

## การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE

### Performance Comparison of Scheduling Algorithms in LTE Network

นิชา นิมรพันธุ์<sup>1</sup>, ภาณุวง เหมไพบุลย์ และธัญญ์ จารุวิทย์โกวิท

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทรศัพท์ 0-2954-7300 ถึง 29 ต่อ 498, 594, 601 E-mail: nicha.ni@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการเติบโตของข้อมูลในโครงข่ายการสื่อสาร LTE เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาเป็นอีกหนึ่งการทำงานที่มีความสำคัญที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรวมไปถึงการรับประกันคุณภาพของข้อมูล งานวิจัยนี้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาของ eNodeB ในโครงข่าย LTE โดยงานวิจัยนี้มีการใช้การส่งข้อมูลประเภท Real time และ Non-Real time ผลการเปรียบเทียบพบว่า CQA มีการคำนึงถึงความสำคัญของประเภทข้อมูล และมี Throughput เฉลี่ยให้แต่ละ UE ได้ดี โดยไม่คำนึงถึงระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB ทำให้ข้อมูลประเภท Real time มีค่า Delay และ Jitter ต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น

คำสำคัญ: การจัดตารางเวลา, การรับประกันคุณภาพของข้อมูล, LTE

#### Abstract

Nowadays, the demand for network services in LTE network is growing significantly. A key feature of LTE is the scheduling algorithms that aim to allocate resource to increase the system performance and guarantee QoS. This paper studies and compares the performance of Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) and Channel and QoS Aware (CQA) which are the scheduling algorithm used in eNodeB of LTE network. All algorithms are simulated using real time and non-real time traffic. CQA algorithm is QoS aware and not affected by the distance between UE and eNodeB. Using CQA, the delay and Jitter of real time traffic are also better than other algorithms.

Keywords: Scheduling Algorithms, QoS, LTE

#### 1. บทนำ

โครงข่ายการสื่อสาร LTE (Long Term Evolution) ในปัจจุบัน

มีการเติบโตของข้อมูลเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรูปแบบการติดต่อสื่อสารยุคใหม่ เป็นการสื่อสารที่เน้นการส่งถ่ายข้อมูล (Data Packet) ในรูปแบบต่างๆ เช่น Voice streaming, Web browsing หรือ E-mail เป็นต้น และเนื่องจากข้อมูลแต่ละประเภทได้แก่ เสียง (voice), ภาพเคลื่อนไหว (video) และข้อมูล (data) ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service – QoS) ที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้การส่งถ่ายข้อมูลจำนวนมากมีประสิทธิภาพ และมีการรับประกันคุณภาพของบริการ จึงมีเทคนิคที่เรียกว่า LTE Downlink Scheduler ในการจัดตารางเวลาการส่งแพ็คเกจข้อมูลจาก สถานีฐาน (eNodeB) มายังอุปกรณ์ไร้สาย (User Equipment - UE) โดยที่ปัจจุบัน โครงข่าย LTE ที่ใช้งานจริงโดยส่วนใหญ่จะใช้อัลกอริทึมการจัดตารางเวลาการส่งข้อมูลแบบ Round Robin (RR) ซึ่งไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพการให้บริการในการส่งข้อมูล

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะจำลองอัลกอริทึม Proportional Fair (PF) และ Channel and QoS Aware (CQA) มาใช้กับการทำ Downlink scheduling สำหรับ การส่งข้อมูลจาก eNodeB มายัง UE เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล พร้อมทั้งคำนึงถึงคุณภาพการให้บริการ

บทความนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม Round Robin, Proportional Fair และ Channel and QoS Aware โดยคำนึงถึงผลของบริการแบบ Real time เช่น เสียง และบริการแบบ Non-Real Time เช่น E-mail เป็นต้น โดยได้ตั้งค่าระยะห่างของอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีฐานเป็น 3 ระยะ และทำการส่งข้อมูลจากสถานีฐาน เนื้อหาในบทความมีการจัดเรียงดังนี้ ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 ผลการดำเนินการ และส่วนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

#### 2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงข่าย LTE มีหนึ่งองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้การส่งข้อมูลในโครงข่าย LTE มีประสิทธิภาพได้แก่ Downlink Packet Scheduler [1] ซึ่งเป็น Radio Resource Management (RRM) ประเภทหนึ่งใน Evolved node B (eNodeB) ทำหน้าที่จัดการตารางเวลาการส่งข้อมูลจากผู้ใช้บริการ

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

ไปที่ผู้ใช้งาน (UEs) โดยการจัดการการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ได้แก่

