

เทคนิคการจ้องช่องสัญญาณสำหรับโพทโคลดควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย
กรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข



นายชโลธร ชนะสงค์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

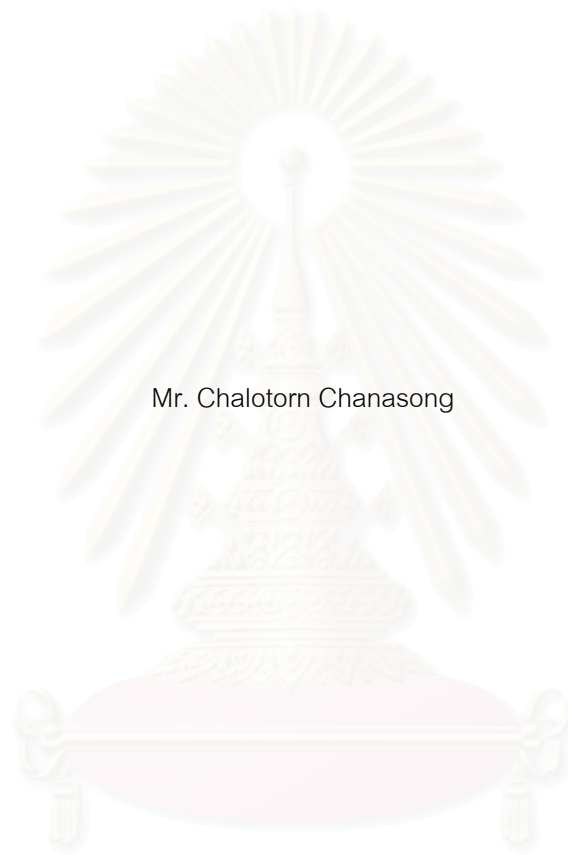
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2469-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL UNDER
MISBEHAVED USERS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM



Mr. Chalotorn Chanasong

สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering


Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2005


ISBN 974-53-2469-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคการกรองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึง
 ตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย กรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข
โดย นายชโลธร ชนะสงค์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนิติศ อัศวกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

ชโลธร ชนะสงค์ : เทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย กรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข.(CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL UNDER MISBEHAVED USERS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ลัญจกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, 121 หน้า. ISBN 974-53-2469-8.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไป และกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยได้พิจารณาสถานการณ์ของการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีจำนวน 5 แบบ ได้แก่ ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G (Uniform + Limited Access + 2 Group) และระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token) วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย คือ เพื่อประเมินผลกระทบของการที่ระบบมีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจองที่มีต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จทั้งระบบและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม การประเมินสมรรถนะของระบบดังกล่าวนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์และการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากผลการวิเคราะห์พบว่าระบบการจองช่องสัญญาณทุกระบบ เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจองเพียงรายเดียวจะส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง ยกเว้น ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT ที่ทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น และสมรรถนะของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อบัณฑิต.....ชโลธร ชนะสงค์.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2548.....

4570275321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: CHANNEL RESERVATION / MAC PROTOCOL / WIRELESS COMMUNICATIONS

CHALOTORN CHANASONG : CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL UNDER MISBEHAVED USERS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D., 121 pp. ISBN 974-53-2469-8.

This thesis presents an analysis of a channel reservation system for media access control protocol in wireless communication system with two groups of users, *i.e.* general and misbehaved users. Five different misbehaving scenarios are investigated, namely Cascade Fixed Probability + 2 Group (CFP+2G), Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token (CFP+2G+MT), Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time (CFP+2G+SRT), Uniform + Limited Access + 2 Group (UNI+LA+2G) and Uniform + 2 Group + Multi-Token (UNI+2G+MT). The objective is to evaluate the effect of some misbehaved users on the overall system performance measured in terms of the average number of successful users for overall users and each group. System performance has been evaluated through mathematical formulation and verified by computer simulations. Numerical results show that in most cases the probability of success in reservation clearly degrades if only one user do not follow the agreed rule, except for one specific system namely CFP+2G+SRT where overall system throughput can actually improve for certain system configurations. When more users misbehave the overall performance can become deteriorated rapidly.

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature Chalotorn Chanasong
 Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature Assoc. Prof. Lunchakorn Wuttisittikulkiy
 Academic year2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากขาดความช่วยเหลือ และแนะนำจากผู้เกี่ยวข้องทั้งหลาย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยอย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและกำลังใจที่ดีเสมอมา และคุณวรากร ศรีเชวงทรัพย์ ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีตลอดมา และขอขอบคุณทุนโครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชนที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา รวมถึงกำลังใจและความเข้าใจที่มีให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์.....	4
2 ความรู้พื้นฐาน.....	5
2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	5
2.1.1 โพรโทคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol).....	5
2.1.2 โพรโทคอลที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol).....	6
2.1.3 โพรโทคอลแบบผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free and Contention-Based MAC Protocol).....	6
2.2 พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ.....	7
2.3 ผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ.....	8
2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต.....	9
2.4.1 เทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Exponential Backoff.....	9
2.4.2 เทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Pseudo	

	Bayesian.....	10
2.4.3	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP (Cascade Fixed Probability).....	11
2.4.4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI (Uniform).....	12
2.5	แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....	13
2.6	ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ.....	13
3	ระบบการจองช่องสัญญาณ.....	16
3.1	ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G (Cascade Fixed probability + 2 Group).....	17
3.2	ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT (Cascade Fixed probability + 2 Group + Multi-Token).....	20
3.3	ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT (Cascade Fixed probability + 2 Group + Shift Reservation Time).....	22
3.4	ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G (Uniform + Limited Access + 2 Group).....	26
3.5	ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token).....	27
4	ผลทดสอบและการวิเคราะห์.....	29
4.1	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G.....	31
4.1.1	กรณีที่มีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว.....	31
4.1.2	กรณีที่มีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ.....	34
4.2	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT.....	41
4.2.1	กรณีที่มีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว.....	41
4.2.2	กรณีที่มีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ.....	50
4.3	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + SRT.....	57
4.3.1	กรณีที่มีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว.....	57

4.3.2	กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ.....	67
4.4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G.....	74
4.4.1	กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว.....	74
4.4.2	กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ.....	77
4.5	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT.....	84
4.5.1	กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว.....	84
4.5.2	กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ.....	87
4.6	ผลการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณที่ นำเสนอ.....	89
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1	บทสรุป.....	97
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	99
	รายการอ้างอิง.....	100
	ภาคผนวก.....	102
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	121

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA Reservation..... 7
รูปที่ 2.2	การจองช่องสัญญาณของโพรโทคอล ALOHA Reservation..... 7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างเฟรมและการทำงานเมื่อเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่าน้อย..... 8
รูปที่ 2.4	โครงสร้างเฟรมและการทำงานเมื่อเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามาก..... 9
รูปที่ 2.5	การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI..... 12
รูปที่ 3.1	กลไกการทำงานของระบบการจองแบบ CFP + 2G..... 17
รูปที่ 3.2	ตัวอย่างการหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users)..... 25
รูปที่ 3.3	กลไกการทำงานของระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G 26
รูปที่ 3.4	กลไกการทำงานของระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT..... 27
รูปที่ 4.1	ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของ CFP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 8 ราย และช่องสัญญาณการจองค่าต่าง ๆ..... 31
รูปที่ 4.2	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง..... 32
รูปที่ 4.3	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง..... 33
รูปที่ 4.4	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง..... 33
รูปที่ 4.5	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง..... 35
รูปที่ 4.6	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ

	ฉ หน้า
ภาพประกอบ	
รูปที่ 4.7	35
รูปที่ 4.8	37
รูปที่ 4.9	38
รูปที่ 4.10	40
รูปที่ 4.11	42
รูปที่ 4.12	44
รูปที่ 4.13	46

ภาพประกอบ	หน้า
	59
รูปที่ 4.21	60
รูปที่ 4.22	61
รูปที่ 4.23	63
รูปที่ 4.24	64
รูปที่ 4.25	66
รูปที่ 4.26	68
รูปที่ 4.27	

บทที่ 1

บทนำ

บทนำนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ และเค้าโครงวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบสื่อสารรูปแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นระบบสื่อสารไร้สายซึ่งมีการพัฒนาอยู่เสมอมา เนื่องจากระบบสื่อสารไร้สายมีความสะดวกสบายในการใช้งานเป็นอย่างมาก สามารถนำไปใช้ได้ในทุกโอกาสและทุกสถานที่ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงมีผู้ใช้บริการให้ความสนใจใช้บริการระบบสื่อสารไร้สายจำนวนมาก แต่ด้วยข้อจำกัดในส่วนของช่องสัญญาณที่ไม่สามารถจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมากได้เพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocols หรือ MAC protocols) เข้ามาทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ใช้บริการสูงสุด โดยสามารถจำแนกโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางได้ 3 ประเภท [1-4] คือ โพรโทคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol), โพรโทคอลที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol) และโพรโทคอลที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free & Contention-Based MAC Protocol)

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ[1,17,18] เป็นโพรโทคอลที่มีความยืดหยุ่นและมีกลไกการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะใช้เทคนิคการทำงานแบบมีการช่วงชิง เพื่อให้ผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารทำการจองช่องสัญญาณ ในส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนที่ใช้เทคนิคการทำงานแบบไม่มีการช่วงชิง ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นช่วงการส่งข่าวสารเมื่อผ่านการจองมาแล้ว โดยผู้ใช้บริการจะต้องประสบความสำเร็จในช่วงการจองมาก่อนจึงจะส่งข่าวสารได้ ดังนั้นการทำงานในช่วงการจองจึงมีผลต่อสมรรถนะของระบบ เพราะว่าหากผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการจองแล้ว การส่งข่าวสารก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณมาบ้างแล้ว แต่เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่น่าเสนอนั้น

ผู้ใช้บริการทุกรายจะปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง ดังนั้นหากมีผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดของสถานีฐานหรือตัวผู้ใช้บริการเองทำให้มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

จากปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงพิจารณาถึงระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณที่แบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เมื่อผู้ใช้บริการทั้ง 2 กลุ่มจะไม่สามารถทราบผลการจองได้จนกว่าจะผ่านช่วงการจองแล้ว เพื่อที่จะวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้บริการ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์และจำลองระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่ประกอบด้วยกลุ่มผู้ใช้บริการ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข สำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ โดยจะพิจารณาผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของระบบจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จทั้งระบบและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม สำหรับเป็นแนวทางในการป้องกันกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. จำลองระบบการจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขรูปแบบต่างๆ คือ

- 1.1 กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองแตกต่างจากผู้ใช้บริการทั่วไป

- 1.2 กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถเริ่มเข้าจองในสล็อตการจองใดก็ได้

- 1.3 กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถเข้าจองได้มากกว่า 1 ครั้งภายใน 1 เฟรม

เมื่อผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณโดยใช้เทคนิคการจอง แบบ CFP

2. จำลองระบบการจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขรูปแบบต่างๆ คือ

- 2.1 กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจ
เข้าของแตกต่างจากผู้ใช้บริการทั่วไป
- 2.2 กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถเข้าของได้มากกว่า 1 ครั้ง
ภายใน 1 เฟรม
เมื่อผู้ใช้บริการเข้าของช่องสัญญาณโดยใช้เทคนิคการจองแบบ UNI
3. วิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบ
ความสำเร็จทั้งระบบและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม
จากระบบจำลองการจองช่องสัญญาณ เมื่อผู้ใช้บริการเข้าของช่องสัญญาณโดยใช้
เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองระบบการจองช่องสัญญาณ เมื่อผู้ใช้บริการเข้าของ
ช่องสัญญาณโดยใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และ UNI จากจำนวน
ผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จทั้งระบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบ เพื่อหาระบบที่มี
ประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง และเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการ
นำเสนอในอดีต
2. เสนอรูปแบบของระบบการจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตาม
เงื่อนไขและวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองช่องสัญญาณที่
นำเสนอ
3. เขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ
4. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ
5. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถทราบได้ว่าระบบการจองช่องสัญญาณกรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตาม
เงื่อนไขมีรูปแบบใดบ้าง
2. สามารถทราบได้ว่าภายในระบบมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขหรือไม่
3. สามารถทราบได้ว่าหากภายในระบบมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะส่งผล
กระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไปและระบบอย่างไร

1.6 เค้ําโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ และเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน กล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีในปัจจุบัน พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ เทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต ผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต และระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

บทที่ 3 ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ กล่าวถึงหลักการทำงานและแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (เฉพาะระบบการจองที่ใช้เทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ CFP) โดยแบ่งระบบการเข้าจองช่องสัญญาณเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G (Uniform + Limited Access + 2 Group) และระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token)

บทที่ 4 ผลการทดสอบ กล่าวถึงผลการจำลองระบบและการวิเคราะห์ผลการจำลองระบบการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ พร้อมทั้งผลการเปรียบเทียบระบบที่นำเสนอทั้ง 2 แบบ

บทที่ 5 บทสรุป กล่าวถึงบทสรุป และข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

บทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดยกล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีการนำเสนอและตัวอย่างของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง จากนั้นจะกล่าวถึงพื้นฐานการจองช่องสัญญาณ ผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ และสุดท้ายจะกล่าวถึงระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง หรือ Media Access Control Protocol (MAC Protocol) เป็นโพรโทคอลที่มีความสำคัญในการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมาก เพื่อให้ใช้ประโยชน์ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีการทำงานอยู่ในส่วนของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามมาตรฐานของแบบจำลองอ้างอิง 7 ชั้น (Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model) โดยสามารถจำแนกประเภทตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 กลุ่ม [1, 4, 6,11] ดังนี้

2.1.1 โพรโทคอลที่ไม่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้จะมีการจัดสรรช่องสัญญาณที่กำหนดแน่นอนสำหรับผู้ให้บริการแต่ละราย ทำให้ผู้ใช้บริการทุกรายสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ทันทีเมื่อต้องการส่งข่าวสาร ตัวอย่างของโพรโทคอลที่ไม่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ [1,2] เช่น Frequency Division Multiple Access (FDMA), Time Division Multiple Access (TDMA) , Code Division Multiple Access (CDMA) เป็นต้น ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือระบบจะมีเสถียรภาพดีในทุก ๆ สถานะทราฟฟิก เพราะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตของผู้ให้บริการ แต่จะมีข้อเสียคือไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ เนื่องจากหากมีผู้ใช้บริการรายใดไม่ได้ส่งข่าวสารจะทำให้เกิดการสูญเสียแบนด์วิดท์ส่วนนั้นไป เพราะผู้ใช้บริการรายอื่นจะไม่สามารถเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ในส่วนนั้นได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้อีกด้วย กล่าวคือ จะสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้สูงสุดเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่

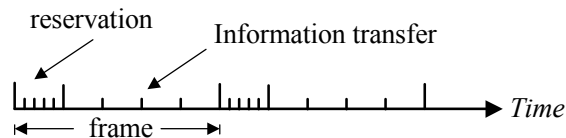
2.1.2 โพรโทคอลที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้ ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะไม่มีใครกำหนดให้กับผู้ใช้บริการรายใด รายหนึ่งอย่างแน่นอน ดังนั้นผู้ใช้บริการทุกรายที่ต้องการส่งข่าวสารจะต้องทำการช่วงชิงช่องสัญญาณที่มีอยู่ ตัวอย่างของโพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ [1,2] เช่น Pure ALOHA, Slotted ALOHA และ Carrier Sense Multiple Access (CSMA) ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือ สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมาก และสามารถรองรับทราฟฟิกที่มีขนาดปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลาได้ แต่ข้อเสียคือที่สภาวะทราฟฟิกสูง ๆ ระบบจะขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังไม่สามารถคาดเดาเวลาประวิงเนื่องจากการส่งแพ็กเก็ตได้

2.1.3 โพรโทคอลที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free and Contention-Based MAC Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้ เป็นการนำรูปแบบการทำงานในส่วนของโพรโทคอลทั้งสองกลุ่มแรกมารวมกัน ซึ่งการทำงานของโพรโทคอลนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนที่ผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารจะต้องจองช่องสัญญาณในช่องการจองก่อน โดยจะต้องช่วงชิงช่องสัญญาณในการจองกับผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ หากการจองเป็นผลสำเร็จก็จะเข้าสู่การทำงานในส่วนที่ 2 สำหรับในส่วนที่ 2 นี้ สถานีฐานจะเป็นศูนย์กลางในการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ผู้ใช้บริการรายนั้น ตัวอย่างโพรโทคอลกลุ่มนี้ เช่น ALOHA Reservation [3,13], Round Robin Reservation (RRR) [4], PRMA [5] และ DR-TDMA [12] เป็นต้น

จากการศึกษาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณเป็นโพรโทคอลที่มีความยืดหยุ่นและมีกลไกการทำงานที่มีประสิทธิภาพ จึงมีความน่าสนใจและได้รับการพัฒนาเรื่อยมา โครงสร้างของเฟรมแสดงในรูปที่ 2.1 โดยในแต่ละเฟรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงการจอง ซึ่งจะแบ่งเป็นช่องสัญญาณขนาดเล็กเพื่อใช้ในการจอง เรียกว่า ช่องสัญญาณการจอง และช่วงการส่งข่าวสาร ซึ่งจะถูกแบ่งเป็นช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการส่งข่าวสาร เรียกว่า ช่องสัญญาณข่าวสาร ดังนั้นข้อได้เปรียบที่สำคัญของโพรโทคอลประเภทนี้คือ ช่องสัญญาณการจองมีขนาดเล็ก เมื่อเกิดการสูญเสียซึ่งอาจเกิดจากการชนกันหรือการว่าง ก็ จะสูญเสียแบนด์วิดท์และข้อมูลเฉพาะในส่วนการจอง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA Reservation

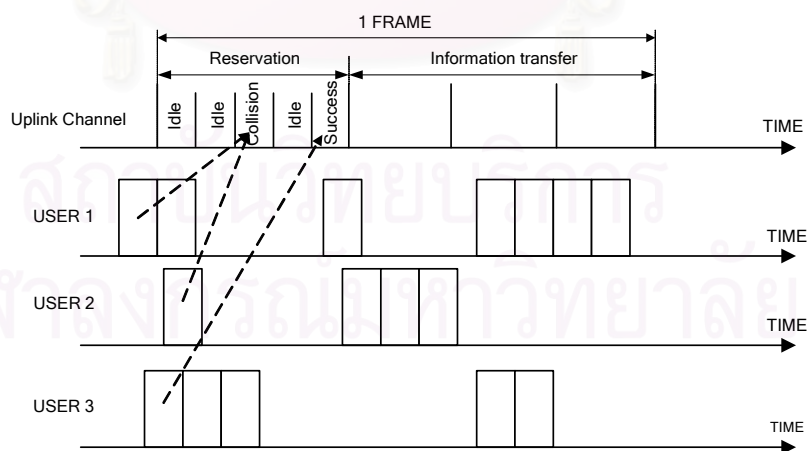
2.2 พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ

พื้นฐานการจองช่องสัญญาณจะเริ่มโดยผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารแต่ละรายจะต้องรอเวลาจนถึงช่วงเวลาการจองจึงจะทำการเข้าจองช่องสัญญาณ และสถานีฐานจะเป็นผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบผลการจอง โดยสามารถแบ่งเป็น 3 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 2.2

กรณีที่ 1 มีผู้ใช้บริการเข้าจองเพียงคนเดียว ผู้ใช้บริการคนนั้นก็จะได้ประสบความสำเร็จ (Success) ในการจอง และสถานีจะเป็นผู้จัดสรรช่องสัญญาณข่าวสารให้แก่ผู้ใช้บริการ หลังจากนั้นผู้ใช้บริการจะต้องรอจนกระทั่งถึงช่วงเวลาการส่งข่าวสารจึงจะสามารถส่งข่าวสารได้

กรณีที่ 2 มีผู้ใช้บริการเข้าจองมากกว่าหนึ่งคนในช่องสัญญาณการจองเดียวกัน ผู้ใช้บริการทั้งหมดที่เข้าจองจะไม่ประสบความสำเร็จในการจอง เนื่องจากจะเกิดการชนกัน (Collision) ของแพ็กเก็ตการจอง ทำให้ผู้ใช้บริการต้องทำการจองใหม่ในเฟรมนี้หรือเฟรมถัดไป ขึ้นอยู่กับประเภทของทราฟฟิกที่ส่งและชนิดโพรโทคอล

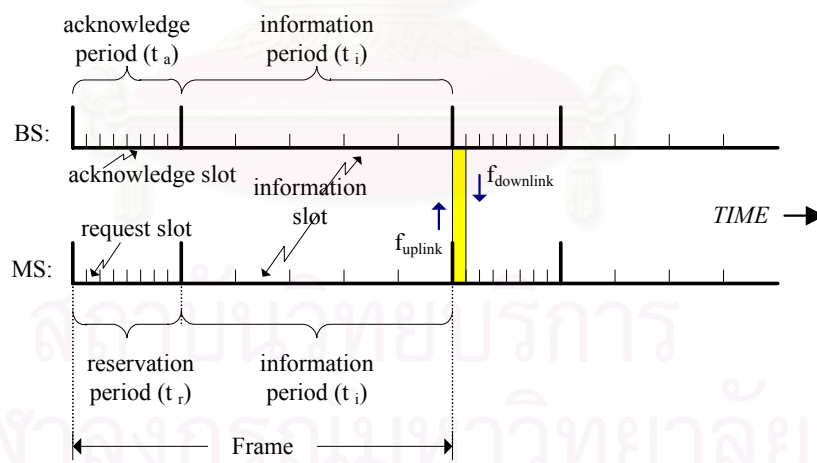
กรณีที่ 3 ไม่มีผู้ใช้บริการเข้าจองเลย ช่องสัญญาณการจองก็จะอยู่ในสถานะว่างเปล่า (Idle)



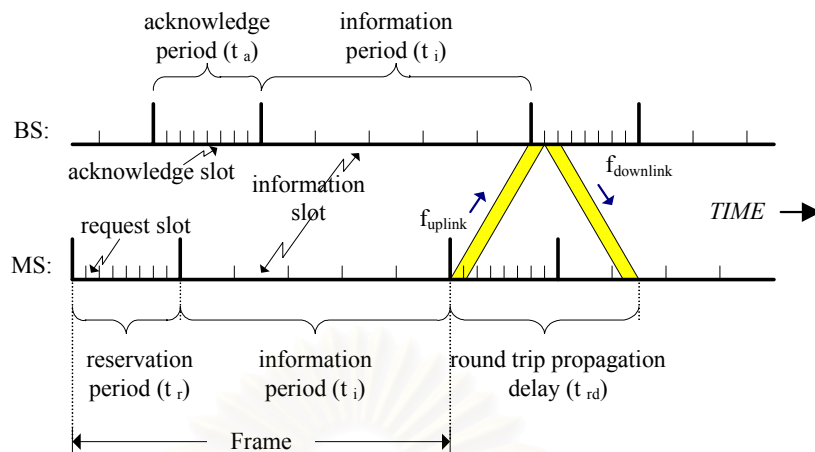
รูปที่ 2.2 การจองช่องสัญญาณของโพรโทคอล ALOHA Reservation

2.3 ผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ

เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่าน้อย และเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามาก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4 ตามลำดับ ซึ่งผลที่เกิดจากเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบจะส่งผลต่อการจองของผู้ใช้บริการกล่าวคือ หากระบบมีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่าน้อย สถานีฐานและผู้ให้บริการจะสามารถส่งสัญญาณการตอบรับระหว่างกันได้ในทันที ดังนั้นผู้ให้บริการสามารถทราบผลการจองได้ก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณการจองถัดไป และสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ทันทีถ้าหากไม่ประสบความสำเร็จในการจองในช่องสัญญาณดังกล่าว ทางด้านสถานีฐานก็สามารถทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ให้บริการทราบได้ก่อนถึงช่องสัญญาณจองถัดไปเช่นกัน สำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามากกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ เช่น ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง [7-9] เป็นต้น พบว่าในระบบสื่อสารดังกล่าวนี้ ผู้ให้บริการไม่สามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและอาจทราบผลการจองช่องสัญญาณภายหลังจากสิ้นสุดส่วนการจองไปแล้ว นั่นหมายถึงว่าผู้ให้บริการจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม หรืออาจเข้าจองได้หลายครั้งต่อเฟรม แต่ไม่สามารถทราบผลการจองว่าประสบความสำเร็จหรือไม่ในช่วงการจอง และจะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเฟรมและการทำงานเมื่อเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่าน้อย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเฟรมและการทำงานเมื่อเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามาก

2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอนในอดีต

2.4.1 เทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Exponential Backoff

การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองด้วยวิธีนี้ จะกำหนดตามสถานะของช่องสัญญาณการจองที่ผ่านมา กล่าวคือค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองในช่องสัญญาณการจองถัดไป ($p(t+1)$) จะทำการคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองของช่องสัญญาณการจองที่ผ่านมา ($p(t)$) ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$p(t+1) = \min \left\{ p_{\max}, p(t) \times \left(\frac{1}{q} \cdot I_{z(t)=0} + 1 \cdot I_{z(t)=1} + q \cdot I_{z(t) \geq 2} \right) \right\} \quad (2.1)$$

เมื่อ $0 < p_{\max} \leq 1$ และ $0 < q \leq 1$

โดยที่ $z(t)$ เป็นตัวแปรบอกจำนวนผู้ใช้บริการที่ส่งแพ็กเก็ตเกิดการจองในช่องสัญญาณการจองนั้น เพื่อใช้ในการบอกสถานะของช่องสัญญาณการจอง คือ $z(t) = 0$ แสดงสถานะการว่าง, $z(t) = 1$ แสดงสถานะการจองเป็นผลสำเร็จ และ $z(t) \geq 2$ แสดงสถานะการชน สำหรับค่าของ I_A จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเกิดเหตุการณ์ A และเป็นศูนย์เมื่อไม่เกิดเหตุการณ์ สำหรับผลการทดสอบใน [10] ได้กำหนดค่า $p_{\max} = 1$ และได้สรุปว่าค่า $q = \frac{1}{2}$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้ระบบได้สมรรถนะที่ดีในสภาวะทราฟฟิกปกติ

2.4.2 เทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Pseudo Bayesian

การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในวิธี Pseudo Bayesian [14] นี้มีสมมติฐานที่ผู้ออกแบบกำหนดคือผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่เมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ทางด้านสถานีฐานสามารถทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบได้ทันทีก่อนที่จะถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณจองถัดไป โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แต่ละต้นของสัญญาณจองจะมีค่าเปลี่ยนไปตามปริมาณไหลหรือจำนวนผู้ใช้บริการที่ประมาณได้ในระบบขณะนั้น โดยการประมาณจำนวนผู้ใช้บริการจะประมาณจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ 3 ประเภท คือ การสำเร็จ การชน หรือการว่าง นอกจากนี้จะทำการพิจารณาอัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่ (Arrival Rate , λ) ซึ่งค่าดังกล่าวจะช่วยให้การประมาณมีความใกล้เคียงกับจำนวนผู้ใช้บริการจริงเพิ่มมากขึ้น

พิจารณาระบบที่ต้นเฟรมซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน n รายและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p จะได้ว่าอัตราข้อมูลของระบบมีค่าเป็น np และความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณมีค่าเป็น $np(1-p)^{n-1}$ โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $np = 1$ โดยก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณจองถัดไป กลไกการทำงานนี้จะทำการประมาณจำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณจองถัดไป (η_{t+1}) จากจำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณจองก่อนหน้า (η_t) แล้วจึงกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของช่องสัญญาณจองถัดไป ($p(t+1)$) จำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองช่องถัดไป สามารถหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$\eta_{t+1} = \left\{ \begin{array}{ll} \max(\lambda, \eta_t + \lambda - 1) & : \text{Success or Idle} \\ \eta_t + \lambda + (e - 2)^{-1} & : \text{Collision} \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

โดยที่ λ แทน อัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่ และ $e \approx 2.71$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของช่องสัญญาณจองถัดไป ($p(t+1)$) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$p(t+1) = \min\left(1, \frac{1}{\eta_{t+1}}\right) \quad (2.3)$$

2.4.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP (Cascade Fixed Probability)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP [15-18]นี้ ผู้ให้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารแต่ละรายจะตัดสินใจเข้าจองช่องสัญญาณด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่งเท่ากันทุกราย ตั้งแต่ช่องสัญญาณการจองแรกจนถึงช่องสัญญาณการจองสุดท้ายภายใน 1 เฟรม โดยก่อนจะตัดสินใจเข้าจอง ผู้ให้บริการแต่ละรายจะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 เพื่อลดโอกาสการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มของผู้ให้บริการรายใดมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่กำหนดไว้ ผู้ให้บริการรายนั้นก็จะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ ซึ่งผู้ให้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม สามารถหาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) ได้ดังนี้

ให้ $T[m, n, p]$ คือ จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองในระบบ ซึ่งประกอบด้วยผู้ให้บริการ m คน และจำนวนช่องสัญญาณการจอง n ช่อง

ให้ $P[k | m, n]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่มีผู้ให้บริการ k ราย สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองทั้งหมด m คน และใช้ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองเท่ากับ p

ให้ $b[m, i, p]$ แทนความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability) ที่ผู้ให้บริการ i คนจากทั้งหมด m คน ตัดสินใจเข้าจอง เมื่อผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p โดยที่ความน่าจะเป็นแบบทวินาม $b[m, i, p]$ กำหนดดังนี้

$$b[m, i, p] = \binom{m}{i} p^i (1-p)^{m-i} \text{ where } \binom{m}{i} = \frac{m!}{i!(m-i)!} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระบบ คือ

$$T[m, n, p] = \sum_{k=0}^m k \cdot P[k | m, n] \quad (2.5)$$

โดยที่

$$P[k | m, n] = b[m, 0, p]P[k | m, n-1] + b[m, 1, p]P[k-1 | m-1, n-1] + \sum_{i=2}^m b[m, i, p]P[k | m-i, n-1] \quad (2.6)$$

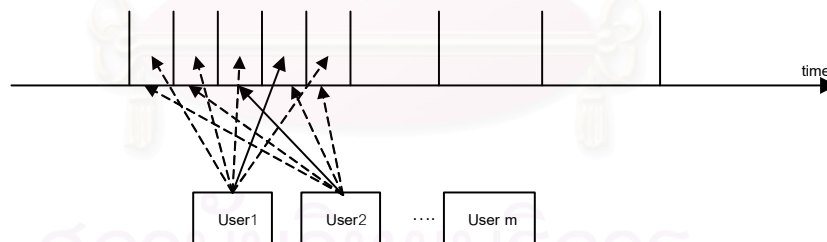
เมื่อค่าเริ่มต้นของสมการ (2.3) คือ

$$P[k | m, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m = 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m = 0, n \geq 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.5) สามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่ทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระบบสูงสุด คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (2.5) เทียบกับ p เป็นศูนย์

2.4.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform (UNI)

ในเทคนิคนี้ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณการจองขึ้นมา 1 ช่องจากช่องสัญญาณทั้งหมด n ช่อง ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบที่มีช่องสัญญาณการจองจำนวน n ช่อง โอกาสที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกเลือกจะมีค่าเท่ากับ $1/n$ รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI [15-18] เมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน m ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน n ช่อง



รูปที่ 2.5 การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน m รายและช่องสัญญาณจองจำนวน n ช่อง พบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- การว่าง เกิดเนื่องจากไม่มีผู้ใช้บริการรายใดในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่าง $= b[m, 0, 1/n]$

- การสำเร็จ เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวในระบบเข้าของช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการสำเร็จ $= b[m,1,1/n]$
- การชน เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าของช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชน $= \sum_{i=2}^m b[m,i,1/n]$

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณของช่องใด ๆ จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นรวมตลอดเฟรมที่มีผู้ใช้บริการจำนวน k ราย ของช่องสัญญาณ ได้สำเร็จ ($P[k|m,n]$) โดยอาศัยหลักการรีเคอร์ซีฟได้ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 P[k|m,n] &= b[m,0,1/n] P[k|m,n-1] \\
 &+ b[m,1,1/n] P[k-1|m-1,n-1] \\
 &+ \sum_{i=2}^m b[m,i,1/n] P[k|m-i,n-1]
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (2.8) ดังนี้

$$P[k|m,n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 2, n = 1 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 2, n = 1 \\ 1 & \text{if } k = 0, m = 0, n \geq 1 \\ 0 & \text{if } k = 0, m = 1, n \geq 1 \\ 1 & \text{if } k = 1, m = 1, n \geq 1 \end{cases}$$

จากค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในกรณีต่าง ๆ สามารถหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองได้ดังนี้

$$T[m,n] = \sum_{k=0}^m (k \cdot P[k|m,n]) \tag{2.9}$$

2.5 แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

1. เซลล์หนึ่งเซลล์ประกอบด้วยสถานีฐานหนึ่งสถานีและผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบจำนวนหนึ่ง การติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการทุกรายภายในเซลล์จะต้องกระทำผ่านสถานีฐานที่เป็นผู้ให้บริการ
2. การทำงานของโพรโทคอลที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมดจะอยู่บนพื้นฐานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบผสมที่มีการแบ่งช่องสัญญาณของระบบออกเป็นสองส่วนด้วย

วิธี FDD (frequency division duplex) ซึ่งใช้ความถี่ขาขึ้น (uplink) และขาลง (downlink) แตกต่างกัน โดยสถานีฐานสามารถควบคุมการส่งข้อมูลด้านขาลงได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับการส่งข้อมูลด้านขาขึ้นจะทำการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นเฟรม (frame) ในแต่ละเฟรมแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนจองและส่วนสำหรับส่งข้อมูล ผู้ใช้บริการทุกรายที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการเข้าจองช่องสัญญาณในส่วนการจองให้สำเร็จก่อน จากนั้นจึงรอให้สถานีฐานจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้ต่อไป

3. ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอกำหนดให้ผู้ให้บริการแต่ละรายไม่สามารถรู้ผลการจองได้ทันที เนื่องจากผลของเวลาประวิงสัมพัทธ์ที่มีค่ามาก
4. ค่าวิสัยสามารถที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์คือจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ
5. สถานีฐานจะสามารถทราบจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมและจำนวนผู้ใช้บริการที่จุดเริ่มต้นเฟรมโดยจำนวนผู้ใช้บริการจะมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงผลของการแฮนด์โอเวอร์
6. ช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณานี้สมมติว่าเป็นช่องสัญญาณในอุดมคติกล่าวคือ ไม่มีความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

2.6 ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

จากเทคนิคการจองที่มีการนำเสนอมาข้างต้น 2 แบบแรก คือ เทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Exponential Backoff และเทคนิคการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองด้วยวิธี Pseudo Bayesian เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบน้อยกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบสื่อสารบางประเภทที่มีค่าเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาวแล้ว พบว่าความเป็นไปได้ในการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของสถานีฐานและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบนั้น อาจจะไม่ทันก่อนจะถึงช่องสัญญาณการจองถัดไป ซึ่งการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นจึงอาจกระทำได้เพียง 1 ครั้งต่อเฟรมเช่นกัน ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการนำเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และ UNI มาใช้งานกับระบบสื่อสารที่มีค่าเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว แต่เนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และ UNI นั้นเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองได้เพียงแค่งุ่มเดียวเท่านั้น ดังนั้นหากระบบมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งเกิดจากตัวผู้ใช้บริการเองหรือความผิดพลาดของสถานีฐานก็จะไม่สามารถหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของทั้งระบบและค่าจำนวน

ผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของแต่ละกลุ่มได้ ด้วยเหตุนี้เอง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึง ตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลา ประวิงการส่งสัญญาณที่แบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่ม ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เมื่อผู้ใช้บริการทั้ง 2 กลุ่มจะไม่สามารถทราบผลการจองได้ จนกว่าจะผ่านช่วงการจองแล้ว ดังนี้ คือ

1. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group)
2. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token)
3. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time)
4. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + LA + 2G (Uniform + Limited Access + 2 Group)
5. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + 2G + MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระบบการจองช่องสัญญาณ

บทนี้จะกล่าวถึงระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย กรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเข้าจองช่องสัญญาณด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งจะนำเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI มาเป็นส่วนประกอบในการจำลองระบบการจองช่องสัญญาณ โดยระบบการจองช่องสัญญาณทั้งหมดที่เสนอมีด้วยกัน 5 แบบ คือ

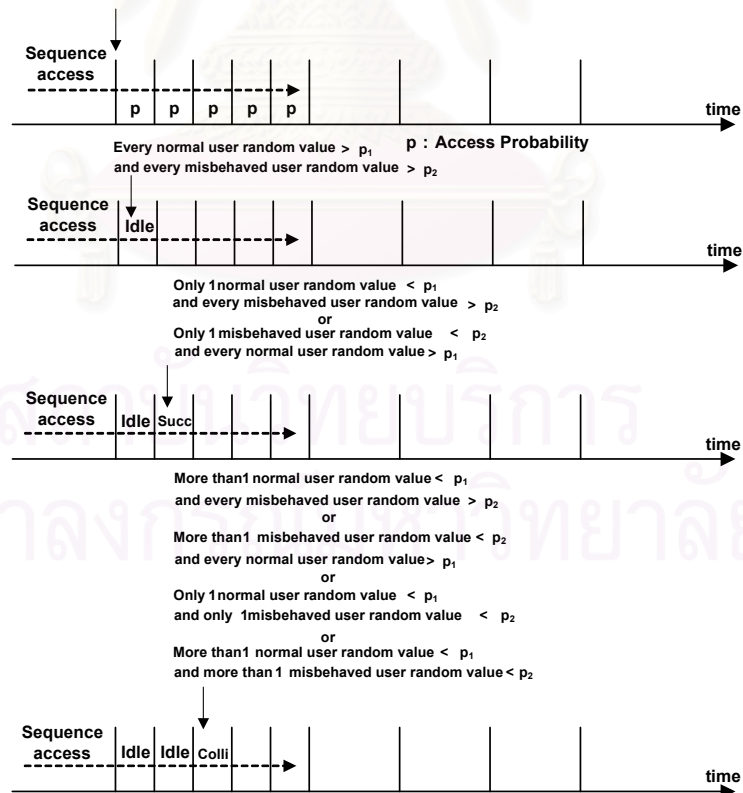
1. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group)
2. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token)
3. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time)
4. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + LA + 2G (Uniform + Limited Access + 2 Group)
5. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + 2G + MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token)

วัตถุประสงค์หลักของการจำลองระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบ จากการเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งเกิดจากสถานีฐานหรือตัวผู้ใช้บริการเอง โดยวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ (Average Number of Successful Users) ทั้งระบบและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่มในช่วงการจอง การคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบการจองที่นำเสนอสามารถหาได้โดยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในส่วนเนื้อหาของบทนี้จะอธิบายหลักการทำงาน

ของระบบการจ้องที่นำเสนอ พร้อมยกตัวอย่างการคำนวณหาสมการคณิตศาสตร์เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจและศึกษา

3.1 ระบบการจ้องช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group)

ระบบการจ้องนี้จะแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องที่ทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จจากวิธี CFP โดยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องจะคิดจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารทั้งหมดในระบบสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณการจ้องที่มีอยู่ภายในเฟรม ส่วนในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องอีกค่าหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้บริการกลุ่มนี้มีโอกาสในการเข้าจ้องมากกว่ากลุ่มแรก ซึ่งทั้งสองกลุ่มก่อนที่จะเข้าจ้องก็จะมี การสุ่มค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้แต่ละรายทุกครั้ง เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการชนกันได้อีกครั้งหนึ่ง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องก็จะสามารถทำการเข้าจ้องได้ และผู้ใช้แต่ละรายสามารถเข้าจ้องได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม กลไกการทำงานของระบบการจ้องช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กลไกการทำงานของระบบการจ้องแบบ CFP + 2G

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองแบบ CFP + 2G

จากกลไกการทำงานของระบบการจองแบบ CFP + 2G ดังแสดงในรูป 3.1 เมื่อพิจารณา ระบบที่มีผู้ให้บริการทั่วไปเข้าจอง m_1 ราย, ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข m_2 ราย และ ช่องสัญญาณในการจองจำนวน n ช่อง กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ให้บริการทั่วไปและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเท่ากับ p_1 และ p_2 ตามลำดับ พบว่าจะสามารถเกิดเหตุการณ์ในช่องสัญญาณการจองที่เป็นไปได้ 3 กรณี คือ

- การว่าง เกิดจากไม่มีผู้ให้บริการรายใดในทั้ง 2 กลุ่มเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการว่าง $= b[m_1, 0, p_1]b[m_2, 0, p_2]$
- การสำเร็จ เกิดจากมีผู้ให้บริการรายเดียวในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ ซึ่งจะเกิดได้ 2 กรณี คือ
 - ผู้ให้บริการในกลุ่มทั่วไปประสบความสำเร็จในการจอง โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการสำเร็จ $= b[m_1, 1, p_1]b[m_2, 0, p_2]$
 - ผู้ให้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขประสบความสำเร็จในการจอง โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการสำเร็จ $= b[m_1, 0, p_1]b[m_2, 1, p_2]$
- การชน เกิดจากมีผู้ให้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน ซึ่งจะเกิดได้ 3 กรณี คือ
 - ผู้ให้บริการในกลุ่มทั่วไปตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยผู้ให้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขไม่ได้เข้าจอง ซึ่งความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการชน $= b[m_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{m_1} b[m_1, i_1, p_1]$
 - ผู้ให้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยผู้ให้บริการในกลุ่มทั่วไปไม่ได้เข้าจอง ซึ่งความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการชน $= b[m_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{m_2} b[m_2, i_2, p_2]$
 - ผู้ให้บริการทั้ง 2 กลุ่มเข้าจองพร้อมกันตั้งแต่ 1 รายขึ้นไป โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณเกิดการชน $= \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_2} b[m_1, i_1, p_1]b[m_2, i_2, p_2]$

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณใด ๆ สามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) ได้ดังนี้

ให้ $T[m_1, m_2, n, p_1, p_2]$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองในระบบซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการในกลุ่มแรก m_1 คน, ผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ 2 เท่ากับ m_2 คน และจำนวนสัญญาณการจอง n ช่อง

ให้ $P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ k_1 รายและ k_2 ราย สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองทั้งหมด m_1 คนและ m_2 คนตามลำดับ

ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองสามารถแสดงด้วยในรูปค่าความน่าจะเป็นได้ดังนี้

$$T[m_1, m_2, n, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} k_1 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] + \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_1=0}^{m_1} k_2 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] \quad (3.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] &= b[m_1, 0, p_1] b[m_2, 0, p_2] P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n-1] \\ &+ b[m_1, 1, p_1] b[m_2, 0, p_2] P[k_1-1, k_2 | m_1-1, m_2, n-1] \\ &+ b[m_1, 0, p_1] b[m_2, 1, p_2] P[k_1, k_2-1 | m_1, m_2-1, n-1] \\ &+ b[m_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{m_2} b[m_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | m_1, m_2-i_2, n-1] \\ &+ b[m_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{m_1} b[m_1, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | m_1-i_1, m_2, n-1] \\ &+ \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_2} b[m_1, i_1, p_1] b[m_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | m_1-i_1, m_2-i_2, n-1] \end{aligned} \quad (3.2)$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (3.2) ไว้ดังนี้

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

3.2 ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token)

ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT นี้ จะมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบการจองแบบ CFP + 2G แต่มีข้อแตกต่างกันคือ ผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถเข้าจองได้มากกว่า 1 ครั้งภายในเฟรมเดียว เพื่อจะเพิ่มโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้ให้มากขึ้น โดยไม่สามารถที่จะทราบผลการจองในแต่ละครั้งได้จนกว่าจะสิ้นสุดช่วงการจองภายใน 1 เฟรม ซึ่งผลการจองจะไม่สามารถแยกได้ว่าครั้งไหนที่จองแล้วจะประสบความสำเร็จในการจอง

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT

สำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองนี้ จะแตกต่างจากระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G เนื่องจากในกลุ่มผู้ใช้งานที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีสถานการณ์เพิ่มขึ้นอีก คือ การประสบความสำเร็จซ้ำ ซึ่งเกิดจากผู้ใช้งานรายนั้นเคยประสบความสำเร็จมาแล้วจากการเข้าจองช่องสัญญาณก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงต้องมีพารามิเตอร์มากำหนดค่าความสำเร็จของผู้ใช้งานในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มเติมขึ้นมา จากหลักการดังกล่าวสามารถหาค่าของจำนวนผู้ใช้งานโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในระบบนี้ได้ดังนี้

กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการจองช่องสัญญาณ ดังนี้

m_1	แทนจำนวนของผู้ใช้งานในกลุ่มทั่วไป
m_2	แทนจำนวนของผู้ใช้งานในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข
n	แทนจำนวนช่องสัญญาณการจอง
T_i	แทนจำนวนโทเคนการจองของผู้ใช้งานในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขรายที่ i
S_i	แทนสถานะของการประสบความสำเร็จของผู้ใช้งานในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขรายที่ i โดยที่ $S_i = 0$ คือ ผู้ใช้งานรายนั้นยังไม่เคยประสบความสำเร็จ และ $S_i = 1$ คือ ผู้ใช้งานรายนั้นประสบความสำเร็จมาแล้ว

R แทนจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่เหลืออยู่ในระบบเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณการจอนั้น ๆ

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอนช่องสัญญาณในระบบนี้แสดงดังสมการ (3.3)

$$T[m_1, m_2, n, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} k_1 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] + \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_1=0}^{m_1} k_2 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] \quad (3.3)$$

โดยที่

$$P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] = (1-p_1)^{m_1} (1-p_2)^R \cdot P_A + p_1 (1-p_1)^{m_1-1} (1-p_2)^R \cdot P_B + p_2 (1-p_2)^{R-1} (1-p_1)^{m_1} \cdot P_C + \sum_{i_1=2}^{m_1} p_1^{i_1} (1-p_1)^{m_1-i_1} (1-p_2)^R \cdot P_D + \sum_{i_2=2}^R p_2^{i_2} (1-p_2)^{R-i_2} (1-p_1)^{m_1} \cdot P_{E_{i_2}} + \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^R p_1^{i_1} p_2^{i_2} (1-p_1)^{m_1-i_1} (1-p_2)^{R-i_2} \cdot P_{F_{i_2}} \quad (3.4)$$

เมื่อ $R = m_2 - (\text{จำนวนของบิต "0" ของตัวแปร } T_1, T_2, \dots, T_{m_2})$

$$P_A = P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n-1]$$

$$P_B = P[k_1-1, k_2 | m_1-1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n-1]$$

$$P_C = P[k_1, k_2-x | m_1, T_1-1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1+x, S_2, \dots, S_{m_2-1}, S_{m_2}, n-1] + P[k_1, k_2-x | m_1, T_1, T_2-1, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2+x, \dots, S_{m_2-1}, S_{m_2}, n-1] + \vdots + P[k_1, k_2-x | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}-1, S_1, S_2, S_3, \dots, S_{m_2-1}, S_{m_2}+x, n-1]$$

$$x = \begin{cases} 0 & \text{if repeated success} \\ 1 & \text{if newsuccess} \end{cases}$$

$$P_D = P[k_1, k_2 | m_1-i_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n-1]$$

$$\begin{aligned}
P_{E2} &= P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2 - 1, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad + P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2, T_3 - 1, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad \vdots \\
&\quad + P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2-2} - 1, T_{m_2-1}, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad + P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2-2}, T_{m_2-1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad \vdots \\
P_{ER} &= P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2 - 1, \dots, T_{m_2-2} - 1, T_{m_2-1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
P_{F1} &= P[k_1, k_2 | m_1 - i, T_1 - 1, T_2, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad + P[k_1, k_2 | m_1 - i, T_1, T_2 - 1, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad \vdots \\
&\quad + P[k_1, k_2 | m_1 - i, T_1, T_2, \dots, T_{m_2-1}, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1] \\
&\quad \vdots \\
P_{FR} &= P[k_1, k_2 | m_1 - i, T_1 - 1, T_2 - 1, \dots, T_{m_2-2} - 1, T_{m_2-1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]
\end{aligned}$$

นอกจากนี้ ยังได้กำหนดค่าเริ่มต้น (Boundary Condition) ของสมการ (3.4) ไว้ดังนี้

$$P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 + k_2 > n, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i = 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n = 0 \end{cases}$$

3.3 ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time)

ระบบการจองนี้จะแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่ทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จจากวิธี CFP โดยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองจะคิดจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารทั้งหมดในระบบสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณการจองที่มีอยู่ภายในเฟรม ส่วนในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองอีกค่าหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้บริการกลุ่มนี้มีโอกาสในการเข้าจองมากกว่ากลุ่มแรกและจะประวิงเวลาการเข้าจองให้ช้ากว่ากลุ่มแรก ซึ่งทั้งสองกลุ่มก่อนที่จะเข้าจองก็จะมีกลุ่มค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้แต่ละรายทุกครั้ง เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการชนกันได้อีกครั้งหนึ่ง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองก็จะสามารถทำการเข้าจองได้ และผู้ใช้แต่ละรายสามารถเข้าจองได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT

สำหรับระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT เนื่องจากไม่สามารถเขียนเป็นสมการในรูปแบบทั่วไปได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแสดงการวิเคราะห์โดยวาดแผนภาพการทำงาน โดยพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องสัญญาณการจอง แล้วคำนวณหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในระบบ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

จากรูปที่ 3.2 ให้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT มีผู้ใช้บริการทั้งหมด 3 ราย แบ่งเป็นผู้ใช้บริการทั่วไป 2 ราย ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข 1 ราย และช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 4 ช่อง โดยให้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขประวัติเวลาการเข้าจอง ซึ่งจะเริ่มเข้าจองในช่องสัญญาณการจองช่องที่ 3 จะสามารถหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการทั้งระบบ และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

กรณีที่ $k_1 = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการในกลุ่มทั่วไปคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned} P_{1,0} = & p_1^2 p_2 + p_1^2 p_2 (1-p_2) + p_1^2 (1-p_2)^2 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 (1-p_2) \\ & + p_1^2 (1-p_1)^2 (1-p_2)^2 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2) + p_1^2 (1-p_1)^4 (1-p_2)^2 \\ & + 2p_1 p_2 (1-p_1)^6 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^6 + p_2 (1-p_1)^8 + p_1^2 p_2 (1-p_1)^6 (1-p_2) + p_1^2 (1-p_1)^6 (1-p_2)^2 \\ & + 2p_1 p_2 (1-p_1)^7 (1-p_2) + p_2 (1-p_1)^8 (1-p_2) + (1-p_1)^8 (1-p_2)^2 \end{aligned}$$

กรณีที่ $k_1 = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในกลุ่มทั่วไป 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\begin{aligned} P_{1,1} = & 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 + 2p_1 p_2 (1-p_1)^4 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 (1-p_2) + 2p_1 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2) \\ & + 2p_1 (1-p_1)^4 (1-p_2)^2 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 + 2p_1 p_2 (1-p_1)^5 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2) \\ & + 2p_1 p_2 (1-p_1)^5 (1-p_2) + 2p_1 (1-p_1)^5 (1-p_2)^2 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^5 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^5 (1-p_2) \\ & + 2p_1 p_2 (1-p_1)^6 (1-p_2) + 2p_1 (1-p_1)^6 (1-p_2)^2 + 2p_1 p_2 (1-p_1)^7 + 2p_1 (1-p_1)^7 (1-p_2)^2 \end{aligned}$$

กรณีที่ $k_1 = 2$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในกลุ่มทั่วไป 2 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned} P_{1,2} = & 2p_1^2 p_2 (1-p_1) + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)(1-p_2) + 2p_1^2 (1-p_1)(1-p_2)^2 \\ & + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 (1-p_2) + 2p_1^2 (1-p_1)^2 (1-p_2)^2 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 \\ & + 2p_1^2 (1-p_1)^3 (1-p_2)^2 + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 (1-p_2) + 2p_1^2 (1-p_1)^3 (1-p_2)^2 \\ & + 2p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 + 2p_1^2 (1-p_1)^4 (1-p_2)^2 + 2p_1^2 (1-p_1)^5 (1-p_2)^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการ
ทั่วไป คือ

$$T_1 = 0.P_{1,0} + 1.P_{1,1} + 2.P_{1,2} \quad (3.5)$$

กรณีที่ $k_2 = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\begin{aligned} P_{2,0} = & p_1^2(1-p_2)^2 + 2p_1^2(1-p_1)(1-p_2)^2 + 2p_1^2p_2(1-p_1)^2 + 2p_1^2(1-p_1)^2(1-p_2)^2 \\ & + 2p_1^2p_2(1-p_1)^3(1-p_2) + 2p_1^2(1-p_1)^3(1-p_2)^2 + 2p_1(1-p_1)^4(1-p_2)^2 + p_1^2(1-p_1)^2(1-p_2)^2 \\ & + 2p_1^2p_2(1-p_1)^3 + 2p_1^2(1-p_1)^3(1-p_2)^2 + 2p_1^2p_2(1-p_1)^4(1-p_2) + 2p_1^2(1-p_1)^4(1-p_2)^2 \\ & + 2p_1(1-p_1)^5(1-p_2)^2 + p_1^2p_2(1-p_1)^4 + p_1^2(1-p_1)^4(1-p_2)^2 + 2p_1^2p_2(1-p_1)^5 \\ & + 2p_1p_2(1-p_1)^6 + 2p_1^2p_2(1-p_1)^5(1-p_2) + 2p_1^2(1-p_1)^5(1-p_2)^2 + 2p_1(1-p_1)^6(1-p_2)^2 \\ & + p_1^2p_2(1-p_1)^6(1-p_2) + p_1^2(1-p_1)^6(1-p_2)^2 + 2p_1p_2(1-p_1)^7(1-p_2) + 2p_1(1-p_1)^7(1-p_2)^2 \\ & + (1-p_1)^8(1-p_2)^2 \end{aligned}$$

กรณีที่ $k_2 = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

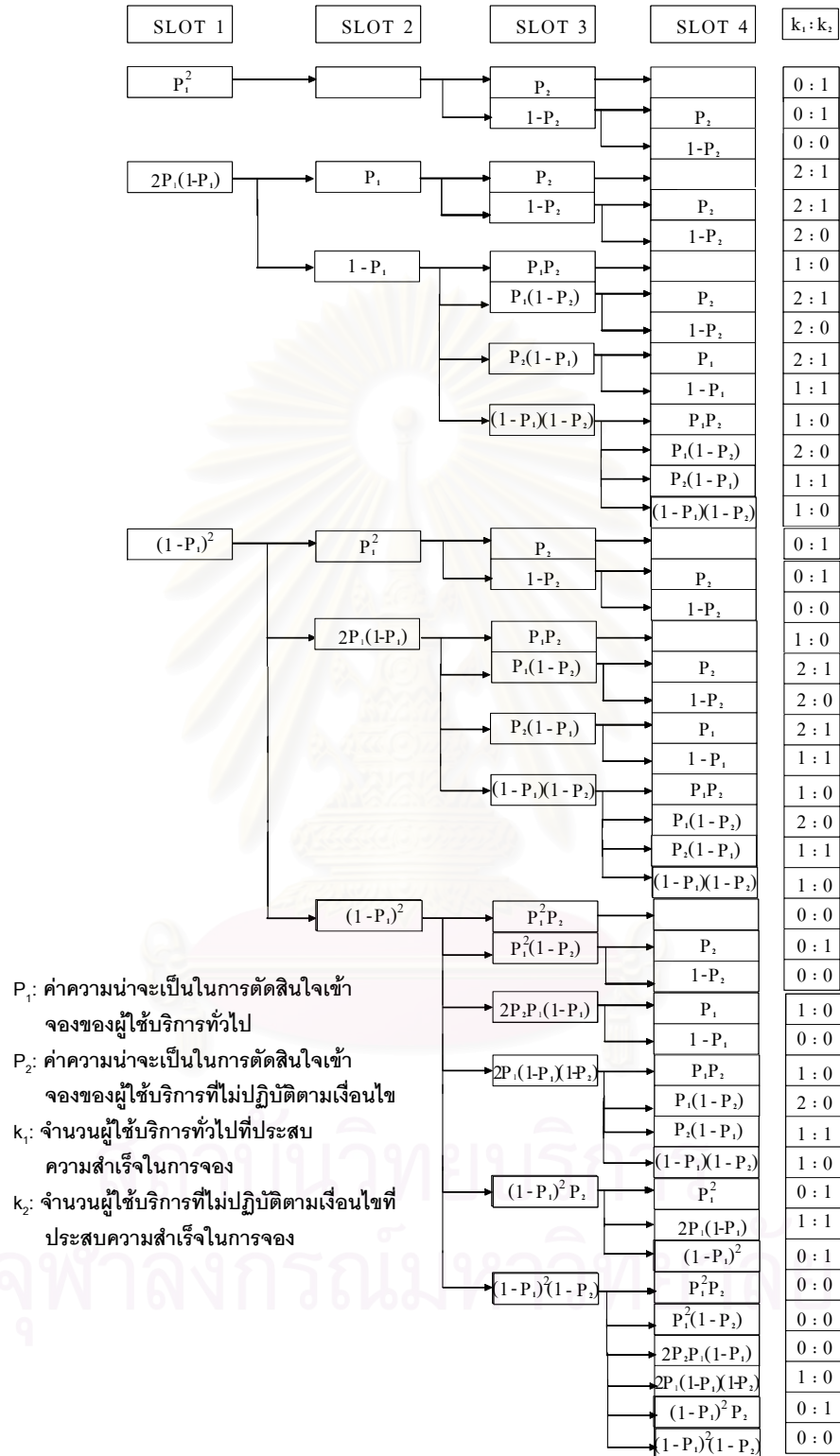
$$\begin{aligned} P_{2,1} = & p_1^2p_2 + p_1^2p_2(1-p_2) + 2p_1^2p_2(1-p_1) + 2p_1^2p_2(1-p_1)(1-p_2) + 2p_1^2p_2(1-p_1)^2(1-p_2) \\ & + 2p_1^2p_2(1-p_1)^3 + 2p_1p_2(1-p_1)^4 + 2p_1p_2(1-p_1)^4(1-p_2) + p_1^2p_2(1-p_1)^2 \\ & + p_1^2p_2(1-p_1)^2(1-p_2) + 2p_1^2p_2(1-p_1)^3(1-p_2) + 2p_1^2p_2(1-p_1)^4 + 2p_1p_2(1-p_1)^5 \\ & + 2p_1p_2(1-p_1)^5(1-p_2) + p_1^2p_2(1-p_1)^4(1-p_2) + 2p_1p_2(1-p_1)^6(1-p_2) + p_1^2p_2(1-p_1)^6 \\ & + 2p_1p_2(1-p_1)^7 + p_2(1-p_1)^8 + p_2(1-p_1)^8(1-p_2) \end{aligned}$$

และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข คือ

$$T_2 = 0.P_{2,0} + 1.P_{2,1} \quad (3.6)$$

ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของทั้งระบบในกรณีที่มีผู้ใช้บริการทั้งหมด 3 ราย แบ่งเป็นผู้ใช้บริการทั่วไป 2 ราย ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข 1 ราย และช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 4 ช่อง คือ

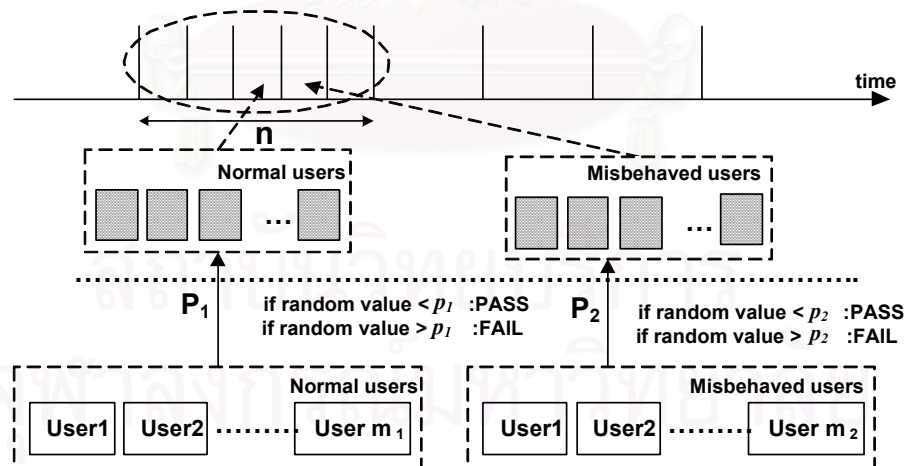
$$T = T_1 + T_2 \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการหาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users)

3.4 ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + LA + 2G (Uniform + Limited Access + 2 Group)

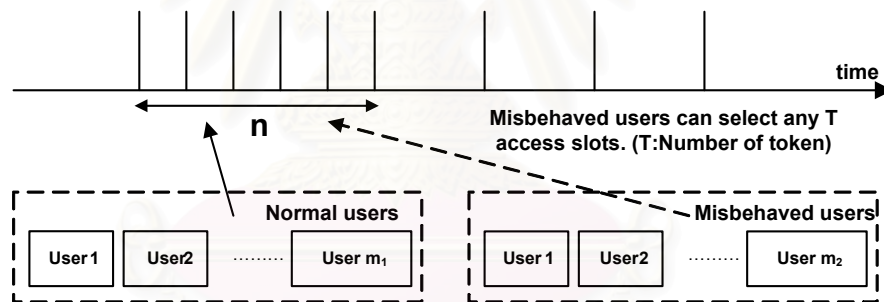
ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + LA + 2G จะมีการทำงานคล้ายกับเทคนิคการจองแบบ UNI กล่าวคือ ผู้ใช้บริการทุกรายที่จะเข้าจองช่องสัญญาณ จะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมาค่าหนึ่ง โดยค่าที่สุ่มจะมีค่าระหว่าง 0 - 1 ซึ่งหากผู้ใช้บริการรายใดมีค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่กำหนดไว้ ก็จะสามารถทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการเข้าจองได้ 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งการเข้าจองจะสำเร็จหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับว่าช่องสัญญาณที่สุ่มเลือกมาผู้ใช้บริการรายอื่นเข้าจองด้วยหรือไม่ ดังนั้นระบบการจองที่น่าเสนอนี้จะแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยจะกำหนดให้กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองค่าหนึ่งที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดในขณะที่ไม่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งจะใช้ค่าความน่าจะเป็นอีกค่าหนึ่งที่ทำให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากกว่ากลุ่มผู้ใช้ทั่วไป ในส่วนของระบบการจองนี้จะวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองโดยเฉลี่ยด้วยการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ กลไกการทำงานของระบบนี้แสดงดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 กลไกการทำงานของระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G

3.5 ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + 2G + MT (Uniform + 2Group + Multi-Token)

ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในที่สุดทำยนี้ คือ ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + 2G + MT โดยมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเทคนิคการจองแบบ UNI ซึ่งจะทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการจองก่อนจึงจะสามารถเข้าจองได้ โดยผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเลือกช่องสัญญาณได้เพียงช่องเดียว แต่ในระบบการจองที่เสนอนี้จะทำการแบ่งกลุ่มผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีการจองช่องสัญญาณเช่นเดียวกับเทคนิคการจองแบบ UNI แต่สำหรับในส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะสามารถเลือกสุ่มช่องสัญญาณที่จะเข้าจองได้มากกว่า 1 ช่องสัญญาณ ดังนั้นโอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีมากขึ้น สำหรับการจองของกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้น หากผู้ใช้บริการรายใดสามารถประสบความสำเร็จมากกว่า 1 ครั้ง จะถือว่าประสบความสำเร็จแค่ครั้งเดียว กลไกการทำงานของระบบนี้แสดงดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 กลไกการทำงานของระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT

กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการจองช่องสัญญาณ ดังนี้

m_1 แทนจำนวนของผู้ใช้บริการในกลุ่มทั่วไป

m_2 แทนจำนวนของผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

n	แทนจำนวนช่องสัญญาณการจอบ
k_1	แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั่วไปที่ประสบความสำเร็จในการจอบ
k_2	แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ประสบความสำเร็จในการจอบ
T	แทนจำนวนโหนดในการจอบของผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

จากกลไกการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.4 สามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจำนวน k_1 และ k_2 ราย ประสบความสำเร็จในการจอบ จากจำนวนผู้ใช้บริการทั่วไปและจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข m_1 และ m_2 ราย ($P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$) ได้จากสมการ

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T] = \frac{C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]}{\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]} \quad (3.8)$$

โดยที่ $C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$ แทนจำนวนของกรณีทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการทั่วไป k_1 และ k_2 ราย ประสบความสำเร็จในการจอบ จากจำนวนผู้ใช้บริการทั่วไปและจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข m_1 และ m_2 ราย และ $\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$ แทนจำนวนกรณีทั้งหมดที่เกิดขึ้นดังสมการที่ (3.9)

$$\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T] = n^m \times [n \times (n-1) \times (n-2) \times \dots \times (n-(T-1))]^{m_2} \quad (3.9)$$

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอบช่องสัญญาณในระบบนี้แสดงดังสมการ (3.10)

$$T[m_1, m_2, n, T] = \sum_{i=1}^2 \sum_{j_i=0}^{m_i} (j_i \times P_{UNI+2G+MT} [j_i | m_1, m_2, n, T]) \quad (3.10)$$

โดยที่

$$P_{j_i} [m_1, m_2, n, T] = \sum_{i=1}^2 \sum_{k_i=j_i}^{m_i} \sum_{a \neq i} P_{UNI+2G+MT} [k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T] \quad (3.11)$$

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

บทนี้จะแสดงผลการทดสอบและวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 พร้อมทั้งเปรียบเทียบระบบการจองในกรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในกรณีต่าง ๆ ผลการทดสอบที่นำมาแสดงจะเป็นผลที่ได้มาจากสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Analysis) และผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)

กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปดังนี้

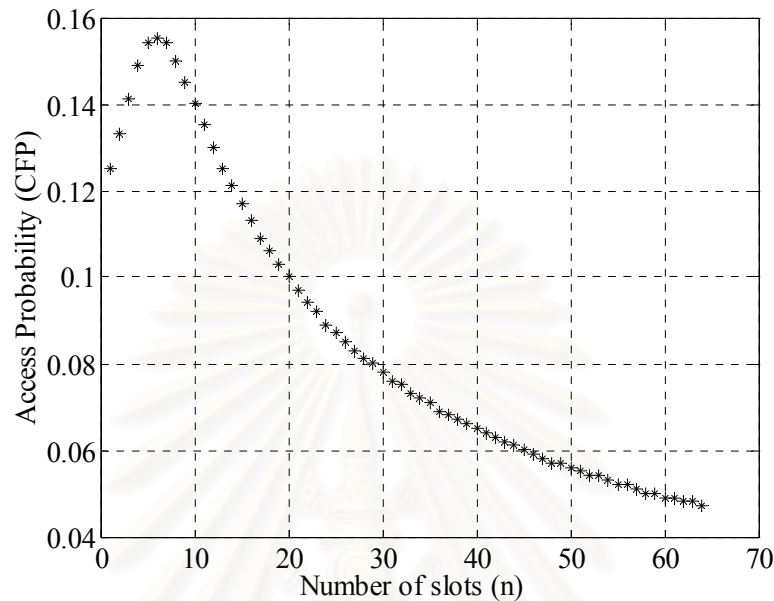
Analysis	แทนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
Simulation	แทนการจำลองทางคอมพิวเตอร์
m_1	แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั่วไป
m_2	แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข
n	แทนจำนวนช่องสัญญาณการจอง
T	แทนจำนวนโหนดในการจอง
p_1	แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของผู้ใช้บริการทั่วไป
p_2	แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข
Delay	แทนเวลาประวิงการเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข
CFP	แทนเทคนิค Cascade Fixed Probability
CFP + 2G	แทนระบบการจองแบบ CFP + 2G
CFP + 2G+ MT	แทนระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT
CFP + 2G+ SRT	แทนระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT
UNI + LA + 2G	แทนระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G
UNI + 2G + MT	แทนระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT

สำหรับการทดสอบระบบที่นำเสนอจะกำหนดให้มีผู้ให้บริการทั้งหมด 8 ราย โดยในแต่ละระบบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ 1.กรณีที่มีผู้ให้บริการทั้งหมด 8 ราย ประกอบด้วยผู้ให้บริการทั่วไป 7 รายและผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงแค่อายเดียว 2.กรณีที่มีผู้ให้บริการทั้งหมด 8 ราย และผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ กัน โดยทั้ง 2 ส่วนจะมีช่องสัญญาณการจองเทียบกับผู้ให้บริการ คือ 1.ช่องสัญญาณการจองน้อยกว่าจำนวนผู้ให้บริการ (ช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 4 ช่อง) 2. ช่องสัญญาณการจองเท่ากับจำนวนผู้ให้บริการ (ช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 8 ช่อง) 3. ช่องสัญญาณการจองมากกว่าจำนวนผู้ให้บริการ (ช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 16 ช่อง) และ 4. ช่องสัญญาณการจองมากกว่าจำนวนผู้ให้บริการมาก ๆ (ช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 64 ช่อง) สาเหตุที่เลือกจำนวนผู้ให้บริการที่นำมาทดสอบเท่ากับ 8 รายนั้น เนื่องจากหากเลือกจำนวนผู้ให้บริการน้อยเกินไปก็จะทำให้ผลที่ได้ไม่ครอบคลุมกับอัตราส่วนของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ หรือหากเลือกจำนวนผู้ให้บริการมากเกินไปความละเอียดในการคำนวณก็เพิ่มขึ้น แต่การคำนวณทางคณิตศาสตร์ต้องใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น ดังนั้นจำนวนผู้ให้บริการทั้งหมด 8 รายจึงเหมาะสมเพราะสามารถครอบคลุมในส่วนของอัตราส่วนของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เนื่องจากจำนวนผู้ให้บริการอยู่ในรูป 2^n (n คือ จำนวนเต็ม) และใช้เวลาคำนวณที่ไม่มากจนเกินไป ซึ่งจะแสดงผลที่ได้ในส่วนถัดไป

ในส่วนนี้จะเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบมีค่าจำนวนผู้ให้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จสูงสุดจากเทคนิคการจองแบบ CFP โดยมีผู้ให้บริการทั้งหมด 8 ราย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจะมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนช่องสัญญาณการจองที่มีอยู่ โดยถ้าช่องสัญญาณการจองมีจำนวนมากค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณการจอง เป็นการเพิ่มโอกาสให้ผู้ให้บริการที่ตัดสินใจว่าจะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองใด ดังนั้นผู้ให้บริการจึงไม่จำเป็นต้องรีบทำการเข้าจองตั้งแต่ช่องสัญญาณการจองแรก ๆ เพราะยังมีช่องสัญญาณการจองอีกมากที่ผู้ให้บริการยังมีสิทธิที่จะเข้าจอง ด้วยเหตุนี้เองค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจึงมีค่าลดลง

จากผลการทดสอบที่ได้ในรูปที่ 4.1 จะนำค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการตัดสินใจเข้าจองไปใช้ในการจำลองระบบการจองช่องสัญญาณ กรณีที่มีผู้ให้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขซึ่งได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ผ่านมาสำหรับระบบการจองที่ใช้วิธีการจองแบบ CFP คือ ระบบการจองแบบ CFP + 2G, ระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT และระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT โดยกำหนดให้มีผู้ให้บริการที่ต้องการจองช่องสัญญาณทั้งหมด 8 ราย และช่องสัญญาณการ

จงเป็น 4, 8, 16 และ 64 ช่อง ซึ่งจะมีค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมเท่ากับ 0.15, 0.15, 0.10 และ 0.05 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของ CFP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 8 รายและช่องสัญญาณการ
จองค่าต่าง ๆ กัน

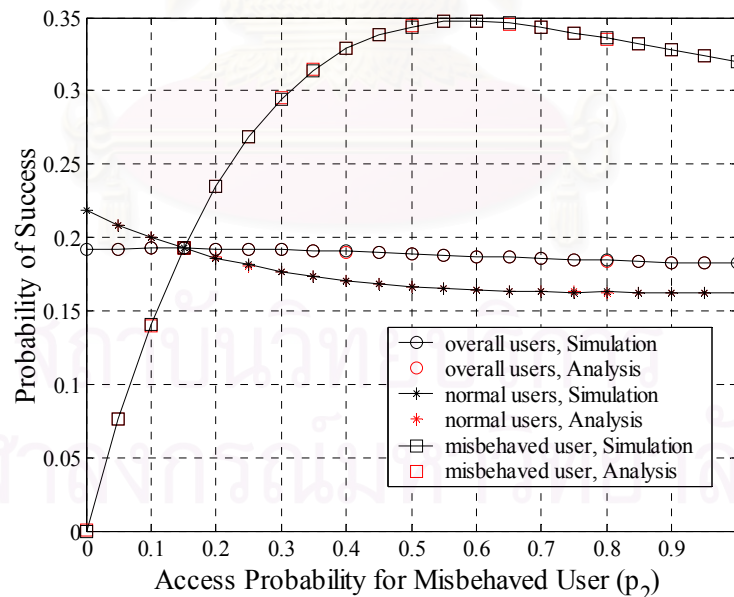
4.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G

4.1.1 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว

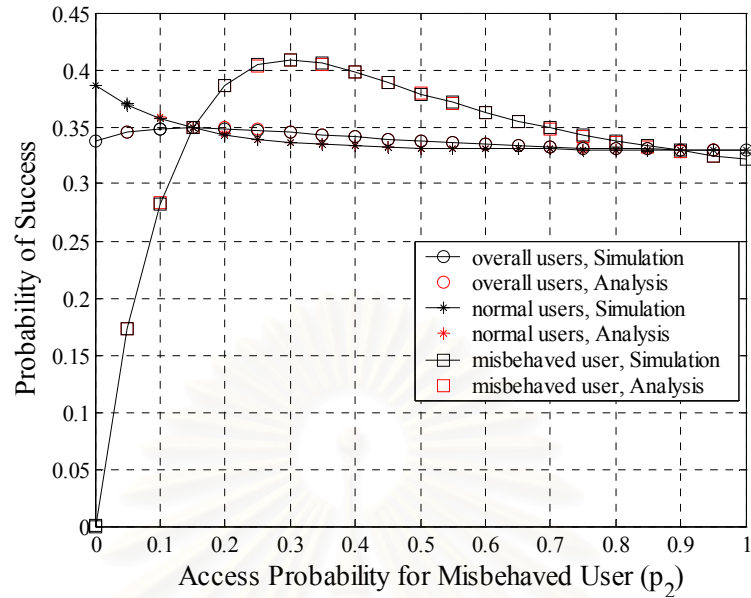
รูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ในส่วนของผู้ใช้บริการทั่วไปจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสมตามจำนวนช่องสัญญาณและผู้ใช้บริการทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ พบว่าในรูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปทุกกรณี เมื่อมีการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะพบว่าจะมีช่วงความน่าจะเป็นในการตัดสินใจในการเข้าจองที่กลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้แล้ว ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไป แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 พบว่า ไม่มีค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจ

เข้าจอบที่ผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้แล้วสามารถทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไป ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ระบบมีจำนวนช่องสัญญาณการจอบน้อย ๆ เมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้บริการ การเข้าจอบของผู้ใช้บริการจะมีหนาแน่นในทุกช่องสัญญาณและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมก็มีค่ามากด้วย ดังนั้นเมื่อมีผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นมากกว่าผู้ใช้บริการรายอื่นก็จะสามารถประสบความสำเร็จได้มากกว่า แต่เมื่อมีช่องสัญญาณการจอบมากการเข้าจอบของผู้ใช้บริการจะกระจายไปในทุกช่องและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมมีค่าน้อย ดังนั้นเมื่อมีผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นมากกว่าผู้ใช้บริการรายอื่นก็จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้ดีกว่าเดิม

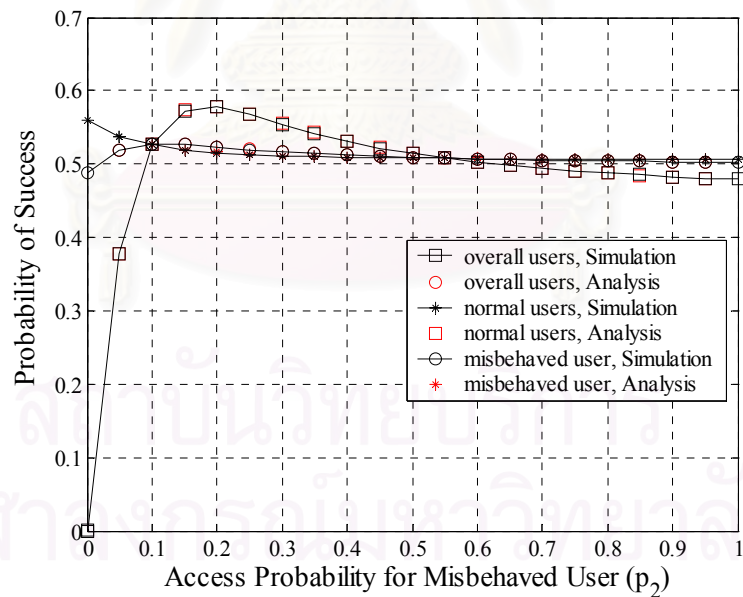
เมื่อมาพิจารณาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูป จะพบว่าไม่มีค่าความน่าจะเป็นใดที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้แล้วทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบมากกว่ากรณีที่ทั้ง 2 กลุ่มใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจอบเท่ากัน ซึ่งในกรณีนี้เป็นกรณีที่ระบบไม่มีผู้ปฏิบัติตามเงื่อนไข จากผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าการที่ระบบมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการเข้าจอบช่องสัญญาณแม้เพียงรายเดียวก็สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบได้



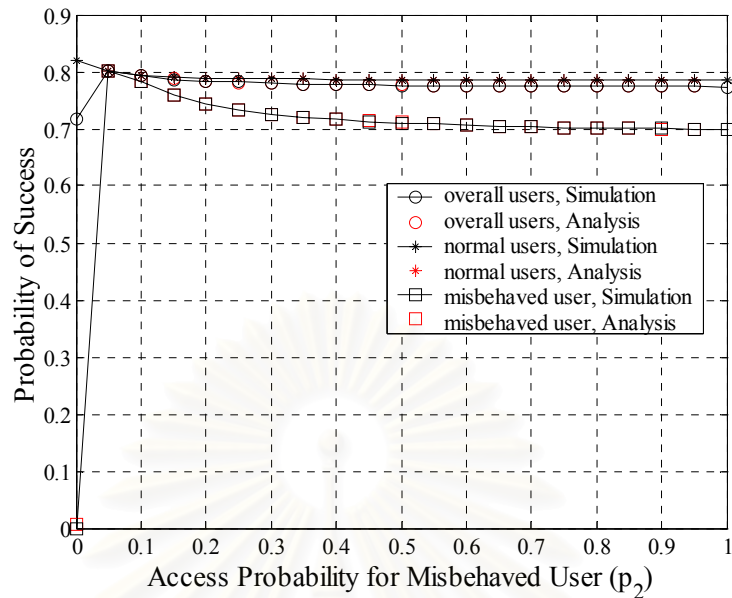
รูปที่ 4.2 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจอบช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอบ 4 ช่อง



รูปที่ 4.3 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง



รูปที่ 4.4 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง



รูปที่ 4.5 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G และมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง

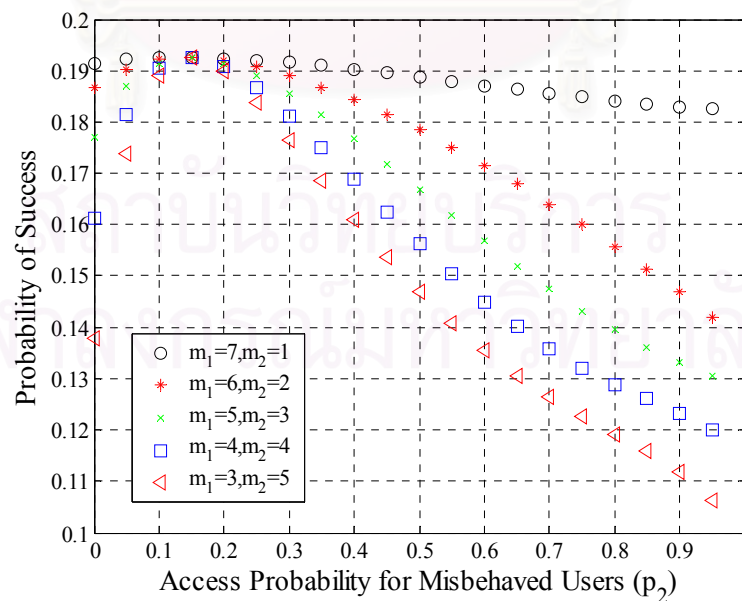
4.1.2 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ และค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม โดยจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูปจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามาก ๆ ด้วย ในกรณีนี้เป็นผลเนื่องมาจากเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจองในช่องสัญญาณการจองช่องแรก ๆ ของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ด้วยเหตุนี้เองเป็นผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของทั้งระบบลดลง

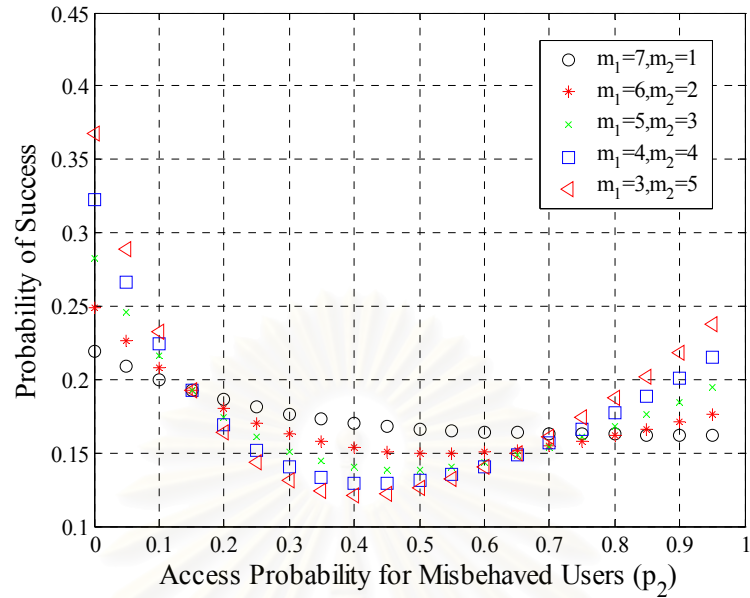
เมื่อมาพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปทั้ง 4 รูป พบว่าจะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เพราะว่าในกรณีนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้บริการทั่วไปซึ่งมีจำนวนน้อยกว่ามีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการเข้าจองได้ง่าย ส่วนที่ 2 ค่าความน่าจะเป็น

เป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าลดลงในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้เป็นเพราะว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะส่งผลกระทบต่อค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปโดยตรง ส่วนที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจในการเข้าจองที่เหมาะสม ดังนั้นโอกาสที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะเข้าจองในช่องสัญญาณแรกๆ เป็นจำนวนมาก ส่งผลทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจองของของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โอกาสในการประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจำนวนมากจะเพิ่มขึ้นเพราะว่าการแข่งขันจะมีน้อยลง

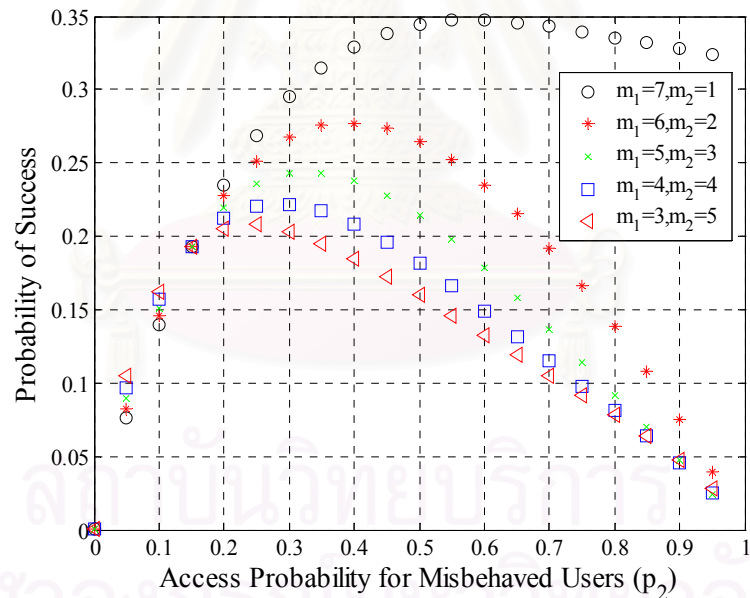
เมื่อมาพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขทั้ง 4 รูป พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จจะมีค่าลดลง เมื่อมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้นและจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามาก ๆ ด้วย จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหากมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจำนวนมาก ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเหล่านั้นจะเกิดการแย่งชิงช่องสัญญาณกันเองทำให้โอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจองลดลง



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

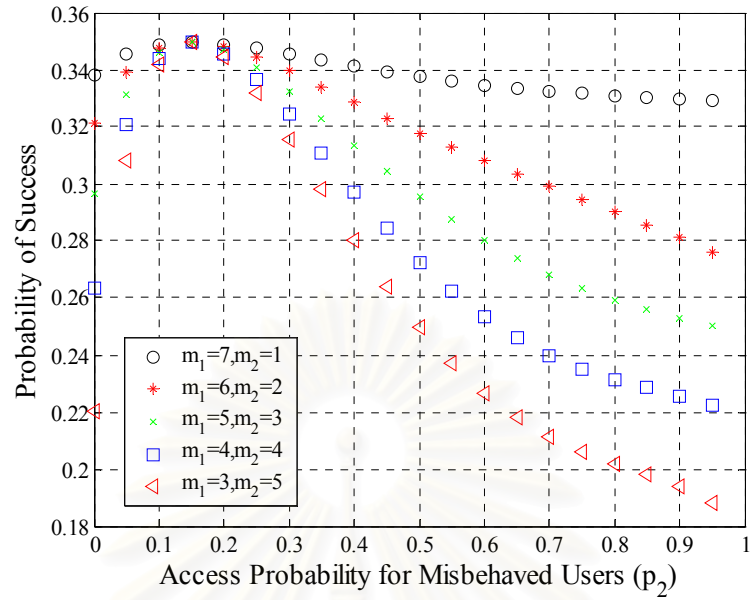


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

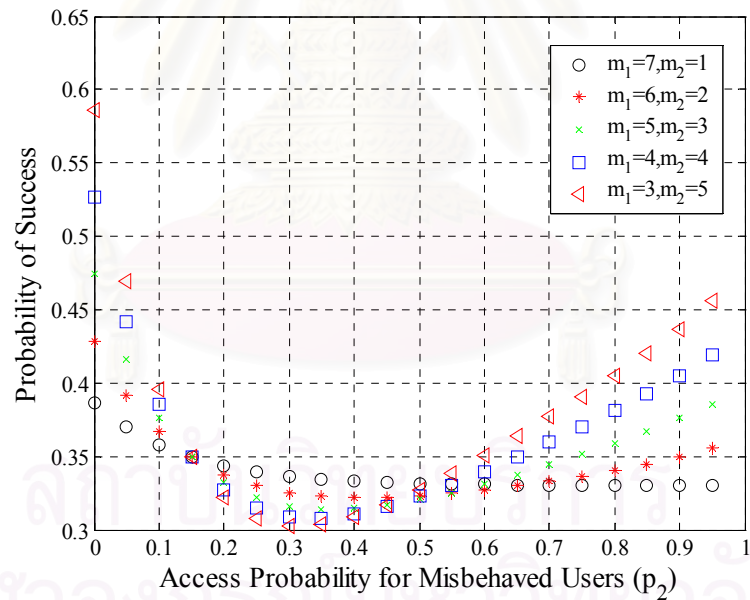


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

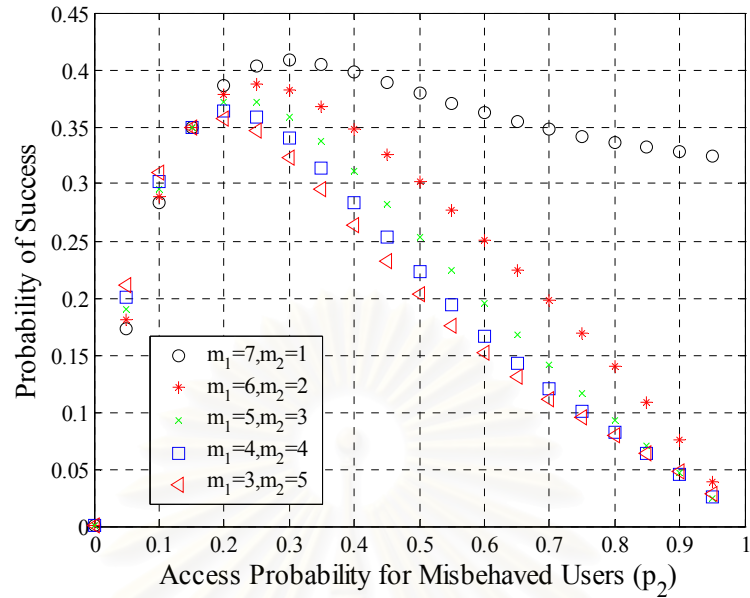
รูปที่ 4.6 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

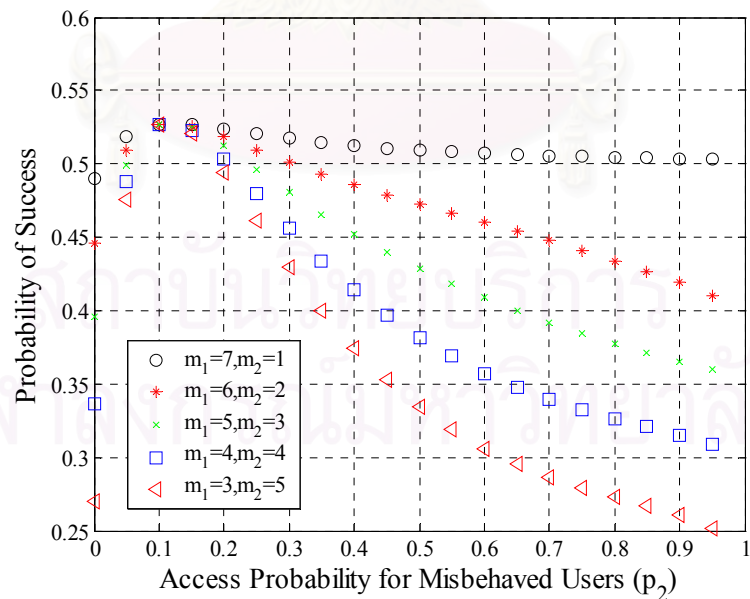


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

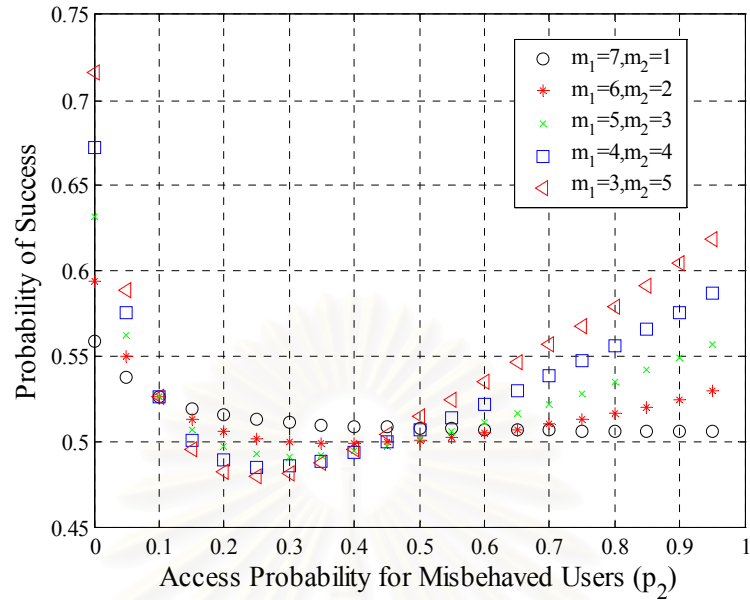


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

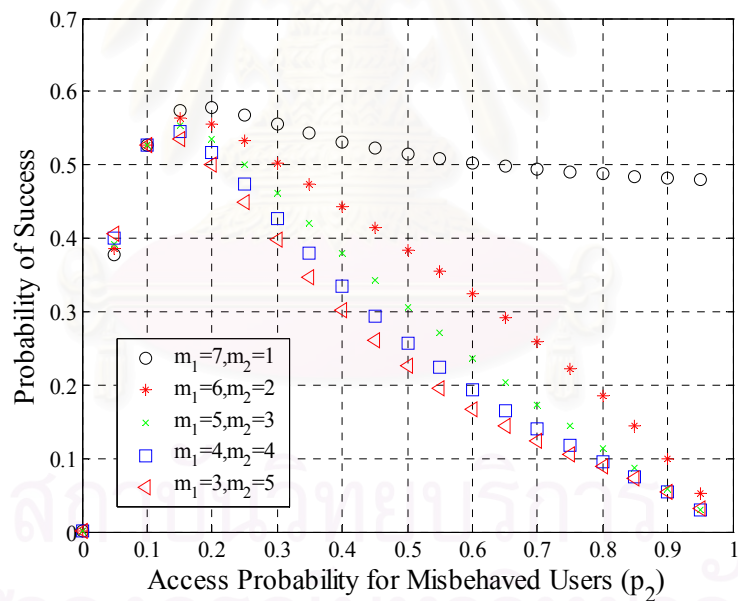
รูปที่ 4.7 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

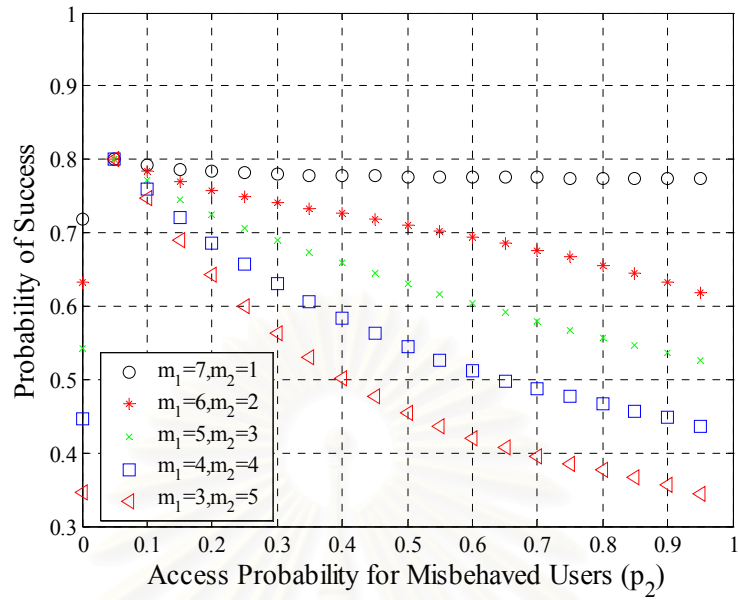


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

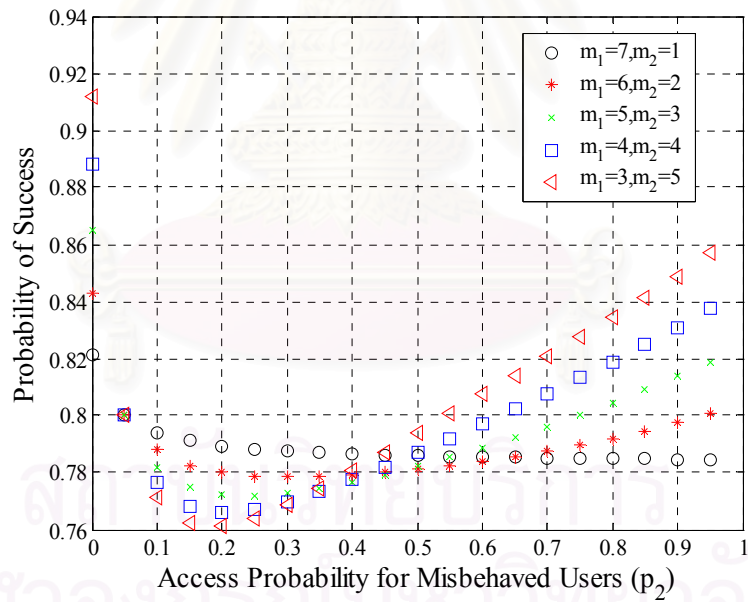


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

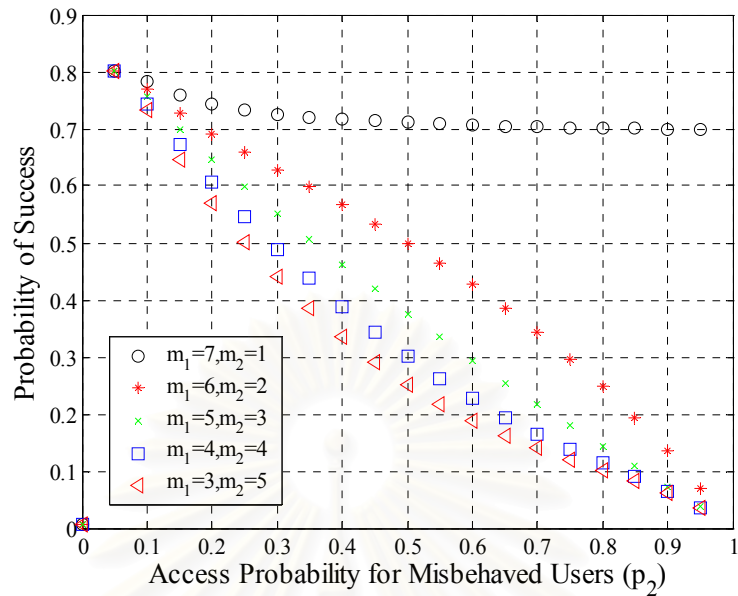
รูปที่ 4.8 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.9 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ

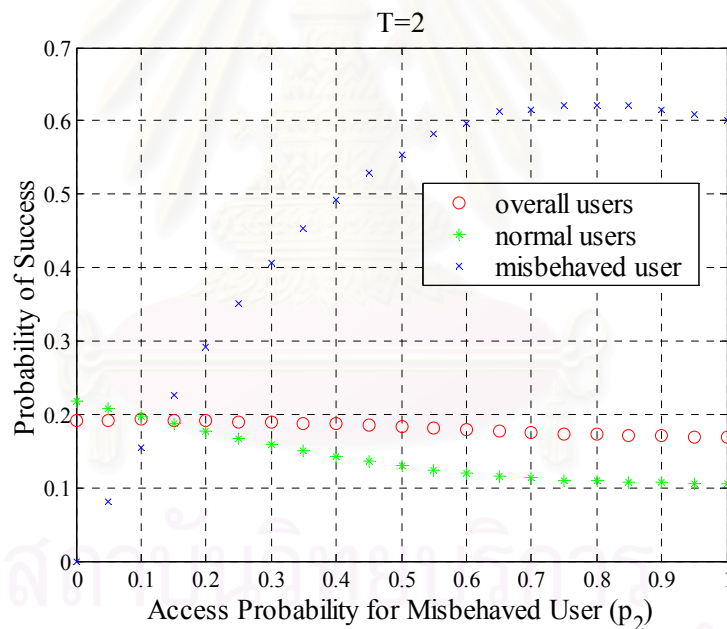
4.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + MT

4.2.1 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว

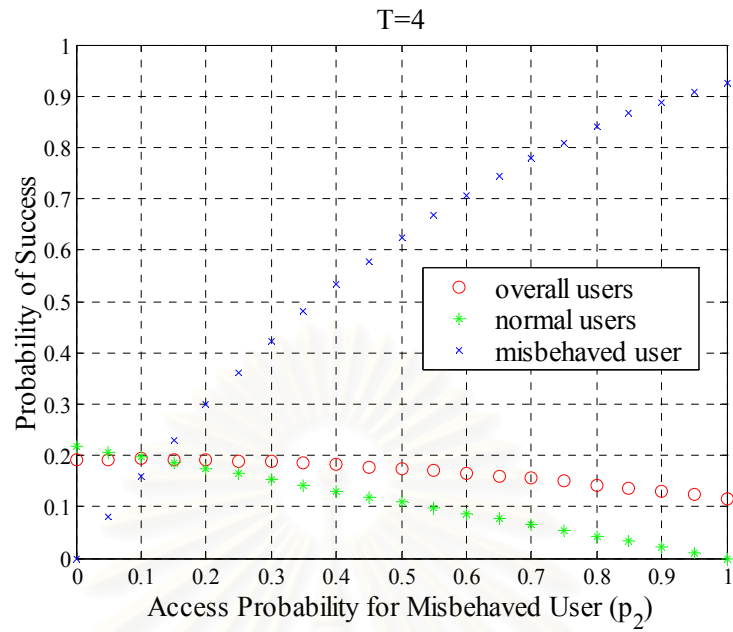
รูปที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะใช้โทเค็นในการจองมากกว่า 1 อัน คือ 2, 4, 6 และ 8 อัน พบว่าทั้ง 4 รูปค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองตั้งแต่ค่าที่เท่ากันและมากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการทั่วไป เพราะว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีโอกาสในการจองมากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป ซึ่งมีโทเค็นในการจองเพียง 1 อัน ดังนั้นโอกาสที่ประสบความสำเร็จก็จะมีมากขึ้นและเมื่อพิจารณาถึงจำนวนโทเค็นในการจอง พบว่ายังมีโทเค็นมากขึ้นผลต่างระหว่างค่าความ

น่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขกับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่ามากไปด้วยตามจำนวนโทเค็นที่เพิ่มขึ้น

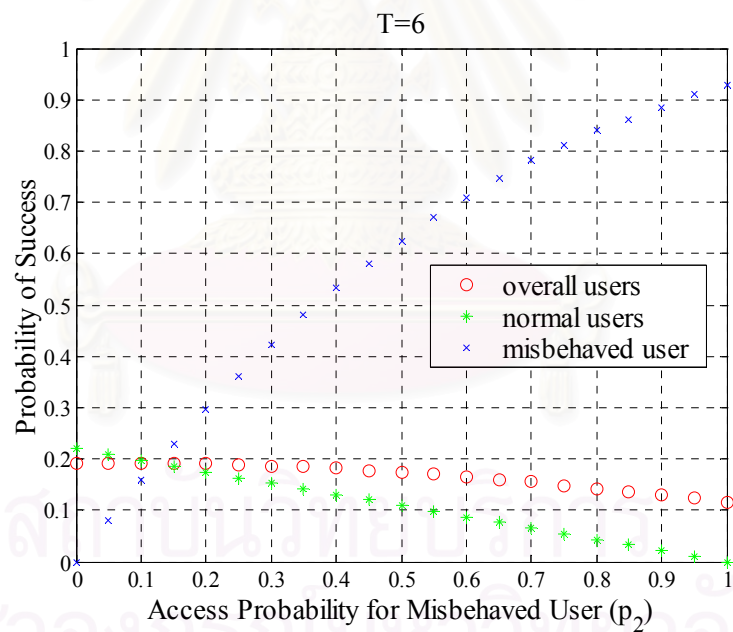
พิจารณาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูป พบว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลง เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนโทเค็นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้โทเค็นของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะส่งผลต่อการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการทั่วไปโดยตรง ทำให้ผู้ใช้บริการทั่วไปซึ่งมีจำนวนมากกว่าประสบความสำเร็จลดลง ในทางกลับกันจะส่งผลให้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถประสบความสำเร็จได้ดีขึ้น เป็นผลให้ภาพรวมของระบบซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการทั่วไปเป็นส่วนใหญ่มิมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน



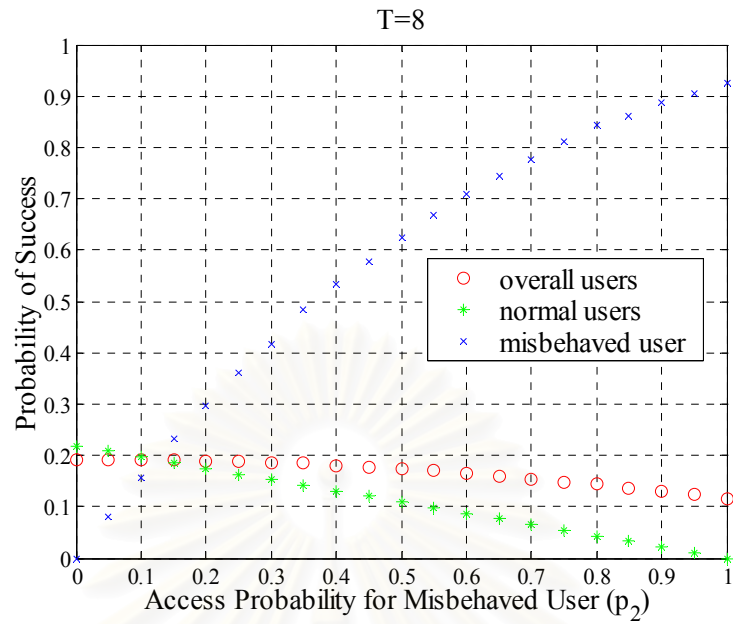
(ก) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 2 อัน



(ข) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 4 อัน

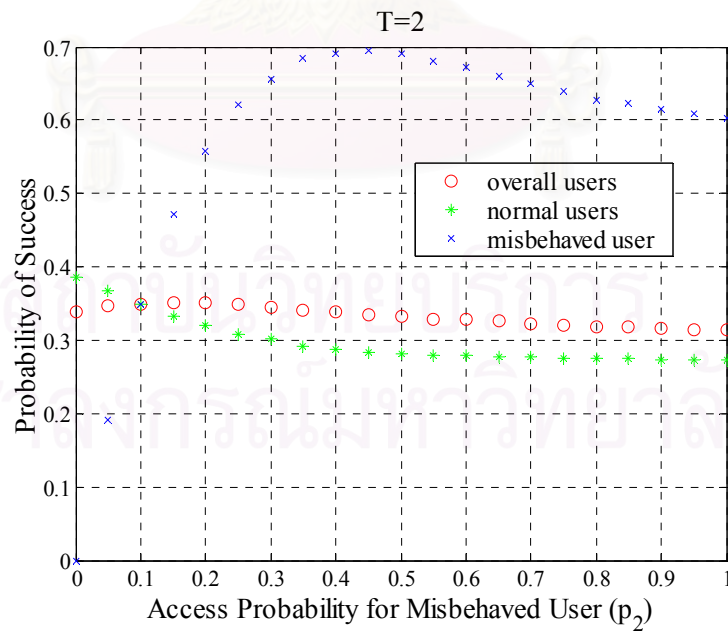


(ค) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 6 อัน

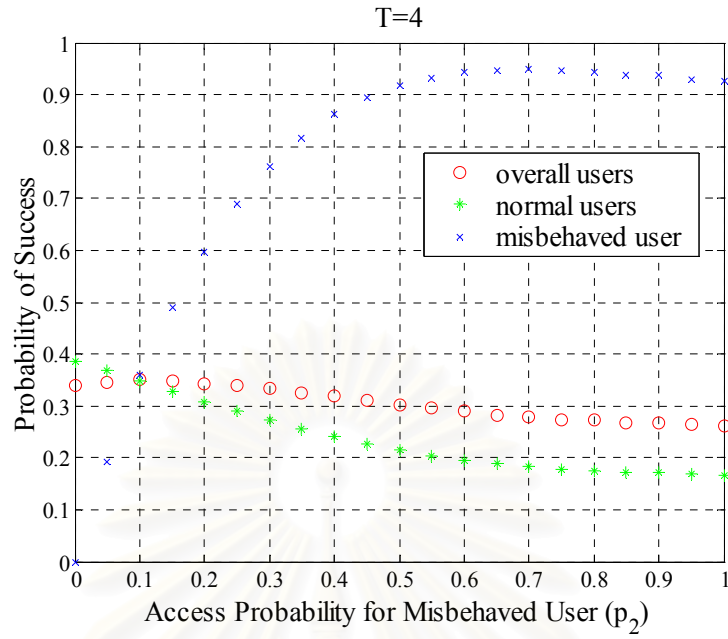


(ง) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 8 อัน

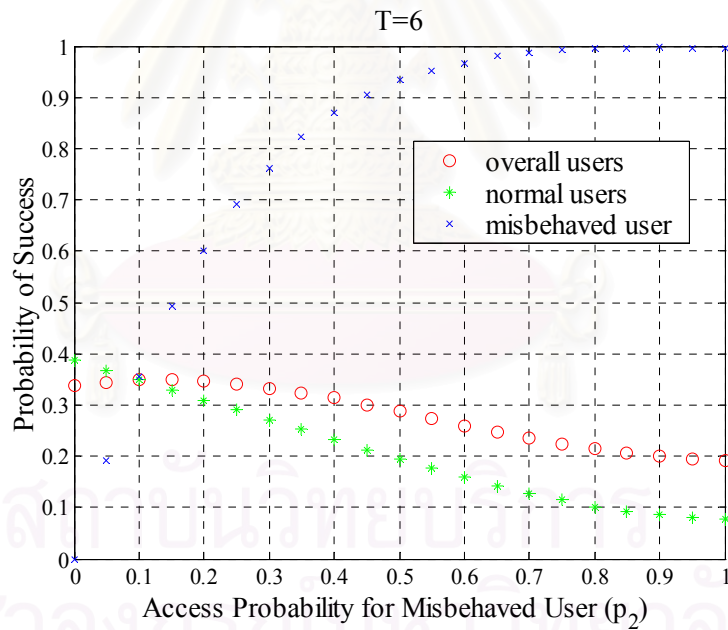
รูปที่ 4.10 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และจำนวนโทเค็นค่าต่าง ๆ



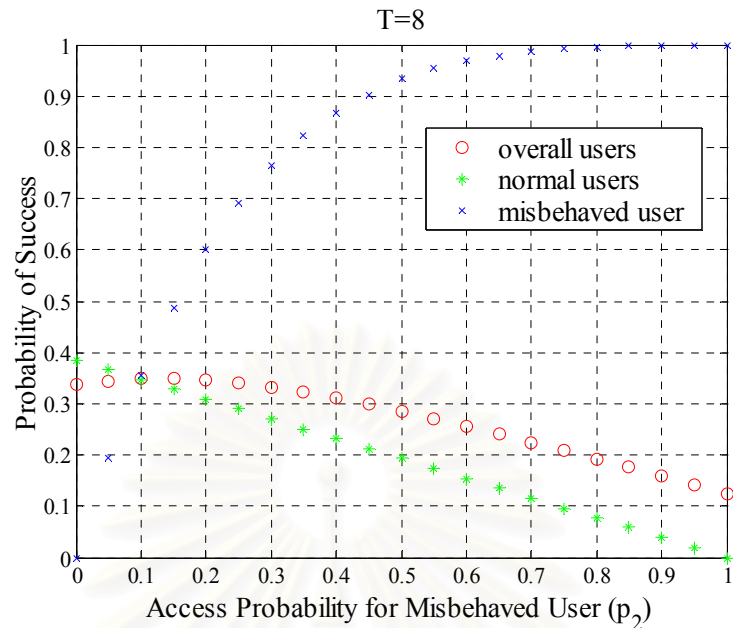
(ก) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 2 อัน



(ข) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 4 อัน

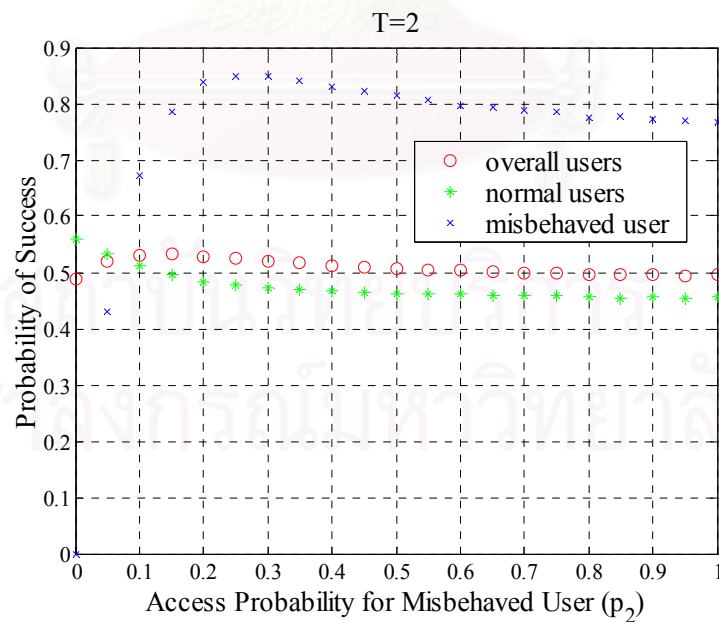


(ค) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 6 อัน

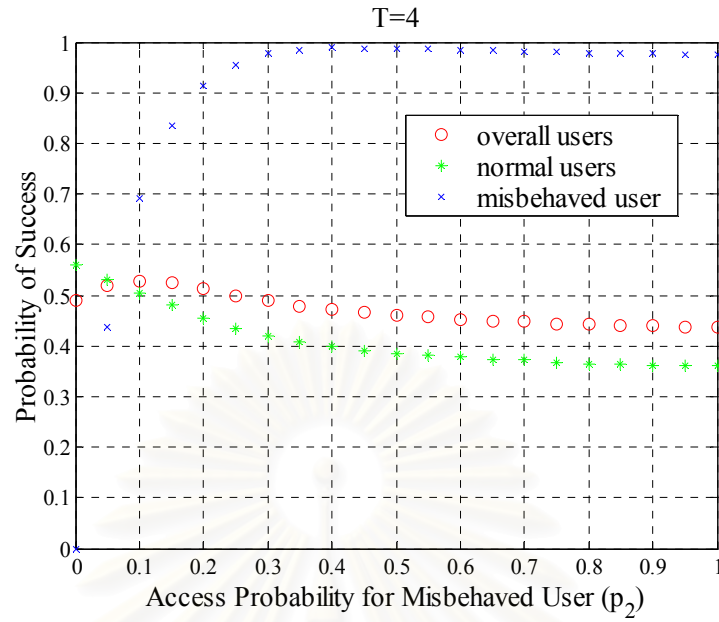


(ง) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 8 อัน

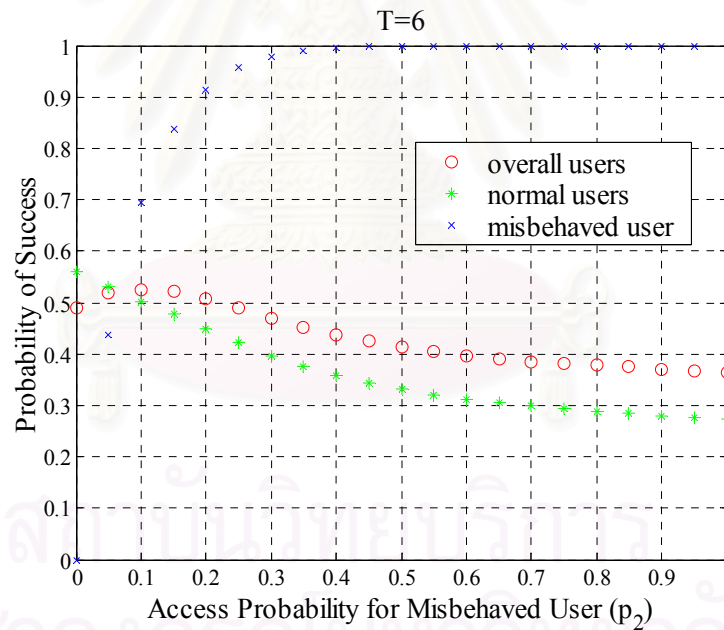
รูปที่ 4.11 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และจำนวนโทเค็นค่าต่าง ๆ



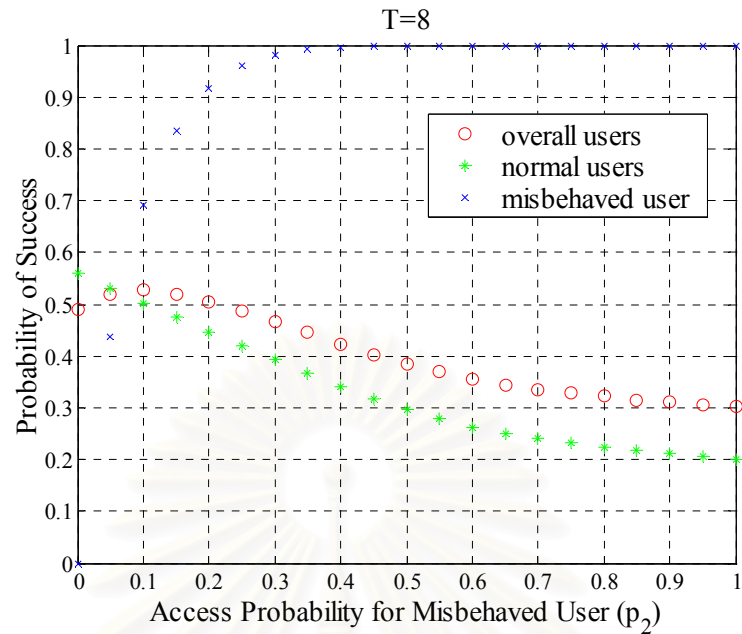
(ก) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 2 อัน



(ข) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 4 อัน

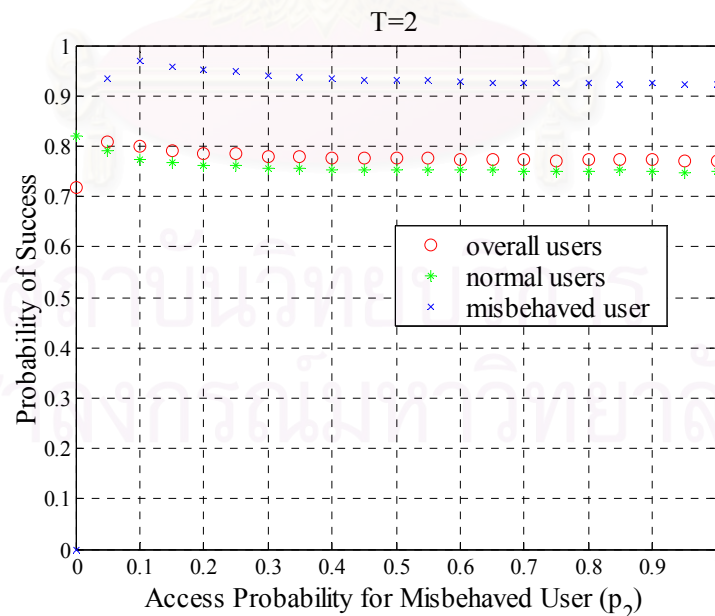


(ค) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 6 อัน

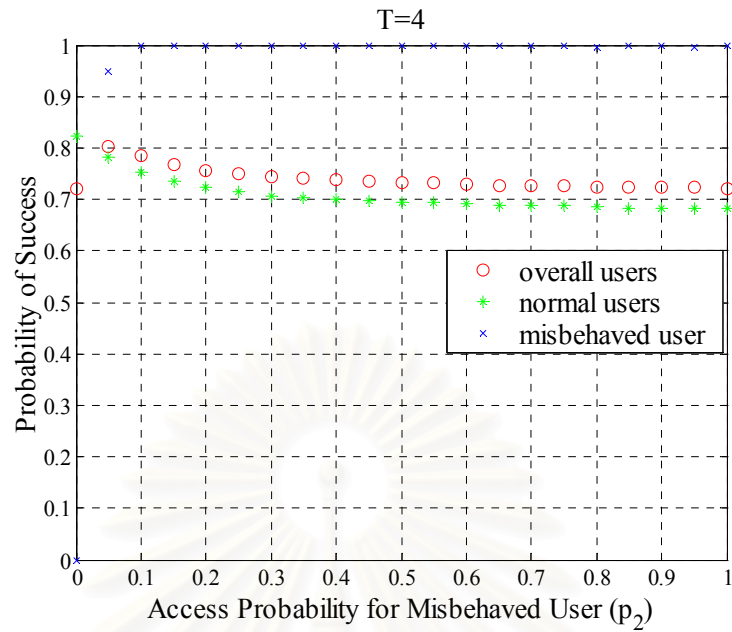


(ง) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 8 อัน

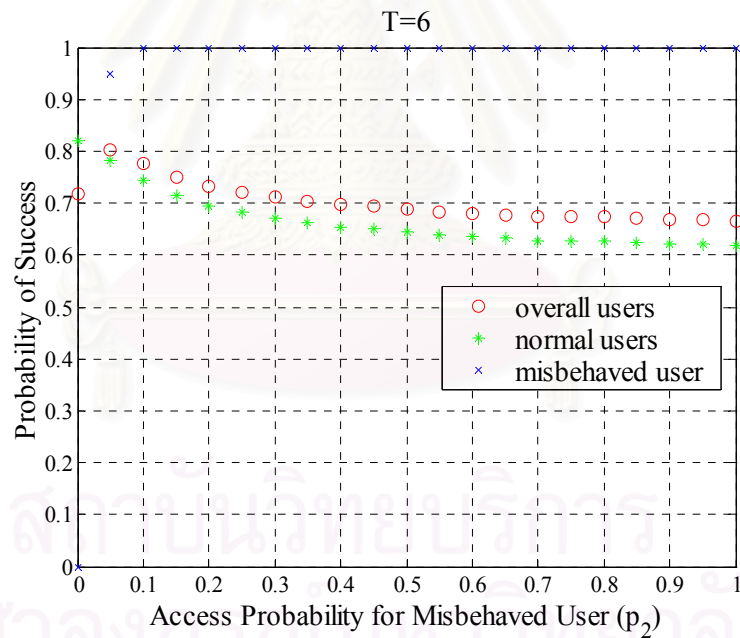
รูปที่ 4.12 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และจำนวนโทเค็นค่าต่าง ๆ



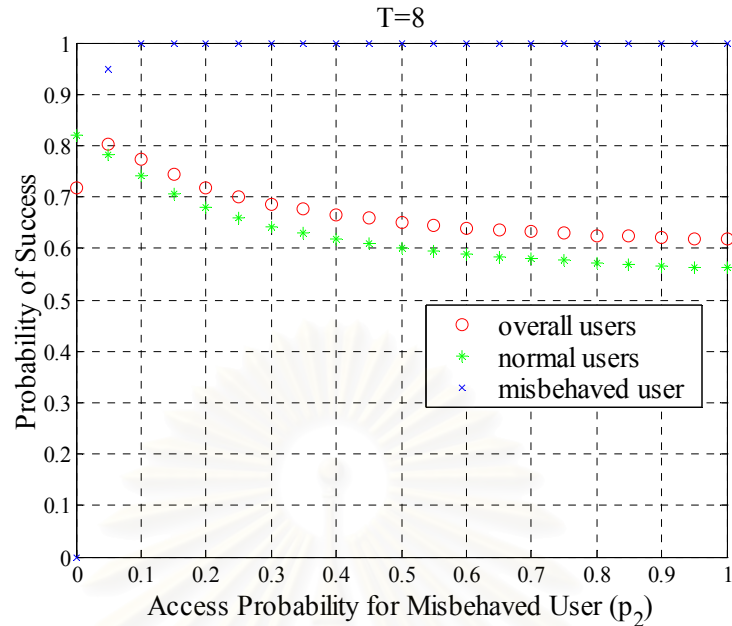
(ก) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 2 อัน



(ข) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 4 อัน



(ค) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 6 อัน



(ง) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 8 อัน

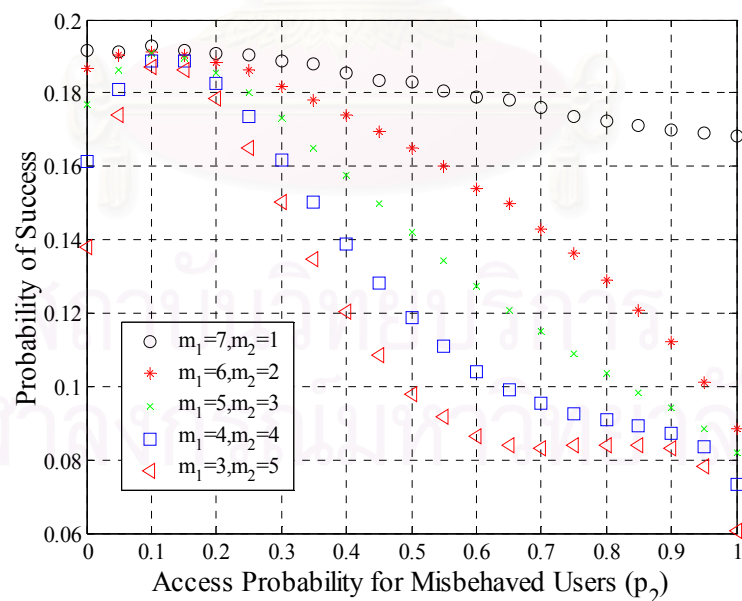
รูปที่ 4.13 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และจำนวนโทเค็นค่าต่าง ๆ

4.2.2 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

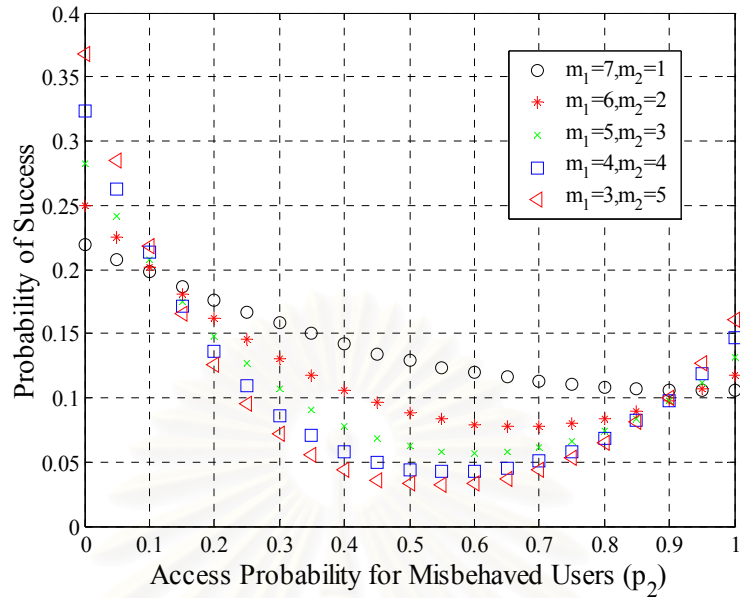
รูปที่ 4.14, 4.15, 4.16 และ 4.17 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีโทเค็นในการจอง 2 อัน พิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบพบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น และค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามากขึ้นด้วย เมื่อมาพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปทั้ง 4 รูป พบว่าจะประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะพบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป ในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น จะทำให้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะสามารถประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น เนื่องจากในส่วนนี้ผู้ใช้บริการทั่วไปใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจที่เหมาะสมและหากผู้ใช้บริการในกลุ่ม

นี้มีจำนวนน้อยด้วยแล้ว โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีมากขึ้น ส่วนที่ 2 พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการทั่วไปจะลดลง เมื่ออัตราส่วนของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ซึ่งในส่วนนี้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการใช้โทเค็นหลายอันของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ส่วนที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในกรณีที่อัตราส่วนของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจในการเข้าจองที่เหมาะสมและมีการใช้โทเค็นหลายอัน ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจองของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในช่องสัญญาณการจองช่องแรก ๆ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปที่มีจำนวนน้อยกว่าก็จะมีโอกาสประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น

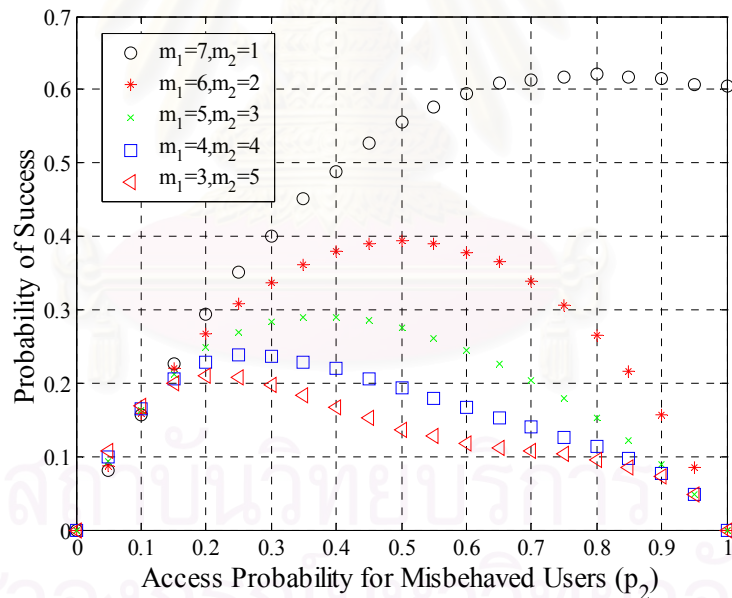
พิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขทั้ง 4 รูป พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะลดลง เมื่ออัตราส่วนของผู้ให้บริการในกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่มีค่าสูง เพราะว่าแพ็กเก็ตเกิดการจองจะเกิดการชนกันมากขึ้น ถึงแม้จะมีโทเค็นการจองมากกว่า 1 อันก็ตาม



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

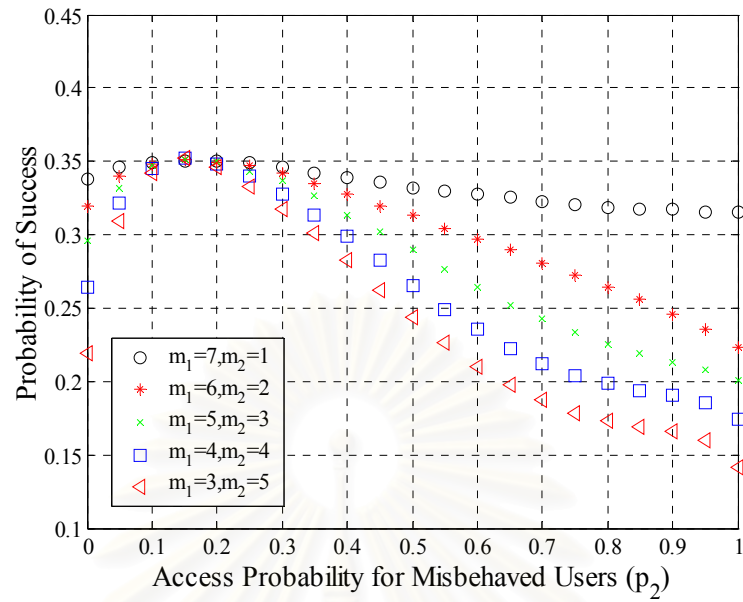


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

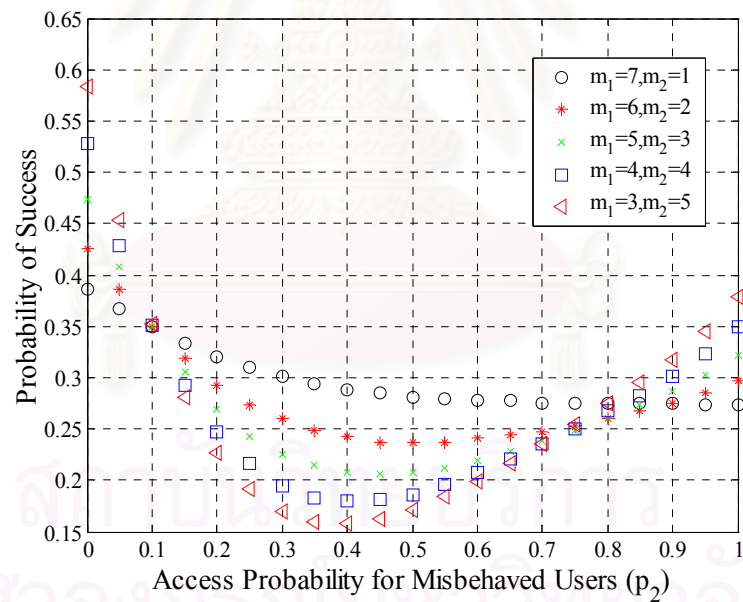


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

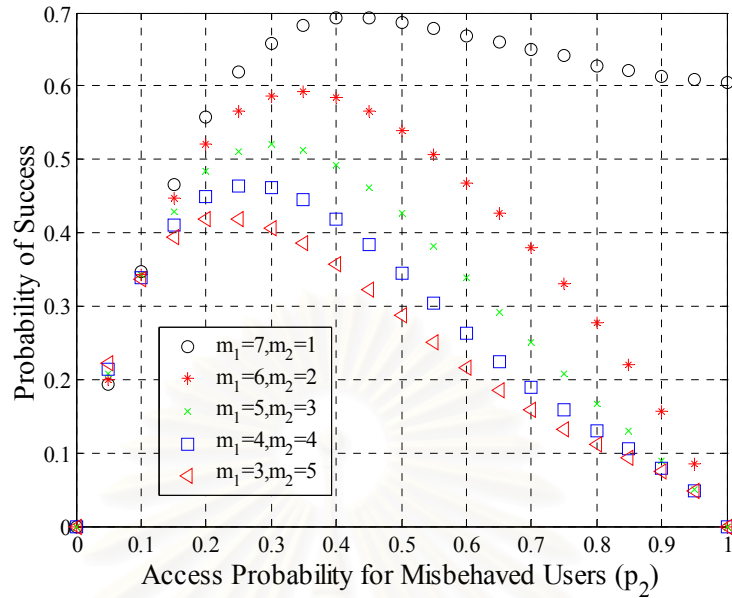
รูปที่ 4.14 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

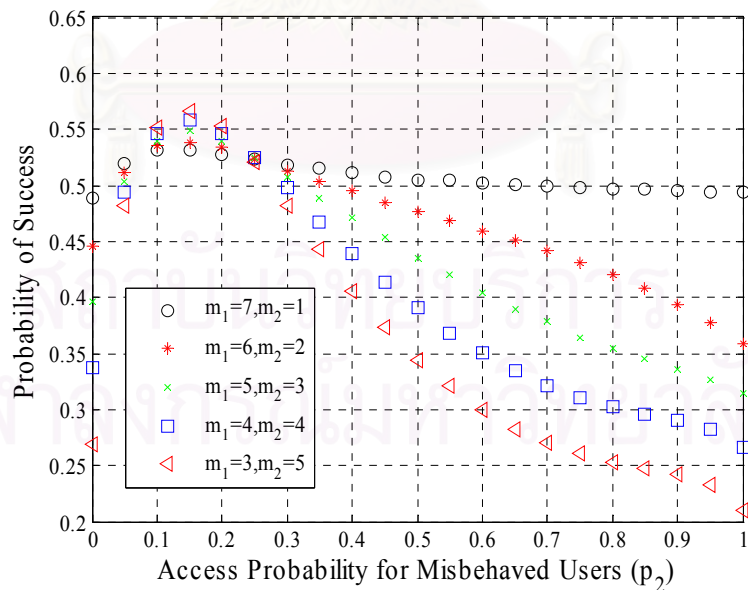


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

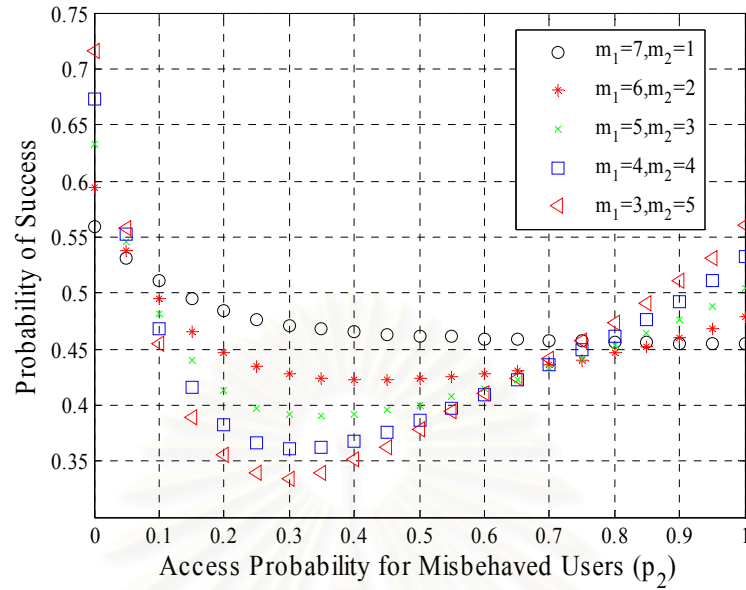


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

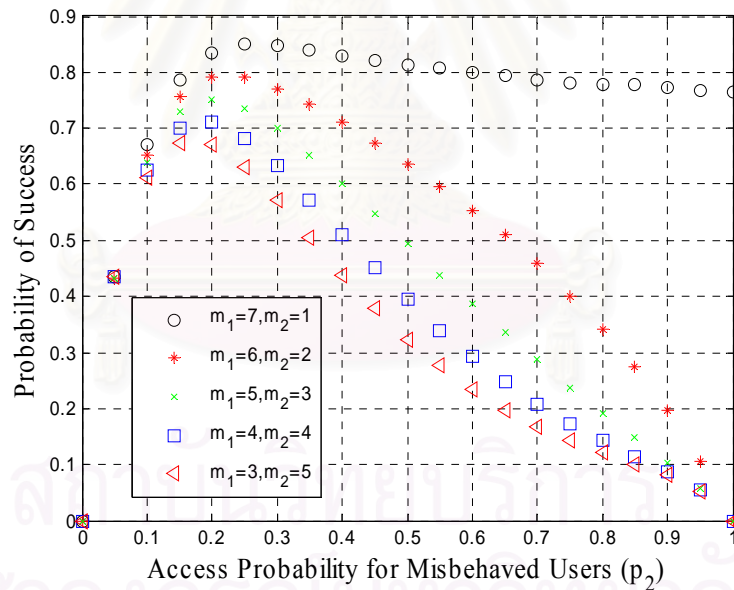
รูปที่ 4.15 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

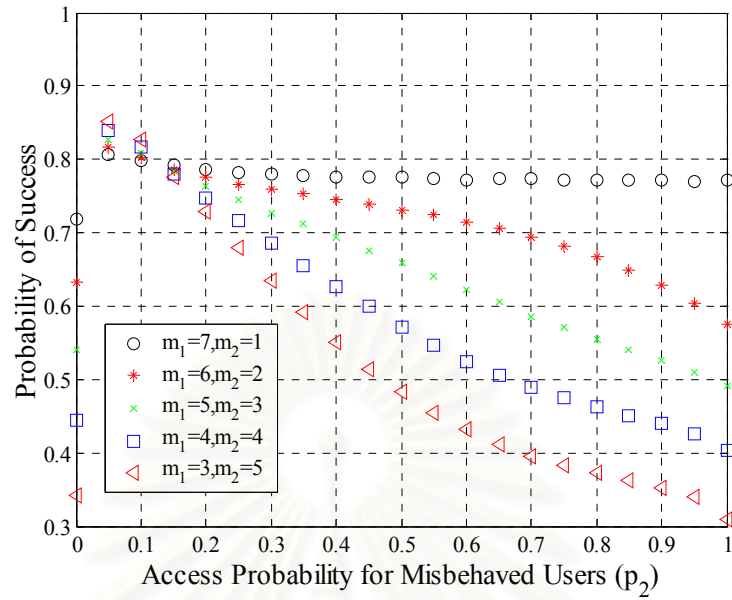


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

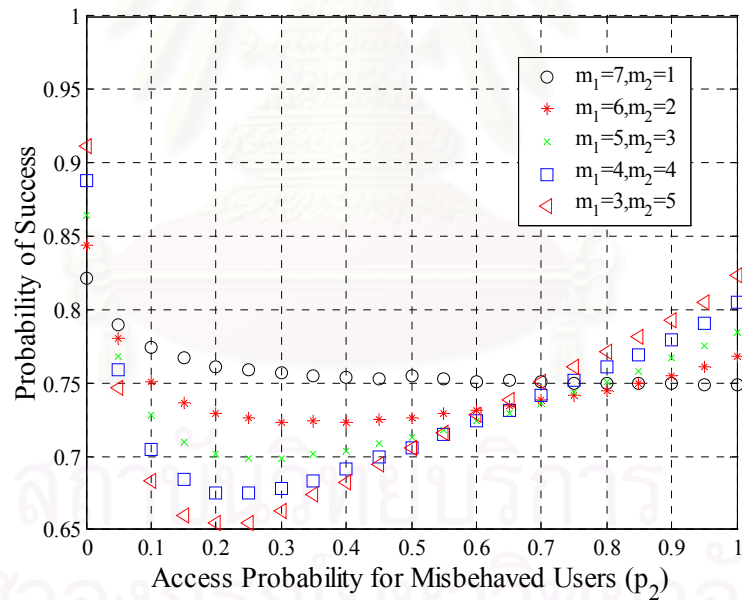


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

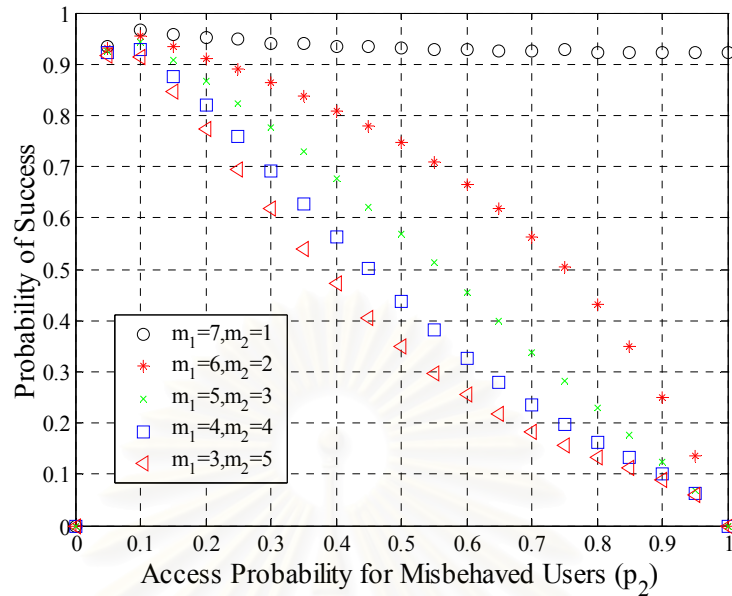
รูปที่ 4.16 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.17 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

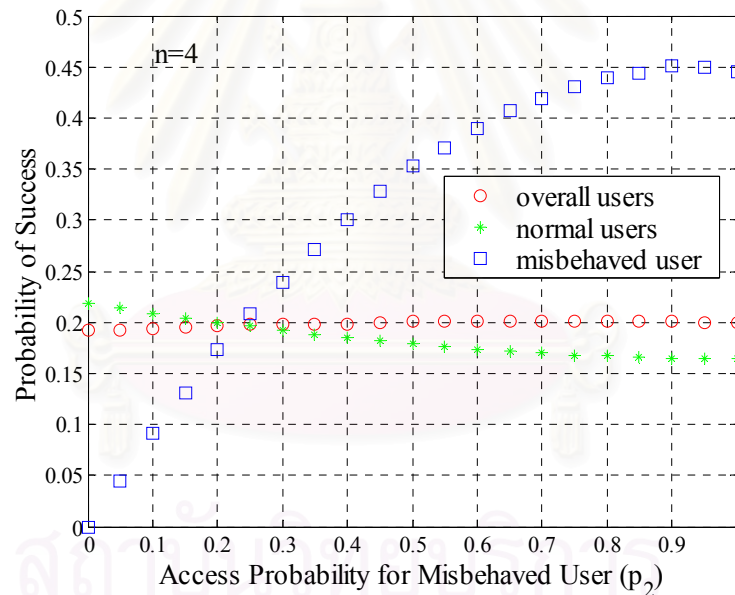
4.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP + 2G + SRT

4.3.1 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว

รูปที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อช่องสัญญาณการจองผ่านการจองมาแล้วครั้งหนึ่งของจำนวนช่องสัญญาณการจองที่มี พบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่มากกว่าและพอเหมาะแล้วทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มนี้มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไป ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากเทคนิคการจองแบบ CFP ซึ่งผู้ใช้บริการส่วนใหญ่จะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองช่องแรก ๆ หนาแน่นมาก ดังนั้นหากมีผู้ใช้บริการบางรายเข้าจอง

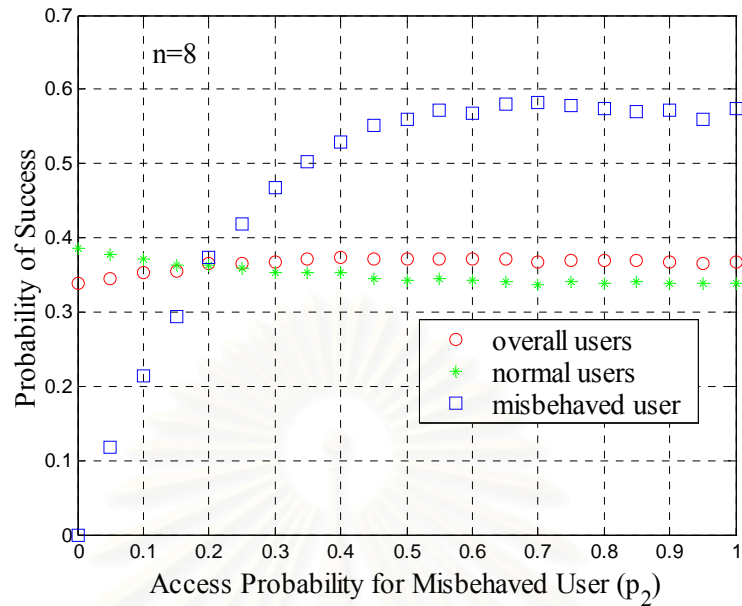
ในช่องสัญญาณทำย ๆ ประกอบกับเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองด้วยแล้ว โอกาสในการที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีมากขึ้น

เมื่อมาพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูป พบว่าค่านี้ไม่ได้ลดลงแต่กลับจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เนื่องจากผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้จะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองทำย ๆ ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไป ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปมีค่าลดลงน้อยมาก แต่สำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขกลับประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เองจึงส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบมีค่าเพิ่มขึ้น ในระบบการจองแบบนี้จะเห็นว่าต่างกับระบบการจองที่ผ่านมา เนื่องจากเมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขแล้ว ผลกระทบจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขกลับส่งผลให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้นและไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการรายอื่นด้วย

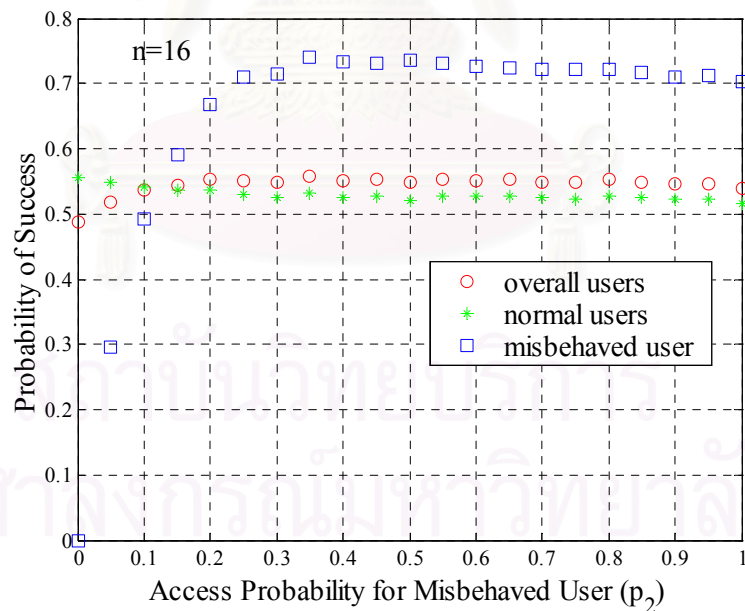


รูปที่ 4.18 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวน

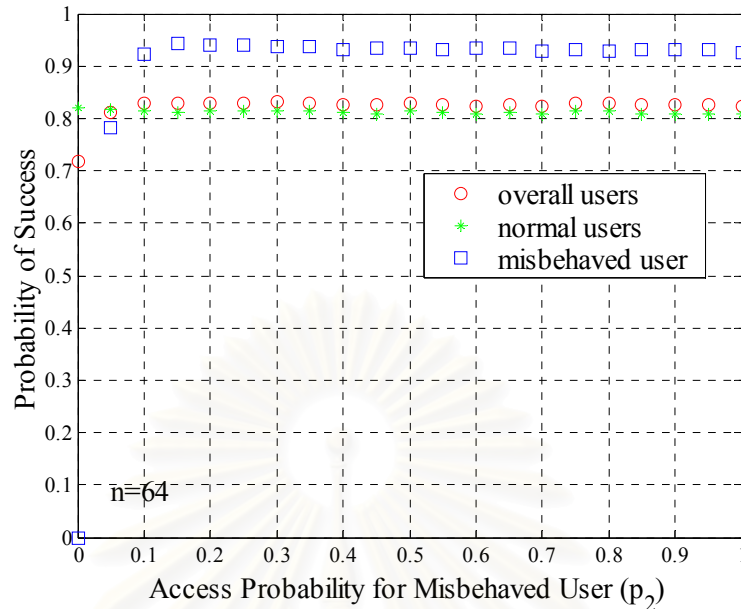
ช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และประวิงเวลาเข้าจอง $\frac{1}{2}n$



รูปที่ 4.19 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และประวิงเวลาเข้าจอง $\frac{1}{2}n$



รูปที่ 4.20 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และประวิงเวลาเข้าจอง $\frac{1}{2}n$



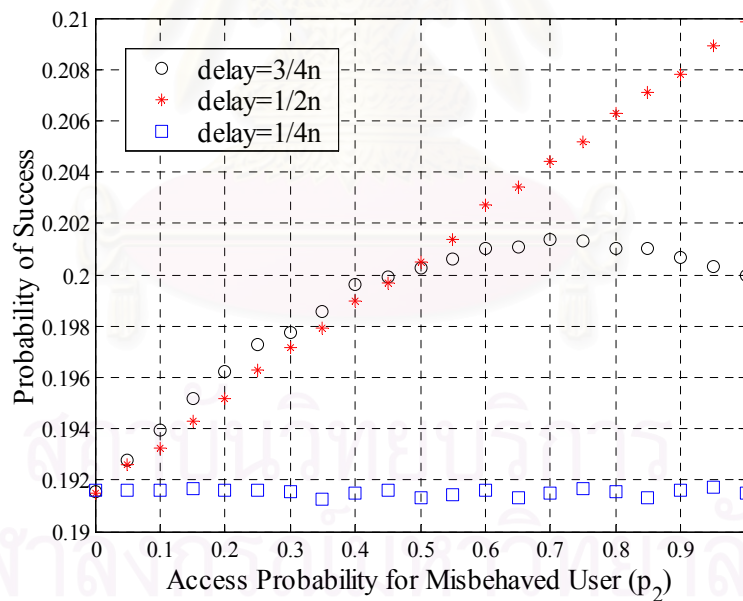
รูปที่ 4.21 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และประวิงเวลาเข้าจอง $\frac{1}{2}n$

รูปที่ 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะประวิงเวลาในการเข้าจองค่าต่าง ๆ คือ เริ่มเข้าจองช่องสัญญาณที่ $\frac{1}{2}n, \frac{1}{4}n$ และ $\frac{3}{4}n$ พิจารณาว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามตามเงื่อนไข พบว่าในรูปที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 การเริ่มเข้าจองในช่องสัญญาณการจองที่ $\frac{1}{4}n$ จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จสูงสุด เนื่องจากในช่องสัญญาณท้าย ๆ ผู้ให้บริการเข้าจองน้อยมาก หากผู้ใช้บริการประวิงเวลาเพื่อเข้าจองในช่วงนี้ โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีสูงมาก สำหรับรูปที่ 4.22 จะพบว่ากรณีที่ช่องสัญญาณการจองมีจำนวนน้อยการจองก็จะหนาแน่นทุกช่องสัญญาณ ดังนั้นหากมีการประวิงเวลามากเกินไป ช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ก็จะมีน้อยลง โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็น้อยลงด้วย ซึ่งในกรณีการเริ่มเข้าจองในช่องสัญญาณการจองที่ $\frac{1}{2}n$ จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จสูงสุด พิจารณาว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการทั่วไป พบว่าทั้ง 4 รูปการเริ่มเข้าจองของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในช่องสัญญาณการจองที่ $\frac{1}{4}n$ จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จสูงสุด เพราะว่า

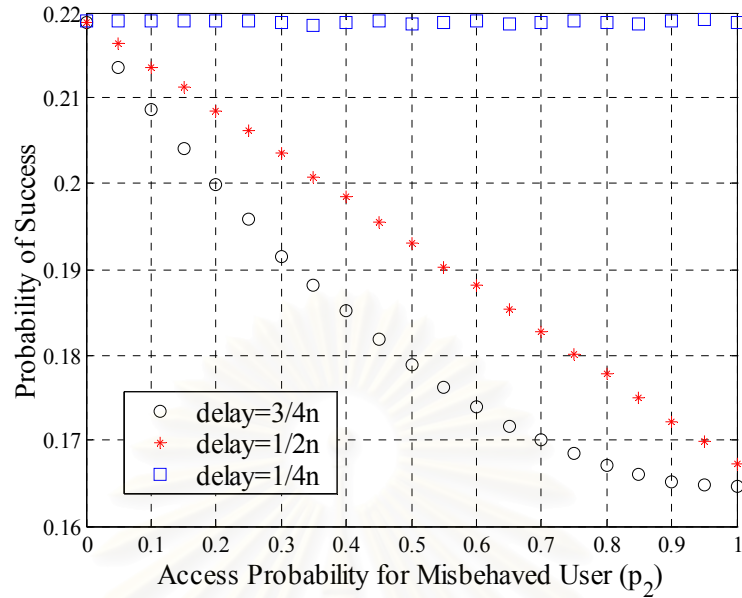
จำนวนผู้ใช้บริการในช่วงแรก ๆ จะมีเฉพาะผู้ใช้บริการทั่วไปทำให้โอกาสที่จะประสบความสำเร็จจะมีสูง

สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ พบว่ารูปที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 การเริ่มเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในช่องสัญญาณการจองที่ $\frac{1}{4}n$ จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จสูงสุดเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ในส่วนของรูปที่ 4.22 การเริ่มเข้าจองในช่องสัญญาณการจองที่ $\frac{1}{2}n$ จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จสูงสุด ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปและผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเช่นเดียวกัน

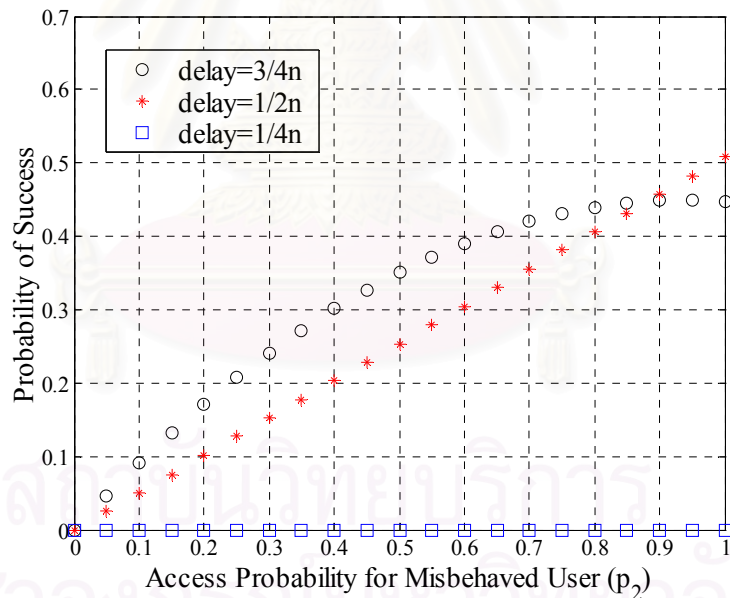
จากการทดสอบในส่วนนี้พบว่าการประวิงเวลาเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข หากประวิงเวลามากหรือน้อยเกินไป ผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้กลับไม่ได้ผลที่ดีที่สุดและยังส่งผลทำให้ผู้ใช้บริการรายอื่นมีผลกระทบตามไปด้วย



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

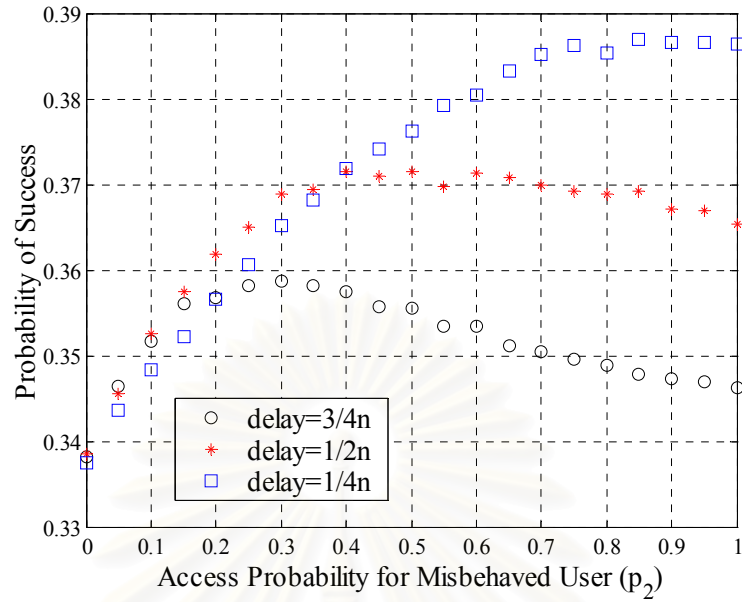


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

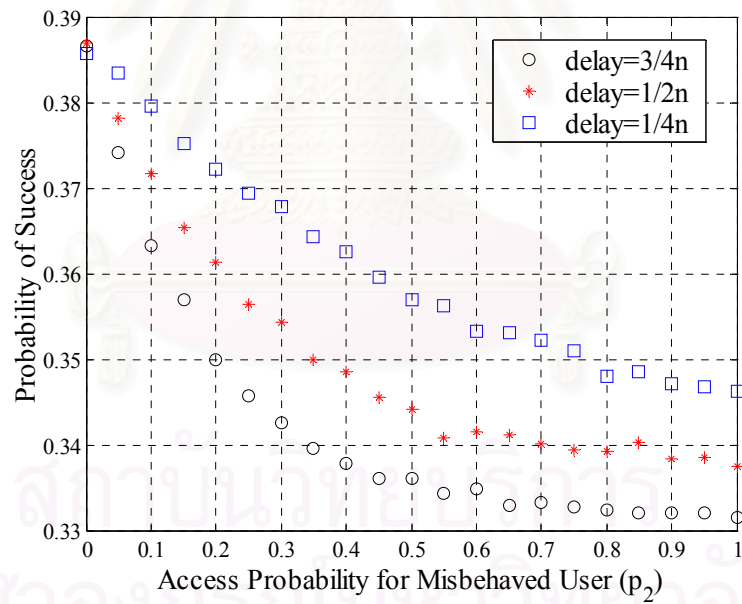


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

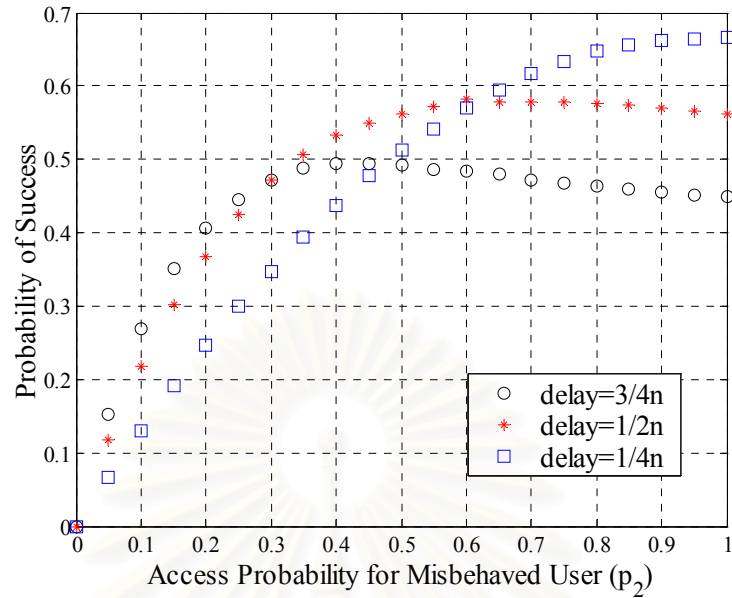
รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และค่าประวิงเวลาเข้าจองค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

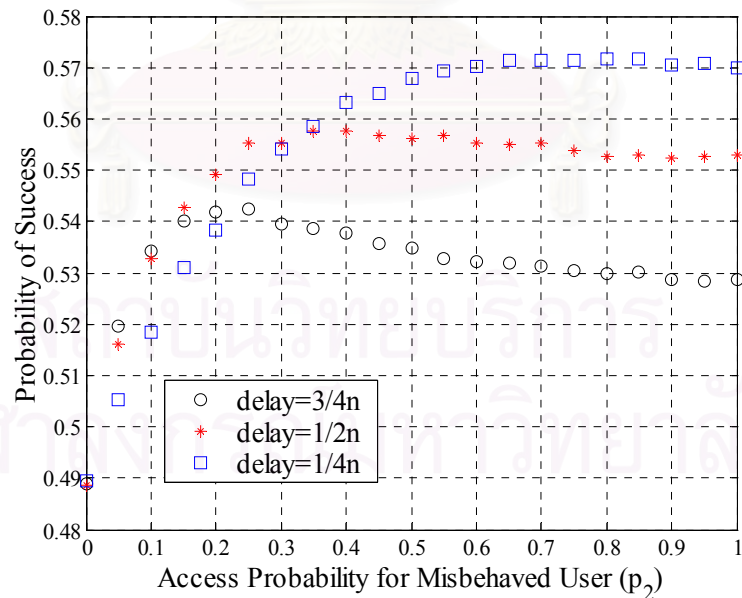


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

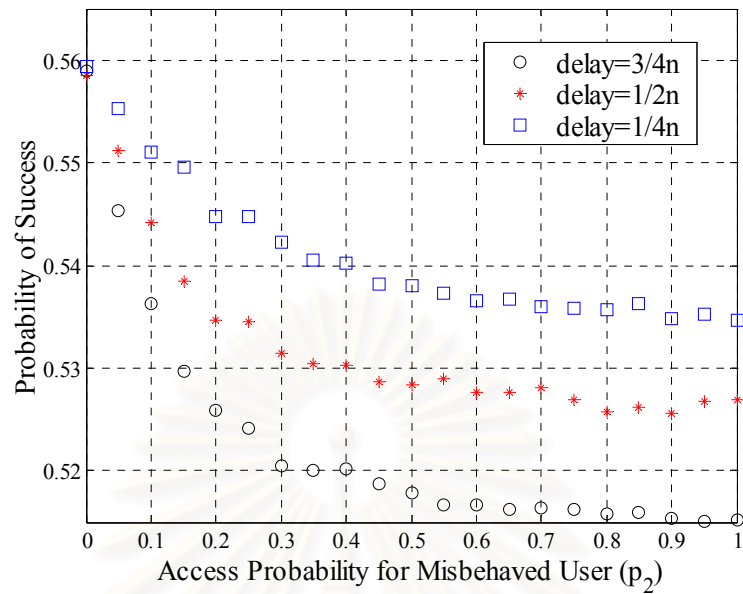


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

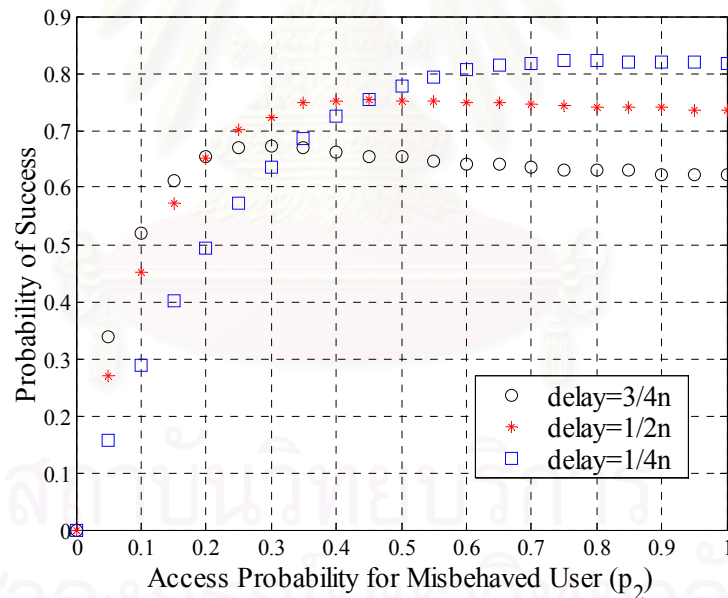
รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และค่าประวิงเวลาเข้าจองค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

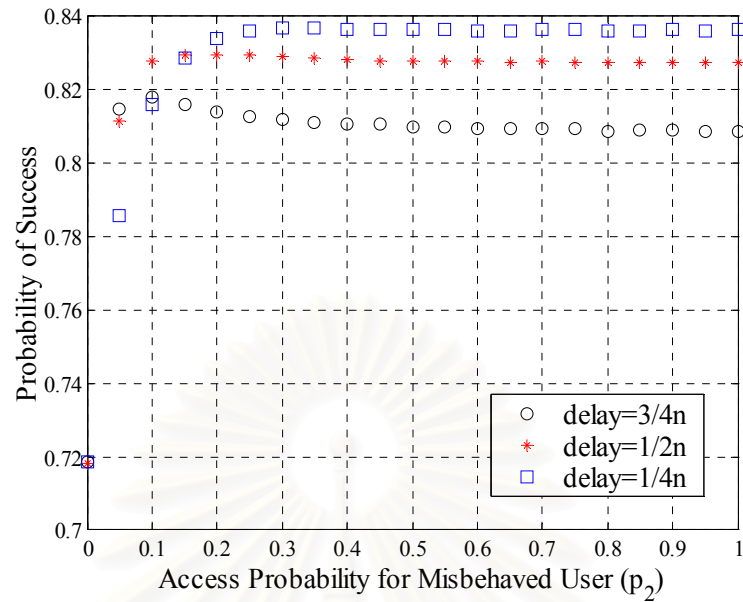


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

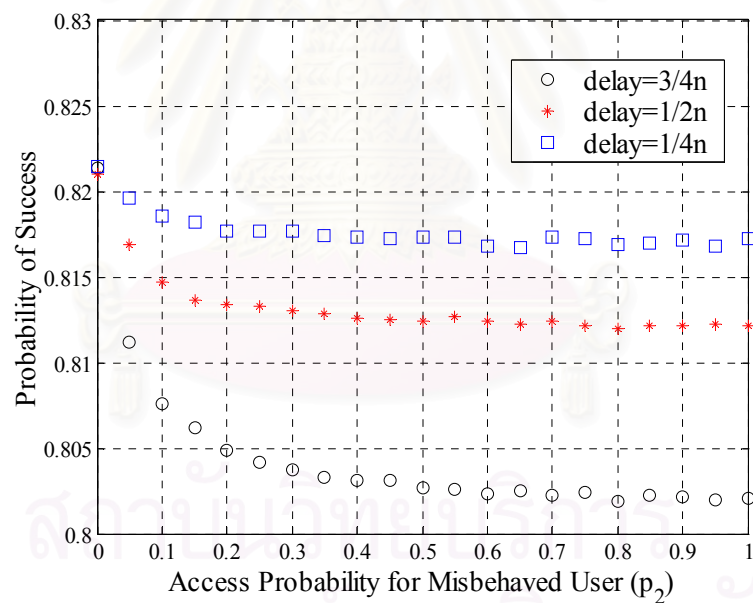


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

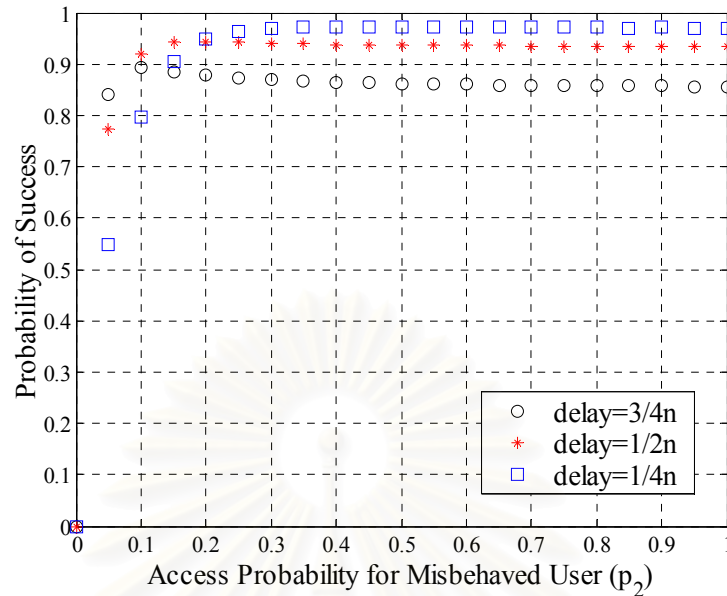
รูปที่ 4.24 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และค่าประวิงเวลาเข้าของค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

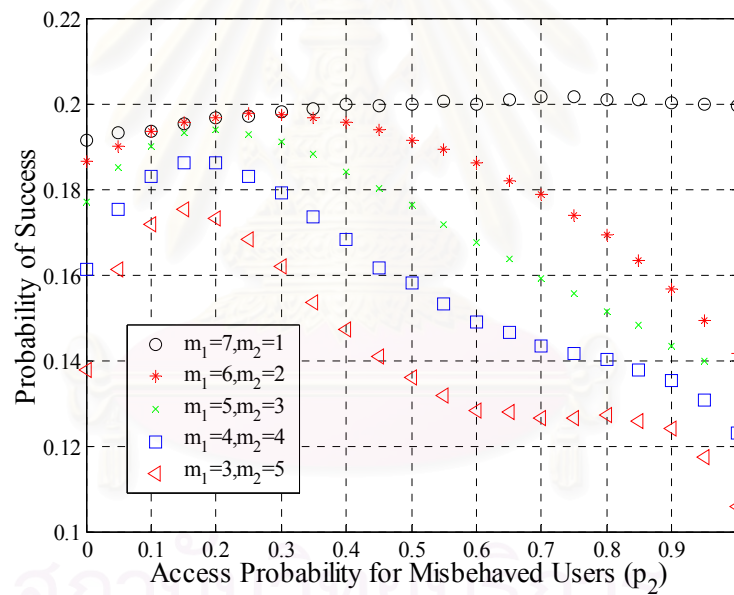
รูปที่ 4.25 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และค่าประวิงเวลาเข้าจองค่าต่าง ๆ

4.3.2 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

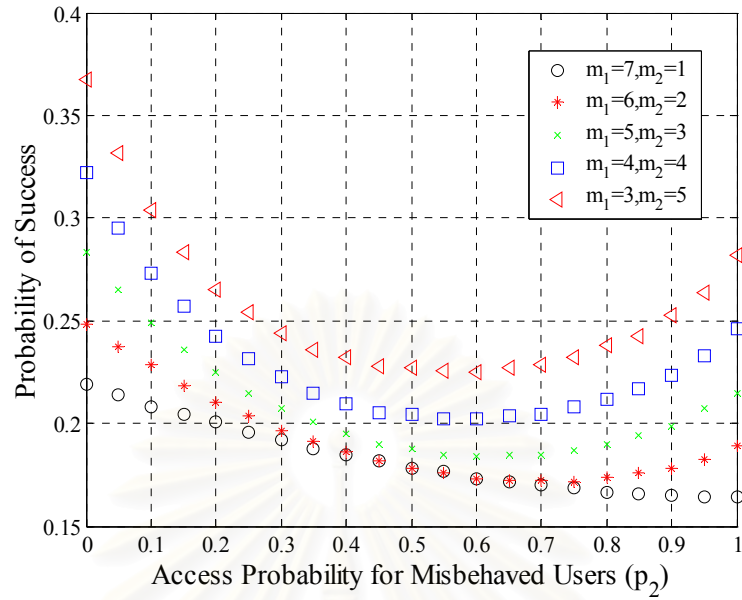
รูป 4.26, 4.27, 4.28 และ 4.29 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม โดยจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 และประวิงเวลาเข้าจองเท่ากับ $\frac{1}{2}n$ พิจารณาว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข พบว่าเมื่ออัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าลดลง และจะลดลงเกือบเท่ากับ 0 เนื่องจากเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจอง ทำให้โอกาสการชนกันของเพ็กเก็ตการจองก็จะเพิ่มขึ้น ประกอบกับมีช่องสัญญาณในการจองน้อยลงเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้บริการ จึงส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของในกลุ่มนี้นี้มีค่าลดลง พิจารณาว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป พบว่ากรณีที่มีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้น กลับส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั่วไปมีค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมี

ช่องสัญญาณการจ้องน้อยลงเมื่อมีการประวิงเวลาเข้าจ้อง ประกอบกับมีจำนวนคนที่เข้าจ้องเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้การเข้าจ้องในช่วงแรกจึงมีน้อย ดังนั้นผู้ใช้บริการทั่วไปซึ่งมีจำนวนน้อยโอกาสเข้าจ้องช่องสัญญาณและประสบความสำเร็จในการจ้องจึงเพิ่มขึ้น

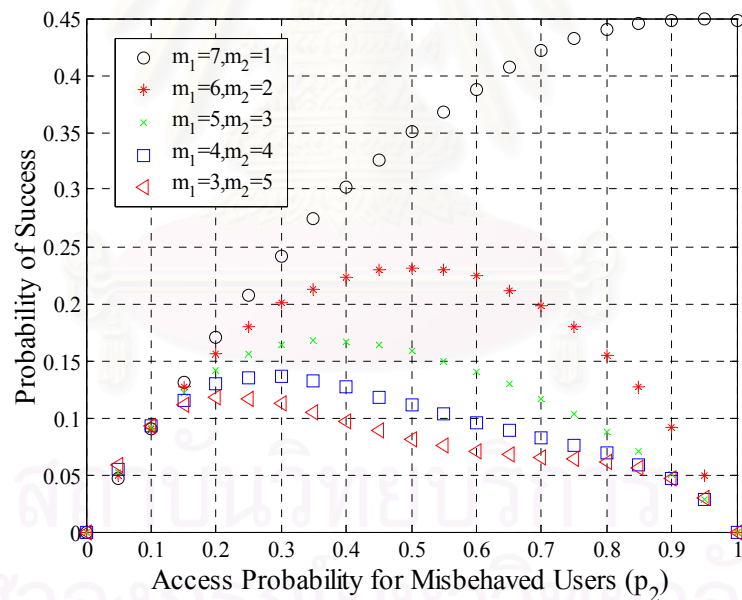
ในส่วนนี้จะพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ จากรูปทั้ง 4 รูป พบว่าเมื่อระบบมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ระบบจะมีค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จลดลง เพราะว่าหากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีจำนวนมากแล้วและมีการประวิงเวลาเข้าจ้องอีก ก็จะทำให้จำนวนช่องสัญญาณที่สามารถเข้าจ้องได้ก็จะมีน้อยตามไปด้วย ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันก็จะมีมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบลดลง เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นผู้ให้บริการส่วนใหญ่ของระบบ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

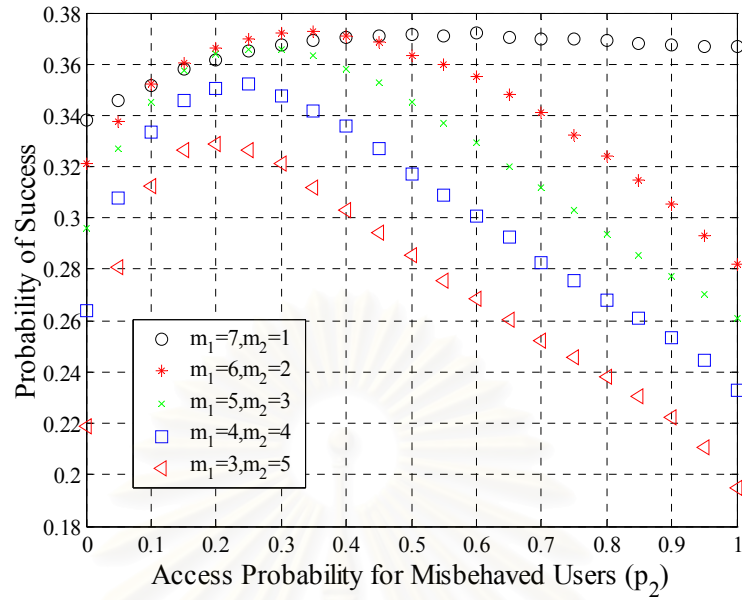


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

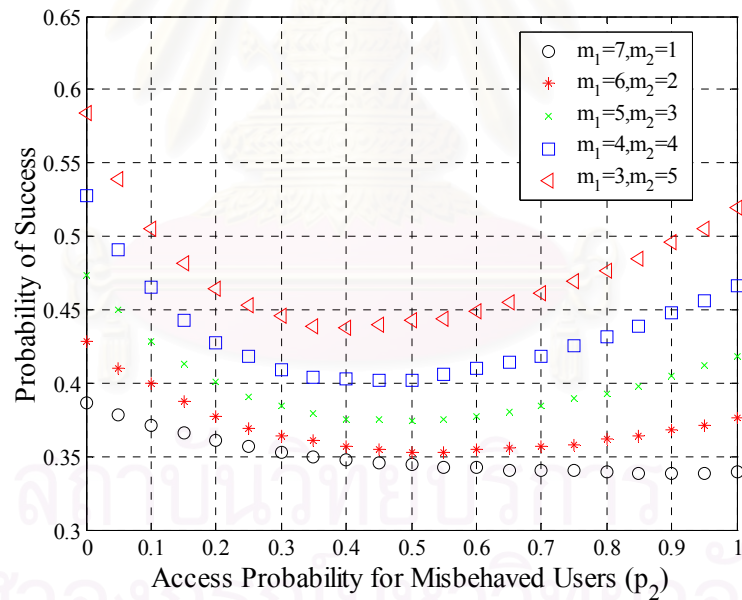


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

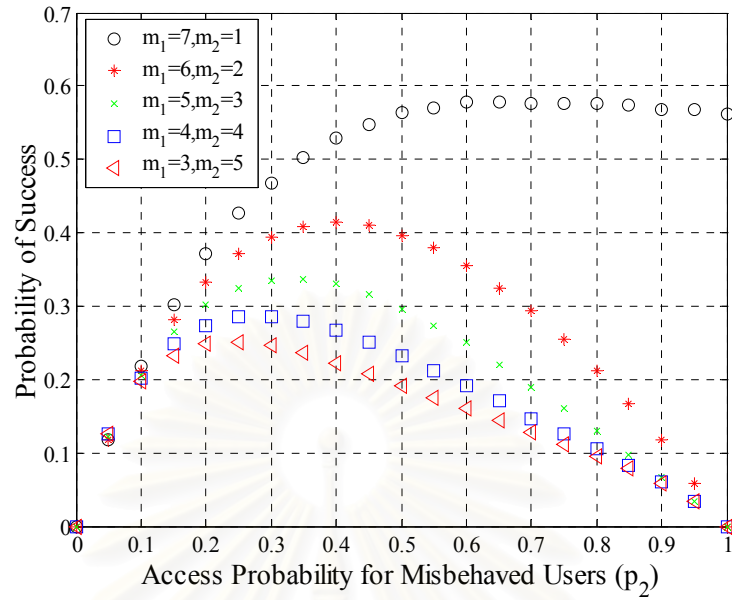
รูปที่ 4.26 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

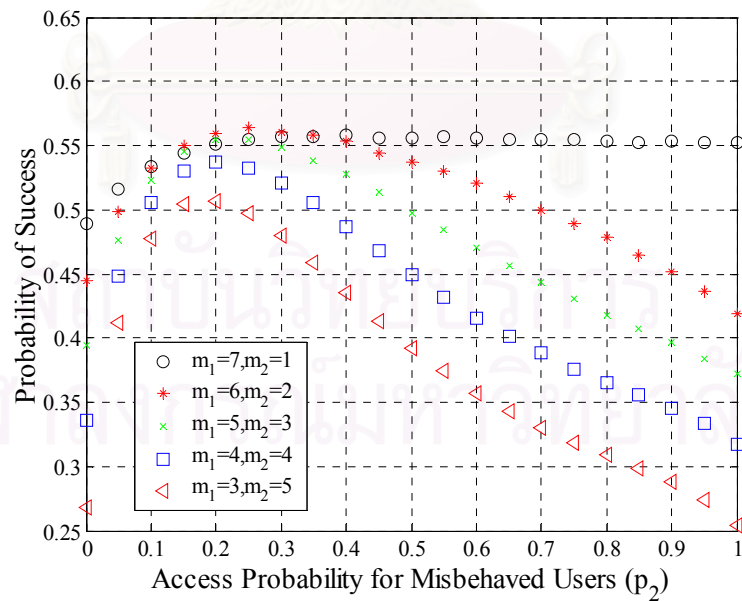


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

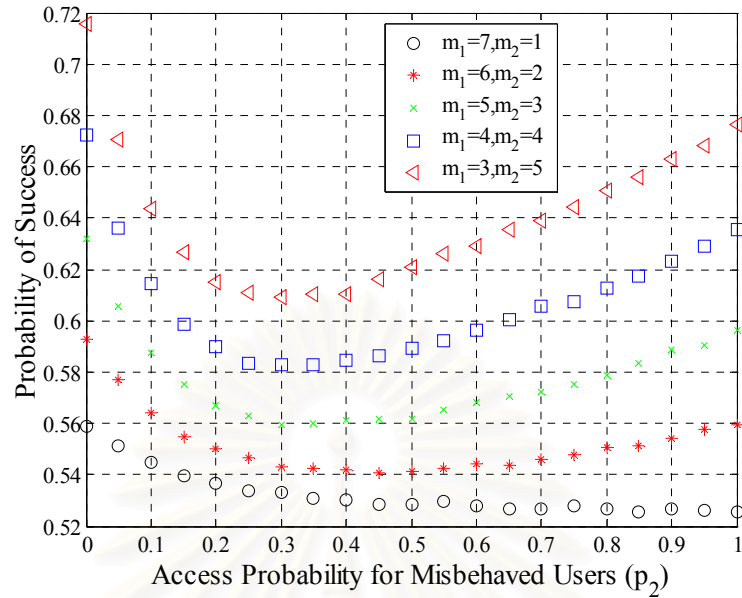


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

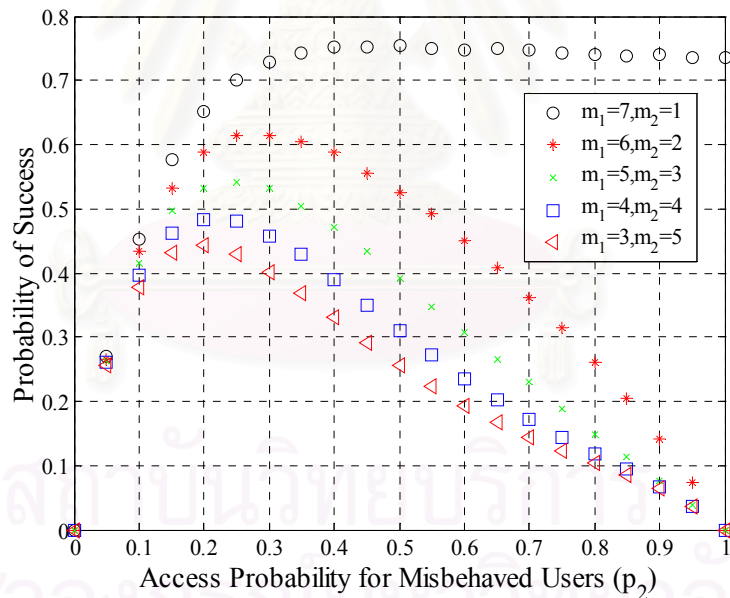
รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

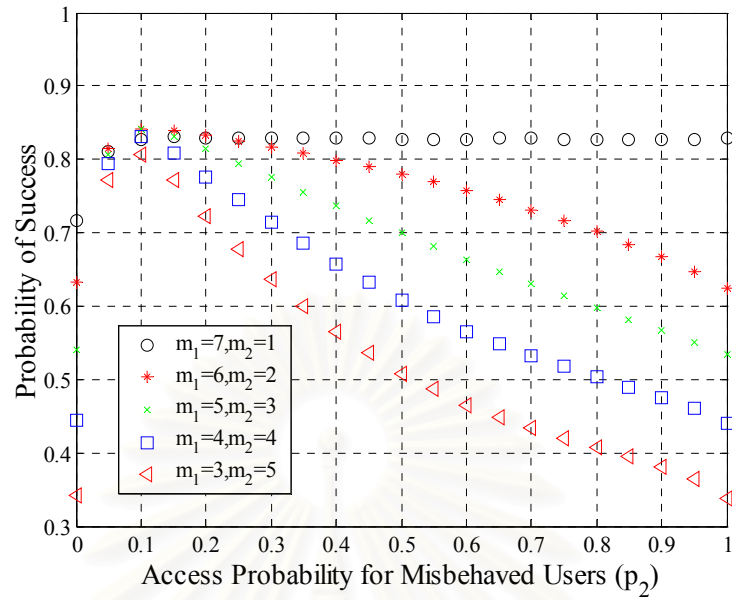


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

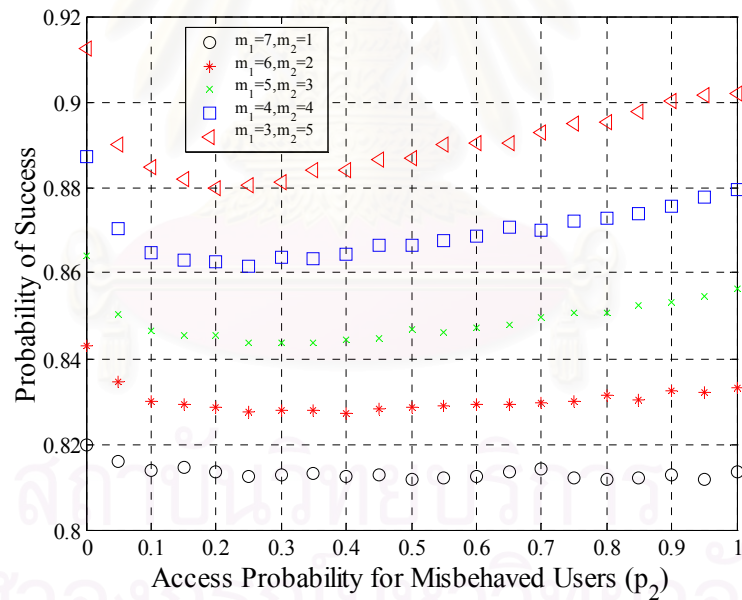


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

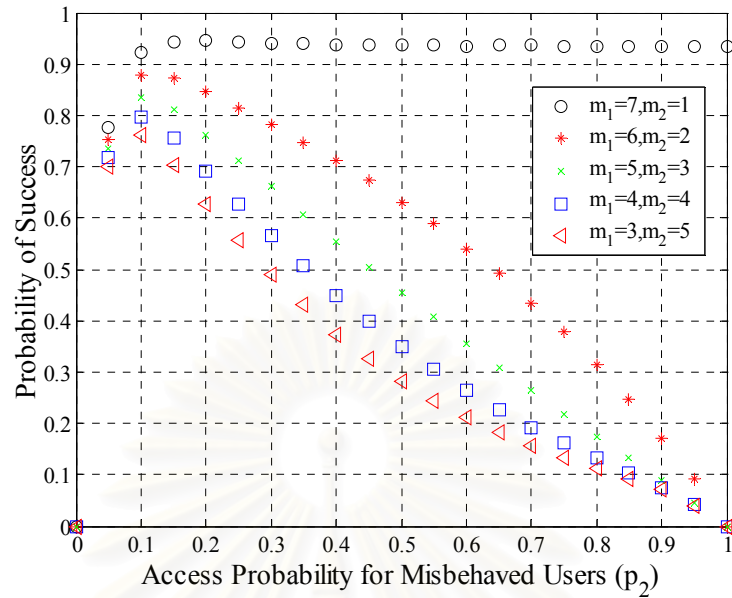
รูปที่ 4.28 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.29 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

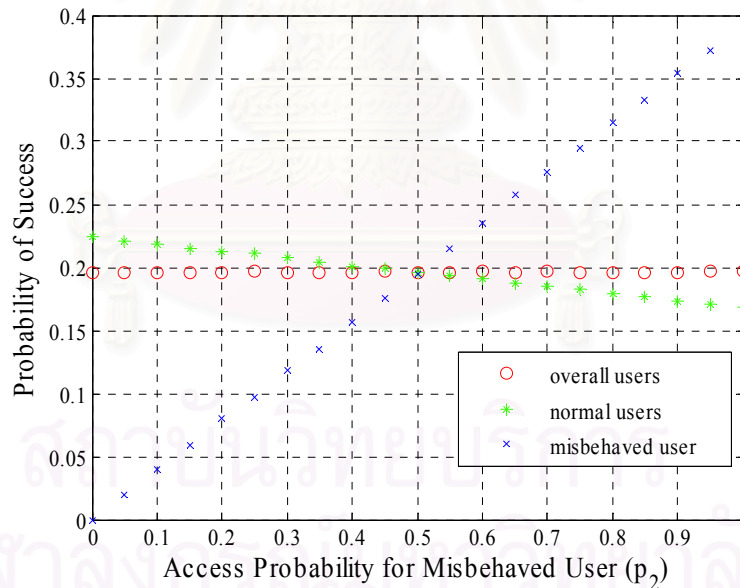
4.4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + LA + 2G

4.4.1 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว

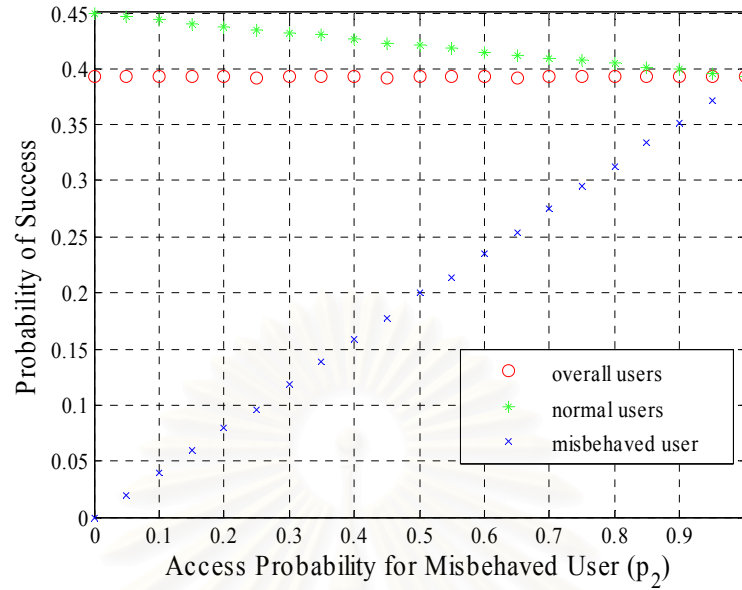
รูปที่ 4.30, 4.31, 4.32 และ 4.33 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม โดยผู้ใช้บริการทั่วไปจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสม คือ กรณีที่จำนวนช่องสัญญาณการจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสมเท่ากับ $\frac{n}{m}$ และกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณการจองมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสมเท่ากับ 1 พบว่าในรูปที่ 4.31, 4.32 และ 4.33 ซึ่งเป็นกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณการจองมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เพราะว่ากลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปมีโอกาสผ่านเข้าไปเข้าจอง

ช่องสัญญาณได้มากกว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข สำหรับในรูปที่ 4.30 ซึ่งเป็นกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณการจ้องน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องมากกว่าที่กำหนดไว้ เพราะว่าการกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขไม่มีโอกาสผ่านเข้าไปเข้าจ้องช่องสัญญาณได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป ส่งผลให้โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีมากขึ้นด้วย

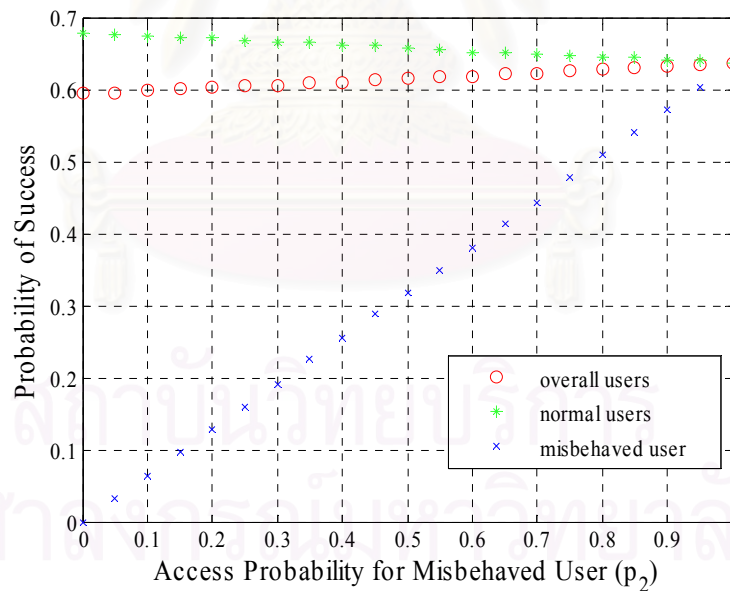
พิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูป พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลงเมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจ้อง เพราะว่าการผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขถูกจำกัดการเข้าจ้องด้วยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจ้องค่าหนึ่ง ซึ่งน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม ดังนั้นระบบการจ้องนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะไม่สามารถประสบผลสำเร็จในการจ้องได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณการจ้องมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการได้



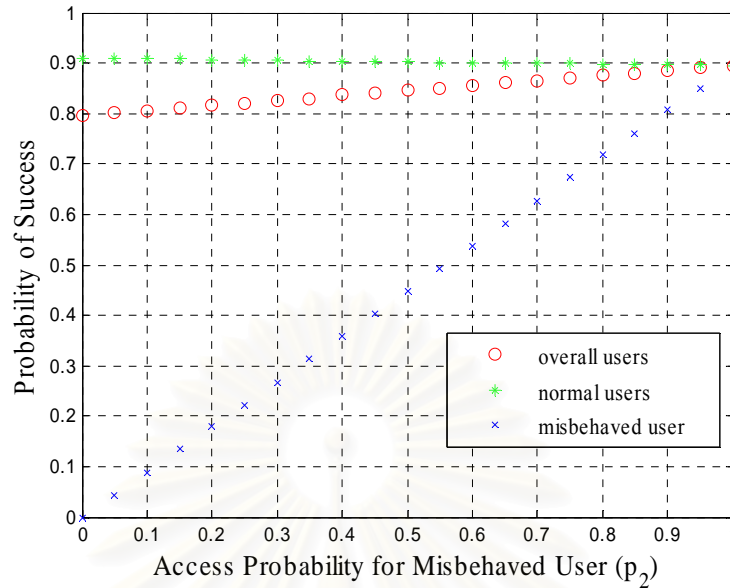
รูปที่ 4.30 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจ้องช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจ้อง 4 ช่อง



รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง



รูปที่ 4.32 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง

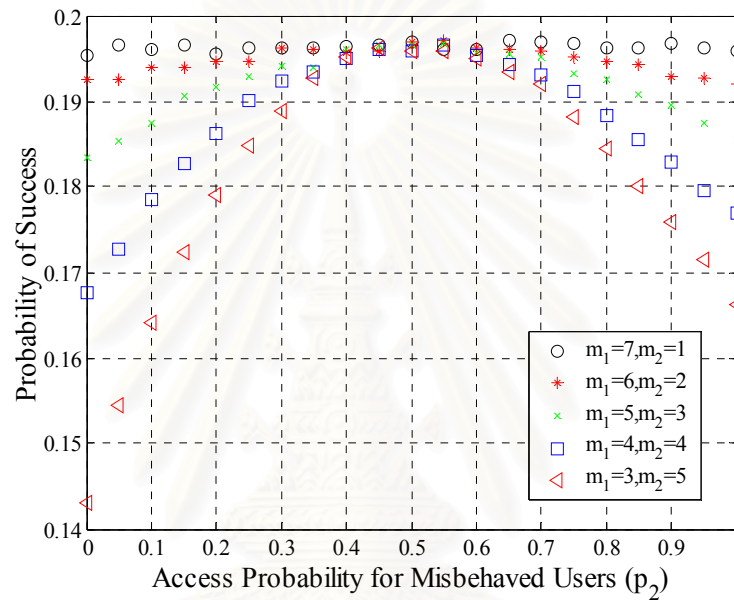


รูปที่ 4.33 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง

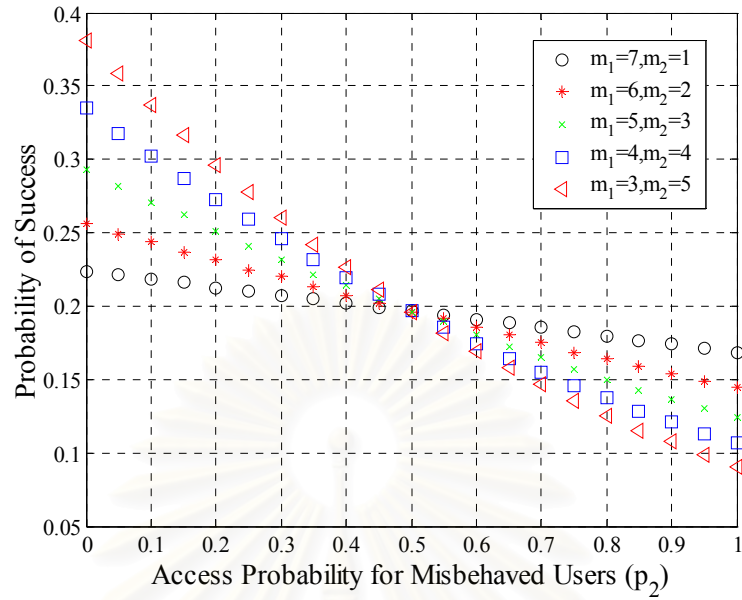
4.4.2 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.34, 4.35, 4.36 และ 4.37 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม โดยจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 4 รูป พบว่าเมื่อมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น (ในกรณีที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองน้อยกว่าที่กำหนดไว้) ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบก็จะลดลง เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขถูกจำกัดจำนวนผู้ที่เข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่ไม่เหมาะสม ซึ่งหากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีโอกาสเข้าจองช่องสัญญาณได้น้อย จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปพบว่าเมื่อมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะถูกจำกัดจำนวนการเข้าจองช่องสัญญาณให้น้อยลง ทำให้ผู้ใช้บริการทั่วไปที่มีจำนวนน้อยกว่าสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพิ่มขึ้น โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีมากด้วย

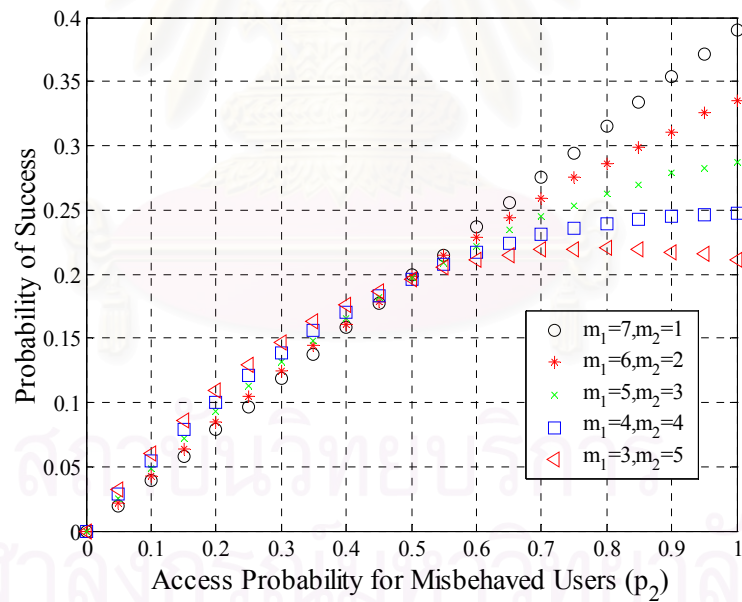
พิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข พบว่าเมื่อมีอัตราส่วนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะค่อยข้างใกล้เคียงกัน เพราะว่าโอกาสที่ผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้จะผ่านเข้าไปจองเท่ากันและลักษณะการจองของผู้ใช้บริการจะกระจายไปในทุกๆช่องสัญญาณ ส่งผลให้โอกาสที่จะประสบความสำเร็จมีค่าพอกัน



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

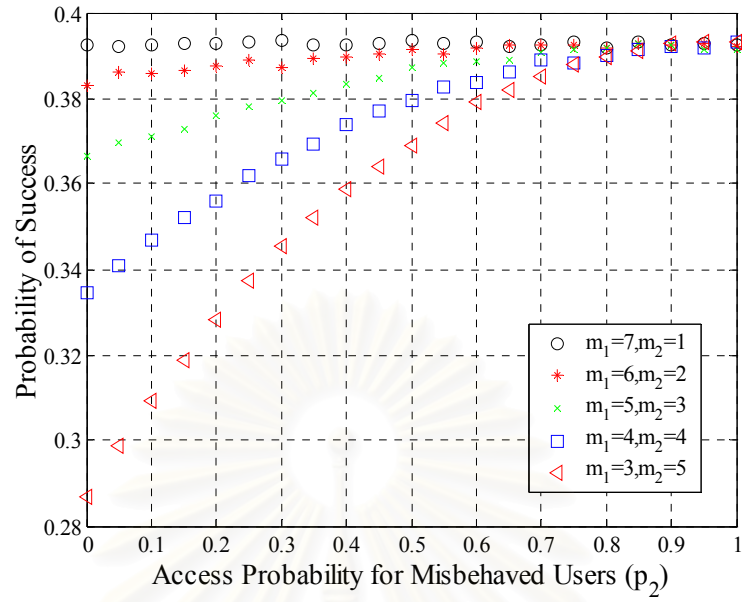


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

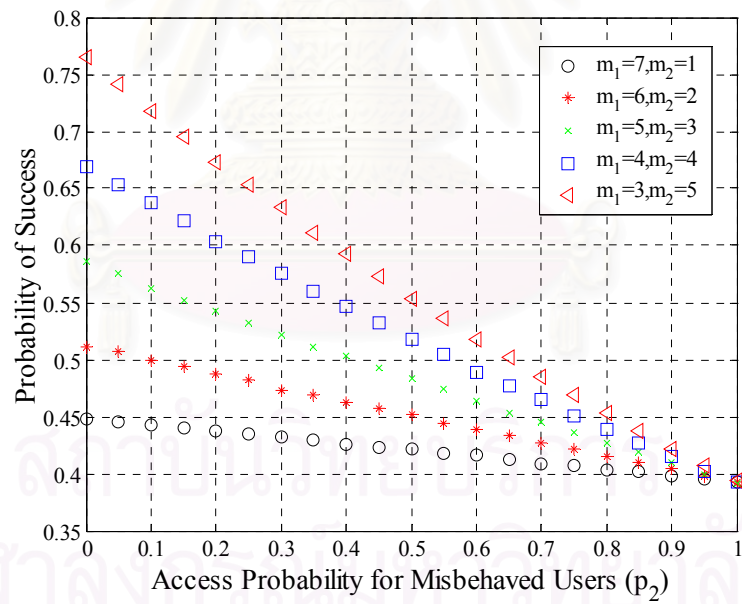


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

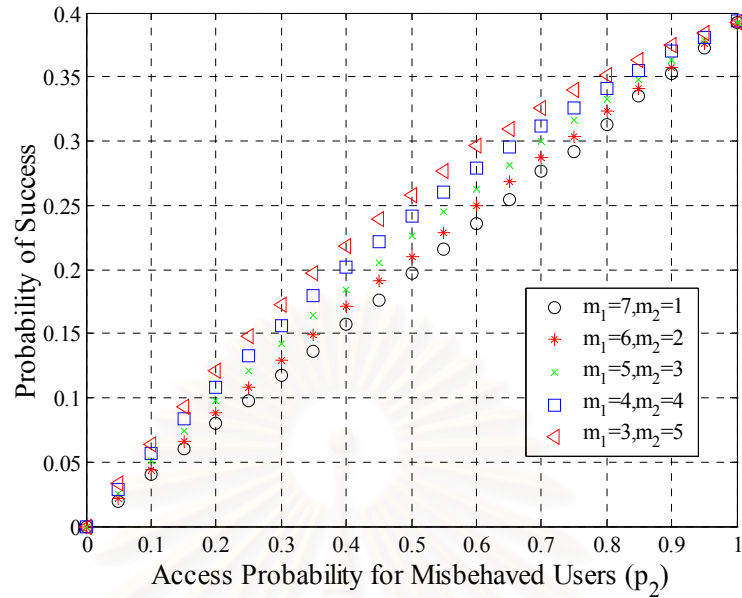
รูปที่ 4.34 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

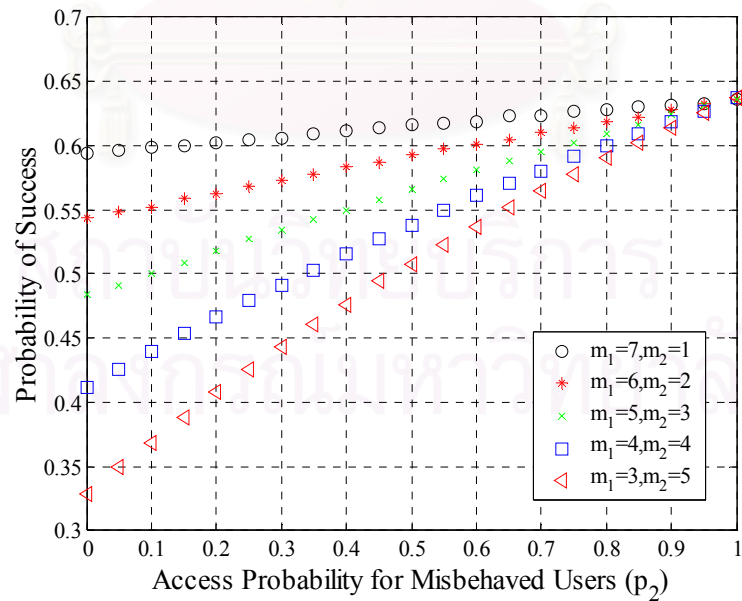


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

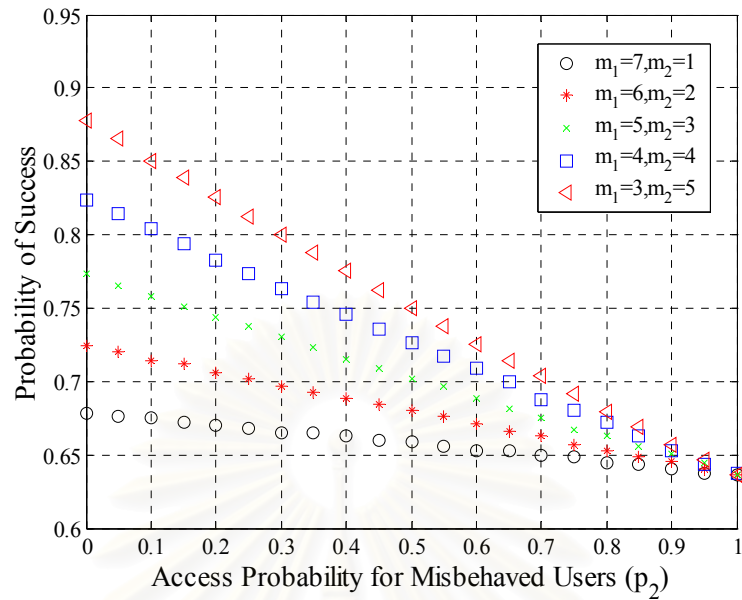


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

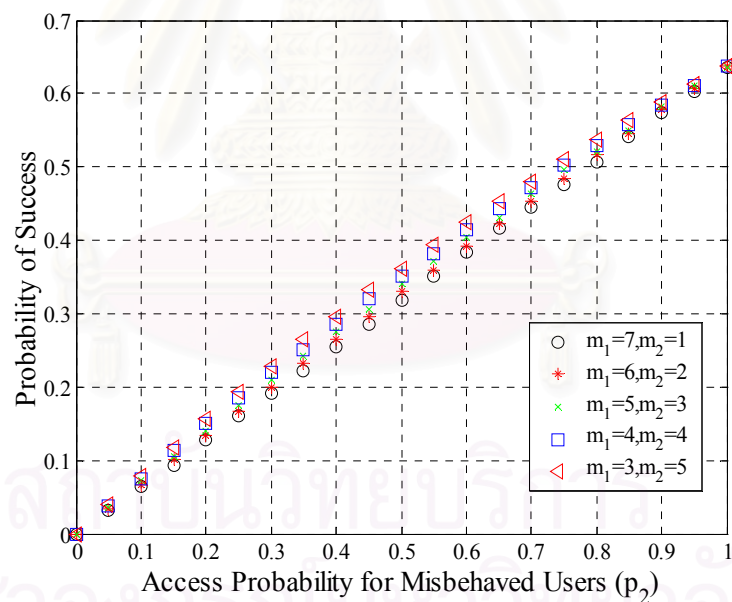
รูปที่ 4.35 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

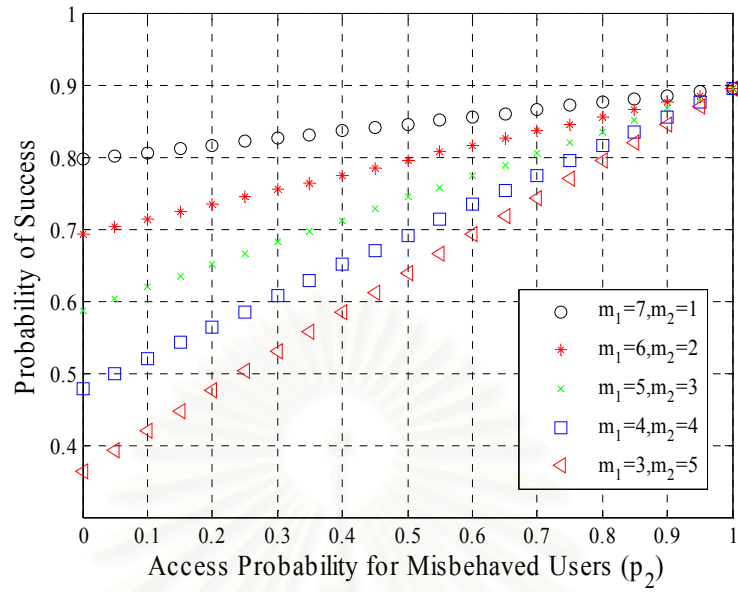


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

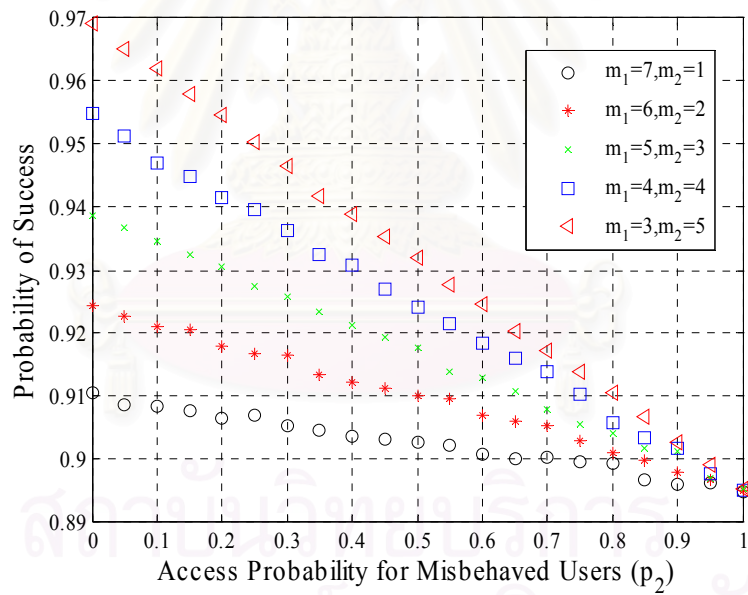


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

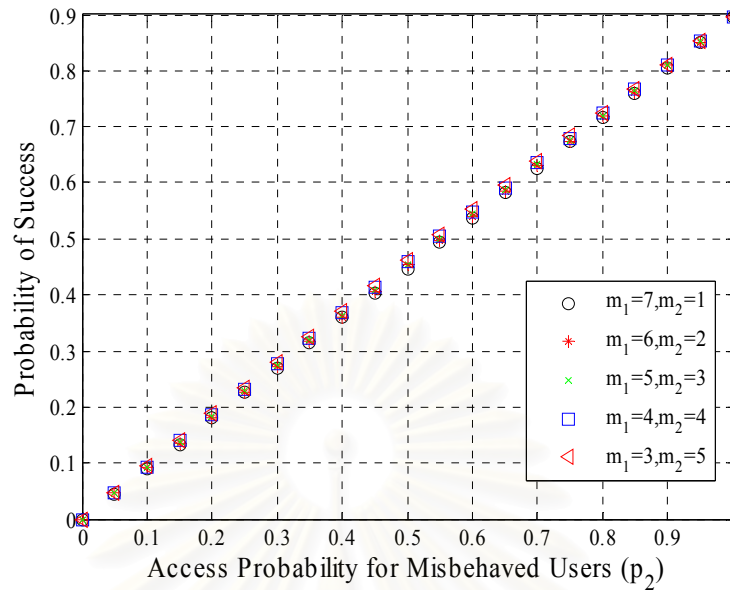
รูปที่ 4.36 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

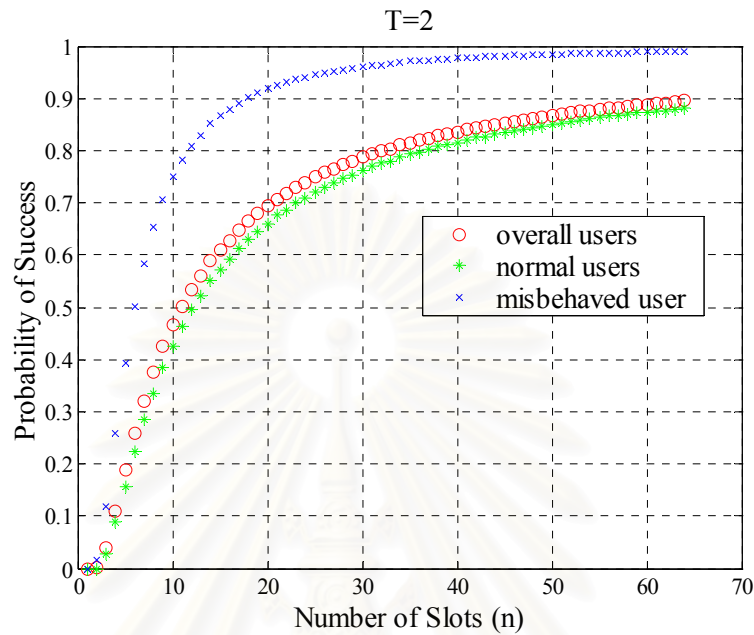
รูปที่ 4.37 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่างๆ

4.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI + 2G + MT

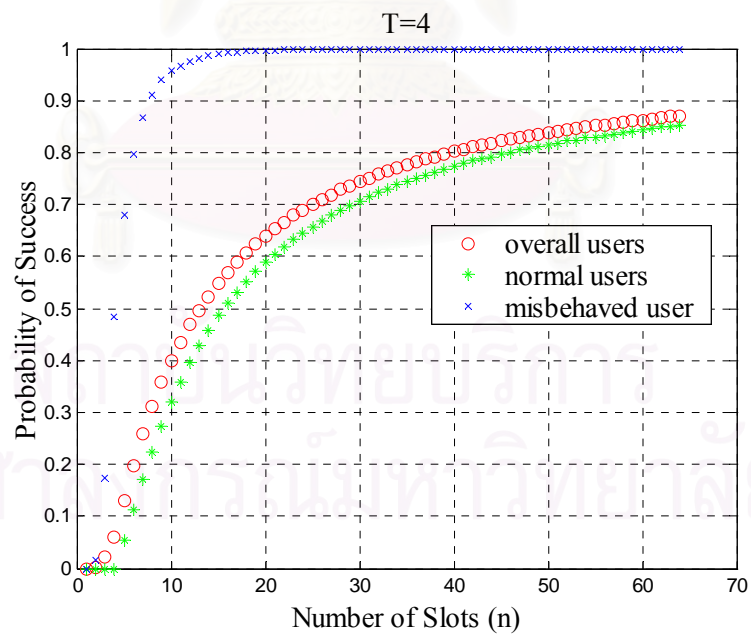
4.5.1 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียว

รูปที่ 4.38 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับจำนวนช่องสัญญาณการจอง โดยมีโทเค็นค่าต่างกัน คือ 2, 4, 6 และ 8 อัน เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะมีความมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการทั่วไปในทุก ๆ ค่าของจำนวนช่องสัญญาณการจองและค่าของโทเค็น เนื่องจากผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้สามารถเข้าจองได้หลายครั้งกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป ดังนั้นโอกาสจะประสบผลสำเร็จก็จะมีมากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบการใช้โทเค็นพบว่า เมื่อผู้ใช้บริการมีโทเค็นมากขึ้นความต่างกันระหว่าง 2 กลุ่มก็จะเพิ่มขึ้นด้วย พิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นในการจองเพิ่มขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบจะมีค่าลดลง เพราะว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีการโทเค็นมากขึ้น ก็จะสามารถเข้า

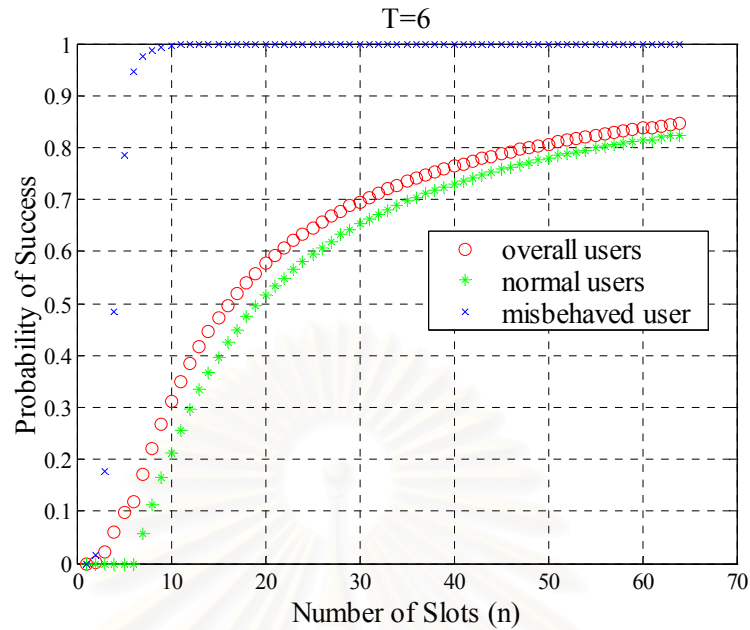
จงได้หลายช่องสัญญาณ ส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั่วไปมีโอกาสประสบความสำเร็จน้อยลง ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบลดลงด้วย



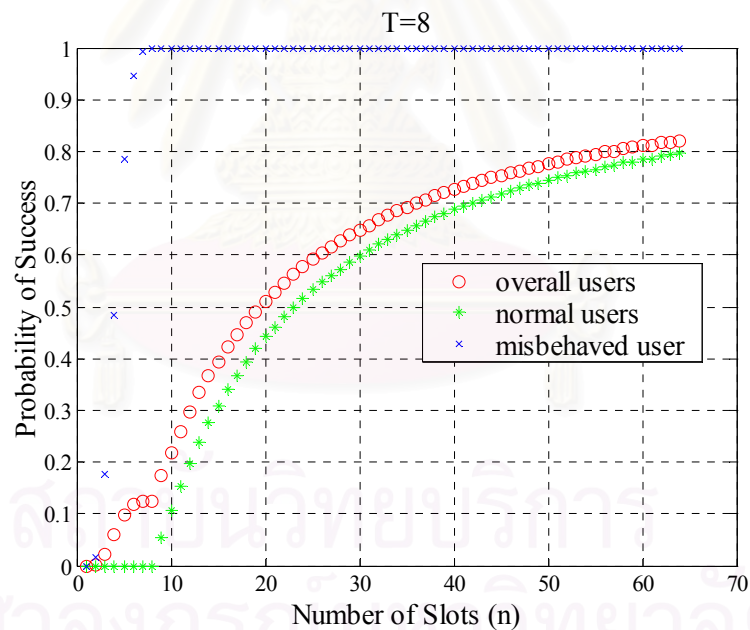
(ก) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 2 อัน



(ข) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 4 อัน



(ค) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 6 อัน

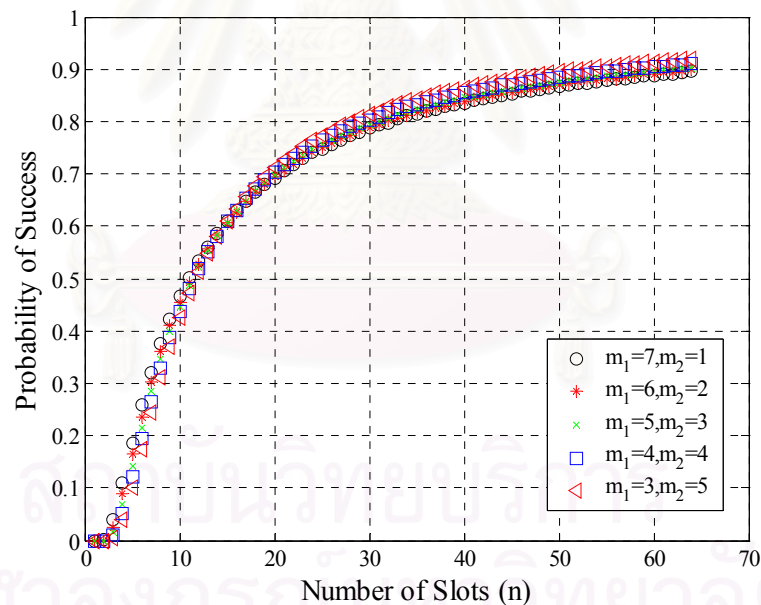


(ง) เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้โทเค็นการจอง 8 อัน

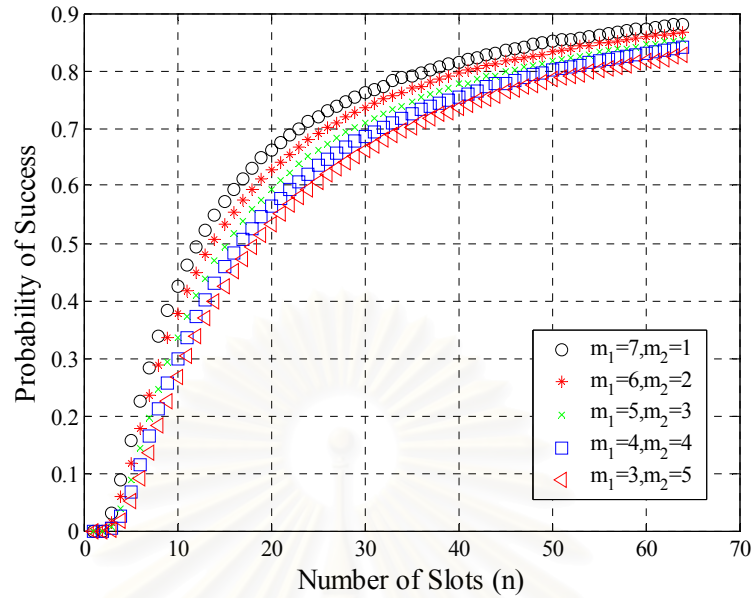
รูปที่ 4.38 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 1 ถึง 64 ช่อง และจำนวนโทเค็นค่าต่าง ๆ

4.5.2 กรณีที่มีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

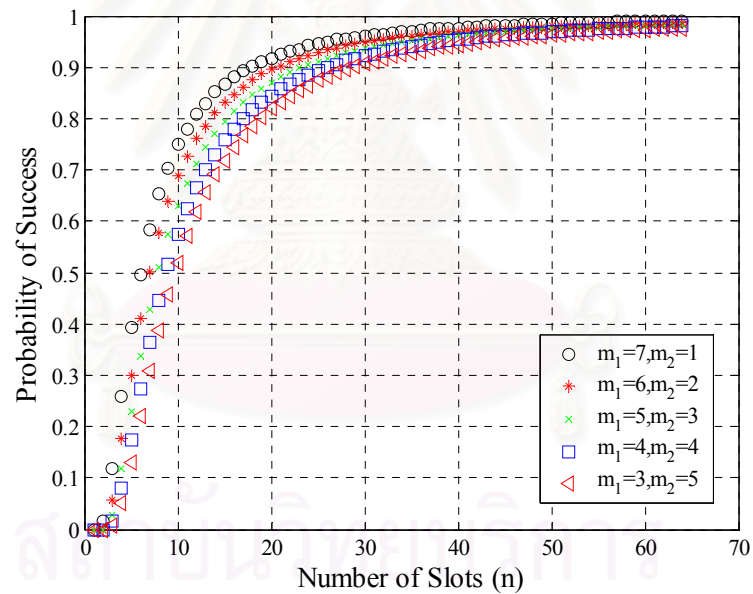
รูปที่ 4.39 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่มกับจำนวนช่องสัญญาณการจอง โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีโทเค็นการจอง 2 อัน พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไปและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จจะมีค่าลดลง เมื่อมีอัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น เนื่องจากหากระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ก็เปรียบเหมือนกับระบบมีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว ดังนั้นก็จะส่งผลกระทบต่อการจองช่องสัญญาณของผู้บริการในกลุ่มตัวเอง และกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปด้วย เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ พบว่าค่านี้อาจค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน เมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการจองแบบนี้จะเป็นการสุ่มช่องสัญญาณ ดังนั้นหากมีผู้ใช้บริการที่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบหรือส่งผลก็จะมีค่าน้อยมาก



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.39 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 1 ถึง 64 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าต่าง ๆ

4.6 ผลการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

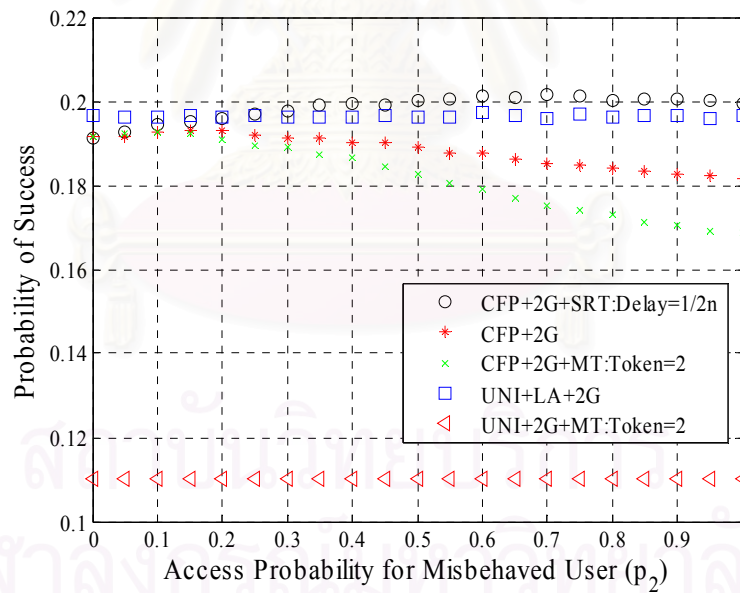
รูปที่ 4.40, 4.41, 4.42 และ 4.43 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบระบบการจองที่นำเสนอทั้งหมด โดยจะมีผู้ใช้บริการทั้งหมด 8 ราย ประกอบด้วยผู้ใช้บริการทั่วไป 7 ราย และผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขรายเดียว ระบบการจองที่นำมาเปรียบเทียบประกอบด้วย 1. ระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT โดยมีค่าประจิมเวลาเท่ากับ $\frac{1}{2}n$ 2.ระบบการจองแบบ CFP + 2G 3.ระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT โดยมีโทเค้นเท่ากับ 2 อัน 4.ระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G และ 5.ระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT โดยมีโทเค้นเท่ากับ 2 อัน (ระบบนี้จะมีค่าเพียงค่าเดียว แต่เพื่อการเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นในทุก ๆ ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข)

พิจารณาในรูปที่ 4.40 ในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT มีค่าสูงที่สุด เพราะว่าการมีระบบการจองแบบ CFP + 2G + SRT จะมีการกระจายการจองของผู้ใช้บริการ โดยผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะเข้าจองทีหลัง ทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีอยู่มากได้ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป พบว่าระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G มีค่าสูงที่สุด เพราะว่าการจองนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าที่น้อยกว่าค่าที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำให้ผู้ใช้บริการทั่วไปประสบผลสำเร็จในการจองสูงสุด สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข พบว่าระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT มีค่าสูงที่สุด เพราะว่าการจองนี้ผู้ใช้บริการทุกรายจะมีการเข้าจองช่องสัญญาณหนาแน่นทุก ๆ ช่อง ดังนั้นเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีโอกาสมากกว่า 1 ครั้ง โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีค่าสูงที่สุด

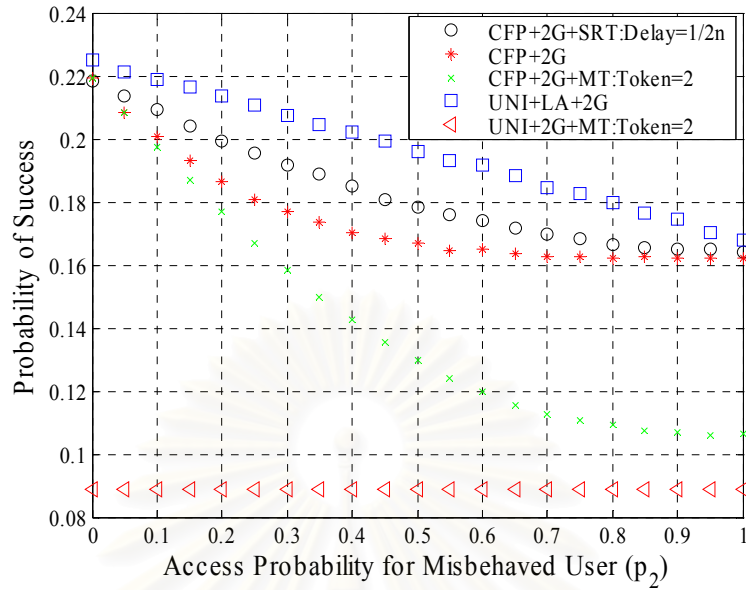
พิจารณาในรูปที่ 4.41 ในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G มีค่าสูงที่สุด เพราะว่าการจองนี้ระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G จะมีการกระจายการเข้าจองของผู้ใช้บริการเท่ากันทุก ๆ ช่องสัญญาณ ดังนั้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณระบบก็จะมีค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบสูงสุดด้วย และเมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป พบว่าระบบการจองแบบ UNI + LA

+ 2G มีค่าสูงสุด สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข พบว่าระบบการจองแบบ CFP + 2G + MT มีค่าสูงที่สุด

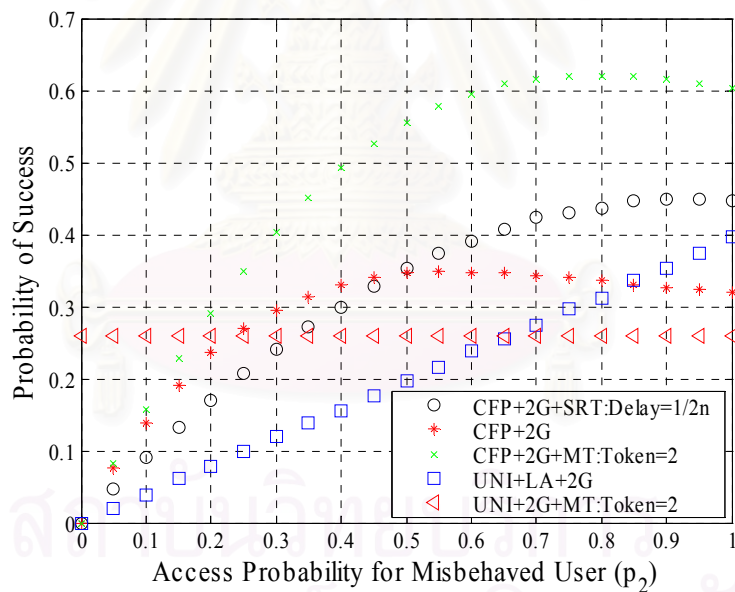
พิจารณาในรูปที่ 4.42 และ 4.43 ในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT มีค่าสูงที่สุด เพราะว่ากรณีนี้ช่องสัญญาณมีมากประกอบกับการจองจะมีการกระจายค่อนข้างมาก ดังนั้นโอกาสที่จะชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจองจะมีน้อยที่สุด จึงทำให้โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็มีค่าสูงที่สุดด้วย และเมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป พบว่าระบบการจองแบบ UNI + LA + 2G มีค่าสูงที่สุด สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข พบว่าระบบการจองแบบ UNI + 2G + MT มีค่าสูงที่สุด เพราะว่าระบบการจองนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถจองได้มากกว่า 1 ครั้ง และการจองแต่ละครั้งโอกาสที่ประสบความสำเร็จมีสูง เนื่องจากการเข้าจองของผู้ใช้บริการรายอื่นค่อนข้างจะกระจาย จึงทำให้ระบบนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถประสบความสำเร็จสูงสุด



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

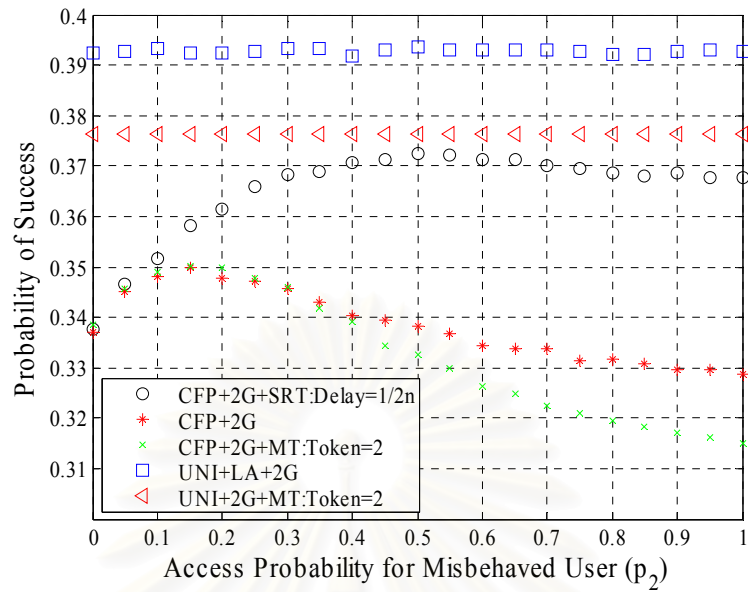


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

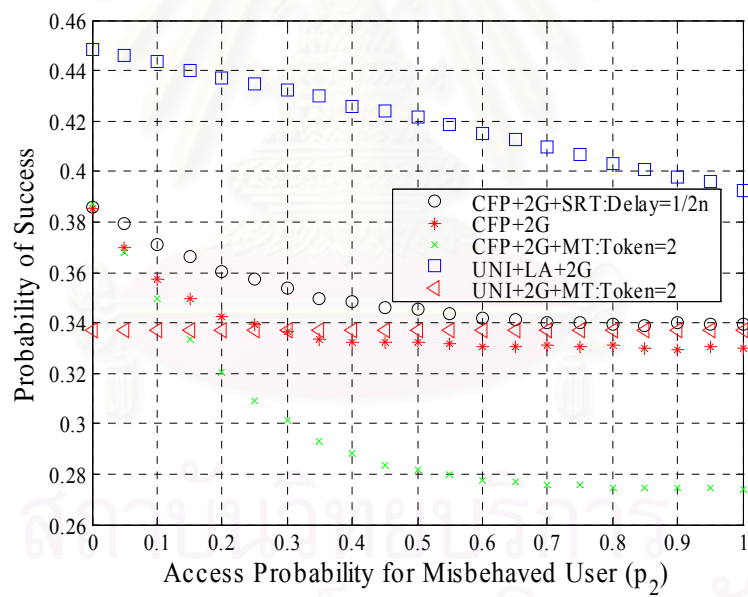


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

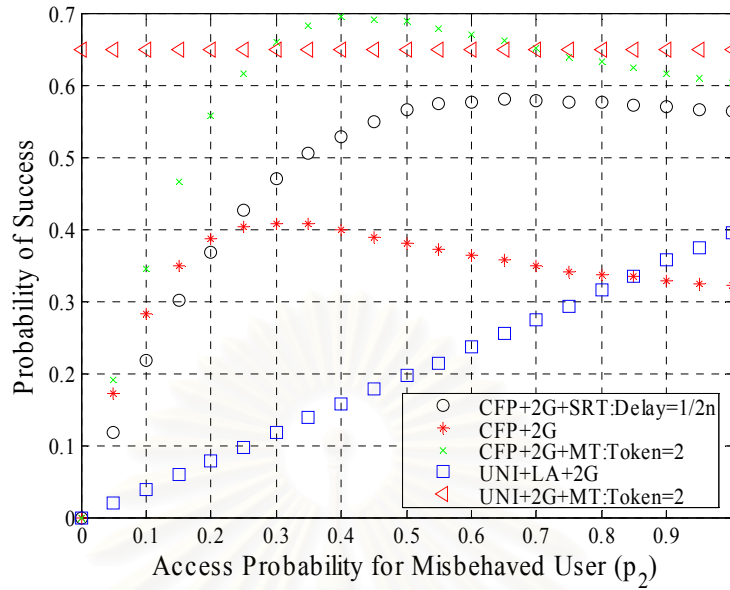
รูปที่ 4.40 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบต่าง ๆ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 4 ช่อง



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ

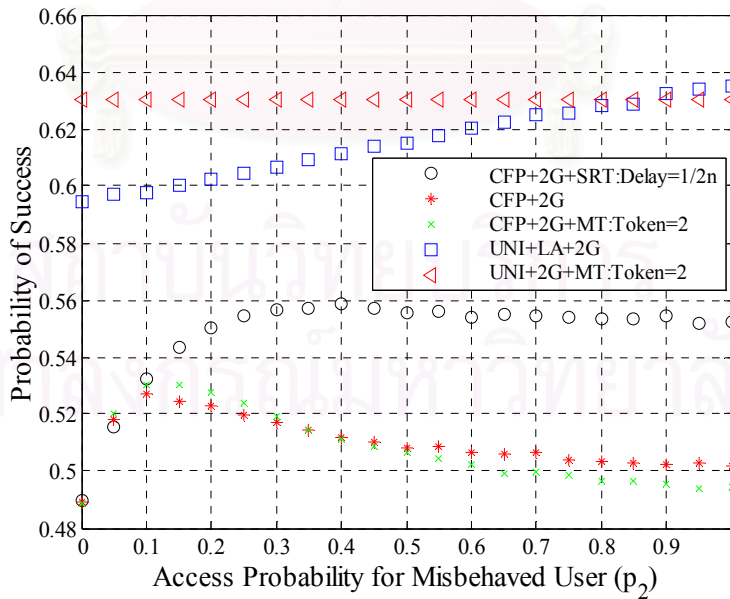


(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป

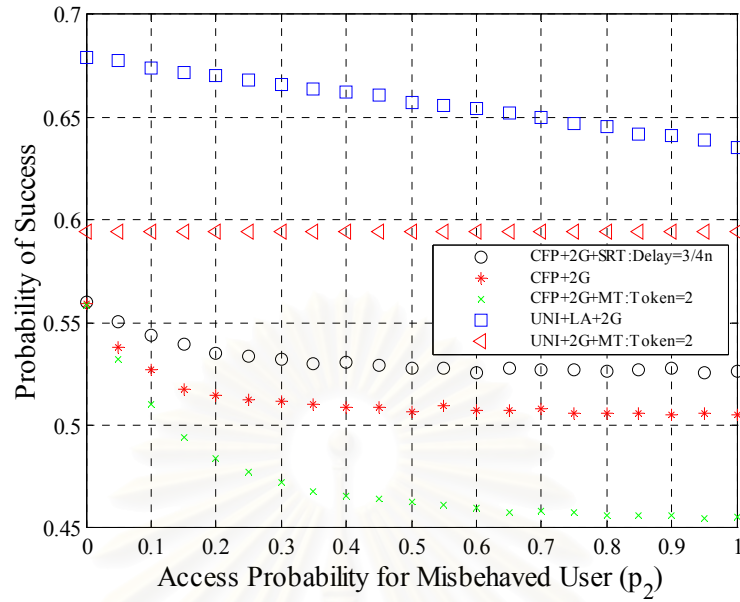


(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

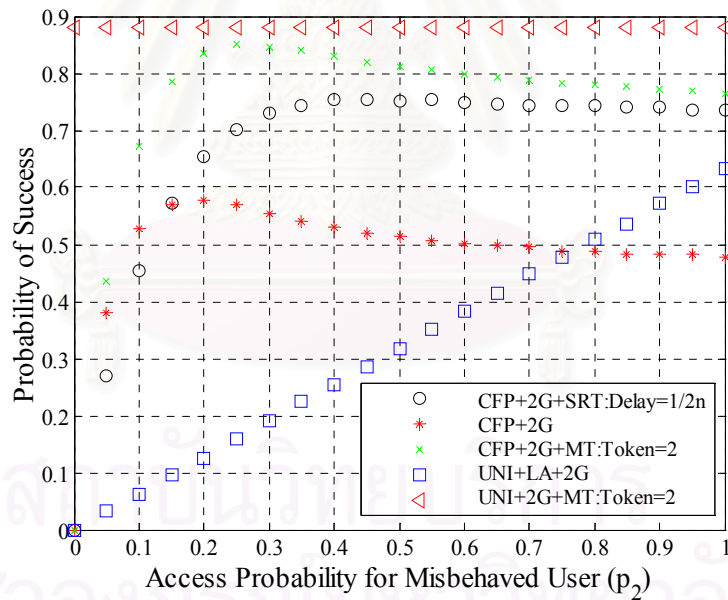
รูปที่ 4.41 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบต่าง ๆ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 ช่อง



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



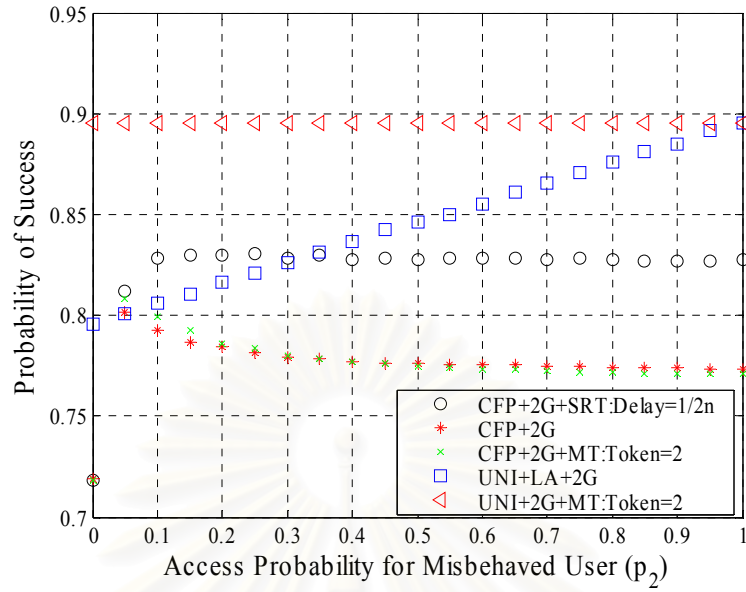
(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



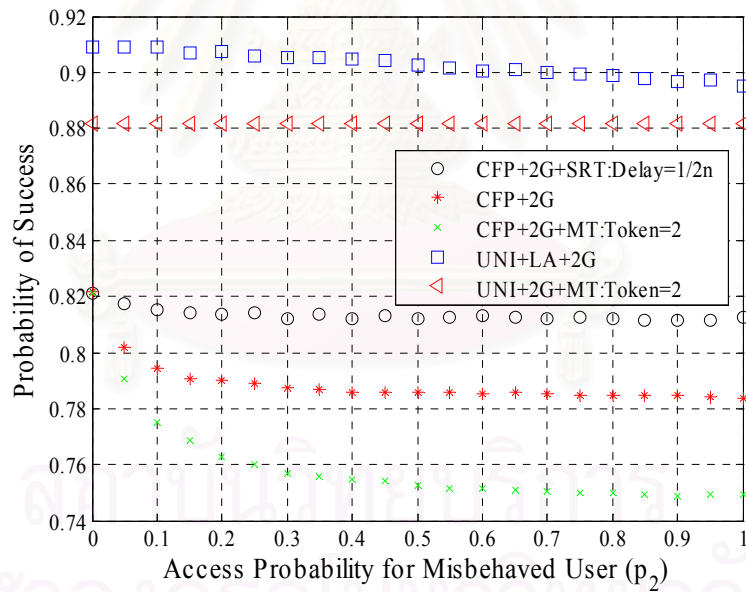
(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.42 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบต่าง ๆ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 16 ช่อง

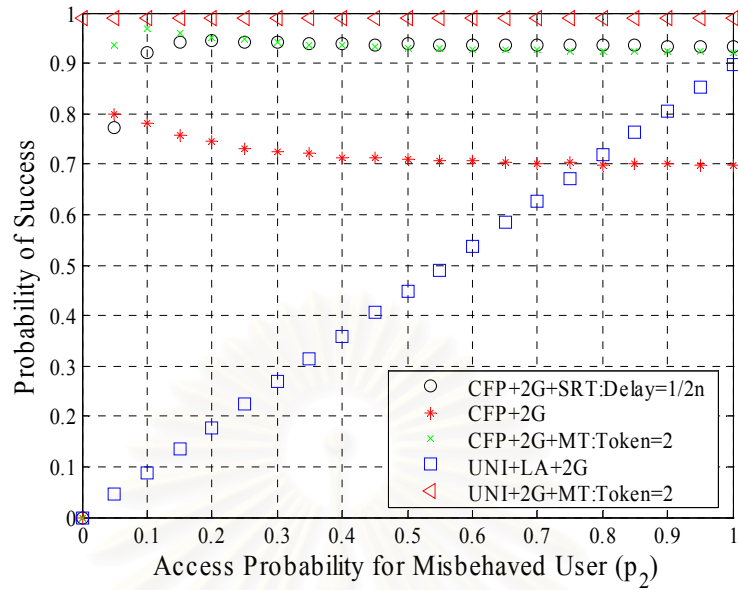
ช่อง



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ



(ข) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการทั่วไป



(ค) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

รูปที่ 4.43 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบต่าง ๆ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 64 ช่อง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงบทสรุปของระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้เสนอระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึง ตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลา ประวิงการส่งสัญญาณที่แบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่ม ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เมื่อผู้ใช้บริการทั้ง 2 กลุ่มจะไม่สามารถทราบผลการจองได้ จนกว่าจะผ่านช่วงการจองแล้ว โดยจะพิจารณาผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของระบบจากจำนวน ผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จทั้งระบบและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จใน แต่ละกลุ่ม สำหรับเป็นแนวทางในการป้องกันกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งจะมี ด้วยกัน 5 ระบบ คือ ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G (Cascade Fixed Probability + 2 Group), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Multi-Token), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time), ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G (Uniform + Limited Access + 2 Group) และระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT (Uniform + 2 Group + Multi-Token) จากผลการทดสอบในบทที่ 4 สามารถสรุป ได้ดังนี้

1. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขสามารถ ประสบความสำเร็จในการจองได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป ยกเว้นกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณ การจองมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการมาก ๆ

2. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข สามารถประสบความสำเร็จในการจองได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปทุกกรณีของจำนวน ช่องสัญญาณการจอง และผลต่างระหว่างทั้งสองกลุ่มจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติ ตามเงื่อนไขใช้จำนวนโทเค้นในการจองเพิ่มขึ้น

3. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขกลับไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไป เนื่องจากผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขจะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองท้าย ๆ ซึ่งในช่วงนี้ผู้ใช้บริการทั่วไปเข้าจองน้อย

4. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA+2G ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขไม่สามารถประสบผลสำเร็จในการจองได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไปทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่มีจำนวนช่องสัญญาณการจองน้อยกว่าผู้ใช้บริการ

5. ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+2G+MT ผลที่ได้จะเหมือนกับระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+MT

6. ระบบการจองที่นำเสนอทั้งหมด เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพียงรายเดียวก็จะส่งผลทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ประสบผลสำเร็จทั้งระบบลดลง ยกเว้นระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT ที่ทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ประสบผลสำเร็จเพิ่มขึ้น

7. เมื่อระบบประกอบด้วยอัตราส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มขึ้นผลที่เกิดขึ้นคือ การประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้ลดลง และจะส่งผลทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ประสบผลสำเร็จทั้งระบบลดลงอย่างรวดเร็วด้วย

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ระบบการจองช่องสัญญาณทั้ง 5 ระบบ พบว่าเมื่อมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเกิดขึ้นในระบบแล้ว จะส่งผลทำให้ระบบส่วนใหญ่มีสมรรถนะลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข จึงได้เสนอวิธีการตรวจจับและลงโทษดังต่อไปนี้ คือ 1. ในกรณีที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองแตกต่างจากผู้ใช้บริการรายอื่น การตรวจจับพฤติกรรมที่ผิดปกติภายในเฟรมหนึ่งเฟรมเป็นไปได้ยาก ดังนั้นวิธีการตรวจจับจึงต้องอาศัยการเก็บสถิติของการประสบความสำเร็จของผู้ใช้บริการแต่ละรายที่ทำการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นเวลาหลาย ๆ เฟรม หากพบว่าผู้ใช้บริการรายใดที่ประสบความสำเร็จบ่อยครั้งกว่าผู้ใช้บริการรายอื่น ก็สามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่าผู้ใช้บริการรายนั้นเป็นผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง 2. ในกรณีที่ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้จำนวนโทเค็นในการจองมากกว่าผู้ใช้บริการรายอื่น ในกรณีนี้การตรวจจับจะสามารถกระทำได้ง่ายกว่า เนื่องจากสถานีฐานจะส่งผลการจองช่องสัญญาณให้ผู้ใช้บริการรายแต่ละรายทราบหลังจากสิ้นสุดการจองในแต่ละเฟรม ดังนั้นหากผู้ใช้บริการรายใดได้รับผลการจองมากกว่า 1 ครั้ง ระบบก็จะสามารถทราบได้ว่าผู้ใช้บริการรายนั้นเป็นผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข สำหรับการลงโทษผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้น สามารถกระทำได้คือ ปฏิเสธการจองของผู้ใช้บริการรายนั้นเป็นการชั่วคราว หรือ ปฏิเสธการจองของผู้ใช้บริการรายนั้นเป็นการถาวร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ระบบการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการจองช่องสัญญาณที่กำหนดลำดับความสำคัญของผู้ใช้บริการได้

2. เนื่องระบบการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้วิเคราะห์หาสมรรถนะของทุกระบบที่ได้นำเสนอ แต่ยังไม่ได้อวิเคราะห์หาเวลาประวิงในการจอง ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกค่าหนึ่งสำหรับการวัดสมรรถนะทำงาน ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ของแต่ละระบบเป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงควรทำการวิเคราะห์หาเวลาประวิงในการส่งแพ็กเก็ตการจองเพิ่มเติม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง.

1. Tanenbaum, A. S. Computer Networks . 3rd ed. New Jersey : Prentice Hall, 1996.
2. Bertsekas, D. and Gallager, R. Data Network . 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
3. T. Nguyen and T. Suda. Survey and Evaluation of Multiple Access Protocols in Multimedia Satellite Networks. IEEE Proceedings of Southeastcon. (1990) : 408-413.
4. H. Peyravi. Medium Access Control Protocols Performance in Satellite Communications. IEEE Communication Magazine. 37, 3 (March 1999) : 62-71.
5. D.J. Goodman, R.A. Valenzuela, K.T. Gayiand and B. Ramamurthi. Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications. IEEE Transactions on Communications. 37, 8 (August 1989): 885-890.
6. N. Golmie, Y. Saintillan and D.H. Su. A review of Contention Resolution Algorithms for IEEE 802.14 Networks. IEEE Communications Surveys. (First Quarter 1999)
Available from: <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>
7. D. Raychaudhuri. Wireless ATM Networks: Technology Status and Future Directions. Proceedings of the IEEE. 87, 10 (October 1999): 1790-1806.
8. G. Anastasi and L. Lenzini. HIPERLAN/1 MAC Protocol: Stability and Performance Analysis. IEEE Journal on Selected Area in Communications. 18, 9 (September 2000): 1787-1798.
9. H. Bolcskei, A.J. Pauraj, K.V.S. Hari and R.U. Nabar. Fixed Broadband Wireless Access: State of the Art, Challenges, and Future Directions. IEEE Communications Magazine. 39, 1 (January 2001): 100-108.
10. D.G. Jeong and W.S. Jeon. Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment. IEEE Transactions on Vehicular Technology 44, 3, (August 1995) : 470-479.
11. I. F. Akyildiz and J. McNair. Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks. IEEE Network. 3, 4 (July / August 1999) : 39-47.

12. J. Frigon, V.C.M. Leung and H.C.B Chan. Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM Networks. IEEE Journal on Selected Area in Communications. 19, 2 (February 2001) : 370-383.
13. T. Suzuki and S. Tasaka. A Performance Comparison of ALOHA-Reservation and PRMA in Integrated Voice and Data Wireless Local Area Networks. IEEE Proceedings of TENCON. 2, 7 (1992) : 754-758.
14. J.F. Frigon and V.C.M. Leung. A Pseudo-Bayesian Aloha Algorithm with Mixed Priorities for Wireless ATM. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. 1 (1998): 45-49.
15. N. Sivamok, L. Wuttisittikulkij and Charoenpanitkit. A. New Channel Reservation Technique for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems. IEEE Proceedings of Globecom. (November 2001)
16. P. Suwanpakdee, P. Sedtheetorn, A. Thanasorawit and L. Wuttisittikulkij. On the Design of a Media Access Control Protocol for Integrated Voice and Data Services in Wireless Communications. ISAS2000. (July 2000).
17. ณัฐพล ศิวาโมกษ์. เทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
18. อัครภัทร เจริญพานิชกิจ. การพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบที่มีเวลาประวิงเวลาสัมพัทธ์ยาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

1. ชโลธร ชนะสงค์ และลัญฉกร วุฒิสิตธุกุลกิจ. การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (พฤศจิกายน 2547):433-436.
2. ชโลธร ชนะสงค์, วรากร ศรีเซวทรทรัพย์ และลัญฉกร วุฒิสิตธุกุลกิจ. การประเมินสมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขด้วยวิธีการประวิงเวลาในการเข้าจอง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (ตุลาคม 2548):709-712.
3. C.Chanasong, A. Suriya, W. Srichavengsup, and L.Wuttisttikulkij. Channel Reservation Techniques under Misbehaved Users in High Bit-Rate Wireless Communication Systems. TENCON2004. 2004 IEEE Region 10 Conference vol.3 (November 2004): 17-20
4. C.Chanasong, W. Srichavengsup, and L.Wuttisttikulkij. A Robustness Analysis of a Practical Contention Resolution Algorithm under Misbehaved Users in Wireless Communication Systems. ICACT 2006 (February 2006).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข

A Performance Analysis of a Channel Reservation Technique under Misbehaved Users

ชโลธร ชนะสงค์ และลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330
โทร: 022186908 โทรสาร: 022518991 Email : wlunchak@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณ CFP สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่มีต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการเข้าถึงช่องสัญญาณอย่างเห็นได้ชัด หากมีผู้ใช้ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ได้ตกลงกันไว้

Abstract

This paper presents a mathematical analysis of a channel reservation technique referred to as CFP for media access control protocol in systems with two groups of users, *i.e.* general and misbehaved users. The objective is to evaluate the effect of some misbehaved users on the overall system performance. Numerical results show that the probability of success in reservation clearly degrades if some users do not follow the agreed rule.

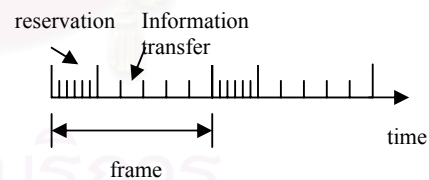
Keywords: MAC Protocol, CFP

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบสื่อสารรูปแบบใหม่ๆ เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นระบบสื่อสารไร้สายซึ่งมีการพัฒนาอยู่เสมอมา เนื่องจากระบบสื่อสารไร้สายมีความสะดวกสบายในการใช้งานเป็นอย่างมาก สามารถนำไปใช้ได้ในทุกโอกาสและทุกสถานที่ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงมีผู้ใช้บริการให้ความสนใจใช้บริการระบบสื่อสารไร้สายจำนวนมาก แต่ด้วยข้อจำกัดในส่วนของช่องสัญญาณที่ไม่สามารถจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมากได้เพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocols หรือ MAC protocols) เข้ามาทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้

เกิดประโยชน์แก่ผู้ใช้บริการสูงสุด โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท [1] คือ โพรโทคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol), โพรโทคอลที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol) และโพรโทคอลที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free & Contention-Based MAC Protocol)

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณเป็นโพรโทคอลที่มีความยืดหยุ่นและมีกลไกการทำงานที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีการจัดโครงสร้างของเฟรมออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงการจอง ซึ่งจะแบ่งเป็นสล็อตขนาดเล็กเพื่อใช้ในการจอง เรียกว่า สล็อตการจอง และช่วงการส่งข่าวสาร ซึ่งจะถูกแบ่งเป็นสล็อตเพื่อใช้ในการส่งข่าวสาร เรียกว่า สล็อตข่าวสาร ดังแสดงในรูปที่ 1 ผู้ใช้บริการจะต้องประสบความสำเร็จในช่วงการจองมาก่อนจึงจะได้รับอนุญาตให้ส่งข่าวสารได้ ดังนั้นการทำงานในช่วงการจองจึงมีผลต่อสมรรถนะของระบบ เพราะหากผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการจองแล้ว การส่งข่าวสารก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 โครงสร้างของเฟรม

บทความ [2] ได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบที่มีเวลาประจำการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประจำการส่งสัญญาณ และได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบในรูปของความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะประสบความสำเร็จในการเข้าจอง โดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยระบบดังกล่าวมีข้อตกลงร่วมกันว่าการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจองเดียวกัน บทความนี้ขยายการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบให้ครอบคลุมถึงสถานะที่ระบบมีผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง

ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดของสถานีฐานหรือตัวผู้ให้บริการเอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของระบบโดยรวม ฉะนั้น ในระบบที่จะพิจารณาต่อไปนี้จะประกอบด้วยผู้ให้บริการ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ให้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ในการประเมินสมรรถนะของระบบดังกล่าวนี้จะได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์

2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP (Cascade Fixed Probability)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP [2] นี้ ผู้ให้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารแต่ละรายจะตัดสินใจเข้าจองช่องสัญญาณด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่งเท่ากันทุกราย ตั้งแต่สล็อตการจองแรกจนถึงสล็อตการจองสุดท้ายภายใน 1 เฟรม โดยก่อนจะตัดสินใจเข้าจองผู้ให้บริการแต่ละราย จะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 เพื่อลดโอกาสการชนกันของแพ็คเกจการจอง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มของผู้ให้บริการรายใดมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่กำหนดไว้ ผู้ให้บริการรายนั้นก็จะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ ซึ่งผู้ให้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม สามารถหาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) ได้ตามที่เสนอในเอกสารอ้างอิง [2] ดังนี้

ให้ $T [m, n, p]$ คือ จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองในระบบ ซึ่งประกอบด้วยผู้ให้บริการ m คน และจำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

ให้ $P [k | m, n]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่มีผู้ให้บริการ k รายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองทั้งหมด m คน และใช้ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองเท่ากับ p

ดังนั้นจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระบบ คือ

$$T [m, n, p] = \sum_{k=0}^m k \cdot P [k | m, n] \quad (1)$$

โดยที่

$$P [k | m, n] = b [m, 0, p] P [k | m, n - 1] + b [m, 1, p] P [k - 1 | m - 1, n - 1] + \sum_{i=2}^m b [m, i, p] P [k - i, n - 1] \quad (2)$$

เมื่อค่าเริ่มต้นของสมการ (2) คือ

$$P [k | m, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m = 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m = 0, n \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

จากสมการที่ (1) สามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่ทำให้ได้จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระบบสูงสุด คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (1) เทียบกับ p เป็นศูนย์

3. ระบบการจองช่องสัญญาณที่มีผู้ให้บริการ 2 กลุ่ม (Cascade Fixed Probability + 2 Group: CFP+2G)

ระบบการจองนี้จะแบ่งผู้ให้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่ทำให้ได้จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จจากวิธี CFP โดยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองจะคิดจากจำนวนผู้ให้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารทั้งหมดในระบบสัมพันธ์กับจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ภายในเฟรม ส่วนในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองอีกค่าหนึ่งที่ทำให้ผู้ให้บริการกลุ่มนี้มีโอกาสในการเข้าจองมากกว่ากลุ่มแรก ซึ่งทั้งสองกลุ่มก่อนที่จะเข้าจองก็จะมีกรสุ่มค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้แต่ละรายทุกครั้ง เพื่อจำกัดจำนวนผู้ให้บริการซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการชนกันได้อีกครั้งหนึ่ง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองก็จะสามารถทำการเข้าจองได้ และผู้ใช้แต่ละรายสามารถเข้าจองได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม ในระบบการจองนี้สามารถหาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) ได้ดังนี้

ให้ $T [m_1, m_2, n, p_1, p_2]$ คือ จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองในระบบซึ่งประกอบด้วยผู้ให้บริการในกลุ่มแรก m_1 คน, ผู้ให้บริการในกลุ่มที่ 2 เท่ากับ m_2 คน และจำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

ให้ $P [k_1, k_2 | m_1, m_2, n, p_1, p_2]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่มีผู้ให้บริการ k_1 รายและ k_2 ราย สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองทั้งหมด m_1 คนและ m_2 คนตามลำดับ

ดังนั้นจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองสามารถแสดงด้วยในรูปค่าความน่าจะเป็นได้ดังนี้

$$T [m_1, m_2, n, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} k_1 \cdot P [k_1, k_2 | m_1, m_2, n] + \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_1=0}^{m_1} k_2 \cdot P [k_1, k_2 | m_1, m_2, n] \quad (4)$$

โดยที่

$$P [k_1, k_2 | m_1, m_2, n] = b [m_1, 0, p_1] b [m_2, 0, p_2] P [k_1, k_2 | m_1, m_2, n - 1] + b [m_1, 1, p_1] b [m_2, 0, p_2] P [k_1 - 1, k_2 | m_1 - 1, m_2, n - 1] + b [m_1, 0, p_1] b [m_2, 1, p_2] P [k_1, k_2 - 1 | m_1, m_2 - 1, n - 1] + b [m_1, 0, p_1] \sum_{i=2}^{m_1} b [m_2, i, p_2] P [k_1, k_2 | m_1, m_2 - i, n - 1] + b [m_2, 0, p_2] \sum_{i=2}^{m_2} b [m_1, i, p_1] P [k_1, k_2 | m_1 - i, m_2, n - 1] + \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_2} b [m_1, i_1, p_1] b [m_2, i_2, p_2] P [k_1, k_2 | m_1 - i_1, m_2 - i_2, n - 1] \quad (5)$$

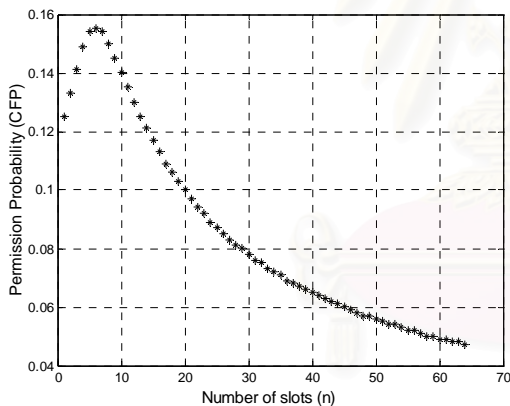
ค่าเริ่มต้นของสมการ (5) คือ

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 + k_2 > n, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 = 0, n \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในส่วนนี้จะได้นำสมการ (1) และ (4) ที่ได้แสดงไว้ในส่วนก่อนหน้า มาใช้ในการคำนวณสมรรถนะของระบบ ที่วัดจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

พิจารณาผลการทดลองในรูปที่ 2 เป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการ (ในที่นี้มี 8 ราย) และจำนวนสล็อตการจองกับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่เหมาะสมของวิธี CFP ซึ่งจะนำไปใช้กับระบบการจองที่นำเสนอในหัวข้อที่แล้ว จะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสล็อตการจอง โดยถ้าสล็อตการจองมากค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจะมีค่าลดลง เนื่องจากผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องรีบทำการจอง

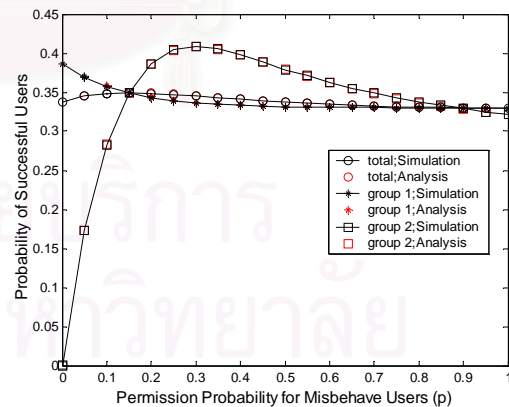


รูปที่ 2 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของ CFP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 8 ราย และสล็อตการจองค่าต่างๆกัน

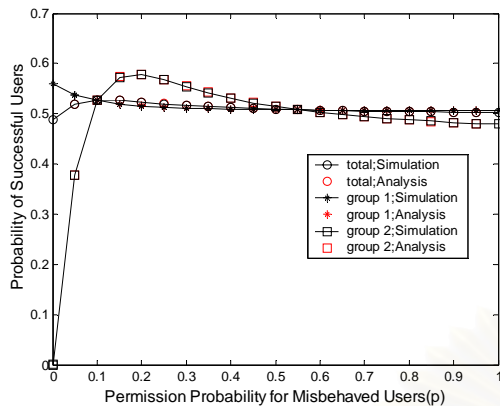
จากผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 2 จะนำค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการตัดสินใจเข้าจองไปใช้ในการทดลองระบบการจองที่ได้นำเสนอไปแล้ว โดยกำหนดให้มีผู้ใช้บริการที่ต้องการจองช่องสัญญาณทั้งหมด 8 ราย และจะแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปจะมีผู้ใช้บริการ 7 ราย ส่วนในกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขซึ่งจะมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียว และให้ผู้ใช้บริการในกลุ่มแรกใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองเท่ากับ 0.15, 0.1 และ 0.05 ในกรณีที่มิสล็อตการจองเป็น 8, 16 และ 64 สล็อตตามลำดับ ส่วนในกลุ่มที่ 2 จะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

พิจารณาผลการทดลองในรูปที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง พบว่าในรูปที่ 3 และ 4 จะมีช่วงความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของกลุ่มที่ 2 ใช้แล้วทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มที่ 2 มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มที่ 1 แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 5 จะพบว่าไม่มีค่าความน่าจะเป็นค่าใดที่กลุ่มที่ 2 ใช้แล้วสามารถทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มที่ 2 มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มแรก ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ระบบมีจำนวนสล็อตน้อย ๆ เมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้บริการ การเข้าจองของผู้ใช้บริการจะมีมากในทุกสล็อตและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมก็มีค่ามากด้วย ดังนั้นเมื่อมีผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นมากกว่าผู้ใช้บริการรายอื่นก็จะสามารถประสบความสำเร็จได้มากกว่า แต่เมื่อมีสล็อตการจองมากการเข้าจองของผู้ใช้บริการจะกระจายไปในทุกสล็อตและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมมีค่าน้อย ดังนั้นเมื่อมีผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นมากกว่าผู้ใช้บริการรายอื่นก็ไม่มีผล

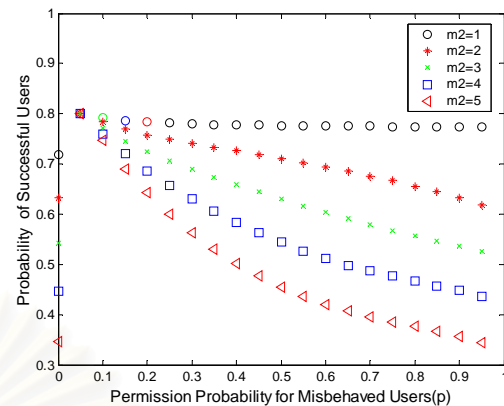
เมื่อมาพิจารณาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบของทั้ง 3 รูป จะพบว่าไม่มีค่าความน่าจะเป็นค่าใดที่กลุ่ม 2 ใช้แล้วทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบมากกว่ากรณีที่ทั้ง 2 กลุ่มใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองเท่ากัน ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าการที่ระบบมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงการเข้าใช้ช่องสัญญาณแม้เพียงรายเดียวจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของผู้ใช้ในระบบโดยรวม



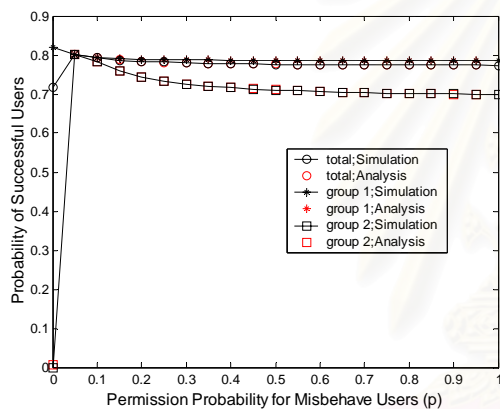
รูปที่ 3 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนสล็อตการจอง 8 สล็อต



รูปที่ 4 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและจำนวนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต



รูปที่ 6 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ เมื่อใช้ระบบการจองแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนสล็อตการจอง 64 สล็อต



รูปที่ 5 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่ม เมื่อใช้ระบบการจองแบบ CFP+2G โดยมีจำนวนสล็อตการจอง 64 สล็อต

การนำเสนอผลการทดสอบในส่วนสุดท้ายนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบของการที่ระบบมีสัดส่วนของผู้ใช้ที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น รูปที่ 6 แสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ 8 ราย และมีสล็อตการจองเท่ากับ 64 ช่อง โดยปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ 2 เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ 2 เพิ่มมากขึ้น ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะประสบความสำเร็จทั้งระบบมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้เป็นผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ปรับเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจของสูงขึ้นไปกว่าที่ได้ตกลงไว้ ส่งผลให้มีผลกระทบมากขึ้น

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับ โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่มีชื่อเรียกว่า CFP สำหรับกรณีที่ผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขตามที่ตกลงไว้ โดยใช้คณิตศาสตร์ควบคู่กับการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ จากผลการทดสอบพบว่าหากผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจของขึ้น จะสามารถประสบความสำเร็จได้มากกว่าผู้ใช้บริการทั่วไป อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของความสำเร็จในการเข้าจองจะเห็นได้ชัดเจนเฉพาะในสถานะที่ระบบมีจำนวนช่องการจองน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้บริการเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าหากระบบมีผู้ใช้ที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขแม้เพียงส่วนน้อย สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบได้ และถึงระบบมีผู้ใช้ที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมากขึ้นสมรรถนะโดยรวมจะเลวลงอย่างมาก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrew S.Tanenbaum, *Computer Networks*, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc, 1996.
- [2] N. Sivamok, L.Wuttisittikulki, and A.Charoenpanitkit, "New Channel Reservation Techniques for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, vol. 6, pp.3558-3562, 2001.
- [3] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, pp. 885-890, 1989.
- [4] Peravi H., "Medium Access Control Protocols Performance in Satellite Communications," *IEEE Communication Magazine*, vol. 37, no. 3, pp. 62-71, 1999.
- [5] Wha Sook Jeon, Dong Geun Jeong, and Chong-Ho Choi "An Integrated Services MAC Protocol for Local Wireless Communications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 47, no. 1, 1998.
- [6] Sanchez J., Marinez R., and Marcellin M.W., "A Survey of MAC Protocols Proposed for Wireless ATM," *IEEE Network*, vol. 11, no.6, pp. 52-62, 1997.

การประเมินสมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขด้วยวิธีการ ประวิงเวลาในการเข้าจอง

A Performance Evaluation of Channel Reservation System under Misbehaved Users Using the Time Delay Scheme

ชโลธร ชนะสงค์, วรากร ศรีเชวงทรัพย์ และลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

โทร: 022186908 โทรสาร: 022518991 Email : wlunchak@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย ในกรณีที่ระบบประกอบด้วยกลุ่มผู้ใช้บริการ 2 กลุ่มคือ กลุ่มผู้ใช้บริการทั่วไปและกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการที่ระบบมีผู้ใช้บางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่มีต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการเข้าจองของกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไปน้อยมาก แต่มีผลให้ความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการจองของระบบเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง, การจองช่องสัญญาณแบบ CFP

Abstract

This paper presents an analysis of a channel reservation system for media access control protocol in wireless communication system with two groups of users, *i.e.* general and misbehaved users. The objective is to evaluate the effect of some misbehaved users on the overall system performance. The results show that the misbehaved user does not cause significant effect to the normal user performance.

Keywords: MAC Protocol, CFP

1. บทนำ

ทุกวันนี้การติดต่อสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งรูปแบบการติดต่อสื่อสารมีมากมายหลากหลายชนิด หนึ่งในจำนวนนั้นก็คือ การสื่อสารแบบไร้สาย ระบบการสื่อสารแบบไร้สายถูกนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากจุดเด่นที่สามารถนำไปใช้ได้ทุกโอกาสและทุกสถานที่ ดังนั้นจึงมีผู้นิยมใช้กันเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ

ซึ่งเป็นผลให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถรองรับให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocols หรือ MAC protocols) เข้ามาทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ใช้บริการสูงสุด

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ผสมเทคนิคการช่วงชิงและไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ [1] เป็นโพรโทคอลที่มีความยืดหยุ่นและมีกลไกการทำงานที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการจัดโครงสร้างของเฟรม [2] ออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงการจอง ซึ่งจะแบ่งเป็นสล็อตขนาดเล็กเพื่อใช้ในการจอง เรียกว่า สล็อตการจอง และช่วงการส่งข่าวสาร ซึ่งจะถูกแบ่งเป็นสล็อตเพื่อใช้ในการส่งข่าวสาร เรียกว่า สล็อตข่าวสาร โดยผู้ใช้บริการจะต้องประสบความสำเร็จในช่วงการจองมาก่อนจึงจะได้รับอนุญาตให้ส่งข่าวสารได้ ดังนั้นการทำงานในช่วงการจองจึงมีผลต่อสมรรถนะของระบบ เพราะว่าหากผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการจองแล้ว การส่งข่าวสารก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทความ [3] ได้เสนอระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่มีผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข สำหรับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ 1. เพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจในการเข้าจอง 2. เพิ่มจำนวนครั้งในการเข้าจองในแต่ละเฟรม ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไปอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นในส่วนของบทความนี้จะนำเสนอระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายที่มีผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขด้วยวิธีการประวิงเวลา ที่มีชื่อว่า CFP+2G+SRT ซึ่งวิธีการนี้เป็นผลมาจากเทคนิคการจองแบบ Cascade Fixed Probability (CFP) [2] โดยผู้ใช้บริการส่วนใหญ่จะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองช่วงแรก ๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้ช่องสัญญาณช่วงท้ายมีผู้ใช้บริการเข้าจองน้อย ด้วยเหตุ

นี้ระบบการจองแบบ CFP+2G+SRT จึงให้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขประวัติเวลาในการเข้าจอง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบและผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้บริการรายอื่น

2. ระบบการจองช่องสัญญาณที่มีผู้ใช้บริการ 2 กลุ่ม (Cascade Fixed Probability + 2 Group + Shift Reservation Time: CFP+2G+SRT)

ระบบการจองนี้จะแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองที่ทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จจากวิธี CFP [2, 3] โดยค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองจะคิดจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารทั้งหมดในระบบสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณการจองที่มีอยู่ในเฟรม ส่วนในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองอีกค่าหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้บริการกลุ่มนี้มีโอกาสในการเข้าจองมากกว่ากลุ่มแรกและจะประวัติเวลาการเข้าจองให้ช้ากว่ากลุ่มแรก ซึ่งทั้งสองกลุ่มก่อนที่จะเข้าจองก็จะมีการสุ่มค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้แต่ละรายทุกครั้ง เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการชนกันได้อีกครั้งหนึ่ง หากค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองก็จะสามารถทำการเข้าจองได้ และผู้ใช้แต่ละรายสามารถเข้าจองได้เพียงครั้งเดียวภายใน 1 เฟรม ในระบบการจองนี้ยังไม่สามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) ในรูปแบบสมการอย่างง่ายได้ ดังนั้นจึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่านี้ดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 ให้ระบบการจองช่องสัญญาณแบบ CFP+2G+SRT มีผู้ใช้บริการทั้งหมด 3 ราย แบ่งเป็นผู้ใช้บริการทั่วไป 2 ราย ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข 1 ราย และช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 4 สล็อต โดยให้ผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขประวัติเวลาการเข้าจอง ซึ่งจะเริ่มเข้าจองในสล็อตที่ 3 จะสามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการทั้งระบบ และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการทั่วไป คือ

$$\begin{aligned}
 & 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)) + 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)(1-p_2)) + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)(1-p_2)^2) \\
 & + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^2) + 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 (1-p_2)) + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)^2 (1-p_2)^2) \\
 & + 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^4) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 (1-p_2)) \\
 & + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)^3 (1-p_2)^2) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2)) + (2p_1 (1-p_1)^4 (1-p_2)^2) \\
 & + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3) + 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 (1-p_2)) + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)^3 (1-p_2)^2) \\
 & + 2 \times (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^4) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^5) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2)) \\
 & + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)^4 (1-p_2)^2) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^5 (1-p_2)) + (2p_1 (1-p_1)^5 (1-p_2)^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^5) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^5 (1-p_2)) + 2 \times (2p_1^2 (1-p_1)^5 (1-p_2)^2) \\
 & + (2p_1 p_2 (1-p_1)^6 (1-p_2)) + (2p_1 (1-p_1)^6 (1-p_2)^2) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^7) \\
 & + (2p_1 (1-p_1)^7 (1-p_2)^2)
 \end{aligned} \tag{1}$$

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข คือ

$$\begin{aligned}
 & p_1^2 p_2 + p_1^2 p_2 (1-p_2) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)(1-p_2)) \\
 & + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 (1-p_2)) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^4) \\
 & + (2p_1 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2)) + (p_1^2 p_2 (1-p_1)^2) + (p_1^2 p_2 (1-p_1)^2 (1-p_2)) \\
 & + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^3 (1-p_2)) + (2p_1^2 p_2 (1-p_1)^4) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^5) \\
 & + (2p_1 p_2 (1-p_1)^5 (1-p_2)) + (p_1^2 p_2 (1-p_1)^4 (1-p_2)) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^6 (1-p_2)) \\
 & + (p_1^2 p_2 (1-p_1)^6) + (2p_1 p_2 (1-p_1)^7) + (p_2 (1-p_1)^8) + (p_2 (1-p_1)^8 (1-p_2)) \tag{2}
 \end{aligned}$$

และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของผู้ใช้บริการทั้งระบบ คือ (1) และ (2)



รูปที่ 1 ตัวอย่างการหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users)

3. ผลการจำลองและวิเคราะห์

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบการจองแบบ CFP+2G+SRT จากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จทั้งระบบ โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

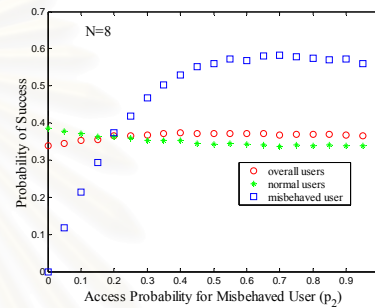
จากเทคนิคการจองแบบ CFP จะนำความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการตัดสินใจเข้าของไปใช้ในการทดลองระบบการจองที่ได้นำเสนอไปแล้ว โดยกำหนดให้มีผู้ให้บริการที่ต้องการจองช่องสัญญาณทั้งหมด 8 ราย และจะแบ่งผู้ให้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มผู้ให้บริการทั่วไปจะมีผู้ให้บริการ 7 ราย ส่วนในกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขซึ่งจะมีผู้ให้บริการเพียงรายเดียว และให้ผู้ให้บริการในกลุ่มแรกใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของเท่ากับ 0.15, 0.1 และ 0.05 ในกรณีที่มีสล็อตการจองเป็น 8, 16 และ 64 สล็อตตามลำดับ ส่วนในกลุ่มที่ 2 จะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

พิจารณาผลการจำลองในรูปที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของของกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง ซึ่งกำหนดให้ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขช่วงเวลาในการเข้าของ โดยจะเข้าจองเมื่อช่องสัญญาณผ่านการจองไปแล้วครึ่งหนึ่งของช่องสัญญาณที่มีพบว่าเมื่อผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของมากกว่าแล้วทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มนี้มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในกลุ่มผู้ให้บริการทั่วไป ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากเทคนิคการจองแบบ CFP ซึ่งผู้ให้บริการส่วนใหญ่จะเข้าจองในช่องสัญญาณการจองช่องแรก ๆ หนาแน่นมาก ดังนั้นหากมีผู้ให้บริการบางรายเข้าจองในช่องสัญญาณท้าย ๆ ประกอบกับเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของด้วยแล้ว โอกาสในการที่จะประสบความสำเร็จจะมีมากขึ้น

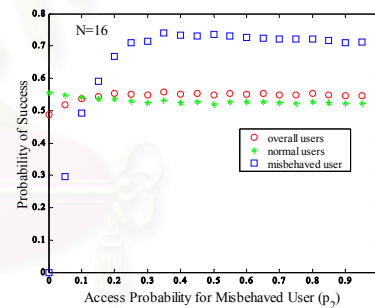
เมื่อมาพิจารณาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบพบว่าค่านี้ไม่ได้ลดลงแต่กลับจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อมีผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เนื่องจากการที่ช่องสัญญาณที่มีการเข้าจองน้อยกลับมีการเข้าจองเพิ่มขึ้น

พิจารณาผลการจำลองในรูปที่ 5 แสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม กับค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของของกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง ซึ่งกำหนดให้ผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขช่วงเวลาในการเข้าของ โดยจะเข้าจองเมื่อช่องสัญญาณผ่านการจองไปแล้ว 3/4, 1/2 และ 1/4 ของช่องสัญญาณตามลำดับ พบว่าในกรณีที่เข้าจองเมื่อช่องสัญญาณผ่านการจองไปแล้ว 1/4 ของช่องสัญญาณ ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของของกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจองจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากในช่องสัญญาณท้าย ๆ ผู้ให้บริการรายอื่นเข้าจองน้อยมาก ดังนั้นหากมีผู้ให้บริการรายใดเริ่มเข้าจองและใช้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองมีค่ามากแล้วด้วย โอกาสที่ประสบความสำเร็จจะมีสูงมาก

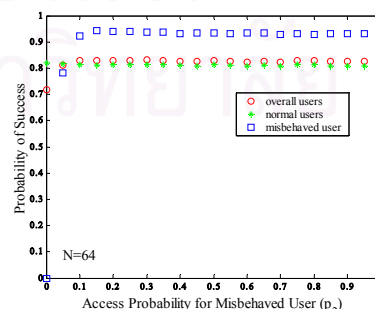
เมื่อมาพิจารณาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบพบว่าในกรณีที่เข้าจองเมื่อช่องสัญญาณผ่านการจองไปแล้ว 1/4 ของช่องสัญญาณที่มี ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าของของระบบ มีค่าสูงสุด ด้วยเหตุผล คือ กลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขส่งผลกระทบต่อผู้ให้บริการทั่วไปน้อยมาก ซึ่งทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของผู้ให้บริการทั่วไปมีค่าเกือบจะเท่าเดิม แต่ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จของกลุ่มผู้ให้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบในกรณีนี้จึงมีค่าสูงสุด



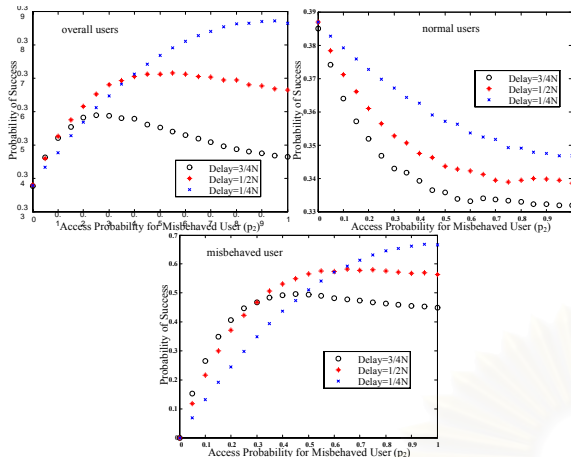
รูปที่ 2 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและในแต่ละกลุ่ม โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจอง 8 สล็อต



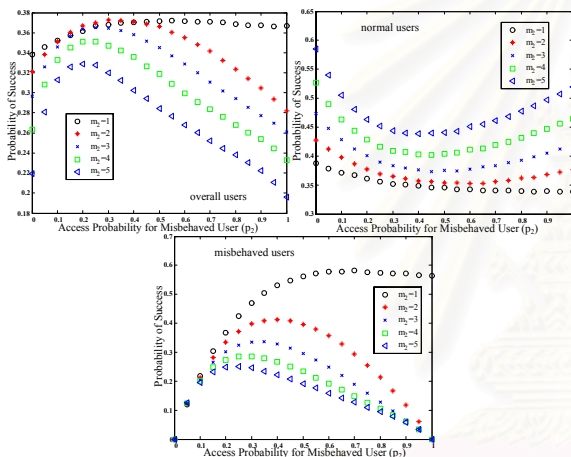
รูปที่ 3 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและในแต่ละกลุ่ม โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 16 สล็อต



รูปที่ 4 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและในแต่ละกลุ่ม โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 64 สล็อต



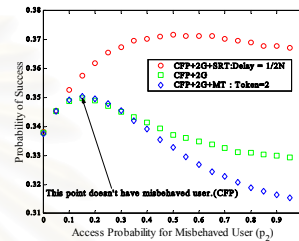
รูปที่ 5 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและในแต่ละกลุ่ม โดยมีช่องสัญญาณในการจอง 8 สล็อตและเวลาประวิงค่าต่าง ๆ



รูปที่ 6 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบและในแต่ละกลุ่ม โดยมีช่องสัญญาณการจอง 8 สล็อต เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมีค่าต่าง ๆ

พิจารณาในกรณีที่ระบบมีสัดส่วนของผู้ใช้ที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 6 แสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ และความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จในแต่ละกลุ่มในกรณีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อผ่านการจองมาแล้วครึ่งหนึ่งของช่องสัญญาณที่มี โดยปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะประสบความสำเร็จในกลุ่มนี้ค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้ใช้บริการในกลุ่มนี้เป็นผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข การเข้าจองในช่องสัญญาณท้าย ๆ ซึ่งแต่เดิมมีผู้ใช้บริการเข้าจองน้อย ด้วยความน่าจะเป็นในการตัดสินใจที่มีค่ามาก การชนกันของแพ็คเกจการจองจะมีมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบมีค่าลดลงด้วย

ในส่วนสุดท้ายนี้จะนำเสนอผลการจำลองระบบการจองแบบ CFP+2G+SRT และระบบการจองช่องสัญญาณในบทความ [3] พิจารณา รูปที่ 7 แสดงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบ พบว่าระบบการจองที่นำเสนอในบทความนี้จะมีค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบมากกว่าระบบการจองแบบอื่น ๆ และมีค่ามากกว่ากรณีที่ผู้ใช้บริการทุกรายปฏิบัติตามเงื่อนไขในการจอง เนื่องจากระบบการจองนี้ผู้ใช้ที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการรายอื่น แต่สามารถที่จะเข้าจองได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ระบบนี้มีสมรรถนะดีขึ้น



รูปที่ 7 ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ประสบความสำเร็จทั้งระบบการจองแบบต่าง ๆ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณการจองเท่ากับ 8 สล็อต

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณสำหรับ โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย สำหรับกรณีที่ผู้ใช้บริการบางรายไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งมีชื่อว่า CFP+2G+SRT จากผลการจำลองพบว่าหากระบบมีผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเข้าจองช่องสัญญาณ จะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั่วไปน้อยมาก แต่กลับทำให้ระบบดีขึ้น เมื่อเทียบกับระบบการจองแบบ CFP และแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีการใช้ช่องสัญญาณในการจองในส่วนท้าย ๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า การเริ่มเข้าจองของผู้ใช้บริการในกลุ่มที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในช่วงช่องสัญญาณช่องท้าย ๆ จะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการรายอื่นน้อยที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามมีผู้ใช้บริการที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น การเข้าจองช่วงท้าย ๆ ก็จะไม่ผล แต่กลับทำให้ระบบแย่ลงอย่างเห็นได้ชัด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ประจำปี 2548 ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrew S.Tanenbaum, *Computer Networks*, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc, 1996.
- [2] N. Sivamok, L.Wuttistitkulij, and A.Charoenpanitkit, "New Channel Reservation Techniques for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, vol. 6, pp.3558-3562, 2001.
- [3] C. Chanasong, A. Suriya, W. Srichavengsup, and L.Wuttistitkulij, "Channel Reservation Techniques under Misbehaved Users in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," *TENCON2004. 2004 IEEE Region 10 Conference*, vol.C, pp.17-20, 2004.

CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES UNDER MISBEHAVED USERS IN HIGH BIT-RATE WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Chalotorn Chanasong¹, Atipong Suriya², Warakorn Srichavengsup³, and Lunchakorn Wuttisittikulkij¹

¹Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

²Department of Electrical and Electronic Engineering, Ubonratchathani University, Ubonratchathani, Thailand

³Department of Electrical Engineering, Siam University, Bangkok, Thailand

Tel: +66-221-86908 Fax: +66-2218-6912 Email: wlunchak@chula.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a mathematical analysis of a channel reservation technique referred to as CFP for medium access control protocol in high bit-rate wireless communication systems with two groups of users, *i.e.* normal and misbehaved users. Two different misbehaving scenarios are investigated, namely Cascade Fixed Prop + 2 Group (CFP+2G) and Cascade Fixed Prop + 2 Group + Multi-Token (CFP+2G+MT). The objective is to evaluate the effect of some misbehaved users on the overall system performance. Numerical results show that the probability of success in reservation clearly degrades if some users do not follow the agreed rule.

1. INTRODUCTION

An effective medium access control (MAC) protocol is an essential component of future broadband mobile communication systems. Fig. 1 shows the frame structure of a possible and effective MAC protocol, in which the communication channel bandwidth is divided into two parts, namely reservation and information transfer. The reservation part consists of a number of request slots, which are used by all users to reserve for channel bandwidth on a contention basis. A user who succeeds in the reservation process will be assigned the data slots by the base station in the information parts for his information transmission. This paper concentrates on the issue of contention resolution algorithm used in the reservation period, specifically the CFP (Cascade Fixed Probability) algorithm which was previously proposed in [1].

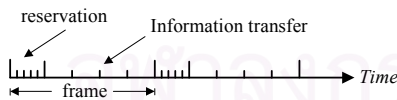


Fig.1. Frame structure

The objective is to investigate the robustness of the CFP algorithm under the condition that some users do not conform to the agreed rule. This situation may arise because some system components are not functioning properly or users themselves deliberately violate the rule in order to obtain better access. Therefore it is interesting to see how these misbehaved users will affect the channel access performance of other normal users and the overall system performance. Two different misbehaving

scenarios are considered here and referred to as Cascade Fixed Prop + 2 Group (CFP+2G) and Cascade Fixed Prop + 2 Group + Multi-Token (CFP+2G+MT). For both scenarios, the system performance is mathematically analyzed and evaluated in terms of the average number of successful users so that the success rates of the normal and misbehaved users can be numerically compared. Computer simulation is also conducted to validate the mathematical model.

2. THE CFP+2G SYSTEM

In the CFP+2G (Cascade Fixed Prob + 2 Group) system, users are divided into two groups. The first group is normal users and the second group is misbehaved users. Each user in the same group will reserve the request slot from the first slot to the last slot with fixed probability and the value of this probability is the same for all users in the group. The first group uses the appropriate access probability optimally derived for CFP under normal operation whereas the second group applies different access probability either greater or smaller than that of normal users aiming to gain some advantages. Note that users from both groups are entitled to make only a single reservation attempt in each frame as imposed by the CFP algorithm. This system can be mathematically defined as follows.

Let $T[m_1, m_2, n, p_1, p_2]$ be the average number of successful users for a system with m_1 normal users, m_2 misbehaved users and n slots, $P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, p_1, p_2]$ be the probability that k_1 normal users and k_2 misbehaved users succeed in reservation given m_1 normal users, and m_2 misbehaved users competing in a frame of n slots by using access probability of p_1 and p_2 respectively.

$$T[m_1, m_2, n, p_1, p_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} k_1 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] + \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_1=0}^{m_1} k_2 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] \quad (1)$$

when

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] = b[m_1, 0, p_1]b[m_2, 0, p_2]P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n-1] + b[m_1, 1, p_1]b[m_2, 0, p_2]P[k_1-1, k_2 | m_1-1, m_2, n-1] + b[m_1, 0, p_1]b[m_2, 1, p_2]P[k_1, k_2-1 | m_1, m_2-1, n-1]$$

$$\begin{aligned}
& + b[m_1, 0, p_1] \sum_{i_2=2}^{m_2} b[m_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | m_1, m_2 - i_2, n - 1] \\
& + b[m_2, 0, p_2] \sum_{i_1=2}^{m_1} b[m_2, i_1, p_1] P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, m_2, n - 1] \\
& + \sum_{i_1=2}^{m_1} \sum_{i_2=2}^{m_2} b[m_1, i_1, p_1] b[m_2, i_2, p_2] P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, m_2 - i_2, n - 1] \quad (2)
\end{aligned}$$

and the initial condition is

$$P[k_1, k_2 | m_1, m_2, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 + k_2 > n, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + m_2 \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + m_2 = 0, n \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

3. THE CFP+2G+MT SYSTEM

The CFP+2G+MT (Cascade Fixed Prob + 2 Group + Multi-Token) system is almost the same as the CFP+2G system, except that misbehaved users may attempt to access more than once in each frame, hence violating the CFP algorithm. The number of attempts that misbehaved users use is referred to as the number of tokens (T). This system can be mathematically formulated as follows.

Let first define the following variables which are to be used correspondingly in the mathematical analysis:

T_i = the number of tokens for misbehaved user i .

S_i = bit representing whether misbehaved user i has succeeded yet. If $S_i = 0$ means not yet success and $S_i = 1$ means success already.

m_1 = the number of normal users.

m_2 = the number of misbehaved users.

n = the number of reservation slots.

R = the number of remaining misbehaved users in the system.

The average number of successful users is shown in Eq. (4)

$$\begin{aligned}
T[m_1, m_2, n, p_1, p_2] &= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} k_1 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] \\
&+ \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_1=0}^{m_1} k_2 \cdot P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] \quad (4)
\end{aligned}$$

when

$$\begin{aligned}
P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n] &= (1 - p_1)^{m_1} (1 - p_2)^R P_A + p_1 (1 - p_1)^{m_1 - 1} (1 - p_2)^R P_B \\
&+ p_2 (1 - p_2)^{R-1} (1 - p_1)^{m_1} P_C + \sum_{i_1=2}^R p_1^{i_1} (1 - p_1)^{m_1 - i_1} (1 - p_2)^R P_D + \sum_{i_2=2}^R p_2^{i_2} (1 - p_2)^{R - i_2} (1 - p_1)^{m_1} P_{E_{i_2}} \\
&+ \sum_{i_1=1}^R \sum_{i_2=1}^R p_1^{i_1} p_2^{i_2} (1 - p_1)^{m_1 - i_1} (1 - p_2)^{R - i_1 - i_2} P_{F_{i_1, i_2}}
\end{aligned}$$

$$R = m_2 - \text{summation of zero bit of } T_1, T_2, \dots, T_{m_2}$$

$$P_A = P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$P_B = P[k_1 - 1, k_2 | m_1 - 1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$P_C = P[k_1, k_2 - x | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1 + x, S_2, \dots, S_{m_2 - 1}, S_{m_2}, n - 1]$$

$$+ P[k_1, k_2 - x | m_1, T_1, T_2 - 1, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2 + x, \dots, S_{m_2 - 1}, S_{m_2}, n - 1]$$

\vdots

$$+ P[k_1, k_2 - x | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, S_3, \dots, S_{m_2 - 1}, S_{m_2} + x, n - 1]$$

$$x = \begin{cases} 0 & \text{if repeated success} \\ 1 & \text{if new success} \end{cases}$$

$$P_D = P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$P_{E_2} = P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2 - 1, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$+ P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2, T_3 - 1, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

\vdots

$$+ P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2 - 2} - 1, T_{m_2 - 1}, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$+ P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2 - 2}, T_{m_2 - 1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

\vdots

$$P_{ER} = P[k_1, k_2 | m_1, T_1 - 1, T_2 - 1, \dots, T_{m_2 - 2} - 1, T_{m_2 - 1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$P_{F1} = P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1 - 1, T_2, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

$$+ P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1, T_2 - 1, T_3, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

\vdots

$$+ P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2 - 1}, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

\vdots

$$P_{FR} = P[k_1, k_2 | m_1 - i_1, T_1 - 1, T_2 - 1, \dots, T_{m_2 - 2} - 1, T_{m_2 - 1} - 1, T_{m_2} - 1, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n - 1]$$

and initial condition is

$$P[k_1, k_2 | m_1, T_1, T_2, \dots, T_{m_2}, S_1, S_2, \dots, S_{m_2}, n]$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{if } k_1 < 0 \text{ or } k_2 < 0, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 + k_2 > n, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 0 & \text{if } k_1 > m_1 \text{ or } k_2 > m_2, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i = 0, S_i \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k_1 + k_2 = 0, m_1 + T_i \geq 0, S_i \geq 0, n = 0 \end{cases}$$

4. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

All results given here are obtained from the mathematical model described in previous sections. Moreover these result are also confirmed with computer simulations.

4.1 Performance of CFP+2G system

Figs. 2, 3 and 4 depict the probabilities of success of normal, misbehaved and overall users for systems with 8, 16 and 64 slots respectively. In all three cases, the total number of users is set to the same value of 8 with only one of them misbehaving. Normal users adopt the appropriate access probability derived for CFP according to the number of slots and the number of overall users, whereas the misbehaved user varies its access probability from 0 to 1. Consider Fig. 3 where the number of slots ($n = 8$) is the same as the total number of users. It appears that when the misbehaved user increases his access probability above the agreed value ($p = 0.15$), his probability of success improves rapidly. Improvement continues to rise with the increase of access probability till the maximum probability of success is reached at $p = 0.30$. Further increases of access probability beyond this peak result in a reverse effect. Performance of the misbehaved user degrades gradually with the increment of access probability and indeed this gets worse than the normal users at access probability greater than 0.90. These results indicate clearly that the misbehaved user can take advantage of the system by using access probability greater than the agreed value and maximum

gain is achievable by carefully selecting the proper access probability.

When the number of slots is increased to $n=16$, similar results are observed. The misbehaved user is still able to achieve better success probability than normal users by accessing the slot with greater probability than the agreed value. However, the range of access probability that the misbehaved user can adopt to gain better access becomes narrower than the previous case with $n=8$. In fact, this range gets smaller with the increase of number of slots and at $n=64$ the range becomes zero which means that the misbehaved user can no longer accomplish better access than normal users no matter which value of access probability is used.

When considering the success probability of overall users, it is seen that the misbehaved user does not cause significant effect to the overall system performance. This may not be so surprising as only one out of eight users misbehaves. However, when the number of misbehaved users increases from 1 to 5 for $n=64$, the system performance degrades significantly due to excessive collisions as illustrated in Fig. 5, signifying the serious impact of misbehaving users to other normal users.

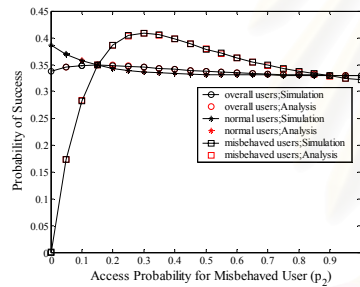


Fig. 2 Performance of CFP+2G with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 8$.

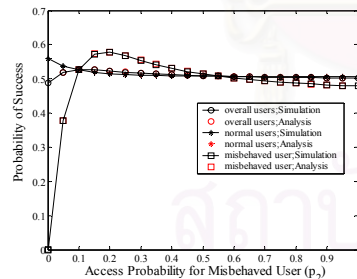


Fig. 3 Performance of CFP+2G with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 16$.

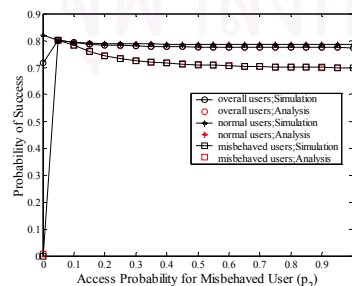


Fig. 4 Performance of CFP+2G with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 64$.

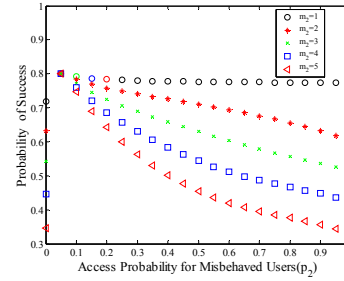


Fig. 5 Performance of CFP+2G with varied number of misbehaved users for systems with $n = 64$.

4.2 Performance of CFP+2G+MT system

For the CFP+2G+MT system, the same system configuration as that of CFP+2G is used for performance evaluation. The number of normal users is set to 7 with one misbehaved user totaling of 8 users. As before, normal users apply the appropriate access probability derived for CFP according to the number of slots and the number of overall users, whereas the misbehaved user varies the access probability from 0 to 1. Four different settings of number of tokens are examined, namely $T = 2, 4, 6, 8$. Numerical results for systems with three distinct numbers of slots $n = 8, 16, 64$ are shown in Figs. 6, 7, and 8 respectively. Simulation results illustrate that with multi-token scenarios, the success probability of misbehaved user improves rapidly even with a marginal increase in access probability. Significant access gain is achieved with either the increase of tokens or access probability or both simultaneously. The overall system performance degrades slowly with small number of tokens, but when the number of tokens is large, the success probability of normal users severely affected.

Considering the effect of the number of slots to the system performance, it is seen that in the case of the number of slots is more than the total number of users, the success probability of misbehaved user continue to increase and reach the maximum probability of success of 1. On the contrary, when the number of slots is comparable to the number of users, the misbehaved user must applies high values of both the access probability and the number of tokens in order to accomplish a reasonable high level of success. This action of misbehaved user will cause serious consequence to normal users.

Finally, Fig. 9 shown that the performance of the misbehaved users degrades rapidly, when the number of misbehaved users increase from 1 to 5 and use high value of access probability with $n = 8, T = 2$. This result can be explained that the misbehaved users can not take advantage of the system, if it has a lot of misbehaved users. Considering the performance of system, it seen that when the system has only one misbehaved user, the success probability of overall users degrades. This is because the misbehaved user takes effect to the normal users.

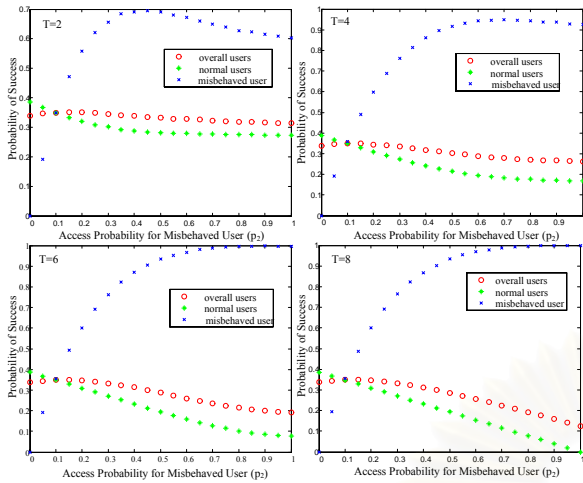


Fig.6 Performance of CFP+2G+MT with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 8$.

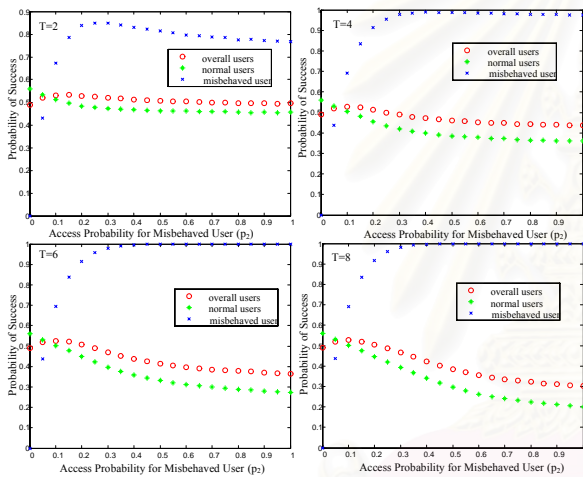


Fig. 7 Performance of CFP+2G+MT with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 16$.

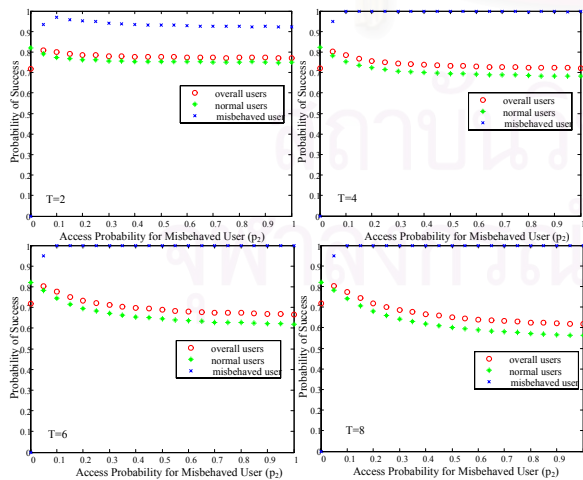


Fig. 8 Performance of CFP+2G+MT with $m_1 = 7, m_2 = 1, n = 64$.

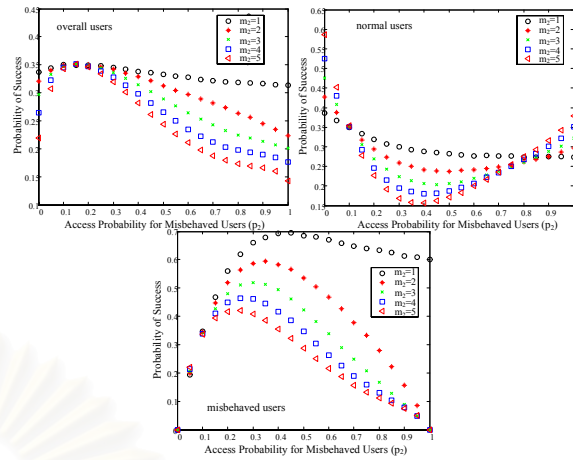


Fig. 9 Performance of CFP+2G+MT with varied number of misbehaved users for systems with $n = 8, T = 2$.

5. CONCLUSION

This paper has presented a performance evaluation of the CFP contention resolution algorithm for situation that some users misbehave through both simulation and analytical techniques. It is shown through the CFP+2G system scenario that misbehaved users are able to gain better access by carefully increasing the access probability and the advantages appear significance when the number of slots is comparable to the number of users. Much greater gain is achieved through the use of multi-token scheme as examined in the CFP+2G+MT system. It is also found that when the number of misbehaved users is small, the access performance of other normal users is marginally affected. But when more users misbehave the overall performance can become deteriorated rapidly.

6. ACKNOWLEDGMENT

This research is supported by Cooperation Project between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development.

7. REFERENCES

- [1] N.Sivamok, L.Wuttisittikulij, and A.Charoenpanitkit, "New Channel Reservation Techniques for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM* vol.6, pp.3558-3562, 2001.
- [2] A. Thanasoravit, P. Sedthetorn, P. Suwanpakdee and L. Wuttisittikulij, "Designing an efficient MAC protocol for integrated Voice and Data Services in Wireless Networks," in *Proceedings of the 7th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems (ICCS)*, Singapore, November 2000.
- [3] A. Charoenpanitkit, N. Sivamok, and L. Wuttisittikulij, "An analysis of a new access control technique for channel request in wireless communications," in *ISCAS 2001*, vol. 2, pp. 333-336, 2001.
- [4] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, pp. 885-890, 1989.

A Robustness Analysis of a Practical Contention Resolution Algorithm under Misbehaved Users in Wireless Communication Systems

Chalotorn Chanasong, Warakorn Srichavengsup, and Lunchakorn Wuttisittikulij
 Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
 Tel: +66-221-86908 Fax: +66-2218-6912 Email: wlunchak@chula.ac.th

Abstract — This paper presents an analysis of a practical contention resolution algorithm referred to as *UNI* for medium access control protocols in high bit-rate wireless communication systems with two groups of users, *i.e.* normal and misbehaved users. The objective is to examine the robustness of the *UNI* algorithm when some users (misbehaved) do not conform to the agreed rules by accessing more reservation slots than they are permitted. Mathematical analysis is derived and applied to determine the average success rate of each group of users as well as the overall system performance. Computer simulations are also conducted to confirm and validate the mathematical model. Numerical results on various traffic conditions indicate that misbehaved user could potentially gain some throughput advantages when the number of slots available is relatively much higher than the number of overall users; this is achieved by carefully selecting proper number of tokens. However, when the number of overall users becomes greater than the number of slots the reversed effect is observed.

Keywords —MAC protocol, UNI, UNI+2G+MT, wireless communications

1. Introduction

Medium access control (MAC) protocol [1-8] is an essential part of a wireless access network which consists of a central base station and several wireless terminal users who communicate between them over a common wireless channel. Since in such a network users are usually geographically distributed over the service area and do not synchronize their transmission with each other, contention for channel access becomes inevitable causing serious collision and usually resulting in low system throughput. Several MAC protocols have been developed to overcome this problem, for example ALOHA [1] and carrier-sense multiple access (CSMA) [2]. CSMA protocol and its variants such as CSMA/CD [3] and CSMA/CA [4] are widely used in most wired and wireless Local Area Networks. More recently developed MAC protocols tend to organize the channel bandwidth into a frame structure that is composed of two alternate periods, namely reservation period and information transfer period, see an example of such a frame structure in Fig. 1. The reservation part consists of a number of request slots, which are used by all users to reserve for channel bandwidth on a contention basis. A user who succeeds in the reservation process will be assigned the data

slots by the base station in the information parts for his information transmission. Since such a frame structure are highly flexible and can be very efficient, it is expected to offer much higher throughput and cope extremely well with fluctuations in traffic demands as compared to classical MAC protocols. As a result, this specific approach was taken by reference [5,6] for further intensive research with an emphasis on contention resolution algorithms suitable for high bit-rate channels used in the reservation period. Twelve new contention resolution algorithms were introduced mathematically analyzed and compared with existing classical protocols. Numerical results show that existing protocols may not perform effectively for high speed channel where the round trip propagation delay becomes relatively longer than the slot or frame transmission time. Among twelve proposed algorithms, a protocol called *Uniform (UNI)* is considered very promising, as this algorithm possesses useful key features such as simple effective and applicable in practice as compared to 11 other algorithms proposed in the same reference. Therefore in this paper, this *UNI* algorithm is taken for further comprehensive investigation with respect to its performance under system condition where some users do not strictly follow with the agreed rules. This situation may arise because some system components are not functioning properly or users themselves deliberately violate the rule in order to obtain better access. Therefore it is interesting to see how these misbehaved users will affect the channel access performance of other normal users and the overall system performance. The rest of this paper is organized as follows. Section 2 provides a review of existing *UNI* algorithm with its mathematical analysis as introduced in [5,6]. Section 3 describes the system scenario under study with some misbehaved users applying multi-token (for convenience referred to here as *UNI+2G+MT*) and its corresponding mathematical formulation derived for the system performance evaluation. Section 4 contains numerical results for different traffic levels and discussion. Finally Section 5 concludes the paper.

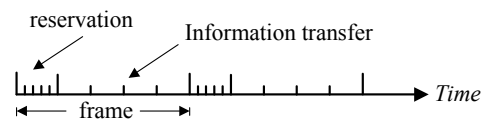


Figure 1. Frame structure

2. Review of the Uniform (UNI) System

The *Uniform (UNI)* system in Fig. 2 was proposed in [5,6] as a contention resolution for medium access control protocols in broadband wireless access networks. The detailed description of the UNI algorithm and its mathematical analysis can be found in [5,6]. However, the mathematical formulation of the UNI will be concisely presented again here to help understand the performance analysis.

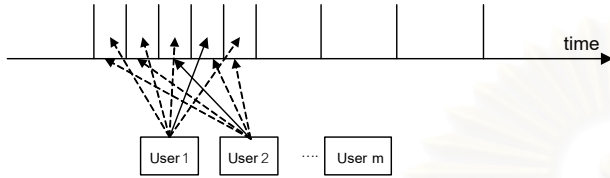


Figure 2. The UNI mechanism

Let $S[m, n, p]$ be the average number of successful users for a system with m users and n slots, $P[k | m, n]$ be the probability that k users succeed in reservation given m users competing in a frame of n slots by using access probability of p and $b[m, i, p]$ be binomial probability that i out of m users access a particular request slot with probability p , which is expressed as:

$$b[m, i, p] = \binom{m}{i} p^i (1-p)^{m-i} \text{ where } \binom{m}{i} = \frac{m!}{i!(m-i)!} \quad (1)$$

The average number of successful users can be formulated as follow;

$$S[m, n] = \sum_{k=0}^m (k \cdot P[k | m, n]) \quad (2)$$

where

$$P[k | m, n] = b[m, 0, 1/n] P[k | m, n-1] + b[m, 1, 1/n] P[k-1 | m-1, n-1] + \sum_{i=2}^m b[m, i, 1/n] P[k | m-i, n-1] \quad (3)$$

and the boundary condition is

$$P[k | m, n] = \begin{cases} 0 & \text{if } k < 0, m \geq 0, n \geq 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 0, n = 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 0, n = 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, m \geq 2, n = 1 \\ 0 & \text{if } k > 0, m \geq 2, n = 1 \\ 1 & \text{if } k = 0, m = 0, n \geq 1 \\ 0 & \text{if } k = 0, m = 1, n \geq 1 \\ 1 & \text{if } k = 1, m = 1, n \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

3. The UNI+2G+MT System

In the *UNI+2G+MT* (Uniform+2 Group +Multi-Token) system, users are divided into two groups. The first group is normal users and the second group is misbehaved users, see the mechanism of this system in Fig. 3. Each user in the first group will reserve one slot out of all available slots with equal probability whereas the second group may attempt to reserve more than once in each frame, hence violating the UNI algorithm. The number of attempts that misbehaved users use is referred to as the number of tokens (T). We shall now describe how the system performance measured in terms of the average number of successful users of each group of users, *i.e.* normal and misbehaved users can be mathematically formulated in a recursive fashion.

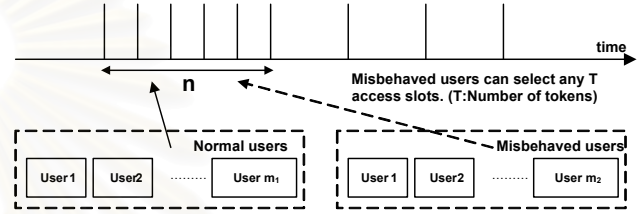


Figure 3. The UNI+2G+MT mechanism

Let us first define the following variables which are to be used correspondingly in the mathematical analysis:

n = total number of request slots in the frame.

m_1 = the number of normal users.

m_2 = the number of misbehaved users.

k_1 = the number of successful normal users.

k_2 = the number of successful misbehaved users.

T = the number of tokens for misbehaved users.

In terms of performance analysis, we can calculate $P_{UNI+2G+MT}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$, the probability that k_1 successful normal users, k_2 successful misbehaved users with the number of normal users m_1 , the number of misbehaved users m_2 and the number of tokens T by using the following equation:

$$P_{UNI+2G+MT}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T] = \frac{C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]}{\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]} \quad (5)$$

$C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$ is now given as the number of cases that k_1 successful normal users, k_2 successful misbehaved users with the number of normal users m_1 , the number of misbehaved users m_2 and the number of tokens T .

$\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T]$ is now given as the total number

of cases that each of m_1 normal users chooses one slot out of available slots for reservation and m_2 misbehaved users use T tokens to reserve T slots from n slots. Then

$$\sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} C[k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T] = n^{m_1} \times [n \times (n-1) \times (n-2) \times \dots \times (n-(T-1))]^{m_2}$$

The average number of successful users of the frame ($S_{UNI+2G+MT}(m_1, m_2, n, T)$) is derived as follows:

$$S_{UNI+2G+MT}(m_1, m_2, n, T) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j_i=0}^{m_i} (j_i \times P_{UNI+2G+MT}(j_i | m_i, m_2, n, T)) \quad (6)$$

where

$$P_{UNI+2G+MT}(j_i | m_i, m_2, n, T) = \sum_{i=1}^2 \sum_{k_i=j_i}^{m_i} \sum_{\substack{k_a=0 \\ a \neq i}}^{m_a} P_{UNI+2G+MT}(k_1, k_2 | m_1, m_2, n, T) \quad (7)$$

4. Numerical Results and Discussion

All results given here are obtained from the mathematical formulations described in the previous sections and confirmed by Monte Carlo computer simulations, *i.e.* results from both approaches are all identical.

Figure 4 shows the performance of the $UNI+2G+MT$ system, when the number of normal users is set to 7 with one misbehaved user totaling of 8 users and $T = 1$. In this condition, the misbehaved user and the normal users use the same number of tokens. The success probability of misbehaved user and normal users are all the same. This result is shown here to show how the system performs in normal condition.

Consider Figs. 5, 6, 7 and 8 where the number of normal users is set to 7 with one misbehaved user totaling of 8 users and $T = 2, 4, 6$ and 8 respectively. Numerical results illustrate that with multi-token scenarios, the success probability of misbehaved user can be increased, and the increase is pretty rapid with large values of T . The probability of success actually approaches the maximum value of 1 under the conditions that the number of slots available is large enough. However, such a performance gain accomplished by misbehaved user comes as a serious expense of normal users, *i.e.* the success probability of normal users is effected, especially when large values of T are used. In addition, the overall system performance is deteriorated as a consequence of misbehaved user action.

Figures 9, 10 and 11 present the performance of the overall users, normal users and misbehaved users respectively, when the number of misbehaved users increases from 1 to 5 and

$T = 2$. These results show that the performances of not only normal users but also misbehaved users degrade rapidly, when the number of misbehaved users increases. This means that when more users misbehave none of them will benefit from their misbehaving attempts.

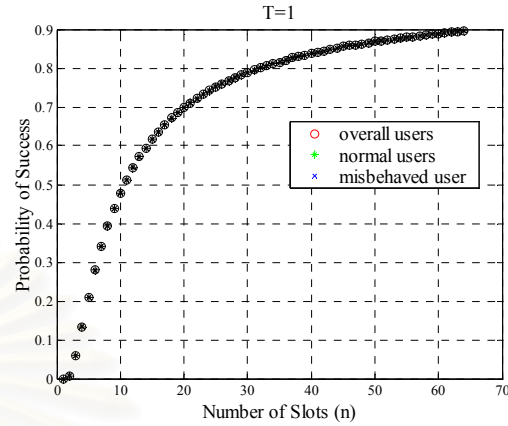


Figure 4. Performance of $UNI+2G+MT$ with $m_1 = 7, m_2 = 1, T = 1$.

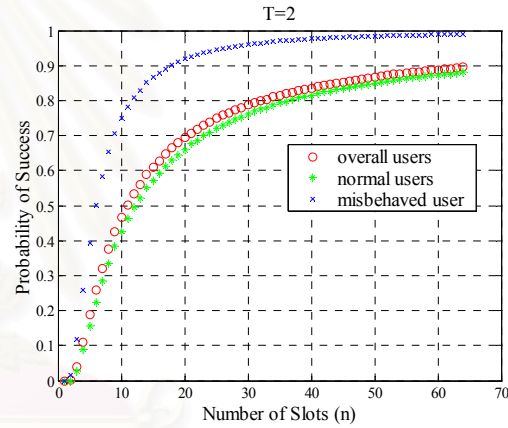


Figure 5. Performance of $UNI+2G+MT$ with $m_1 = 7, m_2 = 1, T = 2$.

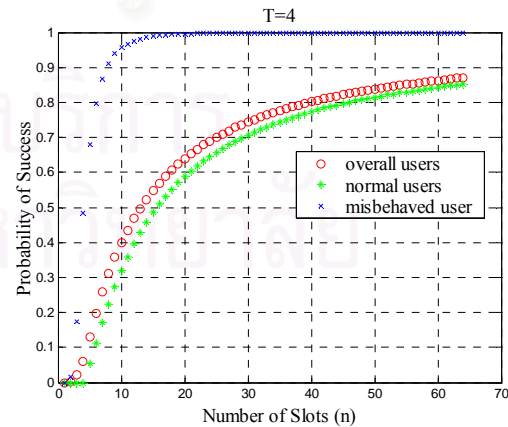


Figure 6. Performance of $UNI+2G+MT$ with $m_1 = 7, m_2 = 1, T = 4$.

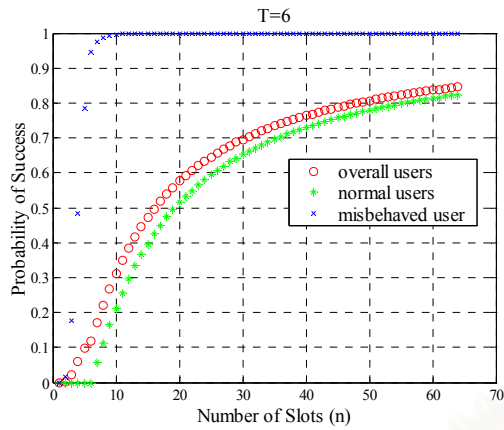


Figure 7. Performance of $UNI+2G+MT$ with $m_1 = 7, m_2 = 1, T = 6$.

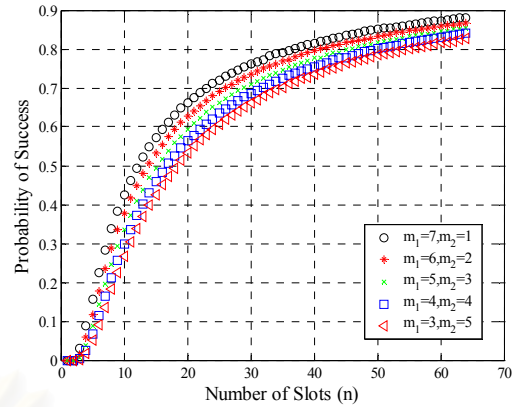


Figure 10. Performance of normal users of $UNI+2G+MT$ with varied number of misbehaved users with $T = 2$.

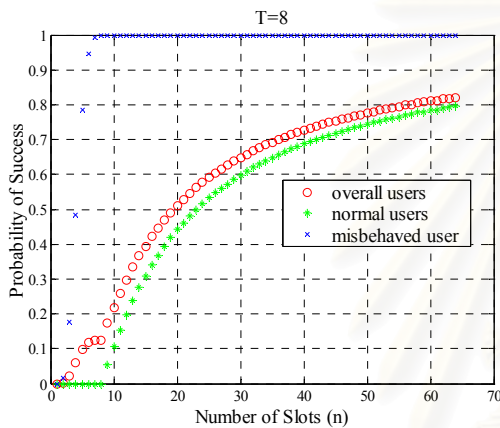


Figure 8. Performance of $UNI+2G+MT$ with $m_1 = 7, m_2 = 1, T = 8$.

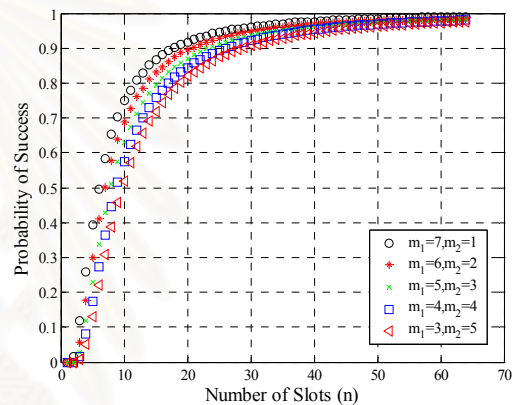


Figure 11. Performance of misbehaved users of $UNI+2G+MT$ with varied number of misbehaved users with $T = 2$.

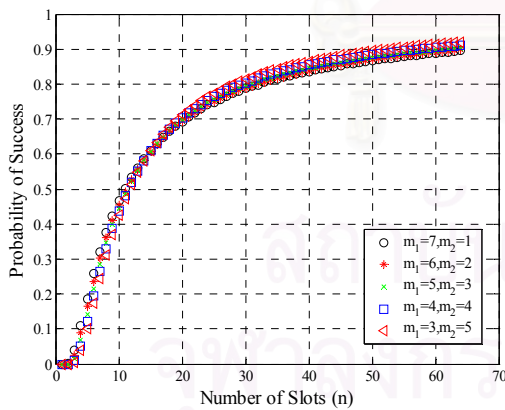


Figure 9. Performance of over all users of $UNI+2G+MT$ with varied number of misbehaved users with $T = 2$.

5. Conclusion

In this paper, we have presented a performance evaluation of the UNI contention resolution algorithm for situation that some users misbehave. It is clear that a misbehaved user may be able to gain better access by the use of *Multi-Token* mechanism, but with a serious consequence to the remaining normal users. Use of larger values of the number of tokens will result in rapid increase in success probability. Indeed with sufficient number of slots available the maximum success probability of 1 can be achieved by applying a large number of tokens. Nevertheless such an action of misbehaved user will cause significant overall success rate degradation. When more users misbehave the overall performance can become deteriorated rapidly without any user obtains throughput advantage.

6. Acknowledgment

This research is supported in part by Cooperation Project between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development.

REFERENCES

- [1] N. Abramson, "The ALOHA system another alternative for computer communication," *AFIP Conf. Proc Fall Joint Computing Con.*, pp. 281-285, 1970.
- [2] L. Kleinrock and F.A. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I-Carrier sense multiple access modes and their throughput delay characteristics," *IEEE Trans.*, vol.Com-23, no.12, pp.1400-1416, Dec. 1975.
- [3] F.A. Tobagi and V.B. Hunt, "Performance analysis of carrier sense multiple access with collision detection," *Comput. Netw.*, vol. 4, pp.245-259, Oct./Nov. 1980.
- [4] I. Joe and S.G. Batsell, "Reservation CSMA/CA for multimedia traffic over mobile ad-hoc networks," *IEEE Proc. of ICC 2000*, vol.3, pp. 1714-1718, June 2000.
- [5] W. Srichavengsup, N. Sivamok, A. Suriya, and L.Wuttistitikulkij, "A design and performance evaluation of a class of channel reservation techniques for medium access control protocols in high bit-rate wireless communications," *IEICE Trans.*, vol. E88-A, no.7, pp. 1824-1835, July 2005.
- [6] N. Sivamok, L. Wuttistitikulkij, and A.Charoenpanitkit, "New channel reservation techniques for media access control protocol in high bit-rate wireless communication systems," *IEEE Proc. of Globecom 2001*, vol.6, pp. 3558-3562, 2001.
- [7] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, pp. 885-890, 1989.
- [8] A. Thanasoravit, P. Sedthetorn, P. Suwanpakdee and L. Wuttistitikulkij, "Designing an efficient MAC protocol for integrated Voice and Data Services in Wireless Networks," in *Proceedings of the 7th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems (ICCS)*, Singapore, November 2000.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชโลธร ชนะสงค์ เกิดเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2523 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย