กลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

ศิริพร อ่อนนุ่ม

DPU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2560

A Mechanism to Improve Streaming Video Quality of Service in Case Service Provider Apply Fair Usage Policy

Siriporn Onnum

DPU

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication

College of Innovative Technology And Engineering,

Dhurakij Pundit University

2017

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

เสนอโดย นางสาวศิริพร อ่อนนุ่ม

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญ)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

..... คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ ...14... เดือน ...กรกฎาคม.... พ.ศ. ...2560...

DPU

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม
ชื่อผู้เขียน ศิริพร อ่อนนุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

บริการสตรีมมิ่งวิดีโอกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน และในการใช้งาน Internet บนโครงข่าย LTE นั้นผู้ใช้บริการจะถูกจำกัดอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดตามแพ็กเก็ต Internet โดยการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (FUP) จากผู้ให้บริการเมื่อมีปริมาณการใช้งานข้อมูลสูงจนครบตามที่เงื่อนไขกำหนด จึงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของผู้ใช้บริการไม่ดีตามที่คาดหวังไว้ และส่งผลให้เกิดประสบการณ์การใช้งานที่ไม่ดี

งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอโครงข่าย LTE ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ใช้บริการถูกจำกัดอัตราการรับ – ส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการ ซึ่งการทำงานของโครงข่าย LTE ที่นำเสนอมีการทำงานที่ต่างจากโครงข่าย LTE แบบเดิมคือการเพิ่มหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ PCRF ให้ทำงานร่วมกับ Video caching server เพื่อที่ Video caching server รับรู้ว่ามีผู้ใช้รายใดบ้างที่ถูกปรับลดอัตราการรับ – ส่งข้อมูลลง และเมื่อผู้ใช้บริการเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอใน Video Resolution ที่มีอัตราบิตในการส่งข้อมูลสูงๆ ระบบที่นำเสนอจะช่วยเลือก Video Resolution ที่เหมาะสมและดีที่สุดกับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับในขณะนั้น ในงานวิจัยนี้ได้มีการวัดประสิทธิภาพจากการวัดค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาและอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูล 512 kbps และเรียกรับชม Video Resolution 1080P และ 720P บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะปรับ Video Resolution ลงมาที่ 480P ซึ่งพบว่ามีความล่าช้าทางเวลา, ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นเฉลี่ย 41.91% และ 30.26% และสามารถเพิ่มอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเฉลี่ยถึง 62.10% เมื่อเทียบกับการเรียกรับชม Video Resolution 1080P และ 720P และกรณีที่ผู้ใช้งานได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูล 384 kbps และเรียกรับชม Video Resolution 1080P, 720P, 480P และ 360P บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะปรับ Video Resolution

ลงมาที่ 240P ซึ่งมีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นเฉลี่ย 42.76% และ 62.13% ตามลำดับ และสามารถเพิ่มอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเฉลี่ยถึง 50.34% เมื่อเทียบกับการเรียกรับชม Video Resolution 1080P, 720P และ 480P

DPU

Thesis Title	A Mechanism to Improve Streaming Video Quality of Service in Case Service Provider Apply Fair Usage Policy
Author	Siriporn Onnum
Thesis Advisor	Tanun Jaruvitayakovit, Ph.D
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2016

DPU

ABSTRACT

Video streaming services are becoming more popular nowadays and users are limited to the maximum data rate of internet packets by using fair usage policy (FUP) from service providers for internet usage on LTE networks. When the maximum data usage meets the conditions, the efficiency of the user's video streaming service is not as good as expected and it will result in a bad user experience.

This research thus introduced an LTE network that can enhance the performance of video streaming services in the event of the subscriber downloading and uploading volume having reached the limitation. The performance of the proposed LTE network would be different from the traditional LTE network i.e. to increase the functionality of the PCRF device to work with video caching server for the video caching server to acknowledge which user downloading and uploading speeds have been reduced and when the subscriber uses streaming video in video resolution with high bit video transmission rate, it will help to choose the optimal video resolution and the best data downloading and uploading rates that the user received at that time. Efficiency of time delay, time variability, time lag, and transmission rate measurements were conducted in this research. From the research, it was found that when users receive data rate of 512 kbps and use video resolution 1080P and 720P, the proposed LTE network would adjust the video resolution be 280P, which yielded better time delay, time variability at the average of 41.91% and 30.26%. The transferring success rate was also increased by 62.10% when compared to the video resolution at 1080P, 720P. Additionally, when users receive data rate at 384 kbps, the proposed

LTE network would adjust the video resolution be 240P, which yielded better time delay, time variability at the average of 42.76% and 62.13%, respectively. The transferring success rate would also increase by 50.34% when compared to the video resolution at 1080P, 720P and 480P

DPU

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มีความเมตตา ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งและคอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ และเอาใจใส่นักศึกษา ไม่ย่อท้อต่อความผิดพลาดของนักศึกษาเสมอมา ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ และจะขอนำคำอบรมสั่งสอนไปใช้ในการดำเนินชีวิตต่อไป

ขอขอบคุณ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ท่านประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ และ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมทั้งให้แนวคิดเพิ่มเติม

ขอขอบคุณ คุณวรสิทธิพล ทมโคตร ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณนิรมล ศรีโชติ ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ และให้การสนับสนุนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องการสอบและจัดสถานที่ต่างๆ

และขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน ตลอดระยะเวลาการศึกษาจนลุล่วง

ศิริพร อ่อนนุ่ม

DPU

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฎ
บทที่
1. บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 3
1.6 แผนดำเนินงานวิจัย..... 4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1 เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G..... 5
2.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่..... 6
2.3 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE..... 6
2.4 LTE Network Interfaces..... 9
2.5 Study Paper On Policy And Charging Rule Function..... 12
2.6 Caching..... 13
2.7 Fair Usage Policy (FUP)..... 14
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14
3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 17
3.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการจำลองโครงข่าย LTE ที่มีการติดตั้ง
Video Caching Server ไว้ที่ตำแหน่ง Data center..... 17
3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบบนโครงข่าย LTE..... 18
3.3 การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE..... 22

DPU

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3.4 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย..... 24
3.5 การนำซอฟต์แวร์ NS2 มาใช้งานร่วมกับการทดสอบ
วิดีโอสตรีมมิ่งบนโครงข่าย LTE..... 26
4. ผลการศึกษา..... 30
4.1 การทดสอบ..... 31
4.2 การอภิปรายผลการทดสอบ..... 66
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 77
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 77
5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย..... 77
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 78
บรรณานุกรม..... 79
ภาคผนวก..... 81
ประวัติผู้เขียน..... 88

DPU

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	4
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ	16
3.1	ประเภทวิดีโอและอัตราการบิตในการส่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ	18
3.2	ขนาดแบนด์วิดท์และค่าความล่าช้าทางเวลาของการเชื่อมต่อของแต่ละอุปกรณ์บนเส้นทางของการอัพโหลดและเส้นทางของการดาวน์โหลดของแต่ละการเชื่อมต่อบนโครงข่าย LTE กรณีที่มี Video Caching Server ติดตั้งอยู่ที่ Data center	19
3.3	ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการจราจรในโครงข่าย LTE ประเภท Streaming	20
3.4	ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการจราจรในโครงข่าย LTE ป5เภท Background Traffic	21
3.5	ประเภทวิดีโอและความละเอียดภาพ	27
4.1	สรุป Video Resolution แต่ละประเภทที่เหมาะสมกับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ผู้ใช้บริการได้รับในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม	70

DPU

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE	6
2.2	Evolved Packet Core (EPC)	7
2.3	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)	8
2.4	S1-MME Interface	9
2.5	S1-U Interface	10
2.6	S5/S8 Interface	11
2.7	S6a Interface	12
3.1	กรณี LTE โครงข่ายเดิมที่ไม่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม	22
3.2	กรณีโครงข่าย LTE ที่นำเสนอที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม	23
3.3	การทำงานของ PCRF ที่เพิ่มหน้าที่ทำงานร่วมกับ Video Caching Server	24
3.4	คำสั่งแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับให้อยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการ Streaming	26
3.5	คำสั่งกำหนด packet size และ frame rate	28
3.6	ภาพจากการแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์ประเภท .mp4	28
3.7	คำสั่งสร้างการเชื่อมต่อ	28
3.8	การให้บริการ Streaming และการจัดเก็บวิดีโอเพื่อใช้ในการทดสอบ	29
4.1	เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอโดยใช้อัตตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P	31
4.2	เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอโดยใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.3 เปรียบเทียบค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการ
สตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอ โดยใช้อัตรา
รับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน
5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 33

4.4 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่ง
วิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการ
ใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรา
รับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน
5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 34

4.5 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่ง
วิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการ
ใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่ง
ข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน
5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 35

4.6 เปรียบเทียบการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการ
สตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณี
ที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรา
รับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน
5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 36

4.7 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ
บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎ
การใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตตารับ – ส่ง
ข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน
5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.8 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิม และโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 39

4.9 เปรียบเทียบค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 40

4.10 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 42

4.11 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 43

4.12 เปรียบเทียบการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P..... 44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.13 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอและใช้อัตรารับ – ส่ง ข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 46

4.14 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอและใช้อัตรารับ – ส่ง ข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 47

4.15 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของ บริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอและใช้ อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 49

4.16 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎ การใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่ง ข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภท คือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 51

4.17 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎ การใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.18 เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 55

4.19 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 57

4.20 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิม และโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 58

4.21 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 60

4.22 เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.23 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ บนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภท คือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่มBackground Traffic..... 63

4.24 เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอ ในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic..... 65

4.25ก เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว..... 71

4.25ข เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming และ Background Traffic..... 72

4.26ก เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว..... 73

4.26ข เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming และ Background..... 74

4.27ก เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว..... 75

4.27ข เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming และ Background Traffic..... 76

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

บริการสตรีมมิ่งวิดีโอกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โครงข่าย LTE โดยปกติการใช้งานแพ็กเก็ต Internet จะถูกจำกัดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดจากกฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (FUP) ในกรณีที่มีปริมาณการใช้งานข้อมูลสูงจนถึงระดับหนึ่ง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของผู้ใช้บริการลดลง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอให้อุปกรณ์ PCRF สามารถสื่อสารกับ Video caching server ที่อยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดย PCRF สั่งให้ Video caching server สตรีมวิดีโอโดยใช้ Video Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดตาม FUP (Fair Usage Policy) ที่ผู้ใช้งานได้รับในขณะนั้น งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการวัดค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา และค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลของโครงข่าย LTE เดิม และโครงข่ายที่นำเสนอ

โดยโครงข่ายที่นำเสนอจะมีการเพิ่มกลไกการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ซึ่งการทำงานของโครงข่ายที่นำเสนอจะมีการทำงานที่ต่างจากโครงข่ายเดิมคือ PCRF (Policy and Charging Rules Function) ที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้บริการบนโครงข่าย LTE จะเพิ่มหน้าที่การทำงานร่วมกับ Video caching server เพื่อที่ Video caching server จะได้รับรู้ว่ามีผู้ใช้บริการรายใดบ้างที่ถูกปรับลดอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดลงมาที่ FUP คือผู้ใช้บริการจะสามารถใช้อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดได้ที่ 256 kbps, 384 kbps หรือ 512 kbps เท่านั้น เมื่อผู้ใช้บริการเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอใน Video Resolution ที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูงๆ Video caching server ที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจะช่วยเลือก Video Resolution ที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ผู้ใช้บริการได้รับในขณะนั้นเพื่อช่วยลดปัญหาในการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ไม่ราบรื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน สตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) ผ่านโครงข่าย LTE ในกรณีที่ผู้ใช้งานได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. การทำงานของระบบโครงข่าย LTE จะถูกจำลองการทำงานด้วยซอฟต์แวร์ NS2
2. ในการทดสอบมีการจำลองการจราจร 2 ประเภทคือ
   2.1 Streaming เป็นการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ
   2.2 Background Traffic เป็นการจำลองการทำงานของ VBR
3. การจำลองการทำงานของระบบโครงข่าย LTE จะประกอบไปด้วยโครงข่าย 2 โครงข่ายคือ
   3.1 โครงข่ายไร้สาย (Radio Access Network)
   3.2 โครงข่ายหลัก (Core Network)
4. ทดสอบการเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) บนโครงข่าย LTE โดยผู้ใช้บริการได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP แบ่งเป็น 2 กรณี
   4.1 กรณีที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) ผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิม
   4.2 กรณีที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) ผ่านโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ
5. วัดประสิทธิภาพการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) โดยพิจารณาจาก 3 ค่าดังนี้
   5.1 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR)
   5.2 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)
   5.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังนี้

1. เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสำหรับการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) ผ่านโครงข่าย LTE

2. เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงโครงข่าย LTE เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Streaming Video) ในขณะที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

3. ได้ทราบถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์ NS2 ซึ่งใช้ในการจำลองพฤติกรรมการทำงานของระบบโครงข่าย LTE

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
   1.1 ซีพียูประมวลผล AMD A8-4500M APU with Radeon(tm) HD Graphics 1.90 GHz
   1.2 แรมขนาด 8.0 GB
   1.3 ฮาร์ดดิสความจุ 700GB
2. ซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
   2.1 ซอฟต์แวร์ VMware Work Station Pro ใช้ในการจำลองการทำงานระบบปฏิบัติการ
   2.2 ระบบปฏิบัติการ Ubuntu 14.04
   2.3 ซอฟต์แวร์ NS2.35
   2.4 ซอฟต์แวร์ประยุกต์ LTE module สำหรับซอฟต์แวร์NS2
   2.5 ซอฟต์แวร์ AWK compiler ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากซอฟต์แวร์NS2
   2.6 ซอฟต์แวร์ Sublime Text 3 ใช้ในการเขียนโปรแกรม

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้ตั้งแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	**ระยะเวลา (เดือน)**					
	มิ.ย.59	ส.ค.59	ต.ค.59	ธ.ค.59	มี.ค.60	ก.ค.60
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย	←	→				
2. ศึกษาการหลักการทำงานของซอฟต์แวร์ NS2		←	→			
3. ศึกษาและปรับใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์ LTE module ให้ใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ NS2		←	→			
4. ออกแบบโครงข่าย LTE และเขียนโปรแกรมจำลองโครงข่าย LTE บนซอฟต์แวร์ NS2		←	→			
5. พัฒนาส่วนของการปรับความละเอียดของวิดีโอ เพื่อสามารถใช้งานได้ดีกับผู้ใช้งานที่กำหนด			←	→		
6. พัฒนาแบบจำลองสำหรับการทดสอบการทำงาน				←	→	
7. ทดสอบการทำงานและประเมินผล				←	→	
8. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์					←	→

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE และกฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (Fair Usage Policy -FUP)

2.1 เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G[1]

ยุคที่ 4 ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (4G) ถือเป็นยุคบรอดแบรนด์ (Broadband) หรือยุคไฮบริด ซึ่งเป็นยุคของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน โดยมีการกำหนดมาตรฐานตามแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การพัฒนาเทคโนโลยี 4G เป็นผลมาจากข้อจำกัดของระบบ 3G ที่ไม่สนองตอบความต้องการของระบบประยุกต์ที่มีข้อมูลจำนวนมากและต้องการความเร็วสูง เช่น มัลติมีเดีย วิดีทัศน์แบบภาพเคลื่อนไหวที่เต็มรูปแบบ (full-motion video) หรือการประชุมทางโทรศัพท์แบบไร้สาย (wireless teleconferencing) ทำให้เกิดความต้องเทคโนโลยีเครือข่ายที่จะมาช่วยเพิ่มขีดความสามารถของ 3G นอกจากนั้นการพัฒนาในยุค 4G ได้มีการเน้นเรื่องการรักษาความปลอดภัย โดยการนำไบโอแมทริกซ์มาผสมผสาน ทำให้สามารถซื้อขายกันได้โดยผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือโมบายอินเทอร์เน็ต (mobile internet) และยังสามารถหักบัญชีเงินในธนาคารเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับสินค้าหรือบริการได้ทันที ระบบไบโอแมทริกซ์ จึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากในธุรกิจในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะเห็นอย่างชัดเจนในยุคโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G นั้นคือการทำธุรกรรมผ่านโทรศัพท์มือถือ (mobile commerce) นั้นเอง

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาและจำลองการรับส่งข้อมูลประเภท Video Steaming บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เนื่องจากเป็นเครือข่ายที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน และ Video Streaming เป็นบริการที่ผู้ใช้บริการนิยม ซึ่งถ้าผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ผู้ใช้งานที่เรียกใช้บริการ Video Streaming จะเกิดปัญหาการเรียกดูวิดีโอที่ไม่ราบลื่น และจะทำให้ผู้ใช้บริการเกิด User experience ที่ไม่ดี และอาจส่งกระทบต่อผู้ให้บริการได้

---

[1] อดิศยา เจริญผล. Mobile Technology. สาขาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

2.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ [2]

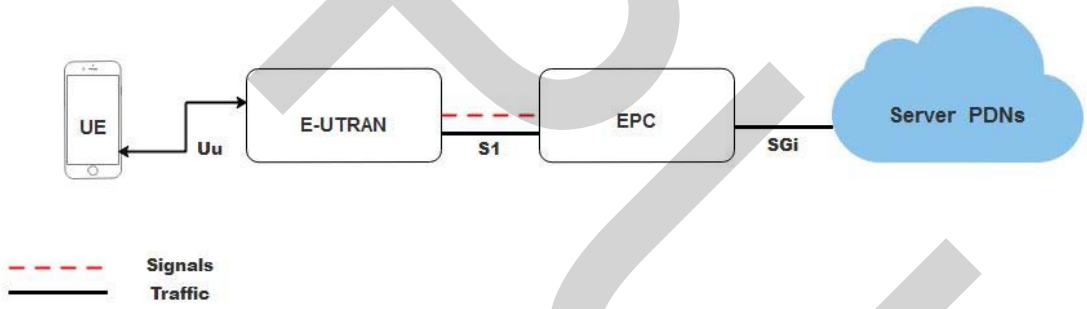
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

2.2.1 เครื่องลูกข่ายโทรศัพท์มือถือหรือ User Equipment (UE) โดยทั่วไปคือโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน แท็ปเล็ตหรืออุปกรณ์ในรูปแบบอื่น เช่น USB Dongle

2.2.2 ระบบสถานีฐาน (Radio Access Network) เป็นเครื่องแม่ข่ายรับ-ส่งวิทยุและส่วนควบคุมเพื่อรับส่งสัญญาณติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์มือถือ โดยสถานีฐานจะติดตั้งไว้ตามพื้นที่บริการจุดต่างๆ ในลักษณะเซลลูล่าร์คล้ายรวงผึ้ง ทำให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ได้เป็นบริเวณกว้าง ชื่อเรียกของระบบสถานีฐานในยุค 4G เรียกว่า E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)

2.2.3 ระบบชุมสาย (Core Network) มีการเปลี่ยนแปลงเป็น Evolved Packet Core ซึ่งเป็นเรื่องของการสื่อสารข้อมูลเป็นหลักโดยภายในแบ่งหน้าที่ออกเป็น MME และ SAE ตามลำดับ

2.3 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE

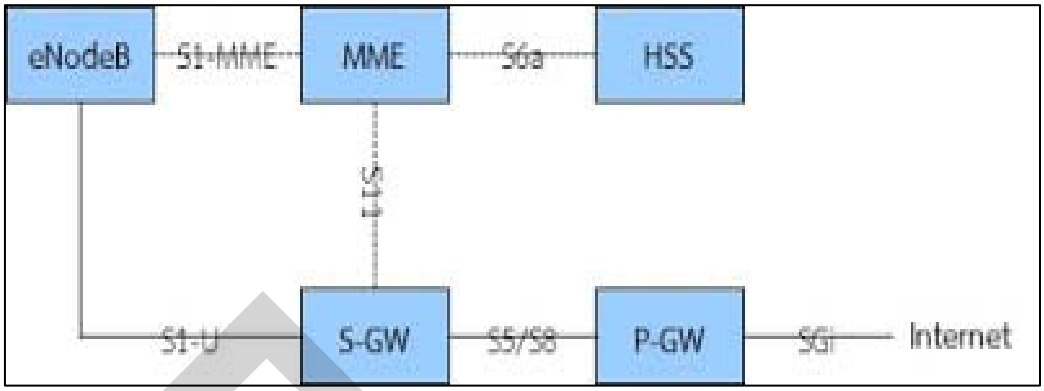


ภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE

สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE เรียกว่า Evolved Packet System (EPS) ซึ่งมีการพัฒนาต่อมาจาก Third Generation Partnership Project (3GPP), EPS ประกอบด้วย Evolved Packet Core (EPC) และส่วนของ Radio Access Network เรียกว่า Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

---

[2] เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G LTE แบบวิเคราะห์เจาะลึก, สุเทพ รุ่งเรือง, จาก http://4gco.blogspot. com/2017/06/blog-post.html



ภาพที่ 2.2 Evolved Packet Core (EPC)

ที่มา: http://4gco.blogspot.com/2017/06/blog-post.html

จากภาพที่ 2.2 แสดงถึง Evolved Packet Core (EPC) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ MME, S-GW และ P-GW หน้าที่หลักของแต่ละอุปกรณ์เป็นดังนี้

2.3.1 Mobility Management Entity (MME) เป็นอุปกรณ์จัดการสัญญานควบคุมสำหรับการเข้าใช้งานและจัดการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ ซึ่งเป็นส่วน Control plane ฟังก์ชันหลักคือ Session management, Mobility, Gateway selection, Tracking

2.3.2 Serving Gateway (S-GW) เป็นเกตเวย์เชื่อมกับฝั่ง E-UTRAN โดยจะสร้างท่อขนส่งข้อมูล (Bearer) สำหรับผู้ใช้บริการแต่ละราย ข้อมูลการใช้งานต่างๆ ของผู้ใช้บริการจะถูกขนถ่ายผ่าน S-GW ส่งต่อไปที่ P-GW ไปยังปลายทาง นอกจากนี้ S-GW ยังทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในส่วนของ User plane

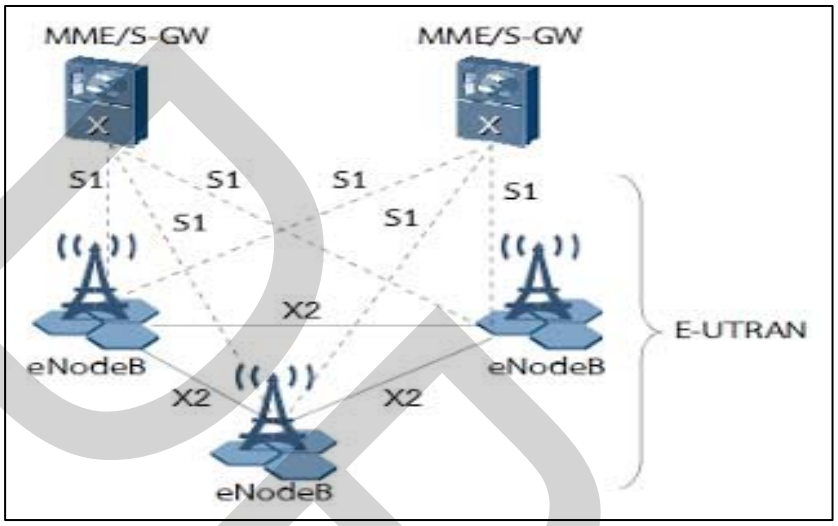
2.3.3 Packet Data Network Gateway (P-GW) เป็นเกตเวย์เชื่อมกับเครือข่าย IP ภายนอกทั่วไป เช่น เครือข่ายภายในองค์กร เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น โดยข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะถูกขนถ่ายผ่านท่อขนส่งข้อมูล (Bearer) จาก S-GW มาที่ P-GW ออกไปยังปลายทาง

2.3.4 Home Subscriber Server (HSS) เป็นเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลการลงทะเบียนผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือ และทำฟังก์ชันสนับสนุนการจัดการการเคลื่อนที่ การทำ Authentication และรับรองการเข้าใช้งานของผู้ใช้บริการ

นอกจากนี้ใน Core Network ยังมีอุปกรณ์ประกอบที่จำเป็นเพื่อทำหน้าที่ให้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์คือ

2.3.5 Online Charging System (OCS) เป็นระบบคิดค่าใช้บริการแบบ Real-time สามารถใช้ได้ทั้งแบบเติมเงิน (Prepaid) และรายเดือน (Postpaid)

2.3.6 Policy Control and Charging Rules Function (PCRF) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จัดการกำหนดนโยบาย หลักเกณฑ์ของบริการ



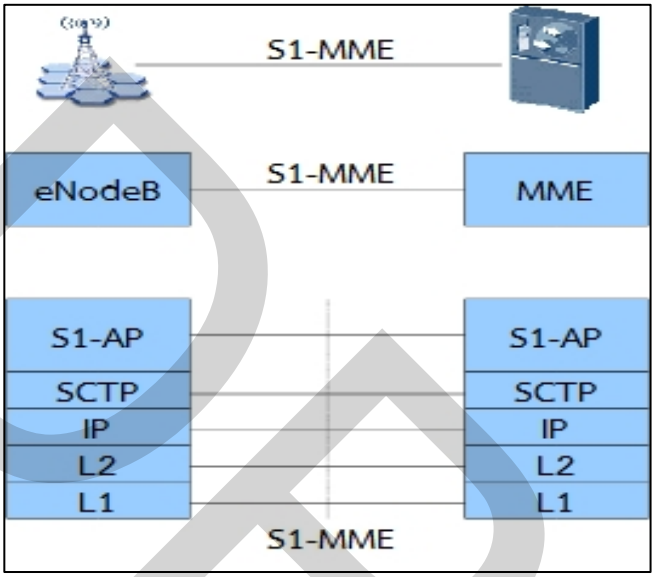
ภาพที่ 2.3 Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

ที่มา: http://4gco.blogspot.com/2017/06/blog-post.html

จากภาพที่ 2.3 แสดงถึง Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) E-UTRAN ในระบบ 4G จะไม่มีส่วนของระบบควบคุมสถานีฐาน (RNC) แต่ฟังก์ชันนี้จะถูกรวมไว้ในตัวสถานีฐาน (eNodeB) โดย eNodeB จะเชื่อมต่อกับ EPC โดยตรง ส่วนที่เป็น control plane จะเชื่อมกับ MME ทางอินเทอร์เฟส S1-C หรือ S1-MME และส่วนที่เป็น user plane จะเชื่อมกับ S-GW ทางอินเทอร์เฟส S1-U

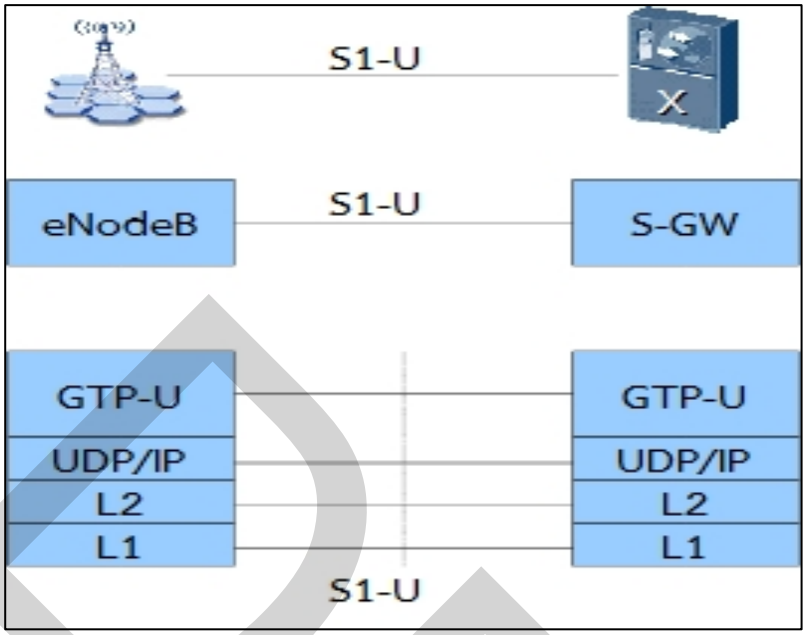
2.4 LTE Network Interfaces

อุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนของ EPC มีรายละเอียดของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้ interface และโปรโตคอลต่างๆดังต่อไปนี้



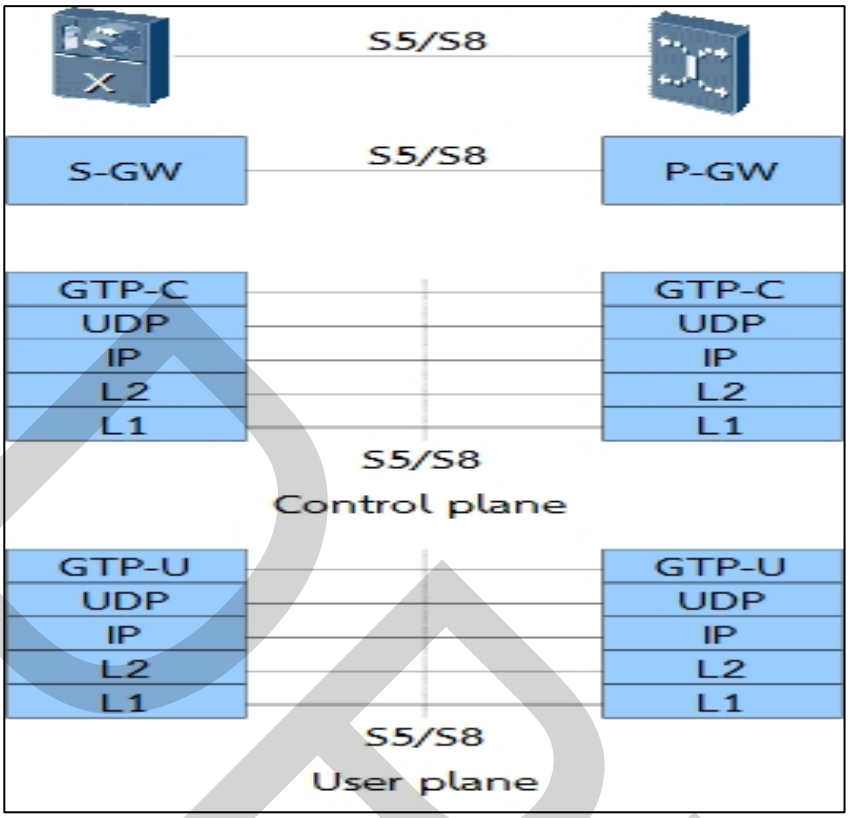
ภาพที่ 2.4 S1-MME Interface

จากภาพที่ 2.4 แสดง S1-MME Interface เป็น control interface ที่เชื่อมระหว่าง eNodeB กับ MME ใช้ Stream Control Transmission Protocol (SCTP) สำหรับเชื่อมต่อเป็น transmission และใช้โปรโตคอล S1 Application Protocol (S1-AP) ในการสื่อสารกันสำหรับกระบวนการจัดการการเข้าใช้งาน การสร้างท่อขนส่ง การติดตามและจัดการการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์มือถือ



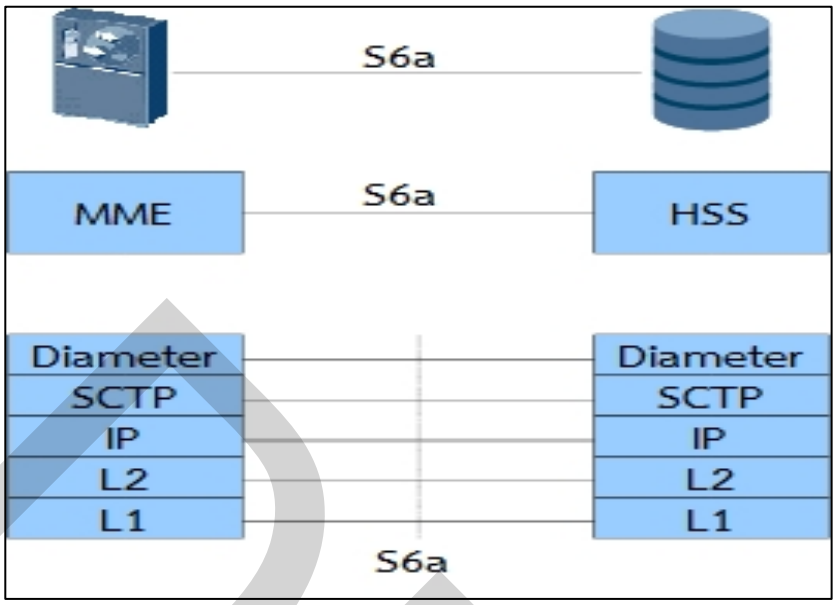
ภาพที่ 2.5 S1-U Interface

จากภาพที่ 2.5 แสดง S1-U Interface เป็น interface ระหว่าง eNodeB กับ S-GW ส่วนนี้เป็น user plane เมื่อโทรศัพท์มือถือ attach ไปที่ MME ผ่านกระบวนการทำ authentication แล้ว ระบบจะทำการสร้างท่อขนถ่ายข้อมูลสำหรับให้มือถือเลขหมายนั้นๆใช้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 2.6 S5/S8 Interface

จากภาพที่ 2.6 แสดง S5/S8 Interface เป็น interface ระหว่าง S-GW กับ P-GW ในส่วน control plane ใช้ส่งสัญญาณควบคุมสำหรับ bearer establishment, update, delete และข้อมูลสร้าง bearer context โดยใช้โปรโตคอล GTPv2 ในการขนส่ง signaling message และในส่วนของ user plane ใช้ขนถ่ายข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้บริการ (uplink และ downlink) ระหว่าง S-GW กับ P-GW จะใช้โปรโตคอล GTPv1 ในการขนถ่ายข้อมูล



ภาพที่ 2.7 S6a Interface

จากภาพที่ 2.7 แสดง S6a Interface เป็น interface ที่เชื่อมระหว่าง MME และ HSS เพื่อให้ MME ตรวจสอบข้อมูลบริการหรือโปรไฟล์ของโทรศัพท์มือถือที่ลงทะเบียนไว้ใน HSS ในกระบวนการทำ authentication, update location ทั้งการใช้งานใน home และ roaming โดยใช้โปรโตคอล diameter ในการสื่อสารกัน

2.5 Study Paper On Policy And Charging Rule Function [3]

เทคโนโลยีในโทรคมนาคมในปัจจุบันนั้นมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว โดยปัจจุบันเทคโนโลยีใน 3G เป็นที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยมีแนวโน้มของผู้ใช้บริการมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การเชื่อมต่อ อินเทอร์เน็ตผ่านมือถือได้รับความนิยมอย่างสูงและด้วยการคิดราคาแบบเหมาจ่าย และสามารถที่จะดาวน์โหลดปริมาณข้อมูลได้ตามแพ็คเกจ สิ่งต่างๆเหล่านี้ทำให้บริการเครือข่าย 3G ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูง

Policy and Charging Rules Function (PCRF) คืออุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบ real-time ที่เริ่มนำเข้าใช้ใน 3GPP และทำหน้าที่จัดการนโยบายการให้บริการของแต่ละผู้ใช้งาน โดย PCRF จะรวมฟังก์ชันการทำงานระหว่าง The Policy Decision Function (PDF) และ The Charging Rules

[3] STUDY PAPER ON POLICY AND CHARGING RULE FUNCTION, Telecommunication engineering Centre government of India

Function (CRF) โดย PDF จะมีหน้าที่คอยตัดสินใจในนโยบาย ที่จะปฏิบัติ และ CRF คือส่วนที่ให้ผู้ประกอบการกำหนดกฎระเบียบที่บังคับใช้โดย CRF จะเลือกกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องการเรียกเก็บเงินตามข้อมูลที่ได้เกิดการใช้งานจริง PCRF จะเป็นผู้บังคับใช้งาน Policy ต่างๆ ก็จะเข้าควบคุมการใช้งาน เช่น การลดแบนด์วิดท์ของทราฟฟิคบางชนิด หรือการที่จะลดปริมาณการใช้งาน เมื่อผู้ใช้งาน ดาวน์โหลดข้อมูลถึงปริมาณหนึ่งๆ

การทำงานของ PCRF มีหลักการทำงานดังนี้

1. PCRF จะรับข้อมูลและปริมาณทราฟ ฟิคของแต่ละผู้ใช้งานโดยอ้างอิง ผู้ใช้งานจาก MAC Address ของแต่ละเครื่อง

2. เมื่อ PCRF เก็บบัญทึกข้อมูลของแต่ละผู้ใช้งานตาม MAC Address ลงฐานข้อมูลแล้ว ตรวจสอบปริมาณการใช้งานที่คงเหลือ โดยนำปริมาณทราฟฟิคที่ได้มาหักล้าง ออกจากประมาณข้อมูลของผู้ใช้งานที่ได้รับ

3. เมื่อ PCRF ตรวจพบว่าปริมาณการใช้ ข้อมูลของผู้ใช้งานครบตามที่ผู้ใช้งานได้รับแล้ว PCRF จะส่ง MAC Address และปริมาณแบนด์วิดท์ที่ต้องจำกัดเพื่อให้จำกัดแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้งานต่อไป

2.6 Caching[4]

คือส่วนของข้อมูลที่ถูกเก็บซ้ำไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการใช้งานครั้งต่อไปโดยไม่ต้องเรียกข้อมูลจากต้นแหล่งอีกครั้ง นิยมใช้เมื่อเรียกข้อมูลจากต้นแหล่งได้ยาก เมื่อแคชถูกสร้างขึ้น การเรียกใช้ข้อมูลในครั้งต่อไปจะถูกอ่านข้อมูลจากแคช แทนที่จะอ่านข้อมูลจากต้นฉบับหรือต้นแหล่งเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย รวมถึงการเพิ่มความเร็วในการเรียกใช้งาน แคชนิยมใช้เมื่อรูปแบบการใช้ข้อมูลมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันและมีการใช้ซ้ำบ่อย

เนื่องจากแคชมีจุดประสงค์เพียงแค่ต้องการจะเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล ไม่ใช่ใช้เก็บข้อมูลจริงๆ ข้อมูลในแคชจึงมีโอกาสหายไปได้ตลอดเวลา ในกรณีที่มีคำสั่งเรียกข้อมูลและข้อมูลยังไม่หายไปจากแคช จะเรียกว่า cache hit นั่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากแคชได้ อย่างไรก็ตามหากข้อมูลไม่อยู่ในแคชแล้ว จะเรียกว่า cache miss ซึ่งทำให้ต้องไปอ่านข้อมูลจากต้นแหล่งซึ่งเสียเวลามากกว่า

[4] Wikipedia. (2014, October 27). Cache. [Online]. Available: https: // th.wikipedia.org/wiki/แคช

2.7 Fair Usage Policy (FUP) [5]

โดยทั่วไปพฤติกรรมการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านมือถือนั้น จะมีปริมาณการใช้ข้อมูลที่ไม่มาก แต่สามารถใช้งานได้ทุกที่ ที่มีสัญญาณโทรศัพท์แต่มีผู้ใช้งานที่เป็นส่วนน้อย(ประมาณ 5%) นำโปรโมชั่น การใช้งานดาต้าบนเครือข่าย 3G แบบไม่จำกัดไปใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่น เช่น การนำไปใช้งาน Bit Torrent โดยใช้โทรศัพท์มือถือต่อเป็นโมเด็ม หรือต่อผ่านแอร์การ์ด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้งานส่วนใหญ่(ประมาณ 95%) ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งาน 3G ลดลงเป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุดังกล่าว ทำให้มาตรฐาน Third Generation Program Partnership (3GPP) Release7 จึงได้มีการทำ Fair Usage Policy เพื่อลดภาระการทำงานของเครือข่ายอันเนื่องมาจากการใช้งานข้อมูลปริมาณมากของผู้ใช้งานบางคน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Policy and Charging Rules Function (PCRF) โดยอยู่บน Core Network และทำงาน ร่วมกับ Gateway GPRS Support Node (GGSN) ที่ทำหน้าที่เป็น gateway เชื่อมต่อระหว่างเครือข่าย GPRS กับ เครือข่ายข้อมูลทั่วไป โดย PCRF จะเป็นผู้บังคับใช้งาน Policy ต่างๆ จะเข้าควบคุมการใช้งาน เช่น การลดแบนด์วิดท์ของทราฟฟิคบางชนิด หรือการที่จะลดปริมาณการใช้งาน เมื่อผู้ใช้งาน ดาวน์โหลดข้อมูลถึงปริมาณหนึ่งๆ เป็นต้น ซึ่งก็จะช่วยจัดการปริมาณทราฟฟิคที่จะเกิดขึ้นในเครือข่ายได้ดีขึ้น เพื่อให้เป็นตามหลักการของนโยบายการใช้งานรับส่งข้อมูลอย่างเหมาะสม (Fair Usage Policy)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องการโครงข่าย LTE และ (Fair Usage Policy-FUP) ดังนี้

2.8.1 งานวิจัย A Study of Fai Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social Networking Applications[6] ผู้วิจัยได้มีการเปรียบเทียบ QoS ของการใช้งาน VoIP จาก Social Network Application ได้แก่ Skype, Line, Tango และ OOVOO ในโครงข่าย 3G ที่อัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดปกติ และโครงข่าย 3G ที่ถูกปรับลดอัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ค่า FUP โดยการใช้งาน VoIP โดยการทดสอบจะทำแบบเคลื่อนที่ ผลที่ได้คือโครงข่าย 3G ที่มีอัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดปกติมีประสิทธิภาพดีกว่ากรณีที่มี FUP อย่างมาก

---

[5] ภาณุพงศ์ สายไพศรี และธนัญ จารุวิทยโกวิท, ต้นแบบระบบกาหนดการใช้งานอย่างยุติธรรมในโครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[6] Apiwan Wiangjan and Pongpisit Wuttidittachotti, A Study of Fair Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social NetworkingApplications, IEEE 2015

2.8.2 งานวิจัย การประเมินประสิทธิภาพ Video Caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE[7] ผู้วิจัยได้มีการจำลองการใช้งานบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE โดยคำนึงถึงผลของตำแหน่งที่ติดตั้ง Video Caching โดยได้จำลองตำแหน่งของ Video Caching อยู่ที่ Data center ส่วนกลาง, กรณี Video Caching อยู่ตามภูมิภาค และกรณี Video Caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ในโครงข่าย LTE โดยสรุปได้ว่ากรณีที่มีการติดตั้ง Caching card บนอุปกรณ์ eNodeB จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอมากที่สุดแต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าใช้จ่ายสูงตามจำนวน eNodeB ที่ใช้งานแต่ในกรณีที่ติดตั้ง Video caching ในส่วนภูมิภาค จะมีประสิทธิภาพด้อยกว่ากรณีที่ติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB อยู่ประมาณ 3% และจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ติดตั้ง Video caching ที่ Data center ส่วนกลางถึง 10% ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นกับการลงทุน งานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE เลือกใช้ Video caching แบบกระจายตามแต่ละภูมิภาค

จากการศึกษางานวิจัยนี้ ยังมีข้อจำกัดดังนี้

1. ยังไม่พบงานวิจัยใดที่เสนอแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการใช้งานสรีมมิ่งวิดีโอ ในขณะที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (Fair Usage Policy -FUP)

[7] นิรมล ศรีโชต, การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE, NCIT 2016

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ

คุณสมบัติ	A Study of Fair Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social Networking Applications	การประเมินประสิทธิภาพ Video Caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE	งานวิจัยที่เสนอ
1. มุ่งเน้นเรื่องการรับประกันคุณภาพในการให้บริการ	✓	✓	✓
2. มีการจำลองพฤติกรรมทางโครงข่าย LTE		✓	✓
3. มีการจำลองรูปแบบทราฟฟิกตามมาตรฐาน 3GPP ภายในโครงข่าย LTE		✓	✓
4. มุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการบริการประเภท Real time	✓	✓	✓
5. ขณะได้รับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP จะได้รับ Video Resoluiton ที่ดีที่สุด			✓

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบเพื่อจำลองโครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย ค่าตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย การนำซอฟต์แวร์ NS2 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับโครงข่าย LTE ที่ได้ทำการจำลอง การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอนกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้งานโครงข่าย LTE แบบเดิม และโครงข่ายที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

3.1 อุปกรณ์ในการจำลองโครงข่าย LTE ที่มีการติดตั้ง Video Caching Server ไว้ที่ตำแหน่ง Data center

3.1.1 อุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) จำนวน 1 เครื่อง โดยทั่วไปคือโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน แท็ปเล็ตหรืออุปกรณ์ในรูปแบบอื่น เช่น USB Dongle

3.1.2 อุปกรณ์สถานีฐาน (eNB) จำนวน 1 เครื่องเป็นระบบสถานีฐาน (Radio Access Network) ส่วนนี้เป็นเครื่องแม่ข่ายรับ-ส่งสัญญาณวิทยุละส่วนควบคุมเพื่อรับส่งสัญญาณติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์มือถือ โดยสถานีฐานจะติดตั้งไว้ตามพื้นที่บริการจุดต่างๆในลักษณะเซลลูล่าร์คล้ายรวงผึ้ง ทำให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ได้เป็นบริเวณกว้าง

3.1.3 อุปกรณ์ S/P-GW Serving Gateway (S-GW) จำนวน 1 เครื่อง เป็นเกตเวย์เชื่อมกับฝั่ง E-UTRAN โดยจะสร้างท่อขนส่งข้อมูล (Bearer) สำหรับผู้ใช้บริการแต่ละราย ข้อมูลการใช้งานต่างๆ ของผู้ใช้บริการจะถูกขนถ่ายผ่าน S-GW ส่งต่อไปที่ Packet Data Network Gateway (P-GW) ไปยังปลายทาง

3.1.4 อุปกรณ์ PCRF (Policy and Charging Rule Function) จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งทำหน้าที่จัดสรรทรัพยากรเพื่อการรองรับการสื่อสารแต่ละประเภทของผู้ใช้บริการแต่ละรายอย่างเหมาะสม โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ชุมสายของเครือข่าย LTE ซึ่งก็คือ S/ PGW

3.1.5 โครงข่ายสาธารณะ (Internet) ซึ่งเป็นโครงข่ายภายนอกเครือข่ายผู้ให้บริการซึ่งมีการเพิ่ม Video Caching Server ไว้และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/PGW ซึ่ง Video Caching Server ที่เชื่อมต่อกับ S/PGW ซึ่งจะเป็นผู้ให้ข้อมูลประเภท Streaming ที่เกิดจากการเรียกใช้บริการจากผู้ใช้บริการ

3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบบนโครงข่าย LTE

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการทำงานของโครงข่ายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ประเภทวิดีโอและอัตราการรับส่งข้อมูลแบ่งการทดสอบออกเป็น 10 กรณี โดยทั้ง 10 กรณีจะใช้วิดีโอต่างกัน 10 เรื่อง คือเรื่องที่ 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a 7a, 8a, 9a และ 10a ในการทดสอบแต่ละเรื่องมีความยาว 30 วินาทีและมี Video Resolution 5 ประเภทตามตารางที่ 3.1 โดยใช้อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ต่างกันคือ 84Mbps, FUP 512Kbps, FUP 384Kbps และ FUP 256Kbps

ตารางที่ 3.1 ประเภทวิดีโอและอัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ[1]

ประเภท	อัตราบิตเรตของวิดีโอ
1080P	3,000Kbps
720P	1,500Kbps
480P	500Kbps
360P	400Kbps
240P	300Kbps

จากตารางที่ 3.1 จะแสดงอัตราการส่งข้อมูลของวิดีโอแต่ละประเภทมีดังนี้

1) วิดีโอประเภท 1080P ใช้อัตราการบิตของการส่งข้อมูลขนาด 3,000Kbps
2) วิดีโอประเภท 720P ใช้อัตราการบิตของการส่งข้อมูลขนาด 1,500Kbps
3) วิดีโอประเภท 480P ใช้อัตราการบิตของการส่งข้อมูลขนาด 500Kbps
4) วิดีโอประเภท 360P ใช้อัตราการบิตของการส่งข้อมูลขนาด 400Kbps
5) วิดีโอประเภท 240P ใช้อัตราการบิตของการส่งข้อมูลขนาด 300Kbps

[1] Live encoder settings, bitrates, and resolutionsYouTube Help https://support. google. com/youtube/answer/2853702?hl=th

3.2.2 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั้งเส้นทางของการอัพโหลดและเส้นทางของการดาวน์โหลดได้กำหนดขนาดแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE ว่าสามารถรองรับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดได้เท่าใด และกำหนดค่าความล่าช้าทางเวลาที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในการรับส่งข้อมูลดังกล่าวว่าเกิดขึ้นเท่าใดในแต่ละการเชื่อมต่อ ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขนาดแบนด์วิดท์และค่าความล่าช้าทางเวลาของการเชื่อมต่อของแต่ละอุปกรณ์บนเส้นทางของการอัพโหลดและเส้นทางของการดาวน์โหลดของแต่ละการเชื่อมต่อบนโครงข่าย LTE กรณีที่มี Video Caching Server ติดตั้งอยู่ที่ Data center[2]

การเชื่อมต่อของอุปกรณ์บนโครงข่าย LTE	**ขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการอัพโหลด (Mbps)**	**ขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลด**	**ความล่าช้าทางเวลาที่เกิดระหว่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์ (msec)**
1. อุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) กับอุปกรณ์สถานีฐาน (eNB)	1. 21Mbps 2. 512Kbps 3. 384Kbps 4. 256Kbps	1. 84Mbps 2. 512Kbps 3. 384Kbps 4. 256Kbps	22
2. อุปกรณ์สถานีฐาน (eNB)กับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	4
3. อุปกรณ์ S/P-GW กับ Video Caching Server	1000	1000	2

[2] Yi-Bing Lin and Pin-Jen Lin, “Performance Measurements of TD-LTE, WiMAX and 3G Systems,” IEEE Wireless Communications

จากตารางที่ 3.2 แสดงขนาดแบนด์วิดท์และค่าความล่าช้าทางเวลาของการเชื่อมต่อของแต่ละอุปกรณ์บนเส้นทางของการอัพโหลดและเส้นทางของการดาวน์โหลดของแต่ละการเชื่อมต่อบนโครงข่าย LTE ดังนี้

3.2.2.1 การเชื่อมต่อที่ 1 คือการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) กับสถานีฐาน (eNB) ขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการอัพโหลดคือ 21Mbps และขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลดคือ 84 Mbps, 512Kbps, 384Kbps และ 256Kbps และมีความล่าช้าทางเวลาที่เกิดระหว่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์คือ 22 msec

3.2.2.2 การเชื่อมต่อที่ 2 คือการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐาน (eNB) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW มีขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการอัพโหลดและเส้นทางการดาวน์โหลดที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าทางเวลาที่เกิดระหว่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์คือ 4 msec

3.2.2.3 การเชื่อมต่อที่ 3 คือการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับ Video Caching Server มีขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการอัพโหลดและเส้นทางดาวน์โหลดที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าทางเวลาที่เกิดระหว่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์คือ 2 msec

3.2.3 ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดการจราจรภายในโครงข่าย LTE คือบริการประเภท Streaming และ บริการประเภท Background Traffic ซึ่งจะมีคุณลักษณะตามตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการจราจรในโครงข่าย LTE ประเภท Streaming

การบริการ	**แอพพลิเคชั่นที่ใช้งาน**	**ขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ใช้งาน (ไบต์)**	**อัตราการบิตของการส่งข้อมูล**
Streaming[3]	Video Streaming (มาตรฐาน H.264)	1064	ขึ้นอยู่กับประเภทวิดีโอตามตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 3.3 บริการประเภท Streaming ใช้มาตรฐาน H.264 และขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ใช้งานคือ 1064 (ไบต์) อัตราการบิตของการส่งข้อมูลของวิดีโอแต่ละประเภทตามตารางที่ 3.1

[3] H.264, http://csie.nqu.edu.tw/smallko/ns2/myEvalvid.htm

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการจราจรในโครงข่าย LTE ป5เภท Background Traffic

การบริการ	แอพพลิเคชั่นที่ใช้งาน	ขนาดข้อมูลที่ใช้งาน (ไบต์)	ขนาดแบนวิดท์	อัตราการบิตของ Background Traffic ต่อผู้ใช้งาน 1 ราย		
				Minimum	**Maximum**	**Average**
Background Traffic[4]	VBR	1500	1. 84Mbps	1.8Mbps	3Mbps	2.4Mbps
			2. 512Kbps	90Kbps	153Kbps	121.3Kbps
			3. 384Kbps	80Kbps	115Kbps	97.5Kbps
			4. 256Kbps	42Kbps	76Kbps	59Kbps

จากตารางที่ 3.4 บริการประเภท Background Traffic ซึ่งเป็นการใช้งานประเภท VBR และขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ใช้คือ 1500 (ไบต์) และกำหนดให้มี burst time 500 มิลลิวินาที idle time 400 มิลลิวินาที โดยการทดสอบของงานวิจัยนี้กำหนดให้มี Background Traffic ตามขนาดของแบนวิดท์ที่ต่างกันคือ

1. แบนวิดท์ขนาด 84Mbps กำหนดให้มี Background Traffic ต่อผู้ใช้งาน 1 รายคือค่าต่ำสุดที่ 1.8Mbps และค่าสูงสุด 3Mbps และมีค่าเฉลี่ย 2.4Mbps

2. แบนวิดท์ขนาด 512Kbps กำหนดให้มี Background Traffic ต่อผู้ใช้งาน 1 รายคือค่าต่ำสุดที่ 90Kbps และค่าสูงสุด 153Kbps และมีค่าเฉลี่ย 121.3Kbps

3. แบนวิดท์ขนาด 384Kbps กำหนดให้มี Background Traffic ต่อผู้ใช้งาน 1 รายคือค่าต่ำสุดที่ 80Kbps และค่าสูงสุด 115Kbps และมีค่าเฉลี่ย 97.5Kbps

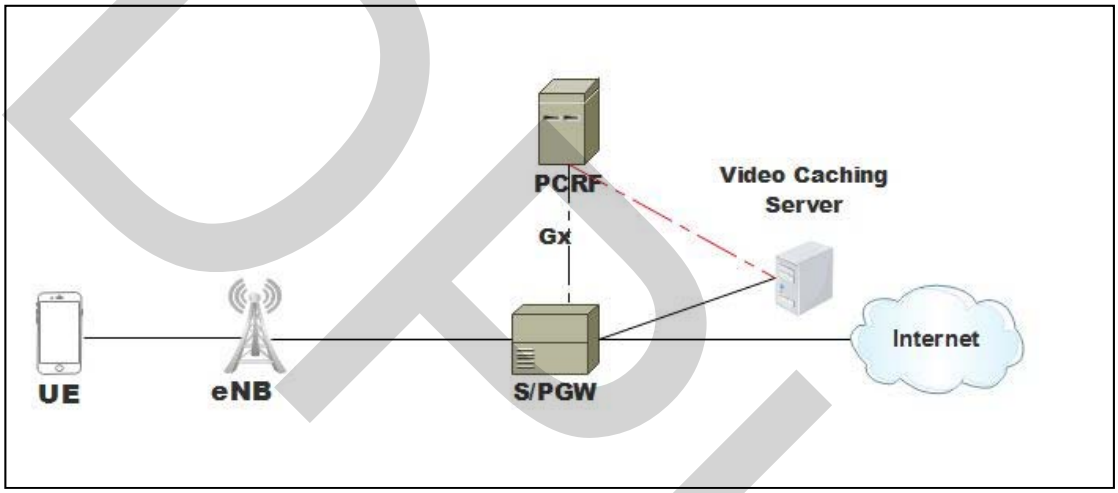
4. แบนวิดท์ขนาด 256Kbps กำหนดให้มี Background Traffic ต่อผู้ใช้งาน 1 รายคือค่าต่ำสุดที่ 42Kbps และค่าสูงสุด 76Kbps และมีค่าเฉลี่ย 59Kbps

[4] A.Johanna. TCP Performance Simulation in NS2

3.3 การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE

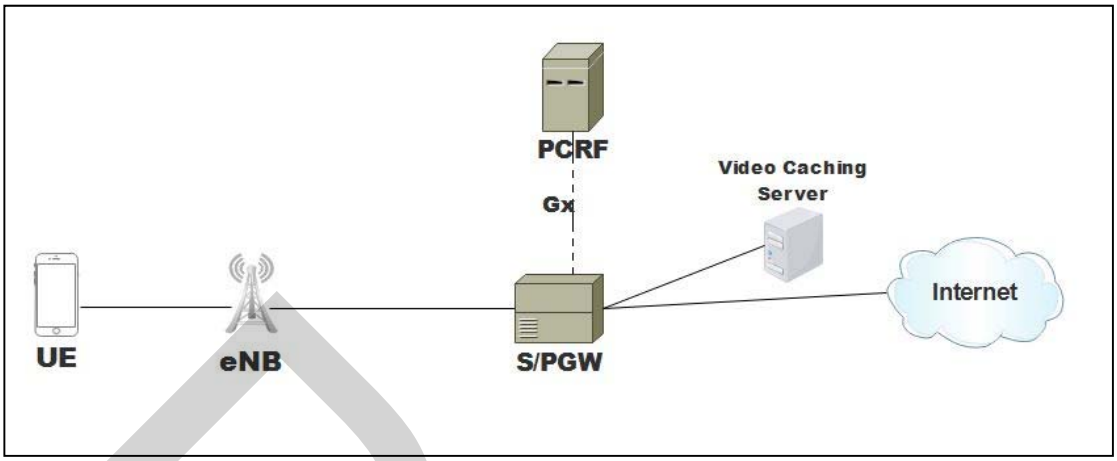
การทดสอบการทำงานโครงข่าย LTE กรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ในงานวิจัยนี้ มีการทดสอบโครงข่าย LTE 2 รูปแบบ ได้แก่

1. กรณีโครงข่าย LTE แบบเดิมที่ไม่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม
2. กรณีโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยมีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม



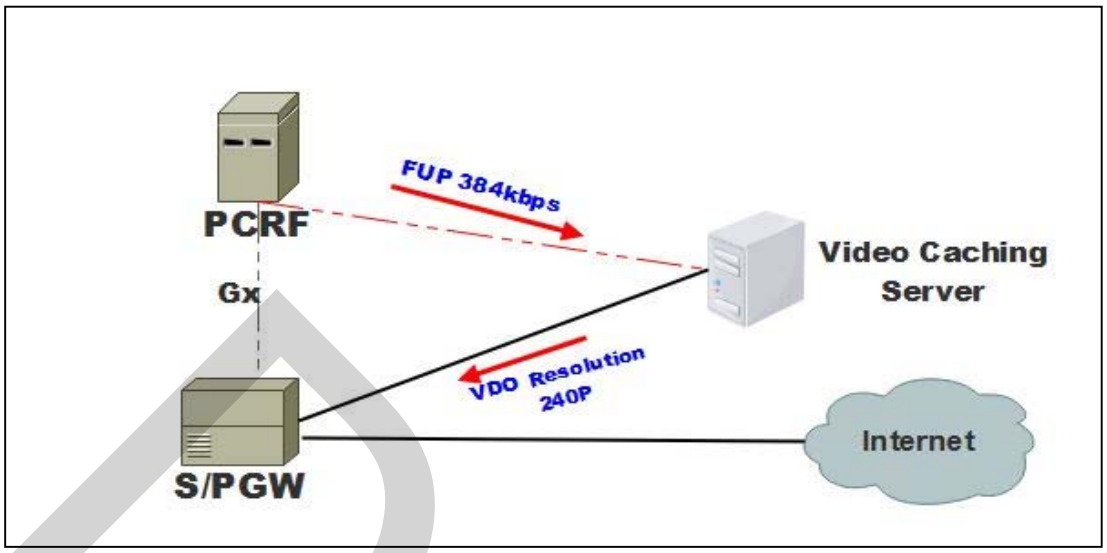
ภาพที่ 3.1 กรณี LTE โครงข่ายเดิมที่ไม่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

ภาพที่ 3.1 แสดงให้เห็นการทำงานบนโครงข่าย LTE แบบเดิมที่ไม่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมคือไม่มีการเพิ่มหน้าที่ให้กับ PCRF ให้ทำงานร่วมกับ Video Caching Server ในกรณีนี้หากผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ในการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของผู้ใช้บริการ ผู้ใช้บริการจะได้รับชมภาพยนต์ในแบบที่ภาพกระตุก หรือหยุดการการดาวน์โหลดไป ทำให้การรับบริการสตรีมมิ่งวิดีโอไม่ราบรื่น และเกิดประสบการณ์ในการใช้งานที่ไม่ดี



ภาพที่ 3.2 กรณีโครงข่าย LTE ที่นำเสนอที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

ภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นการทำงานบนโครงข่าย LTE ที่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม คือมีการเพิ่มหน้าที่การทำงานให้กับ PCRF (Policy and Charging Rules Function) ให้ทำงานร่วมกับ Video Caching Server ซึ่งเป็นตัวที่เก็บวิดีโอที่มีการเรียกใช้บริการซ้ำๆ และในกรณีนี้หากผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ในการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของผู้ใช้บริการ ผู้ใช้บริการจะได้รับชมภาพยนต์ในแบบที่ภาพราบรื่น ภาพไม่หยุดนิ่ง ไม่เกิดการกระตุก เนื่องจากในการเพิ่มหน้าที่ให้กับ PCRF ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การทำงานของ PCRF ที่เพิ่มหน้าที่ทำงานร่วมกับ Video Caching Server

จากภาพที่ 3.3 แสดงการทำงานของ PCRF (Policy and Charging Rules Function) ที่มีเพิ่มหน้าที่การทำงานร่วมกับ Video Caching Server ในโครงข่ายที่นำเสนอ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับรู้ถึงอัตราการใช้งานของผู้ใช้บริการแต่ล่ะรายว่าสามารถใช้ขนาดแบนด์วิดท์ในการอัพโหลดและดาวน์โหลดได้กว้างเพียงใดในขณะนั้น และจะส่งข้อมูลอัตราการใช้งานในกรณที่ผู้ใช้บริการติด FUP หรือถูกกฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมไปยัง Video Caching Server เมื่อ Video Caching Server รับรู้ถึงอัตราการอัพโหลดและดาวน์โหลดของผู้ใช้บริการ Video Caching Server จะทำการ Convert Video จากการเรียกชม Video Resolution สูงๆ เช่น 1080P ซึ่งมีอัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลเกินขนาดแบนด์วิดท์ของผู้ใช้งานที่ติด FUP ลงมาที่ Video Resolution ที่ FUP นั้นๆ รับได้จึงทำให้การรับชมภาพยนต์เกิดความราบรื่นขึ้น

3.4 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย[5]

พิจารณาจากการวัดค่าต่างๆ ดังนี้

การวัดประสิทธิภาพทางโครงข่ายที่ใช้ในการทดลองนี้จะพิจารณาจาก 3 ตัวแปรคือ อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย และค่าการแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย

---

[5] วรสิทธิพล ทมโคตร, การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE. EECON37 (ม.ป.ท : ขอนแก่น, 2557), น. 631-634.

3.4.1 อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) คือปริมาณที่ชี้วัดความสำเร็จในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทาง

อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ คำนวณได้จากสมการที่ (3-1)

$$PDR = \frac{\sum N_R}{\sum N_S} \times 100 \quad (3\text{-}1)$$

$$\text{Packet Loss} = 100 - PDR \quad (3\text{-}2)$$

จากสมการที่ (3-1) อธิบายได้ดังต่อไปนี้

N_R คือจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่อุปกรณ์ของผู้ร้องขอบริการได้รับทั้งหมด

N_S คือจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายส่งออกมาเพื่อให้บริการแก่ผู้ร้องขอบริการทั้งหมด

การคำนวณอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูล (Packet loss) สามารถคำนวณได้จากสมการ (3-2)

3.4.2 ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย (Delay) คือเวลาเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต้นทางไปกับอุปกรณ์ปลายทาง คำนวณได้จากสมการที่ (3-3)

$$\text{Avg. delay} = \frac{\sum(\text{Rtime}(i) - \text{Stime}(i))}{n} \quad ;1 \leq i \leq n \quad (3\text{-}3)$$

จากสมการที่ (3-3) อธิบายได้คือ

Rtime(i) คือ เวลาที่อุปกรณ์ปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลที่ i

Stime(i) คือ เวลาที่อุปกรณ์ต้นทางส่งกลุ่มข้อมูลที่ i

n คือ จำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่อุปกรณ์ปลายทางได้รับ

3.4.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย (Jitter) คือค่าผันแปรของเวลาเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต้นทางกับปลายทางคำนวณได้จากสมการที่ (3-4)

$$\text{Avg.Jitter} = \frac{\sum (delay(i) - avg.delay)^2}{n-1} \quad ;1 \leq i \leq n \quad (3\text{-}4)$$

จากสมการที่ (3-4) อธิบาย ได้คือ

delay (i) คือค่าความล่าช้าทางเวลาของกลุ่มข้อมูล i ที่เกิดจากการข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทางไปอุปกรณ์ปลายทาง

avg.delay คือค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด

n คือจำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่อุปกรณ์ปลายทางได้รับ

3.5 การนำซอฟต์แวร์ NS2 มาใช้งานร่วมกับการทดสอบวิดีโอสตรีมมิ่งบนโครงข่าย LTE

การเขียนโปรแกรมคำสั่งบน NS2 แบ่งเป็น 2 ส่วนคือภาษา TCL และ C++ ซึ่งมมีหน้าที่ต่างกันคือ

1. ภาษา TCL ใช้เพื่อ Simulation script, Configuration และทดสอบผล
2. ภาษา C++ ใช้เพื่อการสร้าง Protocol, Node ต่างๆ โดยใช้กำหนดคุณสมบัติของกระบวนการทำงานของแต่ละ packet

สตรีมมิ่ง เป็นการบริการชมภาพยนตร์โดยในการทดสอบจะใช้วิดีโอจริง ในการทดสอบบริการภาพยนตร์โดยนำ H.264 ของ Evalvid มาใช้งานมีและขั้นตอนวิธีการดังต่อไปนี้[6]

ขั้นที่ 1 เตรียมไฟล์วิดีโอที่จะนำมาใช้ในการทดสอบโดยวิดีโอประเภท MP4 ที่มีความละเอียดของภาพแต่ละประเภทตามตารางที่ 3.1

ขั้นที่ 2 แปลงไฟล์วิดีโอจากนามสกุล MP4 ให้เป็นนามสกุล m4v ซึ่งเป็นรูปแบบสำหรับการให้บริการภาพยนตร์โดยคำสั่งในการแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับต้องใช้ซอฟต์แวร์ FFMPEG ในการแปลงไฟล์โดยใช้คำสั่งตามภาพ 3.4

```
ffmpeg -i 1a.mp4 -ss 00:00:00 -t 00:00:30 -codec:v libx264 -profile:v high -preset slow -b:v 3000k
-maxrate 3000k -bufsize 3000k -s 1920*1080 -threads 0 1a.m4v
```

ภาพที่ 3.4 คำสั่งแปลงไฟล์วิดีโอจากไฟล์ต้นฉบับให้อยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการสตรีมมิ่ง

จากภาพที่ 3.4 คำสั่งในการแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับให้อยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการสตรีมมิ่งมีดังนี้

---

[6] วรสิทธิพล ทมโคตร, การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE. EECON37 (ม.ป.พ. : ขอนแก่น, 2557), น. 631-634.