### 2.1.1 Round Robin Scheduler (RR)

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็คเกจข้อมูลจาก eNodeB ให้กับแต่ละ UE ที่ไม่มีการคำนึงถึงคุณภาพในการให้บริการในการส่งข้อมูล โดยที่จำนวนการส่งข้อมูลในปริมาณที่เท่ากัน ไปให้แต่ละ UE ทำให้ข้อมูลที่ต้องการความต่อเนื่อง ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้รับข้อมูลครบถ้วนและต่อเนื่องหรือไม่

### 2.1.2 Proportional Fair (PF)

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็คเกจข้อมูลจาก eNodeB ให้กับแต่ละ UE โดยอัลกอริทึมนี้จะคำนึงถึงความเสมอภาคในการส่งข้อมูลในปริมาณเท่าๆกันให้กับแต่ละ UE เป็นหลัก รวมไปถึงประสิทธิภาพที่ได้รับด้วย

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

โดยค่า Throughput เหนี่ยวนำได้จากจำนวน Target Block Size (bits) ที่คำนวณจากค่า MCS และ จำนวน Resource Block หรือด้วยระยะเวลา TTI

### 2.1.3 Channel and QoS Aware (CQA)

เป็นการจัดตารางเวลาการส่งแพ็คเกจข้อมูลจาก 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

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

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

$$m_{pf}^{(k,j)}(t) = \frac{R_e^{(k,j)}}{R^j(t)}, \quad (4)$$

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

โดยที่ค่า GBR หาได้จากค่า GBR หรือด้วย ค่า throughput เหนี่ยวนำในอดีต และค่า Channel quality หาได้จาก ค่าประมาณการ throughput หรือด้วยค่า throughput เหนี่ยวนำในอดีต

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [2] ได้ทำการศึกษาอัลกอริทึมของการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE ที่นอกเหนือจาก Round Robin (RR) และ Proportional Fair (PF) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต่างๆ ด้วยซอฟต์แวร์ NS3 แต่จำลองการทดสอบเฉพาะทราฟฟิกที่เป็น data เท่านั้น และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละอัลกอริทึมด้วยค่า throughput เพียงค่าเดียว และงานวิจัย [3] ได้ทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึมการจัดตารางเวลาในโครงข่าย LTE แต่ทำการจำลองโครงข่ายโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโดยเปรียบเทียบแยกแต่ละ Traffic และมีระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานที่ระยะห่างเดิมเสมอ

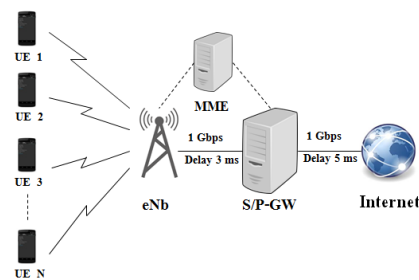
จากการค้นคว้าวิจัย ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดยจำลองโครงข่ายที่มีหลายทราฟฟิกใช้งานพร้อมกัน

งานวิจัยนี้ทำการจำลองโครงข่าย LTE เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดตารางเวลา โดยมีการจำลองโครงข่ายที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีทราฟฟิก data และ voice ใช้งานพร้อมกัน นอกจากนั้นได้ทำการจำลองกำหนดระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานเป็นหลายระยะ เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพและพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น โดยเปรียบเทียบค่า Throughput, ค่าความล่าช้าทางเวลา (Delay) และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

โครงข่าย LTE ที่ใช้ในการศึกษาในบทความนี้ มีโปรโตคอล TCP และ VoIP ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน ผู้วิจัยได้จำลองการใช้งานโดยทำการส่งข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ปลายทาง โดยมีการกำหนดระยะห่างของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ปลายทางกับสถานีฐานให้แตกต่างกันเป็น 3 ระยะ งานวิจัยนี้ทดสอบการใช้งานโดยใช้ซอฟต์แวร์ NS3 และเลือกใช้ LTE แบบ Single-Input Single-Output (SISO) ดังแสดงในรูปที่ 1



## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

รูปที่ 1 โครงข่าย LTE ที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2 การทดสอบ

#### 3.2.1 อุปกรณ์ต้นทาง (โทรศัพท์เคลื่อนที่/User Equipment (UE)) และเครื่องแม่ข่ายปลายทาง (Server)

แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยเครื่องแม่ข่ายปลายทาง โดยจะส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตและ Serving/Packet Data Network Gateway (S/P-GW) ไปยัง enhanced NodeB (eNodeB) ที่เชื่อมต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ (UE)

