

เทคนิคการจ้องช่องสัญญาณที่มีทราฟฟิกสองกลุ่มสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีคุณภาพการ
ให้บริการที่แตกต่างกัน



นายบรรณรัตน์ วัฒนมงคล

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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



Mr. Norrarat Wattanamongkhol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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

เทคนิคการจ้องช่องสัญญาณที่มีกราฟฟิกสองกลุ่มสำหรับ
โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีคุณภาพการให้
บริการที่แตกต่างกัน

โดย

นายนรรัตน์ วัฒนมังคล

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิริกุลกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


ดร. พงศธร เศรษฐธีร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

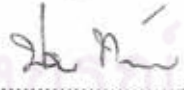
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิริกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.พงศธร เศรษฐธีร)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทิมพุมิ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินิจ กำหมอม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

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

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 ซึ่งได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบสำหรับเหตุการณ์ CPP และ CPP+SRT นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการศึกษาปัญหาเดียวกันนี้กับเทคนิคการจองแบบ FPT โดยใช้การซิมูเลชัน การไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองและจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อน จากผลการซิมูเลชันพบว่าในระบบที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณมากกว่าหนึ่งรายจะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยได้เปรียบไม่ว่าจะใช้วิธีการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองใดๆ ก็ตาม

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต..... นรรรัตน์ วัฒนมนงค
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.

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..... *N. Lunchakorn*
Academic year.....2010.....Co-advisor's signature..... *M. Sedtheetorn*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถทั้งหลาย

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

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ลัญจกร วุฒิสถิตกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.พงศธร เศรษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ มากมาย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์ ดร.พิสิทธิ์ วนิชชนันท์ และดร.ศิวรักษ์ ศิวโมกษธรรม ซึ่งเป็นศิษย์เก่าที่จบจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ให้ข้อเสนอแนะที่สำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาทักษะด้านการเขียนบทความทางวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งรวมไปถึงนักศึกษาต่างชาติชาวอินโดนีเซียซึ่งอยู่กลุ่มวิจัยเดียวกันคือ Ms. Annur Robithoh ขอขอบคุณสมาชิกของห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนทางการศึกษา รวมถึงกำลังใจและความเข้าใจที่มีต่อข้าพเจ้าเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 ผู้ให้บริการที่ถูกรักษาในอดีต.....	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 แพ็กเก็ตเกิดการจอง.....	76
5.4.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตเกิดการจองและจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อน.....	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 แพ็กเก็ตเกิดการจอง.....	89
6.2.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่ง แพ็กเก็ตเกิดการจองและจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อน.....	92
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	97
7.1 บทสรุป.....	97
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก (Appendix).....	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สารบัญภาพ

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
1.1	เครือข่ายของระบบสื่อสารไร้สาย.....	3
2.1	ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง.....	11
2.2	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณประเภทที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันที่มีพื้นฐานการจองแบบ 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: ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) ของเทคนิค FPT.....	44
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง (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 และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (p_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	49
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP.....	50
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (ρ_2) ของเทคนิค FPT+MP	50
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนโทเค้นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	51
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนโทเค้นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	52
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนโทเค้นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	52
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนโทเค้นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2).....	53
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสลิตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	54
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสลิตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	54
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนสลิตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1).....	55
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนสลิตการจองของผู้บริการคลาส 1 (N_1).....	55
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อน (N_s).....	57
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อน (N_s).....	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	ภาพประกอบ	หน้า
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อน (N_s).....	58
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนสล็อตการจองที่เลื่อน (N_s)..	58
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1	59
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matric (γ) และจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1).....	60
4.23	เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมด.....	62
5.1	โครงสร้างเฟรมและการทำงานของระบบที่นำเสนอ.....	65
5.2	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณของเทคนิค CFP.....	65
5.3	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP.....	68
5.4	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT.....	70
5.5	กลไกการเข้าของช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ 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	

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



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

บทนำจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ และเค้าโครงของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

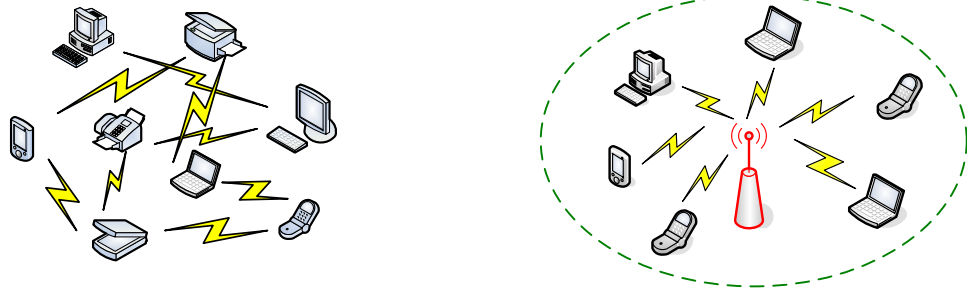
ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ซึ่งทำให้เราสามารถติดต่อกับบุคคลอื่นที่อยู่ห่างไกลกันในรูปแบบต่างๆ ได้ ความก้าวหน้าของระบบสื่อสารโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุคสังคมเครือข่ายข่าวสาร ชีวิตความเป็นอยู่จึงมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลข่าวสารอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การสื่อสารแบบไร้สาย (wireless communication) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลที่มีความสะดวก รวดเร็วโดยใช้การส่งผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) หรือคลื่นอินฟราเรด (infrared) ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารผ่านอากาศทำให้เราสามารถติดต่อถึงกันได้ทั่วโลกและทุก ๆ สถานที่ที่สัญญาณการเชื่อมต่อครอบคลุมไปถึง ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการในระบบสื่อสารไร้สายมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันนี้ เช่น General Packet Radio Service (GPRS) Global Positioning System (GPS) Short Message Service (SMS) Multimedia Messaging Service (MMS) Blackberry i-phone 4 รวมถึงการให้บริการในรูปแบบอื่นๆ ที่ให้ความบันเทิงในหลากหลายรูปแบบผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ดังนั้นเพื่อให้สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้ผู้ประกอบการจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้อย่างรวดเร็ว มีความหลากหลายของการให้บริการ มีเสถียรภาพในการใช้งาน ตลอดจนสามารถรองรับคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกันให้อยู่ในระดับที่ผู้ใช้บริการเกิดความพึงพอใจ (Quality of Service: QoS) อย่างไรก็ตามสิ่งที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาขีดความสามารถของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายคือ ข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรช่องสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่ไม่สามารถจัดสรรให้ผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมากได้ทุกรายในเวลาเดียวกัน ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้คือการนำโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางหรือ Medium Access Control (MAC) มาเพื่อใช้ทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้บริการสูงสุด

ลักษณะเครือข่ายของระบบสื่อสารไร้สายถูกออกแบบมาเพื่อการให้บริการที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกตามลักษณะการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการได้เป็น 2 ลักษณะ [1,2] คือ

1. ระบบกระจายศูนย์ (Distributed System) เป็นระบบที่ประกอบด้วยสถานีฐาน (base station) หรือโฮสต์คอมพิวเตอร์จำนวนหนึ่งที่มีขีดความสามารถในการประมวลผลได้ด้วยตัวเองซึ่งกระจายอยู่ในสถานที่ต่างกันและมีการทำงานที่เป็นอิสระจากสถานีฐานอื่นๆ ดังนั้นผู้บริการรายหนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้บริการรายอื่น ๆ ภายในพื้นที่ให้บริการเดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดต่อผ่านทางสถานีฐานซึ่งถือเป็นจุดเด่นของระบบนี้ โดยหากมีผู้บริการบางรายหยุดทำงานผู้บริการรายอื่นที่เหลืออยู่ก็ยังคงสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้ สถานีผู้บริการในระบบจะติดต่อสื่อสารกันในลักษณะการกระจายโดยใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุหรือสัญญาณอินฟราเรด เครือข่ายของระบบกระจายศูนย์จะทำงานในโหมด Time Division Duplex (TDD) ดังแสดงในรูปที่ 1.1ก อย่างไรก็ตามเครือข่ายลักษณะนี้จะไม่สามารถทำงานในโหมด Frequency Division Duplex (FDD) ได้เนื่องจากสถานีผู้บริการแต่ละรายจะใช้คลื่นความถี่เดียวกันในการส่งสัญญาณซึ่งจะเป็นการรบกวนกันเองทำให้ไม่สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้

2. ระบบรวมศูนย์ (Centralized System) เป็นระบบที่รวบรวมการประมวลผลและมีการเก็บรักษาข้อมูลทั้งหมดไว้ที่ศูนย์กลางการเชื่อมต่อของระบบซึ่งมีความปลอดภัยของข้อมูลสูงสำหรับพื้นที่ให้บริการหนึ่งจะประกอบไปด้วยสถานีฐาน 1 สถานี และสถานีผู้บริการอีกจำนวนหนึ่ง โดยสถานีฐานจะทำหน้าที่ควบคุมและจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้บริการตามการร้องขอ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อกับผู้บริการรายอื่น ๆ ที่อยู่นอกพื้นที่ให้บริการ เนื่องจากสถานีผู้บริการจะต้องติดต่อโดยตรงผ่านสถานีฐานเท่านั้น เครือข่ายลักษณะนี้สามารถทำงานได้ทั้งในโหมด Time Division Duplex (TDD) และโหมด Frequency Division Duplex (FDD) ดังแสดงในรูปที่ 1.1ข

เนื่องจากในพื้นที่ให้บริการหนึ่งที่มีผู้บริการอยู่เป็นจำนวนมากมักเกิดเหตุการณ์ที่มีผู้ต้องการใช้บริการในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ช่องสัญญาณสื่อสารมีปริมาณทรัพยากรแบนด์วิดท์สำหรับใช้งานจำกัด ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรทรัพยากรเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและสามารถให้บริการกับผู้ใช้งานตามคุณภาพของบริการที่ต้องการได้ ซึ่งแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการออกแบบหรือการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับรูปแบบของบริการที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นการออกแบบหรือการพัฒนาโพรโทคอลจึงถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในระบบการสื่อสารไร้สาย



(ก) ระบบกระจายศูนย์ (Distributed System) (ข) ระบบรวมศูนย์ (Centralized System)

รูปที่ 1.1 เครือข่ายของระบบสื่อสารไร้สาย

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา หลังจากที่ Dr. Norman Abramson [3] และคณะทำงานของมหาวิทยาลัยฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาและนำเสนอวิธีการจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณสื่อสารขึ้นมาใหม่เรียกว่า โพรโทคอลอะโลฮา (ALOHA) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่มีการควบคุมจากศูนย์กลาง ในเวลาต่อมาได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Communication) โพรโทคอลนี้ช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่ผู้ใช้บริการไม่มีการนัดหมายกันล่วงหน้า และทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสื่อสารที่ใช้งานร่วมกัน โดยผู้ใช้บริการที่มีข้อมูลพร้อมที่จะส่งจะสามารถทำการส่งข้อมูลเหล่านั้นได้ทันที โดยในช่วงแรกนั้นประสิทธิภาพที่ได้รับยังอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งนับจากนั้นเป็นต้นมาโพรโทคอลสำหรับระบบสื่อสารไร้สายได้ถูกออกแบบและพัฒนาอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ได้นำเสนอในยุคแรก ๆ นั้นจะอาศัยพื้นฐานการจัดสรรแบนด์วิดท์โดยการกำหนดช่องสัญญาณให้ผู้ใช้บริการโดยไม่ต้องมีการแข่งขันกัน (Fixed assignment schemes) [4,5] เพื่อใช้ส่งข้อมูลข่าวสารผ่านทางความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ผ่านทางเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) หรือใช้การเข้ารหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลของตนเองโดยเฉพาะดังนั้นคุณภาพของการบริการที่ผู้ใช้แต่ละรายได้รับจึงมีค่าสูง แต่มีข้อเสียคือเมื่อผู้ใช้บริการรายหนึ่งไม่มีข้อมูลที่จะทำการส่งจะทำให้แบนด์วิดท์ที่ถูกจองไว้ไม่ได้ใช้ประโยชน์เนื่องจากผู้ใช้บริการรายอื่นไม่สามารถเข้าใช้งานได้ กล่าวคือระบบจะมีสมรรถนะต่ำเมื่อการเข้ามาของผู้ใช้บริการมีลักษณะต่อเนื่อง แต่ในทางตรงกันข้ามโพรโทคอลประเภทที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายต้องทำการแข่งขันกันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยการสุ่ม (Random access schemes) เช่น ALOHA [3-5] slotted-ALOHA [3-5] และ CSMA (Carrier Sense Multiple Access) [2,6] ผู้ใช้บริการแต่ละรายที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการแข่งขันกันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงทำให้ระบบดังกล่าวมีความยืดหยุ่นในการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นได้

แต่หากในขณะเวลาหนึ่ง ๆ มีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปทำการส่งข้อมูลออกมาในเวลาใกล้เคียงกันจะทำให้ข้อมูลที่ถูส่งไปนั้นเกิดการชนกันขึ้นส่งผลให้ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ ดังนั้นช่องสัญญาณจึงไม่ถูกใช้งานจึงทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ

ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่รวมเอาข้อดีของโพรโทคอลทั้งประเภทที่ไม่มีการแข่งขันและประเภทที่มีการแข่งขันเข้าไว้ด้วยกัน เช่น slotted ALOHA Reservation [7,8] PRMA [9,10] D-TDMA [11,12] DRMA [13] และโพรโทคอลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง [14]–[20] เป็นต้น โดยก่อนที่ผู้ใช้บริการจะสามารถทำการส่งข้อมูลได้นั้น ผู้ใช้บริการจะต้องทำการแข่งขันกันโดยการสุ่มเพื่อจองช่องสัญญาณก่อน หากผู้ใช้บริการรายใดสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ สถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการรายนั้นเพื่อใช้ส่งข้อมูลต่อไป เหตุผลที่ต้องทำการจองช่องสัญญาณก่อนก็เนื่องมาจาก เมื่อผู้ใช้บริการมีข้อมูลพร้อมที่จะส่งแล้วทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกไปทันที หากเกิดการชนขึ้นในระหว่างการส่งข้อมูล ผู้ใช้ปลายทางจะไม่ได้รับข้อมูลนั้นเลยซึ่งทำให้ต้องสูญเสียเวลาอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งมีขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดต่ำลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ทำการจองช่องสัญญาณก่อน ซึ่งหากเกิดการชนขึ้นจะสูญเสียเวลาเฉพาะส่วนที่ทำการจองเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วส่วนที่ใช้สำหรับทำการจองมักมีขนาดเล็กกว่าส่วนที่กำหนดให้ใช้ส่งข้อมูล ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรช่องสัญญาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางโดยการสุ่มนั้นจะต้องเผชิญกับปัญหาการชนเนื่องจากเป็นธรรมชาติของการสุ่ม และปัญหาการขาดเสถียรภาพเนื่องจากการเข้ามาใช้งานของผู้ใช้บริการที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic)

สำหรับประเด็นหนึ่งที่นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจและมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานอย่างมากคือเรื่องของคุณภาพของการให้บริการหรือ Quality of Service (QoS) [21–23] ซึ่งเป็นการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในระดับการประยุกต์ใช้งาน โดยการทำงานของเทคโนโลยี QoS นั้นจะเป็นการจัดแบ่งประเภทของข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่และมีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในแต่ละประเภทซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถที่จะควบคุมแบนด์วิดท์ในระบบเครือข่ายให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดตามรูปแบบที่ต้องการ ในปัจจุบันการให้บริการบางประเภทที่เน้นในเรื่องคุณภาพในการติดต่อสื่อสารสำหรับการส่งข้อมูลเสียง (voice) ข้อมูลวิดีโอ (video) เช่น การใช้งานระบบ VoIP (Voice over IP) การใช้งานวิดีโอคอนเฟอเรนซ์ เกมส์ออนไลน์ และ IP-TV เป็นต้น ซึ่งการให้บริการต่าง ๆ เหล่านี้ต้องการเน้นที่คุณภาพของบริการเพื่อให้ผู้ใช้บริการเกิดความพึงพอใจ มีนักวิจัยจำนวนมาก [24–30] ได้นำเสนอวิธีการกำหนดลำดับความสำคัญที่แตกต่างกันในการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการแต่ละประเภท โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญสูงกว่าจะได้รับโอกาสในการเข้าจองสูงกว่าผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำกว่า ยิ่งไปกว่านั้นในการออก

แบบการให้บริการยังมีความต้องการการรับประกันคุณภาพของการให้บริการที่สามารถควบคุมค่า QoS ที่ต้องการตามชนิดของบริการที่มีความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน

นอกจากนั้นแล้วยังมีนักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่มีความน่าสนใจเกี่ยวกับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณในชั้นควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ [31-36] ซึ่งรวมไปถึงวิธีการตรวจจับและวิธีการลงโทษผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง [37-54] โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองอาจจะไปเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเข้าถึงช่องสัญญาณเพื่อให้ตนเองได้รับโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมากขึ้นอย่างไม่ยุติธรรม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผู้ใช้บริการที่ทำตามกลไกการจองปกติได้รับผลกระทบในทางลบ รวมไปถึงสมรรถนะโดยรวมของระบบ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาปัญหาการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางด้วยวิธีการแข่งขันในเครือข่ายสื่อสารไร้สาย โดยได้นำเสนอในประเด็นที่มีความสำคัญ 2 ประเด็น โดยประเด็นแรกนำเสนอเทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันได้ 2 คลาส และสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทดสอบสมรรถนะของระบบ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอจะพิจารณาจากจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองและ QoS metric (γ) ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของระดับการให้บริการระหว่างผู้ใช้บริการทั้งสองคลาส และอีกประเด็นหนึ่งได้นำเสนอการพิจารณาสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP โดยกล่าวถึงเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการหนึ่งรายหรือมากกว่านั้นไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ ซึ่งได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบ อีกทั้งยังได้พิจารณาปัญหาเดียวกันนี้กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับทราฟฟิกที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันได้ 2 ระดับเพื่อสามารถให้บริการตามคุณภาพของบริการที่ต้องการได้ (QoS requirement) ตลอดจนทำการสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทดสอบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้ออกแบบ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบจะพิจารณาจากจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ย (Average number of successes) ในการจองช่องสัญญาณและค่าที่ใช้วัดคุณภาพของการให้บริการคือ QoS metric (γ)

- พิจารณาสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาแบบ CFP โดยอ้างอิงถึงสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการหนึ่งรายหรือมากกว่านั้นไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาซึ่งได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบในแต่ละสถานการณ์ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบคือความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการจอง (Probabilities of success) ของผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ ผู้ใช้บริการทั่วไป และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง อีกทั้งยังได้พิจารณาสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาแบบ FPT ซึ่งได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบโดยใช้การซิมูเลชัน

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีเป้าหมายที่จะนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาในระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันได้ 2 คลาสเพื่อสามารถให้บริการตามคุณภาพของบริการที่ต้องการได้ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบคือจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาและพารามิเตอร์ที่ใช้วัดคุณภาพของการให้บริการคือ QoS metric (γ) ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาสของคลาส 1 ต่อคลาส 2 ทั้งนี้ได้กำหนดให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้บริการคลาส 2

นอกจากนั้นแล้วยังมีเป้าหมายที่จะนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบภายใต้สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองของเทคนิคการจองช่องสัญญาแบบ CFP โดยอ้างอิงถึงสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการหนึ่งรายหรือมากกว่านั้นไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญา อีกทั้งยังได้พิจารณาสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาแบบ FPT เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญา

นอกจากสมมติฐานในการออกแบบระบบแล้วผู้วิจัยยังได้กำหนดขอบเขตและสภาพแวดล้อมของเครือข่ายการสื่อสารไร้สายไว้ดังนี้

- เครือข่ายการสื่อสารไร้สายที่พิจารณาเป็นแบบควบคุมจากศูนย์กลาง โดยในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วยสถานีฐาน 1 สถานี และสถานีผู้ใช้บริการอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการทุกรายภายในพื้นที่ให้บริการจะติดต่อโดยตรงผ่านสถานีฐานที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการเดียวกัน

2. สถานีฐานกับสถานีผู้ใช้บริการจะติดต่อสื่อสารถึงกันผ่านทางช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลงโดยใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณที่แตกต่างกันตามหลักการส่งสัญญาณแบบ FDD และโครงสร้างของช่องสัญญาณ (เฟรม) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนการจองช่องสัญญาณและส่วนการส่งข้อมูลข่าวสารซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการทำงานเฉพาะในส่วนการจองช่องสัญญาณเท่านั้น
3. กำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวในแต่ละเฟรมเท่านั้น
4. กำหนดให้แบบจำลองของช่องสัญญาณที่พิจารณาเป็นช่องสัญญาณแบบอุดมคติ กล่าวคือไม่เกิดความผิดพลาดในระหว่างการรับส่งข้อมูล รวมทั้งละเลยผลของเฟดดิ้ง และผลของปรากฏการณ์รั้งจับ (capture effect)
5. สถานีฐานสามารถทราบจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูล และจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถทำการจองได้ ในตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเฟรม สมมติให้จำนวนผู้ใช้บริการภายในเครือข่ายมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงผลของการส่งต่อระหว่างเซลล์ (ไม่เกิดการแฮนด์โอเวอร์)
6. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดสมรรถนะของระบบคือ จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ย (Average number of successes) และพารามิเตอร์ที่ใช้วัดคุณภาพของการให้บริการบริการคือ QoS metric (γ) สำหรับประเด็นในการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการ และความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการจอง (Probabilities of success) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบสำหรับประเด็นที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ และโพรโทคอลที่รวมเอาข้อดีจากโพรโทคอลทั้งสองเพื่อให้ทราบถึงข้อดีและข้อด้อยต่าง ๆ ของโพรโทคอลแต่ละประเภท
2. ศึกษาการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบผสมซึ่งได้มีผู้นำเสนอไว้ในอดีต พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของเทคนิคดังกล่าวเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มและผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของระบบ
3. พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน 2 คลาส ตลอดจนสร้างสมการคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอทั้งหมด

4. ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และนำเสนอสมการคณิตศาสตร์ในรูปแบบปิด (closed form) เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบ อีกทั้งยังได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาเดียวกันนี้กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT
5. เขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเทคนิคดังกล่าว
6. วิเคราะห์และประเมินผล โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมด
7. สรุป วิจาร์ณ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ทราบถึงกลไกการทำงานและสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้
2. สามารถออกแบบและพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการในการเข้าจองช่องสัญญาณ อีกทั้งยังสามารถควบคุมคุณภาพของการบริการตามที่ต้องการได้
3. สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบปิด (closed form) ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และได้ทราบถึงผลกระทบของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง อีกทั้งยังทราบถึงผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT
4. สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอทั้งหมด

1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 7 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ ประโยชน์ที่ได้รับ และคำโครงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน กล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีอยู่ในปัจจุบัน คุณภาพของการให้บริการ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง กลไกการจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทที่มีทั้ง

การแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน เทคนิคการจูงช่องสัญญาที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่ถูกลำเสนอในอดีต และเทคนิคการจูงที่ถูกลำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 เทคนิคการจูงช่องสัญญาที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้คือ เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT และเทคนิคการจูงช่องสัญญาที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ มีทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ 1). เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+MP 2). เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+MLT 3). เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+PCP 4. เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+SCS และ 5). เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+HFF

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT และเทคนิคการจูงช่องสัญญาที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาสคือ 1). ผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+MP 2). ผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+MLT 3). ผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+PCP 4). ผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+SCS และ 5). ผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT+HFF

บทที่ 5 เทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ CFP ภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงช่องสัญญา โดยจะกล่าวถึงที่มาของปัญหาและความสำคัญของปัญหาสำหรับการทำงานของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ CFP จากนั้นจะอธิบายถึงกลไกการทำงานและการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปิด (closed form) สำหรับเทคนิคการจูงแบบ CFP เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์คือ CPP CPP+MT และ CPP+SRT อีกทั้งยังได้ศึกษาปัญหาเดียวกันนี้กับเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT

บทที่ 6 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบผลของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ CFP ภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงช่องสัญญาซึ่งประกอบด้วย 1). ผลของสถานการณ์แบบ CPP 2). ผลของสถานการณ์แบบ CPP+MT และ 3). ผลของสถานการณ์แบบ CPP+SRT รวมถึงผลการทดสอบของเทคนิคการจูงช่องสัญญาแบบ FPT สำหรับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็น และสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นร่วมกับการเลื่อนจำนวนสล๊อตในการเข้าจูงช่องสัญญา

บทที่ 7 บทสรุป กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

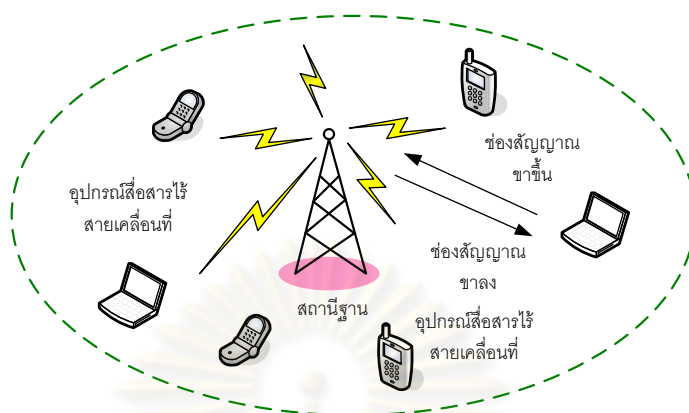
บทนี้จะนำเสนอความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดยจะกล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง คุณภาพของการให้บริการ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง กลไกการของช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน เทคนิคการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการในการเข้าของช่องสัญญาณที่ถูกนำเสนอในอดีต และสุดท้ายจะกล่าวถึงเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง หรือ Medium Access Control Protocol (MAC Protocol) มีหน้าที่ควบคุมและจัดสรรการเข้าถึงช่องสัญญาณเพื่อใช้ส่งข้อมูลที่มีการร้องขอจากผู้ให้บริการหลายราย โดยทำงานอยู่ในชั้น MAC ซึ่งเป็นชั้นย่อยที่อยู่ด้านล่าง (ด้านบนเป็น Logical Link Control: LLC) ในส่วนของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data link layer) ตามมาตรฐานการจัดระบบการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างระบบเปิด (Open Systems Interconnection: OSI) ระบบนี้จะแบ่งการทำงานของเครือข่ายออกเป็น 7 ชั้น ซึ่งเป็นต้นแบบในการสร้างเครือข่ายเพื่อจัดแบ่งการทำงานพื้นฐานของเครือข่ายออกเป็งานย่อยทำให้การออกแบบและใช้งานเครือข่าย รวมทั้งการติดต่อเชื่อมโยงเป็นไปด้วยความสะดวกโดยมีวิธีการปฏิบัติเป็นแบบเดียวกัน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเครือข่ายไร้สายแบบควบคุมจากศูนย์กลางหรือระบบรวมศูนย์ (centralize system) เนื่องจากเครือข่ายในลักษณะนี้ สถานีฐานสามารถทำการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้บริการได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งไม่เกิดปัญหาด้านการชิงโครไนซ์ของช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในเวลาเดียวกันด้วยโมดการทำงานแบบ Frequency Division Duplex (FDD) ดังนั้นการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้บริการจึงมีความสะดวกรวดเร็ว สำหรับพื้นที่ให้บริการหนึ่งๆ จะประกอบด้วยสถานีฐาน 1 สถานี (base station) สถานีผู้ใช้บริการเคลื่อนที่อีกจำนวนหนึ่ง (mobile stations) และช่องสัญญาณสื่อสาร (channel) ดังรูปที่ 2.1 โดยสถานีฐานจะติดต่อสื่อสารกับผู้ให้บริการผ่านทางช่องสัญญาณซึ่งถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณขาขึ้น (downlink channel) และช่องสัญญาณขาลง (uplink channel) สถานีฐานจะใช้ช่องสัญญาณขาลงเพื่อควบคุมและจัดสรรช่องสัญญาณโดยทำการ

กระจายข้อมูลข่าวสาร (broadcast control traffic) ไปยังผู้ใช้บริการทั้งหมดในพื้นที่ ในขณะที่ผู้ใช้บริการจะส่งข่าวสารของตนไปยังสถานีฐานผ่านทางช่องสัญญาณขาขึ้น [4,5]



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง

ประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่มีการนำเสนอมา นั้นสามารถจำแนกออกตามลักษณะการเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ 3 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

2.1.1 โพรโทคอลที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

โพรโทคอลที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-free) ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยที่สถานีฐานจัดสรรมาให้ล่วงหน้าแน่นอนแล้วโดยไม่ต้องทำการแข่งขันอีก (fixed assignment method) [4,5] โพรโทคอลประเภทนี้ได้แก่ โพรโทคอล Frequency Division Multiple Access (FDMA) โพรโทคอล Time Division Multiple Access (TDMA) และโพรโทคอล Code Division Multiple Access (CDMA) ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือระบบจะมีเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูลสูงเพราะจะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลเนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีช่องสัญญาณสื่อสารเป็นของตนเอง แต่มีข้อเสียคือหากมีผู้ใช้บริการรายใดไม่ได้ใช้งานช่องสัญญาณเพื่อส่งข้อมูล จะทำให้สูญเสียแบนด์วิดท์ในส่วนนั้นไปโดยไม่เกิดประโยชน์ เนื่องจากผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้

2.1.2 โพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

โพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-based) ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยวิธีการสุ่ม (random access method) ผู้ใช้บริการรายใดที่มีข้อมูลที่ต้องการส่งจะต้องทำการแข่งขันกับผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ตัวอย่างของโพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ เช่น ALOHA [4,5] Slotted-ALOHA [4,5] และ Carrier Sense

Multiple Access (CSMA) [2,6] เป็นต้น ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือ สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมากและการเข้ามาของผู้ใช้บริการมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม โพรโทคอลประเภทนี้ก็มีข้อเสียคือ ในสภาวะที่มีผู้ใช้บริการจำนวนมากเกินไประบบจะขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากธรรมชาติของการสุ่มที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงทำให้สมรรถนะของระบบลดลงอย่างมาก นอกจากนี้แล้วยังไม่สามารถคาดเดาเวลาประวิงเนื่องจากการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ เนื่องจากโพรโทคอล ALOHA และ slotted-ALOHA ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากการป้องกันของข้อมูลซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลมีค่าต่ำ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลให้สูงขึ้นจึงกำหนดให้มีการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณในขณะนั้นก่อนทำการส่งข้อมูลออกไปซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการชน และเรียกโพรโทคอลชนิดนี้ว่า CSMA โดยถูกนำเสนอเป็น 3 กลไกที่แตกต่างกันคือ 1-persistent Non-persistent และ p-persistent

2.1.3 โพรโทคอลประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

โพรโทคอลที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-free and Contention-based) ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของโพรโทคอลจากทั้งสองกลุ่มมาทำงานร่วมกัน โดยผู้ใช้บริการแต่ละรายที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณก่อน หากผู้ใช้บริการรายใดสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ สถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้รายนั้นโดยไม่ต้องมีการแข่งขันซึ่งจะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตในระหว่างที่ทำการส่งข้อมูล อีกทั้งช่วงการจองมักมีขนาดเล็กกว่าช่วงของการส่งข้อมูลจึงส่งผลให้สมรรถนะของระบบเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้โพรโทคอลประเภทนี้ได้รับความสนใจอย่างมากโดยมีการนำไปออกแบบและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากในขั้นตอนของการจองช่องสัญญาณใช้วิธีการสุ่มจึงยังคงต้องเผชิญกับปัญหาการชนเช่นเดิม ตัวอย่างของโพรโทคอลประเภทนี้ได้แก่ slotted ALOHA-Reservation [7,8] PRMA [9,10] D-TDMA [11,12] DRMA [13] และโพรโทคอลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง [14]–[20]

2.2 คุณภาพของการให้บริการ

คุณภาพของการให้บริการหรือ Quality of Service (QoS) [21–23] เป็นการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในระดับการประยุกต์ใช้งานโดยที่การทำงานของเทคโนโลยี QoS นั้น จะเป็นการจัดแบ่งประเภทของข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ และมีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในแต่ละหมวดหมู่นั้นๆ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถที่จะควบคุมแบนด์วิดท์ในระบบเครือข่ายให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดตามรูปแบบที่ต้องการ

การออกแบบเครือข่ายสื่อสารในยุคแรกนั้นจะเน้นในการให้บริการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นหลักโดยไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพและคุณภาพของการให้บริการ แต่อาจจะเหมาะกับการให้บริการบางประเภทที่ไม่ต้องการความเร็วในการติดต่อสื่อสารซึ่งอาจจะใช้เวลาในการส่งล่าช้าไปบ้างไม่เป็นไร เช่นการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) แต่ในปัจจุบันการให้บริการบางประเภทที่เน้นในเรื่องคุณภาพในการติดต่อสื่อสารสำหรับการส่งข้อมูลเสียง (voice) ข้อมูลวิดีโอ (video) เช่น การใช้งานระบบ VoIP (Voice over IP) การใช้งานวิดีโอคอนเฟอเรนซ์ เกมส์ออนไลน์ และ IP-TV เป็นต้น ซึ่งการให้บริการต่าง ๆ เหล่านี้ต้องเน้นที่คุณภาพของบริการเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และผู้ใช้บริการเกิดความพึงพอใจ ดังนั้นในการให้บริการระบบงานดังกล่าวจึงมีการจัดการคุณภาพในการให้บริการหรือที่เรียกว่า QoS เข้ามาช่วยเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลและการยอมรับในเรื่องคุณภาพของการให้บริการต่าง ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยากแก่การกำหนดว่ามาตรฐานคุณภาพในเครือข่ายสื่อสารเป็นอย่างไร โดยในเชิงเทคนิคของ QoS สามารถนิยามได้ด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. การมีให้ใช้งานได้ (Availability) ในทางอุดมคติต้องได้ 100 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการใช้งานหรือเวลาที่เครือข่ายขัดข้องมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่มีเครือข่ายใดที่สามารถให้บริการได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ระยะเวลาที่เกิดการขัดข้องควรมีค่าน้อยมาก ๆ
2. วิสัยสามารถ (Throughput) ในประเด็นนี้จะหมายถึงการรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้ด้วยอัตราเท่าใดในหน่วยบิตต่อวินาที ค่าวิสัยสามารถนี้อาจเป็นค่าที่ผู้ใช้บริการรับประกันว่าจะต้องใช้งานได้ไม่ต่ำกว่าอัตราการส่งสัญญาณที่แจ้งไว้กับผู้ใช้บริการ เช่นเมื่อใช้สายวงจรเช่าขนาด 512 kbps แต่มีการรับประกันว่าจะใช้ได้ไม่ต่ำกว่า 256 kbps ค่า 256 นี้จึงเป็นค่าวิสัยสามารถ
3. การสูญหายของแพ็กเกต (Packet loss) เมื่อพิจารณาที่สวิตช์หรือเราเตอร์ที่ต้องรองรับแพ็กเกตไว้เป็นจำนวนมากโดยไม่สามารถให้บริการได้ทันทีจึงมีความจำเป็นต้องนำแพ็กเกตบางส่วนทิ้งไป แพ็กเกตที่สูญหายไปโดยไม่สามารถนำส่งไปยังผู้รับได้เรียกว่า "ค่าการสูญหายของแพ็กเกต" เมื่อแพ็กเกตใดหายไปก็จะต้องส่งแพ็กเกตนั้นใหม่จึงทำให้ปริมาณของแพ็กเกตที่จะต้องทำการส่งเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้อีกโอกาสที่แพ็กเกตข้อมูลจะสูญหายมีมากขึ้นตามไปด้วย
4. เวลาแลเทนซี (Latency) หมายถึงค่าเวลาที่เกิดจากการเดินทางของแพ็กเกตข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง เช่นทำการส่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งที่อยู่ห่างออกไป 200 กิโลเมตร ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 65 มิลลิวินาที ค่า 65 มิลลิวินาทีที่วัดได้เป็นค่าเวลาแลเทนซี ซึ่งค่าเวลาแลเทนซีจะขึ้นกับวิธีการและเทคโนโลยีในการประยุกต์ใช้งาน

ในเครือข่าย รวมถึงการสูญเสียเวลาจากการหน่วงในอุปกรณ์เราเตอร์และสวิตช์ด้วย เช่น การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมจะต้องเสียเวลาเพิ่มขึ้นเพราะดาวเทียมอยู่ห่างไกล

- เวลาจitter (Jitter) หมายถึงค่าการแปรของค่าเวลาลาเท็นซี เมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลถูกส่งจากต้นทางไปยังปลายทางหลาย ๆ แพ็กเก็ตต่อเนื่องกัน ปรากฏว่าการไปถึงปลายทางใช้ระยะเวลาต่างกันทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ข้อมูลบางส่วนที่ถูกส่งไปก่อนแต่อาจถึงทีหลัง หรือมีเวลาเหลือมกันทำให้ภาครับต้องทำการตรวจสอบลำดับของแพ็กเก็ตให้ถูกต้องด้วย

2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

พารามิเตอร์ที่นิยมใช้วัดสมรรถนะโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะ [1] ได้แก่

- วิสัยสามารถ (Throughput) คือ ค่าของจำนวนข้อมูลที่ทำกรส่งสำเร็จเทียบกับจำนวนข้อมูลที่ทำกรส่งทั้งหมด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วต้องการให้ได้ค่าวิสัยสามารถที่สูงที่สุด
- การประวิงเวลาการเข้าถึงช่องสัญญาณเฉลี่ย (Mean delay) คือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ไปตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการจองจนกระทั่งประสบความสำเร็จในการจอง นอกจากนั้นแล้วค่าเวลาประวิงการเข้าถึงช่องสัญญาณยังเป็นผลมาจากลักษณะการเข้ามาของทราฟฟิก ดังนั้นในการทดสอบต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทราฟฟิกที่เข้ามาให้เป็นค่าเดียวกัน โดยทั่วไปแล้วจะให้ผลตรงข้ามกับค่าวิสัยสามารถคือต้องการให้มีค่าการประวิงเวลาเข้าถึงช่องสัญญาณเฉลี่ยต่ำ ๆ
- ความยุติธรรมของการให้บริการ (Fairness) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความเท่าเทียมหรือความเสมอภาคในกระบวนการจองสำหรับผู้ให้บริการทุก ๆ ราย
- ความมีเสถียรภาพ (Stability) ระบบที่ดีต้องสามารถรักษาเสถียรภาพได้ในทุก ๆ สภาพะที่ปริมาณทราฟฟิกมีการเปลี่ยนแปลง โดยยังให้ประสิทธิภาพในระดับที่สามารถยอมรับได้
- ความทนทาน (Robustness) ต่อการจางหายของช่องสัญญาณซึ่งพารามิเตอร์ตัวนี้จะมีส่วนนำไปสู่การขาดเสถียรภาพของระบบ
- การใช้พลังงาน (Power consumption) โพรโทคอลที่ดีควรมีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุดเพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์สื่อสารได้นานขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเคลื่อนที่มักถูกออกแบบมาให้มีขนาดเล็กสามารถพกพาได้ ใช้พลังงานในการทำงานต่ำ ซึ่งรวมไปถึงประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายพลังงานด้วย

ในการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลหนึ่ง ๆ จะไม่สามารถได้ค่าสมรรถนะเหล่านี้สูงทั้งหมด เนื่องจากเป็นลักษณะของการชดเชยข้อดีข้อเสีย (Tradeoff) ที่สามารถเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ กล่าวคือเมื่อได้สมรรถนะบางอย่างสูงอาจทำให้สมรรถนะอีกอย่างลดลง เช่นหากต้องการให้

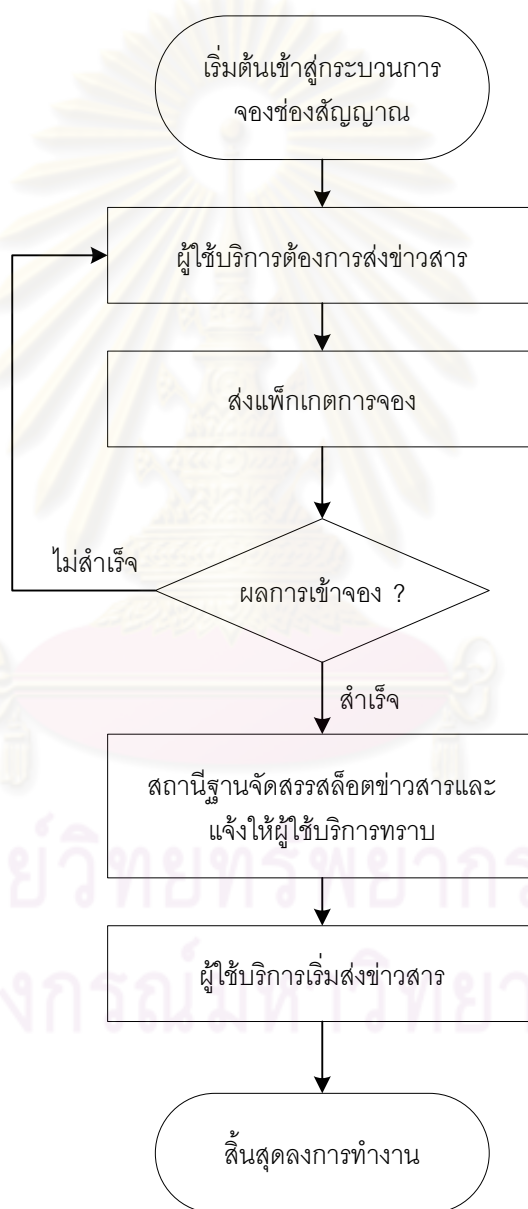
ระบบสามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมาก จะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพซึ่งส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดต่ำลง ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลต้องทราบและหาจุดเด่นของโพรโทคอลที่ตนต้องการนำเสนอโดยมีวัตถุประสงค์แตกต่างกันออกไป

2.4 กลไกการจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน

จากหัวข้อที่ 2.1 ทำให้ทราบว่าโพรโทคอลประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมีข้อดีหลายประการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสนใจที่จะพัฒนาโพรโทคอลประเภทนี้โดยมุ่งเน้นเฉพาะในส่วนที่มีการแข่งขันเพื่อทำการจองช่องสัญญาณเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วโพรโทคอลที่มีขั้นตอนการจองช่องสัญญาณก่อนการส่งข่าวสารมักจะพิจารณาลักษณะการจัดโครงสร้างของช่องสัญญาณที่ถูกแบ่งออกเป็นสล็อตย่อย ๆ เพื่อให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้โดยมีพื้นฐานมาจากโพรโทคอล slotted ALOHA ซึ่งโดยทั่วไปแล้วขนาดของสล็อตที่ใช้สำหรับทำการจองช่องสัญญาณจะมีขนาดเล็กกว่าสล็อตที่ใช้สำหรับส่งข่าวสารเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ เนื่องจากหากมีการชนกันของแพ็กเก็ตการจองขึ้นจะสูญเสียเฉพาะในส่วนการจองที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

สำหรับกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณประเภทที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันที่ใช้มีกลไกการจองพื้นฐานมาจากโพรโทคอล slotted ALOHA สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ .22 ดังนี้ เริ่มต้นจากเมื่อผู้ใช้บริการมีข่าวสารที่ต้องการส่ง ผู้ใช้บริการจะต้องรอจนกระทั่งถึงช่วงการจองหรือสล็อตที่สามารถเข้าจองได้ (available) จึงจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการจองช่องสัญญาณ โดยสถานี่ฐานจะทำหน้าที่ตรวจสอบผลการจองที่มีผู้ใช้บริการร้องขอมาแต่หากไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยเข้าจองสล็อตการจองนั้นจะอยู่ในสถานะว่างเปล่า (idle) ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง (success) ได้ก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเข้าทำการจอง แต่หากสล็อตใดมีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปทำการจองพร้อม ๆ กันจะเกิดการชนกัน (collision) ของแพ็กเก็ตการจองทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง ในกรณีที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองสถานี่ฐานจะตรวจสอบตำแหน่งของสล็อตที่ว่างอยู่เพื่อจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการรายนั้นใช้ส่งข่าวสารแล้วแจ้งตำแหน่งของสล็อตดังกล่าวให้ผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ได้ทราบด้วย หลังจากนั้นผู้ใช้บริการจะรอเวลาจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสล็อตที่ได้รับการจัดสรรจึงเริ่มทำการส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร (information packet) หากผู้ใช้บริการส่งข่าวสารไม่หมดภายในเฟรมเดียวผู้ใช้บริการอาจได้สิทธิ์ในการส่งข่าวสารต่อไปอีกในสล็อตตำแหน่งเดิมของเฟรมถัดไปจนกว่าจะส่งข่าวสารหมดซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณในลักษณะเช่นนี้มักเกิดกับการส่งทราฟฟิกเสียงซึ่งมีแพ็กเก็ตจำนวนมากและต้องการความต่อเนื่องในการส่งสัญญาณ แต่ในทางตรงกันข้ามหากเป็นทราฟฟิกข้อมูลมักจะ

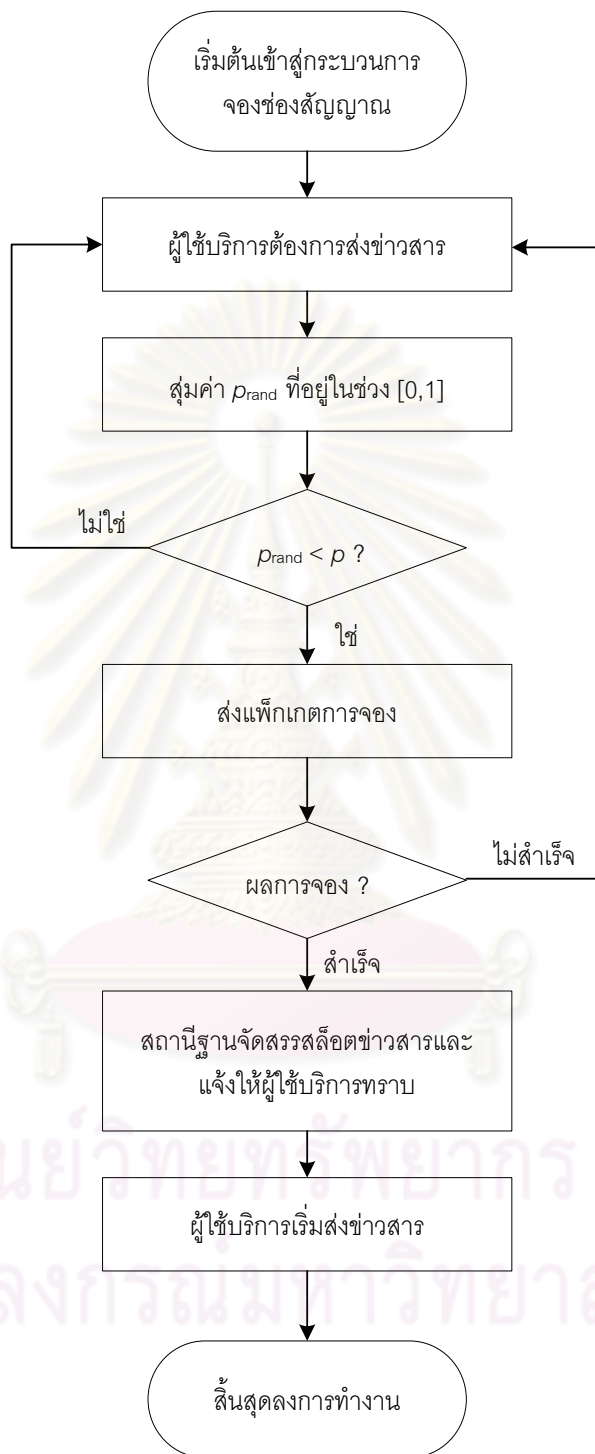
อนุญาตให้ส่งได้เพียงครั้งเดียวแล้วต้องทำการจองใหม่เพื่อส่งข่าวสารอีกครั้ง สำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จจะต้องเริ่มเข้าจองใหม่ซึ่งอาจจะสามารถเข้าจองได้ในสล็อตการจองถัดไป หรืออาจต้องเข้าจองในเฟรมถัดไป โดยขึ้นอยู่กับเครือข่ายที่กำลังพิจารณาและการทำงานของโพรโทคอลที่นำมาใช้งาน



รูปที่ 2.2 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณประเภทที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันที่มีพื้นฐานการ
จองแบบ slotted-ALOHA

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานะแวดล้อมของเครือข่ายจริงในปัจจุบัน ผู้ใช้บริการมีความต้องการใช้งานช่องสัญญาณจำนวนมากเพื่อส่งข่าวสารซึ่งหากปล่อยให้ผู้ใช้บริการเหล่านี้ทำการจองช่องสัญญาณพร้อม ๆ กัน จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจองส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดต่ำลงอย่างมาก เพื่อลดปัญหาการชนจึงได้มีการเสนอเทคนิคที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง (transmission probability) หรือค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง (permission probability) เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมากที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณในเวลาใกล้เคียงกัน โดยสถานีฐานจะเป็นผู้กำหนดค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองนี้ p (และจะแจ้งค่าความน่าจะเป็นนี้ไปยังผู้ใช้บริการทุกรายที่อยู่ภายในพื้นที่ของตนเองได้รับทราบ สำหรับขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารจะต้องสุ่มตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (p_{rand}) หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่า p ผู้ใช้บริการจะได้รับอนุญาตให้สามารถส่งแพ็กเก็ตการจองในช่องสัญญาณจองนั้นได้ แต่หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าค่า p ผู้ใช้บริการจะไม่รับการอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตการจองและจะต้องรอจนกระทั่งถึงช่องสัญญาณจองถัดไปจึงจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการจองได้อีกครั้ง (ดังแสดงในรูป 2.3) โดยหลังจากที่สามารถส่งแพ็กเก็ตการจองในช่องสัญญาณจองนั้นได้จะต้องพิจารณาต่อไปอีกว่าสามารถทำการจองได้สำเร็จหรือไม่ ในสถานะที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองไว้สูงจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจองมีค่าสูงส่งผลให้ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ไม่ประสบความสำเร็จในการจอง และในทางกลับกันสำหรับสถานะที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนน้อยถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองไว้ต่ำจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการที่มีสิทธิ์เข้าจองน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองจึงถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญในการจองช่องสัญญาณเนื่องจากค่าความน่าจะเป็นมีผลโดยตรงต่อค่าวิสัยความสามารถของระบบ

นอกจากนั้นแล้วเมื่อเราพิจารณาลึกลงในรายละเอียดของโครงสร้างเฟรมโดยเฉพาะในส่วนการจองช่องสัญญาณจะพบว่ามีความแตกต่างกันซึ่งส่งผลให้กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งแยกโพรโทคอลประเภทที่มีการจองช่องสัญญาณก่อนทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลอย่างกว้างๆ ออกได้เป็น 2 ประเภทคือ โพรโทคอลที่ไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับทำการจองโดยเฉพาะและโพรโทคอลที่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับทำการจองโดยเฉพาะซึ่งจะได้อธิบายโครงสร้างการทำงานของโพรโทคอลแต่ละประเภทในลำดับถัดไป



รูปที่ 2.3 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่ม

2.4.1 โพรโทคอลประเภทที่ไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับการจอง โดยเฉพาะ

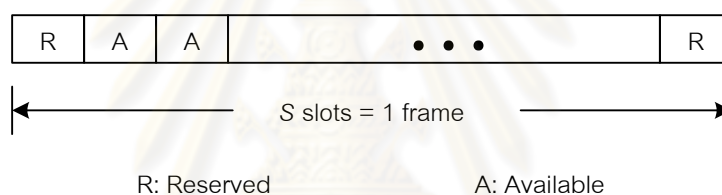
โพรโทคอลการจองประเภทที่ไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับการจองโดยเฉพาะ ซึ่งแต่ละสลิตในเฟรม ๆ หนึ่งสามารถใช้ในการจองหรือไม่ก็ใช้ส่งข่าวสารได้ นอกจากนั้นแล้วแต่ละสลิตยังมีขนาดเท่ากันหมด ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับกันดี เช่นโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล DRMA เป็นต้น ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถรองรับได้ทั้ง ทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูล

1. โพรโทคอล PRMA

Goodman [9] ได้นำเสนอโพรโทคอลการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่า PRMA (Packet Reservation Multiple Access) ซึ่งเป็นโพรโทคอลการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบสุ่ม โพรโทคอลการจองนี้ถูกนำไปใช้กับผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งแพ็กเก็ตประเภทเสียงในระบบเซลลูลาร์ (cellular system) โพรโทคอลนี้มีความเหมาะสมกับการส่งข้อมูลประเภทเสียงเนื่องจากเสียงพูดในระหว่างการสนทนาจะสร้างข้อความที่มีหลายแพ็กเก็ต นอกจากนี้ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบไมโครเซลลูลาร์ภายในอาคาร การประยุกต์ใช้งานโดยเฉพาะนี้บอกเป็นนัยว่าการส่งสัญญาณเสียงมีการประวิงเวลาที่สั้นมากจึงไม่นำมาพิจารณา สถานะเสียงจะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการแข่งขันทันทีที่แพ็กเก็ตแรกถูกสร้างขึ้น ดังนั้นจำนวนแพ็กเก็ตในแต่ละประโยคของการสนทนาจะมีการเปลี่ยนแปลงและไม่ทราบจุดเริ่มต้นของเสียงพูดเนื่องจากแพ็กเก็ตเสียงต้องการเวลาประวิงต่ำ ดังนั้นแต่ละสถานีจะสามารถเก็บแพ็กเก็ตไว้ในคิวได้จำนวนจำกัดซึ่งเมื่อใดก็ตามที่แพ็กเก็ตถูกเก็บไว้ในคิวจนเต็ม แพ็กเก็ตที่มาถึงในลำดับแรกจะถูกยกเลิก (packet loss) ดังนั้นการประวิงเวลาของแพ็กเก็ตเสียงพูดสูงสุดจึงมีค่าจำกัด และหากมีแพ็กเก็ตเสียงเข้ามาจำนวนมาก ๆ ในเวลาใกล้เคียงกันจะส่งผลให้จำนวนการยกเลิกแพ็กเก็ตสูง คุณภาพของเสียงพูดจะค่อย ๆ ลดลงตามจำนวนการยกเลิกแพ็กเก็ตที่สูงขึ้น

สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล PRMA จะถูกแบ่งออกเป็นสลิตย่อย ๆ จำนวนหลาย ๆ สลิตรวมเข้ากันเป็นเฟรมซึ่งในแต่ละเฟรมจะมีจำนวนสลิตย่อย ๆ เท่ากันสามารถรองรับได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูล [9,10] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยอัตราเฟรมมีค่าเท่ากับอัตราการเข้ามาของแพ็กเก็ตเสียงพูด ช่วงเวลาของแต่ละสลิตคือเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต สถานีฐานจะแยกสถานะของแต่ละสลิตได้เป็น “reserved” หมายถึงสลิตที่กำลังถูกผู้ใช้บริการรายหนึ่งใช้งานอยู่โดยผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ไม่สามารถเข้าใช้งานได้ และสถานะของสลิตเป็น “available” หมายถึงสลิตที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้งานได้ การเข้าจองช่องสัญญาณจะเริ่มต้นจากเมื่อสถานีผู้ใช้บริการมีแพ็กเก็ตข้อมูลพร้อมที่จะส่งจะทำการตรวจสอบสถานะของสลิตการจองก่อน หากพบว่าสถานะของสลิตไม่ว่างจะพิจารณาสถานะของสลิตถัดไป

จนกระทั่งพบว่าสล롯ที่มีสถานะว่างแล้วจึงส่งแพ็กเก็ตเพื่อทำการจองช่องสัญญาณ หากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปทำการส่งแพ็กเก็ตการจองพร้อมกันจะเกิดการชนขึ้นซึ่งทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ แต่ในทางปฏิบัติจะวัดจากระดับความแรงของสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยที่ระดับสัญญาณจากผู้ใช้บริการรายใดสูงที่สุดจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณจากสถานีฐานเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งทำให้ไม่เกิดช่องสัญญาณว่างขึ้น จึงถือเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้ ผลการจองนี้จะสามารถทราบได้ทันทีหลังสิ้นสุดเวลาในแต่ละสลอต ดังนั้นผู้ใช้ที่ทำการจองไม่สำเร็จจะสามารถเข้าจองใหม่ในสลอตที่ว่างถัดไปได้ทันที หลังจากที่จองช่องสัญญาณได้สำเร็จสถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการรายนั้นๆ ทำการส่งแพ็กเก็ตโดยไม่ต้องมีการแข่งขันอีกจนกระทั่งส่งเสร็จสิ้นซึ่งอาจใช้เวลามากกว่าหนึ่งไมโครสลอต จากนั้นสถานะของสลอตนี้จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสลอตที่สามารถใช้งานได้ซึ่งสังเกตได้ว่าสถานะของสลอตในแต่ละตำแหน่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับการใช้งานในขณะนั้น ๆ



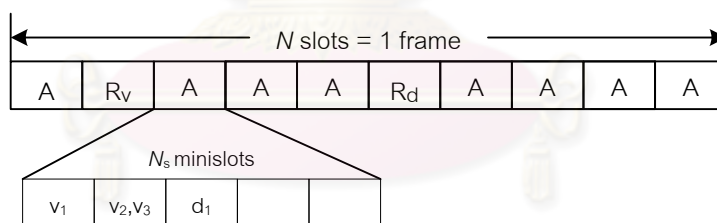
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล PRMA

2. โพรโทคอล DRMA

X. Qiu และ V.O.K Li [13] ได้นำเสนอโพรโทคอลการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่า DRMA (Dynamic Reservation Multiple Access) เป็นโพรโทคอลที่ถูกพัฒนามาจากโพรโทคอล PRMA ดังนั้นโครงสร้างของเฟรมและกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของโพรโทคอล DRMA จะคล้ายกันกับโพรโทคอล PRMA แต่ต่างกันตรงที่โครงสร้างของเฟรมจะมีการกำหนดสลอตสำหรับทำการจอง ซึ่งถูกเรียกว่า minislot ที่มีจำนวน N_s สลอตโดยถูกใช้สำหรับทำการจองแทนที่จะใช้หนึ่งสลอตเช่นเดียวกับโพรโทคอล PRMA จากรูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างของการเข้าจองช่องสัญญาณโดยใช้โพรโทคอล DRMA ซึ่งกำหนดให้จำนวนสลอตทั้งหมดในหนึ่งเฟรม $N = 10$ และมีจำนวนสลอตการจอง $N_s = 5$ สถานีผู้ใช้บริการประกอบด้วยสถานีประเภทเสียง 3 สถานีคือ v_1 , v_2 และ v_3 และสถานีประเภทข้อมูล 1 สถานีคือ d_1 กำลังเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกันในสลอตลำดับที่ 3 โดยสถานีเสียง v_1 , v_2 , v_3 และสถานีข้อมูล d_1 ส่งแพ็กเก็ตการจองในสลอตย่อย โดยสถานี v_1 และ d_1 สามารถทำการจองได้สำเร็จ ยกเว้นสถานี v_2 และ v_3 ที่ทำการจองไม่สำเร็จ เนื่องจากสถานีทั้งสอง

ส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองในสล็อตย่อยเดียวกันจึงเกิดการชนขึ้น จากนั้นสถานีฐานจะจัดสรรสล็อตที่ 4 ให้กับ v_1 และสล็อตที่ 5 ให้กับ d_1 สำหรับใช้ในการส่งข่าวสาร สถานะของสล็อตจะเปลี่ยนจาก A (available) เป็น R_{v_1} (reserved) โดยสถานีเสียงจะใช้สล็อตในตำแหน่งนี้เพื่อส่งแพ็กเก็ตต่อเนื่องไปจนกระทั่งข่าวสารถูกส่งจนหมด แล้วสถานะของสล็อตจะเปลี่ยนจาก R_{v_1} เป็น A ในทำนองเดียวกันหากเป็นสถานีข้อมูลจะสามารถใช้สล็อตนี้ (R_{d_1}) เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น แล้วสถานะของสล็อตจะเปลี่ยนจาก R_{d_1} เป็น A ในขณะที่สล็อตที่ 6 กำลังถูกใช้ส่งข้อมูลอยู่จึงไม่ถูกพิจารณา (R_d) จากนั้นจะตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณในลำดับถัดไปแล้วพบว่าสล็อตที่ 7 สามารถเข้าจองได้ ดังนั้นสถานี v_2 และ v_3 จะทำการจองในสล็อตย่อยใหม่อีกครั้ง

จากตัวอย่างนี้ทำให้ทราบว่าจำนวนสล็อตการจองที่สามารถเข้าใช้งานได้และสถานะของสล็อตการจองจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างพลวัตตามอัตราการเข้ามาใช้งานช่องสัญญาณ ลักษณะเด่นของการมีสล็อตการจองย่อย ๆ ของโพรโทคอล DRMA ทำให้โอกาสของความสำเร็จในการจองสูงกว่าโพรโทคอล PRMA ซึ่งคำนึงส่งผลให้สมรรถนะของระบบสูงขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าโพรโทคอล PRMA เป็นกรณีพิเศษของโพรโทคอล DRMA อย่างไรก็ดีสำหรับโพรโทคอล DRMA เมื่อสถานีข้อมูลหนึ่งต้องการส่งข่าวสารที่มีหลายแพ็กเก็ตจะต้องทำการจองหลายครั้งเพื่อส่งข้อมูลทั้งหมด แต่เนื่องจากระบบอนุญาตให้ส่งได้ครั้งเดียวแล้วต้องทำการจองใหม่อีกครั้ง ดังนั้นเวลาการประวิงของข้อมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจนยอมไม่รับได้



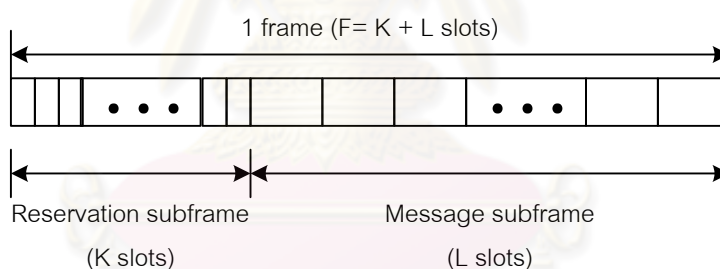
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล DRMA

2.4.2 โพรโทคอลประเภทที่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับทำการจองโดยเฉพาะ

โพรโทคอลการจองประเภทที่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับทำการจองโดยเฉพาะ ซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณในแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนแยกออกจากกันและมีหน้าที่เฉพาะอย่างชัดเจนคือ ส่วนแรกสำหรับใช้ทำการจองและส่วนที่สองให้สำหรับส่งข่าวสาร โดยทั่วไปแล้วสล็อตการจองจะมีขนาดเล็กกว่าสล็อตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับกันดี เช่น โพรโทคอล ALOHA Reservation และโพรโทคอล D-TDMA เป็นต้น ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถรองรับได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูล

1. โพรโทคอล ALOHA Reservation

Tasaka S. และ Ishibashi Y. [7] ได้นำเสนอโพรโทคอลการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่า ALOHA Reservation ถูกนำไปใช้ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม (satellite communications) การจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลนี้จะแบ่งออกเป็นเฟรมๆ โดยที่แต่ละเฟรมมีจำนวน F สล็อต และในแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือเฟรมย่อยสำหรับการจอง (reservation subframe) ซึ่งภายในถูกแบ่งเป็นช่องสัญญาณขนาดเล็กๆ จำนวน K สล็อตและอีกเฟรมย่อยหนึ่งถูกใช้สำหรับการส่งข่าวสาร (message subframe) ซึ่งภายในถูกแบ่งเป็นสล็อตๆ จำนวน L สล็อต โดยสล็อตการส่งข่าวสารจะมีขนาดใหญ่กว่าสล็อตสำหรับการจอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จำนวนสล็อตของแต่ละส่วนจะมีจำนวนคงที่ เมื่อผู้ใช้บริการมีข่าวสารที่ต้องการส่งจะทำการสุ่มเลือกสล็อตการจองโดยใช้ความน่าจะเป็น q_v สำหรับทราฟฟิกเสียง และใช้ความน่าจะเป็น q_d สำหรับทราฟฟิกข้อมูลจากนั้นจะรอจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงของเฟรมการจอง สถานีฐานจะทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข่าวสารให้กับผู้ใช้บริการที่สามารถทำการจองได้สำเร็จ หากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปทำการจองในสล็อตเดียวกันจะเกิดการชนกันซึ่งจะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยประสบความสำเร็จในการจองและผู้ใช้บริการจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการจองได้อีกครั้งในเฟรมถัดไป



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเฟรมของ ALOHA Reservation

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล ALOHA Reservation จะเห็นว่าที่ช่องสัญญาณจองที่ 1 มีผู้ใช้บริการ A เข้าจองในช่องสัญญาณจองเพียงคนเดียวจึงประสบความสำเร็จในการจองสำหรับช่องสัญญาณจองที่ 2 มีผู้ใช้บริการ B และ C เข้าจอง ดังนั้นจึงเกิดการชนกันทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการจอง ส่วนช่องสัญญาณจองที่ 3 ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเข้าจองในขณะที่ช่องสัญญาณจองที่ 4 มีผู้ใช้บริการ D เข้าจองเพียงรายเดียว ดังนั้นจากตัวอย่างนี้ในช่วงการจองจะมีผู้ใช้บริการเพียง 2 รายที่ประสบความสำเร็จ เมื่อสถานีฐานทำการจัดสรรช่องสัญญาณข่าวสารให้กับผู้ใช้บริการรายที่ประสบความสำเร็จในการจองแล้วผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จจึงเริ่มส่งข่าวสารซึ่งจะเห็นว่าผู้ใช้บริการ A ส่งข่าวสารในช่องสัญญาณที่ 1 และผู้ใช้บริการ D ส่งข่าวสารในช่องสัญญาณที่ 2



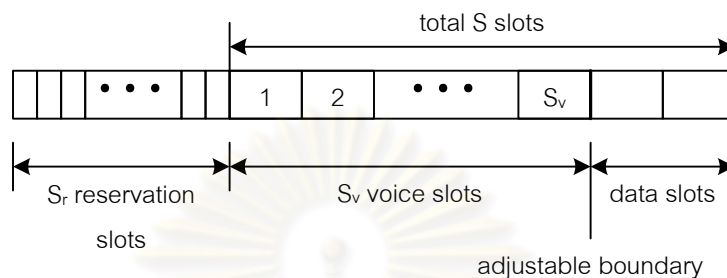
รูปที่ 2.7 การทำงานของโพรโทคอล ALOHA Reservation

2. โพรโทคอล D-TDMA

โพรโทคอล Dynamic Time Division Multiple Access (D-TDMA) ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรกในการสื่อสารผ่านดาวเทียม (satellite communications) [11] และยังเป็นโพรโทคอลหนึ่งที่ถูกนำไปใช้ในระบบสื่อสารส่วนบุคคลหรือ Personal Communication System (PCS) โดยสามารถรองรับได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูล โครงสร้างของเฟรมของโพรโทคอล D-TDMA ถูกแสดงในรูปที่ 2.8 ช่องสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม ๆ ซึ่งแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นสล็อต ๆ ในทางเวลาโดยแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการจองมีจำนวน S_r สล็อตซึ่งแต่ละสล็อตจะมีขนาดเล็กกว่าสล็อตของการส่งข่าวสาร และส่วนการส่งข่าวสารมีทั้งหมด S สล็อต ซึ่งถูกแยกออกเป็นส่วนการส่งข่าวสารของทราฟฟิกเสียงมีจำนวน S_v สล็อต และจำนวนสล็อตที่เหลือเป็นส่วนการส่งข่าวสารของทราฟฟิกข้อมูล โดยที่จำนวนสล็อตของทั้งสองส่วนนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างพลวัต (Dynamic) ซึ่งต่างจาก ALOHA Reservation ที่จำนวนสล็อตของในส่วนของการจองและจำนวนสล็อตของในส่วนของการส่งข่าวสารถูกกำหนดตายตัวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม กลไกในการเข้าจองช่องสัญญาณของโพรโทคอล D-TDMA จะเหมือนกันกับโพรโทคอล ALOHA Reservation

เมื่อพิจารณาถึงการที่กำหนดให้สล็อตสำหรับใช้จองช่องสัญญาณมีขนาดเล็กสำหรับการเข้าถึงช่องของโพรโทคอล D-TDMA นั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานแบนด์วิดท์ในการจัดสรรทรัพยากรสูงกว่าของโพรโทคอล PRMA อย่างชัดเจนเนื่องหากเกิดการชนขึ้นจะสูญเสียสล็อตที่ใช้ในการซึ่งมีขนาดเล็กกว่าสล็อตที่ใช้ส่งข่าวสารหลายเท่า อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นสำหรับโพรโทคอลชนิดนี้คือแบนด์วิดท์ส่วนหนึ่งจะถูกกำหนดมาแน่นอนสำหรับใช้ทำการจอง

ดังนั้นหากในช่วงเวลาหนึ่งที่มีปริมาณทราฟฟิกเบาบางจะเกิดสล็อตว่างมากขึ้นจึงเป็นการใช้แบนด์วิดท์อย่างไม่คุ้มค่า ยิ่งไปกว่านั้นสัดส่วนของแบนด์วิดท์ระหว่างส่วนการจองและส่วนการส่งข่าวสารจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ทำได้ยากในเวลาจริง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเฟรมของ D-TDMA

2.5 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่ภู่านำเสนอในอดีต

ในอดีตมีนักวิจัยได้นำเสนอการกำหนดลำดับชั้นความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการออกเป็นสองระดับคือผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญสูง (High priority) และผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำ (Low priority) โดยกำหนดให้การเข้ามาของผู้ใช้บริการมีการกระจายแบบปัวซอง (Poisson distribution) จากการศึกษาพบว่ามีนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้นำเสนอให้ผู้ใช้บริการทั้งที่มีความสำคัญสูงและมีความสำคัญต่ำร่วมทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณ [24]–[27] โดยการกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญสูงจะได้รับเวลาหน่วงในการเข้าจองช่องสัญญาณน้อยกว่าผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำส่งผลให้ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญสูงจะมีโอกาสในการจองช่องสัญญาณสำเร็จมากกว่าผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้กำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการคือความน่าจะเป็นในการอนุญาตการส่งแพ็กเก็ตการจองช่องสัญญาณ

นอกจากนั้นแล้วยังมีนักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งได้นำเสนอให้ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญสูงทำการจองจนกระทั่งผู้ใช้บริการทำการจองสำเร็จทุกคนก่อน จากนั้นผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำถึงจะสามารถทำการจองได้ [28]–[30] โดยวิธีที่มักนิยมใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับผู้ใช้ที่มีความสำคัญสูงคือ Tree algorithm [54,55] ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการชนสูงโดยไม่ต้องทราบจำนวนผู้ใช้บริการ หลักการทำงานคือจะพยายามลดปริมาณของจำนวนผู้ใช้บริการโดยการแยกผู้ใช้ออกจากกัน (splitting) เป็นกลุ่ม ๆ ด้วยวิธีการสุ่มซึ่งจะทำต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผู้ใช้บริการทุกรายสามารถทำการจองได้สำเร็จ (จากเอกสารอ้างอิง [55] พบว่าค่า splitting

factor (Q) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ $Q = 3$) และสำหรับผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญต่ำจะใช้เทคนิคการเข้าของช่องสัญญาณแบบสุ่มซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานโดยทั่วไปสำหรับโพรโทคอลที่มีกลไกการเข้าของช่องสัญญาณก่อนทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล

2.6 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่แนะนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่แนะนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โดยลำดับแรกจะนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการคือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique) และเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาส โดยขยายการทำงานมาจากเทคนิคการจองแบบ FPT ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แนะนำเสนอทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability)
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token)
3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period)
4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot)
5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)

นอกจากนี้แล้วยังได้นำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองซึ่งนำเสนอทั้งสิ้น 3 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CPP (Changed Permission Probability)
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CPP+MT (Changed Permission Probability + Multi-Token)
3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CPP+SRT (Permission Probability + Shifted Reservation Time)

ในทำนองเดียวกันยังได้พิจารณาปัญหาที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT ภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองและการเลื่อนจำนวนสล็อตในการเข้าของช่องสัญญาณ

บทที่ 3

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาส โดยขยายการทำงานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique) ที่ออกแบบมาสำหรับผู้ใช้บริการโดยทั่วไป ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability)
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token)
3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period)
4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot)
5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)

สำหรับการนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญเพื่อให้สามารถรับผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาสโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าเทคนิคใดสามารถควบคุมค่า QoS metric (γ) ตามที่ต้องการได้ (มีหลายค่าที่ให้เลือกใช้กันได้) อีกทั้งยังมีการใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์สูงสุดด้วย (maximum bandwidth utilization) การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่ภู้นำเสนอทั้งหมดจะพิจารณาจากจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ย (average number of successes) ของผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสและผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณเป็นฟังก์ชันของจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถทำการจองได้ทั้งหมดในระบบ ทั้งนี้การนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณในแต่ละเทคนิคจะทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบโดยแสดงอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการซิมูเลชันโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อยืนยันความถูกต้อง สำหรับเงื่อนไขของระบบที่นำมาคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้คือเงื่อนไขอิ่มตัว (saturation condition) โดยเงื่อนไขนี้บ่งบอกว่าภายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง ๆ จะมีจำนวนผู้ใช้บริการในระบบเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่ามีค่าคงที่และผู้ใช้บริการแต่ละรายมีข้อมูลพร้อมที่จะส่งอยู่ตลอดเวลา สาเหตุที่

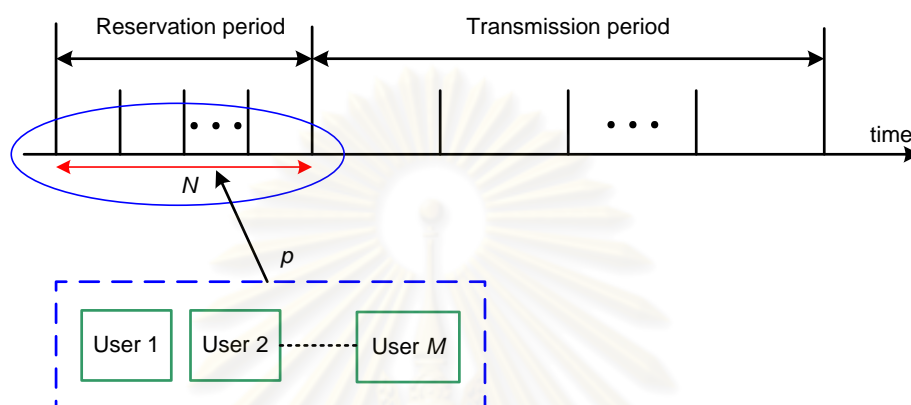
เงื่อนไขนี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการวิเคราะห์สมรรถนะด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขอิมพิวเตอร์สามารถทำได้สะดวกและสามารถนำมาใช้ร่วมกับการคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ

3.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique)

สำหรับกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณ FPT จะกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายที่มีแพ็กเก็ตข้อมูลพร้อมที่จะส่ง จะพยายามทำการจองในแต่ละสล็อตการจองตามลำดับโดยเริ่มต้นจากสล็อตแรกถึงสล็อตสุดท้าย ในแต่ละสล็อตการจองผู้ใช้บริการจะตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่โดยการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นมาค่าหนึ่ง (p_{random}) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นคงที่ค่าหนึ่งที่กำหนดขึ้นโดยสถานีฐานซึ่งถูกเรียกว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองหรือ permission probability (p) หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่า p ผู้ใช้บริการรายนี้จะได้รับการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ แต่ในทางตรงกันข้ามหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า p ผู้ใช้บริการรายนี้จะไม่ถูกอนุญาตให้ทำการจอง ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะทราบผลการจองของตนเองเมื่อสิ้นสุดสล็อตการจองนั้นๆ ซึ่งในแต่ละสล็อตการจองจะมีเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสิ้น 3 เหตุการณ์คือ 1) สล็อตว่าง (idle) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยเข้าจอง 2) การเข้าจองสำเร็จ (success) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเท่านั้นที่ทำการจอง และ 3) การชนกันของแพ็กเก็ตการจอง (collision) เกิดขึ้นเนื่อง จากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปทำการจองในสล็อตเดียวกัน หากผู้ใช้บริการรายทำการจองสำเร็จจะหยุดทำการเข้าจองในเฟรมนั้นทันที แต่หากทำการจองไม่สำเร็จจะสามารถเข้าจองได้ใหม่ในสล็อตการจองถัดไปโดยทำเช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะสามารถทำการจองได้สำเร็จหรือสิ้นสุดช่วงการจอง (reservation period) ในแต่ละเฟรม เมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงการจองสถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณในช่วงการส่งข่าวสาร (transmission period) ให้ผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จเพื่อใช้ส่งข้อมูลของตนเองต่อไป ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.1

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้ทราบว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง (p) เป็นตัวแปรหลักที่มีความสำคัญต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง ดังนั้นการเลือกค่าความน่าจะเป็นนี้จึงต้องเลือกให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดในระบบ ซึ่งหากกำหนดให้ p มีค่ามากเกินไปจะทำให้มีผู้ใช้บริการจำนวนมากเข้าทำการจอง ซึ่งอาจทำให้แพ็กเก็ตการจองเกิดการชน ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีจำนวนน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามหากกำหนดให้ p มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการ

ตัดสินใจเข้าช่องน้อยส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณลดลง อีกทั้งจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณลดลงตามไปด้วย ค่าความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล๊อตการจองทั้งหมดในระบบที่ทำให้ได้ค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุดจะถูกเรียกว่า appropriate permission probability (p_{optimal})



รูปที่ 3.1 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT

โดยพารามิเตอร์ที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT มีดังนี้

$S[M, N]$	แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน M ราย และมีจำนวนสล๊อตการจอง N สล๊อต
$p[M, N]$	แทนค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน M ราย และมีจำนวนสล๊อตการจอง N สล๊อต
$b[M, i, p]$	แทนความน่าจะเป็นแบบไบนอมิเยล (binomial probability) ที่มีผู้ใช้บริการ i ราย จากทั้งหมด M ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p

เหตุการณ์ทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้เหตุการณ์หนึ่งจากการส่งแพ็กเก็ตการจองในแต่ละสล๊อตมีทั้งสิ้น 3 เหตุการณ์คือ

1. เหตุการณ์ที่ $i = 0$

หมายถึงเหตุการณ์ที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยส่งแพ็กเก็ตการจอง สล๊อตการจองจะอยู่ในสถานะว่าง (idle) เนื่องจากไม่ถูกใช้งาน ซึ่งในสล๊อตการจองถัดไปจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่เท่าเดิมคือ M ราย ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้หาได้จาก ผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ ($b[M, 0, p]$) กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองในสล๊อตการจองถัดไปคือ ($S[M, N - 1]$) ดังแสดงในสมการ 3.1

$$b[M,0,p] \cdot S[M,N-1] \quad (3.1)$$

2. เหตุการณ์ที่ $i=1$

หมายถึงเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการรายนี้จะประสบความสำเร็จในการจอง (success) เมื่อพิจารณาในสล็อตการจองถัดไปมีจึงจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่ $M-1$ ราย ดังนั้นจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้ หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ ($b[M,1,p]$) กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองในสล็อตการจองถัดไปและผลรวมของ $1 + S[M-1,N-1]$ เมื่อ 1 คือจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของสล็อตก่อนหน้า ดังแสดงในสมการ 3.2

$$b[M,1,p] \cdot (1 + S[M-1,N-1]) \quad (3.2)$$

3. เหตุการณ์ที่ $i > 1$

หมายถึงเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองในสล็อตการจองเดียวกันจึงเกิดการชนขึ้น (collision) ส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั้ง i ราย ไม่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อพิจารณาในสล็อตการจองถัดไปจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่ M ราย เนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT นี้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้ใหม่หากทำการจองไม่สำเร็จ จึงทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่าเดิม ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้ หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ ($b[M,i,p]$) กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณในสล็อตการจองถัดไป ($S[M,N-1]$) ดังแสดงในสมการ 3.3

$$b[M,i,p] \cdot S[M,N-1,p] \quad (3.3)$$

เมื่อพิจารณาจากเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดในแต่ละสล็อตการจองสำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ M ราย มีจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณในรูป $S[M,N]$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} S[M,N] &= b[M,0,p]S[M,N-1] \\ &\quad + b[M,1,p](1 + S[M-1,N-1]) \\ &\quad + \sum_{i=2}^M b[M,i,p]S[M,N-1] \end{aligned} \quad (3.4)$$

โดยที่ความน่าจะเป็นแบบไปโนเมียลมีการกำหนดเป็นดังนี้

$$b[M,i,p] = \binom{M}{i} p^i (1-p)^{M-i} \quad (3.5)$$

$$\text{ในขณะที่ } \binom{M}{i} = \frac{M!}{i!(M-i)!}$$

เมื่อเงื่อนไขขอบเขตของสมการ (3.4) คือ

$$S[a, 0] = S[0, b] = 0, \quad a = 0, 1, \dots, M, \quad b = 0, 1, \dots, N \quad (3.6)$$

ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองที่เหมาะสม ($p[M, N]$) ในแต่ละเฟรมก็คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.5) เทียบกับ p มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่า $p[M, N]$ ที่ได้นี้จะทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุด

3.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการ

จากที่ได้กล่าวถึงกลไกการทำงานของเทคนิค FPT สำหรับระบบที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการมีผู้ใช้บริการมาแล้ว ดังนั้นเราจึงมีความสนใจที่จะนำเสนอเทคนิคที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญเพื่อรองรับคุณภาพการให้บริการทราฟฟิกมัลติมีเดีย เช่น ทราฟฟิกเสียง (voice) และทราฟฟิกข้อมูล (data) เป็นต้น โดยตัวอย่างความต้องการใช้บริการในลักษณะนี้ เช่น บริการเชื่อมต่อแบบมีการเปลี่ยนแปลงอัตราบิต (variable bit rate: VBR) หรือบริการแฮนด์โอเวอร์ (handover) สำหรับการส่งแบบเวลาจริง ซึ่งการควบคุมการส่งแพ็กเก็ตเหล่านี้มีความไวต่อเวลาหน่วงในการส่งหรือสามารถกล่าวได้ว่าทราฟฟิกเสียงมีลำดับความสำคัญสูงกว่าทราฟฟิกข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการแบ่งระดับความสำคัญของผู้ใช้บริการออกเป็น 2 คลาสมีทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT 3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP 4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS และ 5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF

ในการกำหนดสัญลักษณ์สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดได้กำหนดให้ "1" แทนผู้ใช้บริการคลาส 1 และ "2" แทนผู้ใช้บริการคลาส 2 เมื่อผู้ใช้บริการคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้บริการคลาส 2

พารามิเตอร์ที่ถูกใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอมีดังต่อไปนี้

S_1 แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1

S_2 แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2

S_T แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยที่ $S_T = S_1 + S_2$

M_1 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1

- M_2 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2
- M แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดของระบบ โดยที่ $M = M_1 + M_2$
- N_1 แทนจำนวนสล๊อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1
- N_2 แทนจำนวนสล๊อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2
- N แทนจำนวนสล๊อตการจองทั้งหมดในแต่ละเฟรม โดยที่ $N = N_1 + N_2$
- p_1 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1
- p_2 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2
- T_1 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 1
- T_2 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2
- $b[M_1, i_1, p_1]$ แทนความน่าจะเป็นแบบไบนอมียัลที่มีผู้ใช้บริการ i_1 รายจากทั้งหมด M_1 ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p_1
- $b[M_2, i_2, p_2]$ แทนความน่าจะเป็นแบบไบนอมียัลที่มีผู้ใช้บริการ i_2 รายจากทั้งหมด M_2 ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p_2

โดยที่ n จะเป็นแบบไบนอมียัลถูกกำหนดให้มีความเป็น $b[M, i, p] = \binom{M}{i} p^i (1-p)^{M-i}$

$$\text{เมื่อ } \binom{M}{i} = \frac{M!}{i!(M-i)!}$$

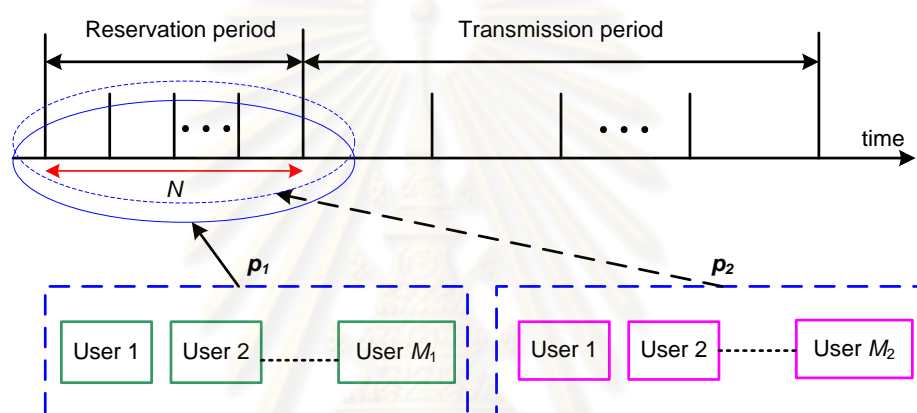
γ หรือ QoS matric คือดัชนีชี้วัดระดับคุณภาพการให้บริการซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ต่อจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยค่า γ สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.7

$$\gamma = \frac{(S_1/M_1)}{(S_2/M_2)} \quad (3.7)$$

3.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability)

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP เป็นการขยายการทำงานมาจากเทคนิค FPT โดยผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะมีกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณเช่นเดียวกับเทคนิค FPT คือผู้ใช้บริการแต่ละรายพยายามเข้าจองในแต่ละสล๊อตการจองตามลำดับ โดยเริ่มจากสล๊อตแรกถึงสล๊อตสุดท้าย ในแต่ละสล๊อตการจองผู้ใช้บริการจะตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่โดยการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นมาค่าหนึ่ง (p_{random}) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นคงที่ค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดขึ้นโดยสถานีฐานซึ่งถูกเรียกว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองหรือ permission probability (p) หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่า

p ผู้ใช้บริการรายนี้จะได้รับการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ แต่ในทางตรงกันข้ามหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า p ผู้ใช้บริการรายนี้จะไม่ถูกอนุญาตให้ทำการจอง ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะทราบผลการจองของตนเองเมื่อสิ้นสุดสล็อตนั้นๆ หากทำการจองสำเร็จจะหยุดทำการเข้าจองในเฟรมนั้นทันที แต่หากเข้าจองไม่สำเร็จจะสามารถเข้าจองได้ใหม่ในสล็อตการจองถัดไป ทำเช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถเข้าจองได้สำเร็จหรือไม่ก็สิ้นสุดสล็อตการจองในแต่เฟรมจึงจะหยุดทำการจอง เมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงการจองสถานีฐานจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณในช่วงการส่งข่าวสารให้ผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จเพื่อใช้ส่งข้อมูลข่าวสารของตนเองต่อไป ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP

อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นเข้าสู่เฟรมใหม่ก็จะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสมนี้ใหม่โดยใช้กลไกเดิม แต่เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถรองรับผู้ให้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันสองคลาส ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละคลาสส่งผลให้โอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแตกต่างกันเพราะฉะนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองคลาสเพื่อให้ระบบสามารถรองรับคุณภาพการบริการตามที่ต้องการ อีกทั้งยังทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดด้วย

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+MP ได้กำหนดให้ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, N]$ คือความน่าจะเป็นที่มีผู้ให้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ให้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จโดยมีผู้ให้บริการทั้งหมดจำนวน M_1 และ M_2 รายตามลำดับ ทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณในเฟรมหนึ่งที่มีสล็อตการจองเท่ากับ N สล็อตและใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองช่องสัญญาณเป็น p_1 และ p_2

ตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่อง สัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

$$S_1[M_1, M_2, N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, N] \quad (3.8)$$

และ

$$S_2[M_1, M_2, N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, N] \quad (3.9)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} &P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, N] \\ &= P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N] \\ &= b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N-1] \\ &\quad + b[M_1, 1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1-1, k_2 | M_1-1, M_2, N-1] \\ &\quad + b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 1, p_2] P[k_1, k_2-1 | M_1, M_2-1, N-1] \\ &\quad + b[M_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N-1] \\ &\quad + b[M_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N-1] \\ &\quad + \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^{M_2} b[M_1, i_1, p_1] b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N-1] \end{aligned} \quad (3.10)$$

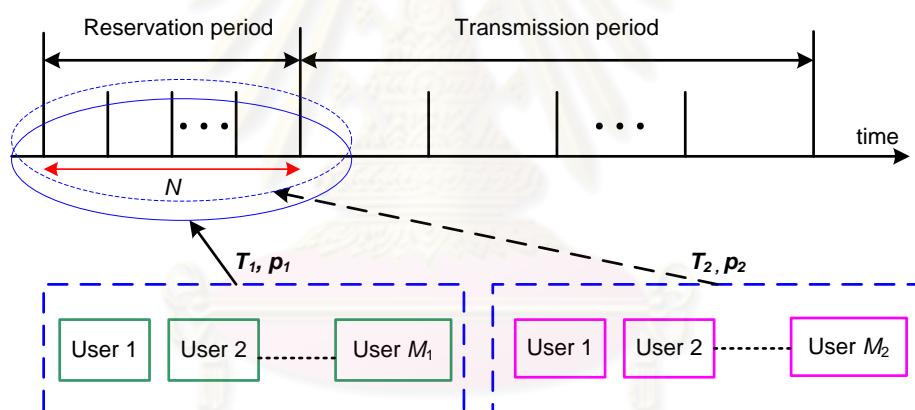
โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, N] = \begin{cases} 0, & k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 0, & k_1 + k_2 > N, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 0, & k_1 > M_1 \text{ or } k_2 > M_2, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 > 0, N = 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 = 0, N > 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 = 0, N = 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

3.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token)

จากรูปที่ 3.3 แสดงกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MLT ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP แต่แตกต่างกันตรงที่ผู้ใช้บริการของเทคนิค FPT+MLT นั้นจะถูกอนุญาตให้ทำการจองช่องสัญญาณได้ตามจำนวนครั้งของความพยายามที่มีค่าจำกัดอยู่ค่าหนึ่งในแต่ละเฟรมโดยสถานีฐานเป็นผู้กำหนดให้กับผู้ใช้บริการซึ่งในที่นี้

จะเรียกว่าโทเคนหรือ Token (T) จำนวนโทเคนนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าแตกต่างกันในแต่ละคลาสและจะมีจำนวนเท่ากันเมื่อเป็นผู้ให้บริการที่อยู่ในคลาสเดียวกัน โดยทั่วไปจะกำหนดให้ผู้ให้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่ามีจำนวนโทเคนมากกว่าผู้ใช้ที่มีลำดับความสำคัญต่ำซึ่งข้อจำกัดที่นำมาพิจารณานี้จะมีผลกระทบในทางลบต่อสมรรถนะของระบบ เนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณลดลงจากเดิมที่ได้รับอนุญาตให้สามารถส่งแพ็กเก็ตการจองได้ในทุกๆ สล็อต อย่างไรก็ตามการที่ผู้ใช้บริการถูกจำกัดสิทธิ์ในการเข้าจองก็ยังคงเป็นสิ่งที่น่าศึกษาค้นคว้าและทำความเข้าใจให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ การที่ผู้ใช้บริการถูกจำกัดสิทธิ์ในการเข้าจองซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่นในบางสถานการณ์อาจเกิดความผิดพลาดในส่วนของกาติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้บริการ หรือบางสถานการณ์เกิดจากความต้องการของผู้ใช้บริการหรือผู้ประกอบการเองที่ต้องการให้เกิดผลอย่างใดอย่างหนึ่ง เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าจำนวนโทเคนเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงสมรรถนะของระบบ



รูปที่ 3.3 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MLT

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+MLT ได้กำหนดให้ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, T_{1,1} = T_1, T_{1,2} = T_1, \dots, T_{1,M_1} = T_1, T_{2,1} = T_2, T_{2,2} = T_2, \dots, T_{2,M_2} = T_2, N]$ คือความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ เมื่อกำหนดให้มีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 ราย ซึ่งมีจำนวนโทเคนเป็น T_1 และมีความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองช่องสัญญาณเป็น p_1 และมีผู้ใช้บริการจำนวน M_2 ราย ซึ่งมีจำนวนโทเคนเป็น T_2 และมีความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองช่องสัญญาณเป็น p_2 ทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณในเฟรมหนึ่งที่มีสล็อตการจองเท่ากับ N สล็อต ดังนั้นจะสามารถ

คำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

$$S_1[M_1, M_2, N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, \\ T_{1,1} = T_1, T_{1,2} = T_1, \dots, T_{1,M_1} = T_1, \\ T_{2,1} = T_2, T_{2,2} = T_2, \dots, T_{2,M_2} = T_2, N] \quad (3.12)$$

และ

$$S_2[M_1, M_2, N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, \\ T_{1,1} = T_1, T_{1,2} = T_1, \dots, T_{1,M_1} = T_1, \\ T_{2,1} = T_2, T_{2,2} = T_2, \dots, T_{2,M_2} = T_2, N] \quad (3.13)$$

เมื่อ

$$P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, T_{1,1} = T_1, T_{1,2} = T_1, \dots, T_{1,M_1} = T_1, T_{2,1} = T_2, T_{2,2} = T_2, \dots, T_{2,M_2} = T_2, N] \\ = b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, T_{1,1}, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,M_2}, N-1] \\ + b[M_1, 1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1 - \delta(T_{1,a}), k_2 | M_1 - 1, M_2, \\ T_{1,1}, \dots, T_{1,a-1}, 0, T_{1,a+1}, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,M_2}, N-1] \\ + b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 1, p_2] P[k_1, k_2 - \delta(T_{2,b}) | M_1, M_2 - 1, \\ T_{1,1}, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,b-1}, 0, T_{2,b+1}, \dots, T_{2,M_2}, N-1] \\ + \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P(i_1) \\ + b[M_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2] P(i_2) \\ + \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^{M_2} b[M_1, i_1, p_1] b[M_2, i_2, p_2] P(i_1, i_2), \quad (3.14)$$

โดยที่ $T_{1,a}$ คือจำนวนโทเค็นสำหรับผู้ให้บริการ a ที่อยู่ในคลาส 1 ($a \in 1, 2, \dots, M_1$) และ $T_{2,b}$ คือจำนวนโทเค็นสำหรับผู้ให้บริการ b ที่อยู่ในคลาส 2 ($b \in 1, 2, \dots, M_2$)

นอกจากนี้แล้วยังมีเงื่อนไข $\delta(x) = \begin{cases} 1 & ; x \neq 0 \\ 0 & ; x = 0, \end{cases}$ ซึ่งหมายถึงเมื่อมีผู้ใช้บริการรายหนึ่ง

สามารถทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จที่สล็อตหนึ่งในแต่ละเฟรม จำนวนโทเค็นของผู้ให้บริการรายนี้จะถูกรีเซตให้มีค่าเป็นศูนย์ทันที (ไม่อนุญาตให้ทำการจองได้อีก) ถึงแม้ว่าจะมีโทเค็นเหลืออยู่ก็ตามซึ่งเป็นกรป้องกันการนับความสำเร็จซ้ำซ้อน

จากสมการที่ 3.13 จะสามารถคำนวณหาค่า $P(i_1)$ $P(i_2)$ และ $P(i_1, i_2)$ ได้จากสมการ 3.15 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ

$$P(i_1) = \sum_{\substack{j_1(1) < j_1(2) < \dots < j_1(i_1) \\ T_{1,j_1(1)}, T_{1,j_1(2)}, \dots, T_{1,j_1(i_1)} \neq 0}} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, T_{1,1}, \dots, T_{1,j_1(i_1)} - 1, \dots, T_{1,j_1(2)} - 1, \dots, T_{1,j_1(i_1)} - 1, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,M_2}, N - 1] \quad (3.15)$$

$$P(i_2) = \sum_{\substack{j_2(1) < j_2(2) < \dots < j_2(i_2) \\ T_{2,j_2(1)}, T_{2,j_2(2)}, \dots, T_{2,j_2(i_2)} \neq 0}} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, T_{1,1}, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,j_2(1)} - 1, \dots, T_{2,j_2(2)} - 1, \dots, T_{2,j_2(i_2)} - 1, \dots, T_{2,M_2}, N - 1] \quad (3.16)$$

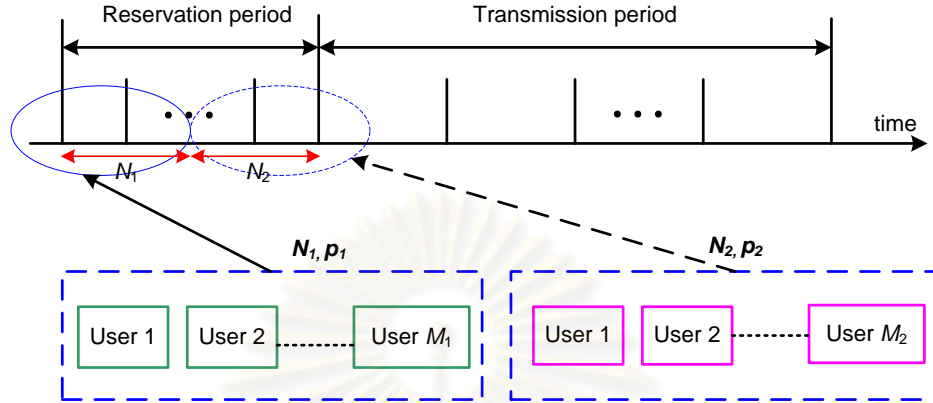
$$P(i_1, i_2) = \sum_{\substack{j_1(1) < \dots < j_1(i_1), j_2(1) < \dots < j_2(i_2) \\ T_{1,j_1(1)}, \dots, T_{1,j_1(i_1)}, T_{2,j_2(1)}, \dots, T_{2,j_2(i_2)} \neq 0}} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, T_{1,1}, \dots, T_{1,j_1(i_1)} - 1, \dots, T_{1,j_1(2)} - 1, \dots, T_{1,j_1(i_1)} - 1, \dots, T_{1,M_1}, T_{2,1}, \dots, T_{2,j_2(1)} - 1, \dots, T_{2,j_2(2)} - 1, \dots, T_{2,j_2(i_2)} - 1, \dots, T_{2,M_2}, N - 1] \quad (3.17)$$

3.2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period)

สำหรับกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน 2 คลาส โดยการกำหนดความแตกต่างของค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองและจำนวนสลอตการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการในแต่ละคลาส ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่อยู่คลาสเดียวกันค่าทั้งสองนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันทั้งหมด กลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP จะมีความคล้ายคลึงกับกลไกของเทคนิค FPT+MP ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.4 แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะได้รับการจัดสรรสลอตการจองเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้สอดคล้องกับค่า QoS ที่ต้องการ อีกทั้งยังคำนึงถึงสมรรถนะของระบบด้วย สำหรับผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะทำการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณในสลอตการจองที่ได้รับการจัดสรรให้เท่านั้น ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่อยู่ในคลาสอื่นๆ จะไม่ได้รับการอนุญาตให้เข้ามาทำการจองในสลอตเหล่านี้ได้ จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของจำนวนสลอตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ดังนั้นจึงต้องเลือกให้มีค่าสอดคล้องกับพารามิเตอร์อื่นๆ

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+PCP กำหนดให้ $S_1[M_1, N_1]$ และ $S_2[M_2, N_2]$ แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ โดยมีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 และ M_2 ราย มีจำนวนสลอตการจองเป็น

N_1 และ N_2 สล็อตตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP

$$\begin{aligned}
 S_1[M_1, N_1] &= b[M_1, 0, p_1]S_1[M_1, N_1 - 1] \\
 &\quad + b[M_1, 1, p_1](1 + S_1[M_1 - 1, N_1 - 1]) \\
 &\quad + \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1]S_1[M_1, N_1 - 1]
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

และ

$$\begin{aligned}
 S_2[M_2, N_2] &= b[M_2, 0, p_2]S_2[M_2, N_2 - 1] \\
 &\quad + b[M_2, 1, p_2](1 + S_2[M_2 - 1, N_2 - 1]) \\
 &\quad + \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2]S_2[M_2, N_2 - 1]
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$S_1[a_1, 0] = S_1[0, b_1] = 0, \quad a_1 = 0, 1, \dots, M_1, \quad b_1 = 0, 1, \dots, N_1$$

และ

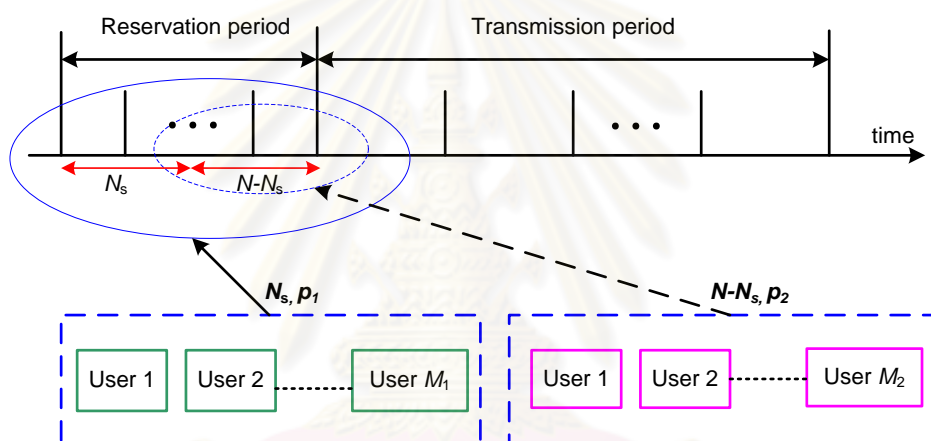
$$S_2[a_2, 0] = S_2[0, b_2] = 0, \quad a_2 = 0, 1, \dots, M_2, \quad b_2 = 0, 1, \dots, N_2 \tag{3.20}$$

สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ

3.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot)

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP นั้นผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีสล็อตสำหรับใช้ทำการจองช่องสัญญาณเป็นของตนเองโดยมีค่าสอดคล้องกับค่า QoS ตามที่ต้องการ

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP จะมีความคล้ายคลึงกับกลไกของเทคนิค FPT+SRS แต่มีความแตกต่างกันตรงที่จำนวนของสล็อตการจองส่วนแรกจะถูกกำหนดให้สำหรับเฉพาะผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่านั้นสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้ ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะไม่ได้รับการอนุญาตให้ทำการจองช่องสัญญาณในส่วนนี้ จำนวนสล็อตการจองนี้จะถูกเรียกในที่นี่ว่าจำนวนสล็อตการจองช่องสัญญาณที่ถูกประวิงหรือเลื่อนไป (shifted) ดังนั้นสล็อตแรก หลังจากสิ้นสุดการเลื่อนสล็อตการจอง ผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงจะได้รับการอนุญาตให้สามารถเข้าทำการจองได้ ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่เหลืออยู่ซึ่งยังทำการจองไม่สำเร็จในสล็อตการจองในส่วนแรกยังคงสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้ต่อไป ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SRS สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SRS

สำหรับการวิเคราะห์ห้สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+SCS ได้กำหนดให้ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j = N]$ คือความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการจองเมื่อมีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 และ M_2 ราย โดยที่ $j = N$ ซึ่งเป็นการเริ่มพิจารณาจากเวลาที่ถูกหน่วงมากที่สุดจนถึงน้อยที่สุด เมื่อกำหนดให้ j คือสล็อตสุดท้ายที่หน่วงเวลาสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 2 หรืออาจกล่าวได้ว่าผู้ใช้บริการคลาส 2 ได้รับอนุญาตให้เริ่มทำการจองได้ในสล็อตที่ $j+1$ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

$$S_1[M_1, M_2, j = N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j = N] \quad (3.21)$$

และ

$$S_2[M_1, M_2, j = N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j = N] \quad (3.22)$$

เมื่อ $j > N - N_s$ จะได้ว่า

$$P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, j] = \begin{cases} b[M_1, 0, p_1] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1] \\ + b[M_1, 1, p_1] P[k_1-1, k_2 | M_1-1, M_2, j-1] \\ + \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1], & M_1 > 0, \\ P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1], & M_1 = 0, \end{cases} \quad (3.23)$$

และเมื่อ $j \leq N - N_s$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, p_1, p_2, j] &= b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1] \\ &+ b[M_1, 1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1-1, k_2 | M_1-1, M_2, j-1] \\ &+ b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 1, p_2] P[k_1, k_2-1 | M_1, M_2-1, j-1] \\ &+ b[M_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1] \\ &+ b[M_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1] \\ &+ \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^{M_2} b[M_1, i_1, p_1] b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j-1]. \end{aligned} \quad (3.24)$$

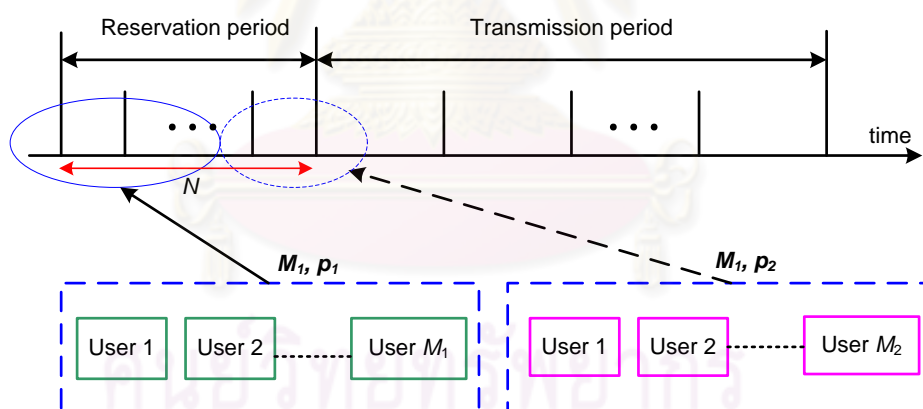
โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N] = \begin{cases} 0, & k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 0, & k_1 + k_2 > N, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 0, & k_1 > M_1 \text{ or } k_2 > M_2, M_1 + M_2 \geq 0, N \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 > 0, N = 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 = 0, N > 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, M_1 + M_2 = 0, N = 0 \end{cases} \quad (3.25)$$

ในขณะที่ N_s คือจำนวนสล๊อตการจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 ต้องนั่งเวลาออกไปเพื่อทำการจอง การคำนวณของ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, j]$ จะถูกแยกพิจารณาออกเป็นสองส่วนคือสมการ 3.23 จะเป็นความพยายามในการเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการคลาส 1 โดยไม่มีผู้ใช้บริการคลาส 2 เข้าร่วมในการแข่งขัน และสมการ 3.24 จะเป็นการแข่งขันระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ซึ่งยังทำการจองช่องสัญญาณไม่สำเร็จ

3.2.5 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)

จากกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SCS นั้นผู้ใช้บริการคลาส 2 จะได้รับอนุญาตให้ทำการจองได้ในสล็อตส่วนที่สอง ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ทุก ๆ สล็อต จากขั้นตอนการจองช่องสัญญาณนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษากรณีขอบเขตสูงสุดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จึงได้เสนอกฎการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิค FPT+HFF ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+HFF สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.6 ผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่านั้นที่ได้รับอนุญาตให้ทำการจองช่องสัญญาณได้จนกระทั่งผู้ใช้บริการคลาส 1 ทุกรายทำการจองสำเร็จซึ่งกระบวนการจองนี้จะหยุดทำงานทันทีหรือไม่ก็สล็อตที่สามารถทำการจองได้ในแต่ละเฟรมหมดลง หลังจากนั้นผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงจะได้รับอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ในสล็อตการจองถัดไป อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์ผู้ใช้บริการคลาส 2 อาจไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการจองเลยเนื่องจากมีผู้ใช้บริการคลาส 1 อย่างน้อย 1 รายที่ยังทำการจองไม่สำเร็จถึงแม้ว่าจะพยายามทำการจองจนกระทั่งถึงสล็อตสุดท้ายในเฟรมก็ตาม



รูปที่ 3.6 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+HFF

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+HFF กำหนดให้ $S_1[M_1, N]$ และ $S_2[M_1, M_2, N]$ แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เป็น M_1 และ M_2 รายตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดเป็น N ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ

$$\begin{aligned}
S_1[M_1, N] &= b[M_1, 0, p_1]S_1[M_1, N-1] \\
&\quad + b[M_1, 1, p_1](1 + S_1[M_1 - 1, N-1]) \\
&\quad + \sum_{i=2}^{M_1} b[M_1, i, p_1]S_1[M_1, N-1]
\end{aligned} \tag{3.26}$$

และ

$$S_2[M_1, M_2, N] = \sum_{i=M_1-1}^{N-2} P_{FPT}[M_1 - 1 | M_1, i, p_1] p_1 \cdot S_{FPT}[M_2, N - i - 1, p_2] \tag{3.27}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
S_{FPT}[m, n, p] &= b[m, 0, p]S_{FPT}[m, n-1, p] \\
&\quad + b[m, 1, p](1 + S_{FPT}[m-1, n-1, p]) \\
&\quad + \sum_{i=2}^m b[m, i, p]S_{FPT}[m, n-1, p]
\end{aligned} \tag{3.28}$$

และ

$$\begin{aligned}
P_{FPT}[k | m, n, p] &= b[m, 0, p]P_{FPT}[k | m, n-1, p] \\
&\quad + b[m, 1, p]P_{FPT}[k-1 | m-1, n-1, p] \\
&\quad + \sum_{i=2}^M b[m, i, p]P_{FPT}[k | m, n-1, p]
\end{aligned} \tag{3.29}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$S_{FPT}[a, 0, p] = S_{FPT}[0, b, p] = 0, \quad a = 0, 1, \dots, M, \quad b = 0, 1, \dots, N \tag{3.30}$$

และ

$$P_{FPT}[k | m, n, p] = \begin{cases} 0, & k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1, & k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0, & k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1, & k = 0, m = 0, n \geq 0 \\ 0, & k > 0, m = 0, n \geq 0 \end{cases} \tag{3.31}$$

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับ ความสำคัญ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique) และเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการซึ่งมีทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการแต่ละคลาส

2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือจำนวนโทเค็นสำหรับหรือจำนวนครั้งที่อนุญาตให้สามารถทำการจองได้ในแต่ละเฟรมสำหรับผู้ให้บริการแต่ละคลาส

3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือสัดส่วนจำนวนสล็อตการจองช่องสัญญาณของผู้ให้บริการแต่ละคลาส

4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อนไปในการเข้าจองครั้งแรกสำหรับผู้ให้บริการคลาส 2

5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ได้กำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ ไว้ดังนี้

S_1 แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1

S_2 แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2

S_T แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยที่ $S_T = S_1 + S_2$

M_1 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1

M_2 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2

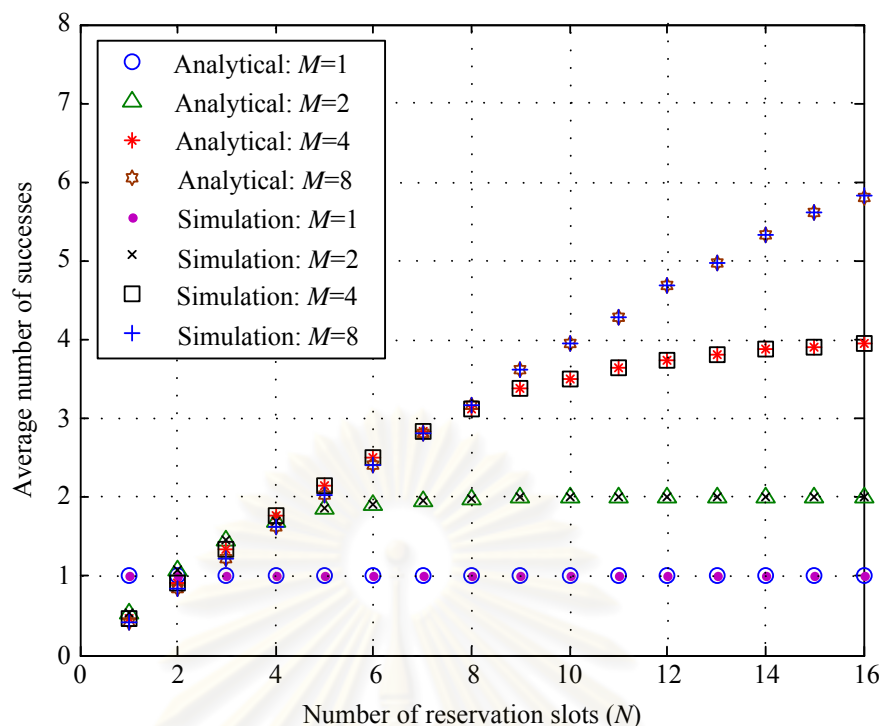
M แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดของระบบ โดยที่ $M = M_1 + M_2$

N_1 แทนจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1

- N_2 แทนจำนวนสล๊อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2
- N แทนจำนวนสล๊อตการจองทั้งหมดในแต่ละเฟรม โดยที่ $N = N_1 + N_2$
- p_1 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1
- p_2 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2
- T_1 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 1
- T_2 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2
- N_s แทนจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อนไปในการเข้าจองครั้งแรกสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 2
- γ หรือ QoS matrix เป็นอัตราส่วนของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ต่อจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2
- $$= (S_1/M_1)/(S_2/M_2)$$

4.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสล๊อตการจองและความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณโดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการซิมูเลชันด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อยืนยันความถูกต้อง เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบเป็น $M = 1, 2, 4$ และ 8 ราย ในขณะที่จำนวนสล๊อตการจอง (N) เปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 ถึง 16 สล๊อต ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองจะใช้ค่าที่เหมาะสมหรือ appropriate permission probability (p_{optimal}) ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ได้ค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุด จากรูปจะเห็นว่าเมื่อ N เพิ่มขึ้น จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ (S) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ยกเว้นในกรณีที่ $M = 1$ เนื่องจากผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองเสมอโดยไม่มีการชนเกิดขึ้น เมื่อ N เพิ่มขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่งผู้ใช้บริการทั้งหมดจะสามารถทำการจองได้สำเร็จ อย่างไรก็ตามหากมีการเพิ่ม N มากไปกว่าค่านี้จะเป็นการสูญเสียทรัพยากรช่องสัญญาณโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากไม่ได้ช่วยให้จำนวนผู้ใช้บริการที่ทำการจองประสบความสำเร็จมากเกินกว่าจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด สังเกตได้จากกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการเป็น $M = 1, 2$ และ 4 ราย จะมีค่าความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณเป็น $S = 1, 2$ และ 4 ตามลำดับ จากกราฟของทุกกรณีที่ถูกระบุในรูปนี้พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการซิมูเลชันมีค่าเท่ากัน

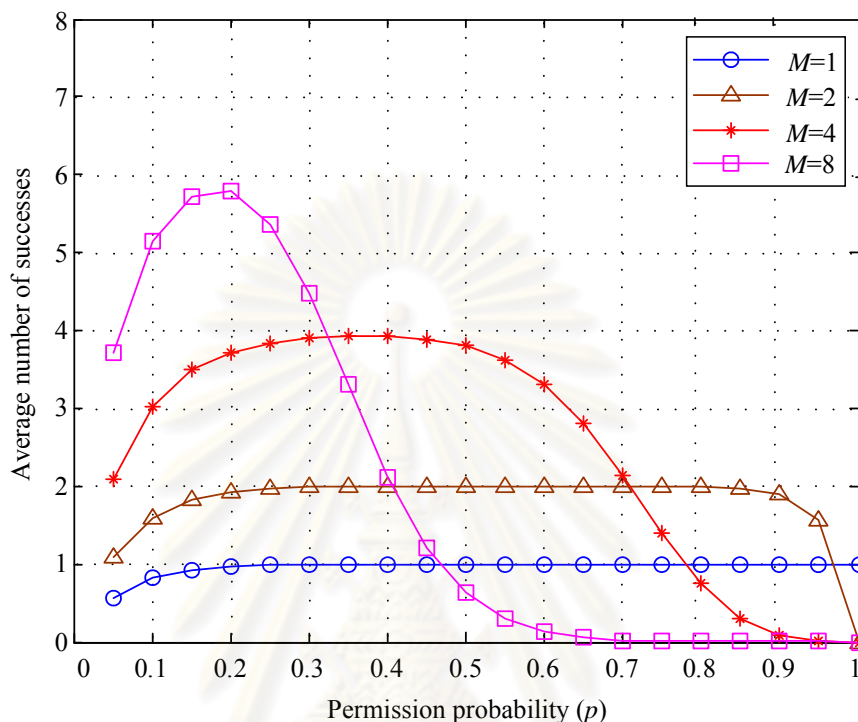


รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์หีสมรรถนะทางคณิตศาสตร์และการซิมูเลชัน: ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) ของเทคนิค FPT

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง (p) ซึ่งทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุด เมื่อจำนวนสล็อตการจองถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เป็น $N = 16$ สล็อต สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการเป็น $M = 1, 2, 4$ และ 8 ราย จากรูปจะเห็นว่าเมื่อ p มีค่าน้อยๆ S จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า p อย่างชัดเจน และหลังจากที่ค่าของ p เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าๆ หนึ่งจะทำให้ได้ S สูงสุด โดยค่า p นี้จะถูกเรียกว่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสม (p_{optimal}) แต่เมื่อ p มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ S จะลดต่ำลงจนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ $p = 1$ เนื่องจากผู้ใช้บริการทุกรายจะเข้าทำการจองและจะเกิดการชนในที่สุด ยกเว้นกรณีที่ $M = 1$ นอกจากนี้แล้วจะสังเกตเห็นว่าเมื่อ $M = 1, 2, 4$ และ 8 ซึ่ง S สูงสุดจะมีค่าเป็น $1, 2, 3.92$ และ 5.87 โดยมีค่า p ที่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการเป็น $1, 0.5, 0.35$ และ 0.20 ตามลำดับ

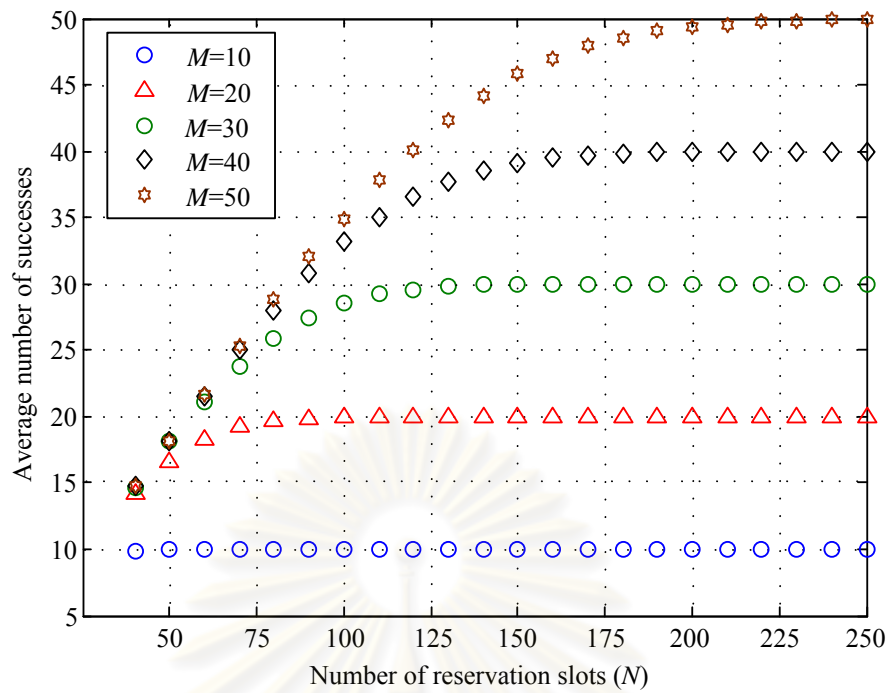
ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนน้อย ความน่าจะเป็นนี้จะมีค่ามากเพื่อให้ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนมาก ความน่าจะเป็นนี้ก็จะมิต่ำลงซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ต้องการให้ระบบปรับลดจำนวนการชนของแพ็กเก็ตการจองลงส่งผลให้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนสล็อตการจองขึ้นค่าความน่าจะเป็น

ในการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจ้องจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าจ้องให้กับผู้ใช้บริการซึ่งค่าความน่าจะเป็นทั้งหมดนี้จะสอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบและจำนวนสลิตการจ้องช่องสัญญาณที่ถูกนำไปใช้งานและได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.1

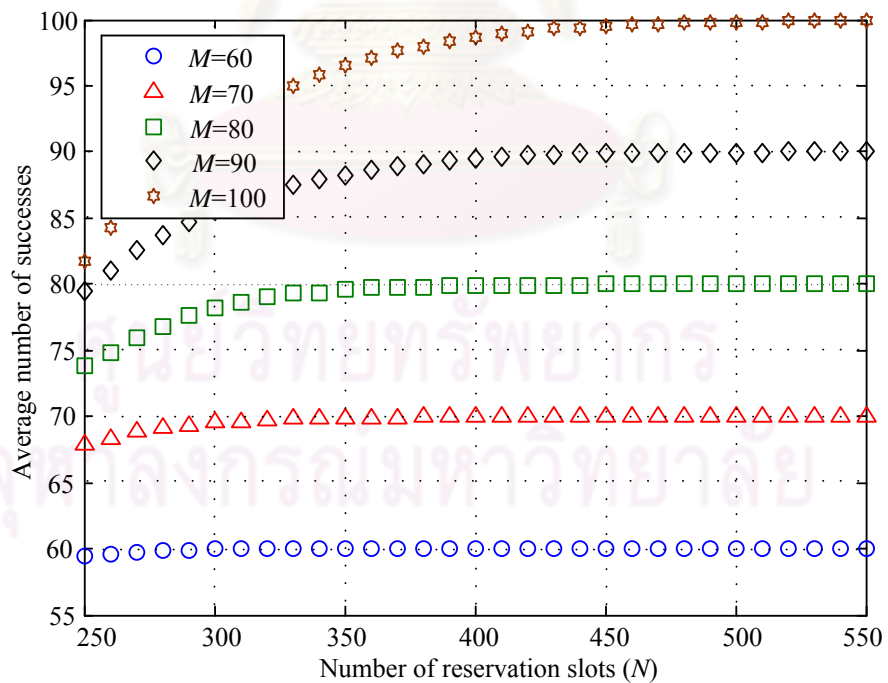


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจ้อง (p) เมื่อสลิตการจ้องมีจำนวน $N=16$ สลิต

การออกแบบระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหากทราบจำนวนสลิตการจ้องน้อยที่สุดที่ระบบต้องการเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจ้องช่องสัญญาณที่แน่นอนและเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจ้องช่องสัญญาณและจำนวนสลิตการจ้องสำหรับเทคนิคการจ้องช่องสัญญาณแบบ FPT เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการตั้งแต่ 10 ถึง 100 ราย โดยการเพิ่มจำนวนสลิตขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบประสบความสำเร็จในการจ้อง ซึ่งอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าในขณะเวลาหนึ่งจำนวนผู้ใช้บริการมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่ามีจำนวนคงที่ตลอดการทดสอบ จากนั้นนำผลที่ได้ไปแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการแสดงจำนวนสลิตการจ้องที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถให้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจ้องช่องสัญญาณเท่ากับ 99% ของจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 10 20 30 40 และ 50 ราย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนสล็อตการจอง (N) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 60 70 80 90 และ 100 ราย

จากข้อมูลทั้งหมดในตารางที่ 1 สามารถกำหนดให้เป็นกฎอย่างง่ายในการเลือกจำนวน สล็อตการจองเพื่อให้ได้รับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณมากกว่า 99% ของจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจะต้องใช้จำนวนสล็อตการจองให้มีค่าเป็น 5 เท่าของจำนวน ผู้ใช้บริการทั้งหมด ยกตัวอย่างการใช้กฎในการเลือกสล็อตดังกล่าวเช่น เมื่อ $M = 40$ ควรจะเลือก $N = 200$ สล็อต ในขณะที่จำนวนสล็อตที่ถูกแสดงไว้ในตารางนี้เป็น $N = 167$ สล็อต และเมื่อ $M = 80$ ควรจะเลือกจำนวนสล็อต $N = 400$ สล็อต ในขณะที่จำนวนสล็อตที่ถูกแสดงไว้ในตารางนี้เป็น $N = 330$ สล็อต

ตารางที่ 1 จำนวนสล็อตการจองที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถทำได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ย ในการจองช่องสัญญาณเท่ากับ 99% ของจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด

จำนวนผู้ใช้บริการ (M)	จำนวนสล็อต (N)	จำนวนผู้ใช้บริการ (M)	จำนวนสล็อต (N)
5	22	55	226
10	43	60	248
15	64	65	271
20	85	70	290
25	105	75	307
30	125	80	330
35	146	85	353
40	167	90	380
45	186	95	400
50	208	100	415

4.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับ ผู้ใช้บริการ 2 คลาส

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบที่มีการกำหนดลำดับความ สำคัญให้กับผู้ใช้บริการ 2 คลาส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการ QoS ที่ แตกต่างกันสำหรับผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสซึ่งได้ประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมด ในรูปของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผลรวมของผู้ใช้บริการทั้งสองคลาส (S_T) โดยจำนวนผู้ใช้บริการถูก กำหนดให้มีค่าคงที่เป็น $M = 8$ ราย ขณะที่จำนวนสล็อตการจองถูกกำหนดให้มีค่าตายตัวเป็น N

= 16 สล็อต สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการระหว่างคลาส 1 และคลาส 2 ที่ได้นำมาพิจารณาในที่นี้ คือ $M_1:M_2 = 1:7$ 2:6 4:4 6:2 และ 7:1 ค่าของ QoS matrix (γ) ได้ถูกแสดงในหัวข้อนี้เพื่อที่จะนำมาแสดงให้เห็นถึงคุณภาพการบริการที่แตกต่างกันที่สามารถควบคุมได้

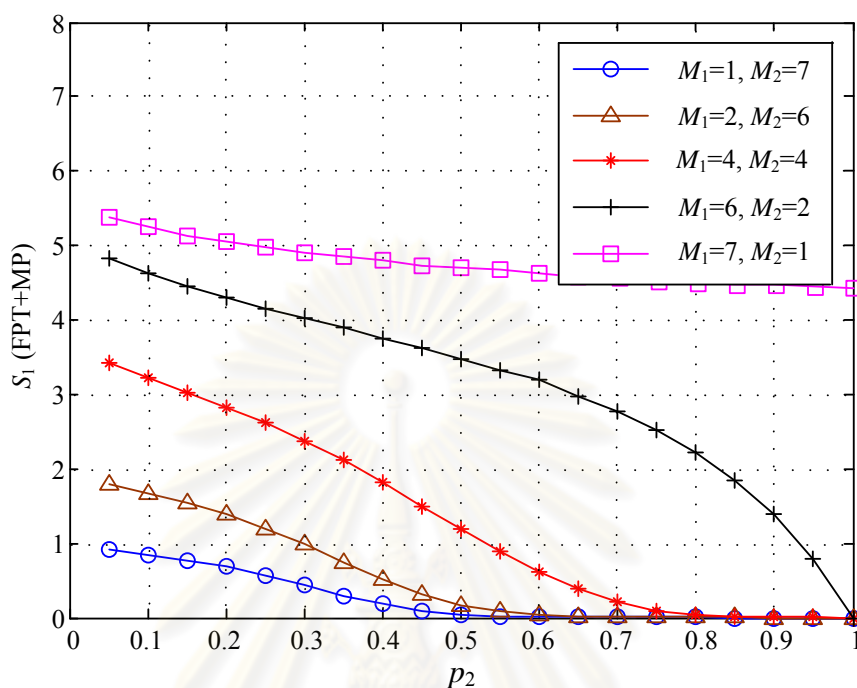
4.2.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP

รูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 แสดงสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP สำหรับผู้ใช้บริการคลาส (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) ในระบบตามลำดับ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (p_2) สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP เมื่อจำนวนสล็อตการจองถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เป็น $N = 16$ สล็อต จากรูปจะเห็นว่าเมื่อกำหนดให้ $p_1 = 0.20$ ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสมที่สุด ($p_{optimal}$) สำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ $M = 8$ และมีจำนวนสล็อตการจอง $N = 16$

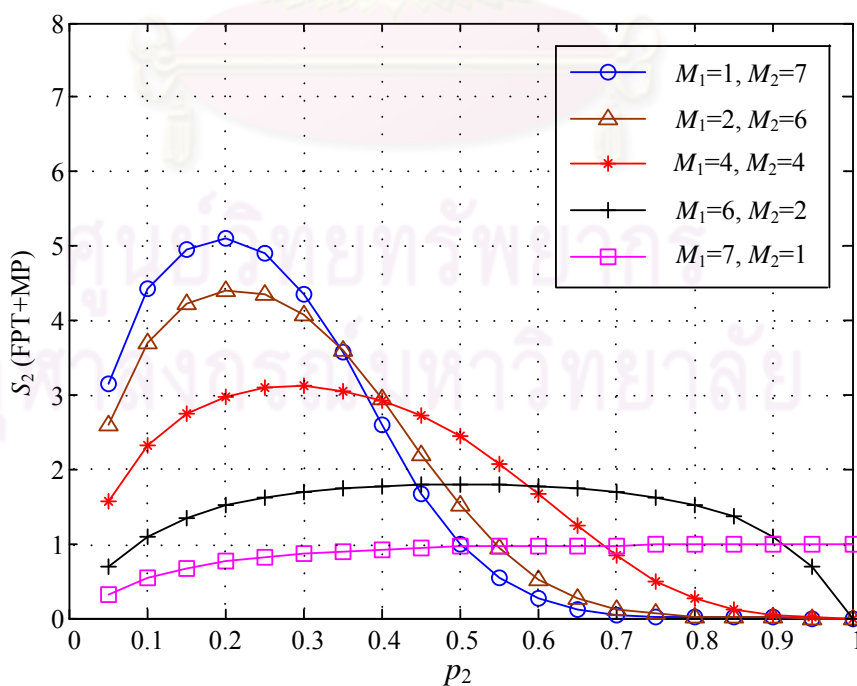
จากการสังเกตพบว่าเมื่อ p_2 ถูกกำหนดให้มีค่าต่ำกว่า 0.20 ค่าของ S_2 จะลดลงอย่างชัดเจน โดยไม่มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่า S_1 ซึ่งหมายความว่า การลดลงของโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพของผู้ใช้บริการคลาส 1 และเมื่อ p_2 ถูกกำหนดให้มีค่าสูงกว่า 0.20 ค่าของ S_1 จะลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อ $p_2 = 1$ ยกเว้นกรณีที่ $M_1:M_2 = 7:1$ เนื่องจากผู้ใช้บริการคลาส 2 มีเพียงรายเดียวเท่านั้นจึงไม่เกิดการชนเสมอ ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับเทคนิคการจองแบบ FPT ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองเป็นค่าอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 0.20 จะสังเกตได้จากรูปที่ 4.7 ผลรวมของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ดีที่สุด (optimal value, S_{max}) เสมอ

จากรูปที่ 4.8 แสดงช่วงของการควบคุมค่า QoS matrix (γ) ซึ่งพบว่ามีค่าค่อนข้างจำกัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 2.5 หมายความว่าผู้ใช้บริการคลาส 1 มีอัตราความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณสูงกว่าอัตราความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 เป็นจำนวน 2.5 เท่า อย่างไรก็ตามช่วงการควบคุมค่า γ อาจจะถูกขยายให้มากกว่านี้ได้โดยการลดค่า p_2 ลง แต่ก็ยังเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในการควบคุม γ ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ เนื่องจากช่วงของการควบคุมนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ p_2 อย่างมาก จึงสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อ p_2 ถูกกำหนดให้มีค่ามากกว่า 0.20 จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของทั้งผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบมากขึ้น ดังนั้นสัดส่วนจำนวนของผู้ใช้บริการในกรณี $M_1:M_2 = 7:1$ จะสามารถควบคุมค่า γ ได้ดีที่สุดในขณะที่ยังสามารถให้จำนวนความสำเร็จโดย

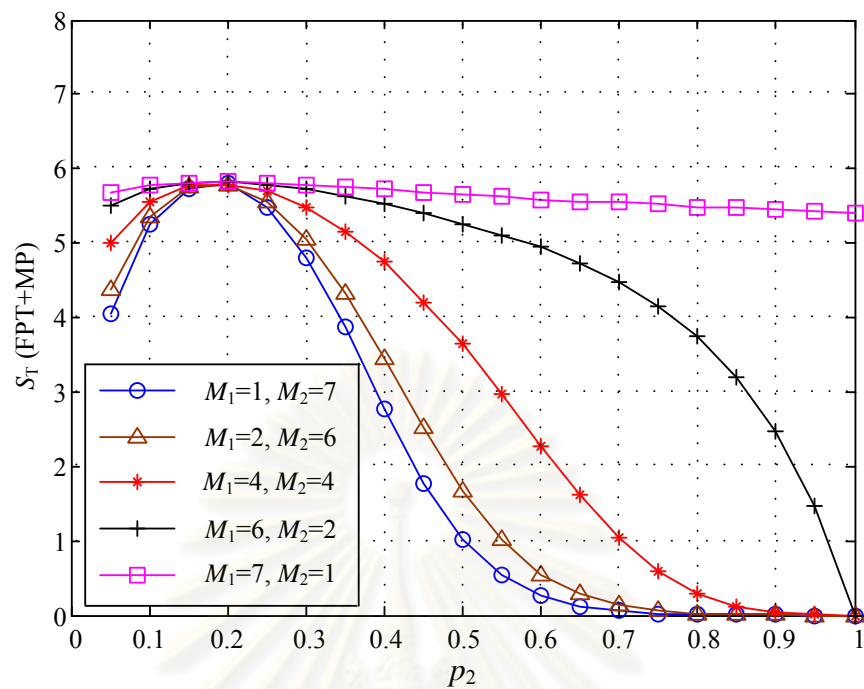
เฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุดอีกด้วย สำหรับกรณีที่ $\gamma < 1$ จะไม่ถูกนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอนี้ต้องการให้ผู้ให้บริการคลาส 1 ได้เปรียบผู้ให้บริการคลาส 2 เสมอ



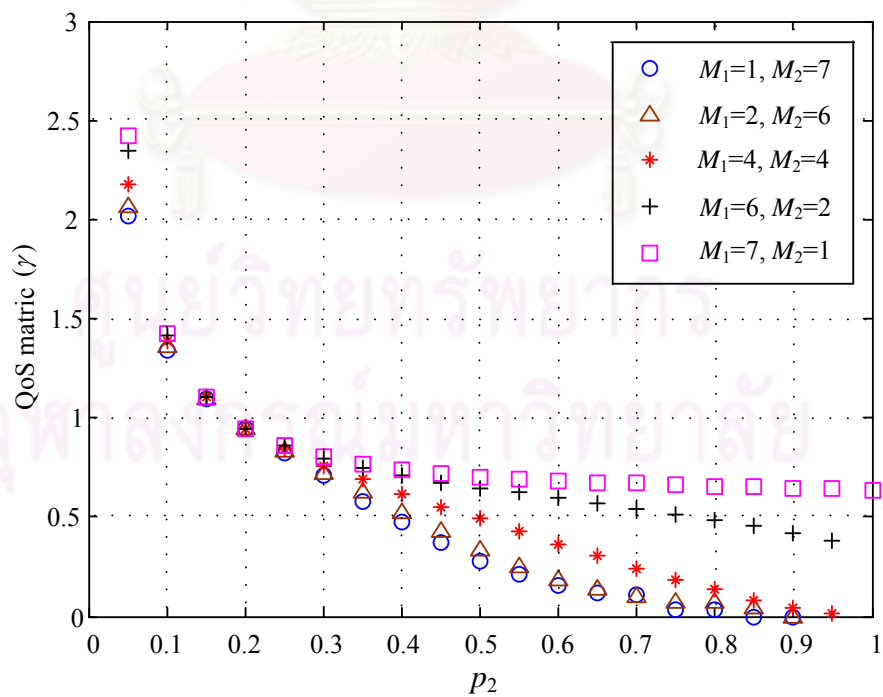
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการคลาส 1 และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ให้บริการคลาส 2 (p_2) ของเทคนิค FPT+MP



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการคลาส 2 และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ให้บริการคลาส 2 (p_2) ของเทคนิค FPT+MP



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (p_2) ของเทคนิค FPT+MP

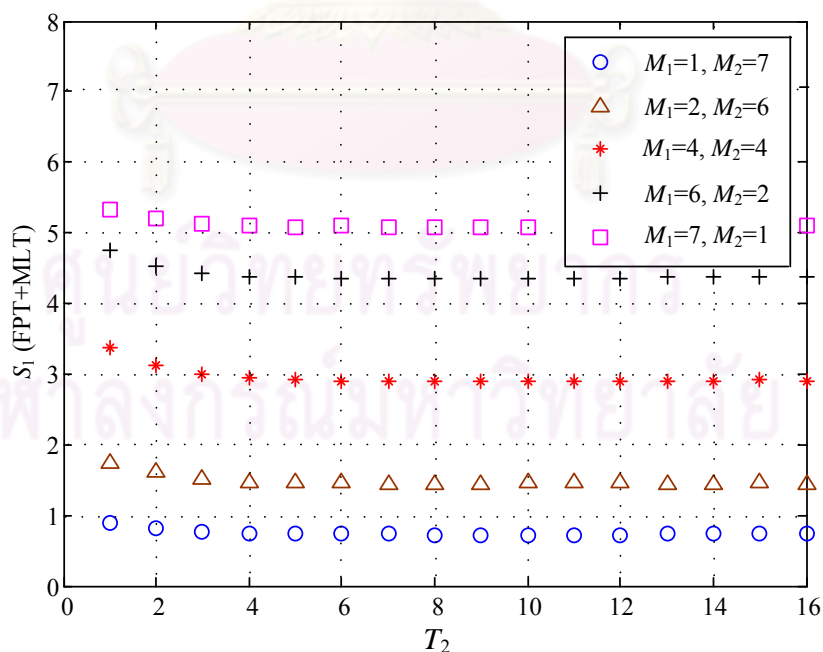


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (p_2) ของเทคนิค FPT+MP

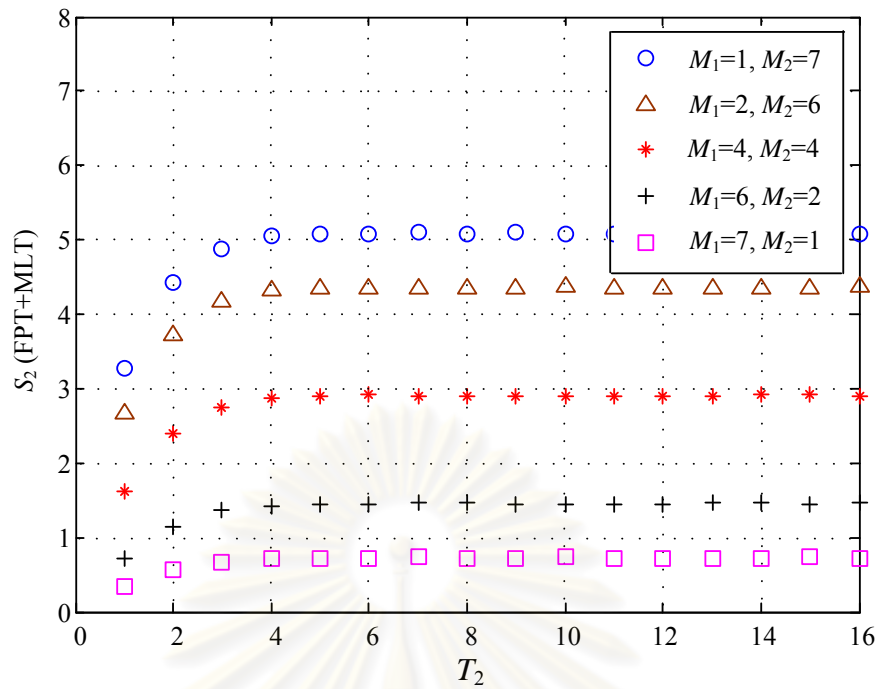
4.2.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT

จากรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11 แสดงสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ (S_T) ตามลำดับ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2) เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เท่ากับ 0.20 ซึ่งเป็น p_{optimal} ของเทคนิค FPT โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดเป็น $M = 8$ รายและจำนวนสลอตการจอง $N = 16$ จำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 1 ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เป็น $T_1 = 16$ (ซึ่งเป็นการเข้าจองแบบ FPT) ในขณะที่ T_2 เปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 ถึง 16 เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่มีต่อสมรรถนะของระบบ

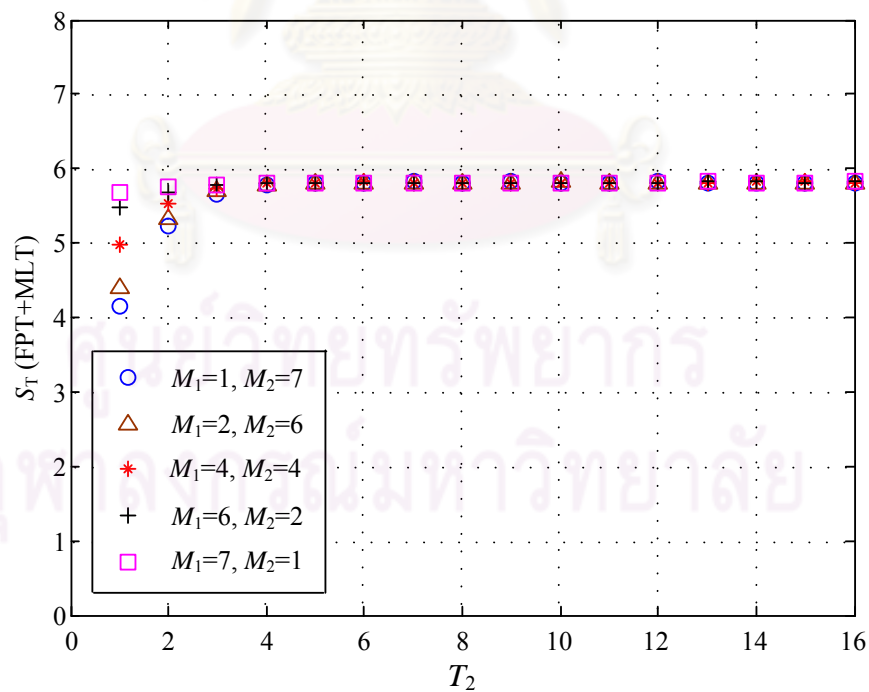
จากการสังเกตพบว่าเมื่อค่าของ T_2 เพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 4 ค่าของ S_1 จะลดลงในขณะที่ค่าของ S_2 และ S_T เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถใช้ประโยชน์จากการมีจำนวนโทเค็นที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้รับความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มโอกาสในการเข้าจอง อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวน T_2 เพิ่มขึ้นจาก 5 ถึง 16 จะสังเกตเห็นว่า S_1 และ S_2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 จะพบว่าช่วงการควบคุมค่าของ QoS matrix (γ) ไม่ได้จำกัดค่าอยู่เพียงในช่วง 1 ถึง 2.3 เท่านั้น แต่ยังมีค่าคงที่ในทุก ๆ กรณี เมื่อ $T_2 > 4$ จะให้ค่า $\gamma = 1$ จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้บริการคลาส 1 จะไม่ได้เปรียบผู้ใช้บริการคลาส 2 เลย



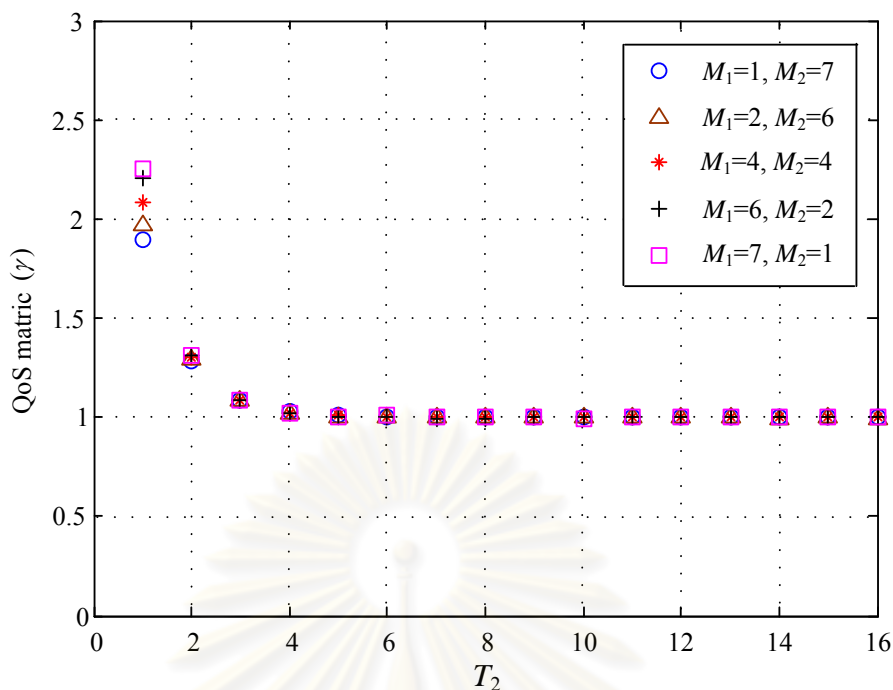
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนโทเคนของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจำนวนโทเคนของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2)

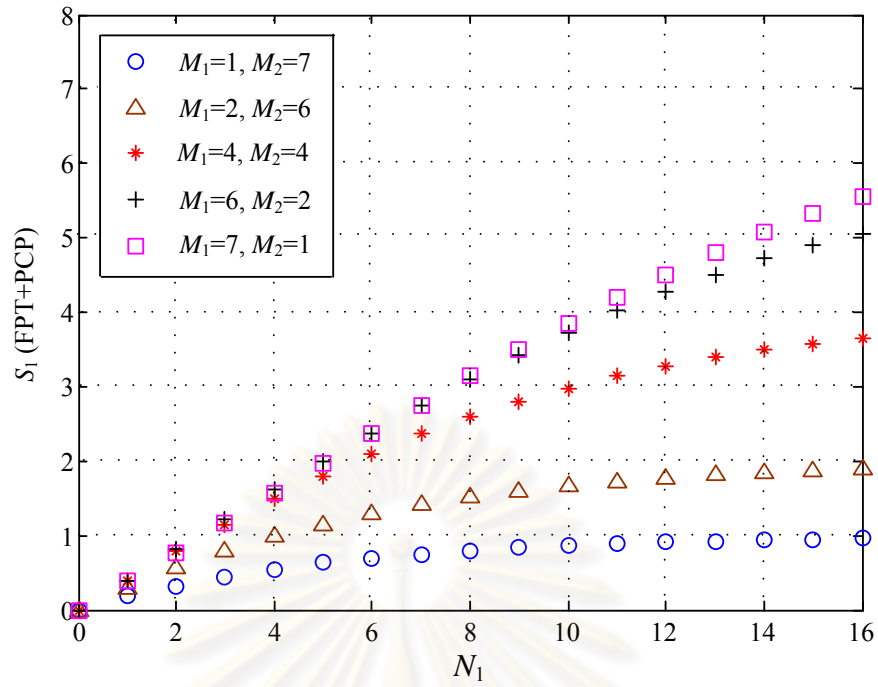


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และจำนวนโหนดของผู้ใช้บริการคลาส 2 (T_2)

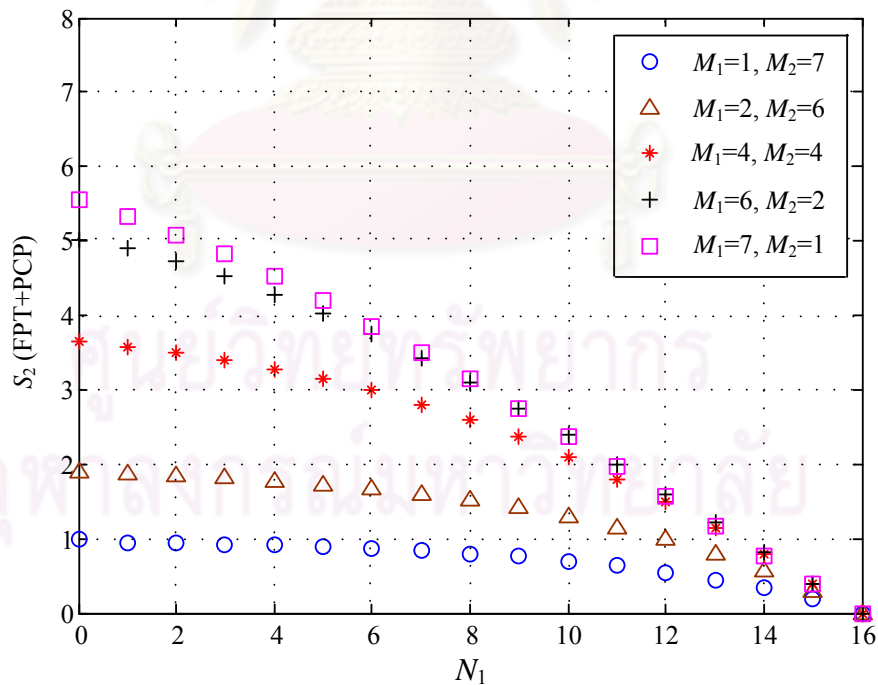
4.2.3 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP

รูปที่ 4.13 4.14 และ 4.15 แสดงสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) ในระบบตามลำดับ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจำนวนสล롯การจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1) เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และ 2 เป็น 0.20 ซึ่งเป็นค่า p_{optimal} ของเทคนิค FPT โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดเป็น $M = 8$ ราย และจำนวนสลอตการจอง $N = 16$ สลิต กำหนดจำนวนสลอตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 เปลี่ยนแปลงค่าจาก 0 ถึง 16 สลิต ดังนั้นจำนวนสลอตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2 (N_2) จึงมีค่าเป็น $N_2 = 16 - N_1$

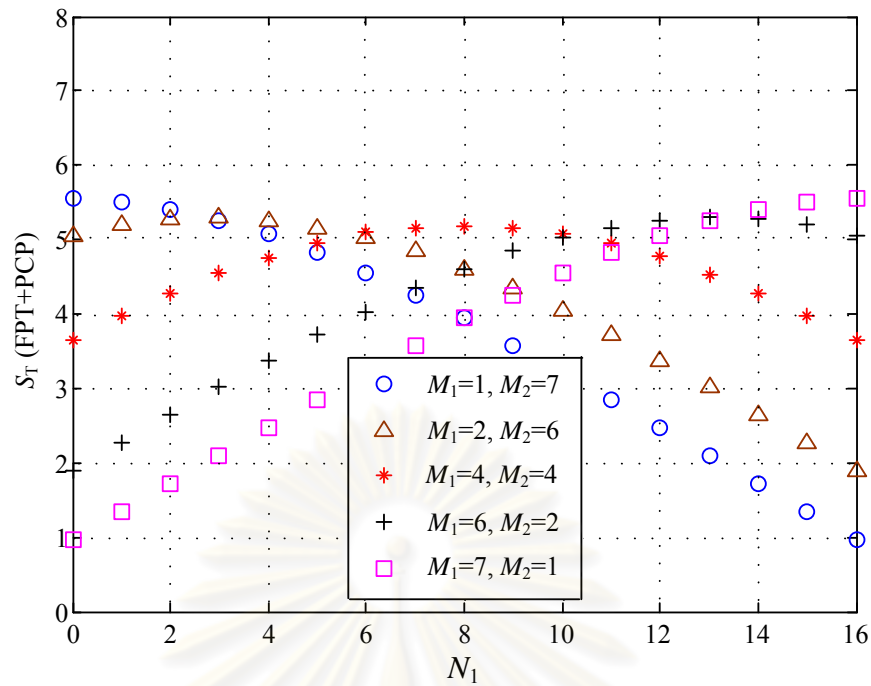
จากการสังเกตพบว่าเมื่อ N_1 เพิ่มขึ้น ค่าของ S_1 จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าของ S_2 จะลดลง ซึ่งเป็นไปตามความเป็นจริงที่สามารถคาดการณ์ได้เพราะว่าการเพิ่ม N_1 จะเป็นการเพิ่มโอกาสให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ประสบความสำเร็จในการจองมากขึ้นนอกเหนือจากการกำหนดค่าความน่าจะเป็น และในทางตรงกันข้ามการลดลงของ N_2 จึงเป็นการลดโอกาสให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2 จากเหตุผลดังกล่าวทำให้กราฟในรูปที่ 4.15 มีลักษณะสมมาตรในแกนของ N_1 โดยมีจุดกึ่งกลางอยู่ที่ $N_1 = N_2 = 8$ ซึ่งได้มาจาก $N/2$ และกรณีที่ S_T มีค่าสูงสุดเมื่อ $N_1 = 8$ คือ $M_1:M_2 = 4:4$ นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าที่ $N_1 = 0$ และ $N_1 = 16$ สลิต จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 มีค่าเป็นศูนย์ตามลำดับเนื่องจากไม่มีสลิตให้ทำการจอง



