การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE

ณิชา นิ่มวรพันธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี
และวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2561

Performance Comparison Scheduling Algorithms in LTE Network

Nicha Nimworaphan

A Thesis Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication Engineering

College of Innovative Technology And Engineering,

Dhurakij Pundit University

2018

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE

เสนอโดย นางสาวณิชา นิ่มวรพันธุ์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญ)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

..... คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ ....1..... เดือน ....มิถุนายน..... พ.ศ. ....2561....

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึ่มการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE
ชื่อผู้เขียน ณิชา นิ่มวรพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการเติบโตของข้อมูลในโครงข่ายการสื่อสาร LTE เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีการใช้ข้อมูลหลายประเภท เช่น เสียง (voice) ภาพเคลื่อนไหว (video) และข้อมูล (data) ซึ่งต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service – QoS) ที่แตกต่างกัน อัลกอริทึมการจัดตารางเวลา เป็นอีกส่วนการทำงานหนึ่งที่มีความสำคัญที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรวมไปถึงการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล งานวิจัยนี้ศึกษาและจำลองการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) บนซอฟต์แวร์ Network Simulator 3 (NS3) อัลกอริทึมทั้ง 3 จะจัดตารางเวลาที่อยู่ในสถานีฐาน (eNodeB) ของโครงข่าย LTE

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม ด้วยค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput) ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) และค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลา (Jitter) โดยจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE และได้เปลี่ยนระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะห่างเดียว และหลายระยะห่าง ใช้การส่งข้อมูลประเภท Real time (Voice) และ Non-Real time (data) โดยกำหนดค่า QCI (QoS Class Identifier) เป็นหลายค่า รวมทั้งส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic และ On/Off Source Traffic ผลการจำลองการทำงานพบว่าอัลกอริทึม CQA มีการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล ส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานเฉลี่ยได้ดีกว่าอัลกอริทึม RR และ PF รวมถึงมีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น งานวิจัยนี้เสนอให้นำอัลกอริทึม CQA มาประยุกต์ใช้กับโครงข่าย

Thesis Paper Title	Performance Comparison of Scheduling Algorithms in LTE Network
Author	Nicha Nimworaphan
Thesis Paper Advisor	Dr. Tanun Jaruvitayakovit
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2017

ABSTRACT

Nowadays, the demand for network services in LTE network is growing significantly and there are many sources of traffic that need different guarantee QoS (Quality of Service) such as voice, video and data. A key feature of LTE is the scheduling algorithms that aim to allocate resource to increase the system performance and guarantee QoS. This research studies and simulates Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) and Channel and QoS Aware (CQA) which are the scheduling algorithm used in Evolved node B (eNodeB) of LTE network in Network Simulator 3 (NS3).

This research compares the performance of these algorithms by throughput, delay and jitter. The simulation of LTE network changed distance between User Equipment (UE) and eNodeB by using one distance and many distances. All algorithms are simulated using real time (voice) and non-real time (data) traffics specified by QoS Class Identifier (QCI). Greedy source traffic and On/Off source traffic are apply to generated traffic in LTE network.

Based on this research, CQA algorithm is aware of QoS and average throughput is better than RR and PF algorithm. Delay and Jitter also quicker compared to all other algorithms. This research can conclude that CQA algorithm is more suitable for LTE network.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากท่านอาจารย์ ดร. ธนัญ จารุวิทยโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการทำวิจัย การจัดทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอนและทุกกระบวนการ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง รวมไปถึงท่านอาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ ที่คอยซึ่งคอยชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานในการสอบเปิดเล่มและสอบปิดเล่มจนถึงคณะกรรมการทุกท่าน ที่ชี้แนะแนวทางจนสามารถสอบวิทยานิพนธ์ได้แล้วเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณนายทวีวัฒน์ นิ่มวรพันธุ์ และนางดารุณีย์ นิ่มวรพันธุ์ ผู้ซึ่งเป็นบิดาและมารดา ตลอดทั้งครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและคอยให้ความรักมาโดยตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่น้อง ทั้งที่ทำงานและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดเวลาที่ศึกษาอยู่ ณ สถาบันแห่งนี้

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ณิชา นิ่มวรพันธุ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1
   - 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
   - 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 1
   - 1.3 สมมติของงานวิจัย..... 2
   - 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
   - 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
   - 2.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE..... 4
   - 2.2 รูปแบบการจราจรข้อมูลในโครงข่าย LTE..... 7
   - 2.3 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย..... 8
   - 2.4 Packet Downlink Scheduling..... 9
   - 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15
3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 18
   - 3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงข่าย LTE..... 18
   - 3.2 ค่าตัวแปรของโครงข่าย LTE..... 19
   - 3.3 แผนการดำเนินงาน..... 25
   - 3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 26
   - 3.5 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย..... 27
4. ผลการศึกษา..... 32
   - 4.1 การทดสอบ..... 36
   - 4.2 อภิปรายผลการทดสอบ..... 69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย	71
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต	72
บรรณานุกรม	73
ประวัติผู้เขียน	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	QCI (QoS Class Identifier)	7
2.2	เปรียบเทียบบทความงานวิจัย	16
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	20
3.2	จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะเดียว	20
3.3	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	21
3.4	จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ	21
3.5	รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE	22
3.6	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	22
3.7	จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะเดียว	22
3.8	รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE	23
3.9	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	23
3.10	จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ	24
3.11	ขนาดความจุของการเชื่อมต่อและความล่าช้าระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE	25
3.12	แผนการดำเนินงาน	26
4.1	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	33
4.2	รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE	33
4.3	ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE	35
4.4	รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE	35
4.5	แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic	37

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.6 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 39

4.7 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 41

4.8 เปรียบเทียบการทดสอบที่ 1.1 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 44

4.9 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffice 45

4.10 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 47

4.11 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 49

4.12 เปรียบเทียบการทดสอบที่ 1.2 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 52

4.13 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 53

4.14 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 55

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.15 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 57

4.16 เปรียบเทียบการทดสอบที่ 1.2 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 60

4.17 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 61

4.18 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 63

4.19 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 65

4.20 เปรียบเทียบการทดสอบที่ 2.2 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE	5
2.2	รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ Greedy Source Model	8
2.3	รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ On/Off Source Model	8
2.4	ขั้นตอนการทำงานแบบอัลกอริทึม Round Robin	10
2.5	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Proportional Fair	11
2.6	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Channel and Qos Aware	13
3.1	โครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย	18
3.2	การ Export file.csv จากโปรแกรม Wireshark(1)	27
3.3	การ Export file.csv จากโปรแกรม Wireshark(2)	28
3.4	ไฟล์ .csv ที่เปิดด้วยโปรแกรม MS Excel	28
3.5	การคำนวณหา Throughput ด้วยโปรแกรม MS Excel	29
3.6	การเพิ่ม column “Time since previous frame in this TCP stream” ในโปรแกรม Wireshark	30
3.7	การคำนวณหา Delay ด้วยโปรแกรม MS Excel	30
3.8	การคำนวณหา Jitter ด้วยโปรแกรม MS Excel	31
4.1	รูปแบบการทดสอบที่มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะเดียว	32
4.2	รูปแบบการทดสอบที่มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ	34
4.3	กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic	38
4.4	กราฟแสดงว่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic	40
4.5	กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic	42

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.6 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยเปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 43
4.7 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 46
4.8 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 48
4.9 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 50
4.10 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยเปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic 51
4.11 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 54
4.12 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 56
4.13 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 58
4.14 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยเปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียวและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 59
4.15 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 62
4.16 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 64
4.17 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 66

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.18 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยเปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic 67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่ายการสื่อสาร LTE (Long Term Evolution) ในปัจจุบัน มีการเติบโตของข้อมูลเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรูปแบบการติดต่อสื่อสารยุคใหม่เป็นการสื่อสารที่เน้นการส่งถ่ายข้อมูล (Data Packet) ในรูปแบบต่างๆ เช่น Voice streaming ,Web browsing หรือ E-mail เป็นต้น และเนื่องจากข้อมูลแต่ละประเภทได้แก่เสียง (voice),ภาพเคลื่อนไหว (video) และข้อมูล (data) ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service – Qos) ที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้การส่งถ่ายข้อมูลจำนวนมากมีประสิทธิภาพ และมีการรับประกันคุณภาพของบริการ จึงมีเทคนิคที่เรียกว่า LTE Downlink Scheduler ในการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากสถานีฐาน (eNodeB) มายังอุปกรณ์ไร้สาย (User Equipment - UE) โดยที่ปัจจุบัน โครงข่าย LTE ที่ใช้งานจริงโดยส่วนใหญ่จะใช้อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งข้อมูลแบบ Round Robin (RR) ซึ่งไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพการให้บริการในการส่งข้อมูล

งานวิจัยนี้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม การจัดตารางเวลาการส่งข้อมูลแบบ Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) มาใช้กับการทำ Downlink scheduling สำหรับการส่งข้อมูลจาก eNodeB มายัง UE ในโครงข่าย LTE โดยงานวิจัยนี้จะจำลองการทำงานของระบบด้วย Network Simulator 3 (NS3) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin , Proportional Fair และ Channel and QoS Aware โดยคำนึงถึงผลของบริการแบบ Real time เช่น เสียง และบริการแบบ Non-Real Time เช่น E-mail เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและจำลองการนำอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาแบบ Round Robin (RR) , Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) มาใช้ในโครงข่าย LTE

1.2.2 เพื่อตรวจจับการล้ม บอกลักษณะการล้มได้ว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวาพร้อมกับบอกตำแหน่งที่อยู่ของการล้มแจ้งเตือนการล้ม หลังจากเกิดการล้มแล้วสามารถบอกลักษณะการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE แบบ Round Robin (RR) เป็นการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ First In First Out (FIFO) และมีการส่งข้อมูลในปริมาณที่เท่าๆกันให้ทุก UE ตามรอบเวลา (Transmission Time Interval – TTI) ทำให้ข้อมูลที่ต้องการความต่อเนื่อง เช่น เสียง และภาพเคลื่อนไหว ไม่สามารถรับประกันคุณภาพได้ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการใช้งานข้อมูลปริมาณมาก และเมื่อนำอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) ที่มีเป้าหมายในการเฉลี่ยข้อมูลให้กับทุกๆ UE เท่าๆกัน และ Channel and QoS Aware (CQA) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาที่คำนึงถึงความสำคัญของประเภทข้อมูลมาใช้ อัลกอริทึม Channel and QoS Aware (CQA) ควรมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า Round Robin (RR) และ Proportional Fair (PF) ในแง่ของการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (QoS)

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตงานวิจัยดังต่อไปนี้

1.4.1 จำลองการทำงานโครงข่าย LTE ด้วยโปรแกรม NS3

1.4.2 ใช้อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาเพื่อจัดส่งข้อมูลจาก eNodeB มาที่อุปกรณ์ไร้สาย 3 วิธี คือ Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA)

1.4.3 มีการจำลองโครงข่าย LTE โดยมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานกับสถานีฐาน เป็นระยะห่างเดียว และ หลายระยะห่าง

1.4.4 มีการกำหนดประเภทของการส่งข้อมูล เป็นแบบ Greedy Source และ On/Off Source

1.4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา ด้วยการพิจารณาค่าต่างๆ ดังนี้

1.4.6 ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput)

1.4.7 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)

1.4.8 ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE ทั้ง 3 ประเภท

1.5.2 สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาทั้ง 3 ประเภท เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในโครงข่าย LTE

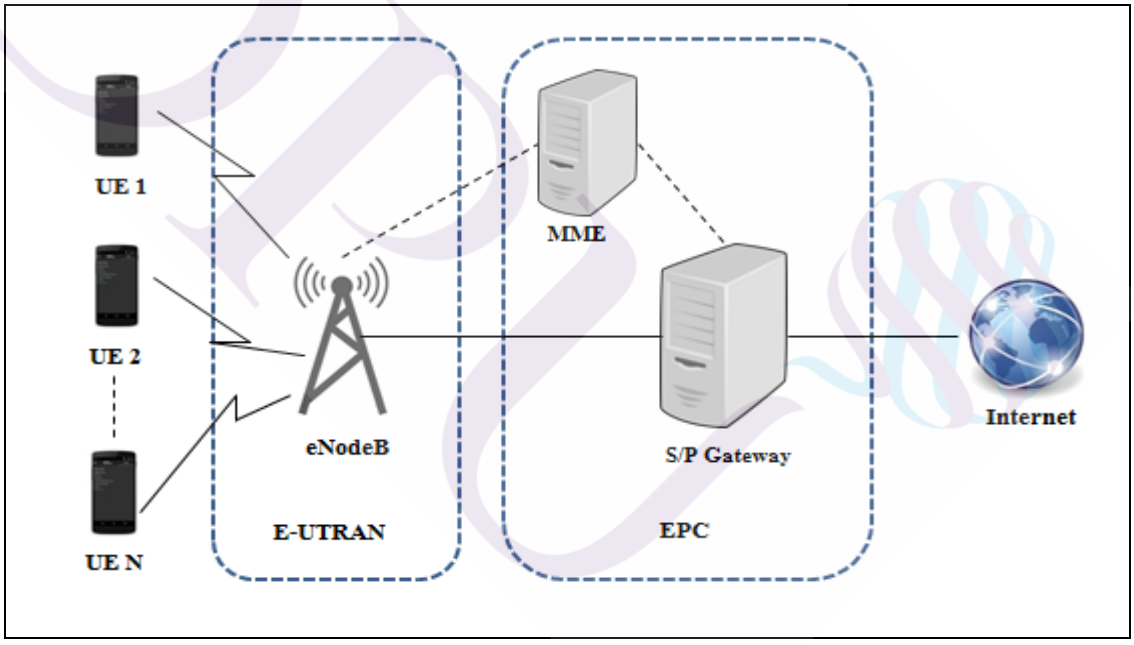
DPU

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยสถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE รูปแบบการจราจรของข้อมูลภายในโครงข่าย LTE และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเรื่อง LTE Downlink Scheduling

2.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย LTE[1]

สถาปัตยกรรมเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G หรือโครงข่าย LTE มีสถาปัตยกรรมโครงสร้างของระบบ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE

ที่มา: https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm
http://www.w3ii.com/th/lte/lte_network_architecture.html

[1] tutorialspoint & w3ii , LTE Network Architecture

จากภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE จะประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ดังต่อไปนี้

2.1.1 อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE : User Equipment)

สถาปัตยกรรมภายในของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานสำหรับโครงข่าย LTE เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งใน UE ประกอบไปด้วย MT (Mobile Termination) ทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารทั้งหมด , TE (Terminal Equipment) ทำหน้าที่หยุดการทำงานของการส่งข้อมูลแบบ data stream และ UICC (Universal Integrated Circuit Card) หรือ Sim card ที่ทำงานด้วยแอลพลิเคชั่นที่เรียกว่า USIM (Universal Subscriber Identity Module) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ระบุตัวตนของผู้ใช้งาน คล้ายกับ Sim card ในโครงข่าย 3G เช่น หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ใช้งาน , การเข้ารหัสระหว่างการรับส่งข้อมูลกับสถานีฐาน เป็นต้น

2.1.2 เครือข่ายการเข้าถึง (E-UTRAN)

E-UTRAN หรือเครือข่ายการเข้าถึง ทำหน้าที่ควบคุมการเชื่อมต่อภาคไร้สายและกระจายสัญญาณระหว่าง อุปกรณ์ไร้สายของผู้ใช้งานกับโครงข่ายหลัก (Evolved packet core : EPC) โดยจะมีสถานีฐานที่เรียกว่า Evolved node B หรือ eNodeB (eNB) เป็นองค์ประกอบ โดยในช่วงเวลาหนึ่งจะมีเพียงหนึ่งสถานีฐานและอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อสื่อสารกัน ซึ่ง eNodeB แต่ละตัว

2.1.3 โครงข่ายหลัก (EPC : Evolve Packet Core)

สถาปัตยกรรม EPC เป็นโครงข่ายหลัก (Core Network) โดยมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.1.3.1 The Home Subscriber Server (HSS) เป็นองค์ประกอบที่ได้รับการส่งข้อมูลมาจาก UMTS และ GSM ใน E-UTRAN และเป็นฐานข้อมูลกลางที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้บริการในเครือข่ายผู้ให้บริการ

2.1.3.2 The Packet Data Network (PDN) Gateway (P-GW) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายภายนอก เช่น Packet Date Network (PDN) โดยข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตจะถูกระบุด้วย Access Point Name (APN) และ P-GW จะทำหน้าที่เสมือน GPRS support node (GGSN) และ serving GPRS support node (SGSN) ร่วมกับ UMTS และ GSM

2.1.3.3 The serving gateway (S-GW) เปรียบเสมือนเราเตอร์ โดยทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลระหว่างสถานีฐานและ PDN-GW

2.1.3.4 The mobility management entity (MME) ทำหน้าที่ควบคุมการดำเนินการขั้นสูง โดยใช้วิธีการส่งสัญญาณข้อความ และ Home Subscriber Server (HSS)

2.1.3.5 The Policy Control and Charging Rules Function (PCRF) ทำหน้าที่ควบคุมการตัดสินใจ เช่นเดียวกับการควบคุมฟังก์ชันการเรียกเก็บเงินของการบังคับใช้กฎหมายควบคุมนโยบาย Policy Control Enforcement Function (PCEF) ซึ่งอยู่ในอุปกรณ์ P-GW

2.2 รูปแบบการจราจรข้อมูลในโครงข่าย LTE[2]

รูปแบบการจราจรที่ใช้งานในโครงข่าย LTE จะแบ่งออกตามประเภทการบริการตามคุณภาพการให้บริการ (QoS : Quality of Service) แบ่งโดยค่า QCI (QoS Class Identifier) เป็น 9 class โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามตารางที่ 2.1 ได้แก่

2.2.1 Guaranteed Bit Rate (GBR) การรับประกันคุณภาพการให้บริการ โดยให้มี Bit Rate ต่ำที่สุด เป็นการให้บริการแบบ Real Time

2.2.2 Non-Guaranteed Bit Rate (non-GBR) การรับประกันคุณภาพการให้บริการ โดยไม่คำนึงถึงขนาด Bit Rate เป็นการบริการประเภทรับส่งข้อมูล และไม่ใช่บริการแบบ Real Time

ตารางที่ 2.1 QCI (QoS Class Identifier)

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			

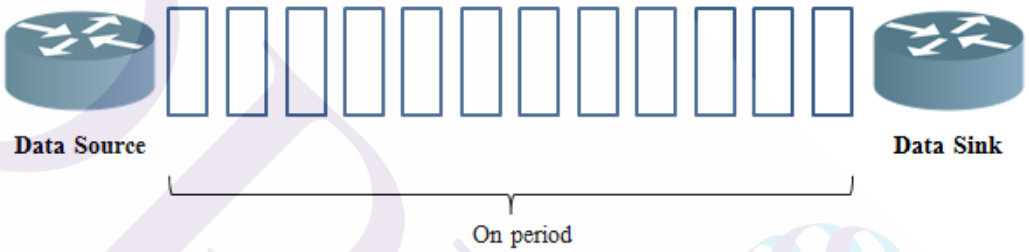
[2] rfwireless-world,QCI class in LTE

จากตารางที่ 2.1 ค่า QCI 1-4 เป็นข้อมูลประเภท Real time โดยมีการรับประกันคุณภาพของข้อมูล (GBR) ค่า QCI 5 เป็นค่า IMS signaling และค่า QCI 6-9 เป็นข้อมูลประเภท Non-real time ซึ่งไม่มีการรับประกันคุณภาพของข้อมูล (Non-GBR)

