่เกี่ยวข้อง เช่น

- a. รูปแบบของการส่งเนื้อหา (Mode of Delivery) เช่น Broadcast, Multicast และ Unicast ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้คลื่นในการส่งข้อมูล เทียบกับ ความยืดหยุ่นในการเลือก Content ของผู้รับชม
 - b. แพลตฟอร์มในการเผยแพร่เนื้อหา (Broadcast Platform) เป็นโครงข่ายหรือเทคโนโลยีที่ใช้การกระจายบริการโทรทัศน์ เช่น โครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (Digital TV Platform) โครงข่ายโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (Satellite TV Platform) โครงข่ายโทรทัศน์ผ่านสายเคเบิล (CableTV Platform) และ โครงข่ายโทรทัศน์ผ่าน IP (IPTV Platform)
 - c. โครงข่ายโทรคมนาคมบรอดแบนด์ (Broadband Platform) ที่ถูกนำมาใช้ในการเผยแพร่เนื้อหารายการโทรทัศน์ เช่น โครงข่ายอินเทอร์เน็ต โครงข่ายปลายทาง หรือ Access Network ที่มีหลายตัวเลือกเทคโนโลยี เช่น xDSL, Cable Modem, Fiber To Home, Wifi, 3G/4G เป็นต้น
 - d. ประเด็นอื่น ๆ เช่น โพรโตคอลของการส่งเนื้อหา (Streaming Protocol) การปกป้องลิขสิทธิ์เนื้อหา รายการ โครงข่ายการส่งผ่านเนื้อหา หรือ Content Delivery Network (CDN) และ คุณภาพการให้บริการ หรือ Quality of Service (QoS)
3. อุปกรณ์รับชมโทรทัศน์ (User Devices) ซึ่งมีอุปกรณ์ที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น Set-top-box, iDTV, SmartTV, Computer, Tablet, Smartphone, Android Box, HDMI Dongle เป็นต้น



รูปที่ 1-5: โครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์



รูปที่ 1-6: ห่วงโซ่การให้บริการโทรทัศน์

รูปที่ 1-6 แสดงรายละเอียดของห่วงโซ่การให้บริการโทรทัศน์ ซึ่งได้รวบรวมโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์แบบดั้งเดิม และการให้บริการโทรทัศน์แบบ OTT TV โดยในส่วนของ Content and Service Provider ได้มีการแบ่งย่อยออกเป็นผู้สร้างเนื้อหา (Content Creator) และ ผู้ให้บริการโทรทัศน์ (Service Provider)

ผู้สร้างเนื้อหา (Content Creator)

ผู้สร้างเนื้อหาเป็นผู้จัดทำเนื้อหา ที่อาจจะมาจาก บริษัทผู้ผลิต Content สตูดิโอภาพยนตร์ หรือแม้กระทั่งวิดีโอที่สร้างจากผู้ใช้ทั่วไป หรือที่เรียกว่า User Generated Content (UGC) เนื้อหาที่ถูกสร้างขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

- 1) เนื้อหาบันทึกล่วงหน้า (Recorded Content) เป็นเนื้อหาที่ผ่านกระบวนการถ่ายทำ (Production) กระบวนการตกแต่ง ตัดต่อ เพิ่มเติมกราฟิกเนื้อหา (Post Production) เพื่อให้เป็นเนื้อหาที่พร้อมที่จะเผยแพร่ออกอากาศได้ ตัวอย่างเช่น ภาพยนตร์ ละคร สารคดี เกมสโว์ มิวสิควิดีโอ เป็นต้น

- 2) เนื้อหาแสดงสด (Live Content) เป็นเนื้อหาที่ถูกผลิตและออกอากาศ ณ ปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การถ่ายทอดสดกีฬา รายการข่าว การถ่ายทอดสดเหตุการณ์หรือพิธีต่าง ๆ การถ่ายทอดสดผ่าน Facebook Live เป็นต้น

ผู้ให้บริการโทรทัศน์ (Service Provider)

ลักษณะการให้บริการโทรทัศน์จะแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบตามลักษณะของการถ่ายทอดเนื้อหา คือ

- 1) การให้บริการโทรทัศน์แบบ Linear หรือ Linear TV รูปแบบนี้เป็นการให้บริการโทรทัศน์เป็นช่องรายการที่พบเห็นได้อยู่ทั่วไป เช่น ผู้ให้บริการโทรทัศน์ที่เป็นการทั่วไป (Free TV) ผู้ให้บริการโทรทัศน์แบบบอกรับสมาชิก (Pay TV) เป็นต้น ซึ่งเผยแพร่ออกอากาศในหลาย Platform เช่น โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เคเบิลทีวี เป็นต้น ผู้ให้บริการโทรทัศน์เป็นผู้จัดทำผังรายการแบบ 24/7 หรือตลอดทั้งวันและทุกวันโดยทำการรวบรวมเนื้อหารายการที่เป็นทั้งแบบบันทึกล่วงหน้า และแบบแสดงสด และให้บริการโทรทัศน์แบบต่อเนื่องตามตารางที่กำหนดไว้ล่วงหน้าตลอดทั้งวัน การให้บริการโทรทัศน์แบบ Linear ยังมีการแปรผันรูปแบบการให้บริการออกเป็น การให้บริการโทรทัศน์แบบ Time Shift คือ ผู้รับชมโทรทัศน์สามารถที่จะหยุดรายการที่กำลังชมอยู่ แล้วสามารถกลับมาดูต่อได้หรือย้อนดูรายการได้ โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์เฉพาะที่สามารถบันทึกรายการอย่างต่อเนื่อง โดยขณะที่ผู้ชมหยุดรายการ รายการปกติในช่องรายการโทรทัศน์ก็ยังคงดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่องไม่มีหยุด อีกการแปรผันรูปแบบการให้บริการคือ การให้บริการโทรทัศน์แบบบอกรับสมาชิก แบบ Pay-per-view ที่ผู้รับชมสามารถเลือกรายการที่กำลังถูกนำเสนอให้รับชมได้ ซึ่งรายการอาจจะเป็นภาพยนตร์ การถ่ายทอดสดกีฬา หรืออื่น ๆ รายการที่ให้เลือกรับชมนั้นจะมีการออกอากาศพร้อมกันในหลายๆ ช่องโทรทัศน์ แต่มีการเริ่มต้นรายการห่างกันประมาณ 15 นาทีในแต่ละช่องโทรทัศน์ ถ้าผู้ชมพลาดการรับชมตั้งแต่เริ่มต้น ก็อาจจะต้องรอไปอีกไม่เกิน 15 นาทีในช่องอื่น เพื่อรอรับชมตอนเริ่มต้นของรายการที่ต้องการได้ การให้บริการโทรทัศน์แบบ Pay-per-view นี้ ยังถือว่าเป็นการให้บริการโทรทัศน์แบบ Linear รูปแบบหนึ่ง
- 2) การให้บริการโทรทัศน์แบบ Non-Linear หรือ Video-on-Demand (VoD) ผู้รับชมสามารถเลือกรับชมเนื้อหารายการจาก คลังเนื้อหา ได้อย่างอิสระตามความต้องการ เวลาไหนก็ได้ คลังเนื้อหาเป็นลักษณะของดิจิทัลไฟล์ที่ถูกจัดเก็บอยู่บน Content Storage Server หรืออาจจะอยู่บน Cloud Storage ก็ได้ การให้บริการโทรทัศน์แบบย้อนหลัง หรือ Catch-up Service คือการบันทึกเนื้อหาที่มาจากรายการโทรทัศน์แบบ Linear ที่ออกอากาศไปแล้วมาตัดแบ่งและจัดเก็บในรูปแบบของดิจิทัลไฟล์เนื้อหาเก็บบน Content Storage Server ผู้รับชมสามารถชมรายการย้อนหลังได้โดยเลือกไฟล์ในคลังเนื้อหาได้ตามความต้องการ การให้บริการ

Catch-up ถือว่ายังเป็นการให้บริการโทรทัศน์แบบ VoD รูปแบบหนึ่ง การรับชมโทรทัศน์แบบ VoD คือ ผู้รับชมทำการเลือกเนื้อหาที่ต้องการชมจาก Content Server และเมื่อเลือกแล้วก็เนื้อหาจะถูกส่งผ่านโครงข่ายมาสู่ผู้รับชม การให้บริการโทรทัศน์แบบ VoD จึงจำเป็นต้องการใช้โครงข่ายที่รองรับการสื่อสารแบบสองทางซึ่งในที่นี้ก็คือ โครงข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ โครงข่าย Internet Protocol (IP) ที่พบเห็นได้ในการให้บริการโทรทัศน์ IPTV และการให้บริการโทรทัศน์ OTT TV ดังนั้น IPTV และ OTT TV มีรูปแบบการให้บริการที่คล้ายคลึงกันแต่มีบางรายละเอียดที่แตกต่างกันซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ผู้ให้บริการโครงข่าย (Network Provider)

โครงข่ายเป็นส่วนประกอบหนึ่งของการเผยแพร่และส่งต่อเนื้อหา (Content Delivery) โดยที่รับเนื้อหารายการจาก Service Provider และส่งต่อไปสู่ผู้รับชมผ่าน Content Delivery Platform โครงข่ายโทรทัศน์สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะของเทคโนโลยี คือ

- 1) โครงข่ายโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี Broadcast ตัวอย่างเช่น โครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โครงข่ายโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม และโครงข่ายโทรทัศน์เคเบิล
- 2) โครงข่ายโทรทัศน์ด้วยเทคโนโลยี Broadband เป็นโครงข่ายที่อยู่บนพื้นฐานของ Internet Protocol (IP) ตัวอย่างเช่น IPTV บนโครงข่าย IP และ OTT TV บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ความจริงแล้วทั้งโครงข่าย IP และโครงข่ายอินเทอร์เน็ตมีรูปแบบและส่วนประกอบที่เหมือนกัน แตกต่างกันเพียงการบริหารจัดการ การควบคุมดูแลโครงข่าย โครงข่าย IP ที่ใช้ใน IPTV ผู้ให้บริการโทรทัศน์ IPTV มักเป็นเจ้าของโครงข่าย IP หรือ สามารถควบคุมดูแลอุปกรณ์โครงข่าย ควบคุมดูแลคุณภาพการให้บริการโครงข่ายได้ หรือที่เรียกว่า QoS Managed Network ขณะที่โครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้ใน OTT TV ผู้ให้บริการ OTT TV ไม่สามารถที่จะควบคุมอุปกรณ์ และคุณภาพการให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้โดยตรง หรือที่เรียกว่า QoS Unmanaged Network เพราะโครงข่ายอินเทอร์เน็ตถูกควบคุมการให้บริการโดย Internet Service Provider (ISP) ซึ่งคนละเจ้าของกับผู้ให้บริการ OTT TV

รูปแบบของการส่งเนื้อหา (Mode of Content Delivery)

ลักษณะการส่งสัญญาณโทรทัศน์เพื่อถ่ายทอดเนื้อหารายการมาสู่ผู้รับชม มีลักษณะการเผยแพร่เนื้อหาได้ 3 รูปแบบดังนี้

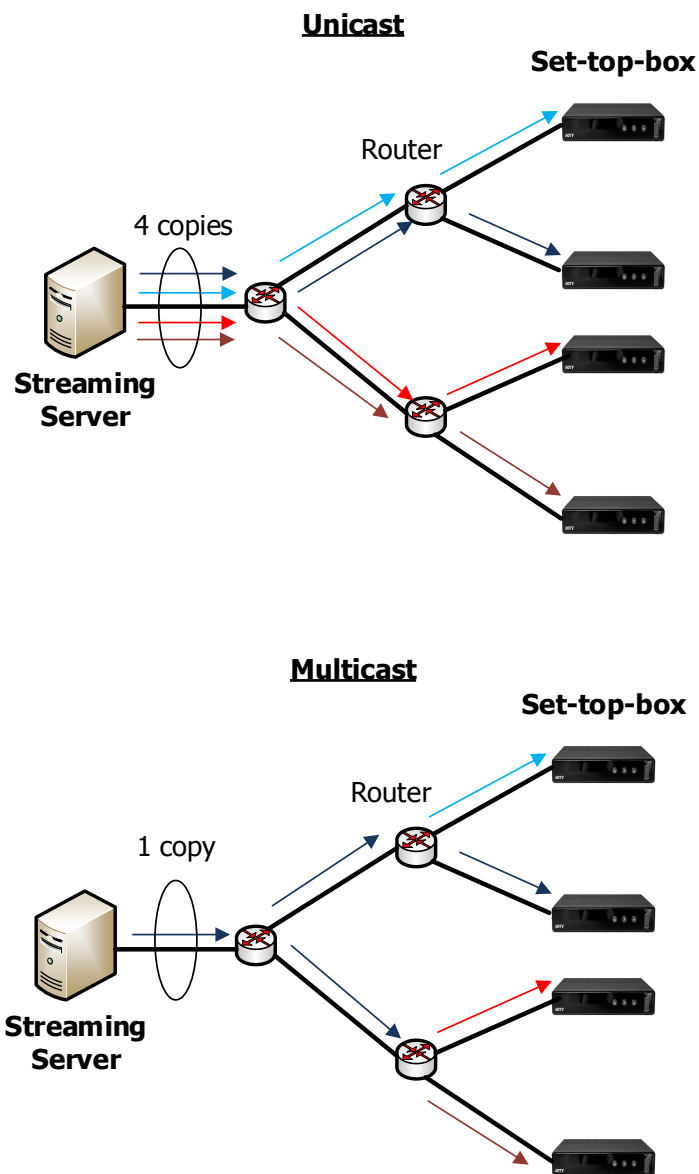
- 1) Broadcast Mode เป็นลักษณะการเผยแพร่เนื้อหาจากแหล่งกำเนิดจากแหล่งเดียวไปสู่ผู้รับทุกคน ผู้รับชมทุกคนจะได้รับข้อมูลข่าวสารที่เหมือนกัน ณ เวลาเดียวกัน จะพบเห็นได้ในโครงข่ายโทรทัศน์

ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ซึ่งเป็นการแพร่สัญญาณโทรทัศน์จากสถานีส่งแห่งเดียวไปสู่ผู้รับทุกคนในเขตพื้นที่การให้บริการ โครงข่ายโทรทัศน์ดาวเทียมเป็นการแพร่สัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมลงมาสู่ผู้รับทุกคนในวงกว้าง และโครงข่ายเคเบิลทีวีซึ่งแพร่ไปสู่ผู้รับทุกคนตามสาย การเผยแพร่แบบ Broadcast เป็นการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารที่มีประสิทธิภาพที่สุด สามารถเข้าถึงผู้รับชมได้คราวละมากๆ แต่จะมีข้อจำกัดที่ผู้รับชมไม่สามารถจะเลือกเนื้อหารายการได้ด้วยตนเองโดยเฉพาะได้ ต้องรับชมรายการไปตามผังรายการที่ทางผู้ให้บริการโทรทัศน์เป็นผู้จัดหาให้

- 2) Multicast Mode (รูปที่ 1-7) เป็นลักษณะการเผยแพร่เนื้อหาที่คล้ายกับ Broadcast คือจากแหล่งกำเนิดเดียวไปสู่กลุ่มของผู้รับชม แต่ไม่ใช่ทุกคนแบบ Broadcast Mode ทางโครงข่ายสามารถควบคุมการส่งเนื้อหาไปสู่เฉพาะกลุ่มของผู้รับชมได้ ในรูปที่ 1-7 แสดงตัวอย่างที่ผู้รับชมทั้ง 4 รายดูรายการผ่าน Set-top-box เป็นรายการสดรายการเดียวกัน จะเห็นได้ว่าเนื้อหาของรายการที่ออกมาจาก Streaming Server จะมีเพียงหนึ่งชุดเท่านั้น เนื้อหาถูกนำทางผ่าน Router ไปจนถึง Router ปลายทาง ในแต่ละ Router ระหว่างเส้นทางจะมีการสำเนาเนื้อหากระจายส่งไปสู่ผู้รับชมแต่ละราย วิธีการ Multicast เป็นการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ลดปริมาณข้อมูลที่ส่งออกมาจาก Streaming Server ต้นทางและที่ผ่านเครือข่ายได้เป็นจำนวนมาก แต่ Multicast มีข้อจำกัดคือ อุปกรณ์ Router และ Switch ทุกตัวตลอดเส้นทางตั้งแต่ Streaming Server ไปจนถึง Set-top-box ต้องรองรับคุณสมบัติ Multicast จึงจะทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นผู้ให้บริการโครงข่ายจึงต้องสามารถควบคุมอุปกรณ์ Router และ Switch ทุกตัวในเครือข่ายได้ จึงเหมาะกับโครงข่าย IP แบบ Private ซึ่งเจ้าของโครงข่ายสามารถกำหนดการกระจายเนื้อหาได้ตามต้องการแต่ไม่เหมาะกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อผ่านหลายผู้ให้บริการ หรือ ISP และแต่ละโครงข่ายถูกควบคุมดูแลโดยแต่ละ ISP แยกอิสระกัน ดังนั้นรูปแบบ Multicast Mode จึงเหมาะกับการให้บริการโทรทัศน์แบบ IPTV

- 3) Unicast Mode (รูปที่ 1-7) เป็นลักษณะการเผยแพร่เนื้อหาแบบหนึ่งต่อหนึ่ง หรือหนึ่งเนื้อหาต่อหนึ่งผู้รับชม ผู้รับชมสามารถรับชมเนื้อหาได้อย่างอิสระตามความต้องการของแต่ละคน ในรูปที่ 1-7 ผู้รับชมทั้ง 4 รายดูรายการผ่าน Set-top-box ถึงแม้จะเป็นรายการเดียวกัน แต่ข้อมูลเนื้อหาที่ถูกดึงออกมาจาก Streaming Server มีจำนวน 4 ชุดที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ แต่ละชุดถูกนำทางไปจนถึงผู้รับชมในแต่ละรายอิสระกัน Router และ Switch ทุกตัวในโครงข่ายสามารถรองรับ Unicast ได้อยู่แล้ว จึงเหมาะกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งผู้ให้บริการโทรทัศน์ไม่สามารถควบคุมดูแลอุปกรณ์เครือข่ายตลอดเส้นทางได้ จะเห็นได้ว่า Unicast มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลดีกว่า

Multicast แต่แลกมาด้วยความยุ่งยากในการให้บริการตามความต้องการของผู้รับชมได้มากกว่า ดังนั้นรูปแบบ Unicast Mode จึงเหมาะกับการให้บริการโทรทัศน์แบบ OTT TV

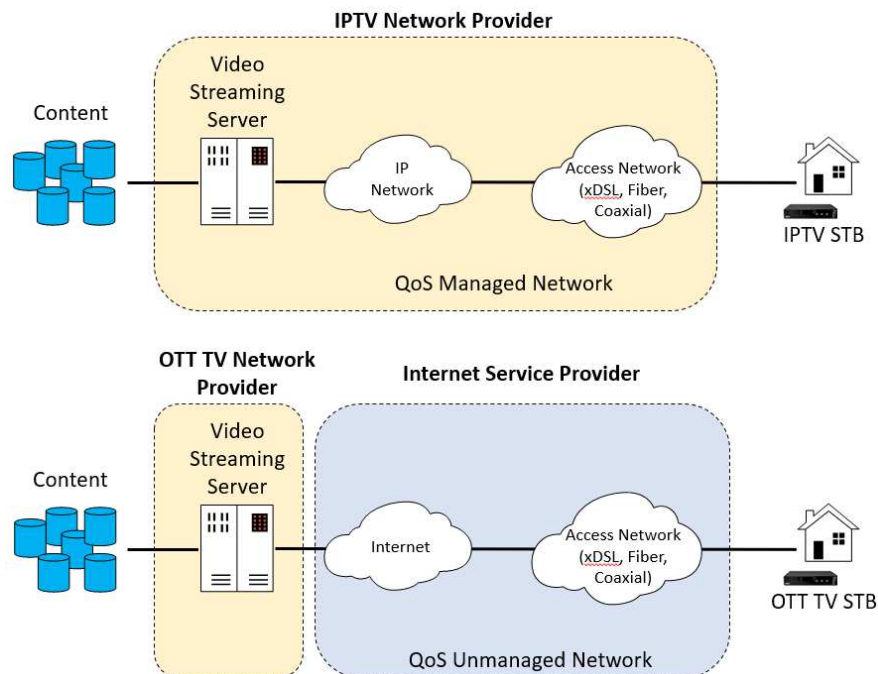


รูปที่ 1-7: Unicast และ Multicast

ความแตกต่างระหว่าง IPTV และ OTT TV

จากรูปโครงสร้างเครือข่าย IPTV และ OTT TV ตามรูปที่ 1-8 มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันที่ IPTV ใช้เครือข่าย IP ที่ตนเองเป็นเจ้าของ ดังนั้นผู้ให้บริการ IPTV จึงสามารถควบคุมคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายได้โดยตรง หรือที่เรียกว่า QoS Managed Network ขณะที่ OTT TV ใช้เครือข่าย IP เช่นเดียวกันแต่เป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ดำเนินการโดย Internet Service Provider (ISP) ที่ผู้ให้บริการ

OTT TV ไม่สามารถไปควบคุมคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายได้โดยตรง หรือเรียกอีกอย่างว่า QoS Unmanaged Network ตารางที่ 1-1 เป็นตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติและการให้บริการของ IPTV และ OTT TV



รูปที่ 1-8: โครงสร้างเครือข่าย IPTV และ OTT TV

ตารางที่ 1-1: การเปรียบเทียบระหว่าง OTT TV และ IPTV

หัวข้อ	OTT TV	IPTV
การส่งเนื้อหา (Content Delivery)	ใช้โครงข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นโครงข่ายเปิดและเป็นแบบ QoS Unmanaged Network	ใช้โครงข่าย IP โดยเฉพาะ เป็นโครงข่ายปิดและเป็นแบบ QoS Managed Network
คุณภาพของการให้บริการ Quality of Service (QoS)	เป็นการให้บริการคุณภาพที่ดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ (Best Effort) โดยไม่มีการรับรองคุณภาพการให้บริการ	ควบคุมคุณภาพสูงตามที่กำหนดได้ผ่านการควบคุมคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย
โปรโตคอลการส่งเนื้อหา	HTTP over TCP, Adaptive Streaming Protocol เช่น Adobe HDS, Apple HLS, Microsoft Smooth Streaming	ใช้เทคโนโลยี Transport Stream (TS) ใช้ Realtime Streaming Protocol (RTP) over UDP
Content Delivery Mode	Unicast (ผ่าน HTTP) และ Simulated Multicast (ผ่าน UDP/TCP)	Multicast ในการ Streaming เนื้อหา และมีการใช้ Unicast ในขั้นตอนการเปลี่ยนช่องรายการ
ผู้เล่่นด้าน Platform ที่เกี่ยวข้อง	Cloud Service Provider สำหรับการจัดเก็บเนื้อหา และการ encoding ตัวอย่างเช่น Amazon Content Delivery Network (CDN) สำหรับปรับปรุงคุณภาพในการส่งเนื้อหาจากต้นทางไปสู่ปลายทาง เช่น Akamai, Limelight Online Video Platform (OVP) เช่น Brightcove,	Telecom Service Provider Ericsson Mediaroom CISCO

	Kaltura	
ตัวอย่างบริการ	Youtube, Netflix, Amazon Prime, Hulu, iFlix	AIS Playbox TOT IPTV
ข้อเด่น ข้อด้อย	ค่าใช้จ่ายต่ำ มีความยืดหยุ่น มีความซับซ้อนต่ำในการบริหารจัดการและการดำเนินการ	ค่าใช้จ่ายสูง คุณภาพสูง สามารถควบคุมการให้บริการได้ มีความซับซ้อนสูงในการดำเนินการ

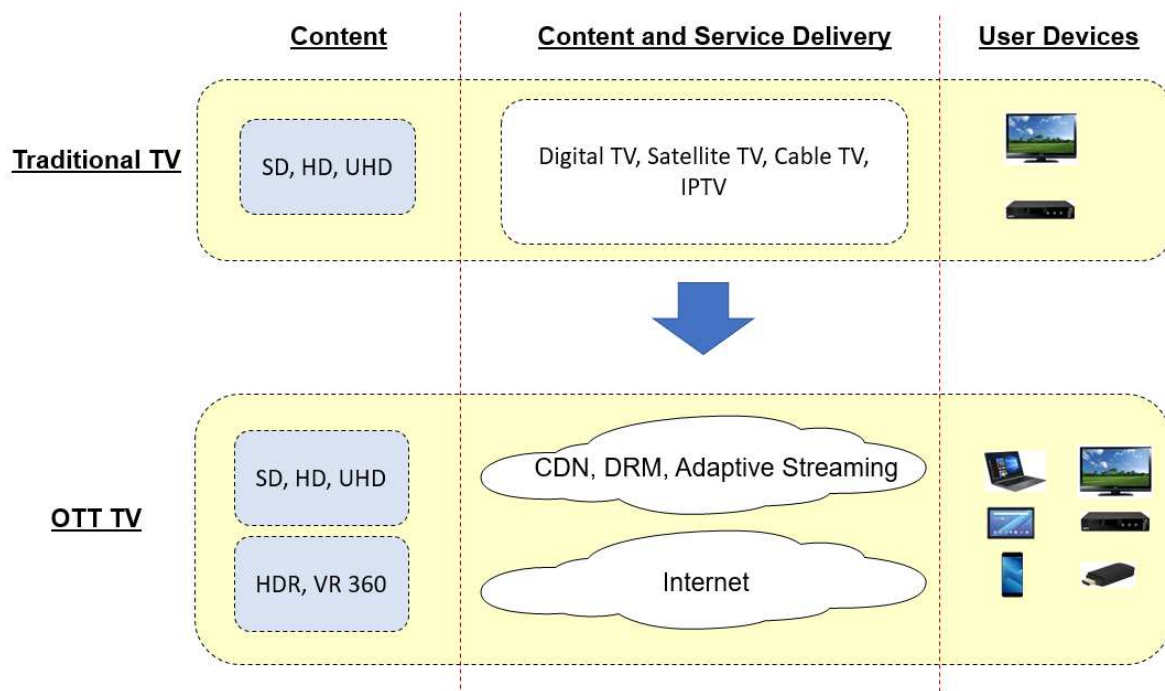
ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการบริการและการรับชมโทรทัศน์ในปัจจุบันและอนาคต

1. การรับชมของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงจากการรับชมโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม (เช่น โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โทรทัศน์ดาวเทียม โทรทัศน์เคเบิล) ซึ่งเป็นการรับชมผ่านโทรทัศน์โดยตรง หรือผ่านกล่องรับสัญญาณ และเนื้อหาโทรทัศน์เป็นแบบ Linear TV ซึ่งใช้เนื้อหาเดียวแต่กระจายสู่ผู้รับชมจำนวนมาก มาสู่การรับชมโทรทัศน์แบบ OTT TV ที่ผู้บริโภคสามารถเลือกช่องทางการรับชมที่หลากหลาย (เช่น คอมพิวเตอร์ Tablet Smartphone รวมถึง SmartTV) และ เนื้อหาที่สามารถเลือกรับชมได้อย่างอิสระตามความต้องการของแต่ละบุคคล (เช่น Catch-up TV Video-on-Demand)
2. ในช่วงแรกมีการมองกันว่า OTT TV เป็นบริการเสริมของการให้บริการโทรทัศน์รูปแบบเดิม เห็นได้บางครั้งมีการเรียกขาน OTT TV ว่าเป็น Second Screen (หรือจอรับชมที่สอง) บ้าง แต่เมื่อผู้บริโภคได้ใช้เวลาในการดูรายการโทรทัศน์ผ่าน OTT TV มากยิ่งขึ้น เริ่มไปทดแทนการชมรายการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม โดยเฉพาะในกลุ่มวัยเด็กรุ่นใหม่ที่ได้สัมผัสการรับชม OTT TV ตั้งแต่วัยเด็ก ก็มีแนวโน้มสูงที่ OTT TV จะกลายเป็นช่องทางการรับชมโทรทัศน์หลักของเขาได้ แต่เมื่อพิจารณาลงรายละเอียดลงไป ถึงแม้ว่า OTT TV จะให้ความสะดวกในการเข้าถึงเนื้อหา ได้ทุกที่ ทุกเวลา ผ่าน Tablet หรือ Smartphone นั้น แต่เมื่อผู้บริโภคกลับมาที่บ้านความต้องการในการรับชมผ่านจอโทรทัศน์ปกติยังคงมีอยู่ เห็นได้จากความต้องการการรับชมผ่าน SmartTV หรือ การรับชมผ่าน TV ที่ต่อพ่วงด้วย OTT TV Android Box หรือการรับชมผ่าน OTT TV Application ที่ได้เพิ่มคุณสมบัติการส่งต่อภาพและเสียง (Video Casting) จาก Smartphone ขึ้นโทรทัศน์จอใหญ่ได้ ผ่านอุปกรณ์เช่น Google Chromecast เป็นต้น จะเห็นได้ว่า OTT TV ยังคงมีความต้องการการรับชมโทรทัศน์ผ่านจอใหญ่เหมือนกับการรับชมโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม แต่ได้เพิ่มเติมช่องทางการรับชมด้วยวิธีอื่น ๆ อีกมาก และสามารถกำหนดเนื้อหาที่สามารถเลือกชมได้เอง โดยไม่ต้องถูกกำหนดด้วยผังรายการแบบใน Linear TV
3. มีสิ่งหนึ่งที่ OTT TV ยังไม่สามารถที่จะทดแทนการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมได้อย่างเต็มรูปแบบคือ การรับชมรายการโทรทัศน์แบบถ่ายทอดสด หรือ Live Linear TV ถึงแม้ว่าจะมีการถ่ายทอดโทรทัศน์เป็นช่องรายการใน OTT TV ที่ปัจจุบันสามารถรับชมได้อยู่แล้ว แต่ OTT TV ยังมี

Delay ของเนื้อหารายการเมื่อนับเวลาจากรายการต้นทางมาสู่การรับชมบน OTT TV ซึ่งใช้เวลายาวนานถึง 30-60 วินาที เมื่อเทียบกับการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมที่มี Delay อยู่ประมาณ 5 วินาที การที่ OTT TV มี Delay สูงจึงมีผลกระทบต่อการรับชมรายการประเภทรายการสด ตัวอย่างเช่น รายการกีฬา รายการที่มีการประกาศผลการตัดสิน รายการหุ้น รายการสดทางธุรกิจ รายการถ่ายทอดสดเหตุการณ์สำคัญ รายการถ่ายทอดสดภัยธรรมชาติ รายการที่ต้องมีการโต้ตอบ (Interactive TV) ผ่าน Social Media เป็นต้น ซึ่งจะมีผลกระทบมากน้อยแตกต่างกันไป ปัจจุบันถือว่าเป็นความท้าทายทางเทคนิคอยู่มากที่จะทำให้ระยะเวลา Delay ของ OTT TV อย่างน้อยไปสู่ระดับเทียบเคียงได้กับการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมที่ประมาณ 5 วินาที ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมของ OTT TV ได้กำลังดำเนินการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ไปแก้ไขโจทย์ที่ท้าทายนี้

4. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทางด้านเทคนิคด้านโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมกับ OTT TV ตามรูปที่ 1-9 จะเห็นได้ว่าการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม ในแต่ละส่วนของโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์นั้น ทั้งส่วนของเนื้อหา (Content) การส่งผ่านเนื้อหา (Content Delivery) และอุปกรณ์การรับชมเนื้อหา (User Device) มีชุดของมาตรฐานทางเทคนิคที่ชัดเจนและมีตัวเลือกที่มีจำนวนจำกัดที่จะสามารถกำหนดเฉพาะเจาะจงลงไปได้ ตัวอย่างเช่น ในส่วนของอุปกรณ์การรับชมสามารถกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์รับชมของ iDTV และ Set-top-box ได้ ในส่วนของ การส่งผ่านเนื้อหาสามารถกำหนดมาตรฐานของการส่ง ว่าจะเป็น DVB-T2 หรืออื่นๆ ได้ ส่วนของเนื้อหา ก็จะสามารถระบุตัวเลือกว่าเป็นความคมชัดระดับใด เสียงในรูปแบบใด การบีบอัดภาพและเสียงอย่างไร เป็นต้น จะเห็นได้ว่ามีตัวเลือกในการรับชมที่ชัดเจน เป็นการรับชมโทรทัศน์ในแบบเดียวกัน ในทิศทางเดียวกันทั้งประเทศ ดังนั้นในมุมมองขององค์กรกำกับดูแลจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคทั้งภาครับ ภาคส่ง เนื้อหา ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้ใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะแตกต่างอย่างสิ้นเชิงใน OTT TV เนื่องจาก OTT TV ไปตอบสนองความต้องการในระดับของปัจเจกบุคคลที่มีความต้องการหลากหลาย ในส่วนการรับชมเนื้อหา OTT TV มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับชมมากมาย โดยมีเทคโนโลยีรองรับที่แตกต่างกันอย่างมากในแต่ละรูปแบบ ในส่วนของการส่งเนื้อหาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ที่ต้องมีโครงสร้างของ CDN การเข้ารหัสเนื้อหารายการ DRM และรูปแบบส่งผ่านข้อมูลที่มีความหลากหลาย ไม่สามารถกำหนดใช้เป็นมาตรฐานอันใดอันหนึ่งที่เฉพาะเจาะจงได้ เพราะแต่ละเทคโนโลยีที่เลือกใช้ใน CDN หรือ DRM ก็มีความหลากหลายตามความสามารถ ตามผลตอบแทนในโมเดลทางธุรกิจที่แตกต่างกัน ในส่วนของเนื้อหานอกจากจะเกี่ยวข้องกับด้านคุณภาพความคมชัดของภาพและเสียงแล้ว ยังมีเนื้อหาในรูปแบบใหม่ๆ เช่น Virtual Reality (VR) เนื้อหาแบบ 360 องศา เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีภายใน OTT TV มีการ

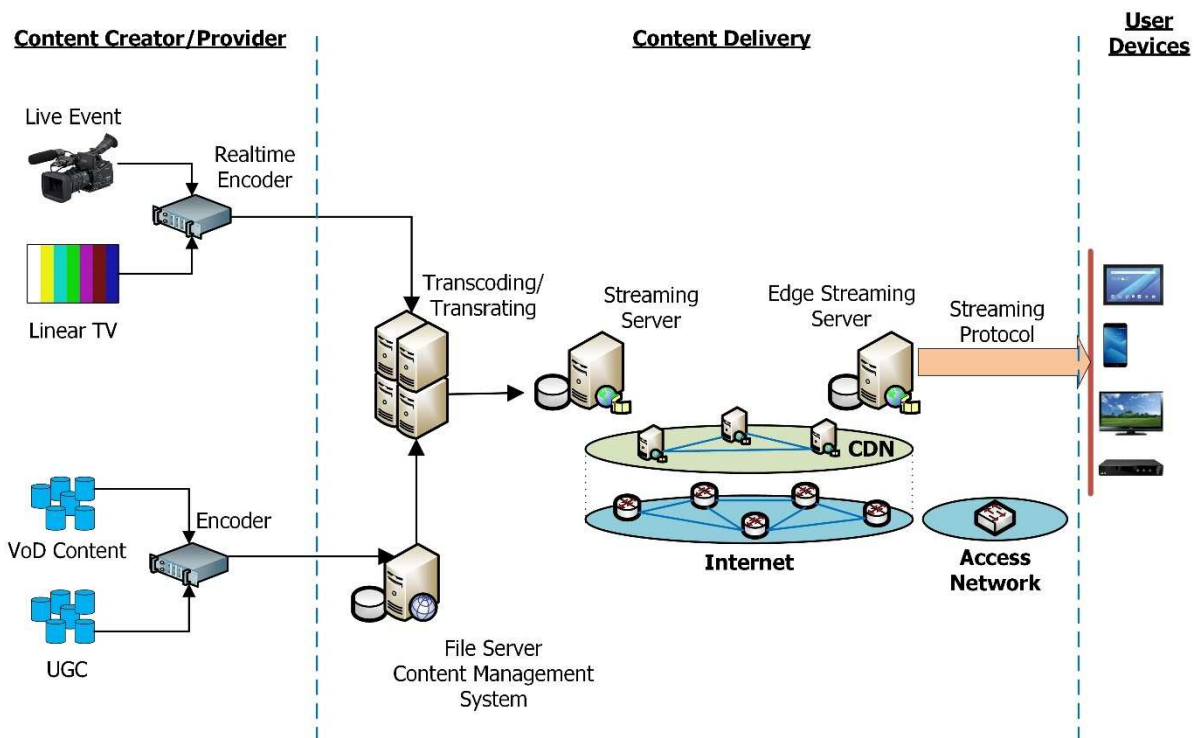
พัฒนามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่ตลอดเวลา เป็นการยากที่จะกำหนดเป็นมาตรฐานหรือเจาะจงเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งเป็นการเฉพาะ ถ้าไปกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคที่ตายตัวจะไปสร้างผลกระทบ ไปจำกัดความคิดสร้างสรรค์นวัตกรรม (Innovation) ของการให้บริการ OTT TV หรือไปกระทบเรื่องโมเดลทางธุรกิจที่อาจจะไม่สอดคล้องกับการให้บริการจริงและอื่น ๆ อีกมาก ดังนั้นการกำกับดูแลโดยการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคใน OTT TV ให้เป็นแบบเดียวที่ใช้ในการกำกับดูแลมาตรฐานทางเทคนิคของโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม อาจจะไม่มีประสิทธิภาพที่ดีพอ



รูปที่ 1-9: จากโครงสร้างโทรทัศน์แบบดั้งเดิม มาสู่ โครงสร้างโทรทัศน์แบบ OTT TV

บทที่ 2 โครงสร้าง OTT TV และการให้บริการ

ในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างของ OTT TV ในรายละเอียด รูปแบบในการดำเนินการ (Implementation) ของ OTT TV รวมถึงตัวอย่างของการให้บริการ OTT TV รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้าง OTT TV ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ 1) ส่วนของ Content จากผู้ให้บริการเนื้อหารายการ 2) ส่วนของการเผยแพร่เนื้อหารายการ (Content Delivery) และ 3) ส่วนของอุปกรณ์ผู้รับชม



รูปที่ 2-1: โครงสร้างระบบ OTT TV

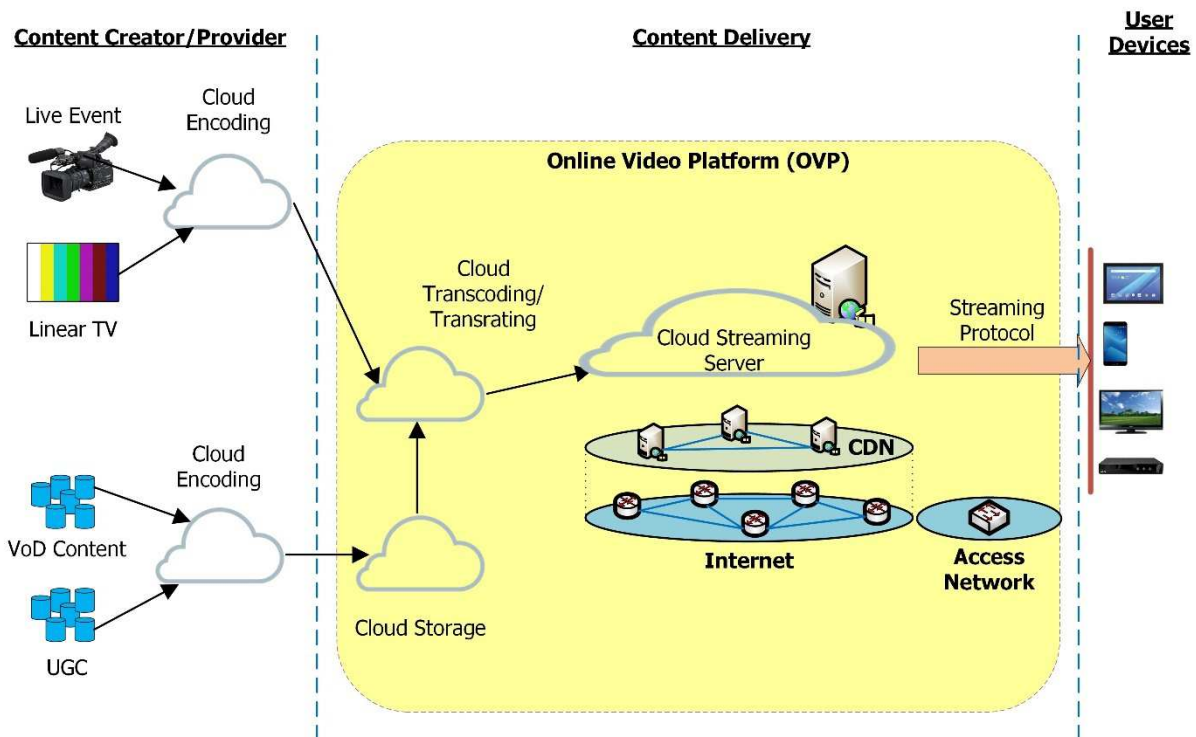
ในส่วนเนื้อหาของ Content Provider เนื้อหาจะประกอบด้วยภาพ เสียง และ ข้อมูล (Video, Audio, Data) เนื้อหาจากหลายแหล่งที่มา เช่น เนื้อหาจากการบันทึกรายการสด (Live) เนื้อหาของรายการโทรทัศน์แบบ Linear เนื้อหารายการที่มาจากบันทึกจัดเก็บล่วงหน้าเช่น ภาพยนตร์ ละคร เกมโชว์ สกู๊ปต่าง ๆ หรือ เนื้อหาที่ถูกสร้างโดยผู้ใช้ทั่วไป (User Generated Content, UGC) เนื้อหาเหล่านี้ที่ผ่านกระบวนการถ่ายทำ หรือ จากกล้องวิดีโอมานั้น เป็นข้อมูลภาพและเสียงที่ยังไม่ถูกบีบอัด (Uncompressed Video and Audio) จึงมีขนาดของข้อมูลขนาดใหญ่ หรือ มี Data Rate สูง จึงมีความต้องการ Bandwidth หรือความเร็วของระบบส่งข้อมูลสูงเพื่อให้รองรับระดับของ Data Rate ที่สูงของข้อมูลได้ ดังนั้น Uncompressed Video and Audio จึงไม่เหมาะแก่การส่งต่อเพื่อใช้ในการกระจายเนื้อหา จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูล หรือ Compression หรือ Encoding เพื่อลดขนาดของข้อมูลแต่ยังคงคุณภาพของภาพและเสียงที่ดีได้ กระบวนการบีบอัดข้อมูลจะมีการกล่าวถึงในรายละเอียดในบทถัดไป

เนื้อหาที่เป็นประเภท Live Content หรือ จากโทรทัศน์ Linear ถูกบีบอัดด้วยอุปกรณ์ Realtime Encoder และส่งต่อข้อมูลเป็น Stream ไปสู่ Content Delivery Platform ต่อไป เนื้อหาประเภท Video-on-demand จะถูกบีบอัดและจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์วิดีโอ ไฟล์วิดีโอจะถูกส่งไปจัดเก็บที่ระบบบริหารจัดการเนื้อหา (Content Management System, CMS) ในส่วนของ Content Delivery Platform การจัดเก็บไฟล์อาจจะเก็บใน File Storage Server ของผู้ให้บริการโครงข่าย OTT TV เองหรือจัดเก็บไฟล์ใน Cloud Storage ของผู้ให้บริการ Cloud ซึ่งให้บริการในรูปแบบ Platform as a Service (PaaS)

ในส่วนของ Content Delivery Platform เนื้อหาทั้งจากส่วนของ Live Content และ VoD จะถูกบีบอัดอีกครั้งผ่านกระบวนการ Transcoding เพื่อให้ได้ ไฟล์ Format ที่มี Bit Rate และ ความละเอียดภาพ (Resolution) เหมาะสมกับอุปกรณ์รับชมของผู้รับในแต่ละรูปแบบ (เช่น Tablet Smartphone SmartTV Set-top-box เป็นต้น) การทำ Transcoding จะใช้พารามิเตอร์แปรผันไปตามแต่ละชนิดของ Streaming Protocol ที่เลือกใช้ (เช่น Apple HLS, Microsoft Smooth Streaming, MPEG-DASH เป็นต้น) รายละเอียดเกี่ยวกับ Streaming Protocol จะถูกกล่าวในรายละเอียดในบทถัดไป หลังจากผ่าน Transcoding แล้วไฟล์เนื้อหาจะอยู่ในไฟล์รูปแบบที่พร้อมจะให้บริการและถูกจัดเก็บที่ Streaming Server ผู้รับชมสามารถเข้าถึงเนื้อหาทั้ง Live และ VoD โดยการติดต่อกับ Streaming Server ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและเรียกเนื้อหาที่ต้องการ อย่างที่ทราบกันดีว่า เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นโครงข่ายเปิดที่มีลักษณะการให้บริการแบบ Best Effort หรือให้บริการดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยไม่มีการการันตีคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service, QoS) ดังนั้น เทคโนโลยี Content Delivery Network (CDN) จึงถูกนำมาใช้ ช่วยในการเคลื่อนย้ายเนื้อหาและการบริการ Video Streaming จาก Streaming Server ที่ต้นทางของเครือข่าย นำไปสู่ Edge Streaming Server ปลายทางของเครือข่ายที่ใกล้กับผู้รับชมให้มากที่สุดซึ่งมี Bandwidth สูงและลด Delay ในการรับชมเนื้อหา เป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพของการให้บริการได้

บางผู้ให้บริการ OTT TV แทนที่จะใช้ Server ที่บริหารจัดการ (Administration) เอง แต่หันไปเลือกใช้บริการของ Cloud Storage และ Cloud Computing (ดูรูปที่ 2-2) เพื่อลดภาระของการดูแล Server ด้วยตัวเองลง การเลือกใช้บริการ Cloud มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรองรับผู้ใช้งานได้มากขึ้นและเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของการให้บริการ OTT TV บางผู้ให้บริการ OTT TV เข้าใช้บริการ Cloud แบบเหมารวมของ Online Video Platform (OVP) ซึ่งเป็นบริการ Cloud แบบ Service as a Service (SaaS) ที่รับฝากวิดีโอ (Video Hosting Service) OVP ช่วยดำเนินการและบริหารจัดการในส่วนของ Content Delivery แทนให้ทั้งหมด ผู้เช่าใช้บริการ OVP สามารถที่จะ Upload วิดีโอของตัวเองขึ้น OVP และสามารถดำเนินการปรับแต่ง การบีบอัดข้อมูล การกำหนดเป้าหมายของอุปกรณ์รับ การจัดเก็บและแสดงผลวิดีโอขึ้นเว็บ ทั้งหมดควบคุมผ่านเพียงจากหน้าเว็บเท่านั้น OVP จะช่วยบริหารจัดการ Content ให้ ดำเนินการ Transcode

ดำเนินการกับ CDN ในการส่งต่อเนื้อหาไปสู่ Streaming Server เพื่อให้ผู้ชมได้เลือกชมดูตามความต้องการ ผู้ให้บริการ OVP ที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางเช่น Youtube หรือ Vimeo ที่เป็นที่รับฝากวิดีโอ User Generated Content ผู้ให้บริการ OVP อย่าง Brightcove, Ooyala, Kaltura ที่นอกจากจะให้บริการรับฝากวิดีโอแล้วยังสามารถให้บริการในรูปแบบของแพลตฟอร์ม และแอปพลิเคชัน ซึ่งผู้เข้าใช้สามารถสร้างเป็นผู้ให้บริการ OTT TV ใน Brand ของตนเองได้ ตารางที่ 2-1, 2-2 และ 2-3 แสดงส่วนแบ่งของตลาดการให้บริการ Cloud ในรูปแบบต่าง ๆ ในประเทศไทย



รูปที่ 2-2: โครงสร้างระบบ OTT TV (ใช้บริการ Cloud Service)

ตารางที่ 2-1: สัดส่วนส่วนแบ่งตลาดของการให้บริการ Cloud แบบ Infrastructure as a Service (IaaS) ในประเทศไทย (แหล่งที่มา <https://www.datanyze.com/market-share> กันยายน 2561)

อันดับ	เทคโนโลยี	สัดส่วน
1	Google Cloud Platform	93.26%
2	Microsoft Azure	4.69%
3	CenturyLink Cloud	1.17%

ตารางที่ 2-2: สัดส่วนส่วนแบ่งตลาดของการให้บริการ Cloud แบบ Platform as a Service (PaaS) ในประเทศไทย (แหล่งที่มา <https://www.datanyze.com/market-share> กันยายน 2561)

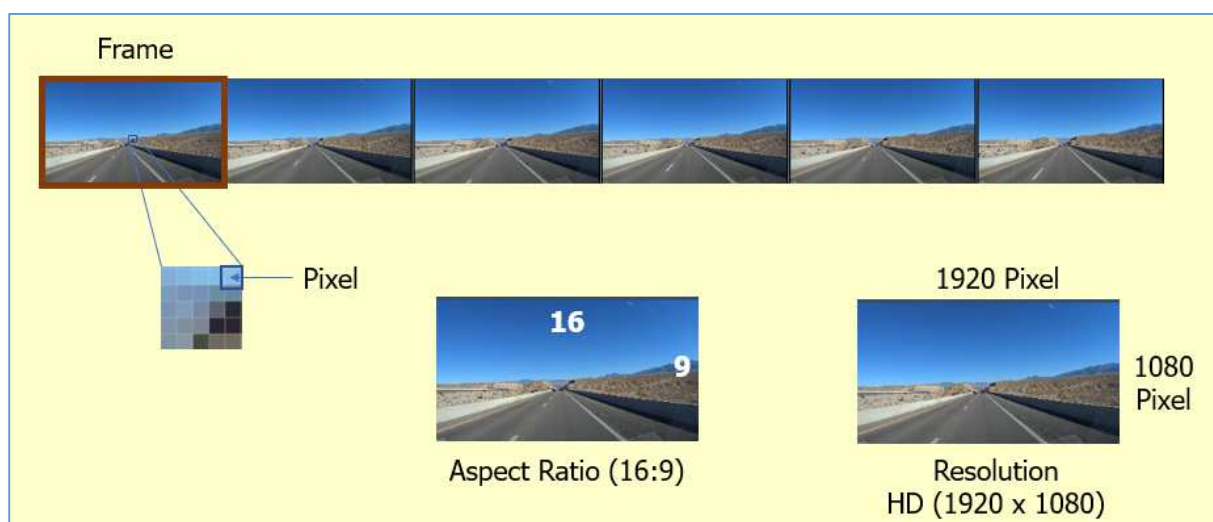
อันดับ	เทคโนโลยี	สัดส่วน
1	Google App Engine	51.76%
2	Acquia Cloud	18.82%
3	Heroku	12.94%
4	IBM Bluemix	7.06%

ตารางที่ 2-3: สัดส่วนส่วนแบ่งตลาดของการให้บริการ Online Video Platform (OVP) ในประเทศไทย (แหล่งที่มา <https://www.datanyze.com/market-share> กันยายน 2561)

อันดับ	เทคโนโลยี	สัดส่วน
1	Youtube	87.29%
2	Vimeo	5.41%
3	Flowplayer Platform	3.15%
4	JW Platform	3.13%
5	Brightcove	0.28%
6	Wistia	0.25%
7	Ooyaly	0.09%
8	Kaltura	0.08%

บทที่ 3 การบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง (Video and Audio Encoding)

บทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานของวิดีโอ และ ออดิโอ ในแง่ของไฟล์ Format Video และ Audio Codec ค่า Bitrate หลักการบีบอัดข้อมูล (Video and Audio Compression) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการถ่ายทำเนื้อหานั้นเริ่มต้นจากกล้องวิดีโอ ซึ่งทำการบันทึกภาพและเสียง ภาพวิดีโอเคลื่อนไหวจะถูกเก็บบันทึกอยู่ในรูปภาพ (Frame) (ดูรูปที่ 3-1) ต่อเนื่องกันโดยมีการบันทึกด้วยความถี่ของเฟรม หรือ Frame Rate ทำการบันทึกความเคลื่อนไหวของภาพ ค่า Frame Rate มีค่าที่หลากหลายตามตารางที่ 3-1 โดยทั่วไป Frame Rate ของวิดีโอที่มีค่าระดับตั้งแต่ 24 frame/second ขึ้นไปจะแสดงภาพเคลื่อนไหวได้อย่างต่อเนื่องไม่สะดุด อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์ที่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีความคับคั่งสูง จึงต้องทำการลด Data Rate ลง เพื่อให้สามารถแสดงภาพวิดีโอได้อย่างต่อเนื่อง วิธีหนึ่งที่ใช้ในการลด Data Rate ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการปรับลด Data Rate ด้วยวิธีอื่น ๆ คือการปรับลด Frame Rate ซึ่งต้องยอมแลกกับความต่อเนื่องของภาพเคลื่อนไหวไม่ไหลลื่นเหมือนเดิม

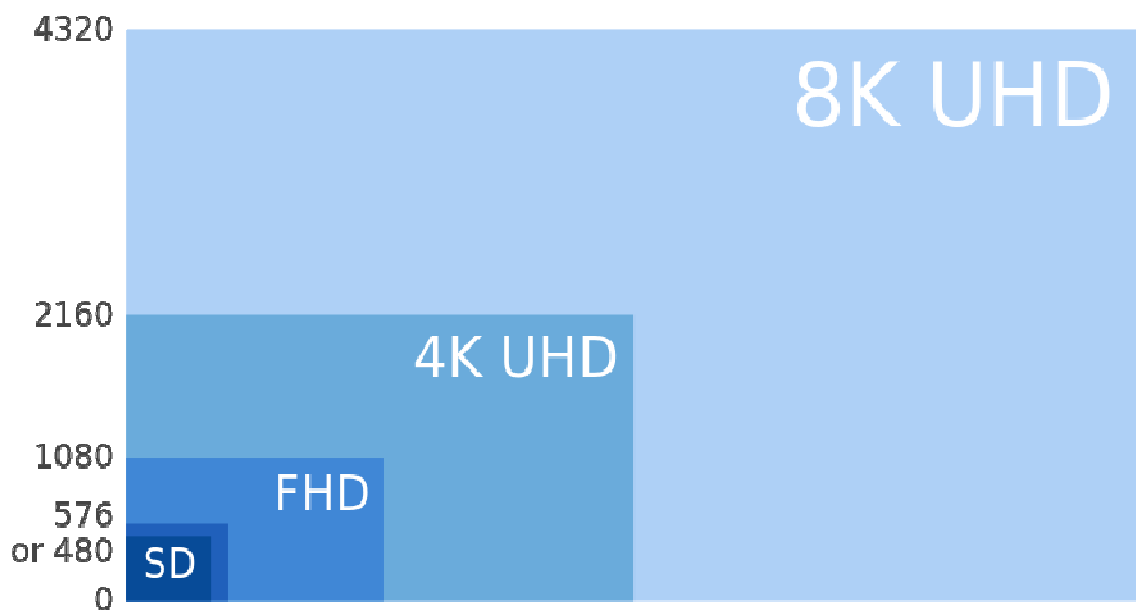


รูปที่ 3-1: ค่าคุณสมบัติของวิดีโอ

สัดส่วนของภาพ (Aspect Ratio) มีทั้งแบบ 16:9 สำหรับวิดีโอแบบความละเอียดคมชัดสูง (High Definition, HD) และ 4:3 สำหรับวิดีโอความละเอียดคมชัดมาตรฐาน (Standard Definition, SD) แต่ในระยะหลังการออกอากาศโทรทัศน์เริ่มหันไปนิยมใช้สัดส่วน 16:9 สำหรับวิดีโอความละเอียดคมชัดมาตรฐานด้วยเช่นกัน

