

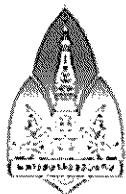
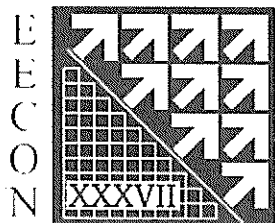
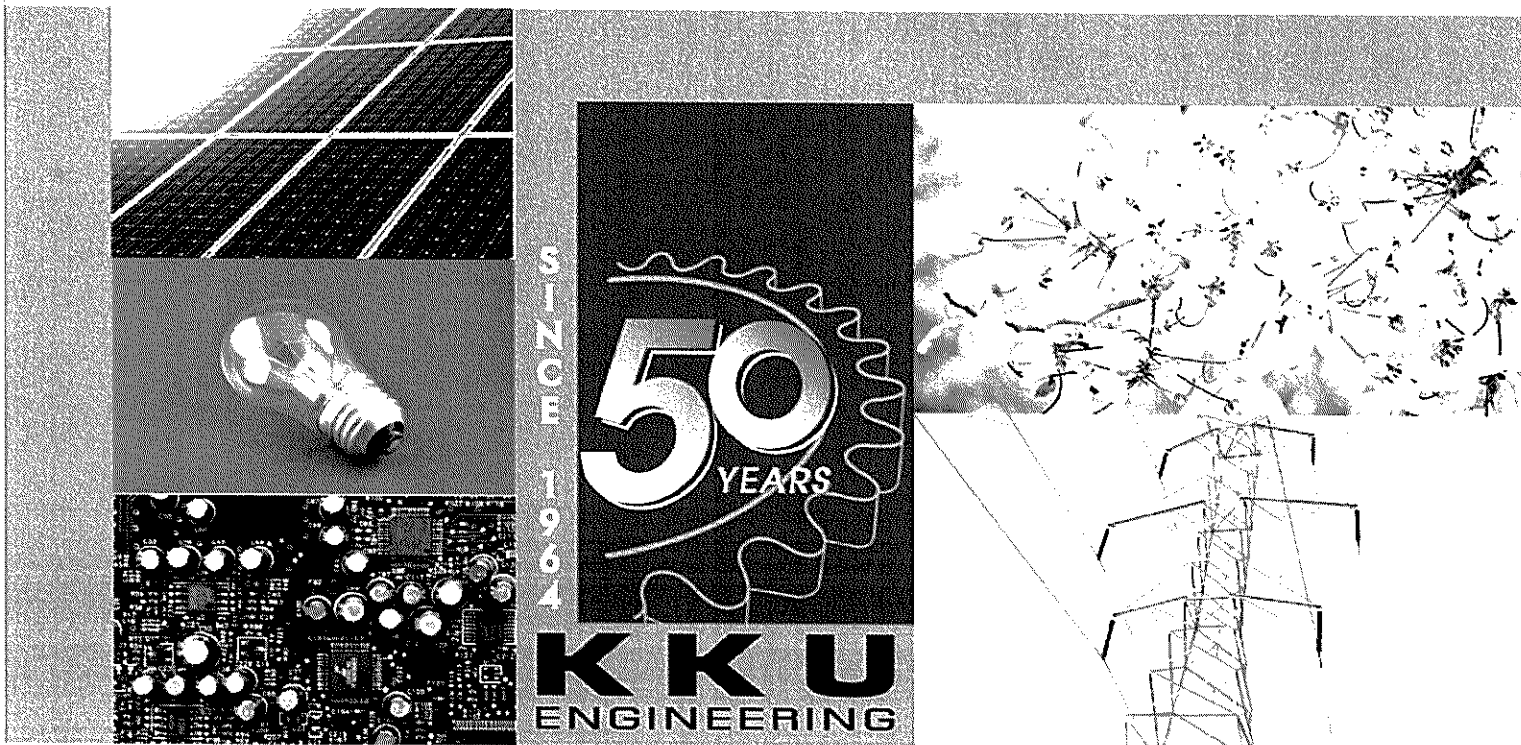
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37

The 37th Electrical Engineering Conference (EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.2

CM, EL, CT, CP, DS, PH, BE, GN



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
KHON KAEN UNIVERSITY



การบริหารจัดการคิวเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการของบริการแบบเรียลไทม์ในโครงข่าย LTE Queuing Management for Real-Time service QoS Guarantee in LTE network