1. i 1a.mp4 เป็นคำสั่งเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้นฉบับ ชื่อไฟล์ 1a.mp4

2. ss 00:00:00 เป็นคำสั่งที่เลือกเวลาเริ่มต้นในการแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับในอยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการสตรีมมิ่ง เวลาที่ต้องการระบุหน่วยคือ ชั่วโมง:นาที:วินาที

3. t 00:00:30 เป็นคำสั่งที่เลือกระยะเวลาที่ติ้งการให้สิ้นสุดที่แปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับในอยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการสตรีมมิ่ง หน่วยคือชั่วโมง:นาที:วินาที

4. codec:v libx264 เป็นคำสั่งที่ใช้ระบุให้มีการเข้ารหัสมาตรฐานแบบ H.264

5. profile:v high คำสั่งแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับแบบคุณภาพสูง

6. preset slow คำสั่งให้ libx264 library เลือกการแปลงแบบละเอียด

7. b:v 3000k เป็นคำสั่งกำหนด bitrate ให้อยู่ที่ 3000 kbps

8. maxrate 3000k เป็นคำสั่งกำหนด maximum bitrate เป็น 3000 kbps

9. bufsize 3000k เป็นคำสั่งที่ใช้ระบุขนาดของ buffer เป็น 3000 kbits

10. s 1920*1080 เป็นการระบุความละเอียดภาพที่ 1080P ในการทดสอบของงานวิจัยนี้สามารถระบุประเภทของความละเอียดได้ตามตารางที่ 3.4

11. threads 0 คำสั่งที่ระบุ thread ที่จะนำมาใช้ในการแปลงไฟล์วิดีโอ

12. 1a.m4v คือคำสั่งที่ระบุชื่อวิดีโอผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงไฟล์

ตารางที่ 3.5 ประเภทวิดีโอและความละเอียดภาพ

ประเภทวิดีโอ	ความละเอียดภาพ
1080P	1920x1080
720P	1280x720
480P	854x480
360P	640x360
240P	426x240

ขั้นที่ 3 กำหนด packet size และ frame rate ที่นำไปใช้ในการทดสอบใช้คำสั่งต่อไปนี้

```
MP4Box -hint -mtu 1400 -fps 30 -add 1a.m4v 1as.mp4
```

ภาพที่ 3.5 คำสั่งกำหนด packet size และ frame rate

จากภาพที่ 3.5 แสดงคำสั่งกำหนด packet size และ frame rate มีรายละเอียดคือ

1. mtu 1400 เป็นการระบุ Maximum Transmission Unit ที่ 1400 Bytes
2. fps 30 เป็นการการระบุ frame rate ในการทดสอบนี้ใช้ค่า 30 frame per sec

ภาพที่ 3.6 ภาพจากการแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์ประเภท .mp4

ภาพที่ 3.6 เป็นภาพตัวอย่างที่มาจากไฟล์วิดีโอที่จะนำไปใช้ในการทดสอบเป็นไฟล์วิดีโอเป็นประเภท .mp4

ขั้นที่ 4 คำสั่งสร้างการเชื่อมต่อใช้คำสั่งตามภาพที่ 3.8

```
nc -l -u localhost 12346 > /dev/null
```

ภาพที่ 3.7 คำสั่งสร้างการเชื่อมต่อ

จากภาพที่ 3.7 แสดงคำสั่งการสร้างการเชื่อมต่อมีรายละเอียดดังนี้

1. nc เป็นคำสั่ง netcat ที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อ
2. การทำงานเป็น listen mode
3. u เป็นการเชื่อมต่อแบบ UDP
4. localhost 12346 คือการระบุที่อยู่ของเครื่องแม่ข่ายผ่าน port หมายเลข 12346

ขั้นที่ 5 การให้บริการ Streaming และการจัดเก็บวิดีโอเพื่อใช้ในการทดสอบโดยใช้คำสั่งตามภาพ 3.98

```
mp4trace -f -s 192.168.1.6 12346 1as.mp4 > 1a.st
```

ภาพที่ 3.8 การให้บริการ Streaming และการจัดเก็บวิดีโอเพื่อใช้ในการทดสอบ

จากภาพที่ 3.8 แสดงการให้บริการ Streaming และการจัดเก็บวิดีโอเพื่อใช้ในการทดสอบดังนี้

1. mp4trace เป็นการติดตามการทำงานของการให้บริการ Streaming
2. f –s 192.168.1.6 12346 เป็นการระบุปลายทางที่ต้องการให้บริการ Streaming ซึ่งระบุหมายเลข IP เครื่องปลายทาง และหมายเลข port 12346
3. - >1a.st เป็นคำสั่งที่ใช้ระบุผลลัพธ์ของการจัดเก็บวิดีโอเพื่อใช้ในการทดสอบเป็นนามสกุล .st

DPU

บทที่ 4
ผลการศึกษา

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาการวิจัยและการอภิปลายผลการศึกษาวิจัย โดยได้จำลองการทำงานของโครงข่าย LTE แบบเดิมที่ไม่มีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม และโครงข่าย LTE ที่นำเสนอคือมีการเพิ่มกลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ดังที่แสดงในภาพ 3.2 – 3.3

ในการทดสอบการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิม และโครงข่ายที่นำเสนอจะมีการจำลองการจราจรที่ต่างกัน 2 เหตุการณ์คือ

เหตุการณ์ที่ 1 ทดสอบโดยการจำลองการจราจรโดยการเรียกใช้บริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว

เหตุการณ์ที่ 2 ทดสอบโดยการจำลองการจราจรโดยการเรียกใช้บริการประเภท Streaming ร่วมกับ Background Traffic และในการเพิ่ม Background Traffic นี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอทำให้ประสิทธิภาพของการใช้บริการลดลงเนื่องจากต้องใช้ขนาดแบนวิดท์ที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งในการทดสอบการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีจะมีการทำงานมาจากบริการ 2 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

1. บริการประเภท Streaming คือบริการรับชมภาพยนต์
2. บริการประเภท Background Traffic คือบริการดาวน์โหลดข้อมูลจากเครื่องแม่ข่าย

โดยในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งบนโครงข่ายเดิมและบนโครงข่ายที่นำเสนอ มีการวัดผลของประสิทธิภาพทางโครงข่ายดังต่อไปนี้

1. ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR)
2. ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)
3. ค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

4.1 การทดสอบ

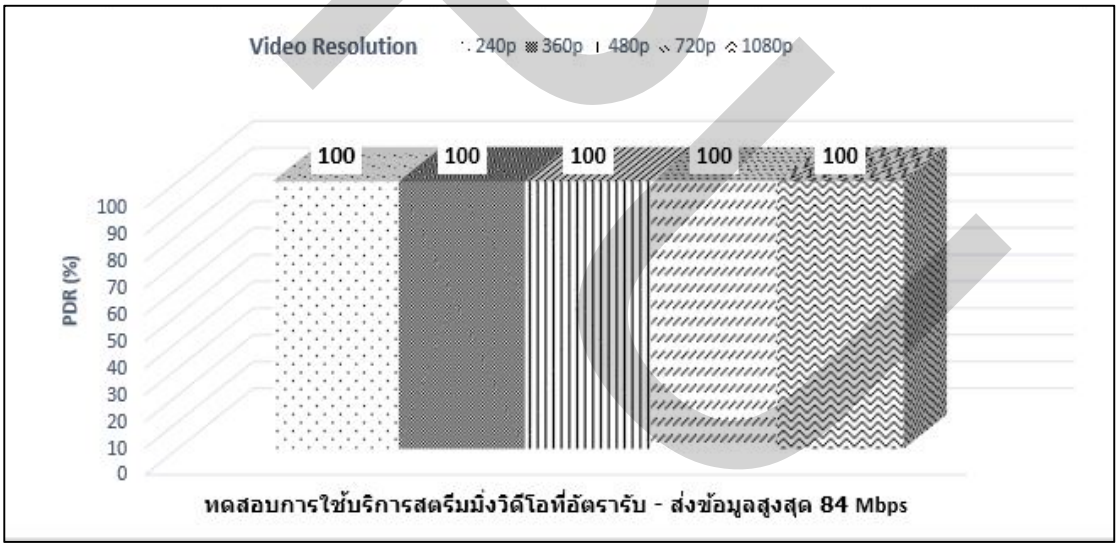
โดยการทดสอบแบ่งเป็น 2 หัวข้อดังนี้

4.1.1 ทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ

4.1.2 ทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับ Background Traffic บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ

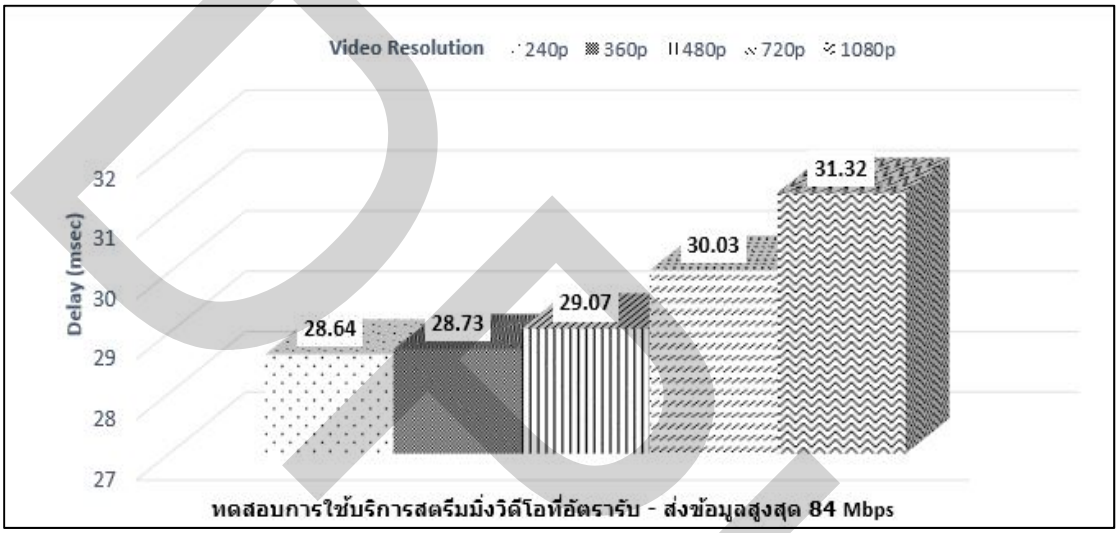
หัวข้อการทดสอบที่ 4.1.1 ทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ

4.1.1.1 การทดสอบที่ 1 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยใช้อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps ซึ่งเป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการและกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ตามลำดับ



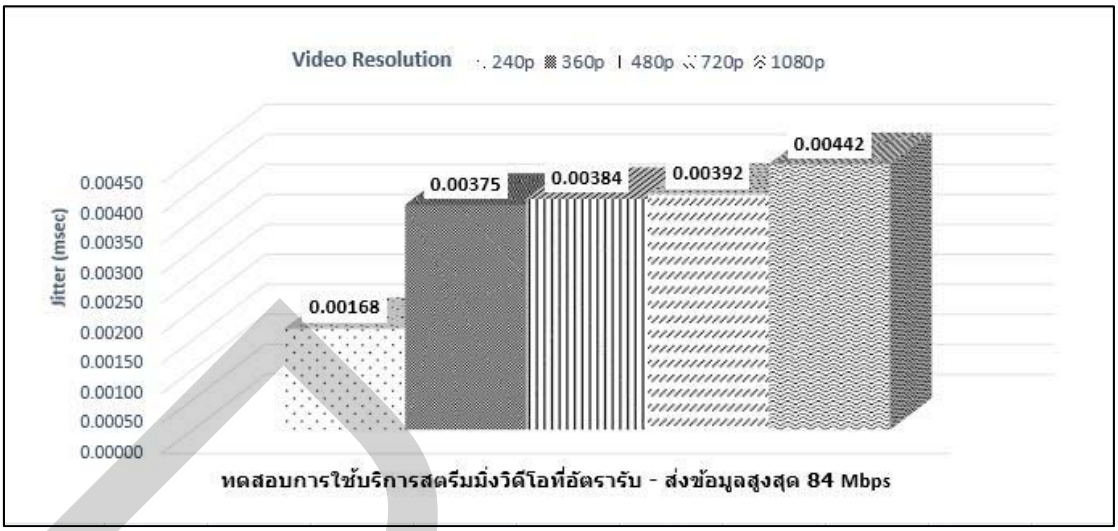
ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยใช้อัตตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะพบว่ามีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 5 ประเภทเนื่องจากผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps ซึ่งมีขนาดกว้างมากพอที่จะสามารถรองรับการสตรีมมิ่งได้ และอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps ยังเป็นอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการ จึงสามารถเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

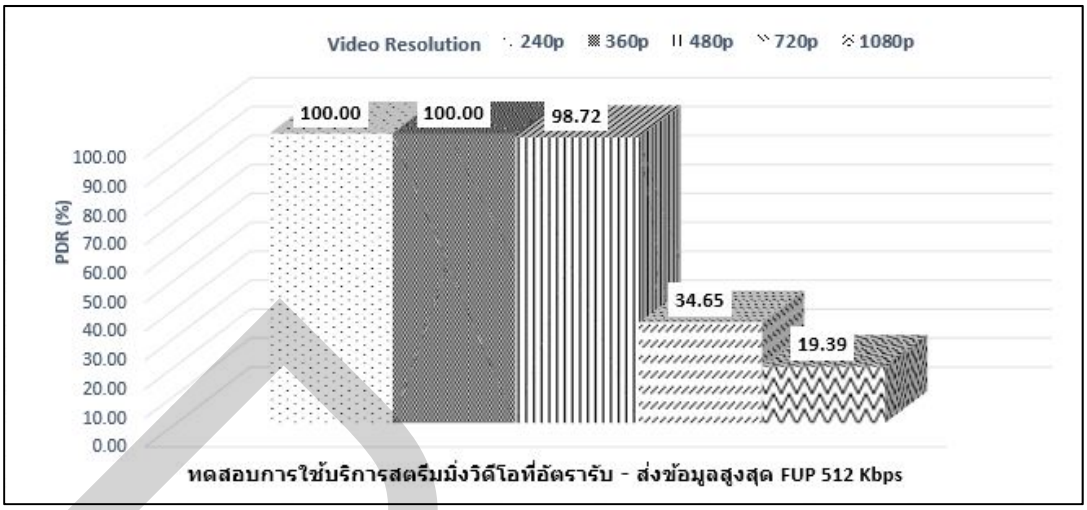
จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอนั้นจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้ Video Resolution ประเภท 1080P มีค่าความล่าช้าทางเวลามากสุดคือ 31.32 มิลลิวินาที ประเภท 720P, 480P, 360P และ 240P มีค่าความล่าช้าลดลงตามลำดับคือ 30.03 มิลลิวินาที, 29.07 มิลลิวินาที, 28.73 มิลลิวินาที และ 28.64 มิลลิวินาที แต่สำหรับการใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps ที่ผู้ใช้บริการได้รับเป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลดจึงมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ โดยใช้อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอนั้นจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้ Video Resolution ประเภท 1080P มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลามากสุดคือ 0.00442 มิลลิวินาที ประเภท 720P, 480P, 360P และ 240P จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาลดลงมาตามลำดับคือ 0.00392 มิลลิวินาที 0.00384 มิลลิวินาที 0.00375 มิลลิวินาที และ 0.00168 มิลลิวินาที แต่สำหรับการใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps ที่ผู้ใช้บริการได้รับเป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลด จึงมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น

4.1.1.2 การทดสอบที่ 2 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps มีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 19.39 เปอร์เซ็นต์

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps มีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 34.65 เปอร์เซ็นต์

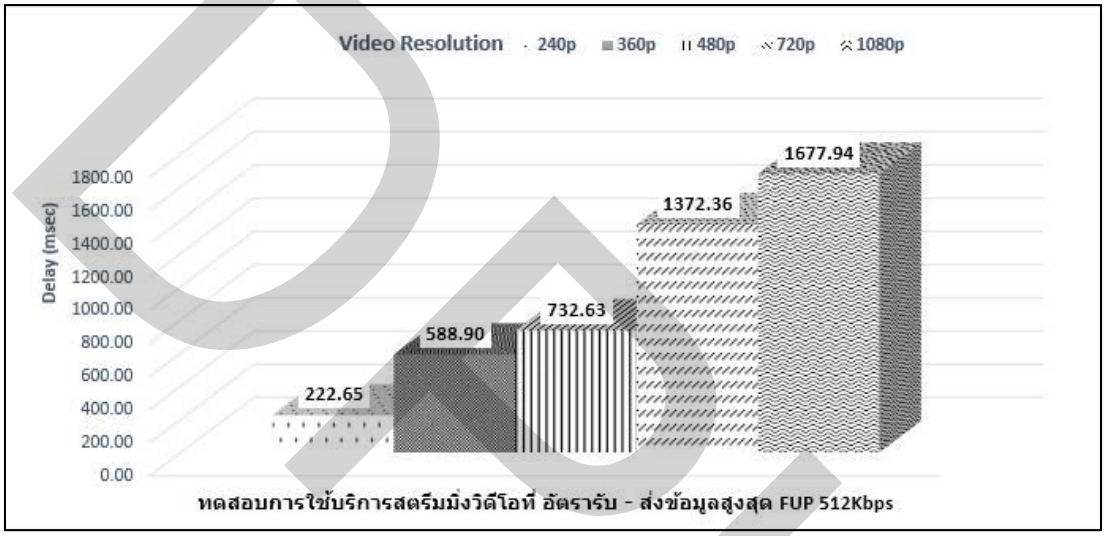
3. ในการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 98.72 เปอร์เซ็นต์

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps มีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 100 เปอร์เซ็นต์

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps มีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 100 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 2 ประเภทแรก คือ 1080P และ 720P มีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับคือ 512Kbps จึงทำให้มีค่าอัตราการ

รับส่งข้อมูลสำเร็จต่ำ และ Video Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P มีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับจึงทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างสูง และบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะถูกปรับให้เป็นวิดีโอประเภท 480P เนื่องจากเป็นวิดีโอประเภทที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างสูงและมีความคมชัดมากที่สุดหากเทียบกับวิดีโอประเภท 360P และ 240P



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps จึงทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1677.94 มิลลิวินาที

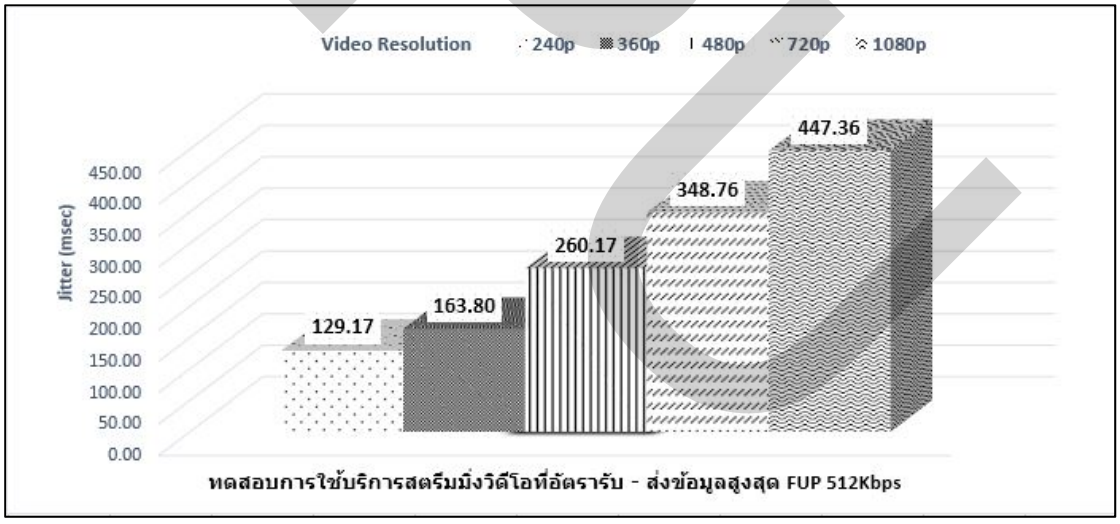
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1372.36 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 732.63 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 588.90 มิลลิวินาที

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 222.65 มิลลิวินาที

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 2 ประเภทแรกคือ 1080P และ 720P มีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ คือ 512Kbps จึงทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง และ Video Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P มีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับจึงทำให้ค่าความล่าช้าทางเวลาลดลง บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 480P เนื่องจากเป็นค่าที่มีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้และเป็นค่าที่มีความคมชัดมากสุดหากเทียบกับ Video Resolution ประเภท 360P และ 240P ที่มีค่าความล่าช้าทางเวลาต่างกันไม่มากนัก



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิม จะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps จึงทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 447.36 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 348.76 มิลลิวินาที

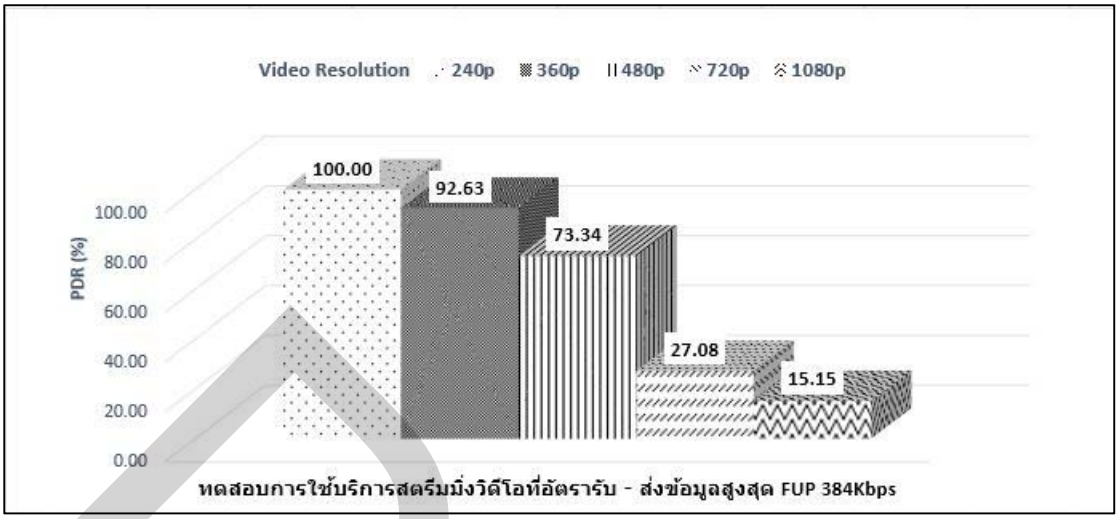
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 260.17 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเลา 163.80 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทาง 129.17 มิลลิวินาที

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 2 ประเภทแรกคือ 1080P และ 720P มีอัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ คือ 512Kbps จึงทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง และVideo Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P มีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับจึงทำให้ค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาลดลง บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 480P เนื่องจากเป็นค่าที่มีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้และเป็นค่าที่มีความคมชัดมากสุดหากเทียบกับ Video Resolution ประเภท 360P และ 240P ที่มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาต่างกันไม่มากนัก

4.1.1.3 การทดสอบที่ 3 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 15.15 เปอร์เซ็นต์

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 27.08 เปอร์เซ็นต์

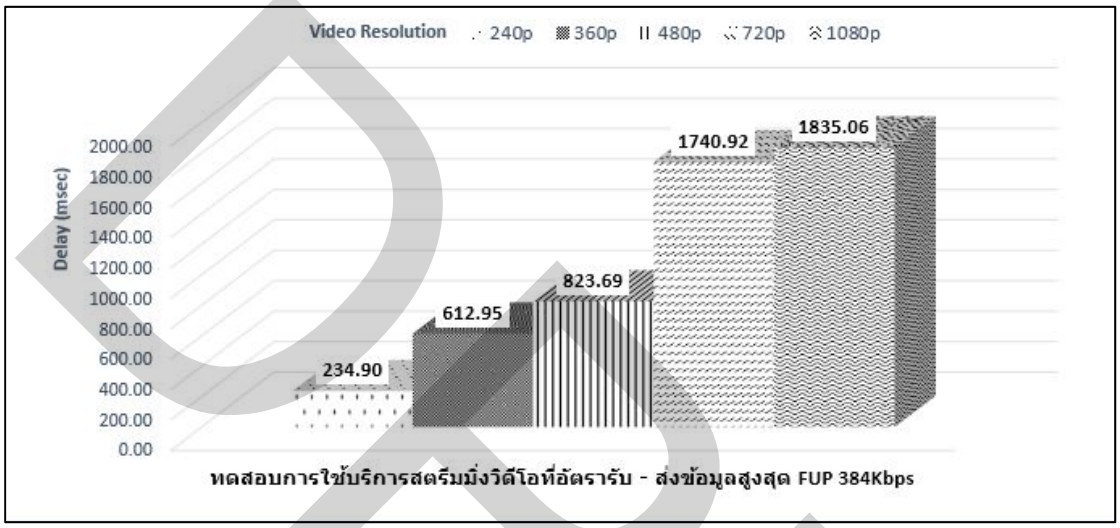
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 73.34 เปอร์เซ็นต์

4. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 92.63 เปอร์เซ็นต์

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300 Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 100 เปอร์เซ็นต์

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 4 ประเภทแรกคือ 1080P, 720P, 480P และ 360P มีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ คือ 384Kbps จึงทำให้

มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างต่ำ และVideo Resolution ประเภท 240P มีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลผู้ใช้บริการได้รับจึงทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างสูง และบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะถูกปรับให้เป็นวิดีโอประเภท 240P เนื่องจากเป็นวิดีโอประเภทที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จสูงและมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ ของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps จึงทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1835.06 มิลลิวินาที