ตาราง 3-1: ตารางค่า Frame Rate ของวิดีโอ

Frame Rate (frame/second)	Media	รายละเอียด
24	ฟิล์มภาพยนตร์	เป็นค่า frame rate ที่ใช้ในแพร่หลายในการถ่ายทำภาพยนตร์
23.976	ฟิล์มภาพยนตร์ วิดีโอที่เข้ากันได้ กับมาตรฐาน NTSC	มีค่า frame rate ที่ 99.9% (1000/1001) ของ 24 fps. นิยม ใช้ในกรณีถ่ายวิดีโอจากฟิล์มภาพยนตร์มาสู่ NTSC video
25	วิดีโอระบบ PAL	มาตรฐานวิดีโอของทางยุโรป
29.97	วิดีโอระบบ NTSC	มาตรฐานวิดีโอ NTSC
30	วิดีโอขาวดำระบบ NTSC	ในวิดีโอยุคแรกที่เป็นขาวดำของ NTSC ที่บันทึกด้วยขาวดำจะ ใช้ Frame Rate ที่ 30 fps แต่ต่อมาภายหลังที่มีการเพิ่มสีเข้าไป เป็นวิดีโอสีนั้น ได้ปรับ Frame Rate มาที่ 29.97 fps
50	วิดีโอระบบ PAL	
59.94	วิดีโอระบบ NTSC	
60	วิดีโอความละเอียดสูง (High Definition)	



รูปที่ 3-2: แสดงการเปรียบเทียบขนาดและสัดส่วนของภาพในแต่ละ Resolution (Source: ITU)

ความละเอียดของภาพ (Resolution) แสดงถึงจำนวน Pixel ในแนวนอนและแนวตั้งของภาพ (ดูรูป 3-2 และตารางที่ 3-2) ประกอบ

- Standard Definition (SD) มีความละเอียดของภาพเป็น 640x480 ในมาตรฐาน NTSC หรือ 720x576 ในมาตรฐาน PAL และ SECAM บางครั้งระบุความละเอียดของภาพเป็นเลขเดี่ยวด้านสั้นกว่าหรือเส้นแนวตั้งเช่น 720x576 ก็จะระบุเป็นตัวเลข 576 ตามด้วย i หรือ p ซึ่งระบุว่า เป็น Interlace หรือ Progressive เช่น 576i หรือ 576p เป็นต้น
- High Definition (HD) มีความละเอียดภาพเป็น 1280x720 หรือ 720p และ 1920x1080 หรือ 1080i หรือ 1080p บางครั้งบริษัทผู้ผลิตโทรทัศน์มักจะเรียกชื่อความละเอียดทั้งสองค่าให้มีความแตกต่าง เช่น 1280x720 ว่า HD ขณะที่ 1920x1080 ว่า Full HD เป็นต้น
- Ultra High Definition (UHD) มีความละเอียดเป็น 3840x2160 หรือ 2160p หรือบางครั้งเรียกว่า 4K UHD และความละเอียด 7680x4320 หรือ 4320p หรือบางครั้งเรียกว่า 8K UHD

จากรูปที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าความละเอียดของภาพสูงจะทำให้สามารถชมภาพวิดีโอได้จอภาพที่ใหญ่ได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับความละเอียดของภาพต่ำซึ่งจะชมวิดีโอจอภาพเล็กลง โดยคุณภาพในการรับชมใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าเป็นจอแสดงภาพมีขนาดเล็กอย่างใน Smart Phone ความละเอียด SD,HD,UHD อาจจะมีเห็นความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นในการส่งสัญญาณภาพจึงต้องมีการเลือกใช้ความละเอียดของภาพที่เหมาะสมกับขนาดของจอภาพที่รับชม เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ต้องส่งผ่านระบบเครือข่ายไม่ให้เกิดความจำเป็น

ค่า i หรือ p ติดท้ายด้านหลังเป็นการระบุการ Scan ภาพในแบบ Interlace Scan หรือ Progressive Scan ซึ่งเป็นสิ่งที่ติดมาตั้งแต่ในยุคของการแสดงผลในระบบแอนะล็อก Interlace Scan เป็นการ Scan เพื่อแสดงภาพตามเส้นในแนวนอนสลับกันระหว่างเส้นลำดับคี่ กับเส้นลำดับคู่ ส่วน Progressive Scan เป็นการ Scan เพื่อแสดงภาพตามเส้นในแนวนอนเป็นลำดับต่อเนื่องโดยไม่มีการแบ่งเป็นเส้นลำดับคี่หรือเส้นลำดับคู่ แต่ในยุคของการแสดงผลในระบบดิจิทัลจะเป็นแบบทั้ง Frame ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการที่ระบุ “i” หรือ “p” นั้นจะกล่าวถึง frame rate แทน เช่นในระบบ PAL “i” หมายถึง 25 frame/s และ “p” หมายถึง 50 frame/s Interlace ถ้าเป็นในระบบ NTSC “i” หมายถึง 30 frame/s (29.97 คือค่าจริงตามมาตรฐาน NTSC) สำหรับ “p” หมายถึง 60 frame/s (59.94 คือค่าจริงตามมาตรฐาน NTSC)

กล้องวิดีโอที่บันทึกภาพจะได้ภาพวิดีโอที่ยังไม่ได้ทำการบีบอัด หรือ Uncompressed Video ซึ่งจะมีปริมาณของ Data Rate ที่สูงมากจึงไม่เหมาะกับการส่งต่อเนื้อหาเหล่านี้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (ตารางที่ 3-3) ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูล หรือ การทำ Encoding ด้วย Video Codec เพื่อให้มีขนาดของข้อมูลที่เล็กลง Codec เป็นเทคโนโลยีหรือ algorithm ที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงผ่าน

กระบวนการ Encoder และขยายข้อมูลกลับในตอนรับชมหรือกระบวนการ Decoder ส่วนของ Video codec ที่เป็นที่นิยมใช้ใน OTT TV เช่น MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC, H.265/AVC, VP8, VP9, AV1 เป็นต้น

ตารางที่ 3-2: พารามิเตอร์ของวิดีโอที่มาตรฐานต่าง ๆ

	SD	SD	SD	SD
Width/scan	480i	480p	576i	576p
Frame/s	30	60	50	50
Resolution	640x480	640x480	720x576	720x576
Ratio	4:3	4:3	4:3	4:3

	HD	Full HD	Full HD	4K UHD	8K UHD
Width/scan	720p	1080i	1080p	2160p	4320p
Frame/s	50	25	50	50	50
Resolution	1280x720	1920x1080	1920x1080	3840 × 2160	7680 × 4320
Ratio	16:9	16:9	16:9	16:9	16:9

ตารางที่ 3-3: Bit Rate ของ Uncompressed Video

	SDTV	HDTV	HDTV	HDTV	4K UHD	8K UHD
Width/scan	576i	720p	1080i	1080p	2160p	4320p
Frame/s	25	50	25	50	50	50
Resolution	720x576	1280x720	1920x1080	1920x1080	3840 × 2160	7680 × 4320
Subsampling (YCbCr)	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0
Color Depth (bit/color)	8	8	8	8	8	8
Bit per pixel	12 [=8+4+0]	12	12	12	12	12
Bit Rate (Mbps)	124.42	552.96	622.08	1,244.16	5,002.56	19,906.56

Video Codec ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

- MPEG-2 เป็นมาตรฐานเก่าที่ออกมาตั้งแต่ปี 1995 กำหนดอยู่ใน MPEG-2 Part 2 และ ISO/IEC 13818-2 MPEG2 มีใช้แพร่หลายในระบบถ่ายทอดโทรทัศน์และใน DVD แต่มีการใช้น้อยมากในการ Video streaming หรือ OTT TV เพราะใช้ Bit Rate สูงกว่า H264/AVC ถึงสองเท่าตัว
- MPEG-4 เป็นมาตรฐานที่กำหนดอยู่ใน MPEG-4 Part 2 และ ISO/IEC 14496-2 เป็น codec ที่ให้ค่า Bit rate ที่สูงกว่า H264/AVC ประมาณ 1.3 เท่า ดังนั้นมีการใช้งานใน OTT TV แต่ไม่แพร่หลายเท่า H264/AVC
- H264/AVC (Advance Video Coding) เป็นมาตรฐานที่ออกมาในปี 2003 กำหนดอยู่ใน MPEG-4 Part 10 และ ISO/IEC 14496-10 เป็นมาตรฐานการบีบอัดวิดีโอที่มีใช้กันแพร่หลายมากที่สุด โดยเดิมที่มีเป้าหมายใช้สำหรับบีบอัด HD Video แต่ภายหลังถูกนำไปใช้ในวิดีโอความละเอียดอื่น ๆ ด้วย ปัจจุบันอุปกรณ์ด้านมัลติมีเดียเกือบทั้งหมดรองรับ H264/AVC จึงเป็น Video codec มาตรฐานสำหรับ OTT TV ทุกแพลตฟอร์ม
- H265/HEVC (High Efficiency Video Coding) เป็นมาตรฐานที่ออกมาในปี 2013 กำหนดอยู่ใน MPEG-H Part 2 เป็นมาตรฐานที่ถูกปรับปรุงขึ้นมาจาก H264/AVC ที่มีประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ดีขึ้น โดยใช้ Bit Rate ประมาณ 50% ของ H264/AVC ดังนั้น H265/HEVC มีเป้าหมายใช้สำหรับการบีบอัด 4K UHD สำหรับ SmartTV และบีบอัดวิดีโอสำหรับโทรศัพท์มือถือที่ส่งวิดีโอผ่านเครือข่าย 3G/4G ปัจจุบันมีอุปกรณ์กล่อง อุปกรณ์ในการติดต่อ และอุปกรณ์รับที่รองรับ H265/HEVC หลากหลายมากขึ้นและเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ณ ขณะปัจจุบัน ระบบปฏิบัติการ Android และ iOS ได้รองรับ H265/HEVC ในส่วนของ Web Browser นั้น Safari รองรับ H265/HEVC ส่วน Internet Explorer และ Microsoft Edge รองรับ H265/HEVC เพียงบางส่วนเฉพาะกรณีที่ Hardware รองรับด้วยเท่านั้น ส่วน Chrome และ Firefox ยังไม่รองรับ H265/HEVC
- VP8 เป็น Open Source Video Codec จาก Google ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ H264 เทคโนโลยี VP8 เป็นเทคโนโลยีที่ Google ซื้อมาจากบริษัท On2 Technologies แต่ VP8 ไม่เป็นที่แพร่หลาย มีผู้ใช้เพียง Youtube เท่านั้นที่ใช้ ภายหลังได้มีการ Upgrade ขึ้นเป็น VP9 ในปี 2014
- VP9 เป็น Open Source Video Codec ที่พัฒนาต่อเนื่องจาก VP8 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ H265/HEVC VP9 มีประสิทธิภาพการบีบอัดที่ดีกว่า H264/AVC มีเป้าหมายสำหรับใช้ในการบีบอัดวิดีโอ 4K UHD VP9 มีค่า Bit Rate ประมาณ 50% ของ H264/AVC ในระยะแรกที่เปิดตัวมีเพียง Youtube ที่ใช้ VP9 เท่านั้น จุดดึงดูดของ VP9 คือเนื่องจากเป็น Open Source Codec การใช้ Codec ไม่ต้องเสียค่า Licensed Fee ต่างจาก H264/AVC ซึ่งผู้ผลิตอุปกรณ์และ Software ต้อง

เสียค่า License การใช้ Codec ต่อมาหลายๆผู้ให้บริการเริ่มหันมาใช้ VP9 เนื่องจากสามารถลด Bandwidth ที่ใช้ในการส่งวิดีโอไปครั้งหนึ่ง และไม่เสียค่าใช้จ่ายค่า Licensed Fee ปัจจุบัน Web Browser เช่น Chrome, Firefox, Microsoft Edge รองรับ VP9 แต่ Microsoft Internet Explorer และ Safari ยังไม่รองรับ VP9

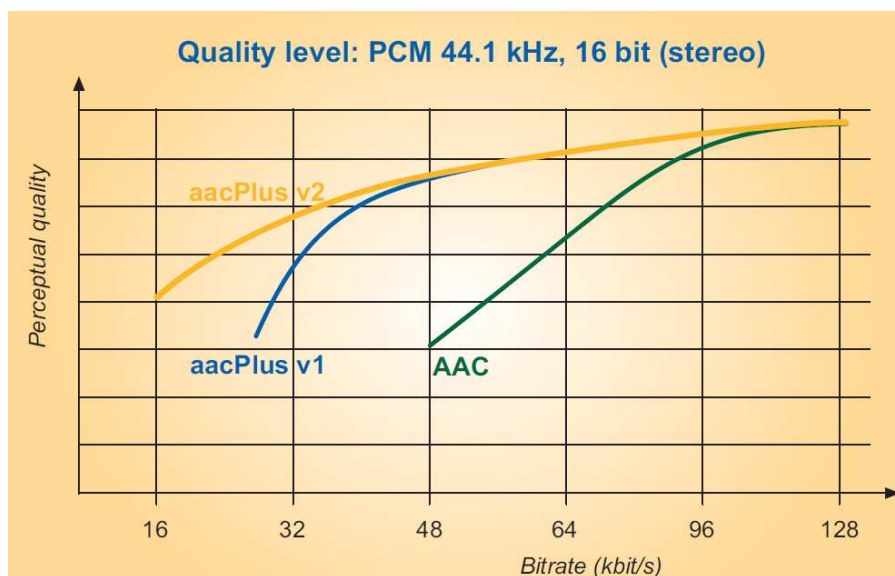
- AV1 (AOMedia Video 1) เป็น Open Source Video Codec ที่ถูกพัฒนาโดย Alliance for Open Media (AOMedia) ซึ่งเป็น Consortium รวมกลุ่มของอุตสาหกรรม Semiconductor ผู้ให้บริการ OTT TV และนักพัฒนา Web Browser ก่อตั้งในปี 2015 รายชื่อสมาชิกที่สำคัญตาม รูปที่ 3-3 AV1 ถูกพัฒนาต่อยอดมาจาก VP9 จากข้อมูลการทดสอบล่าสุดจากเอกสาร *BitMovin, "Multi-Codec DASH Dataset: An Evaluation of AV1, AVC, HEVC, and VP9."* (<https://bitmovin.com/av1-multi-codec-dash-dataset/>) พบว่า ด้วยคุณภาพของภาพที่เท่ากัน AV1 ให้ค่าเฉลี่ย Bitrate ลดลง 13% เมื่อเทียบกับ VP9 และลดลง 17% เมื่อเทียบกับ H265/HEVC ทำให้ AV1 เป็น Video Codec ที่น่าจับตามองต่อไป อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มี Web Browser และ Set-top-box ที่รองรับ AV1 และการ

FOUNDING MEMBERS			
			
			
			
PROMOTER MEMBERS			
			
			
			
			
			
			

รูปที่ 3-3: สมาชิกของ Alliance for Open Media (AOMedia) (Source:AOMedia)

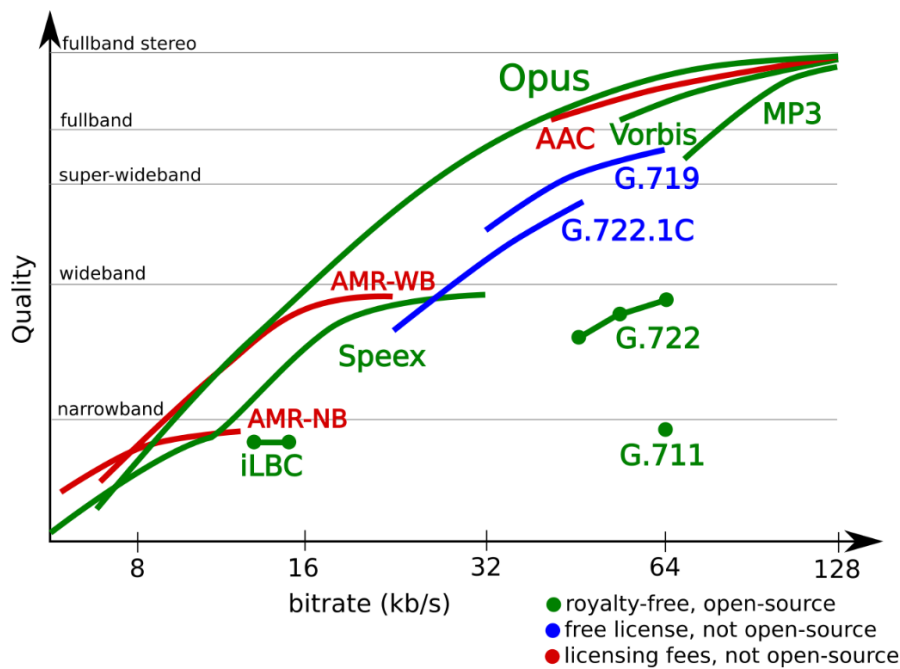
Audio Codec ที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย

- AAC Codec Family ซึ่งประกอบไปด้วย AAC-LC (ISO/IEC 14496-3), HE-AACv1 และ HE-AACv2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบีบอัดข้อมูล จากบีบอัดข้อมูลมากไปสู่อัดข้อมูลน้อยคือ HE-AACv2, HE-AACv1, AAC-LC ส่วนของ Codec AAC-LC มีการใช้งานอย่างแพร่หลายใน Web Browser และ Set-top-box มากกว่า HE-AAC รูปที่ 3-4 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงของ audio codec ทั้ง 3 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า Bit Rate จากสูงมาต่ำ แกนตั้งเป็นคุณภาพเสียง จากรูปจะเห็นได้ว่า ที่ Bitrate 128 kbps คุณภาพของ Codec ทั้งสามใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออยู่ในสถานการณ์ที่ใช้ Bit Rate ที่ต่ำลง ทั้ง HE-AACv1 และ HE-AACv2 มีคุณภาพเสียงใกล้เคียงกันจนถึงระดับที่ Bitrate 64kbps และ HE-AACv2 ยังสามารถลด Bitrate ลงไปถึง 48 kbps ขณะที่ยังคุณภาพเสียงที่ดี สรุปคือ Bitrate ที่ยังคุณภาพเสียงที่ดี AAC-LC (128 kbps), HE-AACv1 (64kbps) และ HE-AACv2 (48 kbps) โดยทั่วไปที่เป็นที่นิยมใช้คือ จะใช้ Audio Codec (AAC) คู่กับ MPEG Video Codec (MPEG4, H264, H265)



รูปที่ 3-4: เปรียบเทียบคุณภาพเสียงระหว่าง AAC-LC, HE-AACv1 (aacPlusv1) และ HE-AACv2 (aacPlusv2) (Source: EBU Tech)

- Opus เป็น Open Source Audio Codec ที่ถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IETF RFC 6716 ซึ่งเป็นการรวมเทคโนโลยีระหว่าง SILK codec ของ Skype และ CELT codec ของ Xiph.Org เข้าด้วยกัน สามารถบีบอัดที่ Bitrate จาก 6-510 kbps จากรูปที่ 3-5 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงของ audio codec เห็นได้ว่า ตั้งแต่ Bitrate มากกว่า 64 kbps ทั้ง Opus และ AAC ให้คุณภาพเสียงที่ใกล้เคียงกัน ในทางปฏิบัติจะใช้ Audio codec (Opus) คู่กับ Video codec (V8, VP9, AV1)



รูปที่ 3-5: แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงระหว่าง audio codec

(Source: <http://opus-codec.org/comparison/>)

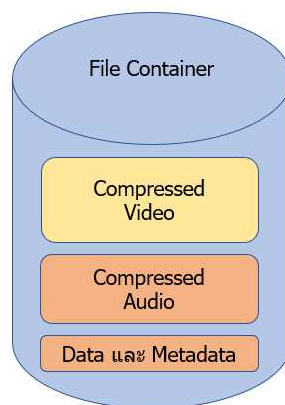
จากรูป 3-5 เมื่อพิจารณาคุณภาพของ audio codec เทียบระหว่าง Open Source และ No licensing fee (Opus และ Vorbis) กับ audio codec ที่มี licensing fee (AAC) คุณภาพเสียงของ Vorbis เทียบเท่าได้กับ AAC-LC ขณะที่ Opus เทียบเท่าได้กับ HE-AACv1 และ HE-AACv2

File Container

File container เป็นรูปแบบหรือ Format ของไฟล์ที่ประกอบไปด้วย ส่วนของเนื้อหาที่เป็น Compressed Video เนื้อหาที่เป็น Compressed Audio ข้อมูลและคุณสมบัติของข้อมูล หรือ Metadata (ดูรูปที่ 3-6) File container ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการบีบอัดภาพและเสียง หรือ codec ที่ใช้ Media Player ต้องสามารถเข้าใจใน Format ของ File Container ถึงจะสามารถดึงเนื้อหาทั้ง Video, Audio, Data ออกมา Decode และแสดงผลได้ File Container สามารถปรับเปลี่ยนชนิดได้ง่ายโดยไม่ต้องทำการ Encode Video หรือ Audio ใหม่ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Transmuxing หรือ Dynamic Packaging ตัวอย่าง File Container

- Quicktime (ไฟล์นามสกุล .mov หรือ .qt) ถูกสร้างโดยบริษัท Apple รองรับ audio codec และ video codec จำนวนมากรวมถึง H264 ไฟล์ Quicktime เล่นได้ดีที่สุดบน Quicktime Player

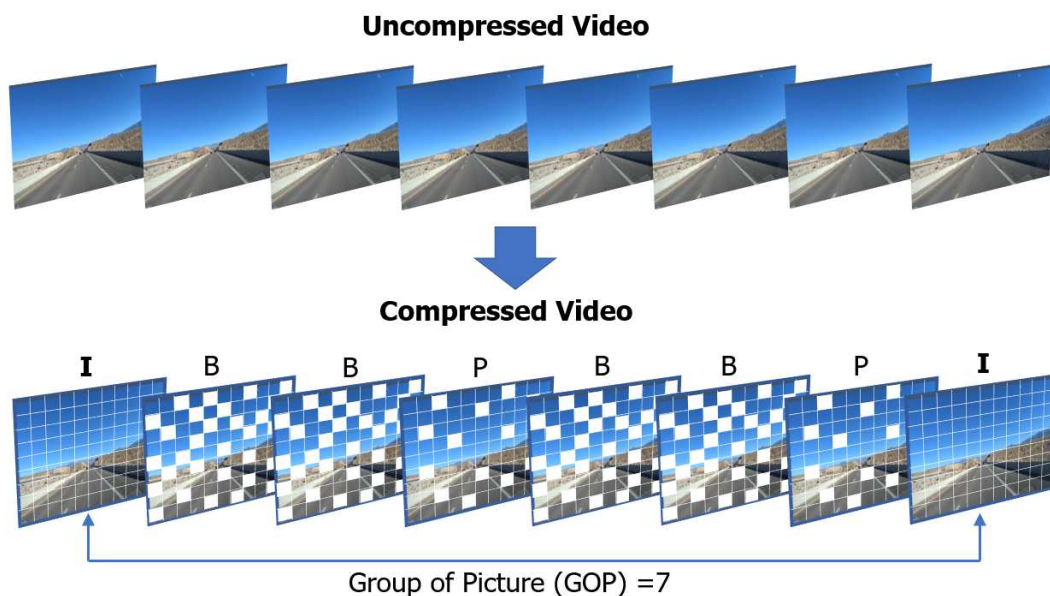
- AVI (ไฟล์นามสกุล .avi) ถูกสร้างโดยบริษัท Microsoft รองรับ codec ค่อนข้างเก่าและมีจำนวนจำกัด เช่น DV PAL, Intel IYUV Codec, Microsoft Video 1 เป็นต้น ไฟล์ AVI เล่นได้ดีบน Windows Media Player หรือ VLC
- Flash video (ไฟล์นามสกุล .flv หรือ .f4v) ถูกสร้างโดยบริษัท Adobe ไฟล์ FLV รองรับ video และ audio codec จำนวนมาก ขณะที่ไฟล์ .f4v ใช้กับ H264 codec เท่านั้น ไฟล์ Flash video เล่นได้ดีบน Flash Video Player หรือ VLC แต่ระยะหลังเว็บไซต์และ web browser และ smartphone เริ่มไม่รองรับ Flash video แล้ว ทำให้ Flash video file จะค่อยๆหายออกไปจากตลาด
- MP4 (ไฟล์นามสกุล .mp4) ถูกสร้างโดย Moving Picture Experts Group (MPEG) ถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน MPEG4 Part 14 รองรับ codec ทั้ง video และ audio จำนวนมาก เป็น File Format ที่เล่นได้กับเกือบทุกอุปกรณ์ เกือบทุก Software
- WebM (ไฟล์นามสกุล .webm) ถูกพัฒนาโดย Google ซึ่งไฟล์ format นี้พัฒนามาจาก Matroska container (.mkv) รองรับ Open Source Codec เช่น VP8, VP9, Opus โดยมีเป้าหมายใช้การเล่นไฟล์วิดีโอบน web browser ผ่าน HTML5 Web browser ที่รองรับ HTML5 จะสามารถเรียกใช้ media player ที่ฝังอยู่บน web browser ได้ทันทีโดยไม่ต้องลงโปรแกรม หรือ Plug-in เพิ่มเติม
- MPEG2 Transport Stream (ไฟล์นามสกุล .ts) ถูกพัฒนาโดย MPEG ถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน MPEG-2 Part 1 และเป็นไฟล์ Format บนแผ่น Blu-ray และใช้ในการส่งต่อ และเผยแพร่ ออกอากาศทีวีดิจิทัล รองรับ MPEG video และ audio codec รวมถึง H264, H265, AAC ไฟล์สามารถเล่นได้บน VLC



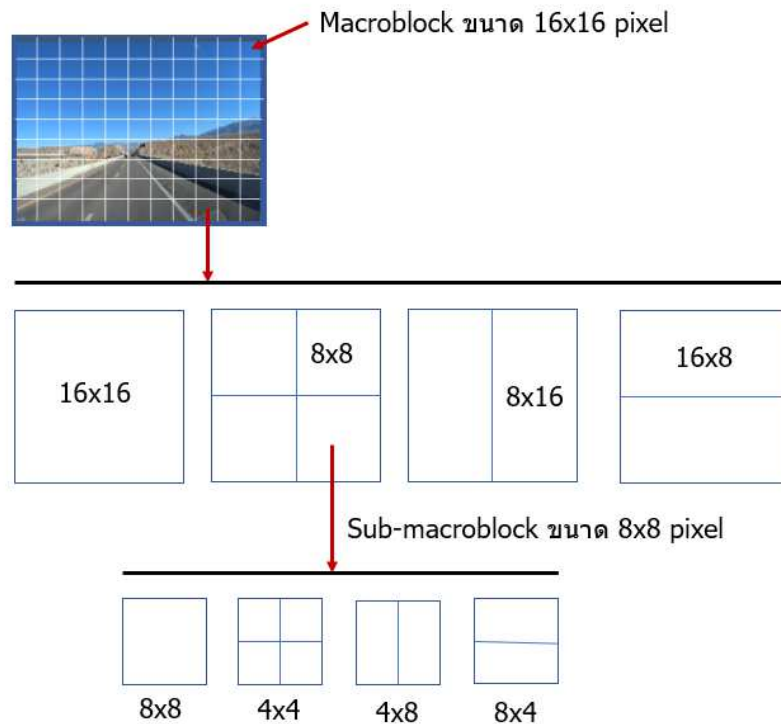
รูปที่ 3-6: File Container

หลักการพื้นฐานการบีบอัดวิดีโอ (Basic Video Compression)

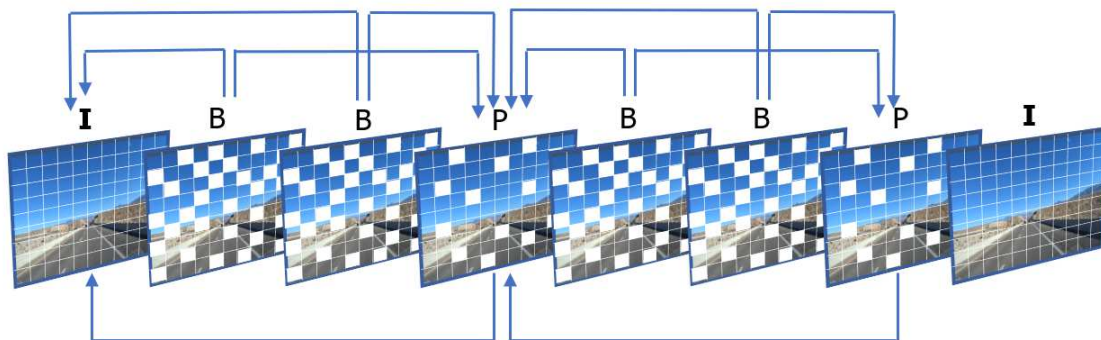
วิดีโอประกอบด้วยภาพแต่ละภาพ หรือ Frame บันทึกหรือเล่นต่อเนื่องกัน การบีบอัดวิดีโอคือวิธีการลดปริมาณข้อมูลของแต่ละ Frame ให้ลดลงซึ่งมีหลักการและวิธีการที่กำหนดตายตัวตามแต่ละมาตรฐานที่กำหนด Frame ที่ถูกบีบอัดข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ I-Frame, P-Frame และ B-Frame Frame ทั้งสามจะมีการเรียงลำดับต่อเนื่องสลับกันอย่างเป็นระบบซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป I-Frame หรือว่า Key Frame เป็น Frame ที่ถูกใช้เป็นภาพอ้างอิงให้กับ P-Frame และ B-Frame อื่น ๆ I-Frame มีข้อมูลของภาพครบถ้วนที่สุด เป็น frame ที่มีความอิสระการบีบอัดไม่ขึ้นกับ frame อื่น ๆ GOP (Group of Picture) เป็นค่าแสดงจำนวน frame ที่อยู่ระหว่าง I-frame ทั้งสองที่อยู่ลำดับถัดกัน ตามรูปที่ 3-7 ค่า GOP = 7 ภายในหนึ่ง frame มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นตารางที่เรียกว่า Macroblock (ดูรูปที่ 3-8) แต่ละ Macroblock มีขนาด 16x16 pixel และมีการแบ่ง partition ออกเป็น 4 รูปแบบขึ้นกับลักษณะของภาพ (16x16 8x8 8x16 หรือ 16x8) นอกจากนี้ใน partition แบบ 8x8 ยังมีการแบ่งย่อยลงไปอีก เป็น Sub-macroblock ขนาด 8x8 ภายใน Sub-macroblock มีแบ่ง partition ออกเป็นอีก 4 รูปแบบ (8x8 4x4 4x8 หรือ 8x4) ซึ่ง block เหล่านี้ใช้สำหรับอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบภาพระหว่าง frame ตัวเองกับ frame อื่น ๆ



รูปที่ 3-7: ลักษณะของ Frame ใน Compressed Video



รูปที่ 3-8: Macroblock และ Sub-macroblock



รูปที่ 3-9: การอ้างอิงระหว่าง Frame

- I-Frame หรือ Intra-frame เป็น frame ภาพที่ถูกบีบอัดข้อมูลน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองเฟรม I-Frame จะมีข้อมูลภาพที่ครบถ้วนเป็นอิสระโดยปราศจากการอ้างอิงภาพกับเฟรมอื่น ๆ การบีบอัดภาพบน I-Frame จะใช้ Algorithm ที่คล้ายกับการบีบอัดของภาพ JPEG โดยทำการลดข้อมูลของภาพในส่วนที่เกินที่ตาไม่สามารถมองเห็นหรือแยกแยะได้ หรือที่เรียกว่า Spatial Redundancy ค่า Group of Picture (GOP) ค่าเป็นจำนวน frame จาก I-frame ไปจนถึง I-frame ถัดไป ค่า GOP สามารถเปลี่ยนแปลงได้จะมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นการเคลื่อนไหวในภาพในวิดีโอ ถ้าภาพมีความเคลื่อนไหวมากและเร็ว มีการตัดฉากไปมาอย่างรวดเร็ว ดังเช่นในภาพยนตร์ Action ทั้งหมด ค่า

GOP จะกำหนดให้มีค่าต่ำลง (หรือมีจำนวน I-Frame ที่ยิ่งขึ้น) เพื่อจับการเปลี่ยนแปลงของฉากในแต่ละช่วงเวลาได้ แต่ในการกำหนดค่า GOP สำหรับ video streaming นั้น บาง Coder จะมีการกำหนดค่า GOP หรือระยะห่างระหว่าง I-Frame คงที่ เช่น กำหนดให้ I-Frame ทุกๆ 2 วินาที ถ้าที่ Frame Rate 25 frame/sec ดังนั้น I-Frame จะอยู่ห่างกันทุกๆ 50 frame หรือ ค่า GOP = 50 เป็นต้น I-Frame ยังมีความสำคัญใช้เป็น Frame อ้างอิงสำหรับการควบคุมวิดีโอของ Media Player เช่น เล่น (Play) หยุด (Stop) เดินหน้าเร็ว (Forward) เดินถอยหลังเร็ว (Reverse) เป็นต้น

- P-Frame หรือ Predicted Frame เป็นเฟรมที่ถูกบีบอัดลดปริมาณข้อมูลลงโดยวิธีการอ้างอิงกับ I-Frame หรือ P-Frame ที่มาก่อนหน้า P-Frame ของปัจจุบัน การอ้างอิงระหว่างเฟรมจะทำการลดข้อมูลโดยใช้เทคนิค Temporal Redundancy ที่ใช้เทคนิคในการพิจารณาความแตกต่างระหว่างเฟรมว่ามีส่วนไหนในภาพที่ซ้ำกันบ้าง ส่วนที่ซ้ำก็สามารถดึงออกจาก P-Frame เพื่อลดความซ้ำซ้อนและลดปริมาณข้อมูลลง นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาวัตถุเคลื่อนไหวในเฟรมโดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 เฟรมว่าวัตถุเคลื่อนไหวเคลื่อนไปทิศใด ซึ่งจะสามารถลดข้อมูลลงได้โดยการบันทึกเพียง วัตถุต้นฉบับที่เคลื่อนไหว และเวกเตอร์ของทิศทางการเคลื่อนที่ แทนการเก็บข้อมูลทั้งภาพ สรุปคือ P-Frame สามารถลดปริมาณข้อมูลได้เหลือเพียงประมาณ 50% ของ I-Frame
- B-Frame หรือ Bi-directional Frame เป็นเฟรมที่ถูกบีบอัดลดปริมาณข้อมูลลงโดยวิธีการอ้างอิงกับ I-Frame หรือ P-Frame ที่อยู่ก่อนหน้า (เฟรมอดีต) และหลัง B-Frame ปัจจุบัน (เฟรมอนาคต) B-frame สามารถลดปริมาณข้อมูลได้เหลือเพียงประมาณ 75% ของ I-Frame

Bits per Pixel

ในการประเมินคุณภาพของภาพของ Compressed Video โดยพิจารณาจากค่า bits per pixel ค่า bits per pixel เป็นการบ่งบอกในแต่ละ pixel ได้มีการกำหนดค่า bits รองรับ pixel นั้นมากน้อยเพียงใด ค่า bits per pixel สูงอาจจะบ่งบอกได้ว่าวิดีโอมีคุณภาพที่ดีกว่า

Bits per pixel = video bitrate (bps)/number of pixel per second

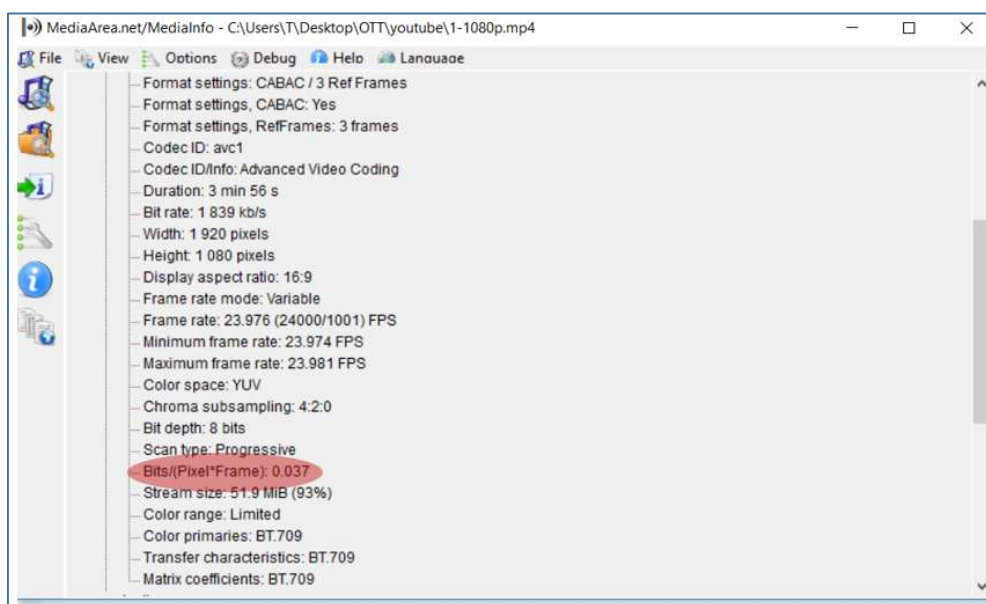
= video bitrate (bps)/(pixels แนวตั้ง x pixels แนวนอน x frame rate)

ตัวอย่าง ต้องการเปรียบเทียบคุณภาพของวิดีโอ 2 คลิปมีรายละเอียดดังนี้

- Video #1 Resolution 1920x1080, Frame rate 25 fps, Data rate 3 Mbps
- Video #2 Resolution 1280x720, Frame rate 25 fps, Data rate 2 Mbps

จากการคำนวณ Video # 1 ให้ค่า Bits per pixel = 0.057 ส่วน Video # 2 ให้ค่า Bits per pixel = 0.086 จากผลที่ได้ Video #2 มีค่า Bits per pixel ที่สูงกว่าจึงสามารถประเมินได้ว่า Video #2 มีคุณภาพที่ดีกว่า (ในเงื่อนไขที่ใช้ Codec อันเดียวกัน) นอกเหนือจากหาค่า Bits per pixel โดยวิธีคำนวณแล้ว เราสามารถ

ใช้ Freeware MediaInfo (<https://mediaarea.net/en/MediaInfo>) ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของไฟล์ที่ดาวน์โหลดมาได้เพื่อดูค่า Bits per pixel (ดูรูป 3-10)



รูปที่ 3-10: ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Mediainfo

นอกจากค่า bits per pixel จะนำมาใช้ประเมินคุณภาพของวิดีโอแล้ว ยังสามารถประเมินได้ว่าไฟล์ได้รับ Encode ที่ปริมาณ Bitrate ที่พอเพียงหรือสูงเกินความจำเป็นหรือไม่ จากการประเมินวิดีโอในหนังสือ “Video Encoding By The Numbers” ของ Jan Ozer ได้แนะนำค่า Bits per pixel ดังนี้

- Bits per pixel ประมาณ 0.1 bit/pixel สำหรับ Content ที่มีภาพเคลื่อนไหวช้า เช่นรายการข่าว รายการละคร เป็นต้น
- Bits per pixel ประมาณ 0.5 bit/pixel หรือมากกว่า สำหรับ Content ที่มีภาพเคลื่อนไหวเร็ว เช่น รายการกีฬา ภาพยนตร์แอ็คชั่น เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น รายการข่าว ที่มีคำแนะนำสำหรับ Bit per pixel ที่ 0.1 bit/pixel แต่เมื่อทำการบีบอัดแล้วผลคือ มีค่า Bit per pixel สูงถึง 2 bit/pixel การที่มี Bit per pixel ที่สูงบางครั้ง ก็ไม่ได้ให้คุณภาพของภาพที่ดีขึ้น จนสามารถสังเกตได้ กลายเป็นการกำหนดจำนวน Bit per pixel ที่สูงเกินความจำเป็น หรือ มีค่า Bit Rate สูงเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรของโครงข่ายในการส่ง

ตัวอย่างการใช้งาน Video Codec และ Audio Codec ในฝั่งส่ง (Youtube)

ได้ทำการวิเคราะห์วิดีโอในเว็บไซต์ Youtube เพื่อดูว่าได้มีการใช้ Codec และค่าพารามิเตอร์เช่นไร ในการ Encode วิดีโอที่เผยแพร่อยู่บน Youtube โดยใช้ Freeware 3D Youtube Downloader ซึ่ง โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ Video และ Audio Stream ของไฟล์หนึ่งๆ ในรูปที่ 3-11 ได้วิเคราะห์ไฟล์ที่ให้ คุณภาพสูงสุดเป็น HD (1920x1080) Youtube ได้ใช้เทคโนโลยี Adaptive Streaming Protocol (MPEG-DASH) ในการส่งวิดีโอให้แก่ผู้รับชม ซึ่ง MPEG-DASH ได้ทำการ Encode ไฟล์อยู่หลากหลาย version แตกต่างกันใน Resolution Bitrate และ Codec ที่ใช้เพื่อรองรับอุปกรณ์ของผู้รับชมที่หลากหลาย เช่น ผ่านทาง web browser Set-top-box Smartphone Table SmartTV Game console เป็นต้น

Video #1: ไฟล์วิดีโอที่มีคุณภาพสูงสุดเป็น HD (1920x1080) 1080p 25 fps (รูปที่ 3-11)

The screenshot displays the 3D Youtube Downloader (x64) interface. The main window shows a video player with a Thai video titled 'Ghost ศัลยกรรมหนัก'. Below the player, the selected video format is 'WebM 1080p 1920x1080 25fps 4.82 MB VO + OPUS 48000Hz Stereo'. The 'Download' button is visible. To the right, a panel titled 'Audio tracks from available videos' lists several audio tracks with their respective codecs, bitrates, and sample rates. Below this, a panel titled 'Available audio streams' lists more audio streams with their sizes and codecs. At the bottom, a panel titled 'Video formats that are available on the site' lists various video formats with their resolutions, frame rates, and sizes. Two callout boxes provide detailed information about specific video and audio streams.

Audio tracks from available videos

Format	Frequency	Channels	Bitrate
OGG	44100Hz	Stereo	128kbps
M4A	44100Hz	Stereo	128kbps
M4A	44100Hz	Stereo	96kbps
M4A	22050Hz	Mono	32kbps
M4A	22050Hz	Mono	24kbps

Available audio streams

Format	Frequency	Channels	Bitrate	Size	Check
OPUS	48000Hz	Stereo	140kbps	512.41 KB	AO
OGG	44100Hz	Stereo	128kbps	462.04 KB	AO
M4A	44100Hz	Stereo	127kbps	467.55 KB	AO
OPUS	48000Hz	Stereo	72kbps	262.44 KB	AO
OPUS	48000Hz	Stereo	55kbps	202.16 KB	AO

Video formats that are available on the site

Format	Resolution	Frame Rate	Size	Check
MP4	1080p	1920x1080	25fps	4.50 MB VO
WebM	1080p	1920x1080	25fps	4.82 MB VO
MP4	720p	1280x720	25fps	2.32 MB VO
WebM	720p	1280x720	25fps	2.56 MB VO
MP4	720p	1280x720	25fps	2.79 MB VO
MP4	480p	854x480	25fps	1.20 MB VO
WebM	480p	854x480	25fps	1.27 MB VO
MP4	360p	640x360	25fps	1.46 MB
MP4	360p	640x360	25fps	721.65 KB VO
WebM	360p	640x360	25fps	867.65 KB VO
WebM	360p	640x360	25fps	2.11 MB
MP4	240p	426x240	25fps	214.17 KB VO
WebM	240p	426x240	25fps	481.82 KB VO
MP4	240p	320x180	25fps	824.06 KB
MP4	144p	256x144	25fps	180.98 KB VO
WebM	144p	256x144	25fps	296.77 KB VO
MP4	144p	176x144	8fps	202.19 KB

Callout Box 1 (MP4 720p):

Source: MP4 720p 1280x720 25fps 2.79 MB
Size: ≈460.55 KB after extraction (16.0952%)
Audio: (m4a) AAC (Advanced Audio Coding) (LC) 30.0002sec 125.761kbps 44100Hz Stereo fltp

Callout Box 2 (WebM 1080p):

File: QuickTime / MOV 00:30.000 1258.97kbps 1 stream(s)
Size: 4.50 MB (4,721,125 bytes)
Video: (mp4) H.264 / AVC / MPEG-4 AVC / MPEG-4 part 10 (High) 1920x1080 1258.97kbps 25Fps
Audio: (none) adaptive
Check: 179.40 KB

Callout Box 3 (WebM 1080p):

File: Matroska / WebM 00:30.000 1350.1kbps 1 stream(s)
Size: 4.83 MB (5,062,892 bytes)
Video: (webm) Google VP9 (Profile 0) 1920x1080 1350.1kbps 25Fps
Audio: (none) adaptive
Check: 80.00 KB

รูปที่ 3-11: ข้อมูลการ Encode ของ Video #1

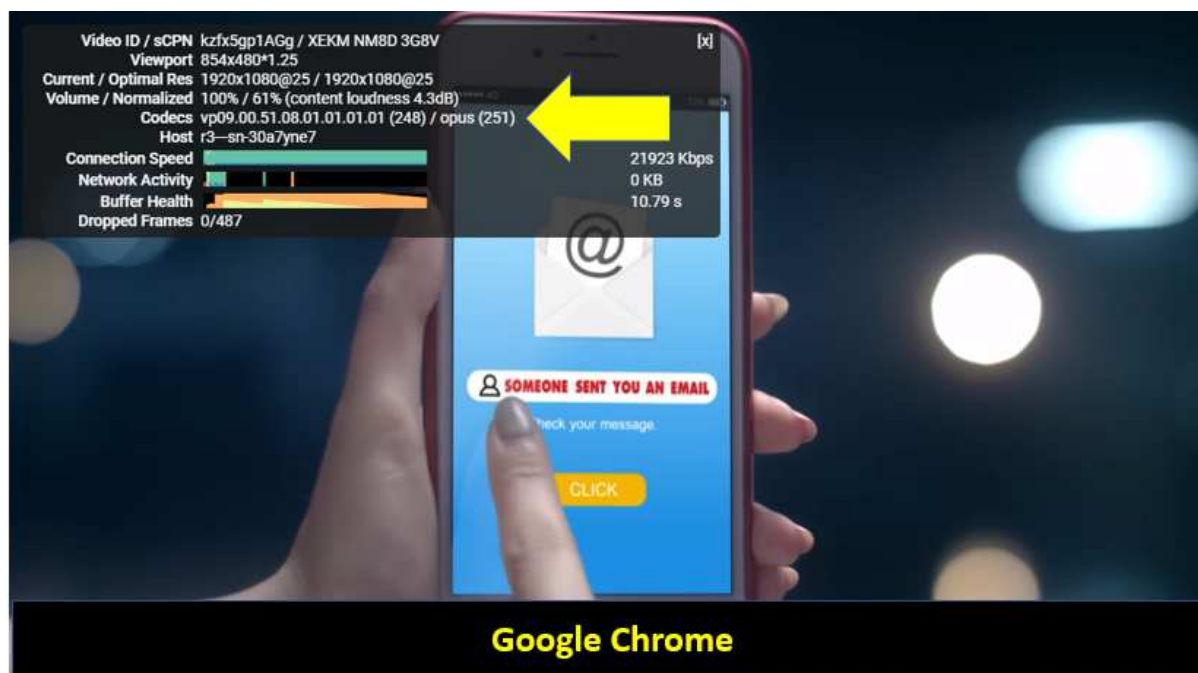
Youtube ใช้ทำการ Multiple Encode ของ Video #1 โดยมีพารามิเตอร์คือ

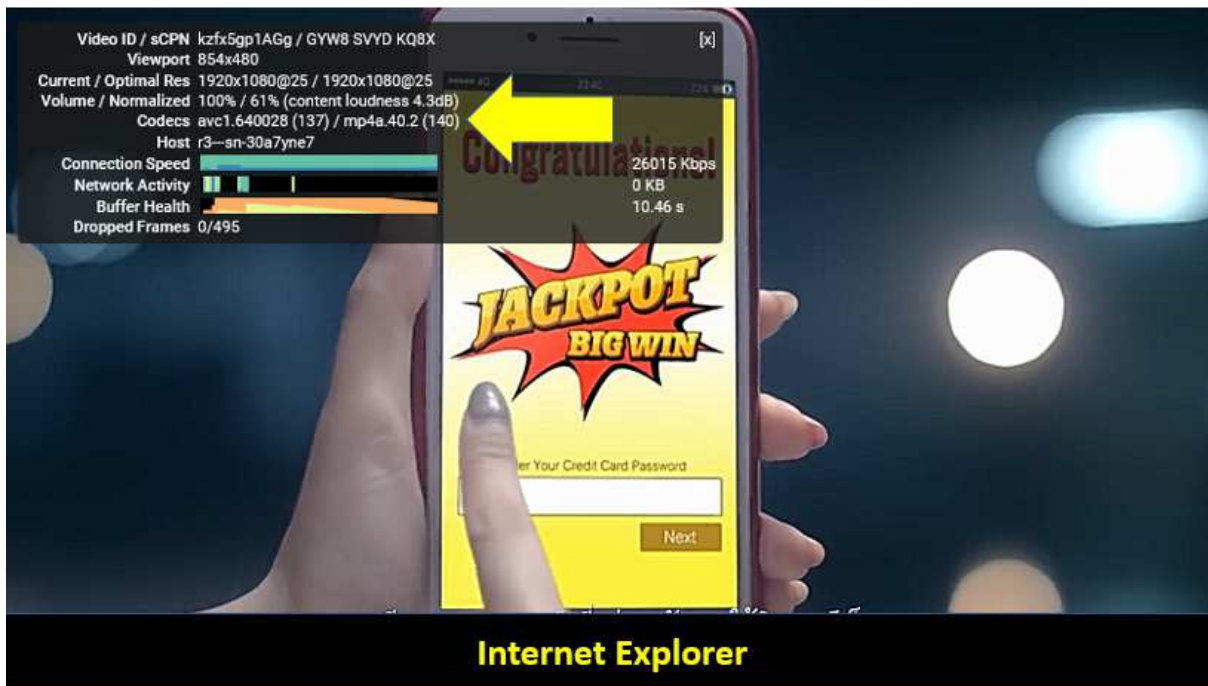
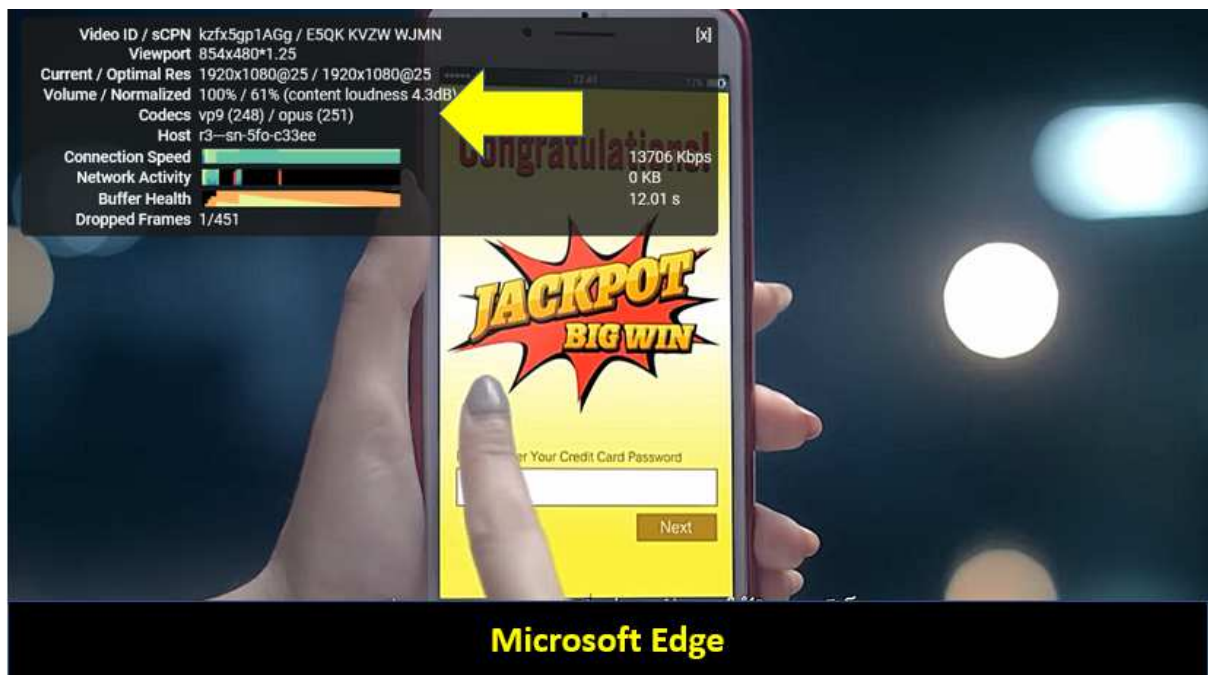
- Resolution: 1080p25, 720p25, 480p25, 360p25, 240p25, 144p25, 144p8
- Video codec: H264/AVC และ VP9
- Audio codec: AAC-LC, Vorbis, Opus
- File container: WebM (VP9 + Vorbis or Opus) และ MP4 (H264/AVC + AAC-LC)

ที่น่าสังเกตคือ ไฟล์วิดีโอ 2 version มีคุณภาพของภาพที่ใกล้เคียงกัน สังเกตได้ว่า VP9 ใช้ Bitrate ที่ต่ำกว่า H264/AVC ขณะที่ตัวเลือก Audio codec ระหว่าง Vorbis และ AAC-LC ใช้ bitrate ที่ใกล้เคียงกัน

- WebM 1080p25 ใช้ VP9 (1.25Mbps) + Vorbis (128 kbps)
- MP4 1080p25 ใช้ H264 (1.35 Mbps) + AAC-LC (125 kbps)

เมื่อทดลองใช้ web browser เปิดคลิปลิโตนีโดย web browser เลือก version ของไฟล์วิดีโอแบบอัตโนมัติ ผลปรากฏว่า WebM (VP9 + Vorbis) ถูกเลือกเล่นโดย Google Chrome, MS Edge, Mozilla Firefox ขณะที่ MP4 (H264/AVC + AAC-LC) ถูกเลือกเล่นโดย MS Internet Explorer ตามรูปที่ 3-12 Google Chrome, MS Edge, Mozilla Firefox รองรับทั้ง VP9 และ H264/AVC เมื่อทำการเปิดวิดีโอที่มี Version ทั้งสอง Encoder web browser เหล่านี้จะทำการเลือก VP9 เป็น Priority แรกก่อน H264/AVC ขณะที่ MS Internet Explorer รองรับได้เพียง H264/AVC ก็จะทำการเลือก version ที่เป็น H264/AVC เท่านั้น





รูปที่ 3-12: Video # 1 (HD) บนหลากหลาย web browsers (Source Video: NBTC)

Video #2: ไฟล์วิดีโอที่มีคุณภาพสูงสุดเป็น 4K UHD (3840x2160) 2160p 60 fps (รูปที่ 3-13)

The screenshot displays the 3D YouTube Downloader interface. The main window shows a video titled "4K Video Ultra HD 60fps Epic Drone Footage Filmed in RAW!" with a thumbnail image. Below the video information, there is a list of locations and a download button. To the right, a panel titled "Available audio streams" lists several options, including OPUS, OGG, and M4A, with their respective bitrates and sizes. Below this, a panel titled "Video formats that are available on the site" lists various video formats, including WebM, MP4, and HFR, with their respective resolutions, frame rates, and sizes. Arrows indicate the selection of the 4K UHD (3840x2160) 2160p 60 fps format and the OPUS audio stream.