วรสิทธิ์พล ทมโคตร¹ และฉันทัญญ์ จารุวิทย์โควิท

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ worasitipon.t@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้งาน โทรศัพท์เคลื่อนที่บน โครงข่ายสื่อสารยุคใหม่ อย่างโครงข่ายยุคที่ 4 หรือโครงข่าย LTE (Long Term Evolution) ตามมาตรฐานของ 3GPP ได้มีการจำแนกข้อมูลในโครงข่าย ออกเป็น 4 ประเภทตามคุณลักษณะของแต่ละบริการ คือ Conversational, Streaming, Interactive และ Background แต่การให้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในโครงข่าย LTE ในปัจจุบันนั้น ไม่ได้คำนึงถึงการรับประกันคุณภาพในการให้บริการตามคุณลักษณะของ Traffic ที่ทางมาตรฐาน 3GPP กำหนดไว้ กล่าวคือไม่มีการคำนึงถึงการบริหารจัดการคิวที่เหมาะสมกับแต่ละการบริการอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับบริการประเภท Real time ส่งผลให้การให้บริการประเภท Real time นั้นมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ การบริหารจัดการคิวข้อมูลใน โครงข่าย LTE สำหรับบริการประเภท Real time ได้แก่ Conversational และ Streaming ให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักการบริหารจัดการคิวแบบ Strict Priority มาประยุกต์ใช้ จากผลการวิจัยพบว่าสามารถลดค่า ความล่าช้าเฉลี่ยของการบริการประเภท Conversational และ Streaming ได้ 14.98% และ 14.54% ตามลำดับ และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาลดลงถึง 99.69% และ 99.57% ตามลำดับ และสำหรับ Conversational นั้นสามารถเพิ่มค่า MOS score ให้สูงขึ้นจากเดิม 9%

คำสำคัญ: โครงข่าย LTE, การรับประกันคุณภาพบริการ, การบริหารจัดการคิว

Abstract

Currently, Generation 4's Mobile network communication (LTE) has been increasing popular. 3GPP standard classified traffic into 4 classes: Conversational, Steaming, Interactive and Background. Currently, quality of service has not been considered and deployed in service provider network although it has been specified in 3GPP standard. As the result, the quality of real time applications is not so good.

This research aims to present a method to optimize the LTE network queuing to provide the better QoS to real time service such as Conversational & Streaming service. The concept of strict priority queue was

introduced in the paper. Simulation result showed that the LTE network with guarantee QoS can reduce the average delay by 14.98% and 14.54% for Conversational and a Streaming, respectively. The variance of delay time decreased by 99.69% and 99.57%, respectively. So, system can improve the MOS score in Conversation service by 9%.

Keywords: LTE network, Quality of Service, Queuing management.

1. บทนำ

3GPP [1] ได้มีการจำแนก Traffic ตามคุณลักษณะของการใช้ทรัพยากรในโครงข่ายออกเป็น 4 รูปแบบ คือ 1. Conversational 2.Streaming 3.Interactive 4.Background ซึ่งสามารถแยกออกเป็นประเภทได้ 2 ประเภทคือ การบริการแบบ Real time ได้แก่ Conversational และ Streaming ซึ่งเป็นกลุ่มการบริการที่เน้นเรื่องของเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเป็นสำคัญ และการบริการแบบ Non real time ได้แก่ Interactive และ Background เป็นการบริการที่เน้นในเรื่องของความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลเป็นสำคัญ แต่สามารถยอมให้เกิดความล่าช้าที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลได้บ้าง ซึ่งจากการศึกษาบทความในปัจจุบันก็พบว่า โครงข่าย LTE ที่ให้บริการอยู่นั้นยังไม่มีการระบุถึงการรับประกันคุณภาพในการให้บริการตามคุณลักษณะของ 4 Traffic class อย่างชัดเจน และอีกทั้งก็ยังไม่มีความที่ศึกษาในเรื่องของการบริหารจัดการคิวที่เหมาะสมกับการให้บริการทั้ง 4 Traffic class ของโครงข่าย LTE ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง

บทความนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องของการรับประกันคุณภาพการให้บริการแก่การบริการประเภท Real time เป็นหลัก โดยการรับประกันคุณภาพในการให้บริการแก่การบริการประเภท Real time นั้น จะอาศัยการบริหารจัดการคิวที่ใช้ในโครงข่าย LTE ให้มีความเหมาะสมตามการบริการประเภท Real time อย่าง Conversation และ Streaming ซึ่งนำการบริหารจัดการคิวแบบ Strict Priority มาประยุกต์ใช้ ในขณะที่การบริการประเภท Non real time อย่าง Interactive และ Background ได้นำการบริหารจัดการคิวแบบ First In First Out (FIFO) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งผลการทำงานจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 3 ต่อไป

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบริหารจัดการคิว [2] ในบทความนี้ได้มีการพูดถึงการบริหารจัดการคิวแบบ FIFO ซึ่งเป็นการให้บริการข้อมูลตามลำดับ ข้อมูลใดเข้าคิวมาก่อนก็จะได้รับการบริการก่อน ทุกๆข้อมูลในการบริหารจัดการคิวแบบ FIFO นี้จะไม่เกิดความแตกต่างในการให้บริการ ในขณะที่การบริหารจัดการคิวแบบ Strict priority นั้นจะมีการกำหนดความสำคัญในการให้บริการข้อมูลได้ ซึ่งกลไกในการให้บริการก็จะดำเนินตามลำดับความสำคัญของข้อมูลนั้นๆ เช่น มีข้อมูล A, B และ C เข้ามาพร้อมกัน แต่ข้อมูล A มีความสำคัญมาเป็นลำดับแรก ข้อมูล B มีความสำคัญมาเป็นลำดับรอง และข้อมูล C เป็นลำดับสาม ในการให้บริการข้อมูล A ก็จะได้รับบริการก่อนตามด้วยข้อมูล B และ C ตามลำดับ ซึ่งการบริหารจัดการคิวแบบนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างในการให้บริการได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัย [3] นั้นได้มีการพัฒนา Framework ที่ใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ Network Simulation 2 (NS2) [4] เพื่อใช้ในการจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE ขึ้น และได้นำเสนอประสิทธิภาพของการบริการโครงข่าย LTE ที่มีการรับประกันคุณภาพในการให้บริการและไม่มีประกันคุณภาพในการให้บริการ บทความนี้จึงได้นำเอา Framework ของงานวิจัย [3] มาใช้ในการพัฒนาต่อ เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการบริการจัดคิวที่แตกต่างกัน และจากงานวิจัย [5] นั้นก็ได้มีการพูดถึงการรับประกันคุณภาพในการให้บริการบนโครงข่าย LTE แบบต้นทางจนถึงปลายทาง โดยอาศัยหลักการ DSCP Mapping ซึ่งเป็นวิธีการในการรับประกันคุณภาพในการให้บริการก็จะแตกต่างกันที่ทางบทความนี้นำเสนอ

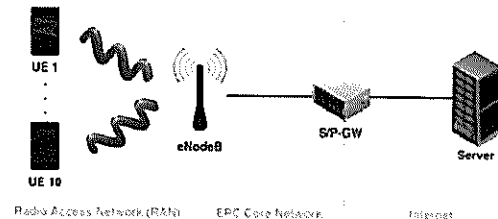
จากการศึกษางานวิจัย [3] และ [5] พบว่ายังไม่มีหรือนำหลักการการบริหารจัดการคิวมาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพการให้บริการกับข้อมูลประเภท Real time บนโครงข่าย LTE โดยบทความนี้ได้สังเกตเห็นว่าการบริหารจัดการคิวแบบ Strict priority สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการบริการประเภท Real time ให้มีประสิทธิภาพให้ดีกว่าบริการประเภท Non real time และแสดงให้เห็นว่าได้นำหลักการการบริหารจัดการคิวมาใช้ในโครงข่าย LTE ที่กำลังจะมีในประเทศไทยแล้ว การให้บริการประเภท Real time นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในแง่ใดบ้างที่จะได้เป็นข้อมูลแก่ผู้ให้บริการ โทรคมนาคมต่อไป

3. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

โครงข่าย LTE ที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายไร้สาย (Radio Network), โครงข่ายหลัก (Core Network) และ โครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ตามที่

