

## การประเมินประสิทธิภาพ Video caching แบบรวมศูนย์และแบบกระจายบนโครงข่าย LTE

นิรมล ศรีโชต และ ธนัญ จารุวิทย์โกวิท

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

E-mail: kajjang53@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นของบริการประเภท real-time เช่น Streaming video บนโครงข่าย LTE โดยปกติจะมีข้อจำกัดในเรื่องความล่าช้าทางเวลาและแบนด์วิธ การเพิ่มประสิทธิภาพบริการ Streaming video จึงจำเป็นต้องให้บริการโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้จำลองการใช้งานบริการ Streaming video บนโครงข่าย LTE โดยคำนึงถึงผลของการทำ Video caching เทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังคำนึงถึงผลของตำแหน่งของ Video caching โดยได้จำลองตำแหน่งของ Video caching อยู่ที่ Data center ส่วนกลาง, กรณี Video caching อยู่ตามภูมิภาค และกรณี Video caching เป็น Caching card ติดตั้งอยู่ที่ eNodeB ในโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน Streaming video โดยวัดจากค่าความล่าช้าทางเวลา ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา และค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ให้บริการโครงข่าย 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

### 1. บทนำ

ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันของคนทั่วไป โครงข่ายผู้ให้บริการโทรคมนาคมต่างพัฒนาความเร็วของอินเทอร์เน็ตเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่ออินเทอร์เน็ตมีความเร็วมากขึ้น จึงทำให้เกิดบริการใหม่ ๆ บริการที่ผู้ใช้งานนิยมในปัจจุบันคือ รัชชมวิทโอผ่านทางโทรศัพท์มือถือ ซึ่งการรัชชมวิทโอผ่านทางมือถือใช้แบนด์วิธสูง ทำให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตมาก และ user experience ก็จะไม่ดีนัก โดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะปรับปรุงโดยการนำ Video caching เพื่อจัดเก็บวิดีโอที่ถูกเรียกดูบ่อย โดยทั่วไปผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะติดตั้ง Video caching อยู่ที่ Data center ภายใต้งานเนื่องจากเป็น Internet Gateway ออกสู่โลกภายนอก ปัญหาคือในบางช่วงเวลามีวิดีโอเป็นที่นิยม ผู้ให้บริการที่อยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ จะเรียกดูวิดีโอที่น้อยครั้ง ระบบจะร้องขอ Video content จากภูมิภาคที่ Caching server ที่อยู่กรุงเทพฯ ด้วยระยะทางที่ห่างกันนี้ทำให้มีความล่าช้าทางเวลา (delay) ทำให้ user experience ในการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองทรัพยากรของระบบสื่อสารสัญญาณ (transmission) หรืออาจจะก่อให้เกิดความคับคั่งในโครงข่ายผู้ให้บริการโทรคมนาคมด้วย

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

## 2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Caching [1] คือส่วนของข้อมูลที่ถูเก็บเข้าไปในคอมพิวเตอร์ 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 แบบรวมศูนย์ งานวิจัย [3] คิดถึงผลกระทบของ Caching ไว้ตำแหน่งต่าง ๆ 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 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีที่ระบบ Caching กระจายในแต่ละภูมิภาค เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้นำมาพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการบริการ Video streaming ที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินเทียบกับการลงทุนในโครงข่ายที่เพิ่มขึ้น

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1. ขั้นตอนการออกแบบ

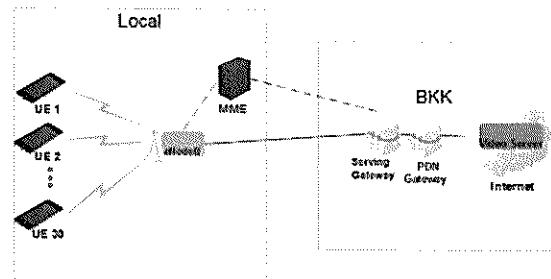
งานวิจัยนี้จำลองโครงข่าย LTE โดยเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (User Equipment - UE) จะมีการเรียกใช้งาน Video streaming ผ่านโครงข่าย โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของ Video caching 3 ตำแหน่งคือ ที่ Data center ส่วนกลาง ที่ Data center ส่วนภูมิภาค และที่ตำแหน่ง eNodeB เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี Video caching โดยงานวิจัยนี้จำลองการทำงานของโครงข่าย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

### 3.2. การจำลองสถานการณ์ในการทดสอบ

แบบจำลองสถานการณ์เริ่มจาก Client ขอใช้บริการ Video streaming แบบ FHD (Full High Definition) จากผู้ให้บริการบนโครงข่าย LTE งานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพการใช้งาน Video streaming โดยพิจารณาจากค่า Packet loss, Delay และ Jitter ตามแบบจำลองการทำงานในรูปแบบ

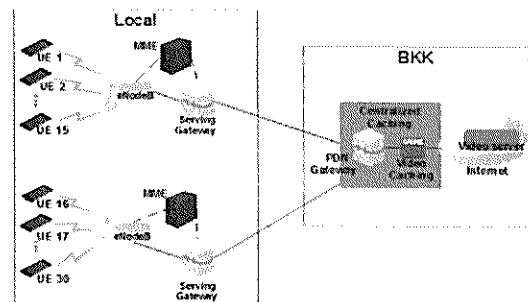
ที่ 1, 2, 3 และ 4 โครงข่ายไร้สายในแบบจำลองที่ใช้ในบทความนี้ ประกอบไปด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 1,15 และ 30 เครื่องแต่ละเครื่องใช้งานบริการ 3 ประเภทได้แก่ Video streaming, Voice background และ Data background โดยเชื่อมต่อกันตามรูปที่ 1, 2, 3 และ 4ตามลำดับงานวิจัยนี้ใช้เวลาจำลองการทำงานของระบบนาน 30 วินาที โดยจำลองรูปแบบโครงข่ายโดยปรับตำแหน่งของ Video caching ไว้ตำแหน่งต่างๆดังต่อไปนี้

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



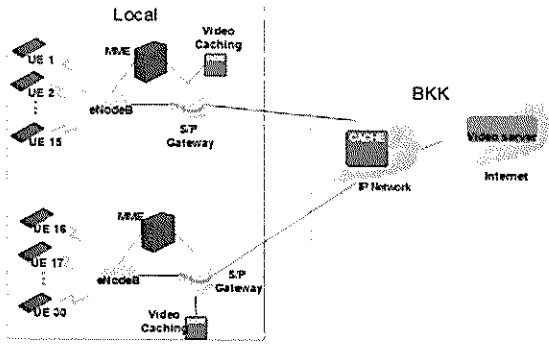
รูปที่ 1 โครงข่าย LTE กรณีไม่มี Video caching

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

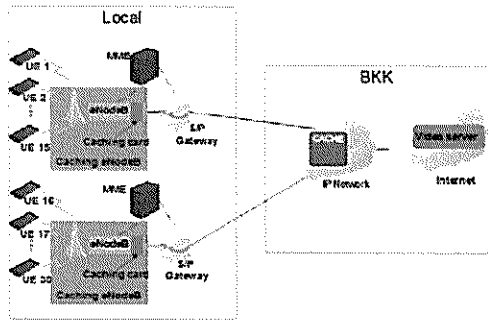
3. จำลองโครงข่ายโดย Video caching ติดตั้งอยู่ที่ Data center ส่วนภูมิภาค และ UE มีการใช้งาน Video streaming จากส่วนภูมิภาค ดังรูปที่ 3



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

4



รูปที่ 4 โครงข่าย LTE กรณี Video caching ติดตั้งอยู่ภายใน eNodeB

### 3.2.1. ความจุของ Link ที่ใช้ในการจำลองและปริมาณเฉลี่ยของ 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 ในระบบมีจำนวน 1, 15 และ 30 UE ตามลำดับ ในส่วนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงได้ดังตารางที่ 2.

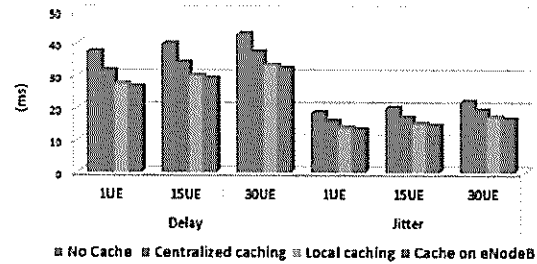
ตารางที่ 2: ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้งานของแต่ละบริการ

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

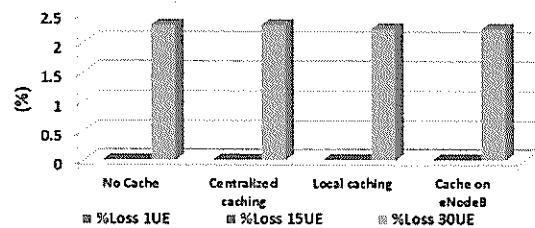
\*Background เป็น exponential on-off source มี burst time = 350 ms, idle time = 5 ms และ bit rate สูงสุด 50.4 Mbps (60% ของขา Downlink โครงข่าย LTE)

### 4.ผลการดำเนินการ

ผลการจำลองสถานการณ์ที่ปรับตำแหน่ง Video caching ไว้แต่ละตำแหน่ง แสดงผลได้ตามกราฟรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่า Delay, Jitter เมื่อปรับตำแหน่ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่า %Loss เมื่อปรับตำแหน่ง Video caching ในตำแหน่งต่างๆ

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

#### 4.1. ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูล (Loss)

ในทั้งสามกรณีที่จำลองในงานวิจัยนี้ ถ้า 1 และ 15 UE จะไม่มีการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูล เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลรวมมีค่าน้อยกว่าขนาดช่องสัญญาณไร้สายขนาด 84 Mbps จะมีการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลกรณี 30 UE โดยค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลในกรณีไม่มี Video caching และมี Video caching ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 3

โดยการคำนวณค่าสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

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

ngp = number of generated packet

nrp = number of received packet

ตารางที่ 3: ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูล(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)

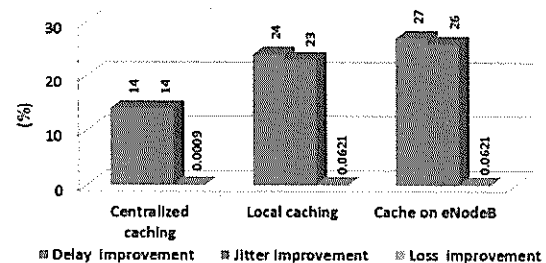
จำนวน UE	No Cache	Centralized Caching	Local Caching	Cache on eNodeB
1	18.56314	15.71601	13.76635	13.28154
15	19.93428	17.04456	15.04403	14.54502
30	21.99762	19.17306	17.17063	16.67112

จากผลการจำลองทั้ง 4 แบบ โดยนำค่าเฉลี่ยของจำนวน UE 1, 15 และ 30 UE มาเปรียบเทียบค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูล(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 ส่วนภูมิภาค และ 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 ที่ใช้งานนอกจากนั้น ความจุของ Caching card ที่ eNodeB จะค่อนข้างต่ำ ทำให้สามารถ Caching ปริมาณของ Streaming video ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ในกรณีที่ติดตั้ง Video caching ในส่วนภูมิภาค จะมีประสิทธิภาพในส่วนของ Delay และ Jitter ดีกว่ากรณีติดตั้ง Caching card ที่ eNodeB อยู่ประมาณ 3%

แต่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีติดตั้ง Video caching ที่ Data center ส่วนกลางถึง 10% แต่อย่างไรก็ตามผู้ให้บริการโครงข่าย LTE จะต้องลงทุนเพิ่มเติมในส่วนของการติดตั้ง Video caching ที่ติดตั้งในแต่ละภูมิภาค และผู้ให้บริการโทรคมนาคมยังคงต้องขยายขนาดของ Storage ของ centralized caching ตามปริมาณของ content ที่เพิ่มขึ้นในอินเทอร์เน็ต

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของคุณภาพที่เพิ่มขึ้นเทียบกับการลงทุน 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](http://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 settings, 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>