Available audio streams

Format	Resolution	Channels	Bitrate	Size	Check
OPUS	48000Hz	Stereo	139kbps	18.69 MB	AO
OGG	44100Hz	Stereo	122kbps	16.43 MB	AO
M4A	44100Hz	Stereo	127kbps	17.07 MB	AO
OPUS	48000Hz	Stereo	72kbps	9.69 MB	AO
OPUS	48000Hz	Stereo	55kbps	7.34 MB	AO

Source Adaptive stream (WebM 18.69 MB)
Size 18.70 MB (19,606,343 bytes)
Audio (opus) Opus (Opus Interactive Audio Codec) 139.165kbps 48000Hz Stereo fltp
Check 48.00 KB

Source Adaptive stream (WebM 16.43 MB)
Size 16.44 MB (17,233,790 bytes)
Audio (ogg) Vorbis 122.327kbps 44100Hz Stereo fltp
Check 48.00 KB

Source Adaptive stream (MP4 17.07 MB)
Size 17.07 MB (17,902,026 bytes)
Audio (m4a) AAC (Advanced Audio Coding) (LC) 127.064kbps 44100Hz Stereo fltp
Check 48.00 KB

Video formats that are available on the site

Format	Resolution	Frame Rate	Size	Check
WebM	2160p	3840x2160	60fps	2.46 GB
WebM	2160p	3840x2160	30fps	2.29 GB
WebM	1440p	2560x1440	60fps	1.69 GB
WebM	1440p	2560x1440	30fps	1.11 GB
MP4	1440p	2560x1440	30fps	1.22 GB
WebM	1080p	1920x1080	60fps	581.98 MB
MP4	1080p	1920x1080	60fps	777.54 MB
WebM	1080p	1920x1080	30fps	250.40 MB
MP4	1080p	1920x1080	30fps	522.19 MB
WebM	720p	1280x720	60fps	327.50 MB
MP4	720p	1280x720	60fps	446.13 MB
WebM	720p	1280x720	30fps	194.52 MB
MP4	720p	1280x720	30fps	287.46 MB
MP4	720p	1280x720	30fps	304.45 MB
WebM	480p	854x480	30fps	92.80 MB
MP4	480p	854x480	30fps	125.02 MB
WebM	360p	640x360	30fps	50.88 MB
MP4	360p	640x360	30fps	95.41 MB
MP4	360p	640x360	30fps	62.83 MB
WebM	360p	640x360	30fps	108.82 MB
MP4	240p	426x240	30fps	19.25 MB
WebM	240p	426x240	30fps	27.05 MB
MP4	240p	320x180	30fps	29.08 MB
MP4	144p	256x144	30fps	8.58 MB
WebM	144p	256x144	30fps	12.47 MB
MP4	144p	176x144	10fps	9.92 MB

File Matroska / WebM 18:47:058 26393.6kbps 1 stream(s)
Size 3.46 GB (3,718,393,231 bytes)
Video (webm) Google VP9 (Profile 0) 3840x2160 26393.6kbps 59.9401Fps
Audio (none) adaptive
Check 1.06 MB

File QuickTime / MOV 18:47:059 9343.35kbps 1 stream(s)
Size 1.23 GB (1,316,312,860 bytes)
Video (mp4) H.264 / AVC / MPEG-4 AVC / MPEG-4 part 10 (High) 2560x1440 9343.35kbps 29.97Fps
Audio (none) adaptive
Check 736.00 KB

รูปที่ 3-13: ข้อมูลการ Encode ของ Video # 2

Youtube ใช้ทำการ Multiple Encode ของ Video #2 โดยมีพารามิเตอร์คือ

- Resolution: 2160p60, 2160p30, 1440p60, 1440p30, 1080p60, 1080p30, 720p60, 720p30, 480p30, 360p30, 240p30, 144p30, 144p10
- Video codec: H264/AVC และ VP9
- Audio codec: AAC-LC, Vorbis, Opus
- File container: WebM (VP9 + Vorbis or Opus) และ MP4 (H264/AVC + AAC-LC)

video # 2 ที่มีคุณภาพระดับ 4K UHD Youtube จะทำการ encode ด้วย VP9 เท่านั้นจะไม่มีการใช้ H264/AVC เลย ดังนั้น เมื่อใช้ Web Browser ที่รองรับ VP9 เช่น Google Chrome, MS Edge ก็จะทำให้สามารถเล่นไฟล์ระดับคุณภาพ 4K UHD ได้ ขณะที่ Internet Explorer รองรับได้เพียง H264/AVC ก็จะทำให้เล่นไฟล์ระดับคุณภาพสูงสุดได้เพียง 1080p60 ได้เท่านั้น ดังรูปที่ 3-14

ข้อสังเกต (1) ถึงแม้ว่า video# 2 จะมีไฟล์ version 2160p30, 1440p30, 1080p30 และ 720p30 อยู่ในระบบ แต่ในเมนูที่เลือก Quality ของภาพจะมีตัวเลือกที่เป็น version 60 fps ให้เลือกเท่านั้น สำหรับ Google Chrome และ MS Edge

ข้อสังเกต (2) ถึงแม้ว่า video# 2 จะมีไฟล์ version 1440p60 และ 1440p30 ที่ถูก encode ด้วย H264/AVC ซึ่งน่าจะเล่นได้บน Internet Explorer แต่ในตัวเลือก Quality จะสามารถเล่นไฟล์ version สูงสุดได้เพียง 1080p60

ข้อสังเกต (3) การ Encode เสียงนั้น ในกรณีที่ audio bit rate สูงจะมีการเลือกใช้ AAC-LC และ Vorbis ขณะที่ audio bit rate จะเลือกใช้ Opus และไม่มีการใช้ HE-AACv1 หรือ HE-AACv2

Video ID / sCPN R3AKlscrmQ / 3G50 5DZ4 DYDX
 Viewport 854x480*1.25
 Current / Optimal Res 3840x2160@60 / 3840x2160@60
 Volume / Normalized 27% / 25% (content loudness 0.6dB)
 Codecs vp09.00.51.08.01.01.01 (315) / opus (251) ←
 Host r3—sn-nco-c33r

Connection Speed	72892 Kbps
Network Activity	701 KB
Buffer Health	15.88 s
Dropped Frames	169/7022

Quality

- ✓ 2160p60 ^{4K}
- 1440p60 ^{HD}
- 1080p60 ^{HD}
- 720p60 ^{HD}
- 480p
- 360p
- 240p
- 144p
- Auto

Google Chrome

Video ID / sCPN R3AKlscrmQ / Q18B 8B6J 2882
 Viewport 854x480*1.25
 Current / Optimal Res 3840x2160@60 / 3840x2160@60
 Volume / Normalized 100% / 93% (content loudness 0.6dB)
 Codecs vp9 (315) / opus (251) ←
 Host r3—sn-nco-c33r

Connection Speed	65535 Kbps
Network Activity	2608 KB
Buffer Health	16.28 s
Dropped Frames	0/1470

Quality

- ✓ 2160p60 ^{4K}
- 1440p60 ^{HD}
- 1080p60 ^{HD}
- 720p60 ^{HD}
- 480p
- 360p
- 240p
- 144p
- Auto

Microsoft Edge



รูปที่ 3-14: Video # 2 (4K UHD) บนหลากหลาย web browsers

การรองรับ Video Codec และ Audio Codec ในฝั่งรับ

Web Browser

Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge รองรับ video code ทั้ง VP9 และ H264/AVC

Apply Safari, Internet Explorer รองรับ H254/AVC แต่ไม่รองรับ VP9

ตาราง 3-4: Market Share การใช้งาน web browser ในประเทศไทย (Source: GlobalStats, <http://gs.statcounter.com/>, กันยายน 2561)

Desktop Browser	Chrome	Firefox	Safari	IE	Edge	Opera
	83.17%	6.9%	3.77%	2.98%	1.77%	1.06%
Tablet Browser	Safari	Chrome	Android	UC	Firefox	Puffin
	51.03%	39.09%	8.2%	0.7%	0.44%	0.22%
Mobile Browser	Chrome	Safari	Samsung	UC	Opera	Android
	74.57%	12.49%	7.61%	2.15%	1.69%	1.12%

อุปกรณ์ OTT TV

เมื่อพิจารณาอุปกรณ์ OTT TV ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย (ตาราง 3-5) ส่วนใหญ่จะรองรับ codec ที่เป็นมาตรฐานเกือบทั้งหมด มีบาง codec เช่น VP9 อุปกรณ์ Apply TV และ Himedia Android Box ไม่รองรับ

ตาราง 3-5: อุปกรณ์ OTT TV พร้อมกับ Video codec และ Audio codec ที่รองรับ

Device	Video Codec	Audio Codec
Google Chromecast (1 st and 2 nd Generation)	● H.264 High Profile up to level 4.1 (the processor can decode up to 720p/60fps or 1080p/30fps) ● VP8	● AAC-LC, HE-AACv1, HE-AACv2 ● MP3 ● Vorbis ● WAV (LPCM) ● FLAC (up to 96kHz/24-bit) ● Opus
Google Chromecast Ultra	● HEVC / H.265 Main and Main10 Profiles up to level 5.1 (2160p/60fps) ● VP9 Profile 0 and Profile 2 up to level 5.1 (2160p/60fps)	● AAC-LC, HE-AAC ● MP3 ● Vorbis ● WAV (LPCM) ● FLAC (up to 96kHz/24-bit) ● Opus
Roku	● H.264/AVC ● HEVC/H.265 ● VP9	● AAC-LC ● AC3, E-AC3 ● MP3 ● FLAC
Amazon Fire TV (Gen 3)	● H.265/HEVC ● H264 ● VP9	● Dolby Atmos ● AC3, E-AC3 ● AAC-LC, HE-AACv1, HE-AACv2 ● FLAC ● MIDI ● MP3 ● PCM/Wave ● Vorbis ● AMR-NB ● AMR-WB

Amazon Fire TV Stick (Basic Edition)	● H.265/HEVC ● H264/AVC ● H263 ● MPEG-4	● AC3, E-AC3 ● AAC-LC, HE-AACv1, HE-AACv2 ● FLAC ● MIDI ● MP3 ● PCM/Wave ● Vorbis ● AMR-NB ● AAMR-WB
Apple TV (4 th Generation)	● HEVC SDR ● H.264/AVC ● MPEG-4	● AC3, E-AC3 ● eAC3 ● AAC-LC, Protected AAC ● HE-AACv1 ● FLAC ● Apple Lossless ● MP3 ● PCM/Wave ● AIFF
Himedia Q30 (Android Box)	● H265 ● H264 ● MPEG1/2/4 ● DivX3/4/5/6 ● VC-1 ● AVS	● AAC-LC, HE-AACv1, HE-AACv2 ● FLAC ● MPEG L1/L2 ● PCM/Wave ● AAMR-WB

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวโน้มเทคโนโลยีด้านการบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง

1. คุณภาพของภาพมีความละเอียดที่สูงขึ้นทั้ง 4K UHD และ 8K UHD ถึงแม้จะมีการผลักดันให้มีการใช้งานทั้งการสร้าง Content และโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่มีการโปรโมท 4K UHD กันอย่างต่อเนื่อง แต่การตอบรับของผู้บริโภคยังไม่มากเท่าที่ควร อาจจะสืบเนื่องมาจากยังขาดแคลน Content ที่เป็น 4K และความแตกต่างด้านความคมชัดระหว่าง 4K UHD กับ 1080p HD แตกต่างกันไม่มาก ถึงแม้ในขนาด

ของจอภาพ 50-60 นิ้วก็ตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความคมชัดระหว่าง 1080pHD กับ SD มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและได้รับการตอบรับอย่างชัดเจนของผู้บริโภคมากกว่า

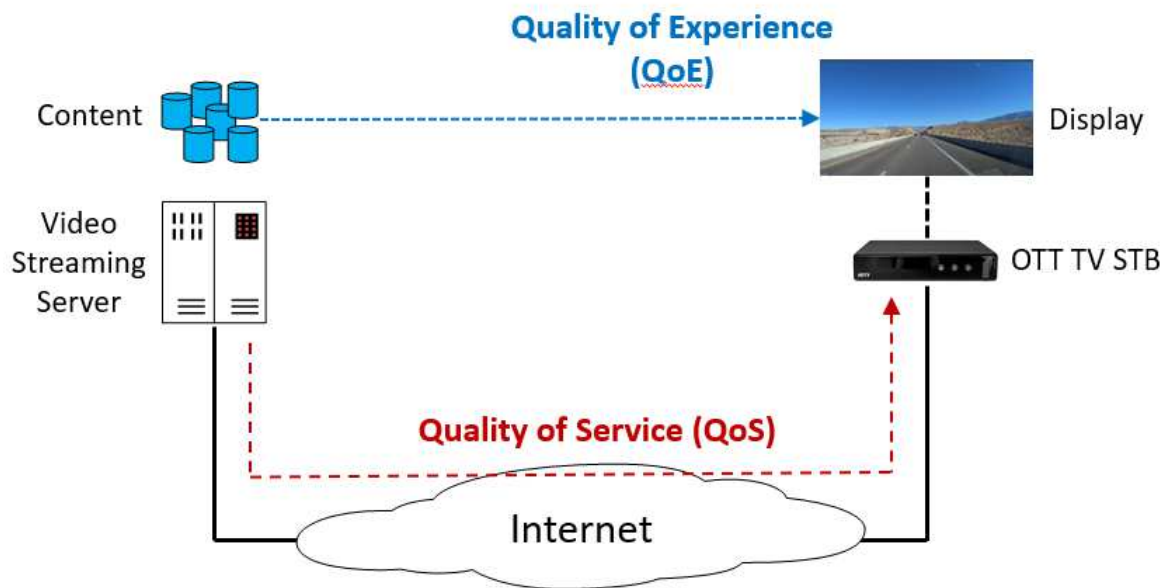
2. ในช่วงปีที่ผ่านมาได้มีกระแสการกล่าวถึงคุณภาพของภาพแบบ HDR (High Dynamic Range) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง HDR เป็นเทคโนโลยีให้ความเปรียบต่าง (Contrast) ของความสว่างที่กว้างขึ้นในภาพ คือในส่วนมืด (Shadow) และส่วนสว่าง (Highlight) ของภาพมีรายละเอียดที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับการมองเห็นของตามนุษย์มากยิ่งขึ้น ทำให้ภาพวิดีโอ HDR ให้ภาพที่สมจริงใกล้เคียงกับสภาพการมองเห็นจริง ซึ่งจะเริ่มมีการนำเสนอและเพิ่มการรับรู้ให้กับผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น มีการคาดการณ์ว่าอาจจะได้รับการตอบสนองจากผู้บริโภค ซึ่งถือว่าเป็นอีกคลื่นลูกหนึ่งของเทคโนโลยีที่จะมาสร้างการเปลี่ยนแปลงการรับชมภาพวิดีโอนอกเหนือจาก 4K UHD
3. การมาของ 4K UHD และ HDR ทำให้ปริมาณของข้อมูลวิดีโอมีขนาดเพิ่มมากขึ้นมาก จึงผลักดันให้มีความต้องการใช้เทคโนโลยีการบีบอัดภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่ง H265/HEVC ให้การบีบอัดภาพได้ดีกว่า H264/AVC (เทคโนโลยีบีบอัดมาตรฐานในปัจจุบัน) ถึงเท่าตัว มาตรฐาน H265/HEVC ประกาศออกมาปี 2556 และเริ่มมีการใช้งานจริงประมาณปี 2558 มีการเติบโตด้านการใช้งานอย่างช้าๆ เนื่องจากขาดแคลนอุปกรณ์ที่รองรับ ความต้องการด้าน 4K UHD ยังไม่แพร่หลาย แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการรับชม OTT TV เพิ่มขึ้นมาก และมีความต้องการคุณภาพของภาพที่ดีขึ้นอย่าง 4K UHD และ HDR เป็นส่วนผลักดันให้มีความต้องการใช้ H265/HEVC แต่อุปสรรคหนึ่งในภาคอุตสาหกรรมที่จะนำ H265/HEVC มาใช้คือค่า License ที่สูงมีการเก็บค่า License ตั้งแต่ระดับของ Software ระดับของ Platform และระดับของ Hardware หรือ Chipset ซึ่งค่า License นี้มีส่วนผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมเกิดการรวมตัวกันเป็น Alliance for Open Media (AOMedia) ซึ่งประกอบได้ด้วยบริษัทระดับใหญ่ในวงการอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น Google Apple Amazon Microsoft IBM Netflix facebook เป็นต้น AOMedia ร่วมกันสร้าง Royalty Free Video Codec ให้เกิดขึ้น ซึ่งได้เปิดตัว Video Codec AV1 เมื่อตอนต้นปี 2561 และเริ่มมีการทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกันขึ้น ผลการทดสอบคือ AV1 ให้ประสิทธิภาพการบีบอัดที่เหนือกว่า H265/HEVC ประมาณ 17% เป็นสิ่งที่น่าจับตามองต่อไปว่า AV1 จะได้รับการตอบรับและมาทดแทน H265/HEVC ได้หรือไม่ ล่าสุด H265/HEVC เริ่มขยับปรับตัวที่จะยกเว้นและลดค่า License ในบางส่วนของ Ecosystem แล้ว ดังนั้น Codec ในยุคหน้าระหว่าง H265/AVC กับ AV1 เป็นสิ่งที่ต้องติดตามกันต่อไป

บทที่ 4 คุณภาพการให้บริการ Quality of Service (QoS)

หัวใจสำคัญประการหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดความสำเร็จของการให้บริการ OTT TV คือการให้บริการที่มีคุณภาพ สร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ นอกเหนือจากการที่ผู้ใช้สามารถเลือกดู Content ที่ตัวเองต้องการแล้ว ผู้ใช้มีความคาดหวังให้การแสดงผลของ Content มีการบริการที่ดี ตอบสนองตามความคาดหวังได้ (Meet Expectation) บางครั้งความพึงพอใจของผู้ใช้ หรือ คุณภาพของการบริการ การวัดผลเป็นเรื่องของนามธรรม (Subjective Measurement) วัดจากความรู้สึก จับต้องไม่ได้ ในทางปฏิบัติจริงการวัดผลจึงค่อนข้างลำบาก แต่อย่างไรก็ตามในวงการอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดตัวชี้วัดบางประการที่สามารถเป็นตัวแทนของคุณภาพที่จะสะท้อนความพึงพอใจของผู้ใช้ได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service, QoS)

ในการเผยแพร่รายการโทรทัศน์ OTT TV มีกระบวนการทำงานและรูปแบบ (อย่างง่าย) ดังรูปที่ 4-1 ในการเผยแพร่เนื้อหาจาก video streaming server ไปสู่จุดแสดงผลให้กับผู้รับชมนั้น การประเมินคุณภาพสามารถพิจารณาได้ 2 ส่วนคือ

- 1) Quality of Experience (QoE) เป็นการประเมินคุณภาพของการให้บริการในมุมมองของผู้รับชมว่า ในประสบการณ์การรับชมนั้นดีมาน้อยเพียงใด เช่น คุณภาพของภาพ ตัวอย่างเช่น ความคมชัดของภาพ ภาพเป็น Block เป็น Pixel ภาพกระตุก เป็นต้น คุณภาพการรับชม ตัวอย่างเช่น เสียงกับภาพไม่ตรงกัน การตอบสนองของแอปพลิเคชัน หรือ อุปกรณ์รับชม เวลาในการตอบสนองการเปิด ปิด เติมน้ำ ย้อนหลัง มีการตอบสนองได้ดีเพียงใด เป็นต้น
- 2) Quality of Service (QoS) เป็นการประเมินคุณภาพของระบบส่งเนื้อหา ซึ่งรวมถึงตั้งแต่ Video Streaming Server ระบบเครือข่าย กล้องรับสัญญาณ ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นส่วนประกอบในการพิจารณาของ QoS ค่า QoS เป็นที่รู้จักกันมานานในการใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของระบบเครือข่าย ตัวอย่างเช่น Bit rate หรือ Data Rate ของระบบเครือข่าย ความล่าช้า (Delay) ในการส่งข้อมูล การแปรผันของความล่าช้า (Delay Variation หรือ Delay Jitter) ในการส่งข้อมูล ข้อผิดพลาด (Error) ของการส่งข้อมูล เป็นต้น ในอดีตในยังไม่มีกำหนดคุณภาพในรูปแบบ QoE ก็จะใช้ค่าของ QoS เป็นตัวสะท้อนคุณภาพการให้บริการด้วย ถึงแม้ว่าอาจจะไม่สะท้อนการรับรู้จริง ๆ ของผู้รับชมได้ แต่ค่า QoS มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ QoE เพราะถ้าระบบโครงข่ายส่งมี QoS ที่ไม่ดีย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการแสดงผลต่อผู้รับชม หรือ QoE ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4-1: การแพร่ภาพรายการโทรทัศน์แบบ OTT TV และคุณภาพของการให้บริการ

ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของวิดีโอที่พบบ่อย

- Stalling (re-buffering) ในการ Streaming วิดีโอมาที่ Media Player Application นั้น ก็จะมีการเก็บ Segment ของวิดีโอไว้ในหน่วยความจำ หรือที่เรียกว่าการ Buffering และจะทำการเล่นหรือแสดงผลวิดีโอจาก Buffer ตามกำหนดเวลาที่แน่นอน ในกรณีโครงข่ายมีการติดขัด ไม่สามารถส่งข้อมูลมาเก็บใน Buffer ได้ทันเวลาของการแสดงผล ก็จะเกิดอาการหรือภาพค้างหยุดนิ่งหรือกระตุก ซึ่ง Media Player Application ต้องทำการรวบรวม Segment ของวิดีโอใหม่หรือ re-buffering เมื่อมีจำนวน Segment ของวิดีโอที่พอเพียงใน Buffer ก็จะทำการเล่นไฟล์และแสดงผลใหม่อีกครั้ง
- Blurring หมายถึงการที่ภาพไม่คมชัด ไม่มีแสดงรายละเอียดที่เพียงพอเมื่อขึ้นจอภาพ ซึ่ง Blurring เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น 1) การที่ไฟล์วิดีโอมีความละเอียดต่ำไปแสดงผลในจอที่มีความละเอียดสูง ซึ่งก็ไม่ได้ทำให้ภาพที่แสดงขึ้นจอจะคมชัดขึ้นตามได้ 2) มีการ Encode ด้วย Bitrate ที่ต่ำเกินไป คือมีการบีบอัดมากซึ่งต้องมีการละทิ้งในรายละเอียดหลายอย่างในภาพเพื่อให้ได้ค่า Bit rate ต่ำส่งผลให้ภาพขาดรายละเอียดและไม่คมชัดได้
- Blocking ภาพวิดีโอแสดงให้เห็นเป็นลักษณะของ Block สีเหลี่ยมเกิดขึ้น คล้ายกับ pixel แต่เป็นบล็อกที่มีขนาดใหญ่จนสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ เกิดจากการที่ วิดีโอมีการบีบอัดมากเกินไปจน มีจำนวนบิตที่ไม่พอเพียงในการแสดงผล ก่อให้เกิดภาพในลักษณะของ Blocking

- Jerkiness เป็นลักษณะของภาพวิดีโอกระตุก ขาดความต่อเนื่องในภาพเคลื่อนไหว อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น วิดีโอต้นฉบับมีการใช้ค่า Frame Rate ที่ต่ำเกินไป โดยปกติค่า Frame Rate ค่าตั้งแต่ 24 frame/sec ขึ้นไปภาพวิดีโอจะมีความต่อเนื่อง แต่กรณี frame rate ที่ต่ำ ตั้งแต่ต่ำกว่า 20 frame/sec ลงมาจะเริ่มสังเกตความไม่ต่อเนื่องของภาพได้ อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการ Media Player ได้รับ Segment ของวิดีโอได้ไม่ทันเวลาต่อการแสดงภาพ (อาจจะเนื่องมาจาก Network Congestion) ก็จะทำให้ภาพวิดีโอใน Segment นั้นขาดหายไป จึงเกิดอาการกระตุกของภาพได้
- Damage Blocks เกิดจากกรณีที่ข้อมูลบางส่วนของภาพหรือ Frame เกิดความสูญหายในระหว่างการส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ข้อมูลของภาพที่หายนั้นถ้าเกิดกับบางเฟรม เช่น B-frame และมีจำนวนไม่มาก ก็จะไม่แสดงผลของความผิดพลาดตรงนี้ เนื่องจาก Encoder สามารถซ่อนความผิดพลาดได้ระดับหนึ่ง (Error Concealment) ถ้ามีความเสียหายมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ภาพแสดงเป็น Block เกิดขึ้นได้
- Loss of Service เกิดจากลักษณะวิดีโอจอต่าสนิทไม่มีการแสดงภาพใดๆออกมาเลย
- Loss of Audio-Video Synchronization เป็นลักษณะที่เสียงกับภาพไม่ตรงกัน เช่น คนกำลังพูดอยู่ แต่ภาพที่แสดง ปากของคนพูดมีการขยับที่ไม่ตรงกับเสียงพูด หรือเสียงพูดกับภาพ แสดงไปคนละทิศคนละทางเลย

สิ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพวิดีโอ

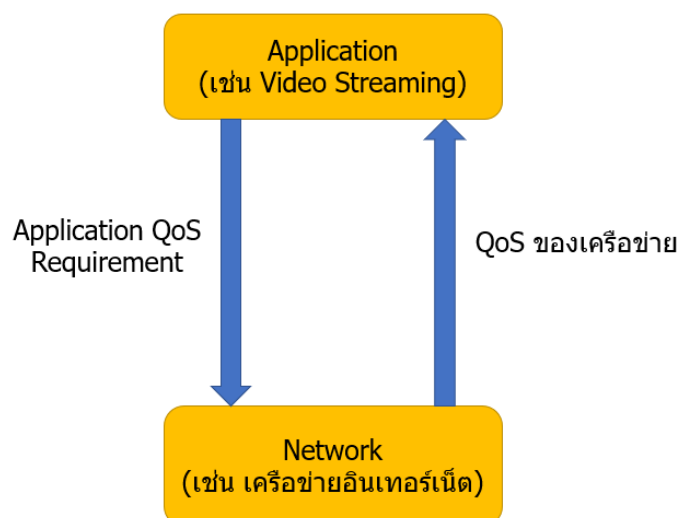
- การบันทึกภาพ (Capture) การบันทึกวิดีโอที่มีคุณภาพต่ำ เกิดจากได้จากหลายสาเหตุ เช่น สภาพแสงที่ไม่เหมาะสม เลนส์คุณภาพต่ำ ความละเอียดของภาพต่ำ การสั่นไหวของกล้องขณะบันทึกภาพ หากไม่มีดำเนินการบันทึกที่ดีตั้งแต่เริ่มต้น จะมีความยากลำบากในการปรับปรุงคุณภาพของวิดีโอให้ดีขึ้นได้ในขั้นตอนถัดๆไป
- การเข้ารหัส หรือการบีบอัดวิดีโอ (Video Encoding หรือ Video Compression) การบีบอัดวิดีโอด้วย Lossy Compression Algorithm นั้นรายละเอียดและความคมชัดของภาพจะลดทอนลงเพื่อแลกกับความต้องการ Bit Rate น้อยลง เพื่อให้สามารถส่งผ่านไปเครือข่ายที่มี bandwidth หรือความเร็วจำกัดได้ เมื่อทำการบีบอัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการ Bit Rate ลดลง และส่งผลทำให้คุณภาพของภาพลดลงตามไปด้วย
- การส่ง (Transmission) การส่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวิดีโอ เช่น ความผิดพลาด (Error) และการสูญเสียหรือสูญหาย (Loss) ของข้อมูลในขณะส่ง โดยทั่วไปจะมีสาเหตุมาจาก การติดขัดของ

เครือข่าย (Network Congestion) และ การสูญเสียการเชื่อมต่อ (Connection Loss) ซึ่งส่งผลให้วิดีโอเกิดความล่าช้าและสูญหายระหว่างทางก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพได้

- การเล่น (Playback) คุณภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณขึ้นจอภาพ ความละเอียดของหน้าจอ ขนาดของจอ มีส่วนทำให้ผู้รับชมรับรู้ถึงคุณภาพของวิดีโอที่ดีหรือไม่ดีได้

Quality of Service (QoS)

Quality of Server (QoS) หรือคุณภาพของการให้บริการ โดยตัวชี้วัดเช่น Throughput, Delay, Delay Jitter, Loss หรือ Error rate ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้เป็นการบ่งบอกถึงคุณภาพของระบบเครือข่ายหรือระบบส่ง นอกจากนี้ยังมีอีกมุมมองหนึ่งถึงความต้องการด้านคุณภาพของ Application (Application QoS Requirement) ซึ่งจะใช้ตัวชี้วัดแบบเดียวกันกับ QoS ของเครือข่าย ตัวอย่างของ Application QoS Requirement เช่น Bit Rate ของวิดีโอ Delay สูงสุดที่รับได้สำหรับการรับชมวิดีโอ เป็นต้น (ดูรูปที่ 4-2) คุณภาพของการให้บริการของเครือข่าย จะต้องตอบสนองกับความต้องการด้าน QoS ของ Application ถึงจะสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้

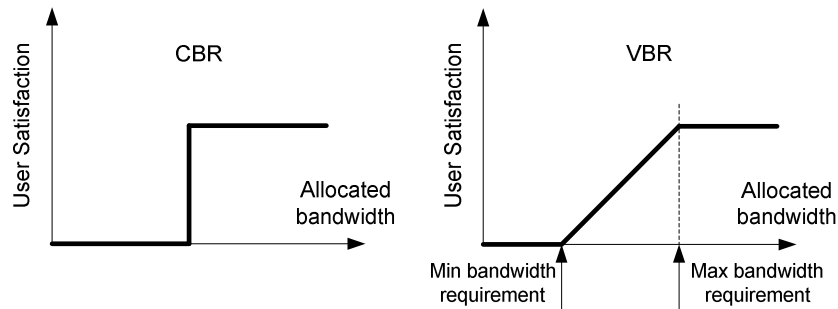


รูปที่ 4-2: ความสัมพันธ์ระหว่าง Application QoS Requirement กับ QoS ของเครือข่าย

ตัวชี้วัดสำหรับ Quality of Service (QoS)

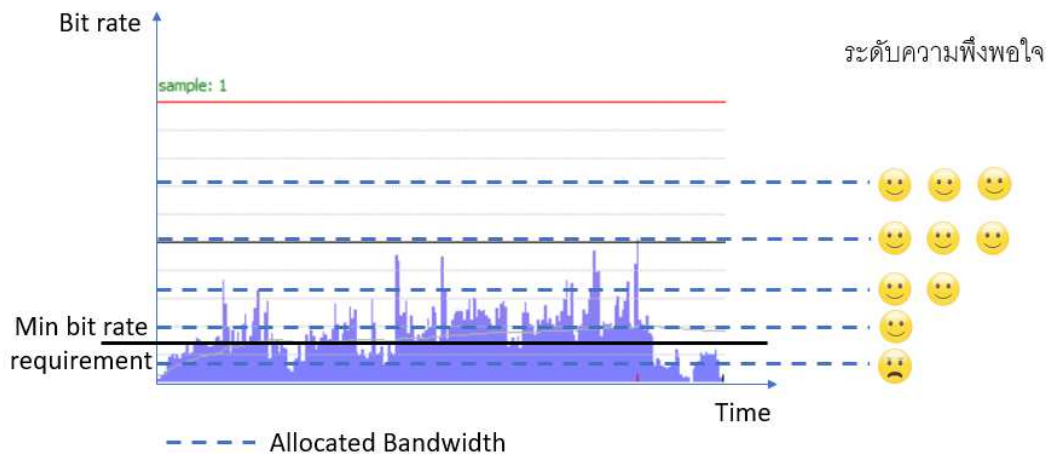
1. Throughput บางครั้งเรียกว่า Bit Rate, Data Rate หรือแม้กระทั่งคำว่า Bandwidth โดยมีหน่วยวัดเป็น bit per second เป็นตัวชี้วัดที่อธิบายในสองมุมมองคือ Application QoS Requirement และการให้บริการ QoS ของเครือข่ายที่ส่งข้อมูล Application

- Application QoS Requirement: ความต้องการด้าน bit rate ของ application ตัวอย่างเช่น HD video ถูก encode ด้วย bit rate 3 Mbps หมายความว่า HD video นี้มีความต้องการความเร็วในการส่งของเครือข่ายอย่างน้อย 3 Mbps หรือกรณีของเสียง ที่มีการ encode ด้วย AAC-LC ด้วย bit rate 128 kbps เป็นต้น แต่ละ application มีความต้องการด้าน bit rate ที่มีความแตกต่างกัน เช่น กรณีของวิดีโอความต้องการด้าน bit rate ขึ้นกับ Resolution, Frame Rate, Bit per pixel ระดับของการบีบอัดข้อมูล เป็นต้น นอกจากค่า bit rate ที่แสดงถึง ความต้องการด้าน QoS ของ application แล้ว ยังมีเรื่องของลักษณะการแปรเปลี่ยนของ bit rate เช่น CBR (Constant Bit Rate) ค่า bit rate คงที่ตลอดเวลา หรือ VBR (Variable Bit Rate) ค่าของ bit rate แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นในการจัดการด้าน bandwidth ของระบบเครือข่าย ต้องคำนึงถึงทั้งความต้องการ bit rate และการแปรเปลี่ยนของ bit rate ของ Application ด้วย
- QoS ของเครือข่าย: เป็นการบ่งบอกว่า ระบบเครือข่ายมีความสามารถในการส่งข้อมูลได้ด้วย bit rate เท่าใด เช่น Lease Line ความเร็ว 1 Mbps, ADSL ความเร็ว 30 Mbps Download/ 5 Mbps Upload เป็นต้น ดังนั้นการจัดเตรียม bandwidth ของเครือข่ายต้องสอดคล้องกับความต้องการด้าน bit rate ของ application รูปที่ 4-3 แสดงการจัดสรร bandwidth ของเครือข่ายกับระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ กรณีของ CBR Application (เช่น Uncompressed Video) นั้นมีความต้องการ Bandwidth ขั้นต่ำสำหรับเครือข่ายค่าหนึ่ง ถ้าเครือข่ายจัดสรรได้น้อยกว่าความต้องการ ส่งผลทำให้ Application ไม่สามารถใช้งานได้ ผู้ใช้จะไม่พึงพอใจอย่างมาก ถ้าเครือข่ายจัดสรร Bandwidth ให้เกินค่าขั้นต่ำมากขึ้น ความพึงพอใจจะยังคงคงที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตาม Bandwidth ของเครือข่ายที่จัดสรรให้เพิ่ม กรณีของ VBR Application (เช่น Compressed Video) ต้องการ minimum bandwidth สำหรับเครือข่าย ถ้าเครือข่ายจัดสรร bandwidth ให้มากขึ้นความพึงพอใจก็จะมากขึ้นตาม แต่ความพึงพอใจไปคงที่ที่ระดับของ bandwidth ของเครือข่ายค่าหนึ่ง ถ้าได้ bandwidth ของเครือข่ายให้มากกว่านี้ ความพึงพอใจไม่ได้เพิ่มขึ้นอีก รูปที่ 4-4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจกับการจัดสรร bandwidth ของเครือข่ายสำหรับ VBR Video ในการนำเสนออีกรูปแบบหนึ่ง



รูปที่ 4-3: ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความพึงพอใจของผู้ใช้กับ Bandwidth ของเครือข่ายที่จัดสรรให้

VBR Video Bit Rate



รูปที่ 4-4: ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้กับ Bandwidth ของเครือข่ายที่จัดสรรให้

2. Delay คือความล่าช้ามีหน่วยวัดเป็น นาที่ วินาที

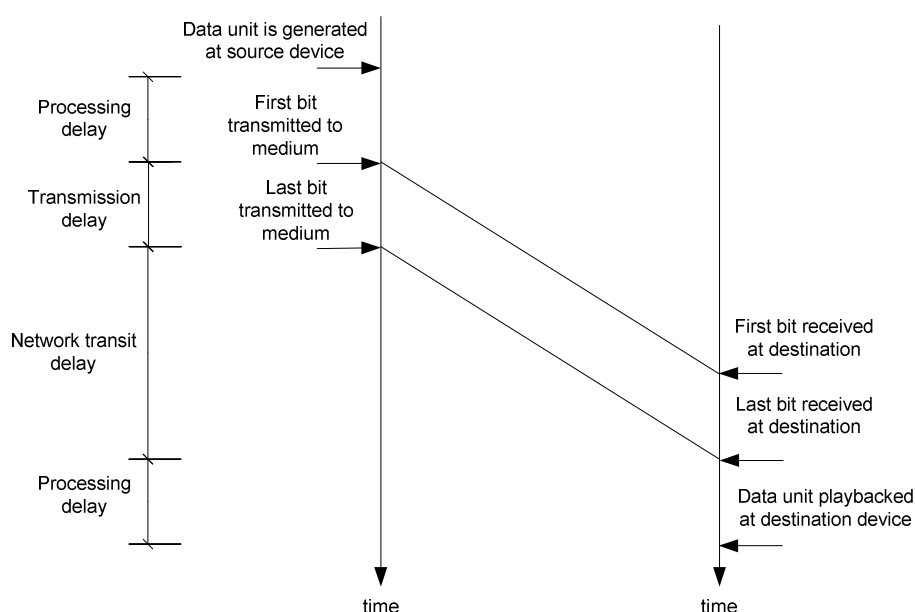
- Application OoS Requirement: เป็นความต้องการด้านเวลาของ Application ในการส่ง ในการตอบสนอง เป็นต้น ซึ่งเราสามารถแบ่งประเภทของ Application ออกเป็นสองกลุ่มตามความต้องการด้านเวลา คือ
 - i) Non-Realtime Application เป็น Application ที่ไม่มีความเร่งด่วนด้านเวลา คือ สามารถที่จะรอได้ เช่น email, FTP หรือ File Transfer หรือ WWW เป็นต้น ซึ่งความอดทนต่อการรอคอยด้านเวลาจะมีระดับตั้งแต่ หลายวินาที นาที่ หรือ ชั่วโมง แต่โดยธรรมชาติแล้วผู้ใช้งานต้องการใช้เวลาของ Application ที่สั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่สามารถรอได้

ii) Realtime Application เป็น application ที่มีการต้องการเวลาในการตอบสนองที่สั้น ซึ่งจะมีระดับของความต้องการการตอบสนองที่แตกต่างกันไปในแต่ละ application ตัวอย่างเช่น Application ที่เกี่ยวข้องกับการโต้ตอบ (Interactive Application) มีความต้องการด้าน Delay ต่ำ เช่น Voice Application หรือ VoIP มีความต้องการตามตารางที่ 4-1 หรือ Online Game มีความต้องการด้าน delay ในระดับ มิลิวินาที หรือ Streaming Video มีความต้องการด้าน delay จะอยู่ในรูปของการตอบสนองต่อการเล่น video เช่น การตอบสนองต่อการกดปุ่ม เล่น หยุด เดินหน้า ถอยหลัง ซึ่งมีความต้องการด้าน delay ไม่เกิน 1-2 วินาที เป็นต้น

- QoS ของเครือข่าย: เป็นค่า delay ของการส่งข้อมูลบนเครือข่ายจากจุดหนึ่ง ไปสู่อีกจุดหนึ่ง delay ในเครือข่ายมีที่มาจาก delay ในแต่ละส่วนประกอบเครือข่ายตามเส้นทางของการส่งข้อมูล เช่น Processing Delay, Transmission Delay, Network Transit Delay เป็นต้น ตามรูปที่ 4-5

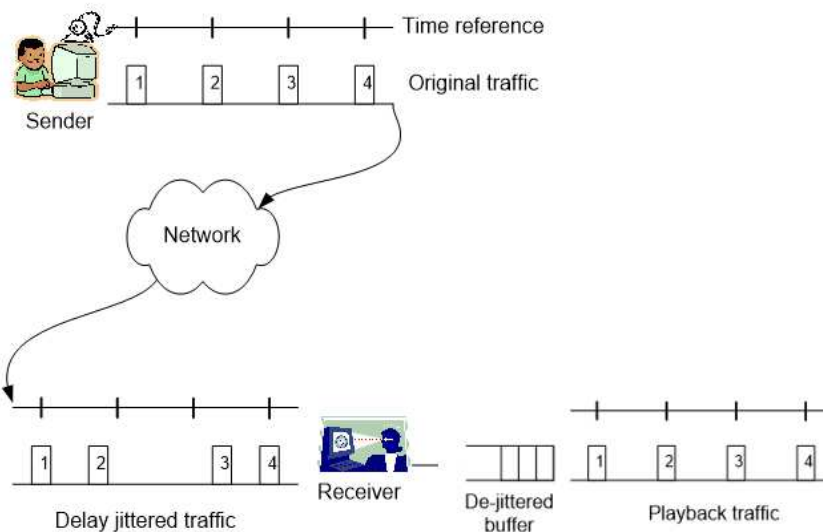
ตารางที่ 4-1: ความต้องการด้าน Delay ของ VoIP

One-way delay	Effect on perceived quality
< 100 – 150 ms	Excellent quality (undetectable delays)
150 – 250 ms.	Acceptable quality (slight delays)
Over 250 – 300 ms.	Unacceptable quality



รูปที่ 4-5: ส่วนประกอบของ Delay บนเครือข่าย

3. Delay Variation (delay jitter) เป็นค่าที่แสดงถึงการผันแปรของค่า delay ตัวชี้วัด QoS นี้มักจะกำกับในส่วนของการเข้ารหัสเป็นหลัก ในการส่ง Video Streaming ซึ่งต้นทางจะมีการสร้าง Packet ข้อมูลที่มีระยะห่างของเวลาที่คงที่ค่าหนึ่ง และเมื่อมาถึงฝั่งรับก็จะทำการดึง Packet มาแสดงผลตามระหว่างห่างของเวลาตามเวลาเดียวกับต้นทาง เมื่อมีการส่ง packet ผ่านเครือข่าย Packet จะมีการเดินทางผ่านจุดต่าง ๆ ของเครือข่ายเกิด delay ระหว่างการเดินทางเกิดขึ้น และ delay มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพของเครือข่าย ณ เวลานั้น ดังนั้นอาจจะทำให้แต่ละ Packet มีค่า delay ที่แตกต่างกัน หรือมาถึงปลายทางด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ตามรูปที่ 4-6 วิธีการแก้ปัญหาคือการใช้ Buffer ที่ฝั่งรับ ซึ่งฝั่งรับจะทำการเก็บ Packet ไว้ใน buffer ก่อนที่จะทำการแสดงผลขึ้นมาภายหลังด้วยระยะห่างที่คงที่ตรงกับต้นทาง ถ้ายังมี Delay Jitter มากขึ้นเท่าไร ก็ต้องมี buffer ขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะมีผลต่อการตอบสนองต่อการโต้ตอบของ Application หรือ Application Delay ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ delay มีค่า delay ที่ยาวนานขึ้น จะมีผลกระทบกับแอปพลิเคชันประเภท Interactive Application



รูปที่ 4-6: Delay Jitter และการแก้ไข

4. Loss or error rate เป็นการวัดอัตราการสูญหายของข้อมูล หน่วยในการวัดอาจจะเป็น Packet Loss Rate (จำนวนที่ packet ต่อจำนวน packet ที่ส่งทั้งหมด) หรือ Bit Error Rate (จำนวน bit ที่ error ต่อจำนวน bit ที่ส่งทั้งหมด) Loss ส่งผลต่อคุณภาพของการเล่นของไฟล์ OoS service ระบบเน็ตเวิร์คได้รับ

การบริหารจัดการ QoS ในระดับเครือข่าย

ในการบริหารจัดการ QoS ของเครือข่ายเพื่อที่ตอบสนองต่อความต้องการ QoS ของ Application มีแนวทางอยู่สองรูปแบบ

1. Bandwidth management เป็นการบริหารจัดการ Bandwidth ของเครือข่าย ที่มีทรัพยากรของเครือข่ายที่จำกัด จึงต้องดำเนินการควบคุมดูแลให้ตอบสนองต่อความต้องการ QoS ของแต่ละ Application ซึ่งต้องใช้เครื่องมือบริหารจัดการ เช่น

- การระบุตัวตนหรือประเภท Application (Classification) ซึ่งเป็นกลไกที่จำเป็นต้องมีคือ การระบุประเภทของ application เช่น การระบุว่าเป็น application ตาม ID หรือตาม IP Address เป็นต้น ซึ่งจะมีการบริหารจัดการตามประเภทที่แบ่งไว้
- การรับเข้าสู่โครงข่าย (admission control) เป็นกลไกการตรวจสอบความต้องการด้านทรัพยากรเครือข่ายของ Application เช่น จำนวน Bit rate ที่ต้องการ และทำการตรวจสอบว่าทรัพยากรของเครือข่ายมีเพียงพอที่จะรับเข้ามาหรือไม่ ถ้ามีเพียงพอก็จะอนุญาตให้เข้าใช้เครือข่าย ถ้ามีไม่เพียงพอก็จะปฏิเสธไม่ให้เข้าใช้งาน
- การจองทรัพยากร (resource reservation) เป็นการจัดสรรทรัพยากรให้กับ Application
- การจัดลำดับการส่งแพ็กเกจ (package scheduling) เป็นการจัดความสำคัญเร่งด่วนของ Application กรณี Realtime Application มีความต้องการตอบสนองด้านเวลาที่สั้นไม่สามารถรอได้ ก็จะได้รับส่งไปก่อน เมื่อเทียบกับ Non-realtime application ที่สามารถรอให้ส่งในภายหลังได้

กลไกด้าน Bandwidth Management เป็นการบริหารทรัพยากรเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพ แต่จะตามมาด้วยความซับซ้อนในการบริหารจัดการ

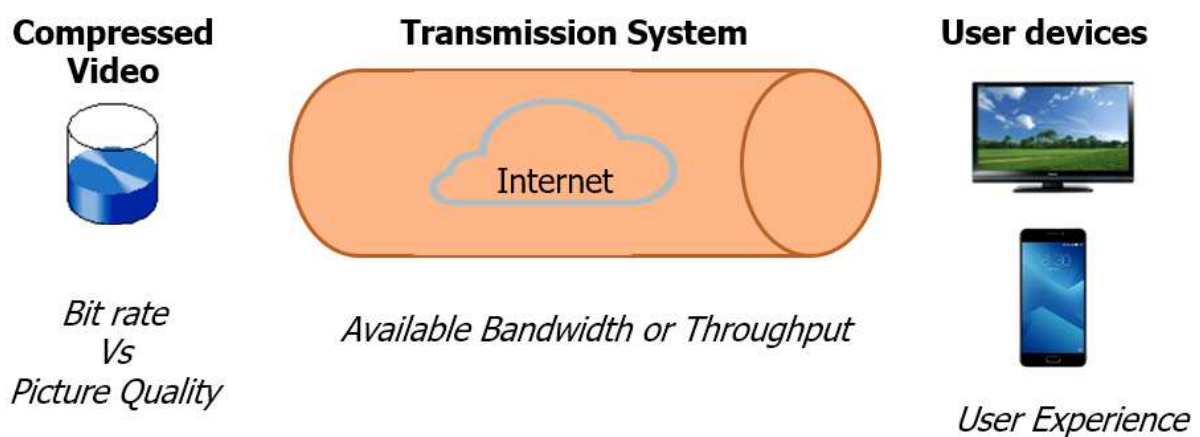
2. Bandwidth over-Provisioning เป็นอีกปรัชญาหนึ่งในการบริหารจัดการ QoS คือเมื่อมีความต้องการการแก้ปัญหาด้าน QoS ก็จะทำให้เพิ่ม Resource ให้กับเครือข่าย เช่น Upgrade ความจุความเร็วในระบบส่ง ให้มี Bandwidth มากเกินกว่าความต้องการ เนื่องจากมีทรัพยากรเครือข่ายที่มาก ทุก application ก็จะได้รับตอบสนองต่อ QoS ไปโดยปริยาย แนวทางนี้มีความยุ่งยากซับซ้อนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการ Bandwidth Management และตอบสนองต่อ QoS Requirement ที่ดี

คำถามคือแล้วแนวทางไหนเป็นแนวทางที่เหมาะสม คำตอบคือก็ขึ้นกับสถานการณ์ ในกรณีที่เครือข่ายแบบมีสาย ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เคเบิลใยแก้วซึ่งให้ความจุที่แทบจะไม่มีขีดจำกัด การใช้แนวทาง Bandwidth over-provisioning ก็เป็นแนวทางที่เหมาะสม แก้ปัญหาได้ง่าย รวดเร็ว มีความซับซ้อนต่ำ

สำหรับเครือข่ายไร้สายที่มีทรัพยากรด้านคลื่นความถี่ที่จำกัด มีความจำเป็นต้องใช้แนวทาง Bandwidth Management แต่เมื่อบริหารจัดการไปถึงจุดหนึ่งก็เล็งเห็นว่าเห็นมีทรัพยากรด้านคลื่นความถี่ไม่เพียงพอจริง ๆ ก็ต้องทำการ Bandwidth Over Provisioning โดยการจัดหาคลื่นความถี่เพิ่มเติม หรือ เปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยีใหม่ที่ให้ประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ที่ดีขึ้นกว่าเดิม เป็นลักษณะการใช้ สองแนวทาง สลับกันไปมา

การบริหารจัดการ QoS ที่ระดับแอปพลิเคชัน

ในการให้บริการ OTT TV นั้นผู้ให้บริการไม่สามารถที่ไปควบคุมดูแลระดับของ Bandwidth โคร่งข่ายอินเทอร์เน็ตในระหว่างทางได้ทั้งหมด ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับของ Bandwidth อยู่เสมอ ซึ่งเครือข่ายอินเทอร์เน็ตถือว่าเป็น QoS Unmanaged Network ดังนั้นผู้ให้บริการ OTT TV จึงต้องทำการควบคุมปริมาณ Bit Rate ของรายการที่ส่งออกมาโดยทำการควบคุมระดับของการบีบอัด ความละเอียดของภาพ Framerate ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์รับชมและสภาพของอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7: การบริหารจัดการ QoS ที่ระดับแอปพลิเคชันโดยการปรับเปลี่ยนระดับของการบีบอัดข้อมูล

เทคนิคในการปรับเปลี่ยนระดับของ bit rate ของเนื้อหาด้วยเทคนิคที่ชื่อว่า Adaptive Bitrate Streaming (ABR) ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในบทถัดๆไป

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพการให้บริการ Quality of Service (QoS)

1. คุณภาพของการให้บริการ (QoS) เป็นสิ่งสำคัญที่กำหนดความสำเร็จบริการ OTT TV การที่ผู้ใช้รับชมวิดีโอที่ไม่มีคุณภาพเช่นภาพกระตุก ภาพไม่ต่อเนื่อง ผู้ใช้ก็จะทำการเปลี่ยนผู้ให้บริการไปทันที เพราะ OTT TV มีการแข่งขันสูง มีผู้เล่นรายใหม่เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง ผู้บริโภคมีตัวเลือกอย่างมากและสามารถเปลี่ยนการให้บริการได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย ในแง่มุมของการกำกับดูแลเรื่อง คุณภาพขั้นต่ำ

ของ QoS อาจจะไม่มีความจำเป็น เพราะกลไกของตลาดจะเป็นคนจัดการด้วยตัวมันเอง แต่ที่ต้องกำกับดูแลเรื่องสัญญาด้านคุณภาพที่ทางผู้ให้บริการ OTT TV ตกลงกับผู้ใช้ ถ้าระบุไว้เป็นแบบไหนก็ต้องปฏิบัติตามที่บอกไว้ เช่น OTT TV หนึ่งให้บริการภาพยนตร์จากต่างประเทศ มีคุณภาพระดับ HD ถ้าระบุว่า HD ก็ต้องให้บริการ HD ตามที่สัญญาไว้ เป็นต้น

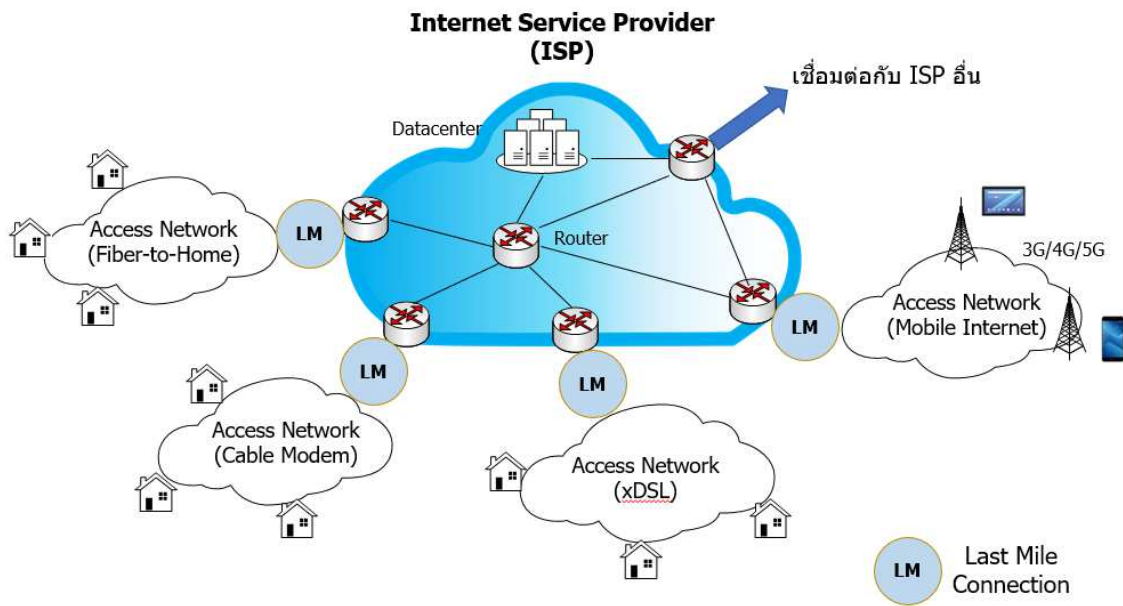
2. แต่ละ Application มีความต้องการด้าน QoS ที่แตกต่างกัน การบริการ OTT TV เป็นลักษณะของ Realtime Application ซึ่ง delay มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพของการให้บริการ ถ้าสมมติมีข้อมูลของสอง Application เช่น Non-real time application กับ Real time application ถูกส่งเข้ามาในเครือข่ายพร้อมๆกัน เครือข่ายก็ต้องบริหารจัดการให้ Real time application มี priority ในการถูกส่งออกไปก่อน เพราะเป็น application ที่ไม่สามารถรอได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าไปกีดกัน Non-real time application ไม่ให้ใช้งานได้เลย เพียงแต่ลำดับการส่งก่อนหลังเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเรื่องประเด็นของ Priority เกิดขึ้นเพราะการบริหารจัดการด้าน Bandwidth ในระบบสายในปัจจุบันจะเน้นไปที่การทำ Bandwidth Over Provisioning หรือการ Upgrade โครงข่ายให้มี Bandwidth หรือ ความจุที่มากอย่างพอเพียง ซึ่งทุกๆ Application จะได้รับการรองรับ QoS ด้วยกันทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามในบางโครงข่ายที่มีทรัพยากรที่จำกัด เช่น โครงข่ายไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่ จะมีข้อจำกัดด้านการทำ Bandwidth Over Provisioning เพราะทรัพยากรด้านคลื่นความถี่ไม่พอเพียง ดังนั้นการใช้ Bandwidth Management เป็นแนวทางที่จะต้องนำมาใช้ อย่างกรณีการทำ Priority นี้ อาจจะก่อให้เกิดประเด็นข้อถกเถียง เรื่องแนวทางการกำกับดูแลเรื่อง **Net Neutrality** ซึ่งระบุว่าต้องการดูแลทุก Traffic ทุกประเภทที่เท่าเทียมกัน ไม่กีดกันรายใดรายหนึ่ง ซึ่งในการกำกับดูแลอาจจะต้องมากำหนดขอบเขตและความหมายของ Net Neutrality ให้ชัดเจน เพราะในกรณีทางมุมมองทางเทคนิคเรื่อง QoS แล้ว การที่แต่ละ Application มีความต้องการด้าน QoS ที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถที่จะควบคุมดูแลทุก Traffic ทุกประเภทให้เหมือนกันได้ ซึ่งในมุมมองนี้ถือว่าไม่เข้าข่ายของ Net Neutrality แต่ถ้าเป็นกรณีที่ผู้ให้บริการ OTT TV เหมือนกัน แต่มีการควบคุมดูแลในผู้ประกอบการรายหนึ่งมีสิทธิพิเศษ หรือมี Fast Lane เหนือกว่ารายอื่น ๆ ซึ่งกรณีหลังนี้จะเป็นการละเมิดการกำกับดูแลด้าน Net Neutrality หรือการประกอบธุรกิจที่ไม่เป็นธรรม ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาและกำหนดรายละเอียดของ Net Neutrality ในแต่ละ Scenario ให้ชัดเจนต่อไป

