การประเมินประสิทธิภาพ Video Caching แบบรวมศูนย์
และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE

นิรมล ศรีโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี
และวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2560

Performance Evaluation of Centralized and Distributed

Video Caching on LTE Network

Niramol Srichoti

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 การประเมินประสิทธิภาพ Video Caching แบบรวมศูนย์ และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE

เสนอโดย นางสาวนิรมล ศรีโชติ

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.... คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ 27 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจาย บนโครงข่าย LTE
ชื่อผู้เขียน	นิรมล ศรีโชติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยความต้องการใช้บริการประเภท Real-time เช่น Video streaming บนโครงข่าย LTE ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นมักจะตามมาด้วยข้อจำกัดต่างๆ เช่น เรื่องความล่าช้าทางเวลาและแบนด์วิดธ์ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ Video streaming จึงจำเป็นต่อผู้ให้บริการโครงข่าย LTE

โดยปกติแล้วผู้ให้บริการมักติดตั้งเครื่องแม่ข่ายวิดีโอไว้ที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งหากผู้ผู้ใช้บริการเรียกดูวิดีโออยู่ตามภูมิภาค มักทำให้เกิดความล่าช้ามากขึ้นตามระยะทาง อัตราการสูญหายของข้อมูลสูงขึ้นทำให้วิดีโอที่ได้รับชมขาดหายบ้างช่วง และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าจะมากขึ้นตามไปด้วย งานวิจัยนี้จึงจำลองการใช้งานบริการ Video streaming บนโครงข่าย LTE โดยวัดผลของกรณีไม่มี Video caching กับกรณีมี Video caching โดยปรับตำแหน่ง Video caching ไว้ 3 ตำแหน่งดังนี้ กรณี Video caching อยู่ที่ Data center ส่วนกลาง กรณี Video caching อยู่ตามภูมิภาค กรณี Video caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB และได้ทดสอบกรณีที่มีเฉพาะบริการ Video Streaming และกรณีที่มี Data background รวมอยู่ด้วย

จากการทดสอบพบว่าตำแหน่ง Video Caching ที่ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ให้ประสิทธิภาพ Video streaming ดีมากที่สุด รองลงมาคือ Video Caching ที่ภูมิภาค และ Video Caching ที่กรุงเทพมหานคร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม Video Caching ที่ติดตั้งที่ eNodeB นั้นมีขนาดเล็กสามารถเก็บวิดีโอคอนเทนต์ได้ปริมาณไม่มาก และต้องติดตั้งหลายจุด หากเทียบเรื่องงบประมาณที่ผู้ให้บริการต้องลงทุนกับประสิทธิภาพผู้วิจัยแนะนำให้ติดตั้ง Video Caching ที่ภูมิภาค เนื่องจากลงทุนติดตั้งเพียงภูมิภาคละ 1 จุด และสามารถเก็บวิดิโอได้มากกว่าที่ eNodeB งานวิจัยนี้จึงทำเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE ใช้ประกอบการตัดสินใจก่อนการติดตั้งเพื่อใช้งานจริง

Thesis Title	Performance Evaluation of Centralized and Distributed Video Caching on LTE Network
Author	Niramol Srichoti
Thesis Advisor	Tanun Jaruvitayakovit, Ph.D
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2016

ABSTRACT

According to the demand for real-time Internet access, such as video streaming on LTE networks increases, it often comes with limitations such as the delay of time and bandwidth. Thus, video streaming service enhancements are essential for LTE operators.

Normally, video service providers install video server in Bangkok. When user in the region browses the video, the system browses the video from video server in Bangkok and sends to the regional service user. Since the data is transmitted over long distances, it often causes a lot of delay variation along the distance and the loss of data is increased, resulting in the video is not clear. This research simulates the use of video streaming services on LTE networks and compare with video catching and without video catching. In addition, this research also considers the area of video caching by simulating the position of Video caching and adjust three area. When video caching is at data center, at the regional and in case of video caching is catching card on eNodeB. On LTE networks, this tested in case of there is only video streaming services and in case of data background is included.

The simulate found that video caching on eNodeB resulting in the most efficiency of video streaming. The second is Video caching at the regional and Video Caching locations in Bangkok, respectively. However, Video caching on eNodeB is small so few video content storage and eNodeB is installed many area in each region. To compare the budget that the service provider invests to the efficiency, the researcher recommends to install video caching in the region, since the investment is worthy than install on eNodeB. This research provides basic information for LTE operators to make decision before installing for real use.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด คำปรึกษา การแก้ไขปัญหาต่างๆ และเอาใจใส่สั่งสอนให้ความรู้ด้านวิชาการ และด้านการวางแผนในการดำเนินชีวิต ตลอดจวบจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสุทธิกุลกิจ ท่านประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ และผศ. ดร.ณรงค์เดช กีนติพรานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ความรู้เพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ และสามารถนำไปปรับปรุงวิทยานิพนธ์นี้ให้ครบสมบูรณ์

ขอบคุณ คุณกุลธรา อานนท์ เจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ที่ช่วยประสานงานเรื่องเอกสาร และกำหนดการสอบวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณ คุณวรสิทธิพล ทมโคตร ที่ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ การแก้ไขปัญหาต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณภาณุวง เมฆไพบูลย์ และคุณผกาศิตา ศรีภักดี ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว สามี ที่เป็นกำลังใจ แรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้ลุล่วงไปได้ รวมไปจนถึงท่านที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจวบจนสำเร็จการศึกษา

นิรมล ศรีโชติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	4
1.6 แผนดำเนินงานวิจัย	4
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 วิวัฒนาการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE	7
2.3 รูปแบบการจราจรของข้อมูลในโครงข่าย LTE	11
2.4 แคชชิ่ง (Cache)	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
3. ระเบียบวิธีวิจัย	16
3.1 โครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย	16
3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ทดสอบโครงข่าย LTE	17
3.3 การประยุกต์ซอฟต์แวร์ NS2 เพื่อทดสอบโครงข่าย LTE	27
3.4 การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE	29
3.5 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย	32
4. ผลการศึกษา	33
4.1 การทดสอบ	34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4.2 อภิปรายผลการทดสอบ........ 53
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ........ 58
5.1 สรุปผลการวิจัย........ 58
5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย........ 59
5.3 ข้อเสนอแนะ........ 60
บรรณานุกรม........ 61
ภาคผนวก........ 63
ก ขั้นตอน และชุดคำสั่งเพื่อแปลงไฟล์ภาพยนตร์จริง
เพื่อให้ประยุกต์ใช้ในโปรแกรม NS2........ 64
ข งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับประเทศ
ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information
Technology: NCIT) ครั้งที่ 8........ 68
ประวัติผู้เขียน........ 77

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินงาน.. 4
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ........................... 15
3.1 เหตุการณ์จำลองโครงข่าย... 22
3.2 จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE.. 22
3.3 ขนาดความจุของการเชื่อมต่อ และความล่าช้าระหว่างอุปกรณ์
ในโครงข่าย LTE ในกรณีไม่มี Video caching.. 23
3.4 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE
กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนกลาง... 24
3.5 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE
กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนภูมิภาค...................................... 25
3.6 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE
กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ eNodeB.. 26
3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบทราฟฟิกในโครงข่าย LTE.............................. 27

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4	8
2.2	สถาปัตยกรรมของ E-UTRAN	9
2.3	สถาปัตยกรรม User plane และ Control plane	10
2.4	QCI : QoS class identifier	11
3.1	โครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย	16
3.2	โหนดรับส่งข้อมูลและการเชื่อมต่อในโครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.3	โครงข่าย LTE ที่ไม่มี Video caching	29
3.4	โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่ง Data center ส่วนกลาง	30
3.5	โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่ง Data center ส่วนภูมิภาค	31
3.6	โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	31
4.1	ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	35
4.2	ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	36
4.3	ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video Cachng ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.4 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB.. 38
4.5 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB......................... 39
4.6 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB......................... 40
4.7 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB... 41
4.8 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาคแบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB.......................... 42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.9 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB.......................... 43

4.10 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB... 44

4.11 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB....................... 45

4.12 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB44................... 46

4.13 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB... 47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.14 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาคแบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB........................ 48

4.15 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาคแบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB........................ 49

4.16 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB.. 50

4.17 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB....................... 51

4.18 ค่าความแปรปรวนของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB.. 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.19	ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีมีเฉพาะบริการ Streaming โดยไม่มี Video caching อยู่ในโครงข่ายผู้ให้บริการ	54
4.20	เปรียบเทียบค่าความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน	55
4.21	เปรียบเทียบค่าความอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน	56
4.22	เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของความล่าช้าของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน	57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นของบริการประเภท Real-time เช่น Video streaming บนโครงข่าย LTE โดยปกติจะมีข้อจำกัดในเรื่องความล่าช้าทางเวลาและแบนด์วิดท์ การเพิ่มประสิทธิภาพบริการ Video streaming จึงจำเป็นต่อผู้ให้บริการโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้จำลองการใช้งานบริการ Video streaming บนโครงข่าย LTE โดยคำนึงถึงผลของการทำ Video caching เทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังคำนึงถึงผลของตำแหน่งของ Video caching โดยได้จำลองตำแหน่งของ Video caching อยู่ที่ศูนย์ข้อมูล (Data center) ส่วนกลาง กรณี Video caching อยู่ตามภูมิภาค และกรณี Video caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ในโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming โดยวัดจากค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา และอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE ใช้ประกอบการตัดสินใจก่อนการติดตั้งเพื่อใช้งานจริง

ในปัจจุบันคงปฏิเสธไม่ได้ว่าโทรศัพท์มือถือคือสิ่งที่จำเป็นในชีวิตประจำวันของคนยุคสมัยนี้ โครงข่ายผู้ให้บริการโทรคมนาคมต่างพัฒนาความเร็วของอินเทอร์เน็ตเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่ออินเตอร์เน็ตมีความเร็วมากขึ้น จึงทำให้เกิดบริการใหม่ๆบริการที่ผู้ใช้งานนิยมในปัจจุบันคือ รับชมวิดีโอผ่านทางโทรศัพท์มือถือ ซึ่งการรับชมวิดีโอผ่านมือถือใช้แบนด์วิดท์สูง ทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตมาก และ user experience ก็จะไม่ดีนัก โดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรมคมนาคมจะปรับปรุงโดยการใช้ Video caching เพื่อจัดเก็บวิดีโอที่ถูกเรียกดูบ่อย โดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะติดตั้ง Video caching อยู่ที่ศูนย์ข้อมูลภายในกรุงเทพฯเนื่องจากเป็น Internet gateway ออกสู่โลกภายนอก ปัญหาคือในบางช่วงเวลามีวิดีโอเป็นที่นิยม ผู้ใช้บริการที่อยู่ในภูมิภาคต่างๆจะเรียกดูวิดีโอนั้นบ่อยครั้งระบบจะร้องขอ Video content จากภูมิภาคมาที่ Caching server ที่อยู่กรุงเทพฯ ด้วยระยะทางที่ห่างกันนี้ทำให้มีความล่าช้าทางเวลา (delay) ทำให้ user experience ในการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์หลักการกระจาย (distributed) มาใช้กับ Video caching ที่มีการใช้กับโครงข่าย LTE โดยจะมีการทำ Video caching ที่อุปกรณ์ eNodeB (enhanced

NodeB) แทนที่จะใช้งาน Video caching ที่อยู่ในศูนย์ข้อมูลส่วนกลางและ/หรือส่วนภูมิภาค วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียกดูวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE และลดแบนด์วิดท์ภายในของผู้ให้บริการโทรคมนาคม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสำหรับการใช้งาน Video streaming ผ่านโครงข่าย LTE โดยนำหลักการกระจาย (distributed) มาประยุกต์ใช้กับ Video caching
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการบนโครงข่าย LTE แบบที่มี Video caching ในตำแหน่งต่างๆ และแบบที่ไม่มี Video caching

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. จำลองการทำงานของระบบโครงข่าย LTE ด้วยซอฟต์แวร์ NS2
2. การจำลองระบบโครงข่าย LTE ประกอบด้วยโครงข่ายย่อย 3 โครงข่ายคือ
   2.1 โครงข่ายไร้สาย (Radio Access Network)
   2.2 โครงข่ายหลัก (Core Network)
   2.3 โครงข่ายสาธารณะ (Internet)
3. ทดสอบการทำงานโครงข่าย LTE ด้วยกรณีต่างๆ ดังนี้ โดยนำ Video caching วางไว้ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้
   3.1 กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต
   3.2 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค
   3.3 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค
   3.4 กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค
4. วัดประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming โดยพิจารณาจาก 3 ค่าดังนี้
   4.1 ค่าความล่าช้า (Delay)
   4.2 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้า (Jitter)

4.3 อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet delivery ratio)

5. ทดสอบการทำงานโครงข่าย LTE ด้วย 2 กรณีดังนี้

5.1 กรณีมีเฉพาะทราฟฟิก Streaming โดยนำ Video caching วางไว้ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

5.1.1 กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต

5.1.2 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.1.3 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.1.4 กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.2 กรณีมีทราฟฟิก Streaming และ Data background แบบ VBR (variable bitrate) โดยนำ Video caching วางไว้ตำแหน่งต่างๆดังนี้

5.2.1 กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต

5.2.2 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.2.3 กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.2.4 กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังนี้

1. เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสำหรับการใช้งานวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE

2. เพื่อทราบแนวทางว่าการปรับตำแหน่ง Video caching ไว้ตำแหน่งใดจะให้ประโยชน์ และมีต้นทุนน้อยที่สุด

3. ได้เรียนรู้การพัฒนาซอฟต์แวร์ NS2 ที่ใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานของโครงข่าย LTE

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
   1.1 ซีพียูประมวลผลความเร็ว 2.27 GHz Core i5
   1.2 แรมขนาด 8.0 GB
   1.3 ฮาร์ดดิสความจุ 320 GB
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 แผนดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้ตั้งแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา(ไตรมาส)						
	Q1/2559	Q2/2559	Q3/2559	Q4/2559	Q1/2560	Q2/2560	Q3/2560
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย	↔						
2. ศึกษาการหลักการทำงานของซอฟต์แวร์ NS2		↔					
3. ศึกษาและปรับใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์ LTE module ให้ใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ NS2		↔	↔				

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

การดำเนินงาน	ระยะเวลา(ไตรมาส)						
	Q1/2559	Q2/2559	Q3/2559	Q4/2559	Q1/2560	Q2/2560	Q3/2560
4. ออกแบบโครงข่าย LTE และเขียนโปรแกรมจำลองโครงข่าย LTE บนซอฟต์แวร์ NS2			↔	↔			
5. พัฒนาส่วนของการปรับตำแหน่ง Video caching เข้ากับโครงข่าย LTE ที่ได้ออกแบบไว้				↔			
6. พัฒนาแบบจำลองสำหรับการทดสอบการทำงาน					↔		
7. ทดสอบการทำงานและประเมินผล					↔	↔	
8. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์						↔	↔

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎี และงานวิจัยที่ได้ศึกษาเพื่อนำมาปรับใช้ และนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ วิวัฒนาการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่, สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเรื่อง Cache

2.1 วิวัฒนาการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่[1]

วิวัฒนาการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ยุค (Generation) โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 (First Generation : 1G) เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกคิดค้นขึ้นในปี 1980 แนวความคิดที่สำคัญนั่นคือ พื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่แบ่งออกเป็นเซลล์ (ปกติ 10-25 km) แต่ละงานโดย "สถานีฐาน" เซลล์มีขนาดเล็กที่นำมาใช้ความถี่สามารถใช้ประโยชน์ในเซลล์ใกล้เคียง (แต่ไม่ติดกัน) ซึ่งช่วยให้ครอบคลุมผู้ใช้งานในพื้นที่ที่กำหนด ระบบ 1G เป็นระบบอะนาล็อกที่รู้จักกันแพร่หลายเป็นช่วงต้นของเทคโนโลยี โทรศัพท์มือถือที่ทำงานในย่านความถี่ 150 MHz บริษัทแรกที่เปิดตัวโทรศัพท์มือถือเครือข่าย (รุ่น 1G) ในประเทศญี่ปุ่นคือ เอ็นทีที (บริษัทนิปปอนเทเลกราฟแอนด์เทเลโฟนคอร์ปอเรชั่น) ในปี 1979 ในเขตปริมณฑลของกรุงโตเกียวภายในระยะเวลาห้าปีเครือข่ายเอ็นทีทีได้ขยายให้บริการครอบคลุมประชากรทั้งหมดของประเทศญี่ปุ่น

2.1.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 (Second Generation : 2G) เครือข่ายโทรคมนาคมมือถือได้เปิดตัวในเชิงพาณิชย์ในมาตรฐาน GSM ในประเทศฟินแลนด์ โดย Radiolinja ในปี 1991 2G ใช้สัญญาณดิจิตอลสำหรับการส่งผ่านเสียงและมีความเร็วสูงสุดถึง 64 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนี้ยังจัดให้มีการให้บริการข้อความสั้น (SMS) และใช้แบนด์วิดธ์ในช่วง 30-200 KHz

2.1.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (Third Generation : 3G) International Mobile Telecommunications-2000 (IMT--2000) รู้จักกันดีในชื่อ 3G หรือ 3rd Generation เป็นมาตรฐานสำหรับโทรศัพท์มือถือ และบริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ ที่ดำเนินการตามข้อตกลงสหภาพ

---

[1] Vivek Sanghvi Jain , Sanchit Jain, Lakshmi Kurup & Aruna Gawade (2014). Overview on Generations of Network: 1G,2G,3G,4G,5G. Computer Technology & Applications,Vol 5 (5), Page 1789-1794

โทรคมนาคมระหว่างประเทศ เป็นเครือข่ายไร้สายที่มีความชัดเจนเพิ่มขึ้น ข้อมูลถูกส่งผ่านเทคโนโลยีที่เรียกว่า Packet Switching การโทรออกด้วยเสียงผ่าน Circuit Switching สามารถให้บริการวิดีโอ บริการใหม่ๆ เช่น โรมมิ่งทั่วโลก ดำเนินการในช่วงความถี่ 2100MHz และขนาดแบนด์วิดธ์ 15-20MHz ใช้สำหรับบริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง video chatting แม้ว่าการใช้งานของเทคโนโลยี 3G ทำให้ราคาลดลงอย่างมากตั้งแต่เริ่มก่อตั้งขึ้น แต่เนื่องจากมีการนำมาใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นยังคงค่าใช้จ่ายมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี 2G เนื่องจากการส่งแบนด์วิดธ์สูงของเทคโนโลยี 3G ทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ลดลง การใช้บริการข้อมูลบนระบบ 3G

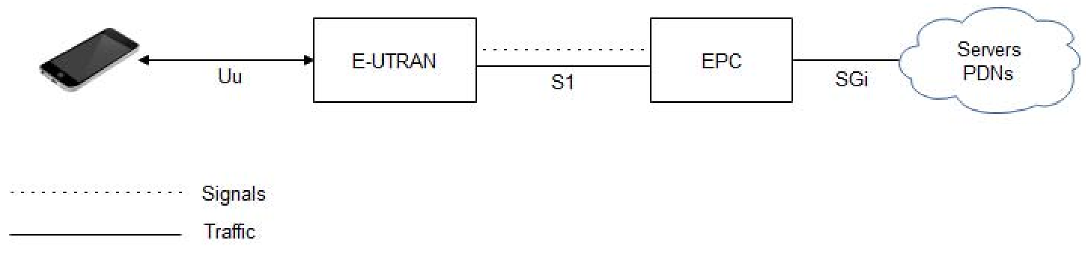
2.1.4 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G) ในเดือนมีนาคมปี 2008 International Telecommunications Union-Radio communications sector (ITU-R) ได้กำหนดมาตรฐาน 4G ชื่อ the International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) เป็นการกำหนดให้ความเร็วสูงสุดสำหรับการให้บริการ 4G ที่ 100 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/s) สำหรับการสื่อสารคล่องตัวสูง (เช่นผู้ใช้งานจากรถไฟและรถยนต์) และ 1 กิกะบิตต่อวินาที (Gbit/s) สำหรับการสื่อสารการเคลื่อนไหวต่ำ (เช่นผู้ใช้งานเดินเท้าและผู้ใช้อยู่กับที่) ระบบ 4G ไม่เพียง แต่ให้เสียง และบริการอื่นๆ แบบเดียวกับ 3G แต่ยังให้การเข้าถึงเครือข่ายอัลตร้าบรอดแบนด์ไปยังอุปกรณ์มือถือ รับชมวิดีโอคุณภาพ HD ผ่านมือถือ การประชุมทางวิดีโอ, การให้บริการการเล่นเกมออนไลน์ และcloud computing

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาและจำลองการรับส่งข้อมูลประเภท Video streaming บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เนื่องจากเป็นเครือข่ายที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน และ Video streaming เป็นบริการที่ผู้ใช้บริการนิยม ซึ่งหากในบางช่วงเวลามี Clip Video ที่เป็นที่นิยม ผู้ใช้บริการจะเรียกดูเป็นจำนวนมาก และเกิดการเรียกดู Video นั้นๆ บ่อย ซึ่งควรมีแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ Video streaming ผ่านเครือข่าย 4G และสามารถช่วยผู้ให้บริการมีค่าใช้จ่ายน้อยลง และช่วยเพิ่มประสบการณ์การใช้งาน (User experience) ที่ดีให้กับผู้ใช้งาน

2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE[2]

สถาปัตยกรรมเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 หรือ โครงข่าย LTE มีสถาปัตยกรรมโครงสร้างของระบบ ดังภาพที่ 2.1

[2] tutorialspoint, LTE Network Architecture



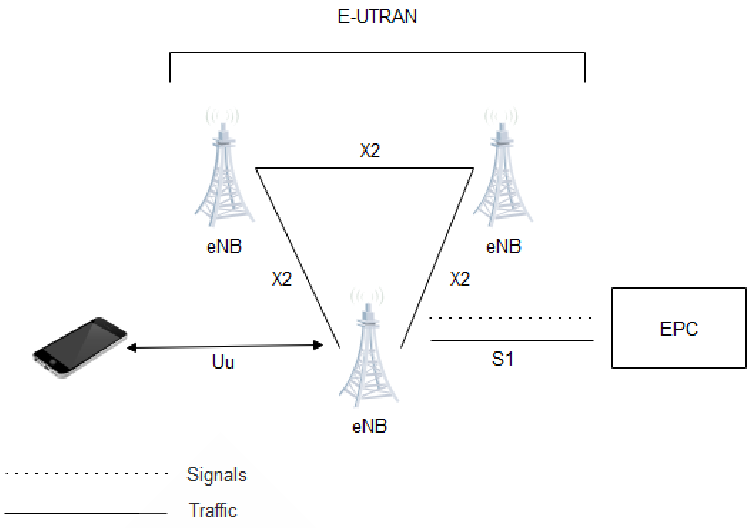
ภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4

ที่มา: http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm

จากภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 นั้นจะประกอบไปด้วย 3 โครงข่าย ดังต่อไปนี้

2.2.1 อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (User Equipment หรือ UE) เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งใน UE จะมี SIM Card ซึ่งทำงานบนแอพพลิเคชั่นที่เรียกว่า Universal Subscriber Identity Module (USIM) จะเก็บข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้ และทำหน้าที่ในการยืนยันตัวตนผู้ใช้งาน การเข้ารหัสระหว่างการรับส่งข้อมูลกับสถานีฐาน

2.2.2 สถานีฐาน (enhanced Node B : eNodeB) เป็นสถานีฐานที่ทำหน้าที่ในการกระจายสัญญาณและคอยควบคุมกลไกการเชื่อมต่อภาคไร้สายกับอุปกรณ์ผู้ใช้งานปลายทาง แต่ละ eNodeB เชื่อมต่อกับ EPC โดยวิธีการของอินเตอร์เฟซ S1 และยังสามารถเชื่อมต่อกับสถานีฐานอยู่บริเวณใกล้เคียงโดยอินเตอร์เฟซ X2 ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการส่งสัญญาณและการส่งต่อแพ็คเก็ตในระหว่างการส่งมอบ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สถาปัตยกรรมของ E-UTRAN

ที่มา: http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm

2.2.3 โครงข่ายอีพีซี (Evolve Packet Core : EPC) เป็นโครงข่ายหลัก (Core Network) ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.2.3.1 The Home Subscriber Server (HSS) เป็นฐานข้อมูลกลางที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้บริการในเครือข่ายผู้ประกอบการ เช่น ข้อมูลโปรโมชั่นของผู้ใช้บริการ สถานที่ที่ผู้ใช้บริการกำลังเชื่อมต่อ รวมถึงการยินยอมให้ใช้งานในบริการต่างๆ เป็นต้น

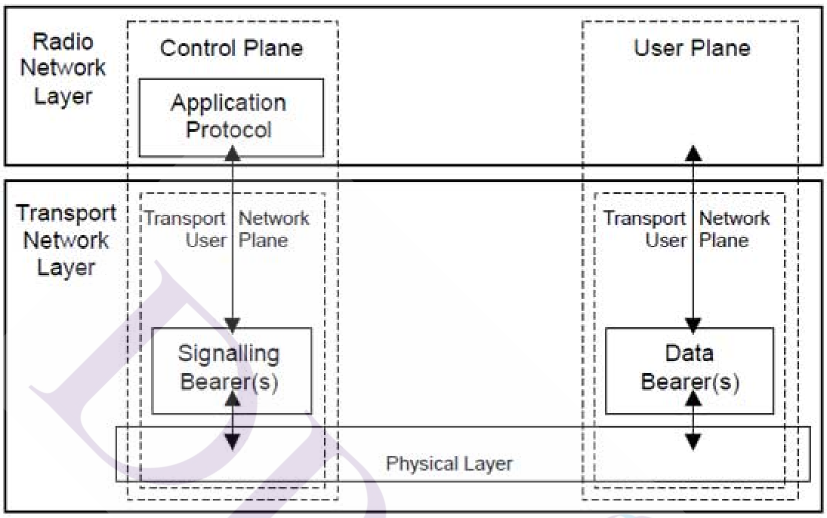
2.2.3.2 The Packet Data Network Gateway (PDN-GW) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายภายนอก เช่น เครือข่ายข้อมูลแพ็คเก็ต PDN โดยใช้อินเตอร์เฟซ SGI ทำหน้าที่ในการจองและบริหารจัดการหมายเลขไอพีให้กับอุปกรณ์ผู้ใช้งานเพื่อติดต่อกับโครงข่ายภายนอก

2.2.3.3 The serving gateway (S-GW) ทำหน้าที่บริหารจัดการทรัพยากรให้เหมาะสมแก่ผู้ใช้งานทุกคน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเราเตอร์ ส่งต่อข้อมูลระหว่างสถานีฐานและ PDN-GW นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ตัวกลางในการควบคุม และขณะใช้งานมีการติดต่อกับ PCRF เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายตามราคาค่าบริการตามอัตราข้อมูลที่ผู้ใช้บริการใช้งานจริง

2.2.3.4 The mobility management entity (MME) ควบคุมการดำเนินงานยืนยันตัวตนผู้ใช้งาน และ Home Subscriber Server (HSS)

2.2.3.5 The Policy Control and Charging Rules Function (PCRF) ทำหน้าที่ควบคุมนโยบายการตัดสินใจ เช่น การตัดสินใจว่าผู้ใช้บริการนี้จะต้องได้บริการแบบใด และส่งข้อมูลข้อบังคับการให้บริการให้กับอุปกรณ์ PDN-GW

ภายในโครงข่าย LTE นั้นจะแยกโพรโทคอลในการรับส่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ User plane และ Control plane ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 สถาปัตยกรรม User plane และ Control plane

ที่มา: http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_radio_protocol_architecture.htm

User plane เป็นการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน ทำการรับส่งข้อมูลระหว่าง eNoedB กับ PDN-GW ซึ่ง User plane โดยมีการใช้งานผ่านโพรโทคอลชื่อ GPRS Tunneling Protocol User part (GTP-U) ซึ่งเป็นโพรโทคอล ตามมาตรฐานของ 3GPP โดยใช้เทคนิค Tunneling และการเชื่อมต่อระหว่าง S-GW กับ P-GW นั้นก็อาจจะมีการใช้โพรโทคอลคอลมาตรฐานของทาง IEFT นั้นคือโพรโทคอล Generic Routing Encapsulation (GRE) โดยใช้เทคนิค Tunneling เช่นกัน

Control plane เป็นการรับส่งข้อมูล ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE ซึ่งอุปกรณ์ในโครงข่าย ECP ใช้โพรโทคอลในที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แตกต่างกันออกไป ประกอบด้วย 3 Layer คือ Physical Layer, Data-link Layer, Network Layer

2.3 รูปแบบการจราจรข้อมูลในโครงข่าย LTE[3]

รูปแบบการจราจรที่ใช้งานในโครงข่าย LTE จะแบ่งออกตามประเภทการบริการคุณภาพของสัญญาณ เรียกว่า QoS class identifier (QCI) โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ GBR (Guaranteed bit rate) และ Non-GBR (Non-Guaranteed bit rate) ดังภาพที่ 2.4

LTE QCI	Resource Type	Priority	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
QCI-1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Conversational voice
QCI-2		4	150ms	10^{-3}	live streaming of conversational voice
QCI-3		3	50ms		Real time gaming
QCI-4		5	300ms	10^{-6}	Non conversational video(Buffered streaming)
QCI-5	Non-GBR	1	100ms		IMS signalling
QCI-6		6	300ms		Video (buffered streaming),TCP based applications
QCI-7		7	100ms	10^{-3}	Voice, video (live streaming) , interactive gaming
QCI-8		8	300ms	10^{-6}	Video (Buffered streaming) , TCP based applications
QCI-9		9			

ภาพที่ 2.4 QCI : QoS class identifier

ที่มา: http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LTE-QoS.html

2.3.1 ประเภท GBR (Guaranteed bit rate) เป็นการรับประกันคุณภาพบริการ โดยมีให้มี Bit Rate ที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย QCI 1-4 เป็นบริการแบบ Real Time เช่น คุยทางโทรศัพท์ เป็นต้น

2.3.2 ประเภท Non-GBR (Guaranteed bit rate) เป็นการรับประกันคุณภาพบริการ โดยไม่คำนึงถึงขนาด Bit Rate ประกอบด้วย QCI 5-8 ซึ่งเป็นบริการประเภทรับส่ง Data และไม่ใช่บริการแบบ Real Time

---

[3] Pablo Ameigeiras;/et al. (2016).3GPP QoS-based scheduling framework for LTE, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2016

2.4 แคชชิ่ง (Caching[4])

หน่วยความจำประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว Cache จะทำการเก็บข้อมูลที่ผู้ใช้งานเรียกใช้งานบ่อยๆ เพื่อความรวดเร็ว เพราะไม่ต้องไปหาจากข้อมูลทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น เมื่อมีผู้ใช้บริการ A ทำการเรียกข้อมูลของ Web Site ผ่าน ในครั้งแรก Cache จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลของ Web Site อยู่ใน Cache หรือไม่ หากไม่มีข้อมูลใน Cache ตัว Server จะทำการเรียกข้อมูลนั้นจาก Web Site ที่ร้องขอ และนำข้อมูลมาเก็บไว้ใน Cache ซึ่งข้อมูลที่ถูกเก็บขึ้นอยู่กับความถี่ในการเรียกดู และขนาดพื้นที่ของ Cache เพราะโดยปกติแล้ว Cache จะเก็บข้อมูลที่ถูกเรียกใช้งานบ่อยๆเนื่องจาก Cache มีพื้นที่ขนาดเล็ก และเมื่อมีการเรียกข้อมูลที่เคยถูกเรียกแล้ว Cache จะทำการส่งข้อมูลให้ผู้ใช้บริการ และหาก Web Site มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล Server จะตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่ใน Cache ว่าตรงกับข้อมูลปลายทางหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล Cache จะ Update ข้อมูลเพื่อให้ผู้เรียกใช้บริการได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

Cache มี 2 ประเภท คือ Memory Cache และ Disk Cache หลักการทำงานทั้ง 2 แบบนี้จะคล้ายกัน คือ Disk Cache เป็นการอ่านข้อมูลที่ต้องการ นำเข้ามาเก็บไว้ในหน่วยความจำหลัก เมื่อ CPU มีการเรียกใช้งาน ระบบจะค้นหาที่หน่วยความจำหลักก่อน หากไม่พบจะไปค้นหาใน Harddisk ส่วน Memory Cache จะเก็บข้อมูลเฉพาะที่มีการเรียกใช้งานบ่อย ๆไว้ในหน่วยความจำขนาดเล็ก ซึ่ง Memory Cache ทำงานรวดเร็วกว่าหน่วยความจำหลัก กรณีที่ CPU ต้องการข้อมูลระบบจะค้นหาที่หน่วยความจำขนาดเล็กนั้นก่อน หากไม่พบจึงไปค้นหาที่หน่วยความจำหลัก

Disk Cache หรือเรียกอีกชื่อว่า Buffer Cache ซึ่ง Disk Cache ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลทั่วไป แต่แทนที่จะใช้ SRAM ความเร็วสูง Disk Cache ใช้หน่วยความจำหลักทั่วไป โดยเก็บข้อมูลที่มีการเข้าถึงล่าสุด Disk Cache นี้ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำบัฟเฟอร์ เมื่อโปรแกรมต้องการเข้าถึงข้อมูลเป็นครั้งแรกจะตรวจสอบ Disk Cache เพื่อดูว่ามีข้อมูลอยู่ในนั้นหรือไม่ Disk Cache มีประสิทธิภาพการเข้าถึงอย่างรวดเร็ว

---

[4] Nectec, แคช, นักรบ ฆ้องกระโทก, สถาบันราชภัฏสงขลา, 2545, https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/create-web/10000/generality/10000-8548.html, (online)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้ค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับ Cache และโครงข่าย LTE มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.5.1 งานวิจัย An Example of a Simple Cache system for a Video streaming Implementation within a Network Simulation[5] ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับขนาด Cache มีผลกับประสิทธิภาพในการ Streaming video หรือไม่ โดยการการปรับขนาด Cache โดยจำลองเครือข่ายแบบ Broadcasting และ Multicasting ด้วย เงื่อนไขการ Streaming ดังนี้

1) เซิร์ฟเวอร์ Streaming video 1 เรื่อง
2) โหนดทั้งหมดเริ่มได้รับการ Streaming ในเวลาเดียวกัน
3) การเชื่อมต่อระหว่างเซิร์ฟเวอร์และผู้ใช้ทั้งหมดมีค่าเท่ากัน
4) ไม่มีการจราจรอื่นๆ จะถูกส่งไปในระหว่างการส่งวิดีโอ
5) Streaming video จะถูกส่งไปตั้งแต่ต้นจนจบโดยไม่หยุดหรือพักในระหว่าง

ซึ่ง Video ที่นำมาทดลองแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ Akiyo Video, Hall Video, Foreman Video ในแบบคุณภาพสูงและต่ำ โดย Video คุณภาพสูงจะเป็นไปตามมาตรฐาน 352x288 CIF YUV 4:2:0 Video คุณภาพสูงเป็นไปตามมาตรฐาน 176x144 QCIF YUV 4:2:0 Video ทั้งหมดมี frame length with 300 frames มี frame rate 30 Frames/sec โดยบีบอัด Video เป็นแบบ MPEG ซึ่งการทดสอบมีการปรับขนาด Cache และพบว่า เมื่อมีการปรับขนาด Cache จะส่งให้แบนด์วิธในระบบลดลง และประสิทธิภาพวิดีโอเพิ่มดีขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่ามีข้อจำกัดดังนี้

1) ไม่ได้จำลองการทดสอบบนโครงข่าย LTE
2) ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของตำแหน่ง Caching ในระบบที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

2.5.2 งานวิจัย การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE[6] ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการบริหารการจัดคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ NS2 ในการจำลองสถานการณ์ โดยผู้วิจัยจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE 2 รูปแบบคือ Streaming video แบบมีการบริการจัดการคิว และ Streaming video แบบไม่มีการจัดการคิว ซึ่งหากเป็นบริการแบบ Real

---

[5] Patrick Mulumba and Peter Clayton. (2008). An Example of a Simple Cache system for a VideoStreaming Implementation within a NetworkSimulation, SATNAC 2008 Conference Papers.

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

Time ใช้การจัดคิวแบบ Strict Priority ส่วนบริการแบบ Non Real Time ใช้การจัดคิวแบบ First In First Out การจำลองทั้ง 2 รูปแบบจะประกอบด้วยผู้ใช้งาน (UE) จำนวน 10 เครื่อง สถานีฐาน (eNodeB) S/P GW และ Server ปลายทาง โดยในการจราจรในโครงข่ายจะมีบริการ 4 รูปแบบ คือ Conversational, Streaming, Interactive และ Background ใช้เวลาในการจำลองนาน 30 วินาที โดยวัดประสิทธิภาพจาก ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย (Delay) ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย (Jitter) และค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet delivery ratio) ซึ่งผลการทดสอบโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวเพิ่มประสิทธิภาพบริการ Real Time ได้ดีขึ้น แต่กลับกันบริการ Non Real Time ให้ประสิทธิภาพที่ด้อยลง

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่ามีข้อจำกัดดังนี้

1. Data Background ที่วิ่งในโครงข่ายมีค่าคงที่ ทำให้ไม่ทราบว่าหากมีการใช้งานแบบจำนวน Data ไม่คงที่ ประสิทธิภาพจะยังคงเดิมหรือไม่

2. ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของตำแหน่ง Caching ในระบบที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ

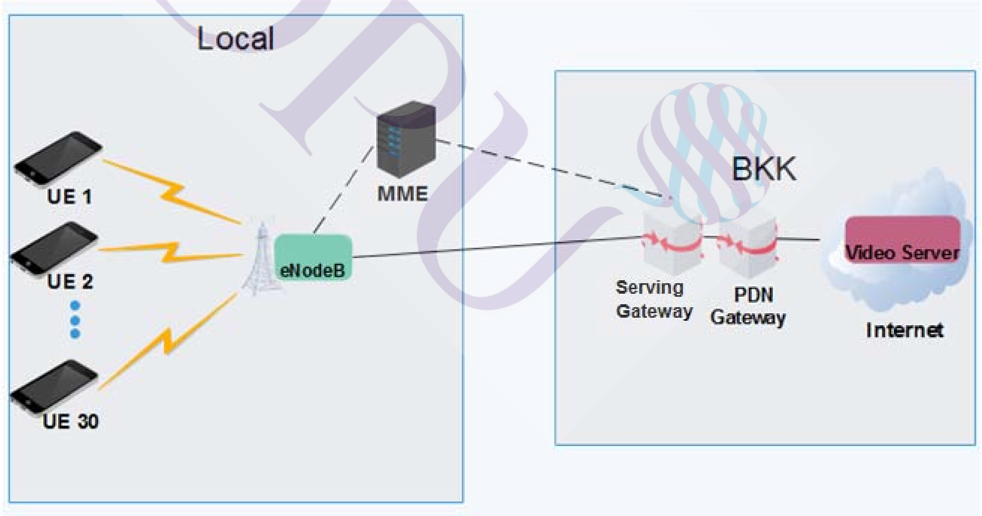
คุณสมบัติ	**An Example of a Simple Cache system for a Video streaming Implementation within a Network Simulation**	**การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE**	**งานวิจัยที่นำเสนอ**
1. มุ่งเน้นเรื่องการรับประกันคุณภาพในการให้บริการ	✓	✓	✓
2. มีการจำลองพฤติกรรมทางโครงข่าย LTE		✓	✓
3. มีการจำลองรูปแบบทราฟฟิกตามมาตรฐาน 3GPP ภายในโครงข่าย LTE		✓	✓
4. มุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการบริการประเภท Real time	✓	✓	✓
5. มีการจำลองเพิ่ม Background ประเภท VBR วิ่งใน Traffic			✓
6. ใช้หลักการ Distributed Caching	✓		✓

DPU

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้อธิบายถึงรายละเอียดการออกแบบเพื่อจำลองโครงข่าย LTE ที่ใช้ในการวิจัย ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการนำระบบ Caching มาประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานบริการประเภท Video streaming โดยงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming บนโครงข่าย LTE กรณีที่มีการติดตั้ง Caching ที่ตำแหน่งต่างๆ

3.1 โครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 โครงข่าย LTE ที่จำลองในงานวิจัย

จากรูปคือโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้แบ่งโครงข่ายออกเป็น 2 พื้นที่ คือ Local หมายถึงพื้นที่ที่อยู่ต่างจังหวัด ภาคต่างๆ และ BKK หมายถึง พื้นที่ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นที่ตั้งของศูนย์ข้อมูลของผู้ให้บริการภายในโครงข่าย LTE ที่จำลองในงานวิจัยเชื่อมต่อกัน ดังต่อไปนี้

3.1.1 โครงข่ายไร้สายซึ่งมีโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับสถานีฐาน (eNodeB) และจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (UE) ของผู้ใช้งานปรับตามรูปแบบการจำลองการจราจรโครงข่าย LTE ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถใช้บริการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่โครงข่ายอินเตอร์เน็ท

3.1.2 โครงข่ายหลัก (Core Network) ประกอบด้วย MME, Serving Gateway (SGW) และ Packet Data Network Gateway (PDN-GW) ซึ่งมีการร้องขอข้อมูลจากผู้ใช้งานจาก UE ไป eNodeB ไปที่ S/P-GW และมีกลุ่มข้อมูลควบคุม (Control plane) ระหว่าง MME ไปที่ eNodeB และ S/PDN-GW

3.1.3 โครงข่ายสาธารณะ (Internet) ซึ่งเป็นโครงข่ายภายนอกเครือข่ายผู้ให้บริการซึ่งได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ PDN-GW ซึ่งเครื่องแม่ข่ายที่อยู่ภายนอกเครือข่ายผู้ให้บริการ จะเป็นผู้ให้ข้อมูลที่เกิดจากการร้องขอใช้บริการจากผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

โดยการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งานและ eNodeB นั้นไม่มีการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน และมีการปรับตำแหน่ง Video caching ให้อยู่ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2 ค่าตัวแปรของโครงข่ายLTE

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการทำงานของโครงข่าย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 24 กรณีคือ

3.2.1.1 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.2 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.3 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายมีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.4 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร)

3.2.1.5 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร)

3.2.1.6 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร)

3.2.1.7 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.8 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.9 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภท คือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.10 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภทคือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1.11 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภทคือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1.12 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 1 ประเภทคือ Streaming และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1.13 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่าง eNodeB กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.14 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.15 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE ไม่มี Video caching ในโครงข่าย

3.2.1.16 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการ

เชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร)

3.2.1.17 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณหลัง PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร))

3.2.1.18 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ PDN-GW ก่อนเชื่อมต่อออกไปนอกโครงข่ายผู้ให้บริการ (หรือเรียกว่าศูนย์ข้อมูลส่วนกลางที่กรุงเทพมหานคร)

3.2.1.19 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.20 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.21 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ในโครงข่ายอยู่บริเวณ S/P-GW โดยกระจายติดตั้งอยู่ตามภูมิภาค

3.2.1.22 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 1 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60%จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1.23 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 15 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1.24 จำลองโครงข่ายกรณีที่มีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สาย 30 เครื่องและมีปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการร้องขอบริการ 2 ประเภทคือ Streaming และ Data background ซึ่ง Data background คิดเป็น 60% จากขนาดของการเชื่อมต่อขาลงระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) กับอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (UE) และอุปกรณ์ภายในโครงข่าย LTE มี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

ตารางที่ 3.1 สรุปรูปแบบต่างๆ ที่ได้จำลองการทำงานในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.1 เหตุการณ์จำลองโครงข่าย

กรณีมีบริการ Streaming ประเภทเดียว			
ตำแหน่งของ Cache	**1UE**	**15UE**	**30UE**
ไม่มี Video caching	ข้อที่ 3.2.1.1	ข้อที่ 3.2.1.2	ข้อที่ 3.2.1.3
Video caching อยู่ Center	ข้อที่ 3.2.1.4	ข้อที่ 3.2.1.5	ข้อที่ 3.2.1.6
Video caching อยู่ Local	ข้อที่ 3.2.1.7	ข้อที่ 3.2.1.8	ข้อที่ 3.2.1.9
Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	ข้อที่ 3.2.1.10	ข้อที่ 3.2.1.11	ข้อที่ 3.2.1.12
กรณีมีทั้งบริการ Streaming และ Data background			
ตำแหน่งของ Cache	**1UE**	**15UE**	**30UE**
ไม่มี Video caching	ข้อที่ 3.2.1.13	ข้อที่ 3.2.1.14	ข้อที่ 3.2.1.15
Video caching อยู่ Center	ข้อที่ 3.2.1.16	ข้อที่ 3.2.1.17	ข้อที่ 3.2.1.18
Video caching อยู่ Local	ข้อที่ 3.2.1.19	ข้อที่ 3.2.1.20	ข้อที่ 3.2.1.21
Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB	ข้อที่ 3.2.1.22	ข้อที่ 3.2.1.23	ข้อที่ 3.2.1.24

รายละเอียดและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE จะเป็นไปตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

อุปกรณ์โครงข่าย	**จำนวน (เครื่อง)**		
1. โทรศัพท์เคลื่อนที่	1	15	30
2. eNodeB	1	1	1
3. อุปกรณ์ S/P-GW	1	1	1
4. เครื่องแม่ข่ายวิดีโอ	1	1	1

3.2.2 ขนาดความจุของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ วิทยานิพนธ์นี้กำหนดค่าความจุของการเชื่อมต่อในส่วนต่างๆ ในโครงข่าย LTE เพื่อเป็นการกำหนดว่าระหว่างอุปกรณ์นั้นๆ สามารถรองรับปริมาณในการรับส่งข้อมูลได้ปริมาณเท่าใด และค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งรายละเอียดขนาดความจุของการเชื่อมต่อ และความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ จะเป็นไปตามตารางที่ 3.3 – 3.4

ตารางที่ 3.3 ขนาดความจุของการเชื่อมต่อ และความล่าช้าระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTEในกรณีไม่มี Video caching[1]

การเชื่อมต่อ	**ความจุของการเชื่อมต่อขาอัพโหลด (Mbps)**	**ความจุของการเชื่อมต่อขาดาวน์โหลด (Mbps)**	**ค่าความล่าช้า (msec)**
1. โทรศัพท์เคลื่อนที่เชื่อมต่อกับ eNodB	21	84	22
2. eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	4
3. อุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ	1000	1000	10

จากตารางที่ 3.3 จะแสดงอัตราการรับส่งข้อมูล และความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1) ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ eNodeB ในด้านขาอัพโหลด และดาวน์โหลดมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 21 และ 84 Mbps ตามลำดับ และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 22 msec

2) ระหว่าง eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW มีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 4 msec

3) ระหว่างอุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับ Server การรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbpsและมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 10 msec

---

[1] Yi-Bing Lin and Pin-Jen Lin, “Performance Measurements of TD-LTE, WiMAX and 3G Systems,” IEEE Wireless Communications (Volume:20 , Issue: 3)

ตารางที่ 3.4 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

การเชื่อมต่อ	**ความจุของการเชื่อมต่อขาอัพโหลด (Mbps)**	**ความจุของการเชื่อมต่อขาดาวน์โหลด (Mbps)**	**ค่าความล่าช้า (msec)**
1. โทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับ eNodeB	21	84	22
2. eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	4
3. อุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ	1000	1000	3

จากตารางที่ 3.4 จะแสดงอัตราการรับส่งข้อมูล และความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1) ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ eNodeB ในด้านขาอัพโหลด และดาวน์โหลดมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 21 และ 84 Mbps ตามลำดับ และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 22 msec

2) ระหว่าง eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW มีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 4 msec

3) ระหว่างอุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับ Server อัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 3 msec

ตารางที่ 3.5 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

การเชื่อมต่อ	**ความจุของการเชื่อมต่อขาอัพโหลด (Mbps)**	**ความจุของการเชื่อมต่อขาดาวน์โหลด (Mbps)**	**ค่าความล่าช้า (msec)**
1. โทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับ eNodeB	21	84	22
2. eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	2
3. อุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ	1000	1000	3

จากตารางที่ 3.5 จะแสดงอัตราการรับส่งข้อมูล และความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1) ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับeNodeB ในด้านขาอัพโหลด และดาวน์โหลดมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 21 และ 84 Mbps ตามลำดับ และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 22 msec

2) ระหว่าง eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW มีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 2 msec

3) ระหว่างอุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับ Server อัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 3 msec

ตารางที่ 3.6 ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTEกรณี Video caching ติดตั้งอยู่ eNodeB

การเชื่อมต่อ	**ความจุของการเชื่อมต่อขาอัพโหลด (Mbps)**	**ความจุของการเชื่อมต่อขาดาวน์โหลด (Mbps)**	**ค่าความล่าช้า (msec)**
1. โทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับ eNodeB	21	84	22
2. eNodeBเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	1
3. อุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ	1000	1000	0.1

จากตารางที่ 3.6 จะแสดงอัตราการรับส่งข้อมูล และความล่าช้าทางเวลาดังนี้

1) ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ eNodeB ในด้านขาอัพโหลด และดาวน์โหลดมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 21 และ 84 Mbps ตามลำดับ และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 22 msec

2) ระหว่าง eNodeB เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW มีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 1 msec

3) ระหว่างอุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับ Server อัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ 0.1 msec

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบทราฟฟิกในโครงข่าย LTE

ประเภทบริการ	แอพพลิเคชั่น	Bitrate (kbps)	ขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ (ไบต์)
1. Streaming[2]	Video streaming (มาตรฐาน H.264 ความละเอียด 1080P)	3000	1500
2. Data background[3]	VBR	Max rate 60%*	1500

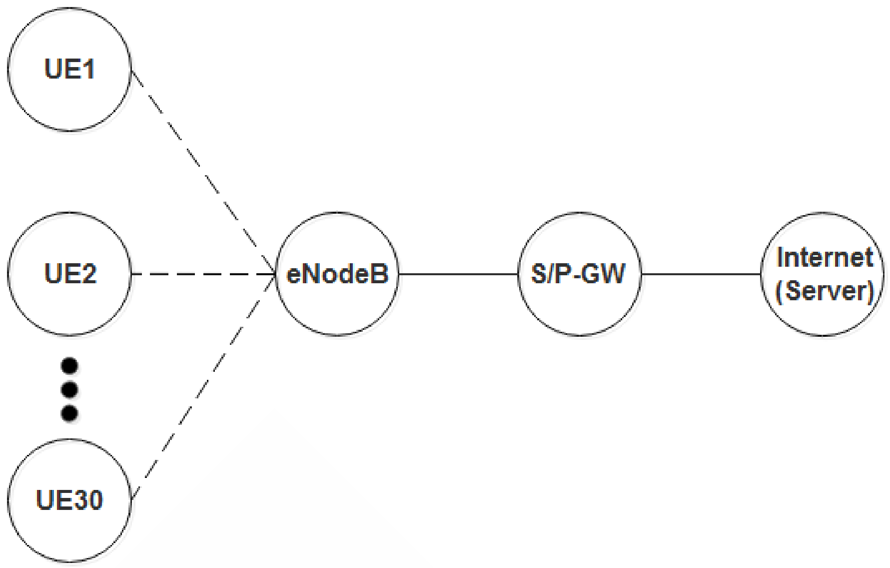
จากตารางที่ 3.7 แสดงรายละเอียดในส่วนของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน Video streaming ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบ FullHD ความละเอียดที่ 1920 x 1080 พิกเซล, Bitrate 3000 kbps, Packet Size 1500 Bytes, fps 30 Frames/second และ Data background เป็นแบบ Variable Bit Rate ขนาด 60% ของขา Downlink โครงข่าย LTE

3.3 การนำซอฟต์แวร์ NS2 มาจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE

การเขียนโปรแกรมสั่งงาน NS2 แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ภาษา TCL และ C++ ทั้งสองภาษามีหน้าที่แตกต่างกัน ภาษา TCL ใช้เพื่อ Simulation script, Configuration และทดสอบผล ส่วนภาษา C++ ใช้เพื่อการสร้าง Protocol, Node ต่างๆ โดยใช้กำหนดคุณสมบัติของกระบวนการทำงานของแต่ละ packet

[2] YouTube Help. (2014, April 14). Live encoder settings, bitrates and resolutions. [Online]. Available: https: //support.google.com/ youtube/answer/2853702?hl=en#

[3] Tom Henderson. (2011, November 05). 40.3.0.0.1 Exponential On/Off. [Online]. Available: http://www. isi.edu/nsnam/ns/doc/node508.html



ภาพที่ 3.2 โหนดรับส่งข้อมูลและการเชื่อมต่อในโครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย

จากภาพ 3.2 แสดงให้เห็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในโครงข่าย LTE โดยออกแบบโครงข่าย LTE แบบมีปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายแบบหนาแน่น ประกอบด้วยจำนวน UE หรือ โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 30 เครื่อง เชื่อมต่อกับสถานีฐาน หรือ eNodeB จำนวน 1 เครื่อง โดยข้อมูลขาอัพโหลดมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่ 21 Mbps และข้อมูลขาดาวน์โหลดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 84 Mbps และมีความล่าช้าในการเชื่อมต่อตามตารางที่ 3.3-3.6 ตามแต่ละกรณีไป

eNodeB เชื่อมต่อกับ S/P-GW จำนวน 1 เครื่อง โดยข้อมูลขาอัพโหลดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และข้อมูลขาดาวน์โหลดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าในการเชื่อมต่อตามตารางที่ 3.3 – 3.6 ตามแต่ละกรณีไป

S/P-GW เชื่อมต่อกับ Internet นอกโครงข่ายผู้ให้บริการ หรือ เครื่องแม่ข่ายโดยข้อมูลขาอัพโหลดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และข้อมูลขาดาวน์โหลดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 1000 Mbps และมีความล่าช้าในการเชื่อมต่อตามตารางที่ 3.3 – 3.6 ตามแต่ละกรณีไป

Streaming เป็นการให้บริการชมภาพยนตร์ออนไลน์ โดยในการทดลองได้ใช้วิดีโอจริงในการจำลองการบริการภาพยนตร์ออนไลน์ โดยนำ H.264/AVC Streaming Framework ของ Evalvid เข้ามาประยุกต์ใช้งาน มีและขั้นตอนวิธีการ[4]ดังต่อไปนี้

---

[4] วรสิทธิพล ทมโคตร. (2557). การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE. น. 32-35.

3.4 การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE

การทดสอบการทำงานโครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการทดสอบโครงข่าย LTE/EPC 4 รูปแบบ ได้แก่

กรณีไม่มี Video caching

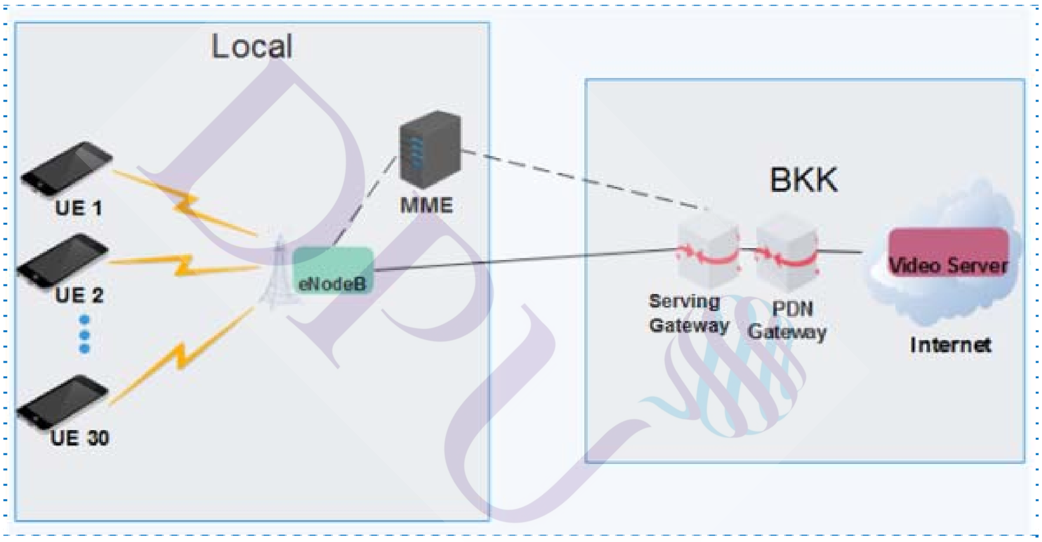
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

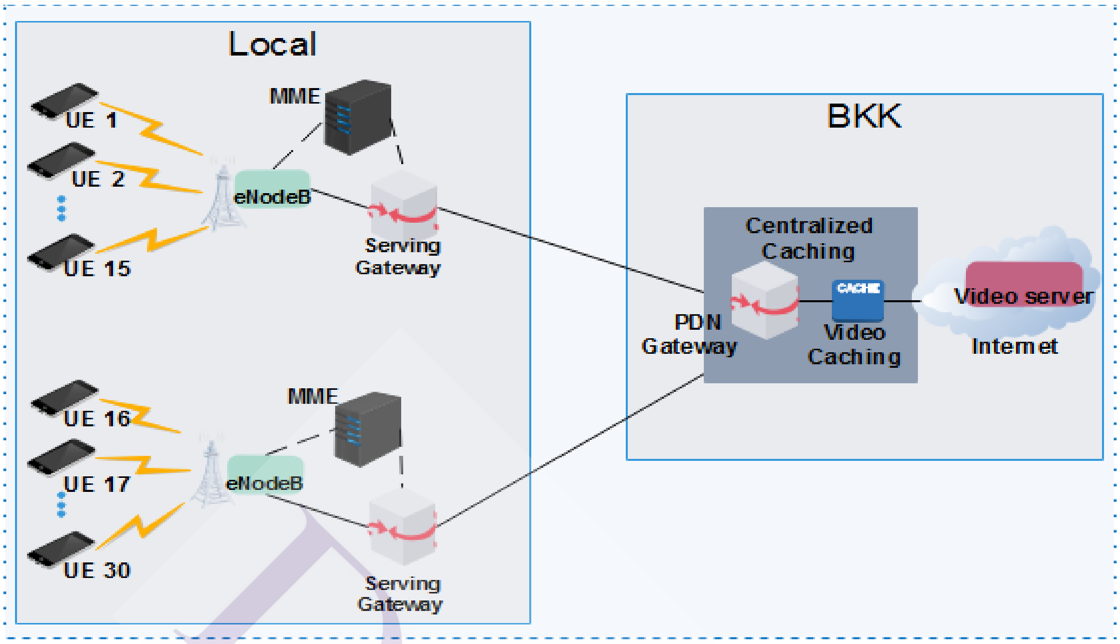
3.4.1 โครงข่าย LTE กรณีไม่มี Video caching



ภาพที่ 3.3 โครงข่าย LTE ที่ไม่มี Video caching

จากภาพที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการร้องขอใช้บริการ Video streaming หาก UE ที่ร้องขอบริการ Video streaming อยู่ที่ภูมิภาค ระบบจะต้องทำการร้องขอวิ่งผ่าน eNodeB ที่เชื่อมต่อกับ S/P-Gateway ที่กรุงเทพมหานคร และต้องเชื่อมต่อออกนอกโครงข่ายผู้ให้บริการไปที่ เครื่องแม่ข่ายวิดีโอ ที่เก็บ Video ที่ถูกร้องขอไว้ เมื่อระบบพบ Video ที่ต้องการ ระบบจึงทำการส่งกลับไปให้ยัง UE ที่ร้องขอ

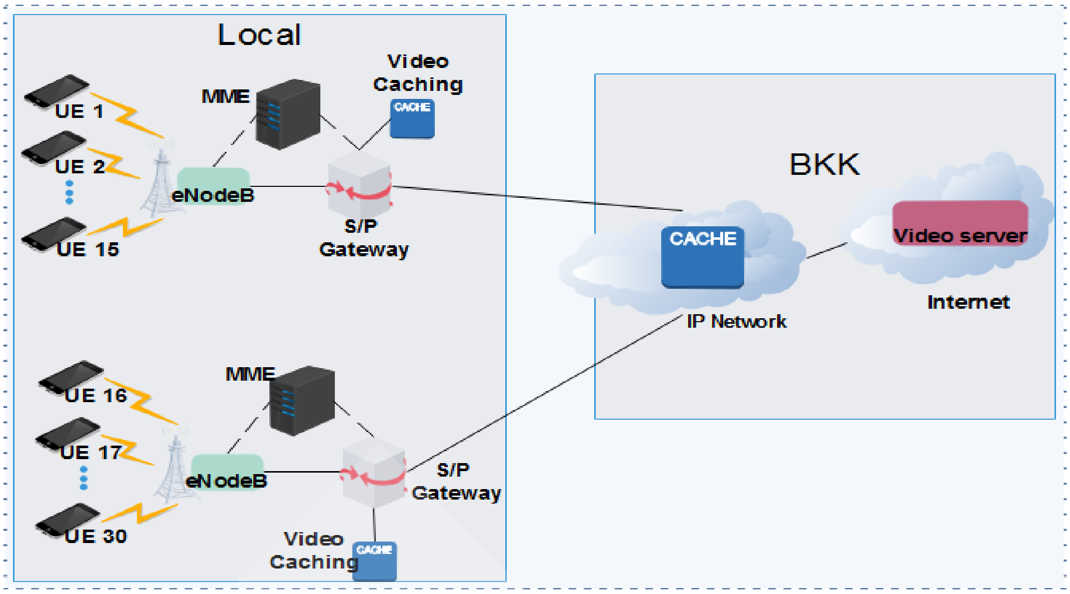
3.4.2 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง



ภาพที่ 3.4 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

จากภาพที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการร้องขอใช้บริการ Video streaming หาก UE ที่ร้องขอบริการ Video streaming อยู่ที่ภูมิภาค ระบบจะต้องทำการร้องขอวิ่งผ่าน eNodeB ที่เชื่อมต่อกับ S/P-Gateway ที่กรุงเทพมหานคร แต่ระบบไม่ต้องเชื่อมต่อออกนอกโครงข่ายผู้ให้บริการแล้ว เนื่องจากกรณีนี้ ได้ทำการติดตั้ง Video caching ไว้ที่ศูนย์ข้อมูลซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่กรุงเทพมหานคร เมื่อระบบพบ Video ที่ต้องการ ระบบจึงทำการส่งกลับไปให้ยัง UE ที่ร้องขอ

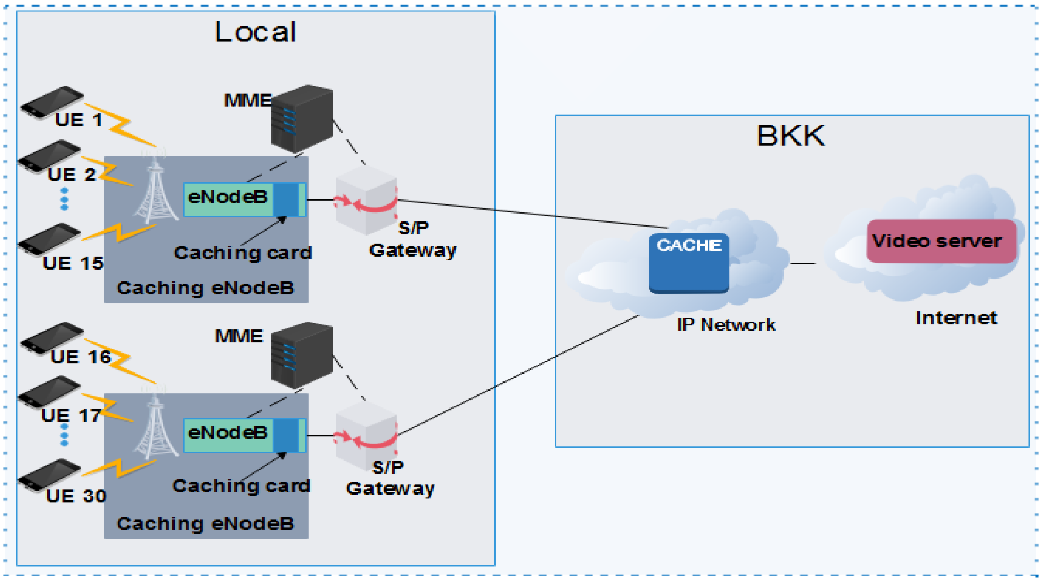
3.4.3 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 3.5 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

จากภาพที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการร้องขอใช้บริการ Video streaming หาก UE ที่ร้องขอบริการ Video streaming อยู่ที่ภูมิภาค ระบบจะต้องทำการร้องขอวิ่งผ่าน eNodeB ที่เชื่อมต่อกับ S/P-Gateway ที่ภูมิภาคโดยมีการวาง Video caching ไว้ตามแต่ละภูมิภาค และเมื่อระบบพบ Video ที่ต้องการ ระบบจึงทำการส่งกลับไปให้ยัง UE ที่ร้องขอ ซึ่งระบบไม่ต้องค้นหา Video ที่ร้องขอที่กรุงเทพมหานคร สามารถค้นหา Video ในเขตภูมิภาคของ UE นั้นๆ ที่ร้องขอได้เลย

3.4.4 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



ภาพที่ 3.6 โครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการร้องขอใช้บริการ Video streaming หาก UE ที่ร้องขอบริการ Video streaming อยู่ที่ภูมิภาค ระบบจะทำการร้องขอวิ่งผ่าน eNodeB และสามารถส่ง Video กลับไปให้ UE ที่ร้องขอได้เลย ไม่ต้องวิ่งไปค้นหาข้อมูลที่ภูมิภาค หรือที่กรุงเทพมหานครแล้ว เนื่องจากมีการติดตั้ง Video caching ไว้ใน eNodeB ซึ่ง eNodeB นั้นใน 1 จังหวัดมีหลายจุด

3.5 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย[5]

พิจารณาจากค่าต่างๆดังนี้

3.5.1 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Ratio) การวัดค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซนต์ว่าข้อมูลที่ส่งให้ผู้ร้องขอข้อมูลได้รับเท่าใด ได้รับครบถ้วนหรือไม่

3.5.2 ค่าความล่าช้า (Delay) เป็นเวลาเฉลี่ยในการติดต่อระหว่างต้นทางจนถึงปลายทาง เริ่มตั้งแต่ต้นทางร้องขอข้อมูล จนถึงผู้ร้องขอได้รับข้อมูลเรียบร้อย

3.5.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้า (Jitter) เป็นค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของเวลาเฉลี่ยในการติดต่อระหว่างต้นทางจนถึงปลายทาง

---

[5] วรสิทธิพล ทมโคตร. (2557). การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE. EECON37. น. 631-634. ประเทศไทย : ขอนแก่น.

บทที่ 4
ผลการศึกษา

บทนี้จะอธิบายผลการศึกษาวิจัยของการจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE แบบที่มี Video caching และแบบที่มี Video caching วางตำแหน่งต่างๆ ดังภาพที่ 3.3-3.6 ซึ่งอยู่ในบทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

จากภาพที่ 3.3 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE ที่ไม่มี Video caching โดยปริมาณทราฟฟิกที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายในโครงข่าย ดังนี้ 1 UE, 15 UE 30 UE และ 30 UE

จากภาพที่ 3.4 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง โดยปริมาณทราฟฟิกที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายในโครงข่าย ดังนี้มีทั้ง 1 UE, 15 UE และ 30 UE

จากภาพที่ 3.5 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค โดยปริมาณทราฟฟิกที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายในโครงข่าย ดังนี้มีทั้ง 1 UE, 15 UE และ 30 UE

จากภาพที่ 3.6 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB โดยปริมาณทราฟฟิกที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายในโครงข่าย ดังนี้มีทั้ง 1 UE, 15 UE และ 30 UE

ซึ่งแต่ละเหตุการณ์ จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณีคือ

1) กรณีมีทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในโครงข่าย LTE 1 บริการคือ บริการประเภท Streaming เป็นบริการรับชมวิดีโอออนไลน์ความละเอียดสูง

2) กรณีมีทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในโครงข่าย LTE 2 บริการคือ บริการประเภท Streaming เป็นบริการรับชมวิดีโอออนไลน์ความละเอียดสูง และ บริการประเภท Background เป็นการดาวน์โหลดข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ โดยบริการทั้ง 2 ประเภทมีคุณลักษณะตามตารางที่ 3.7 รายละเอียดดังนี้คือ Video streaming ที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นแบบ FullHD ซึ่งแปลงจากไฟล์วิดีโอจริงเพื่อใช้งานร่วมกับ NS2 มีความละเอียดที่ 1920 x 1080 พิกเซล, Bitrate 3000 kbps, Packet size 1500 Bytes, fps 30 Frames/second และส่วนของ Data background ใช้ทราฟฟิกแบบ VBR (Variable Bit Rate) โดยกำหนด Data ให้เป็นแบบ exponential on - off source โดยกำหนด burst

time = 350 ms, idle time = 5 ms และใช้ในกรณีทั้งทราฟฟิก 1 UE, 15 UE และ 30 UE ได้กำหนดให้มี bit rate เฉลี่ยเป็น 3.5 Mbps (สูงสุด 50.4 Mbps หรือคิดเป็น 60% ของขาดาวน์โหลดโครงข่าย LTE)

โดยแต่ละกรณีจะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางโครงข่าย โดยผลการศึกษาวิจัยจะวัดผลจากค่าประสิทธิภาพทางโครงข่ายต่อไปนี้

1) ค่าความล่าช้าเฉลี่ย

2) ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ย

3) อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ

4.1 การทดสอบ

โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

1) กรณีมีเฉพาะบริการ Streaming โดยนำ Video caching วางไว้ตำแหน่งต่างๆ 4 ตำแหน่งดังนี้

กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมี ผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

2) กรณีมีบริการ Streaming และ Data background แบบ VBR (variable bitrate) โดยนำ Video caching วางไว้ตำแหน่งต่างๆ 4 ตำแหน่งดังนี้

กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

ซึ่งแต่ละกรณีได้ทำการทดสอบในโครงข่าย LTE ที่มีปริมาณทราฟฟิก ดังนี้

1) โครงข่าย LTE ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 1 UE2) โครงข่าย LTE ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 15 UE

2) โครงข่าย LTE ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 30 UE

4.1.1 การทดสอบที่ 1 โครงข่าย LTE ที่มีเฉพาะบริการ Streaming

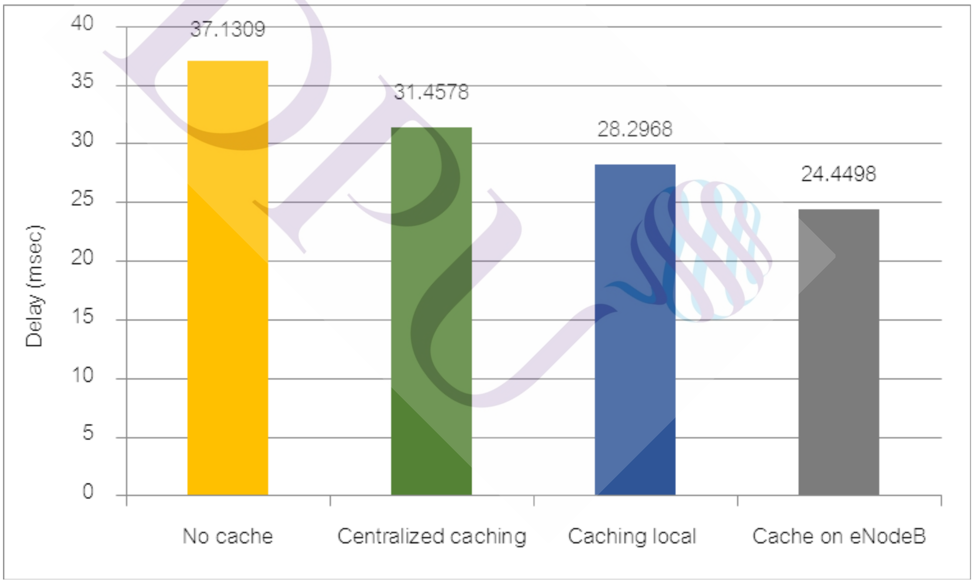
4.1.1.1 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 1 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

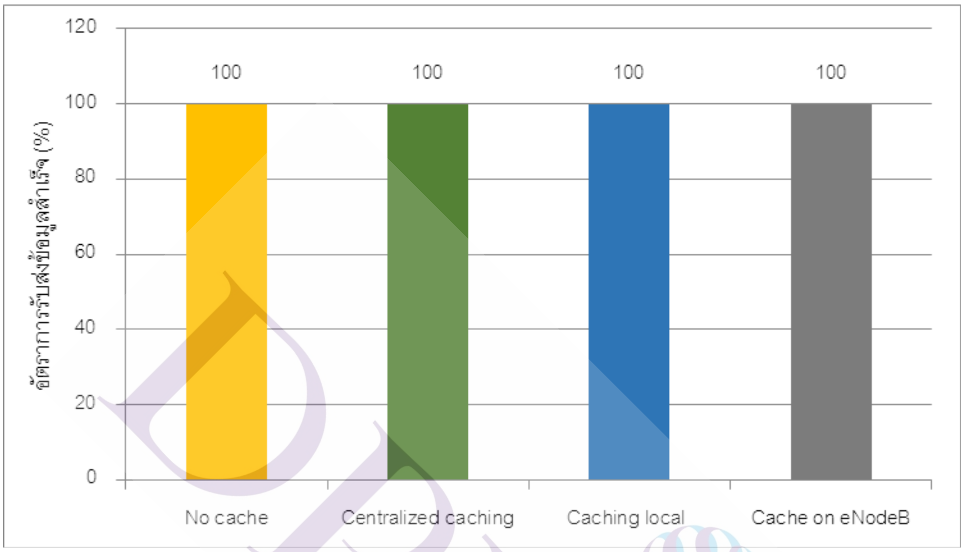
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



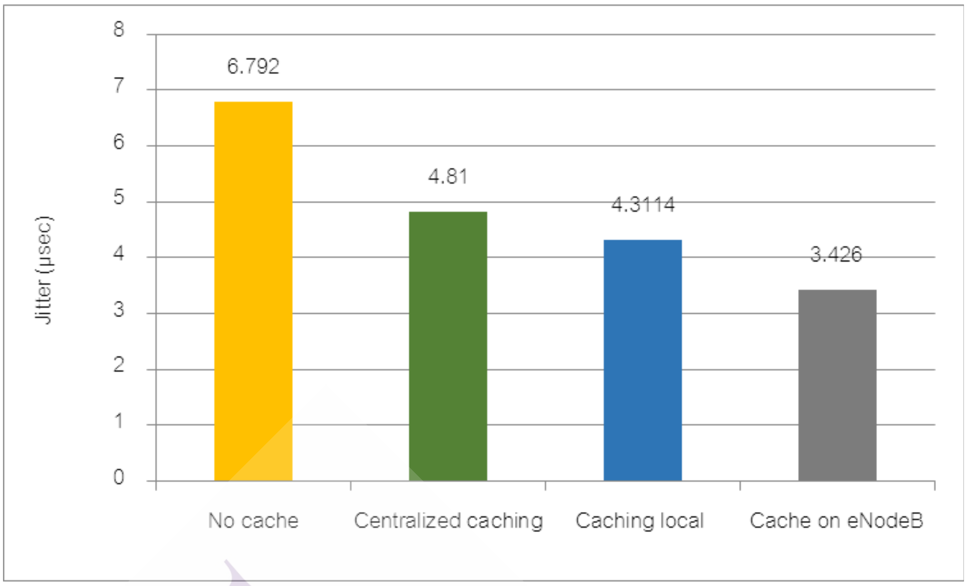
ภาพที่ 4.1 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆลดลงๆมาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด เนื่องจาก UE ที่เรียกใช้บริการอยู่ใกล้กับอุปกรณ์สถานีฐานซึ่งมี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการเรียกใช้บริการ Video streaming น้อยกว่าทุกกรณี



ภาพที่ 4.2 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการส่งข้อมูลเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ทุกกรณี เนื่องจากขนาดท่อข้อมูลขาลงมีขนาด 84 Mbps แต่ปริมาณทราฟฟิกที่ Streaming มีขนาดประมาณ 2.5 Mbps จึงทำให้พอที่จะรองรับปริมาณทราฟฟิก 1 UE ได้



ภาพที่ 4.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.3 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน

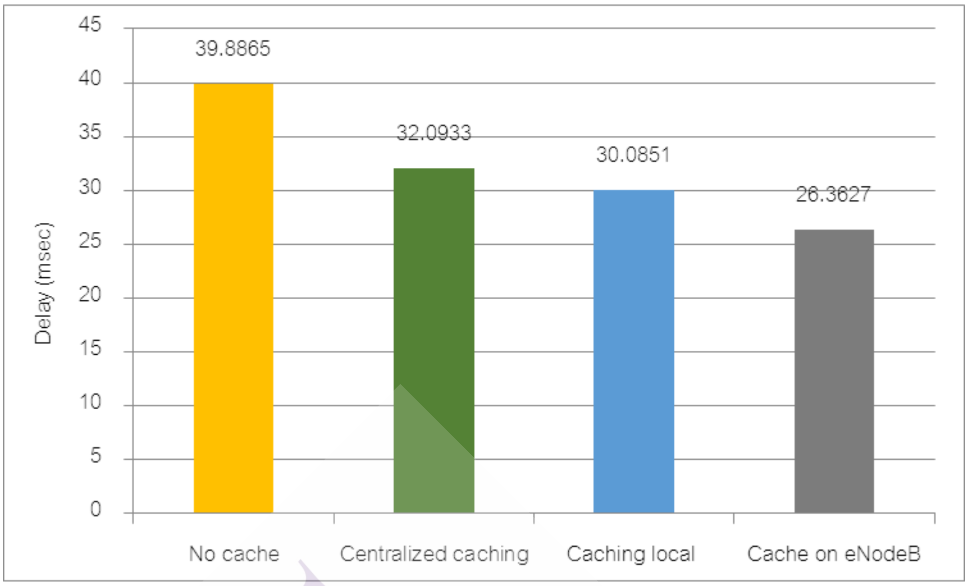
4.1.1.2 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 15 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

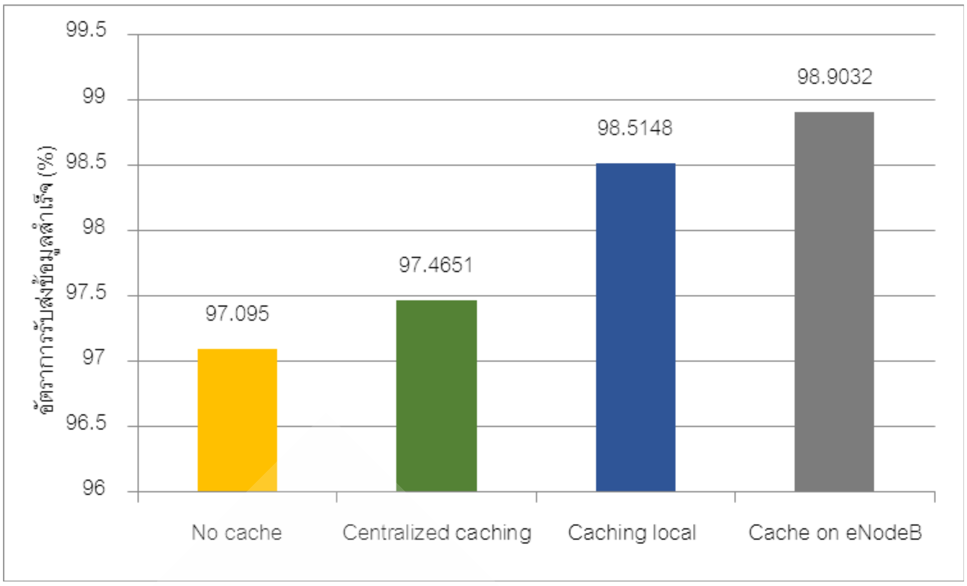
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



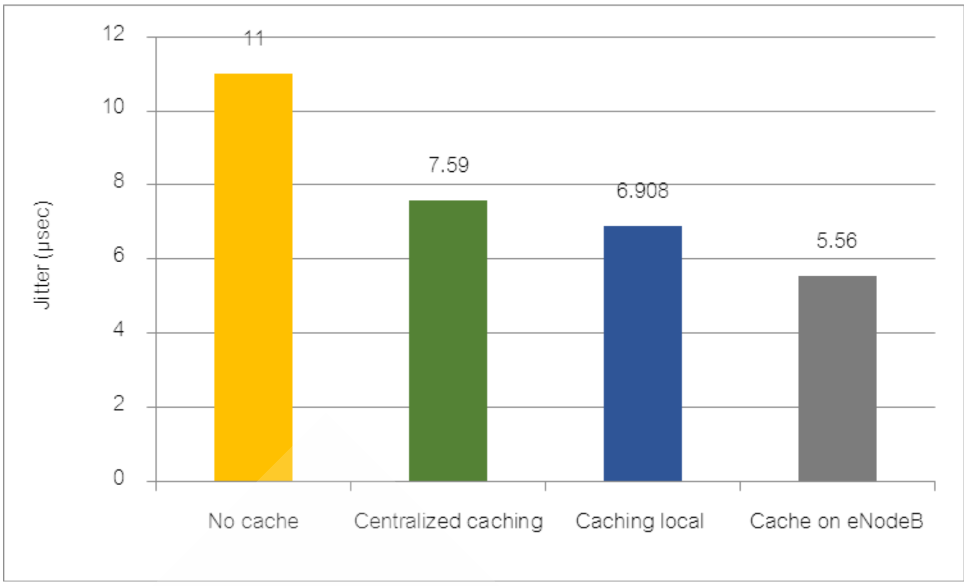
ภาพที่ 4.4 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆ ลดลงๆ มาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด เนื่องจาก UE ที่เรียกใช้บริการอยู่ใกล้กับอุปกรณ์สถานีฐานซึ่งมี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการเรียกใช้บริการ Video streaming น้อยกว่าทุกกรณี แต่ในกรณีทราฟฟิก 15 UE ค่าความล่าช้าจะมีมากกว่ากรณีทราฟฟิก 1 UE เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการใช้งานเยอะขึ้น ระบบต้องใช้เวลาเฉลี่ยมากขึ้น



ภาพที่ 4.5 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการรับส่งข้อมูลของทราฟฟิก 15 UE จะไม่เต็ม 100% ซึ่งจริงๆ แล้วขนาดท่อข้อมูลขาดาวน์โหลดมีขนาด 84 Mpbs ซึ่งเพียงพอที่รองรับปริมาณทราฟฟิกได้ โดยมีปริมาณทราฟฟิคประมาณ 37.5 Mbps แต่เนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น และอาจเกิด Packet ที่ถูกส่งออกจากต้นทาง แต่ Packet ไม่ถึงปลายทาง ซึ่งเกิดจากระยะเวลา Simulate คือ 30 msec แต่ Packet เหล่านี้ยังวิ่งไม่ถึงปลายทาง แต่เวลาที่ Simulate สิ้นสุดไปก่อน ซึ่งตรวจสอบจาก Tracefile แล้ว Packet เหล่านี้ไม่ใช่ Packet ที่ถูก Drop เป็นเพียง Packet ที่วิ่งไม่ถึงปลายทางเท่านั้น จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลไม่ครบ 100% และจากกราฟแสดงให้เห็นว่ากรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จสูงสุด และค่อยๆ ลดลงๆ มาตามลำดับ และกรณีที่ไม่มี Video caching ในระบบจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จต่ำสุด เนื่องจากระบบต้องมีการดึงข้อมูลจากที่อื่นที่อยู่นอกโครงข่ายผู้ให้บริการ และเนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น



ภาพที่ 4.6 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.6 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching มีค่ามากสุด เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน และจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยจะสูงกว่าทราฟฟิก 1 UE เนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น

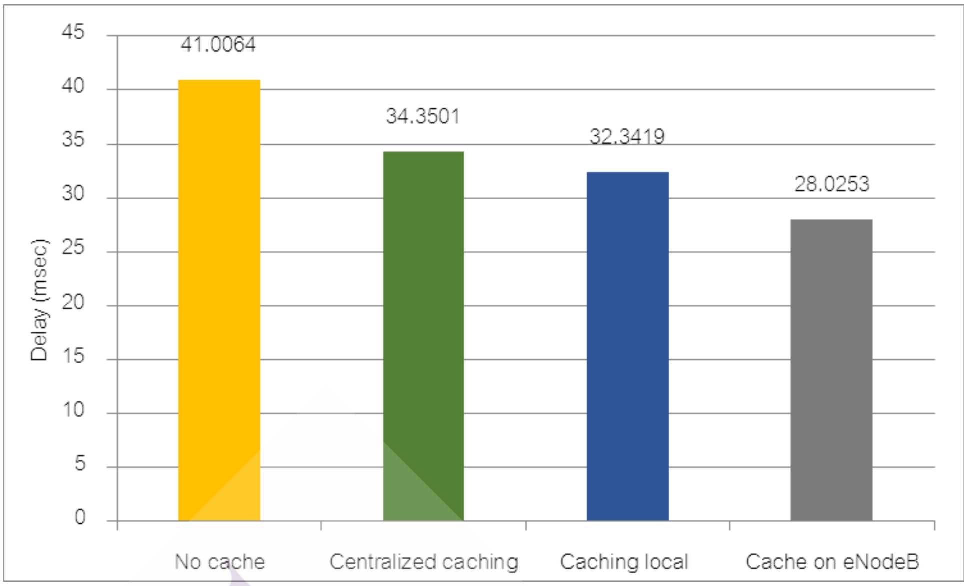
4.1.1.3 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 30 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

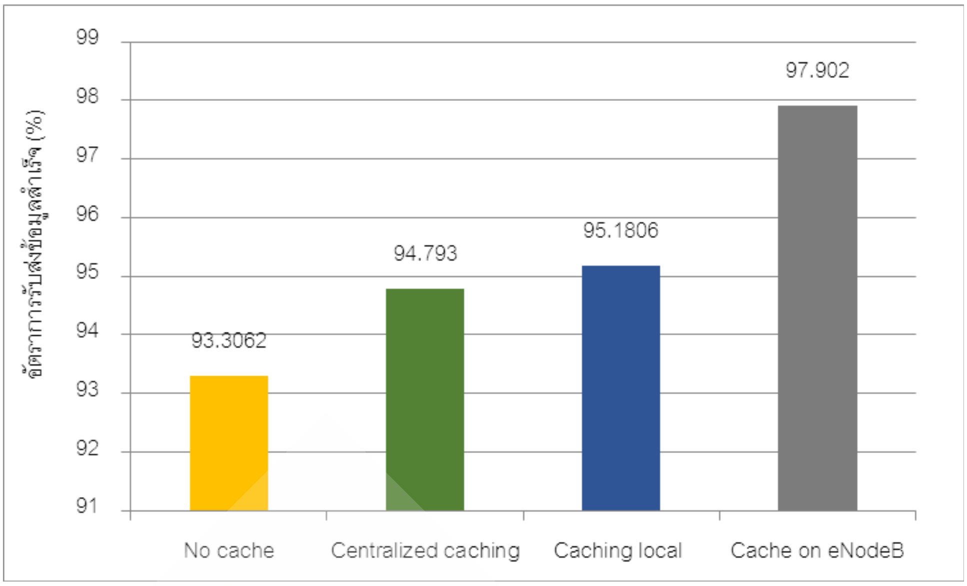
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



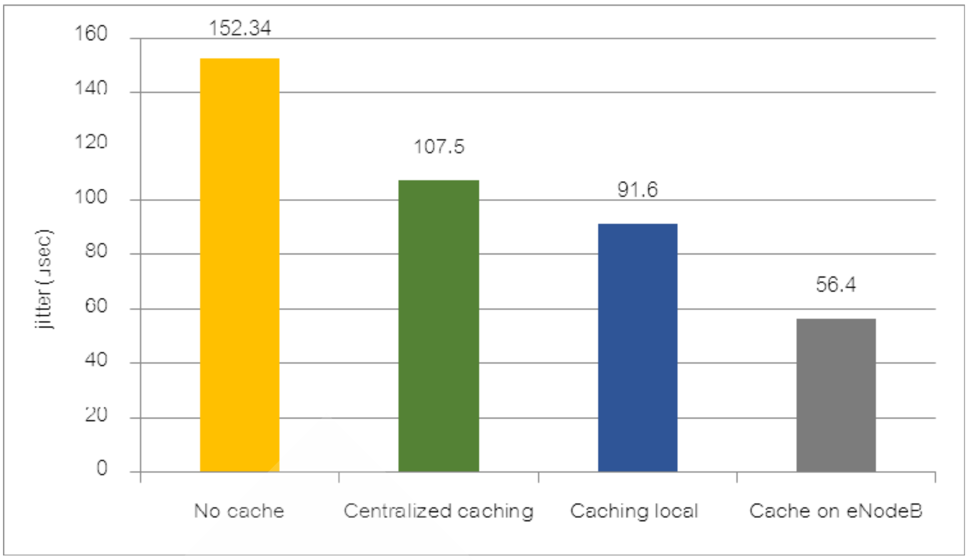
ภาพที่ 4.7 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆลดลงๆมาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด เนื่องจาก UE ที่เรียกใช้บริการอยู่ใกล้กับอุปกรณ์สถานีฐานซึ่งมี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการเรียกใช้บริการ Video streaming น้อยกว่าทุกกรณี แต่ในกรณีทราฟฟิก 30 UE ค่าความล่าช้าจะมีมากกว่าทั้งกรณีทราฟฟิกบางเบาและ 15 UE เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการใช้งานเยอะขึ้น ระบบต้องใช้เวลาเฉลี่ยมากขึ้น



ภาพที่ 4.8 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการรับส่งข้อมูลของทราฟฟิกที่ 15 UE จะไม่เต็ม 100 % ซึ่งจริงๆแล้วขนาดท่อข้อมูลขาดาวน์โหลดมีขนาด 84 Mpbs ซึ่งเพียงพอที่รองรับปริมาณทราฟฟิกได้ โดยมีปริมาณทราฟฟิคประมาณ 75 Mbps แต่เนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น และอาจเกิด Packet ที่ถูกส่งออกจากต้นทาง แต่ Packet ไม่ถึงปลายทาง ซึ่งเกิดจากระยะเวลา Simulate นั้นสิ้นสุดที่ 30 msec แต่ Packet เหล่านี้ยังวิ่งไม่ถึงปลายทาง แต่เวลาที่ Simulate สิ้นสุดไปก่อน ซึ่งตรวจสอบจาก Tracefile แล้ว Packet เหล่านี้ไม่ใช่ Packet ที่ถูก Drop เป็นเพียง Packet ที่วิ่งไม่ถึงปลายทางเท่านั้น จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลไม่ครบ 100% และจากกราฟแสดงให้เห็นว่ากรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จสูงสุด และค่อยๆ ลดลงๆ มาตามลำดับ และกรณีที่ไม่มี Video caching ในระบบจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จต่ำสุด เนื่องจากระบบต้องมีการดึงข้อมูลจากที่อื่นที่อยู่นอกโครงข่ายผู้ให้บริการ และเนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น



ภาพที่ 4.9 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีเฉพาะบริการ Streaming ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.9 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน และจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของทราฟฟิก 30 UE จะสูงกว่าทั้งทราฟฟิก 1 UE และ 15 UE

4.1.1 การทดสอบที่ 2 โครงข่าย LTE ที่มีบริการ Streaming และ Data background

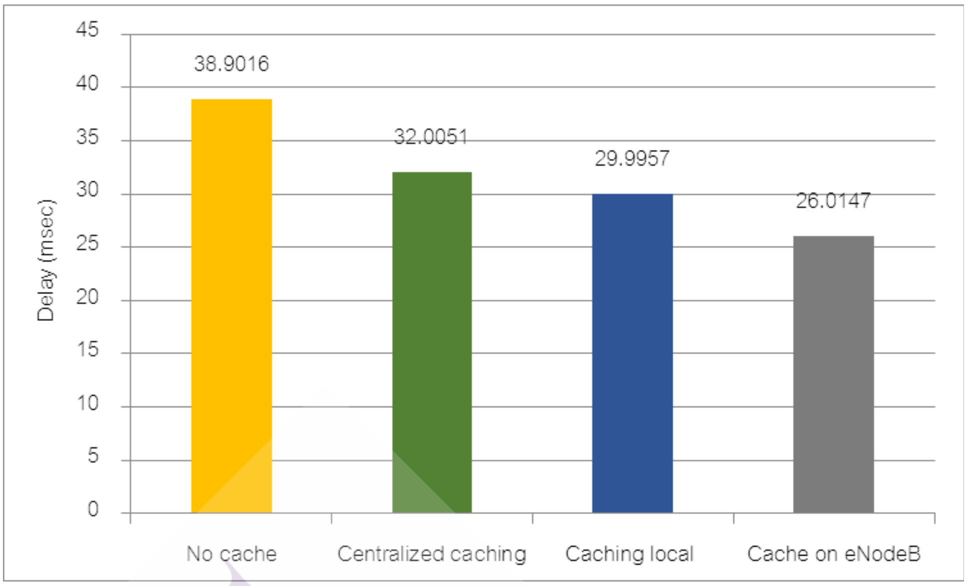
4.1.2.1 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 15 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

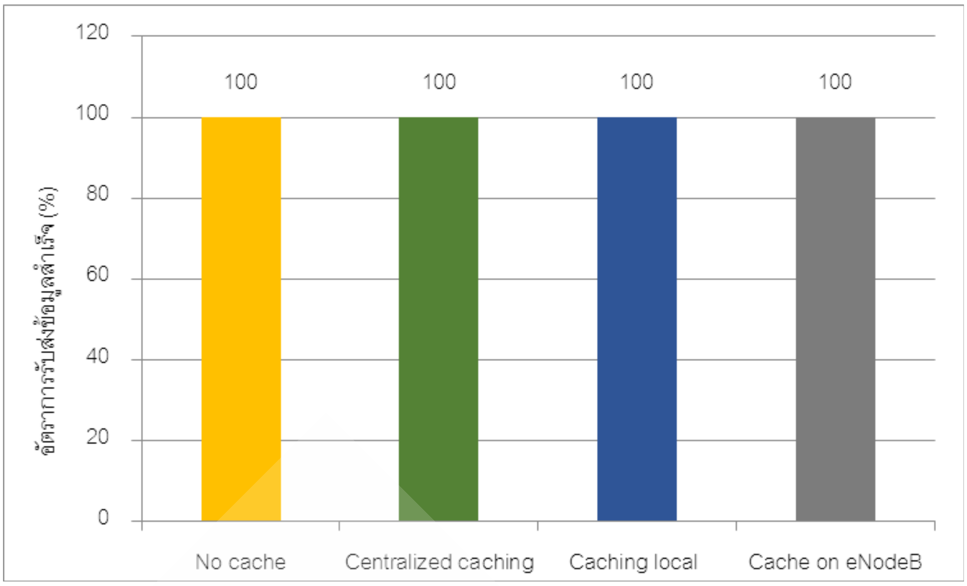
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



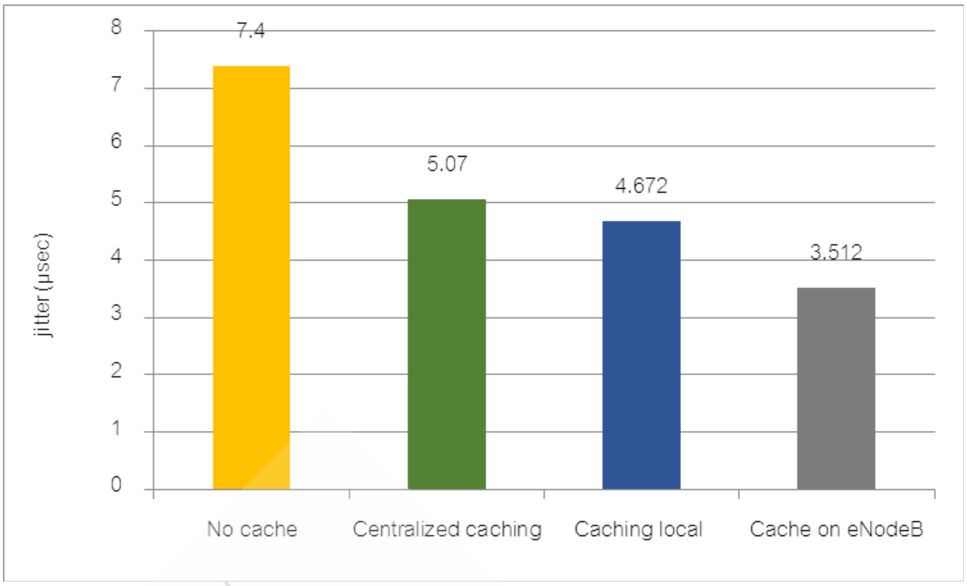
ภาพที่ 4.10 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video Caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆลดลงๆมาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video Caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด



ภาพที่ 4.11 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการส่งข้อมูลเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ทุกกรณี เนื่องจากขนาดท่อข้อมูลขาลงมีขนาด 84 Mbps แต่ปริมาณทราฟฟิกที่ Streaming มีขนาดประมาณ 6 Mbps (Streaming = 2.5 Mbps/UE, Data background = 3.5 Mbps/ UE) จึงทำให้พอที่จะรองรับปริมาณทราฟฟิก 1 UE



ภาพที่ 4.12 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 1 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.12 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน

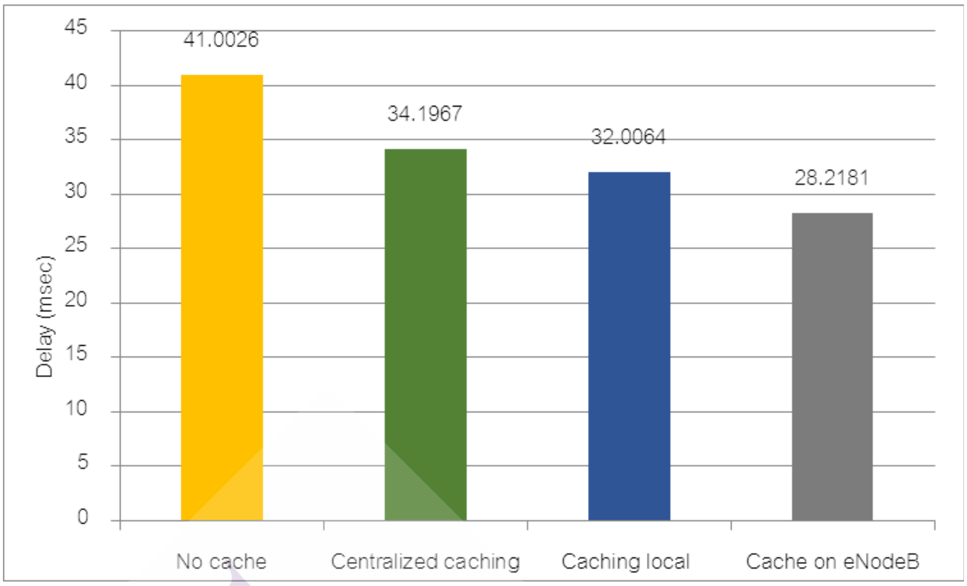
4.1.2.2 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 15 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

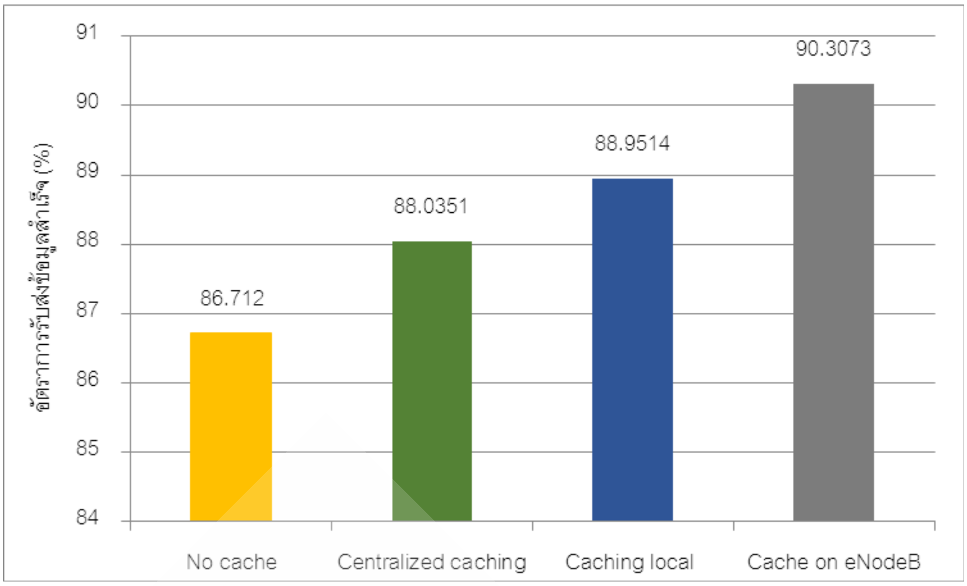
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



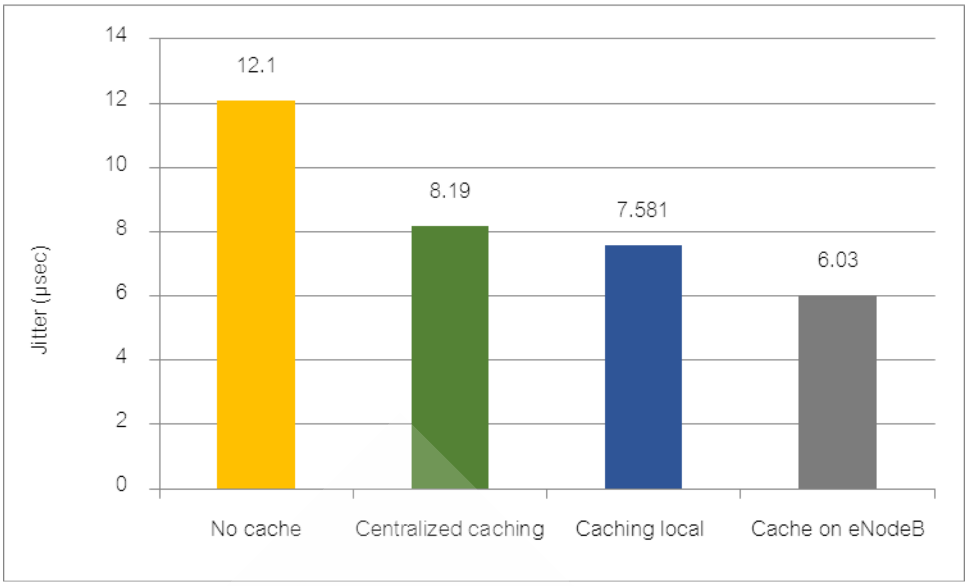
ภาพที่ 4.13 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆลดลงๆมาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด ซึ่งในกรณีทราฟฟิก 15 UE ค่าความล่าช้าจะมีมากกว่ากรณีทราฟฟิก 1 UE เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการใช้งานเยอะขึ้น ระบบต้องใช้เวลาเฉลี่ยมากขึ้น



ภาพที่ 4.14 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการรับส่งข้อมูลของทราฟฟิกที่ 15 UE จะไม่เต็ม 100 % เนื่องจากขนาดท่อข้อมูลขาดาวน์โหลดมีขนาด 84 Mpbs แต่ปริมาณทราฟฟิกที่วิ่งจริงประมาณ 90 Mbps ประกอบด้วย Streaming = 2.5 Mbps/UE, Data background = 3.5 Mbps/UE ซึ่งมีทั้งหมด 15 UE จึงไม่เพียงพอที่รองรับปริมาณทราฟฟิกได้ และกรณีที่ไม่มี Video caching ในระบบจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จต่ำสุด เนื่องจากระบบต้องมีการดึงข้อมูลจากที่อื่นที่อยู่นอกโครงข่ายผู้ให้บริการ และเนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น เมื่อมีคิวข้อมูลเยอะส่งผลทำให้เกิดอัตราการทิ้งข้อมูลระหว่างทาง จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จลดลง



ภาพที่ 4.15 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 15 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.15 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching มีค่ามากสุด เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน และจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยจะสูงกว่าทราฟฟิก 1 UE เนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น

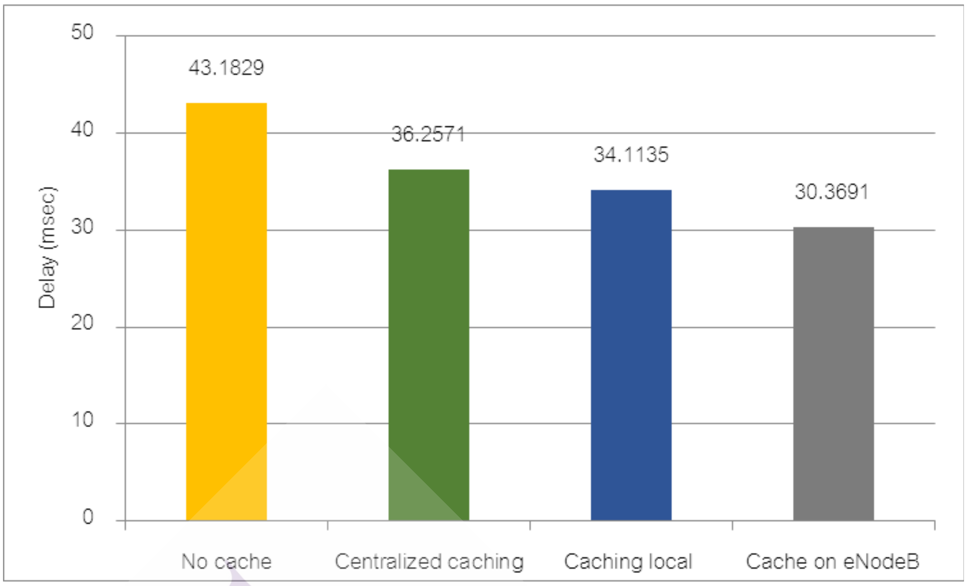
4.1.2.3 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย 15 UE โดยจำลองระบบโครงข่าย LTE ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีไม่มี Video caching

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง

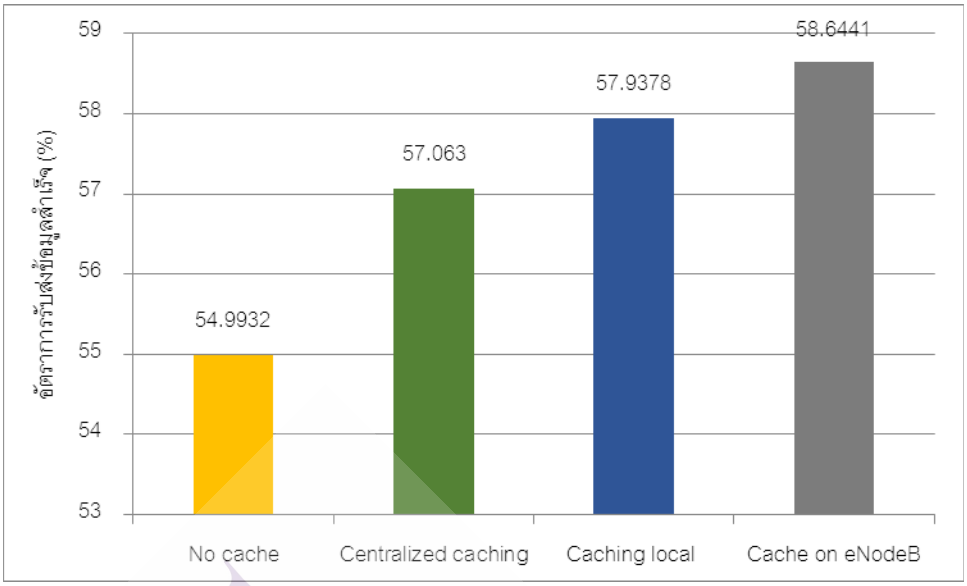
กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB



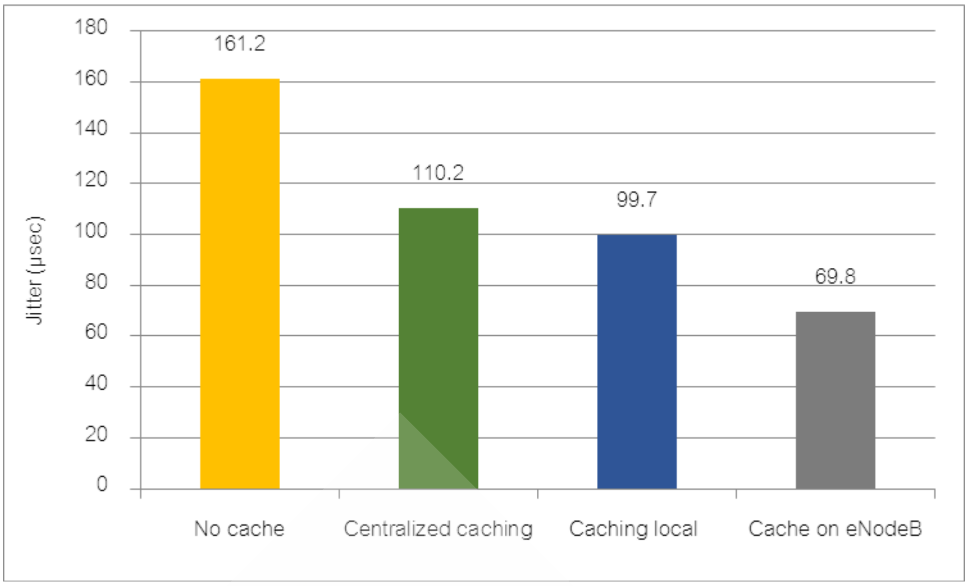
ภาพที่ 4.16 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้ง 4 กรณี ค่าความล่าช้าของกรณีไม่มี Video caching จะมีค่าความล่าช้าสูงสุด และค่อยๆ ลดลงๆมาตามลำดับ กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าความล่าช้าน้อยสุด เนื่องจาก UE ที่เรียกใช้บริการอยู่ใกล้กับอุปกรณ์สถานีฐานซึ่งมี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการเรียกใช้บริการ Video streaming น้อยกว่าทุกกรณี แต่ในกรณีทราฟฟิก 30 UE ค่าความล่าช้าจะมีมากกว่าทั้งกรณีทราฟฟิกบางเบาและ 15 UE เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการใช้งานเยอะขึ้น ระบบต้องใช้เวลาเฉลี่ยมากขึ้น



ภาพที่ 4.17 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของทั้ง 4 กรณี อัตราการรับส่งข้อมูลของทราฟฟิกที่ 30 UE จะไม่เต็ม 100 เนื่องจากขนาดท่อข้อมูลขาดาวน์โหลดมีขนาด 84 Mpbs แต่ปริมาณทราฟฟิกที่วิ่งจริงประมาณ 180 Mbps ประกอบด้วย Streaming = 2.5 Mbps/UE, Data background = 3.5 Mbps/UE ซึ่งมีทั้งหมด 30 UE จึงไม่เพียงพอที่รองรับปริมาณทราฟฟิกได้ และกรณีที่ไม่มี Video caching ในระบบจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จต่ำสุด เนื่องจากระบบต้องมีการดึงข้อมูลจากที่อื่นที่อยู่นอกโครงข่ายผู้ให้บริการ และเนื่องจากเริ่มมีการเรียกใช้จากจำนวน UE ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลมากขึ้น เมื่อมีคิวข้อมูลเยอะส่งผลทำให้เกิดอัตราการทิ้งข้อมูลระหว่างทาง จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จลดลง



ภาพที่ 4.18 ค่าความแปรปรวนของกรณีที่มีบริการ Streaming และ Data background ในโครงข่าย LTE มีปริมาณทราฟฟิก 30 UE ในกรณีที่ไม่มี Video caching, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง, แบบที่ติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่งศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค, แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

จากภาพที่ 4.18 เห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ของระบบโครงข่าย LTE แบบที่ติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB มีค่าน้อยสุด และแบบที่ไม่มี Video caching เนื่องจากจะต้องมีการดึงข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายวิดีโอนอกโครงข่ายและด้วยระยะทางจากภูมิภาคไปกรุงเทพมหานคร ทำให้มี overhead ในการทำงาน และจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ยของทราฟฟิก 30 UE จะสูงกว่าทั้งทราฟฟิก 1 UE และ 15 UE

ซึ่งจะเห็นว่าถึงจะมีบริการ Data background เพิ่มเข้ามา แต่ค่าความล่าช้า, อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ และค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้านั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่มีบริการ Streaming เพียงอย่างเดียว

4.2 อภิปรายผลการทดสอบ

4.2.1 ค่าความล่าช้า (Delay)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการปรับตำแหน่ง Video caching มีผลต่อค่าความล่าช้า กรณีติดตั้ง Video caching ไว้ใกล้ UE มากเท่าไหร่ ค่าความล่าช้าเฉลี่ยจะลดลงไปตามลำดับ แต่ค่าความล่าช้าจะค่าเพิ่มมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นนั้นก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้งานในโครงข่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วย ถ้ามีผู้ใช้งานจำนวนมากขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้น หากมีปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นในโครงข่ายก็ส่งผลทำให้เกิดการคับคั่งของข้อมูลได้ เป็นผลทำให้มีค่าความล่าช้าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นได้

4.2.2 ค่าอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Ratio)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการปรับตำแหน่ง Video caching และปริมาณทราฟฟิกมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ เมื่อในโครงข่ายมีปริมาณ UE ที่เริ่มเพิ่มในช่วง 15 UE หรือทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในโครงข่ายมีค่ามากกว่าขนาดของการเชื่อมต่อจะเริ่มมีการสูญหายของข้อมูลได้ แต่สูญหายมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ Video caching ด้วย ซึ่งหากตำแหน่งของ Video caching อยู่ใกล้ UE มากขึ้นอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จจะสูงขึ้น ในทางกลับกันหาก Video caching อยู่ห่างจาก UE มากขึ้นอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จจะลดลง

4.2.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้า (Jitter)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการปรับตำแหน่ง Video caching และปริมาณทราฟฟิกมีผลต่อค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ย ซึ่งหากเมื่อเกิดความคับคั่งของข้อมูลทำให้เกิดการเข้าคิวของข้อมูล ค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

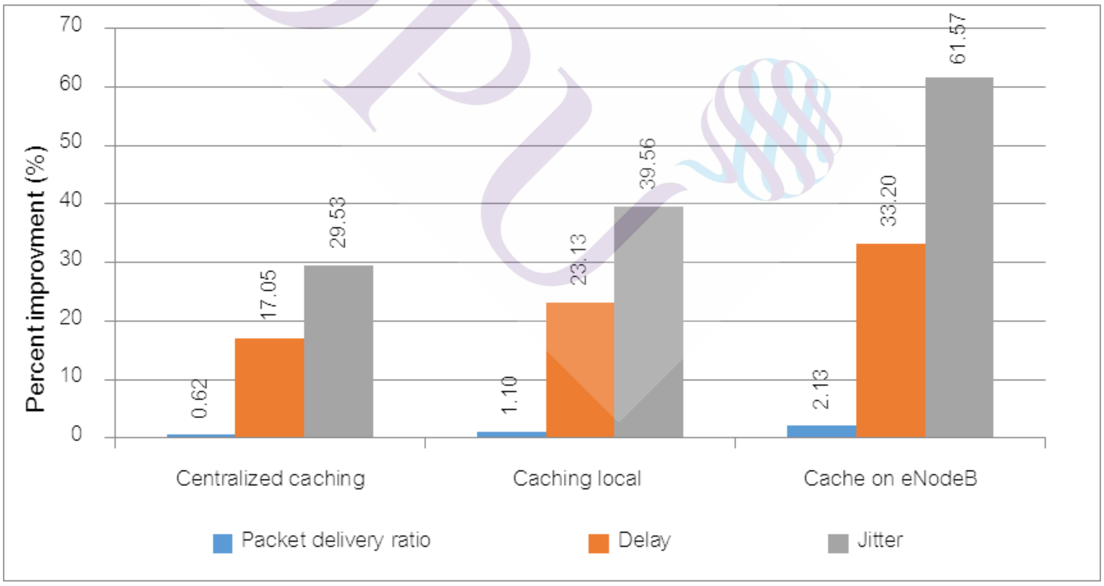
ซึ่งสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังรูปที่ 4.19 ว่าการติดตั้ง Video caching ไว้แต่ละตำแหน่งให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Video caching ในระบบเลย พบว่าประสิทธิภาพการ Streaming ดีขึ้นตามลำดับดังนี้

กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay และ Jitter ดีขึ้น 17% และ 29% ตามลำดับ ในขณะที่ Packet delivery ratio ดีขึ้น 0.6%

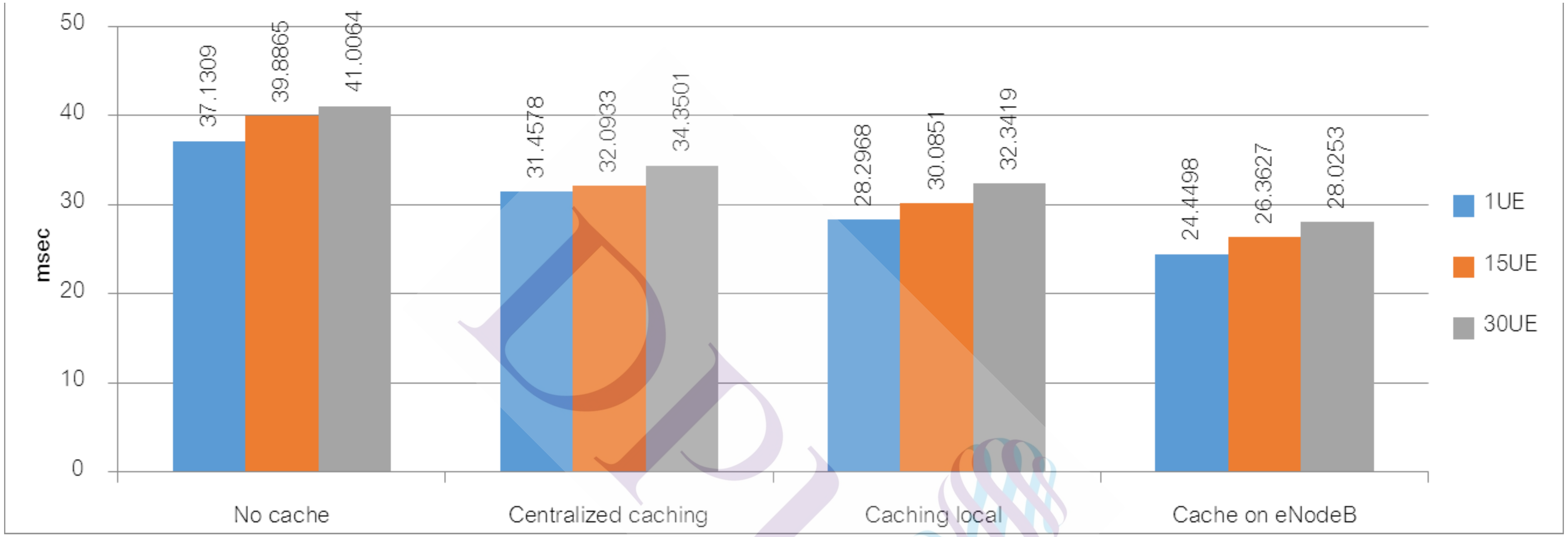
กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาคและ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay และ Jitter ดีขึ้น 23% และ 39% ตามลำดับ ในขณะที่ Packet delivery ratio ดีขึ้น 1.15%

กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay และ Jitter ดีขึ้น 33% และ 61% ตามลำดับ ในขณะที่ Packet delivery ratio ดีขึ้น 2.13%

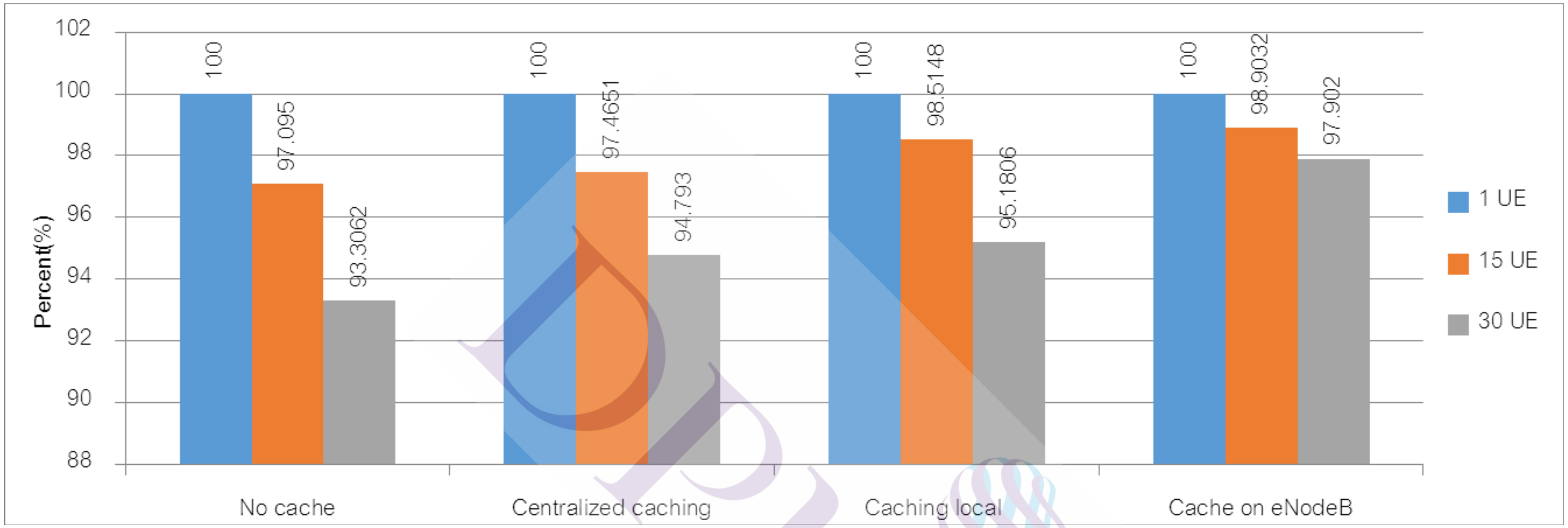
จากผลการทดสอบดังกล่าว จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อขยับตำแหน่งของ Video caching เข้าใกล้ UE มากขึ้นประสิทธิภาพค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Delay), ค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ย (Jitter) และอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Ratio)นั้นดีขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อแหล่งเก็บข้อมูลที่ผู้เรียกดู Video Streaming นั้นอยู่ใกล้ จึงทำให้ระยะเวลาในการส่งกลับข้อมูลให้ผู้เรียกดูนั้นใช้เวลาลดลง และเมื่อความล่าช้าในการส่งข้อมูลลดลงส่งผลให้ความแปรปรวนของความล่าช้าลดลงด้วย ทำให้การรับชม Video streaming ราบรื่น ภาพไม่กระตุก ในส่วนของอัตราการรับส่งข้อมูลที่ดีขึ้นนั้นอธิบายได้โดยเมื่อระยะทางในการส่งข้อมูลสั้นทำให้การสูญหายของข้อมูลลดลงด้วย เนื่องจากยิ่งระยะทางสั้นโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างทางลดน้อยลงด้วย จึงทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จนั้นมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้น ในทางกลับกันหาก Video caching อยู่ห่างจาก UE มากขึ้นประสิทธิภาพต่างๆ ข้างต้นจะลดลงด้วย



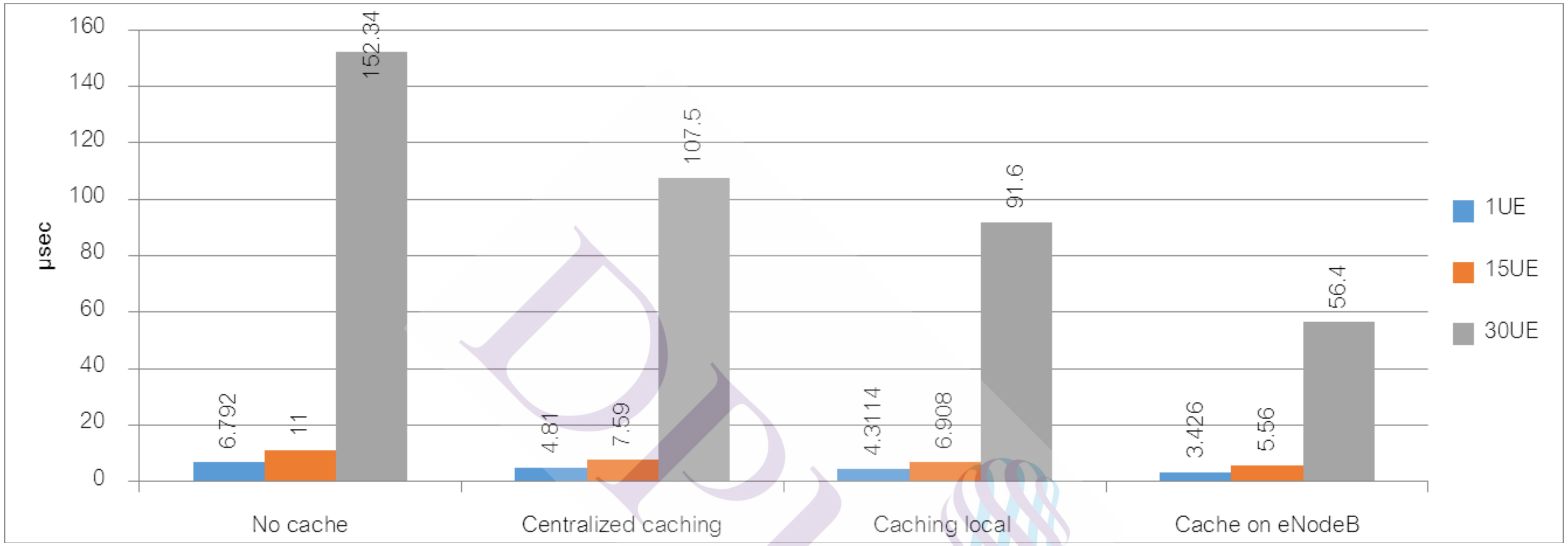
ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีมีเฉพาะบริการ Streaming โดยไม่มี Video caching อยู่ในโครงข่ายผู้ให้บริการ



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าเฉลี่ยของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆเมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของความล่าช้าของบริการ Video streaming ในโครงข่าย LTE ที่ติดตั้ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อโครงข่ายมีปริมาณในโครงข่ายแตกต่างกัน

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย และอธิบายข้อกำจัดของระบบที่พบจากการทดสอบ รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสำหรับการใช้งาน Video streaming ผ่านโครงข่าย LTE โดยนำหลักการกระจาย (distributed) มาประยุกต์ใช้กับ Video caching และได้ทำการจำลองการทำงานเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการบนโครงข่าย LTE แบบที่มี Video caching ในตำแหน่งต่างๆ และแบบที่ไม่มี Video caching โดยวัดประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming โดยพิจารณาจาก 3 ค่า คือ ค่าความล่าช้าเฉลี่ย, ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าเฉลี่ย และอัตราการรับส่งข้อมูลสำเร็จ

5.1.2 สรุปผลตามขอบเขตงานวิจัย สรุปผลได้ดังนี้

5.1.2.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่าย LTE ด้วยซอฟต์แวร์ NS2 ได้

5.1.2.2 จำลองระบบโครงข่าย LTE ประกอบด้วย

โครงข่ายไร้สาย

โครงข่ายหลัก

โครงข่ายสาธารณะ

5.1.2.3 จำลองระบบโครงข่าย LTE ที่มีการปรับตำแหน่ง Video caching ตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

กรณีไม่มี Video caching โดย UE ของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องแม่ข่ายวิดีโอ ที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่ง ศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching วางไว้ที่ตำแหน่ง ศูนย์ข้อมูลส่วนภูมิภาค และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

กรณีติดตั้ง Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ และมีผู้ใช้บริการ Video streaming จากภูมิภาค

5.1.2.4 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าภายใต้โครงข่าย LTE ที่ได้จำลองขึ้น กรณีมีการติดตั้ง Caching card บนอุปกรณ์ eNodeB จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัตินั้นการติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB จะมีค่าใช้จ่ายสูงตามจำนวน eNodeB ที่ใช้งาน นอกจากนั้นความจุของ Caching card ที่ eNodeB จะค่อนข้างต่ำ ทำให้สามารถ Caching ปริมาณของ Video streaming ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

5.1.2.5 ดำเนินการวัดประสิทธิภาพทางโครงข่าย โดยประเมินจากค่าความล่าช้า, ค่าความแปรปรวนของความล่าช้า ในกรณีที่ติดตั้ง Video caching ในส่วนภูมิภาค จะมีประสิทธิภาพในส่วนของ Delay, Jitter และ Packet delivery ratio ด้อยกว่ากรณีติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB อยู่ประมาณ 9%, 18% และ 0.6% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีติดตั้ง Video caching ที่ ศูนย์ข้อมูลส่วนกลาง 5%, 6% และ 0.6% ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตามผู้ให้บริการโครงข่าย LTE จะต้องลงทุนเพิ่มเติมในส่วนของ Video caching ที่ติดตั้งในแต่ละภูมิภาค และผู้ให้บริการโทรคมนาคมยังคงต้องขยายขนาดของ Storage ของ centralized caching ตามปริมาณของ content ที่เพิ่มขึ้นในอินเทอร์เน็ต ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเทียบกับการลงทุน งานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE เลือกใช้ Video caching แบบกระจายตามแต่ละภูมิภาค

5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัย สามารถแยกข้อจำกัดออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.2.1 ภาพยนตร์ออนไลน์ความละเอียดแบบ Full HD เพียงอย่างเดียว จึงไม่ทราบว่าหากภาพยนตร์ออนไลน์ที่ความถี่อื่นๆ จะมีผลที่ใกล้เคียงกันหรือไม่

5.2.2 งานวิจัยนี้ใช้วิดีโอเรื่องเดียว และใช้ขนาดวิดีโอที่จำกัด นอกจากนั้นปริมาณการรับส่งข้อมูลของ UE ของผู้ใช้งานแต่ละคนมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่เท่ากันทุกเครื่อง (กรณีมีจำนวนผู้ใช้งานในโครงข่ายมากกว่า 1 UE)

5.2.3 งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงเรื่อง Cache miss/ Cache hit

5.2.4 ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย LTE เพิ่มแบบก้าวกระโดด โดยเพิ่มขึ้นจาก 1 เครื่องเป็น 15 เครื่อง และ 30 เครื่องตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ สามารถแยกข้อเสนอแนะออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.3.1 ควรทดสอบด้วยภาพยนตร์ออนไลน์ที่มีความละเอียดประเภทอื่นๆ

5.3.2 ควรทดสอบด้วยปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย LTE เพิ่มขึ้นแบบไม่ก้าวกระโดด เช่น 1, 3, 5, 7,…, 30 เครื่องตามลำดับ

5.2.3 ควรคำนึงถึงเรื่องกรณี Cache hit/ Cache miss ว่าหากเกิดกรณี Cache miss/ Cache hit แล้วค่าประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming จะดีขึ้นหรือลดลงอย่างไร

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

วรสิทธิพล ทมโคตร. (2557). *การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE. EECON37* ประเทศไทย : ขอนแก่น.

วรสิทธิพล ทมโคตร. (2557). *การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE.* น. 32-35.

Nectec. (2545). แคช. นักรบ ฆ้องกระโทก.

ภาษาต่างประเทศ

Patrick Mulumba and Peter Clayton. (2008). An Example of a Simple Cache system for a VideoStreaming Implementation within a NetworkSimulation, *SATNAC 2008 Conference Papers*

K.Sandeep and G.Kunal. Simulation of VoIP over UDP with Bandwidth on Demand Analysis. *International Journal of Computer Science & Communication Networks*, 2.

Tom Henderson. (2011, November 05). *40.3.0.0.1 Exponential On/Off.* สืบค้น จาก http://www. isi.edu/nsnam/ns/doc/node508.html

Tutorialspoint. LTE Network Architecture

Vivek Sanghvi Jain, Sanchit Jain, Lakshmi Kurup & Aruna Gawade. (2014). Overview on Generations of Network: 1G,2G,3G,4G,5G. *Computer Technology & Applications, Vol 5 (5)*, Page 1789-1794.

YouTube Help. (2014). *Live encoder settings, bitrates and resolutions.* สืบค้น จาก https: //support.google.com/ youtube/answer/2853702?hl=en#

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ขั้นตอน และชุดคำสั่งเพื่อแปลงไฟล์ภาพยนตร์จริง
เพื่อให้ประยุกต์ใช้ในโปรแกรม NS2

ขั้นตอน และชุดคำสั่งเพื่อแปลงไฟล์ภาพยนตร์จริงเพื่อให้ประยุกต์ใช้ในโปรแกรม NS2

1. เตรียมไฟล์วิดีโอที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยวิดีโอประเภท MPEG4 ที่มีความละเอียดของภาพแบบ 1080P (Full HD)

2. แปลงไฟล์วิดีโอจากนามสกุลไฟล์ MP4 ให้เป็นนามสกุลไฟล์ m4v ซึ่งเป็นรูปแบบสำหรับการให้บริการภาพยนตร์ออนไลน์ โดยคำสั่งในการดัดแปลงและแก้ไขไฟล์วิดีโอต้นฉบับนั้นต้องใช้ซอฟต์แวร์ FFMPEG ในการดัดแปลงแฟ้ม โดยใช้คำสั่งตามภาพ 3.3

```
ffmpeg -i FHD.mp4 -ss 00:00:00 -t 00:00:30 -codec:v libx264 -profile:v high
-preset slow -b:v 2500k -maxrate 2500k -bufsize 3000k -vf scale=-1:1080 -threads 0 -an FHD.m4v
```

คำสั่งดัดแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับให้อยู่ในรูปแบบสำหรับให้บริการภาพยนตร์ออนไลน์

คำสั่งในการดัดแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับ มีรายละเอียดต่อไปนี้

- i FHD.mp4 เป็นคำสั่งเลือกไฟล์วิดีโอต้นฉบับที่ชื่อ FHD.mp4
- ss 00:00:00 เป็นคำสั่งที่ไว้เลือกเวลาเริ่มต้นในการดัดแปลงไฟล์วิดีโอที่นาทีที่ต้องการ เช่น ต้องการให้เริ่มที่วินาทีที่ 00 ให้ระบุเป็นหน่วยดังนี้ ชั่วโมง:นาที:วินาที
- t 00:00:30 เป็นคำสั่งที่ไว้เลือกระยะเวลาทั้งหมดที่จะดัดแปลงไฟล์วิดีโอ เช่น ต้องการดัดแปลงวิดีโอทั้งหมดเป็นเวลา 30 วินาที ให้ระบุเป็นหน่วยดังนี้ ชั่วโมง:นาที:วินาที
- codec:v libx264 เป็นคำสั่งที่ระบุให้มีการเข้ารหัสมาตรฐาน H.264
- profile:v high คือคำสั่งเลือกดัดแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับแบบคุณภาพสูง
- preset slow คือคำสั่งที่บอกให้ libx264 library นั้นเลือกการแปลงแบบละเอียดซึ่งถ้าเลือก preset แบบ slow ไฟล์ภาพยนต์จะมีคุณภาพดี แต่จะใช้เวลาในการแปลงวิดีโอนานขึ้น
- b:v 2500k เป็นคำสั่งกำหนด bitrate ให้อยู่ที่ 2500 Kbps
- maxrate 2500k เป็นคำสั่งกำหนด maximum bitrate อยู่ที่ 2500 Kbps
- bufsize 3000k เป็นคำสั่งที่ระบุขนาดของ buffer อยู่ที่ 3000 Kbits
- vf scale=-1:1080 เป็นการระบุความละเอียดภาพที่ 1080P
- threads 0 เป็นคำสั่งที่ระบุ thread ที่จะนำมาใช้ในการดัดแปลงไฟล์วิดีโอ
- FHDs.m4v คือระบุชื่อแฟ้มภาพยนต์ผลลัพธ์ที่ได้จากการดัดแปลง

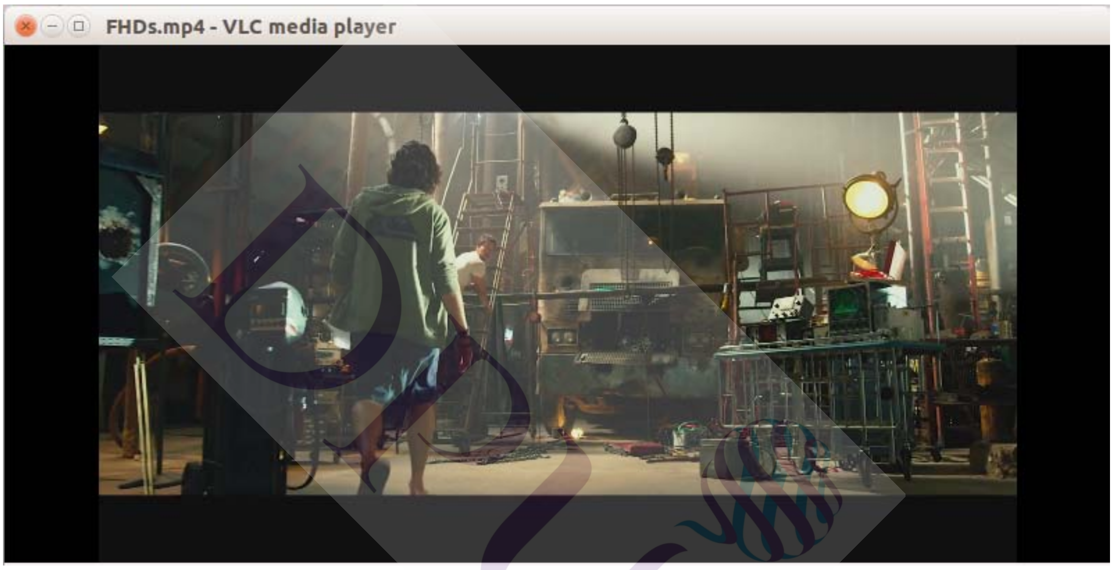
3. ทำการกำหนดขนาดแพ็คเก็ตและ frame rateที่นำไปใช้ในการทดสอบ ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

```
MP4Box -hint -mtu 1500 -fps 30 -add FHD.m4v FHDs.mp4
```

คำสั่งกำหนดขนาดแพ็คเก็ตและ frame rate

คำสั่งการดัดแปลงไฟล์วิดีโอต้นฉบับ มีรายละเอียดต่อไปนี้

- mtu 1500 เป็นการระบุ Maximum Transmission Unit ที่ 1500 Bytes
- fps 30 เป็นการการระบุ frame rate



ภาพจากการแปลงไฟล์วิดีโอตามคำสั่งที่ 3

เป็นภาพตัวอย่างที่มาจากไฟล์วิดีโอที่จะนำไปใช้ในการจำลอง เป็นไฟล์วิดีโอที่ได้จากการดัดแปลงในข้อที่ 3

4. คำสั่งสร้างการเชื่อมต่อ มีรายละเอียดคำสั่งต่อไปนี้

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

คำสั่งสร้างการเชื่อมต่อ

- nc เป็นคำสั่ง netcat ที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อ
- -l การทำงานเป็น listen mode
- -u เป็นการเชื่อมต่อแบบ UDP

- localhost 12346 คือการระบุที่อยู่ของ Server ผ่าน port หมายเลข 12346

5. การให้บริการภาพยนตร์ออนไลน์และการจัดเก็บแฟ้มติดตามการทำงานของบริการภาพยนตร์ออนไลน์โดยใช้คำสั่งตามภาพ มีรายละเอียดคำสั่งต่อไปนี้

```
mp4trace -f -s 192.168.1.6 12346 FHDs.mp4 > FHD.st
```

คำสั่งติดตามการทำงานของการให้บริการวิดีโอออนไลน์

- mp4trace เป็นการติดตามพฤติกรรมการทำงานของการให้บริการวิดีโอออนไลน์
- -f –s 192.168.0.2 12346 เป็นการระบุปลายทางที่ต้องการให้บริการวิดีโอ ซึ่งระบุหมายเลข IP เครื่องปลายทาง และหมายเลข port 12346
- > FHDs.st เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนผลลัพธ์ที่ได้จากการติดตามพฤติกรรมการทำงานของการให้บริการวิดีโอออนไลน์

DPU

ภาคผนวก ข

งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 8

การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE

นิรมล ศรีโชติ[1] และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

E-mail: kajjang53@hotmail.com

บทคัดย่อ

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นของบริการประเภท real-time เช่น Streaming video บนโครงข่าย LTE โดยปกติจะมีข้อจำกัดในเรื่องความล่าช้าทางเวลาและแบนด์วิดธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพบริการ Streaming video จึงจำเป็นต่อผู้ให้บริการโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้จำลองการใช้งานบริการ Streaming video บนโครงข่าย LTE โดยคำนึงถึงผลของการทำ Video caching เทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังคำนึงถึงผลของตำแหน่งของ Video caching โดยได้จำลองตำแหน่งของ Video caching อยู่ที่ Data center ส่วนกลางกรณี Video caching อยู่ตามภูมิภาคและกรณี Video caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ในโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน Streaming video โดยวัดจากค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา และค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE ใช้ประกอบการตัดสินใจก่อนการติดตั้งเพื่อใช้งานจริง

คำสำคัญ: *Video caching, Streaming video, โครงข่าย LTE*

Abstract

The increasing demand for real-time services such as Streaming video on LTE networks is typically have time delay and bandwidth limitation. The optimized Streaming video is therefore necessary to LTE network providers. This research simulates the Streaming video service on LTE network by taking in to account the effect of Video caching. This research also considering the position of the Video caching by simulating the position of Video caching in centralized data center, Video caching in each region and Video caching is caching card installed in the eNodeB in LTE network. This research compares the performance of Streaming video service using the time delay, jitter and the packet loss. The LTE network providers shall use the result as the initial information before the implementation.

Keywords: *Video caching, Streaming video, LTE network*

DPU

1. บทนำ

ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันของคนทั่วไป โครงข่ายผู้ให้บริการโทรคมนาคมต่างพัฒนาความเร็วของอินเทอร์เน็ตเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่ออินเตอร์เน็ตมีความเร็วมากขึ้น จึงทำให้เกิดบริการใหม่ๆ บริการที่ผู้ใช้งานนิยมในปัจจุบัน คือ รับชมวิดีโอผ่านทางโทรศัพท์มือถือ ซึ่งการรับชมวิดีโอผ่านมือถือใช้แบนด์วิดธ์สูง ทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตมาก และ user experience ก็จะไม่ดีนักโดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรมคมนาคมจะปรับปรุงโดยการใช้ Video caching เพื่อจัดเก็บวิดีโอที่ถูกเรียกดูบ่อย โดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะติดตั้ง Video caching อยู่ที่ Data center ภายในกรุงเทพฯ เนื่องจากเป็น Internet Gateway ออกสู่โลกภายนอก ปัญหาคือในบางช่วงเวลามีวิดีโอเป็นที่นิยม ผู้ใช้บริการที่อยู่ในภูมิภาคต่างๆจะเรียกดูวิดีโอนั้นบ่อยครั้งระบบจะร้องขอ Video content จากภูมิภาคมาที่ Caching server ที่อยู่กรุงเทพฯ ด้วยระยะทางที่ห่างกันนี้ทำให้มีความล่าช้าทางเวลา (delay) ทำให้ user experience ในการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนั้นยังสิ้นเปลืองทรัพยากรของระบบสื่อสัญญาณ (transmission) หรืออาจจะก่อให้เกิดความคับคั่งในโครงข่ายผู้ให้บริการโทรคมนาคมด้วย

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์หลักการกระจาย (distributed) มาใช้กับ Video caching ที่มีการใช้กับโครงข่าย LTE โดยจะมีการติดตั้ง Video caching card ที่อุปกรณ์ eNodeB แทนที่จะใช้งาน Video caching ที่อยู่ใน Data center ส่วนกลางและ/หรือส่วนภูมิภาค วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียกดูวิดีโอผ่านโครงข่าย LTE และลดแบนด์วิธภายในของผู้ให้บริการโทรคมนาคม เนื้อหาในบทความมีการจัดเรียงดังนี้ ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 ผลการดำเนินการ และส่วนที่ 5 สรุปผลการวิจัยผลการดำเนินการ

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Caching [1] คือส่วนของข้อมูลที่ถูกเก็บซ้ำไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการใช้งานครั้งต่อไปโดยไม่ต้องเรียกข้อมูลจากต้นทางอีกครั้ง เมื่อ Caching ถูกสร้างขึ้น การเรียกใช้ข้อมูลในครั้งต่อไปจะถูกอ่านข้อมูลจาก Caching แทนที่จะอ่านข้อมูลจากต้นทางเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย รวมถึงการเพิ่มความเร็วในการเรียกใช้งาน โดยปกติผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะใช้ระบบ Caching เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เชื่อมต่อออกอินเทอร์เน็ต และช่วยเพิ่ม user experience ในการใช้งาน

โดยปกติผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะออกแบบให้ระบบ Caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ซึ่งมักจะอยู่ในกรุงเทพฯ เนื่องจาก Data center เป็นทางออกสู่อินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการโทรคมนาคม

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัย [2] ได้ทดสอบการปรับขนาด Caching สำหรับ Streaming video ประเภท multicast และ broadcast โดยใช้ caching แบบรวมศูนย์งานวิจัย [3] คิดถึงผลกระจาย Caching ไว้ตำแหน่งต่างๆ และเพิ่มทราฟฟิคอื่นๆ (Background) ในระบบ

อย่างไรก็ตามงานวิจัย [2] และ [3] ไม่ได้จำลองการทดสอบบนโครงข่าย LTE และไม่ได้ทดสอบในกรณีที่ Caching อยู่ใกล้กับผู้ใช้งาน (ในที่นี้คือ Local data center และ eNodeB) มากที่สุด งานวิจัย [4] สรุปว่าทราฟฟิคประเภท Streaming video บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ 55% ของทราฟฟิคทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดเวลางานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีที่ระบบ Caching กระจายในแต่ละภูมิภาค เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของการบริการ Video streaming ที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินเทียบกับการลงทุนในโครงข่ายที่เพิ่มขึ้น

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

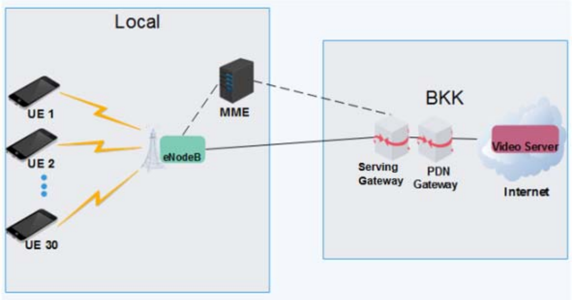
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

งานวิจัยนี้จำลองโครงข่าย LTE โดยเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (User Equipment - UE) จะมีการเรียกใช้งาน Video streaming ผ่านโครงข่ายโดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของ Video caching 3 ตำแหน่งคือ ที่ Data center ส่วนกลาง ที่ Data center ส่วนภูมิภาค และที่ตำแหน่ง eNodeB เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching โดยงานวิจัยนี้จำลองการทำงานของโครงข่าย LTE โดยใช้ซอร์ฟแวร์ NS2

3.2 การจำลองสถานการณ์ในการทดสอบ

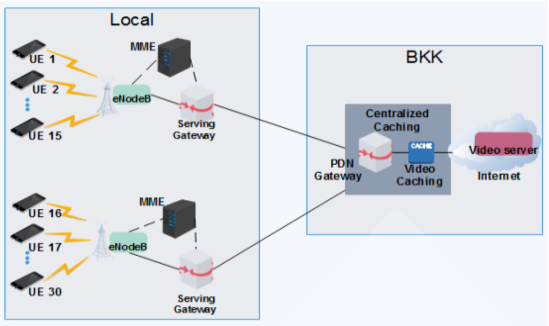
แบบจำลองสถานการณ์เริ่มจาก Client ขอใช้บริการ Video streamingแบบ FHD (Full High Definition) จากผู้ให้บริการบนโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming โดยพิจารณาจากค่า Packet loss, Delay และ Jitter ตามแบบจำลองการทำงานในรูปที่ 1, 2, 3 และ 4 โครงข่ายไร้สายในแบบจำลองที่ใช้ในบทความนี้ประกอบไปด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 1,15 และ 30 เครื่อง แต่ละเครื่องใช้งานบริการ 3 ประเภทได้แก่ Video streaming, Voice background และ Data background โดยเชื่อมต่อกันตามรูปที่ 1, 2, 3 และ 4ตามลำดับงานวิจัยนี้ใช้เวลาจำลองการทำงานของระบบนาน 30 วินาที โดยจำลองรูปแบบโครงข่ายโดยปรับตำแหน่งของ Video caching ไว้ตำแหน่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. จำลองโครงข่ายโดยไม่มี Video caching ในกรณีนี้ UE จะเชื่อมต่อโดยตรงกับ Video server ที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 1



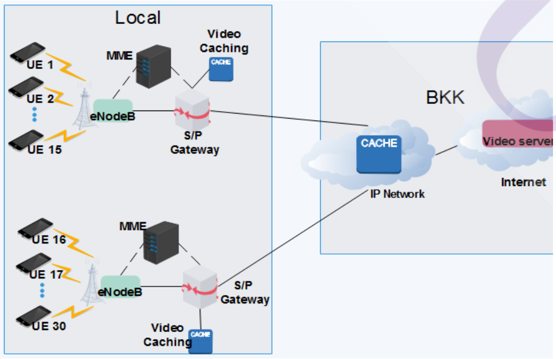
รูปที่ 1 โครงข่าย LTE กรณีไม่มี Video caching

2. จำลองโครงข่ายโดย Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนกลาง และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาคดังรูปที่ 2



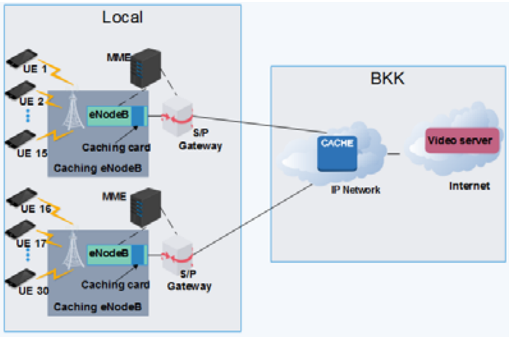
รูปที่ 2 โครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนกลาง

3. จำลองโครงข่ายโดย Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนภูมิภาค และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนภูมิภาค

4. จำลองโครงข่ายโดย Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

3.2.1. ความจุของ Link ที่ใช้ในการจำลองและความละเอียด Video ที่ใช้ในการ streaming ที่ใช้ในการทดสอบ

ความจุของแต่ละ Link ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในบทความนี้มีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความจุของ link [5]

Network	Uplink(Mbps)	Downlink(Mbps)
UE	21	84
Core Network	1000	1000
Internet	1000	1000

Streaming video ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบ FHD ซึ่งแปลงจากไฟล์ video จริงเพื่อใช้งานร่วมกับ NS2 ที่มีความละเอียดที่ 1920 x 1080 พิกเซล, Bitrate 3000 kbps, Packet Size 1500 Bytes, fps 30 Frames/second และจำนวน UE ในระบบมีจำนวน1, 15 และ 30 UE ตามลำดับ ในส่วนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน แสดงได้ดังตารางที่ 2

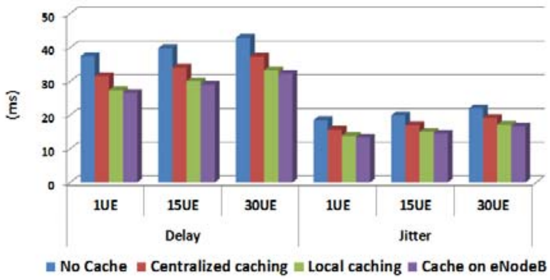
ตารางที่ 2: ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้งานของแต่ละการบริการ

Service	Application	Packet Size (Bytes)	Bitrate (kbps)
Voice Background [6]	VoIP (G.711)	RTP (160)	82.4
Video Streaming [7]	Video streaming (H.264)	UDP (1500)	3000
Data Background [8]	Data	VBR (1500)	Max rate 60%*

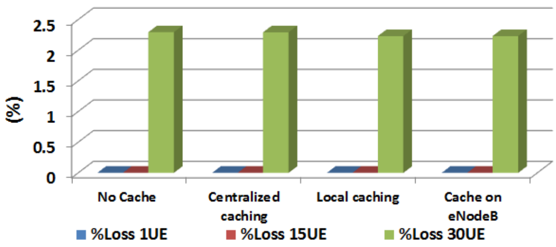
*Background เป็น exponential on-off source มี burst time = 350 ms, idle time = 5 ms และ bit rate สูงสุด 50.4 Mbps (60% ของขา Downlink โครงข่าย LTE)

4. ผลการดำเนินการ

ผลการจำลองสถานการณ์ที่ปรับตำแหน่ง Video caching ไว้แต่ละตำแหน่ง แสดงผลได้ตามกราฟรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่า Delay, Jitter เมื่อปรับตำแหน่ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่า %Loss เมื่อปรับตำแหน่ง Video caching ในตำแหน่งต่าง ๆ

ผลการทดสอบจะแบ่งเป็น 4 แบบคือ Video server อยู่ใน อินเทอร์เน็ต, Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนกลาง, Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ภูมิภาค และ Video caching ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB (ภูมิภาค) จำลองด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 1, 15 และ 30 เครื่อง โดยมีข้อมูลประเภทอื่น (Background Traffic) ปะปนอยู่ด้วยโดยใช้แบนด์วิดธ์ขนาด 60% ของช่องสัญญาณไร้สายขนาด 84 Mbps

4.1 ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss)

ในทั้งสามกรณีที่จำลองในงานวิจัยนี้ ถ้า 1 และ 15 UE จะไม่มีการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลรวมมีค่าน้อยกว่าขนาดช่องสัญญาณไร้สายขนาด 84 Mbps จะมีการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลกรณี 30 UE โดยค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลในกรณีไม่มี Video caching และมี Video caching ที่ตำแหน่งต่างๆ ไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 3

โดยการคำนวณค่าสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

$$\%Loss = 100 - \left[\left(\frac{ngp}{nrp}\right) \times 100\right] \quad (1)$$

ngp = number of generated packet

nrp = number of received packet

ตารางที่ 3: ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss) (%)

จำนวน UE	No Caching	Centralized Caching	Local Caching	Caching on eNodeB
1	0	0	0	0
15	0	0	0	0
30	2.2936	2.2927	2.2315	2.2315

4.2 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)

จากการจำลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการปรับตำแหน่ง Video caching ในโครงข่าย LTE มีผลกับอัตราความล่าช้าทางเวลาของการ Streaming video ดังตารางที่ 4

โดยการคำนวณค่าความล่าช้าทางเวลาดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Average delay} = \frac{\sum(rt(i) - st(i))}{\text{all st pkts}} \quad (2)$$

st = sent time of packet i

rt = receive time of packet i

ตารางที่ 4: ตารางแสดงค่าความล่าช้าทางเวลา (ms)

จำนวน UE	No Caching	Centralized Caching	Local Caching	Caching on eNodeB
1	37.1309	31.4578	27.4498	26.4498
15	39.8865	34.0933	30.0851	29.0851
30	44.0064	38.3501	34.3419	33.3419

4.3. การแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

จากการจำลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการปรับตำแหน่ง Video caching ในโครงข่าย LTE มีผลกับอัตราแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาของการ Streaming video ดังตารางที่ 5

โดยการคำนวณค่าการแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาดังสมการต่อไปนี้

$$\text{jitter} = \frac{\sum[\text{duration}(i) - \text{avg duration}]^2}{n-1} \quad (3)$$

I = pkt id

ตารางที่ 5: ตารางแสดงการแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (ms)

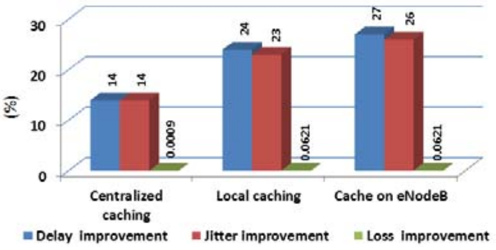
จำนวน UE	No Cache	Centralized Caching	Local Caching	Cache on eNodeB
1	18.56314	15.71601	13.76635	13.28154
15	19.93428	17.04456	15.04403	14.54502
30	21.99762	19.17306	17.17063	16.67112

จากผลการจำลองทั้ง 4 แบบ โดยนำค่าเฉลี่ยของจำนวน UE 1, 15 และ 30 UE มาเปรียบเทียบค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล(Loss), ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) โดยนำแต่ละกรณีมาเทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching พบว่าประสิทธิภาพการ Streaming ดีขึ้นตามลำดับดังนี้ (รูปที่ 6)

กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนกลาง และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay และ Jitter ดีขึ้น 14% ในขณะที่ Loss ดีขึ้น 0.0009%

กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนภูมิภาคและ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay ดีขึ้น 24%, ค่า Jitter ดีขึ้น 23% และ Loss ดีขึ้น 0.0621%

กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ค่า Delay ดีขึ้น 27%, ค่า Jitter ดีขึ้น 26% และ Loss ดีขึ้น 0.0621%



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่มี Video caching

5. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าภายใต้โครงข่าย LTE ที่ได้จำลองขึ้น กรณีมีการติดตั้ง Caching card บนอุปกรณ์ eNodeB จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัตินั้นการติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB จะมีค่าใช้จ่ายสูงตามจำนวน eNodeB ที่ใช้งาน นอกจากนั้นความจุของ Caching card ที่ eNodeB จะค่อนข้างต่ำ ทำให้สามารถ Caching ปริมาณของ Streaming video ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ในกรณีที่ติดตั้ง Video caching ในส่วนภูมิภาค จะมีประสิทธิภาพในส่วนของ Delay และ Jitter ด้อยกว่ากรณีติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB อยู่ประมาณ 3% แต่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีติดตั้ง Video caching ที่ Data center ส่วนกลางถึง 10% แต่อย่างไรก็ตามผู้ให้บริการโครงข่าย LTE จะต้องลงทุนเพิ่มเติมในส่วนของ Video caching

ที่ติดตั้งในแต่ละภูมิภาค และผู้ให้บริการโทรคมนาคมยังคงต้องขยายขนาดของ Storage ของ centralized caching ตามปริมาณของ content ที่เพิ่มขึ้นในอินเทอร์เน็ต

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเทียบกับการลงทุน งานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ผู้ให้บริการโครงข่าย LTE เลือกใช้ Video caching แบบกระจายตามแต่ละภูมิภาค

เอกสารอ้างอิง

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

[2] Patrick Mulumba and Peter Clayton, "An Example of a Simple Cache system for a Video streaming Implementation within a Network Simulation", SATNAC 2008 Conference Papers, 2008

[3] Jing Zhang, "A Distributed Cache for Hadoop Distributed File System in Real-Time Cloud Services", 2012 ACM/IEEE 13th International Conference on Grid Computing, 2012

[4] Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update 2015 – 2020, access via www.cisco.com on June 2016

[5] Yi-Bing Lin and Pin-Jen Lin, "Performance Measurements of TD-LTE,WiMAX and 3G Systems", IEEE Wireless Communications (Volume:20, Issue: 3), 2013

[6] K.Sandeep and G.Kunal. Simulation of VoIP over UDP with Bandwidth on Demand Analysis. International Journal of Computer Science & Communication Networks. Vol.2, 284-287, 2012

[7] YouTube Help. (2014, April 14). Live encoder settin gs, bitrates and resolutions. [Online].Available :https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=en#

[8] Tom Henderson. (2011, November 05). 40.3.0.0.1 Exponential On/Off. [Online]. Available: http://www.isi. edu/nsnam/ns/doc/ node508.html

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นิรมล ศรีโชติ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 เทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	Senior IT Analyst บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน)

DPU