2.3 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย[3]

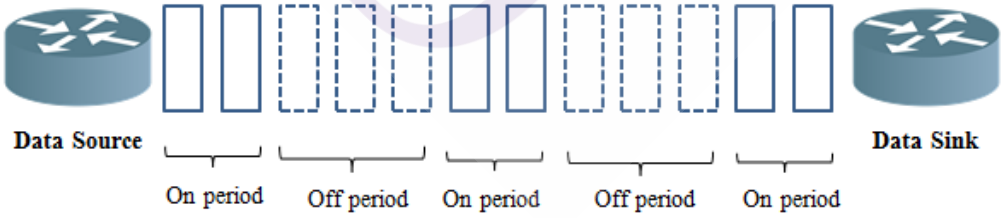
การกำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย (Traffic Model) พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพต่างๆของโครงข่าย เช่น โปรโตคอล , อัลกอริทึมต่างๆ และการกำหนดรูปแบบโครงข่าย เป็นต้น โดยมีตัวอย่าง ดังนี้

2.3.1 The Greedy source model การส่งข้อมูลที่มีในโครงข่ายอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีช่วงเวลาที่หยุดส่งข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หา Maximum Throughput ของระบบ



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ Greedy Source Model

2.3.2 On/Off source model การส่งข้อมูลในโครงข่ายที่มีการกำหนดช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล (On time) และช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูล (Off time)



ภาพที่ 2.3 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ On/Off Source Model

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_generation_model

2.4 Packet Downlink Scheduling[4]

ในโครงข่าย LTE มีหนึ่งองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้การส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE มีประสิทธิภาพได้แก่ Downlink Packet Scheduler ซึ่งเป็น Radio Resource Management (RRM) ประเภทหนึ่งใน Evolved node B (eNodeB) ทำหน้าที่จัดการตารางเวลาการส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการไปที่ผู้ใช้งาน (UEs) โดยการจัดการการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

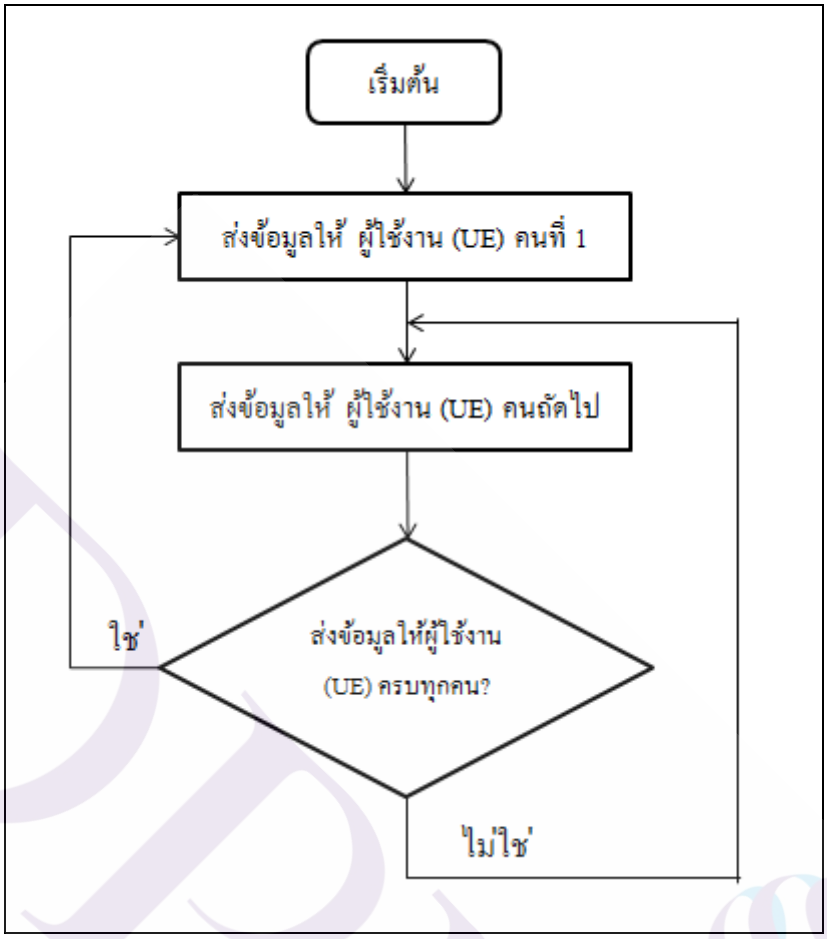
- Time Domain (TD) การส่งข้อมูลด้าน Uplink (การส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานไปที่สถานีฐาน) กับ Downlink (การส่งข้อมูลจากสถานีฐานมาที่ผู้ใช้งาน) ที่ความถี่เดียวกัน แต่แบ่งการส่งคนละช่วงเวลา โดยจะแบ่งการส่งแต่ละช่วงเป็น frame และในแต่ละ frame จะแบ่งเป็น 2 subframe ย่อย ได้แก่ uplink subframe และ downlink subframe โดยสามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาของ frame ได้ตามปริมาณความหนาแน่นของข้อมูลขา Uplink และ Downlink ในขณะนั้น TD จึงมีความยืดหยุ่นในการจัดการ bandwidth
- Frequency Domain (FD) การส่งข้อมูล Uplink และ Downlink ที่คนละความถี่ ทำให้การส่งข้อมูล Uplink และ Downlink สามารถส่งได้ในเวลาเดียวกัน

การจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (Packet Downlink Scheduler) มีอัลกอริทึมต่างๆ โดยมีทั้งแบบ TD และ FD ตัวอย่างเช่น

2.4.1 Round Robin Scheduler (RR)

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก eNodeB ให้กับแต่ละ UE ที่ไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพในการให้บริการในการส่งข้อมูล โดยที่จะวนลูปการส่งข้อมูลในปริมาณที่เท่ากัน ไปให้แต่ละ UE ทำให้ข้อมูลที่ต้องการความต่อเนื่อง ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้รับข้อมูลครบถ้วนและต่อเนื่องหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin ดังภาพ 2.4

[4] Tshiteya Dikamba (2011),Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE)



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin[5]

จากภาพที่ 2.4 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin (RR) โดยก่อนจะทำการส่งข้อมูล สถานีฐาน (eNodeB) จะพิจารณาว่ามีอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) อยู่ในระบบกี่เครื่อง และทำการแบ่ง Resource Block ให้แต่ละเครื่องเท่าๆกัน และจะเริ่มส่งให้ผู้ใช้งานคนที่ 1 และคนถัดไป ไปเรื่อยๆ เมื่อส่งครบทุกคน จะวนรอบในการส่งโดยกลับมาเริ่มส่งให้ผู้ใช้งานคนแรกอีกครั้ง

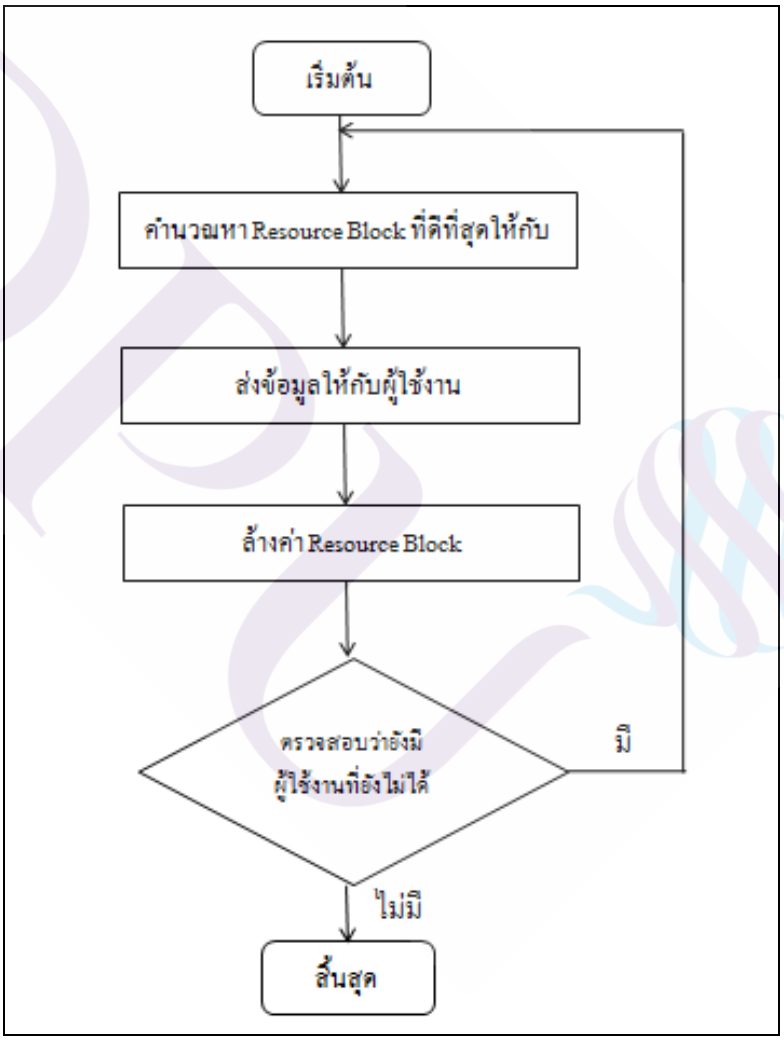
2.4.2 Proportional Fair (PF)

[5] Dinesh Mannani (2012),Modeling and Simulation of Scheduling Algorithms in LTE Networks

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก eNodeB ให้กับแต่ละ UE โดยอัลกอริทึมนี้จะคำนึงถึงความเสมอภาคในการส่งข้อมูลในปริมาณเท่าๆกันให้กับแต่ละ UE เป็นหลัก รวมไปถึงประสิทธิภาพที่ได้รับด้วย

$$\hat{T}_j(t) = \frac{s\left(M_j(t), B_j(t)\right)}{\tau} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) ค่า Throughput เฉลี่ยหาได้จากจำนวน Target Block Size (bits) ที่คำนวณจากค่า MCS และ จำนวน Resource Block หารด้วยระยะเวลา TTI และอัลกอริทึม Proportional Fair มีขั้นตอนการทำงานดังภาพ 2.5



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Proportional Fair

จากภาพที่ 2.5 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) โดยสถานีฐานจะคำนวณหา Resource Block ที่สูงที่สุด โดยคำนวณจากสมการที่ (1) และจะส่งให้กับผู้ใช้งาน ก่อนจะส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้งานคนถัดไปทุกครั้ง จะล้างค่า Resource Block เดิม และคำนวณเพื่อส่งใหม่ จนส่งให้ครบกับผู้ใช้งานทุกคนตามลำดับ

2.4.3 Channel-QoS Aware (CQA)

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก eNodeB ให้กับแต่ละ UE โดยคำนึงถึงคุณภาพในการให้บริการในการส่งข้อมูล (QoS) เป็นหลัก โดยอัลกอริทึมนี้จะทำการส่งข้อมูลให้ UE ที่มีค่า metric ที่คำนวณจากค่า Head of Line (HOL) Delay, Guarantee Bit Rate (GBR) และ Channel quality สูงที่สุดให้ทำงานก่อน โดยจะส่งข้อมูลในรูปแบบของ Proportional Fair (PF) และจะทำการส่งข้อมูลให้ UE ที่มีค่าการคำนวณที่ต่ำกว่าในลำดับต่อไป

$$m_{fd}^{(k,j)}(t) = d_{HOL}^{j}(t) \cdot m_{GBR}^{j}(t) \cdot m_{ca}^{k,j}(t), \tag{2}$$

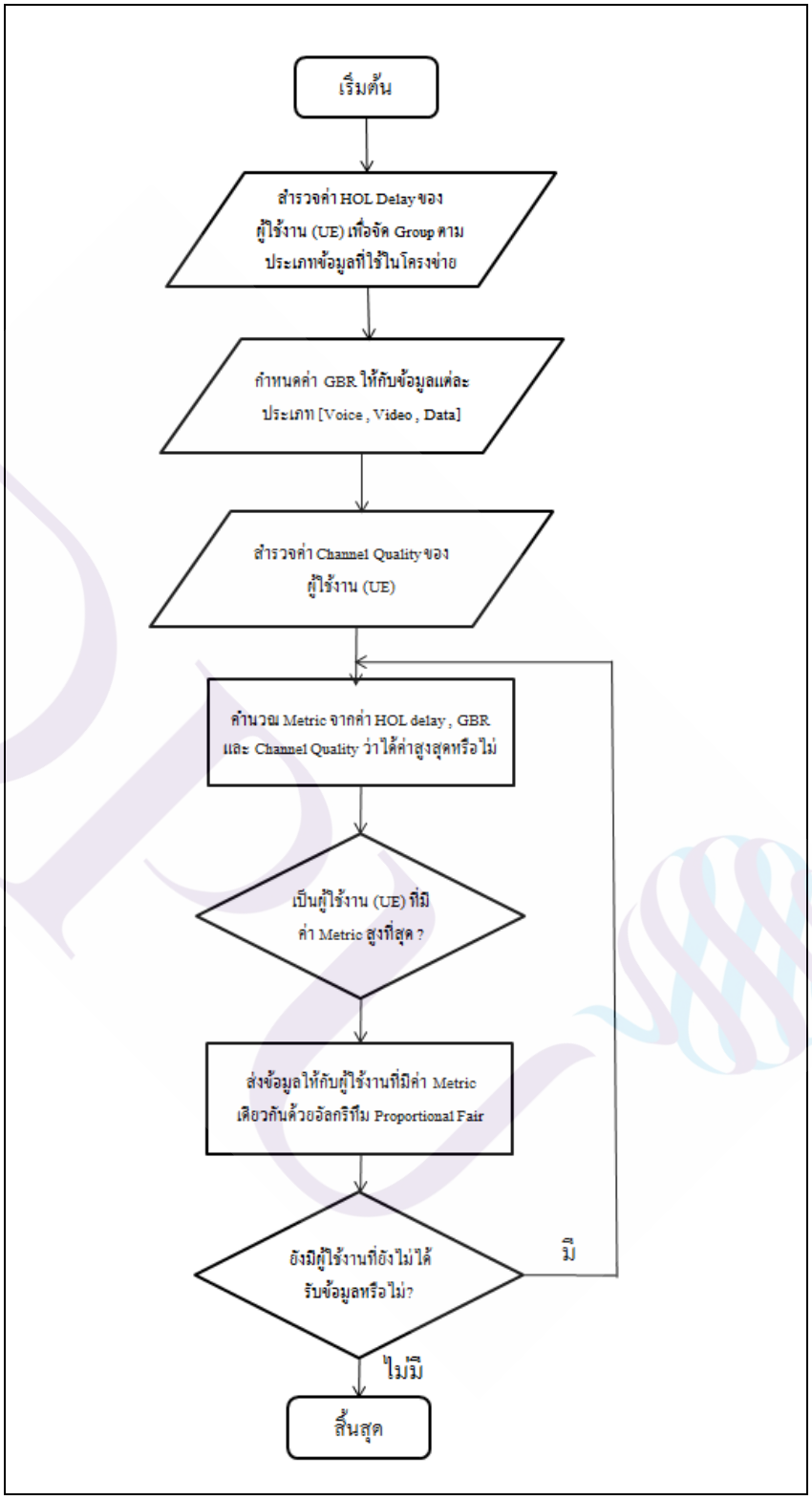
$$m_{GBR}^{j}(t) = \frac{GBR^{j}}{R^{j}(t)} = \frac{GBR^{j}}{(1-\alpha)\cdot R^{j}(t-1) + \alpha \cdot r^{j}(t)}, \tag{3}$$

$$m_{pf}^{(k,j)}(t) = \frac{R_{i}^{(k,j)}}{R^{j}(t)}, \tag{4}$$

จากสมการที่ (2),(3) และ (4) จะได้ค่า m (metric) ที่คำนวณจาก ค่า HOL delay ในขณะนั้นกับค่า GBR และค่า Channel quality

โดยที่ค่า GBR หาได้จากค่า GBR หารด้วย ค่า throughput เฉลี่ยในอดีต และค่า Channel quality หาได้จาก ค่าประมาณการthroughput หารด้วยค่า throughput เฉลี่ยในอดีต

โดยอัลกอริทึม CQA มีขั้นตอนการทำงาน ดังภาพ 2.6



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Channel and Qos Aware

จากภาพที่ 2.6 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Channel and Qos Aware (CQA) โดยเริ่มจาก สถานีฐานจะคำนวณค่า Metric ที่มาจาก

- ค่า HOL delay โดยจะทำการ Group ข้อมูลตามประเภท โดยเมื่อมีข้อมูลที่เป็น GBR จะเริ่มตั้งแต่ Group ที่ 1,2,3,… ตามลำดับ และเมื่อมีข้อมูลที่เป็น Non-GBR ก็จะเริ่ม Group ที่ 1,2,3,… ตามลำดับเช่นเดียวกัน

- ค่า Guarantee Bit Rate (GBR) ของข้อมูลแต่ละประเภท เช่น Voice จะมีค่า Bit rate อยู่ที่ 52 Kbps เป็นต้น

- ค่า Channel Quality เช่น 16 QAM , 256 QAM เป็นต้น

หลังจากที่ได้ค่า Metric แล้ว จะทำการส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่มีค่า Metric สูงที่สุดด้วยอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) และเมื่อส่งให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานครบทุกตัวก็จะส่งให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่มีค่า Metric ลำดับถัดไป และส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานจนครบทุก Metric ตามลำดับ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้ค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ LTE Downlink Scheduling มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.5.1 งานวิจัย Implementation and Validation of LTE Downlink Schedulers for ns-3[6] ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (Packet Downlink Scheduler) แบบต่างๆที่มีใน NS-3 โดยได้ทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต่างๆโดยทางทฤษฎี ได้มีการกำหนดค่าที่จะทำการจำลองและวิธีการคำนวณค่าต่างๆเพื่อเปรียบเทียบไว้

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่ามีข้อดีและข้อจำกัดดังนี้

ข้อดีของงานวิจัย

1) มีการเปรียบเทียบหลายอัลกอริทึม
2) มีการแบ่งจำลอง ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน 2 ระยะห่าง

[6] Dizhi Zhou,Canada. Nicola Baldo and Marco Miozzo,Barcelona,Spain.Implementation and Validation of LTE Downlink Schedulers for ns-3.

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1) จำลองเฉพาะทราฟฟิกที่เป็น data เท่านั้น

2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมด้วยค่า throughput เท่านั้น

2.5.2 งานวิจัย Performance Study of Channel-QoS Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3[7] ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (Packet Downlink Scheduler) แบบต่างๆที่มีใน NS-3 โดยได้ทำการจำลองการทดสอบบน NS-3 และ LTE-Sim เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยวัดจากค่า Throughput ใน NS-3 และ จากค่า Packet loss Ratio , Packet delay, Average throughput, fairness index ใน LTE-Sim

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่ามีข้อดีและข้อจำกัดดังนี้

ข้อดีของงานวิจัย

1) การจำลองการทดสอบมีข้อมูล (traffic) หลายประเภท

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1) การจำลองการทดสอบบน NS-3 แต่เป็นการจำลองสถานการณ์ที่แยกประเภท Traffic

2) การจำลองการทดสอบบน NS-3 ทำการจำลองที่ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐานอยู่ที่ระยะเดิมเสมอ

[7] Adi S.M.Y.,Kuokkwee Wee,Ee Mae A.,Mohd. F.A.A. Melaka,Malaysia. Performance Study of Channel-QoS Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3.

