



247006

เทคนิคการขอเช่าวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาแพงของกลุ่มตำราเรียนโทรโศกอดคาบคุณการเข้าถึงตัวกลาง
ที่มีคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน

นายณรงค์ วัฒนมงคล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

60025 1460

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247006

เทคนิคการกรองช่องสัญญาณที่มีทรานซิปิกสองกลุ่มสำหรับ โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีคุณภาพการ
ให้บริการที่แตกต่างกัน

นายบรรณรัตน์ วัฒนมงคล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 1 8 1 6 4 2 1

NNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR TWO-CLASS TRAFFIC FOR MAC PROTOCOLS WITH
DIFFERENT PRIORITIES

Mr. Norrarat Wattanamongkhol

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillments of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีทราฟฟิกสองกลุ่มสำหรับ
โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีคุณภาพการให้
บริการที่แตกต่างกัน

โดย

นายนรรัตน์ วัฒนมงคล

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ

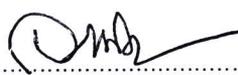
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

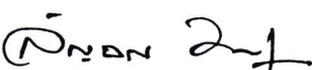
ดร. พงศธร เศรษฐสุวรรณ

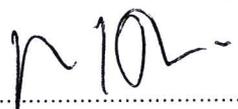
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

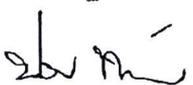
 คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.พงศธร เศรษฐสุวรรณ)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุมิ)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

 กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินิจ กำหอม)

นรรรัตน์ วัฒนมงคล : เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีทราฟฟิกสองกลุ่มสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน (CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR TWO-CLASS TRAFFIC FOR MAC PROTOCOLS WITH DIFFERENT PRIORITIES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ลัญจกร วุฒิสถิทธิกุลกิจ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. พงศธร เศรษฐธีร, 115 หน้า.

247006

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พิจารณาปัญหาการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางด้วยวิธีการแข่งขันในเครือข่ายสื่อสารไร้สาย โดยพิจารณาประเด็นที่มีความสำคัญ 2 ประเด็น ได้แก่ กลไกการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการและสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ สำหรับส่วนแรกได้นำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณใหม่ 5 แบบ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันได้ 2 คลาสคือ FPT+MP FPT+MLT FPT+PCP FPT+SCS และ FPT+HFF โดยพารามิเตอร์ QoS metric (γ) ถูกกำหนดขึ้นเพื่อแสดงถึงปริมาณความแตกต่างของการให้บริการระหว่างผู้ใช้ที่มีความสำคัญต่างกัน โดยมีเป้าหมายคือเพื่อค้นหาเทคนิคการจองช่องสัญญาณหนึ่งที่ทำให้ค่า γ ตามที่ต้องการได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์ได้สูงสุดด้วย จากผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิค FPT+MP และเทคนิค FPT+SCS จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับส่วนที่สองได้ทำการศึกษาปัญหาภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งแบบ CFP ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ใช้บริการทั่วไป สถานการณ์การไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่ได้พิจารณาในที่นี้มี 3 สถานการณ์คือ CPP CPP+MT และ CPP+SRT ซึ่งได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบสำหรับเหตุการณ์ CPP และ CPP+SRT นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการศึกษาปัญหาเดียวกันนี้กับเทคนิคการจองแบบ FPT โดยใช้การซิมูเลชัน การไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองและจำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อน จากผลการซิมูเลชันพบว่าในระบบที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณมากกว่าหนึ่งรายจะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยได้เปรียบไม่ว่าจะใช้วิธีการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองใดๆ ก็ตาม

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ..... นรรรัตน์ วัฒนมงคล
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4971816421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MAC Protocol / Channel Reservation Protocol / Quality of Service / Different Priority Scheme / Wireless Communications

NORRARAT WATTANAMONGKHOL : CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR TWO-CLASS TRAFFIC FOR MAC PROTOCOLS WITH DIFFERENT PRIORITIES.
 THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D.,
 THESIS COADVISOR : PONGSATORN SEDTHEETORN. Ph.D., 115 pp.

247006

This thesis considers the problem of channel reservation techniques for contention-based MAC protocols in wireless communication networks. Two important issues are addressed, i.e., prioritization mechanisms and misbehaviors. In the first part of this thesis, five new channel reservation techniques, designed to support two-class services, are proposed, namely FPT+MP, FPT+MLT, FPT+PCP, FPT+SCS, and FPT+HFF. QoS metric (γ) is defined to illustrate the deficit of different priorities. To achieve the goal, the thesis finds a channel reservation technique that can satisfy the level of QoS requirement, i.e., γ while maximizing the bandwidth utilization. Numerical results show that the combined technique of FPT+MP and FPT+SCS is the most effective.

In the second part, the problem of misbehaviors on an existing contention reservation protocol, known as CFP, is investigated. The misbehaviors cause some impacts on the system performance, especially to those well-behaved users. Three different misbehaving scenarios, referred to as CPP, CPP+MT and CPP+SRT, are examined. Accordingly, the mathematical formulations for CPP and CPP+SRT scenarios are derived in closed forms. Moreover, the problem of misbehaviors for the FPT is investigated by simulation. Misbehaving can change permission probability and shifted number of reservation slots. The simulation results show that in the system with more than one misbehaved user, no users gain any advantage regardless of misbehaving techniques being employed.