บทที่ 5 โครงข่ายอินเทอร์เน็ตและการส่งวิดีโอผ่านโครงข่าย (Video Streaming)

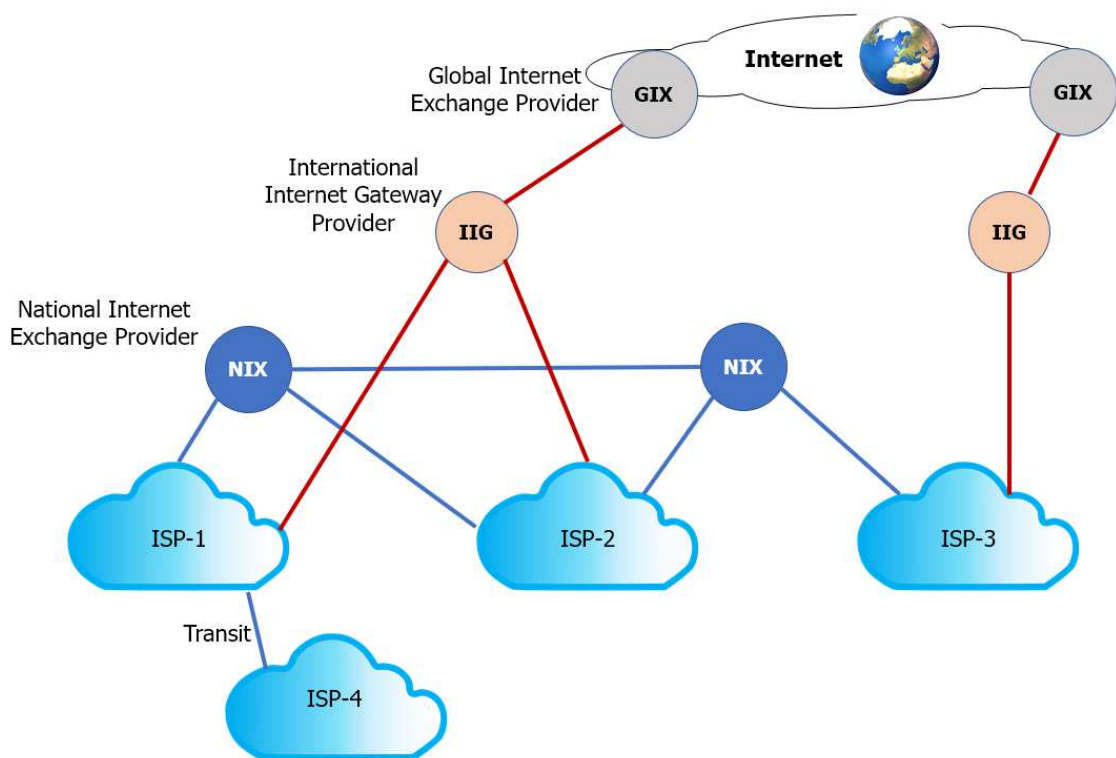
ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของ OTT TV ในส่วนแรกจะกล่าวถึงภาพรวมและส่วนประกอบของโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีการเข้าถึง (Access Network) ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โปรโตคอลที่สำคัญที่ใช้อยู่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับการรับส่งข้อมูล สุดท้ายกล่าวถึง Streaming Protocol ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายใน OTT TV

โครงข่ายอินเทอร์เน็ตบางครั้งถูกเรียกว่าเป็น Network of Network ประกอบไปด้วยหลาย Network เชื่อมต่อกันจาก Network ขนาดเล็กภายในประเทศ ต่อกันเป็น Network ขนาดใหญ่ระดับประเทศ แล้วออกไปเชื่อมต่อกับ Network อื่นในต่างประเทศ รวมกลายเป็นโครงข่ายระดับโลกซึ่งก็คือโครงข่ายอินเทอร์เน็ตนั่นเอง ถ้าจะให้เห็นภาพชัดเจนจะเริ่มต้นจาก โครงข่ายที่ใกล้ตัวผู้ใช้งานที่สุดคือ โครงข่ายของ Internet Service Provider (ISP) ที่ให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตให้กับผู้บริโภคโดยตรง (รูปที่ 5-1) ISP ให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตให้กับผู้บริโภคด้วยหลากหลายเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ (Access Network Technologies) เช่น Fiber-to-home, Cable Modem, ADSL, Mobile Internet (3G/4G/5G) เป็นต้น Access Network เชื่อมต่อเข้ากับ Core Network ของ ISP ด้วย Last Mile Connection ซึ่งอาจจะเป็น Lease Line, Microwave Link, Point-to-point Wireless หรือ 3G/4G/5G ในการเชื่อมต่อแบบ Backhaul ก็ได้ ภายใน Core network ของ ISP ก็จะประกอบด้วยเครือข่ายของ Router ที่เชื่อมโยงกัน และมีศูนย์ข้อมูล Datacenter เป็นศูนย์รวม Server ที่ ISP ให้บริการอื่นๆ นอกเหนือจากให้บริการอินเทอร์เน็ต ตัวอย่างเช่น Web Server, Edge CDN Server, File Storage และอื่นๆ อีกมาก ISP ก็จะมีการเชื่อมต่อออกไปเชื่อมต่อกับ ISP อื่น ๆ และ International Internet Gateway ต่อไป

เมื่อพิจารณาภาพของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในระดับที่กว้างขึ้นมา (รูปที่ 5-2) ISP แต่ละแห่งมีการเชื่อมโยงซึ่งกันและกันผ่านผู้ให้บริการ National Internet Exchange (NIX) หรือ NIX Provider นอกจากนี้ ISP มีการเชื่อมต่อกับ Internet ต่างประเทศผ่านผู้ให้บริการ International Internet Gateway (IIG) หรือ IIG Provider ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมี IIG ที่เชื่อมต่อออกไปต่างประเทศมีอยู่จำนวนมากและมีหลายเส้นทาง ในบางกรณีที่เป็น ISP ขนาดเล็ก (ISP-4 ในรูปที่ 5-2) ไม่มีการเชื่อมต่อไปที่ NIX หรือ IIG โดยตรง แต่อาศัยการเชื่อมต่อผ่าน ISP อื่น (ISP-1 ในรูปที่ 5-2) เป็นลักษณะของ Traffic Transit ถ้าพิจารณาถึงการเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตระหว่างประเทศ ซึ่งจะมีทั้งแบบการเชื่อมโยงตรงระหว่างประเทศ หรือ มีการเชื่อมโยงผ่านผู้ให้บริการ Global Internet Exchange (GIX)

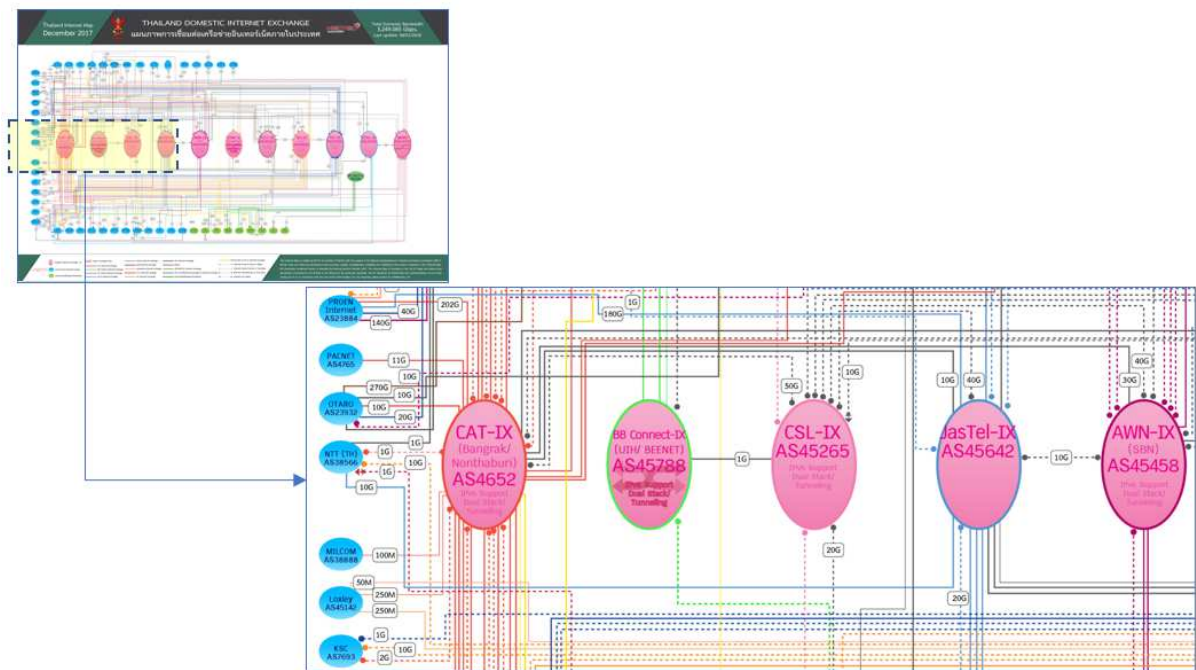


รูปที่ 5-1: การให้บริการอินเทอร์เน็ตของ ISP



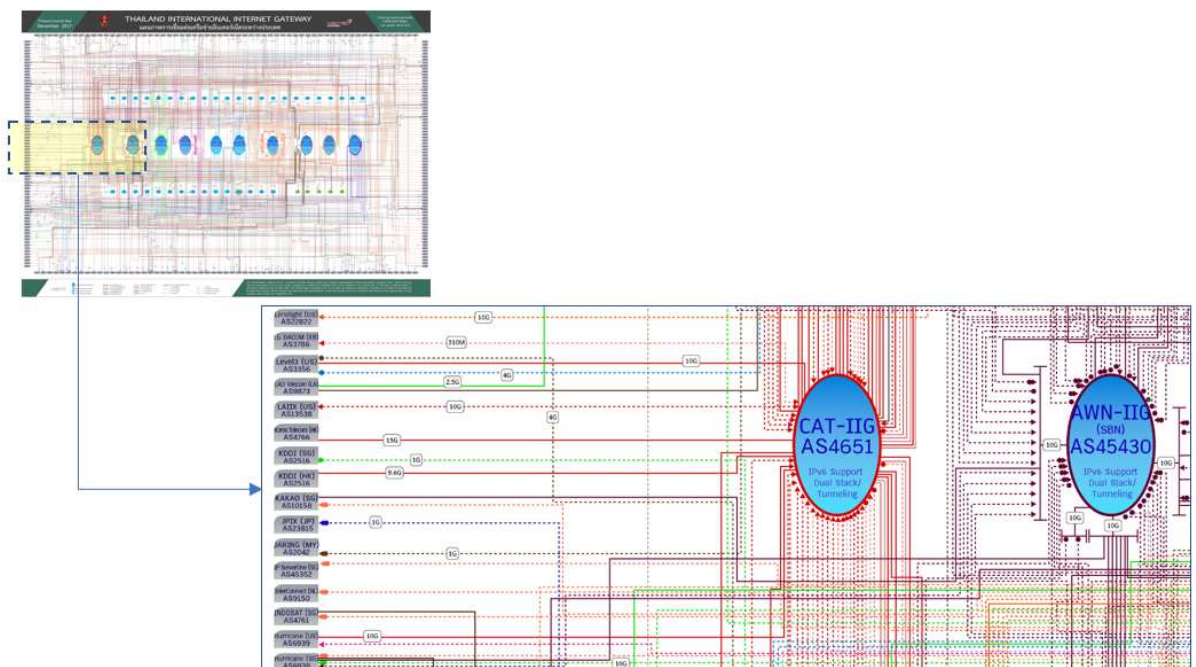
รูปที่ 5-2: การเชื่อมต่อระหว่าง ISP

รูปที่ 5-3 และ รูปที่ 5-4 เป็นแผนผังแสดงการเชื่อมต่อ NIX และ IIG ในประเทศไทย



รูปที่ 5-3: แผนผัง Thailand Domestic Internet Exchange

(Source: NBTC, <http://webstats.nbt.go.th/netnbt/INTERNETMAP.php>)



รูปที่ 5-4: แผนผัง Thailand International Internet Gateway

(Source: NBTC, <http://webstats.nbt.go.th/netnbt/INTERNETMAP.php>)

เทคโนโลยี Access Network

เทคโนโลยี Access Network (Fiber-to-home, Cable Modem, xDSL เป็นต้น) ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการแข่งขันสูงในการให้บริการของ ISP ราคาการให้บริการลดลงมาแต่ละปี ขณะที่ได้ความเร็วที่ได้สูงขึ้นมาก ในราคาที่ผู้บริโภคเข้าถึงได้ (ตัวอย่างเช่น การบริการ Fiber-to-home ด้วยความเร็วระดับ 100 Mbps ด้วยราคาที่ต่ำกว่า 1000 บาท) เมื่อความเร็วในการเชื่อมต่อสูง ส่งผลให้การบริการ OTT TV ให้คุณภาพที่สูงขึ้น จึงมีส่วนผลักดันให้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง

เทคโนโลยีผ่านสายโทรศัพท์ (xDSL)

เทคโนโลยี Access Network นี้ใช้โครงสร้างสายโทรศัพท์เดิมที่เชื่อมต่อไปตามบ้านต่าง ๆ xDSL เหมาะกับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตที่มีโครงสร้างสายโทรศัพท์ที่เข้าถึงบ้านของผู้บริโภคอยู่แล้ว ซึ่งเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีความเร็วสูงขึ้นตามลำดับ สรุปได้จากตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1: เทคโนโลยี xDSL (Source: ITU, “The Future of Cable TV”, 2018)

	VDSL2	ADSL2+	SHDSL	HDSL
Transmission mode	Asymmetric & Symmetric	Asymmetric	Symmetric	Symmetric
Pairs of copper	1	1	1 & 2	1,2 or 3
Frequency band	12MHz to 30 MHz (down & up data)	0,14MHz - 2.2 MHz (down/data)		196KHz
Modulation	DTM	QAM	TCPAM	CAP /2B1Q
Bitrate (down/up)	Up to 200Mbps/s bidirectional	12 Mbit/s up to 24Mbps/s and 1 Mbit/s up to 1,4Mbit/s	Up to 5,7Mbit/s (single pair)	2Mbps bidirectional
Reach	<2.5 km	<1.5km	<3Km	<3.6km
ITU standard	ITU-T G.993.2 (Nov 2015)	ITU-T G.992.5 (Jan 2009)	ITU-TG.991.2 (Dec 2003)	ITU-T G.991.1 (Oct 1998)

VDSL2 สามารถให้ความเร็วในการเชื่อมต่อถึง 200 Mbps ซึ่งทำให้สามารถรองรับการส่งวิดีโอ 4K ของบริการ OTT TV ได้อย่างสะดวกสบาย นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีการรวมสาย (Channel Bonding) เพื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมต่อขึ้นไปอีก หมายความว่าแทนที่จะใช้สายโทรศัพท์หนึ่งเส้นสำหรับ xDSL แต่เป็นการใช้สายโทรศัพท์สองเส้น ในการส่งข้อมูลพร้อม ๆ กันไปในทั้งสองสายทำให้ได้ความเร็วรวมดีขึ้น ดังในตารางที่ 5-2 ความเร็วที่ได้เพิ่มมีการแปรผันตามระยะทางของสายโทรศัพท์จากบ้านไปสู่จุดเชื่อมต่อ xDSL

ตารางที่ 5-2: ความเร็วที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ Channel Bonding ของ xDSL

(Source: ITU, “The Future of Cable TV”, 2018)

Distance (in metres)	Gain
0-1,000	40 Mbit/s to 80 Mbit/s
1,500	30 Mbit/s to 60 Mbit/s
2,250	10 Mbit/s to 20 Mbit/s
3,150	5 Mbit/s to 8 Mbit/s
> 3,750	Minimal to none

เทคโนโลยีผ่านสาย Coaxial (Cable Modem)

ปกติในสาย Coaxial ที่ให้บริการ CableTV และ Cable Modem อยู่ในสายเดียวกัน โดยมีการแบ่งช่วงความถี่หรือ Spectrum Allocation แยกจากกันระหว่าง ช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับ Cable TV Broadcasting (เช่น DVB-C, DVB-C2) และช่วงความถี่ที่ให้บริการ Broadband (เช่น DOCCIS) เทคโนโลยี DOCCIS (Data Over Cable Service Interface Specification) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเป็น DOCSIS version 3.1 ที่สามารถให้ความเร็วสูงถึง 1-2 Gbps ตามตารางที่ 5-3 เมื่อพิจารณาในส่วนของ Specification ของ DOCSIS 3.1 ในส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณใน Physical Layer ในทิศทาง Downlink มีความคล้ายคลึงกับ Specification ของ DVB-C2 มาก ดังนั้นทาง Europe จึงมีความพยายามที่จะทำการรวมเทคโนโลยี DVB-C2 เข้ามาอยู่ส่วนของ Downlink ของ DOCSIS ประโยชน์คือ จะมีการใช้ Chipset ใน Set-top-box เพียงชุดเดียวในการถอดรหัสสัญญาณทั้ง DOCSIS และ DVB-C2 เป็นการลดต้นทุนของ Set-top-box ได้มาก และรวมจุดเด่นของเทคโนโลยี Broadcast และ Broadband อยู่บนสายเคเบิล Coaxial อันเดียวกัน ในอนาคตจะมีการให้บริการที่เป็นลักษณะ ถ้าเป็น VoD Traffic ก็จะเข้ามาทาง DOCSIS ให้บริการเป็นลักษณะ OTT TV ถ้าเป็น Live TV หรือ Linear TV ก็จะเข้ามาทาง DVB-C2 ให้บริการเป็นลักษณะของ Cable TV ดังนั้นการหลอมรวมระหว่างเทคโนโลยีทั้งสองเป็นสิ่งที่น่าจับตามองในอนาคต

ในอีกกระแสก็มีข้อโต้แย้งว่า ความจริง DVB-C2 ก็มี Option ซึ่งสามารถให้บริการสื่อสารแบบสองทาง หรือ Internet ได้ น่าจะใช้ DVB-C2 เป็นหลัก แต่แนวคิดนี้ไม่ได้รับการตอบรับเท่าที่ควร เพราะ DVB-C2 อยู่ในสถานะที่มีการใช้ที่น้อยลงมาก เพราะกระแสของ OTT TV มาแรงทำให้โครงข่ายมุ่งมาทาง Broadband มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการรวม DVB-C2 เข้าไปใน DOCSIS น่าจะเป็นหนทางเดียวของการคงอยู่ของ DVB-C2

ตารางที่ 5-3: เทคโนโลยี DOCCIS

(Source: ITU, “The Future of Cable TV”, 2018)

	DOCSIS 3.0 standard	DOCSIS 3.0 phase 1	DOCSIS 3.1 phase 2	DOCSIS 3.1 phase 3
Download speed	300Mbit/s (54-1002 MHz)	1Gbit/s (108-1002 MHz)	5Gbit/s (300*-1152 MHz)	10Gbit/s (500*-1700MHz)
Upload speed	100 Mbit/s (5 – 42 MHz)	300 Mbit/s (5-85 MHz)	1Gbit/s (5-230* MHz)	2Gbit/s* (5-400* MHz)
No. of channels (down/up)	8/4	24/12	116*/33*	200*/55*
QAM scheme (down/up)	256/64	256/64	≥1024/256	≥1024/256
*To be determined				

เทคโนโลยี Fiber-to-home

เทคโนโลยี Fiber-to-home ได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี ISP รายใหญ่เกือบทั้งหมดในประเทศไทยให้บริการ Fiber-to-home ซึ่งมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยี Fiber มีทั้งแบบ Active และ Passive ตารางที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบของ Active และ Passive Fibre ส่วนความเร็วในการเชื่อมต่อมีการพัฒนาด้านความเร็วอย่างต่อเนื่อง จากตารางที่ 5-5 ซึ่งสามารถให้ความเร็วสูงถึง 10 Gbps/10Gbps

ตารางที่ 5-4: ความแตกต่างระหว่าง Active และ Passive Optical Fibre

(Source: ITU, “The Future of Cable TV”, 2018)

	Active Optical Fibre	Passive Optical Fibre
Main Data traffic management components	Amplifiers, routers, switch aggregators	Splitters
Powered components	Ends and middle	Ends
Subscriber line	Dedicated	Shared
Suitable Distances	Up to 100 Km	Up to 20 Km
Typical Application	Business/core network	Residential
Building & Maintenance costs	High	Lower

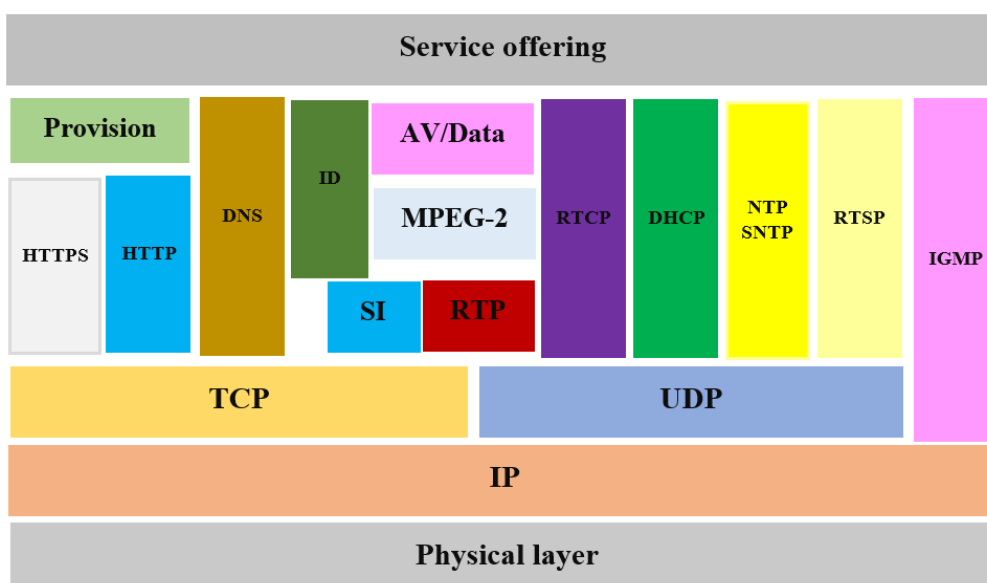
ตารางที่ 5-5: เทคโนโลยี Fibre

(Source: ITU, “The Future of Cable TV”, 2018)

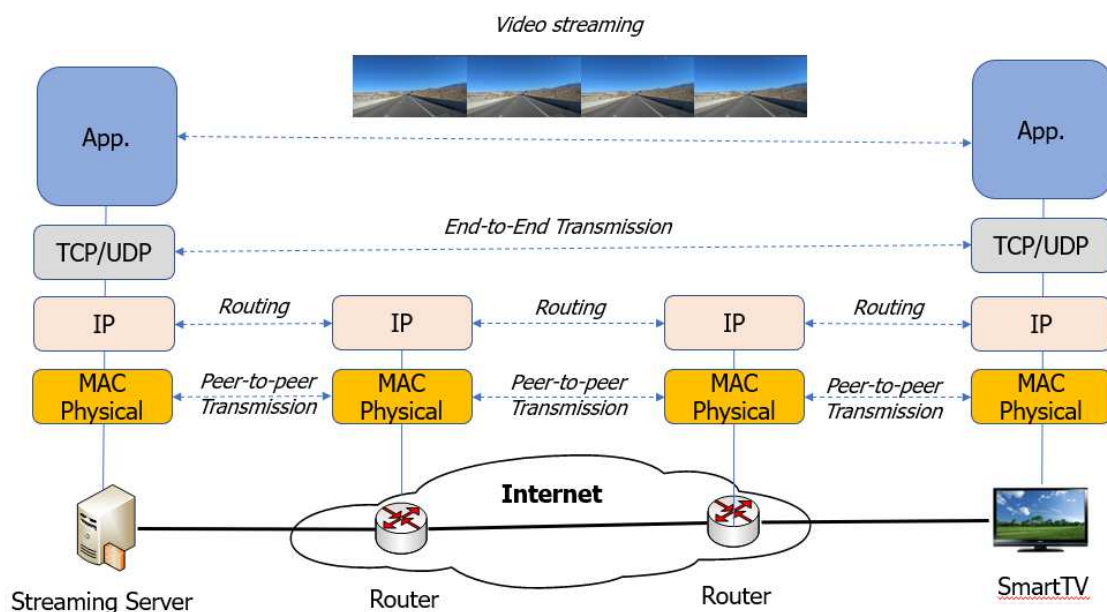
	XG PON	NG PON2
ITU standard	ITU-T G.987.1 (03/2016)	ITU-T G.989.2 (12/2014) and (04/2016)
PON Wavelengths	1 down/up	Up to 8 down/up
Bandwidths	10 Gbps/10 Gbps	10 Gbps/10Gbps per pair or 10Gbps/2,5 Gbps ¹⁷

โปรโตคอลที่สำคัญสำหรับการส่ง OTT TV

จากหัวข้อที่แล้วที่มีการกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของอินเทอร์เน็ตและ Access Network ในหัวข้อนี้ จะอธิบายถึง TCP Protocol อย่างย่อๆ ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปถึงปลายทางและข้อจำกัดทางเทคนิคอย่างไรบ้าง รูปที่ 5-5 แสดงชั้นของ Protocol ที่เกี่ยวกับส่งเนื้อหาวิดีโอใน OTT TV เมื่อพิจารณาจากการเชื่อมต่อจากต้นทาง (Streaming Server) ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต มาสู่ผู้รับชม (SmartTV หรือ Set-top-box) มีชั้นของโปรโตคอลแสดงดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-5: Protocol Layer ที่ใช้ในการให้บริการ OTT TV [37]



รูปที่ 5-6: การเชื่อมต่อระหว่างต้นทางมาปลายทางและโปรโตคอลที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 5-6 แสดงถึงการเชื่อมต่ออย่างง่ายของระบบ OTT TV ที่ Streaming Server เชื่อมต่อกับ Internet ซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่ายของ Router จนกระทั่งถึงปลายทางผู้รับชมผ่าน SmartTV ได้มีการแสดงชั้นของ Protocol อย่างคร่าวๆของอุปกรณ์แต่ละชิ้น แล้วการสื่อสารระหว่างโปรโตคอล (แสดงในเส้นประ ในรูปที่ 5-6)

- Physical/MAC เป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อโดยตรงของอุปกรณ์ เทคโนโลยีของการเชื่อมต่อนี้มีหลากหลาย เช่น เทคโนโลยี Access Network ดังที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ จะมีความเร็วในส่งข้อมูลในระหว่างอุปกรณ์ก็ขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้โปรโตคอลในชั้นนี้จะควบคุมดูแลในการส่งข้อมูลติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สองชั้นที่เชื่อมต่อกัน
- IP (Internet Protocol) เป็นชั้นโปรโตคอลที่มีหน้าที่หลักในการหาเส้นทางหรือ Routing ของ Packet จากต้นทาง (Streaming Server) มาสู่ปลายทาง (SmartTV) โดยใช้ IP Address เป็นตัวระบุผู้ส่งกับผู้รับ เปรียบเทียบได้กับการส่งจดหมายทางไปรษณีย์ คือ IP Address เปรียบเทียบได้ ที่อยู่ของผู้ส่ง และผู้รับ อุปกรณ์ Router ก็เปรียบเสมือนไปรษณีย์ ซึ่งจะทำหน้าที่หาเส้นทางเพื่อส่งจดหมายจากผู้ส่งไปยังผู้รับโดยดูที่อยู่เป็นหลัก
- TCP (Transport Control Protocol) เป็นชั้นโปรโตคอลที่มีอยู่ในเฉพาะต้นทางกับปลายทางเท่านั้น หน้าที่หลักคือ การควบคุมดูแลให้เกิด End-to-End Reliable Transmission ให้เกิดความน่าเชื่อถือ

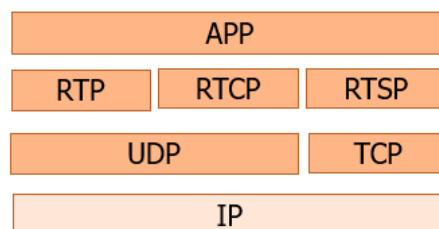
ในการส่งข้อมูลจากต้นทางมาสู่ปลายทาง ภาระหน้าที่ของ TCP ที่จะทำให้การส่งข้อมูลน่าเชื่อถือ ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชัน Error Control เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ปลายทางรับถูกต้องครบถ้วนหรือไม่ ถ้าไม่ครบถ้วนก็จะทำไปเรียกให้ต้นทางส่งมาใหม่ และตรวจสอบดูว่าข้อมูลที่ส่งมาแต่ละ Packet มีมาถึงลำดับถูกต้องหรือไม่ ถ้าลำดับก่อนหลังไม่ถูก ก็ทำการสลับให้ถูก ก่อนจะส่งขึ้นไปให้ Application ฟังก์ชัน Flow Control เป็นการควบคุมความเร็วในการส่งข้อมูลจากต้นทางเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำไมต้องมี Flow Control ทำไมไม่ส่งให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ คำตอบคือ TCP จะคอยควบคุมความเร็วของ Flow ขึ้นกับสภาพของ Internet เป็นหลัก กลไกที่ TCP ใช้คือ กลไก Slow Start เริ่มต้นด้วยการส่งข้อมูลสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยความเร็วหรือ Flow ที่ต่ำก่อน ถ้าผู้รับได้รับอย่างไม่มีข้อผิดพลาด ทางฝั่งส่งก็จะเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อยๆ ถ้าเพิ่มความเร็วในการส่งไปถึงระดับหนึ่งแล้วจนเกิดความผิดพลาดที่ฝั่งรับขึ้น เช่น Packet หายไประหว่างทางบ้าง Packet มีข้อผิดพลาดบ้าง ก็แสดงว่าเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอาจจะมีจราจรที่คับคั่งจึงเป็นเหตุให้เกิดเหตุการณ์เหล่านี้ TCP ทางฝั่งส่งก็จะสั่งให้ลดความเร็วในการส่งลง ลดความเร็วอย่างรวดเร็วอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของความเร็วที่ส่งก่อนหน้านี้ ถ้าลดความเร็วแล้วฝั่งรับยังมีข้อผิดพลาดอีก ก็จะลดความเร็วต่ออีกครึ่งหนึ่ง ลดความเร็วทีละครึ่งไปเรื่อยๆจนไม่เกิดข้อผิดพลาด จึงค่อยๆเพิ่มความเร็วใหม่อีกครั้ง จะเห็นได้ว่า ความเร็วของ TCP จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ว่าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นความเร็วจะตกลงเร็วมาก นอกจากนี้ TCP ยังต้องการกระบวนการการเชื่อมต่อ (สร้าง Connection) ระหว่าง Client กับ Server เสียก่อนถึงจะเริ่มส่งข้อมูลได้ เมื่อเสร็จสิ้นการส่งแล้วก็จะทำการ ยกเลิก Connection จึงกล่าวได้ว่า TCP เป็น Connection Oriented Protocol ตัวอย่าง Application ที่ใช้ TCP เป็นโปรโตคอลฐานในการส่งคือ HTTP (WWW) FTP (File Transfer Protocol) เป็นต้น

ในการให้บริการ OTT TV นิยมใช้ HTTP ในการ Streaming Video เพราะ HTTP หรือ WWW สามารถเรียกใช้ผ่าน Web Browser ได้และมีโอกาสถูก Block ด้วย Firewall ระหว่างเครือข่ายได้น้อยกว่าโปรโตคอลอื่น การใช้ HTTP ที่มีฐานการส่งข้อมูลด้วย TCP สังเกตได้ความเร็วในการส่งเป็นแบบ Slow Start ซึ่งถ้าเป็นการ Streaming Video ที่ Server อยู่ไกล การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตในระยะไกลมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดได้สูง เมื่อเกิดข้อผิดพลาดก็จะถูก Penalty ทำให้ความเร็วตกลงอย่างรวดเร็วมาก ทำให้กระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการ OTT TV การใช้ HTTP บนอินเทอร์เน็ตมีจุดด้อยอันเกิดมาจากกลไกของ TCP ดังที่กล่าวมาแล้ว วิธีการแก้ไขปัญหามีอยู่สองวิธีที่นิยมใช้คือการใช้ Adaptive Bitrate Streaming (ABR) กับการใช้ CDN ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดในบทและส่วนถัดๆ

- UDP (User Datagram Protocol) เป็นอีกโปรโตคอลหนึ่งเกี่ยวกับ End-to-End Transmission ประเภทเดียวกับ TCP ข้อแตกต่างคือ UDP ไม่จำเป็นต้องสร้าง Connection ก่อน จึงเรียก UDP ว่า Connectionless Protocol หลักการในการส่ง Server ที่จะการส่ง Packet สู่อินเทอร์เน็ตอย่างต่อเนื่องและเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ไม่มีการตรวจสอบว่าปลายทางจะได้รับครบถ้วนถูกต้องหรือไม่ ไม่มีการตรวจสอบว่าลำดับที่ฝั่งรับจะถูกต้องหรือไม่ ด้วยความเรียบง่ายนี้ทำให้ UDP สามารถส่งข้อมูลได้เร็วจนถึงระดับใกล้เคียงกับความเร็วของ Link และมี Delay ที่ต่ำ เพราะไม่ต้องมีกระบวนการสร้าง Connection ก่อนแบบ TCP แต่ข้อด้อยคือไม่มีการตรวจสอบหรือให้ส่งใหม่กับข้อมูลที่สูญหายและผิดพลาด UDP ถูกนำไปใช้ใน Realtime Application เช่นการทำ Video conference ซึ่งค่า Delay ในการโต้ตอบเป็นสิ่งสำคัญ แต่ Packet อาจจะสูญได้ทำให้เกิดภาพกระตุก ภาพเป็น Block เป็นต้น UDP ยังเป็นโปรโตคอลฐานสำหรับ Real Time Streaming Protocol ที่มีการใช้ร่วมกับโปรโตคอล RTP/RTCP/RTSP

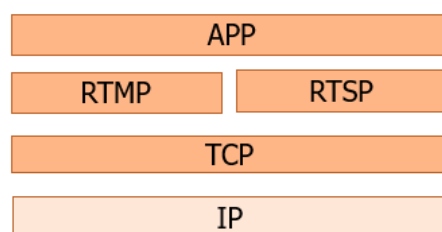
ในการให้บริการ OTT TV ปัจจุบันเริ่มมีการคิดค้นโปรโตคอลที่ปรับปรุงการทำงานของ UDP ขึ้นที่เรียกว่า Enhanced UDP เป็นการนำ Forward Error Correction (FEC) มาใช้ร่วมกับ UDP เพื่อเพิ่ม Reliability Transmission ให้กับ UDP ขณะเดียวกันก็ยังคงความเร็วในการส่งสูง และมี Delay ต่ำ

- RTP/RTCP/RTSP เนื่องด้วยจุดเด่นของ UDP ที่ความเร็วในการส่งสูงและมี Delay ต่ำเป็นที่น่าสนใจสำหรับการไปใช้กับ Realtime Application แต่จุดด้อยของ UDP คือไม่มีข้อมูลด้านเวลา ไม่รู้ลำดับของ Packet ที่ได้รับ จึงได้มีการสร้างโปรโตคอล RTP (Realtime Transport Protocol) RTCP (RTP Control Protocol และ RTSP (Real Time Streaming Protocol) เป็นเครื่องมือให้สำหรับ Streaming Application ดึงฟังก์ชันของทั้งสามโปรโตคอลนี้ไปใช้ ชั้นโปรโตคอลของ RTP/RTCP/RTSP แสดงในรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7: RTP/RTCP/RTSP

- RTP ถูกกำหนดอยู่ใน RFC 3550 เป็นโปรคอลลที่ออกแบบสำหรับ Video and Audio Streaming Payload ของ RTP เป็น Packet วิดีโอและเสียง RTP จะมีข้อมูล Timestamp (เพื่อใช้สำหรับ Synchronization) ข้อมูล Sequence Number (เพื่อใช้ตรวจสอบว่ามี Packet หายหรือไม่ และเป็นตัวช่วยในการจัดเรียงลำดับของ Packet ที่มาถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง) และข้อมูลของ Payload ที่บ่งบอกว่า Payload ถูก encode ด้วย format อะไร
- RTCP เป็นโปรโตคอลลที่มากับ RTP ถูกกำหนดอยู่ใน RFC 3550 ใช้สำหรับการส่งค่าข้อมูลทางสถิติของ QoS ของ RTP Session นอกจากนี้ยังใช้สำหรับข้อมูลในการควบคุม RTC Session
- RTSP เป็นโปรโตคอลลที่ถูกกำหนดอยู่ใน RFC 7826 (RTSP version 2) ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสำหรับ Streaming Application ใช้สำหรับควบคุมสั่งการ Streaming Server มีลักษณะหน้าที่คล้าย Remote Control เช่นคำสั่งให้เล่น หยุด เดินหน้า ถอยหลัง วิดีโอ เป็นต้น
- RTMP (Realtime Messaging Protocol) เป็น Proprietary Protocol ของ Adobe ออกแบบเพื่อใช้สำหรับ Streaming Application โดยมีโปรโตคอลลแสดงดังรูปที่ 5-8 ในการใช้งานซึ่งต้องใช้ Flash Server คู่กับ Flash Player ทำการ Streaming วิดีโอและออดิโอ มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนคุณภาพของการบีบอัดหรือปรับ bit rate แบบ on the fly ขึ้นกับสภาพของเครือข่ายนั้นๆ สิ่งที่เป็น Requirement สำหรับ RTMP ต้องทำการ Allocation Bandwidth มากกว่าความต้องการ Bit rate ของ Content เพราะเป็นการทยอยส่ง Chunk of Video ถ้าเมื่อไหร่ที่ Bandwidth ของเครือข่ายตกอยู่ต่ำกว่า Bit Rate ของ Content ก็จะเกิดลักษณะที่ Content ขาดหายเป็นระยะ ภาพกระตุก และต้องรอให้ Server ทำการปรับ Bit Rate ลงให้สอดคล้องกับสภาพเครือข่าย ถึงเล่นต่อได้อีกครั้ง และในช่วงหลังที่เทคโนโลยี Flash เริ่มหมดความนิยมและหายไปจาก web browser และ platform ระดับใหญ่ ทำให้มีการใช้ RTMP ในวงจำกัด แต่ยังคงมีการใช้งานในส่วนของการ Upload Streaming จาก Content Provider ไปสู่ระบบ Transcoder



รูปที่ 5-8: RTMP

เทคโนโลยีการ Streaming

เทคโนโลยีการ Streaming ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการให้บริการ OTT TV เทคโนโลยีการ Streaming มีจุดเริ่มต้นมาจากการ Web Site เริ่มมีการเพิ่มเติมเนื้อหาให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มในส่วนของเนื้อหาที่เป็นวิดีโอบนเว็บไซต์ ซึ่งผู้ใช้คลิกที่ video link ก็จะไปเรียก Media Player ขึ้นมาเล่นอยู่บน Web Browser ซึ่งสมัยนั้นต้องมีการติดตั้ง Player Plugin เสียก่อนถึงจะ Streaming video มาได้ ในปัจจุบันได้มีใช้ HTML5 บนเว็บไซต์ ทำให้สามารถเล่นวิดีโอบน Browser ได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดตั้ง Player Plugin เสียก่อน ภายหลังเมื่อมีการใช้งาน OTT TV มากขึ้น รูปแบบของการ video streaming เปลี่ยนมาใช้ Streaming Server ส่ง video มาสู่ Media Player Application การใช้ Streaming Server จะใช้ Server ที่มีฟังก์ชันในการ Streaming โดยเฉพาะ เช่น Flash Video Server ผ่านโปรโตคอล RTMP มาสู่ Flash Media Player อีกแนวทางหนึ่งที่ยอมรับใช้กันคือ การใช้ Web Server ปกติมาทำหน้าที่เป็น Streaming Server แนวทางหลังนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและยังใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิมที่ใช้สำหรับ Web Server เทคโนโลยีการ Streaming มีตัวอย่างเช่น Progressive Download, Streaming Server และ Adaptive Streaming Protocol (ABR)

Progressive Download

Progressive download เป็นวิธีการ Streaming video ในยุคแรกคือ เมื่อ Media Player ทำการเรียกวิดีโอไฟล์จาก web server ก็จะทำการ Download วิดีโอไฟล์มาเก็บไว้บน Storage ชั่วคราวบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ Media Player ใช้อยู่ เมื่อ Download ได้มาระยะเวลาหนึ่งประมาณ 30 วินาที – 1 นาที ก็จะเริ่มเล่นไฟล์วิดีโอนั้น ซึ่งในขณะที่เล่นวิดีโอ ก็ยังทำการ Download ส่วนที่เหลือต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนหมดไฟล์ ถ้าผู้ใช้เกิดเปลี่ยนใจ ไปดูวิดีโอไฟล์อื่นอื่น ส่วนที่ Download มาแล้วก็ต้องทิ้งไป Progressive Download เป็นวิธีการ Streaming วิดีโอที่ง่าย แต่มีการสูญเสียทรัพยากรของเครือข่ายที่บางครั้ง Download ไฟล์มาแล้วแต่ไม่ใช้ และเนื่องจากการเก็บวิดีโอไฟล์ไว้บน Harddrive ของเครื่องผู้ใช้ อาจจะทำให้ไฟล์นี้เป็นเป้าหมายสำหรับการละเมิดทางลิขสิทธิ์ได้

Streaming Server

รูปแบบนี้จะต้องทำการติดตั้ง Streaming Server ขึ้นมาโดยเฉพาะ และฝั่งผู้ใช้งานก็ต้องใช้ Media Player ที่สามารถเล่นได้กับ Streaming Server นี้ด้วย ตัวอย่างเช่น Flash Video Server ที่รับชมด้วย Flash Video Player โดยใช้โปรโตคอล RTMP ในส่งวิดีโอ เป็นต้น ลักษณะการ Streaming จะเป็นแบบที่

Server ทำการส่งชิ้นส่วนของวิดีโอที่เรียกว่า Chunk มาที่ Media Player ซึ่งนำมาวิดีโอชิ้นส่วนนี้ขึ้นแสดงผลทันที ไม่มีการจัดเก็บลง Harddrive แต่จะเก็บไว้ใน Memory RAM ซึ่ง Media Player อาจจะเก็บ Chunk ของวิดีโอไว้บางส่วนบน RAM ทำหน้าที่คล้าย Buffer เพื่อการเล่นวิดีโอที่ต่อเนื่อง การใช้ Streaming Server นั้นต้องได้รับ Bandwidth จากเครือข่ายที่เพียงพอ เพราะใช้ขนาดของ Buffer ไม่มาก ถ้าเกิดกรณี Network Congestion ขึ้นทำให้ Bandwidth ตกลง มีผลทำให้ภาพขาด ภาพกระตุกได้ แต่ข้อดีคือ เมื่อผู้ใช้เปลี่ยนใจไปดูวิดีโออื่น ก็มีการสูญเสียทรัพยากรเครือข่ายไม่มากเพราะมีการเก็บ Chunk ของวิดีโอไว้จำนวนน้อย

Adaptive Bitrate Streaming (ABR)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ได้ความนิยม เกือบทั้งหมดในบริการ OTT TV ใช้เทคนิค ABR ในการ Streaming วิดีโอ ABR ทำงานบน web server ปกติ ไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรมอะไรพิเศษ ใช้ HTTP ในการส่งไฟล์ ซึ่งเป็น Protocol ที่ไม่มีปัญหาเรื่องการถูก Block ด้วย Firewall บนเครือข่าย เทคโนโลยี ABR ที่นิยมใช้งานกันเช่น

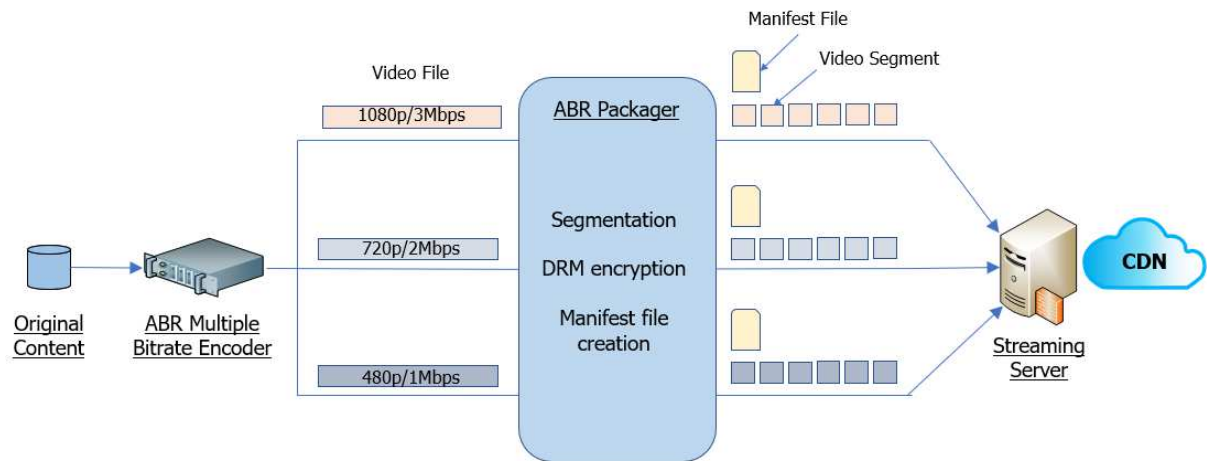
1. Adobe HTTP Dynamic Streaming (HDS)
2. Microsoft Smooth Streaming
3. Apple HTTP Live Streaming (HLS)
4. Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP (MPEG-DASH)

ABR ทำงานบน Web Server ปกติ Client ทำการเรียก และ Streaming โดยใช้ HTTP Protocol เทคโนโลยี ABR ทั้งสี่มีหลักการที่เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ File Format และข้อปลีกย่อยอื่น ๆ

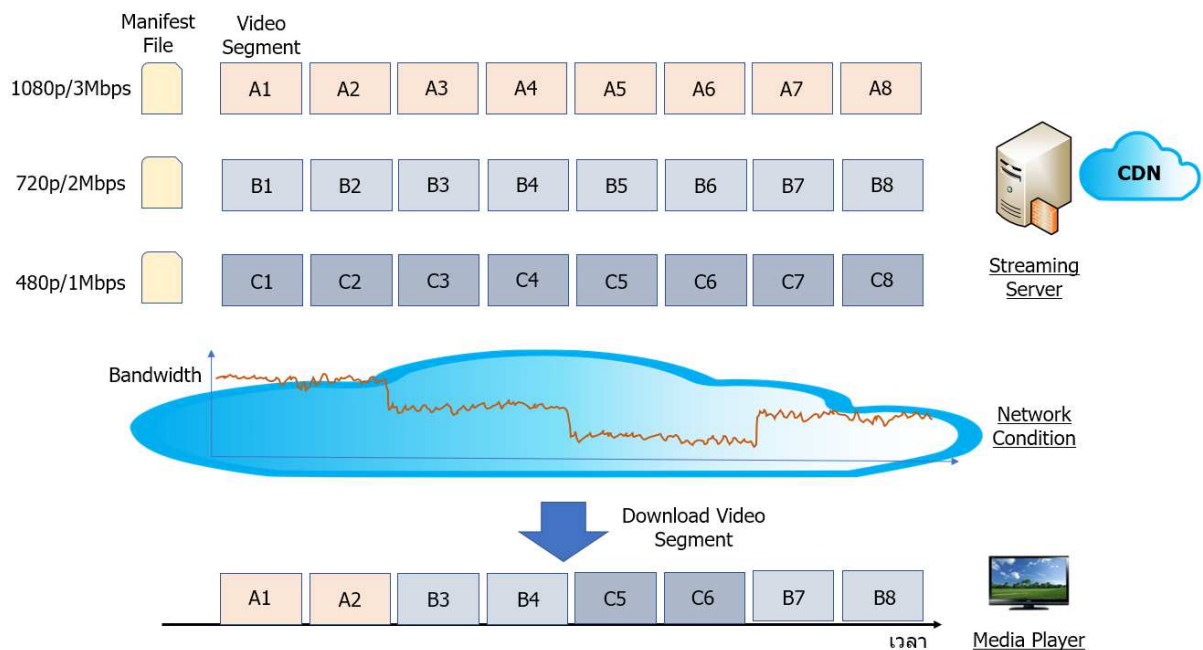
กระบวนการของ ABR (รูปที่ 5-9) คือ

1. ไฟล์ต้นฉบับ อาจจะเป็นไฟล์สำหรับ VoD หรือมาจาก Live Streaming ถูกส่งไปที่ ABR Multiple Bitrate Encoder (หรือ Transcoder) ทำการ encoder ด้วยหลาย profile ด้วย Resolution ที่แตกต่างกัน (เป้าหมายอุปกรณ์รับชมแตกต่างกัน) และ Bit rate ที่แตกต่างกัน (เป้าหมายเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของเครือข่าย) ผลลัพธ์ได้วิดีโอไฟล์จำนวนหลายไฟล์ตามจำนวน Profile ที่ตั้งเป้าไว้
2. วิดีโอไฟล์ถูกส่งไปที่ ABR Package
 - a. ทำการแบ่งวิดีโอไฟล์ออกเป็น Segment ขนาดช่วงเวลาวิดีโอ 10 วินาที หรือ 2 วินาที ของแต่ละ Segment แต่ละ Segment จะตั้งต้นด้วย I-Frame เสมอ Media Player สามารถเล่นและแสดงผลแยกแต่ละ Segment อิสระต่อกันได้
 - b. เข้ารหัส DRM แต่ละ Segment แยกอิสระกัน

- c. สร้าง Manifest file ซึ่งเปรียบเสมือน Index file หรือ สารบัญที่ชี้ว่าในแต่ละ Segment นั้นเก็บไว้ที่ใด แสดงเป็น URL ของแต่ละ Segment
3. ทั้ง Video Segment และ Manifest file ถูกจัดเก็บที่ Streaming Server เพื่อรอให้ User มาเรียกใช้ หรือ Streaming Server อาจจะกระจาย Content ต่อไปเก็บใน CDN ก็ได้ (ซึ่งจะอธิบายในบทถัดไป)



รูปที่ 5-9: กระบวนการของ ABR



รูปที่ 5-10: กระบวนการรับชมวิดีโอของ ABR

ในขั้นตอนการรับชมวิดีโอของ ABR นั้น จะ Click Link ของวิดีโอเพื่อเปิดไฟล์ Manifest File ซึ่งภายในจะบ่งบอกถึงชุดของวิดีโอที่มีแต่ละ Resolution และแต่ละ Bit Rate ให้เลือก ทาง Client จะเลือกชุดของ Video ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์การรับชมของตัวเอง และจะเลือกวิดีโอที่ Bit rate ค่าหนึ่ง ทำการ Download video segment ตามที่ระบุ URL ภายใน Manifest file ด้วย HTTP ผู้รับชมจะ Download video segment ไป

ต่อเนื่อง ถ้าเครือข่ายมีสภาพติดขัดมี Bandwidth ลดลง ทาง Client จะรู้สภาพโครงข่ายของตัวเองก็เลือก video segment ที่มีค่า bit rate ที่เหมาะสมกับสภาพของเครือข่ายขณะนั้นๆ วิธีการนี้จะเป็นการปรับสภาพการรับชมตามสภาพของเครือข่าย เป็น Adaptive Bitrate Streaming

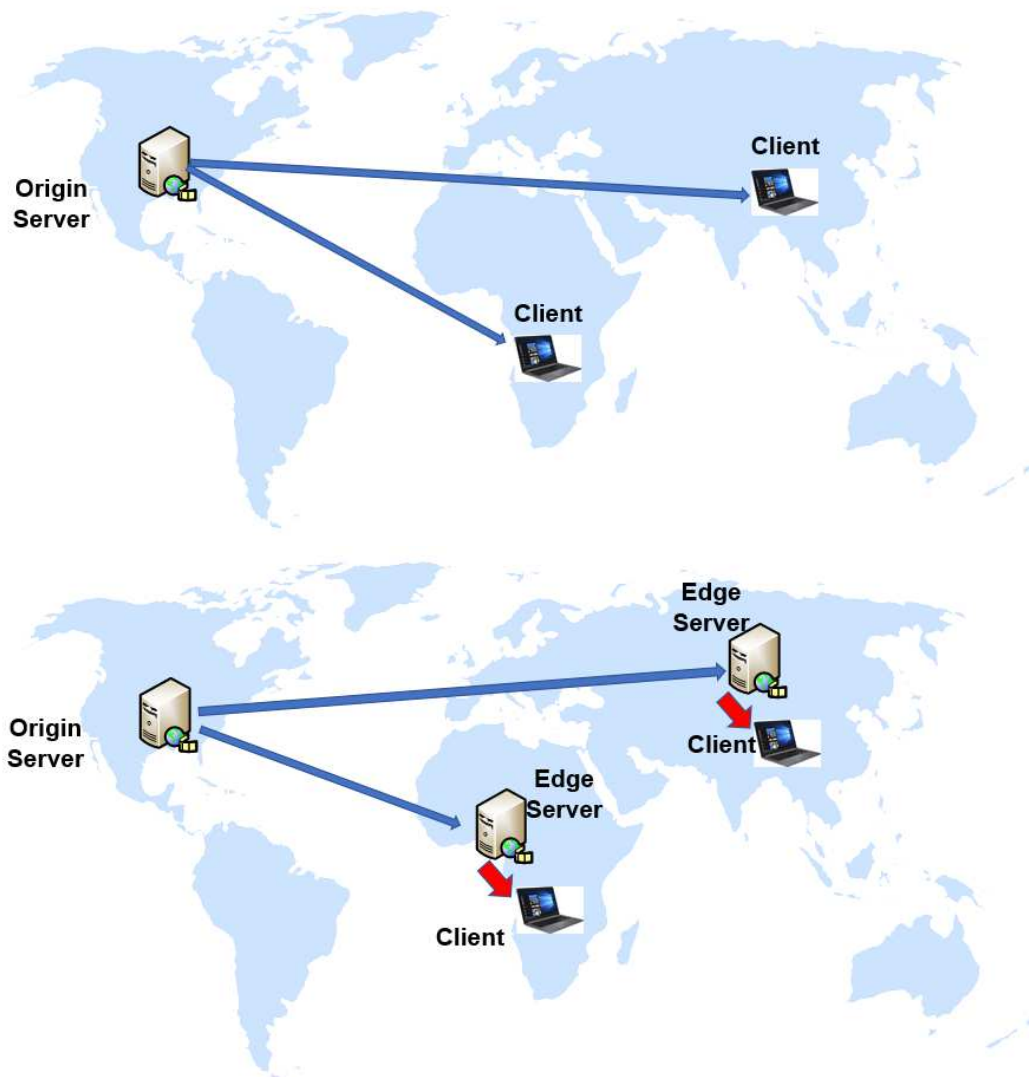
ในปัจจุบัน ABR ที่มีความยอดเยี่ยมเป็นอันดับหนึ่ง คือ Apple HTTP Live Streaming (HLS) รองลงมาเป็น MPEG-DASH อีกสองที่เหลือนีมีการใช้ที่ไม่มาก ปัจจุบันทั้ง Youtube และ Netflix ก็ได้ใช้ MPEG-DASH ซึ่งจะได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ในระยะยาวเนื่องจาก MPEG-DASH มีคุณสมบัติครบถ้วนกว่า HLS สุดท้ายจะเข้าไปสู่ MPEG-DASH ทั้งหมด

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะเรื่องเกี่ยวกับ Streaming Protocol

1. Adaptive Bitrate Streaming (ABR) กลายเป็นโปรโตคอลมาตรฐานสำหรับการส่งวิดีโอใน OTT TV ด้วยคุณสมบัติที่สามารถรองรับการรับชมผ่านอุปกรณ์ที่หลากหลาย แล้วยังมีการปรับเปลี่ยน bit rate ของวิดีโอกำหนดโดย Media Player ของฝั่งผู้รับชมเป็นผู้ตัดสินใจได้เลย เพราะผู้รับชมจะรู้สถานะของเครือข่ายของตัวเองได้ดีที่สุด และ Server มีหน้าที่เพียงจัดส่ง Segmented File ที่ทางผู้รับชมเป็นผู้เรียกเท่านั้น จึงสามารถให้บริการได้มีประสิทธิภาพสูง รองรับผู้ใช้เป็นจำนวนมากได้ นอกจากนี้ ABR ยังรองรับการส่งแบบ CDN และรองรับการเข้ารหัส DRM ในทุก Platform
2. ปัจจุบัน HLS ยังมีส่วนแบ่งของตลาดมากที่สุด แต่ MPEG-DASH กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าในหลายๆด้าน และได้รับการสนับสนุนจากผู้ให้บริการรายใหญ่อย่าง Youtube และ Netflix เชื่อว่าในอนาคต MPEG-DASH จะเป็นเทคโนโลยีหลักสำหรับ ABR
3. เนื่องจาก ABR มีการ Encode วิดีโอออกมาเป็นหลาย version สำหรับภาพยนตร์เพียงเรื่องเดียว อาจจะมีถึง 10-20 version แต่ละ version ก็มีหลาย Segment การบริหารจัดการไฟล์ที่มีจำนวนมากเป็นความท้าทายอย่างมาก ปัจจุบันได้มีการนำไฟล์ format ที่ชื่อว่า fragmented MP4 (fMP4) ซึ่งไม่จำเป็นต้องแบ่งไฟล์เป็น Segment แยกจากกัน แต่จะใช้ไฟล์เดียว แต่ใช้ลักษณะของ Index ชี้ไปไปถึง หรือ Download เฉพาะส่วนของ Fragment ได้เลย ทำให้ลดจำนวนไฟล์ในการบริหารจัดการได้มาก ซึ่ง fMP4 เป็นไฟล์ที่ใช้อยู่ใน MPEG-DASH ซึ่งปัจจุบัน Apple HLS มีการปรับเปลี่ยนให้สามารถรองรับ fMP4 นอกเหนือจาก ts แล้ว ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกเพิ่มมากขึ้นสำหรับผู้ให้บริการ OTT TV ซึ่งจะมีการจัดเตรียมไฟล์ fMP4 เพียงประเภทเดียวซึ่งสามารถรองรับ Streaming Protocol ได้ทั้ง Apple HLS และ MPEG-DASH

บทที่ 6 Content Delivery Network (CDN)

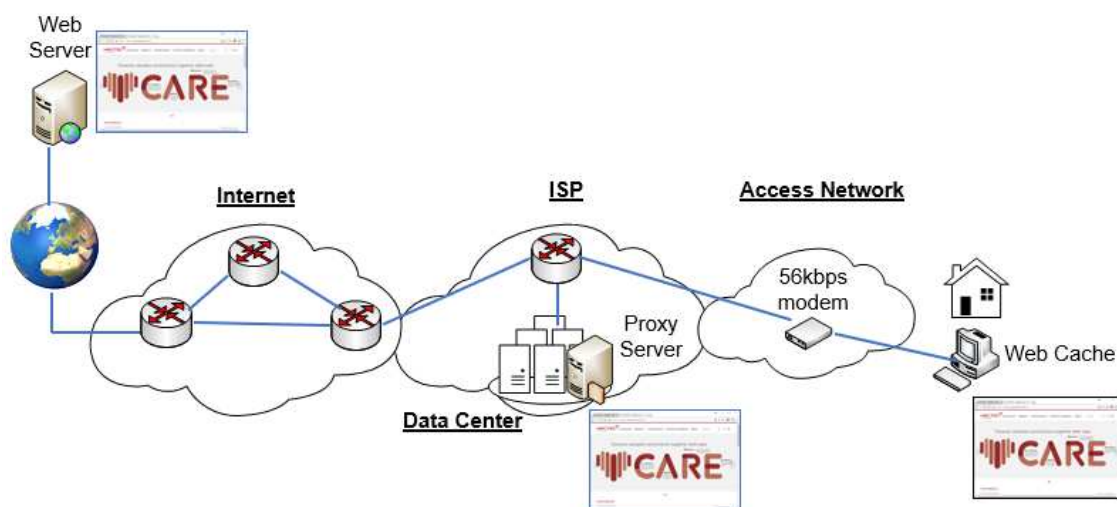
CDN หรือ Content Delivery Network บางครั้งเรียกว่า Content Distributed Network เป็นโครงข่ายเสมือนที่ทำงานอยู่บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตอีกต่อหนึ่งทำหน้าที่ในการกระจายเนื้อหาบนอินเทอร์เน็ตจากต้นทาง Content Server มาสู่ผู้ใช้ โดยวิธีการสำเนาเนื้อหาจาก Content Server ที่อยู่ต้นทางกระจายมาเก็บไว้ที่ Server หลายๆพื้นที่ จนมาถึง Edge Server หรือ Server ปลายทางที่ตั้งอยู่ใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด ผู้ใช้สามารถเรียก Content จาก Edge Server ได้โดยตรง สามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว มีความเสถียรสูง นอกจากนี้ยังช่วยแบ่งเบาภาระงานของ Content Server ที่ต้นทางได้ด้วยทางหนึ่ง ดังรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1: การเข้าถึงเนื้อหาจาก Server ต้นทาง และการเข้าถึงเนื้อหาผ่าน Edge Server

ความเป็นมาของ CDN

CDN ได้มีวิวัฒนาการต่อเนื่องมาจากยุคของอินเทอร์เน็ตที่เริ่มมีการใช้งาน world wide web (www) ในการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารผ่านเว็บไซต์ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลตัวหนังสือ รูปภาพ และสัญลักษณ์ต่างๆ ในสมัยนั้นการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้ผ่านเทคโนโลยี 56kbps modem ซึ่งมีความเร็วต่ำต้องใช้เวลาการเรียกดูข้อมูลของเว็บไซต์ การดูเว็บไซต์ด้วยเทคโนโลยี Web Caching ซึ่งเป็นการเก็บเนื้อหาเว็บไซต์ที่ได้เข้าไปเยี่ยมชมมาแล้วใน Hard disk ของเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ (ตัวอย่างเช่นใน folder Temporary Internet Files บนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows) หรือบน Web Proxy Server ของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISP) เมื่อผู้ใช้คนเดิมหรือคนอื่น เข้าถึงเว็บไซต์เดิมที่ข้อมูลไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการเข้าถึงครั้งก่อน ก็จะทำให้การเรียกข้อมูลจาก Web cache (ดูรูปที่ 6-1) แทน มีผลให้สามารถดึงข้อมูลและแสดงเนื้อหาเว็บไซต์ได้อย่างรวดเร็ว สร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ และเป็นการลดปริมาณจราจรของข้อมูลที่ไม่ต้องไปเรียกข้อมูลซ้ำเดิมจากเว็บไซต์ต้นฉบับ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย Traffic ของอินเทอร์เน็ตระหว่างประเทศ สังเกตได้ว่าการปรับปรุงการให้บริการอินเทอร์เน็ตด้วย Web Caching ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider, ISP) เป็นผู้ลงทุนติดตั้งเพื่อวัตถุประสงค์ให้ลูกค้า ISP ของตนเองมีประสบการณ์การให้บริการอินเทอร์เน็ตที่ดี ได้รับความพึงพอใจและไม่หันไปเปลี่ยนไปใช้บริการของ ISP อื่น



รูปที่ 6-2: Web Cache

ในเวลาต่อมาอินเทอร์เน็ตได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งส่วนของ Core Network ที่มีการเชื่อมโยงด้วยเคเบิลใยแก้วความเร็วสูง ที่มีความจุมหาศาลสามารถรองรับจราจรข้อมูลจำนวนมากได้ และส่วนของ Access Network มีการพัฒนาให้ความเร็วสูงขึ้นมากเช่นเทคโนโลยี Cable Modem และ Fiber-to-home ทำให้เกิดความต้องการรับชมเนื้อหาแบบ Multimedia เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การกำเนิดของ Youtube ที่เป็นเว็บไซต์รับฝากวิดีโอ User Generated Content (UGC) ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงทั่วโลก ในการรับชมวิดีโอ

ผ่านเว็บไซต์จาก Web Server ซึ่งในภายหลัง Web Server เหล่านี้ได้พัฒนากลายมาเป็น Video Streaming Server ที่ทำหน้าที่บริการส่งวิดีโอเป็นการเฉพาะ การส่งข้อมูลจาก Server ต้นทางมาสู่ผู้ใช้ปลายทางที่บางครั้งอยู่ห่างกันข้ามทวีป ถึงแม้ว่าจะมีความเร็วหรือ Bandwidth ในการเชื่อมต่อที่สูงแต่เนื่องจากมีระยะทางที่ห่างไกลกันมาก ส่งผลให้ข้อมูลต้องใช้เวลาในการเดินทางที่นาน หรือมี Delay มาก เกิดปรากฏการณ์ High Bandwidth High Latency หรือที่เรียกกันว่า Long Fat Network (LFN) ซึ่งเป็นประเด็นท้าทายที่ได้มีการพิจารณาแก้ปัญหากันในอดีต (เช่น RFC 1072) ในกรณีของ LFN นี้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของ TCP (หนึ่งในโปรโตคอลที่สำคัญของอินเทอร์เน็ต) TCP เป็นโปรโตคอลที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ End-to-End Reliable Transmission และเป็นโปรโตคอลพื้นฐานของ HTTP ที่ใช้กันใน WWW TCP ถูกออกแบบให้มี Receiving Window ที่จำกัดสูงสุดอยู่ที่ 65,536 Byte หมายความว่า ในกลไก Stop-and-Go ของ TCP นั้น Server จะทำการส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้อย่างต่อเนื่องได้สูงสุดไม่เกิน 65,536 Byte ในแต่ละครั้ง และหลังจากนั้น Server จะหยุดส่งแล้วรอการตอบรับ (Acknowledgement, ACK) จากผู้รับปลายทาง เมื่อ Server ได้รับ ACK แล้วถึงจะดำเนินการส่งข้อมูลต่อได้ ระยะเวลาในการรอ ACK คือ ระยะเวลาไปและกลับ หรือ Round Trip Time ระหว่าง Server และผู้รับปลายทาง ค่า Round Trip Time จะมีค่ามากขึ้นกับระยะห่างของทั้งสองฝั่ง ซึ่งในกรณีที่เครือข่ายมีความเร็วหรือ Bandwidth สูง ข้อมูลขนาด 65,536 Byte จะถูกส่งออกไปเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็วมากเพียงเสี้ยวของวินาทีเท่านั้น แต่ต้องเสียเวลาในการรอ ACK ให้ได้รับเสียก่อนถึงจะส่งข้อมูลต่อไปได้ จะเห็นได้ว่าเครือข่ายไม่ได้ถูกใช้ในการส่งข้อมูลอย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา ต้องมีการส่งและหยุดรอเป็นระยะ ดูรูปที่ 6-3

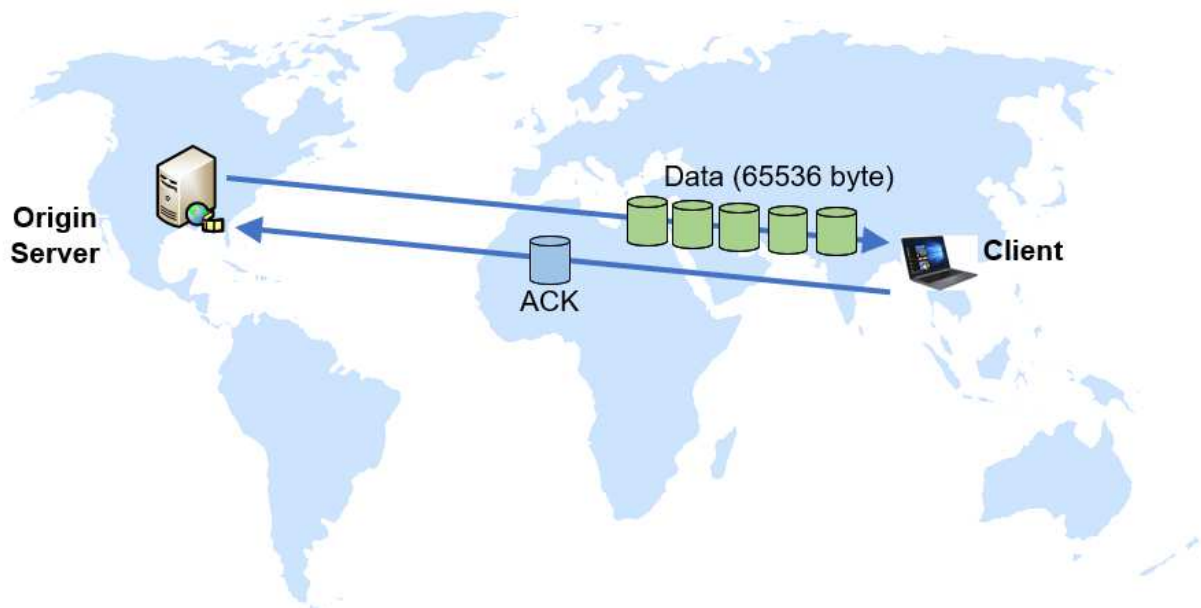
ตัวอย่างการแสดงถึงผลกระทบของ LFN สมมติ

- ความเร็วเครือข่ายเชื่อมโยงระหว่าง Server และ Client อยู่ที่ 100 Mbps
- เวลา Round Trip Time ที่ 250 msec (ค่าประมาณของ ping delay โดยทั่วไประหว่างประเทศไทย กับ USA)
- คำนวณ Throughput = $65536 \text{ Byte} \times 8 \text{ Bit} / 250 \text{ msec} = 2.97 \text{ Mbps}$

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่าถึงแม้ Link ระหว่าง Server กับ Client มีความเร็วสูงถึง 100 Mbps แต่ในการส่งข้อมูลจริงด้วย TCP ก็จะมี Throughput ที่ได้จริง ๆ เพียง 2.97 Mbps เท่านั้น สืบเนื่องมาจากข้อจำกัดของโปรโตคอล TCP

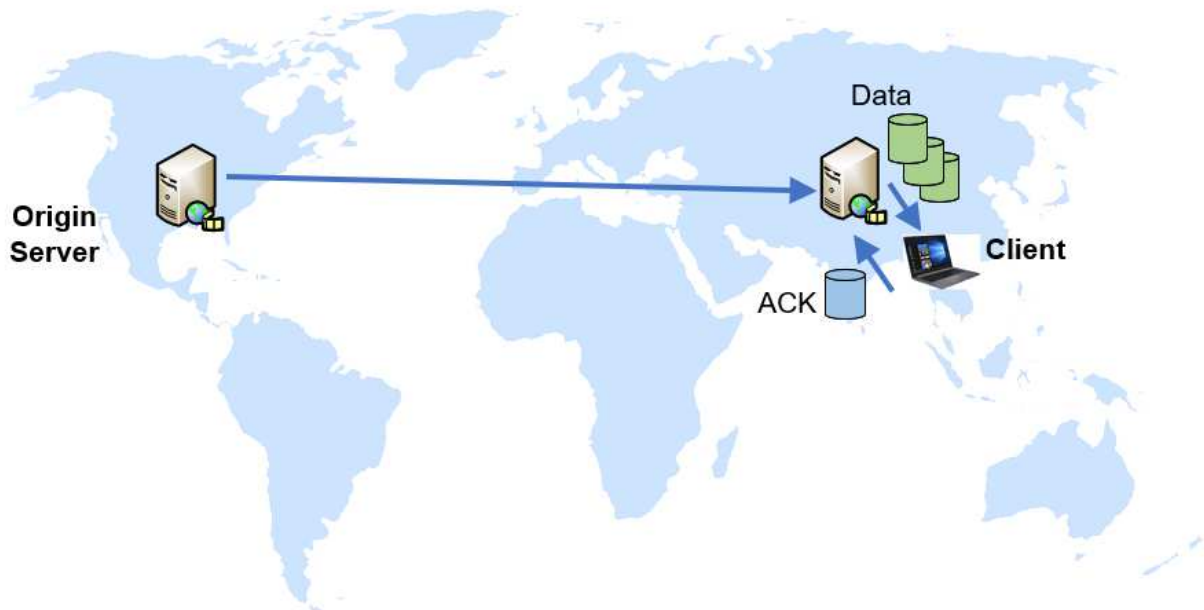
คำถามถัดมา เราจะสามารถปรับปรุง TCP ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่านี้ได้หรือไม่ คำตอบคือสามารถทำได้โดยการปรับค่า หรือ Optimized ค่า Limit ของ Receiving Window ของ TCP ให้มีค่ามากขึ้นไม่ให้

จำกัดอยู่เพียง 65,536 Byte ให้เหมาะสมกับ Round Trip Delay แต่ในทางปฏิบัติ Client ต้องทำการ Optimize ค่า Receiving Window ในแต่ละ Server ที่เข้าถึง ซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติ แต่ในกรณีที่มีการส่งข้อมูลไปมาระหว่าง Server สองตัวที่อยู่คนละที่กันและมีตำแหน่งที่แน่นอน เช่น Server ระหว่าง CDN ด้วยกัน จะมี Delay ที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงเป็นการง่ายที่จะ Optimize ค่า Receiving Window ให้ได้ค่า Throughput มีค่าสูงใกล้เคียงกับ Link Data Rate ได้



รูปที่ 6-3: ตัวอย่างของกรณี Long Fat Network (LFN)

อีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือ การนำ CDN มาใช้งาน CDN ทำการสำเนากระจายเนื้อหาจาก Server ต้นทาง มาเก็บไว้ที่ Edge Server ที่ตั้งอยู่ใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด การส่ง Content จาก Edge Server ไปสู่ผู้ใช้มี Delay ต่ำ และมี Bandwidth ของ access network สูง จะไม่เกิดลักษณะ Long Fat Network เกิดขึ้น การส่งข้อมูลด้วย TCP ปกติ (ระหว่าง Edge Server กับ Client) จะทำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่วนข้อมูลที่ส่งผ่านระหว่าง CDN Server ด้วยกันเองสามารถปรับแต่ง TCP Window ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้ รูปที่ 6-4

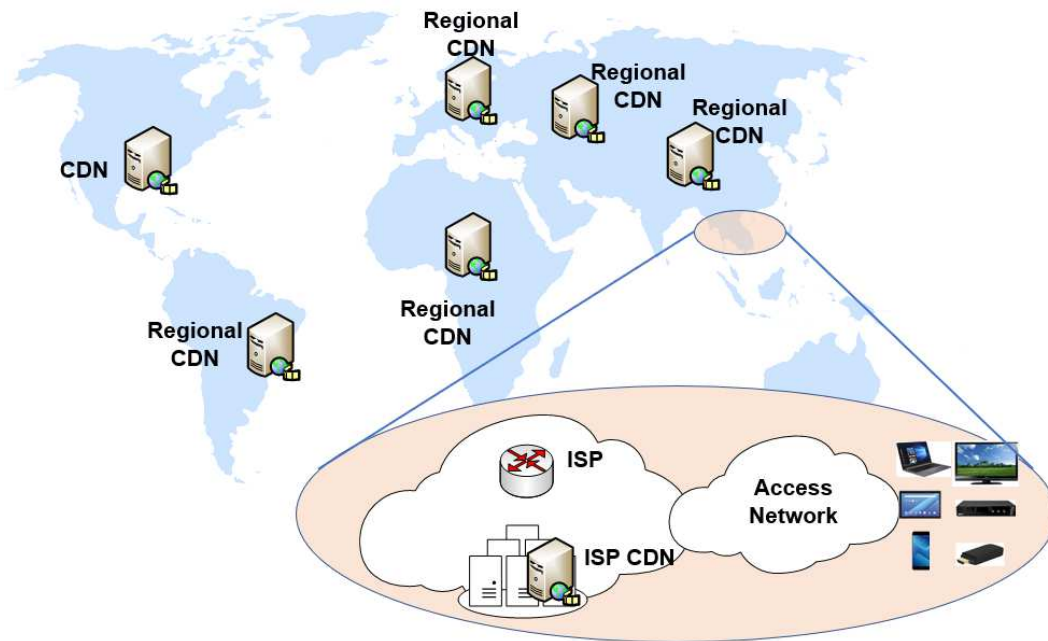


รูปที่ 6-4: ตัวอย่างของกรณีใช้ CDN ในการแก้ไขข้อจำกัดของ TCP

ลักษณะโครงสร้างของ CDN และการทำงาน

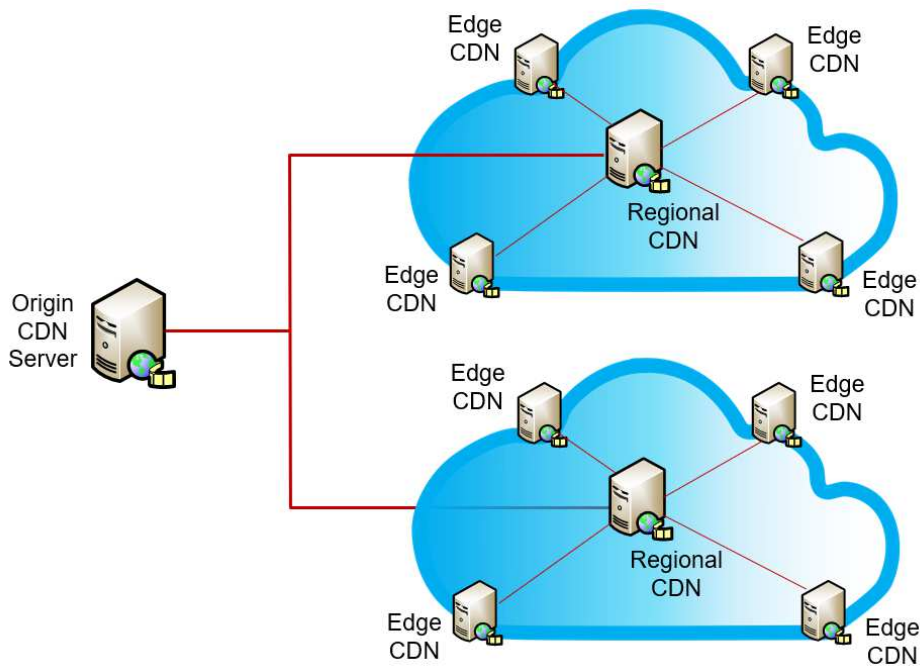
CDN ช่วยทำให้การส่งข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ (ตัวอย่างเช่น Video, Software Update, ไฟล์ Download เป็นต้น) มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การกระจายตำแหน่งของ CDN Server ซึ่งจะมีการกระจายตามพื้นที่ (Regional CDN) ซึ่งมักจะไปติดตั้งที่ Data Center ของผู้ให้บริการ Internet Exchange (IX) ในที่ต่างๆ ทั่วโลก เพื่อให้มีการเชื่อมต่อที่มีความเร็วสูง และสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นๆ ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้ง CDN ใน Data Center ของ ISP หรือที่เรียกว่า ISP CDN หรือ Edge CDN Server ซึ่งถือเป็น Server ปลายทางที่ระยะทางใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด (ดูรูปที่ 6-5) การที่มีการกระจาย CDN ออกไปหลายหลายพื้นที่นั้นนอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งเนื้อหาไปสู่ผู้ใช้แล้ว ยังมีส่วนช่วยในการแบ่งเบาภาระของ Content Server หลักที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเข้าถึงเนื้อหาได้จากจุดเดียว แต่ยังสามารถเข้าถึงที่ CDN Server อื่นๆ ที่กระจายไปในหลายพื้นที่ได้ เป็นการทำให้ Load Balance กันระหว่าง Server ทำให้การบริการเนื้อหาที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น CDN มีส่วนช่วยให้ Content Provider ให้บริการเนื้อหาได้มีความพร้อมใช้สูง หรือ High Availability เพราะบางกรณีบางส่วนของเครือข่ายมีการจราจรของข้อมูลที่คับคั่ง การส่งเนื้อหาไปด้วยความล่าช้า CDN จะช่วยให้เลือก CDN Server และเส้นทางเครือข่ายที่ดีที่สุดที่ Client สามารถเลือกใช้ได้ สามารถหลบเลี่ยงส่วนของโครงข่ายที่มีจราจรความคับคั่งสูงได้ นอกจากนี้ CDN ยังช่วยให้เกิดความทนทานต่อการถูกโจมตีระบบ Server หรือที่เรียกว่า Distributed Denial of

Service (DDoS) Attack ในกรณีที่ Content Server หนึ่ง ถูกโจมตีด้วย DDoS ก็ยังมี CDN Server อื่นที่ช่วยให้บริการทดแทนได้ เป็นการลดผลกระทบของการถูกโจมตีได้



รูปที่ 6-5: CDN

การกระจายเนื้อหาจาก Origin Server ต้นทางไปสู่ Edge CDN Server แสดงดังรูปที่ 6-6 ที่ Origin CDN Server จะเป็นที่เก็บเนื้อหาครบทั้งหมด และมักจะเป็น Server ขนาดใหญ่ หรือ เป็นแบบ Cluster Server ที่มีประสิทธิภาพสูงรองรับผู้ใช้จำนวนมาก เนื้อหาจะถูกสำเนากระจายไปสู่ Regional CDN Server ซึ่งเป็น Server ที่มีขนาดใหญ่เช่นกันและมักจะเก็บเนื้อหาที่ครบเช่นเดียวกับ Origin CDN Server ทั้ง Origin CDN Server และ Regional CDN Server มีการเชื่อมต่อด้วยโครงข่ายความเร็วสูง เนื้อหาบน Server ทั้งสองประเภทนี้จะมีการ Sync กันเป็นระยะ จากนั้นเนื้อหาจะถูกสำเนาต่อไปสู่ Edge CDN Server ซึ่งมักจะติดตั้งอยู่ภายใน Data Center ของ ISP Edge CDN Server มักจะเป็น Server ที่มีขนาดเล็กกว่าและความจุต่ำกว่า CDN Server สองประเภทก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในสำเนาเนื้อหาที่เหมาะสมลงบน Edge CDN Server ลักษณะของการสำเนาข้อมูลกระจายในแต่ละ CDN Server นั้นเป็นเทคนิคเฉพาะตัว (Proprietary Technology) ของแต่ละผู้ให้บริการ CDN แต่หลักการคือให้ Content มีสภาพที่พร้อมใช้ให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6-6: การเชื่อมโยงและการกระจายเนื้อหาของ CDN

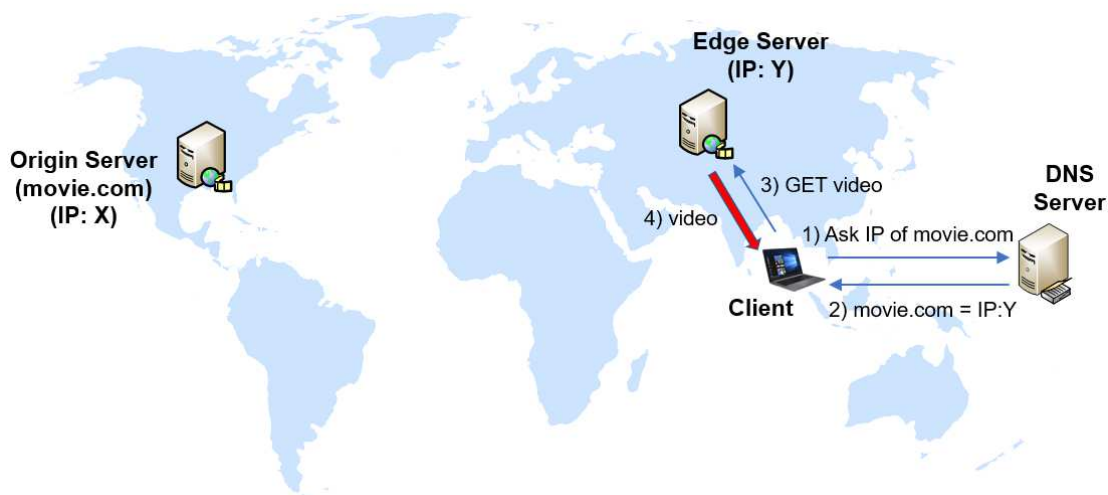
รูปแบบหรือกลยุทธ์ในการสำเนาเนื้อหากระจายเก็บใน CDN มีหลายเทคนิคดังนี้

- สำเนาเนื้อหาที่มีความยอดนิยม (Popularity) ที่คนส่วนใหญ่มีการเรียกใช้บ่อย ซึ่งต้องใช้กระบวนการทางสถิติร่วมคำนวณถึงระดับของความยอดนิยม ถ้าเนื้อหาที่ไม่มีคนเรียกใช้เลยนานเกินระยะเวลาหนึ่ง ก็อาจจะตีความได้ว่าเนื้อหานั้นไม่ได้รับความนิยมอีกแล้ว ก็จะถูกลบทิ้งไปจาก Edge CDN Server เพื่อคืนพื้นที่ Hard Drive ให้กับเนื้อหาอื่นที่มีความยอดนิยมกว่า
- สำเนาเนื้อหาที่คาดว่าจะมีผู้เข้าชมเป็นจำนวนมากในอนาคตอันใกล้ เป็นลักษณะของการคาดการณ์การเรียกใช้งานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น กำลังจะมีรายการ หรือ ภาพยนตร์ออกใหม่ วิดีโอของเหตุการณ์สำคัญที่กำลังจะเกิด หรือ แผนทางการตลาดที่จะผลักดันบางเนื้อหาให้ผู้บริโภคได้เข้าถึงเป็นต้น จึงต้องมีการสำเนาเนื้อหาไปเก็บอยู่ที่ Edge CDN Server ล่วงหน้าเพื่อรองรับผู้ใช้กลุ่มเป้าหมาย
- สำเนาเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่จะคาดการณ์พฤติกรรมของผู้รับชมได้ AI จะทำการเรียนรู้พฤติกรรมรับชมของแต่ละบุคคล และทำการประมาณการสิ่งที่น่าจะมีการเรียกใช้เนื้อหาเป็นประจำหรือจะเรียกใช้ในอนาคต และทำการสำเนาเนื้อหาที่คาดว่าจะถูกเรียกใช้งานไปรออยู่ที่ Edge CDN Server ก่อน

กระบวนการเรียก Content ผ่าน CDN โดยผู้ใช้ (Client)

ขั้นตอนในการเรียก Content ผ่าน CDN มีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อผู้ใช้เรียก Content ผ่าน URL ของผู้ให้บริการ Content ในที่นี้สมมติว่าเป็น movie.com ตามรูปที่ 6-7 ขั้นตอนแรกสุด ผู้ใช้จะทำการสอบถาม IP address ของ movie.com กับ DNS server
2. ในฐานะข้อมูลของ DNS server จะเก็บการ Mapping ระหว่าง URL หรือ Domain Name ของ Server คู่กับ IP address ของ Server นั้นๆ โดยทั่วไป DNS Server มีการติดตั้งให้บริการโดย ISP รองรับลูกค้าในพื้นที่ของ ISP
 - ในกรณีที่ไม่มี CDN DNS Server จะเก็บการ Mapping (movie.com == IP:X) ซึ่งเป็น IP address ของ Origin Server
 - ในกรณีที่มีการใช้งาน CDN นั้น ทาง CDN จะ update DNS Server ของ ISP ด้วย การ Mapping IP address ของ Edge CDN Server ในพื้นที่ที่ให้บริการ แทน Origin Server ในที่นี้ก็คือ (movie.com == IP:Y) ดังนั้นเมื่อ Client สอบถาม IP address ของ movie.com กับ ISP DNS Server ก็จะตอบกลับด้วย IP address ของ Edge CDN Server ซึ่งก็คือ IP:Y
3. Client ร้องขอ video จาก Edge CDN Server
4. Edge CDN Server สตรีม video ไปให้ Client

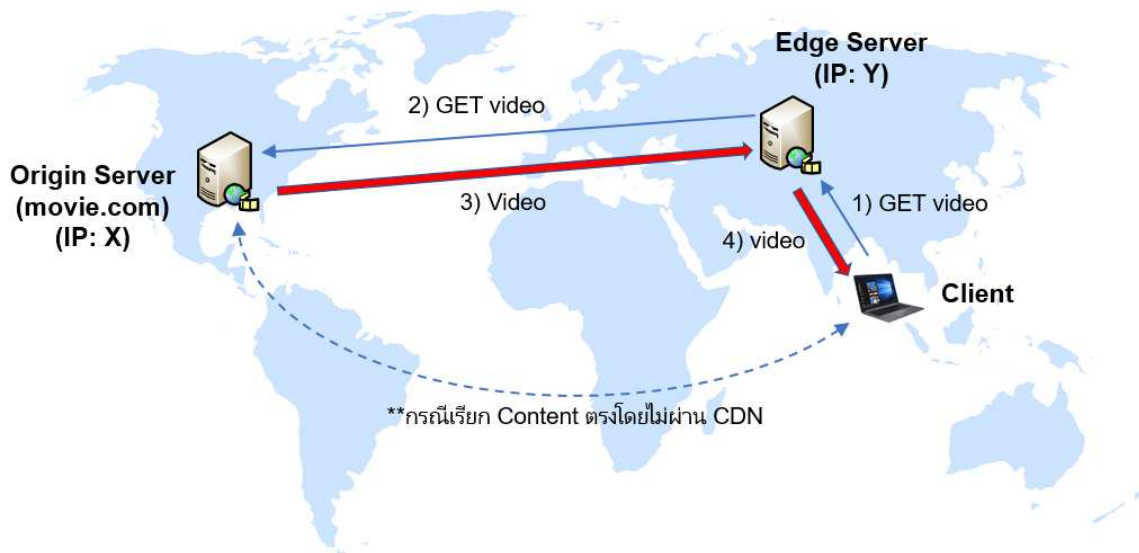


รูปที่ 6-7: ขั้นตอนการเรียก Content (Video) ผ่าน CDN

ในการเรียก Content ผ่าน CDN (กรณีที่ไม่มี Content ที่ต้องการ เก็บอยู่บน Edge CDN Server ซึ่งจะเรียกกรณีนี้ว่า Cache Miss) ดังรูปที่ 6-8 จะมีขั้นตอนดังนี้

1. Client ร้องขอ video จาก Edge CDN Server
2. ถ้า Edge CDN Server ไม่ได้จัดเก็บ video ที่ Client ต้องการ (กรณี Cache Miss) Edge CDN Server ทำการร้องขอ video จาก Origin Server อีกต่อหนึ่ง
3. Origin Server ส่ง video มาให้ Edge CDN Server
4. Edge CDN server ส่งต่อ video มาสู่ Client

จากกรณีหลังนี้ Content ถูกเรียกจาก Origin Server ซึ่งอาจจะมีคำถามเกิดขึ้นมาว่า กรณีที่มีการเรียก Content จาก Origin Server ผ่าน CDN เปรียบเทียบกับ การที่ Client เรียก Content โดยตรงจาก Origin Server โดยไม่ผ่าน CDN ซึ่งเหมือนกับเรียก Content จากอินเทอร์เน็ตตามแบบปกติ จะมีความแตกต่างกันอย่างไร การเรียกผ่าน CDN จะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า เนื่องจากการที่ Edge CDN Server เรียก content จาก Original Server นั้นผ่านโครงข่ายเฉพาะ (Dedicated Network) ของ CDN Provider เองซึ่งจะมีความเร็วสูงและผ่านการปรับแต่ง TCP Parameter ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว มีการการันตี QoS ซึ่งเป็นการบริหารจัดการภายในของ CDN Provider ซึ่งต่างจากการเรียก Content ที่เรียกจาก Origin Server ผ่านอินเทอร์เน็ตปกติซึ่งให้คุณภาพของเครือข่ายแบบ Best Effort และไม่การันตี QoS ดังนั้นการเรียก Content ผ่าน CDN จะได้ QoS ที่ดีกว่า



รูปที่ 6-8: ขั้นตอนการเรียก Content (Video) ผ่าน CDN กรณี Cache Miss

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ CDN เพื่อในการให้บริการ Content

1. CDN ช่วยลดโหลดของ Server ต้นทางได้ ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลจาก CDN Server แทนการดึงข้อมูลโดยตรงจาก Origin Server ต้นทาง นอกจากนี้ CDN จะตรวจสอบสถานะของ CDN Server ทุกเครื่องและ สถานะของเครือข่าย ตลอดเวลา ซึ่งจะนำผลมาวิเคราะห์และเสนอแนะ หรือนำทางให้ผู้ใช้เข้าถึงเนื้อหาจาก CDN Server ที่มี Performance ที่ดีที่สุดได้
2. CDN สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ได้ดีขึ้น ได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากเรียกข้อมูลจาก Edge CDN Server ซึ่งมี Delay ต่ำและมีความเร็วสูง แทนการเรียกข้อมูลจาก Server ต้นทาง
3. ช่วยลดผลกระทบจากการถูกโจมตี DDoS ที่เกิดกับ Server หลักได้ เนื่องจาก CDN ทำการกระจายเนื้อหาไปอยู่ใน CDN Server หลายเครื่องเปรียบเสมือนเป็นการทำ Redundancy ให้กับบริการ Server หลักถูกโจมตี ผู้ใช้ยังสามารถเข้าถึงเนื้อหาได้จาก CDN Server อื่นแทนได้

การให้บริการ CDN (CDN Provider)

เมื่อพิจารณาถึงมุมมองของความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ CDN นั้นเกิดจากความต้องการของฝั่ง Content Provider ที่ต้องการที่จะให้การส่ง Content ไปสู่ผู้บริโภคมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพที่ดี สร้างความพึงพอใจในบริการ Content กรณีที่เป็น Content Provider รายย่อยนั้น (เมื่อเทียบกับผู้ให้บริการ Content รายใหญ่เช่น Netflix, Youtube) การที่จะสร้างและบริหารจัดการ CDN ด้วยตนเองอาจจะไม่คุ้มค่าทางธุรกิจ เพราะ CDN ต้องใช้ต้นทุนสูงในการลงทุนทั้ง CAPEX และ OPEX ดังนั้นจึงได้มีการให้บริการ CDN หรือ CDN Provider เกิดขึ้น เพื่อให้ Content Provider สามารถเข้ามาเช่าใช้บริการได้ ตัวอย่างของ CDN Provider ที่มีการให้บริการในประเทศไทย หรือมีการติดตั้งโหนดหรือ Point-of-Present (POP) ในประเทศไทย เช่น

- Akamai (<https://www.akamai.com/>)
- CDN77 (<http://www.cdn77.com/>)
- CDNetworks (<https://www.cdnetworks.com/>)
- CacheFly (<https://www.cachefly.com/>)
- Cloudflare (<https://www.cloudflare.com/>)
- Limelight (<https://www.limelight.com/>)
- QUANTIL (<https://www.quantil.com/>)
- SwiftServe (<https://www.conversant.tv/swiftserve-cdn/>)

แต่ละผู้ให้บริการ CDN จะมีแนวทางการออกแบบโครงสร้างของ CDN ที่แตกต่างกัน บาง CDN Provider ติดตั้ง CDN Server ที่มีขนาดเล็ก (เช่น CPU ขนาดเล็ก ความจุของ Hard Drive ไม่ใหญ่ กินกำลังไฟฟ้าต่ำ) ที่มีจำนวนมากติดตั้งกระจายไปในหลายๆพื้นที่เป็นวงกว้างทั้งในระดับภูมิภาค (Region) และในระดับพื้นที่ไปจนถึงระดับ Edge Server ใน ISP แต่บาง CDN Provider ใช้แนวทางการติดตั้ง CDN Server ที่มีขนาดใหญ่ มีประสิทธิภาพสูง แต่ใช้จำนวนน้อย เลือกติดตั้งในพื้นที่ที่เป็นจุดยุทธศาสตร์ในการกระจายเนื้อหาไปสู่ผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โครงข่ายที่เชื่อมต่อระหว่าง CDN Server ก็มีความสำคัญเช่นกัน บางผู้ให้บริการทำการเช่าสาย Lease Line ความเร็วสูงในการเชื่อมต่อ บางรายดำเนินการติดตั้ง Dark Fiber สร้างเป็น Private Network ของตนเอง โครงข่ายนี้ CDN สามารถควบคุมคุณภาพ QoS ของการสื่อสารส่งข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างของรูปแบบการบริการของ CDN Provider ที่มีการนำเสนอขึ้นโดยทั่วไป เช่น

- การบริการส่งหรือ Streaming Content ที่ตอบสนองผู้รับหลากหลายประเภท
- การบริการส่งไฟล์ (เช่น Software หรือ Firmware) ที่มีขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อยไฟล์ หรือ ไฟล์ที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนมากไฟล์
- การให้บริการ VoD และ Live Streaming
- การให้บริการด้านความมั่นคงปลอดภัยของ Server (Server Security Solution) การให้บริการ Redundancy เพื่อ High Availability ที่ทนทานต่อการถูกโจมตี DDoS
- การบริการเร่งประสิทธิภาพของเข้าถึง Web ให้รวดเร็วขึ้น โดยใช้ HTML/2
- บาง CDN Provider เสนอการพ่วงบริการอื่น ๆ เข้าไปด้วย เช่น บริการรับเก็บไฟล์ (Cloud Storage) บริการ Transcode (การเข้ารหัสวิดีโอเพื่อการ Streaming) เป็นต้น

รูปแบบของ CDN

1. Datacenter-based CDNs เป็นรูปแบบของ CDN มีการลงทุนติดตั้ง ในลักษณะของ Server Farm ที่มีประสิทธิภาพรวมสูงมาก รวมติดตั้งอยู่ใน Data Center แต่มีการจำกัดจำนวน Data Center ที่ใช้ Datacenter-based CDN มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในส่วนของ Server สูง แต่ลงทุนติดตั้งด้วยจำนวนที่น้อย และการติดตั้งอยู่ใน Data Center จะมีค่าใช้จ่ายด้าน Facility ที่ถูกกว่า โดยรวมแล้วค่าใช้จ่ายรวมที่เหมาะสม ตัวอย่างผู้ให้บริการที่ใช้รูปแบบ Datacenter-based CDNs เช่น **Limelight**

Limelight (ดูรูปที่ 6-9) เป็นผู้ให้บริการ CDN ระดับต้นๆ ใช้แนวทางในการออกแบบ CDN โดยการใช้ Datacenter-based CDNs เป็นกลุ่มของ Server ที่มีขีดความสามารถสูง ใช้ SSD

Storage ทั้งหมดเพื่อความเร็วสูงในการเข้าถึงไฟล์ Datacenter-based CDNs ถูกติดตั้งที่หัวเมืองสำคัญของโลก รวมจำนวนของ Point-of-Present (PoP) มากกว่า 80 PoPs และใช้การเชื่อมต่อระหว่าง PoP ด้วยโครงข่ายแบบ Private Network เป็นการลงทุนวางสายหรือเช่าสาย Dark Fiber เป็นการเฉพาะ แทนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตแบบปกติ ทำการเชื่อมต่อกับ ISP หลักๆทั่วโลก มีความเร็วในการเชื่อมต่อรวมมากกว่า 21 Terabit per second ทำให้ Limelight สามารถควบคุม บริหารจัดการจราจรโครงข่ายได้อย่างสมบูรณ์ Limelight ใช้เทคนิคในการสำเนากระจาย Content ไปแต่ละ PoP ด้วย Machine Learning หรือ AI เพื่อการคาดการณ์การใช้ Content เพื่อลดการเกิด Cache Miss



รูปที่ 6-9: โครงข่าย CDN ของ Limelight (source: Limelight)

2. Highly Distributed CDN เป็น CDN ที่มีแนวทางในการออกแบบโดยใช้ CDN Server จำนวนมาก ติดตั้งกระจายครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด กระจายติดตั้งเข้าถึงระดับภายใน ISP ของแต่ละประเทศ ทำหน้าที่เป็น Edge CDN Server ที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด ด้วยหลักการที่ว่าถ้ายัง CDN อยู่ใกล้ผู้ใช้มากเท่าไร การกระจายเนื้อหาสู่ผู้ใช้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น โดยทั่วไปผู้ให้บริการ CDN ทำสัญญาเป็น Partner กับ ISP ในการวาง Edge CDN Server และแบ่งปันผลประโยชน์ร่วมกัน เนื่องจาก CDN รูปแบบนี้ใช้ CDN Server จำนวนมาก ซึ่งมักจะใช้ server ที่มีขนาดเล็ก มีความจุไม่มาก ต้นทุนต่ำกว่าแบบ Datacenter-based CDN มาก การเชื่อมต่อระหว่าง CDN server ใช้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยทั่วไป แต่จะมีการใช้โปรโตคอลเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการส่ง

เนื้อหา ความท้าทายของ CDN รูปแบบนี้จะอยู่ที่ Algorithm ในการกระจายเนื้อหาที่มีความซับซ้อนสูงและต้องมีความสามารถในการสำเนาเนื้อหาที่เหมาะสมให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมี Cache Hit Ratio สูง ตัวอย่างผู้ให้บริการที่ใช้รูปแบบ Highly Distributed CDNs เช่น Akamai

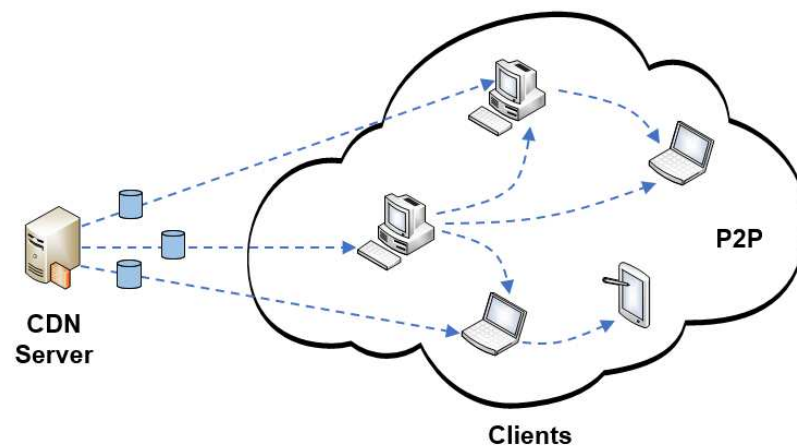
Akamai เป็นผู้ให้บริการ CDN ระดับแนวหน้าในอุตสาหกรรมนี้ มีการติดตั้ง CDN Server จำนวนมากกว่า 240,000 node กระจายใน 130 ประเทศ สร้างเป็นเครือข่าย CDN ที่มีความครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด การเชื่อมต่อระหว่าง Server มีทั้งแบบ Lease Line และแบบผ่าน Public Internet โดยทั่วไป จุดด้อยของการส่งข้อมูลผ่าน public internet ที่ใช้โปรโตคอล BGP ในการค้นหาและ route เส้นทางผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตต่างๆ ซึ่ง BGP มีจุดอ่อนที่ในการ route เส้นทางนั้น ไม่ได้มีการใช้ข้อมูลสภาพของจราจรบนเครือข่ายในเส้นทางมาคิดคำนวณด้วย ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมีการ route เส้นทางผ่านเข้าไปในจุดที่มีจราจรบนเครือข่ายมีความหนาแน่นสูง เกิดความล่าช้าและบางครั้งเกิด Packet Loss เกิดขึ้น ดังนั้น Akamai ได้พัฒนาเทคโนโลยีที่ชื่อว่า SureRoute ที่เปรียบเสมือนเป็น Overlay Routing บน BGP อีกทีหนึ่ง หลักการของ SureRoute คือ จะมีการตรวจสอบสภาพของทุกเส้นทาง (เช่น delay) ระหว่าง CDN Server Node เพื่อที่จะหาเส้นทางที่เร็วที่สุดซึ่งอาจจะเลือกเส้นทางแตกต่างจาก route ที่ได้จาก BGP เดิม ซึ่งส่งผลให้การส่งข้อมูลด้วย TCP มีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ Akamai ยังนำโปรโตคอล Enhanced UDP มาใช้ในการส่งข้อมูลนอกเหนือจากที่ใช้ TCP ตามปกติ การส่งข้อมูลด้วย Enhanced UDP ให้การส่งข้อมูลแต่ละ Server มีความเร็วสูงและมี delay ต่ำ นอกจากนี้เนื่องจาก Akamai มีการติดตั้ง server node จำนวนมาก ทำให้มีลักษณะของ Redundancy สูง ดังนั้นการบริการด้าน Security ของ Akamai เช่นการส่ง Content ที่ทนทานต่อการถูกโจมตี DDoS จึงได้รับความนิยมและได้สร้างรายได้ให้ Akamai ในสัดส่วนที่สูง

3. Telco CDN หรือ ISP CDN เป็น CDN ที่ติดตั้งโดยผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต Server ถูกติดตั้งภายในโครงข่ายของ ISP ทำหน้าที่เป็น Cache สำหรับ Content ให้บริการกับลูกค้าของ ISP เพื่อปรับปรุงประสบการณ์ที่ดีในการใช้งานอินเทอร์เน็ต บางครั้ง ISP CDN ยังเปิดให้ผู้ให้บริการ CDN รายอื่นมาเช่าใช้ หรือ เป็นพันธมิตรทางธุรกิจกัน ในการให้บริการ CDN ได้อีกด้วย
4. Multi CDN ปัจจุบันมีผู้ให้บริการ CDN มีอยู่จำนวนมาก มีขนาดของโครงข่ายเล็กใหญ่แตกต่างกัน มีการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันตามแต่ละโมเดลทางธุรกิจหรือกลุ่มเป้าหมายของลูกค้า การที่ Content Provider จะเลือกใช้บริการของผู้ให้บริการ CDN รายใด รายหนึ่ง อาจจะไม่ตอบสนองต่อเป้าหมาย หรือความต้องการครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของ Content Provider

ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกใช้บริการจากหลายๆ ผู้ให้บริการ CDN เกิดเป็นแนวทางที่เรียกว่า Multi CDN ซึ่งแนวทางนี้กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ ในทางปฏิบัติการที่ Content Provider จะต้องไปทำการเลือกและทำสัญญาใช้บริการแยกกันในแต่ละผู้ให้บริการ CDN เกิดความยุ่งยากและไม่สะดวก การควบคุม SLA ทำได้ลำบาก Administration Cost สูง ดังนั้นจึงได้เกิดการให้บริการในลักษณะของคนกลาง หรือ Broker CDN ที่ช่วยประสานงาน ตกลงกับหลายๆ CDN Provider และนำเสนอให้กับ Content Provider ในรูปแบบสัญญาเดียว ลูกค้าสามารถเพิ่มหรือลด CDN Provider ได้อย่างสะดวกคล่องตัว Multi CDN จึงที่ได้รับความนิยมอย่างมากจาก Content Provider ขนาดกลางและขนาดเล็ก

5. Peer-to-Peer CDN (P2P CDN) เป็นการให้บริการ CDN ในรูปแบบผสมผสานระหว่าง การให้บริการ CDN ด้วยโครงสร้างของ CDN Server แบบปกติทั่วไป กับ ด้วยโครงสร้างที่ใช้คอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ที่ใช้ดู Content ตามปกติแต่เพิ่มคุณสมบัติให้กลายเป็น CDN server ขนาดเล็กขึ้นมาช่วยในการกระจาย Content ต่อออกไปสู่ผู้ใช้รายอื่น ๆ แบบ Peer-to-Peer (P2P) ซึ่งก่อนหน้านี้ วิธีการแชร์ไฟล์แบบ P2P มีใช้นานแล้วตั้งแต่ปี 2001 ที่มีการคิดค้น Bittorrent ที่เป็น P2P Protocol ขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนไฟล์บนอินเทอร์เน็ตโดยปราศจาก Server กลาง เป็นรูปแบบของ Fully Distributed File Sharing อย่างแท้จริง Bittorrent ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการแชร์ไฟล์ภาพยนตร์ ไฟล์เพลง ไฟล์ซอฟต์แวร์ และไฟล์อื่น ๆ เป็นต้น ลักษณะของโครงสร้างของ P2P CDN ตามรูปที่ 6-10 Content ต้นฉบับเก็บอยู่ที่ CDN Server และเมื่อผู้ใช้ทำการเรียก แต่ละ Segment ของ Content จาก CDN Server มารับชม Client นั้นๆ ก็ยังสามารถทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็น CDN Server ขนาดเล็กทำการส่งต่อ Segment ของ Content ที่ตนเองมีไปให้ผู้ใช้คนอื่น ๆ ต่อได้ แบบ P2P เมื่อผู้ใช้คนใหม่ต้องการที่จะรับชม Content เดียวกันนี้ ก็จะสามารถดึง Content จากผู้ใช้คนอื่น ๆ ที่มี Segment ของ Content อยู่มาได้ ถ้ามีบาง Segment ขาดหายไปที่ไม่มีในผู้ใช้คนใดเลย ก็ยังสามารถไปเรียกมาจาก CDN Server ได้อีกต่อหนึ่ง การใช้ P2P CDN นี้จะช่วยลดปริมาณ Traffic ที่ CDN Server ได้มาก P2P CDN นี้จะมีประสิทธิภาพดีก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้หลายคนมีความต้องการรับชมรายการหรือเนื้อหาอันเดียวกัน ซึ่งตอนเริ่มต้นอาจจะมีเพียง 2-3 ผู้ใช้เท่านั้นที่เรียก Content โดยตรงมาจาก CDN Server หลังจากนั้นผู้ใช้ส่วนที่เหลือก็จะได้รับไฟล์แลกเปลี่ยน Content กันเองแบบ P2P นอกจากนี้ประสิทธิภาพของ P2P CDN ยังต้องอาศัยความเร็วของการเชื่อมต่อขาขึ้น (Uplink) ของผู้ใช้ ปัจจุบันมีการพัฒนาด้าน Access Network เช่น FTTH และ

Cable Modem ซึ่งมีความเร็ว uplink สูงขึ้น ประสิทธิภาพของ P2P CDN ก็จะดีขึ้นตามลำดับ ตัวอย่างผู้ให้บริการที่ใช้รูปแบบ P2P CDNs เช่น Peer5



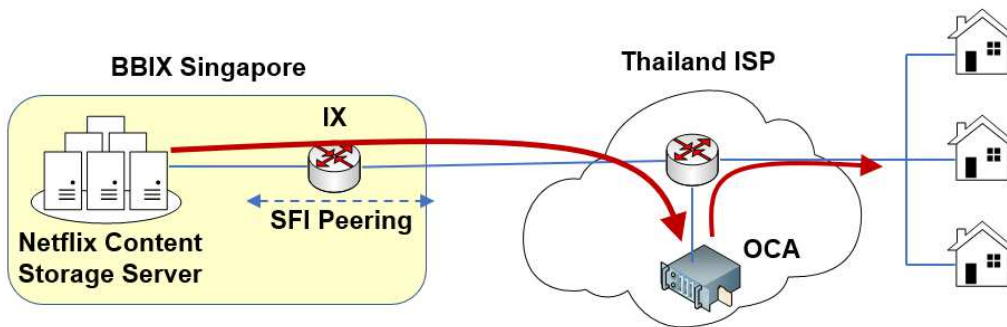
รูปที่ 6-10: การกระจาย Content แบบ P2P CDN

Peer5 เป็นผู้ให้บริการ P2P CDN รายแรกๆที่ใช้เทคนิคนี้ Peer5 ใช้เทคโนโลยี WebRTC ซึ่งเป็น peer-to-peer protocol ที่ฝังตัวอยู่ใน web browser รุ่นใหม่ๆ เช่น Chrome, Firefox, Opera ทั้งบน Android และ IOS เมื่อผู้ใช้รับชม Content จะมีการโหลด JavaScript ที่จะไปเรียก WebRTC ขึ้นมาใช้งานและสร้างเครือข่าย P2P Mesh Network ระหว่างผู้ใช้ด้วยกัน เมื่อผู้ใช้คนใดทำการเรียก Content หนึ่งๆ มารับชมก็จะทำการโหลดจากกลุ่มของ P2P Mesh Network ก่อนถ้าไม่มีหรือมีไม่ครบก็จะไปดาวน์โหลดต่อจาก CDN Server อีกทีหนึ่ง Peer5 ไม่มีการจัดเก็บ Content ใดๆ อยู่บน Harddisk ของ Client สและยังรองรับ DRM ที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงเกิดความมั่นใจว่าจะไม่เกิดเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ของ Content ที่รวดเร็ว P2P CDN เป็นถึงเป็นแนวคิดที่มีศักยภาพในอนาคตในการลดปริมาณ Traffic ของ Server ได้อย่างมีนัยสำคัญ เหมาะกับกรณีที่ใช้หลายคนรับชมรายการเดียวกัน เวลาพร้อม ๆ กัน เช่นรายการถ่ายทอดสด เป็นต้น

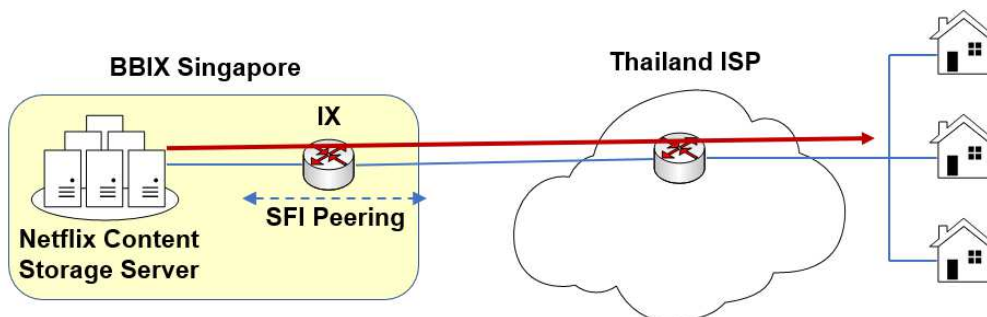
6. Private CDN เป็นลักษณะที่ Content หรือ Service Provider รายใหญ่สร้างเครือข่าย CDN ของตนเองขึ้นมาใช้เอง สืบเนื่องจากมีปริมาณข้อมูลของ Content ของตนเองจำนวนมาก การสร้าง CDN ขึ้นมาเองอาจจะคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าการเช่าใช้จาก CDN Provider Private CDN ต้องทำการลงทุนติดตั้ง CDN Server กระจายไปตามพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงมีข้อตกลงทางธุรกิจกับทาง ISP เพื่อติดตั้ง Edge CDN Server ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม Private CDN ก็ยังอาจจะต้องเช่าใช้ CDN

Provider ในบางพื้นที่ใช้เป็นแบบผสมผสาน (Hybrid) ตัวอย่างของ Private CDN เช่น Netflix, Youtube เป็นต้น

Netflix เป็นผู้ให้บริการ Streaming movie and tv content รายใหญ่ที่สุดในโลก ในทวีปอเมริกาเหนือในช่วงเย็นจะมีปริมาณ Traffic อินเทอร์เน็ตของ Netflix เป็นสัดส่วนถึง 1/3 ของปริมาณ Traffic ทั้งหมด Netflix ได้ดำเนินการสร้าง Private CDN ขึ้นเพื่อกระจายการให้บริการ Content ไปหลายประเทศทั่วโลก โดยติดตั้ง Content Server ใน datacenter ที่เชื่อมต่อกับ Internet Exchange (IX) กระจายไปตามจุดต่าง ๆ ทั่วโลก เพื่อบริการ Content ให้กับลูกค้าของ ISP ที่สมัครเป็นสมาชิกกับ Netflix การที่ลูกค้าของ ISP ใช้งาน Netflix เพิ่มจำนวนมากขึ้นมีส่วนทำให้เกิดการจราจรข้อมูลที่คับคั่งมากขึ้นกับโครงข่ายของ ISP ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นและเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจทั้ง การให้บริการ Content ของ Netflix และการให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของ ISP นั้น Netflix ริเริ่มโปรแกรมที่ชื่อว่า Netflix Open Connect เป็นการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ไขปัญหาระหว่าง Netflix กับ ISP ในลักษณะที่ Win-Win กันทั้งสองฝ่าย Netflix นำเสนอให้มีการติดตั้ง Edge Server (Netflix เรียกว่า Open Connect Appliance, OCA) ภายใน Datacenter ของ ISP โดยมี OCA อยู่ 3 แบบ (Storage Appliances, Global Appliances และ Flash-based Appliances) ซึ่งมีความแตกต่างที่ขนาดของเครื่อง ความจุของ Storage และ Operational Throughput โดยที่ทาง Netflix เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์ Hardware Software รวมถึงการบริหารจัดการที่ทำงานร่วมกับ ISP ขณะที่ทาง ISP จะเป็นผู้ให้การสนับสนุน Facility ของ Datacenter สนับสนุนการเชื่อมต่อจาก OCA มาสู่ Public Internet Exchange ที่ใกล้ที่สุด สำหรับของประเทศไทยคือ BBIX Singapore (BroadBand Internet eXchange Singapore) เพื่อทำการเชื่อมต่อกับ Netflix Content Storage Server โดยทั้งสองจะต้องทำข้อตกลงการทำ Peering (การเชื่อมต่อ) แบบ SFI (Settlement-Free Interconnect) คือไม่มีการเก็บค่าเชื่อมต่อซึ่งกันและกัน โครงสร้างของ CDN มีสองรูปแบบ คือแบบที่มีการติดตั้ง OCA ใน ISP ดังรูปที่ 6-11 และแบบที่ไม่มีการติดตั้ง OCA ดังรูปที่ 6-12 นอกจากนี้ Netflix ยังกำหนดเงื่อนไขส่วนการสนับสนุน Bandwidth จาก ISP ที่ต้องใช้สำหรับการ fill in หรือ update เนื้อหาจาก Netflix content storage server ไปสู่ OCA ในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้เครือข่ายอยู่น้อยตามแต่จะตกลงกัน เงื่อนไขทางเทคนิคของการ fill in เนื้อหา แสดงในรูปที่ 6-13



รูปที่ 6-11: Netflix การ Update และการบริการ Content กรณีติดตั้ง OCA



รูปที่ 6-12: Netflix การบริการ Content กรณีไม่ติดตั้ง OCA

Network and data center criteria

Criteria	Description
Network	Your ISP should have an officially registered autonomous system number (ASN) that identifies your network.
Netflix traffic	Traffic requirements vary depending upon the content library that is being served, with the expected range being at least 5 Gbps of peak traffic . Lower traffic levels are typically served better by SFI peering alone.
Network capacity	To enable nightly fill and updates , you must have the capacity to handle 1.2 Gbps of inbound traffic for a 12-hour period per appliance. You can configure the fill window so that it occurs during low traffic periods.
Interconnection	You must connect to Netflix via SFI peering at one or more Netflix points of presence (PoPs) .
Installation	You must be able to physically install OCAs at your assigned site within 10 business days of receipt , or as soon as possible thereafter.
Physical connection	You must be able to provision 2-4 x 10 Gbps ethernet ports in a LACP LAG per OCA. The exact quantity depends on the OCA type.
Power supply maximum power output	750W

รูปที่ 6-13: เงื่อนไขสำหรับโครงข่ายและ Datacenter สำหรับการเป็นพันธมิตรกับ Netflix (Source: Netflix)

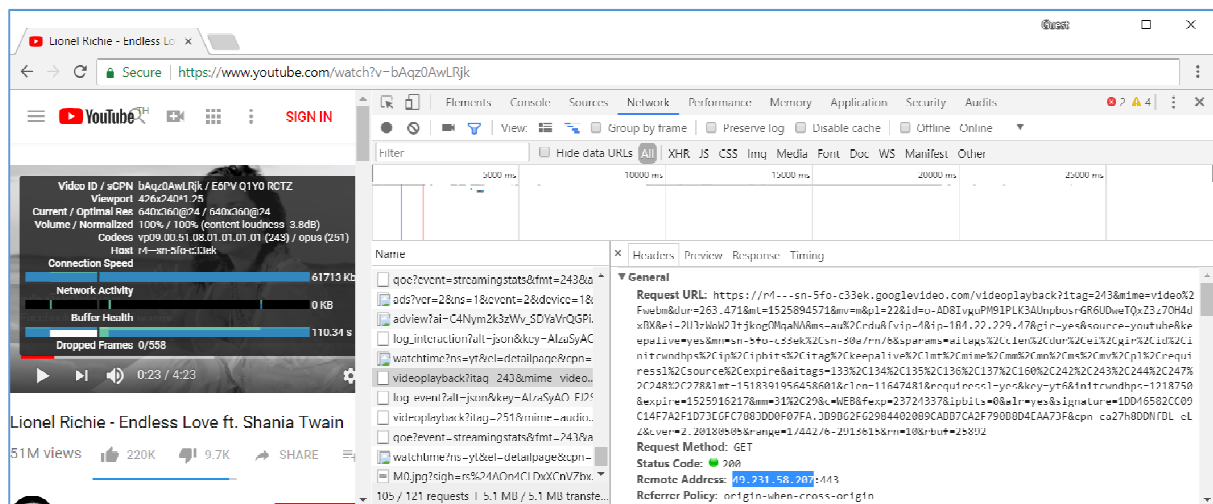
การตรวจสอบการใช้งานจริง CDN ของ OTT Service Provider ผ่าน ISP บางราย

ในหัวข้อนี้จะทำการตรวจสอบในการใช้งานจริงเพื่อระบุที่ตั้งของ CDN ในการให้บริการของ OTT Service Provider (Youtube, Netflix, Hollywood HD) ผ่าน 2 ISP คือ AIS Fibre กับ True Highspeed Internet (Cable Modem) ทำการตรวจสอบโดยการเล่นวิดีโอของแต่ละ OTT Service Provider ด้วย Google Chrome (โหมด Developer Tools) เพื่อระบุที่ตั้งของ CDN โดยการพิจารณาจาก Video Segment ของ Adaptive Bitrate Streaming (ABR) ของแต่ละชิ้นว่าถูกส่งมาจาก CDN (IP Address ใด)

Youtube (www.youtube.com)

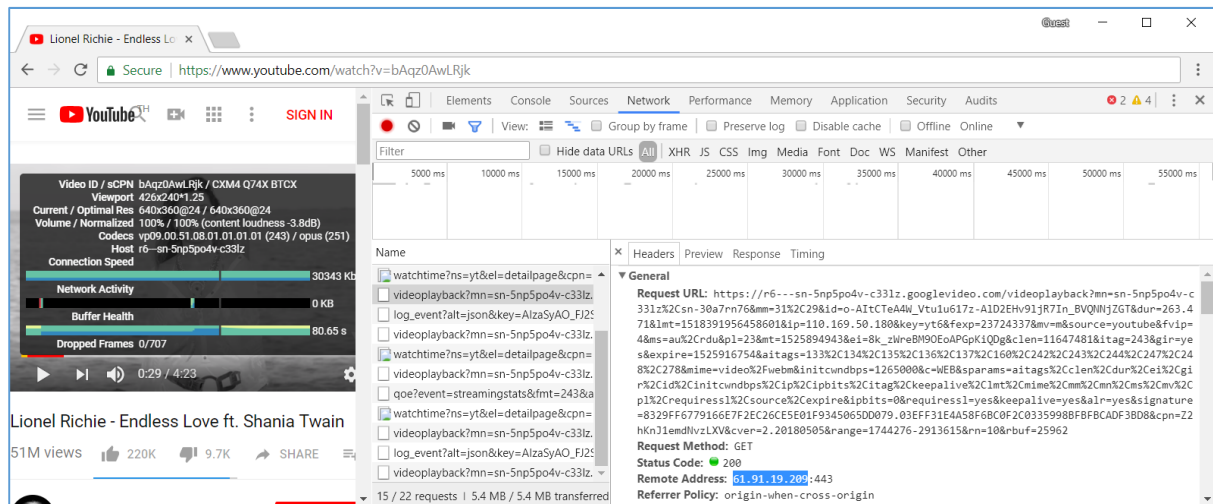
Video #1 เป็น Music video ของต่างประเทศ (<https://www.youtube.com/watch?v=bAqz0AwLRjk>)

- ISP: AIS Fibre (ดูรูปที่ 6-14)
- URL Video Segment: <https://r4---sn-5fo-c33ek.googlevideo.com>
- IP address of URL: 49.231.58.207
- WHOIS IP address: ADVANCED WIRELESS NETWORK COMPANY LIMITED



รูปที่ 6-14: Youtube Video #1 ผ่าน ISP: AIS Fibre

- ISP: True Highspeed Internet (รูปที่ 6-15)
- URL Video Segment: <https://r6---sn-5np5po4v-c33lz.googlevideo.com>
- IP address of URL: 61.91.19.209
- WHOIS IP address: TRUE INTERNET CORPORATION CO. LTD.

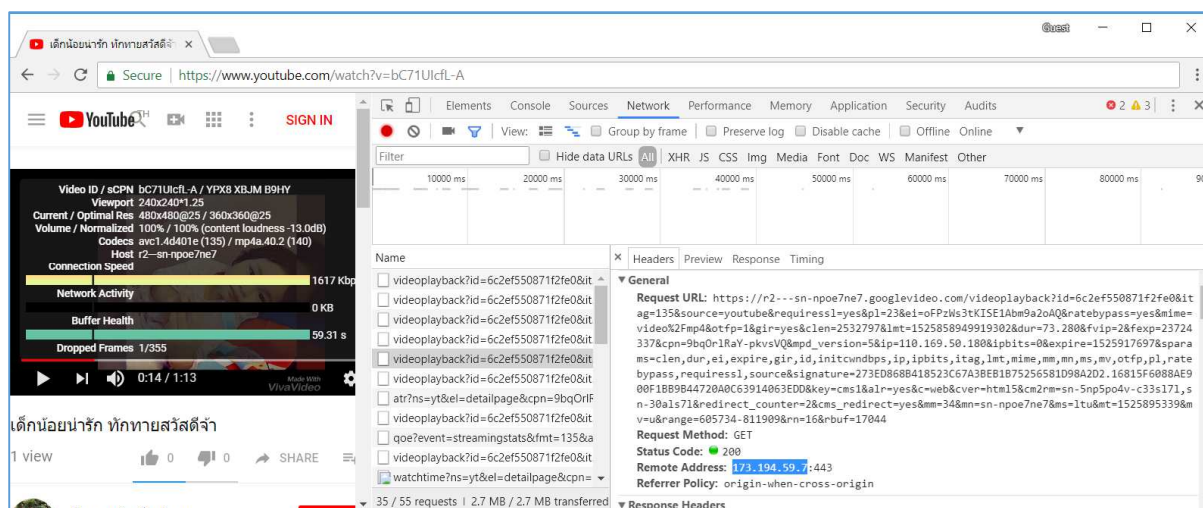


รูปที่ 6-15: Youtube Video #1 ผ่าน ISP: True Highspeed Internet

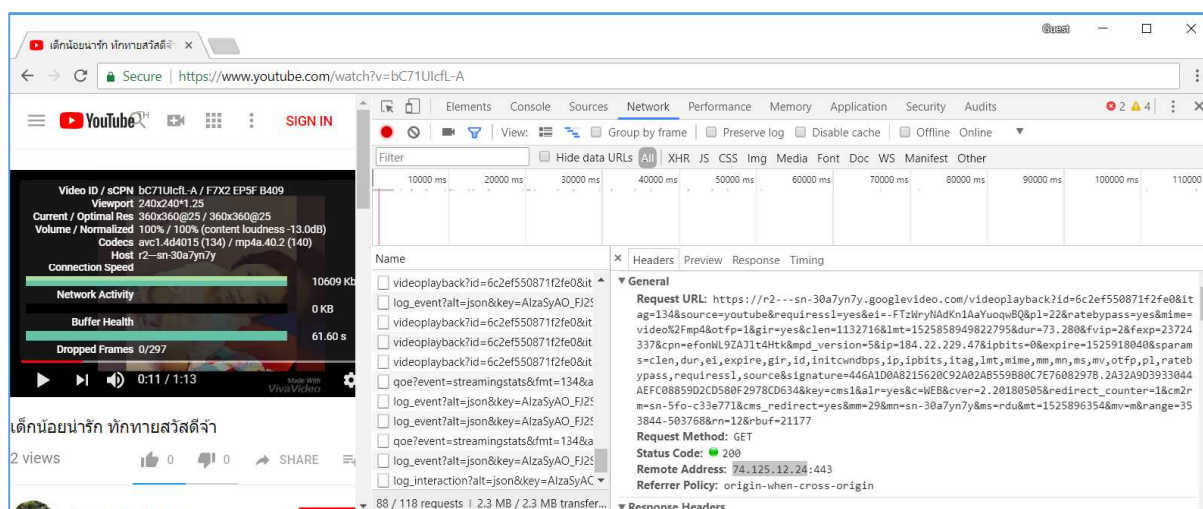
Video #2 เป็น UGC จากประเทศไทย จำนวน view น้อย

(<https://www.youtube.com/watch?v=bAqz0AwLRjk>)

- ISP: AIS Fibre (รูปที่ 6-16)
- URL Video Segment: <https://r2---sn-npoe7ne7.googlevideo.com>
- IP address of URL: 173.194.59.7
- WHOIS IP address: Google LLC



- ISP: True Highspeed Internet (ดูรูปที่ 6-17)
- URL Video Segment: <https://r2---sn-30a7yn7y.googlevideo.com>
- IP address of URL: 74.125.12.24
- WHOIS IP address: Google LLC

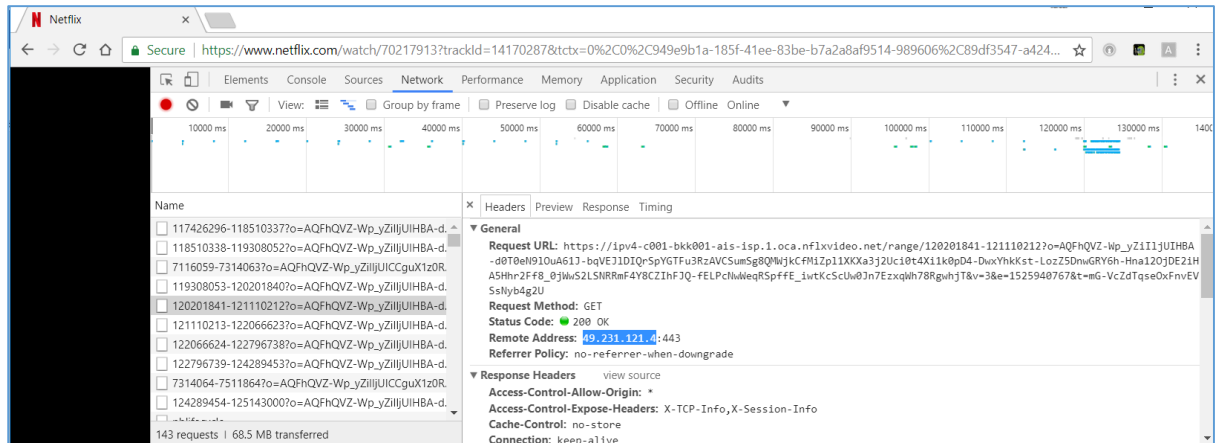


ผลสรุป การรับชมวิดีโอผ่าน Youtube ผ่าน ISP ทั้งสองแห่งของประเทศไทย ตรวจสอบพบว่า Youtube ได้ใช้ CDN ที่มีการติดตั้งเป็น Edge Server อยู่ภายใน ISP ของแต่ละแห่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับชม

ในกรณีที่รับชมวิดีโอที่มีความนิยมน้อย ไม่ว่าจะรับชมผ่าน ISP ไດ้ก็จะมีการเรียกวิดีโอนี้จาก Server ที่เก็บไว้ที่ต้นทางคือที่ Google ใน USA

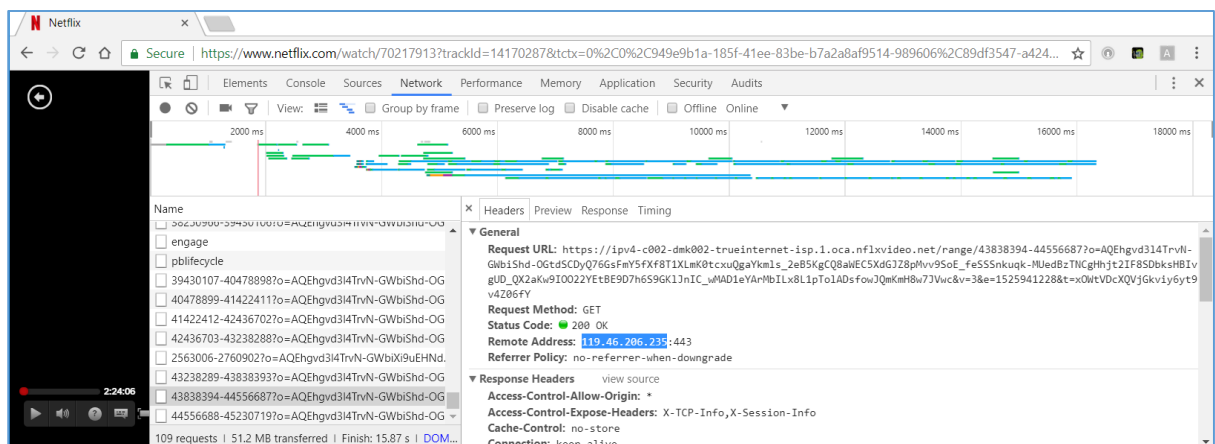
Netflix (www.netflix.com)

- ISP: AIS Fibre (รูปที่ 6-18)
- URL Video Segment: <https://ipv4-c001-bkk001-ais-isp.1.oca.nflxvideo.net>
- IP address of URL: 49.231.121.4
- WHOIS IP address: ADVANCED WIRELESS NETWORK COMPANY LIMITED



รูปที่ 6-18: Netflix ผ่าน ISP: AIS Fibre

- ISP: True Highspeed Internet (รูปที่ 6-19)
- URL Video Segment: <https://ipv4-c002-dmk002-trueinternet-isp.1.oca.nflxvideo.net>
- IP address of URL: 119.46.206.235
- WHOIS IP address: TRUE INTERNET CORPORATION CO. LTD.

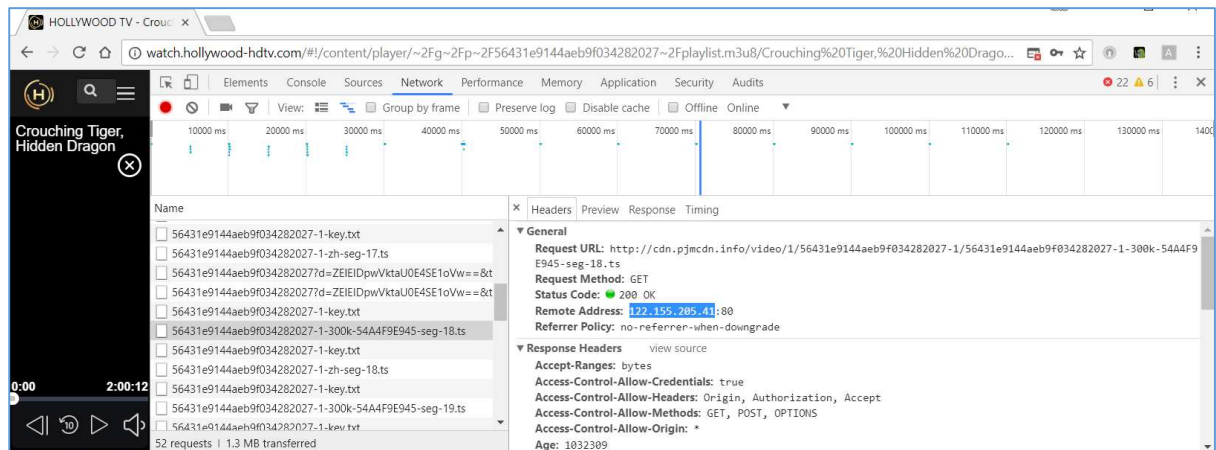


รูปที่ 6-19: Netflix ผ่าน ISP: True Highspeed Internet

ผลสรุป Netflix ได้มีการติดตั้ง Edge Server หรือ OCA ภายใน ISP ของทั้งสองแห่ง

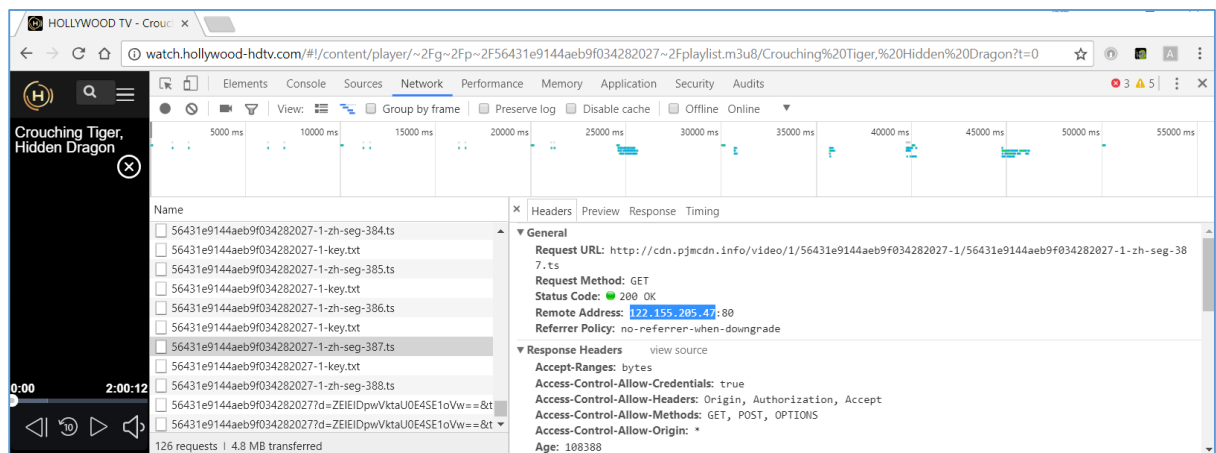
Hollywood TV (www.hollywood-hdtv.com)

- ISP: AIS Fibre (รูปที่ 6-20)
- URL Video Segment: http://cdn.pjmcndn.info
- IP address of URL: 122.155.205.41
- WHOIS IP address: CAT-IDCnonthaburi-Service



รูปที่ 6-20: Hollywood TV ผ่าน ISP: AIS Fibre

- ISP: True Highspeed Internet (รูปที่ 6-21)
- URL Video Segment: http://cdn.pjmcndn.info
- IP address of URL: 122.155.205.47
- WHOIS IP address: CAT-IDCnonthaburi-Service

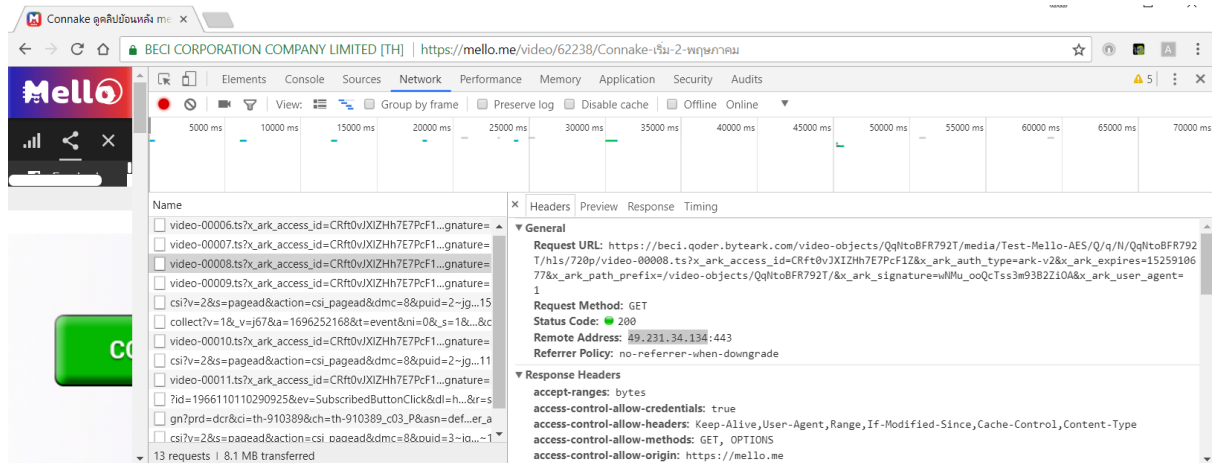


รูปที่ 6-21: Hollywood TV ผ่าน ISP: True Highspeed Internet

ผลสรุป Hollywood TV มีการใช้ CDN อยู่ที่ CAT Telecom Datacenter เมื่อรับชมผ่าน ISP ทั้งสองแห่ง

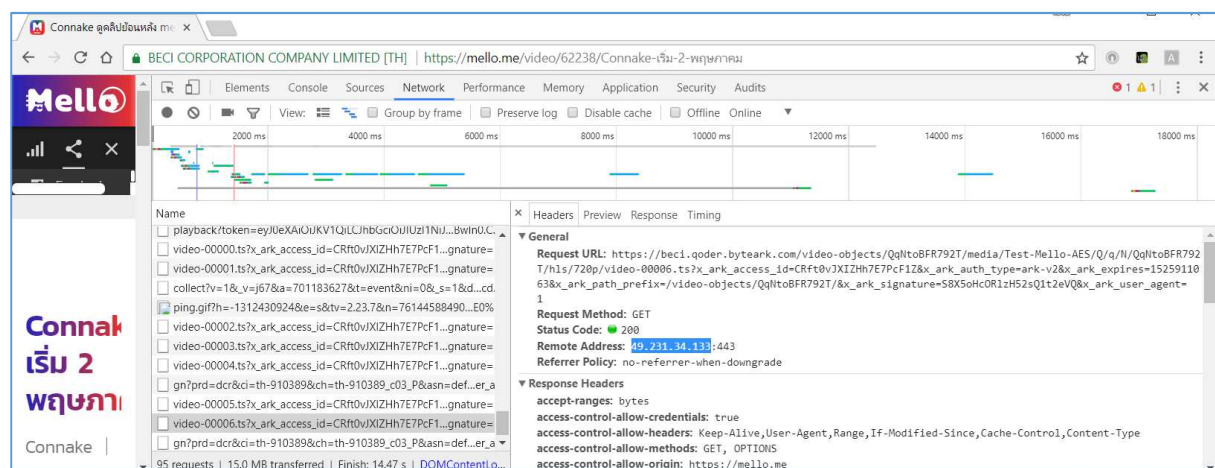
Mello (mello.me)

- ISP: AIS Fibre (รูปที่ 6-22)
- URL Video Segment: <https://beci.qoder.byteark.com>
- IP address of URL: 49.231.34.134
- WHOIS IP address: ADVANCED WIRELESS NETWORK COMPANY LIMITED



รูปที่ 6-22: Mello.me ผ่าน ISP: AIS Fibre

- ISP: True Highspeed Internet (รูปที่ 6-23)
- URL Video Segment: <https://beci.qoder.byteark.com>
- IP address of URL: 49.231.34.133
- WHOIS IP address: ADVANCED WIRELESS NETWORK COMPANY LIMITED



รูปที่ 6-23: Mello.me ผ่าน ISP: True Highspeed Internet

ผลสรุป Mello.me มีการใช้ CDN ที่ติดตั้งอยู่ที่ ADVANCED WIRELESS NETWORK COMPANY LIMITED ไม่ว่าจะดูผ่าน ISP ใดจากทั้งสอง

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี CDN

1. หนึ่งในหัวใจของความสำเร็จของการให้บริการ OTT TV คือ การให้บริการมีคุณภาพของวิดีโอที่ดี หรือมี QoE ที่ดี (ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4) เป็นสิ่งที่ท้าทายที่ OTT TV ทำการส่งผ่านวิดีโอผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (ที่ทราบกันดีว่าเป็นโครงข่ายที่ให้ประสิทธิภาพแบบ Best Effort ไม่มีการการันตีของ QoS) แล้วยังคงคุณภาพการให้บริการที่ดีได้ การใช้เทคโนโลยี CDN ได้เป็นตัวช่วยสำคัญที่ทำให้การบริการ OTT TV มีคุณภาพเกิดความมั่นใจในการใช้บริการของผู้ใช้ จึงอาจจะกล่าวได้ว่า CDN เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการให้บริการ OTT TV ที่ประสบความสำเร็จ
2. เทคโนโลยี CDN มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว การกระจาย Content ที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ผู้ให้บริการ CDN ต้องการและต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอ ในระยะหลังหลายผู้ให้บริการ CDN เริ่มมีการนำ AI มาช่วยประเมินความต้องการด้าน Content ของผู้ใช้และทำการสำเนาเนื้อหาล่วงหน้า ซึ่งยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง
3. โมเดลทางธุรกิจของ CDN ถูกผลักดันจากสองมุมมอง คือ 1) CDN ถูกผลักดันและลงทุนโดย ISP ที่จะติดตั้ง CDN หรือ Web Caching เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตให้ลูกค้า ISP ของตนเอง 2) CDN ถูกผลักดันโดยผู้ให้บริการ Content ที่ต้องการลูกค้าที่สมัครสมาชิกรับ Content แล้วเกิดความพึงพอใจในคุณภาพของการให้บริการ ผู้ให้บริการ Content ลงทุนค่าใช้ในการเช่าใช้ CDN หรือ จัดทำ CDN ขึ้นมาเอง ในมุมมองที่สองนี้เป็นตัวผลักดันให้เกิดผู้ให้บริการ CDN ที่มีความหลากหลายมากในปัจจุบัน
4. จากเนื้อหาในบทนี้ พอจะสรุปได้ว่า การที่ OTT TV จะมีการให้บริการที่ดีที่สุด ถ้ามีการติดตั้ง Edge Server เพื่อให้บริการในจุดที่ใกล้กับผู้ใช้ให้มากที่สุด การจะติดตั้งหรือใช้งาน Edge Server ต้องดำเนินการตกลงทางธุรกิจกับ ISP ซึ่งเป็นเจ้าของพื้นที่และโครงข่ายที่เปรียบเสมือนเป็นประตูไปสู่ลูกค้าได้ การตกลงทางธุรกิจกับ ISP อาจมีความแตกต่างกันในแต่ละปัจจัยและสถานการณ์ ตัวอย่างเช่น
 - ในกรณีที่ผู้ให้บริการ Content บางรายที่ได้รับความนิยมสูงมากจากผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น Youtube Facebook Twitter Netflix ผู้บริโภคต้องการใช้บริการเหล่านี้ด้วยคุณภาพที่ดีเช่นดูวิดีโอจาก Youtube แล้วไม่กระตุก ถ้ามีการกระตุกเกิดขึ้นสิ่งแรกๆที่ผู้บริโภคบ่นคือ โครงข่ายของ ISP ดีหรือไม่ ทำไม ISP อื่นไม่มีอาการแบบนี้ ลักษณะแบบนี้เป็นตัวผลักดันให้ ISP ต้อง

ดำเนินการติดตั้งให้มี Edge Server เกิดขึ้นซึ่งกรณีนี้ ทางผู้ให้บริการ Content อาจจะต้องลงทุนอะไร ทาง ISP อาจจะเป็นผู้ดำเนินการให้ทั้งหมดก็มีความเป็นไปได้ แต่ทางปฏิบัติข้อตกลงเหล่านี้ไม่ได้เปิดเผยสู่สาธารณะ จึงไม่ทราบว่าข้อตกลงจริง ๆ คือเช่นไร ที่พอทราบจะมีผู้ให้บริการ Netflix ได้เปิดเผยข้อตกลงระหว่าง Netflix กับ ISP เรื่อง Open Connect ว่ามีรายละเอียดอะไรบ้าง

- ในกรณีผู้ให้บริการ Content หรือ OTT TV ขนาดเล็ก การที่จะให้ ISP ช่วยลงทุนให้แบบเดียวกับผู้ให้บริการ OTT รายใหญ่ก็มีความเป็นไปได้ยาก ผู้ให้บริการ OTT ขนาดเล็กจะต้องจ่ายให้กับ ISP สำหรับการให้มี Edge Server

จากสองกรณีจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในการกำเนิด CDN เกิดขึ้น เกิดเป็นคำถามว่ามีการกีดกันหรือการทำธุรกิจที่เสรีและเป็นธรรมหรือไม่ ซึ่งเป็นสิ่งที่องค์กรกำกับดูแลจะต้องมีพิจารณาในนี้อย่างละเอียด

5. ข้อเสนอแนะให้มีกลไกการให้ข้อมูลด้านข้อตกลงกันเรื่อง CDN ของ ISP กับส่วนอื่น ๆ ทั้งผู้ให้บริการ OTT และผู้ให้บริการ CDN แต่ต้องไม่กระทบเรื่องแผนทางธุรกิจหรือความลับทางการค้า เพื่อให้เกิดความโปร่งใส และให้แน่ใจว่าจะไม่มีการกระทำในลักษณะกีดกันทางธุรกิจ ให้เกิดการทำธุรกิจที่ไม่เสรีและเป็นธรรมหรือไม่ ในกรณีมีข้อพิพาทเกิดขึ้นอาจจะใช้แนวทางในการกำกับดูแลเรื่อง การใช้และเชื่อมต่อโครงข่าย ที่มีอยู่เดิมมาเทียบเคียงหรือปรับใช้ได้
6. การให้บริการด้าน CDN มีความหลากหลายทั้งโมเดลทางธุรกิจ และ ทางเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่เสมอ การกำกับดูแลหรือการไปควบคุมดูแลกำหนดให้ CDN มีรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้น เป็นไปด้วยความยากลำบากและอาจจะไปเป็นอุปสรรคของการทำธุรกิจ แต่อย่างไรก็ตามองค์กรกำกับดูแลคงต้องเฝ้าติดตามดูการเปลี่ยนแปลงของ CDN อย่างใกล้ชิดและเข้าไปแก้ไขปัญหาในกรณีที่เกิดข้อพิพาทเกิดขึ้น

บทที่ 7 เทคโนโลยีการตรวจสอบและป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบน OTT TV

OTT TV ส่ง video content ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นโครงข่ายเปิด และเกี่ยวข้องกับผู้เล่นจำนวนมากและมีความหลากหลายสูง ทั้งผู้บริการเนื้อหา ผู้ดูแลการส่งผ่านเนื้อหา และผู้รับเนื้อหาหรือผู้บริโภค มีความท้าทายอย่างมากที่จะป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของเนื้อหาที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ตนี้ ในบทนี้จะเริ่มต้นด้วยการแนะนำรูปแบบของการละเมิดลิขสิทธิ์ของเนื้อหา หลักการของความมั่นคงปลอดภัยระบบที่ถูกนำมาประยุกต์ใน OTT TV หลักการของ Digital Right Management (DRM) การบริการ DRM การป้องกัน Content ด้วย Watermarking และสุดท้ายแนวโน้มของอนาคต

รูปแบบการละเมิดลิขสิทธิ์ของเนื้อหา

การละเมิดลิขสิทธิ์จากการรับชมโทรทัศน์มีหลายรูปแบบ ตัวอย่างดังต่อไปนี้

- Access Fraud การเข้าใช้บริการโดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งจะมีได้หลายรูปแบบ เช่น
 - a) การลักลอบใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ระบบให้บริการอาจมีการติดตั้งระบบป้องกันไว้ เช่น มีการเข้ารหัสลับบนเนื้อหา การเข้าถึงด้วย Smart Card หรือ Username Password ซึ่งผู้ลักลอบอาจจะโจมตีเพื่อหาช่องโหว่ของระบบ เพื่อลักลอบใช้งาน ตัวอย่างเช่น การลอบดักสัญญาณรหัสลับ การปลอมแปลง Smartcard การทำ Social Engineering หรือการหลอกลวงเพื่อให้ได้มา ซึ่ง Login เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงการแบ่งปัน Account ไปให้คนอื่นได้ร่วมใช้
 - b) การลักลอบดูเนื้อหาที่มีการกำหนดการเข้าถึงได้เฉพาะผู้ใช้ที่อยู่ในพื้นที่ที่ให้บริการที่กำหนด (Geo-blocking) ตัวอย่างเช่น บางเนื้อหาจำกัดให้ผู้ชมเฉพาะในประเทศบางประเทศสามารถรับชมได้เท่านั้น เนื่องจากลิขสิทธิ์ของเนื้อหาที่ระบุให้เผยแพร่ได้ในเฉพาะประเทศนั้นๆ เท่านั้น ถ้าผู้ใช้เข้าระบบมาจากประเทศอื่น ระบบจะทำการ Block ไม่ให้เข้าใช้บริการได้ ตัวอย่างการให้บริการที่มีการใช้ Geo-blocking เช่น Amazon Prime, Hulu เป็นต้น การตรวจสอบตำแหน่งของผู้เข้าใช้งานอาจจะใช้วิธีการตรวจสอบจาก IP Address ของผู้ใช้งานว่ามาจากต่างประเทศหรือไม่ หรือ วิธีการตรวจสอบด้วยการวัดค่า delay response ว่าเกินกว่าค่าหนึ่งๆ หรือไม่ ถ้าเป็นผู้ใช้จากต่างประเทศค่า delay response จะสูงกว่าปกติ ผู้ลักลอบใช้งานอาจจะใช้วิธีซ่อน IP Address ของตัวเองโดยการใช้ VPN (Virtual Private Network) ซึ่งทำให้เปรียบเสมือนว่ามี การเข้าถึงจากผู้ใช้ที่อยู่ในประเทศนั้นๆเอง ทำให้สามารถเข้าไปใช้งานได้ ในภายหลังผู้ให้บริการ OTT TV ทำการแก้ไขโดยการ Block IP Address ของ VPN ทำให้ผู้ลักลอบไม่สามารถเข้าใช้งานได้

- Unauthorized Broadcasting คือการลักลอบนำเนื้อหารายการมาเผยแพร่ต่อ ทำโดยการรับช่องรายการจากการเป็นสมาชิกที่ถูกต้องตามปกติ เมื่อได้เนื้อหารายการมาแล้ว ก็ทำการ copy เนื้อหาเพื่อส่งกระจายออกอีกครั้ง (Re-broadcast) ให้คนอื่นที่ไม่ได้เป็นสมาชิกสามารถรับชมได้ อาจจะเป็นธุรกิจโดยการเก็บเงินจากผู้เข้าชมคนอื่นต่ออีกที เป็นวิธีการที่ใช้กันมากในรายการถ่ายทอดสดที่สำคัญ วิธีการแก้ไขอาจจะใช้การป้องกันการ copy สัญญาณภาพจาก HDMI ด้วยเทคโนโลยี HDCP หรือทำการใส่รหัสลับหรือ Watermarking ที่ระบุ ID ของเจ้า Stream ฝังไว้ภายในเนื้อหา ซึ่งผู้ให้บริการ OTT TV สามารถตรวจสอบได้ว่าเนื้อหารายการที่ลักลอบกันนี้มีต้นกำเนิดจากผู้ใ้รายใด และทำการหยุดการให้บริการแก่ผู้ใ้รายที่ละเมิดได้ในเวลาอันสั้น
- Access Interruption เป็นการโจมตีแบบ Distributed Denial of Service (DDoS) อาจจะโจมตีที่ Server ต้นทาง หรือโจมตีจากช่องโหว่ใน Software ของ Set-top-box จะไปรบกวนการใช้งานจนไม่สามารถเข้าถึงบริการได้

หลักการความมั่นคงปลอดภัยสำหรับ OTT TV

หลักการด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Concept) ที่ใช้ใน OTT TV ใช้หลักการเดียวกับในระบบไอทีอื่นๆ คือหลักการของ CIA หรือ Confidentiality, Integrity และ Availability เกิดขึ้นกับระบบที่จะได้รับการป้องกัน

- Confidentiality (ความลับ) การรักษาความลับ ในที่นี้คือการรักษาข้อมูลของ Content ไม่ให้รั่วไหล หรือไม่เปิดเผยไปสู่ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต กลไกที่ช่วยรักษา Confidentiality เช่นการเข้ารหัสเนื้อหา (Encryption) การป้องกันการเข้าถึงเนื้อหา (Access Control)
- Integrity (ความเที่ยงตรง) ความเที่ยงตรงความถูกต้องของข้อมูล (Data Integrity) ในที่นี้คือความถูกต้องของเนื้อหา การโจมตีด้านความถูกต้องของข้อมูลเช่น การแก้ไขข้อมูล Fake News เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการในการตรวจสอบว่าเนื้อหาข้อมูลถูกต้อง ถูกแก้ไขหรือไม่ อีกมุมมองหนึ่งของ Integrity คือความเที่ยงตรงถูกต้องของผู้ส่งข้อมูล (Origin Integrity) หมายถึงข้อมูลถูกส่งมาจากตัวตนจริงๆ ของคนๆ นั้นหรือไม่ ถ้าเป็นการโจมตีในกรณีนี้คือ การปลอมแปลงแอบอ้างเป็นบุคคลหนึ่ง ๆ
- Availability (ความพร้อมใช้) ในระบบจะต้องมีความพร้อมใช้อยู่เสมอ ผู้ใช้เรียกใช้ Content เมื่อใด ระบบจะต้องสามารถตอบกลับให้บริการได้เสมอ ตัวอย่างของการโจมตีด้าน Availability

เช่น Distributed Denial of Service (DDoS) attack เป็นต้น ซึ่งในบทที่แล้วได้กล่าวถึง CDN ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในการช่วยให้ระบบมีความพร้อมใช้ (Availability) อยู่เสมอ

นอกเหนือจากมีหลักการของ CIA แล้วยังมีกลไกที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น

- Authentication (การพิสูจน์ตัวตน) เป็นกลไกการตรวจสอบว่าบุคคลที่กำลังอ้างถึงนั้นเป็นบุคคลนั้นๆจริง เช่น การ Login ด้วย Username Password โดยมีเงื่อนไขว่า Password รู้อยู่เพียงคนเดียว ก็เป็นการพิสูจน์ว่าเป็นคนๆนั้นจริง วิธีการพิสูจน์ตัวตนรูปแบบอื่นเช่น การมีบัตร Smart card การใช้ fingerprint scan เป็นต้น
- Authorization (การกำหนดสิทธิ) เป็นกลไกการระบุว่าบุคคลนั้นมีสิทธิอะไรบ้าง เช่น มีสิทธิในการเข้ารับชมเนื้อหารายการได้ มีสิทธิในการเข้าไปสู่ระบบได้ส่วนไหนบ้าง โดยทั่วไปแล้วสองกระบวนการ Authentication และ Authorization เป็นกระบวนการต่อเนื่องที่มักคู่กันเสมอ ตัวอย่างเช่น เวลาเข้าใช้ระบบ OTT TV เริ่มต้นด้วยการ Login (ซึ่งก็คือการ Authentication ตรวจสอบว่าเป็นผู้ใช้ที่ระบุใน Login จริง) เมื่อผ่านแล้วผู้ใช้นี้จะได้รับ Token (Secret Key Cryptographic Hashing) หรือกุญแจรหัสเพื่อเป็นเครื่องยืนยันในการได้รับสิทธิในการเข้าระบบอื่น ๆ ได้ เช่นสามารถเข้าเรียกดูภาพยนตร์ตามที่สมัครสมาชิกไว้ได้ เป็นต้น เปรียบเทียบกับชีวิตจริงในการเข้าอาคารสำนักงานที่ต้องมีการแลกบัตรประชาชนกับพนักงานรักษาความปลอดภัย กระบวนการแรกคือการยื่นบัตรประชาชนให้พนักงานรักษาความปลอดภัยตรวจสอบว่าบัตรประชาชนเป็นบัตรจริงหรือไม่ รูปในบัตรตรงกับใบหน้าจริงหรือไม่ แล้วชื่อตรงกับที่ทำนิตหมายไว้หรือไม่ ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการของ Authentication เมื่อตรวจสอบผ่านแล้วพนักงานรักษาความปลอดภัยก็จะให้แลกบัตรผ่านติดเสื้อ ซึ่งเปรียบเสมือนการได้รับ Authorization ได้รับสิทธิในการเข้าอาคารได้ เป็นต้น

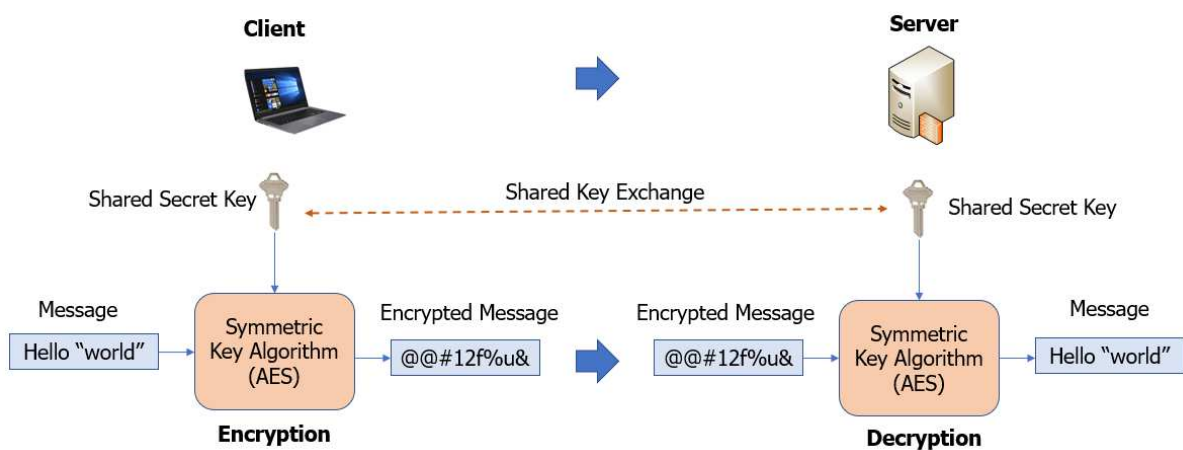
เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ในระบบ OTT TV

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงเทคโนโลยีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ในระบบ OTT TV พอสังเขป ซึ่งจะมีการอ้างถึงในหัวข้อถัดๆไป

Shared Key Cryptography บางครั้งเรียกว่า Symmetric Key Cryptography หรือ Secret Key Cryptography คือการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้ Secret Key หรือกุญแจลับอันเดียวกัน ทั้งในการเข้ารหัส

(Encryption) และการถอดรหัส (Decryption) ซึ่ง Secret Key นี้จะเก็บไว้เป็นความลับ เหมือนกันทั้งสองฝั่ง (Encryption และ Decryption) รู้กันเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ดังนั้นจึงใช้คำว่า “Shared”, “Symmetric” “Secret” Key กลไกจะแสดงไว้ในรูปที่ 7-1

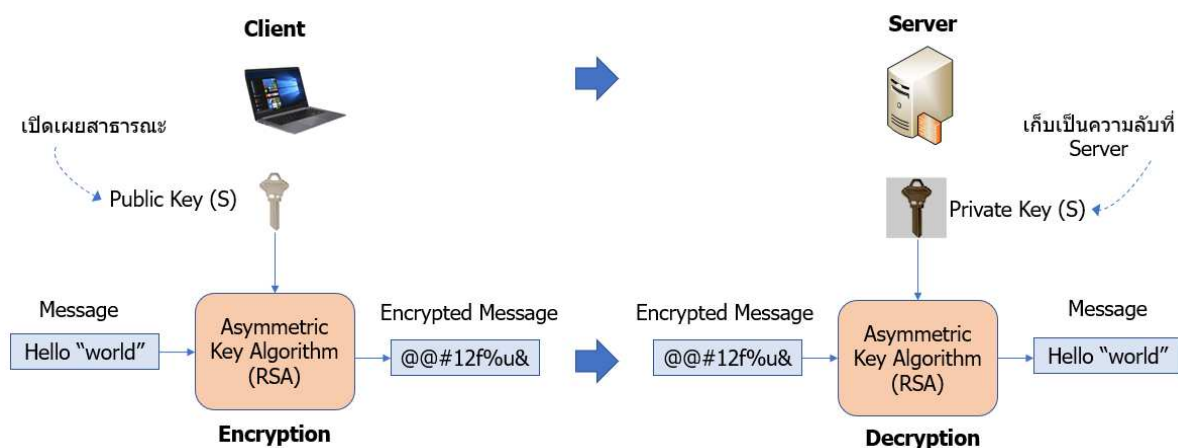
Secret Key Cryptography ใช้ Secret Key อันเดียวกันในการเข้ารหัสและการถอดรหัส (ต้องมีกระบวนการแจกจ่าย Secret Key หรือ Shared Key Exchange ระหว่างฝั่งผู้ใช้และฝั่ง Server โดยไม่ถูกเปิดเผยหรือถูกดัก Secret Key ระหว่างทาง Secret Key Cryptography เหมาะกับการเข้ารหัสข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เช่น ไฟล์วิดีโอ เป็นต้น ตัวอย่างของ Algorithm สำหรับการเข้ารหัส Content ที่ใช้ใน OTT TV คือ AES-128 ที่ใช้ Algorithm Advance Encryption Standard (AES) โดยมีขนาดของ Secret key 128 บิต AES-128 ถูกระบุอยู่ในมาตรฐาน MPEG Common Encryption (MPEG-CENC)



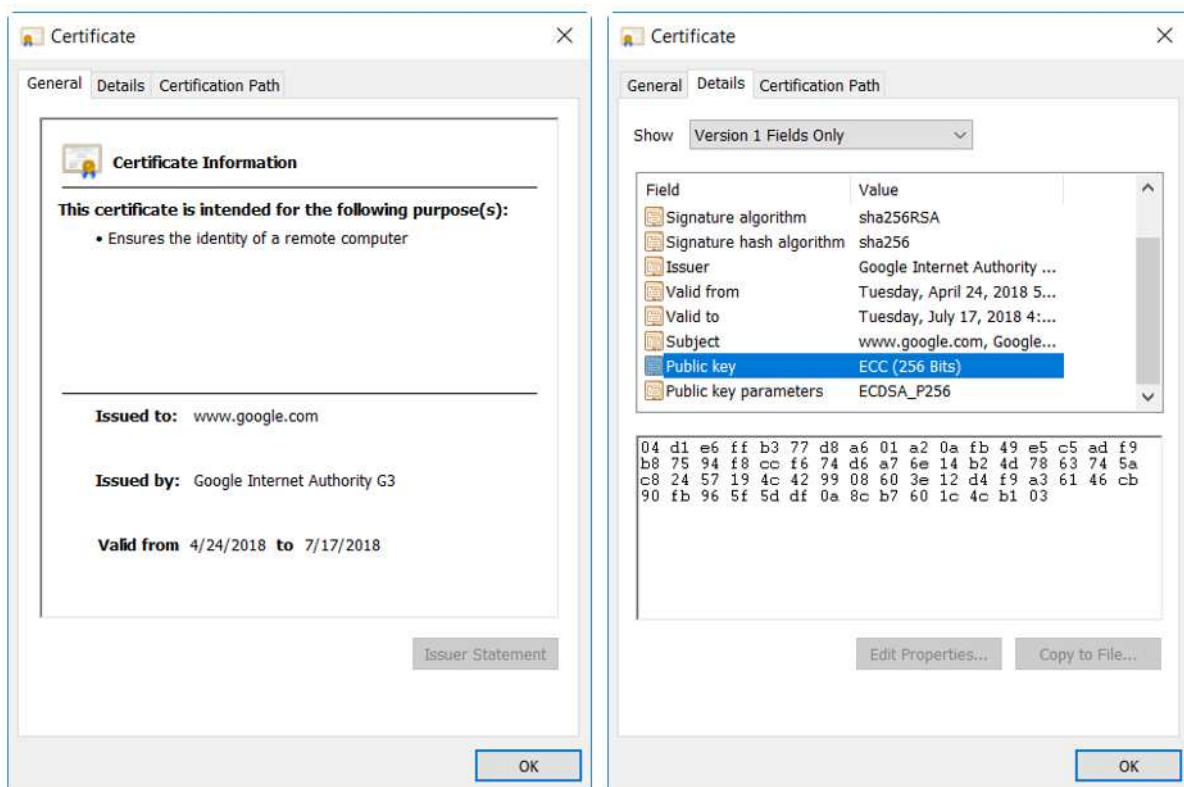
รูปที่ 7-1: Shared Key Cryptography

Public Key Cryptography บางครั้งเรียกว่า Asymmetric Key Cryptography เป็นการเข้ารหัสที่เกี่ยวข้องกับ สองกุญแจรหัสที่เป็นคู่กัน เริ่มต้นจะมีการสร้างคู่ของกุญแจรหัส ที่ชื่อว่า Public Key และ Private Key โดยที่ Public Key เป็นกุญแจรหัสที่เปิดเผยสู่สาธารณะไม่ได้เป็นความลับ ทุกคนก็สามารถเห็นหรือรับรู้ Public Key นี้ได้ ส่วน Private Key เป็นกุญแจรหัสที่เป็นความลับ เก็บไว้อย่างดีกับเจ้าของกุญแจเท่านั้น หลักการของ Public Key Cryptography คือข้อมูลถูกเข้ารหัสด้วย Public Key เวลาถอดรหัสจะต้องใช้ Private Key ในการถอดรหัสนั้น ในทางกลับกัน ถ้าข้อมูลถูกเข้ารหัสด้วย Private Key จะถอดรหัสด้วย Public Key เท่านั้นเช่นกัน การใช้ในกรณีหลังนี้จะไม่ถือว่าการเข้ารหัสข้อมูลเป็นการรักษาความลับแต่จะมีการเรียกเป็นการเฉพาะว่า การลงลายมืออิเล็กทรอนิกส์ (Digital Signature) ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ จะพิจารณากรณีเข้ารหัสข้อมูลให้เป็นความลับด้วย Public Key และถอดรหัสด้วย Private Key เท่านั้น

กรณีตัวอย่าง สมมติว่า Server เป็นผู้สร้าง คู่ของ Key (โดยปกติจะทำการสร้างโดยกระบวนการของ PKI หรือ Public Key Infrastructure โดย CA หรือ Certificate Authority) สรุปเป็นว่า Server มีคู่ของ key ที่ชื่อ Public Key (S) และ Private Key (S) (การที่ใส่วงเล็บ (S) เพื่อเตือนความจำนี่เป็น Key ของ Server) กระบวนการเข้ารหัสเป็นดังรูปที่ 7-2 Client ทำการเข้ารหัสข้อความส่งไปที่ Server ด้วย Public Key (ที่สามารถรู้ได้โดยทั่วไป) มีเพียง Server คนเดียวเท่านั้นที่สามารถถอดรหัสด้วย Private Key (S) เพราะ Server ถือ Private Key นี้แต่เพียงผู้เดียว สังเกตว่ากรณีนี้ Server ทำการประกาศหรือแจกจ่าย Public Key (S) เป็นการทั่วไป (โดยปกติจะประกาศผ่านทาง Digital Certificate ของ Server ที่ได้รับการรับรองการมีตัวตนจริงของ Server จาก CA และภายใน Digital Certificate จะมี Public Key (S) ของ Server อยู่) (รูปที่ 7-3) ดังนั้นใครก็ตามที่จะส่งข้อมูลที่เป็นความลับไปให้ Server ก็สามารถเข้ารหัสด้วย Public Key ของ Server นั้นๆ ซึ่ง Server จะเป็นผู้เปิดอ่านแล้วเข้าใจแต่เพียงผู้เดียว การเข้ารหัสด้วย Public Key Cryptography ใช้ CPU ในการคำนวณมาก จึงเหมาะกับการเข้ารหัสข้อมูลสั้นๆ เช่น PreMaster Key เป็นต้น Algorithm ที่ใช้เช่น RSA, ECC (Elliptic Curve Cryptography)



รูปที่ 7-2: Public Key Cryptography



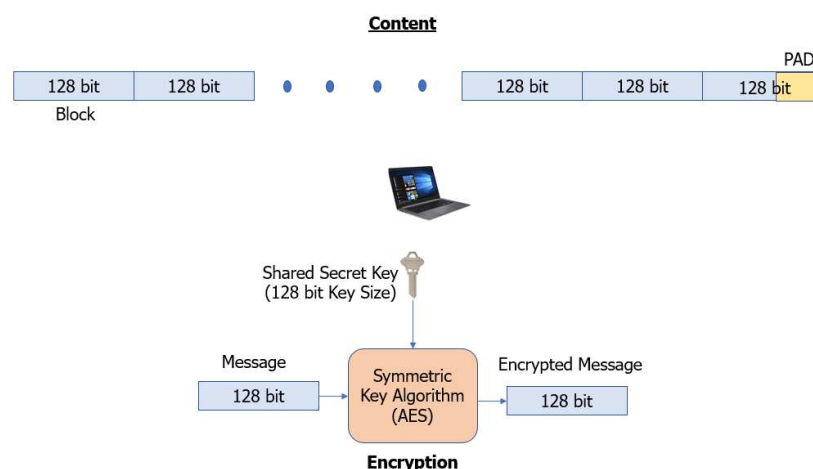
รูปที่ 7-3: Digital Certificate ของเว็บไซต์ www.google.com

Hybrid Cryptography เป็นการใช้ Secret Key Cryptography คู่กับ Public Key Cryptography ในการสร้าง Secure Communication ระหว่าง Client กับ Server เป็นที่นิยมในโปรโตคอล TLS (Transport Layer Security) ที่ใช้ใน Secured Web หรือที่คุ้นเคยกันใน HTTPS เช่นกรณีที่ Server เปิดให้บริการ HTTPS โดยตอนเริ่มต้น Server จะเป็นผู้จัดทำ Digital Certificate ซึ่งรับรองและออกให้โดย CA ซึ่ง Digital Certificate จะถูกติดตั้งที่ Web Server เมื่อ Client คนใดมาเข้าเว็บไซต์นี้ จะได้รับ Digital Certificate ของ Server และสามารถรับทราบ Public Key ของ Server ผ่านทาง Digital Certificate นี้ โดยขณะที่ Private Key ของ Server ยังถูกเก็บเป็นความลับที่ Server

หลักการของ HTTPS เริ่มต้นจาก ทั้ง Client และ Server ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลไปมาในขั้นตอนที่ชื่อว่า TLS Handshake เช่น ต่างฝ่ายก็บอกขีดความสามารถในการเข้ารหัสของตัวเองให้อีกฝ่ายรู้ เข้ารหัสด้วย Algorithm อะไรได้บ้าง แลกเปลี่ยน Random Number กัน การแลกเปลี่ยนข้อมูลของ TLS Handshake ไม่มีการเข้ารหัส ข้อมูลเปิดเผยเป็น Clear Text ไม่ได้เป็นความลับอะไร หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Shared Key Exchange โดย Client จะเป็นผู้เริ่มสร้าง Random Number อันหนึ่งที่เรียกว่า PreMaster

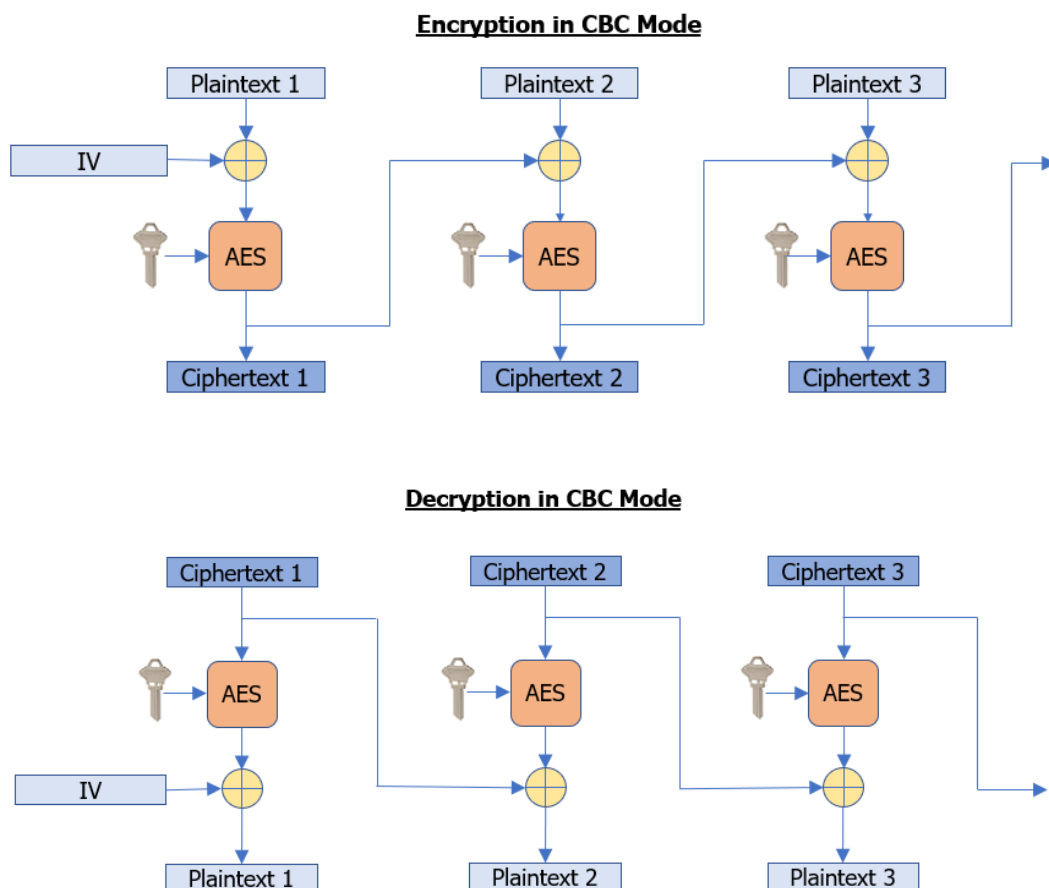
Key เข้ารหัสด้วย Public Key Cryptography โดยใช้ Public Key (S) แล้วส่งให้ Server เมื่อข้อความที่ถูกเข้ารหัสนี้ถึง Server ก็ทำการถอดรหัสด้วย Private Key (S) และสามารถดึงข้อมูล PreMaster Key ออกมาได้ ณ จังหวะนี้ ทั้งสองฝ่ายทั้ง Client และ Server จะรู้ค่า PreMaster Key ที่ตรงกันทั้งสองฝ่าย โดยที่บุคคลภายนอกคนอื่นจะไม่มีใครทราบเพราะข้อความถูกเข้ารหัสระหว่างการส่ง หลังจากนั้นทั้ง Client และ Server ต่างฝ่ายต่างสร้าง Master Key ขึ้นด้วยข้อมูล PreMaster Key ที่ตรงกัน ข้อมูลอื่น ๆ ที่เหมือนกัน ด้วยวิธีการที่เหมือนกัน ดังนั้น Master Key ที่ได้จะเหมือนกันทั้งฝั่ง Client และ Server สรุปคือจะได้ Master Key ซึ่งจะเป็น Key เริ่มต้นที่ใช้สร้าง Shared Key อื่นๆ อีกต่อไป ถึงตอนนี้ ทั้ง Client และ Server จะมี Shared Key ที่เหมือนกันโดยที่บุคคลภายในคนอื่น ๆ จะไม่รู้ ดังนั้น การแลกเปลี่ยนข้อมูลต่อไประหว่างสองฝ่ายจะเป็นการเข้ารหัสด้วย Secret Key Cryptography ด้วย Shared Key ที่สร้างกันขึ้นมา ถือว่า HTTPS เป็นการสร้าง Secure communication ขึ้นระหว่าง Client และ Server ข้อมูลหรือเนื้อหาที่ส่งหากันจะถูกเข้ารหัสเป็นความลับทั้งหมด

Mode of Operation of Block Cipher ในการเข้ารหัส Secret Key Cryptography นั้น จะมีการเตรียมข้อมูลเป็น Block ซึ่งมีขนาดตายตัว เช่น AES จะกำหนดให้ Block ของข้อมูลมีขนาดคงที่ 128 bit จากรูปที่ 7-5 แสดงการเข้ารหัสแบบ AES-128 คือ ข้อมูลมี Block ขนาด 128 Bit และใช้ Shared Key ที่มีขนาด 128 bit เช่นกัน ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสแล้วมีขนาด 128 Bit ในทางปฏิบัติในการเข้ารหัส Content จะมีขนาดใหญ่กว่า 128 bit มาก จะมีวิธีการอย่างไรที่จะเข้ารหัส Content ทั้งไฟล์ได้ วิธีการนี้ชื่อว่า Mode of Operation of Block Cipher ความจริง Mode of Operation มีหลายรูปแบบ แต่ที่มีการใช้งานใน OTT TV จะมี 2 Mode คือ CBC (Cipher Block Chaining) และ CTR (Counter Mode) ที่ถูกใช้ใน DRM และ Common Encryption ซึ่งจะกล่าวถึงการใช้งานในหัวข้อถัดๆไป



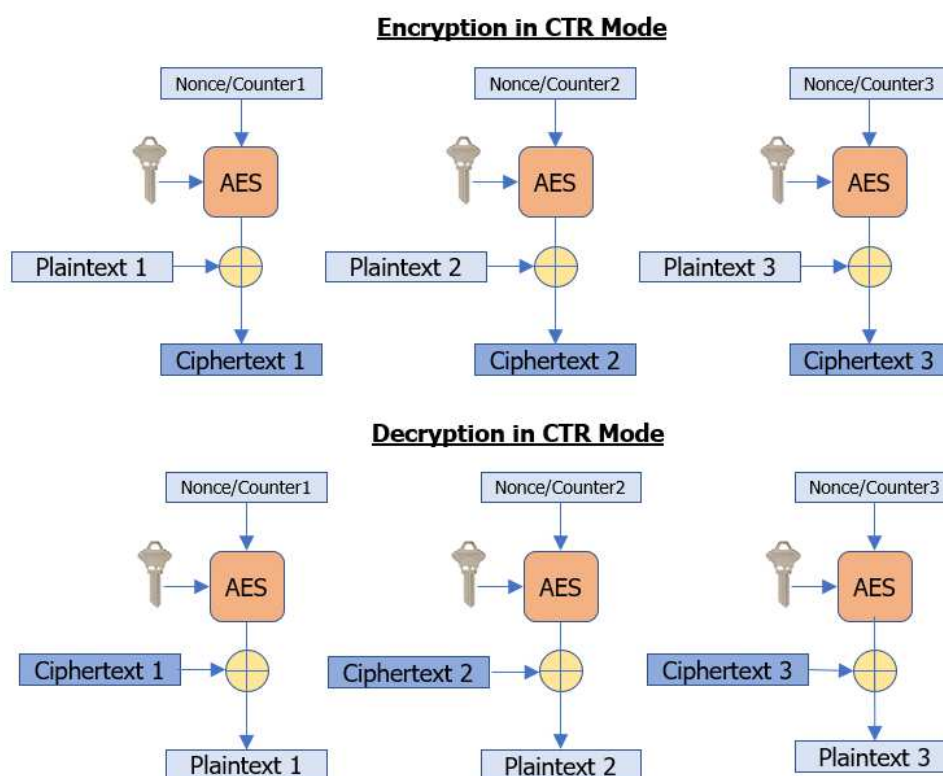
รูปที่ 7-5: AES Block Cipher

- CBC (Cipher Block Chaining Mode)** รูปที่ 7-6 เริ่มต้นจากสร้าง Initialized Vector (IV) ที่เป็นค่า Random ขนาด 128 bit มา XOR กับ Plaintext แล้วเข้ารหัส AES ได้ Ciphertext ผลลัพธ์จาก Ciphertext ไป XOR กับ Plaintext ใน Block ถัดไปเป็น Chain ต่อไปเรื่อยๆ การ Encryption ด้วย CBC ต้องทำทีละ Block เป็นอนุกรมต่อเนื่องกันไป ส่วน Decryption ต้องใช้ค่า IV เดียวกับที่ใช้ตอน Encryption ทำเป็น Chain ต่อเนื่องดังรูป จุดเด่นของ CBC Decryption สามารถทำ Decryption เป็นแบบ Parallel โดยไม่จำเป็นต้องรอ Block ก่อนหน้านี้ การ Decryption สามารถ Process ได้รวดเร็ว ถ้าเกิด error ระหว่างส่งทำให้เกิด Error ที่ Ciphertext Block หนึ่งเวลาถอดรหัสแล้วจะเกิดการผิดพลาดที่ Plaintext นั้นรวมถึง Plaintext 1 Block ถัดไปด้วย การใช้ CBC ให้มีความมั่นคงปลอดภัยที่ดีควรมีการเปลี่ยน Shared Key ในทุกๆ 2^{48} Plaintext Block ที่เข้ารหัส



รูปที่ 7-6: CBC Mode Encryption and Decryption

- CTR (Counter Mode) รูปที่ 7-7 เริ่มต้นจากการเลือก Nonce เป็นเลข Random Number ทำหน้าที่คล้ายๆ IV ใน CBC Mode ป้อนเข้าไปเข้ารหัสที่ AES ผลลัพธ์ที่ได้สร้างออกมาเป็น Key Stream (มีลักษณะเป็นเลข Random Number) แล้ว Key Stream นี้ไป XOR กับ Plaintext ได้ Ciphertext และใช้ค่า Nonce เพิ่มขึ้นทีละ 1 ขึ้นนับขึ้นไปในการเข้ารหัสของทุกๆ Block CTR mode มีความเร็วสูงสามารถเข้ารหัสและถอดรหัส แบบ Parallel ในทุกๆ Block ได้ คือเราสามารถไปสร้าง Key Stream ล่วงหน้าไปรอ Plaintext หรือ Ciphertext ก่อนได้เลย และเวลาเมื่อ Plaintext หรือ Ciphertext เข้ามา ก็จะสามารถทำการ Encryption หรือ Decryption โดยการทำ XOR แบบคู่ขนานในทุกๆ Block ได้ทันที CTR มีความมั่นคงปลอดภัยสูงถ้ามีการเปลี่ยน Secret Key ในทุกๆ 2^{64} Plaintext Blocks ถ้ากรณีที่มี Error เกิดที่ Ciphertext Block หนึ่งเวลาทำการ Decryption แล้วได้ Plaintext ที่มี Error เฉพาะ Block นั้นๆ ไม่กระทบกับ Block อื่นในแบบที่เกิดขึ้นใน CBC Mode



รูปที่ 7-7: CTR Mode Encryption and Decryption

ทั้ง CTR และ CBC ไม่ Compatible กัน ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้

- Microsoft PlayReady DRM รองรับ AES-128 ทั้ง CBC และ CTR mode (CBC เพิ่มมาทีหลัง)
- Google Widevine DRM รองรับ AES-128 ทั้ง CBC และ CTR mode (CBC เพิ่มมาทีหลัง)
- Apple FairPlay DRM รองรับ AES-128 CBC Mode เท่านั้น

เทคนิคในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาใน OTT TV

ในเทคนิคที่จะกล่าวในบทนี้เป็นวิธีการป้องกันการเนื้อหาใน OTT TV มีอยู่ 3 รูปแบบซึ่งมีระดับการป้องกันและแนวทางที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. การใช้ Token (Tokenization) เป็นการป้องกันในระดับเริ่มต้น คือป้องกันในระดับของ Access Control คือป้องกันผู้ที่ไม่มีความรู้สิทธิ์ในการเข้าถึงเนื้อหาไม่ให้เข้าดูได้ ถ้าจะเข้าถึงหรือดูเนื้อหาได้ต้องทำการแสดง Token หรือ บัตรผ่าน ที่ถูกต้องให้กับ Video Server วิธีการคือ เริ่มต้น ผู้ใช้ต้องทำการพิสูจน์ตัวตนกับ OTT TV Provider ก่อนอาจจะเป็นรูปแบบการ Login ด้วย Username/Password หรือวิธีอื่นๆ เมื่อทาง OTT TV Provider ตรวจสอบสิทธิ์แล้วก็จะสร้าง Token หรือ บัตรผ่านกลับไปให้ผู้ใช้งาน Token เป็น Secret Key Cryptographic Hashing ที่เป็นลักษณะของเอกสารที่ระบุ ID ผู้ใช้งานอาจจะระบุถึง Hardware ID ของผู้ใช้งานด้วย ระยะเวลาการรับชม สิทธิ์ในการรับชม และทำการลงนาม Digital Signature ด้วย Secret Key ของ OTT TV Provider ด้วยเป็นต้น ผู้ใช้สามารถนำ Token นี้ไปแสดงต่อ CDN เพื่อใช้ในการเรียกดูเนื้อหารายการที่ต้องการ โดยที่ CDN จะทำการตรวจสอบ ID สิทธิ์ต่างๆ และ ตรวจสอบความถูกต้องของ Digital Signature ของ Token เมื่อตรวจสอบทุกอย่างถูกต้องก็จะอนุญาตให้ผู้ใช้งานเข้าถึงเนื้อหาได้ Tokenization เป็นวิธีควบคุม access control ของ content แบบง่ายๆ ซึ่งถ้าในกรณีที่ถูกรหัส Hack ในส่วนของ Token จะสามารถเข้าถึงเนื้อหาได้ ถ้าเนื้อหาไม่ได้รับการเข้ารหัส เนื้อหาจะถูก Copy และรั่วไหลออกไปได้ ดังนั้นจึงต้องมีเทคนิคการป้องกันในรูปแบบอื่นร่วมด้วย
2. DRM (Digital Right Management) เป็นระบบหรือวิธีการในการป้องกัน Content (ภาพยนตร์ เพลง และอื่นๆ) ที่ถือว่าเป็น Asset โดยการเข้ารหัสลับ DRM เป็นการป้องกันที่ระดับของ Content ที่เก็บอยู่ใน Streaming Server เลย ถ้ามีการขโมย Content โดยปราศจาก Secret Key ก็จะไม่สามารถเปิดรับชมได้ นอกจากนั้น DRM มีกระบวนการบริหารจัดการการกระจาย Secret Key ให้กับผู้ใช้งานด้วย (Secret Key Distribution) ผ่าน License Server ระบบ DRM ยังรวมถึงกระบวนการ

บริหารจัดการสิทธิในการรับชม Content อื่นๆ เช่น ช่วงเวลาของการรับชมได้ อุปกรณ์ที่สามารถรับชมได้ จำนวนครั้งที่สามารถรับชมได้ การรับชมแบบ Offline จะมีการอธิบาย DRM โดยละเอียดในหัวข้อถัดๆไป

3. Watermarking เป็นกระบวนการใส่รหัสลับปนเข้าไปใน Content โดยผู้ชมไม่สามารถสังเกตได้เทียบได้กับคล้ายกับวิธีการมีลายน้ำบนเอกสารที่สำคัญ Watermarking เป็นกระบวนการที่ใช้ในการป้องกันหลังจากที่ Content เริ่มมีการกระจายไปสู่การรับชมแล้ว ในขณะที่เทคนิค Tokenization และ DRM เป็นกระบวนการป้องกันการเข้าถึงด้วยวิธีต่างๆ ในช่วงของก่อนรับชม Content แต่หลังจากที่เริ่มรับชม Content ที่แสดงผลออกมาแล้ว ผู้ใช้อาจจะใช้วิธีการต่างๆ ในการ Copy เนื้อหา นั้น อาจจะใช้วิธีติดตั้ง การดัดแปลงวิดีโอบันทึกจากหน้าจอโทรทัศน์และส่งต่อผ่าน Live Stream เช่น Facebook Live ทั้งหลาย หรือวิธีการที่มีการดัดแปลงอุปกรณ์รับชมเช่น การ Root Android Box และลงเครื่องมือที่บันทึก Content เป็นต้น ซึ่งมีวิธีการที่หลากหลาย Watermarking ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่จะติดตามสามารถรู้ได้ว่า Content ที่ถูกกระจายออกมาแบบผิดกฎหมายนี้มีต้นทาง หรือแหล่งที่มาจากที่ใด ก็สามารถติดตามไปหยุดการกระทำหรือดำเนินคดีได้ ในการป้องกันในระดับ Content หรือ VoD นั้นได้มีระบบ DRM ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันที่ดี แต่การรับชมรายการถ่ายทอดสดและทำการ Re-broadcast ไปขายบริการต่อ การใช้ Watermarking จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญ สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วเพียงไม่กี่วินาทีก็จะทราบถึงที่ต้นต่อของ Content และดำเนินการหยุดยั้งอย่างรวดเร็ว ถึงอย่างไรก็ตามได้มีหลายวิธีการที่นำ Content มาผ่านกระบวนการ Re-process บางอย่างที่จะทำให้ Watermarking สูญหายไปได้

DRM (Digital Right Management)

DRM เป็นกระบวนการในการป้องกัน Content ด้วยการเข้ารหัสและกำหนดสิทธิการเข้าถึงในรูปแบบต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว ปัจจุบันมี Platform ที่ให้บริการ DRM ส่วนใหญ่ของตลาดมีอยู่ 3 Platform (ความจริงมี Platform อื่นอีกแต่ไม่ได้รับความนิยมจะไม่กล่าวถึงที่นี่) คือ 1) Microsoft PlayReady 2) Google Widevine และ 3) Apple FairPlay ซึ่งแต่ละ DRM Platform มีการเข้ารหัสที่แตกต่างกัน มีการทำกระบวนการ Key Exchange ที่แตกต่างกัน ที่สำคัญออกมารองรับ Player หรือ อุปกรณ์รับชมที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7-1

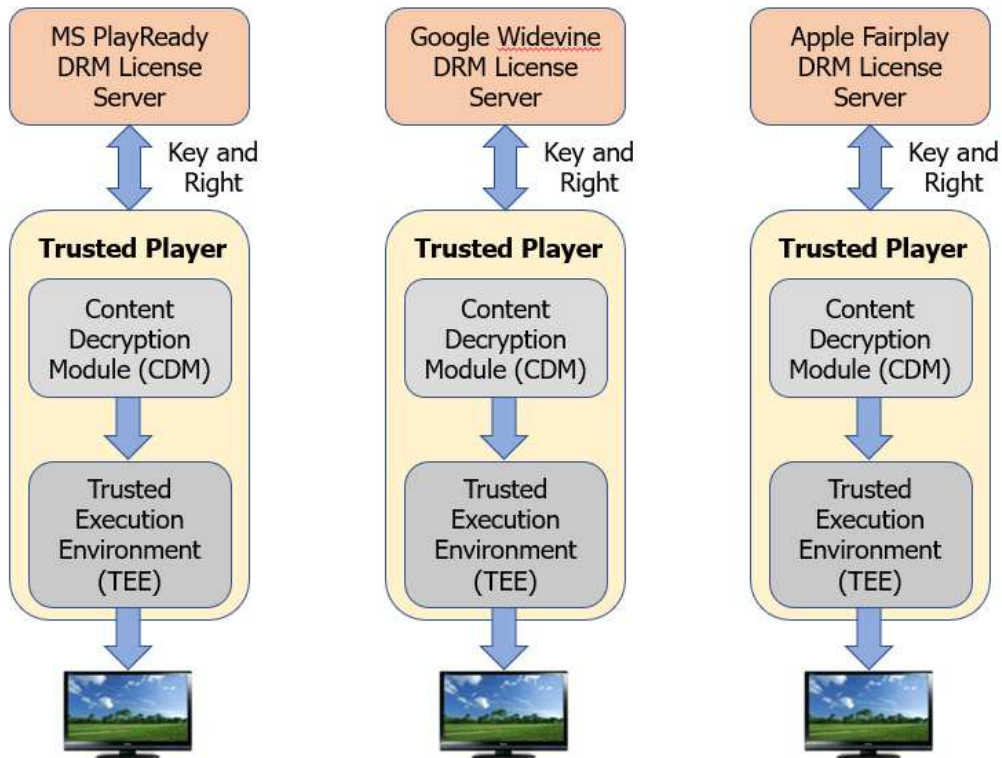
ตารางที่ 7-1: แสดงการรองรับของ DRM บนโปรแกรมและอุปกรณ์รับชมต่าง ๆ

(Source: DRMtoday, อัปเดตล่าสุด มิถุนายน 2561)

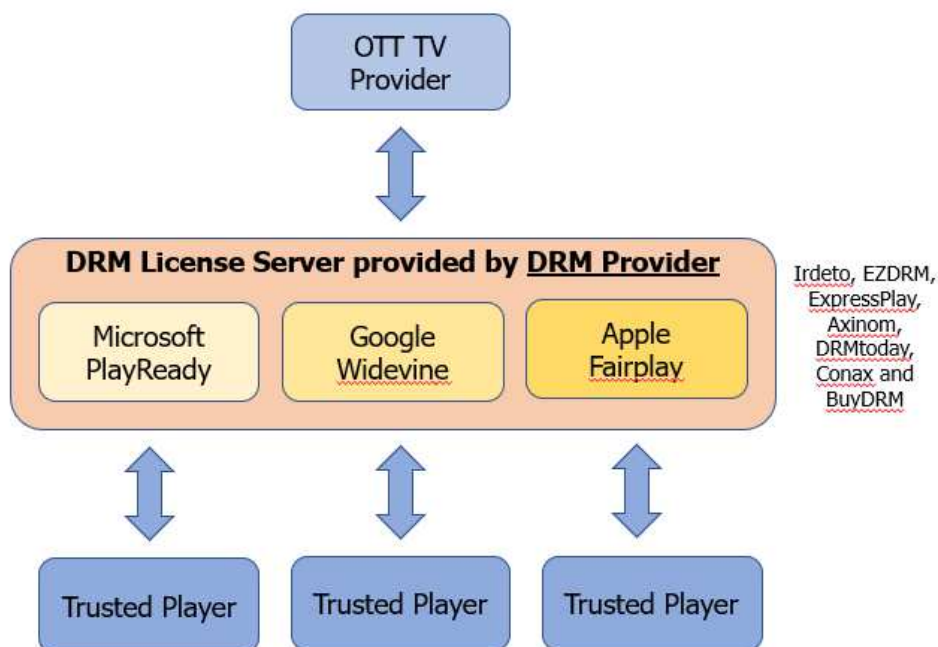
		Microsoft PlayReady	Google Widevine (Modular)	Google Widevine (Classic)	Apple Fair Play
HTML5 Browser	Chrome (35+)	x	√	x	x
	Firefox (47+)	x	√	x	x
	Internet Explorer (11+)	√	x	x	x
	Microsoft Edge	√	x	x	x
	Opera (31+)	x	√	x	x
	Safari	x	x	x	√
Mobile	Android (6+)	x	√	x	x
	Android (4.4+)	x	√	√	x
	iOS (6+)	x	x	x	√
	Windows Phone	√	x	x	x
Set-top Box และ Casting	Chromecast	√	√	x	x
	Android TV	√	√	x	x
	Google TV	√	x	√	x
	Roku	√	√	x	x
	Apple TV	x	x	x	√
	Amazon Fire TV	√	x	x	x
Smart TV	Samsung (Tizen) 2017-2018 model	√	√	x	x
	Samsung (Tizen) 2015-2017 model	√	x	√	x
	Samsung (Tizen) 2010-2015 model	√	x	√	x
	LG (webOS & Netcast)	√	x	√	x
	Smart TV Alliance (LG, Phillip, Toshiba, Panasonic)	√	x	√	x
	Android TV	√	√	x	x
Game Consoles	Xbox One/360	√	x	x	x
	PlayStation 3/4	√	x	x	x

ส่วนประกอบสำคัญของแต่ละ DRM Platform คือ DRM License Server คือ Server ทำหน้าที่บริหารจัดการ Secret Key ที่ใช้ในการเข้ารหัส Content ต้องติดต่อกับ OTT TV Service Provider และกระจาย Secret Key ที่ใช้ในการถอดรหัส Content ให้แก่ Trusted Player นอกจากนี้ยังควบคุมดูแลเรื่องการบริหารจัดการสิทธิของ Player ในการเข้าถึง Content ตัวอย่างเช่น ช่วงเวลาที่สามารถรับชม อุปกรณ์ที่สามารถรับชมได้ การรับชมแบบ Offline เป็นต้น แต่ละ DRM Platform จะรองรับกับ Trusted Player ที่ใช้กับ Platform ตัวเองได้ ดังที่แสดงในตารางที่ 7-1

การที่ DRM License Server ของแต่ละ Platform สามารถที่จะไว้วางใจกับ Player ได้ว่าข้อมูล Key หรือ Content ไม่มีการรั่วไหลใน Player เหล่านี้ แต่ละ DRM Platform จะทำการติดตั้ง Software Module ที่ชื่อว่า CDM (Content Decryption Module) ซึ่งเป็น Module ปิดและมีลักษณะเฉพาะของแต่ละ DRM Platform ติดตั้งใน Player หรือเป็นส่วนหนึ่งของ Web Browser โดยที่ CDM ทำหน้าที่ในการติดต่อประสานงานแลกเปลี่ยนข้อมูลด้าน Key กับ DRM License Server ส่วนในการถอดรหัส Content จริงๆ นั้นจะทำการถอดรหัสข้อมูลในส่วนพื้นที่ของ TEE (Trusted Execution Environment) ซึ่งมีการ Implement ในส่วนพิเศษเฉพาะใน OS หรือ ใน Hardware Chipset เลย เพื่อเป็นการให้แน่ใจว่าไม่มี Content ที่สามารถรั่วไหลออกมาได้ (ดูรูปที่ 7-8) แต่ละ DRM Platform ก็จะทำางานร่วม Trusted Player ของตัวเอง ไม่ทำงานข้าม Platform ได้ ดังนั้น ถ้า OTT TV Provider จะให้บริการที่รองรับอุปกรณ์และ web browser ครอบคลุมให้หมด ต้องทำการติดตั้ง DRM License Server 3 ชุด และ OTT TV Provider ต้องไปติดต่อกับเจ้าของ DRM Platform ในการตกลงเรื่อง Software และ License ในการใช้ระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติจะไม่มีความสะดวกอย่างมาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งต่อมาได้มี DRM Provider ที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนคนกลางที่เป็นผู้ให้บริการ DRM License Server ที่สามารถรองรับทุก DRM Platform โดยทาง OTT TV Provider เพียงทำข้อตกลงใช้บริการกับ DRM Provider ผู้เดียว และทางเบื้องหลัง DRM Provider จะเป็นดำเนินการจัดการกับแต่ละ DRM Platform ให้ ลดความยุ่งยากและการเข้าถึง DRM ลง ตัวอย่าง DRM Provider เช่น Irdeto, EZDRM, ExpressPlay, Axinom, DRMtoday, Conax และ BuyDRM เป็นต้น ดูรูปที่ 7-9



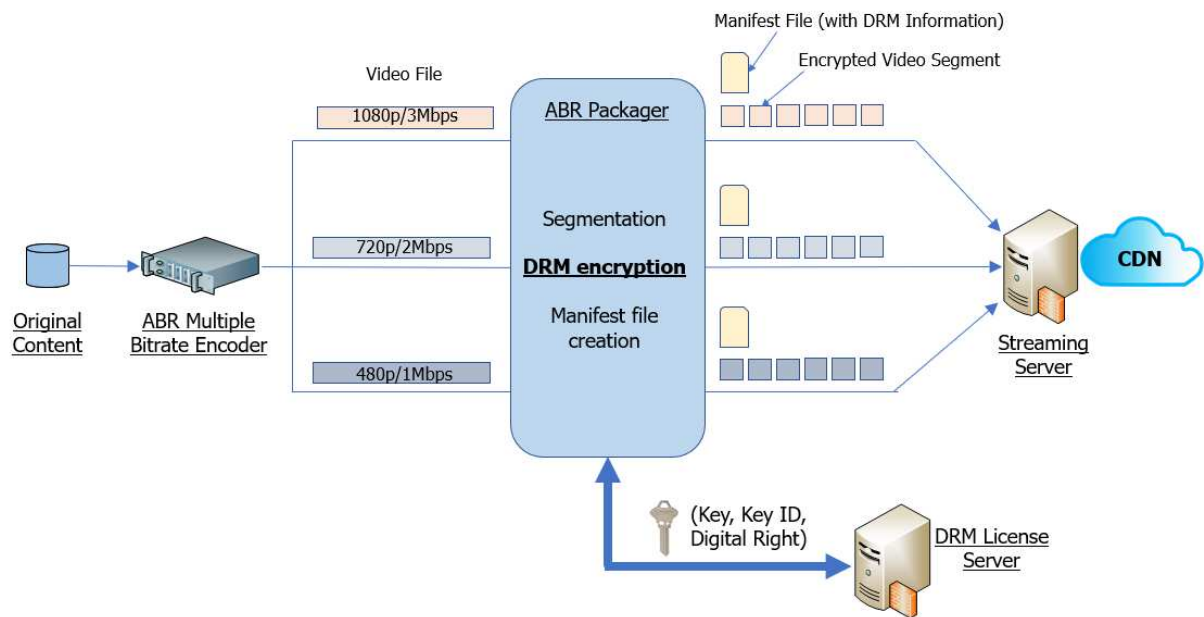
รูปที่ 7-8: ส่วนประกอบของแต่ละ DRM Platform



รูปที่ 7-9: DRM Provider

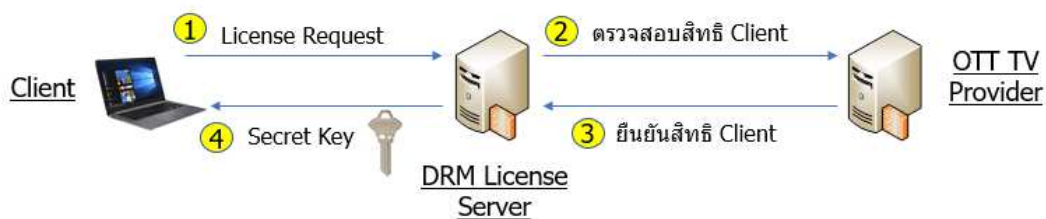
ขั้นตอนการทำงานของ DRM

1. ในขั้นตอนของการทำ Transcode และ ABR Package (รูปที่ 7-10) ไฟล์ Content นั้น ใน ABR Package เมื่อหลังจาก Encoded Video File ถูกแบ่งเป็น Segment ในขั้นตอน Segmentation แล้ว เมื่อเข้าสู่ขั้นตอน DRM Encryption ก็จะมีการ Encrypt ด้วย AES-128 ในแต่ละ Segment แยกอิสระจากกันโดยในทาง Best Practice แล้วจะมีการให้ Secret Key 1 Key ต่อ ไฟล์ Segment 1 ชุด (คือ Video 1 secret key ต่อ 1 profile ส่วน Audio ก็มีการแยก secret key ด้วยเหมือนกัน) เมื่อเข้ารหัสเสร็จแล้ว ABR Packager ทำติดต่อ DRM License Server เพื่อทำการส่ง Secret Key, Key ID พร้อมกับระบุสิทธิ์ที่สามารถใช้ได้ด้วย Content นั้นไปเก็บไว้ที่ DRM License Server (ตาม Format ของแต่ละ DRM Platform ซึ่งทาง DRM Provider จะเป็นผู้แปลง Format ที่เหมาะสมให้) ขั้นตอนต่อไปใน ABR Packager คือ Manifest File Creation ก็ต้องดำเนินการสร้าง Manifest File ที่มีข้อมูลของ DRM อยู่ภายในใน Format ที่เป็นไปตามของ DRM Platform เช่นกัน
2. Video File Segment ที่ถูกเข้ารหัสและจะถูกส่งกระจายไปใน CDN เพื่อรอให้ผู้เข้ามาเรียกใช้งาน
3. เมื่อผู้ใช้เรียก Encrypted video จาก CDN แล้ว ที่ Player จะเป็นผู้ติดต่อเพื่อขอ Secret Key ในการถอดรหัสไฟล์วิดีโอนี้กับ DRM License Server ซึ่งทาง DRM License Server จะต้องพิสูจน์ตัวตนของ Client ตรวจสอบว่าเป็นใคร และมีสิทธิ์ในไฟล์วิดีโอนี้อย่างไร การตรวจสอบทำได้สองวิธี (ดูรูปที่ 7-11) คือ 1) วิธี Callback Authentication คือ DRM License Server ทำหน้าที่เหมือนเป็น Proxy ดำเนินการติดต่อกับกับ OTT TV Provider Server สอบถามถึงสิทธิ์ของ Client นี้เมื่อตรวจสอบสิทธิ์แล้ว ก็ทำการส่ง Secret Key ที่ใช้สำหรับการถอดรหัสวิดีโอไปให้ Client 2) วิธี Token Authentication คือทาง Client ทำการพิสูจน์ตัวตนกับ OTT TV Provider Server ซึ่งเมื่อตรวจสอบผ่านแล้ว OTT TV Provider Server จะมอบ Token ไปให้ Client แล้ว Client เป็นคนยื่น Token เพื่อยืนยันสิทธิ์ให้กับ DRM License Server เมื่อตรวจสอบ Token เสร็จแล้วถึงค่อยส่ง Secret Key ที่ใช้สำหรับการถอดรหัสวิดีโอไปให้ Client
4. Client สามารถถอดรหัสรับชมวิดีโอได้

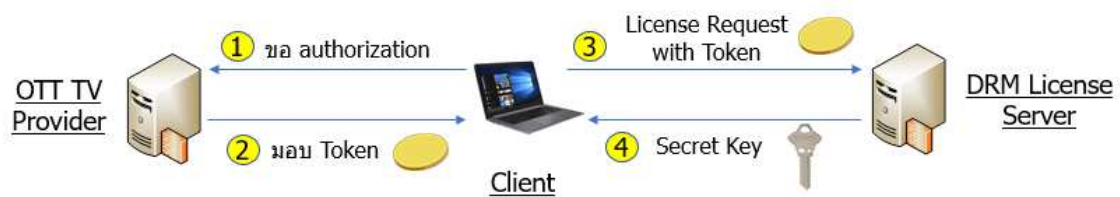


รูปที่ 7-10: ขั้นตอนการเข้ารหัส Content ใน DRM

Callback Authentication



Token Authentication



รูปที่ 7-11: ขั้นตอนการ License (Key) Request ใน DRM

ข้อยุ่งยากของระบบ DRM คือปัจจุบันที่ DRM Platform 3 platform ซึ่งรองรับกับอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน 3 กลุ่มซึ่งการที่ OTT TV จะให้บริการได้ครบทุกกลุ่มต้องมีการติดตั้งใช้งานทั้ง 3 Platform ซึ่งมี DRM Provider มาช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนลง แต่ในการเข้ารหัสด้วย AES-128 นั้น Apple FairPlay รองรับ AES-128 CBC Mode ในอดีตทั้ง MS PlayReady และ Google Widevine รองรับ AES-128 CBC และ CTR Mode ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระที่ต้องทำการเข้ารหัสเป็นไฟล์สองชุดสำหรับ DRM ทั้งสาม Platform ก็ทำการเลือกเป็น AES-128 CBC Mode เพื่อ Encrypt ไฟล์เพียงชุดเดียว แต่ใช้ได้กับทุก Platform อย่างไรก็ตามยังมีความยุ่งยากซับซ้อนอีกประเด็นหนึ่งคือ ในแต่ละ Platform รองรับกับ Adaptive Bitrate Streaming (ABR) Protocol ที่แตกต่างกัน เช่น Apple FairPlay ใช้คู่กับ HLS ขณะที่ MS PlayReady และ Google Widevine ใช้คู่กับ MPEG-DASH HLS รองรับไฟล์ Segment ที่เป็นแบบ .ts และ CMAF (หรือ fragmented MP4, fMP4) ขณะที่ MPEG-DASH รองรับไฟล์ Segment แบบ fMP4 ถึงแม้จะมีไฟล์ format fMP4 ทั้งสองกลุ่ม DRM Platform แล้ว แต่ยังมีอุปกรณ์จำนวนมากที่ยังรองรับเพียง .ts ซึ่งทาง OTT TV ต้องดำเนินการจัดการเป็นไฟล์ Segment ทั้งสองแบบคือ .ts และ .fMP4 แต่ส่วนของ Manifest File ยังต้องทำออกมา 3 รูปแบบตามแต่ละ DRM Platform

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะสำหรับเทคโนโลยีการตรวจสอบและป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบริการ OTT TV

1. การป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบริการ OTT TV เป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวกำหนดว่าการเติบโตทางด้านการสร้างเนื้อหาเพื่อให้อยู่บน OTT TV ได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัยจากการลักลอบ ถึงแม้จะมีระบบป้องกันอยู่หลายระดับ ทั้ง Tokenization และ DRM ยังมีช่องโหว่อยู่มากเนื่องจาก OTT TV เป็นการให้บริการในระบบเปิด มีผู้เล่นมากมายที่เข้ามาใน Ecosystem ต่างจากในระบบโทรทัศน์ PayTV ที่มีการใช้ระบบ CAS (Conditional Access System) ซึ่งสามารถควบคุมตั้งแต่ระบบต้นทาง ส่งและเข้ารหัส Content ระบบส่งเนื้อหา และกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ทุกระบบเป็นระบบปิดที่สามารถควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจุบันระบบ CAS ที่ใช้อยู่ใน PayTV มีความก้าวหน้ามาก จนภายหลังการลักลอบใช้งานแทบจะเป็นไปไม่ได้ ต่างจาก OTT TV ที่เป็นส่งผ่านระบบเปิด ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์การรับชมมีความหลากหลายรูปแบบ หลากหลายระบบปฏิบัติการ และหลายเวอร์ชัน การ Update การอุดช่องโหว่ต่างๆ ทำได้ไม่ทั่วถึง จึงมีช่องทางที่จะลักลอบได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการพัฒนาปรับปรุงต่อไปอย่างต่อเนื่อง

2. ระบบ DRM ที่นำมาใช้ในการปกป้องลิขสิทธิ์ของเนื้อหา นั้น มีถึง 3 Platform ซึ่งมีหลายส่วนที่ยังไม่ Compatibility หรือใช้ร่วมกันได้ ทางผู้ให้บริการ OTT TV ต้องลงทุนระบบให้รองรับกับทั้ง 3 DRM Platform ซึ่งขาดประสิทธิภาพและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมโดยไม่จำเป็น ขณะนี้ทางอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยี OTT TV เริ่มปรับตัว และเห็นแนวโน้มว่าระบบที่มีความหลากหลายนั้นกำลังผนวกควรรวมเข้าด้วยกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในระยะไกลนั้น ระบบ DRM จะเข้ามาสู่การรวมกันเป็นระบบเดียวที่มีประสิทธิภาพ

บทที่ 8 อุปกรณ์การรับชม OTT TV

การรับชมรายการผ่านอินเทอร์เน็ตในอดีตนั้นมักจะทำบน Web Browser ที่เรียกใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) โดยการเล่นบนโปรแกรมต่างๆ เช่น Media player หากมีความต้องการนำภาพออกขึ้นแสดงบนจอโทรทัศน์จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณให้เหมาะสมกับจอโทรทัศน์ที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการเข้ารับชมรายการ OTT TV มีความสะดวกสบายต่อการใช้งาน เนื่องจากการพัฒนาประสิทธิภาพอุปกรณ์ภาครับส่งผลให้สามารถรับชมรายการ OTT TV ได้หลายรูปแบบมากขึ้น เช่น บน Smartphone, Tablet หรือแม้แต่บน SmartTV ทำให้สามารถรับข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้ อีกทั้งแสดงผลโดยใช้อุปกรณ์เพียงประเภทเดียว

สำหรับผู้ที่มีโทรทัศน์รุ่นเก่าสามารถหาซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับรับข้อมูลดิจิทัลผ่านระบบ LAN หรือ Wi-Fi และแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณภาพเพื่อแสดงออกบนจอโทรทัศน์ซึ่งอุปกรณ์นั้นได้แก่ Set-top-Box

Set Top Box

Set Top Box (STB) ประกอบด้วย chipset ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลและหน่วยความจำที่น้อยกว่าที่มีในเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่มีความสามารถเพียงพอในการประมวลผลเพื่อการรับชมรายการทาง OTT TV. เนื่องจากผู้ผลิตต้องการควบคุมต้นทุนและสามารถขายได้ในราคาถูก ส่วนระบบปฏิบัติการ (Operating System/ OS Driver) ของ STB มักใช้ระบบที่ต้องการหน่วยความจำไม่มาก บางกรณีมักใช้ Open Source เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรมเสริมสำหรับระบบ Set Top Box Platform เพราะมี Browser, Email, ข้อความด่วน รวมถึงระบบสนับสนุนการทำงานบน Network สำเร็จรูปที่บรรจุอยู่ภายในแล้ว เนื่องจากการใช้งานระบบปฏิบัติการแบบมาตรฐานนี้มีความเสี่ยงในการติดไวรัสบนเครื่อง STB ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องตั้งค่าต่างๆ ให้เหมาะสมและปิดช่องโหว่ต่างๆ ก่อนวางจำหน่ายหรือแจกจ่ายกล่อง STB ออกไปยังผู้ใช้ นอกจากนี้ควรมีการบล็อกพอร์ตที่สำคัญด้วยเพื่อความปลอดภัย

ใน STB จะแลกเปลี่ยนข้อมูลและตารางนัดหมายรายการ (EPG) จาก Server โดยการใช้ Web browser ผ่านโปรโตคอล HTTP หรือบางครั้ง HTTPS ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตจะถูกส่งผ่านทาง Ethernet หรือ Wi-Fi หรือ Bluetooth มายัง STB เนื่องจากในปัจจุบันโทรทัศน์สมัยใหม่มี port สำหรับภาพความละเอียดสูง จึงมักต่อสายวิดีโอออกทางสาย HDMI ไปยังจอโทรทัศน์ เครื่องแต่ละยี่ห้อมีความสามารถในการรับชมแตกต่างกันไปในแง่ของรูปแบบไฟล์ที่สนับสนุน (format supported) ขึ้นอยู่กับ codecs ที่ใส่ลงไว้บน

เครื่อง เช่น MPEG-2 หรือ MPEG-4 ที่จะทำการถอดรหัสสตรีม และให้ output ที่สามารถแสดงบนเครื่องโทรทัศน์ได้ โดยปกติแล้วผู้ให้บริการต้องแน่ใจว่าได้โหลด codec ที่เหมาะสมลงไปใน Set Top Box โดยใช้ codec ประเภทเดียวกับที่ใช้เข้ารหัสที่ Head End ในส่วนของความละเอียดของภาพที่แสดงผลมักขึ้นกับความสามารถในการประมวลผลของระบบ อุปกรณ์ STB นี้มักจะมีสามารถในการเข้าชมรายการประเภท IPTV, VoD หรือ OTT ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและผู้ผลิต โดยปกติมักจะเข้าชมรายการฟรีที่จัดโดยผู้ผลิต STB นั้นๆได้ ส่วนรายการฟรีที่ออกอากาศปกติตามท้องถิ่นก็สามารถเข้ารับชมผ่าน STB ได้ ตัวอย่าง STB ยี่ห้อที่นิยมกันมากได้แก่