ปรากฏในรูปที่ 1 และทำการทดสอบการทำงานของโครงข่าย 2 รูปแบบ คือ รูปแบบของโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิว และไม่มีการบริหารจัดการคิว โดยจะทำการจำลองพฤติกรรมของโครงข่าย LTE ทั้ง 2 รูปแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ NS2



รูปที่ 1 ระบบโครงข่าย LTE ที่ใช้ในการทดสอบ

การรับประกันคุณภาพในการให้บริการแก่บริการประเภท Real time (Conversation และ Streaming) นั้น จะใช้การบริหารจัดการคิวประเภท Strict Priority มาใช้ และจะใช้การบริหารจัดการคิวแบบ First In First Out (FIFO) สำหรับบริการประเภท Non real time (Interactive และ Background)

3.2 การพัฒนาการทดสอบ

3.2.1 อุปกรณ์ต้นทาง (โทรศัพท์เคลื่อนที่) และอุปกรณ์ปลายทาง (server)

โครงข่ายไร้สายในแบบจำลองที่ใช้ในบทความนี้ประกอบไปด้วย โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 10 เครื่อง แต่ละเครื่องมีใช้งาน 4 Application ได้แก่ VoIP, Video Streaming, Web และ FTP Download โดยโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้จะเชื่อมต่อกับ eNodeB และส่งข้อมูลผ่านไปยัง S/P Gateway และเครื่อง server ปลายทาง ในบทความนี้ใช้เวลาการจำลองการทำงานของระบบนาน 30 วินาที

3.2.2 ปริมาณความจุของ Link และค่าความล่าช้าทางเวลาของ Link ที่ใช้ในการทดสอบ

ในโครงข่าย LTE ที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะมีปริมาณความจุของ Link ที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละโครงข่ายที่ไม่เท่ากัน และค่าความล่าช้าทางเวลาของแต่ละ Link ที่ใช้เชื่อมต่อกับแต่ละโครงข่ายก็จะมีค่าความล่าช้าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะอ้างอิงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความจุและค่าความล่าช้าทางเวลาของ link ที่ใช้งานในแต่ละโครงข่าย

Network	Uplink(Mbps)	Downlink(Mbps)	Delay(ms)
Radio Network	21	42	70
Core Network	1000	1000	2
Internet	1000	1000	2

3.2.3 รูปแบบของ Traffic ที่ใช้งานในโครงข่าย

รูปแบบ Traffic ที่ใช้งานในโครงข่าย LTE จะจำแนกออกเป็น 4 รูปแบบตาม [1] คือ Conversational, Streaming, Interactive และ Background โดยในงานวิจัยนี้ได้จำลองรูปแบบของ Traffic ทั้ง 4 แบบตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้งานของแต่ละการบริการ

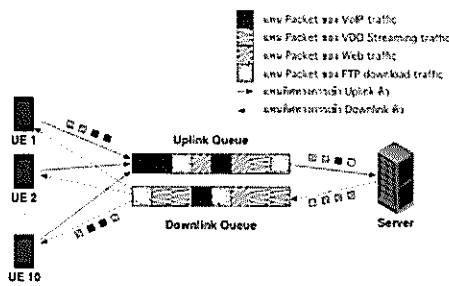
Service	Application	Packet Size(Bytes)	Bitrate (kbps)
Conversational	VoIP(G.711)	RTP(160)	82.4
Streaming	VideoStreaming	UDP(512)	3000
Interactive	Web Traffic	HTTP(512)	-
Background	FTPDownload	TCP(512)	-

3.3 การทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบของโครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิว และ โครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 โครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิวข้อมูล

โครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิวนั้น จะไม่มีการคัดแยกและจัดลำดับความสำคัญในการรับส่งข้อมูลของการให้บริการทั้ง 4 Traffic ตามตาราง 2 ซึ่งจะเกิดความแตกต่างในการให้บริการแก่ทั้ง 4 Traffic ดังนั้นในการรับส่งข้อมูลจะใช้การบริหารจัดการคิวในการรับส่งข้อมูลแบบ FIFO ซึ่งถ้าข้อมูลจากการบริการไหนมาก่อน ก็จะได้รับบริการข้อมูลนั้นก่อน จะเห็นลำดับการเข้าเรือออกจากคิวได้จากรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่า Packet ของการบริการไหนมาถึงก่อนก็จะสามารถเข้าไปอยู่ในคิวและรอการรับบริการได้ทันที โดยไม่มีการจำแนกความสำคัญ

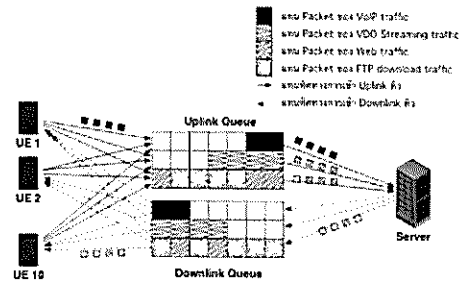


รูปที่ 2 การบริหารจัดการคิวแบบ FIFO เมื่อมีการใช้งานทั้ง 4 บริการ

3.3.2 โครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวข้อมูล

โครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวนั้น จะมีการจัดลำดับความสำคัญให้กับกลุ่มการบริการประเภท Real time อย่าง Conversational และ Streaming จะเห็นได้จากรูปที่ 3 ว่าในฝั่ง Uplink queue และ Downlink queue นั้นจะมีคิวในการรอรับการบริการ Conversation และ Streaming ตามลำดับ เพื่อเป็นการระบุความสำคัญในการให้บริการประเภท Real time ในขณะที่การบริการ

ประเภท Non real time อย่าง Interactive และ Background นั้นก็จะถูกบริหารจัดการคิวแบบ FIFO จากการจัดการคิวตามภาพที่ 3 จะทำให้เกิดความแตกต่างในการให้บริการตามลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้ การบริการ Conversation, Streaming จะมีความสำคัญมาเป็นลำดับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และการบริการ Interactive และ Background นั้นจะเป็นลำดับที่ 3



รูปที่ 3 การบริหารจัดการคิวแบบ Strict priority สำหรับบริการ Conversation และ Streaming และการบริหารจัดการคิวแบบ FIFO สำหรับบริการ Interactive และ Background

3.4 การหาประสิทธิภาพของโครงข่าย

ในการวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย LTE นั้นจะมีด้วยกัน 3 ตัวแปรคือ ค่าความล่าช้าทางเวลา (delay), ค่าความแปรปรวนของเวลาล่าช้าทางเวลา (jitter) และค่าเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงเมื่อใช้งานบนโครงข่าย LTE โดยใช้ MOS score

3.4.1 ค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Avg. delay} = \frac{\sum (R\text{time}(i) - S\text{time}(i))}{n} ; 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

เมื่อ Rtime คือเวลาที่ได้รับ packet ที่ i, Stime คือเวลาที่ส่ง packet ที่ i, และ n คือจำนวน packet ที่ได้รับทั้งหมด

3.4.2 ค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ย

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

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

เมื่อ delay(i) คือค่าความล่าช้าทางเวลาของ packet ที่ i, avg. delay คือค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ย และ n คือจำนวนของ packet ที่ได้รับทั้งหมด

3.4.3 ค่าเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงเมื่อใช้บริการผ่านโครงข่าย LTE

PingPlotter ได้นำเสนอสมรรถนะในการคำนวณค่า MOS score [6] โดยอาศัยค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยของโครงข่าย โดยงานวิจัยนี้ได้นำเกณฑ์ดังกล่าวมาหาค่า MOS ของบริการ VoIP (การบริการประเภท Conversational) ของโครงข่าย LTE เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพของการให้บริการในกรณีที่มีและไม่มีการบริหารจัดการคิวข้อมูล

4. ผลการดำเนินการ

ผลการทดสอบของโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวและไม่มีการบริหารจัดการคิวนั้น จะถูกวัดประสิทธิภาพทางโครงข่ายด้วยกัน 2 ส่วนคือ ค่าความล่าช้าทางเวลา และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยและความความแปรปรวนความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวและไม่มีการบริหารจัดการคิว ในหน่วยมิลลิวินาที(ms)

Service	Delay (ms)			Jitter (ms)		
	TQ	PQ	Change (%)	TQ	PQ	Change (%)
Conversational	83.03	74.84	-14.98	3.08×10^{-2}	9.58×10^{-3}	-99.69
Streaming	88.46	75.57	-14.54	3.03×10^{-2}	1.31×10^{-4}	-99.57
Interactive	89.22	100.06	+12.15	2.58×10^{-2}	0.148	+475.04
Background	87.75	98.67	+12.44	3.31×10^{-2}	0.157	+375.55

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าโครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิว(Traditional Queuing : TQ) นั้นจะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยทางเวลาและความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยของทั้ง 4 Traffic class ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก นั้นเป็นเพราะว่าทุก Traffic class มีความสำคัญเท่ากันทำให้ไม่เกิดความแตกต่างในการให้บริการดังนั้นข้อมูลของบริการไหนมาก่อนก็จะได้รับการบริการก่อนตามรูปแบบการบริหารจัดการคิวแบบ FIFO ซึ่งจะแตกต่างกับโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิว(Proposed Queuing : PQ) โดยจะเห็นว่าการบริหารจัดการ Real time อย่าง Conversation และ Streaming นั้นมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยทางเวลาเฉลี่ย 14.98% และ 14.54% ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถลดความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยแก่ 2 บริการดังกล่าวได้ 99.69% และ 99.57% ตามลำดับ นั้นเป็นเพราะว่าการให้บริการทั้ง 2 Traffic นั้นจะมีความสำคัญที่สูงกว่าบริการประเภท Non real time ซึ่งมีค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นเมื่อโครงข่ายมีการบริหารจัดการคิวแบบ Strict priority แล้ว การรับส่งข้อมูลของแต่ละ Traffic class ที่ได้กล่าวไปนั้นก็จะไปตามกลไกที่ได้กำหนดค่าความสำคัญในการให้บริการ Conversational และ Streaming มาเป็นอันดับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ Interactive และ Background มาเป็นอันดับสุดท้าย

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า MOS score ของการใช้บริการ conversational บนโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวและไม่มีการบริหารจัดการคิว

Queuing	MOS Score
Traditional Queuing	3.75
Proposed Queuing	4.2

จากตารางที่ 4 ค่า MOS score ของการบริการ conversation ของโครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิวเทียบกับโครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิว จะเห็นได้ว่า โครงข่าย LTE ที่มีการบริหารจัดการคิวนั้นจะมีค่า MOS score ที่ดีกว่า 9% เมื่อเทียบกับโครงข่าย LTE ที่ไม่มีการบริหารจัดการคิวข้อมูล

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการจัดการคิวสำหรับบริการต่าง ๆ บนโครงข่าย LTE โดยให้ความสำคัญกับบริการประเภท Real time ซึ่งแต่เดิมนั้นไม่มีการบริหารจัดการคิวในโครงข่าย ส่งผลให้การบริการที่เป็น Real time มีค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนทางเวลาเฉลี่ยสูงในกรณีที่ระบบมีความคับคั่ง บทความนี้ได้ดำเนินการบริหารจัดการคิวแบบ Strict priority เข้ามาประยุกต์ใช้กับการบริการประเภท Real time ซึ่งสามารถลดความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยได้ 14.98% และ 14.54% สำหรับข้อมูลประเภท Conversational และ Streaming ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็ลดความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยได้ 99.69% และ 99.57% ตามลำดับ ช่วยเพิ่มคุณภาพเสียงของการบริการ VoIP ให้ดีขึ้น 9% เมื่อเทียบกับค่า MOS score แต่ในทิศทางตรงกันข้ามก็อาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการให้บริการประเภท Non real time อย่าง Interactive และ Background ค่อนข้างในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] 3GPP TS 23.107, *Quality of Service (QoS) concept and architecture(Release 10)*, 3rd Generation Partnership Project: 2011.
- [2] Cisco System, "Congestion Management Overview", San Jose, CA, 2007.
- [3] Q.Qiu, J.Chen, L.Ping, Q. Zhang and X.Pan, "LTE/SAE Model its implement in NS2" 5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, pp. 299-300, Fujian, China, 2009.
- [4] K.Fall and K.Varadhan, *The ns Manual (formerly ns Note and Documentation)*, The VINT Project: 2011
- [5] L.Li and S.Shen, "End to End QoS Performance Management Across LTE Networks" *Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 13th Asia-Pacific, pp. 1-4, Taipei, Taiwan, 2011.
- [6] PingPlotter Pro. (2005, Nov. 23). *How is MOS Calculated in PingPlotter Pro?* [Online]. Available: <http://www.nessoft.com/kb/50>