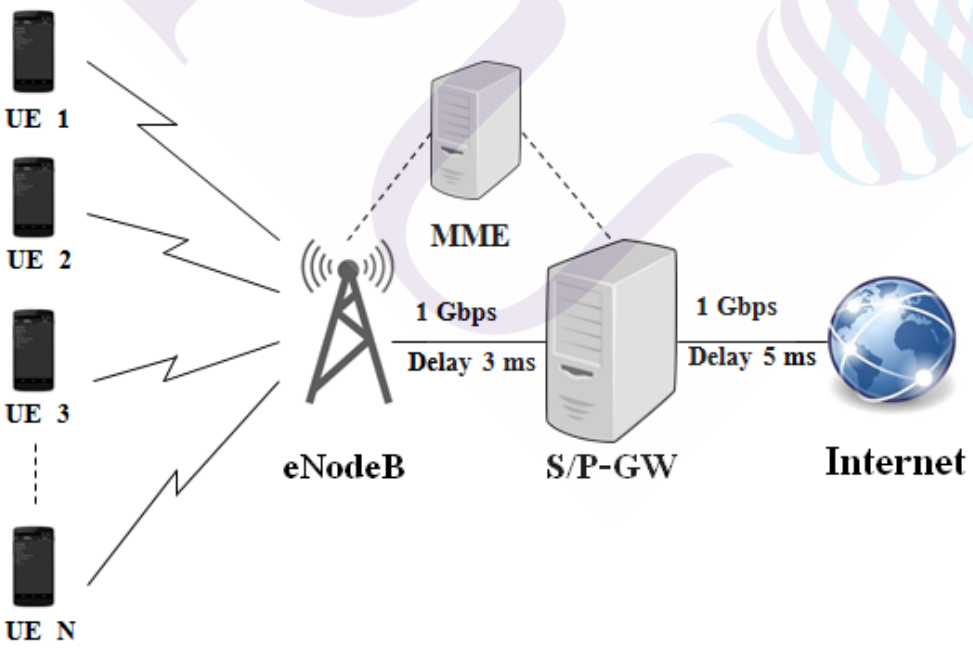
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบบทความงานวิจัย

บทความงานวิจัย	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทดสอบ	อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาที่ใช้ทดสอบ	ทราฟฟิกที่ใช้ทดสอบ	การกำหนดระยะระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่และสถานีฐาน
Implementation and Validation of LTE Downlink Schedulers for ns-3.	NS3	Maximum Throughput (MT) Throughput to Average (TTA) Blind Equal Throughput (BET) Token Bank Fair Queue (TBFQ) Priority Set (PSS)	data	มีการกำหนดระยะห่างหลายระยะ
Performance Study of Channel-QoS Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3.	NS3	Round Robin (RR) Proportional Fair (PF) Priority Set (PSS) Channel-QoS Aware (CQA)	data , voice , video โดยแยกทดสอบทีละ traffic	มีระยะห่างเดียว
งานวิจัยที่นำเสนอ	NS3	Round Robin (RR) Proportional Fair (PF) Channel-QoS Aware (CQA)	data และ voice โดยมีการใช้งานพร้อมกัน	มีการกำหนดระยะห่างหลายระยะ

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง ขั้นตอนการออกแบบเพื่อจำลองโครงข่าย LTE ที่ใช้ในการวิจัย ค่าตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย การนำซอฟต์แวร์ NS3 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับโครงข่าย LTE ที่ได้ทำการออกแบบ การทดสอบการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการนำอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก eNodeB มาที่ UE โดยงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึม Round Robin (RR) ที่โครงข่ายผู้ให้บริการทั้งหมดใช้ กับอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA)

3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงข่าย LTE



ภาพที่ 3.1 โครงข่าย LTE ที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงโครงข่าย LTE ที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) เชื่อมต่อกับสถานีฐาน (eNodeB) และจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ปรับตามรูปแบบการจำลองทางโครงข่าย LTE ซึ่งอุปกรณ์ของผู้ใช้งานสามารถใช้บริการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่โครงข่ายอินเตอร์เน็ทต่อไป

3.1.2 โครงข่ายหลัก (Core Network) ประกอบด้วย Serving Gateway (S-GW) , Packet Data Network Gateway (PDN-GW) และ Mobility Management Entity (MME) ซึ่งมีการร้องขอข้อมูล จากผู้ใช้งานจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ไปยังสถานีฐาน (eNodeB) ไปที่โครงข่ายหลัก (S/P-GW) และมี MME ทำหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐาน (eNodeB) ไปยังโครงข่ายหลัก (S/P-GW)

3.1.3 โครงข่ายสาธารณะ (Internet) เป็นโครงข่ายภายนอกเครือข่ายผู้ให้บริการซึ่งได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ PDN-GW ซึ่งเครื่องแม่ข่ายที่อยู่ภายนอกเครือข่ายผู้ให้บริการ จะเป็นผู้ให้ข้อมูลที่เกิดจากการ ร้องขอใช้บริการจากผู้ใช้บริการอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน

3.2 ค่าตัวแปรของโครงข่าย LTE

ในการออกแบบโครงข่าย LTE นั้นจะต้องมีการคำนึงถึงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการทำงานของโครงข่าย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 รูปแบบโครงข่าย LTE ที่ใช้เป็นแบบ SISO มีค่า Bandwidth 20 MHz และมีค่า Modulation and Coding Scheme (MCS) 0-9

3.2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายและการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐาน มีการทดสอบแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้

3.2.2.1 มีการทดสอบการส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะเดียวคือ 500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นไปตาราง 3.1 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานเป็นไปตามตาราง 3.2

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	Packet size	Bit rate	ค่า QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ[1]

ตารางที่ 3.2 จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น ระยะเดียว

อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE)	ประเภทข้อมูล	ค่า QCI	ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน
เครื่องที่ 1	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 2	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 3	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 4	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 5	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 6	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 7	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 8	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 9	Data	9	500 เมตร

3.2.2.2 มีการทดสอบการส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐานแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้

[1] di S.M.Y.,Kuokkwee Wee,Ee Mae A.,Mohd. F.A.A. Melaka,Malaysia. Performance Study of Channel-Qos Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3.

ทดสอบเป็นไปตาราง 3.3 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานเป็นไปตามตาราง 3.4

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	Packet size	Bit rate	ค่า QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ

ตารางที่ 3.4 จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ

อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE)	ประเภทข้อมูล	ค่า QCI	ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน
เครื่องที่ 1	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 2	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 3	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 4	Voice	1	2,000 เมตร
เครื่องที่ 5	Data	8	2,000 เมตร
เครื่องที่ 6	Data	9	2,000 เมตร
เครื่องที่ 7	Voice	1	3,500 เมตร
เครื่องที่ 8	Data	8	3,500 เมตร
เครื่องที่ 9	Data	9	3,500 เมตร

3.2.2.3 มีการทดสอบการส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะเดียวคือ 500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic โดยมีรายละเอียดการส่งข้อมูลเป็นไปตามตาราง 3.5

รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นไปตาราง 3.6 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานเป็น ไปตามตาราง 3.7

ตารางที่ 3.5 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE

รูปแบบการส่งข้อมูล	On Time (second)	Off Time (second)
On/Off Source Traffic	0.15	0.3

จากตารางที่ 3.5 กำหนดให้มีช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล 150 ms และช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูลเป็น 300 ms

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	Packet size	Bit rate	ค่า QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ

ตารางที่ 3.7 จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะเดียว

อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE)	ประเภทข้อมูล	ค่า QCI	ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน
เครื่องที่ 1	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 2	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 3	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 4	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 5	Data	8	500 เมตร

เครื่องที่ 6	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 7	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 8	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 9	Data	9	500 เมตร

3.2.2.4 มีการทดสอบการส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน แบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic โดยมีรายละเอียดการส่งข้อมูลเป็นไปตามตาราง 3.8 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นไปตาราง 3.9 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานเป็นไปตามตาราง 3.10

ตารางที่ 3.8 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE

รูปแบบการส่งข้อมูล	**On Time (second)**	**Off Time (second)**
On/Off Source Traffic	0.15	0.3

จากตารางที่ 3.8 กำหนดให้มีช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล 150 ms และช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูลเป็น 300 ms

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	**Packet size**	**Bit rate**	**ค่า QCI**
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ

ตารางที่ 3.10 จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ

อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE)	ประเภทข้อมูล	ค่า QCI	ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน
เครื่องที่ 1	Voice	1	500 เมตร
เครื่องที่ 2	Data	8	500 เมตร
เครื่องที่ 3	Data	9	500 เมตร
เครื่องที่ 4	Voice	1	2,000 เมตร
เครื่องที่ 5	Data	8	2,000 เมตร
เครื่องที่ 6	Data	9	2,000 เมตร
เครื่องที่ 7	Voice	1	3,500 เมตร
เครื่องที่ 8	Data	8	3,500 เมตร
เครื่องที่ 9	Data	9	3,500 เมตร

3.2.3 ขนาดความจุของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ได้ทำการกำหนดค่าความจุของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในโครงข่าย LTE เพื่อกำหนดว่าระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ สามารถรองรับปริมาณในการรับส่งข้อมูลได้เท่าใด และค่าความล่าช้าทางเวลาที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ เพื่อกำหนดว่าค่าเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดของขนาดความจุของการเชื่อมต่อและค่าความล่าช้าทางเวลา เป็นไปตามตาราง 3.11

ตารางที่ 3.11 ขนาดความจุของการเชื่อมต่อ และความล่าช้าระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย LTE

การเชื่อมต่อ	**ความจุของการเชื่อมต่อขาขึ้น (Mbps)**	**ความจุของการเชื่อมต่อขาลง (Mbps)**	**ค่าความล่าช้าทางเวลา (msec)**
1.โทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สถานีฐาน	21	84	แปรผันตามระยะทาง
2.อุปกรณ์สถานีฐานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ S/P-GW	1000	1000	3
3.อุปกรณ์ S/P-GW เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่าย	1000	1000	5

3.3 แผนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษา ค้นคว้า และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Scheduling Algorithm

ทฤษฎีและรูปแบบของ Scheduling Algorithm สำหรับการจำลองระบบและ ค้นคว้าการทำงานแต่ละรูปแบบของ Scheduling Algorithm เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานอัลกอริทึม

3.3.2 ศึกษาอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ทำการจำลองระบบ

ศึกษาค้นหาและรวบรวมโปรแกรมที่จะทำการจำลองระบบเพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ Scheduling Algorithm ต่างๆ บนระบบโครงข่าย ซึ่งสามารถนำเสนอได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Network Simulator 3 (NS3) ซึ่งเป็น Open Source ที่ให้ใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

3.3.3 จำลองระบบที่จะทดสอบ

จำลองระบบโดยใช้โปรแกรม NS 3 ที่ศึกษาจากข้างต้น พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลในการออกแบบ เพื่อที่จะทดสอบการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม

3.3.4 เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุป

เมื่อทำการจำลองระบบที่ทำการนำเสนอเสร็จแล้ว และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ทำการนำเสนอ เพื่อที่จะสรุปผลการจำลองว่าประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมนั้นเป็นอย่างไร

3.3.5 รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจัดทำวิทยานิพนธ์

ทำการรวบรวมข้อมูลของอัลกอริทึมที่ทำการนำเสนอ ที่ได้ทำมาตั้งแต่ต้นเพื่อจัดทำเป็นวิทยานิพนธ์ แผนการดำเนินงานที่ได้วางแผนไว้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แผนการดำเนินงาน

งาน \ เดือน	เม.ย.-พ.ค.60	มิ.ย.-ก.ค.60	ส.ค.-ก.ย.60	ต.ค.-พ.ย.60	ธ.ค. 60-ม.ค.61	ก.พ.-มี.ค.61
ศึกษาข้อมูลและรวบรวมงานวิจัย Scheduling Algorithm						
ศึกษาหลักการทำงาน Scheduling Algorithm ทดสอบโดยใช้ NS3						
ออกแบบจำลองโครงข่าย LTE โดยประยุกต์ใช้ Scheduling Algorithm แบบต่างๆ						
ทดสอบ ตรวจสอบ และปรับปรุงระบบ						
สรุปผลการจำลองระบบและประโยชน์ที่ได้รับ						

3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา ใช้การทดสอบโดยโปรแกรม NS 3 โดยมีสภาวะที่กำหนดไว้ในสมมติฐานการวิจัย

3.4.1 จำลองและวิเคราะห์ผลของการใช้งานอัลกอริทึม Round Robin (RR) บนโครงข่าย LTE และดำเนินการเก็บค่าการใช้งาน ต่างๆ เพื่อทำการข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

3.4.2 จำลองและวิเคราะห์ผลของการใช้งานอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) บนโครงข่าย LTE และดำเนินการเก็บค่าการใช้งาน ต่างๆ เพื่อทำการข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

3.4.3 จำลองและวิเคราะห์ผลของการใช้งานอัลกอริทึม Channel and QoS Aware (CQA) บนโครงข่าย LTE และดำเนินการเก็บค่าการใช้งาน ต่างๆ เพื่อทำการข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

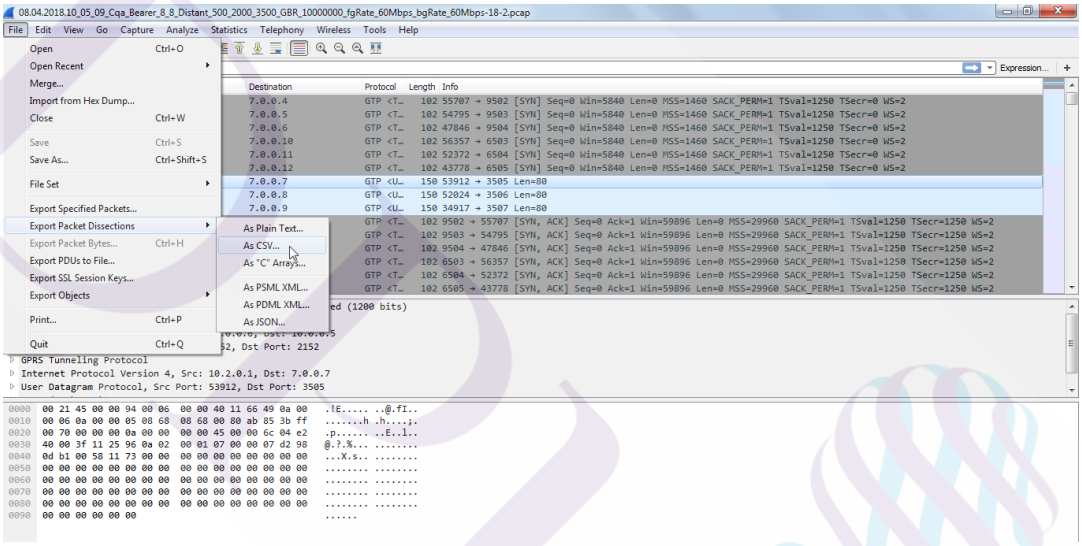
3.4.4 นำข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาเพื่อนำค่า Throughput, Delay และ Jitter ของระบบมาเปรียบเทียบ

3.5 การวัดประสิทธิภาพของโครงข่าย[2]

การทดสอบโครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ NS3 ได้มีการกำหนดให้ ผลการทดสอบ เป็นไฟล์นามสกุล pcap และทำการ Export มาเพื่อใช้โปรแกรม Wireshark และ MS Excel ในการคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

3.5.1 ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput) พิจารณาจากค่าการส่งและการรับของ packet หารด้วยเวลาเฉลี่ย

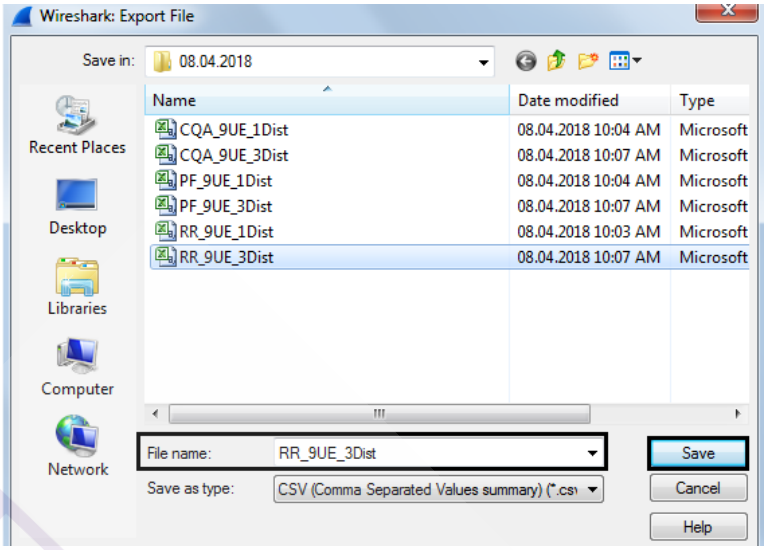
3.5.1.1 เปิดไฟล์นามสกุล pcap ด้วยโปรแกรม Wireshark และ export เป็นไฟล์นามสกุล csv ไปที่ Menu File -> Export Packet Dissections -> AS CSV..