- Roku STB สามารถรับชมช่อง The Roku channel ได้ฟรีรวมทั้งช่อง ABC, CW, PBS, CBSN, หรือ YouTube นอกจากนี้ยังสามารถรับชมช่องรายการที่เก็บเงินเช่น Sling TV, PlayStation™ Vue, WatchESPN, and CBS All Access, HBO NOW®, Starz, SHOWTIME®, Hulu และอื่นๆ อีกมากมาย โดยต้องมีการสมัครสมาชิกเพิ่มเติม สามารถเช่าหนังออนไลน์หรือบอกรับสมาชิก Netflix ได้ เนื้อหาที่จัดให้เข้าชมบนอุปกรณ์จะเรียกว่า channel โดยผู้ใช้งานสามารถเพิ่มหรือลบ channel ออกจากเครื่อง STB ผ่านทาง Roku Channel Store ได้ตามต้องการ สำหรับผู้ที่ต้องการสร้าง channel ของตนก็สามารถสร้าง channel ได้โดยใช้ software development kit บนภาษา Brightscript และสามารถทดสอบ channel ในโหมดส่วนตัวบน Web Site ของ Roku ก่อนปล่อยออกสู่ตลาดได้
- Amazon TV ผู้ชมสามารถเข้าชมรายการภาพยนตร์ได้มากกว่า 5 แสนเรื่อง รวมทั้งดูช่อง Netflix, Prime Video, Hulu, HBO, SHOWTIME, NBC และอื่นๆ ได้ โดยต้องมีการบอกรับการเป็นสมาชิกและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม สามารถเป็นสมาชิกแบบพิเศษที่เรียกว่า Amazon Prime โดยการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมและรับชมรายการได้เพิ่มเช่นช่อง HBO, Showtime, Starz นอกจากนี้ยังมีระบบรีโมทที่สั่งการโดยใช้เสียงเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานยิ่งขึ้น ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดแอปพลิเคชันได้จาก Amazon Appstore
- Apple TV ผู้ชมสามารถรับชม Netflix, Hulu, ESPN, Youtube, Vevo, Vimeo, MLB. TV, NBA League pass, NHL Gamecenter และอื่นๆ อีกมากมาย รวมทั้งสามารถเข้าฟังดนตรีหรือดูวิดีโอที่ได้อัปเดตผ่านทาง Apple's iTunes นอกจากนี้ STB ยังมีฟังก์ชัน Airplay เพื่อส่งต่อรายการจากอุปกรณ์ iOS ออกไปแสดงยัง HDTV ผ่านกล่อง STB นี้ ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดแอปพลิเคชันหรือเกมจาก TV iOS App Store ส่วนผู้พัฒนาโปรแกรมสร้างสามารถแอปพลิเคชันเพื่อทำงานบน Apple TV ได้โดยใช้ tvOS software development kit (SDK) ที่ทำงานบน Xcode ตั้งแต่เวอร์ชัน 7.1 ขึ้นไป
- Android TV Box คือ STB ที่ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Android ที่บริษัทผู้ผลิตสามารถสร้างหน้าต่างรายการได้ตามตนที่ต้องการ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะออกแบบหน้าต่างการทำงานให้คล้าย

กับของบริษัทที่เป็นที่นิยมเช่น Netflix เพราะผู้ใช้งานจะมีความคุ้นเคยและใช้งานได้สะดวกมากกว่า เนื่องจากแอนดรอยด์เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดหน้าต่างรายการที่ตนต้องการมาใช้ได้ ข้อดีของการใช้ Android TV Box คือการไม่ถูกจำกัดอยู่เพียงแอปพลิเคชันของผู้ผลิตอย่าง Roku, Fire TV หรือ Apple แต่สามารถติดตั้ง Kodi หรือแอปพลิเคชันอื่น ๆ อีกมากมาย แต่ก็มีข้อเสียคืออาจต้องเสียเวลาในการเตรียมความพร้อม (Set up) ในการใช้งานบ้าง Kodi (อดีตเรียก XBMC) คือ ระบบ open source media center ที่พัฒนามาโดยของมือสมัครเล่นเพื่อการเล่นเนื้อหาบน Xbox เดิม โดยผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งหน้าต่างการทำงาน ภาพพื้นหลัง หรือการทำงานเสริมอื่นๆ ได้ตามต้องการ

Dongle

Dongle เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานคล้าย STB แต่มีขนาดเล็กกว่า มี RAM น้อยกว่าและใช้ Processor ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า ใช้งานโดยเสียบโดยตรงที่ HDMI port สามารถรับชมช่องรายการคล้ายกันกับ STB ที่มาจากยี่ห้อเดียวกัน

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะสำหรับอุปกรณ์รับชม OTT TV

1. อุปกรณ์รับชม OTT TV มีจำนวนมากมาย หลายรูปแบบ หลาย Platform หลายระบบปฏิบัติการ ซึ่งยังมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และมีสินค้าใหม่ๆ บริการใหม่เกิดขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอ อุปกรณ์รับชม OTT TV มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถถอดรหัสและแสดงผลภาพระดับ 4K ได้ เรื่องของ License Codec เช่น HEVC และ HE-AAC เป็นอุปสรรคที่ทำให้ราคาของอุปกรณ์รับมีต้นทุนและราคาสูงขึ้น
2. อุปกรณ์รับชม OTT TV หลายชิ้นมีลักษณะคล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง ทำให้สามารถเป็นเป้าหมายของการถูกโจมตี เช่น อาจจะมีช่องโหว่ให้ทำการฝังตัวโปรแกรมที่อาจจะไปก่อวินาศกรรมเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ การ Update Software เหล่านี้ย่อมสม่ำเสมอจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น
3. เนื่องจากอุปกรณ์มีความหลากหลาย การกำหนดเป็นมาตรฐานทางเทคนิคที่ใช้บังคับสำหรับอุปกรณ์รับชม OTT TV จึงทำได้ยากลำบากและไม่มีประสิทธิภาพเพราะเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วและตลอดเวลา แต่การดูแลเรื่องคุณภาพของกล่องรับชม OTT TV ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นและเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค ทางองค์กรกำกับดูแลอาจจะใช้รูปแบบสนับสนุนกลุ่มผู้บริโภคทำเรื่อง Consumer Guide หรือ Consumer Review ซึ่งระบบการใช้ Cloud review หรือการใช้ Social Media ช่วยนั้นสามารถกระจายข้อมูลอย่างรวดเร็วและทั่วถึงและเป็นการดูแลกันเองที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 8-1: คุณลักษณะของ STB ยี่ห้อต่าง ๆ

Product	Picture	Processor	OS	RAM	Storage	Networking	Port
Roku Ultra		ARM Cortex A53	Roku OS (Linux)	1GB		802.11ac MIMO dual band 10/100M Ethernet	HDMI2a, Ethernet Micro SD, USB
Amazon TV with 4k Ultra HD		Quad-core processor 1.5 GHz or ARM 4xCA53	Fire OS (Android)	2GB	8GB	802.11ac MIMO dual band 802.11a/b/g/n/ac Bluetooth4.2 + LE Ethernet with Amazon Ethernet Adapter	Micro USB for power HDMI
AppleTV (4th generation)		A8 Chip with 64-bit architecture	tvOS (iOS)	2GB	32GB or 64GB	802.11ac MIMO 10/100M Ethernet Bluetooth 4.0 IR Receiver	HDMI 1.4 USB-C for service and support
EVANPO T95Y Plus		Amlogic S912, Octa-core, ARM Cortex A53, 2.0GHz, GPU:Mali-T820MP3	Android 7.1	3GB	32GB	Dual band WIFI Bluetooth 4.0 10/100M Ethernet	HDMI 2.0 Ethernet AV out, USB 2.0, TF Card slot, Optical port
Android TV Box, TX3 Mini		Amlogic S905W upto 2.0GHz, Dual-core ARM Cortex A53, GPU:Mali-450 penta-core up to 750 MHz	Android 7.1	2GB	16GB	2.4GHz 802.11b/g/n 10/100M Ethernet	HDMI Ethernet, SPDIF, AV TF Card slot, USB 2.0

ตารางที่ 8-2: แสดงคุณลักษณะของ Dongle ยี่ห้อต่าง ๆ

Product	Picture	Processor	OS	RAM	Storage	Networking	Port
Roku Streaming Stick +3810		ARM Cortex A53	Roku OS (Linux)	1GB		802.11ac MIMO dual band	HDMI2a, Mini USB
Amazon Fire Stick 2016		Broadcom, Dual-core 2xARM A9 up to 1 GHz	Fire OS (Android)	1GB	8GB	802.11a/b/g/n/ MIMO dual band Dual antenna Bluetooth 3.0	Micro USB for power HDMI
Chromecast Ultra		Marvell BG4CDP (1.25 GHz, 2 cores)		1GB		802.11a/b/g/n/ac MIMO 1x1	HDMI, Micro USB for power and data

บทที่ 9 แนวทางการกำกับดูแล OTT TV ของต่างประเทศ

ในบทนี้จะเป็นการรื้อฟื้นการกำกับดูแลในส่วนของการ OTT TV ของหลายๆ ประเทศ[39] พอสังเขป ซึ่งประกอบไปด้วย ประเทศสิงคโปร์ เวียดนาม อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฮองกง และเกาหลีใต้

ประเทศสิงคโปร์

หน่วยงานทำหน้าที่ในการควบคุมดูแลเกี่ยวกับกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์คือ Info-Communication Media Development Authority (IMDA) ซึ่ง อยู่ ภาย ใต้ Ministry of Communications and Information โดยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับ OTT TV เช่น

- Broadcasting Act ที่มีการกำหนดเกี่ยวกับ Internet Content Provider หรือผู้ให้บริการเนื้อหาทางอินเทอร์เน็ตผ่าน World Wide Web (WWW) การให้บริการ OTT TV เทียบได้กับ Internet Content Provider ซึ่งจะได้รับใบอนุญาตแบบ Class-Licensed โดยอัตโนมัติ และต้องถูกกำกับตาม Internet Code of Practice ด้วย
- Internet Code of Practice เป็นกฎหมายที่กำหนดรูปแบบและเนื้อหาที่เหมาะสม และห้ามเผยแพร่เนื้อหาต้องห้าม เช่น เนื้อหาลามก อนาจาร รักร่วมเพศ เนื้อหาสร้างความเกลียดชัง ทางเชื้อชาติ ศิวิลี และศาสนา เป็นต้น OTT TV เมื่อพิจารณาว่าเป็น Internet Content Provider ซึ่งจะถูกกำกับตาม Internet Code of Practice ด้วยเช่นกัน
- Code of practice for TV Broadcasting Standard เป็นกฎหมายที่ระบุถึงประเภทใบอนุญาต Niche TV License สำหรับการให้บริการบอกรับสมาชิกที่มีจำนวนสมาชิกน้อยกว่า 100,000 ราย ขณะที่ Nationwide TV License สำหรับการให้บริการบอกรับสมาชิกที่มีจำนวนสมาชิกมากกว่า 100,000 ราย ในกรณีของการให้บริการ OTT TV ในรูปของการบอกรับสมาชิก นั้นจะเข้าสู่ข้อกำหนดตามกฎหมายนี้เช่นกัน
- Subscription TV Code เป็นกฎหมายที่มีการกำหนด Rating ของเนื้อหาเป็นแบบ G, PG, PG13, NC16, M18 และ R21
- Policy Framework for Net Neutrality เป็นนโยบายที่กำหนดถึงสิทธิของผู้บริโภคที่จะสามารถเข้าถึงเนื้อหาที่เป็นไปตาม Internet Code of Practice แล้วโดยปราศจากการกีดกัน

นอกจากการให้บริการ OTT TV ในประเทศสิงคโปร์ต้องปฏิบัติตามกฎหมายเดิมทั้ง 5 ฉบับข้างต้นแล้ว ยังมีกฎหมาย OTT Content Code ซึ่งมีการประกาศใช้เมื่อเดือนมีนาคม 2561 ที่ต้องปฏิบัติตามด้วย ส่วนเรื่องของการควบคุมดูแลด้านลิขสิทธิ์ของเนื้อหา OTT TV ต้องปฏิบัติตามกฎหมาย Copyright Act ที่มีอยู่เดิม

ประเทศเวียดนาม

การให้บริการ Pay TV ในประเทศเวียดนามถูกกำกับดูแลโดย Authority of Broadcasting and Electronic Information (ABEI) ภายใต้ Ministry of Information and Communications (MIC) มีกฎระเบียบที่เข้มงวดในการให้บริการ Pay TV ตัวอย่างเช่น ผู้ให้บริการ Pay TV ต้องได้รับ

- ใบอนุญาตประกอบกิจการ Pay TV
- การลงทะเบียนช่องรายการบน Pay TV
- ใบอนุญาตสำหรับการผลิตช่องรายการภาษาเวียดนาม
- ใบอนุญาตสำหรับการติดต่อและแปลช่องรายการต่างประเทศบน Pay TV
- ผู้ให้บริการ Pay TV ต้องเสียค่าธรรมเนียม 0.3% ของรายได้
- จำนวนช่องรายการต่างประเทศจะมีสัดส่วนไม่เกิน 30% ของช่องรายการทั้งหมด
- ช่องรายการที่เป็นภาพยนตร์ การ์ตูน และสารคดี ทั้งหมดต้องมีการแปลเป็นภาษาเวียดนาม

การให้บริการ OTT TV ภายในประเทศ ที่เป็นแบบบอกรับสมาชิกจะถูกกำกับดูแลแบบเดียวกับ Pay TV ขณะที่ OTT TV จากต่างประเทศ รวมถึงการให้บริการ OTT TV แบบ User Generated Content (UGC) ยังไม่มีการกำกับดูแลที่ชัดเจน เกิดความเหลื่อมล้ำในการกำกับดูแลการให้บริการระหว่างผู้ให้บริการ OTT TV จากต่างประเทศและในประเทศอย่างมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเทศเวียดนามกำลังดำเนินการแก้ไข

ประเทศอินโดนีเซีย

การให้บริการ Pay TV ในประเทศอินโดนีเซียถูกกำกับดูแลโดย Ministry of Communication and Informatics (MOCI) และเป็นผู้ให้อนุญาตประกอบกิจการ Pay TV ขณะที่เนื้อหารายการของ Pay TV ถูกกำกับดูแลโดย Indonesian Broadcasting Commission (KPI) ปัจจุบันยังไม่มีมีการกำกับดูแลการให้บริการ OTT TV อย่างไรก็ตามร่างกฎหมายกำกับดูแล OTT TV ถูกนำเสนอการรับฟังความคิดเห็นในปี 2017 ภายในร่างกฎหมายนี้เสนอแนวทางที่กำหนดให้ผู้ให้บริการ OTT TV ที่มาจากต่างประเทศต้องมีตัวแทนอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย ร่างกฎหมายมีข้อเสนอเกี่ยวกับใบอนุญาต เนื้อหารายการ ภาษี และค่าธรรมเนียมต่างๆ ปัจจุบันร่างกฎหมายนี้ยังไม่มีควมคืบหน้า

ประเทศมาเลเซีย

หน่วยงานกำกับดูแลและการประกอบกิจการ Pay TV และ OTT TV คือ Malaysian Communications and Multimedia Commission (MCMC) ภายใต้ The Ministry of Communications and Multimedia ขณะที่เนื้อหารายการถูกกำกับดูแลโดยกลุ่มของภาคอุตสาหกรรมที่ชื่อว่า Malaysian Communications and Multimedia Content Forum (CMCF) ทางทฤษฎีแล้วการกำกับดูแลของ OTT TV จะเหมือนกับ Pay TV แต่ OTT TV ได้รับการยกเว้นการเข้าสู่ระบบใบอนุญาต ยกเว้นการควบคุมค่าบริการ ยกเว้นข้อกำหนดเกี่ยวกับสัดส่วนเนื้อหาภายในประเทศ และยกเว้นเกี่ยวกับข้อกำหนด “Made in Malaysia”

การกำกับดูแล OTT TV จะมุ่งเน้นในส่วนของการกำกับเนื้อหา มากกว่าเรื่องใบอนุญาตประกอบกิจการ การกำกับดูแลเนื้อหาใช้กฎหมายเดียวกับที่บังคับใช้กับ Pay TV กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลเนื้อหาเช่น Communications and Multimedia Act 1998 ซึ่งมีบางส่วนกล่าวถึงเนื้อหาออนไลน์ โดยห้ามเนื้อหาที่เป็นเท็จ เนื้อหาหยาบคาย สร้างความรำคาญ หรือคุกคามใครคนใดคนหนึ่ง Sedition Act 1984 ซึ่งห้ามเนื้อหาที่เป็นการปลุกกระแสม ต่อต้านรัฐบาล หรือ กระบวนการยุติธรรม สร้างความเกลียดชังในชนชั้น หรือระดับของประชาชน รวมถึง Copyright Act 1987 ที่คุ้มครองลิขสิทธิ์ของเนื้อหาทั้งในกิจการกระจายเสียง และโทรทัศน์ และในการสื่อสารออนไลน์

ฮ่องกง

หน่วยงานกำกับดูแลของฮ่องกงคือ Communications Authority (CA) ซึ่งดูแลทั้งกิจการกระจายเสียง และโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม ยังไม่มีความชัดเจนในการกำกับดูแลการให้บริการ OTT TV อย่างไรก็ตามในส่วนของการลิขสิทธิ์ของเนื้อหา OTT TV ใช้กฎหมายด้านลิขสิทธิ์ที่มีอยู่เดิมในการควบคุม ปัจจุบันมีการรับฟังความคิดเห็นในการปรับปรุงกฎหมายด้านกระจายเสียง โทรทัศน์และโทรคมนาคม หรือ Telecommunications Ordinance and Broadcasting Ordinances ตอนต้นปี 2018 ซึ่งการปรับปรุงกฎหมายนี้ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงการอนุญาต OTT TV แต่อย่างใด

ประเทศเกาหลีใต้

Korea Communications Commission (KCC) เป็นหน่วยงานที่กำกับดูแลการประกอบกิจการ OTT TV ขณะที่ Korean Communications Standards Commission (KCSC) กำกับดูแลเรื่องเนื้อหา OTT TV ที่เป็นการให้บริการแบบ Non Profit จะไม่มีการกำกับดูแล ขณะที่ OTT TV ที่ให้บริการแบบแสวงหากำไรคาดว่าจะถูกกำกับดูแลภายใต้กฎหมาย Internet Multimedia Broadcasting Business Act โดยกำหนดให้ผู้ให้บริการ OTT TV ต้องได้รับอนุญาตเสียก่อน เนื้อหารายการจะต้องถูกรายงานและผ่านการรับรองเสียก่อน การกำกับดูแลเนื้อหาให้เป็นไปตามกฎหมาย Communications Network Act ยังไม่มีการกำกับดูแลโดยตรงกับ OTT TV

ในปี 2018 มีความเคลื่อนไหวในการนำเสนอแก้กฎหมายดังต่อไปนี้

- กฎหมาย Act on Promotion of Information and Communications Network Utilization and Information Protect ซึ่งจะบังคับให้บริษัทอินเทอร์เน็ตของต่างชาติ เช่น Google, Facebook, Netflix ให้ติดตั้ง Server ในประเทศเกาหลีใต้
- กฎหมาย Internet Multimedia Broadcast Services Act ซึ่งจะกำหนดการกำกับดูแล OTT Platform อย่าง Youtube และ Netflix ซึ่งถึงแม้จะเป็นบริษัทต่างชาติแต่ต้องเข้ามาสู่การควบคุมดูแลแบบเดียวกับผู้ประกอบการในประเทศ
- กฎหมาย Framework Act on Broadcasting Communications Development บังคับให้ผู้ให้บริการ OTT TV ต้องจ่ายส่วนแบ่งรายได้ส่วนหนึ่งให้กับ Korea Broadcasting Development Fund
- กฎหมาย Broadcasting Act บังคับให้ผู้ให้บริการ OTT TV ต้องรายงานผลการดำเนินการรายปี แก่ KCC's Broadcasting Market Competition Evaluation Committee

บทที่ 10 สรุปข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับ OTT TV

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการบริการและการรับชมโทรทัศน์ในปัจจุบันและอนาคต

1. การรับชมของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงจากการรับชมโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม (เช่น โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล โทรทัศน์ดาวเทียม โทรทัศน์เคเบิล) ซึ่งเป็นการรับชมผ่านโทรทัศน์โดยตรงหรือผ่านกล่องรับสัญญาณ และเนื้อหาโทรทัศน์เป็นแบบ Linear TV ซึ่งใช้เนื้อหาเดียวแต่กระจายสู่ผู้รับชมจำนวนมาก มาสู่การรับชมโทรทัศน์แบบ OTT TV ที่ผู้บริโภคสามารถเลือกช่องทางการรับชมที่หลากหลาย (เช่น คอมพิวเตอร์ Tablet Smartphone รวมถึง SmartTV) และ เนื้อหาที่สามารถเลือกรับชมได้อย่างอิสระตามความต้องการของแต่ละบุคคล (เช่น Catch-up TV Video-on-Demand)
2. ในช่วงแรกมีการมองกันว่า OTT TV เป็นบริการเสริมของการให้บริการโทรทัศน์รูปแบบเดิม เห็นได้บางครั้งมีการเรียกขาน OTT TV ว่าเป็น Second Screen (หรือจอรับชมที่สอง) บ้าง แต่เมื่อผู้บริโภคได้ใช้เวลาในการดูรายการโทรทัศน์ผ่าน OTT TV มากยิ่งขึ้น เริ่มไปทดแทนการชมรายการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม โดยเฉพาะในกลุ่มวัยเด็กรุ่นใหม่ที่ได้สัมผัสการรับชม OTT TV ตั้งแต่วัยเยาว์ ก็มีแนวโน้มสูงที่ OTT TV จะกลายเป็นช่องทางการรับชมโทรทัศน์หลักของเขาได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดลงไป ถึงแม้ว่า OTT TV จะให้ความสะดวกในการเข้าถึงเนื้อหา ได้ทุกที่ ทุกเวลา ผ่าน Tablet หรือ Smartphone นั้น แต่เมื่อผู้บริโภคกลับมาที่บ้านความต้องการในการรับชมผ่านจอโทรทัศน์ปกติยังคงมีอยู่ เห็นได้จากความต้องการการรับชมผ่าน SmartTV หรือ การรับชมผ่าน TV ที่ต่อพ่วงด้วย OTT TV Android Box หรือการรับชมผ่าน OTT TV Application ที่ได้เพิ่มคุณสมบัติการส่งต่อภาพและเสียง (Video Casting) จาก Smartphone ขึ้นโทรทัศน์จอใหญ่ได้ ผ่านอุปกรณ์เช่น Google Chromecast เป็นต้น จะเห็นได้ว่า OTT TV ยังคงมีความต้องการการรับชมโทรทัศน์ผ่านจอใหญ่เหมือนกับการรับชมโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม แต่ได้เพิ่มเติมช่องทางการรับชมด้วยวิธีอื่น ๆ อีกมาก และสามารถกำหนดเนื้อหาที่สามารถเลือกชมได้เอง โดยไม่ต้องถูกกำหนดด้วยผังรายการแบบใน Linear TV
3. มีสิ่งหนึ่งที่ OTT TV ยังไม่สามารถที่จะทดแทนการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมได้อย่างเต็มรูปแบบคือ การรับชมรายการโทรทัศน์แบบถ่ายทอดสด หรือ Live Linear TV ถึงแม้ว่าจะมีการถ่ายทอดโทรทัศน์เป็นช่องรายการใน OTT TV ที่ปัจจุบันสามารถรับชมได้อยู่แล้ว แต่ OTT TV ยังมี Delay ของเนื้อหาการเมื่อนับเวลาจากรายการต้นทางมาสู่การรับชมบน OTT TV ซึ่งใช้เวลานานถึง 30-60 วินาที เมื่อเทียบกับการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมที่มี Delay อยู่ประมาณ 5 วินาที การที่ OTT TV มี Delay สูงจึงมีผลกระทบต่อการรับชมรายการประเภทรายการสด

ตัวอย่างเช่น รายการกีฬา รายการที่มีการประกาศผลการตัดสิน รายการหุ้น รายการสดทางธุรกิจ รายการถ่ายทอดสดเหตุการณ์สำคัญ รายการถ่ายทอดสดภัยธรรมชาติ รายการที่ต้องมีการโต้ตอบ (Interactive TV) ผ่าน Social Media เป็นต้น ซึ่งจะมีผลกระทบมากมายแตกต่างกันไป ปัจจุบันถือว่าเป็นความท้าทายทางเทคนิคอยู่มากที่จะทำให้ระยะเวลา Delay ของ OTT TV อย่างน้อยไปสู่ระดับเทียบเคียงได้กับการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมที่ประมาณ 5 วินาที ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมของ OTT TV ได้กำลังดำเนินการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ไปแก้ไขโจทย์ที่ทำหายนี้

4. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทางด้านเทคนิคด้านโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิมกับ OTT TV จะเห็นได้ว่าการให้บริการโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม ในแต่ละส่วนของโครงสร้างการให้บริการโทรทัศน์นั้น ทั้งส่วนของเนื้อหา (Content) การส่งผ่านเนื้อหา (Content Delivery) และอุปกรณ์การรับชมเนื้อหา (User Device) มีชุดของมาตรฐานทางเทคนิคที่ชัดเจนและมีตัวเลือกที่มีจำนวนจำกัดที่จะสามารถกำหนดเฉพาะเจาะจงลงไปได้ ตัวอย่างเช่น ในส่วนของอุปกรณ์การรับชม สามารถกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์รับชมของ iDTV และ Set-top-box ได้ ในส่วนของการส่งผ่านเนื้อหาสามารถกำหนดมาตรฐานของการส่ง ว่าจะเป็น DVB-T2 หรืออื่นๆ ได้ ส่วนของเนื้อหา ก็จะสามารถระบุตัวเลือกกว่าเป็นความคมชัดระดับใด เสียงในรูปแบบใด การบีบอัดภาพและเสียงอย่างไร เป็นต้น จะเห็นได้ว่ามีตัวเลือกในการรับชมที่ชัดเจน เป็นการรับชมโทรทัศน์ในแบบเดียวกัน ในทิศทางเดียวกันทั้งประเทศ ดังนั้นในมุมมองขององค์กรกำกับดูแลจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคทั้งภาครับ ภาคส่ง เนื้อหา ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้ใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะแตกต่างอย่างสิ้นเชิงใน OTT TV เนื่องจาก OTT TV ไปตอบสนองความต้องการในระดับของปัจเจกบุคคลที่มีความต้องการหลากหลาย ในส่วนการรับชมเนื้อหา OTT TV มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับชมมากมาย โดยมีเทคโนโลยีรองรับที่แตกต่างกันอย่างมากในแต่ละรูปแบบ ในส่วนของการส่งเนื้อหาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ที่ต้องมีโครงสร้างของ CDN การเข้ารหัสเนื้อหา รายการ DRM และรูปแบบส่งผ่านข้อมูลที่มีความหลากหลาย ไม่สามารถกำหนดใช้เป็นมาตรฐานอันใดอันหนึ่งที่เฉพาะเจาะจงได้ เพราะแต่ละเทคโนโลยีที่เลือกใช้ CDN หรือ DRM ก็มีความหลากหลายตามความสามารถ ตามผลตอบแทนในโมเดลทางธุรกิจที่แตกต่างกัน ในส่วนของเนื้อหา นอกจากจะเกี่ยวข้องกับด้านคุณภาพความคมชัดของภาพและเสียงแล้ว ยังมีเนื้อหาในรูปแบบใหม่ๆ เช่น Virtual Reality (VR) เนื้อหาแบบ 360 องศา เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีภายใน OTT TV มีการพัฒนาที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่ตลอดเวลา เป็นการยากที่จะกำหนดเป็นมาตรฐานหรือเจาะจงเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งเป็นการเฉพาะ ถ้าไปกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคที่ตายตัวจะไปสร้างผลกระทบ ไปจำกัดความคิดสร้างสรรค์นวัตกรรม (Innovation) ของการให้บริการ OTT TV หรือ

ไปกระทบเรื่องโมเดลทางธุรกิจที่อาจจะไม่สอดคล้องกับการให้บริการจริงและอื่น ๆ อีกมาก ดังนั้นการกำกับดูแลโดยการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคใน OTT TV ให้เป็นแบบเดียวที่ใช้ในการกำกับดูแลมาตรฐานทางเทคนิคของโทรทัศน์ในรูปแบบเดิม อาจจะไม่มีประสิทธิภาพที่ดีพอ

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวโน้มเทคโนโลยีด้านการบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง

1. คุณภาพของภาพมีความละเอียดที่สูงขึ้นทั้ง 4K UHD และ 8K UHD ถึงแม้จะมีการผลักดันให้มีการใช้งานทั้งการสร้าง Content และโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่มีการโปรโมท 4K UHD กันอย่างต่อเนื่อง แต่การตอบรับของผู้บริโภคยังไม่มากเท่าที่ควร อาจจะสืบเนื่องมาจากยังขาดแคลน Content ที่เป็น 4K และความแตกต่างด้านความคมชัดระหว่าง 4K UHD กับ 1080p HD แตกต่างกันไม่มาก ถึงแม้ในขนาดของจอภาพ 50-60 นิ้วก็ตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความคมชัดระหว่าง 1080pHD กับ SD มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและได้รับการตอบรับอย่างชัดเจนของผู้บริโภคมากกว่า
2. ในช่วงปีที่ผ่านมาได้มีกระแสการกล่าวถึงคุณภาพของภาพแบบ HDR (High Dynamic Range) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง HDR เป็นเทคโนโลยีให้ความเปรียบต่าง (Contrast) ของความสว่างที่กว้างขึ้นในภาพ คือในส่วนมืด (Shadow) และส่วนสว่าง (Highlight) ของภาพมีรายละเอียดที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับการมองเห็นของตามนุษย์มากยิ่งขึ้น ทำให้ภาพวิดีโอ HDR ให้ภาพที่สมจริงใกล้เคียงกับสภาพการมองเห็นจริง ซึ่งจะเริ่มมีการนำเสนอและเพิ่มการรับรู้ให้กับผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น มีการคาดการณ์ว่าอาจจะได้รับการตอบสนองจากผู้บริโภค ซึ่งถือว่าเป็นอีกคลื่นลูกหนึ่งของเทคโนโลยีที่จะมาสร้างการเปลี่ยนแปลงการรับชมภาพวิดีโอนอกเหนือจาก 4K UHD
3. การมาของ 4K UHD และ HDR ทำให้ปริมาณของข้อมูลวิดีโอมีขนาดเพิ่มมากขึ้นมาก จึงผลักดันให้มีความต้องการใช้เทคโนโลยีการบีบอัดภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่ง H265/HEVC ให้การบีบอัดภาพได้ดีกว่า H264/AVC (เทคโนโลยีบีบอัดมาตรฐานในปัจจุบัน) ถึงเท่าตัว มาตรฐาน H265/HEVC ประกาศออกมาปี 2556 และเริ่มมีการใช้งานจริงประมาณปี 2558 มีการเติบโตด้านการใช้งานอย่างช้าๆ เนื่องจากขาดแคลนอุปกรณ์ที่รองรับ ความต้องการด้าน 4K UHD ยังไม่แพร่หลาย แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการรับชม OTT TV เพิ่มขึ้นมาก และมีความต้องการคุณภาพของภาพที่ดีขึ้นอย่าง 4K UHD และ HDR เป็นส่วนผลักดันให้มีความต้องการใช้ H265/HEVC แต่อุปสรรคหนึ่งในภาคอุตสาหกรรมที่จะนำ H265/HEVC มาใช้คือค่า License ที่สูงมีการเก็บค่า License ตั้งแต่ระดับของ Software ระดับของ Platform และระดับของ Hardware หรือ Chipset ซึ่งค่า License นี้มีส่วนผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมเกิดการรวมตัวกันเป็น Alliance for Open Media (AOMedia) ซึ่งประกอบได้ด้วยบริษัทระดับใหญ่ในวงการอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น Google Apple Amazon Microsoft IBM Netflix facebook เป็นต้น AOMedia ร่วมกันสร้าง Royalty Free Video Codec ให้เกิดขึ้น ซึ่งได้

เปิดตัว Video Codec AV1 เมื่อตอนต้นปี 2561 และเริ่มมีการทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับ H265/HEVC ประเมิน 17% เป็นสิ่งที่น่าจับตามองต่อไปว่า AV1 จะได้รับการตอบรับและมาทดแทน H265/HEVC ได้หรือไม่ล่าสุด H265/HEVC เริ่มขยับปรับตัวที่จะยกเว้นและลดค่า License ในบางส่วนของ Ecosystem แล้ว ดังนั้น Codec ในยุคหน้าระหว่าง H265/AVC กับ AV1 เป็นสิ่งที่ต้องติดตามกันต่อไป

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพการให้บริการ Quality of Service (QoS)

1. คุณภาพของการให้บริการ (QoS) เป็นสิ่งสำคัญที่กำหนดความสำเร็จบริการ OTT TV การที่ผู้ใช้รับชมวิดีโอที่ไม่มีคุณภาพเช่นภาพกระตุก ภาพไม่ต่อเนื่อง ผู้ใช้ก็จะทำการเปลี่ยนผู้ให้บริการไปทันที เพราะ OTT TV มีการแข่งขันสูง มีผู้เล่นรายใหม่เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง ผู้บริโภคมีตัวเลือกอย่างมาก และสามารถเปลี่ยนการให้บริการได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย ในแง่มุมของการกำกับดูแลเรื่องคุณภาพขั้นต่ำของ QoS อาจจะไม่มีความจำเป็น เพราะกลไกของตลาดจะเป็นคนจัดการด้วยตัวมันเอง แต่ที่ต้องกำกับดูแลเรื่องสัญญาณด้านคุณภาพที่ทางผู้ให้บริการ OTT TV ตกลงกับผู้บริโภค ถ้าระบุไว้เป็นแบบไหนก็ต้องปฏิบัติตามที่บอกไว้ เช่น OTT TV หนึ่งให้บริการภาพยนตร์จากต่างประเทศ มีคุณภาพระดับ HD ถ้าระบุว่า HD ก็ต้องให้บริการ HD ตามที่สัญญาไว้ เป็นต้น
2. แต่ละ Application มีความต้องการด้าน QoS ที่แตกต่างกัน การบริการ OTT TV เป็นลักษณะของ Realtime Application ซึ่ง delay มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพของการให้บริการ ถ้าสมมติมีข้อมูลของสอง Application เช่น Non-real time application กับ Real time application ถูกส่งเข้ามาในเครือข่ายพร้อมๆกัน เครือข่ายก็ต้องบริหารจัดการให้ Real time application มี priority ในการถูกส่งออกไปก่อนเพราะเป็น application ที่ไม่สามารถรอได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าไปกีดกัน Non-real time application ไม่ให้ใช้งานได้เลย เพียงแต่ลำดับการส่งก่อนหลังเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเรื่องประเด็นของ Priority เกิดขึ้นเพราะการบริหารจัดการด้าน Bandwidth ในระบบสายในปัจจุบันจะเน้นไปที่การทำ Bandwidth Over Provisioning หรือการ Upgrade โครงข่ายให้มี Bandwidth หรือ ความจุที่มากพอเพียง ซึ่งทุกๆ Application จะได้รับการรองรับ QoS ด้วยกันทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามในบางโครงข่ายที่มีทรัพยากรที่จำกัด เช่น โครงข่ายไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่ จะมีข้อจำกัดด้านการทำ Bandwidth Over Provisioning เพราะทรัพยากรด้านคลื่นความถี่ไม่พอเพียง ดังนั้นการใช้ Bandwidth Management เป็นแนวทางที่จะต้องนำมาใช้ อย่างกรณีการทำ Priority นี้ อาจจะก่อให้เกิดประเด็นข้อถกเถียง เรื่องแนวทางการกำกับดูแลเรื่อง **Net Neutrality** ซึ่งระบุว่าต้องการดูแลทุก Traffic ทุกประเภทที่เท่าเทียมกันไม่กีดกันรายใดรายหนึ่ง ซึ่งในการกำกับดูแลอาจจะต้องมากำหนดขอบเขตและความหมายของ Net Neutrality ให้ชัดเจน เพราะในกรณีทางมุมมองทางเทคนิค

เรื่อง QoS แล้ว การที่แต่ละ Application มีความต้องการด้าน QoS ที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถที่จะควบคุมดูแลทุก Traffic ทุกประเภทให้เหมือนกันได้ ซึ่งในมุมมองนี้ถือว่าไม่เข้าข่ายของ Net Neutrality แต่ถ้าเป็นกรณีที่ผู้ให้บริการ OTT TV เหมือนกัน แต่มีการควบคุมดูแลในผู้ประกอบการรายหนึ่งมีสิทธิพิเศษ หรือมี Fast Lane เหนือกว่ารายอื่น ๆ ซึ่งกรณีหลังนี้จะเป็นการละเมิดการกำกับดูแลด้าน Net Neutrality หรือการประกอบธุรกิจที่ไม่เป็นธรรม ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาและกำหนดรายละเอียดของ Net Neutrality ในแต่ละ Scenario ให้ชัดเจนต่อไป

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะเรื่องเกี่ยวกับ Streaming Protocol

1. Adaptive Bitrate Streaming (ABR) กลายเป็นโปรโตคอลมาตรฐานสำหรับการส่งวิดีโอใน OTT TV ด้วยคุณสมบัติที่สามารถรองรับการรับชมผ่านอุปกรณ์ที่หลากหลาย แล้วยังมีการปรับเปลี่ยน bit rate ของวิดีโอที่กำหนดโดย Media Player ของฝั่งผู้รับชมเป็นผู้ตัดสินใจได้เลย เพราะผู้รับชมจะรู้สถานะของเครือข่ายของตัวเองได้ดีที่สุด และ Server มีหน้าที่เพียงจัดส่ง Segmented File ที่ทางผู้รับชมเป็นผู้เรียกเท่านั้น จึงสามารถให้บริการได้มีประสิทธิภาพสูง รองรับผู้ใช้เป็นจำนวนมากได้ นอกจากนี้ ABR ยังรองรับการส่งแบบ CDN และรองรับการเข้ารหัส DRM ในทุก Platform
2. ปัจจุบัน HLS ยังมีส่วนแบ่งของตลาดมากที่สุด แต่ MPEG-DASH กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าในหลายๆด้าน และได้รับการสนับสนุนจากผู้ให้บริการรายใหญ่อย่าง Youtube และ Netflix เชื่อว่าในอนาคต MPEG-DASH จะเป็นเทคโนโลยีหลักสำหรับ ABR
3. เนื่องจาก ABR มีการ Encode วิดีโอออกมาเป็นหลาย version สำหรับภาพยนตร์เพียงเรื่องเดียว อาจจะมีถึง 10-20 version แต่ละ version ก็มีหลาย Segment การบริหารจัดการไฟล์ที่มีจำนวนมากเป็นความท้าทายอย่างมาก ปัจจุบันได้มีการนำไฟล์ format ที่ชื่อว่า fragmented MP4 (fMP4) ซึ่งไม่จำเป็นต้องแบ่งไฟล์เป็น Segment แยกจากกัน แต่จะใช้ไฟล์เดียว แต่ใช้ลักษณะของ Index ชี้ไปไปดึง หรือ Download เฉพาะส่วนของ Fragment ได้เลย ทำให้ลดจำนวนไฟล์ในการบริหารจัดการได้มาก ซึ่ง fMP4 เป็นไฟล์ที่ใช้อยู่ใน MPEG-DASH ซึ่งปัจจุบัน Apple HLS มีการปรับเปลี่ยนให้สามารถรองรับ fMP4 นอกเหนือจาก ts แล้ว ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกเพิ่มมากขึ้นสำหรับผู้ให้บริการ OTT TV ซึ่งจะทำให้การจัดเตรียมไฟล์ fMP4 เพียงประเภทเดียวซึ่งสามารถรองรับ Streaming Protocol ได้ทั้ง Apple HLS และ MPEG-DASH

ข้อสังเกตและข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี CDN

1. หนึ่งในหัวใจของความสำเร็จของการให้บริการ OTT TV คือ การให้บริการมีคุณภาพของวิดีโอที่ดี หรือมี QoE ที่ดี (ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4) เป็นสิ่งที่ท้าทายที่ OTT TV ทำการส่งผ่านวิดีโอผ่าน

โครงข่ายอินเทอร์เน็ต (ที่ทราบกันดีว่าเป็นโครงข่ายที่ให้ประสิทธิภาพแบบ Best Effort ไม่มีการการันตีของ QoS) แล้วยังคงคุณภาพการให้บริการที่ดีที่สุดได้ การใช้เทคโนโลยี CDN ได้เป็นตัวช่วยสำคัญที่ทำให้การบริการ OTT TV มีคุณภาพเกิดความมั่นใจในการใช้บริการของผู้ใช้ จึงอาจจะกล่าวได้ว่า CDN เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการให้บริการ OTT TV ที่ประสบความสำเร็จ

2. เทคโนโลยี CDN มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว การกระจาย Content ที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ผู้ให้บริการ CDN ต้องการและต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอ ในระยะหลังหลายผู้ให้บริการ CDN เริ่มมีการนำ AI มาช่วยประเมินความต้องการด้าน Content ของผู้ใช้และทำการสำเนาเนื้อหาล่วงหน้า ซึ่งยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง
3. โมเดลทางธุรกิจของ CDN ถูกผลักดันจากสองมุมมอง คือ 1) CDN ถูกผลักดันและลงทุนโดย ISP ที่จะติดตั้ง CDN หรือ Web Caching เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตให้ลูกค้า ISP ของตนเอง 2) CDN ถูกผลักดันโดยผู้ให้บริการ Content ที่ต้องการลูกค้าที่สมัครสมาชิกรับ Content แล้วเกิดความพึงพอใจในคุณภาพของการให้บริการ ผู้ให้บริการ Content ลงทุนค่าใช้ในการเช่าใช้ CDN หรือ จัดทำ CDN ขึ้นมาเอง ในมุมมองที่สองนี้เป็นตัวผลักดันให้เกิดผู้ให้บริการ CDN ที่มีความหลากหลายมากในปัจจุบัน
4. จากเนื้อหาในบทนี้ พอจะสรุปได้ว่า การที่ OTT TV จะมีการให้บริการที่ดีที่สุด ถ้ามีการติดตั้ง Edge Server เพื่อให้บริการในจุดที่ใกล้กับผู้ใช้ให้มากที่สุด การจะติดตั้งหรือใช้งาน Edge Server ต้องดำเนินการตกลงทางธุรกิจกับ ISP ซึ่งเป็นเจ้าของพื้นที่และโครงข่ายที่เปรียบเสมือนเป็นประตูไปสู่ลูกค้าได้ การตกลงทางธุรกิจกับ ISP อาจ会有ความแตกต่างกันในแต่ละปัจจัยและสถานการณ์ ตัวอย่างเช่น
 - ในกรณีที่ผู้ให้บริการ Content บางรายที่ได้รับความนิยมสูงมากจากผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น Youtube, Facebook, Twitter และ Netflix ผู้บริโภคต้องการใช้บริการเหล่านี้ด้วยคุณภาพที่ดี เช่นดูวิดีโอจาก Youtube แล้วไม่กระตุก ถ้ามีการกระตุกเกิดขึ้นสิ่งแรกๆที่ผู้บริโภคบ่นคือโครงข่ายของ ISP ดีหรือไม่ ทำไม ISP อื่นไม่มีอาการแบบนี้ ลักษณะแบบนี้เป็นตัวผลักดันให้ ISP ต้องดำเนินการติดตั้งให้มี Edge Server เกิดขึ้นซึ่งกรณีนี้ ทางผู้ให้บริการ Content อาจจะไม่ต้องลงทุนอะไร ทาง ISP อาจจะเป็นผู้ดำเนินการให้ทั้งหมดก็มีความเป็นไปได้ แต่ทางปฏิบัติข้อตกลงเหล่านี้ไม่ได้เปิดเผยสู่สาธารณะ จึงไม่ทราบว่าข้อตกลงจริง ๆ คือเช่นไร ที่พอทราบจะมีผู้ให้บริการ Netflix ได้เปิดเผยข้อตกลงระหว่าง Netflix กับ ISP เรื่อง Open Connect ว่ามีรายละเอียดอะไรบ้าง

- ในกรณีผู้ให้บริการ Content หรือ OTT TV ขนาดเล็ก การที่จะให้ ISP ช่วยลงทุนให้แบบเดียวกับผู้ให้บริการ OTT รายใหญ่ก็มีความเป็นไปได้ยาก ผู้ให้บริการ OTT ขนาดเล็กอาจจะต้องจ่ายให้กับ ISP สำหรับการให้มี Edge Server

จากสองกรณีจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในการกำเนิด CDN เกิดขึ้น เกิดเป็นคำถามว่ามีการกีดกันหรือการทำธุรกิจที่เสรีและเป็นธรรมหรือไม่ ซึ่งเป็นสิ่งที่องค์กรกำกับดูแลจะต้องมีพิจารณาในนี้อย่างละเอียด

5. ข้อเสนอแนะให้มีกลไกการให้ข้อมูลด้านข้อตกลงกันเรื่อง CDN ของ ISP กับส่วนอื่น ๆ ทั้งผู้ให้บริการ OTT และผู้ให้บริการ CDN แต่ต้องไม่กระทบเรื่องแผนทางธุรกิจหรือความลับทางการค้า เพื่อให้เกิดความโปร่งใส และให้แน่ใจว่าจะไม่มีการกระทำในลักษณะกีดกันทางธุรกิจ ให้เกิดการทำธุรกิจที่ไม่เสรีและเป็นธรรมหรือไม่ ในกรณีมีข้อพิพาทเกิดขึ้นอาจจะใช้แนวทางในการกำกับดูแลเรื่อง การใช้และเชื่อมต่อโครงข่าย ที่มีอยู่เดิมมาเทียบเคียงหรือปรับใช้ได้
6. การให้บริการด้าน CDN มีความหลากหลายทั้งโมเดลทางธุรกิจ และทางเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่เสมอ การกำกับดูแลหรือการไปควบคุมดูแลกำหนดให้ CDN มีรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบากและอาจจะไปเป็นอุปสรรคของการทำธุรกิจ แต่อย่างไรก็ตามองค์กรกำกับดูแลต้องเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของ CDN อย่างใกล้ชิดและเข้าไปแก้ไข ปัญหาในกรณีที่เกิดข้อพิพาทเกิดขึ้น

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะสำหรับเทคโนโลยีการตรวจสอบและป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบริการบน OTT TV

1. การป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เนื้อหาการบริการบน OTT TV เป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวกำหนดว่าการเติบโตทางด้านการสร้างเนื้อหาเพื่อใช้อยู่บน OTT TV ได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัยจากการลักลอบ ถึงแม้จะมีระบบป้องกันอยู่หลายระดับ ทั้ง Tokenization และ DRM ยังมีช่องโหว่อยู่มากเนื่องจาก OTT TV เป็นการให้บริการในระบบเปิด มีผู้เล่นมากมายที่เข้ามาใน Ecosystem ต่างจากในระบบโทรทัศน์ PayTV ที่มีการใช้ระบบ CAS (Conditional Access System) ซึ่งสามารถควบคุมตั้งแต่ระบบต้นทาง ส่งและเข้ารหัส Content ระบบส่งเนื้อหา และกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ทุกระบบเป็นระบบปิดที่สามารถควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจุบันระบบ CAS ที่ใช้อยู่ใน PayTV มีความก้าวหน้ามาก จนภายหลังการลักลอบใช้งานแทบจะเป็นไปไม่ได้ ต่างจาก OTT TV ที่เป็นส่งผ่านระบบเปิด ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์การรับชมมีความหลากหลายรูปแบบ หลากหลายระบบปฏิบัติการ และ

หลายเวอร์ชัน การ Update การอุดช่องโหว่ต่าง ๆ ทำได้ไม่ทั่วถึง จึงมีช่องทางที่จะลักลอบได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการพัฒนาปรับปรุงต่อไปอย่างต่อเนื่อง

2. ระบบ DRM ที่นำมาใช้ในการปกป้องลิขสิทธิ์ของเนื้อหา นั้น มีถึง 3 Platform ซึ่งมีหลายส่วนที่ยังไม่ Compatibility หรือใช้ร่วมกันได้ ทางผู้ให้บริการ OTT TV ต้องลงทุนระบบให้รองรับกับทั้ง 3 DRM Platform ซึ่งขาดประสิทธิภาพและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมโดยไม่จำเป็น ขณะนี้ทางอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยี OTT TV เริ่มปรับตัว และเห็นแนวโน้มว่าระบบที่มีความหลากหลายนั้นกำลังผนวกควรรวมเข้าด้วยกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในระยะไกลนั้น ระบบ DRM จะเข้ามาสู่การรวมกันเป็นระบบเดียวที่มีประสิทธิภาพ

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะสำหรับอุปกรณ์รับชม OTT TV

1. อุปกรณ์รับชม OTT TV มีจำนวนมากมาย หลายรูปแบบ หลาย Platform หลายระบบปฏิบัติการ ซึ่งยังมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และมีสินค้าใหม่ๆ บริการใหม่เกิดขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอ อุปกรณ์รับชม OTT TV มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถถอดรหัสและแสดงผลภาพระดับ 4K ได้ เรื่องของ License Codec เช่น HEVC และ HE-AAC เป็นอุปสรรคที่ทำให้ราคาของอุปกรณ์รับมีต้นทุนและราคาสูงขึ้น
2. อุปกรณ์รับชม OTT TV หลายชิ้นมีลักษณะคล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง ทำให้สามารถเป็นเป้าหมายของการถูกโจมตี เช่น อาจจะมีช่องโหว่ให้ทำการฝังตัวโปรแกรมที่อาจจะไปก่อความเสียหายอินเทอร์เน็ตได้ การ Update Software เหล่านี้อย่างสม่ำเสมอจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น
3. เนื่องจากอุปกรณ์มีความหลากหลาย การกำหนดเป็นมาตรฐานทางเทคนิคที่ใช้บังคับสำหรับอุปกรณ์รับชม OTT TV จึงทำได้ยากลำบากและไม่มีประสิทธิภาพเพราะเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วและตลอดเวลา แต่การดูแลเรื่องคุณภาพของกล่องรับชม OTT TV ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นและเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค ทางองค์กรกำกับดูแลอาจจะใช้รูปแบบสนับสนุนกลุ่มผู้บริโภคทำเรื่อง Consumer Guide หรือ Consumer Review ซึ่งระบบการใช้ Cloud review หรือการใช้ Social Media ช่วยนั้นสามารถกระจายข้อมูลอย่างรวดเร็วและทั่วถึง และเป็นการดูแลกันเองที่มีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

- [1] ITU-T H.622 (6/2008) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS Broadband, triple-play and advanced, “A generic home network architecture with support for multimedia services”.
- [2] ITU-T H.622.1 (10/2008) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS Broadband, triple-play and advanced, “Architecture and functional requirements for home networks supporting IPTV services”.
- [3] ITU-T H.701 (03/2009) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS IPTV multimedia services and applications for IPTV – General aspects, “Content delivery error recovery for IPTV services”.
- [4] ITU-T Y.1910 (09/2008) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS Internet protocol aspects, “IPTV over NGN IPTV functional architecture”.
- [5] Lionel Bringuier, “White Paper OTT Streaming – 2nd edition”, September 2011, CTO, Anevia, website: <http://www.anevia.com>.
- [6] David H. Ramirez, “IPTV Security: Protecting High-Value Digital Contents”, John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008.
- [7] Ali C. Begen, “IPTV, Internet Video and Adaptive Streaming Technologies”, Video and Content Platforms Research and Advanced Development, Cisco Plus Canada, 2012

- [8] Aura Ganz, Zvi Ganz, and Kitti Wongthavarawat, “Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards and QoS”, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, New Jersey, 2004.
- [9] ITU-T H.264 (04/2017) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS, Infrastructure of Audiovisual services- Coding of Moving Video, “Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services”.
- [11] Detlev Marpe and Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, “The H.264/MPEG4 Advanced Video Coding Standard and its Applications”.
- [12] ITU-T H.262 (02/2000) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video, “Information technology- Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video”
- [13] Markus Rupp, “Video-Coding Basics slides of Advances Wireless Communication 1”, TU Wien, Nov 2013.
- [14] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, “Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard”, *IEEE Trans. Cir. and Sys. for Video Technol.* 17, 9 (September 2007), 1103-1120. DOI=<http://dx.doi.org/10.1109/TCSVT.2007.905532>
- [15] ISO (November 1991), "CD 11172-3 – CODING OF MOVING PICTURES AND ASSOCIATED AUDIO FOR DIGITAL STORAGE MEDIA AT UP TO ABOUT 1.5 MBIT/s Part 3 AUDIO".
- [16] “YouTube Audio Quality” <https://www.h3xed.com/web-and-internet/youtube-audio-quality-bitrate-240p-360p-480p-720p-1080p>

[17] “NetFlix Delivery Specification version OC-3-0”, June 2017

<https://drive.google.com/file/d/0B37xotBvLV3Qc1E4VW5sMzNwcmc/view>

[18] “Per-Title Encode Optimization”, Dec 2015 <https://medium.com/netflix-techblog/per-title-encode-optimization-7e99442b62a2>

[19] “Video Encoding Settings for H.264 Excellence”

<http://www.lighterra.com/papers/videoencodingh264/>

[20] Michael Grafl, Christian Timmerer, Hermann Hellwagner, Wael Cherif, Daniel Negru, and Stefano Battista, "Scalable Video Coding Guidelines and Performance Evaluations for Adaptive Media Delivery of High-Definition Content", *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Computers and Communication (ISCC 2013)*, Split, Croatia, July 7-10, 2013.

<http://alicante.itec.aau.at/am1.html>

[21] Iraj Sodagar, “White paper on MPEG-DASH Standard”, INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 CODING OF MOVING PICTURES AND AUDIO ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 W13533, Incheon, KR, April 2012.

[22] Wikipedia contributors. "Content delivery network interconnection." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 21 Sep. 2017. Web. 26 Sep. 2017

[23] J. Elson, A. Cerpa, “Internet Content Adaptation Protocol (ICAP) RFC 3238”, Network Working Group, April 2003.

[24] A. Barbir, R. Penno, R. Chen, M. Hofmann, H. Orman, “An Architecture for Open Pluggable Edge Services (OPES) RFC 3835”, Network Working Group, August 2004.

[25] Erik Nygren, Ramesh K. Sitaraman, Jennifer Sun, “The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Application”.

[26] Wikipedia contributors. "Internet access." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 4 Sep. 2017. Web. 26 Sep. 2017.

[27] ITU-T H.720 (10/2008) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS, IPTV multimedia services and applications for IPTV – “IPTV terminal devices, Overview of IPTV terminal devices and end systems”

[28] ITU-T H.721 (4/2015) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS IPTV multimedia services and applications for IPTV – “IPTV terminal devices IPTV terminal devices: Basic Model”

[29] ITU-T H.730 (6/2012) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS IPTV multimedia services and applications for IPTV – “IPTV middleware Web-based Terminal Middleware for IPTV Service”

[30] “Amazon Fire TV with 4K Ultra HD | Streaming Media Player”

<https://www.amazon.co.uk/All-New-Amazon-Fire-TV-Ultra/dp/B00UH2O6T2/?tag=stuff09-21>

[31] “Technical Details Amazon Fire TV Stick”, <https://www.amazon.com/Amazon-Fire-TV-Stick-Streaming-Media-Player/dp/B00GDQ0RMG>

[32] Wikipedia contributors. "Chromecast." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 24 Sep. 2017. Web. 26 Sep. 2017.

- [33] “Apple TV (4th generation) - Technical Specifications”
https://support.apple.com/kb/SP724?locale=en_US, 2017
- [34] Wikipedia contributors. "Nvidia Shield (set-top box)." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*.
Wikipedia, The Free Encyclopedia, 21 Sep. 2017. Web. 26 Sep. 2017
- [35] “Measuring Quality of Experience for Over-the-Top video Service”, Avvasi Technical
Press, AI-WP-427032-002, August 2011.
- [36] ITU-T P.910 (4/2008) TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU SERIES
P: TELEPHONE TRANSMISSION QUALITY, TELEPHONE INSTALLATIONS, LOCAL LINE NETWORKS,
“Audiovisual quality in multimedia services : Subjective video quality assessment methods
for multimedia applications”.
- [37] Gerard o’Driscoll, “Next Generation IPTV Services and Technologies”, A John Wiley &
Sons, Inc., Publication, Hoboken, New Jersey, 2008.
- [38] Daniel Minoli, “IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H”, A John Wiley &
Sons, Inc., Publication, Hoboken, New Jersey, 2008.
- [39] AVIA (Asia Video Industry Association), “OTT TV Policies in ASIA”, 2018