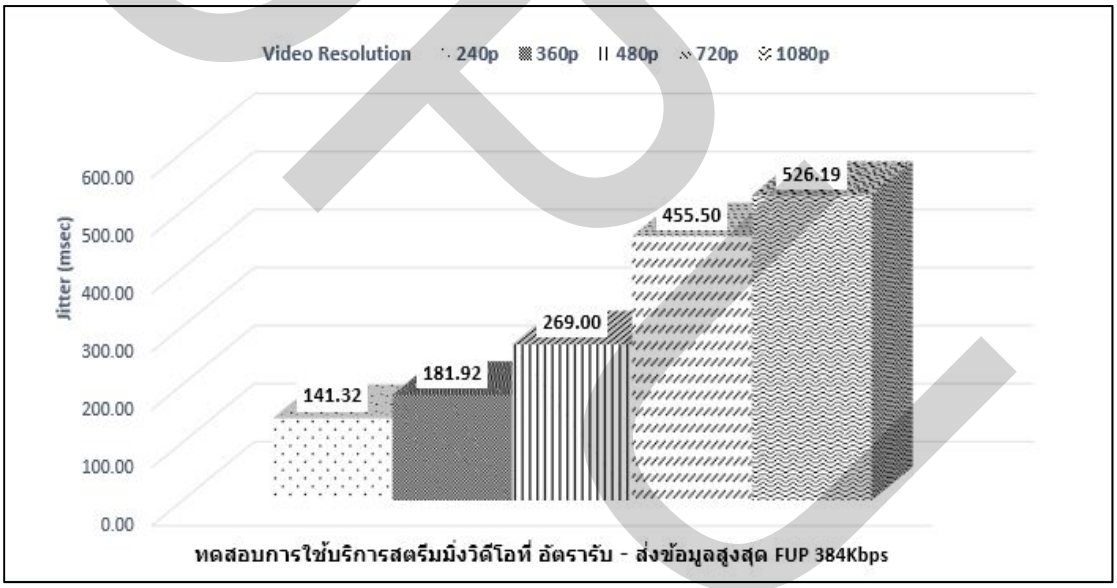
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1740.92 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 823.69 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 612.95 มิลลิวินาที

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 234.90 มิลลิวินาที

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 4 ประเภทแรกมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับคือ 384Kbps จึงทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง และ Video Resolution ประเภท 240P มีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลผู้ใช้บริการได้รับจึงทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างต่ำ และบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะถูกปรับให้เป็นวิดีโอประเภท 240P เนื่องจากเป็นวิดีโอประเภทที่มีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างต่ำและมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps จึงทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 526.19 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 455.50 มิลลิวินาที

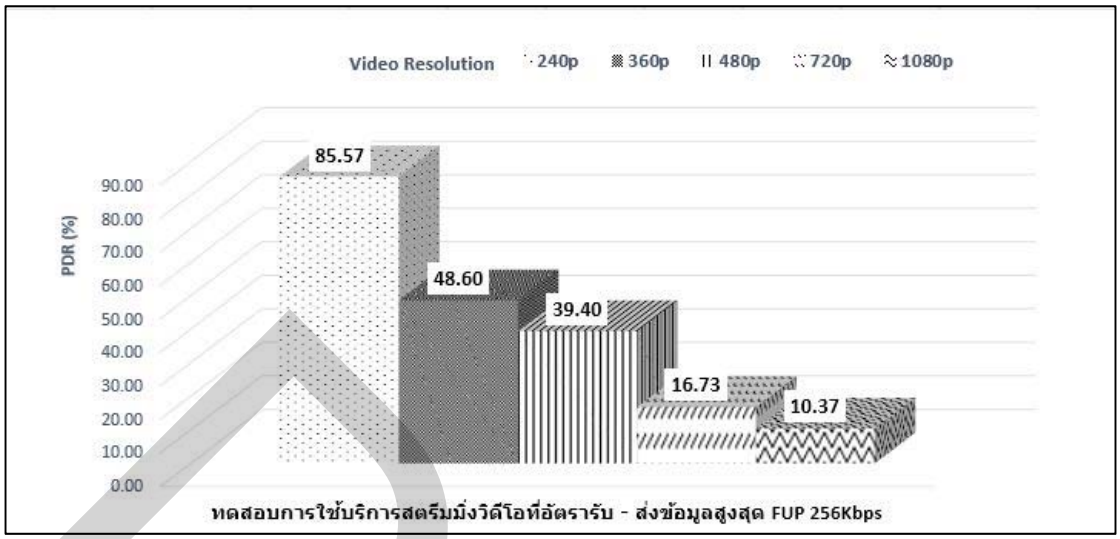
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 269.00 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเลา 181.92 มิลลิวินาที

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 141.32 มิลลิวินาที

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 4 ประเภทแรกมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ คือ 384Kbps จึงทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูงและ Video Resolution ประเภท 240P ที่มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาต่ำที่สุดเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ และบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะถูกปรับให้เป็นวิดีโอประเภท 240P เนื่องจากเป็นวิดีโอประเภทที่มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างต่ำและมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้

4.1.1.4 การทดสอบที่ 4 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 10.37 เปอร์เซ็นต์

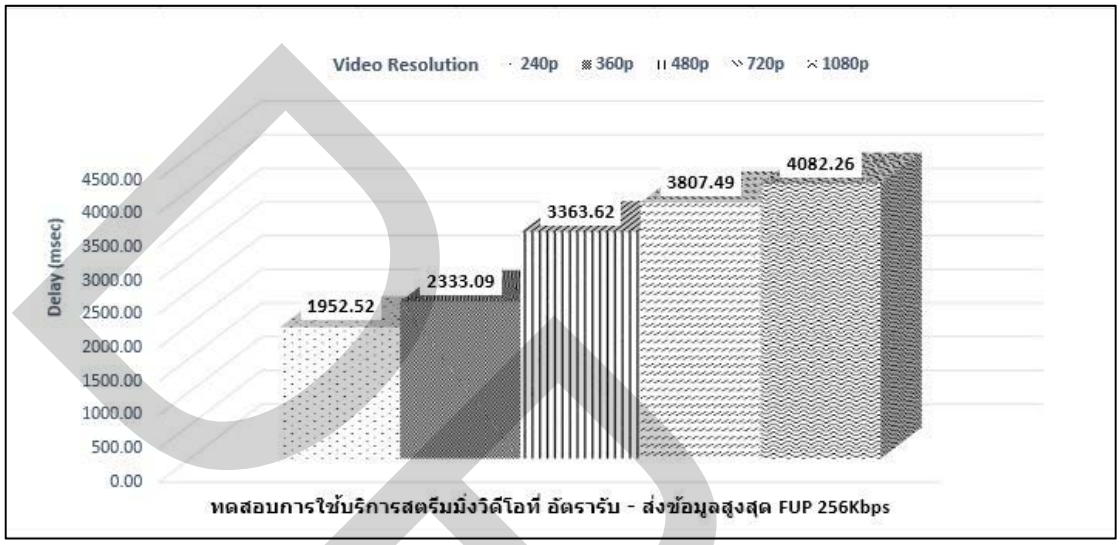
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 16.73 เปอร์เซ็นต์

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 39.40 เปอร์เซ็นต์

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 48.60 เปอร์เซ็นต์

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 85.57 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมากกว่าขนาดอัตราการับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps มีค่าความล่าช้าทางเวลา 4082.26 มิลลิวินาที

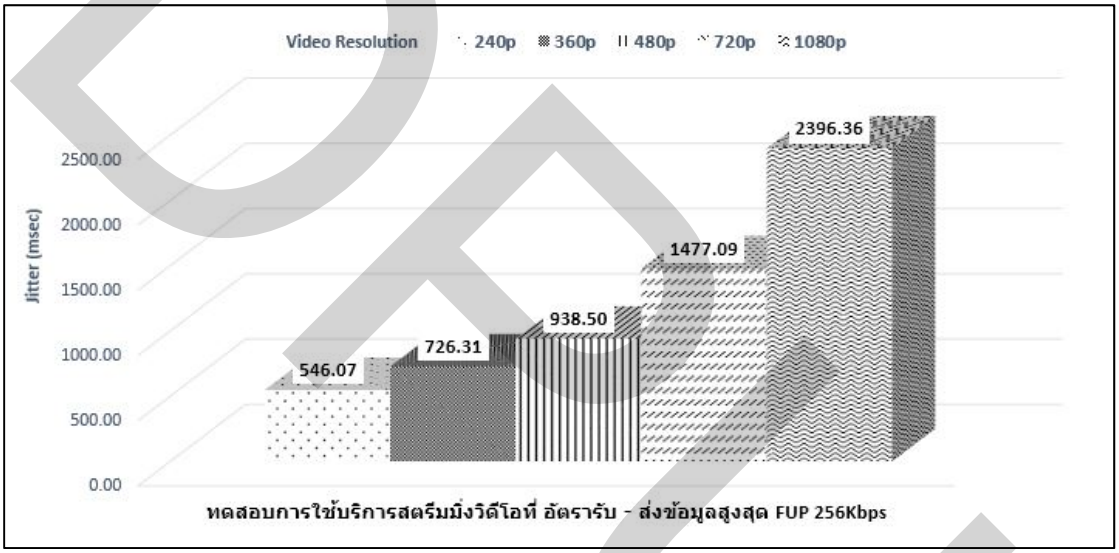
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps มีค่าความล่าช้าทางเวลา 3807.49 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps มีค่าความล่าช้าทางเวลา 3363.62 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2333.09 มิลลิวินาที

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1952.52 มิลลิวินาที

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีขนาดมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P

จากภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 2396.36 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1477.09 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 938.50 มิลลิวินาที

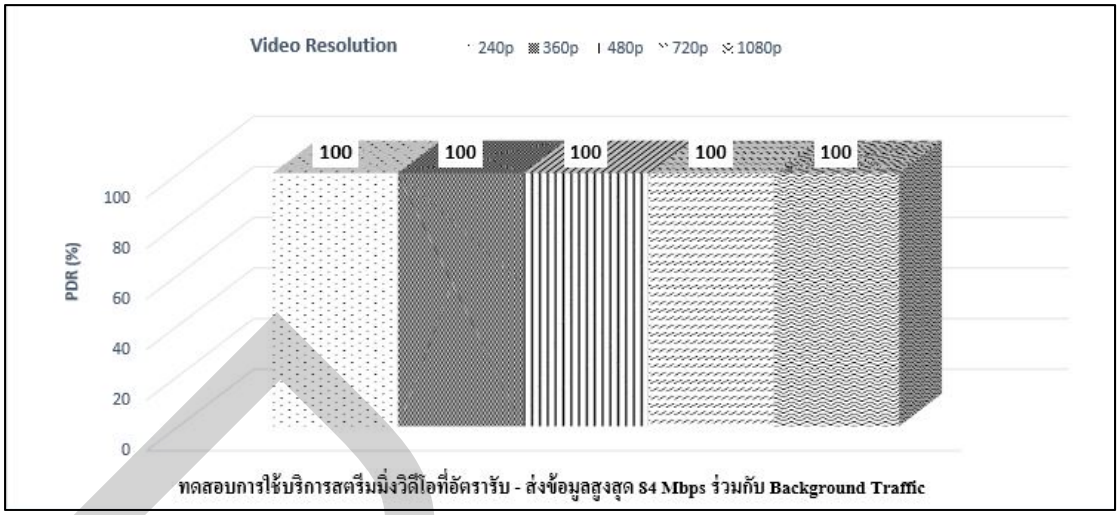
4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 726.31 มิลลิวินาที

5. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 546.07 มิลลิวินาที

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีขนาดมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ

หัวข้อการทดสอบที่ 4.1.2 ทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับ Background Traffic บนโครงข่าย LTE แบบเดิม และโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ

4.1.2.1 การทดสอบที่ 5 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยใช้อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps ซึ่งเป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการและกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ตามลาดับ ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอและใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภท คือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภททั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ยที่ 2.4Mbps หรือ 2,457Kbps และจะพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 5,457Kbps

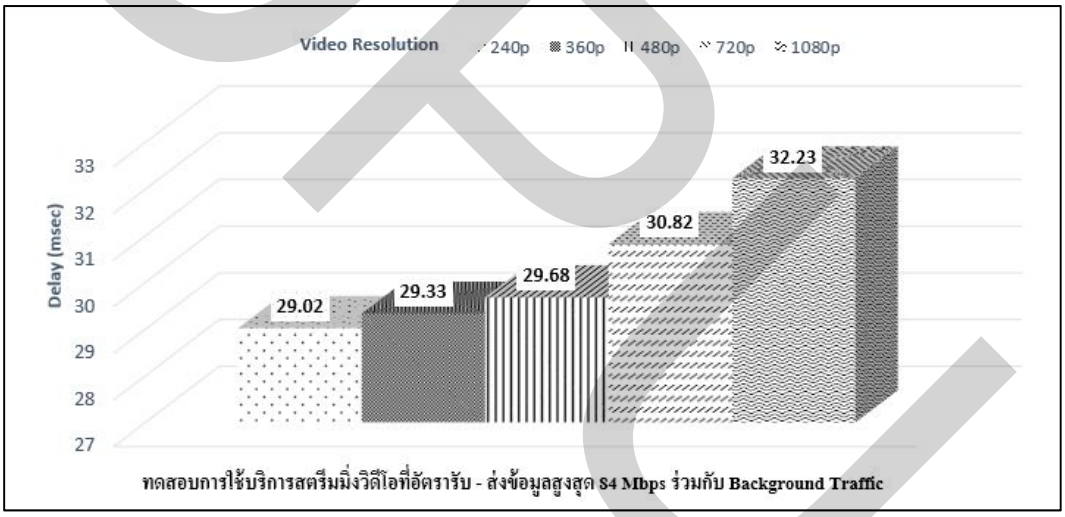
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,957Kbps

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,957Kbps

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,857Kbps

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,757Kbps

การสตรีมมิ่งของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทจะมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 5 ประเภท เนื่องจากอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps มีขนาดกว้างมากพอที่จะสามารถรองรับบริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้ และอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps เป็นอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการ จึงสามารถเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอและใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE เดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ยที่ 2.4Mbps หรือ 2,457Kbps จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวประมาณ 0.66 มิลลิวินาที ในการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอและพบว่าการเรียกรับชม Video Resoluiton ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 5,457Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 31.32 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,957Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 30.03 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,957Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 29.07 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,857Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 28.73 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,757Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 28.64 มิลลิวินาที

แต่สำหรับการใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps เป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลดจึงมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอและใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps กำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.15 แสดงค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ยที่ 2.4Mbps หรือ 2,457Kbps จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) เพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว 0.0020 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resoluiton ประเภทต่างๆ มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 5,457Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 0.00957 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,957Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 0.00830 มิลลิวินาที

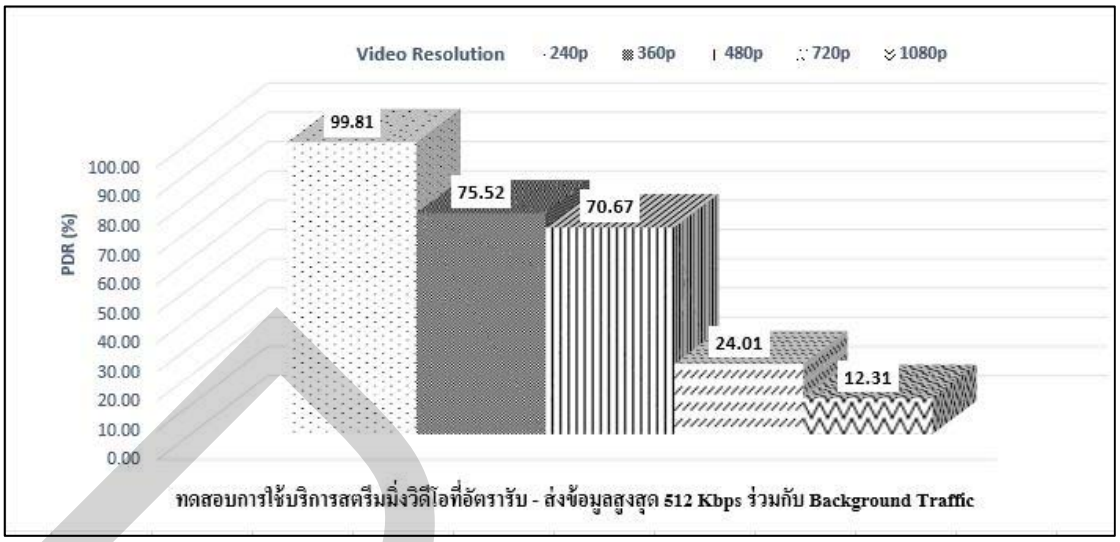
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,957Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 0.00459 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,857Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 0.00355 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300 Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 2,457Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 2,757Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 0.00183 มิลลิวินาที

แต่สำหรับการใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps เป็นอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการขนาดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการดาวน์โหลดจึงมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น

4.1.2.2 การทดสอบที่ 6 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม ผู้ใช้บริการจะได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.16 แสดงค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิม ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 121.5Kbps จะมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จลดลงจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 14.09 เปอร์เซนต์ และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,121.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 12.31 เปอร์เซ็นต์

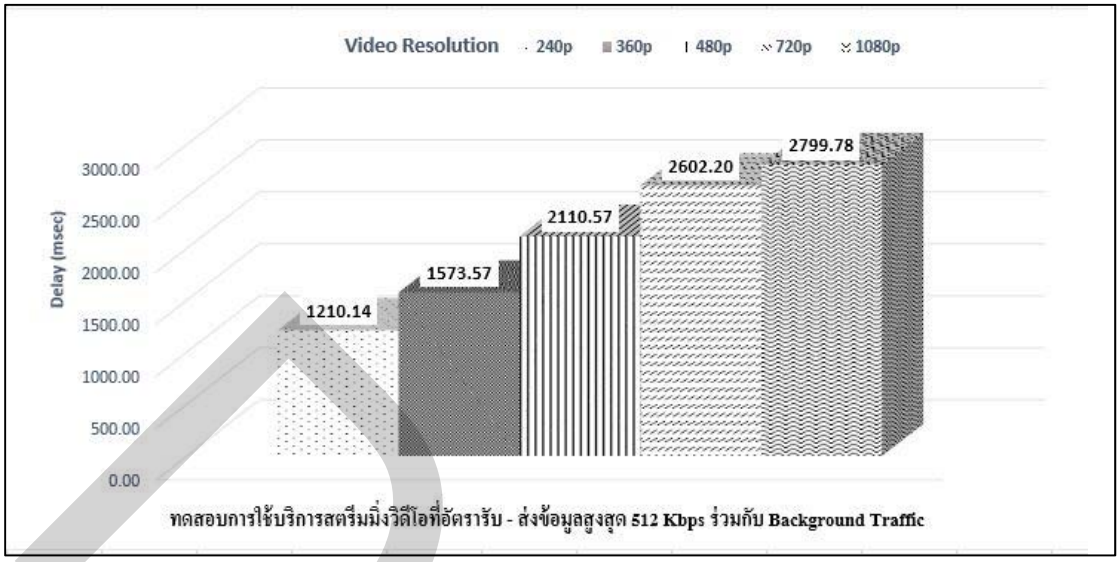
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,621.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 24.01 เปอร์เซ็นต์

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 621.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 70.67 เปอร์เซ็นต์

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 521.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 75.52 เปอร์เซ็นต์

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 421.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 99.81 เปอร์เซ็นต์

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ แต่ Video Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างสูงเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P หรือ 720P จะถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 480P เนื่องจากเป็นค่าที่มีอัตราในการส่งข้อมูลเกินมาจากอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อยและเป็นค่าที่มีความคมชัดมากสุดหากเทียบกับ Video Resolution ประเภท 360P และ 240P ที่มีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จไม่ต่างกันนัก



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P โดยเพิ่ม Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ย 121.5Kbps จะเห็นว่ามีค่าความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 1140.36 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,00Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,121.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2799.78 มิลลิวินาที

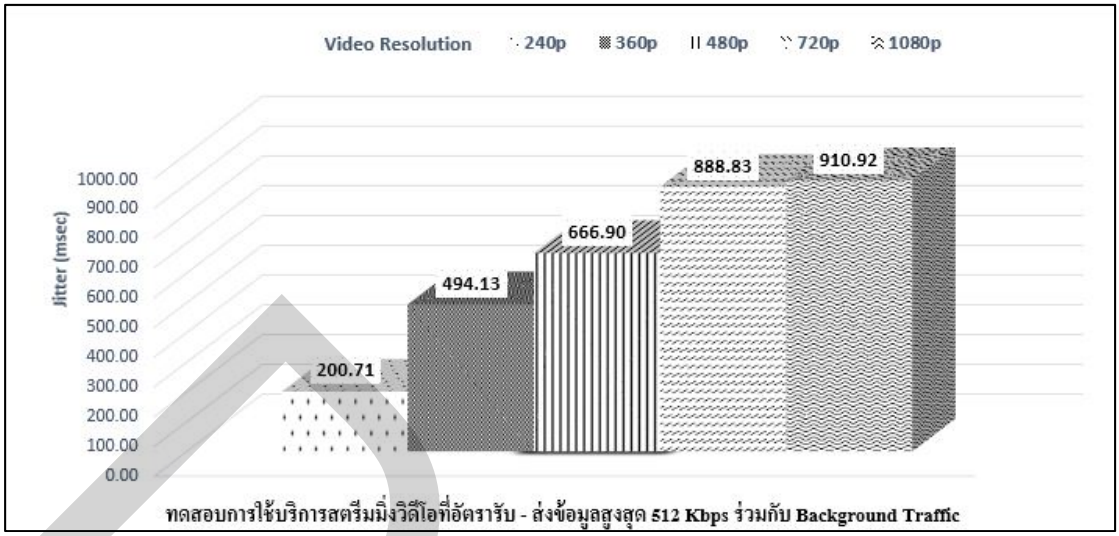
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,621.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2602.20 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 621.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2110.57 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 521.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1573.57 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 421.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1210.14 มิลลิวินาที

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูงเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ และ Video Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำลง เนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P หรือ 720P ถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 480P เนื่องจากเป็นค่าที่มีอัตราในการส่งข้อมูลเกินมาจากอัตารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อยและเป็นค่าที่มีความคมชัดมากสุดหากเทียบกับ Video Resolution ประเภท 360P และ 240P ที่มีค่าความล่าช้าทางเวลาไม่ต่างกันนัก



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.18 แสดงถึงค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ ของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 121.5Kbps จะเห็นว่ามีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 362.44 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,121.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 910.92 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,621.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 888.83 มิลลิวินาที

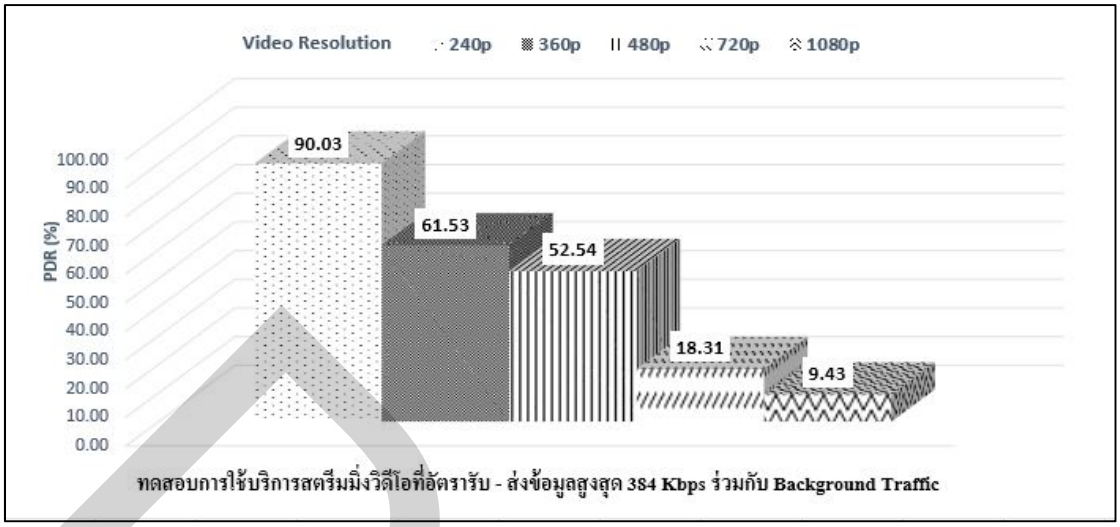
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 621.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 666.90 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 521.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 494.13 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 121.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 421.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 200.71 มิลลิวินาที