ภาพที่ 3.2 การ Export file .csv จากโปรแกรม Wireshark (1)

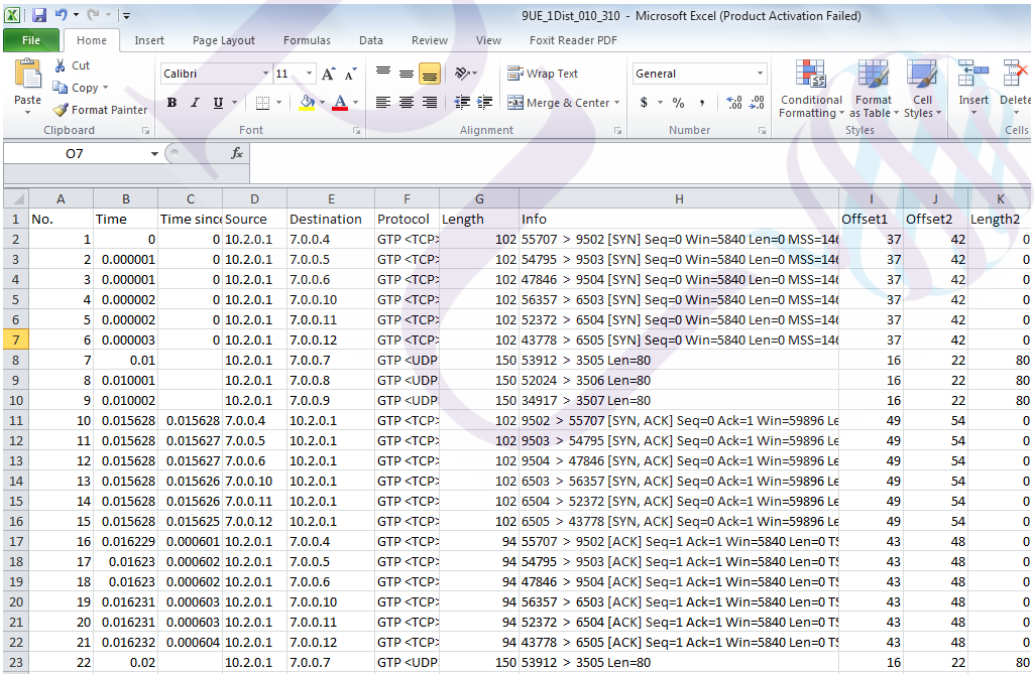
---

[2] ภาณุวง เมฆไพบูลย์.(2559).การประเมินประสิทธิภาพโปรโตคอล MPTCP บนโครงข่าย LTE และ WiFi.EENET.ประเทศไทย



ภาพที่ 3.3 การ Export file .csv จากโปรแกรม Wireshark (2)

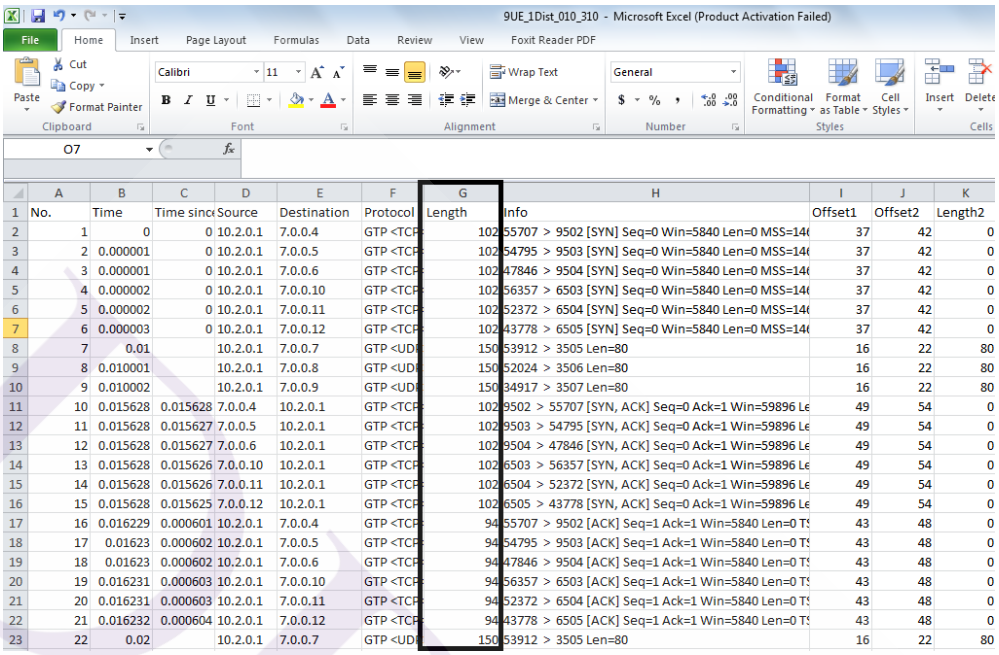
3.5.1.2 เปิดไฟล์นามสกุล csv ที่ได้ด้วยโปรแกรม MS Excel



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	No.	Time	Time sinc	Source	Destination	Protocol	Length	Info	Offset1	Offset2	Length2
2	1	0	0	10.2.0.1	7.0.0.4	GTP <TCP>	102	55707 > 9502 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
3	2	0.000001	0	10.2.0.1	7.0.0.5	GTP <TCP>	102	54795 > 9503 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
4	3	0.000001	0	10.2.0.1	7.0.0.6	GTP <TCP>	102	47846 > 9504 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
5	4	0.000002	0	10.2.0.1	7.0.0.10	GTP <TCP>	102	56357 > 6503 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
6	5	0.000002	0	10.2.0.1	7.0.0.11	GTP <TCP>	102	52372 > 6504 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
7	6	0.000003	0	10.2.0.1	7.0.0.12	GTP <TCP>	102	43778 > 6505 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=14(	37	42	0
8	7	0.01		10.2.0.1	7.0.0.7	GTP <UDP	150	53912 > 3505 Len=80	16	22	80
9	8	0.010001		10.2.0.1	7.0.0.8	GTP <UDP	150	52024 > 3506 Len=80	16	22	80
10	9	0.010002		10.2.0.1	7.0.0.9	GTP <UDP	150	34917 > 3507 Len=80	16	22	80
11	10	0.015628	0.015628	7.0.0.4	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	9502 > 55707 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
12	11	0.015628	0.015627	7.0.0.5	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	9503 > 54795 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
13	12	0.015628	0.015627	7.0.0.6	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	9504 > 47846 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
14	13	0.015628	0.015626	7.0.0.10	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	6503 > 56357 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
15	14	0.015628	0.015626	7.0.0.11	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	6504 > 52372 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
16	15	0.015628	0.015625	7.0.0.12	10.2.0.1	GTP <TCP>	102	6505 > 43778 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
17	16	0.016229	0.000601	10.2.0.1	7.0.0.4	GTP <TCP>	94	55707 > 9502 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
18	17	0.01623	0.000602	10.2.0.1	7.0.0.5	GTP <TCP>	94	54795 > 9503 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
19	18	0.01623	0.000602	10.2.0.1	7.0.0.6	GTP <TCP>	94	47846 > 9504 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
20	19	0.016231	0.000603	10.2.0.1	7.0.0.10	GTP <TCP>	94	56357 > 6503 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
21	20	0.016231	0.000603	10.2.0.1	7.0.0.11	GTP <TCP>	94	52372 > 6504 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
22	21	0.016232	0.000604	10.2.0.1	7.0.0.12	GTP <TCP>	94	43778 > 6505 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
23	22	0.02		10.2.0.1	7.0.0.7	GTP <UDP	150	53912 > 3505 Len=80	16	22	80

ภาพที่ 3.4 ไฟล์ .csv ที่เปิดด้วยโปรแกรม MS Excel

3.5.1.3 นำข้อมูลทั้งหมด ที่อยู่ใน column ‘Packet Length’ มาบวกรวมกันแล้วหารด้วยจำนวน Packet ทั้งหมด



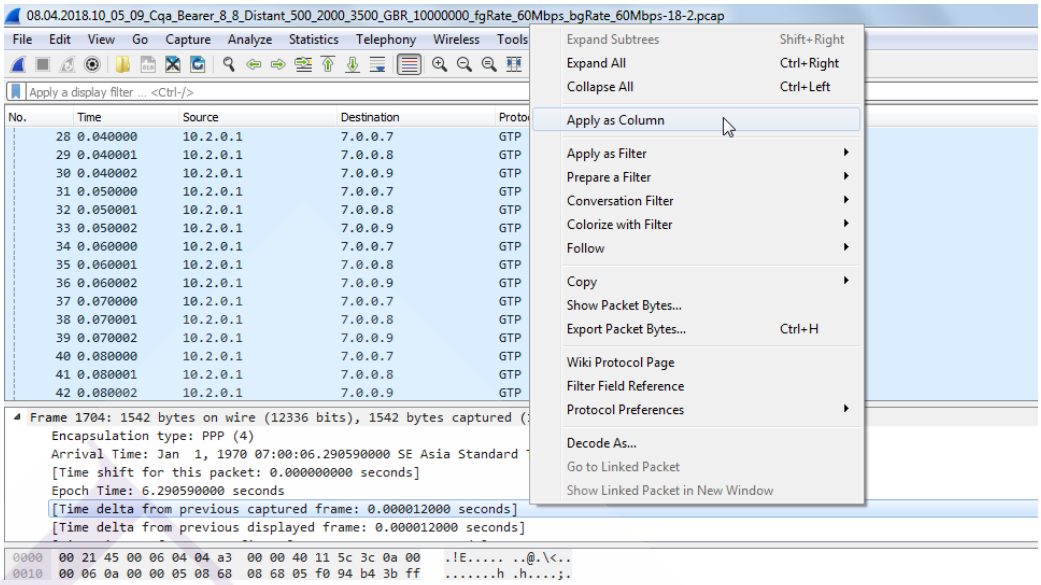
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	No.	Time	Time since	Source	Destination	Protocol	Length	Info	Offset1	Offset2	Length2
2	1	0	0	10.2.0.1	7.0.0.4	GTP <TCP	102	55707 > 9502 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
3	2	0.000001	0	10.2.0.1	7.0.0.5	GTP <TCP	102	54795 > 9503 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
4	3	0.000001	0	10.2.0.1	7.0.0.6	GTP <TCP	102	47846 > 9504 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
5	4	0.000002	0	10.2.0.1	7.0.0.10	GTP <TCP	102	56357 > 6503 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
6	5	0.000002	0	10.2.0.1	7.0.0.11	GTP <TCP	102	52372 > 6504 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
7	6	0.000003	0	10.2.0.1	7.0.0.12	GTP <TCP	102	43778 > 6505 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=146	37	42	0
8	7	0.01		10.2.0.1	7.0.0.7	GTP <UDP	150	53912 > 3505 Len=80	16	22	80
9	8	0.010001		10.2.0.1	7.0.0.8	GTP <UDP	150	52024 > 3506 Len=80	16	22	80
10	9	0.010002		10.2.0.1	7.0.0.9	GTP <UDP	150	34917 > 3507 Len=80	16	22	80
11	10	0.015628	0.015628	7.0.0.4	10.2.0.1	GTP <TCP	102	9502 > 55707 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
12	11	0.015628	0.015627	7.0.0.5	10.2.0.1	GTP <TCP	102	9503 > 54795 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
13	12	0.015628	0.015627	7.0.0.6	10.2.0.1	GTP <TCP	102	9504 > 47846 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
14	13	0.015628	0.015626	7.0.0.10	10.2.0.1	GTP <TCP	102	6503 > 56357 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
15	14	0.015628	0.015626	7.0.0.11	10.2.0.1	GTP <TCP	102	6504 > 52372 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
16	15	0.015628	0.015625	7.0.0.12	10.2.0.1	GTP <TCP	102	6505 > 43778 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=59896 Le	49	54	0
17	16	0.016229	0.000601	10.2.0.1	7.0.0.4	GTP <TCP	94	55707 > 9502 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
18	17	0.01623	0.000602	10.2.0.1	7.0.0.5	GTP <TCP	94	54795 > 9503 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
19	18	0.01623	0.000602	10.2.0.1	7.0.0.6	GTP <TCP	94	47846 > 9504 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
20	19	0.016231	0.000603	10.2.0.1	7.0.0.10	GTP <TCP	94	56357 > 6503 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
21	20	0.016231	0.000603	10.2.0.1	7.0.0.11	GTP <TCP	94	52372 > 6504 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
22	21	0.016232	0.000604	10.2.0.1	7.0.0.12	GTP <TCP	94	43778 > 6505 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TS	43	48	0
23	22	0.02		10.2.0.1	7.0.0.7	GTP <UDP	150	53912 > 3505 Len=80	16	22	80

ภาพที่ 3.5 การคำนวณหา Throughput ด้วยโปรแกรม MS Excel

3.5.2 ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) พิจารณาจากค่า Timestamp[3] ในแต่ละครั้งที่ส่งข้อมูล และนำข้อมูลมาหาค่า Delay โดยนำข้อมูล Timestamp ทั้งหมดมาหารด้วยเวลาเฉลี่ย

3.5.2.1 เปิดโปรแกรม Wireshark และเพิ่ม column ‘Time since previous frame in this TCP stream’ และ export เป็นไฟล์นามสกุล csv

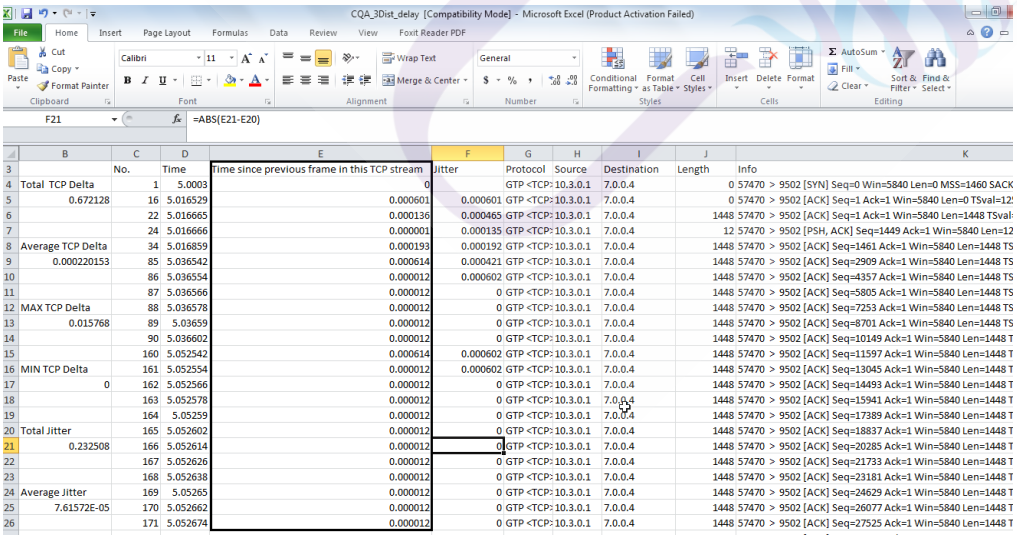
[3] https://www.youtube.com/watch?v=QqKAnZnHs



ภาพที่ 3.6 การเพิ่ม column ‘Time since previous frame in this TCP stream’ ในโปรแกรม Wireshark

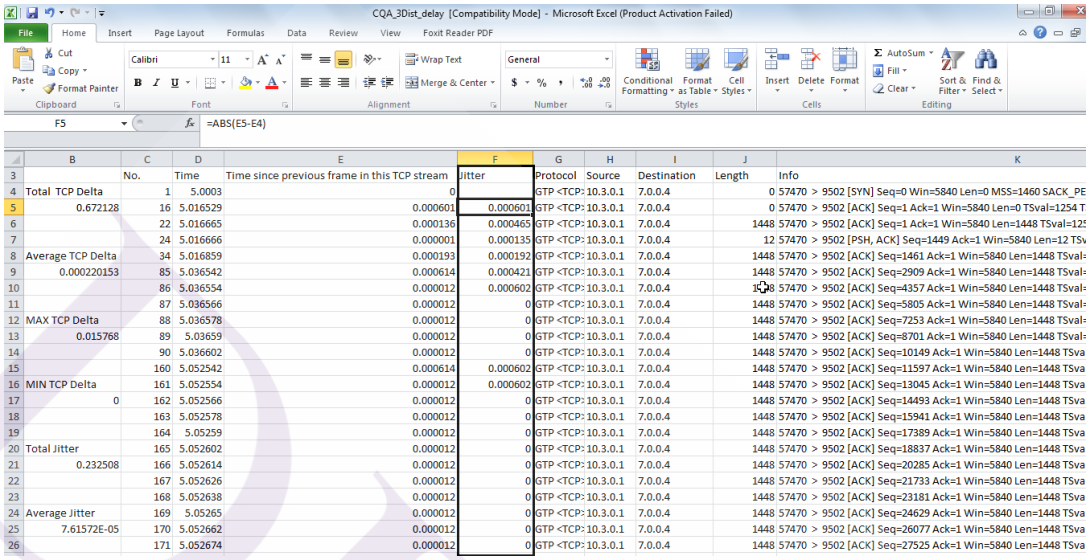
3.5.2.2 เปิดไฟล์นามสกุล csv ที่ได้ด้วยโปรแกรม MS Excel

3.5.2.3 นำข้อมูลทั้งหมด ที่อยู่ใน column ‘Time since previous frame in this TCP stream’ มาบวกรวมกันแล้วหารด้วยจำนวน Packet ทั้งหมด



ภาพที่ 3.7 การคำนวณหา Delay ด้วยโปรแกรม MS Excel

3.5.3 ค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter) เมื่อได้ค่า Delay ก็สามารถหาค่า Jitter ได้โดยนำค่า Delay แต่ละรายการมาลบกัน ด้วยคำสั่ง ABS(Delay 1 – Delay 2) แล้วนำค่า Jitter ทั้งหมดมาหารด้วยเวลาเฉลี่ย

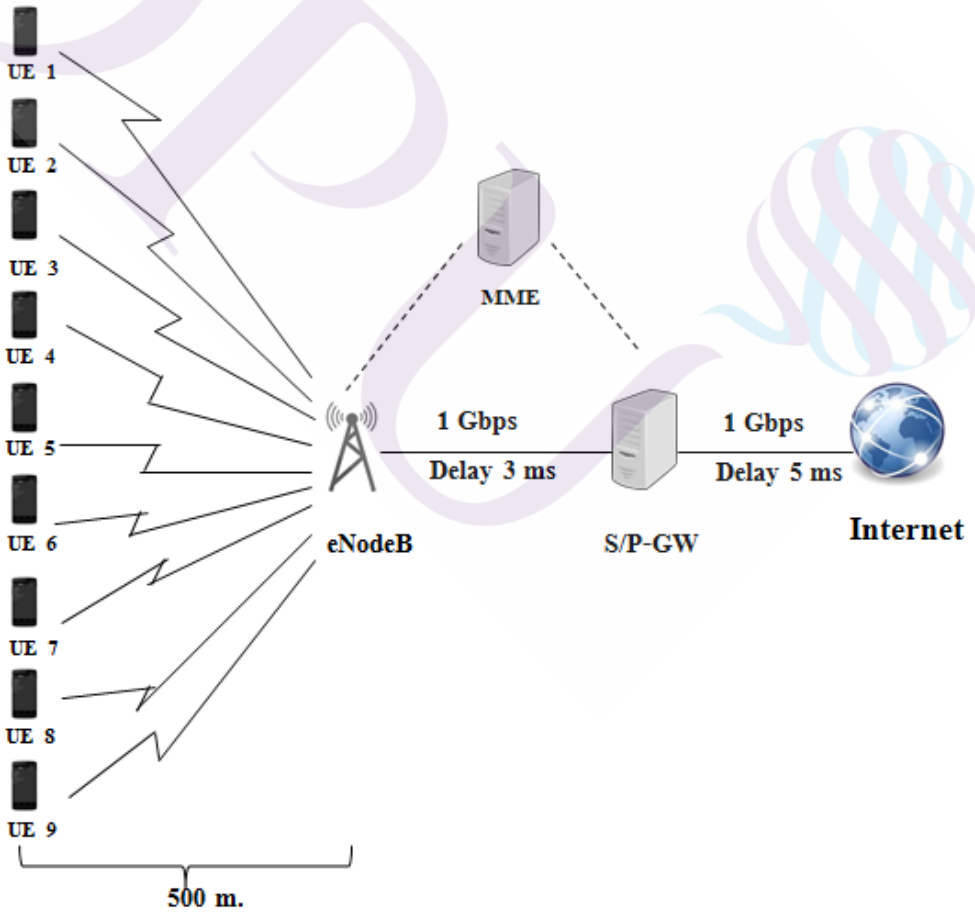


	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3		No.	Time	Time since previous frame in this TCP stream	Jitter	Protocol	Source	Destination	Length	Info
4	Total TCP Delta	1	5.0003	0		GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	0	57470 > 9502 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS=1460 SACK_PE
5	0.672128	16	5.016529	0.000601	0.000601	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	0	57470 > 9502 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=0 TSval=1254 T
6		22	5.016665	0.000136	0.000465	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=125
7		24	5.016666	0.000001	0.000135	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	12	57470 > 9502 [PSH, ACK] Seq=1449 Ack=1 Win=5840 Len=12 TS
8	Average TCP Delta	34	5.016859	0.000193	0.000192	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=1461 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
9	0.000220153	85	5.036542	0.000614	0.000421	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=2909 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
10		86	5.036554	0.000012	0.000602	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=4357 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
11		87	5.036566	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=5805 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
12	MAX TCP Delta	88	5.036578	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=7253 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
13	0.015768	89	5.03659	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=8701 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSval=
14		90	5.036602	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=10149 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
15		160	5.052542	0.000614	0.000602	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=11597 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
16	MIN TCP Delta	161	5.052554	0.000012	0.000602	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=13045 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
17	0	162	5.052566	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=14493 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
18		163	5.052578	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=15941 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
19		164	5.05259	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=17389 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
20	Total Jitter	165	5.052602	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=18837 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
21	0.232508	166	5.052614	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=20285 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
22		167	5.052626	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=21733 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
23		168	5.052638	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=23181 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
24	Average Jitter	169	5.05265	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=24629 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
25	7.61572E-05	170	5.052662	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=26077 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva
26		171	5.052674	0.000012	0	GTP <TCP:	10.3.0.1	7.0.0.4	1448	57470 > 9502 [ACK] Seq=27525 Ack=1 Win=5840 Len=1448 TSva