#### 3.2.2 ปริมาณความจุของแต่ละโครงข่าย

โครงข่าย LTE มีการใช้งานแบบ SISO โดยมีค่าการเชื่อมต่ออ้างอิงตามระยะของการเชื่อมต่อระยะที่ 1 ระหว่าง UE ถึง eNodeB โดยจะคำนึงถึงระยะทางของการใช้งาน โดยมีวิธีการคำนวณจาก Channel Quality Indicator (CQI) และ Modulation and Coding Scheme (MCS) [4] เนื่องจากโปรแกรม NS 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อการส่งข้อมูลและความเข้มของสัญญาณแบบอัตโนมัติ การเชื่อมต่อระยะที่ 2 ระหว่าง eNodeB ถึง (S/P-GW) มีขนาด 1 Gbps และมีค่าความล่าช้าทางเวลา 3 ms และระยะที่ 3 ระหว่าง (S/P-GW) ถึงเครื่องแม่ข่ายมีขนาด 1 Gbps และมีค่าความล่าช้าทางเวลา 5 ms

### 4. ผลการดำเนินการ

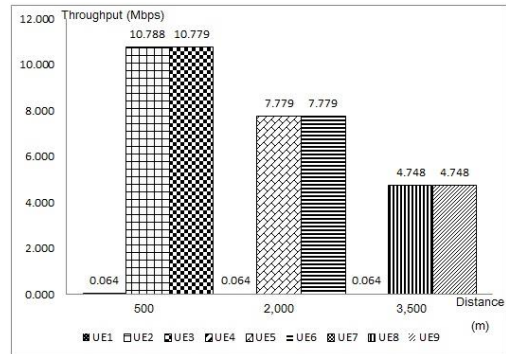
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบ โดยมีการส่งข้อมูล data และ voice ใช้งานพร้อมกัน โดยมีระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เป็น 3 ระยะ ได้แก่ 500 เมตร , 2,000 เมตร และ 3,500 เมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

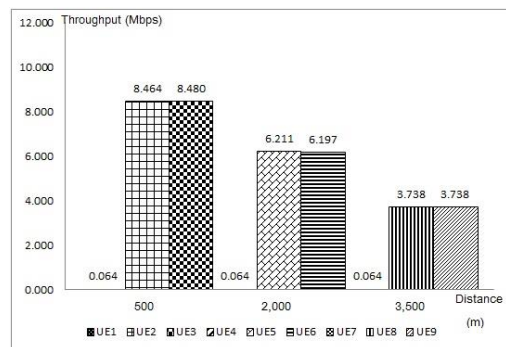
Protocol	Packet size	Bandwidth	QCI
TCP (data)	1460 Bytes	60 Mbps	8,9
UDP (voice)	80 Bytes	64 Kbps	1

จากผลการทดสอบ ได้ค่า Throughput ของ แต่ละอัลกอริทึม ดังแสดงในรูปที่ 2,3 และ 4

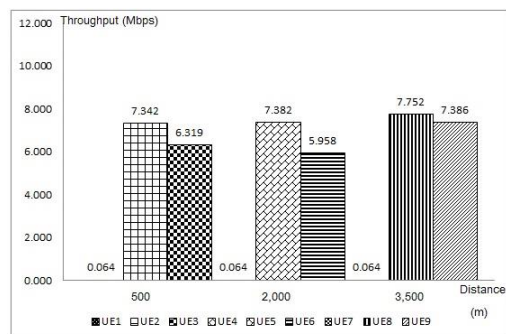
นอกจากค่า Throughput แล้วงานวิจัยนี้ยังได้คำนวณค่าความล่าช้าทางเวลา (delay) และค่าความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (jitter) ได้ผลสรุปดังแสดงในตารางที่ 2,3 และ 4



รูปที่ 2 กราฟ Throughput ของอัลกอริทึม RR



รูปที่ 3 กราฟ Throughput ของอัลกอริทึม PF



รูปที่ 4 กราฟ Throughput ของอัลกอริทึม CQA

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของอัลกอริทึม RR

UE	Protocol, QCI	ระยะห่าง จาก UE (m)	Average Delay (ms)	Average Jitter (ms)	Throughput (Mbps)
1	Voice ,1	500	0	0	0.06399
2	Data , 8	500	0.41700	0.47845	10.7879
3	Data , 9	500	0.36931	0.4979	10.7786

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

4	Voice ,1	2,000	0	0	0.06399
5	Data , 8	2,000	0.41992	0.48534	7.77864
6	Data , 9	2,000	0.37366	0.50929	7.77864
7	Voice ,1	3,500	0	0	0.06399
8	Data , 8	3,500	0.42322	0.50269	4.74844
9	Data , 9	3,500	0.37848	0.52234	4.74844

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบของอัลกอริทึม PF

UE	Protocol, QCI	ระยะห่าง จาก UE (m)	Average Delay (ms)	Average Jitter(ms)	Throughput (Mbps)
1	Voice ,1	500	0	0	0.06399
2	Data , 8	500	0.25282	0.14962	8.46396
3	Data , 9	500	0.19756	0.15256	8.48021
4	Voice ,1	2,000	0	0	0.06399
5	Data , 8	2,000	0.27908	0.19997	6.21139
6	Data , 9	2,000	0.224266	0.20574	6.19744
7	Voice ,1	3,500	0	0	0.06399
8	Data , 8	3,500	0.33603	0.3224	3.73848
9	Data , 9	3,500	0.28586	0.33178	3.73841

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบของอัลกอริทึม CQA

UE	Protocol, QCI	ระยะห่าง จาก UE (m)	Average Delay (ms)	Average Jitter(ms)	Throughput (Mbps)
1	Voice ,1	500	0	0	0.06399
2	Data , 8	500	0.21011	0.06643	7.34193
3	Data , 9	500	0.15349	0.06596	6.31946
4	Voice ,1	2,000	0	0	0.06399
5	Data , 8	2,000	0.21333	0.08204	7.38155
6	Data , 9	2,000	0.15560	0.07956	5.95765
7	Voice ,1	3,500	0	0	0.06399
8	Data , 8	3,500	0.22024	0.11768	7.75247
9	Data , 9	3,500	0.18541	0.14909	7.38581

จากตารางที่ 2,3 และ 4 สรุปได้ดังนี้

- อัลกอริทึม CQA มีค่า Delay และ Jitter ต่ำที่สุด , PF มีค่าปานกลาง และ RR มีค่าสูงที่สุด

- อัลกอริทึม RR มีค่าผลรวม Throughput สูงที่สุด , CQA มีค่าปานกลาง และ PF มีค่าต่ำที่สุด

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้จำลองการใช้งานของอัลกอริทึม RR,PF และ CQA บนโครงข่าย LTE ผลการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน

สำหรับข้อมูลประเภท Real time และ Non-Real time โดยแต่ละ UE มีค่า QoS ที่แตกต่างกัน อัลกอริทึม RR ได้ค่า Throughput รวมสูงกว่า CQA และ PF แต่ CQA ทำงานได้ดีกว่า เนื่องจากเมื่อ QoS เท่ากัน จะพยายามเฉลี่ยส่งข้อมูลให้แต่ละ UE เท่ากันโดยไม่คำนึงถึงระยะห่าง และตามสมการ (2) CQA จะพิจารณา metric ที่ประกอบด้วยค่า HOL delay , GBR และ Channel Quality ที่สูงที่สุดให้ทำงานก่อน นั่นหมายความว่า UE ใดที่มีค่า QoS สูงกว่าจะได้ส่งข้อมูลก่อน และ UE ที่มีค่า QoS ใกล้เคียงกันจะได้ Throughput เฉลี่ยเท่ากัน นอกจากนี้แล้วยังมีค่า Delay ต่ำกว่า PF คิดเป็น 27.16 % และต่ำกว่า RR คิดเป็น 52.42 % และมีค่า Jitter ต่ำกว่า PF คิดเป็น 58.53 % และต่ำกว่า RR คิดเป็น 81.39 % ซึ่งสอดคล้องตามทฤษฎีเนื่องจาก RR จะเสียเวลาในการควบคุมในการส่งข้อมูลทำให้มี Delay และ Jitter สูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงสรุปว่าอัลกอริทึม CQA เหมาะสมกับรูปแบบโครงข่าย LTE ที่ใช้งานในปัจจุบัน เนื่องจากโครงข่าย LTE มีผู้ใช้งานที่มีข้อมูลหลายประเภทที่มี QoS ที่แตกต่างกัน และอัลกอริทึม CQA สามารถทำงานโดยที่มีการรับประกันคุณภาพของข้อมูลได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Tshiteya Dikamba , “Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE),” Delft University of Technology,2011.
- [2] Dizhi Zhou , Nicola Baldo and Marco Miozzo, “Implementation and Validation of LTE Downlink Schedulers for ns-3,” University of New Brunswick, Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya,2013.
- [3] Adi S. M. Y. ,Kuokkwee Wee,Ee Mae A. ,Mohd. F. A. A. , “Performance Study of Channel-QoS Aware Scheduler in LTE Downlink Using NS3,”in Emerging,France,2015, pp.43-49.
- [4] Jung-Fu Cheng, Yang Hu, “System and method of modulation and coding scheme adjustment for a lte shared data channel,” patent US20100074195 A1,25 March 2010.



นางสาวณิชชา นิมิตรพันธ์

ตำแหน่ง:นักคอมพิวเตอร์ ระดับ 6

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การศึกษา:กำลังศึกษาปริญญาโทวิศวกรรม

คอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

งานวิจัยที่สนใจ: 5th generation mobile และ Scheduling Algorithms