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P และ 720P จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูงเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ และ Video Resolution ประเภท 480P, 360P และ 240P จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาต่ำลงเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P หรือ 720P ถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 480P เนื่องจากเป็นค่าที่มีอัตราในการส่งข้อมูลเกินมาจากอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อยและเป็นค่าที่มีความคมชัดมากสุดหากเทียบกับ Video Resolution ประเภท 360P และ 240P ที่มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาไม่ต่างกันนัก

4.1.2.3 การทดสอบที่ 7 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.19 แสดงถึงค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 97.5Kbps จะมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จลดลงจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 15.27 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,097.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 9.43 เปอร์เซ็นต์

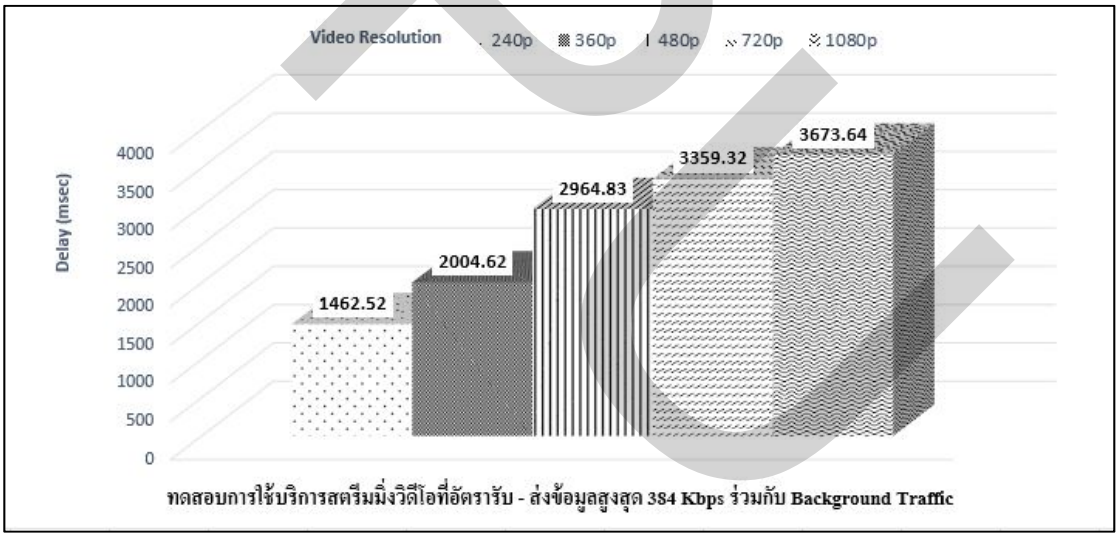
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,597.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 18.31 เปอร์เซ็นต์

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 597.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 52.54 เปอร์เซ็นต์

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 497.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 61.53 เปอร์เซ็นต์

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 397.5Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 90.03 เปอร์เซ็นต์

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ แต่ Video Resolution ประเภท 240P จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างสูงเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลเกินจากที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P หรือ 360P ถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 240P ทำให้สามารถใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมโดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.20 แสดงถึงค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 97.5Kbps จะเห็นว่ามีค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) เพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 1643.48 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,097.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 3673.64 มิลลิวินาที

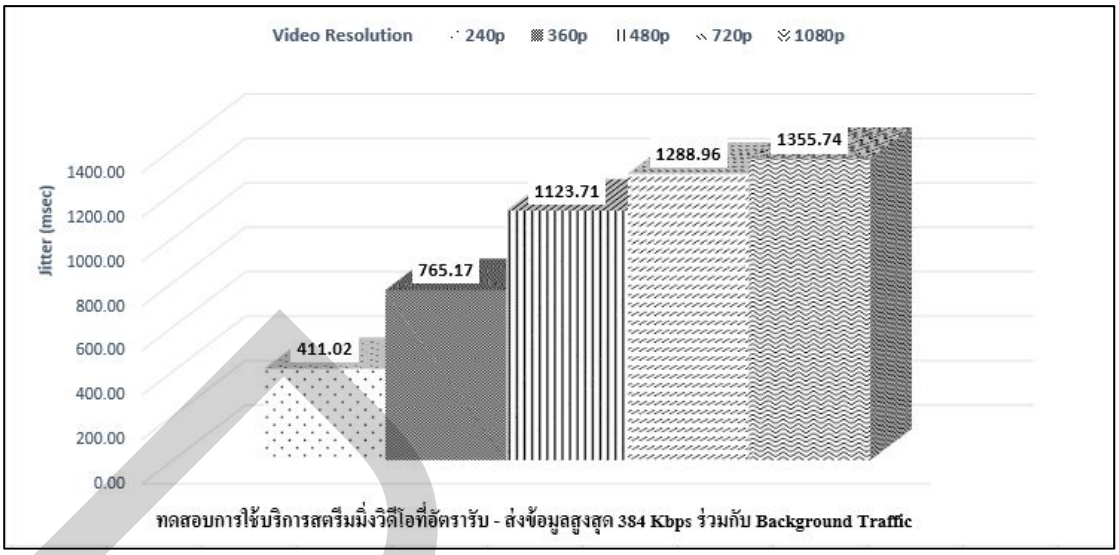
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,597.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 3359.32 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 597.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2964.62 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 497.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2004.62 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 397.5Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 1462.52 มิลลิวินาที

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ แต่ Video Resolution ประเภท 240P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลเกินจากที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P หรือ 360P ถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 240P ทำให้สามารถใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.21 แสดงถึงค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 97.5 Kbps จะเห็นว่ามีค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 674.13 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,097.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1355.74 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,597.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1288.96 มิลลิวินาที

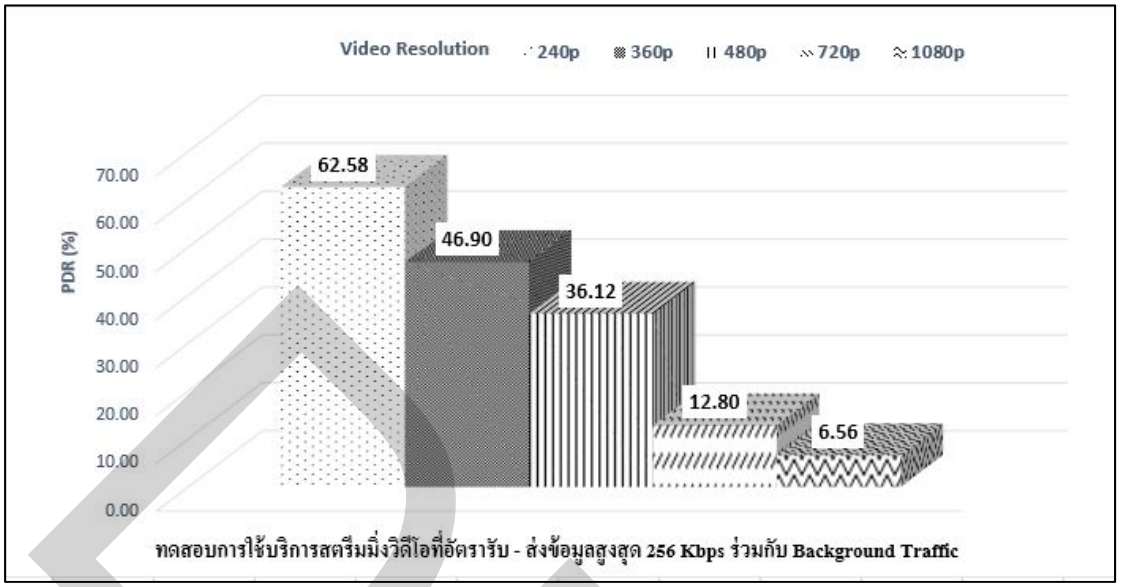
3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 597.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1123.71 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 497.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 765.17 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 97.5Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 397.5Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 411.02 มิลลิวินาที

จากการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นจะพบว่า Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P และ 360P จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่าขนาดอัตรารับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ แต่ Video Resolution ประเภท 240P จะมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีอัตราในการส่งข้อมูลเกินจากที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอหากผู้ใช้บริการเรียกรับชม Video Resolution ประเภท 1080P, 720P, 480P หรือ 360P ถูกปรับลด Video Resolution ลงมาที่ 240P ทำให้สามารถใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น

4.1.2.4 การทดสอบที่ 8 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอโดยในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และกำหนดให้ผู้ใช้บริการเรียกใช้ Video Resolution ที่ต่างกันคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.22 แสดงถึงค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR) ของการเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 59Kbps จะเห็นว่ามีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จลดลงจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 7.13 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,059Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 6.56 เปอร์เซ็นต์

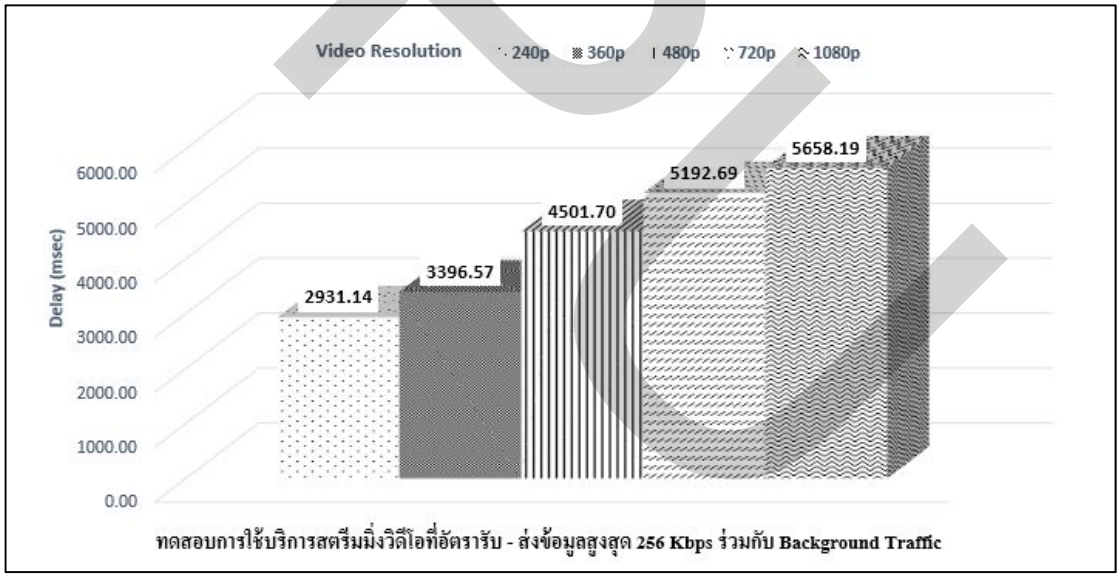
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,559Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 12.80 เปอร์เซ็นต์

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 559Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 36.12 เปอร์เซ็นต์

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 459Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 46.90 เปอร์เซ็นต์

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 359Kbps ทำให้มีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 62.58 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีค่าอัตราการรับส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมากกว่าขนาดอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.23 แสดงถึงค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 59Kbps จะเห็นว่ามีค่าความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 1168.26 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับBackground Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,059Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 5658.19 มิลลิวินาที

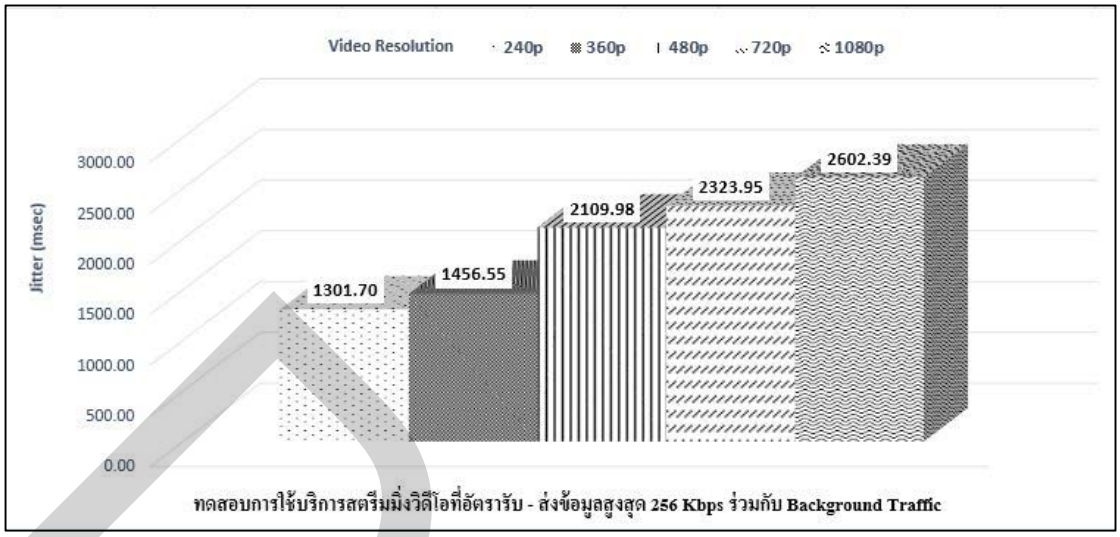
2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,559Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 5192.69 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 559Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 4501.70 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 459Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 3396.75 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 359Kbps ทำให้มีค่าความล่าช้าทางเวลา 2931.14 มิลลิวินาที

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมากกว่าขนาดอัตราการับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ



ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอ ในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยผู้ใช้บริการจะได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps และใช้ Video Resolution ที่ต่างกัน 5 ประเภทคือ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P ร่วมกับ Background Traffic ตามตารางที่ 3.4

จากภาพที่ 4.24 แสดงถึงความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของการเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอร่วมกับบริการประเภท Background Traffic เฉลี่ย 59Kbps จะเห็นว่ามีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบการจราจรที่มีบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 742.05 มิลลิวินาที และพบว่าการเรียกรับชม Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 1080P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 3,000Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 3,059Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 2602.39 มิลลิวินาที

2. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 720P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 1,500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 1,559Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 2323.95 มิลลิวินาที

3. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 480P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 500Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 559Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 2109.98 มิลลิวินาที

4. การสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 360P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 400Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 459Kbps ทำทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1456.55 มิลลิวินาที

5. และการสตรีมมิ่งวิดีโอที่ 240P จะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลคือ 300Kbps ร่วมกับ Background Traffic เฉลี่ยที่ 59Kbps ซึ่งรวมกันแล้วจะใช้อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลประมาณ 359Kbps ทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา 1301.70 มิลลิวินาที

ซึ่งในการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทข้างต้นมีทำให้มีค่าความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างสูง เนื่องจากอัตราในการส่งข้อมูลของ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทมากกว่าขนาดอัตราการับ – ส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการได้รับ ดังนั้นทั้งบนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการประเภทสตรีมมิ่งวิดีโอ

4.2 อภิปรายผลการทดสอบ

4.2.1 อัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ

จากการทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 2 หัวข้อคือ การทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวและการทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะพบว่าในกรณีที่ผู้ใช้งานได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูล 84Mbps จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ 100 เปอร์เซ็นต์ในการเรียกชม Video Resolution ทุกประเภท แต่ถ้าในกรณีที่ผู้ใช้บริการถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการและถูกปรับลดอัตรารับ – ส่งข้อมูลลง ในการเรียกรับชมวิดีโอที่มี Video Resolution สูงๆ อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลของวิดีโอประเภทนั้นๆจะมากกว่าขนาดของแบนด์วิดท์ที่ผู้ใช้บริการได้รับในขณะที่ติด FUP จะส่งผลให้มีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จลดลงตามไปด้วยตามภาพที่ 4.25ก – 4.25ข

4.2.2 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)

จากการทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 2 หัวข้อคือ การทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวและ การทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับ

บริการประเภท Background Traffic บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะมีผลกับค่าความล่าช้าทางเวลาคือในกรณีที่ผู้ใช้งานได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูล 84Mbps จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างน้อยในการเรียกรับชม Video Resolution ทุกประเภทเนื่องจากผู้ใช้บริการยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานออย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการจึงได้รับขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าอัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลของการเรียกชมวิดีโอทุกประเภท แต่ถ้าในกรณีที่ผู้ใช้บริการถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการ ขนาดแบนด์วิดท์จะถูกปรับลดลงตามอัตราที่ผู้ให้บริการกำหนด ในการเรียกชมวิดีโอที่มี Video Resolution สูงๆ อัตราบิตเรตในการส่งข้อมูลของวิดีโอประเภทนั้นๆจะมากกว่าขนาดของแบนด์วิดท์ที่ผู้ใช้บริการได้รับในขณะนั้นส่งผลให้มีค่าความล่าช้าทางเวลามากขึ้นตามไปด้วยตามภาพที่ 4.26ก – 4.26ข

4.2.3 ความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

จากการทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 2 หัวข้อคือ การทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวและ การทดสอบการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอจะมีผลกับค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาคือในกรณีที่ผู้ใช้งานได้รับอัตราการรับ – ส่งข้อมูล 84Mbps จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาค่อนข้างน้อยในการเรียกชม Video Resolution ทุกประเภท แต่ถ้าในกรณีที่ผู้ใช้บริการถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการ ขนาดแบนด์วิดท์จะถูกปรับลดลงตามอัตราที่ผู้ให้บริการกำหนด ในการเรียกชมวิดีโอที่มี Video Resolution สูงๆ อัตราบิตในการส่งข้อมูลของวิดีโอประเภทนั้นๆจะมากกว่าขนาดของแบนด์วิดท์ที่ผู้ใช้บริการได้รับจะส่งผลให้มีค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลามากขึ้นตามไปด้วยตามภาพที่ 4.27ก – 4.27ข

ซึ่งสามารถสรุปผลของ Video Resolution ที่เหมาะสมในแต่ละอัตราการรับ – ส่งข้อมูลได้ดังนี้

1. อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ 84 Mbps

1.1 ในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวหากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและโครงข่าย LTE ที่นำเสนอสามารถรับชม Video Resolution ได้ทุกประเภท เนื่องจากยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการจึงทำให้มีขนาดแบนด์วิดท์กว้างมากพอที่จะเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบรื่น

1.2 ในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับลริการประเภท Background Traffic หากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 84Mbps บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอสามารถรับชม Video Resolution ได้ทุกประเภท เนื่องจากยังไม่ถูกใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียมจากผู้ให้บริการจึงทำให้มีขนาดแบนด์วิดท์กว้างมากพอที่จะเรียกใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอได้อย่างราบเรียบ

2. อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps

2.1 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวในการหากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอแนะนำให้ใช้ VideoResolution 480P เนื่องจากมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 98.72 % เพิ่มขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 71.70% และมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จน้อยกว่า 360P เพียง 1.28% มีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิม 61.98% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Video Resolution 360P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 71.40% ซึ่งต่างกันไม่มากและค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 34.64% เมื่อเปรียบเทียบกับ Video Resolution 360P จะมีค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 58.85% ซึ่งต่างกันไม่มาก แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้คำนึงถึงความละเอียดและความคมชัดของวิดีโอเป็นสำคัญจึงแนะนำ Video Resolution 480P ให้กับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps

2.2 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับ Background Traffic หากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอแนะนำให้ใช้ VideoResolution 480P เนื่องจากมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 99.81% เพิ่มขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 52.51% และมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จน้อยกว่า 360P เพียง 4.85% มีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่ายเดิม 21.85% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Video Resolution 360P จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 41.74% ซึ่งต่างกันซึ่งต่างกันประมาณ 20% และค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 25.88% เมื่อเปรียบเทียบกับ Video Resolution 360P จะมีค่าการแปรปวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 45.08% ซึ่งต่างกันประมาณ 20% แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้คำนึงถึงความละเอียดและความคมชัดของวิดีโอเป็นสำคัญจึงแนะนำVideo Resolution 480P ให้กับอัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 512Kbps

3. อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps

3.1 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวหากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอแนะนำให้ใช้ VideoResolution 240P เนื่องจากมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 100% เพิ่มขึ้นจาก

โครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 46.11% จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 34.27% และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิม 60.54%

3.2 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic หากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 384Kbps บนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอแนะนำให้ใช้ VideoResolution 240P เนื่องจากมีอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ 90.03% เพิ่มขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิมเฉลี่ย 54.58% จะมีค่าความล่าช้าทางเวลาดีขึ้น 51.25% และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาดีขึ้นจากโครงข่าย LTE แบบเดิม 63.73%

4. อัตราการรับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps

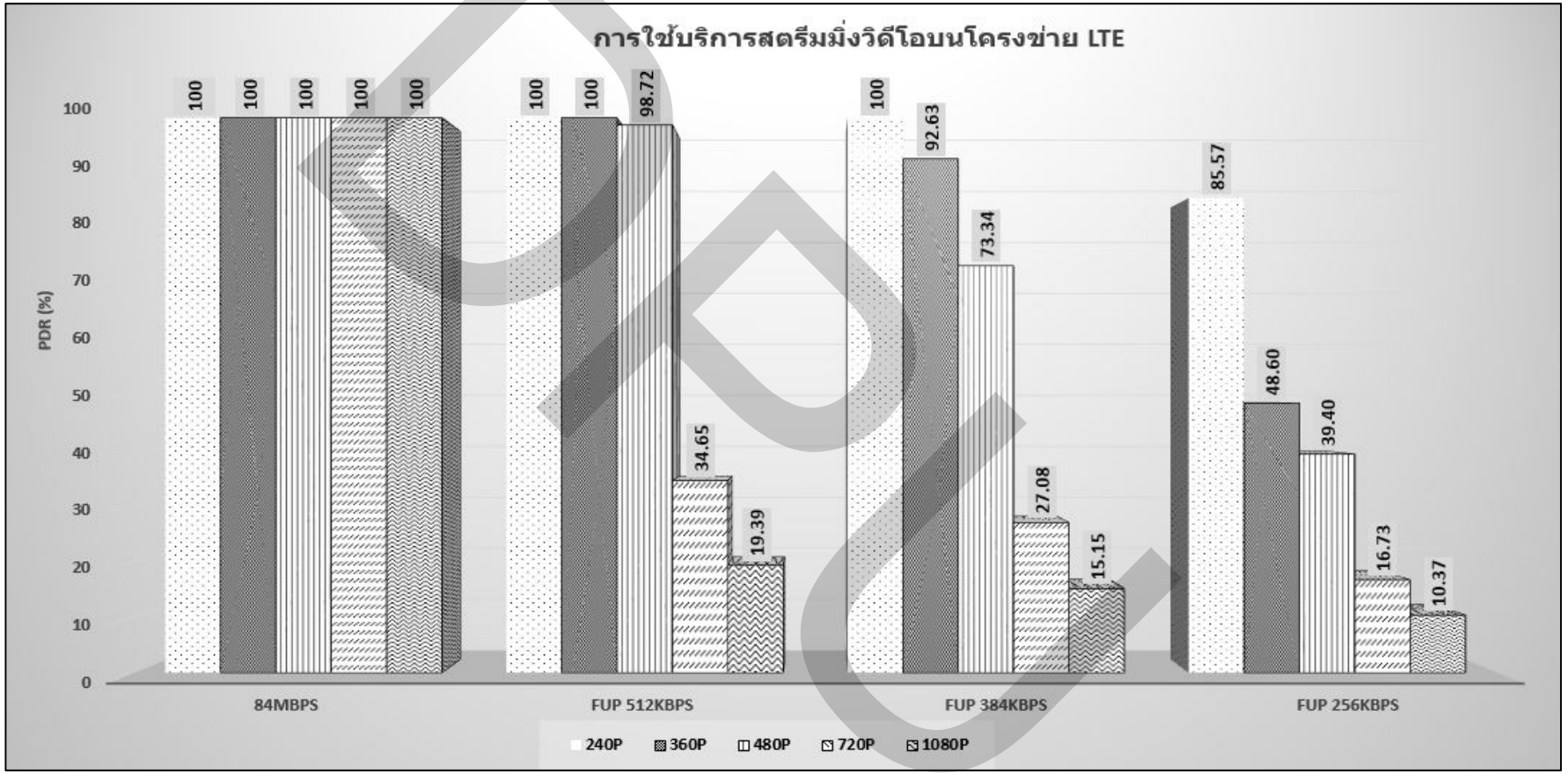
4.1 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีเพียงบริการประเภท Streaming เพียงอย่างเดียวหากได้รับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอเนื่องจากมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างต่ำถึงแม้ว่าจะใช้ Video Resolution ที่มีอัตราบิตในการส่งข้อมูลน้อยที่สุดแล้วคือจะมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเพียง 85.57% เท่านั้น และยังมีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าการแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาสูงอีกด้วยคือ 1952.52 มิลลิวินาทีและ 546.07 มิลลิวินาทีตามลำดับ

4.2 การใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยจำลองการจราจรให้มีบริการประเภท Streaming ร่วมกับ Background Traffic ในการใช้อัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุด 256Kbps บนโครงข่าย LTE แบบเดิมและบนโครงข่าย LTE ที่นำเสนอไม่แนะนำให้ใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอเนื่องจากมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จค่อนข้างต่ำถึงแม้ว่าจะใช้ Video Resolution ที่มีอัตราบิตน้อยในการส่งข้อมูลน้อยที่สุดแล้วคือจะมีค่าอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จเพียง 62.58% เท่านั้น และยังมีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าการแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาสูงเช่นเดียวกันคือ 2931.14 มิลลิวินาที และ 1301.70 มิลลิวินาทีตามลำดับ

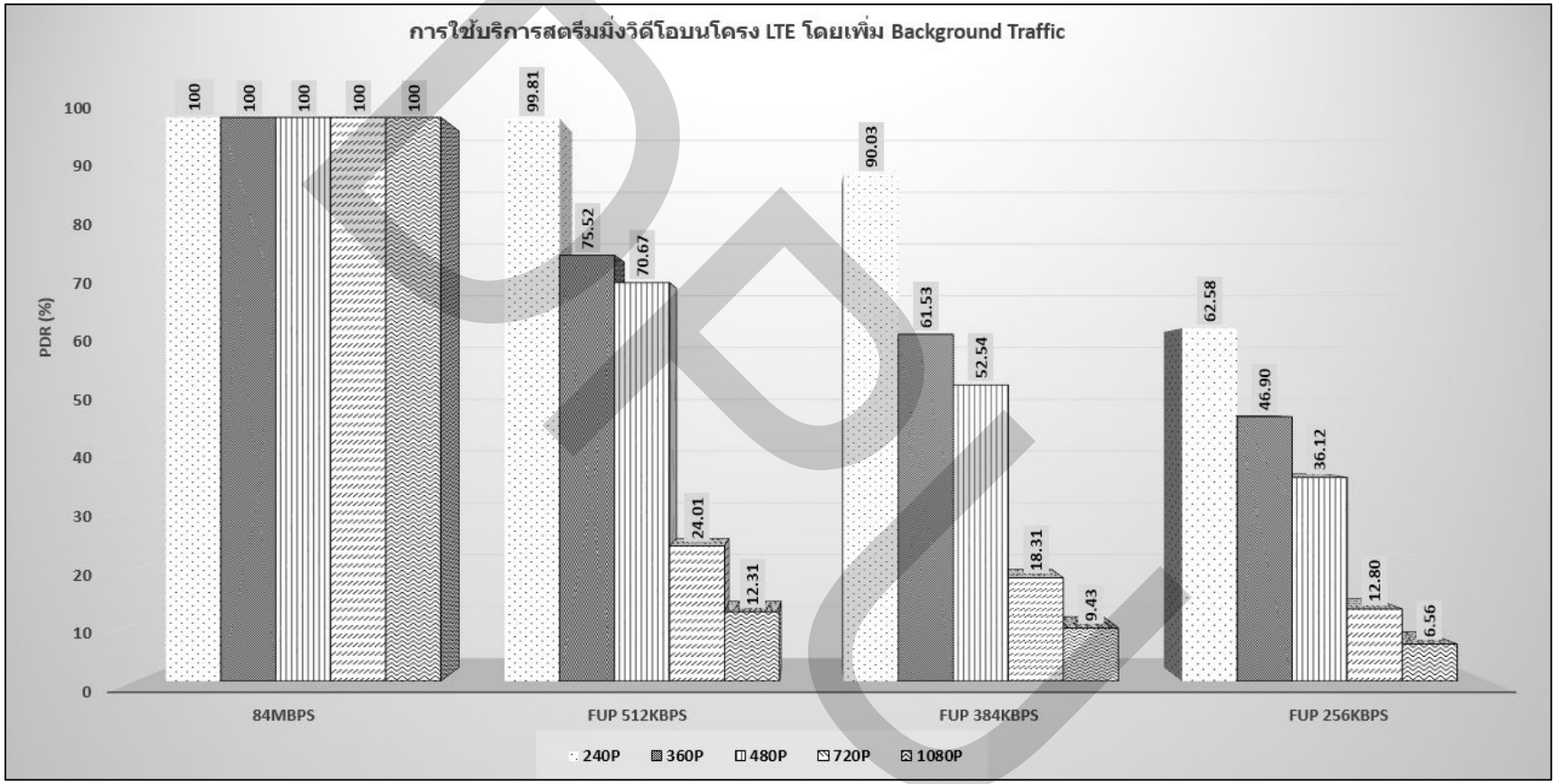
ตารางที่ 4.1 สรุป Video Resolution แต่ละประเภทที่เหมาะสมกับอัตรารับ – ส่งข้อมูลสูงสุดที่ผู้ใช้บริการได้รับในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

อัตราการรับ - ส่งข้อมูลสูงสุด	**Video Resolution**				
	240P	360P	480P	720P	1080P
1. 84Mbps	✓	✓	✓	✓	✓
2. FUP 512Kbps			✓		
3. FUP 384Kbps	✓				
4. FUP 256Kbps	-	-	-	-	-

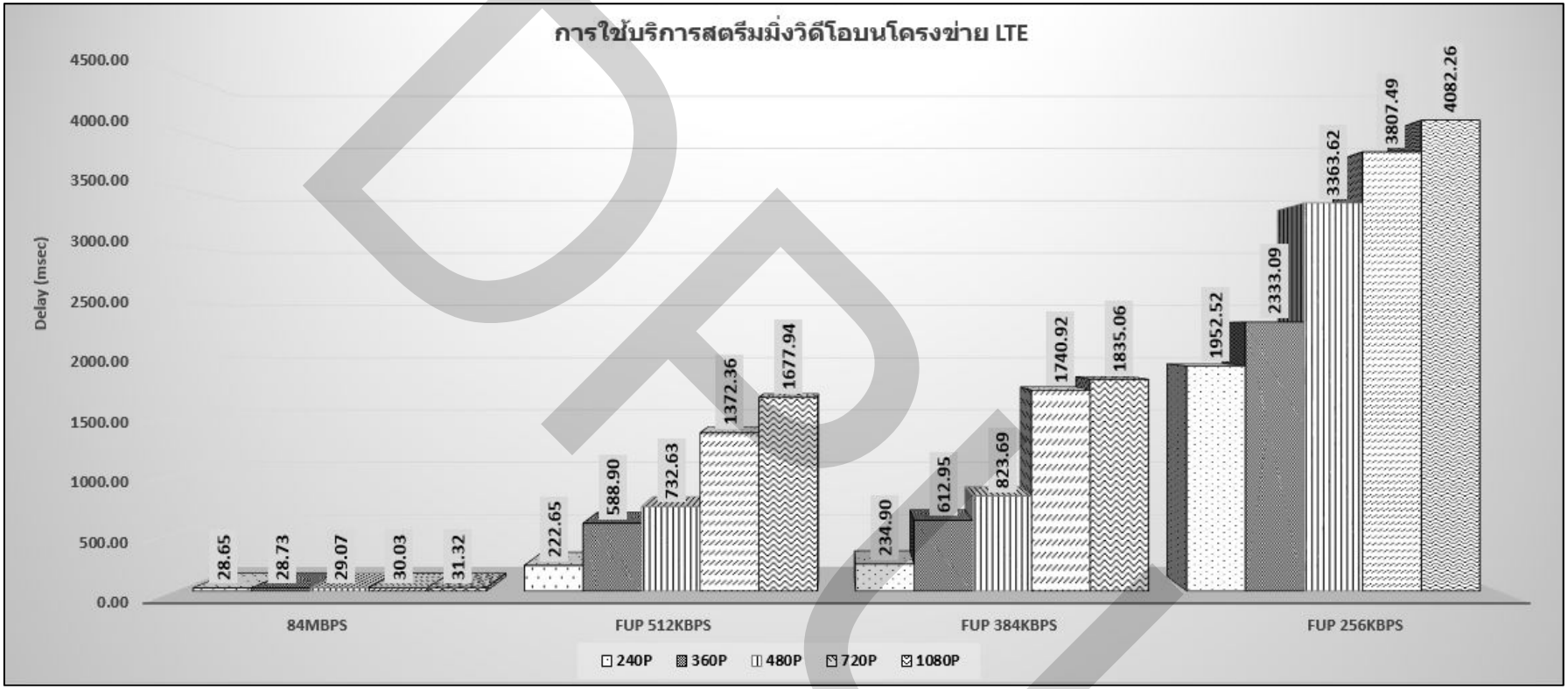
DPU



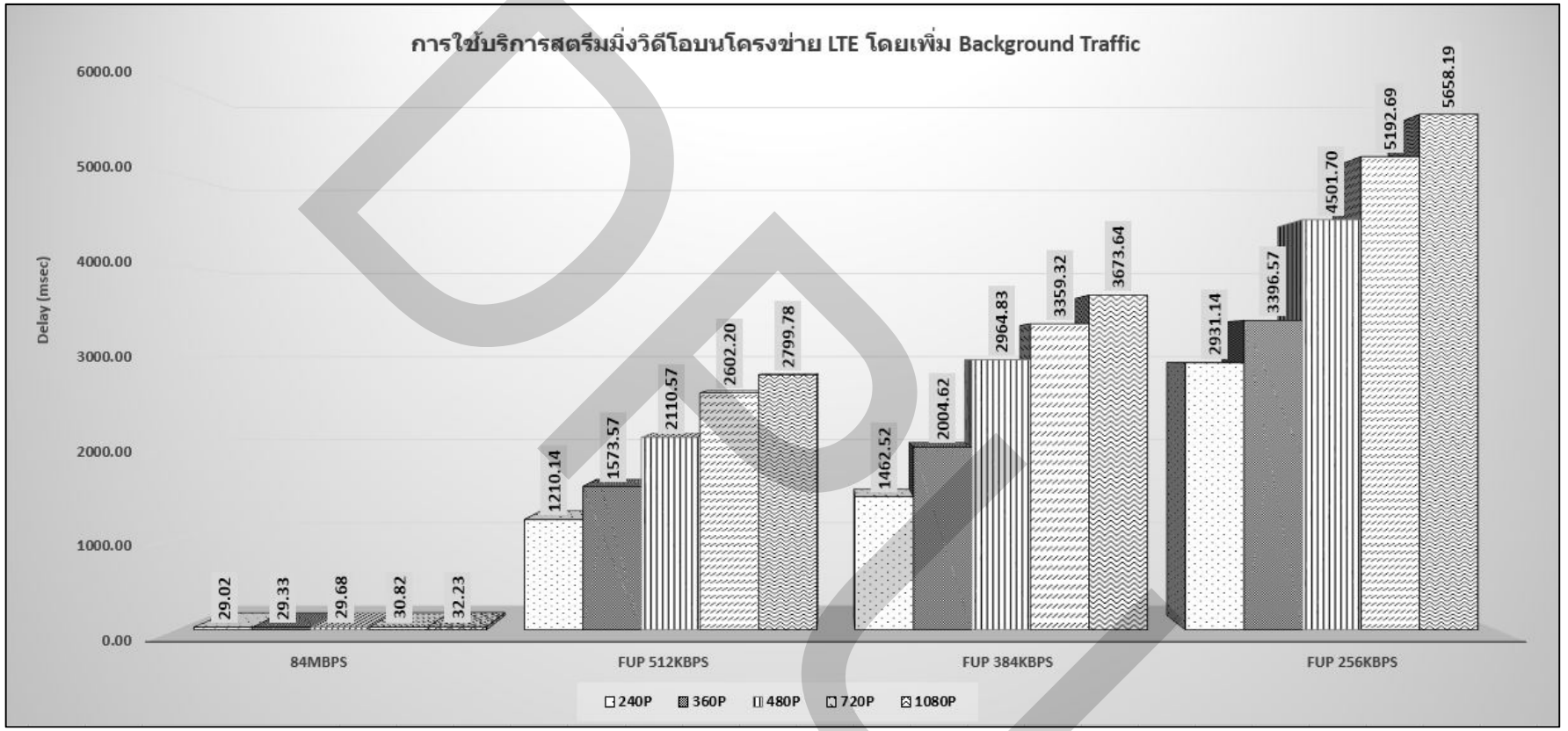
ภาพที่ 4.25ก เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว



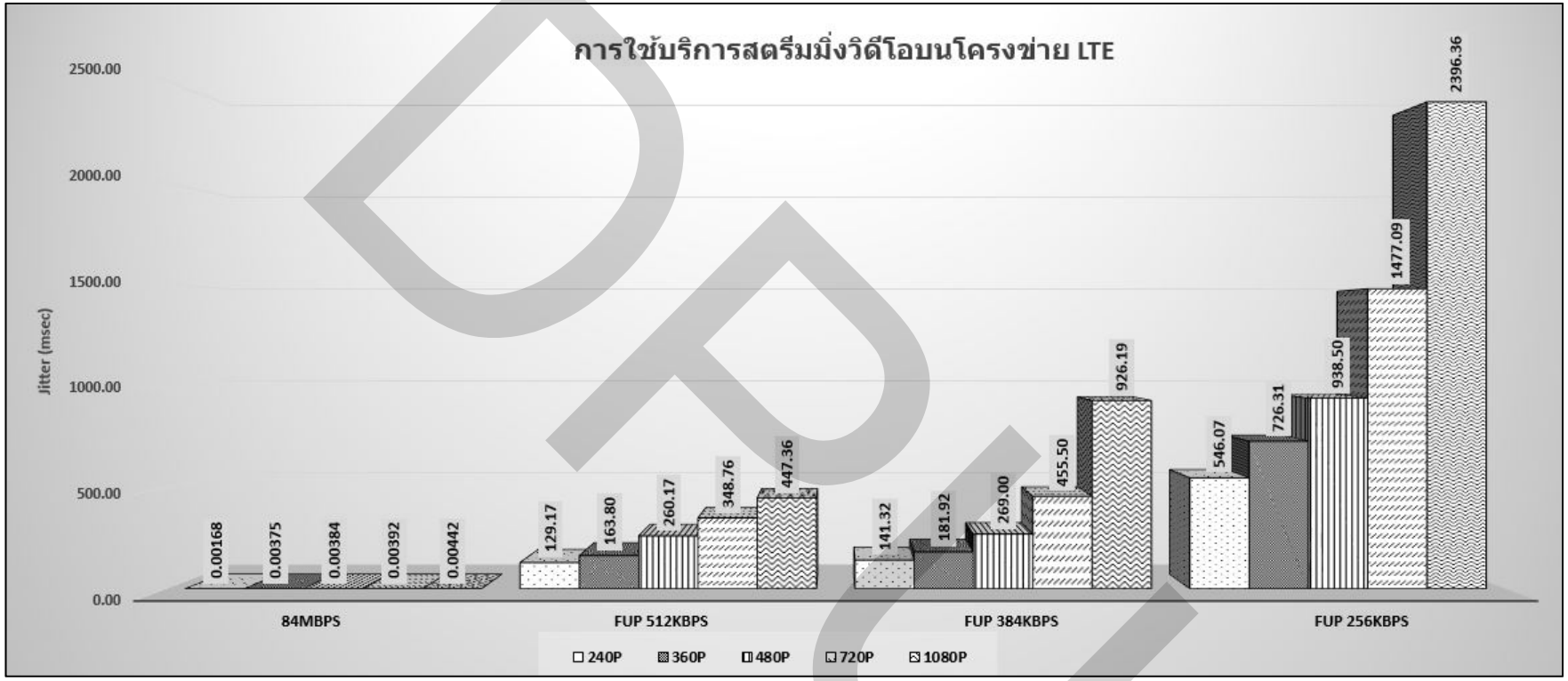
ภาพที่ 4.25ข เปรียบเทียบอัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic



ภาพที่ 4.26ก เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว

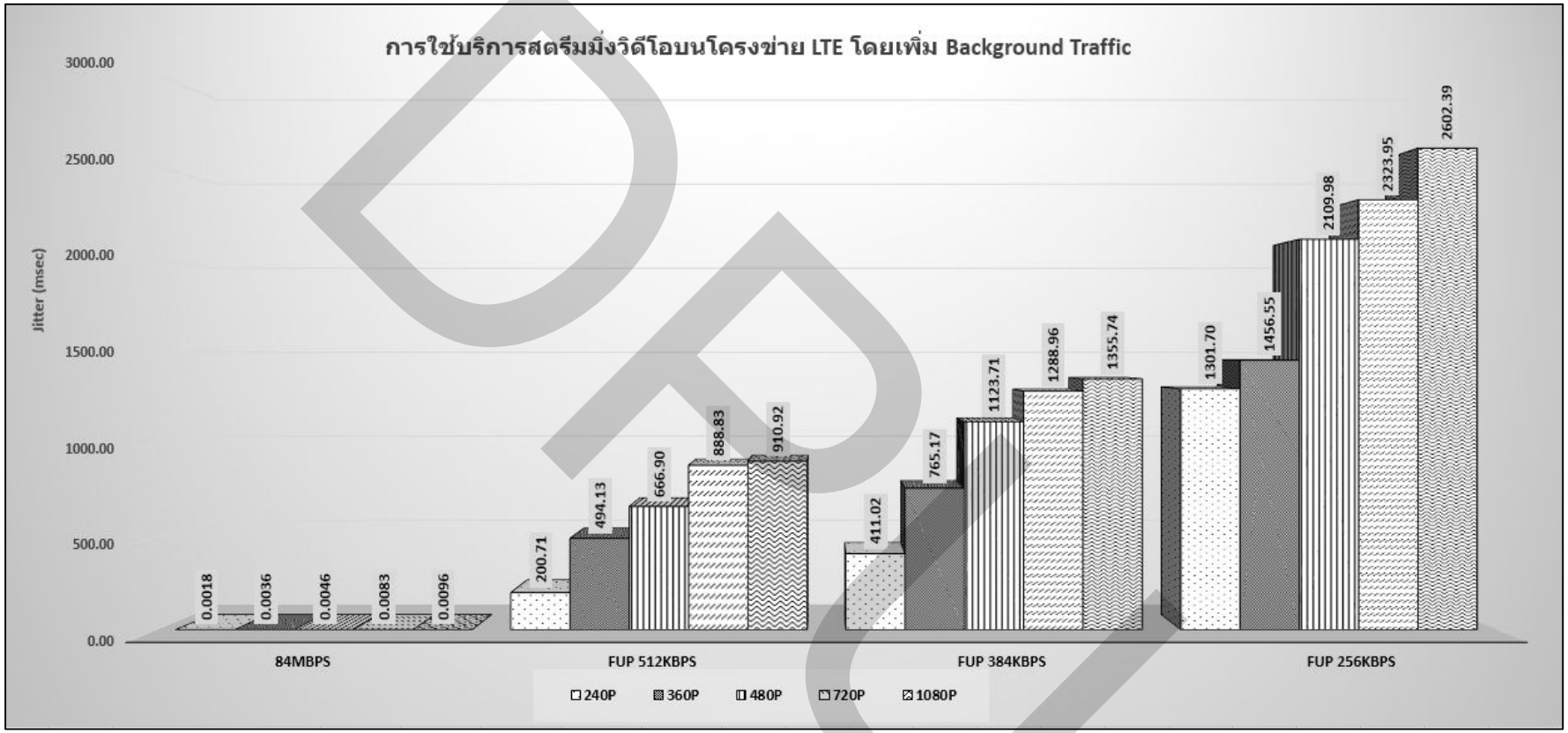


ภาพที่ 4.26ข เปรียบเทียบค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic



ภาพที่ 4.27ก เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming เพียงอย่างเดียว

DRAFT



ภาพที่ 4.27ข เปรียบเทียบความแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) ของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอที่มีการจราจรประเภท Streaming ร่วมกับบริการประเภท Background Traffic

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บริการในบทนี้เป็นการอภิปรายเพื่อสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย รวมทั้งข้อกำจัดของระบบที่พบจากการทดสอบระบบ และข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปเพื่อแก้ข้อบกพร่องของระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพสำหรับการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE ในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม โดยมีการเพิ่มหน้าที่การทำงานของ PCRF ให้ทำงานร่วมกับ Video Caching Server และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้บริการสตีมมิ่งวิดีโอระหว่างโครงข่ายเดิมและโครงข่ายที่นำเสนอ โดยวัดประสิทธิภาพการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอโดยพิจารณาจาก 3 ค่า คือ ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย (Delay) ค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ย (Jitter) และ อัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ (PDR)

5.1.2 สรุปผลตามขอบเขตของงานวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.2.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่าย LTE ด้วยซอฟต์แวร์ NS2 ได้

5.1.2.2 จำลองการทำของระบบโครงข่าย LTE ที่มีการคติดตั้ง Video Caching Server ได้

5.1.2.3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการบริการประเภท Streaming ได้

5.1.2.4 วัดประสิทธิภาพทางโครงข่ายโดยพิจารณาจาก

5.1.2.4.1 ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย

5.1.2.4.2 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย

5.1.2.4.3 อัตรารับส่งข้อมูลสำเร็จ

5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัย สามารถแยกข้อจำกัดออกเป็นข้อดังต่อไปนี้คือ

5.2.1 ภาพยนตร์ที่นำมาทดสอบใช้ความละเอียดแบบ 1080P, 720P, 480P, 360P และ 240P เท่านั้น

5.2.2 ขณะรับชมภาพยนตร์ที่มีความละเอียดภาพสูง และอัตราการรับ - ส่งข้อมูลสูงสุด 4G หมดลง การปรับ Video Resolution เพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการรับ - ส่งข้อมูลสูงสุด FUP ที่ได้รับจะเกิดขึ้นในภาพยนตร์เรื่องถัดไป จะไม่เกิดการปรับ Video Resolution ในภาพยนตร์ที่รับชมในขณะนั้นทันที

5.2.3 ในการเปลี่ยนค่า Video Resolution เพื่อส่งวิดีโอในค่าอัตราบิตที่ผู้ใช้บริการสามารถรับได้ที่ Video Caching Server ไม่มีการคิดค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ สามารถแยกข้อเสนอแนะออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.3.1 ควรพัฒนาการปรับ Video Resolution ในกรณีที่ชมภาพยนตร์ที่มีความละเอียดภาพสูงแล้วอัตราการรับ - ส่งข้อมูลสูงสุด 4G หมดลงให้เกิดการปรับ Video Resoluiton ได้โดยทันทีเพื่อความสมจริงมากขึ้น

5.3.2 ควรมีการคิดค่าความล่าช้าทางเวลาที่เกิดจากการเปลี่ยนค่า Video Resolution บน Video Caching Server เพื่อให้การทดสอบมีความละเอียดและสมจริงมากขึ้น

5.3.4 ในการทดสอบควรมีอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการมากกว่า 1 เครื่อง เพราะบนโครงข่าย LTE มีผู้ใช้งานจริงจำนวนมาก

DPU

บรรณานุกรม

DPU

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE

การประเมินประสิทธิภาพ Video Caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G

นิรมล ศรีโชต, การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE, NCIT 2016

ภาณุพงศ์ สายไพศรี. และธนัญ จารุวิทยโกวิท. ต้นแบบระบบกาหนดการใช้งานอย่างยุติธรรมในโครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

วรสิทธิพล ทมโคตร. (2557). LTE. EECON37

อดิศยา เจริญผล. Mobile Technology. สาขาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

Caching Wikipedia. (2014, October 27). Cache. [Online]. Available: https://th.wikipedia.org/wiki/แคช

Fair Usage Policy (FUP)

ภาษาต่างประเทศ

A Study of Fair Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social Networking Applications Apiwan Wiangjan and Pongpisit Wuttidittachotti, a Study of Fair Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social NetworkingApplications, IEEE 2015

Study Paper on Policy and Charging Rule Function

Telecommunication engineering Centre government of India

ภาคผนวก

DPU

งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

DPU

กลไกการเพิ่มคุณภาพของบริการสตรีมมิ่งวิดีโอในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม

A Mechanism to Improve Streaming Video Quality of Service in Case Service Provider Apply Fair Usage Policy

ศิริพร อ่อนนุ่ม

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เลขที่ 110/1-4 ถ.ประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02 954 7300 E-mail: onwork79@gmail.com

บทคัดย่อ

บริการสตรีมมิ่งวิดีโอกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในโครงข่าย LTE โดยปกติการใช้งานแพ็กเก็ต Internet จะถูกจำกัดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดจากกฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (FUP) ในกรณีที่ปริมาณการใช้งานข้อมูลสูงจนถึงระดับหนึ่ง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอของผู้ใช้งานลดลง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอให้อุปกรณ์ PCRF สามารถสื่อสารกับ Video caching server ที่อยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดย PCRF สั่งให้ Video caching server สตรีมวิดีโอโดยใช้ Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดตาม FUP ที่ผู้ใช้งานได้รับในขณะนั้น งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการวัดค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา และค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลของโครงข่าย LTE เดิม และโครงข่ายที่นำเสนอ

คำสำคัญ: โครงข่าย LTE, PCRF, สตรีมมิ่งวิดีโอ, FUP

Abstract

Currently, video streaming service is very popular in LTE networks. Typically, in case amount of usage data reach one preset threshold, user maximum data rate will be restricted according to the Fair Usage Policy (FUP). Consequently, the video streaming quality of service would be decreased. This research proposes to let PCRF (Policy and Charging Rule Function) communicates with video caching server in service provider network in order to improve its streaming video quality of service. In the proposed mechanism, PCRF will communicate to video caching server to select the best video resolution according to the current maximum FUP rate. This research compares the performance of traditional LTE network and the proposed one by measuring packet loss, time delay and delay jitter.

Keywords: Network LTE, PCRF, Streaming Video, FUP

1. บทนำ

กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (Fair Usage Policy – FUP) เป็นนโยบายที่ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลกใช้เป็นมาตรฐานในการให้บริการการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้บริการโครงข่าย 3G/4G เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานบางรายใช้งานรับ-ส่งข้อมูลปริมาณมาก ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการกับผู้ใช้งานรายอื่น ๆ ตัวอย่างการใช้งานของผู้ใช้งานที่ส่งผลกระทบกับผู้ใช้งานรายอื่น ๆ เช่น การนำไปใช้งาน Bit Torrent โดยใช้โทรศัพท์มือถือต่อเป็นโมเด็ม หรือต่อผ่านแอร์การ์ด ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งาน 4G โดยรวมลดลง ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้งานส่วนใหญ่ที่เหลือ หลักการทำงานของ FUP คือ ระบบจะปรับลดความเร็วในการเชื่อมต่อกับโครงข่าย 3G/4G เมื่อผู้ใช้งานมีการใช้งานปริมาณข้อมูลเกินค่าที่กำหนด ซึ่งเป็นนโยบายสากลที่กำหนดขึ้นเพื่อรักษามาตรฐานการใช้งานโครงข่าย 3G/4G อย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้บริการ 4G ทุกคนสามารถใช้งานได้อย่างราบรื่นและเต็มประสิทธิภาพ

เมื่อผู้ใช้งาน Internet ถูกปรับลดความเร็วการใช้งานลง เนื่องจาก FUP การเรียกใช้งานบริการต่าง ๆ จะเกิดความล่าช้ามากขึ้น เช่น ในการเรียกดู Video ซึ่งกำลังเป็น Content ที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ภาพและเสียงที่ได้รับชมจะมีอาการกระตุก ไม่ไหลลื่น เกิดอาการภาพแตก ทำให้ผู้ใช้งานเกิดประสบการณ์การใช้งาน (User Experience) ที่ไม่ดีต่อการใช้งานโครงข่ายของผู้ให้บริการ งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอให้กับผู้ใช้งานในกรณีที่ผู้ให้บริการใช้กฎการใช้งานอย่างเท่าเทียม (Fair Usage Policy – FUP)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

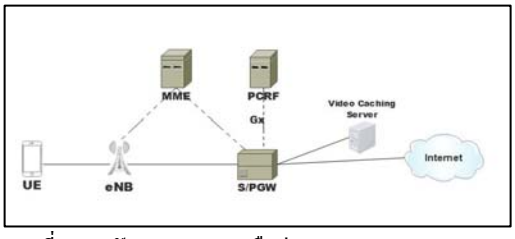
สตรีมมิ่ง วิดีโอ (Streaming Video) [1] คือโปรโตคอลที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเล่นไฟล์มัลติมีเดียบนอุปกรณ์ได้โดยไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ตจนครบไฟล์

เนื่องจากการดาวน์โหลดไฟล์มัลติมีเดียทั้งไฟล์จะใช้เวลาค่อนข้างมาก ดังนั้นการเล่นไฟล์มัลติมีเดียจากอินเทอร์เน็ตด้วยเทคนิคสตรีมมิ่งจะทำให้สามารถแสดงผลข้อมูลได้ก่อนที่ไฟล์ทั้งหมดจะถูกส่งผ่านเข้ามายังอุปกรณ์ของผู้ใช้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ปลายทางที่ใช้จะต้องประมวลผลได้เร็วพอด้วย เนื่องจากข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามายังเครื่องนอกจากจะต้องได้รับการจัดเก็บเข้าในหน่วยความจำบัฟเฟอร์แล้ว ยังต้องมีการแปลงข้อมูล (Decode) เหล่านั้น เพื่อนำไปแสดงผลในรูปของเสียงหรือภาพเคลื่อนไหวด้วย ซึ่งถ้าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งล่าช้าผู้ใช้ก็จะสังเกตเห็นได้ทันทีว่าวิดีโอ หรือเสียงเกิดการกระตุกหรือหยุดเล่นไป ซึ่งใน Video แต่ละประเภทมีอัตราการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทวิดีโอและอัตราการส่งข้อมูล [2]

ประเภท	อัตราบิตของวิดีโอ
1080P	3,000 Kbps
720P	1,500 Kbps
480P	500 Kbps
360P	400 Kbps
240P	300 Kbps

LTE [3] ย่อมาจาก Long-Term Evolution เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายความเร็วสูงเพื่อใช้กับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือที่เป็นสมาร์ทโฟน หรือเครื่องที่รองรับสัญญาณได้ โดยเทคโนโลยีนี้ออกมาเพื่อลดข้อจำกัดความเร็วของเทคโนโลยีที่เราใช้อยู่ปัจจุบันอย่าง GSM/GPRS/EDGE ให้มีประสิทธิภาพในด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมาก



ภาพที่ 1 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย LTE

PCRF [4] ย่อมาจาก Policy and Charging Rules Function ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้งานในโครงข่าย LTE ดังแสดงในภาพที่ 1 ให้เป็นไปตามหลักการใช้งานอย่างยุติธรรม (Fair Usage Policy) เพื่อบริหารจัดการ การใช้งานปริมาณข้อมูลในโครงข่าย ผู้ใช้งานบางรายอาจจะใช้งานข้อมูลในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลให้คุณภาพการให้บริการของผู้ใช้งานอื่น ๆ ด้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น PCRF ทำงานโดยมีเงื่อนไขว่าเมื่อผู้ใช้งานมีการใช้งานข้อมูลครบตามปริมาณที่กำหนดไว้ ผู้ใช้งานรายนั้นๆ จะถูกลดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลลง ตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่งผลให้ความเร็วในการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้งานรายนั้นลดลงจากค่าปกติ ด้วยหลักการดังกล่าวจะทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมสามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการกับผู้ใช้งานโครงข่ายทุกคนในระบบให้มีคุณภาพในการใช้บริการอย่างเหมาะสมตามที่กำหนดไว้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [5] ได้มีการเปรียบเทียบ QoS ของการใช้งาน Social Network Application ได้แก่ Skype, Line, Tango และ OOVOO ในโครงข่าย 3G ที่อัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดปกติ และโครงข่าย 3G ที่ถูกปรับลดอัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ค่า FUP โดยการใช้งานแบบเคลื่อนที่ ผลที่ได้คือโครงข่าย 3G ที่มีอัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดปกติมีประสิทธิภาพดีกว่ากรณีที่มี FUP อย่างมาก

งานวิจัย [6] ได้มีการจำลองการใช้งานบริการสตรีมมิ่งวิดีโอบนโครงข่าย LTE โดยคำนึงถึงผลของตำแหน่งที่ติดตั้ง Video Caching โดยได้จำลองตำแหน่งของ Video Caching อยู่ที่ Data center ส่วนกลาง, กรณี Video Caching อยู่ตามภูมิภาค และกรณี Video Caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ในโครงข่าย LTE โดยสรุปได้ว่ากรณีที่มีการติดตั้ง Caching card บนอุปกรณ์ eNodeB จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอมากที่สุดแต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าใช้จ่ายสูงตามจำนวน eNodeB ที่ใช้งานแต่ในกรณีที่ติดตั้งVideo caching ในส่วนภูมิภาค จะมีประสิทธิภาพด้อยกว่ากรณีที่ติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB อยู่ประมาณ 3% และจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ติดตั้ง Video caching ที่ Data center ส่วนกลางถึง 10% ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นกับการลงทุน งานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE เลือกใช้ Video caching แบบกระจายตามแต่ละภูมิภาค

จากการศึกษาค้นคว้า ยังไม่พบงานวิจัยใดที่เสนอแนวคิดในการเพิ่มคุณภาพการใช้บริการสตรีมมิ่งวิดีโอให้กับผู้ใช้งานที่ถูกลดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดอันเนื่องจาก FUP โดยงานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดให้ PCRF สื่อสารกับ Video Caching server โดย PCRF ซึ่งทราบว่าผู้ใช้งานถูกลดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลเนื่องจาก FUP เมื่อผู้ใช้งานรายนี้เรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอ PCRF จะสั่งการไปยัง Video Caching serverให้สตรีมวิดีโอที่ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสอดคล้องกับอัตราการรับ-ส่ง

ข้อมูลสูงสุดที่ FUP ทำให้ช่วยเพิ่มประสบการณ์การใช้งานให้กับผู้ใช้งาน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

งานวิจัยนี้ได้จำลองโครงข่าย LTE โดยกำหนดให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ (User Equipment - UE) เรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE ใน 2 รูปแบบคือ

1. โครงข่ายเดิมที่มีการติดตั้ง Video caching server ไว้ที่ศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

2. โครงข่ายที่นำเสนอ โดย PCRF สามารถสั่งให้ Video caching server เปลี่ยนค่า Video Resolution ตามอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดของ UE

งานวิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอโดยได้ทดสอบ UE ที่มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด 4 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. UE มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด 84 Mbps

2. UE มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด FUP 512 kbps

3. UE มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด FUP 384 kbps และ

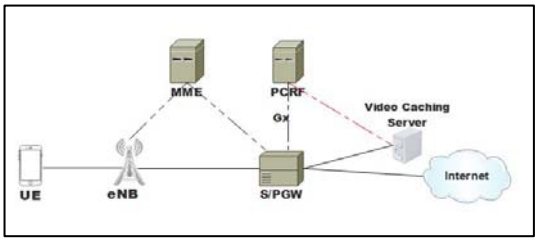
4. UE มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด FUP 256 kbps

โดยรูปแบบที่จำลองในระบบมีจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 UE และไม่มีการเคลื่อนที่ โดยจำลองการทำงานของระบบด้วย NS2

3.2 การทดสอบ

3.2.1 การจำลองสถานการณ์ในการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจาก UE ขอใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอโดยเรียก Resolution ประเภทต่างๆมายัง Video server ผ่าน Video caching server โดยในกรณีของโครงข่ายที่นำเสนอ PCRF จะสั่งการไปยัง Video caching server ให้ปรับความละเอียดของสตรีมมิ่งวิดีโอให้เป็น 720P, 480P, 360P หรือ 240P ขึ้นกับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดของ UE ตาม FUP ของผู้ให้บริการ โดยงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสตรีมมิ่งวิดีโอจากค่าการสูญเสียแพ็กเก็ต (Packet loss) ความล่าช้าทางเวลา (Delay) และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) โดยการจำลอง 2 รูปแบบ คือ โครงข่าย LTE ปกติ และโครงข่ายที่นำเสนอซึ่งแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงข่ายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

3.2.2 ตัวแปรและค่าตัวแปรในการทดสอบ

ในการทดสอบการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอจะใช้ Video Resolution 5 ประเภทและใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดในการ Download ต่างกันออกไปซึ่งใช้ตัวแปรและค่าตัวแปรดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรและค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ

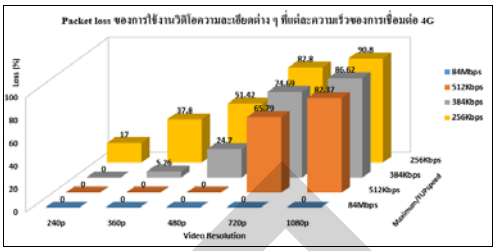
ตัวแปร	ค่าตัวแปร
UE (Uplink)	21 Mbps
UE (Downlink)	มี 4 กรณี 84 Mbps, 512 kbps, 384 kbps และ 256 kbps
Video Resolution	มี 5 ประเภท 1080P , 720P, 480P, 360P และ 240P
Core Network	1000 Mbps
Internet	1000 Mbps
Delay	ระหว่าง UE และ eNB คือ 22 ms ระหว่าง eNB และ S/PGW คือ 2 ms ระหว่าง S/PGW และ Video Caching Server คือ 3 ms

4. ผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบการเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอในโครงข่ายที่นำเสนอโดยใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ต่างกันของการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอ แบ่งเป็น 4 กรณีดังนี้ กรณีที่ 1. UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ 84 Mbps เรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภท, กรณีที่ 2. UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP 512 kbps เรียกใช้ Video Resolution 1080P และ 720P กรณีที่ 3. UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP 384 kbps เรียกใช้ Video Resolution 1080P, 720P, 480P และ 360P และกรณีที่ 4. UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP 256 kbps เรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภท

4.1 ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล (Packet loss)

ผลการจำลองค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลแสดงอยู่ในภาพที่ 3.

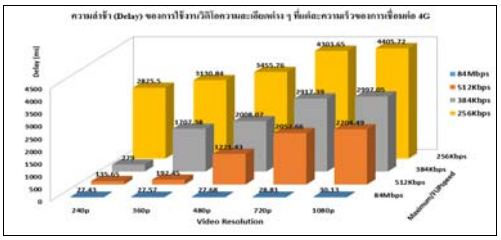


ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่า Loss เมื่อมีการใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดและ Video Resolution ที่ต่างกัน

จากการทดสอบการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอจะมีผลกับค่า Loss ดังนี้ กรณีที่ 1.การเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภท จะเกิดค่า Loss เท่ากับ 0 % เนื่องจากยังไม่ถูกจำกัดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดจาก FUP, กรณีที่ 2. และ กรณีที่ 3. UE จะได้รับ Video Resolution 480P และ 240P ตามลำดับซึ่งเป็น Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับค่า FUP ที่ UE ได้รับ จะเกิดค่า Loss เท่ากับ 0% ทั้ง 2 กรณี และกรณีที่ 4. การเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทจะเกิดค่า Loss สูง จึงไม่แนะนำการใช้งานนี้

4.2 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)

ผลการจำลองค่าความล่าช้าทางเวลาแสดงอยู่ในภาพที่ 4.

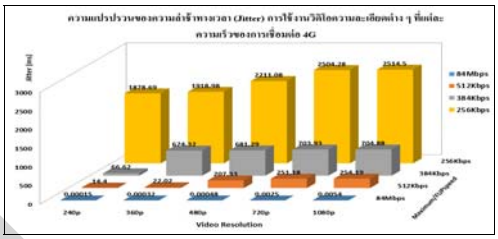


ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่า Delay เมื่อมีการใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดและ Video Resolution ที่ต่างกัน

จากการทดสอบการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอจะมีผลกับค่า Delay ดังนี้ กรณีที่ 1. การเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทจะเกิดค่า Delay ต่ำและไม่กระทบกับการใช้งาน เนื่องจากยังไม่ถูกจำกัดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดจาก FUP, กรณีที่ 2. UE จะได้รับ Video Resolution 360P ซึ่งเป็น Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับค่า FUP ที่ UE ได้รับจะเกิดค่า Delay 192.45 ms ซึ่งลดลงจากการใช้งานโครงข่ายเดิมประมาณ 10.53 % กรณีที่ 3. UE จะได้รับ Video Resolution 240P ซึ่งเป็น Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับค่า FUP ที่ UE ได้รับจะเกิดค่า Delay 279 ms ซึ่งลดลงจากการใช้งานโครงข่ายเดิมประมาณ 11.58 % และกรณีที่ 4. การเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทจะเกิดค่า Delay สูง จึงไม่แนะนำการใช้งานนี้

4.3 การแปรปวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

ผลการจำลองค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลแสดงอยู่ในภาพที่ 5.



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่า Jitter เมื่อมีการใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดและ Video Resolution ที่ต่างกัน

จากการทดสอบการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอจะมีผลกับค่า Jitter ดังนี้ กรณีที่ 1. การเรียกใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอทั้ง 5 ประเภทจะเกิด Jitter ต่ำและไม่ส่งผลกระทบกับการใช้งาน เนื่องจากยังไม่ถูกจำกัดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดจาก FUP, กรณีที่ 2. UE จะได้รับ Video Resolution 360P ซึ่งเป็น Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับค่า FUP ที่ UE ได้รับจะเกิดค่า Jitter 22.02 ms ซึ่งลดลงจากการใช้งานโครงข่ายเดิมประมาณ 9.26 % กรณีที่ 3. UE จะได้รับ Video Resolution 240P ซึ่งเป็น Resolution ที่ดีที่สุดสำหรับค่า FUP ที่ UE ได้รับจะเกิดค่า Jitter 66.62 ms ซึ่งลดลงจากการใช้งานโครงข่ายเดิมประมาณ 9.63 % และกรณีที่ 4. การเรียกใช้ Video Resolution ทั้ง 5 ประเภทจะเกิดค่า Jitter สูง จึงไม่แนะนำการใช้งานนี้

จากผลการทดสอบข้างต้นการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอกับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP ที่กล่าวมานั้นสามารถสรุปการใช้ Video Resolution ที่สอดคล้องและดีที่สุดในแต่ละกรณีดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ค่า FUP และ Video Resolution ที่ดีที่สุด

อัตรารับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ค่า FUP	Video Resolution ที่ดีที่สุด
512 kbps	480P
384 kbps	240P
256 kbps	ไม่แนะนำให้ใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอ

5. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอภายใต้โครงข่ายที่นำเสนอ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานสตรีมมิ่งวิดีโอให้กับผู้ใช้งานอย่างมากคือ กรณีที่ UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP 512 kbps จะไม่เกิดค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเลยคือ Loss เท่ากับ 0 %, ค่า Delay ลดลงจากการใช้งานโครงข่ายเดิมประมาณ 10.53 % และค่า Jitter ลดลงประมาณ 9.26 % และกรณีที่ UE ใช้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดที่ FUP 384 kbps จะไม่เกิดค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเลยเช่นกันคือ Loss เท่ากับ 0 %, ค่า Delay ลดลงประมาณ 11.58 % และค่า Jitter ลดลงประมาณ 9.63 % จึงช่วยลดปัญหาการเกิดประสบการณ์การใช้งานที่ไม่ดี (User Experience) และลดปัญหาการย้ายค่ายและอาจช่วยเพิ่มลูกค้ารายใหม่ให้กับผู้ให้บริการแต่ในทางปฏิบัติสำหรับผู้ให้บริการการเพิ่มหน้าที่ให้กับ PCRF อาจต้องใช้ต้นทุนในการปรับเปลี่ยนโครงข่ายจึงต้องพิจารณาถึงการลงทุนในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Netthailand. (2016, June 20) video stream.Online : http://www.netthailand.com/home/articles.php?art_id=8&

[2] YouTube Help. (2016, April 14). Live encoder settings, bitrates and resolutions.Online:https://support.google.com/youtube/answer

[3] สุรพงษ์ ฐานะประสิทธิ์, (2016 September 15) LTE. Online : http://pharm4glteand3g.blogspot.com/2013/08/4g-lte-and-3g.html

[4]Kamp. (2016 August 09). PCRF. Online: http://telecom10.blogspot.com/2015/02/pcrf.html

[5] Apiwan Wiangjan and Pongpisit Wuttidittachotti, A Study of Fair Usage Policy Effects on VoIP Quality from Social NetworkingApplications, IEEE 2015

[6] นิรมล ศรีโชต, การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE, NCIT 2016

นางสาวศิริพร อ่อนนุ่ม

ตำแหน่ง: Database Administrator

การศึกษา: กำลังศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

งานวิจัยที่สนใจ : 5G และ Video Streaming on Mobile

DPU

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ศิริพร อ่อนนุ่ม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 เทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	Database Administrator

DPU