ภาพที่ 3.8 การคำนวณหา Jitter ด้วยโปรแกรม MS Excel

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย โดยผู้วิจัยทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากสถานีฐาน (eNodeB) มาที่อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) บนโครงข่าย LTE โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึม Round Robin (RR) ที่โครงข่ายผู้ให้บริการส่วนใหญ่ใช้ กับอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) และทำการทดสอบเป็น 4 กรณี ดังภาพ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 รูปแบบการทดสอบที่มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะเดียว

จากภาพที่ 4.1 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร โดยจะมีการส่งข้อมูลประเภท Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีคุณลักษณะตามตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	Packet size	Bit rate	ค่า QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ[1] และมีการส่งข้อมูลเป็น 2 รูปแบบ ตามตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE

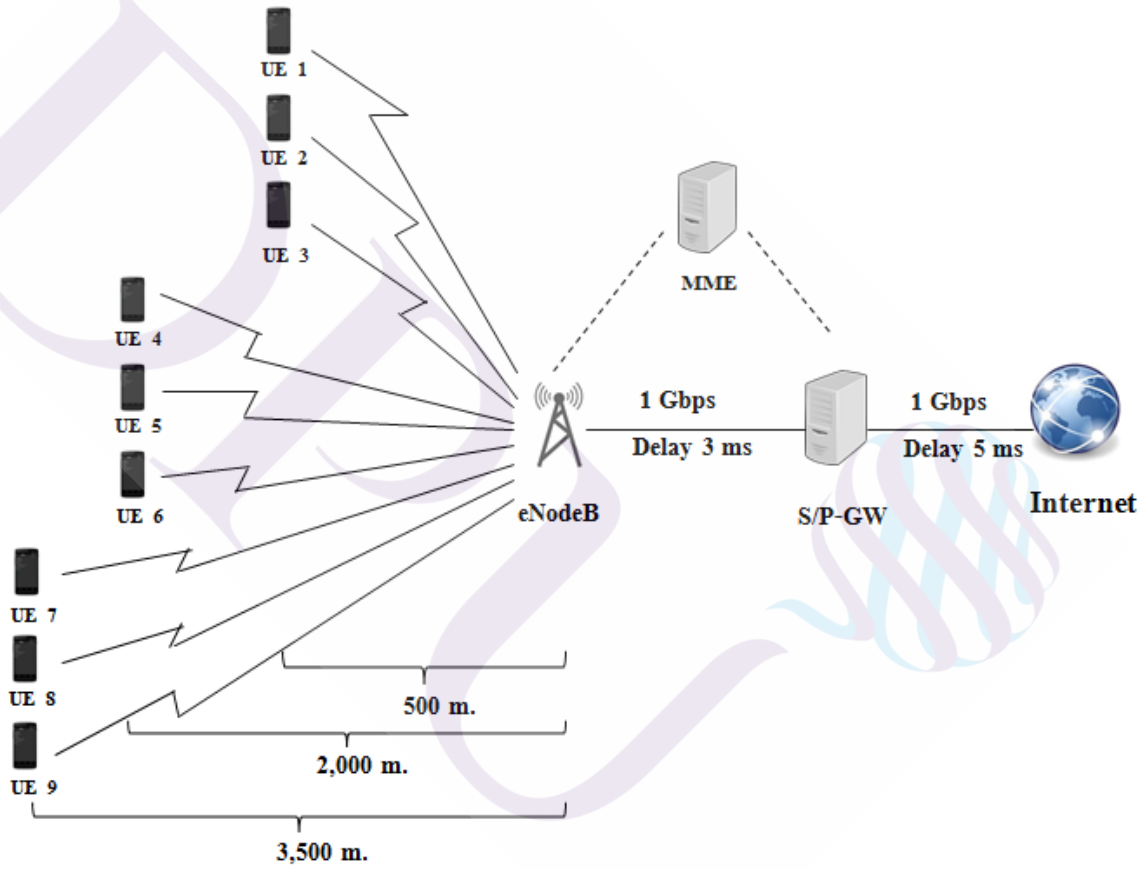
รูปแบบการส่งข้อมูล	On Time (second)	Off Time (second)
Greedy Source Traffic	1	0
On/Off Source Traffic	0.15	0.3

จากตารางที่ 4.2 มีการส่งข้อมูล 2 รูปแบบ โดย Greedy Source Traffic จะเป็นการส่งข้อมูลในโครงข่ายอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เห็นถึง Maximum Throughput ที่ผู้ใช้งานจะได้รับ จึงกำหนดค่า Off Time (ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูล) เป็น 0 และเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงในโครงข่าย จึงมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อมูล โดยรูปแบบ On/Off Source Traffic จะมีการกำหนดค่า On Time (ช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล) เป็น 150 ms และ Off Time (ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูล) เป็น 300 ms

[1] di S.M.Y.,Kuokkwee Wee,Ee Mae A.,Mohd. F.A.A. Melaka,Malaysia. Performance Study of Channel-Qos Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3.

และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE ด้วยอัลกอริทึม Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) โดยผลการศึกษาวิจัยจะวัดผลจากค่าประสิทธิภาพโครงข่าย ต่อไปนี้

- ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput)
- ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay)
- ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลา (Jitter)



ภาพที่ 4.2 รูปแบบการทดสอบที่มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานและสถานีฐานเป็น 3 ระยะ

จากภาพที่ 4.2 เป็นภาพจำลองการทำงานของโครงข่าย LTE ที่มีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐาน เป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร โดยมีการส่งข้อมูลประเภท Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีคุณลักษณะตามตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย LTE

ประเภทของข้อมูล (Protocol)	Packet size	Bit rate	ค่า QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8, 9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

โดยที่ข้อมูลประเภท UDP (Voice) เป็นการจำลองการใช้งาน VoIP ด้วยโมดูล OnOffHelper ในซอฟต์แวร์ NS3 เพื่อสร้าง Traffic ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ และมีการส่งข้อมูลเป็น 2 รูปแบบ ตามตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE

รูปแบบการส่งข้อมูล	On Time (second)	Off Time (second)
Greedy Source Traffic	1	0
On/Off Source Traffic	0.15	0.3

จากตารางที่ 4.4 มีการส่งข้อมูล 2 รูปแบบ โดย Greedy Source Traffic จะเป็นการส่งข้อมูลในโครงข่ายอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เห็นถึง Maximum Throughput ที่ผู้ใช้งานจะได้รับ จึงกำหนดค่า Off Time (ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูล) เป็น 0 และเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงในโครงข่าย จึงมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อมูล โดยรูปแบบ On/Off Source Traffic จะมีการกำหนดค่า On Time (ช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล) เป็น 150 ms และ Off Time (ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งข้อมูล) เป็น 300 ms

และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE ด้วยอัลกอริทึม Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA)

4.1 การทดสอบ

ในการทดสอบโครงข่าย LTE มีการส่งข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายมายังอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน โดยนำอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา มาใช้ที่สถานีฐาน และพิจารณาค่าการส่งข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายมายังอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน โดยการทดสอบ แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

การทดสอบที่ 1 : โครงข่าย LTE ที่มีส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

การทดสอบที่ 1.1 กำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร

การทดสอบที่ 1.2 กำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร

การทดสอบที่ 2 : โครงข่าย LTE ที่มีส่งข้อมูล Data และ Voice พร้อมกัน โดยมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

การทดสอบที่ 2.1 มีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร

การทดสอบที่ 2.2 มีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร

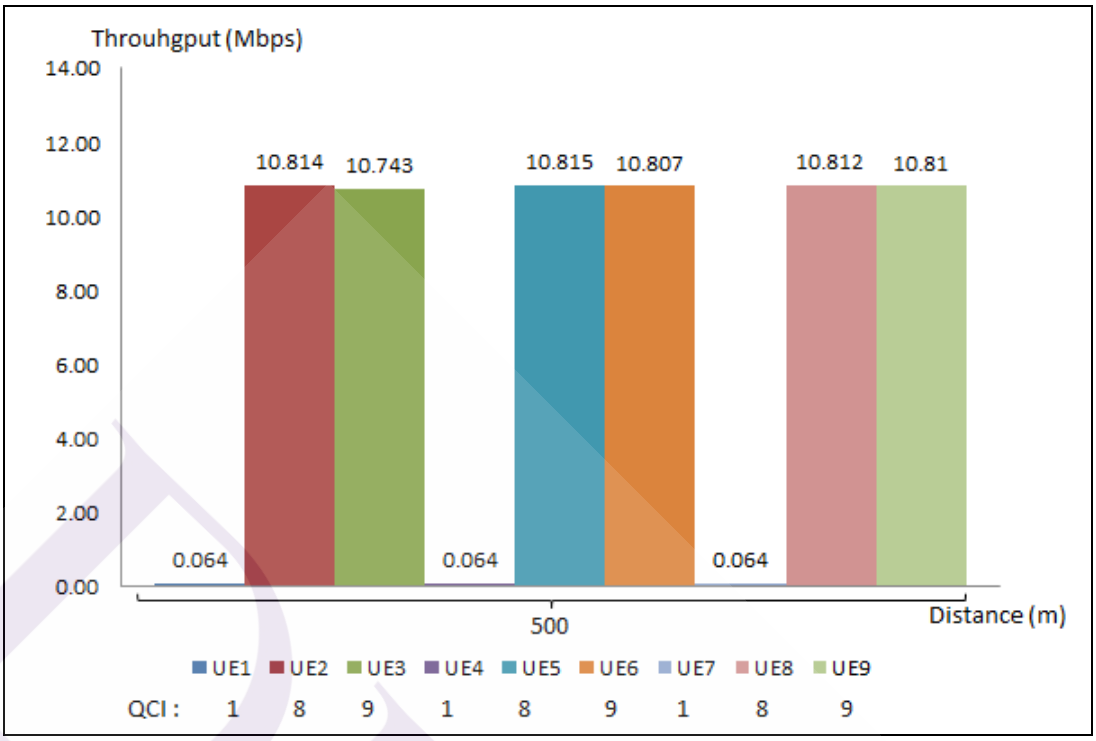
4.1.1 การทดสอบที่ 1.1 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร ส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

ผลการทดสอบของอัลกอริทึม RR, PF และ CQA เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.421108	0.48251	10.81446
3	Data	500	9	0.417727	0.479713	10.74256
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	0.4303	0.500158	10.81487
6	Data	500	9	0.42768	0.49995	10.80739
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	0.420963	0.484763	10.81247
9	Data	500	9	0.431585	0.50958	10.80969

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลา โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.49 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 64.99 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.3



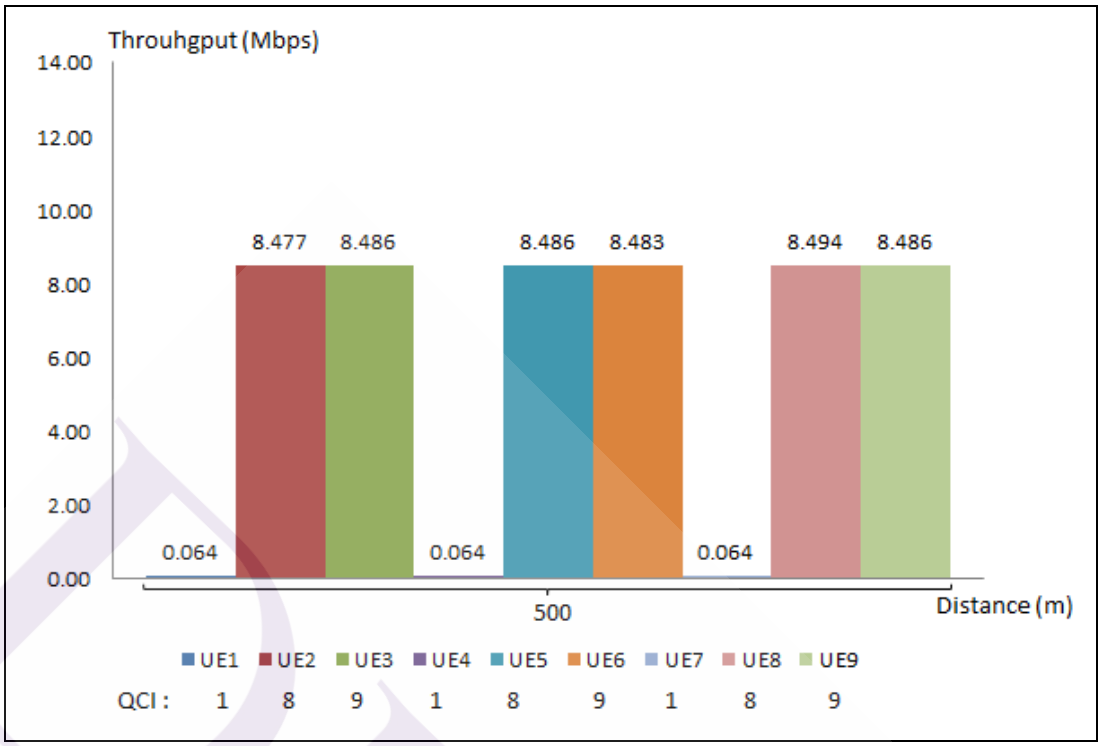
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Round Robin มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง เฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่าๆกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.80 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.252699	0.15	8.47687
3	Data	500	9	0.254204	0.15503	8.486089
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	0.252625	0.149582	8.486109
6	Data	500	9	0.253254	0.154786	8.482762
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	0.25382	0.152416	8.494415
9	Data	500	9	0.25428	0.155971	8.486069

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.25 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 51.10 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.4



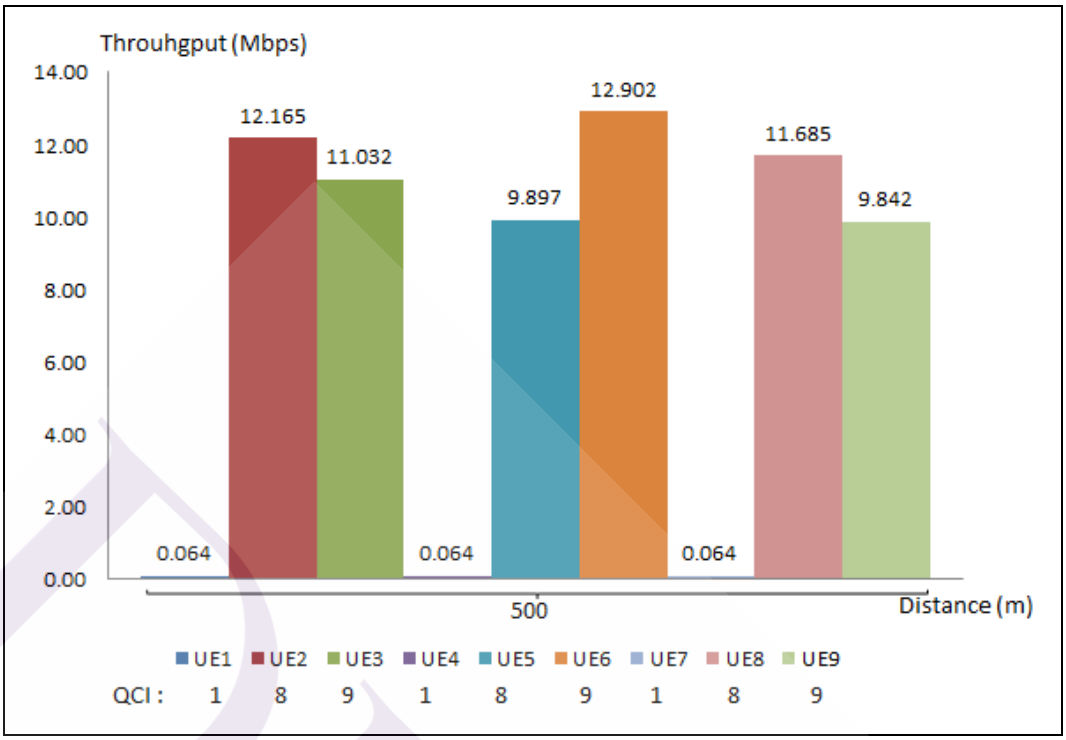
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Proportional Fair มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่าๆกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.48 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น ระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.207415	0.059325	12.16495
3	Data	500	9	0.208155	0.061335	11.03151
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	0.208878	0.062208	9.896911
6	Data	500	9	0.206999	0.060634	12.90164
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	0.208043	0.060703	11.68465
9	Data	500	9	0.210975	0.067301	9.842434

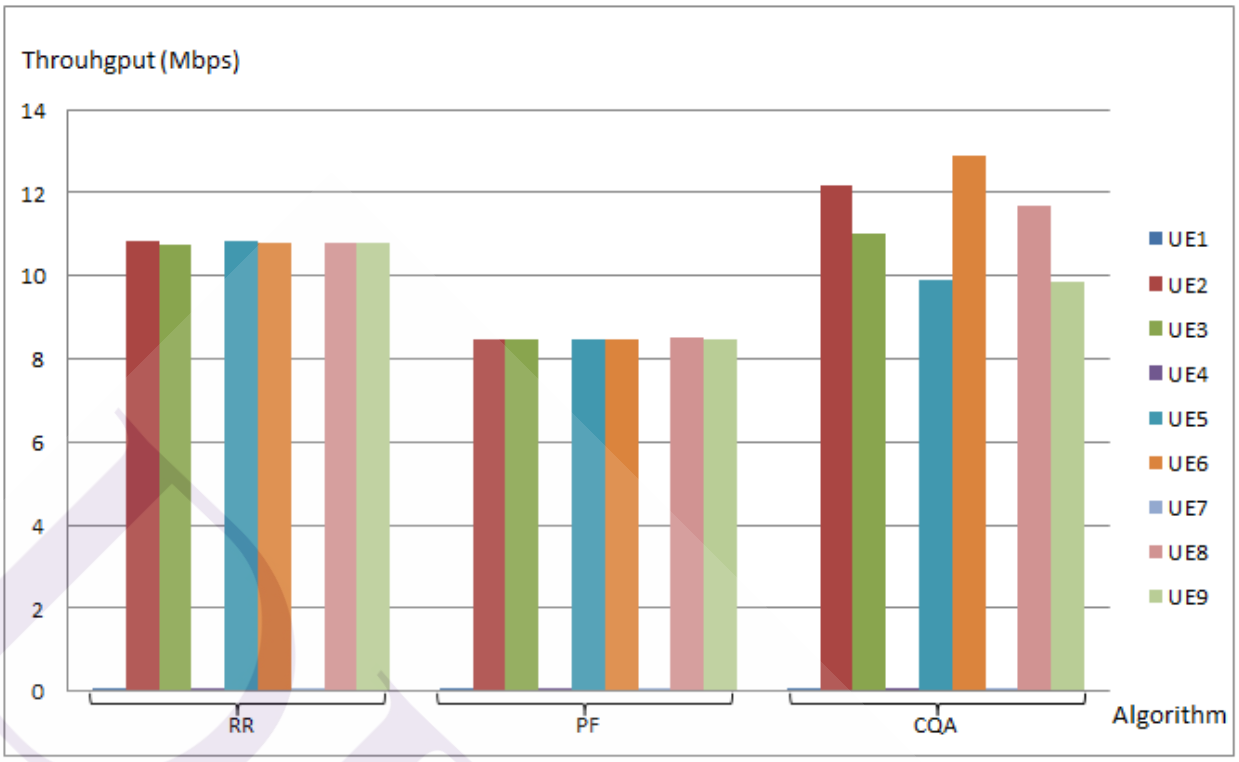
จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.20 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.06 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 67.71 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Channel and QoS Aware มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่าๆกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.25 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

และจากการทดสอบที่ 1.1 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Round Robin , Proportional Fair และ Channel and QoS aware ได้ดังภาพ 4.6 และตาราง 4.8



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ย เปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้งานเป็นระยะเดียว อัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึมส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) แต่ละตัวด้วยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยอัลกอริทึม CQA มีค่า Throughput เฉลี่ยและ Throughput รวมสูงกว่าอัลกอริทึม RR และ PF

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบ การทดสอบที่ 1.1 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

อัลกอริทึม	ค่า Delay เฉลี่ย (ms)	ค่า Jitter เฉลี่ย (ms)	ค่า Throughput เฉลี่ย (Mbps)		ค่า Throughput รวม (Mbps)
			Data	Voice	
Round Robin (RR)	0.42	0.49	10.80	0.064	64.99
Proportional Fair (PF)	0.25	0.15	8.48	0.064	51.10
Channel and QoS Aware (CQA)	0.20	0.06	11.25	0.064	67.71

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมของอัลกอริทึม CQA สูงกว่าอัลกอริทึม RR ประมาณ 4.16 % และสูงกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 32.66 % เนื่องจากอัลกอริทึม CQA มีการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล โดยพิจารณาค่า metric ที่คำนวณจากค่า Head of Line (HOL) Delay, Guarantee Bit Rate (GBR) และ Channel quality สูงที่สุดให้ทำงานก่อน โดยจะส่งข้อมูลที่เฉลี่ยเท่าๆกันให้แต่ละ UE ในขณะที่อัลกอริทึม RR และ PF ไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล โดย RR จะทำงานด้วยการวนลูปส่งข้อมูลในปริมาณที่เท่าๆกัน ทำให้เมื่อเลย TTI นั้นๆไป ทำให้ UE ได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน หรือ UE ไหนที่ไม่ต้องการข้อมูล อัลกอริทึม RR ยังส่งต่อหากยังไม่ครบเวลาที่จะวนรอบถัดไป และอัลกอริทึม PF จะส่งข้อมูลให้เท่าๆกัน โดยคำนวณจากค่า Target Block size หารด้วยระยะเวลา TTI จึงได้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ

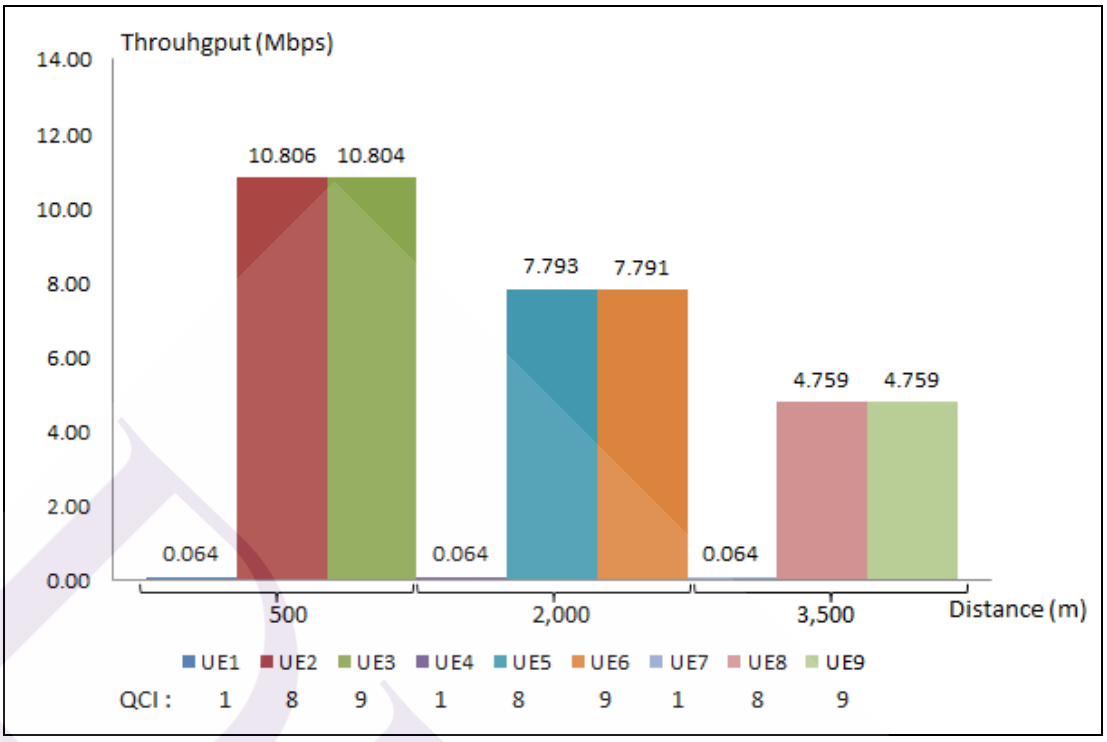
อัลกอริทึม CQA มีค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 20 % และต่ำกว่าอัลกอริทึม RR ประมาณ 52.38 % และมีค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 60 % และต่ำกว่าอัลกอริทึม RR ประมาณ 87.75 % เนื่องจากอัลกอริทึม CQA มีการแบ่งกลุ่มประเภทข้อมูลและส่งข้อมูลให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูล ทำให้ไม่เสียเวลาในการประมวลผลเพื่อส่งข้อมูล ส่งผลทำให้อัลกอริทึม CQA มีค่าความล่าช้าทางเวลา และค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น

4.1.2 การทดสอบที่ 1.2 โครงข่าย LTE ส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะห่าง ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร ส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic ผลการทดสอบของอัลกอริทึม RR, PF และ CQA เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.416099	0.471847	10.80644
3	Data	500	9	0.422671	0.488739	10.80437
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	0.419478	0.481989	7.792597
6	Data	2,000	9	0.424547	0.49476	7.791152
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	0.422115	0.492988	4.758829
9	Data	3,500	9	0.433476	0.516905	4.758842

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.49 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 46.90 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.7



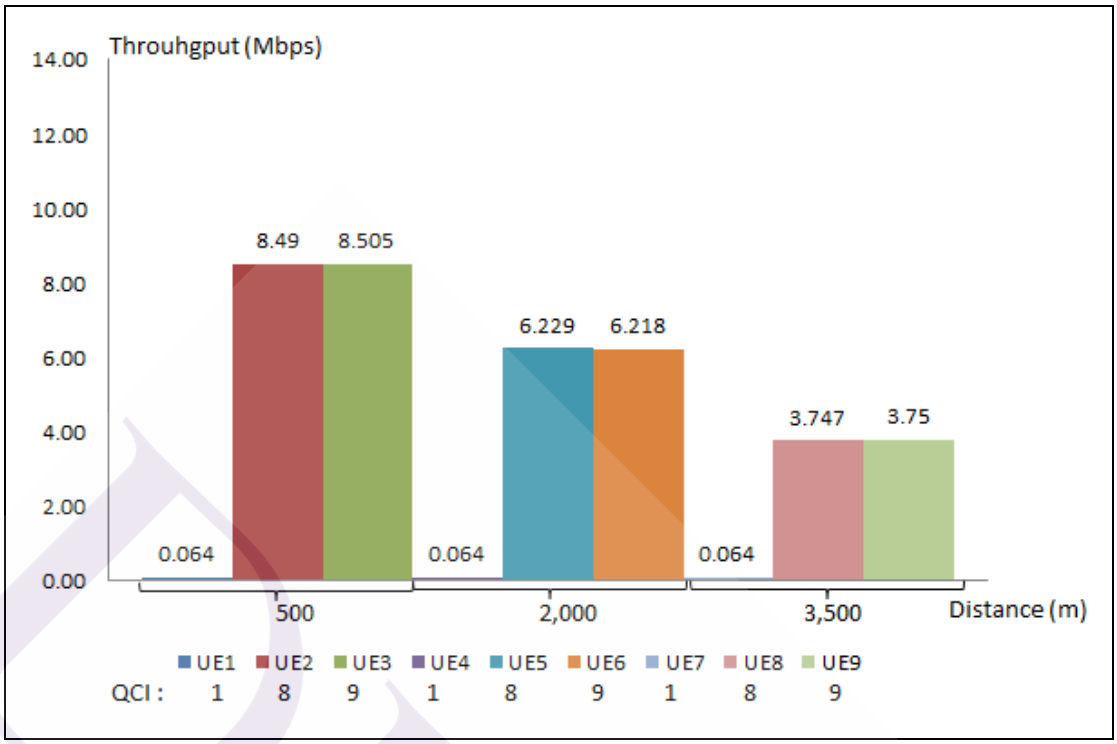
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Round Robin มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE ที่ระยะเดียวกันใกล้เคียงกัน และปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง จะลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้น โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.78 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.211837	0.067145	8.489763
3	Data	500	9	0.211473	0.065858	8.505376
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	0.212595	0.078353	6.228866
6	Data	2,000	9	0.214143	0.082334	6.217799
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	0.220678	0.116975	3.747096
9	Data	3,500	9	0.218608	0.117542	3.749952

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.28 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.22 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 37.13 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.8



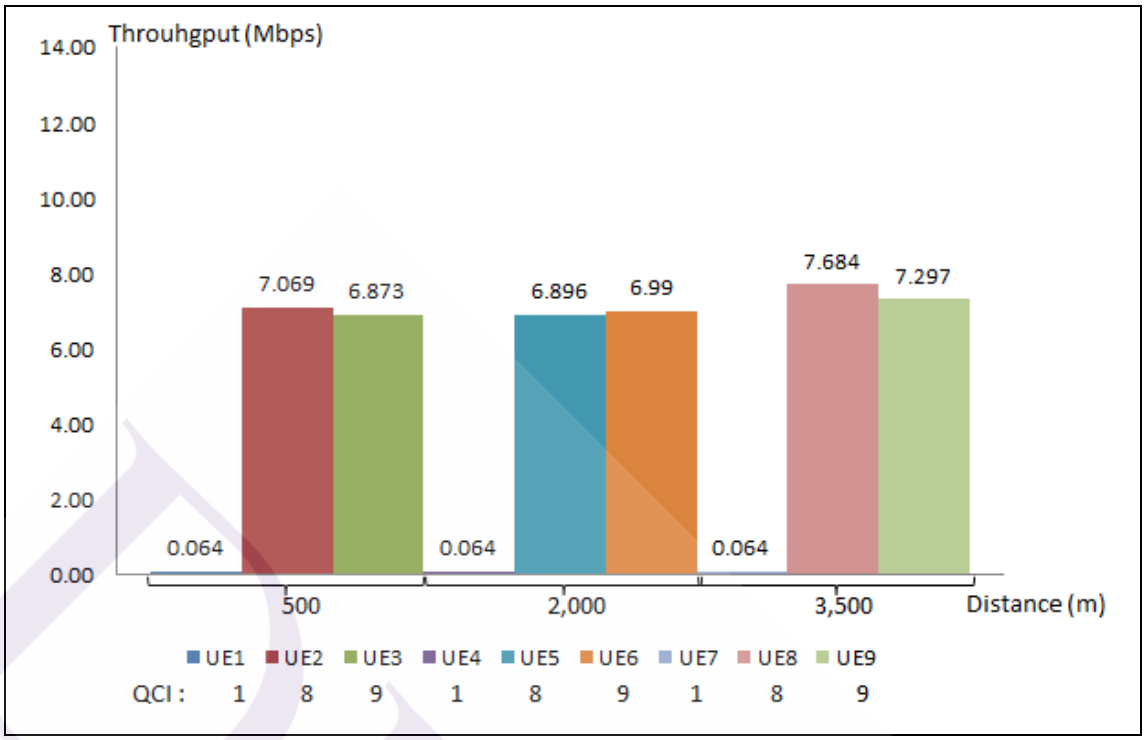
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Proportional Fair มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE ที่ระยะเดียวกันใกล้เคียงกัน และปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งจะลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้น โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.15 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	0.252548	0.149213	7.068942
3	Data	500	9	0.253905	0.151281	6.87311
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	0.277042	0.199864	6.895849
6	Data	2,000	9	0.27791	0.20488	6.989986
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	0.335979	0.323113	7.684016
9	Data	3,500	9	0.336362	0.325714	7.297359

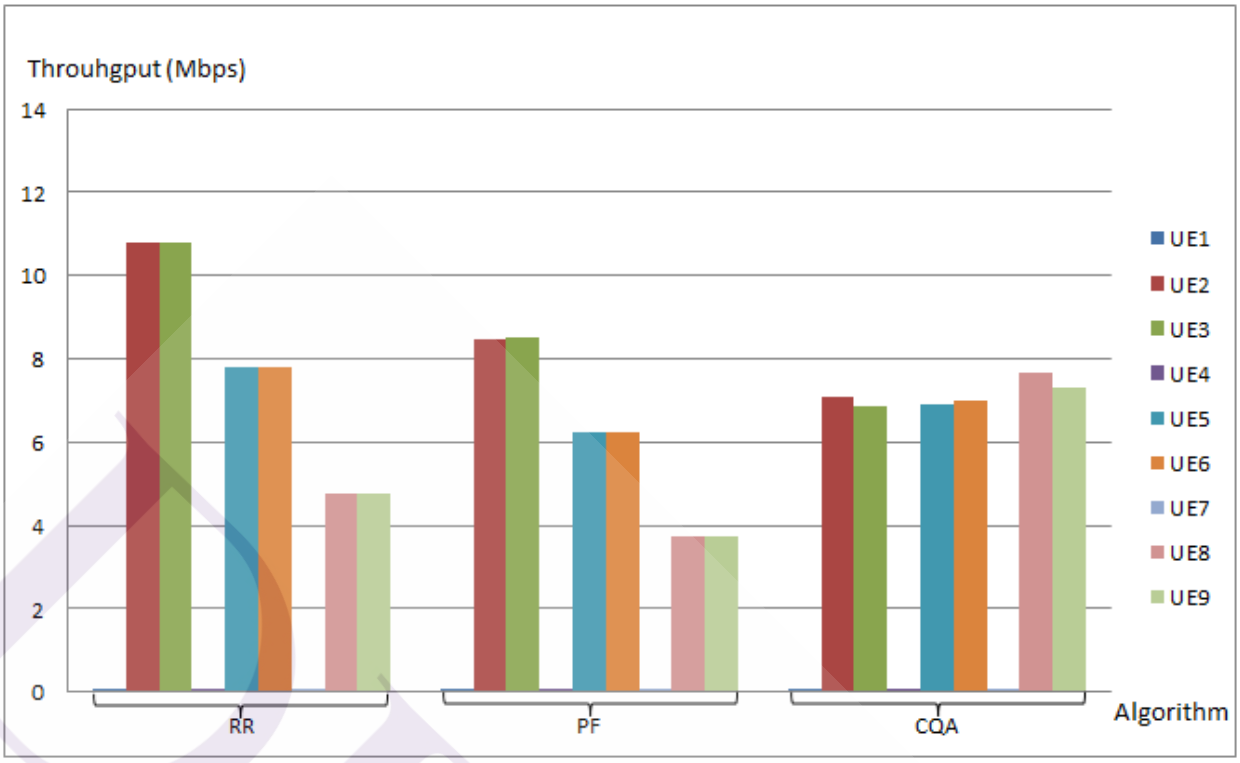
จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.21 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08 ms และมีมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 43.00 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Channel and QoS Aware มีค่า Throughput เฉลี่ยของแต่ละ UE ที่แต่ละระยะใกล้เคียงกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.13 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps

และจากการทดสอบที่ 1.2 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะห่าง ได้แก่ 500 เมตร , 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Round Robin , Proportional Fair และ Channel and QoS aware ได้ดังภาพ 4.10 และตาราง 4.12



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ย เปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เป็น 3 ระยะ อัลกอริทึม RR จะมี ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง รวมสูงที่สุด , อัลกอริทึม CQA มีค่าปานกลาง และ อัลกอริทึม PF มีค่าต่ำที่สุด

อัลกอริทึม RR และ PF ส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ได้ค่า ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง สูงกว่า อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ที่อยู่ไกลสถานีฐาน โดยปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง มีค่าลดลงตามระยะทาง ในขณะที่อัลกอริทึม CQA จะส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ของผู้ใช้งานทุกตัวด้วยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ไกลสถานีฐาน ก็จะได้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง ไม่แตกต่างจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐาน

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบ การทดสอบที่ 1.2 กรณีโครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic

อัลกอริทึม	ค่า Delay เฉลี่ย (ms)	ค่า Jitter เฉลี่ย (ms)	ค่า Throughput เฉลี่ย (Mbps)		ค่า Throughput รวม (Mbps)
			Data	Voice	
Round Robin (RR)	0.42	0.49	7.78	0.064	46.90
Proportional Fair (PF)	0.28	0.22	6.15	0.064	37.13
Channel and QoS Aware (CQA)	0.21	0.08	7.13	0.064	43.00

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมของอัลกอริทึม RR สูงกว่าอัลกอริทึม CQA ประมาณ 9.11 % และสูงกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 26.50 % โดยที่อัลกอริทึม CQA ไม่ว่า UE จะอยู่ใกล้หรือไกล eNodeB จะมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัลกอริทึม CQA จะพิจารณาจากค่า metric ที่คำนวณจากค่า Head of Line (HOL) Delay, Guarantee Bit Rate (GBR) และ Channel quality โดยไม่มีการสนใจระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB โดยจะเฉลี่ยการส่งข้อมูลประเภทใกล้เคียงกันให้เท่าๆกัน ในทางกลับกันระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB มีผลกับอัลกอริทึม RR และ PF ทำให้อัลกอริทึม RR ส่งข้อมูลให้ UE ที่อยู่ใกล้กับ ให้มากกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ เป็นผลทำให้ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยรวมของอัลกอริทึม CQA ได้น้อยกว่าอัลกอริทึม RR

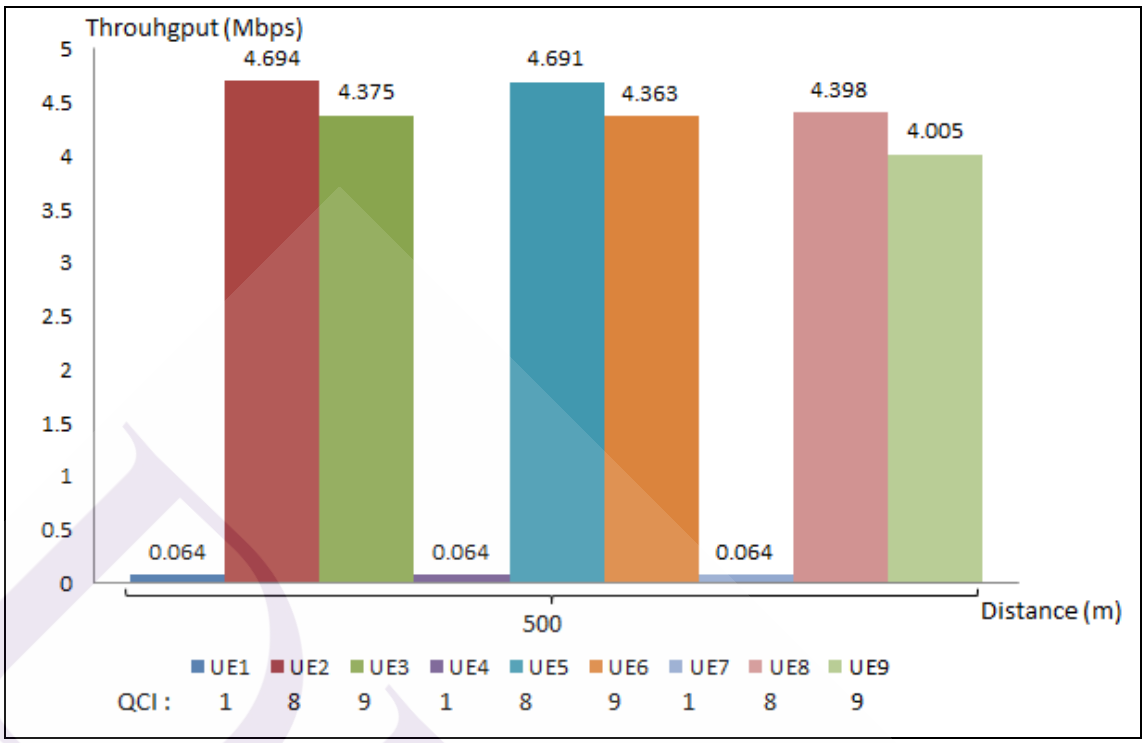
อัลกอริทึม CQA มีค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 25 % และต่ำกว่าอัลกอริทึม RR ประมาณ 50 % และมีค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึม PF ประมาณ 63.63 % และต่ำกว่าอัลกอริทึม RR ประมาณ 93.67 % เนื่องจากเนื่องจากอัลกอริทึม CQA มีการแบ่งกลุ่มประเภทข้อมูลมาก่อนหน้า และส่งข้อมูลให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูลด้วยรูปแบบ PF จึงทำให้ใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น

4.1.3 การทดสอบที่ 2.1 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียว คือ 500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic ผลการทดสอบของอัลกอริทึม RR, PF และ CQA เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	1.854057	3.417478	4.693894
3	Data	500	9	1.889357	3.588011	4.375484
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	1.85914	3.42621	4.691382
6	Data	500	9	1.90208	3.664015	4.362879
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	1.891597	3.591625	4.397843
9	Data	500	9	2.029337	3.96412	4.004872

จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.90 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 26.71 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.11



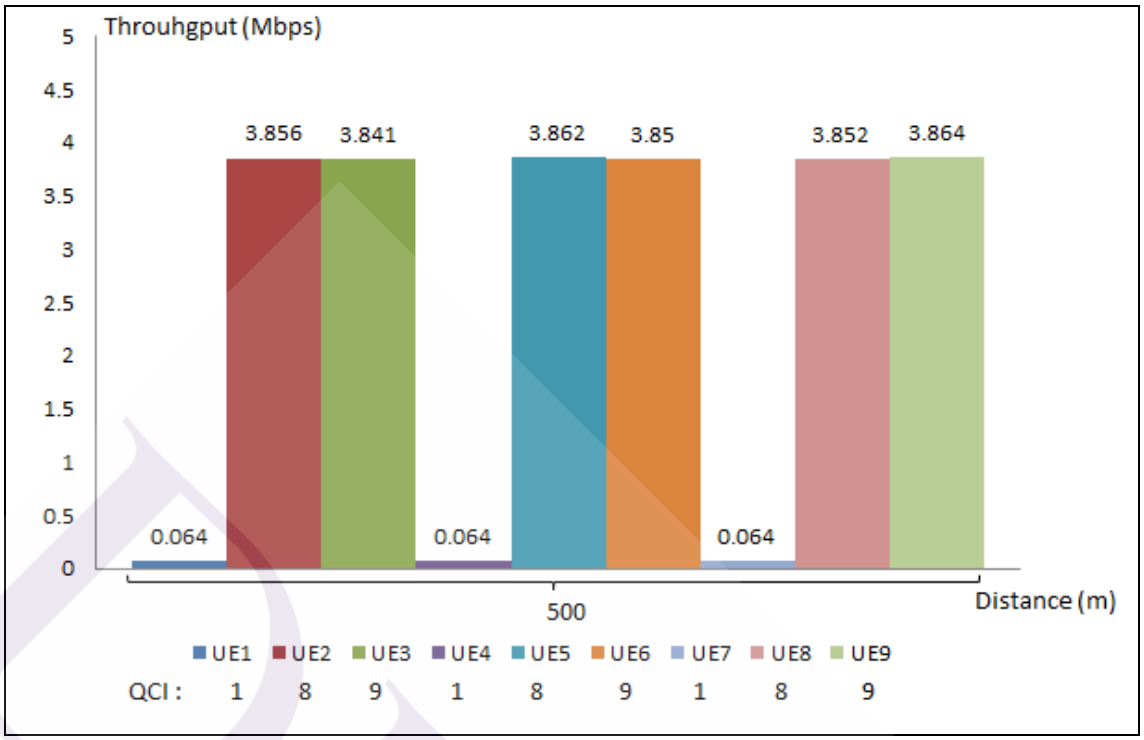
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Round Robin มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่าๆกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.42 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	1.956849	3.624948	3.855899
3	Data	500	9	1.954169	3.620014	3.8413
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	1.956266	3.624224	3.862108
6	Data	500	9	1.953168	3.619735	3.849896
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	1.95775	3.62608	3.851651
9	Data	500	9	1.976032	3.664414	3.864393

จากตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.95 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 3.62 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 23.31 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.12



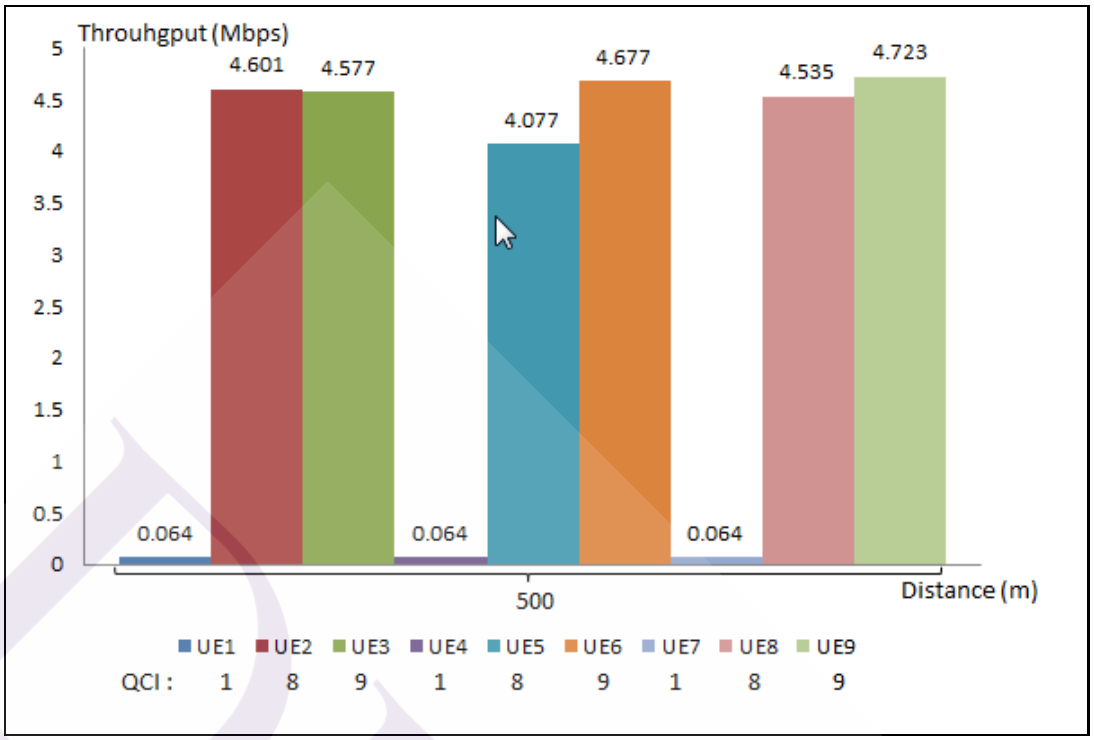
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Proportional Fair มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่า ๆ กัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.85 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	1.751954	3.204113	4.601106
3	Data	500	9	1.748929	3.201587	4.576925
4	Voice	500	1	0	0	0.064128
5	Data	500	8	1.968942	3.644505	4.077124
6	Data	500	9	1.70256	3.108163	4.676749
7	Voice	500	1	0	0	0.064128
8	Data	500	8	1.785382	3.27361	4.534646
9	Data	500	9	1.765197	3.233876	4.723341

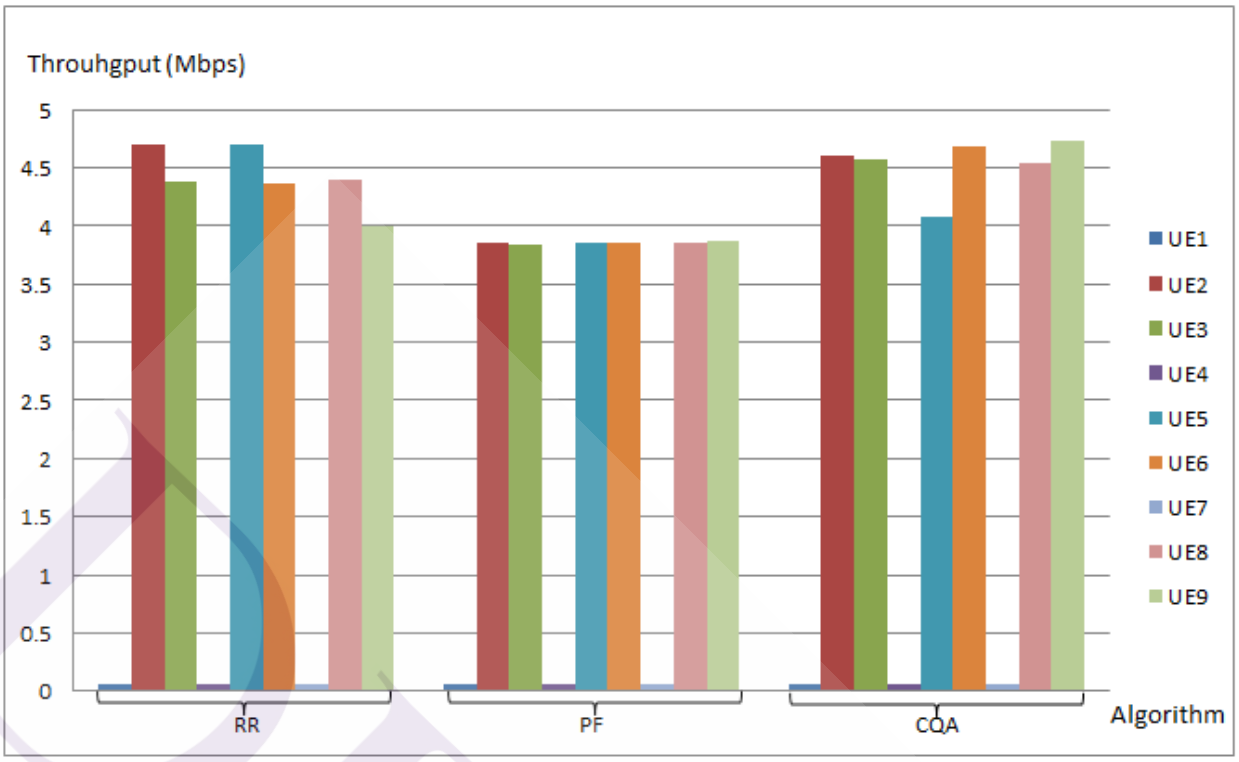
จากตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.78 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 3.27 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 27.38 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.13



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Channel and QoS Aware มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE มีปริมาณเท่าๆ กัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.53 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

และจากการทดสอบที่ 2.1 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียวคือ 500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Round Robin , Proportional Fair และ Channel and QoS aware ได้ดังภาพ 4.14 และตาราง 4.16



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ย เปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เป็นระยะเดียว อัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) แต่ละตัวด้วยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยอัลกอริทึม CQA มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยและค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง รวมสูงกว่าอัลกอริทึม RR และ PF

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบ การทดสอบที่ 2.1 กรณี โครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็นระยะเดียว และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

อัลกอริทึม	ค่า Delay เฉลี่ย (ms)	ค่า Jitter เฉลี่ย (ms)	ค่า Throughput เฉลี่ย (Mbps)		ค่า Throughput รวม (Mbps)
			Data	Voice	
Round Robin (RR)	1.90	3.60	4.42	0.064	26.71
Proportional Fair (PF)	1.95	3.62	3.85	0.064	23.31
Channel and QoS Aware (CQA)	1.78	3.27	4.53	0.064	27.38

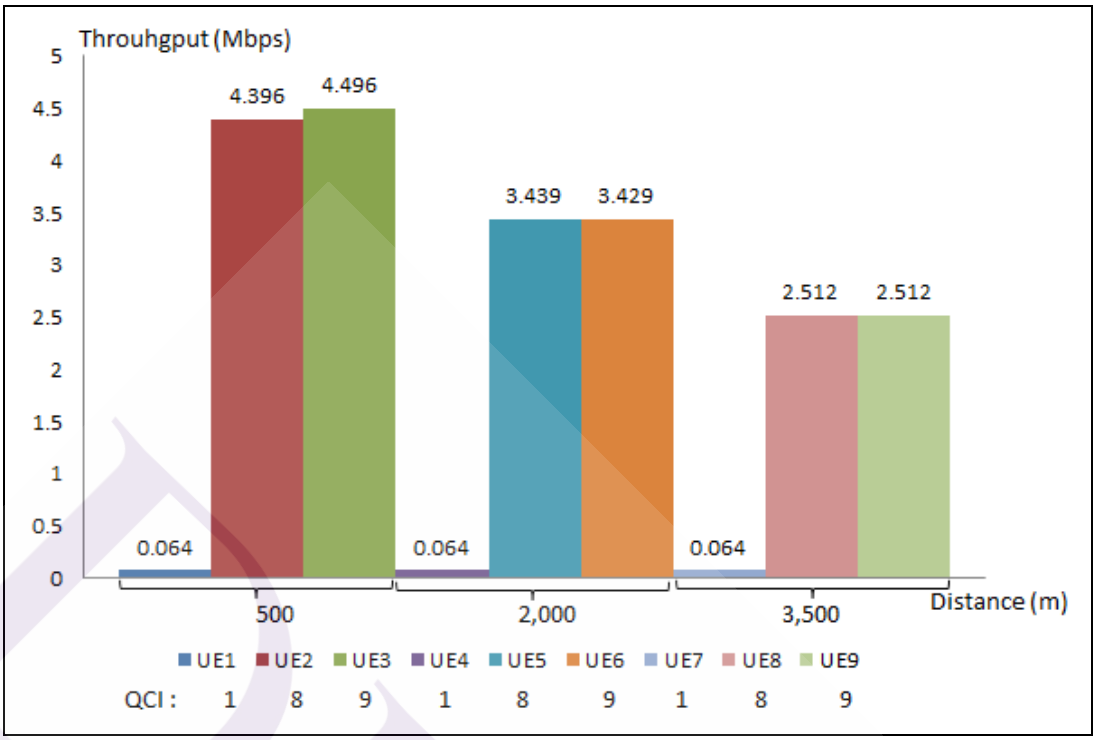
ผลการทดสอบที่ 2.1 ส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time โดยอัลกอริทึม CQA มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งสูงที่สุด และ มีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำที่สุด จากตาราง 4.16

4.1.4 การทดสอบที่ 2.2 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะห่าง ได้แก่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic ผลการทดสอบของอัลกอริทึม RR, PF และ CQA เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	1.955573	3.617164	4.396082
3	Data	500	9	1.917004	3.540871	4.495867
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	2.292425	4.312948	3.439139
6	Data	2,000	9	2.314209	4.358392	3.429175
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	2.909275	5.584746	2.512095
9	Data	3,500	9	2.912318	5.592833	2.512095

จากตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.38 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 4.50 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 20.97 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.15



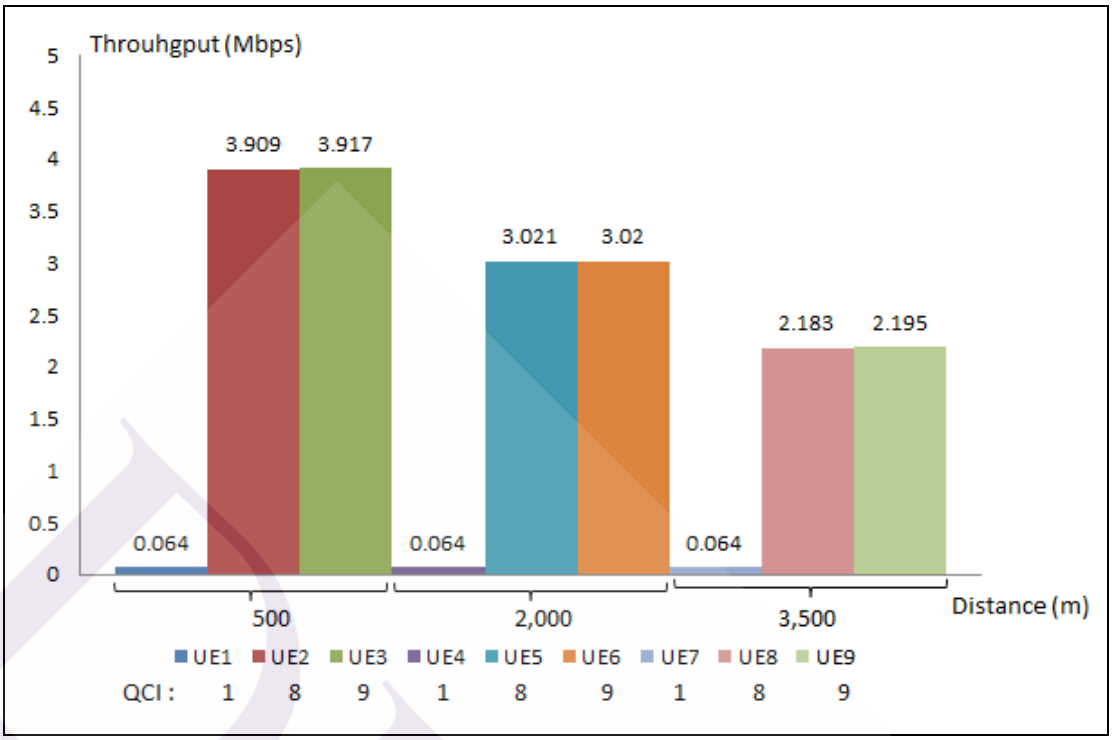
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม RR ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Round Robin มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE ที่ระยะเดียวกันใกล้เคียงกัน และปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งจะลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้น โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.46 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

ตารางที่ 4.18 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	1.911836	3.528257	3.908692
3	Data	500	9	1.938281	3.583758	3.917027
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	2.077055	3.892232	3.020651
6	Data	2,000	9	2.047917	3.830952	3.019916
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	3.104493	5.99177	2.183343
9	Data	3,500	9	3.072739	5.912542	2.195478

จากตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.35 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 4.45 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 18.43 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.16



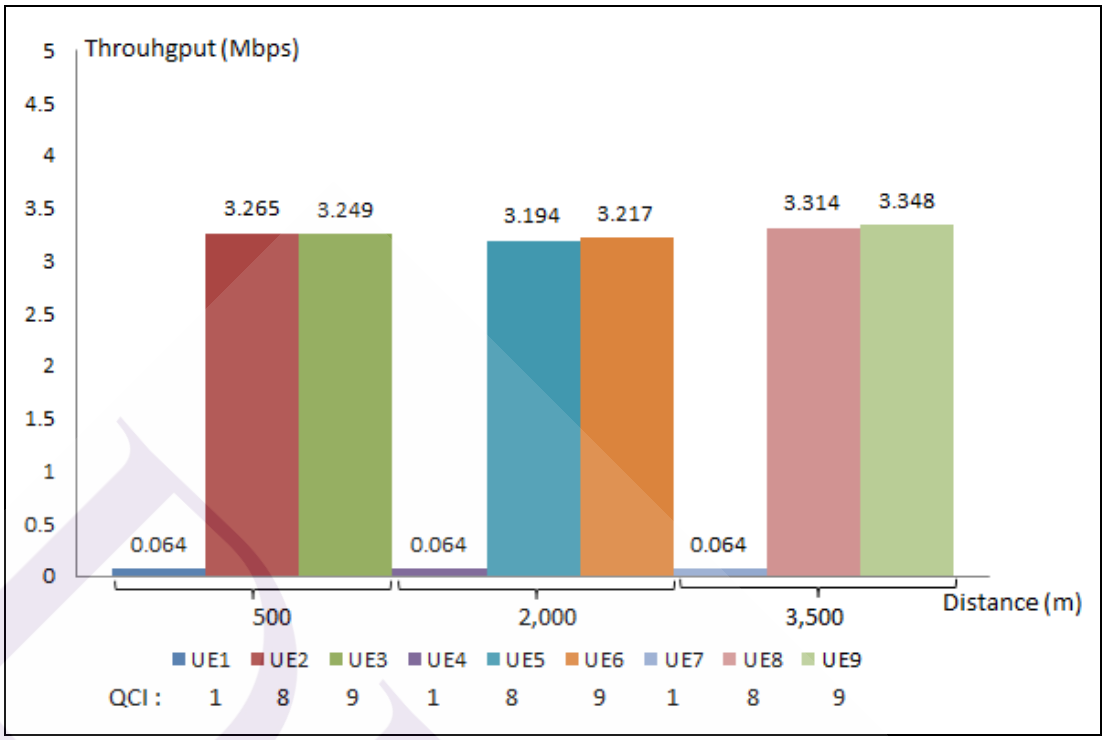
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม PF ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Proportional Fair มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE ที่ระยะเดียวกันใกล้เคียงกัน และ ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้น โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.04 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

ตารางที่ 4.19 แสดงข้อมูล Throughput , Delay , Jitter เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

UE	โปรโตคอล	ระยะห่างจาก eNodeB (เมตร)	ค่า QCI	ค่าเฉลี่ย Delay (ms)	ค่าเฉลี่ย Jitter (ms)	ค่าเฉลี่ย Throughput (Mbps)
1	Voice	500	1	0	0	0.064128
2	Data	500	8	2.197482	4.111987	3.264513
3	Data	500	9	2.100705	3.920019	3.249028
4	Voice	2,000	1	0	0	0.064128
5	Data	2,000	8	2.215785	4.160634	3.194491
6	Data	2,000	9	2.22016	4.172503	3.217493
7	Voice	3,500	1	0	0	0.064128
8	Data	3,500	8	2.295724	4.32137	3.313964
9	Data	3,500	9	2.180277	4.091228	3.347588

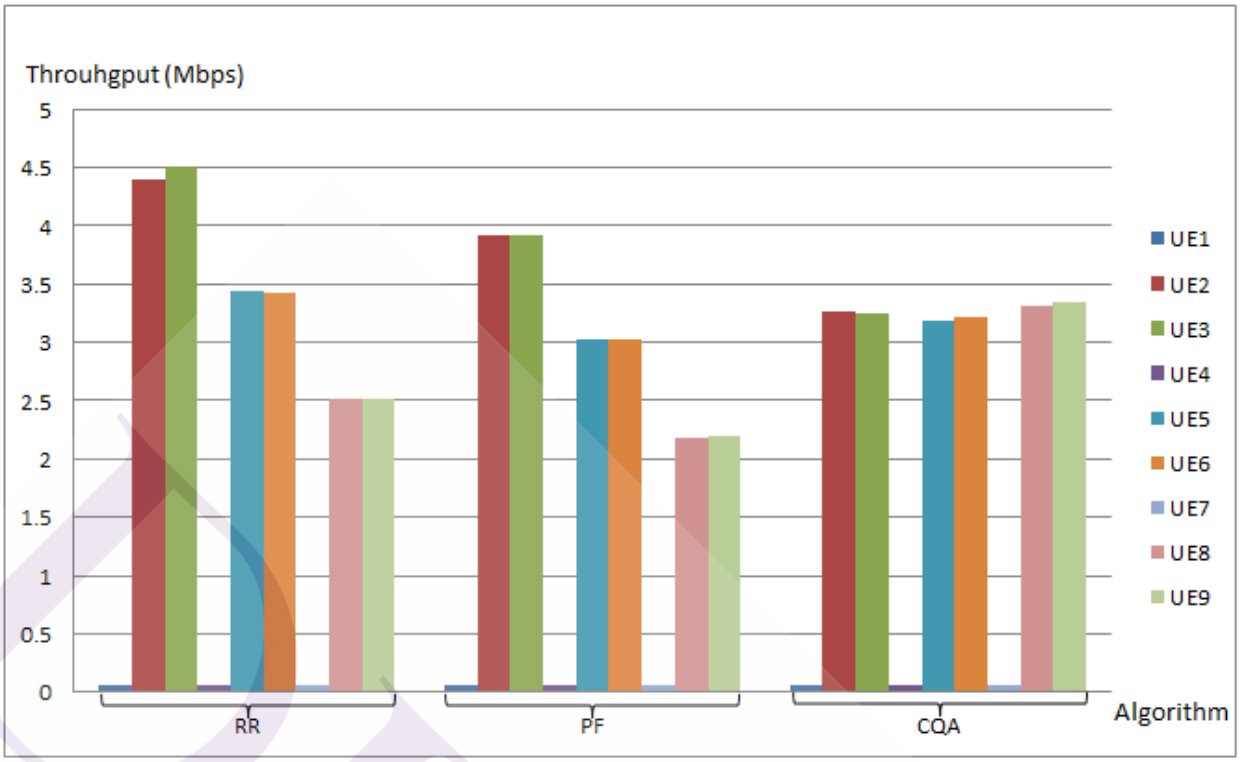
จากตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าแต่ละ UE มีค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.20 ms ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 4.12 ms และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมอยู่ที่ 19.77 Mbps และมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง แสดงดังภาพ 4.17



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ยของอัลกอริทึม CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม Channel and QoS Aware มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยของแต่ละ UE ที่แต่ละระยะใกล้เคียงกัน โดยข้อมูลประเภท Data มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.26 Mbps และข้อมูลประเภท Voice มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.064 Mbps โดยผลการจำลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการส่งแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งน้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time

และจากการทดสอบที่ 2.2 โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็น 3 ระยะห่าง ได้แก่ 500 เมตร , 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร และมีการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Round Robin , Proportional Fair และ Channel and QoS aware ได้ดังภาพ 4.18 และตาราง 4.20



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่า Throughput เฉลี่ย เปรียบเทียบของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA ที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะและส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

จากภาพที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เป็น 3 ระยะอัลกอริทึม RR จะมีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งรวมสูงที่สุด , อัลกอริทึม CQA มีค่าปานกลาง และ อัลกอริทึม PF มีค่าต่ำที่สุด

โดยอัลกอริทึม RR และ PF ส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ได้ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งสูงกว่า อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) ที่อยู่ไกลสถานีฐาน โดยมีปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง ลดลงตามลำดับ แต่อัลกอริทึม CQA จะส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ของผู้ใช้งานทุกตัวด้วยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ไกลสถานีฐาน ก็จะได้ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง ไม่แตกต่างจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐาน

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบ การทดสอบที่ 2.2 กรณี โครงข่าย LTE มีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ และส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic

อัลกอริทึม	ค่า Delay เฉลี่ย (ms)	ค่า Jitter เฉลี่ย (ms)	ค่า Throughput เฉลี่ย (Mbps)		ค่า Throughput รวม (Mbps)
			Data	Voice	
Round Robin (RR)	2.38	4.50	3.46	0.064	20.97
Proportional Fair (PF)	2.35	4.45	3.04	0.064	18.43
Channel and QoS Aware (CQA)	2.20	4.12	3.26	0.064	19.77

ผลการทดสอบที่ 2.2 ส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ On/Off Source Traffic จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ Greedy Source Traffic แต่ให้ค่า Throughput น้อยกว่า เนื่องจากมีการหยุดส่งข้อมูลตามช่วง Off time โดยอัลกอริทึม RR มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งสูงที่สุดค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำที่สุด จากตาราง 4.20

4.2 อภิปรายผลการทดสอบ

จากการทดสอบกรณีที่โครงข่าย LTE ที่มีการส่งข้อมูล data และ voice พร้อมกัน และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) เป็นระยะห่างเดียว และหลายระยะ ส่งข้อมูลทั้งรูปแบบ Greedy Source Traffic และ On/Off Source Traffic พบว่า

- อัลกอริทึม RR มีค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งเฉลี่ยรวมสูงที่สุด โดยปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่งมีค่าลดลงตามระยะทาง ในขณะที่อัลกอริทึม CQA จะส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ของผู้ใช้งานทุกตัวด้วยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัลกอริทึม CQA จะพิจารณาจากค่า metric ที่คำนวณจากค่า Head of Line (HOL) Delay, Guarantee Bit Rate (GBR) และ Channel quality โดยไม่มีการสนใจระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB โดยจะเฉลี่ยการส่งข้อมูลประเภทใกล้เคียงกันให้เท่าๆกัน

- อัลกอริทึม CQA มีค่าความล่าช้าทางเวลาและค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลาต่ำที่สุด อัลกอริทึม PF มีค่าปานกลางและอัลกอริทึม RR มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากอัลกอริทึม CQA มีการแบ่งกลุ่มประเภทข้อมูลและส่งข้อมูลให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูล ทำให้ไม่เสียเวลาในการประมวลผลเพื่อส่งข้อมูล ส่งผลทำให้อัลกอริทึม CQA มีค่าความล่าช้าทางเวลา และค่าแปรปรวนความล่าช้าทางเวลาต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย รวมทั้งอธิบายข้อจำกัดของระบบที่พบจากการทดสอบระบบ และข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป เพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จำลองการใช้งานของอัลกอริทึม RR , PF และ CQA บนโครงข่าย LTE ผลการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานสำหรับข้อมูลประเภท Real time เช่น Voice และ Non-Real time เช่น Data โดยแต่ละ UE มีค่า QoS หรือค่า QCI ที่แตกต่างกัน

ผลจำลองการทำงานด้วยการกำหนดรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าอัลกอริทึม RR ที่ผู้ให้บริการส่วนใหญ่เลือกใช้ ถึงแม้จะให้ค่า Throughput กับผู้ใช้งานได้สูง แต่ยังพบข้อจำกัด ดังนี้

- อัลกอริทึม RR มีค่า Delay และ Jitter สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ในกรณีที่โครงข่ายมีผู้ใช้งานมากขึ้น จะทำให้ค่า Delay และ Jitter สูงยิ่งขึ้น
- อัลกอริทึม RR ไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล ซึ่งไม่เหมาะสมกับโครงข่าย LTE ในปัจจุบันที่มีการใช้ข้อมูลทั้งประเภท Real time และ Non-Real time

ผลจำลองการทำงานด้วยการกำหนดรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าอัลกอริทึม PF เป็นอัลกอริทึมที่มีค่า Throughput ต่ำที่สุด มีค่า Delay และ Jitter สูงกว่าอัลกอริทึม CQA ทำให้อัลกอริทึม PF ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง

ผลจำลองการทำงานด้วยการกำหนดรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าอัลกอริทึม CQA เป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับรูปแบบโครงข่าย LTE ที่ใช้งานในปัจจุบัน เนื่องจาก

- อัลกอริทึม CQA มีการคำนึงถึงคุณภาพของข้อมูล ทำให้ข้อมูลทั้งประเภท Real time และ Non-Real time สามารถใช้ควบคู่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- อัลกอริทึม CQA มีค่า Delay และ Jitter ต่ำที่สุด

ผลจำลองการทำงานด้วยการกำหนดรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าอัลกอริทึม CQA ยังมีข้อจำกัด ดังนี้

- อัลกอริทึม CQA มีการส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานและไกลสถานีฐานด้วยค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงไม่สามารถส่งข้อมูลด้วยค่า Throughput ที่สูงที่สุด

5.1.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.1.1.1 สามารถเข้าใจหลักการทำงาน ของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาแบบ Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) และสามารถจำลองการนำอัลกอริทึมที่กล่าวมา มาใช้ในโครงข่าย LTE

5.1.1.2 ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งข้อมูล 3 แบบ โดยประเมินประสิทธิภาพการทำงานจาก ค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput), ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) และ ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

5.1.2 สรุปผลตามขอบเขตของงานวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.2.1 ทำการจำลองการทำงานโครงข่าย LTE และนำอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาแบบ Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) มาประยุกต์ใช้งาน ด้วยโปรแกรม NS3 ได้

5.1.2.2 ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา โดยมีเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ส่งข้อมูล ได้แก่ การกำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) และสถานีฐาน (eNodeB) , ประเภทของข้อมูลที่ใช้ส่งที่มีค่า QCI ที่แตกต่างกัน และ มีการกำหนดประเภทของการส่งข้อมูลเป็นรูปแบบ Greedy Source Traffic และ On/Off Source Traffic

5.1.2.3 ประเมินเปรียบเทียบอัลกอริทึมจากค่าปริมาณข้อมูลที่รับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput), ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) และ ค่าความแปรปรวนของค่าความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัย สามารถแยกออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 โปรแกรม NS3 สามารถใช้งานได้เฉพาะในระบบปฏิบัติการ Linux เท่านั้น ทำให้เวลาที่ต้องการใช้งานต้องทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux หรือต้องทำงานผ่าน Virtual Machine

5.2.2 รูปแบบโครงข่ายเป็นแบบ SISO ทำให้ปริมาณ Throughput รวมของระบบ มีค่าไม่เกิน 80 Mbps ทำให้อาจจะไม่เห็นถึงผลกระทบของอัลกอริทึมต่างๆ กรณีที่มีการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) จำนวนมาก เช่น อัลกอริทึม CQA กรณีโครงข่ายที่มีอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและ

สถานีฐาน เป็นหลายระยะทาง แต่ค่า Throughput ของอุปกรณ์ที่อยู่ไกลหรือใกล้ ไม่แตกต่างกัน เป็นต้น

5.2.3 โปรแกรม NS3 ไม่สามารถส่งข้อมูลประเภท Video Streaming ได้

5.2.4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม NS3 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในทันที แต่ะผลจะออกมาเป็นไฟล์นามสกุล pcap และจะต้อง export ออกมาเปิดด้วยโปรแกรม Wireshark และคำนวณด้วยโปรแกรม MS Excel

5.2.5 จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (UE) มีการกำหนดตายตัว ที่ 9 UE และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานและสถานีฐานมีการกำหนดตายตัวที่ 500 เมตร 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ สามารถแยกออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 ควรมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา บนโครงข่าย LTE ที่มีความหลากหลายของระยะทาง และจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงในปัจจุบัน

5.3.2 เนื่องจากอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาที่นำมาทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ยังมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน จึงควรมีการศึกษาอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อนำข้อดีของแต่ละอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้รวมกัน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

Adi S.M.Y.,Kuokkwee Wee,Ee Mae A.,Mohd. F.A.A. Melaka,Malaysia. (2015). *Performance Study of Channel-Qos Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3.*

Direct Code Execution (DCE) Manual. Retrieved April 19, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/docs/dce/release/1.4/ manual/singlehtml/index.html

Dizhi Zhou, Nicola Baldo and Marco Miozzo.(2013). *Implementation and Validation of LTE Downlink Schedulers for ns-3.* (University of New Brunswick Fredericton,Canada and Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya,Spain)

Emmanouil Skondras,Angelos Michalas,Aggeliki Sgora,Dimitrios D.Vergados. *A Downlink scheduler supporting real time services in LTE cellular networks.*

F.Capozzi,G.Piro,L.A.Grieco,G.Boggia,P.Camarda. (2013). *Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks : Key Design Issues and a Survey.* (IEEE Communications surveys & turorials,Vol.15,No.2)

Find Delays with TCP "Calculate Conversation Timestamps". Retrieved April 19, 2017, สืบค้นจาก https://www.youtube.com/ watch?v=QqKAnZnHss0

LTE network architecture. Retrieved April 2, 2017, สืบค้นจาก https://www.w3ii.com/th/lte /lte_network_architecture.html

M.Sajid Musgtaq,Abdussalam Shahid and Scott Fowler. (2012).*QoS-Aware LTE Downlink Scheduler for VoIP with Power Saving.* (University of Paris-Est Creteil (UPEC),France and Linkoping University,Sweden).

NS3 documentation. Retrieved April 18, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/doxygen/index.html

NS3 documentation. Retrieved April 18, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/doxygen/index.html

NS3 installation. Retrieved April 18, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/wiki/Installation

NS3 installation. Retrieved April 18, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/wiki/Installation

Packet loss calculation. Retrieved April 22, 2017, สืบค้นจาก https://wiki.wireshark.org/PacketLoss

Ronak D.Trivedi,M.C.Patel. (2014).*Comparison of Different Scheduling Algorithm for LTE.* (ISSN 2250-2549,ISO 9001:2008 Certified Journal,Volumn 4,Issue 5). Retrieved สืบค้นจาก www.ijetae.com

The femtoforum MAC scheduler Interface. Retrieved April 19, 2017, สืบค้นจาก https://www.nsnam.org/docs/models/html/lte-design.html#the-femtoforum-mac-scheduler-interface

Tshiteya Dikamba .(2011).*Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE).* (Master of Science Thsis,Delft University of Technology)

ความดัชนีของ MCSของ LTE. สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2560, จาก http://anisimoff.org/eng/lte_throughput.html

รูปแบบการจราจรในโครงข่าย LTE. สืบค้น 4 เมษายน 2560, จาก http://www.rfwireless-world.com/ Tutorials/LTE-QoS.html

สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE. สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2560, จาก https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.html

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวณิชา นิ่มวรพันธุ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 ปริญญาตรี คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	นักคอมพิวเตอร์ระดับ 6 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

DPU