Department..... Electrical Engineering.....Student's signature.....*Norrarat*
 Field of study..... Electrical Engineering.....Advisor's signature.....*Nor 21*
 Academic year.....2010.....Co-advisor's signature.....*m 101.*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถทั้งหลาย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุดิ ผศ.ดร.พินิจ กำหอม และ ผศ.ดร.พสุ แก้วปลั่ง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะต่างๆ มากมายเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. พงศธร เศรษฐธีร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ มากมายซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์ ดร.พิสิทธิ์ วณิชนนท์ และ ดร.ศิวรักษ์ ศิวโมกษธรรม ซึ่งเป็นศิษย์เก่าที่จบจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ให้ข้อเสนอแนะที่สำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาทักษะด้านการเขียนบทความทางวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งรวมไปถึงนักศึกษาต่างชาติชาวอินโดนีเซียซึ่งอยู่กลุ่มวิจัยเดียวกันคือ Ms. Annur Robithoh ขอขอบคุณสมาชิกของห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนทางการศึกษา รวมถึงกำลังใจและความเข้าใจที่มีต่อข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ.....	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	8
1.6เค้าโครงวิทยานิพนธ์.....	8
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน.....	10
2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	10
2.2 คุณภาพของการให้บริการ.....	12
2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	14
2.4 กลไกการจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง ประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน.....	15
2.5 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับ ผู้ใช้บริการที่ถูกนำเสนอในอดีต.....	24
2.6 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	25
บทที่ 3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ	26
3.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique)	27
3.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ.....	30
3.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability).....	31
3.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token).....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period).....	36
3.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot).....	37
3.2.5 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)	40
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ.....	42
4.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT.....	43
4.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการ 2 คลาส.....	47
4.2.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP.....	48
4.2.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT.....	51
4.2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP.....	53
4.2.4 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS.....	56
4.2.5 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF.....	59
4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ.....	60
บทที่ 5 สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ.....	63
5.1 ที่มาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา.....	63
5.2 สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP.....	64
5.3 กลไกการทำงานของเทคนิคที่นำเสนอและการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์.....	66
5.3.1 สถานการณ์แบบ CPP (Changed Permission Probability).....	67
5.3.2 สถานการณ์แบบ CPP+MT (Changed Permission Probability + Multi-Token).....	69
5.3.3 สถานการณ์แบบ CPP+SRT (Changed Permission Probability + Shifted Reservation Time).....	72
5.4 สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณสำหรับ	

เทคนิคการจองแบบ FPT.....	75
5.4.1 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตการจอง.....	76
5.4.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตการจองและจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อน.....	76
บทที่ 6 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับ สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ.....	77
6.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎ การจองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP.....	78
6.1.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP	78
6.1.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP+MT.....	81
6.1.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP+SRT.....	85
6.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎ การจองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT.....	88
6.2.1 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตการจอง.....	89
6.2.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตการจองและจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อน.....	92
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	97
7.1 บทสรุป.....	97
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สารบัญภาพ

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
1.1	เครือข่ายของระบบสื่อสารไร้สาย.....	3
2.1	ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง.....	11
2.2	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณประเภทที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันที่มี พื้นฐานการจองแบบ slotted-ALOHA.....	16
2.3	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่ม...	18
2.4	ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล PRMA.....	20
2.5	ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล DRMA.....	21
2.6	โครงสร้างเฟรมของ ALOHA Reservation.....	22
2.7	การทำงานของโพรโทคอล ALOHA Reservation.....	23
2.8	โครงสร้างเฟรมของ D-TDMA.....	24
3.1	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT.....	28
3.2	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP.....	32
3.3	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MLT.....	34
3.4	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP.....	37
3.5	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SRS.....	38
3.6	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+HFF.....	40
4.1	การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์และการซิมูเลชัน: ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) ของเทคนิค FPT.....	44
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและค่าความน่าจะเป็นการ อนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง (p) เมื่อสล็อตการจองมีจำนวน $N=16$ สล็อต.....	45
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 10 20 30 40 และ 50 ราย.....	46
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 60 70 80 90 และ 100 ราย.....	46
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (p_2) ของ เทคนิค FPT+MP.....	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	49
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	50
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	50
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนโหนดของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	51
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนโหนดของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	52
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนโหนดของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	52
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนโหนดของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	53
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสล็อตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	54
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสล็อตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	54
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนสล็อตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	55
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนสล็อตการจอบของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	55
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสล็อตการจอบที่ถูกลื่อน (N_s).....	57
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสล็อตการจอบที่ถูกลื่อน (N_s).....	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อน (N_s).....	58
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และจำนวนสล็อตการจองที่เลื่อน (N_s)..	58
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1	59
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1).....	60
4.23	เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมด.....	62
5.1	โครงสร้างเฟรมและการทำงานของระบบที่นำเสนอ.....	65
5.2	กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค CFP.....	65
5.3	กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP.....	68
5.4	กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT.....	70
5.5	กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT.....	73
6.1	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP ที่มีสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$ เมื่อ $N = 4, 8$ และ 64	79
6.2	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ.....	81
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของความสำเร็จและความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT เมื่อ $M_1:M_2 = 7:1$	83
6.4	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ สำหรับ $N = 8$ และ 64	84
6.5	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT ที่มีเวลาประวิงเป็น $N/4, N/2$ และ $3N/4$ และสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$	86
6.6	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการสำหรับ $N_s = N/2$ โดยที่ $N = 8$ และ 64	88
6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองและจำนวนรอบที่ใช้ทดสอบ (Number of iterations) สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT	89
6.8	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของเทคนิคการจองแบบ FPT มีสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$ เมื่อ $N = 4, 8$ และ 64	90
6.9	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของเทคนิคการ	

	จองแบบ FPT ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ.....	92
6.10	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นและจำนวน สล๊อตการจองที่ถูกเลื่อน เมื่อ $N_s = N/4$ $N/2$ และ $3N/4$ และสัดส่วนของจำนวน ผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$	94
6.11	สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นและการเลื่อน เวลาในการเข้าจองเมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อ $N_s = N/2$ โดยที่ $N = 8$ และ 64	96
7.1	ความสัมพันธ์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งหมดที่ได้นำเสนอ.....	97