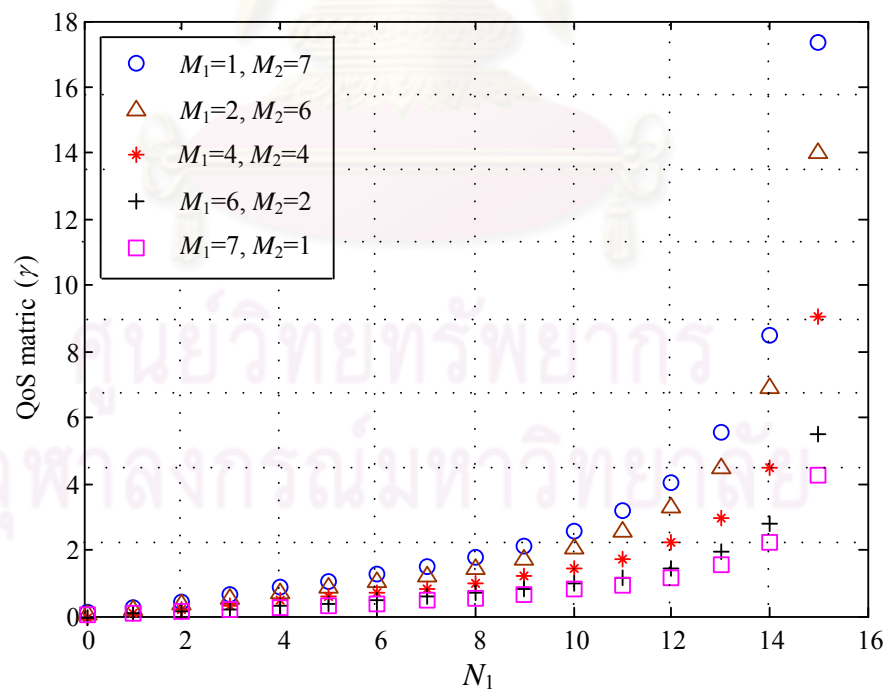
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดในการจอง และจำนวนสล๊อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 (N_1)

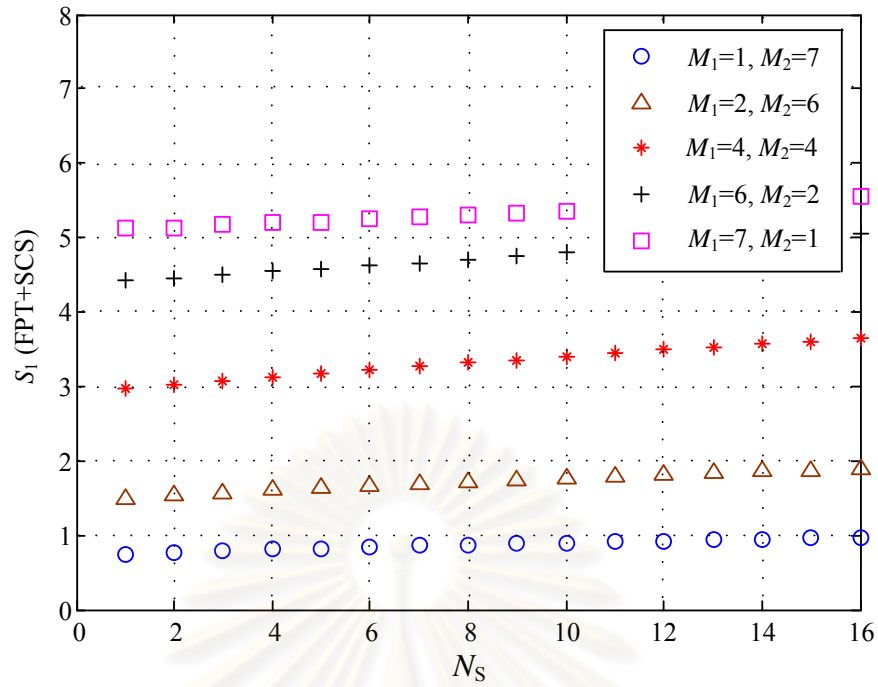


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และจำนวนสล๊อตการจองของผู้ใช้บริการ คลาส 1 (N_1)

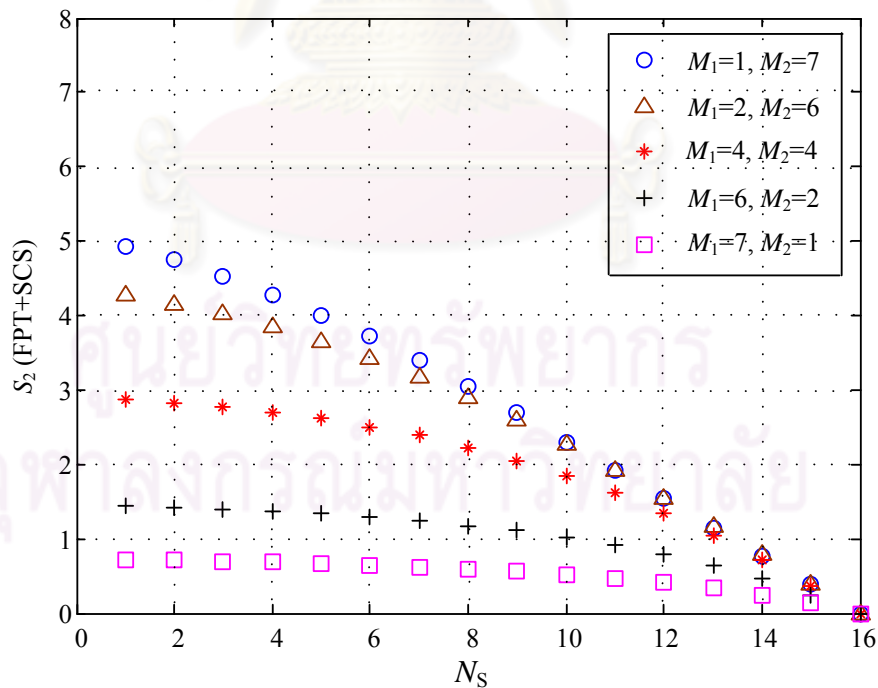
ผลลัพธ์ที่ได้ในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นถึงความน่าสนใจของพารามิเตอร์หลักที่มีความสำคัญต่อเทคนิคนี้ซึ่งช่วงที่สามารถควบคุมค่า QoS matrix (γ) มีช่วงที่กว้างมากขึ้นกว่าสองเทคนิคที่น่าเสนอก่อนหน้านี้ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 18 สำหรับเทคนิค FPT+PCP และมีค่าประมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 2.5 สำหรับเทคนิค FPT+MP และ FPT+MLT ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเทคนิค FPT+PCP สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันโดยมีค่า γ ที่สามารถควบคุมได้อยู่ในช่วงกว้างหรือมีค่า γ ที่ให้เลือกใช้งานที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบที่ได้จากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาที่ค่า γ ที่ต้องการค่าเดียวกันพบว่าเทคนิค FPT+PCP จะมีค่า S_T สูงกว่าของเทคนิค FPT+MP โดยสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่ให้ค่า γ สูงสุดคือ $M_1:M_2 = 1:7$

4.2.4 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS

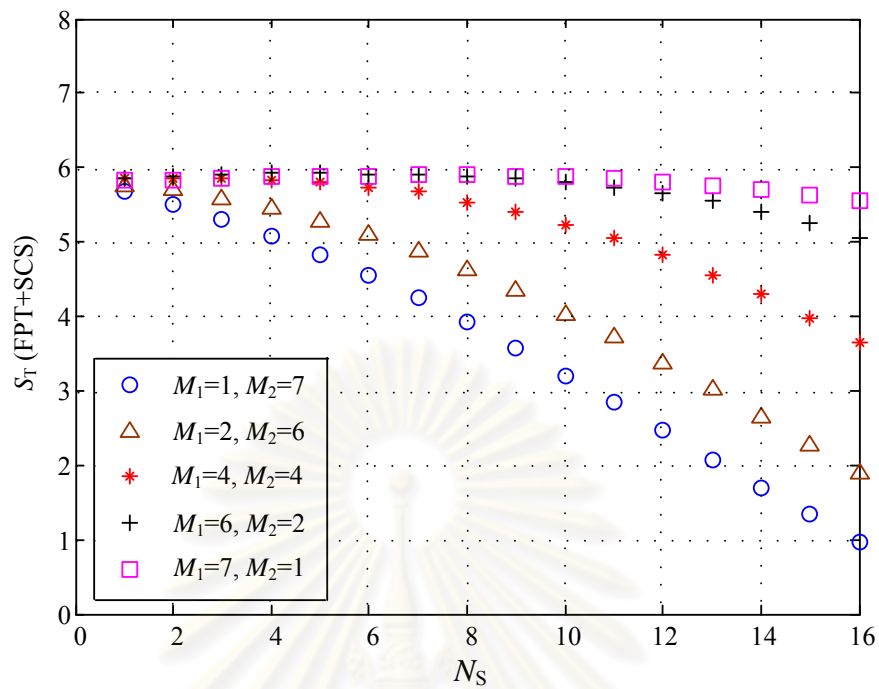
จากรูปที่ 4.17 4.18 และ 4.19 แสดงสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) ในระบบตามลำดับ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_S) สำหรับการเข้าทำการจองครั้งแรกของผู้ใช้บริการคลาส 2 เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และ 2 เป็น 0.20 ซึ่งเป็นค่า $p_{optimal}$ ของเทคนิค FPT โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดเป็น $M = 8$ ราย และจำนวนสลิตการจอง $N = 16$ สลิต ขณะที่จำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_S) จะเปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 ถึง 16 สลิต จากการสังเกตพบว่าเมื่อ N_S เพิ่มจำนวนขึ้น (หมายความว่าจะมีจำนวนสลิตการจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถทำการจองได้ลดลง) ค่าของ S_2 จะลดลงอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้ใช้บริการส่วนเป็นผู้ใช้บริการคลาส 2 เป็นที่น่าประหลาดใจว่าค่าของ S_1 กลับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) ในระบบจะลดลงเสมอเมื่อ N_S เพิ่มจำนวนขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.19 ซึ่งไม่เหมือนกับเทคนิคการจองอื่นๆ ที่นำเสนอก่อนหน้านี้คือผู้ใช้บริการคลาส 1 จะถูกกำหนดให้ได้ เปรียบผู้ใช้บริการคลาสน้อยตลอดเวลา ดังนั้นค่า QoS matrix (γ) จึงมีค่ามากกว่า 1 เสมอ สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.20 ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิค FPT+SCS จะให้ค่า γ ในช่วงกว้างคือประมาณ 1 ถึง 18 ซึ่งมีช่วงกว้างมากกว่าค่าที่ได้จากเทคนิค FPT+MP และ FPT+MLT และมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิค FPT+PCP



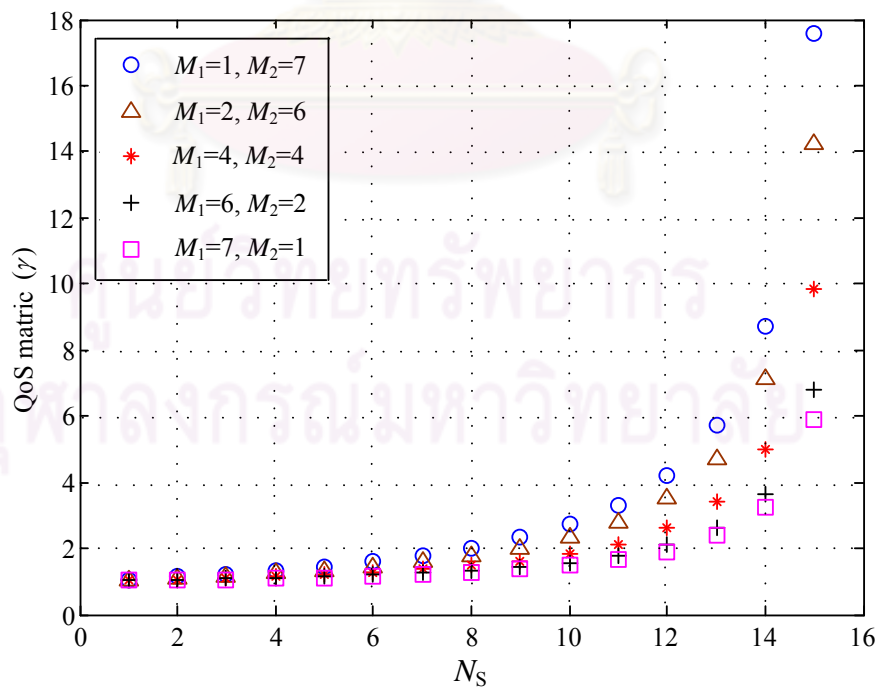
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_s)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการคลาส 2 และจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_s)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมดในการจอง และจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_s)

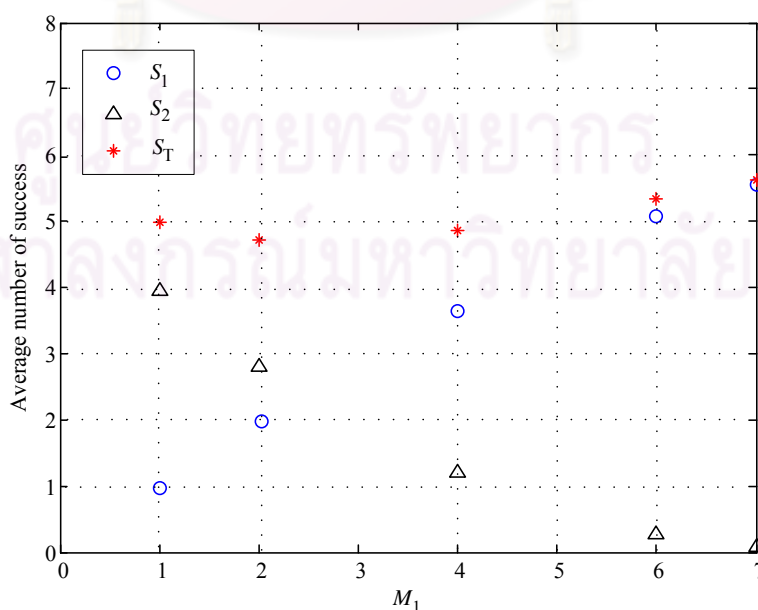


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS matrix (γ) และจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อนไป (N_s)

4.2.5 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF

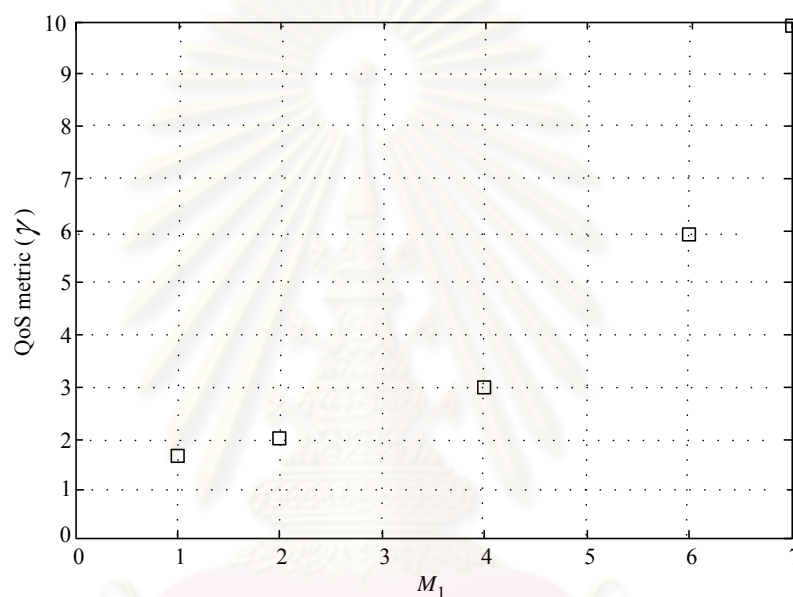
จากรูปที่ 4.21 แสดงสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) ผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) และผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) เป็นฟังก์ชันของจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1) โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ 8 ราย และจำนวนสล롯การจอง (N) มีค่าเป็น 16 สล롯 กำหนดให้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการทั้งสองคลาสเป็น $p_1 = p_2 = 0.20$ ซึ่งเป็น p_{optimal} สำหรับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1) มีค่าเปลี่ยนแปลงเป็น 1 2 4 6 และ 7 รายเพื่อให้สอดคล้องกับสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่ได้แสดงในเทคนิคการจองอื่นๆ

จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1) เพิ่มขึ้น จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 (S_1) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) จะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจำนวนสลอตที่เหลือให้ผู้ใช้บริการคลาส 2 ได้ทำการจองมีจำนวนน้อย ยิ่งไปกว่านั้นจากการสังเกตที่ค่า $M_1 = 2$ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยแต่ยังคงใช้จำนวนสลอตในปริมาณมาก ส่งผลให้เส้นกราฟที่ได้ไม่มีคุณสมบัติความเป็นสมมาตรกันที่ค่าหนึ่งค่าใด ความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณค่าหนึ่ง เมื่อพิจารณาที่ $M_1 = 1$ และ 2 จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) จะมีค่าเป็น 4.00 และ 2.81 ตามลำดับ และเมื่อ M_1 มีค่าเป็น 6 และ 7 จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 (S_2) จะมีค่าน้อยมากคือ 0.20 และ 0.01 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยและจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า QoS metric (γ) และจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1) จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าของ γ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของค่า M_1 จะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อพิจารณาที่ค่า $M_1 = 1$ ค่าของ $\gamma = 1.7$ และที่ค่า $M_1 = 7$ ค่าของ $\gamma = 10$ สำหรับสัดส่วนจำนวนผู้ใช้บริการระหว่างคลาส 1 และคลาส 2 ในแต่ละค่านั้นจะให้ γ เพียงแค่ค่าเดียวเสมอโดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟ ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการจองแบบอื่น ๆ ที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการจองแบบ FPT+HFF ไม่มีกลไกการควบคุมค่าของ γ



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง QoS metric (γ) และจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 (M_1)

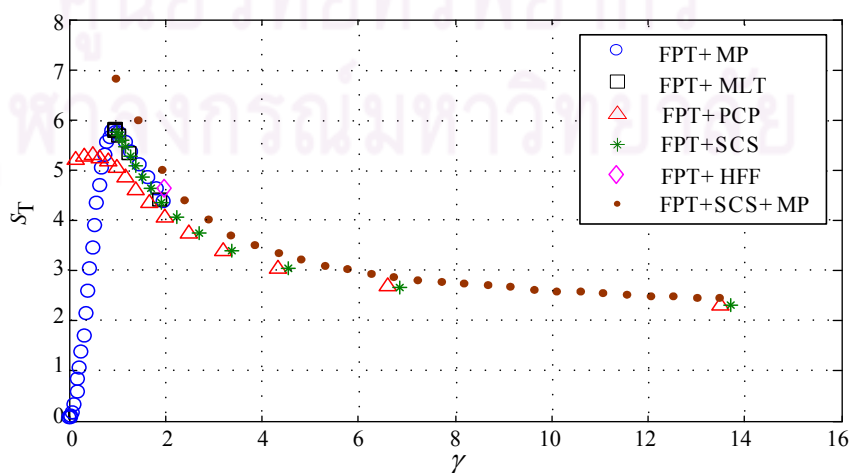
4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

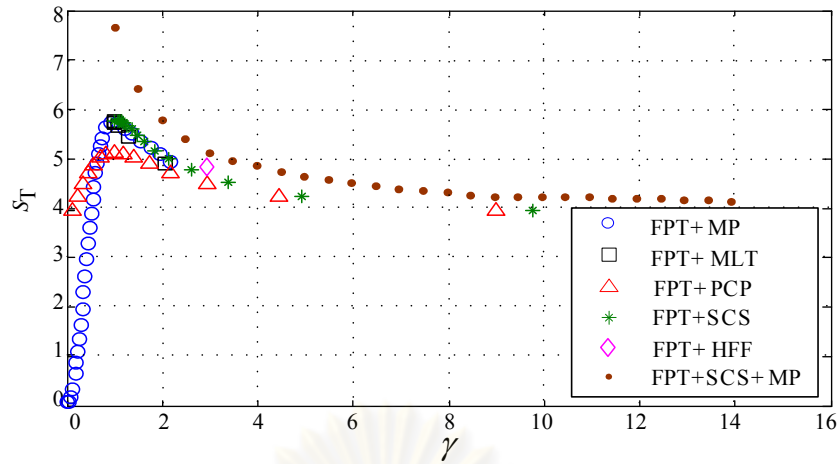
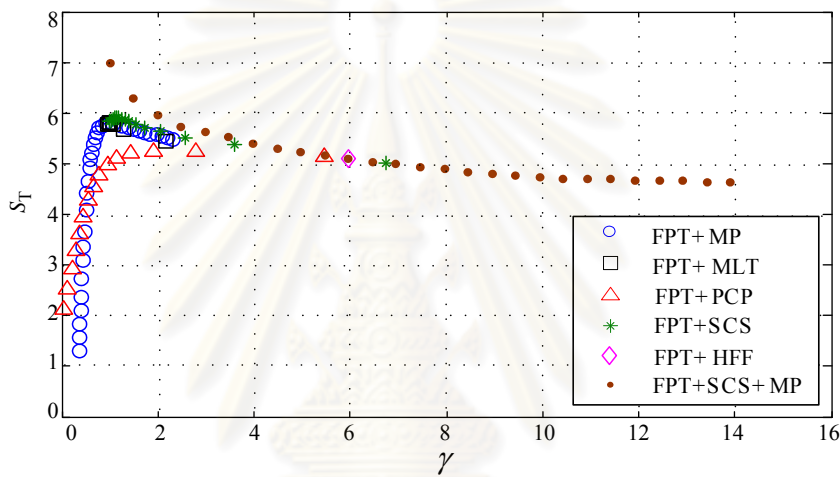
ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอมาทั้งหมด โดยได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคเหล่านี้โดยใช้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของผู้ใช้บริการทั้งหมด (S_T) เป็นตัวชี้วัด เมื่อทำการพิจารณาค่า QoS metric (γ) ที่ต้องการเป็นค่าเดียวกัน กำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด $M = 8$ รายและมีจำนวนสล롯การจองเป็น $N = 16$ สล롯 จากรูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_T และ γ สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาสทั้งหมดและอีกเทคนิคหนึ่งซึ่งเป็นการรวมเอาข้อดีของกลไกของเทคนิค FPT+SCS และ FPT+SCS โดยจะเรียกเทคนิคนี้ว่า FPT+SCS+MP ภายใต้สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่แตกต่างในแต่ละคลาส ($M_1:M_2$)

จากรูปนี้แสดงให้เห็นว่าช่วงที่สามารถควบคุมค่า QoS metric (γ) ของเทคนิค FPT+MP และ FPT+MLT มีค่าใกล้เคียงกันและสังเกตได้ว่าช่วงการควบคุมของเทคนิคเหล่านี้มีช่วงแคบกว่า

ช่วงที่ได้จากเทคนิค FPT+PCP และ FPT+SCS ในขณะที่เทคนิค FPT+HFF จะให้ γ เพียงแค่ค่าเดียวเท่านั้น เมื่อพิจารณากรณีที่ γ มีค่ามากกว่า 1 โดยเทคนิคแบบ FPT+PCP จะให้ค่า S_T ต่ำที่สุดในขณะที่เทคนิคอื่นๆ จะให้ค่า S_T ใกล้เคียงกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าเทคนิคแบบ FPT+SCS เป็นเทคนิคเดียวที่ครอบคลุมทั้ง 2 ลักษณะเด่นที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือต้องการได้ค่า S_T สูงที่สุด อีกทั้งยังสามารถควบคุมค่า γ ตามที่ต้องการได้ในช่วงกว้าง อย่างไรก็ตามเทคนิคแบบ FPT+SCS ยังมีข้อเสียในประเด็นของค่า γ ที่ได้นั้นยังมีจำนวนจำกัดแค่บางค่าเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับเทคนิคแบบ FPT+MP จะให้ค่า γ จำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้สมรรถนะที่สูงกว่าจึงได้นำเสนอการรวมเอาข้อดีของทั้งเทคนิคแบบ FPT+MP และ FPT+SCS ซึ่งจะเรียกเทคนิคใหม่นี้ว่า FPT+SCS+MP จากผลลัพธ์ในรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคแบบ FPT+SCS+MP มีค่า S_T สูงกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอมาทั้งหมด ขณะที่ยังสามารถควบคุมระดับของ γ ตามที่ต้องการได้โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนสลิตการจ้องที่ถูกเลื่อน (N_S) และความแตกต่างของค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจ้องสำหรับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส (p_1 และ p_2) ดังนั้น S_T จึงมีค่าสูงกว่าเทคนิคอื่น ๆ ทั้งหมด

จากที่ได้อธิบายมาในข้างต้นทำให้ทราบว่าค่าของ S_T จะลดลงเสมอที่ γ มีค่าสูงๆ จากข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่าคุณภาพของการให้บริการระหว่างผู้ใช้บริการทั้งสองคลาสจะมีค่าต่างกันมากซึ่งเป็นผลมาจากค่า S_T โดยมีเหตุผลคือเพื่อให้ได้รับ γ ที่มีค่าสูงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจำกัดการเข้าจ้องช่องสัญญาณจากผู้ให้บริการคลาส 2 เพื่อลดอัตราความสำเร็จในการจ้องลง ดังนั้นค่า S_T โดยทั่วไปแล้วจะลดลง สังเกตได้จากความกว้างของช่วงการควบคุมค่า γ ดังในรูปที่ 4.23(a) ซึ่งกว้างมากกว่าในรูปที่ 4.23(b) และ 4.23(c) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในรูปที่ 4.23(a) มีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบมากกว่าในรูปอื่นๆ ซึ่งหมายความว่ากรณีที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวนมากส่งผลให้จำนวนความสำเร็จของผู้ให้บริการคลาส 2 ลดลงนั่นเอง

(a) $M_1=2, M_2=6$

(b) $M_1=4, M_2=4$ (c) $M_1=6, M_2=2$

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ

บทนี้จะกล่าวถึงที่มาของปัญหาและความสำคัญของปัญหาโดยอ้างอิงถึงสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการหนึ่งรายหรือมากกว่านั้นไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณบนพื้นฐานการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP (Cascade Fixed Probability) และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique) เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากการที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองและหาแนวการป้องกันหรือแก้ไขต่อไป

5.1 ที่มาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา

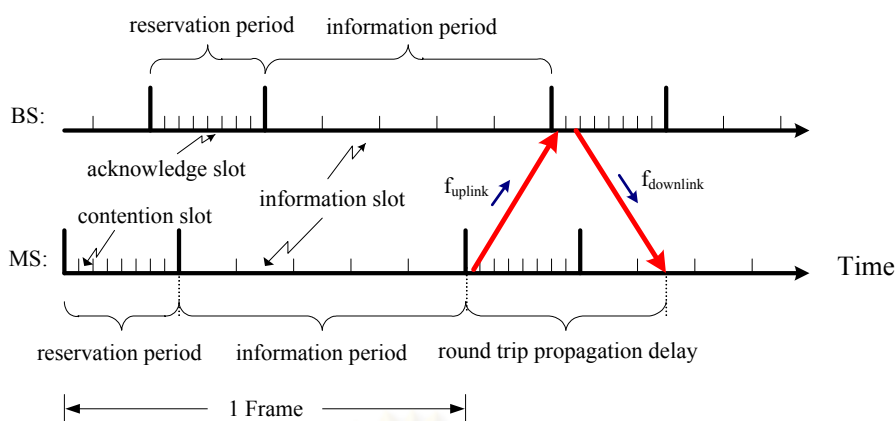
สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณในชั้นควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณหรือ Media Access Control (MAC) ในปัจจุบันได้กลายมาเป็นประเด็นสำหรับเครือข่ายการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สายที่มียุทธศาสตร์จำนวนมากให้ความสนใจ [31–36] โดยเฉพาะอย่างยิ่งมุมมองในเรื่องของสมรรถนะและความปลอดภัย สำหรับมุมมองในเรื่องของสมรรถนะนั้นผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง (misbehaved) อาจจะไปเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเข้าถึงช่องสัญญาณเพื่อให้ตนเองได้รับโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากขึ้นอย่างไม่ยุติธรรม (unfairness) และสำหรับมุมมองในเรื่องของความปลอดภัยนั้นผู้ใช้บริการที่มีจุดมุ่งหมายที่จะเข้ามาเพื่อทำลาย (malicious) กฎเกณฑ์ในการเข้าจองช่องสัญญาณซึ่งเป็นสาเหตุให้ผู้ใช้บริการที่ทำตามกลไกการจองปกติ (well-behaved) หรือผู้ใช้บริการที่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณได้รับผลกระทบโดยตรงซึ่งอาจจะไม่สามารถทำการจองได้เป็นเวลานานหรือไม่ก็ทำให้สมรรถนะของระบบทั้งหมดแย่ลง

ความหลากหลายของปัญหาในแง่มุมมองต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองในชั้น MAC ได้มีการศึกษามาอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ IEEE 802.11 WLANs ได้นำเสนอเทคนิคการโกง (cheating) [50–53] บนพื้นฐานการทำงานของโพรโทคอล DCF (Distributed Coordination Function) ซึ่งเป็นโพรโทคอลประเภทที่ต้องทำการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11 [57,58] วิธีการโกงสามารถทำได้ง่ายและให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป วิธีการที่ผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีมากมายทั้งในส่วนของช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลงซึ่งได้ถูกนำเสนอใน [31–34] จากเอกสารอ้างอิงนี้ได้นำเอาวิธีการเลือกช่วงการแบ็กออฟ (backoff interval) ที่มีเวลาน้อยกว่าตามที่ได้ระบุไว้ในโพรโทคอล DCF โดยการใช้วิธีการส่งซ้ำของแพ็กเก็ตที่แตกต่างกันเมื่อเกิดการ

ชนชั้นซึ่งจะไม่ต้องขยายขนาดหน้าต่างแข่งขัน (Contention Window: CW) ออกเป็นสองเท่า [31,34] หรือการกำหนดช่วงเวลาในการรอให้มีค่ามากกว่าเวลาในการส่งข่าวสารที่ต้องการจริงในเฟรมหนึ่ง [37] ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการรายอื่นๆ ต้องรอเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Network Allocation Vector: NAV) เป็นเวลานานขึ้นกว่าเดิมหรือเป็นสาเหตุให้เกิดการชนของเฟรม CTS, ACK หรือ DATA กับผู้ใช้บริการรายอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกันด้วยความตั้งใจเพื่อให้หน้าต่างแข่งขันขยายขนาดเป็นสองเท่า [45] สำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองในชั้นที่สูงขึ้นเช่นการหาเส้นทางในการเชื่อมต่อเครือข่ายได้มีการศึกษากันมาก ยกตัวอย่างเช่นเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองอาจจะทำการปฏิบัติที่จะส่งต่อแพ็กเก็ตตลอดเวลาในฐานะที่เป็นผู้ใช้รายหนึ่งซึ่งไม่ใช่ผู้ใช้ที่อยู่ต้นทางหรือปลายทางเพื่อต้องการลดการใช้พลังงานของตนเองหรือค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้น [34,35] การกระทำดังกล่าวปกติแล้วจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบหรือ ไม่ก็ทำให้เกิดการขาดการติดต่อกับผู้ใช้บริการบางราย ความเป็นไปได้ในการปฏิเสธการโจมตีสัญญาณซิกแนลลิงหรือสัญญาณควบคุมของเครือข่ายไร้สาย 3G บนพื้นฐานของ CDMA2000 และ UMTS ซึ่งได้ถูกนำเสนอและศึกษาใน [46] วัตถุประสงค์ของการศึกษาเหล่านี้ประกอบด้วย การแบ่งประเภทของเทคนิคการจองที่แตกต่างกันคือ ผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ที่ปฏิบัติตามกฎการจอง และการกำจัดผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองในชั้น MAC โดยการออกแบบโพรโทคอลชนิดใหม่ที่สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง [39] หรือนำเสนอ อัลกอริทึมการตรวจจับ (detection) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่มีประสิทธิภาพ [48]–[51] ร่วมกับแบบแผนการลงโทษ (punishment) [41] นอกจากนั้นแล้วในเครือข่ายที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ตนเองได้ประโยชน์สูงสุดสำหรับการแก้ปัญหาที่นิยมนำทฤษฎีเกม (game theory) มาประยุกต์สร้างแบบจำลองปัญหาเครือข่ายซึ่งถูกพิจารณาให้เป็นเหมือนเกมส์ [52]–[54]

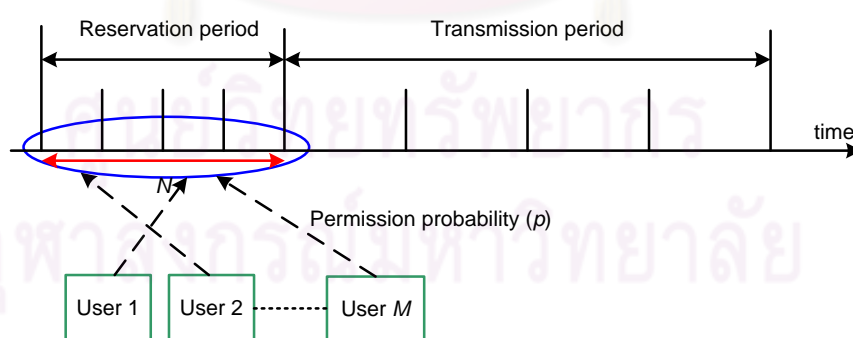
5.2 สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารสัญญาณไร้สายที่เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่าน้อยกว่าเวลาที่ให้ข้อมูลจากข้อสมมติฐานนี้ทำให้ทราบว่าผู้ใช้บริการจะสามารถรู้ผลการจองของตนเองได้หลังจากสิ้นสุดช่วงการจองในแต่ละเฟรมซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถทำการจองได้เพียงครั้งเดียวในแต่ละเฟรม สำหรับโครงสร้างเฟรมและการทำงานของระบบที่นำเสนอสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างเฟรมและการทำงานของระบบที่นำเสนอ

สำหรับกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค CFP สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.2 ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะพยายามทำการจองช่องสัญญาณในแต่ละสล็อตอย่างเป็นลำดับจากสล็อตแรกถึงสล็อตสุดท้าย ในแต่ละสล็อตผู้ใช้จะตัดสินใจที่จะทำการจองหรือไม่โดยทำการสุ่มความน่าจะเป็นมาหนึ่งค่าแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่สถานีฐานเป็นผู้กำหนดและกระจายข่าวสารนี้ไปยังผู้ใช้บริการทุกรายในพื้นที่ของตนเองซึ่งความน่าจะเป็นนี้จะถูกเรียกว่า “ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองช่องสัญญาณ” หรือ permission probability (p) ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงการจองในแต่ละเฟรม หากความน่าจะเป็นที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่า p จะสามารถเข้าทำการจองได้ หากไม่เป็นเช่นนั้นแล้วผู้ใช้บริการจะพยายามเข้าจองใหม่อีกครั้งในเฟรมถัดไป



รูปที่ 5.2 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค CFP

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค CFP ได้ถูกศึกษาและเปรียบเทียบกับสมรรถนะกับเทคนิคอื่น ๆ [19] เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการจำนวน M ราย และจำนวนสล็อตการจอง N สล็อตในแต่ละเฟรม ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณโดยใช้สมการ (1) ได้ดังนี้

$$S[M, N, p] = \sum_{k=0}^M k P[k | M, N, p] \quad (1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} P[k | M, N, p] &= b[M, 0, p] P[k | M, N-1, p] \\ &\quad + b[M, 1, p] P[k-1 | M-1, N-1, p] \\ &\quad + \sum_{i=2}^M b[M, i, p] P[k | M-i, N-1, p] \end{aligned} \quad (2)$$

และ $b[M, i, p]$ คือฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบไบนอมิเยลซึ่งมีผู้ใช้ i รายจากผู้ใช้บริการทั้งหมด M ราย ทำการจองในสล็อตหนึ่งด้วยความน่าจะเป็น p ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$b[M, i, p] = \binom{M}{i} p^i (1-p)^{M-i} \quad (3)$$

และมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k | m, n, p] = \begin{cases} 0, & k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1, & k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0, & k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1, & k = 0, m = 0, n \geq 0 \\ 0, & k > 0, m = 0, n \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ $m \in \{0, 1, \dots, M\}$ และ $n \in \{0, 1, \dots, N\}$ จากสมการ (1) ถึง (4) ถูกสร้างขึ้นในรูปแบบของรีเคอร์ซีฟ (recursive formula) ซึ่งหมายความว่า การค้นหาคำตอบของปัญหาทั้งหมดที่ต้องการจะได้อาจทำได้จากคำตอบเล็กๆ และจะขยายต่อเนื่องไปจนได้คำตอบทั้งหมดในที่สุด การแสดงสูตรเพื่อหาคำตอบในลักษณะนี้จะใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามปัญหาที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อลดปัญหาข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้นำเสนอสูตรการหาคำตอบรูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าและยังคงให้ความถูกต้องเช่นเดิมซึ่งถูกแสดงในสมการ (5)

$$\begin{aligned} S[M, N, p] &= M \left(\begin{aligned} & \left(p(1-p)^{M-1} + (p(1-p)(1-p(1-p))^{M-1}) \right) \\ & + \left(p(1-p)^2 (1-p(1-p)^2)^{M-1} \right) \\ & + \dots + \left(p(1-p)^{N-1} (1-p(1-p)^{N-1})^{M-1} \right) \end{aligned} \right) \\ &= M \sum_{i=1}^N \left(p(1-p)^{i-1} (1-p(1-p)^{i-1})^M \right) \end{aligned} \quad (5)$$

5.3 กลไกการทำงานของเทคนิคที่นำเสนอและการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์

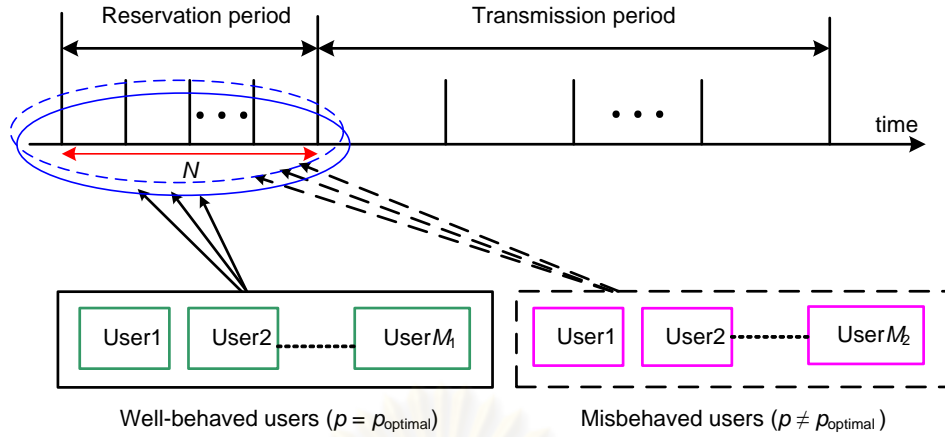
หลังจากได้อธิบายเทคนิคการจองช่องสัญญาณ CFP มาในข้างต้น ในหัวข้อนี้จะพิจารณาปัญหาของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้บริการทั้งหมด

จะทำการจองช่องสัญญาณโดยใช้กฎเกณฑ์และข้อสมมติฐานเดียวกัน โดยวัตถุประสงค์หลักคือการนำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูงกว่าเดิม การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบจะแสดงในรูปของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ ผู้ใช้บริการทั่วไป และผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

สำหรับสถานการณ์ของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองอาจใช้ความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นค่าอื่น ๆ ที่แตกต่างไปจากค่าที่เหมาะสมที่สุด (p_{optimal}) ซึ่งค่านี้ได้มาจากการคำนวณของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP หรืออาจเป็นการร้องขอเพื่อทำการจองช่องสัญญาณมากกว่าหนึ่งครั้งในแต่ละเฟรม นอกจากนั้นแล้วอาจมีการเลื่อนหรือประวิงเวลาในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อลดโอกาสในการชนให้น้อยลง จากสถานการณ์เหล่านี้อาจเกิดขึ้นเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันเพื่อให้ได้เปรียบเหนือผู้ให้บริการทั่วไป ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสถานการณ์การไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ คือ CPP (Changed Permission Probability) CPP+MT (Changed Permission Probability + Multi-Token) และ CPP+SRT (Changed Permission Probability + Shifted Reservation Time) โดยจะอธิบายระบบการทำงานของสถานการณ์การที่นำเสนอทั้งหมด ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ในลำดับถัดไป

5.3.1 สถานการณ์ CPP

จากหัวข้อ 5.2 ทำให้ทราบถึงกลไกการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ซึ่งผู้ให้บริการทั่วไป (well-behaved) จะยังคงใช้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด (p_{optimal}) ถึงแม้ว่าจำนวนผู้ให้บริการจะลดลงเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ให้บริการทั้งหมด ซึ่งได้มาจากการคำนวณตามสมการที่ (1) ถึง (4) ในขณะที่ความน่าจะเป็นของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง (misbehaved) จะมีค่าแตกต่างจากค่าความน่าจะเป็นของผู้ให้บริการทั่วไปโดยอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงให้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าเพื่อให้ได้รับโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจองมากขึ้น จากลักษณะการทำงานจึงเรียกสถานการณ์นี้ว่า Changed Permission Probability (CPP) โดยกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณแบบ CPP เมื่อพิจารณาในระบบที่มีผู้ใช้บริการทั่วไป M_1 ราย และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง M_2 ราย โดยมีจำนวนสลอตการจอง N สลอต เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจจองของผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองกับ p_1 และ p_2 ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองในแต่เฟรมสามารถคำนวณได้จากสมการ (6) และ (7) ดังนี้

$$S_{CPP_1}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N, p_1, p_2] \quad (6)$$

และ

$$S_{CPP_2}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N, p_1, p_2] \quad (7)$$

เมื่อ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N, p_1, p_2]$ คือความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการทั่วไปจำนวน k_1 ราย และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจำนวน k_2 ราย ประสบความสำเร็จในการจอง โดยกำหนดให้ระบบมีผู้ใช้บริการทั่วไปและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจำนวน M_1 และ M_2 ตามลำดับ และมีจำนวนสลอตการจอง N สลอต โดยใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองสำหรับผู้ให้บริการทั่วไปและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็น p_1 และ p_2 ตามลำดับ

$$\begin{aligned} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N, p_1, p_2] &= P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N] \\ &= b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, N-1] \\ &\quad + b[M_1, 1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1-1, k_2 | M_1-1, M_2, N-1] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +b[M_1, 0, p_1]b[M_2, 1, p_2]P[k_1, k_2 - 1 | M_1, M_2 - 1, N - 1] \\
& +b[M_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2]P[k_1, k_2 | M_1, M_2 - i_2, N - 1] \\
& +b[M_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1]P[k_1, k_2 | M_1 - i_1, M_2, N - 1] \\
& + \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^{M_2} b[M_1, i_1, p_1]b[M_2, i_2, p_2]P[k_1, k_2 | M_1 - i_1, M_2 - i_2, N - 1]
\end{aligned} \tag{8}$$

และมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] = \begin{cases} 0, & k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0, & k_1 + k_2 > n, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0, & k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 \geq 0, n = 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 = 0, n \geq 0. \end{cases} \tag{9}$$

ในทำนองเดียวกันกับสูตรการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค CFP ดังแสดงในสมการ (1) ถึง (5) ในรูปของรีเคอร์ซีฟ อย่างไรก็ตามการคำนวณจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวน M และ N ด้วยเหตุนี้จึงได้เสนอรูปแบบการคำนวณใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อแก้ปัญหาเดียวกันนี้โดยยังคงให้ความถูกต้องเช่นเดิม ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองสำหรับผู้ให้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจากสมการ (10) และ (11) ตามลำดับดังนี้

$$S_{CPP_1}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = M_1 \sum_{i=1}^N \left(p_1(1-p_1)^{i-1} (1-p_1(1-p_1)^{i-1})^{M_1-1} (1-p_2(1-p_2)^{i-1})^{M_2} \right) \tag{10}$$

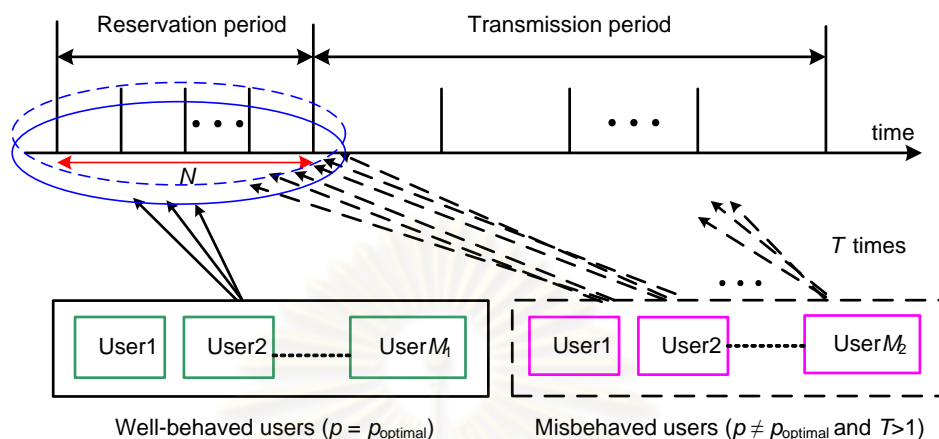
และ

$$S_{CPP_2}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = M_2 \sum_{i=1}^N \left(p_2(1-p_2)^{i-1} (1-p_2(1-p_2)^{i-1})^{M_2-1} (1-p_1(1-p_1)^{i-1})^{M_1} \right) \tag{11}$$

5.3.2 สถานการณ์แบบ CPP+MT

สำหรับสถานการณ์แบบ CPP+MT ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองไม่เพียงแต่เปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจการจองเช่นเดียวกับสถานการณ์แบบ CPP แต่ยังพิจารณาถึงความพยายามในการเข้าจองของสัญญาณมากกว่าหนึ่งครั้งในแต่ละเฟรม ตามหลักในการจองโดยทั่วไปแล้ว การอนุญาตให้ผู้ให้บริการมีโอกาสในการทำการจองมากขึ้นจะส่งผลให้ผู้ใ้รายนั้นมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จมากขึ้นตามไปด้วย จากกลไกการทำงานดังกล่าวจะเรียกสถานการณ์นี้ว่า Changed Permission Probability + Multi-Token (CPP+MT) เมื่อจำนวน

โทเค็นใช้แทนจำนวนครั้งในการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ในแต่ละเฟรม กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับสถานการณ์แบบ CPP+MT

- M_1 แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ปฏิบัติตามกฎการจอง
- M_2 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
- N แทนจำนวนสล๊อตการจองช่องสัญญาณ
- T_i แทนจำนวนโทเค็น (จำนวนครั้งในการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ในแต่ละเฟรม) สำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, M_2$
- R แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่เหลืออยู่ในระบบเมื่อพิจารณาในสล๊อตการหนึ่ง
- B_i แทนตัวเลขแบบไบนารี เริ่มต้น i จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายถึงยังทำการจองไม่สำเร็จ แต่เมื่อใดก็ตามที่สามารถทำการจองสำเร็จแล้วค่าของ i จะเปลี่ยนเป็น 1 ทั้งนี้ การกระทำเช่นนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการนับความสำเร็จซ้ำสำหรับผู้ใช้รายหนึ่ง เนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละรายไม่ทราบผลการจอง ดังนั้นผู้ใช้จะทำการจองไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีโทเค็นสำหรับทำการจองเหลืออยู่หรือสิ้นสุดสล๊อตการจองในแต่ละเฟรม

$$R = M_2 - \text{the number of } T_i\text{'s that are zero.} \quad (12)$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการที่ปฏิบัติตามและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถแสดงการคำนวณได้ดังในสมการ (13) และ (14)

$$S_{CPP+MT_1}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N] \quad (13)$$

และ

$$S_{CPP+MT_2}[M_1, M_2, N, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N] \quad (14)$$

เมื่อ $P[k_1, k_2 | M_1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N]$ คือความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการทั่วไปจำนวน k_1 ราย และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจำนวน k_2 ราย ประสบความสำเร็จในการจอง โดยกำหนดให้ระบบมีผู้ใช้บริการทั่วไปและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจำนวน M_1 และ M_2 ตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง i โดยมีจำนวนโทเค็นเป็น T_i และมีสถานะของความสำเร็จในการจองเป็น B_i ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (15)

$$\begin{aligned} P[k_1, k_2 | M_1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N] \\ = b[M_1, 0, p_1](1-p_2)^R P_A + b[M_1, 1, p_1](1-p_2)^R P_B \\ + b[M_1, 0, p_1]p_2(1-p_2)^{R-1} P_C + \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1](1-p_2)^R P_D \\ + \sum_{i_2=2}^R b[M_1, 0, p_1]p_2^{i_2}(1-p_2)^{R-i_2} G_{i_2} \\ + \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^R b[M_1, i_1, p_1]p_2^{i_2}(1-p_2)^{R-i_2} H_{i_2} \end{aligned} \quad (15)$$

เมื่อ

$$P_A = P[k_1, k_2 | M_1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N-1]$$

$$P_B = P[k_1-1, k_2 | M_1-1, T_1, T_2, \dots, T_{M_2}, B_1, B_2, \dots, B_{M_2}, N-1]$$

$$P_C = \sum_{\substack{i_2=1 \\ T_{i_2} \neq 0}}^{M_2} P[k_1, k_2 - \delta(B_{i_2}) | M_1, T_1, \dots, T_{i_2-1}, T_{i_2}-1, T_{i_2+1}, \dots, T_{M_2}, B_1, \dots, B_{i_2-1}, 1, B_{i_2+1}, \dots, B_{M_2}, N-1]$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 & ; \text{new success} \\ 0, & x \neq 0 & ; \text{repeated success} \end{cases}$$

$$P_D = P[k_1, k_2 | M_1 - i_1, T_1, \dots, T_{M_2}, B_1, \dots, B_{M_2}, N - 1]$$

$$G_2 = \sum_{\substack{j < j' \\ T_j, T_{j'} \neq 0}} P[k_1, k_2 | M_1, T_1, \dots, T_{j-1}, T_j - 1, T_{j+1}, \dots, T_{j'-1}, T_{j'} - 1, T_{j'+1}, \dots, T_{M_2}, B_1, \dots, B_{M_2}, N - 1]$$

$$G_i = \sum_{\substack{j_1 < j_2 < \dots < j_i \\ T_{j_1}, T_{j_2}, \dots, T_{j_i} \neq 0}} P[k_1, k_2 | M_1, T_1, \dots, T_{j_1-1}, T_{j_1} - 1, T_{j_1+1}, \dots, T_{j_2-1}, T_{j_2} - 1, T_{j_2+1}, \dots, T_{j_i-1}, T_{j_i} - 1, T_{j_i+1}, \dots, T_{M_2}, B_1, \dots, B_{M_2}, N - 1], \quad 2 \leq i \leq R$$

$$H_1 = \sum_{j, T_j \neq 0} P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1, \dots, T_{j-1}, T_j - 1, T_{j+1}, \dots, T_{m_2}, B_1, \dots, B_{m_2}, n - 1]$$

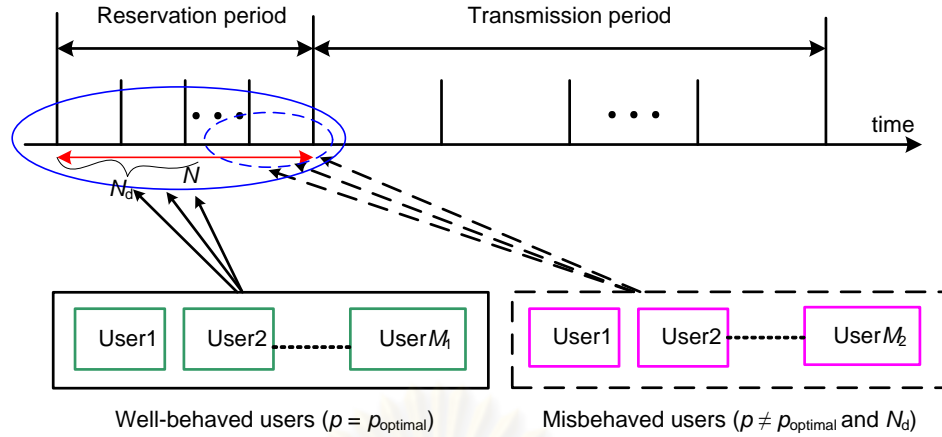
$$H_i = \sum_{\substack{j_1 < j_2 < \dots < j_i \\ T_{j_1}, T_{j_2}, \dots, T_{j_i} \neq 0}} P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1, \dots, T_{j_1-1}, T_{j_1} - 1, T_{j_1+1}, \dots, T_{j_2-1}, T_{j_2} - 1, T_{j_2+1}, \dots, T_{j_i-1}, T_{j_i} - 1, T_{j_i+1}, \dots, T_{m_2}, B_1, \dots, B_{m_2}, n - 1], \quad 2 \leq i \leq R$$

และมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1, k_2 | m_1, T_1, \dots, T_{m_2}, B_1, \dots, B_{m_2}, n] = \begin{cases} 0, & k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + T_i \geq 0, B_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0, & k_1 + k_2 > n, m_1 + T_i \geq 0, B_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0, & k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + T_i \geq 0, B_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i = 0, B_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i \geq 0, B_i \geq 0, n = 0. \end{cases} \quad (16)$$

5.3.3 สถานการณ์แบบ CPP+SRT

กลไกการทำงานของสถานการณ์แบบ CPP+SRT ผู้ใช้บริการทั่วไปจะใช้ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสมที่สุด (p_{optimal}) โดยได้มาจากการคำนวณสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ซึ่งทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุดโดยมีค่าคงที่ตลอดในทุก ๆ สล็อตการจอง ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองนอกจากจะใช้ความน่าจะเป็นที่แตกต่างไปจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้รับโอกาสความสำเร็จในการจองสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปนอกจากนั้นแล้วยังกำหนดให้มีการประวิงเวลาในการเข้าจองซ้ำกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปเพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสล็อตการจองแรกๆ ที่มักมีผู้ใช้บริการทำการจองเป็นจำนวนมากซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการชนลงอีกชั้นตอนหนึ่ง จากกลไกการทำงานที่กล่าวมานี้จึงเรียกสถานการณ์แบบนี้ว่า Changed Permission Probability + Shifted Reservation Time (CPP+SRT) โดยกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT

ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการที่ปฏิบัติตามและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถแสดงการคำนวณได้ดังในสมการ (17) และ (18)

$$S_{CPP+SRT_1}[M_1, M_2, l = N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_1 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l = N] \quad (17)$$

และ

$$S_{CPP+SRT_2}[M_1, M_2, l = N] = \sum_{k_1=0}^{M_1} \sum_{k_2=0}^{M_2} k_2 P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l = N] \quad (18)$$

เมื่อ N แทนจำนวนสล롯การจองทั้งหมด และ l แทนจำนวนสล롯การจองที่ถูกประวิงเวลาในการจองสำหรับผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองนั้นหมายความว่าผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะสามารถทำการจองได้ในสล롯ที่ $l + 1$ โดยที่

$$P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l] = \begin{cases} b[M_1, 0, p_1] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l-1] \\ + b[M_1, 1, p_1] P[k_1 - 1, k_2 | M_1 - 1, M_2, l-1] \\ + \sum_{i=2}^{M_1} b[M_1, i, p_1] P[k_1, k_2 | M_1 - i, M_2, l-1], \\ \quad M_1 > 0, l > N - N_d \\ P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l-1], \quad M_1 = 0, l > N - N_d \end{cases} \quad (19)$$

และ

$$\begin{aligned} P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l] &= b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l-1] \\ &+ b[M_1, 1, p_1] b[M_2, 0, p_2] P[k_1 - 1, k_2 | M_1 - 1, M_2, l-1] \\ &+ b[M_1, 0, p_1] b[M_2, 1, p_2] P[k_1, k_2 - 1 | M_1, M_2 - 1, l-1] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +b[M_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1, M_2 - i_2, l - 1] \\
& +b[M_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | M_1 - i_1, M_2, l - 1] \\
& + \sum_{i_1=1}^{M_1} \sum_{i_2=1}^{M_2} b[M_1, i_1, p_1] b[M_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | M_1 - i_1, M_2 - i_2, l - 1], \\
& l \leq N - N_d \quad (20)
\end{aligned}$$

เมื่อ N_d คือจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกประวิงเวลาในการจองสำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขการจอง การคำนวณของ $P[k_1, k_2 | M_1, M_2, l]$ ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือสมการ (19) และ (20) โดยสมการ (19) จะเป็นการคำนวณสำหรับสถานการณ์ที่มีเฉพาะผู้ใช้บริการทั่วไปทำการจองเท่านั้น และสมการ (20) จะเป็นการคำนวณสำหรับสถานการณ์ที่มีทั้งผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองพยายามทำการจองและมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, l] = \begin{cases} 0, & k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + m_2 \geq 0, l \geq 0 \\ 0, & k_1 + k_2 > n, m_1 + m_2 \geq 0, l \geq 0 \\ 0, & k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + m_2 \geq 0, l \geq 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 \geq 0, l = 0 \\ 1, & k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 = 0, l \geq 0. \end{cases} \quad (21)$$

ดังนั้นจะแสดงการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับปัญหาเดียวกันนี้โดยยังคงให้ความถูกต้องเช่นเดิม จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการที่ปฏิบัติตามและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถแสดงการคำนวณได้ดังในสมการ (22) และ (23)

$$\begin{aligned}
& S_{CPP+SRT_1}[M_1, M_2, N, N_d, p_1, p_2] \\
& = M_1 \left(\sum_{i=1}^{N_d} \left(p_1(1-p_1)^{i-1} (1-p_1(1-p_1)^{i-1})^{M_1-1} \right) \right. \\
& \quad \left. + \sum_{i=N_d+1}^N \left(p_1(1-p_1)^{i-1} (1-p_1(1-p_1)^{i-1})^{M_1-1} (1-p_2(1-p_2)^{i-N_d})^{M_2} \right) \right) \quad (22)
\end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
& S_{CPP+SRT_2}[M_1, M_2, N, N_d, p_1, p_2] \\
& = M_2 \sum_{i=N_d+1}^N \left(p_2(1-p_2)^{i-N_d} (1-p_2(1-p_2)^{i-N_d})^{M_2-1} (1-p_1(1-p_1)^{i-1})^{M_1} \right) \quad (23)
\end{aligned}$$

จากเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอมาทั้งหมดในข้างต้น จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองสำหรับผู้บริการทั้งหมดสามารถหาได้จากสมการ (24)

$$S_T = S_1 + S_2 \quad (24)$$

ในขณะที่ S_1 และ S_2 แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองสำหรับผู้ให้บริการที่ปฏิบัติตามและไม่ปฏิบัติตามกฎการจองตามลำดับ

5.4 สถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ได้อธิบายถึงกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT และการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ให้บริการเพื่อให้สามารถรองรับคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาส ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญในระบบการให้บริการสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย นอกจากนั้นแล้วปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันซึ่งได้นำเสนอในส่วนนี้คือ สถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง (misbehaved) สำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่มีต่อความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ให้บริการทั่วไป (well-behaved) และผู้ให้บริการทั้งหมด โดยสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่สามารถเกิดขึ้นได้คือสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง และสถานการณ์ที่มีการเลื่อนสลิตในการจองช่องสัญญาณ โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ได้รับความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามบางสถานการณ์ไม่สามารถที่จะพิจารณาในลักษณะเช่นนี้ได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงจำนวนโทเค็นหรือจำนวนครั้งในการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ เนื่องจากการไปจำกัดจำนวนโทเค็นให้กับผู้ให้บริการกลุ่มหนึ่งจะเป็นการลดโอกาสในการจองซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถทำการจองในทุกสลิต ดังนั้นจึงส่งผลให้ผู้ให้บริการกลุ่มนี้มีจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยลดลงซึ่งผิดกับหลักการของผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่ต้องการได้เปรียบผู้ให้บริการทั่วไป สำหรับวิธีการแบ่งแยกจำนวนสลิตในการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ให้บริการในแต่ละกลุ่ม และวิธีการที่กำหนดให้ผู้ให้บริการกลุ่มหนึ่งเข้าทำการจองก่อนจนกระทั่งผู้ให้บริการทุกรายในกลุ่มนี้สามารถทำการจองได้สำเร็จแล้วจึงอนุญาตให้ผู้ให้บริการอีกกลุ่มหนึ่งทำการจองต่อไปก็ไม่สามารถเกิดสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองได้ เนื่องจากผู้ให้บริการทั้งสองกลุ่มไม่ได้ทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณร่วมกันซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการของสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของกลไกการจองช่องสัญญาณระหว่างเทคนิคการจองแบบ FPT และ CFP คือเทคนิคการจองแบบ FPT จะอนุญาตให้ผู้ให้บริการทำการจองต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถทำการจองได้สำเร็จหรือไม่ก็สิ้นสุดช่วงการจอง ในขณะที่เทคนิคการจองแบบ CFP อนุญาตให้ทำการจองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นในแต่ละเฟรม อย่างไรก็ตามทั้งสองเทคนิคนี้จะนับความสำเร็จเพียงครั้งเดียวสำหรับผู้ให้บริการแต่ละรายเมื่อทำการจองแต่ในเฟรม

5.4.1 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจ้อง

สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องเมื่อเกิดสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจ้อง โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะยังคงใช้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตการจ้องของสัญญาที่เหมาะสมที่สุด (p_{optimal}) ซึ่งทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจ้องของสัญญาสูงสุดโดยมีค่าคงที่ตลอดในทุก ๆ สล็อตการจ้อง ในขณะที่ความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องจะมีค่าแตกต่างจากค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการทั่วไปโดยอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่า p_{optimal} เพื่อให้ได้รับโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจ้องมากขึ้น โดยกลไกการทำงานจะคล้ายกับสถานการณ์แบบ CPP ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.3

5.4.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจ้องและจำนวนสล็อตการจ้องที่ถูกเลื่อน

สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องเมื่อเกิดสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นและจำนวนสล็อตการจ้องที่ถูกเลื่อน กลไกการทำงานของสถานการณ์แบบนี้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะใช้ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องที่เหมาะสมที่สุด (p_{optimal}) โดยได้มาจากการคำนวณสำหรับเทคนิคการจ้องของสัญญาแบบ FPT ซึ่งทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจ้องของสัญญาสูงสุดโดยมีค่าคงที่ตลอดในทุก ๆ สล็อตการจ้อง ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องนอกจากจะใช้ความน่าจะเป็นที่แตกต่างไปจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้รับโอกาสความสำเร็จในการจ้องสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป นอกจากนั้นแล้วยังกำหนดให้มีการประวิงเวลาในการเข้าจ้องโดยการกำหนดจำนวนสล็อตการจ้องที่ถูกเลื่อนเพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตการจ้องซึ่งมักเกิดขึ้นในสล็อตการจ้องแรกๆ เนื่องจากมีผู้ใช้บริการทำการจ้องเป็นจำนวนมาก โดยกลไกการทำงานจะคล้ายกับสถานการณ์แบบ CPP+SRT ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.5

**ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มี
ผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณ**

บทนี้จะแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคแบบ CFP ซึ่งประกอบด้วย 3 สถานการณ์คือ CPP CPP+MT และ CPP+SRT อีกทั้งยังได้แสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณแบบ FPT ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นและสถานการณ์ที่มีการเลื่อนเวลาในการเข้าจอง ผลการทดสอบได้แสดงถึงผลลัพธ์ในหลากหลายมุมมองเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณได้อย่างชัดเจน

สำหรับการทดสอบและการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองได้กำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ ไว้ดังนี้

S_1	แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั่วไป
S_2	แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
S_T	แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการทั้งหมด โดยที่ $S_1 + S_2$
M_1	แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั่วไป
M_2	แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
M	แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยที่ $M_1 + M_2$
p_1	แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองสำหรับผู้ใช้บริการทั่วไป
p_2	แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองสำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
N	แทนจำนวนสล๊อตการจองทั้งหมดในระบบ
N_d และ N_s	แทนจำนวนสล๊อตที่ถูกเลื่อนในการเข้าจองครั้งแรกสำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP และ FPT ตามลำดับ
T	แทนจำนวนโหนดสำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
S_1/M_1	แทนค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป
S_2/M_2	แทนค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
$(S_1 + S_2)/M$	แทนค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั้งหมด

6.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการ จองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่อง
สัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับเทคนิคแบบ CFP ซึ่ง
ประกอบด้วย 3 สถานการณ์คือ CPP CPP+MT และ CPP+SRT

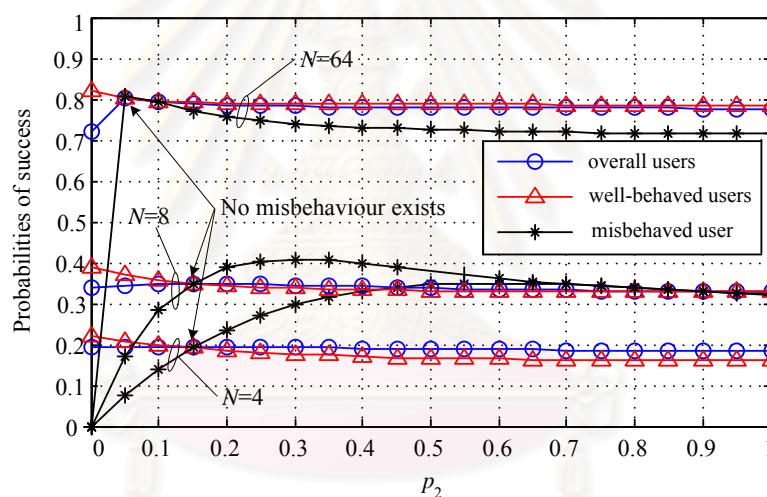
6.1.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP

รูปที่ 6.1 แสดงความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการ
ทั่วไป ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง และผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ เมื่อจำนวนสลอตการ
จองมีค่าเป็น $N = 4, 8$ และ 64 สล็อต ในแต่ละกรณีกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ
8 ราย โดยกำหนดให้สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่
ปฏิบัติตามกฎการจองเป็น $M_1:M_2 = 7:1$ โดยใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง
เป็นค่าที่เหมาะสม (ρ_{optimal}) ซึ่งคำนวณได้จากเทคนิค CFP ขณะที่ความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่
ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0 ถึง 1 ทำการพิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อ
จำนวนสลอตการจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อ $N = 4$ และ $M = 8$ จากการสังเกตพบว่าผู้ใช้
บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าของผู้ใช้บริการ
ทั่วไปโดยการใช้ความน่าจะเป็นที่มีค่าสูงกว่าของผู้ใช้บริการทั่วไป ความน่าจะเป็นของความสำเร็จ
จะเพิ่มขึ้นจาก 0.20 (กรณีไม่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง) จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเป็น
0.35 โดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองขึ้นจาก 0.15 ถึง 0.60 อย่างไร
ก็ตาม ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็นต้นเหตุให้เกิดผลกระทบในทางเสียหายต่อผู้ใช้
บริการทั่วไป ในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปลดลงจาก
0.20 ถึง 0.17 ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนของผู้ใช้บริการทั่วไปที่ลดลงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้มา
จากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

สำหรับ $N = 8$ คือเงื่อนไขที่จำนวนสลอตการจองมีจำนวนเท่ากับจำนวนของผู้ใช้บริการ
ทั้งหมด จากการสังเกตพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการ
อนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองให้สูงกว่าค่าที่เหมาะสม ($\rho_{\text{optimal}} = 0.15$) ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จ
นี้จะเพิ่มขึ้นจาก 0.35 ถึงค่าสูงสุดเป็น 0.41 ที่ค่า $\rho_2 = 0.30$ แต่เมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็น
ให้มากขึ้นกว่าค่านี้จะส่งผลในทางตรงกันข้าม สมรรถนะของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง
จะค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความน่าจะเป็นซึ่งในความเป็นจริงแล้วผลที่ได้รับนี้แยกแยะเพียง
เล็กน้อยเมื่อเทียบกับผู้ใช้บริการทั่วไปที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงกว่า 0.90 จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็น

ว่าเพื่อให้ได้ความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงสุด จำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองจะต้องถูกเลือกอย่างเหมาะสม

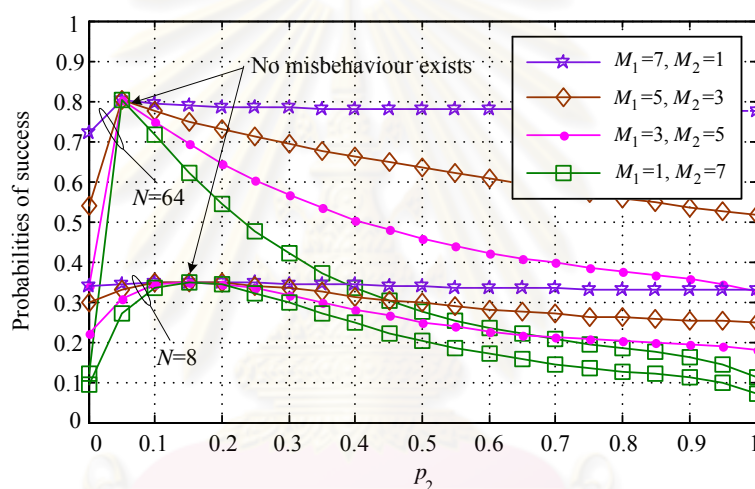
เมื่อจำนวนสลอตการจองเพิ่มขึ้นเป็น $N = 16$ (ไม่ได้ถูกแสดงในที่นี้) จากการสังเกตพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคล้ายคลึงกับกรณีที่ $N = 8$ ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองยังคงมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าของผู้ใช้บริการทั่วไป โดยเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นที่สูงกว่าค่า p_{optimal} อย่างไรก็ตามช่วงของความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถนำไปใช้งานเพื่อให้มีโอกาสในการจองสูงขึ้นแต่กลับพบว่ามีค่าแคบกว่าในกรณีที่ $N = 8$ ในความเป็นจริงช่วงที่ได้นี้น้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนสลอตการจอง สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6.1 ในกรณีที่ $N = 64$ ช่วงของความน่าจะเป็นนี้จะกลายเป็นศูนย์ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะไม่เกิดสถานการณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าในกรณีของผู้ใช้บริการทั่วไป



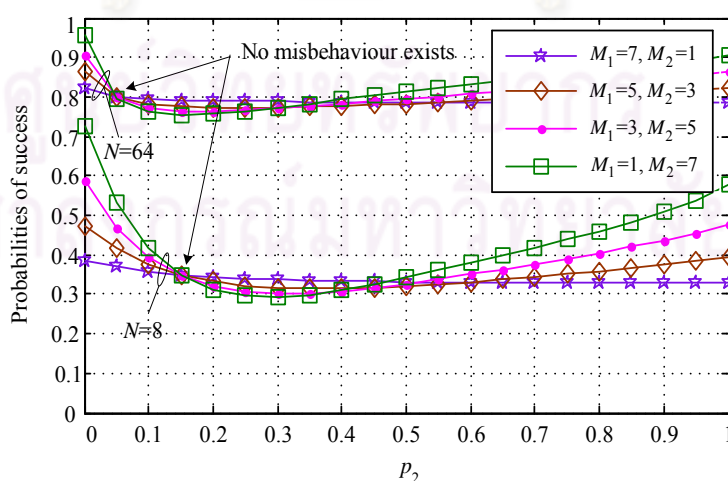
รูปที่ 6.1 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP ที่มีสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$ เมื่อ $N = 4, 8$ และ 64

ถัดไปจะพิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 3, 5 และ 7 ราย ซึ่งถูกแสดงในรูปที่ 6.2 สำหรับกรณีที่ $N = 8$ ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองยังคงได้ประโยชน์มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป แต่มีค่าอยู่เฉพาะในช่วงที่แน่นอนของ p_2 และหากยิ่งเพิ่มค่าของ p_2 ขึ้นไปอีกจะเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบในทางเสียหายต่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง เนื่องจากผู้ใช้เหล่านี้ต้องเผชิญกับปัญหาการชนกันมากขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้บริการทั่วไปจะได้รับสมรรถนะที่ดีขึ้นมากกว่าปกติ ในกรณีสุดขีดความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็นศูนย์ในขณะที่ p_2 ลู่เข้าหา 1 สำหรับกรณีที่ $N = 64$ ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะไม่ได้รับประโยชน์ใด ๆ เลยไม่ว่าจะใช้ p_2

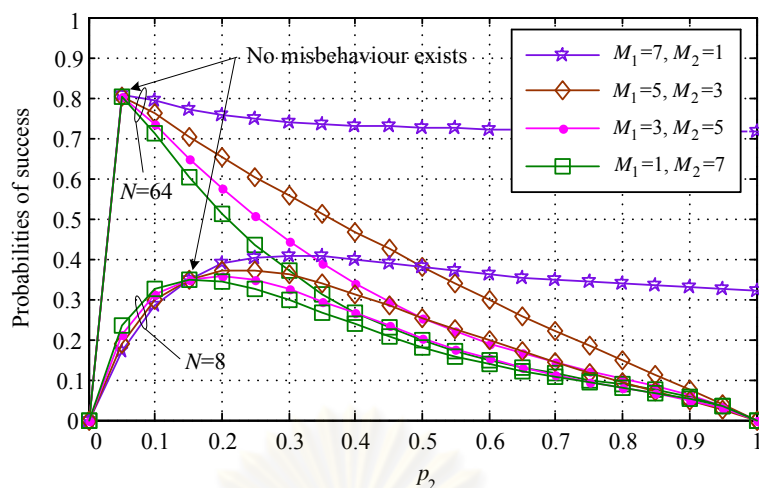
เป็นค่าเท่าใดก็ตาม ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะลดลงอย่างมากเมื่อ p_2 มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีจำนวนมากขึ้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองสูงขึ้นซึ่งจะเกิดการชนกันเพียงเล็กน้อยที่สล็อตการจองแรก ๆ และไม่คอยเกิดความสำเร็จในการจอง นอกจากนี้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะทำการแข่งขันกันในสล็อตท้ายๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิดความสำเร็จมากยิ่งขึ้น สำหรับทั้งกรณีที่มี $N = 8$ และ 64 สมรรถนะของผู้ใช้บริการทั้งหมดพบว่าจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเช่นเดียวกับการเพิ่มค่าของ p_2 ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการมีอยู่ของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะมีผลกระทบในทางเสียหายต่อสมรรถนะของทั้งระบบเท่านั้น



(ก) ผู้ใช้บริการทั้งหมด



(ข) ผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

รูปที่ 6.2 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ให้บริการ

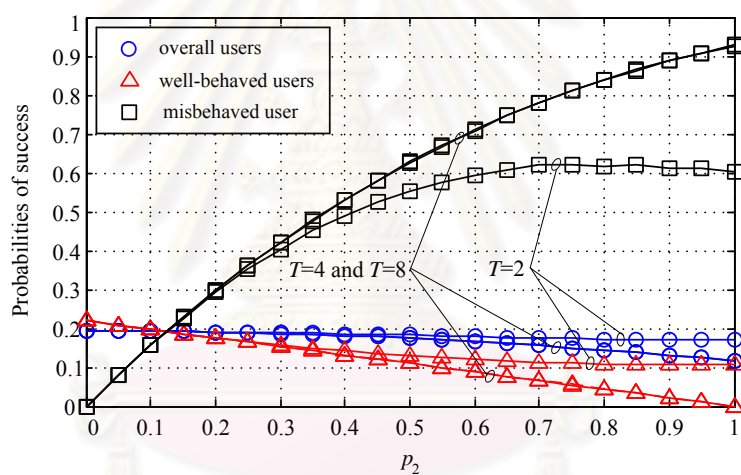
6.1.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP+MT

สำหรับเทคนิคการจองแบบ CPP+MT จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับเทคนิค CPP เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของระบบเมื่อสัดส่วนจำนวนของผู้ให้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็น $M_1:M_2 = 7:1$ เมื่อผู้ให้บริการทั้งหมดมีจำนวน $M = 8$ ราย สำหรับผู้ให้บริการทั่วไปจะใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสม (p_{optimal}) ซึ่งได้มาจากเทคนิค CFP สอดคล้องกับจำนวนสลิตการจองและจำนวนผู้ให้บริการทั้งหมด ขณะที่ความน่าจะเป็นของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0 ถึง 1 และกำหนดให้มีจำนวนโทเค็นที่แตกต่างกัน 3 ค่าเพื่อใช้ทดสอบสมรรถนะของระบบคือ $T = 2, 4$ และ 8 ในขณะที่จำนวนสลิตการจองที่ใช้ทดสอบเป็น 4, 8 และ 64 สลิต ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เทคนิคการจองนี้พิจารณาได้จากรูปที่ 6.3(ก) 6.3(ข) และ 6.3(ค) ตามลำดับ

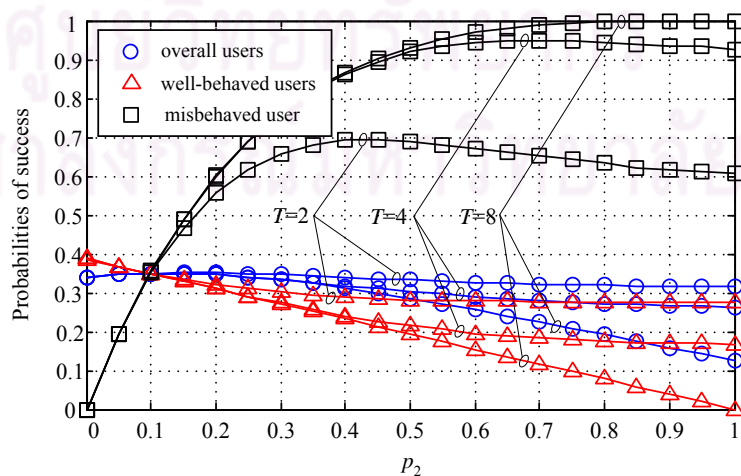
จากรูปที่ 6.3(ก) แสดงความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ให้บริการทั้งหมด ผู้ให้บริการทั่วไป และผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองซึ่งมี $N = 4$ จากการสังเกตพบว่าผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนเมื่อมีการใช้งานควบคู่กันไประหว่างการใช้อุปกรณ์หลาย ๆ โทเค็นและการเพิ่มความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองเมื่อเทียบกับเทคนิคการจองแบบ CPP ประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากขึ้นตามจำนวนโทเค็นที่เพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากรูปเดียวกันนี้ เมื่อค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงสุดของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็น 0.62 และ 0.93 เมื่อ $T = 2$ และ 4 ตามลำดับ (จากการสังเกตพบว่าระบบที่มี $N = 8$ และ 64 จะให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับระบบที่มี $N = 4$) เนื่องจากกลไกการจองที่มีการใช้โทเค็นจะเกิดการแข่งขันมากขึ้นในแต่ละสลิตการจอง ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ให้บริการทั้งหมดและผู้ให้บริการทั่วไปจะลดลง และในกรณีที่ความน่าจะเป็นของผู้ให้บริการ

ที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องมีค่าเป็น 1 ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าเป็นศูนย์

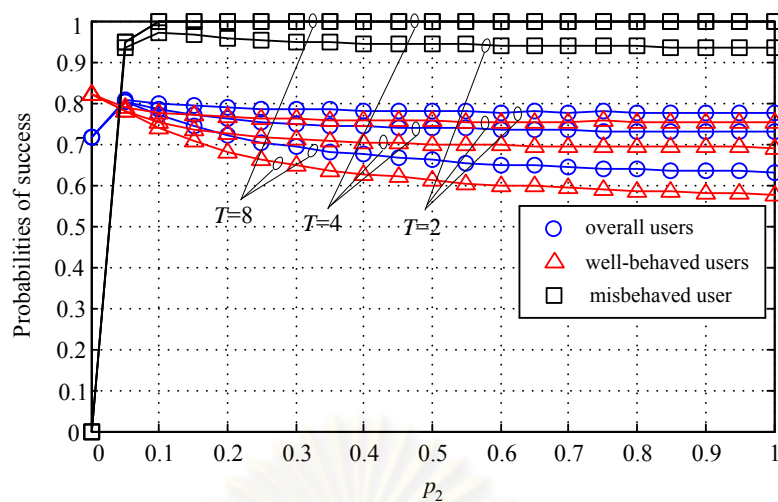
จากรูปที่ 6.3(ข) และ 6.3(ค) แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้มีสมรรถนะเท่ากับรูปที่ 6.3(ก) ยกเว้นเมื่อจำนวนสล็อตการจ้องเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 64 ตามลำดับ จากที่คาดการณ์ว่าเมื่อสล็อตการจ้องมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทั้งผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องและผู้ใช้บริการทั่วไปทั้งหมด จะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงขึ้น จากการพิจารณารูปนี้ จะพบว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องจะมีความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงขึ้นอย่างชัดเจนโดยการเพิ่มความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจ้องและจำนวนโหนดของตนเองที่ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จที่ต่ำกว่าของผู้ใช้บริการทั่วไป ในกรณีที่ $N = 8$ ความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงสุดจะมีค่าเป็น 1 ที่ $T = 8$ และ $p_2 > 0.8$ ในขณะที่ $N = 64$ ความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ $T = 4$ และ 8 และมีค่าน้อยกว่า p_2 มากๆ



(ก) $N = 4$

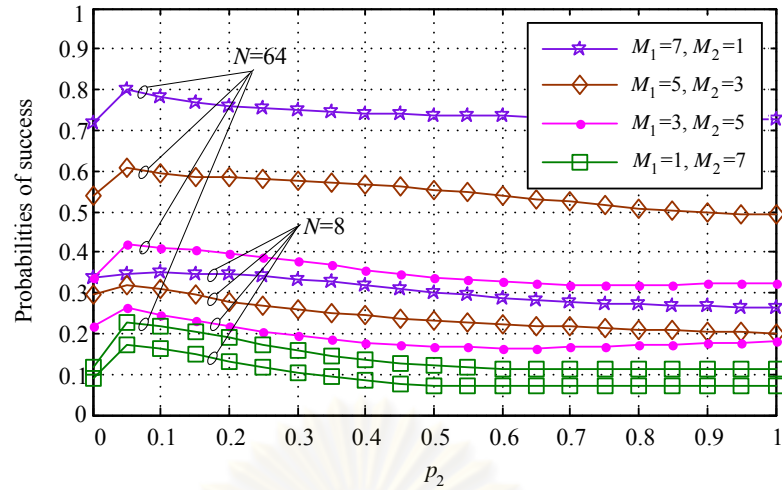


(ข) $N = 8$

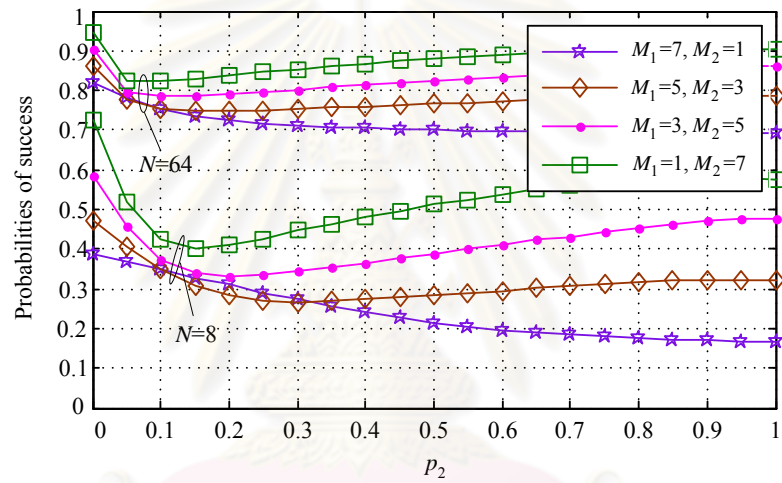
(ค) $N = 64$

รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของความสำเร็จและความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT เมื่อ $M_1:M_2 = 7:1$

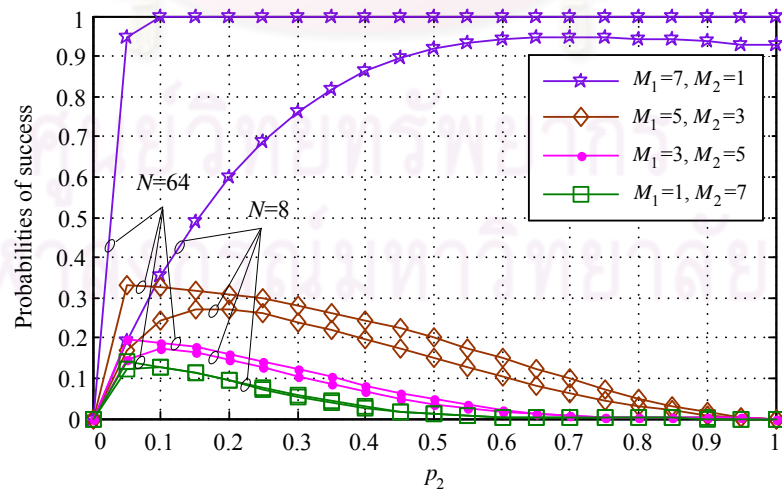
จากรูปที่ 6.4 แสดงสมรรถนะของผู้ใช้บริการผู้ใช้บริการทั้งหมด ผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้อง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 3 5 และ 7 กำหนดให้จำนวนโทเค็นเป็น $T = 4$ และจำนวนสลิตการจ้อง $N = 8$ และ 64 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อจำนวนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องมากกว่า 1 ราย ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องจะลดลงอย่างชัดเจน การลดลงของสมรรถนะตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2 เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาอย่างจริงจัง ยกตัวอย่างเช่นที่ $N = 64$ ความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงสุดในกรณีที่ไม่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องรายเดียวมีค่าเป็น 1 ในขณะที่จากรูปนี้มีค่าลดลงน้อยกว่า 0.33 เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องมากกว่า 2 ราย จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเมื่อมีการใช้งานโทเค็นจะเกิดการชนกันมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องเหล่านั้นจะทำให้เกิดการชนที่รุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการเหล่านี้ลดลง ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ให้เห็นชัดเจนภายใต้การทำงานของเทคนิคนี้ ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องจะได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจ้องเพียงรายเดียวในระบบ



(ก) ผู้ใช้บริการทั้งหมด



(ข) ผู้ใช้บริการทั่วไป



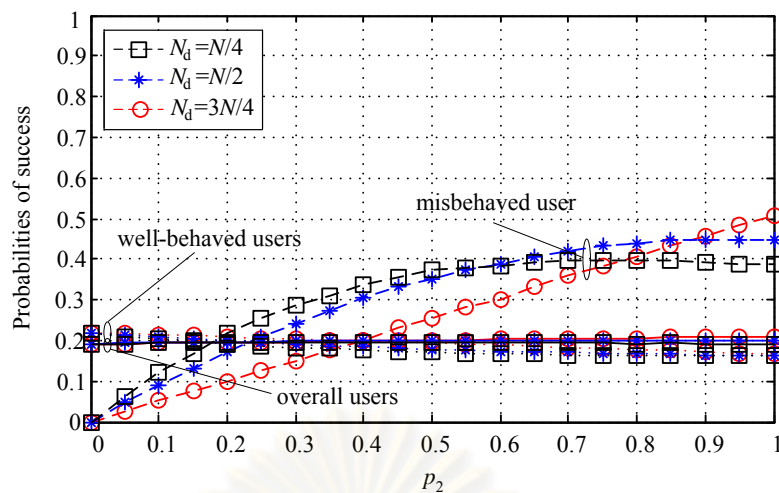
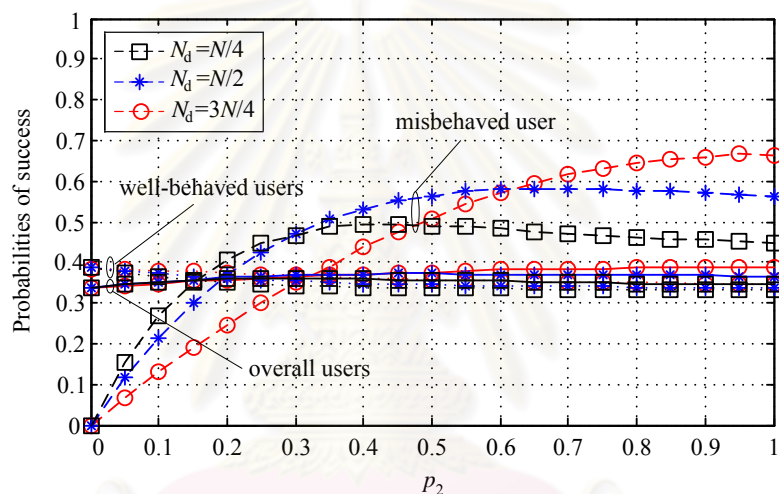
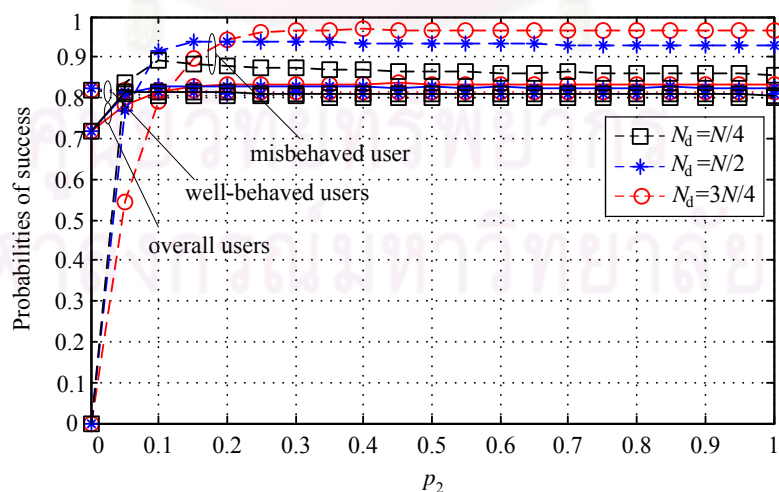
(ค) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

รูปที่ 6.4 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+MT เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวน ผู้ใช้บริการสำหรับ $N = 8$ และ 64

6.1.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของสถานการณ์แบบ CPP+SRT

รูปที่ 6.5(ก) 6.5(ข) และ 6.5(ค) แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความสำเร็จสำหรับผู้ให้บริการทั้งหมด ผู้ให้บริการทั่วไป และผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสำหรับการประวิงที่แตกต่างกัน 3 กรณีคือ $N/4$ $N/2$ และ $3N/4$ เมื่อกำหนดให้จำนวนสล็อตการจองมีค่าเป็น 4 8 และ 64 ตามลำดับ กำหนดให้สัดส่วนของผู้ให้บริการเป็น $M_1:M_2 = 7:1$ ผู้ให้บริการทั่วไปจะใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองที่ได้จากการคำนวณของเทคนิคการจองแบบ CFP ขณะที่ความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0 ถึง 1 และเริ่มต้นเข้าจองที่สล็อต N_0+1 จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่าเวลาในการประวิงหรือการเลื่อนเวลาในการเข้าจองร่วมกับการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองจนถึงค่าที่แน่นอนค่าหนึ่งสามารถช่วยให้ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองได้รับประโยชน์จากการเข้าจอง การไถ่การทำงานนี้เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบเพียงเล็กน้อยกับผู้ให้บริการทั่วไปและในอีกหลายกรณีที่ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ให้บริการทั้งหมดเพิ่มขึ้นน้อยมากซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ สำหรับเทคนิคการจองแบบ CFP ผู้ให้บริการแต่ละรายจะใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสมโดยกำหนดให้มีค่าคงที่จากสล็อตการจองแรกถึงสล็อตสุดท้ายซึ่งสามารถทำการจองได้เพียงครั้งเดียว จากผลลัพธ์ที่ได้โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าในช่วงสล็อตแรกๆ จะเกิดการชนของแพ็กเก็ตการจองมากกว่าในสล็อตท้ายๆ ในขณะที่ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะมีทำการประวิงเวลาในการเข้าจองครั้งแรกซึ่งมีค่าเป็น $N/2$ สล็อตปริมาณของการแข่งขันในสล็อตแรกๆ จะลดลงโดยประมาณเป็น $1/8$ เท่า ในขณะที่ปริมาณการแข่งขันจะเพิ่มขึ้นในสล็อตท้ายๆ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วการแข่งขันในสล็อตท้ายๆ จะมีความรุนแรงน้อยกว่าในสล็อตแรกๆ ซึ่งสล็อตการจองท้ายๆ บ่อยครั้งจะเจอสล็อตว่าง ดังนั้นผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถเพิ่มโอกาสความสำเร็จของตนเองโดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองขึ้นโดยไม่เป็นการรบกวนต่อผู้ให้บริการทั่วไป

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของกราฟเหล่านี้เทียบกับเวลาในการประวิงที่แตกต่างกันคือ $N/4$ $N/2$ และ $3N/4$ จะพบว่าที่ค่าเวลาประวิงน้อยๆ คือ $N_0 = N/4$ ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะได้ประโยชน์สูงสุดโดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของตนเองไปจนถึงค่าที่เหมาะสม (ρ_{optimal}) (แต่หากเพิ่มค่าความน่าจะเป็นขึ้นไปอีกจะให้ผลลัพธ์ในทางกันข้าม) ในขณะที่เวลาประวิงเพิ่มขึ้นเช่นในกรณีที่ $N_0 = 3N/4$ ประโยชน์ที่ได้รับจะมากขึ้นโดยการใช้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองให้อยู่ในระดับสูงเสมอ ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะมีโอกาสในการทำการจองลดลงกว่าเดิมและจะทำให้ปริมาณการแข่งขันลดลงในสล็อตท้ายๆ เมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของตนเองให้สูงขึ้น ดังนั้นความน่าจะเป็นจองความสำเร็จที่ได้จะถูกปรับปรุงให้มีค่าสูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็น

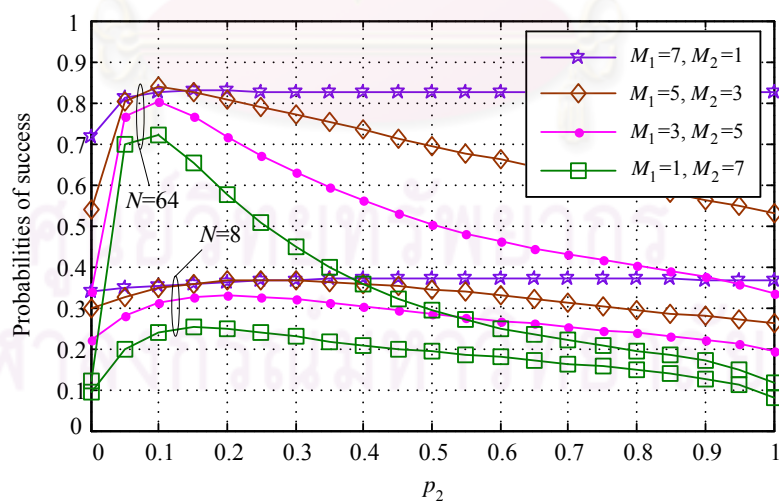
(a) $N = 4$ (b) $N = 8$ (c) $N = 64$

รูปที่ 6.5 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT ที่มีเวลาประวิงเป็น $N/4$ $N/2$ และ $3N/4$

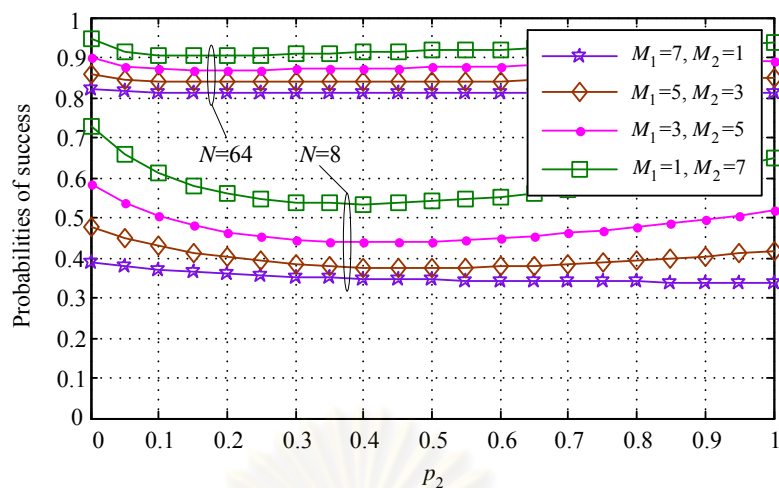
และสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$

เป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถทำให้ได้ค่าสูงสุดโดยอาศัยกลไกการประวิงเวลาในการเข้าจองร่วมกับการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองให้สูงขึ้น

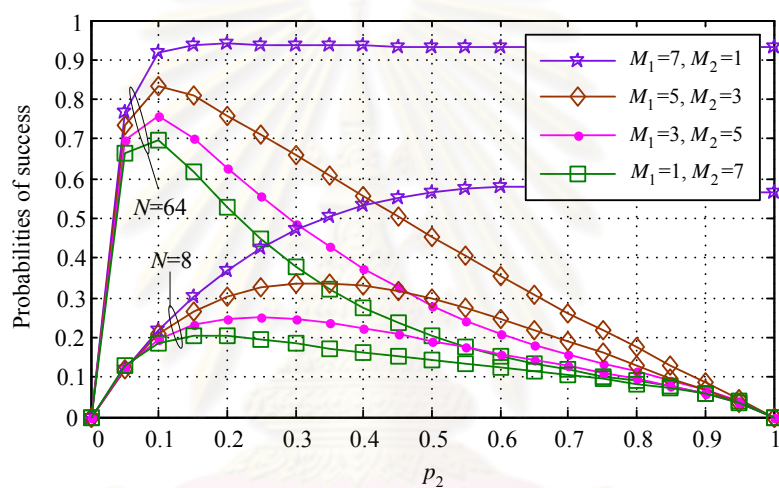
สำหรับการพิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 3 5 และ 7 และจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดกำหนดตายตัวเป็น 8 ราย สำหรับ $N_q = N/2$ เมื่อ $N = 8$ และ 64 สมรรถนะของผู้ใช้บริการทั้งหมด ผู้ใช้บริการทั่วไป และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองถูกแสดงในรูปที่ 6.6 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะลดลงค่อนข้างมากเมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจำนวนมากในระบบ ยิ่งไปกว่านั้นผู้ใช้บริการเหล่านั้นจะเผชิญกับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองและความน่าจะเป็นของความสำเร็จที่เข้าใกล้ค่าศูนย์ที่ค่าความน่าจะเป็นสูงๆ ในทางตรงกันข้ามผู้ใช้บริการทั่วไปเหล่านั้นจะได้รับประโยชน์จากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีจำนวนมากจะส่งผลให้ปริมาณการแข่งขันลดลงในสล็อตแรกๆ ซึ่งผู้ใช้บริการทั่วไปสามารถประสบความสำเร็จในการเข้าจองสูงขึ้น ในขณะที่สล็อตท้ายๆ การแข่งขันที่รุนแรงจะเกิดขึ้นเนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีการประวิงเวลาในการเข้าจอง ส่งผลให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะเกิดการชนสูงขึ้นซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นของความสำเร็จลดลง จึงสามารถกล่าวได้ว่าการลดลงของสมรรถนะของผู้ใช้บริการทั้งหมดเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง



(ก) ผู้ใช้บริการทั้งหมด



(ก) ผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

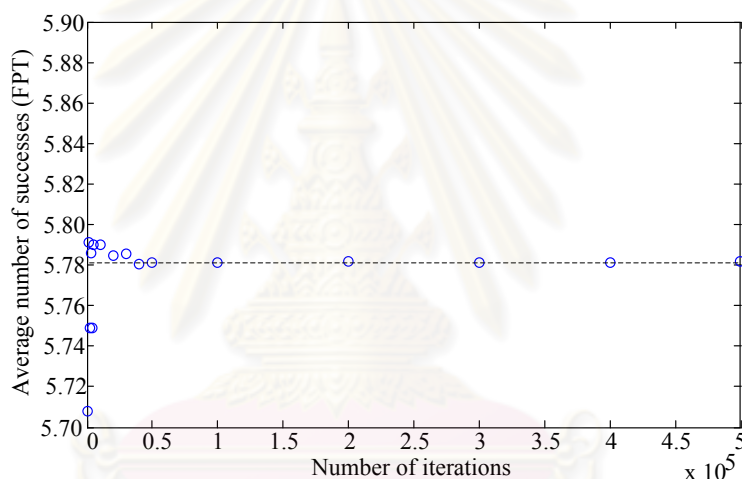
รูปที่ 6.6 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์แบบ CPP+SRT เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวน ผู้ใช้บริการสำหรับ $N_d = N/2$ โดยที่ $N = 8$ และ 64

6.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณสำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT

จากบทที่ 3 ได้อธิบายถึงกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT และการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ให้บริการเพื่อให้สามารถรองรับคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาส นอกจากนั้นแล้วประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันซึ่งจะได้กล่าวในส่วนนี้คือสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณแบบ FPT โดยใช้การซิมูเลชัน ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า

ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองและสถานการณ์ที่มีการเลื่อนสล็อตในการเข้าจองช่องสัญญาณร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง

จากรูป 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองและจำนวนรอบที่ใช้ทดสอบ (Number of iterations) สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT โดยกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น $M = 8$ และมีจำนวนสล็อตการจอง $N = 16$ โดยเริ่มทำการทดสอบโดยใช้จำนวนรอบเป็น 500 รอบ และเพิ่มจำนวนรอบที่ใช้ทดสอบมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเป็น 500000 รอบ จากรูปจะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการทดสอบที่จำนวนรอบตั้งแต่ 50000 รอบ จำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองที่ได้จะมีค่าเกือบคงที่คือประมาณ 5.781 และมีค่าความผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นได้ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของคำตอบจะใช้จำนวนรอบในการทดสอบเป็น 100000 รอบในลำดับถัดไป



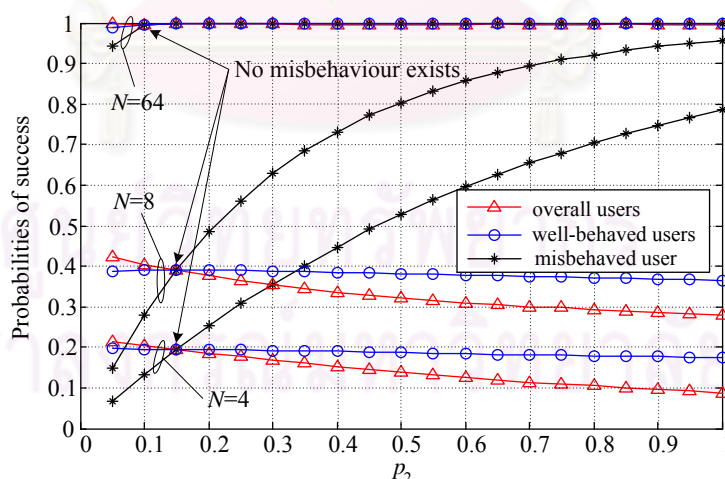
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองและจำนวนรอบที่ใช้ทดสอบ (Number of iterations) สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT

6.2.1 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง

จากรูปที่ 6.8 แสดงความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการทั่วไป ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองและผู้ให้บริการทั้งหมดในระบบ เมื่อจำนวนสล็อตการจองมีค่าเป็น $N = 4$, 8 และ 64 สล็อต ในแต่ละกรณีกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ 8 ราย โดยกำหนดให้สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการระหว่างผู้ให้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็น $M_1:M_2 = 7:1$ โดยใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองเป็นค่าที่เหมาะสม (p_{optimal}) ซึ่งคำนวณได้จากเทคนิคการจองแบบ FPT ขณะที่ความน่าจะเป็นของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0.05 ถึง 1 ทำการ

พิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนสลอตการมีค่าเป็น $N = 4$ จากการสังเกตพบว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าของผู้ใช้บริการทั่วไป โดยการใช้ความน่าจะเป็นที่มีค่าสูงกว่าของผู้ใช้บริการทั่วไป ความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะเพิ่มขึ้นจาก 0.15 (กรณีไม่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง) จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเป็น 0.79 โดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองขึ้นจาก 0.15 ถึง 1 ดังนั้น ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเป็นต้นเหตุให้เกิดผลกระทบในทางเสียหายต่อผู้ใช้บริการทั่วไป ในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปลดลงจาก 0.20 ถึง 0.09 ที่ค่า $p_2 = 1$ ในทำนองเดียวกันสำหรับกรณีที่ $N = 8$ คือเงื่อนไขที่จำนวนสลอตการจองมีจำนวนเท่ากับจำนวนของผู้ใช้บริการทั้งหมด จากการสังเกตพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองให้สูงกว่า 0.15 ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จนี้จะเพิ่มขึ้นจาก 0.39 ถึงค่าสูงสุดเป็น 0.96 ที่ค่า $p_2 = 1$ และในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปลดลงจาก 0.39 ถึง 0.28 ที่ค่า $p_2 = 1$

แต่ในกรณีที่ $N = 64$ ช่วงของความแตกต่างของความน่าจะเป็นของความสำเร็จระหว่างผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองนี้จะกลายเป็นศูนย์ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะไม่เกิดสถานการณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าในกรณีของผู้ใช้บริการทั่วไป โดยที่ความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงของผู้ใช้บริการทั้งสองมีค่าเป็น 1 เมื่อ p_2 มากกว่า 0.1 ซึ่งเป็นค่า p_{optimal} สำหรับกรณีที่ $N = 64$

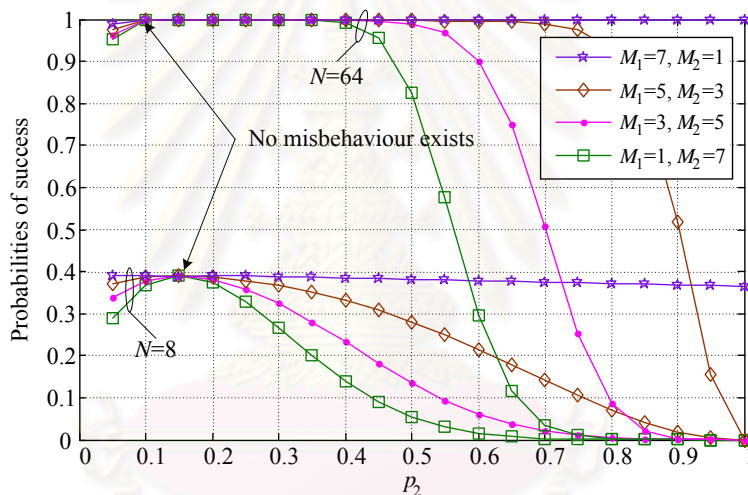


รูปที่ 6.8 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของเทคนิคการจองแบบ FPT ซึ่งมีสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$ เมื่อ $N = 4$ 8 และ 64

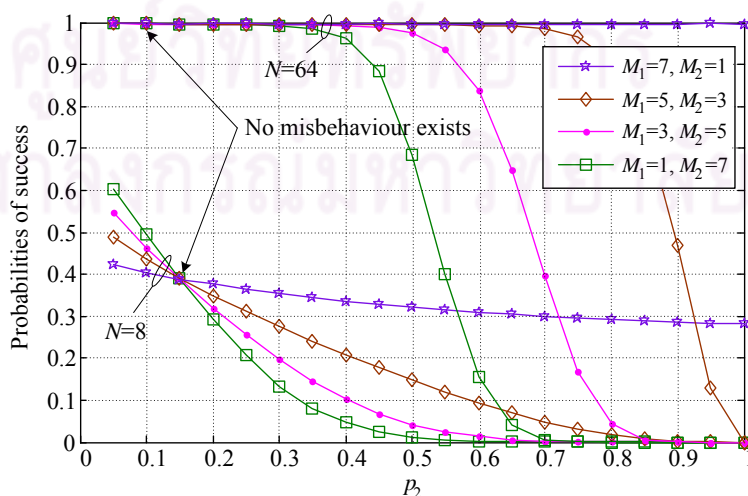
ถัดไปจะพิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 3 5 และ 7 ราย ซึ่งถูกแสดงในรูปที่ 6.9 สำหรับกรณีที่ $N = 8$ ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติ

ตามกฎการจูงจะได้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นนี้ แต่มีค่าอยู่เฉพาะในช่วงที่แน่นอนของ p_2 ค่าหนึ่งเท่านั้นและหากยิ่งเพิ่มค่าของ p_2 ขึ้นไปอีกจะเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบในทางเสียหายต่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงเนื่องจากผู้ใช้เหล่านี้ต้องเผชิญกับปัญหาการชนกันมากขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้บริการทั่วไปจะได้รับผลกระทบจากการกระทำของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงโดยความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2 และในที่สุดจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ $p_2 = 1$ ยกเว้นกรณีที่ $M_1:M_2 = 7:1$

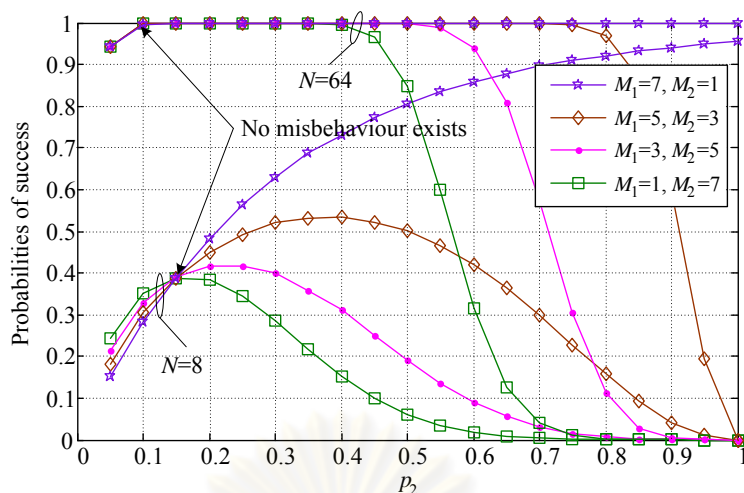
สำหรับกรณีที่ $N = 64$ โดยในช่วงที่ p_2 มีค่าน้อยกว่า 0.4 ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อ p_2 มีค่ามากกว่า 0.4 ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจูงจะลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2 เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่า p_2 มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตซึ่งเกิดขึ้นกับ



(ก) ผู้ใช้บริการทั้งหมด



(ข) ผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

รูปที่ 6.9 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของเทคนิคการจองแบบ FPT ซึ่งมีสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2$

ผู้ใช้บริการทั้งสองกลุ่ม ยกเว้นกรณีที่ $M_1:M_2 = 7:1$ เนื่องจากมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองรายเพียงเดียว อีกทั้งยังมีสัดส่วนจำนวนมาก ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเช่นเดียวกับการเพิ่มค่าของ p_2 ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการมีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองในระบบมากกว่าหนึ่งรายจะมีผลกระทบในทางเสียหายต่อผู้ใช้บริการทั่วไป และจะรุนแรงมากยิ่งขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2

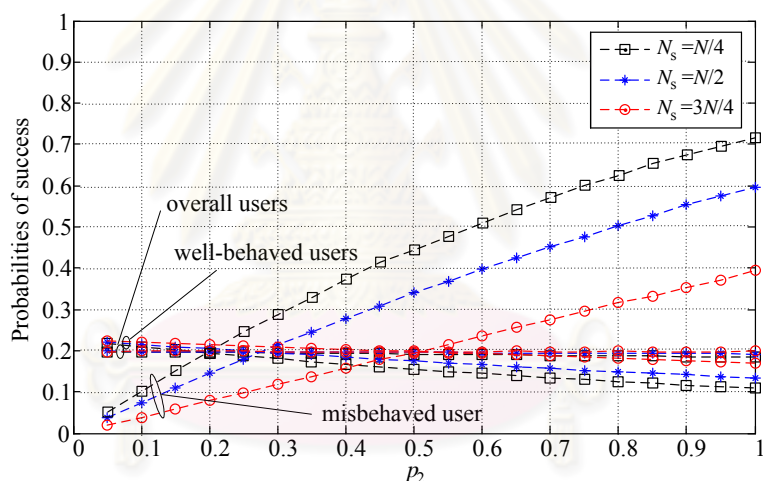
6.2.2 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นและการเลื่อนสล็อตในการเข้าจองช่องสัญญาณ

รูปที่ 6.10(ก) 6.10(ข) และ 6.10(ค) แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความสำเร็จสำหรับผู้ให้บริการทั้งหมด ผู้ใช้บริการทั่วไป และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่มีการเลื่อนสล็อตที่แตกต่างกัน 3 กรณีคือ $N/4$ $N/2$ และ $3N/4$ เมื่อกำหนดให้จำนวนสล็อตการจองมีค่าเป็น 4 8 และ 64 ตามลำดับ โดยที่สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการเป็น $M_1:M_2 = 7:1$ ผู้ใช้บริการทั่วไปจะใช้ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองที่เหมาะสมซึ่งได้พิจารณาจากเทคนิคการจองแบบ FPT ในขณะที่ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0.05 ถึง 1 และจะสามารถเริ่มต้นทำการจองได้ที่สล็อต N_S+1

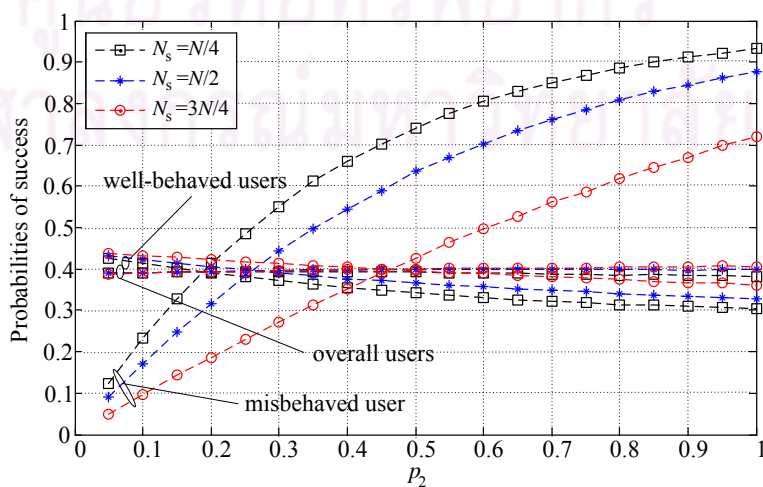
เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์กรณีที่ $N = 4$ และ 8 จะพบว่าการเลื่อนเวลาในการเข้าจองร่วมกับการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นนี้ทำให้ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติ

ตามกฎการจองเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทุกกลุ่มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนสล็อตมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าหากมีการเลื่อนสล็อตเพียงเล็กน้อยความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีการเลื่อนสล็อตจำนวนมาก เนื่องจากโอกาสในการเข้าจองสล็อตสำหรับผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมีค่าน้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนสล็อตที่ถูกเลื่อนไป ถึงแม้สถานการณ์เช่นนี้คาดหวังที่จะลดความรุนแรงในการชนกันของสล็อตในช่วงแรกๆ ก็ตาม แต่ก็ยังเป็นการลดโอกาสที่จะทำการจองลงไปด้วย ซึ่งกลไกการทำภายใต้เทคนิคการจองแบบ FPT อนุญาตให้ผู้ใช้บริการสามารถทำการจองต่อเนื่องได้จนกระทั่งประสบความสำเร็จในการจองหรือไม่ก็สิ้นสุดช่วงการจองจึงจะหยุดทำการจอง อย่างไรก็ตามการจองตามสถานการณ์เช่นนี้เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบต่อค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้บริการทั่วไปและผู้บริการทั้งหมดในระบบน้อยกว่า 0.1

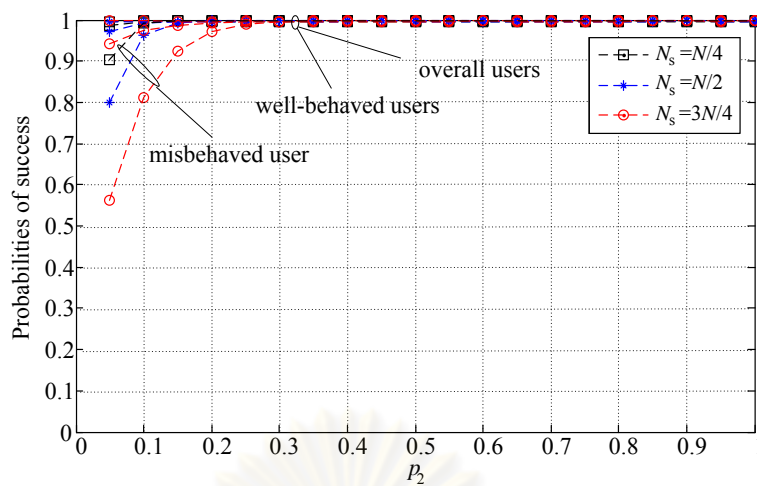
เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์กรณีที่มี $N = 64$ จะพบว่าเมื่อ p_2 มีค่าน้อยกว่า 0.3 สำหรับกรณีที่ $N_s = 3N/4$ และ $N/2$ ความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะ



(ก) $N = 4$



(ข) $N = 8$

(ค) $N = 64$

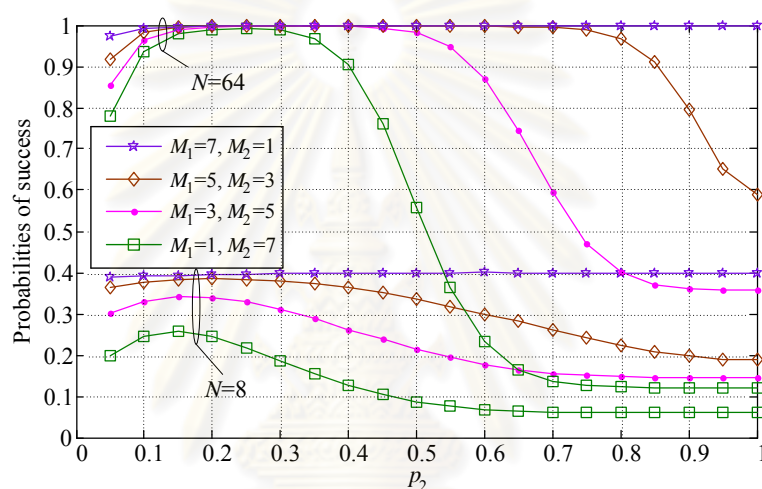
รูปที่ 6.10 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นและการเลื่อนสลิตต่อการเข้าจอง $N_s = N/4$ $N/2$ และ $3N/4$ และจำนวนผู้ใช้บริการ $M_1:M_2 = 7:1$

มีค่าเข้าสู่ 1 อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ $N_s = N/4$ จะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จเป็น 1 และเมื่อ p_2 มีค่ามากกว่า 0.3 สำหรับทุกกรณีของ N_s ผู้ใช้บริการทั้งสองกลุ่มจะมีค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จเป็น 1 เสมอ เนื่องจากมีจำนวนสลิตมากพอที่ผู้ใช้บริการจะสามารถทำการจองได้สำเร็จทุกราย ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่าสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองและการเลื่อนเวลาในการเข้าจองจะให้ประโยชน์ต่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง เนื่องจากมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพียงรายเดียวนั้น โดยจะได้รับประโยชน์มากขึ้นตามการลดลงของจำนวนสลิตที่ถูกเลื่อนและจะมีผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไปเพียงเล็กน้อย และจะลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อมีจำนวนสลิตในระบบมากขึ้น

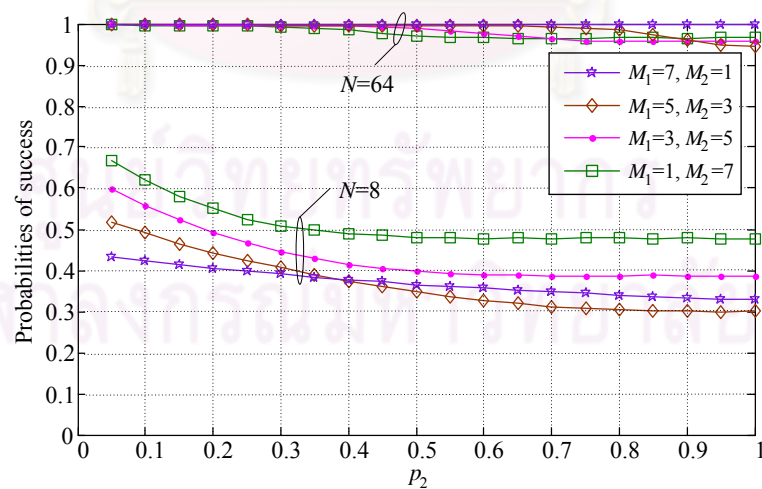
พิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 3 5 และ 7 และมีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด 8 ราย สำหรับ $N_s = N/2$ เมื่อ $N = 8$ และ 64 สมรรถนะของผู้ใช้บริการทั้งหมด ผู้ใช้บริการทั่วไป และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองถูกแสดงในรูปที่ 6.11 จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะเพิ่มขึ้นถึงค่าๆ หนึ่ง ในขณะที่ p_2 มีค่าน้อยๆ จากนั้นค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะลดลงตามจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองที่เพิ่มขึ้นและจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ $p_2 = 1$ และการลดลงนี้จะยิ่งรุนแรงขึ้นเมื่อมีจำนวนสลิตในระบบมากขึ้น เนื่องจากการจำนวนสลิตที่ถูกเลื่อนมีมากขึ้นทำให้โอกาสที่จะทำการจองสำเร็จมีค่าลดลง ยกเว้นกรณีที่ $M_1:M_2 = 7:1$ เนื่องจากมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพียงรายเดียวจึงทำการจองสำเร็จเสมอสำหรับค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปจะลดลงค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2 และผลกระทบนี้จะลดลงเมื่อมีจำนวนสลิตในระบบมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน

ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั้งหมดนั้นจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า p_2 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองเพิ่มขึ้น ผลกระทบนี้จะรุนแรงขึ้นตามไปด้วย

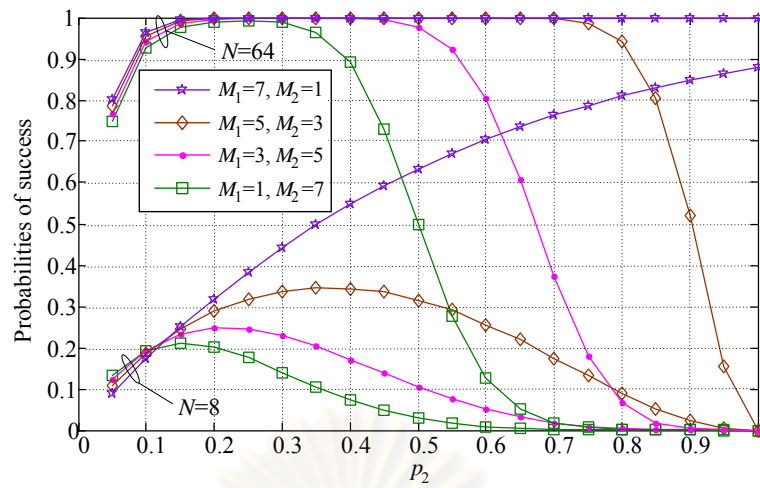
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็คเกจการจอง และการเพิ่มจำนวนสล๊อตที่ถูกเลื่อนส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการทั้งหมดลดลงมากขึ้นตามไปด้วย แต่จะมีผลกระทบน้อยลงเมื่อมีจำนวนสล๊อตในระบบมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนสล๊อตที่สามารถทำการจองได้เพิ่มขึ้นซึ่งแน่นอนว่าค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จจะเพิ่มขึ้น



(ก) ผู้ใช้บริการทั้งหมด



(ข) ผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง

รูปที่ 6.11 สมรรถนะภายใต้สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นและการเลื่อนสล็อตในการเข้าจองเมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อ $N_s = N/2$ โดยที่ $N = 8$ และ 64

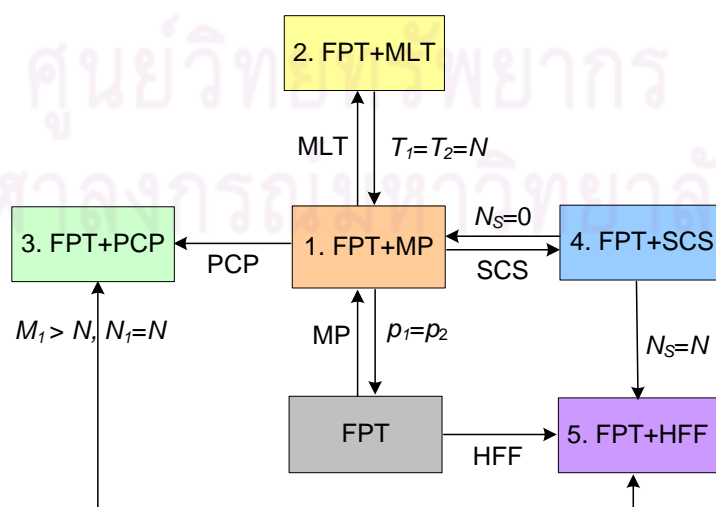
บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงบทสรุปของเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งหมดที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณ

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณ 5 แบบที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน 2 คลาส สำหรับเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย โดยแต่ละเทคนิคมีกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน ซึ่งเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอเหล่านี้ประกอบด้วยเทคนิคการจองแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability) FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token) FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period) FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot) และ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First) โดยเทคนิคเหล่านี้ถูกพัฒนามาจากเทคนิคการจองแบบ FPT (Fixed Probability Technique) ซึ่งเป็นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้สำหรับวัดสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดในเทอมของค่าความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจอง และค่า QoS metric (γ) โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละวิธีที่ได้นำเสนอดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งหมดที่ได้นำเสนอ

จากการศึกษาและผลการทดสอบสมรรถนะของระบบแสดงให้เห็นว่าแต่ละเทคนิคที่นำเสนอจะให้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยทั้งหมด (S_T) และค่า QoS metric (γ) ที่แตกต่างกันใน แต่ละเทคนิค เมื่อพิจารณากรณีที่ γ มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้งานเพื่อควบคุมคุณภาพของการให้บริการ สามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการจองแบบ FPT+SCS เป็นเทคนิคเดียวที่สามารถให้ค่า S_T สูงที่สุดและยังสามารถควบคุมค่า γ ตามที่ต้องการได้ในช่วงกว้าง อย่างไรก็ตามเทคนิคการจองแบบ FPT+SCS ยังมีข้อเสียในประเด็นของค่า γ ที่ได้นั้นยังมีจำนวนจำกัด โดยสามารถให้ γ ได้เพียงบางค่าเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับเทคนิคการจองแบบ FPT+MP จะให้ค่า γ จำนวนมากแต่อยู่ช่วงสั้นๆ ดังนั้นเพื่อให้ได้สมรรถนะที่สูงกว่าเทคนิคการจองแบบ FPT+SCS จึงได้นำเสนอการรวมเอาข้อดีของทั้งเทคนิคการจองแบบ FPT+MP และ FPT+SCS โดยจะเรียกเทคนิคการจองใหม่นี้ว่า FPT+SCS+MP จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการจองแบบ FPT+SCS+MP ให้ค่า S_T สูงกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอมาทั้งหมด อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการควบคุมค่าของ γ ตามที่ต้องการได้โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนสลิตการจองที่ถูกเลื่อน (N_S) และค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองสำหรับผู้ให้บริการแต่ละคลาส (p_1 และ p_2)

จากนั้นได้ศึกษากลไกการทำงานตลอดจนการศึกษาผลกระทบของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์บนพื้นฐานการทำงานร่วมกันของความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง การใช้โทเค็น และการประวิงเวลาในการเข้าจองช่องสัญญาณ ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองได้ถูกแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปปิด (closed form) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองทำการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปเล็กน้อย ยกเว้นกรณีที่จำนวนสลิตการจองมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบมากๆ ในขณะที่กลไกนี้จะเกิดผลเสียต่อผู้ใช้บริการทั่วไปเพียงเล็กน้อย และเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองโดยใช้กลไกการทำงานของโทเค็นร่วมกับการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจองจะให้ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปในทุกกรณี และผลต่างนี้จะมากขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขการจองใช้จำนวนโทเค็นในการจองเพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองใช้กลไกการประวิงเวลาในการเข้าจองร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองสามารถปรับปรุงสมรรถนะของตนเองให้สูงขึ้นได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้บริการทั่วไป เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะทำการจองช่องสัญญาณในสลิตการจอง

ท้ายๆ ซึ่งในช่วงนี้จะมีผู้ใช้บริการทั่วไปเข้าจงบ่อยลง จึงส่งผลให้สมรรถนะโดยรวมของระบบถูกปรับปรุงให้สูงขึ้น

ในช่วงสุดท้ายได้ศึกษาผลกระทบการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT ภายใต้เงื่อนไขที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามกฎการจองช่องสัญญาณคือสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง และสถานการณ์ที่มีทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองและจำนวนสลิตต่อการจองที่ถูกเลื่อน จากผลการทดสอบโดยใช้การซิมมูลเลขันสามารถสรุปได้ว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองทำการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองเพียงอย่างเดียวจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จสูงกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปมาก และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองมากขึ้น แต่เมื่อระบบมีจำนวนสลิตต่อการจองมากขึ้นความแตกต่างนี้จะลดลง และสำหรับสถานการณ์ที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองใช้กลไกการเลื่อนเวลาในการเข้าจงบร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตเกิดการจอง และเพิ่มการเลื่อนเวลาในการเข้าจงบช่องสัญญาณ ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจองจะลดลงเนื่องจากจำนวนสลิตที่สามารถใช้ทำการจองได้ลดลง และส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปลดลงเล็กน้อย สำหรับผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบจะมีความรุนแรงมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนสลิตที่ถูกเลื่อนและจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามกฎการจอง อย่างไรก็ตามผลกระทบเหล่านี้จะมีความรุนแรงน้อยลงเมื่อมีจำนวนสลิตต่อการจองในระบบมากขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาจากจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ ในขณะที่ยังมีพารามิเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและนิยมใช้วัดสมรรถนะของระบบคือเวลาประวิงในการจองช่องสัญญาณ ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงควรพิจารณาพารามิเตอร์นี้เพิ่มเติม

2. นอกเหนือจากที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้วยังสามารถพิจารณาระบบที่กำหนดให้มีข้อมูลข่าวสารที่แตกต่างกันซึ่งมีความน่าสนใจและท้าทายเป็นอย่างมาก เนื่องจากเมื่อมีข้อมูลข่าวสารที่แตกต่างกันแล้วจะมีวิธีการออกแบบเทคนิคการเข้าจงบช่องสัญญาณอย่างไรเพื่อให้ได้เทคนิคที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด เช่นระบบที่ทราบจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในแต่ละ

สล็อด ระบบที่ทราบจำนวนสล็อดการจองแต่ไม่ทราบจำนวนผู้ใช้บริการหรือทราบจำนวนผู้ใช้บริการแต่ไม่ทราบจำนวนสล็อดการจองเป็นต้น

3. จากที่ได้ทราบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณในชั้น MAC มีความสำคัญอย่างมากต่อสมรรถนะในการรับส่งสัญญาณ ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการสื่อสารไร้สายในมาตรฐานหรือรูปแบบการสื่อสารอื่นๆ ที่ต้องใช้กลไกการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณ เช่น Wireless Body Area Networks (WBANs) (เป็นเทคโนโลยีหนึ่งในมาตรฐาน IEEE 802.15) WiFi (IEEE 802.11 DCF) หรือ Optical Fiber เป็นต้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Stuber, G. L. Principles of Mobile Communications. Kluwer Academic Press : 1997.
- [2] Chandra, A., Gummaller, V., and Limb, J.O. Wireless Access Medium Control Protocol Data. IEEE Communications Surveys. Second Quarter 2000 : 2-15.
- [3] Abramson, N. The ALOHA System – Another alternative for computer communications. Proceeding Fall Joint Computer Conference, AFIPS Press. 37 (November 1970) : 281–285.
- [4] Tanenbaum, A.S. Computer Networks. 4th edition. Prentice Hall, 2003.
- [5] Bertsekas, D. and Gallager, R. Data Network. Second edition. Prentice Hall. 1992.
- [6] Kleinrock, L. and Tobagi, F. A. Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics. IEEE Transactions on Communications. COM–23, 12 (December 1975) : 1400–1416.
- [7] Tasaka, S. and Ishibashi, Y. A Reservation Protocol for Satellite Packet Communications – A Performance Analysis and Stability Considerations. IEEE Transactions on Communications. COM–32, 8 (August 1984) : 920–927.
- [8] Tasaka, S., Hayashi, K. and Ishibashi, Y. Integrated video and data transmission in the TDD ALOHA-reservation wireless LAN. IEEE International Conference on Communications (ICC). 3 (1995): 1387–1393.
- [9] Nanda, S., David Goodman, J. and Timor, Uzi. Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 40, 3 (August 1991) : 584–598.
- [10] Elnoubi, S. and Alsayh, A. M. A Packet Reservation Multiple Access (PRMA)-Based Algorithm for Multimedia Wireless System. IEEE Transactions on Vehicle Technology. 53, 1 (January 2004) : 215–222.
- [11] Falk G., and others. Integration of Voice and Data in the Wideband Packet Satellite Network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. SAC–1, 6 (December 1983) : 1076–1083.
- [12] Frigon, J., Leung, F. V.C.M. and Chan, H.C.B. Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM networks. IEEE Journal on Selected Areas in

- Communications. 19, 2 (February 2001) : 370–383.
- [13] Qiu, X. and O.K. Li., Victor. Dynamic Reservation Multiple Access (DRMA): A New Multiple Access Scheme for Personal Communication System (PCS). J.C. Baltzer AG, Science Publishers. Wireless Networks 2. (1996) : 117–128.
- [14] Lin, Jia-Shi., Chen, Chien-Hua., and Feng, Kai-Ten. Adaptive Reservation-assisted Collision Resolution Protocol for Wireless Local Area Networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). (April 2009) : 1–6.
- [15] Amitay, N. and Greenstein, L. J. Resource Auction Multiple Access (RAMA) in the Cellular Environment. IEEE Transactions on Vehicle Technology. 43, 4 (January 1994) : 1101–1111.
- [16] Alsbou, N., Henry, D. and Refai, H. R-ALOHA with Priority (PR-ALOHA) in Non Ideal Channel with Capture Effects. IEEE International Conference on Telecommunications (ICT), (April 2010) : 566–569.
- [17] Li, Q. Reservation-based Distributed Collision Avoidance Channel Access Scheme for WLAN. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM). (December 2008) : 1–5.
- [18] Srichavengsup, W., Akkarapat, C. and Wuttisittikulkij, L. A Design and Performance Evaluation of Contention Resolution Schemes with QoS Support for Multimedia Traffic in High Bit-Rate Wireless Communications. IEICE Transactions on Communications. E91-B, 5 (May 2008) : 1295–1308.
- [19] Srichavengsup, W. Chanasong, C., Susiya, A. and Wuttisittikulkij, L. A Design and Performance Evaluation of a Class of Channel Reservation Techniques for Medium Access Control Protocols High Bit-Rate Wireless Communications. IEICE Transactions on Fundamentals. E88-A (July 2005) : 1824–1835.
- [20] Ma, M., Yang, Y. A Novel Contention-Based MAC Protocol with Channel Reservation for Wireless LANs. IEEE Transactions on Wireless Communications. 7, 10 (October 2008) : 3748–3758.
- [21] Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service
- [22] Striegel, A., Manimaran, G. A Survey of QoS Multicasting Issues. IEEE Communications Magazine. 40, 6 (June 2002) : 82–87.

- [23] Pasquale, J. C., Polyzos, G. C., and Xylomenos, G. The Multimedia Multicasting Problem. Multimedia System. 6, 1 (1998) : 43–59.
- [24] Liu, M., and Papantoni-Kazakos, P. A Random Access Algorithm for Data Networks Carrying High Priority Traffic. IEEE Transactions on Communications. 40, 1 (January 2007) : 84–96.
- [25] Papantoni-Kazakos, T., Likhanov, N.B., and Tsybakov, B.S.. A Protocol for Random Multiple Access of Packets with Mixed Priorities in Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 13, 7 (September 1995) : 1324–1331.
- [26] Paterakis, M. and Gong, Y. Performance Analysis of Random Access Multiuser Algorithms for Packets with Different Priorities. IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). 2, (June 1990) : 580–587.
- [27] Stavrakakis, I. and Kazakos, D. A Multiuser Random-access Communication System for Users with Different Priorities. IEEE Transactions on Wireless Communications. 39, 11 (November 1991) : 1538–1541.
- [28] Chung, W.S. and Un, C.K. Collision Resolution Algorithm for M -priority Users. IEEE Proceedings Communications. 142, 3 (June 1995) : 151–157.
- [29] D. Makrakis, Mander, R.S. and Orozco-Barbosa, L. A Spread Slotted Random Access Control Protocol with Multi-priority for Personal and Mobile Communication Networks Carrying Integrated Traffic. Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 1, (September 1995) : 132–136.
- [30] Papantoni-Kazakos, P. Multiple-access Algorithms for a System with Mixed Traffic: High and Low Priority. IEEE Transactions on Wireless Communications. 40, 3 (March 1992) : 541–555.
- [31] Cagalj, M. Ganeriwal, S. Aad, I., and Hubaux, J.P. On Selfish Behavior in CSMA/CA Networks. IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). 4, (March 2005) : 2513–2524.
- [32] Kyasanur, P. and Vaidya, N. H. Selfish MAC Layer Misbehavior in Wireless

- Networks. IEEE Transactions on Mobile Computing. 4, 5 (September-October 2005) : 502–516.
- [33] Wang, Z. L. W. and Wang, C. On Order Gain of Backoff Misbehaving Nodes in CSMA/CA-based Wireless Networks. IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). (March 2010) : 1–9.
- [34] Wang, W. and Li ,X.Y. Low-Cost Routing in Selfish and Rational Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Transactions on Mobile Computing. 5, 5 (2006) : 596-607.
- [35] Eidenbenz, S. Resta, and Santi, G. P. The COMMIT Protocol for Truthful and Cost-Efficient Routing in Ad Hoc Networks with Selfish Nodes. IEEE Transactions on Mobile Computing. 7, 1 (January 2008) : 19-33.
- [36] Chanasong, C., Suriya, A. Srichavengsup, W. and Wuttisttikulkij, L. Channel Reservation Techniques under Misbehaved Users in High Bit-Rate Wireless Communication Systems. IEEE Region 10 Conference TENCON. 3, (November 2004) : 17–20.
- [37] Alvaro, A., Radosavac, S. and Baras, J. S. Evaluation of Detection Algorithms for MAC Layer Misbehavior: Theory and Experiments. IEEE/ACM Transactions on Networking. 17, 2 (April 2009) : 605–617.
- [38] Lee, P. P., Bu, C. T., and Woo, T. On the Detection of Signaling DoS Attacks on 3G Wireless Networks. IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). (May 2007) : 1289–1297.
- [39] Toledo, A. L. and Wang, X. Robust Detection of MAC Layer Denial-of-Service Attacks in CSMA/CA Wireless Networks. IEEE Transactions on Information Forensic and Security. 3, 3 (September 2008) : 347–358.
- [40] Dehnie, S. and Tomasin, S. Detection of Selfish Nodes in Networks Using CoopMAC Protocol with ARQ. IEEE Transactions on Wireless Communications. 9, 7 (July 2010) : 2328–2337.
- [41] Toledo, A. L. and Wang, X. Robust Detection of Selfish Misbehavior in Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 25, 6 (August 2007) : 1124–1134.
- [42] Serrano, P., Banchs, Targon, A. V. and Kukielka, J. Detecting Selfish Configurations in 802.11 WLANs. IEEE Communications Letters. 14, 2

- (February 2010) : 142–144.
- [43] Serrano, P., Banchs, Targon, A. V. and Kukielka, J. A New Mechanism to Detect Selfish Behavior in IEEE 802.11 Ad Hoc Networks. IEEE International Conference on Communications (ICC). (June 2009) : 1–5
- [44] Toledo, A. L. and Wang, X. Robust Detection of Selfish Misbehavior in Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 25, 6 (August 2007) : 1124–1134.
- [45] Raya, M. Hubaux, J. P., and Aad, I. DOMINO: Detecting MAC Layer Greedy Behavior in IEEE 802.11 Hotspots. IEEE Transactions on Mobile Computing. 5, 12 (December 2006) : 1691-1705.
- [46] Lee, P. P., Bu, C. T., and Woo, T. On the Detection of Signaling DoS Attacks on 3G Wireless Networks. IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). (May 2007) : 1289–1297.
- [47] Toledo, A. L. and Wang, X. Robust Detection of MAC Layer Denial-of-Service Attacks in CSMA/CA Wireless Networks. IEEE Transactions on Information Forensic and Security. 3, 3 (September 2008) : 347–358.
- [48] Dehnie, S. and Tomasin, S. Detection of Selfish Nodes in Networks Using CoopMAC Protocol with ARQ. IEEE Transactions on Wireless Communications. 9, 7 (July 2010) : 2328–2337.
- [49] Toledo, A. L. and Wang, X. Robust Detection of Selfish Misbehavior in Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 25, 6 (August 2007) : 1124–1134.
- [50] Serrano, P., Banchs, Targon, A. V. and Kukielka, J. Detecting Selfish Configurations in 802.11 WLANs. IEEE Communications Letters. 14, 2 (February 2010) : 142–144.
- [51] Serrano, P., Banchs, Targon, A. V. and Kukielka, J. A New Mechanism to Detect Selfish Behavior in IEEE 802.11 Ad Hoc Networks. IEEE International Conference on Communications (ICC). (June 2009) : 1–5.
- [52] Jin, Y., and Kesidis, G. Distributed Contention Window Control for Selfish Users in IEEE 802.11 Wireless LANs. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 25, 6 (Aug. 2007) : 1113–1123.

- [53] Konorski, J. A Game-theoretic Study of CSMA/CA under a Backoff Attack. IEEE/ACM Transactions on Networking. 14, 6 (2006) : 1167–1178.
- [54] Kong, Z. Kwok, Y.K. and Wang, J. On the Impact of Selfish Behaviors in Wireless Packet Scheduling. IEEE International Conference on Communications (ICC). (May 2008) : 3253–3257.
- [55] Capetanakis, J. I. The Multiple Access Broadcast Channel: Protocol and Capacity Considerations. Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA. (August 1977).
- [56] Mathys, P. and Flajolet, P. Q-ary Collision Resolution Algorithms in Random-access Systems with Free or Blocked Channel Access. IEEE Transactions on Information Theory. 31, 2 (March 1985) : 217–243.
- [57] Amendment to IEEE 802.11, 1999 Edition. (Reaff 2003) as Amended by IEEE 802.11a-1999, 802.11b-1999, 802.11b-1999/Cor 1-2001, and 802.11d-2001, IEEE 802.11g-2003.
- [58] Ergen, M. Tutorial IEEE 802.11. University of California Berkeley. (June 2002).



ภาคผนวก (Appendix)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Source Code สำหรับโปรแกรม MATLAB 7.8.0 (R2009a)

โปรแกรมที่ใช้แสดงผลการทดสอบในบทที่ 4

1. เทคนิคการจองแบบ FPT

```

clear all; clc
no_trial = 100000;
M = 8; N = 16;
permission_probability = 0.05:0.05:1;
all_avg_success = [];
for p = permission_probability
    total_success = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_user = M;
        no_success = 0;
        for k = 1:N
            no_access = sum(rand(1,no_user)<p);
            if no_access == 1
                no_user = no_user-1;
                no_success = no_success + 1 ;
            end
        end
        total_success = total_success + no_success;
    end % h
    all_avg_success = [all_avg_success
total_success/no_trial];
end % p

```

2. เทคนิคการจองแบบ FPT+MP

```

no_trial = 100000;
N = 16; p1 = 0.20;
permission_probability_class2 = 0.05:0.05:1;
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for p2 = permission_probability_class2
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0; no_success2 = 0;
        no_user_c1 = 1; no_user_c2 = 7;
        for k = 1:N
            no_access1 = sum( rand(1,no_user_c1)<p1 );
            no_access2 = sum( rand(1,no_user_c2)<p2 );
            if (no_access1 + no_access2) == 1
                if no_access1 == 1
                    no_user_c1 = no_user_c1-1;
                    no_success1 = no_success1 + 1 ;
                end
                if no_access2 == 1
                    no_user_c2 = no_user_c2-1;
                    no_success2 = no_success2 + 1 ;
                end
            end
        end
    end
    all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/no_trial];
    all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/no_trial];
end % k

```

```

        total_success1 = total_success1 + no_success1;
        total_success2 = total_success2 + no_success2;
    end % h
    all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/no_trial];
    all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/no_trial];
end % p2

```

3. เทคนิคการจองแบบ FPT+MLT

```

no_trial = 100000;
N = 16; T = 16; % T = Token
p1 = 0.20; p2 = 0.20;
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for token_class_2 = 1:T
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0;
        no_user_c1 = 1; no_user_c2 = 7;
        token_2 = token_class_2*ones(1,no_user_c2);
        success_status_2 = zeros(1,no_user_c2);
        for k = 1:N
            no_access1 = sum(rand(1,no_user_c1)<p1);
            access2 = rand(1,no_user_c2)<p2;
            chkToken_2 = (token_2 > 0);
            no_access2 = sum( access2.*chkToken_2 );
            if (no_access1 + no_access2) == 1
                if no_access1 == 1
                    no_user_c1 = no_user_c1-1;
                    no_success1 = no_success1 +1;
                end
                if no_access2 == 1
                    reset_token = find(access2);
                    token_2(reset_token) = 0;
                    success_status_2 = success_status_2 + access2;
                end
            end
            token_2 = token_2 - access2;
        end % k
        total_success1 = total_success1 + no_success1 ;
        success_status_2 = (success_status_2 > 0);
        no_success2 = sum(success_status_2);
        total_success2 = total_success2 + no_success2 ;
    end % h
    all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/no_trial];
    all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/no_trial];
end % token_class_2

```

4. เทคนิคการจองแบบ FPT+PCP

```

no_trial = 100000;

```

```

N = 16; p1 = 0.20; p2 = 0.20;
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for N_1 = 1:N
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0; no_success2 = 0;
        no_user_c1 = 1; no_user_c2 = 7;
        for j = 1:N_1 % user class 1
            no_access1 = sum( rand(1,no_user_c1)<p1 ) ;
            if no_access1 == 1
                no_user_c1 = no_user_c1-1;
                no_success1 = no_success1 + 1 ;
            end
        end
        for k = 1:N-N_1 % user class 2
            no_access2 = sum( rand(1,no_user_c2)<p2 ) ;
            if no_access2 == 1
                no_user_c2 = no_user_c2-1;
                no_success2 = no_success2 + 1 ;
            end
        end
        total_success1 = total_success1 + no_success1;
        total_success2 = total_success2 + no_success2;
    end % h
    all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/no_trial];
    all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/no_trial];
end % N_1

```

5. เทคนิคการจอบแบบ FPT+SCS

```

no_trial = 100000;
N = 16; p1 = 0.20; p2 = 0.20;
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for N_s = 1:N
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0; no_success2 = 0;
        no_user_c1 = 1; no_user_c2 = 7;
        for k = 1:N
            no_access1 = sum( rand(1,no_user_c1)<p1 );
            % ===== only class-1 users are contention =====
            if k <= N_s
                if no_access1 == 1
                    no_user_c1 = no_user_c1-1;
                    no_success1 = no_success1 + 1 ;
                end
            else
                % ===== class-1 and class-2 users contention =====
                no_access2 = sum( rand(1,no_user_c2)<p2 );
                if (no_access1 + no_access2) == 1

```



```

        if no_access1 == 1
            no_user_c1 = no_user_c1-1;
            no_success1 = no_success1 + 1 ;
        end
        if no_access2 == 1
            no_user_c2 = no_user_c2-1;
            no_success2 = no_success2 + 1 ;
        end
    end
end
end % k
total_success1 = total_success1 + no_success1;
total_success2 = total_success2 + no_success2;
end % h
all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/no_trial];
all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/no_trial];
end % N_s

```

6. เทคนิคการจองแบบ FPT+HFF

```

no_trial = 100000; N = 16;
p1 = 0.20; p2 = 0.20;
no_user_c1 = 1; no_user_c2 = 7;
total_success1 = 0;
total_success2 = 0;
for h = 1:no_trial
    m1 = no_user_c1; no_success1 = 0;
    m2 = no_user_c2; no_success2 = 0;
    for k = 1:N
        if m1 > 0;
            no_access1 = sum( rand(1,m1)<p1 );
            if no_access1 == 1
                m1 = m1-1;
                no_success1 = no_success1 + 1 ;
            end
        else
            no_access2 = sum( rand(1,m2)<p2 );
            if no_access2 == 1
                m2 = m2-1;
                no_success2 = no_success2 + 1 ;
            end
        end
        total_success1 = total_success1 + no_success1;
        total_success2 = total_success2 + no_success2;
    end
end
avg_success1 = total_success1/no_trial;
avg_success2 = total_success2/no_trial;

```

โปรแกรมที่ใช้แสดงผลการทดสอบในบทที่ 6 (CFP)

1. เทคนิคการจองแบบ CFP

```

clear all; clc
N = 16; M = 8;

```

```

permission_prob = 0.05:0.05:1;
all_prob_success = [];
for p = permission_prob
    prob_success = 0;
    for i = 1:N
prob_success = prob_success + (p*(1-p)^(i-1))*(1-(p*(1-p)^(i-1)))^M ;
    end
    all_prob_success = [all_prob_success prob_success];
end

```

2. สถานการณ์แบบ CPP

```

clear all; clc
N = 16; M1 = 1; M2 = 7;
permission_prob_misbehaved = 0.05:0.05:1;
p1 = 0.15; % appropriate permission probability
all_prob_success_wellbehaved = [];
all_prob_success_misbehaved = [];
for p2 = permission_prob_misbehaved
    prob_success_wellbehaved = 0;
    prob_success_misbehaved = 0;
    for i = 1:N
        prob_success_wellbehaved = prob_success_wellbehaved +
        ((p1*(1-p1)^(i-1))*(1-(p1*(1-p1)^(i-1)))^(M1-1))*((1-(p2*(1-
p2)^(i-1)))^M2) ;
        prob_success_misbehaved = prob_success_misbehaved +
        ((p2*(1-p2)^(i-1))*(1-(p2*(1-p2)^(i-1)))^(M2-1))*((1-(p1*(1-
p1)^(i-1)))^M1) ;
    end
    all_prob_success_wellbehaved = [all_prob_success_wellbehaved
prob_success_wellbehaved];
    all_prob_success_misbehaved = [all_prob_success_misbehaved
prob_success_misbehaved];
end

```

3. สถานการณ์แบบ CPP+SRT

```

clear all; clc
N = 16; M1 = 7; M2 = 1;
permission_prob_misbehaved = 0.05:0.05:1;
p1 = 0.15; % appropriate permission probability
N_d = N/4; % the number of shifted reservation slots
all_prob_success_wellbehaved = [];
all_prob_success_misbehaved = [];
for p2 = permission_prob_misbehaved
    prob_success_wellbehaved = 0;
    prob_success_misbehaved = 0;
    for i = 1:N
        if i <= N_d
            prob_success_wellbehaved = prob_success_wellbehaved +
            (p1*(1-p1)^(i-1))*(1-(p1*(1-p1)^(i-1)))^(M1-1) ;
        else % (i > N_d)
            prob_success_wellbehaved = prob_success_wellbehaved +
            ((p1*(1-p1)^(i-1))*(1-(p1*(1-p1)^(i-1)))^(M1-1))*((1-(p2*(1-
p2)^(i-N_d)))^M2) ;
        end
    end
end

```

```

    prob_success_misbehaved = prob_success_misbehaved + ((p2*(1-
p2)^(i-N_d)) * (1-(p2*(1-p2)^(i-N_d)))^(M2-1)) * ((1-(p1*(1-
p1)^(i-1)))^M1);
    end
end
    all_prob_success_wellbehaved =
[all_prob_success_wellbehaved prob_success_wellbehaved];
    all_prob_success_misbehaved =
[all_prob_success_misbehaved prob_success_misbehaved];
end

```

โปรแกรมที่ใช้แสดงผลการทดสอบในบทที่ 6 (FPT)

1. สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง

```

clear all; clc
no_trial = 100000;
N = 8; p1 = 0.15;
prob2 = 0.05:0.05:1;
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for p2 = prob2
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0;    no_success2 = 0;
        no_user_c1 = 7;    no_user_c2 = 1;
        for k = 1:N
            no_access1 = sum( rand(1,no_user_c1)<p1 );
            no_access2 = sum( rand(1,no_user_c2)<p2 );
            if (no_access1 + no_access2) == 1
                if no_access1 == 1
                    no_user_c1 = no_user_c1-1;
                    no_success1 = no_success1 + 1 ;
                end
                if no_access2 == 1
                    no_user_c2 = no_user_c2-1;
                    no_success2 = no_success2 + 1 ;
                end
            end
        end
        end % k
        total_success1 = total_success1 + no_success1;
        total_success2 = total_success2 + no_success2;
    end % h
    all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
total_success1/(no_trial*no_user_c1)];
    all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
total_success2/(no_trial*no_user_c2)];
end % p2

```

2. สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเก็ตการจอง และจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลื่อน

```

clear all; clc;

```

```

N = 8; p = 0.15;
no_trial = 100000;
shift_slot = 3*N/4 ; % [ N/2  N/4]
all_avg_success_c1 = [];
all_avg_success_c2 = [];
for p2 = 0.05:0.05:1
    total_success1 = 0;
    total_success2 = 0;
    for h = 1:no_trial
        no_success1 = 0; no_success2 = 0;
        no_user_c1 = 7; no_user_c2 = 1;
        for k = 1:N
            % ===== only class-1 users are contention =====
            access1 = rand(1,no_user_c1)<p ;
            no_access1 = sum(access1);
            if k <= shift_slot
                if no_access1 == 1
                    no_user_c1 = no_user_c1-1;
                    no_success1 = no_success1 + 1 ;
                end
            else
                % ===== class-1 and class-2 users contention =====
                access2 = rand(1,no_user_c2)<p2 ;
                no_access2 = sum(access2);
                if (no_access1 + no_access2) == 1
                    if no_access1 == 1
                        no_user_c1 = no_user_c1-1;
                        no_success1 = no_success1 + 1 ;
                    end
                    if no_access2 == 1
                        no_user_c2 = no_user_c2-1;
                        no_success2 = no_success2 + 1 ;
                    end
                end
            end
            end % slot_class_1
            total_success1 = total_success1 + no_success1;
            total_success2 = total_success2 + no_success2;
        end % h
        all_avg_success_c1 = [all_avg_success_c1
            total_success1/no_trial];
        all_avg_success_c2 = [all_avg_success_c2
            total_success2/no_trial];
    end % p2

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบรรณรัตน์ วัฒนมังคล เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าทำงานในบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งเป็นเวลา 2 ปี จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อและสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2549



ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย