

การวิเคราะห์การประวิงเวลาของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าถึงตัวกลางในระบบการสื่อสารไร้สาย



นายสงกรานต์ ก้นทองศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3813-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TIME DELAY ANALYSIS OF MEDIA ACCESS CONTENTION RESOLUTION
ALGORITHMS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS



Mr. Songkran Kantawong

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3813-7

สงกรานต์ กันทวงศ์ : การวิเคราะห์การประวิงเวลาของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าถึงตัวกลางในระบบการสื่อสารไร้สาย (TIME DELAY ANALYSIS OF MEDIA ACCESS CONTENTION RESOLUTION ALGORITHMS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM) ผ.ศ.ดร.
 ัฒนกร วุฒิสัทติกุลกิจ, 139 หน้า ISBN 974-17-3813-7

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ค่าเวลาประวิงของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าถึงช่องสัญญาณจำนวน 5 วิธี สำหรับโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางในระบบการสื่อสารไร้สายที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสัมพันธ์ยาว ได้แก่ วิธีการเข้าถึงด้วยค่าความน่าจะเป็นแบบค่าคงที่ (CFP) การเข้าถึงด้วยค่าความน่าจะเป็นแบบปรับค่าได้ (CAP) การเข้าถึงด้วยค่าความน่าจะเป็นที่ปรับค่าได้อย่างเหมาะสมที่สุด (COP) การเลือกจองสลิตการจองแบบสุ่ม (UNI) และการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการในการเข้าถึงของสลิตการจองแบบสุ่ม (UNI+LA) สมรรถนะเชิงเวลาประวิงของแต่ละวิธีได้รับการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

ผลการทดสอบทั้งที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขและการจำลองแสดงให้เห็นว่า ระเบียบวิธี COP มีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ในสภาวะที่ทราฟฟิกมีปริมาณน้อยถึงปานกลาง ในขณะที่สภาพของทราฟฟิกมีปริมาณสูงระเบียบวิธี UNI+LA มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยให้ค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยการเข้าใช้ต่ำสุดเมื่อเทียบกับระเบียบวิธีอื่น อย่างไรก็ตามทั้งระเบียบวิธี COP และ UNI+LA อาจจะไม่เหมาะสมในเชิงปฏิบัติเมื่อเทียบกับวิธี CFP และ UNI เพราะวิธีเหล่านี้ต้องการทราบข่าวสารเกี่ยวกับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละเฟรม

ภาควิชา...วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อผู้เขียน.....

สาขาวิชา...วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา...2546.....

##4370661721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD : MEDIA ACCESS CONTROL / CONTENTION-BASED MAC / CONTENTION
FREE MAC / TIME DELAY / WIRELESS COMMUNICATION

SONGKRAN KANTAWONG : TIME DELAY ANALYSIS OF MEDIA
ACCESS CONTENTION RESOLUTION ALGORITHMS IN WIERLESS
COMMUNICATION SYSTEM. THESIS ADVISOR : LUNCHAKORN
WUTTISITTIKULKIJ, Assist. Ph.D. 139 pp. ISBN 974-17-3813-7

This Thesis proposes the time delay analysis of five different contention resolution algorithms for media access control protocol in wireless communication system with relatively long round-trip propagation delay, namely cascade fixed probability (CFP), cascade adaptive probability (CAP), cascade optimum probability (COP), uniform (UNI) and uniform with limited access (UNI+LA).

The delay performance of each algorithm is mathematically analyzed and extensively discussed. Computer simulations are also conducted to evaluate the system performance in order to confirm the validity of our derived mathematical analysis.

The results both from numerical and simulation evaluations show that the COP algorithms have superior performance at low to medium traffic loads than the other algorithms. Whereas at heavy traffic conditions the UNI+LA become more effective: it provides lowest average access delay amongst all algorithms. However, both COP and UNI+LA algorithms are not as practical as the CFP and UNI counterparts, as they require additional knowledge of the number of users in each frame.

Department....Electrical Engineering.....Student's signature.....

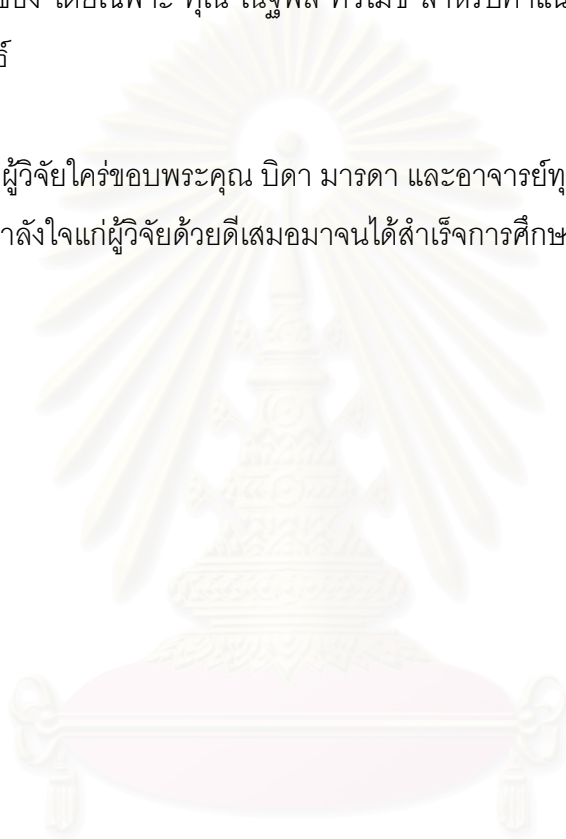
Field of Study...Electrical Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year...2003.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผ.ศ. ดร. ลัญจนกร วุฒิสิตทริกุลกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ด้วยดีเสมอมา นอกจากนี้ท่านยังสนับสนุนให้ได้เผยแพร่ผลงาน งานวิจัย ในการสัมมนาทางวิชาการต่างๆ และนอกจากนี้ยังได้รับความร่วมมืออย่างดีจากกลุ่มทีม วิจัยในงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะ คุณ ณัฐพล ศิวโมข์ สำหรับคำแนะนำและแนวทางบางอย่างใน การทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนใน ทุกๆด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนได้สำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ท
บัญชีสัญลักษณ์.....	ถ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
2 ความรู้พื้นฐาน.....	7
2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	7
2.1.1 โพรโทคอลแบบไม่มีการแย่งเข้าใช้ตัวกลาง.....	8
2.1.2 โพรโทคอลแบบมีการแย่งเข้าใช้ตัวกลาง.....	10
2.1.3 โพรโทคอลแบบผสมระหว่างมีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการ แย่งเข้าใช้ตัวกลาง.....	11
2.2 พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ.....	12
2.3 การกำหนดความน่าจะเป็นในการจองช่องสัญญาณ.....	17
2.3.1 วิธี Exponential Backoff.....	17
2.3.2 วิธี Pseudo-Bayesian.....	18
2.4 เวลาประวิงการแพร่กระจายครอบรอบ.....	18
2.5 การปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ.....	20
3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีการเข้าจองช่องสัญญาณ.....	21
3.1 ข้อกำหนดและแบบจำลอง.....	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 แนวทางในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์.....	25
3.2.1 กรณีระบบมีผู้ให้บริการ 1 คน.....	25
3.2.2 กรณีระบบมีผู้ให้บริการ 2 คน.....	28
3.2.3 กรณีระบบมีผู้ให้บริการ 3 คน.....	31
3.2.4 กรณีระบบมีผู้ให้บริการ 4 คน.....	32
3.3 เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบเหมาะสมคงที่.....	35
3.3.1 วิธีใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบคงที่.....	36
3.3.2 การหาสมรรถนะของวิธี CFP ด้วย Recursive Formula ในรูปของ Pr.....	36
3.3.2.1 การพิจารณาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ.....	41
3.3.2.2 การพิจารณาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยด้วยวิธีการประมาณค่า.....	41
3.3.3 การหาสมรรถนะของวิธี CFP ด้วย Recursive Formula ในรูปของ T.....	44
3.4 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจงบแบบปรับค่าได้.....	47
3.4.1 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นแบบปรับค่าได้.....	47
3.4.2 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นแบบปรับค่าได้ที่เหมาะสมที่สุด.....	49
3.5 วิธีการเลือกสล๊อตการจงบอย่างสุ่ม.....	51
3.6 วิธีจำกัดจำนวนผู้เลือกสล๊อตการจงบอย่างสุ่ม.....	54
3.7 การประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอ.....	55
3.7.1 การเข้าจงบช่องสัญญาณเพียงครั้งเดียว.....	56
3.7.1.1 วิธีการประมาณค่าแบบ Exponential Backoff.....	56
3.7.1.2 วิธีการประมาณค่าโดยตรง.....	58
3.7.2 การเข้าจงบช่องสัญญาณหลายครั้ง.....	61
3.7.2.1 วิธีการประมาณค่าแบบ Exponential Backoff.....	61
3.7.2.2 วิธีการประมาณค่าโดยตรง.....	62
3.7.2.3 วิธีการประมาณค่าโดยตรงแบบจำกัดจำนวนผู้ให้บริการ.....	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.7.2.4	วิธีการประมาณค่าโดยตรงแบบจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ที่เหมาะสมที่สุด.....	65
4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	67
4.1	ผลทดสอบและการวิเคราะห์กรณีศึกษา.....	70
4.2	ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CFP.....	81
4.3	ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CAP.....	90
4.4	ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี COP.....	96
4.5	ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี UNI.....	104
4.6	ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี UNI+LA.....	109
4.7	การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอ.....	115
4.8	ผลจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	116
4.8	การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับวิธี SDP และ SEB.....	136
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	119
5.1	บทสรุป.....	137
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	139
	รายการอ้างอิง.....	140
	บทความทางวิชาการที่ได้เผยแพร่.....	142
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	143
	ภาคผนวก.....	144

สารบัญรูป

หน้า

รูปประกอบ	
รูปที่ 1.1 ระบบการสื่อสารไร้สายที่ให้บริการในพื้นที่หนึ่ง.....	1
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	7
รูปที่ 2.2 โพรโทคอลที่มีการทำงานในระบบ TDMA.....	9
รูปที่ 2.3 โพรโทคอลที่ทำงานแบบ BBM.....	10
รูปที่ 2.4 การทำงานของโพรโทคอลแบบ Slotted ALOHA.....	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation.....	12
รูปที่ 2.6 การทำงานของโพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation.....	13
รูปที่ 2.7 กลไกการทำงานของโพรโทคอลแบบ Slotted ALOHA.....	15
รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของโพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation.....	16
รูปที่ 2.9 โครงสร้างเฟรมช่องสัญญาณของระบบที่มีค่าระยะเวลาประวิง การแพร่กระจายครบรอบต่ำกว่าช่วงเวลาประวิงการส่งสัญญาณ หรือเรียกว่าระบบ immediate feedback (IF).....	19
รูปที่ 2.10 โครงสร้างเฟรมช่องสัญญาณของระบบที่มีค่าระยะเวลาประวิง การแพร่กระจายครบรอบมากกว่าช่วงเวลาประวิงการส่งสัญญาณ หรือเรียกว่าระบบ delay feedback (DF).....	19
รูปที่ 3.1 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนและสล็อตการจองจำนวน 4 สล็อต...26	
รูปที่ 3.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 คนและสล็อตการจอง 4 สล็อต.....	29
รูปที่ 3.3 การแบ่งจำนวนสล็อตการจอง ออกเป็น 3 ส่วน.....	38
รูปที่ 3.4 การเลือกของสล็อตอย่างสุ่มของวิธี UNI.....	51
รูปที่ 4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 คนและจำนวน สล็อตการจอง 16 สล็อต.....	73
รูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คนและจำนวน สล็อตการจอง 16 สล็อต.....	76
รูปที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 3 คนและจำนวน สล็อตการจอง 16 สล็อต.....	77
รูปที่ 4.4 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 4 คนและจำนวน สล็อตการจอง 16 สล็อต.....	79

รูปที่ 4.5 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ของกรณีศึกษา เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 4 คน จำนวนสล๊อตการจอบ 1 ถึง 16 สล๊อต.....	80
รูปที่ 4.6 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอบ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	85
รูปที่ 4.7 จำนวนเวลาประวิงโดยเฉลี่ย และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอบ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	86
รูปที่ 4.8 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอบ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	86
รูปที่ 4.9 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	87
รูปที่ 4.10 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณไหลด เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	87
รูปที่ 4.11 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอบ และจำนวนสล๊อตการจอบ เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน.....	88
รูปที่ 4.12 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย และจำนวนสล๊อตการจอบ เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน.....	88
รูปที่ 4.13 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเกตการจอบ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีสล๊อตการจอบจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	89
รูปที่ 4.14 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเกตการจอบ และปริมาณไหลด เมื่อมีสล๊อตการจอบจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	89
รูปที่ 4.15 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อระบบมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1,2,4,8,และ 16 สล๊อต.....	92
รูปที่ 4.16 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP และค่าสล๊อตการจอบ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน.....	92
รูปที่ 4.17 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP เทียบกับวิธี CAP และจำนวนสล๊อตการจอบ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8 และ 16 คน.....	93
รูปที่ 4.18 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	93
รูปที่ 4.19 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณไหลด เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอบ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....	94

รูปที่ 4.20 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน..... 94

รูปที่ 4.21 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน.....95

รูปที่ 4.22 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็คเกจการจอง และจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อมีสล๊อตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต..... 95

รูปที่ 4.23 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็คเกจการจอง และปริมาณโหลด เมื่อมีสล๊อตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....96

รูปที่ 4.24 จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP และจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อระบบมีจำนวนสล๊อตการจอง 1,2,4,8, และ 16 สล๊อต..... 99

รูปที่ 4.25 จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีจำนวนผู้ให้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน.....99

รูปที่ 4.26 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต..... 100

รูปที่ 4.27 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณโหลด เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต.....100

รูปที่ 4.28 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง จำนวน 1 คน และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน..... 101

รูปที่ 4.29 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และผู้ให้บริการจำนวน เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจองเท่ากับ 1, 2, 4, 8 และ 16 ตามลำดับ..... 101

รูปที่ 4.30 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน สล๊อตการจองเท่ากับ 32.....102

รูปที่ 4.31 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ในการจองต่อแพ็คเกจการจองเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน สล๊อตการจองเท่ากับ 32 สล๊อตตามลำดับ..... 102

รูปที่ 4.32 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ในการจองต่อปริมาณโหลด..... 103

รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของวิธี CFP, CAP และ COP.....103

รูปที่ 4.34	แสดงการเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง จำนวน 1 คนของวิธี CFP, CAP และ COP.....	104
รูปที่ 4.35	จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	106
รูปที่ 4.36	ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	106
รูปที่ 4.37	ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	107
รูปที่ 4.38	แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คน ที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI.....	107
รูปที่ 4.39	แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	108
รูปที่ 4.40	แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน.....	108
รูปที่ 4.41	จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	111
รูปที่ 4.42	ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	111
รูปที่ 4.43	ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	112
รูปที่ 4.44	ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คน ที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	112
รูปที่ 4.45	ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	113
รูปที่ 4.46	ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองและปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต.....	113
รูปที่ 4.47	ผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI และ UNI+LA.....	114

ของวิธี EB เมื่อมีจำนวนผู้ให้บริการ 8 คนและจำนวน
 สล็อตการจอง 16 สล็อต.....135

รูปที่ 4.84 ผลจำลองค่าการกระจายตัวของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ย
 ที่ประสบความสำเร็จของวิธี EB เมื่อมีจำนวนผู้ให้บริการ 8 คนและจำนวนสล็อตการจอง
 16 สล็อต.....135

รูปที่ 4.85 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณตามลำดับแบบต่างๆ... 139



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่เข้าของของแต่ละวิธี.....	138



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีสัญลักษณ์

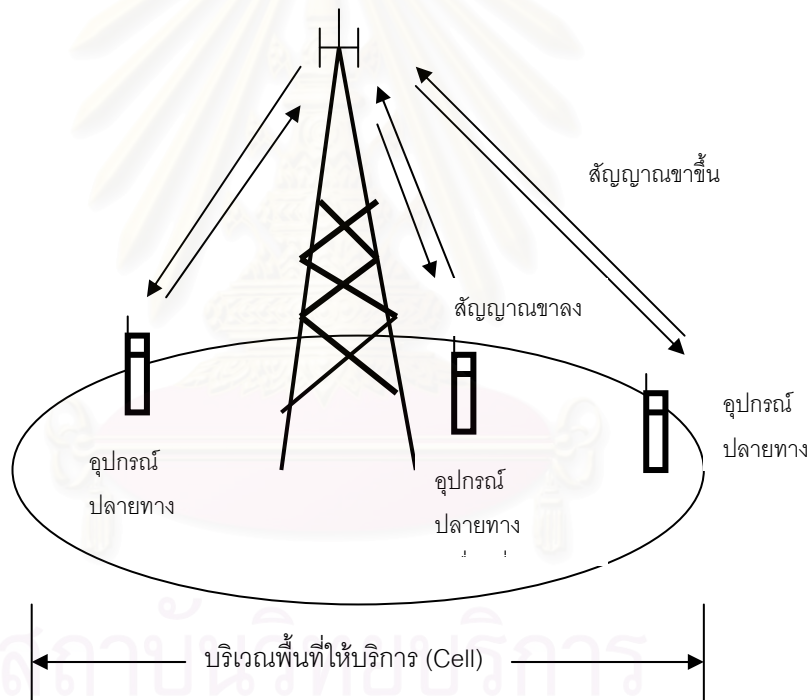
B	ความน่าจะเป็นแบบไปโนเมียล
k	จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ
m	จำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่
n	จำนวนสล๊อตการจองที่เหลืออยู่
M	จำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด
N	จำนวนสล๊อตการจองทั้งหมด
p	ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ
Pr	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
T	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
\bar{T}	เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ย จำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
D_{av}	เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
D	เวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้จำนวนผู้ใช้บริการในระบบการสื่อสารไร้สายได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากประโยชน์ ความสะดวกที่ผู้ใช้บริการได้รับรวมถึงความสามารถของระบบเองที่สูงขึ้น โดยทั่วไประบบการสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่งจะประกอบด้วยสถานีฐาน จำนวน 1 สถานี (Base Station), ผู้ใช้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่จำนวนหนึ่ง (Mobile Terminal Users) และช่องสัญญาณสำหรับสื่อสารจำนวนหนึ่ง (Channels) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง

สถานีฐานเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายหลัก (Backbone Network) ซึ่งจะทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณสื่อสารให้กับผู้ใช้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ได้แก่ ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือผู้ใช้คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ โดยช่องสัญญาณสื่อสารดังกล่าวจะแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณขาขึ้น (Upward Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downward Channel) ซึ่งสถานีฐานจะใช้ช่องสัญญาณขาลงเพื่อส่งทราฟฟิกควบคุม (Broadcast Control Traffic) และ/หรือทราฟฟิก

ข่าวสาร (Broadcast Information Traffic) ไปยังผู้ใช้บริการ ในขณะที่ผู้ใช้บริการจะใช้ช่องสัญญาณขาขึ้นในการส่งทราฟฟิกข่าวสารของตนไปยังสถานีฐาน เนื่องจากในบริเวณพื้นที่ให้บริการหนึ่งๆ สถานีฐานจะเป็นผู้ส่งเพียงผู้เดียวที่ใช้ช่องสัญญาณขาลง ทำให้สถานีฐานสามารถที่จะจัดตารางการส่งทราฟฟิกให้แก่ผู้ใช้บริการอย่างเหมาะสมได้ ในขณะที่ช่องสัญญาณขาขึ้นจะถูกใช้งานร่วมกันโดยผู้ใช้บริการหลายคน จึงเป็นไปได้ยากที่จะให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนส่งสัญญาณซิงโครไนซ์กัน (Synchronization) ดังนั้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งอาจมีผู้ใช้บริการหลายคนเข้าใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน ทำให้ช่องสัญญาณช่องนั้นๆ เกิดการแทรกสอดกันของสัญญาณขาขึ้น และไม่สามารถนำสัญญาณดังกล่าวมาแปลงกลับเป็นข่าวสารได้ จึงส่งผลให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการใช้ช่องสัญญาณดังกล่าว หรือในทางกลับกันอาจมีช่องสัญญาณที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยเข้ามาใช้ช่องสัญญาณดังกล่าว ในกรณีนี้ทำให้ช่องสัญญาณนั้นๆ สูญเปล่าซึ่งทรัพยากรสำคัญและมีอยู่อย่างจำกัดที่นำมาจัดสรรใช้เป็นช่องสัญญาณสื่อสารดังกล่าว คือปริมาณของแบนด์วิดท์ โดยระบบที่ดีจะต้องมีวิธีการในการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่ผู้ใช้บริการหลายคนเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกันได้อย่างคุ้มค่าที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocols หรือ MAC Protocols) [1] ในการทำให้ผู้ใช้บริการหลายคนสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากความสำคัญของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง จึงมีผู้ให้ความสนใจค้นคว้าและพัฒนางานด้านนี้มาโดยตลอดตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และเมื่อทำการศึกษาลักษณะการทำงานของโพรโทคอลต่างๆ สามารถจำแนกประเภทโดยแบ่งตามลักษณะการแย่งเข้าถึงตัวกลางออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. โพรโทคอลที่ไม่มีการแย่งเข้าถึงตัวกลาง (Contention-free MAC Protocol)
2. โพรโทคอลที่มีการแย่งเข้าถึงตัวกลาง (Contention-based MAC Protocol)
3. โพรโทคอลที่ผสมเทคนิคของการแย่งเข้าถึงตัวกลางและไม่แย่งเข้าถึงตัวกลาง (Contention Free & Contention Based MAC Protocols)

โพรโทคอลที่ผสมเทคนิคของการแย่งเข้าถึงตัวกลางและไม่แย่งเข้าถึงตัวกลางเป็นการนำ

ข้อดีของโพรโทคอลสองประเภทแรกมารวมกัน โดยโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลประเภทนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนช่วงการจอง (Reservation Periods) และช่วงการส่งข่าวสาร (Information Periods) โดยลักษณะการทำงานของโพรโทคอลจะเริ่มจากผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข่าวสารจะต้องเข้าจองช่องสัญญาณในช่วงการจองก่อน ซึ่งเป็นการแย่งเข้าใช้กับผู้ให้บริการคนอื่น ๆ ถ้าหากว่าการจองประสบความสำเร็จ สถานีฐานซึ่งเป็นศูนย์กลางควบคุมจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคนนั้น โดยผู้ใช้บริการจะส่งข่าวสารในช่องสล็อตข่าวสารที่ทางสถานีฐานกำหนดให้ โดยในช่วงการจองดังกล่าวจะประกอบด้วยช่องสล็อตการจองเล็ก ๆ จำนวนหนึ่ง ซึ่งจำนวนสล็อตที่มีจะขึ้นอยู่กับโพรโทคอลที่ออกแบบและโดยปรกติแล้วขนาดของช่วงการจองจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดของช่วงการส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก ดังนั้นการทำงานในช่วงการจองจึงมีความสำคัญมากต่อสมรรถนะ (Performance) ของระบบ ทั้งนี้เพราะผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องทำการจองให้ประสบผลสำเร็จก่อน จึงจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณข่าวสารให้ส่งข่าวสารของตนเองได้ ดังนั้นถ้าการจองไม่ประสบผลสำเร็จการบริการข่าวสารจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยผลของความสำคัญของช่วงการจองดังกล่าวจะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในกรณีที่ระบบรองรับปริมาณทราฟฟิกจำนวนมากๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีผู้เสนอวิธีการจองในช่วงการจองเป็นจำนวนมาก [2-6] แต่วิธีการส่วนใหญ่เป็นวิธีที่ตั้งอยู่บนข้อกำหนดที่ว่า เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ (Round-Trip Propagation Delay) มีค่าน้อยจนสามารถละเลยได้ ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่สามารถใช้ได้จริงกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ผ่านมา แต่ในปัจจุบันผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลข่าวสารผ่านทางระบบการสื่อสารไร้สายมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ระบบการสื่อสารไร้สายต้องเป็นระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงเช่น Broadcast Wireless Access (BWA) (ตามมาตรฐานของ IEEE 802.11) ส่งผลให้เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีผลต่อการจองช่องสัญญาณ ดังนั้นวิธีการจองช่องสัญญาณที่เคยมีผู้นำเสนอจึงไม่เหมาะสมกับกรณีนี้ แต่จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอการวิเคราะห์การประวิงเวลาของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณในช่วงการจองสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งมีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ (กำหนดให้เวลาประวิงในการส่งสัญญาณคือ ระยะเวลาในการส่งข้อมูลภายในหนึ่งช่วงการจอง) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้เพียงครั้งเดียวในช่วงการจองของเฟรม และเปรียบเทียบกับระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสั้นกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ

ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้หลายครั้งในช่วงการจอง จากนั้นจะวิเคราะห์สมรรถนะในช่วงการจองของระเบียบวิธีการต่างๆ ที่นำเสนอ

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์การประวิงเวลาของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณในช่วงการจอง สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบการสื่อสารไร้สาย สำหรับกรณีที่เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม และกรณีที่เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสั้นกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้หลายครั้งต่อเฟรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่า ค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองมีค่าลดลง ในขณะที่จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองมีค่าเพิ่มขึ้น
2. ใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการจำลองผลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง และค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ย ที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองที่นำเสนอและนำมาวิเคราะห์
3. ทดสอบและวิเคราะห์ระเบียบวิธีที่นำเสนอ โดยนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณ แบบการประมาณค่าโดยตรง (Direct Estimate Probability (DP)) และการประมาณค่าความน่าจะเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Backoff (EB)) ซึ่งวิธีทั้งสองดังกล่าวเป็นวิธีที่ได้จากการประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอในอดีต (Pseudo-Bayesian [6] และ Exponential Backoff [8]) ตามลำดับ

1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์

เป้าหมายของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้จะมุ่งเน้นในการวิเคราะห์ค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย เพื่อที่จะทำให้

สมรรถนะในช่วงการจองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสมรรถนะในช่วงการจองจะวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองมีค่าเพิ่มขึ้น และการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองมีค่าลดลง โดยระเบียบวิธีที่นำเสนอจะใช้กับโพรโทคอลควบคุมการแย่งเข้าถึงตัวกลางที่มีช่วงการจองในเฟรมแต่ละเฟรม ทั้งระบบที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้เพียงหนึ่งครั้งต่อหนึ่งเฟรม และระบบที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสั้นกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้หลายครั้งต่อหนึ่งเฟรม ทั้งนี้จะไม่กำหนดพฤติกรรมของทราฟฟิก คือจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองว่าเป็นรูปแบบใด แต่กำหนดให้สถานีฐานสามารถทราบจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองที่ต้นเฟรมเท่านั้น สำหรับการหาสมรรถนะของระเบียบวิธีที่นำเสนอจะใช้ผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก และในบางหัวข้อจะทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ด้วย โดยจะนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับสมรรถนะของการประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอ คือวิธี Pseudo-Bayesian และ Exponential Backoff

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบต่างๆ ที่มีการนำเสนอจากอดีตถึงปัจจุบัน และพื้นฐานการเข้าจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลแบบ Slotted-ALOHA
2. ศึกษาวิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองต่างๆ ที่นำเสนอ และวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเก็ตการจองในช่วงการจอง สำหรับระเบียบวิธีแต่ละวิธี
3. ใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาสมรรถนะของระเบียบวิธีที่นำเสนอ โดยมุ่งเน้นในการวิเคราะห์ค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง เปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์
4. เขียนโปรแกรมจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
5. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ
6. เขียนบทความทางวิชาการ

7. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

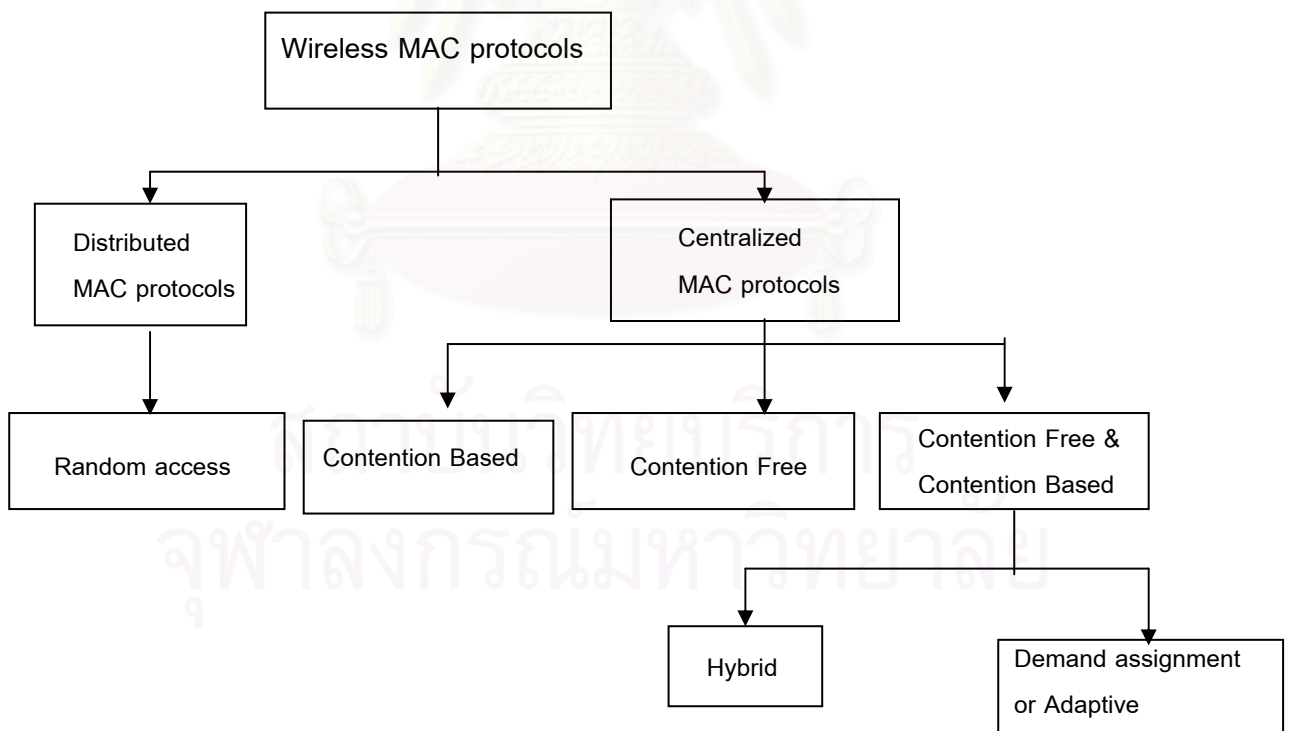
1. วิเคราะห์หาระเบียบวิธีที่เหมาะสม ในการเข้าจองช่องสัญญาณ ซึ่งให้ค่าสมรรถนะสูง และกลไกของระเบียบวิธีมีความซับซ้อนในการทำงานไม่มากเกินไป โดยแสดงการวิเคราะห์ในเทอมของ จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง หรือเทอมของค่าวิสัยสามารถ และค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง หรือค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจ การจอง สำหรับโพรโทคอลควบคุมการแย่งเข้าถึงตัวกลาง ที่มีช่วงการจอง และเวลา ประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ
2. สามารถนำการวิเคราะห์ค่าการประวิงเวลาของระเบียบวิธีการแย่งเข้าถึงช่อง สัญญาณที่นำเสนอ ไปประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลควบคุมการแย่งเข้าถึงตัวกลางที่มี ช่วงการจอง และมีข้อกำหนดแบบอื่นๆ เช่นระบบที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจาย ครบรอบสั้นกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ หรือระบบที่มีทราฟฟิกหลายชนิด เป็นต้น
3. แนวคิดบางส่วนที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้รับการตีพิมพ์ในบทความวิชาการที่ ทำร่วมกับกลุ่มวิจัย [7] และนำเสนอในงาน IEEE Proceedings of VTC2001 [11]

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง หรือ Media Access Control Protocol (MAC Protocol) มีการทำงานอยู่ในส่วนของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามมาตรฐานแบบจำลองอ้างอิง 7 ชั้น (Open Systems Interconnection (OSI) Reference Mode) [5] โดยโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในวิทยานิพนธ์นี้ จะพิจารณาเฉพาะโพรโทคอลของระบบการสื่อสารไร้สายที่มีการควบคุมจากส่วนกลางคือสถานีฐานเท่านั้น (Centralized MAC Protocol) ซึ่งโพรโทคอลคือระเบียบวิธีที่ทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกันได้ โดยจะมีหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ผู้ใช้บริการหลายคน ให้สามารถติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานได้ในช่วงของการส่งสัญญาณขาขึ้น (Upward Channel)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

จากโครงสร้างดังกล่าวในส่วนของ Distributed MAC Protocols หรือ Ad hoc network จะไม่นำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ เพราะระบบดังกล่าวจะไม่ใช้สถานีฐานในการเชื่อมต่อการส่งสัญญาณระหว่างกันทำให้ขาดโครงสร้างพื้นฐานรองรับระบบที่จะทำการปรับเปลี่ยนความถี่ในการใช้งาน ทำให้ต้องใช้งานในย่านความถี่เดียวกันในโหมดของ TDD โหมด แต่มีข้อดีคือระบบจะไม่เกิดปัญหาถ้าผู้ใช้บริการหยุดการใช้หรือ เคลื่อนย้ายไปเพราะเป็นการส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้ต่อกันโดยตรง

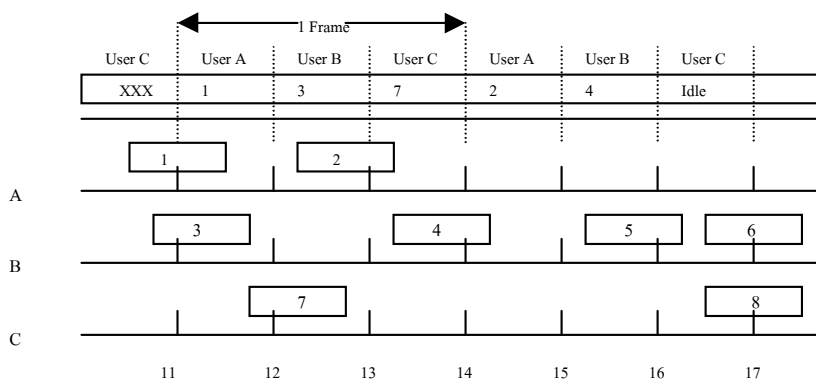
จากโครงสร้างของโพรโทคอลที่มีการควบคุมจากสถานีฐานและได้เคยมีการนำเสนอมาดังแสดงในรูปที่ 2.1 สามารถจำแนกประเภทออกตามการทำงาน ได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

2.1.1. โพรโทคอลแบบไม่มีการแย่งเข้าใช้ตัวกลาง (Contention-free MAC Protocols)

โพรโทคอลประเภทนี้ระบบจะจัดสรรช่องสัญญาณที่กำหนดแน่นอนสำหรับผู้ให้บริการแต่ละคน ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้แน่นอน เมื่อผ่านเวลาประจักษ์ไม่เกินค่าๆหนึ่งที่สามารถกำหนดได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยคือ

2.1.1.1 การจัดสรรแบบกำหนดแน่นอน (Fixed-Assignment Protocol)

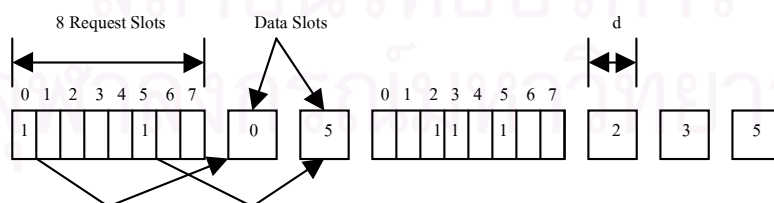
โพรโทคอลแบบนี้ระบบจะมีการกำหนดช่องสัญญาณให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนอย่างแน่นอน โพรโทคอลที่มีการทำงานเช่นนี้ได้แก่ Time Division Multiple Access (TDMA), Frequency Division Multiple Access (FDMA) และ Code Division Multiple Access (CDMA) เป็นต้น ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือระบบจะมีเสถียรภาพในทุกสภาวะทราฟฟิก เพราะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตของผู้ให้บริการ แต่ข้อเสียคือจะไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากถ้าผู้ใช้บริการคนใดไม่ได้ทำการส่งข่าวสาร จะทำให้สูญเสียการใช้งานช่องสัญญาณและปริมาณแบนด์วิดท์ในส่วนนั้นไป เพราะผู้ใช้บริการคนอื่นก็ไม่สามารถเข้ามาใช้ได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถที่จะรองรับผู้ใช้บริการหรือทราฟฟิกในจำนวนมากได้ ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอลแบบ TDMA แสดงในรูปที่ 2.2 โดยโพรโทคอลในระบบ TDMA ดังกล่าวมีข้อดีคือ ระบบมีเสถียรภาพที่ดีในทุกๆสภาวะทราฟฟิก แต่มีข้อเสียคือ จำนวนผู้ใช้บริการที่มากที่สุดที่ระบบสามารถรองรับได้จะต้องน้อยกว่าหรืออย่างมากที่สุด เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณที่มี และพบว่าไม่เหมาะสมกับปริมาณทราฟฟิกแบบเบิสต์



รูปที่ 2.2 โพรโทคอลที่ทำงานในระบบ TDMA

2.1.1.2 การจัดสรรตามความต้องการ (Demand-Assignment Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้จะไม่กำหนดช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้บริการโดยตรง แต่จะกำหนดช่องสัญญาณร้องขอให้แทน โดยในแต่ละรอบการส่งข้อมูล ผู้ใช้บริการจะต้องทำการแจ้งความจำนงร้องขอใช้ช่องสัญญาณในช่วงของช่องสัญญาณร้องขอ ซึ่งมีลักษณะเป็นสล็อตและมีการทำงานแบบระบบ TDMA โดยถ้าผู้ใช้บริการคนใดต้องการร้องขอช่องสัญญาณจะเซตบิตของตนเองเป็น 1 แต่ถ้าไม่ร้องขอจะเซตบิตเป็น 0 โพรโทคอลที่มีการทำงานแบบนี้ได้แก่ Basic Bit-map Protocol (BBM) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นต้น โดยข้อดีของระบบดังกล่าวคือ สามารถจัดสรรช่องสัญญาณในแต่ละรอบได้อย่างเหมาะสมกับปริมาณความต้องการจริงในขณะนั้นๆ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์ได้อย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นกับปริมาณทราฟฟิกแบบต่างๆ ได้มากขึ้น แต่มีข้อเสียคือยังมีข้อจำกัดของจำนวนช่องสล็อตการร้องขอที่มีการทำงานเช่นเดียวกับระบบ TDMA

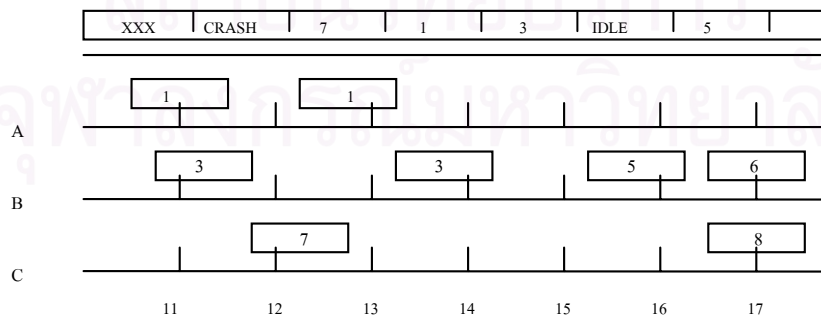


รูปที่ 2.3 โพรโทคอลที่ทำงานแบบ BBM

2.1.2 โพรโทคอลแบบมีการแย่งเข้าใช้ตัวกลาง (Contention-based MAC Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้จะไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณที่แน่นอนให้แก่ผู้ใช้บริการแต่ละคน ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะต้องทำการแข่งขันเพื่อแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยการแย่งเข้าใช้จะเป็นลักษณะแบบสุ่ม (Random Access) โพรโทคอลที่มีการทำงานเช่นนี้ได้แก่ Pure-ALOHA [8], Slotted-ALOHA [8] เป็นต้น โพรโทคอลประเภทนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้ และสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกที่มีการปรับเปลี่ยนขนาดตลอดเวลาได้ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับรองรับทราฟฟิกข้อมูลแบบเบิรสต์ ที่มีปริมาณทราฟฟิกต่ำได้ แต่ข้อเสียคือที่สภาวะทราฟฟิกสูงๆระบบจะขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องมาจากเกิดการชนกันมากเกินไปของแพ็กเกตผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังไม่สามารถประมาณค่าเวลาประวิงเนื่องจากการส่งแพ็กเกตได้ จึงทำให้โพรโทคอลประเภทนี้ไม่เหมาะสมกับทราฟฟิกประเภทเสียง เพราะเป็นบริการที่ต้องการเวลาประวิงต่ำ (Delay-Sensitive Service) แต่อาจจะเหมาะสมกับทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่สามารถมีค่าเวลาประวิงที่มากได้ (Non Delay-Sensitive Service)

ในรูปที่ 2.4 จะแสดงการทำงานของโพรโทคอล Slotted-ALOHA ซึ่งจะแตกต่างจากโพรโทคอล Pure-ALOHA ตรงที่การส่งข้อมูลจะกระทำที่จุดเริ่มต้นสล็อตแรกของเฟรมเท่านั้น โดยที่ถ้าผู้ใช้บริการมีการส่งข้อมูลลงบนสล็อตเดียวกันจะเกิดการชนกัน ทำให้ข้อมูลเสียหายและจะต้องส่งข้อมูลใหม่ในสล็อตถัดไป ข้อดีของระบบนี้คือสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เป็นจำนวนมาก และยังมีค่าเวลาประวิงต่ำในขณะที่ปริมาณทราฟฟิกไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือ ระบบไม่สามารถควบคุมเวลาประวิงที่แน่นอนให้แก่ผู้ใช้และในสภาวะปริมาณทราฟฟิกสูงๆระบบจะขาดเสถียรภาพ



รูปที่ 2.4 โพรโทคอลที่ทำงานแบบ Slotted-ALOHA

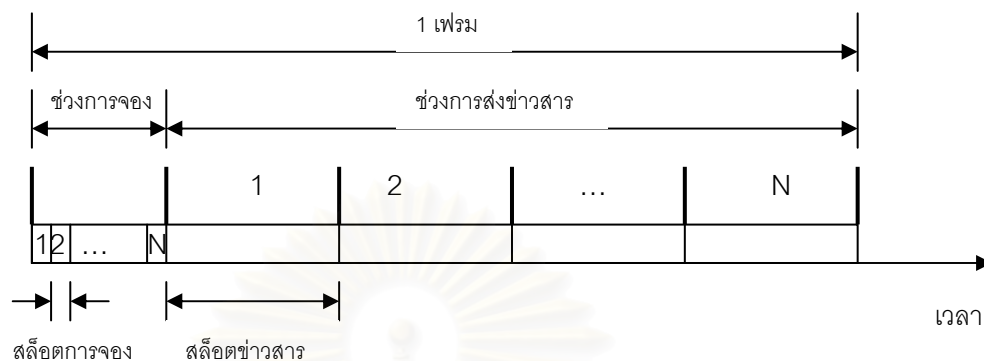
2.1.3 โพรโทคอลแบบผสมระหว่างมีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention Free & Contention Based Protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้จะทำงานบนพื้นฐานของเทคนิคของทั้ง 2 โพรโทคอลที่กล่าวมาข้างต้นรวมกัน โดยแบ่งลักษณะตามการทำงานเป็น 2 ประเภทย่อยดังนี้

2.1.3.1 โพรโทคอลแบบผสม (Hybrid Protocol)

กลไกการทำงานของโพรโทคอลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนการจองช่องสัญญาณซึ่งใช้ระเบียบวิธีการทำงานแบบมีการแย่งเข้าใช้ช่องการจอง และส่วนของการส่งข่าวสารซึ่งใช้ระเบียบวิธีแบบไม่แย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ การทำงานของโพรโทคอลแบบนี้คือ ก่อนที่ผู้ใช้บริการจะทำการส่งข่าวสารจะต้องทำการเข้าจองในช่วงสล็อตการจองก่อน โดยใช้การจองแบบสุ่ม (Random Access) ซึ่งจะต้องแข่งขันแย่งจองกับผู้ใช้บริการคนอื่นในระบบ ซึ่งระเบียบวิธีดังกล่าวจัดอยู่ในการทำงานของโพรโทคอลประเภทที่มีการแย่งชิงเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-based) และถ้าการแย่งเข้าจองเป็นผลสำเร็จ สถานีฐานซึ่งเป็นศูนย์กลางควบคุมจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคนนั้น โดยผู้ใช้บริการจะต้องทำการส่งข่าวสารในช่องข่าวสารที่สถานีฐานกำหนดให้ซึ่งการทำงานดังกล่าวจัดอยู่ในระเบียบวิธีของโพรโทคอลประเภทไม่มีการแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ(Contention-free) โพรโทคอลที่ทำงานเช่นนี้ได้แก่ ALOHA Reservation [2], Packet Reservation Multiple Access (PRMA) [4], DQRUMA [3], และโพรโทคอลในกลุ่มงานวิจัยเดียวกันกับผู้วิจัยได้นำเสนอเป็นต้น [11]

โพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation เป็นโพรโทคอลที่มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับโพรโทคอลแบบผสมประเภทอื่นๆ โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.5 โดยในแต่ละเฟรมจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนช่องการจอง (Reservation Period) ซึ่งจะใช้จำนวนช่องสล็อตการจองเล็กๆ (Mini Slots) จำนวนหนึ่งและส่วนช่องการส่งข่าวสาร (Information Period) ซึ่งจะถูกจัดสรรอยู่ในช่องสล็อตข่าวสาร (Information Slots) ดังนั้นข้อได้เปรียบที่สำคัญคือจำนวนช่องสล็อตการจองดังกล่าวมีขนาดเล็ก ทำให้เมื่อเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจองอันเกิดจากการแย่งเข้าใช้ช่องการจองหรือสล็อตการจองว่าง จะทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับโพรโทคอลประเภท Slotted ALOHA หรือ PRMA



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA-Reservation

2.1.3.2 โพรโทคอลแบบปรับตัวตามความต้องการ (Adaptive or Demand Protocol)

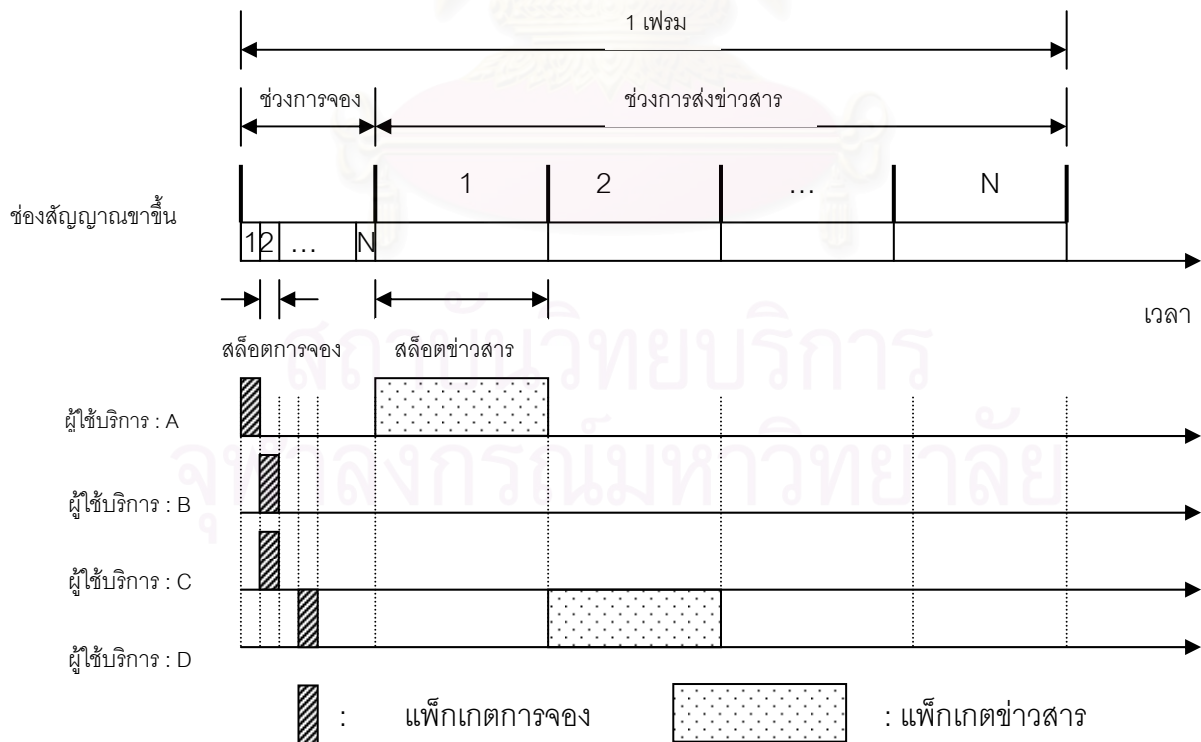
โพรโทคอลประเภทนี้จะทำงานตามปริมาณทราฟฟิกในระบบ กล่าวคือในสถานะทราฟฟิกในระบบมีจำนวนน้อย โพรโทคอลจะทำงานแบบไม่มีการแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ แต่เมื่อใดที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งระบบจะเปลี่ยนไปใช้โพรโทคอลแบบไม่แย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณแทน ซึ่งตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้คือ URN และ SRUC [22,23]

จากการศึกษาโพรโทคอลประเภทต่างๆพบว่า โพรโทคอลที่มีการทำงานผสมระหว่างระเบียบวิธีการแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณและไม่แย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ สามารถที่จะรองรับทราฟฟิกได้ทุกสถานะ จึงทำให้มีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอลประเภทอื่นๆ โดยในสถานะที่มีปริมาณทราฟฟิกสูงๆระบบยังคงมีเสถียรภาพในการทำงานที่ดี และทำงานได้ใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีการแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลที่มีการทำงานแบบผสมในวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะเน้นในส่วนของช่วงการจองเท่านั้น

2.2 พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ

วิธีการในการจองช่องสัญญาณมีพื้นฐานมาจากโพรโทคอลแบบ Slotted ALOHA กล่าวคือเมื่อผู้ใช้บริการต้องการส่งข่าวสาร จะต้องรอคอยจนกระทั่งถึงช่วงการจองจึงจะเริ่มเข้า

จองช่องสัญญาณได้ โดยสถานีฐานจะเป็นผู้ตรวจสอบสล็อตการจองในช่วงการจองนั้นๆว่าอยู่ในสถานะใด โดยถ้าไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยเข้าจอง สล็อตการจองก็อยู่ในสถานะว่าง (Idle) และถ้ามีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวเข้าจอง สล็อตการจองก็อยู่ในสถานะประสบความสำเร็จ (Success) แต่ถ้าสล็อตการจองใดมีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งคนเข้าจองในช่วงเวลาเดียวกัน สล็อตการจองดังกล่าวก็จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง ทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง สล็อตการจองจะอยู่ในสถานะเกิดการชนกัน (Collision) ในกรณีที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองสถานีฐานก็จะตรวจสอบตำแหน่งช่องสล็อตข่าวสารที่ว่างอยู่ และจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการคนดังกล่าว แล้วจึงแจ้งตำแหน่งสล็อตข่าวสารที่ว่างให้แก่ผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองทราบ ในช่วงสัญญาณขาลง หลังจากนั้นผู้ใช้บริการจะรอคอยจนถึงช่วงเวลาของสล็อตข่าวสารจึงเริ่มทำการส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร โดยในกรณีที่ส่งข่าวสารไม่หมดภายในเฟรมเดียว ผู้ใช้บริการอาจได้รับสิทธิในการส่งข่าวสารในเฟรมถัดไป (Piggy backing) จนกว่าข่าวสารจะถูกส่งหมด และสำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง จะต้องเริ่มเข้าจองใหม่ในสล็อตการจองถัดไปหรือสล็อตการจองของเฟรมถัดไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพรโทคอลและระบบที่รองรับการทำงานดังกล่าว



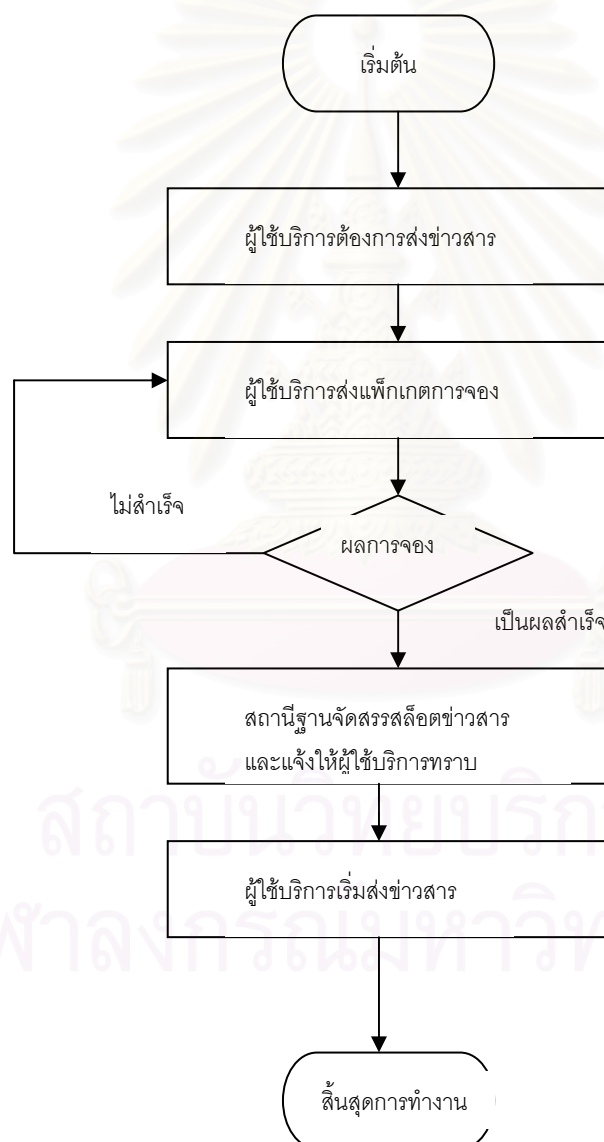
รูปที่ 2.6 การทำงานของโพรโทคอล ALOHA-Reservation

จากรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล ALOHA Reservation จะเห็นว่าในช่วงสล็อตการจอง สล็อตที่ 1 มีผู้ใช้บริการ A เพียงคนเดียวเข้าจอง จึงประสบความสำเร็จในการจองและได้รับการจัดสรรสล็อตข่าวสาร สล็อตแรกในช่วงของการส่งข่าวสาร หลังจากนั้นในช่วงสล็อตการจองสล็อตที่ 2 มีผู้ใช้บริการ B และ C เข้าจองพร้อมกันทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง และไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจองดังกล่าว และไม่ได้รับสิทธิในการจัดสรรช่องสล็อตข่าวสาร ในขณะที่ช่องสล็อตการจอง สล็อตที่ 3 มีผู้ใช้บริการ D เพียงคนเดียวเข้าจองจึงประสบความสำเร็จในการจอง และได้รับการจัดสรรสล็อตข่าวสารในสล็อตถัดไปของช่วงของการส่งข่าวสาร

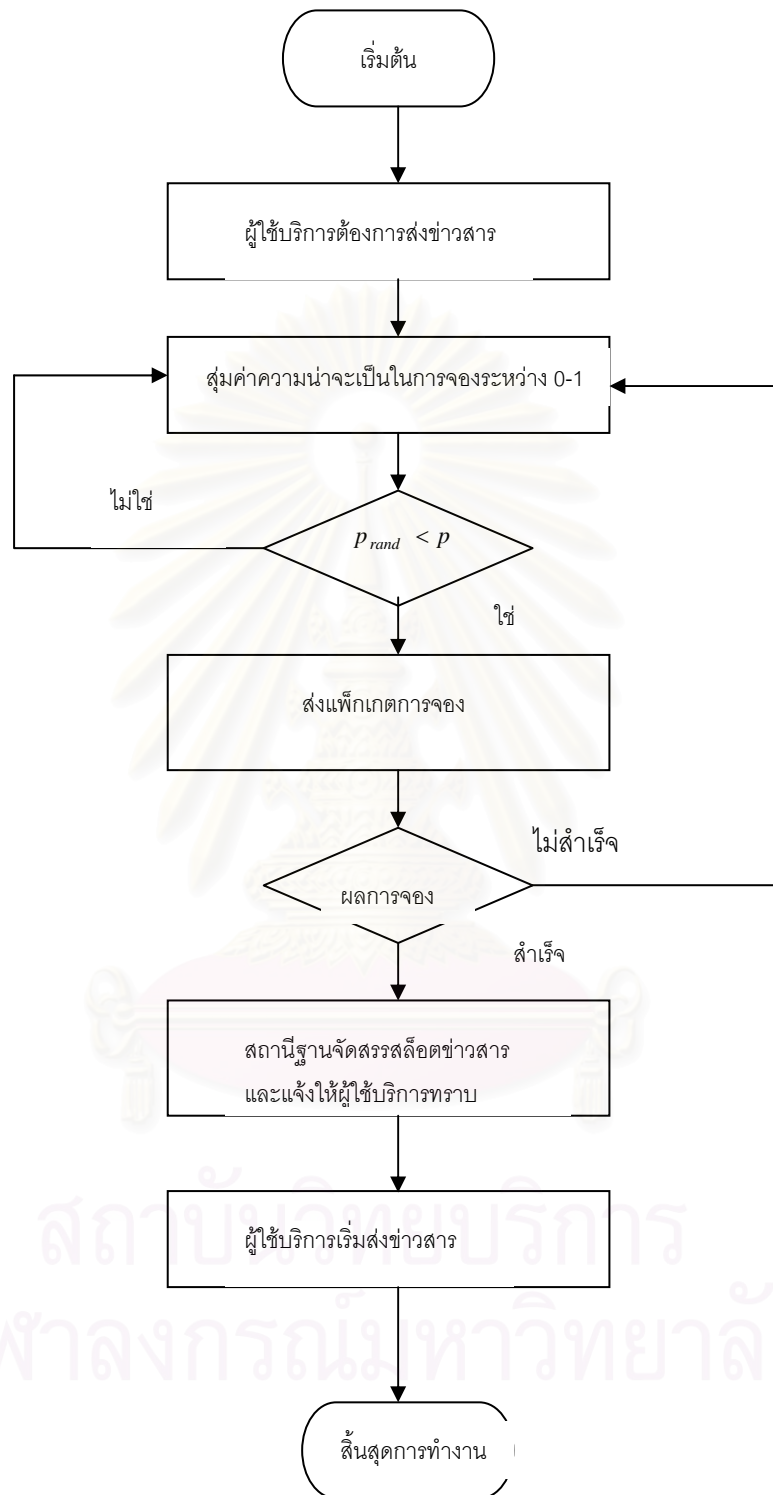
จากการศึกษาการทำงานของโพรโทคอลดังกล่าว สามารถสรุปกลไกการทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งกลไกการทำงานในช่วงการจองช่องสัญญาณมีความสำคัญต่อสมรรถนะของระบบที่ใช้โพรโทคอลดังกล่าวเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องผ่านช่วงการจองให้ประสบความสำเร็จก่อนจึงจะได้รับสิทธิในการจัดสรรช่องสัญญาณข่าวสาร ดังนั้นถ้าเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง ผู้ใช้บริการก็ไม่สามารถส่งข่าวสารได้ โดยผลในข้อนี้จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการจำนวนมากแย่งเข้าจองในช่วงการจองดังกล่าว ทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตการจองจำนวนมาก และส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตการจองดังกล่าว [4,5,8] จึงได้มีการเสนอเทคนิควิธีการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง (Transmission Probability) หรือความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ (Permission Probability) โดยสถานีฐานจะเป็นผู้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายทราบ ดังแสดงกลไกการทำงานในรูปที่ 2.8 โดยขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากผู้ใช้บริการรายใดต้องการจะเข้าจองช่องสัญญาณ จะต้องทำการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็น (Random Probability) ในการเข้าจองช่องสัญญาณ 1 ค่าโดยค่าดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่ค่าที่สุ่มเลือกมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ ผู้ใช้บริการก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตการจองเพื่อแย่งเข้าจองในสล็อตการจองได้ แต่ถ้าค่าที่สุ่มเลือกได้มีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ ผู้ใช้บริการก็ไม่ได้รับสิทธิในการส่งแพ็กเก็ตการจอง และอาจจะต้องรอในช่วงสล็อตการจองถัดไปหรือเฟรมถัดไป

เนื่องจากในช่วงที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบมากหรือจำนวนผู้ใช้บริการในระบบมาก ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าช่องช่องสัญญาณไว้สูง จะทำให้มีโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจองสูงตามไปด้วย ในทางกลับกันถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าช่องช่องสัญญาณต่ำ ก็จะทำให้โอกาสที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยเข้าช่องมีมากขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ก็ก่อให้เกิดความสูญเปล่าของสล็อตการจอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าช่องช่องสัญญาณที่เหมาะสม ดังนั้นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าช่องช่องสัญญาณจึงเป็นหัวใจสำคัญของระเบียบวิธีการแย่งเข้าใช้ตัวกลาง ที่นำเสนอและทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพราะส่งผลโดยตรงต่อค่าวิสัยสามารถ และค่าการประวิงเวลาของระบบ



รูปที่ 2.7 กลไกการทำงานของโพรโทคอลแบบ Slotted ALOHA



รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของโพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation

2.3 การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการจองช่องสัญญาณ

วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณในอดีตที่ผ่านมา จะทำโดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง (Fixed Probability) โดยไม่ได้คำนึงถึงปริมาณของทราฟฟิก [4] และจำนวนผู้ใช้บริการต่อจำนวนช่องสล็อตการจอง ในขณะที่เข้าจองช่องสัญญาณ [11] ทำให้บางสภาวะที่ปริมาณทราฟฟิกเบาบาง หรือสภาวะทราฟฟิกหนาแน่นไม่สัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็นที่กำหนดเป็นค่าคงที่ดังกล่าว ทั้งนี้เพราะสภาวะความไม่แน่นอนของปริมาณทราฟฟิกแบบพลวัต (Dynamic) สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้วิธีการในอดีตดังกล่าวสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอ จึงมีการประยุกต์ให้วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นโดยตรง หรือ Pseudo-Bayesian และวิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล Exponential Backoff สามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณตามสภาวะปริมาณทราฟฟิกได้

2.3.1 วิธี Exponential Backoff

การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของวิธีนี้ จะกำหนดค่าความน่าจะเป็นตามสถานะการจองช่องสัญญาณที่ผ่านมา กล่าวคือค่าความน่าจะเป็นในสภาวะปัจจุบัน $p(t+1)$ จะกำหนดจากค่าความน่าจะเป็นที่ผ่านมา $p(t)$ ดังแสดงในสมการที่ 2.1

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

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

โดยที่ค่า $z(t)$ เป็นตัวแปรแสดงค่าปริมาณจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองในสล็อตการจองขณะนั้นๆ กล่าวคือ $z(t)=0$ จะแสดงสภาวะว่าง ถ้า $z(t)=1$ แสดงสภาวะการจองเป็นผลสำเร็จ และถ้า $z(t) \geq 2$ จะแสดงสภาวะการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง สำหรับค่าของ $I_{z(t)}$ จะมีค่าเป็น 1 ถ้าผลการจองเป็นผลสำเร็จหรือเมื่อเกิดเหตุการณ์ $z(t)$ และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่เกิดเหตุการณ์ $z(t)$ ดังกล่าว โดยค่า $p_{\max} = 1$ และตัวประกอบ q ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นแบบพลวัตเพื่อให้ได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม และโดยทั่วไปจะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ $(1/2)^k$ โดย k เป็นค่าจำนวนเต็ม ซึ่งเหตุผลในการกำหนดค่าตัวประกอบ q ให้มีค่าดังกล่าวเพื่อให้สอดคล้องกับระบบทางดิจิทัลที่มีการใช้งานวงจรซีพียูที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามตัวประกอบ q ที่นำไปคูณกับค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวผลคูณที่ได้ต้องมีค่าไม่เกิน 1 สำหรับค่าเริ่มต้นของ p ที่เหมาะสมกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $1/m$ ส่วนค่า q ที่เหมาะสมคือ $q = 1/2$ [8]

2.3.2 วิธีการ Pseudo-Bayesian

วิธีการ Pseudo-Bayesian จะกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณตามปริมาณของทราฟฟิกขณะนั้น ๆ ดังนี้

$$p(t+1) = \min \left\{ p_{\max}, \frac{1}{m(t+1)} \right\} \quad (2.2)$$

$$m(t+1) = \begin{cases} \max \{ \lambda(t+1), m(t), \lambda(t+1) - 1 \} : \text{Success, Idle} \\ m(t) + \lambda(t+1) + \frac{1}{e-2} : \text{Collision} \end{cases} \quad (2.3)$$

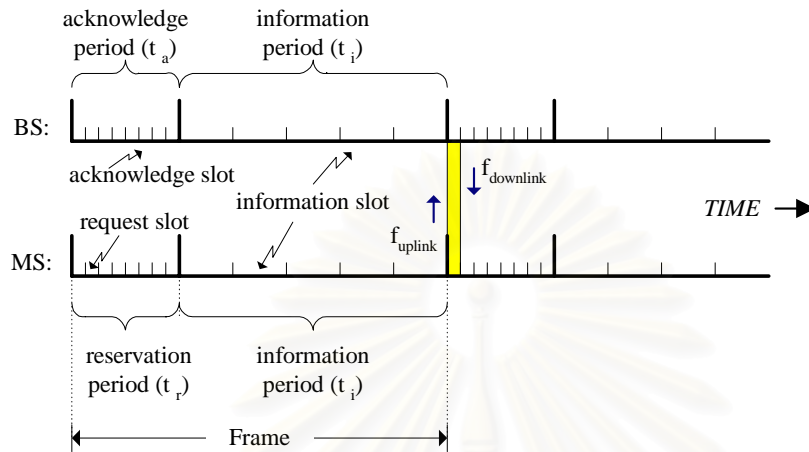
การประมาณค่าจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าของช่องสัญญาณถัดไป $m(t+1)$ จะคำนวณค่าจากปริมาณผู้เข้าของช่องสัญญาณที่ผ่านมา $m(t)$ แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณ โดยวิธีนี้ยังมีตัวแปรอีกตัวที่สำคัญคือ อัตราการเข้าของช่องสัญญาณต่อสล็อตการจองของผู้ใช้บริการใหม่ที่เพิ่มขึ้น $\lambda(t+1)$ ซึ่งเป็นการประมาณค่าแบบ Poisson Distribution

2.4 เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ

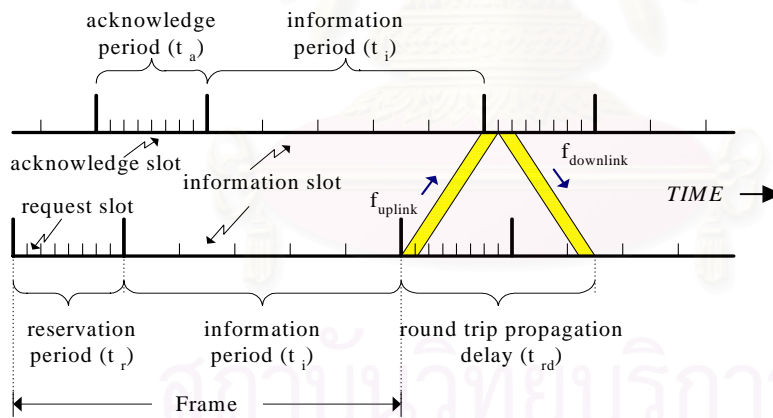
การทำงานของวิธี Pseudo-Bayesian และ Exponential Backoff จะกระทำบนสมมุติฐานที่กำหนดให้สถานีฐานสามารถทราบจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าของในขณะนั้น และสามารถส่งสัญญาณตอบรับสื่อสารระหว่างกันกับผู้ใช้บริการได้ในทันที กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้บริการเข้าของช่องสัญญาณในสล็อตการจองที่ t จากนั้นสถานีฐานจะรวบรวมจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าของทั้งหมดและแจ้งให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนทราบก่อนช่วงการจองในสล็อตการจองที่ $t+1$ ในช่วงการสื่อสารสัญญาณขาลง ซึ่งวิธีการดังกล่าวพบว่าจะใช้ได้กับระบบที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบสั้นกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งในกรณีนี้ผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จในการจองในช่องสล็อตการจองที่ผ่านมาเนื่องจากการชนกันของแพ็กเก็ตการจองจะสามารถเข้าของได้ในสล็อตการจองถัดไปได้ในทันที นั่นหมายถึงผู้ใช้บริการสามารถเข้าของสล็อตการจองใหม่ได้ทุกสล็อตการจองในเฟรมเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงการได้ตอบสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับผู้ใช้บริการไม่สามารถที่จะทำได้ในทันทีเมื่อค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามาก ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งในกรณีนี้ผู้ใช้บริการจะสามารถ

เข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งในหนึ่งเฟรม และถ้าผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง หรือเกิดการชนกัน

ผู้ใช้บริการจะสามารถเข้าจองได้อีกครั้งในช่วงสล็อตการจองของเฟรมถัดไป



รูปที่ 2.9 โครงสร้างเฟรมช่องสัญญาณของระบบที่มีค่าระยะเวลาประวัติการแพร่กระจายครบรอบต่ำกว่าช่วงเวลาประวัติการส่งสัญญาณ หรือเรียกว่าระบบ immediate feedback (IF)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างเฟรมช่องสัญญาณของระบบที่มีค่าระยะเวลาประวัติการแพร่กระจายครบรอบมากกว่าช่วงเวลาประวัติการส่งสัญญาณ หรือเรียกว่าระบบ delay feedback (DF)

ในระบบที่เวลาประวัติการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามาก และไม่สามารถละเลยได้จะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองของตนเองหลังจากผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงไม่สามารถทำการเข้าจองได้ทันในทุกๆ สล็อตการจอง โดยในกรณีเลวร้ายที่สุดคือ ผู้ใช้บริการสามารถทำการเข้าจองได้เพียง 1 ครั้งใน 1 เฟรมเท่านั้น

ในการเข้าจองในแต่ละเฟรม จะขึ้นกับปัจจัย 3 อย่างคือ ระยะเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ, เวลาของหนึ่งสล็อตการจองหรือเวลาหนึ่งแพ็กเก็ตการจอง และจำนวนสล็อตการจองในหนึ่งเฟรม สำหรับระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง เวลาในการส่งข้อมูลภายในหนึ่งช่วงการจองมีขนาดสั้นและจะยิ่งสั้นลงเมื่อความเร็วในการส่งมากขึ้น (จำนวนบิตข้อมูลเท่าเดิม) ซึ่งอาจจะทำให้ขนาดเวลาของสล็อตการจอง หรือเวลาประวิงการส่งสัญญาณสั้นกว่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ ดังนั้นผู้ใช้บริการจะทราบผลการจองหลังจากหมดช่วงการจองไปแล้ว และถ้าต้องการจองจะต้องรอใหม่ในสล็อตการจองของเฟรมถัดไป จากเหตุผลดังกล่าวการนำวิธี Pseudo-Bayesian และ Exponential Backoff มาใช้โดยตรงกับระบบที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวอาจไม่เหมาะสม จึงต้องทำการประยุกต์วิธีการทั้งสองดังกล่าวก่อนนำมาใช้

ตัวอย่างของความเร็วในการส่งข้อมูลสูงขึ้นและมีผลต่อการจองของระบบคือ สมมุติให้สล็อตการจองมีขนาด 16 บิต มีจำนวนสล็อต 20 สล็อตในหนึ่งเฟรม และผู้ใช้บริการอยู่ห่างจากสถานีฐานเป็นระยะทาง 5 กิโลเมตร ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตการจองจากผู้ใช้บริการไปยังสถานีฐาน (Propagation Delay) เท่ากับ $\frac{5 \times 10^3}{3 \times 10^8} = 16.67 \mu \text{sec}$ ดังนั้นระยะเวลาประวิงหลังจากผู้ใช้บริการเริ่มส่งข้อมูลจนกระทั่งได้รับสัญญาณตอบรับกลับมา (Round Trip Propagation Delay) มีค่าเท่ากับ $33 \mu \text{sec}$ สำหรับระบบที่มีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (Transmission Rate) เท่ากับ 1 Mbps ช่วงการจองจะมีขนาดเท่ากับ $\frac{16 \times 20}{1 \times 10^6} = 320 \mu \text{sec}$ ซึ่งมีค่ามากกว่าระยะเวลาการแพร่กระจายครบรอบ ทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองในสล็อตการจองอื่นๆในเฟรมเดียวกันได้อีก แต่ถ้าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 10 Mbps ช่วงการจองจะมีขนาดเท่ากับ $\frac{16 \times 20}{10 \times 10^6} = 32 \mu \text{sec}$ ซึ่งจะมีผลทำให้ผู้ใช้บริการทราบผลการจองของตนเองหลังจากหมดช่วงการจองในเฟรมนั้นๆไปแล้ว และจะต้องรอเข้าจองในเฟรมต่อไป

2.5 การปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง

การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของเทคนิควิธีที่เคยถูกนำเสนอคือ วิธี Pseudo-Bayesian และ Exponential Backoff จะกระทำโดยสถานีฐาน โดยสถานีฐานจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองสำหรับสล็อตการจองที่ $n+1$ หลังจากนั้นจะส่งค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้แจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบ ก่อนจะเริ่มการจองสล็อตที่ $n+1$ นั่นคือผู้ใช้บริการสามารถปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองได้ในทุกสล็อตการจอง แต่เมื่อเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามากขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการไม่สามารถจะเข้าจองได้ทุกสล็อตการจอง

ดังนั้นผู้ให้บริการจะต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของค่าเดียวกันในทุกสล็อตการจองและ
อาจจะเข้าจองได้เพียงหนึ่งครั้งในหนึ่งเฟรม ดังนั้นการประยุกต์วิธีการทั้งสองเพื่อนำมาใช้
เปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอจะกระทำในเงื่อนไขดังกล่าว และไม่คำนึงถึงรูปแบบกราฟฟิกที่เข้ามา
ในระบบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีเข้าจองช่องสัญญาณ

บทนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีเข้าจองช่องสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายในวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะวิเคราะห์ในเทอมของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของเทคนิคที่ใช้ในระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณวิธีต่างๆ โดยเทคนิคที่นำเสนอมีทั้งหมด 5 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบคงที่ โดยระเบียบวิธีที่ใช้เทคนิคนี้คือ Cascade Fixed Probability (CFP)
2. เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบปรับค่าได้ โดยระเบียบวิธีที่ใช้เทคนิคนี้คือ Cascade Adaptive Probability (CAP)
3. เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดแบบปรับค่าได้ โดยระเบียบวิธีที่ใช้เทคนิคนี้คือ Cascade Optimum Probability (COP)
4. เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม โดยระเบียบวิธีที่ใช้เทคนิคนี้คือ Uniform (UNI)
5. เทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ที่เลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม โดยระเบียบวิธีที่ใช้เทคนิคนี้คือ Uniform with Limited Access (UNI+LA)

วัตถุประสงค์หลักของระเบียบวิธีที่นำเสนอเพื่อที่จะทำให้ระบบมีสมรรถนะในช่วงการจองมากที่สุด กล่าวคือต้องการทำให้ผู้ใช้บริการที่เข้าจองประสบความสำเร็จมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องทำให้ค่าการประวิงเวลามีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นสมรรถนะในช่วงการจองจะนิยามจากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average Number of Successful Users) หรือค่าวิสัยสามารถในช่วงการจอง (Throughput)

เมื่อค่าวิสัยสามารถคือ จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จต่อจำนวนสล็อตการจองที่มีในระบบ และนิยามจากเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (The Average Delay of Successful Users (D_{su})) หรือค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจองที่มีในระบบ (Delay (D)) ซึ่งการคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองและเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจองของระเบียบวิธีที่นำเสนอ จะทำโดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ควบคู่กับผลจำลองทางคอมพิวเตอร์

เนื้อหาในบทนี้จะเริ่มจากข้อกำหนดและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา จากนั้นเป็นการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและแสดงวิธีในการคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการเพียง 1, 2, 3 และ 4 คนตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จและค่าเวลาประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ของระเบียบวิธีที่นำเสนอเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ M คนจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต จากนั้นจึงเป็นการนำเสนอเทคนิคทั้ง 5 เทคนิคในการเข้าจองช่องสัญญาณคือ เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่, เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบปรับค่าได้, เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดแบบปรับค่าได้, เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม และเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ที่เลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม รวมถึงการวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าเวลาประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิควิธีที่เข้าจองทั้ง 5 วิธี สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์หาสมรรถนะของวิธี Applied Pseudo Bayesian หรือเรียกว่าการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองจากผู้เข้าใช้บริการโดยตรง (Direct Estimate Probability) และวิธี Applied Exponential Backoff ที่ไม่คำนึงถึงรูปแบบของทราฟฟิกที่เข้าจองในระบบ ซึ่งวิธีทั้งสองเป็นวิธีที่ได้จากการประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอ (Pseudo Bayesian และ Exponential Backoff) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเทคนิควิธีทั้ง 5 วิธีของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย

3.1 ข้อกำหนดและแบบจำลอง

1. เซลล์ประกอบด้วยสถานีฐานจำนวนหนึ่งสถานี และผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่ง โดยการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการทุกคนภายในเซลล์หนึ่ง จะต้องกระทำผ่านสถานีฐานที่ให้บริการภายในเซลล์นั้นเพียงอย่างเดียว
2. โพรโทคอลที่ทำการศึกษาคือจะประกอบด้วยช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลง ซึ่งมีการแยกออกจากกันบนพื้นฐานของ การแบ่งทางความถี่ (Frequency Division Duplex) หรือเรียกว่า FDD และภายในช่องสัญญาณแต่ละช่องจะแบ่งเป็นเฟรมแบบ การแบ่งทางเวลา (Time Division Multiplex Access) หรือเรียกว่า TDMA โดยในเฟรมแต่ละเฟรมจะประกอบด้วย ช่วงการจ้องและช่วงการส่งข่าวสาร ที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะการทำงานในช่วงการจ้องเท่านั้น
3. เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่แท้จริงของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจ้อง ช่องสัญญาณที่นำเสนอ การจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้ช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาเป็นช่องสัญญาณในอุดมคติคือ ไม่มีความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล รวมถึงละเลยผลของเฟดดิ้งและผลของปรากฏการณ์รั้งจับ (Capture Effect)
4. จำนวนผู้ใช้บริการภายในโครงข่ายจะคงที่ตลอดการจำลองแบบ โดยไม่คิดผลของการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลล์ (Hand over) คือไม่เกิดการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลล์
5. เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามากกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ดังนั้น ผู้ใช้บริการจะทราบผลการจ้องหลังจากหมดช่วงการจ้องในเฟรมนั้นๆ ไปแล้ว ทำให้ ผู้ใช้บริการแต่ละคนมีโอกาสเข้าจ้องได้เพียงครั้งเดียวในช่วงการจ้องของเฟรมนั้นๆ
6. เมื่อผู้ใช้บริการมีข้อมูลที่ต้องการส่ง ผู้ใช้บริการจะต้องเข้าจ้องในช่วงการจ้องก่อนโดยการส่งแพ็กเก็ตการจ้อง ซึ่งถ้าประสบความสำเร็จในการจ้องสถานีฐานจะเป็นผู้จัดสรร สล็อตข่าวสารสำหรับการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการ แต่ถ้าผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการจ้องจะต้องรอในเฟรมถัดไป

7. ผู้ใช้บริการที่มีสิทธิในการเข้าจองในช่วงการจองแต่ละช่วง จะต้องเป็นผู้ใช้บริการที่มีความต้องการที่จะส่งข้อมูลก่อนเวลาเริ่มต้นในเฟรมแต่ละเฟรม กล่าวคือเมื่อถึงเวลาเริ่มต้นในเฟรมแต่ละเฟรมผู้ให้บริการที่มีข้อมูลต้องการส่งเท่านั้นที่มีสิทธิในการเข้าจองช่องสัญญาณ ผู้ใช้บริการคนอื่นๆ ที่เริ่มมีข้อมูลที่จะส่งภายหลังจากเริ่มช่วงการจองไปแล้ว จะต้องรอช่วงการจองในเฟรมถัดไปจึงจะมีสิทธิเข้าจอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความยุติธรรม(Fairness) ของผู้ให้บริการ กล่าวคือผู้ให้บริการที่มาก่อนควรได้รับสิทธิให้เข้าจองได้ก่อนและผู้ให้บริการที่มาทีหลังควรจะต้องรอในเฟรมถัดไป
8. กำหนดให้สถานีฐานทราบจำนวนผู้ให้บริการที่ต้องการเข้าจอง ณ จุดเริ่มต้นสล็อตการจองในเฟรมแต่ละเฟรม และทราบจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดที่มีอยู่ในเฟรมแต่ละเฟรม ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่สถานีฐานจะทราบจำนวนผู้ให้บริการอย่างแท้จริง แต่อาจจะเป็นไปได้ในกรณีที่สถานีฐานสามารถที่จะประมาณจำนวนผู้ให้บริการจากจำนวนผู้ให้บริการที่เข้าจองในอดีต ซึ่งประเด็นนี้จะไม่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
9. ค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้แสดงถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีที่นำเสนอ คือจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Number of Success Users) และเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Delay of Successful Users) เป็นพารามิเตอร์หลักในการเปรียบเทียบ สำหรับพารามิเตอร์อื่นที่ใช้คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการประสบความสำเร็จในการจอง ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และเวลาประวิงเฉลี่ย (Delay) ซึ่งกำหนดให้เป็นจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อจำนวนสล็อตการจอง และเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจองหรือเรียกว่า เวลาประวิงต่อแพ็คเกจการจองตามลำดับ
10. วิทยานิพนธ์นี้จะไม่พิจารณารูปแบบของทราฟฟิก และอัตราการเข้าจอง (Arrival rate) ของผู้ให้บริการที่ต้องการเข้าจองช่องสัญญาณ และกำหนดให้ขนาดของแพ็คเกจการจองเท่ากับขนาดของสล็อตการจอง

1.2 แนวทางในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 3 และ 4 คนตามลำดับ เพื่อแสดงให้เห็นเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง ซึ่งเหตุการณ์ในสล็อตใดสล็อตหนึ่งจะเป็นผลต่อเนื่องมาจากเหตุการณ์ในสล็อตก่อนหน้าที่ผ่านมาและจะส่งผลต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดในสล็อตถัดไป ซึ่งเรียกว่าการเข้าจองช่องสัญญาณตามลำดับต่อเนื่อง (Cascade) [7,11] เมื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนตัดสินใจเข้าจองในสล็อตการจองใดสล็อตหนึ่ง ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็คเกจการจองหรือค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเท่ากันสำหรับทุกคนและทุกสล็อตการจอง จากนั้นจึงแสดงวิธีการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในช่วงการจอง จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เพื่อนำมาใช้หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จในการจอง ส่วนค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจะแสดงให้เห็นในหัวข้อที่ 3.3

3.2.1 กรณีระบบมีผู้ใช้บริการ 1 คน

เนื่องจากระบบมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว ดังนั้นผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในช่วงการจองอย่างแน่นอน และค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจองควรเท่ากับ 1 แต่เพื่อให้เป็นแนวทางที่จะแสดงให้เห็นถึงเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้มากกว่านี้ จะวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

p แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ (Permission probability)

n จำนวนช่องสล็อตการจองที่เหลืออยู่

k จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง

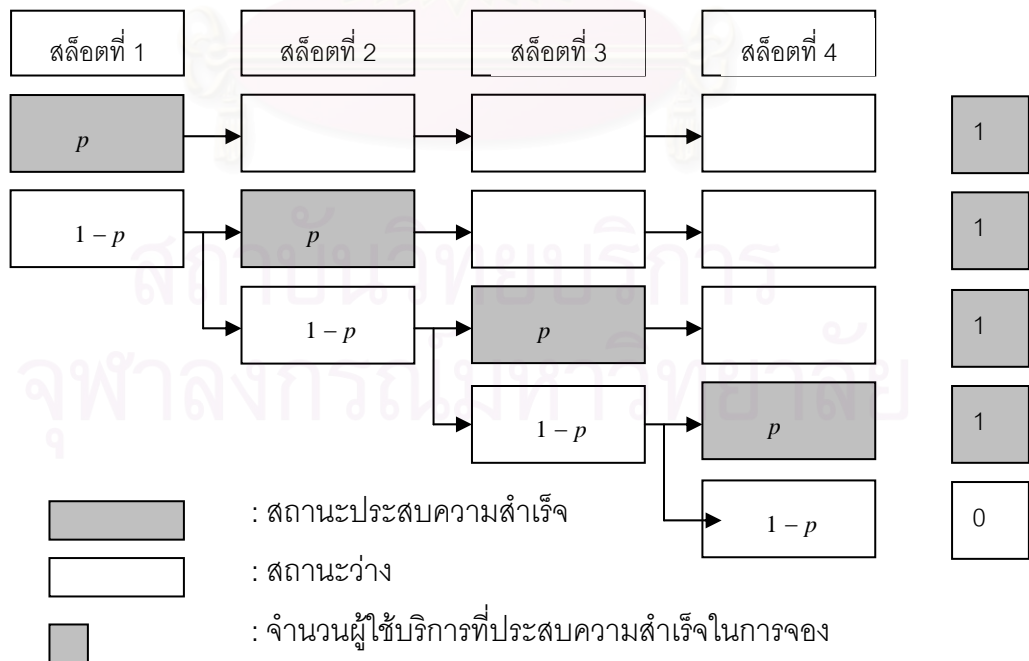
$Pr[k|1, n, p]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีจำนวนผู้ให้บริการ 1 คน จำนวนสล๊อตการจองเท่ากับ n สล๊อตและผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p

$T[1, n, p]$ แทนจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อมีผู้ให้บริการ 1 คน จำนวนสล๊อตการจองเท่ากับ n สล๊อตและผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p

เมื่อพิจารณาสล๊อตการจองแรกจะมีจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 2 เหตุการณ์คือ

1. ผู้ให้บริการเข้าจองช่องสล๊อตงาน ดังนั้นผู้ให้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และช่องสล๊อตการจองถัดไปจะไม่เหลือผู้ให้บริการที่ต้องการเข้าจอง
2. ผู้ให้บริการไม่ต้องการเข้าจองช่องสล๊อตงาน ดังนั้นสล๊อตการจองถัดไปก็จะเกิดเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์เช่นเดียวกันกับการจองสล๊อตแรก

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ให้บริการ 1 คนและจำนวนสล๊อตการจอง 4 สล๊อตแสดงดังนี้



รูปที่ 3.1 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1 คนและสล๊อตการจองจำนวน 4 สล๊อต

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ จำนวน 1 คน สล๊อตการจองจำนวน n สล๊อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p ($\Pr[k|1, n, p]$) โดยค่า $k = 0, 1$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณีที่ $k = 0$ ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการไม่ประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[0|1, n, p] = (1 - p)^n \quad (3.1)$$

กรณีที่ $k = 1$ ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned} \Pr[1|1, n, p] &= \text{ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการเข้าจองสล๊อตแรก} \\ &+ \text{ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการเข้าจองสล๊อตที่ 2} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &+ \text{ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการเข้าจองสล๊อตที่ } n \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$= p + (1 - p)p + (1 - p)^2 \cdot p + \dots + (1 - p)^{n-1} \cdot p$$

$$= \sum_{i=0}^{n-1} (1 - p)^i \cdot p = p \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (1 - p)^i$$

$$= p \frac{1 - (1 - p)^n}{1 - (1 - p)} = 1 - (1 - p)^n$$

ดังนั้นจะหาค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ได้ดังนี้

$$T[1, n, p] = 0 \cdot \Pr[0|1, n, p] + 1 \cdot \Pr[1|1, n, p] \quad (3.3)$$

$$= 0 \cdot (1 - p)^n + 1 \cdot (1 - (1 - p)^n) = 1 - (1 - p)^n$$

ทำการหาค่าอนุพันธ์ของสมการที่ (3.3) เทียบกับ p แล้วกำหนดให้เท่ากับศูนย์ จะได้ค่า p ที่เหมาะสมดังนี้

$$= \frac{\partial T[1, n, p]}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p} (1 - (1 - p)^n) = n(1 - p)^{n-1} = 0 \quad (3.4)$$

$$p = 1 \quad (3.5)$$

ผลจากสมการที่ (3.5) จะเห็นว่าถ้าระบบมีผู้ใช้บริการเข้าจองเพียงคนเดียว ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะมีค่าเท่ากับ 1 และจะทำให้มีผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเท่ากับ 1 นั่นคือผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน

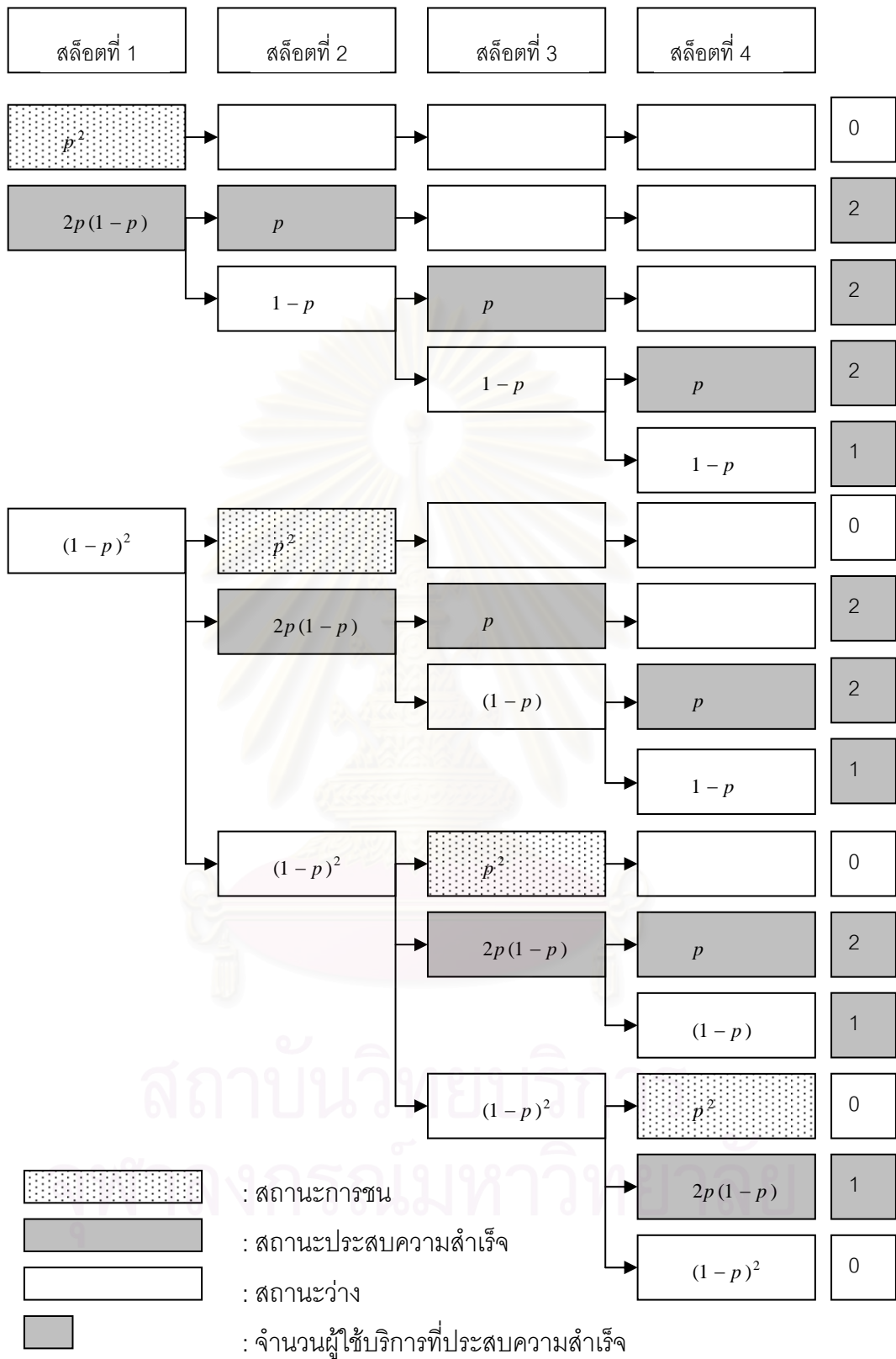
3.2.2 กรณีระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน

ในกรณีระบบมีผู้ใช้บริการมากกว่า 1 คนจะมีเหตุการณ์ที่นอกเหนือจากสถานะประสบความสำเร็จ (success) และสถานะว่าง (idle) คือสถานะการชน (collision) เกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาสล็อตการจองแรกจะมีจำนวนเหตุการณ์เกิดขึ้นทั้งหมด 3 เหตุการณ์คือ

1. ผู้ใช้บริการทั้ง 2 คนเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน ดังนั้นจะเกิดการชนกันขึ้นและจะส่งผลให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจองและในสล็อตถัดไปก็จะไม่เหลือจำนวนผู้ใช้บริการอีก
2. ผู้ใช้บริการ 1 คนเข้าจอง ดังนั้นจะมีผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองและในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ใช้บริการที่มีสิทธิเข้าจองอีก 1 คน
3. ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตถัดไปก็จะเกิดเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ 3 เหตุการณ์เช่นเดียวกับการจองสล็อตแรก

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คนและจำนวนสล็อตการจอง 4 สล็อตแสดงได้ดังรูป

ที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 คนและสล็อตการจอง 4 สล็อต

ค่าของ $\Pr[k|2, n, p]$ โดยที่ $k = 0, 1, 2$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณี $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}\Pr[0|2, n, p] &= (1-p)^{2n} + \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{2i} \cdot p^2 \\ &= (1-p)^{2n} + p^2 \frac{1-(1-p)^{2n}}{1-(1-p)^2}\end{aligned}\quad (3.6)$$

กรณี $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}\Pr[1|2, n, p] &= \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{2i} \cdot 2p(1-p) \cdot (1-p)^{n-i-1} \\ &= 2p(1-p)^n \frac{1-(1-p)^{2n}}{1-(1-p)^2}\end{aligned}\quad (3.7)$$

กรณี $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}\Pr[2|2, n, p] &= \sum_{i=0}^{n-2} [(1-p)^{2i} \cdot 2p(1-p) \cdot \sum_{j=0}^{n-i-2} (1-p)^j p] \\ &= 2p(1-p) \cdot p \cdot \frac{1}{1-(1-p)} \left[\frac{1-(1-p)^{2(n-1)}}{1-(1-p)^2} - (1-p)^{n-1} \cdot \frac{1-(1-p)^{n-1}}{1-(1-p)} \right]\end{aligned}\quad (3.8)$$

ดังนั้นค่าวิสัยสามารถจะแสดงค่าได้ดังนี้

$$T[2, n, p] = 0 \cdot \Pr[0|2, n, p] + 1 \cdot \Pr[1|2, n, p] + 2 \cdot \Pr[2|2, n, p] \quad (3.9)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สามารถหาค่าได้จากการทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.9) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของจำนวนสลอตที่มีในระบบ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดก็จะได้จากการแทนค่า p ที่เหมาะสมดังกล่าว

3.2.3 กรณีระบบมีผู้ใช้บริการ 3 คน

ในกรณีของผู้ใช้บริการ 3 คน สถานะที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจองจะมี 3 สถานะ เช่นเดียวกับกรณีของผู้ใช้บริการ 2 คน แต่สถานะการชนจะมีกรณีเพิ่มเติมคืออาจเกิดจากผู้ใช้บริการ 2 คนเข้าจองพร้อมกันหรือผู้ให้บริการ 3 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรกจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์คือ

1. ผู้ใช้บริการ 3 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะไม่เหลือผู้ให้บริการที่จะใช้สิทธิเข้าจอง
2. ผู้ใช้บริการ 2 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการที่ยังมีสิทธิในการจองอีก 1 คน
3. ผู้ใช้บริการ 1 คนเข้าจอง ดังนั้นผู้ให้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการที่ยังมีสิทธิเข้าจองอีก 2 คน
4. ไม่มีผู้ให้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตถัดไปก็จะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก

ดังนั้นค่าของ $\Pr[k|3, n, p]$ โดยที่ $k = 0, 1, 2, 3$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณี $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[0|3, n, p] = (1-p)^{3 \cdot n} + \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{3 \cdot i} \cdot 3p^2(1-p)(1-p)^{n-i-1} + \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{3 \cdot i} \cdot p^3 \quad (3.10)$$

กรณี $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}
\Pr[1|3, n, p] &= \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{3i} \cdot 3p(1-p)^2(1-p)^{2(n-i-1)} \\
&+ \sum_{i=0}^{n-2} [(1-p)^{3i} \cdot 3p(1-p)^2 \cdot \sum_{j=0}^{n-2-i} (1-p)^{2j} \cdot p^2] \\
&+ \sum_{i=0}^{n-2} [(1-p)^{3i} \cdot 3p^2(1-p) \cdot \sum_{j=0}^{n-2-i} (1-p)^j \cdot p] \quad (3.11)
\end{aligned}$$

กรณี $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[2|3, n, p] = \sum_{i=0}^{n-2} [(1-p)^{3i} \cdot 3p(1-p)^2 \times \sum_{j=0}^{n-i-2} (1-p)^{2j} \cdot 2p(1-p)(1-p)^{n-i-j-2}] \quad (3.12)$$

กรณี $k = 3$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 3 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[3|3, n, p] = \sum_{i=0}^{n-3} [(1-p)^{3i} \cdot 3p(1-p)^2 \times \sum_{j=0}^{n-i-3} [(1-p)^{2j} \cdot 2p(1-p) \times \sum_{r=0}^{n-j-i-3} (1-p)^r \cdot p]] \quad (3.13)$$

ดังนั้นค่าวิสัยสามารถจะแสดงค่าได้ดังนี้

$$T[3, n, p] = 0 \cdot \Pr[0|3, n, p] + 1 \cdot \Pr[1|3, n, p] + 2 \cdot \Pr[2|3, n, p] + 3 \cdot \Pr[3|3, n, p] \quad (3.14)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 3 คนสามารถหาค่าได้จากการทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.14) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของจำนวนสล롯ที่มีในระบบ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดก็จะได้จากการแทนค่า p ที่เหมาะสมดังกล่าว

3.2.4 กรณีระบบมีผู้ใช้บริการ 4 คน

เมื่อพิจารณาสลอตการจองแรกจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 5 เหตุการณ์คือ

1. ผู้ใช้บริการ 4 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันและไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสลอตถัดไปก็จะไม่เหลือผู้ใช้บริการที่จะใช้สิทธิเข้าจอง

2. ผู้ให้บริการ 3 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการที่ยังมีสิทธิในการจองอีก 1 คน
3. ผู้ให้บริการ 2 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการที่ยังมีสิทธิในการจองอีก 2 คน
4. ผู้ให้บริการ 1 คนเข้าจอง ดังนั้นผู้ให้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการที่ยังมีสิทธิเข้าจองอีก 3 คน
5. ไม่มีผู้ให้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตถัดไปก็จะมีเหตุการณ์ที่เกิดได้ 5 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก

กรณี $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ให้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}
 \Pr[0|4, n, p] &= (1-p)^{4n} + \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{4i} \cdot 6p^2(1-p)^2(1-p)^{2(n-i-1)} \\
 &\quad + \sum_{i=0}^{n-1} [(1-p)^{4i} \cdot 4p^3(1-p) \cdot (1-p)^{n-i-1}] \\
 &\quad + \sum_{i=0}^{n-2} [(1-p)^{4i} \cdot 6p^2(1-p)^2 \cdot \sum_{j=0}^{n-2-i} (1-p)^{2j} \cdot p^2] \\
 &\quad + \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{4i} \cdot p^4
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

กรณี $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ให้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[1|4, n, p] = \sum_{i=0}^{n-1} (1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3(1-p)^{3(n-i-1)}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i=0}^{n-2} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \times \sum_{j=0}^{n-i-2} (1-p)^{3j} \cdot 3p^2(1-p) \cdot (1-p)^{n-i-j-2} \right] \\
& + \sum_{i=0}^{n-2} \left[(1-p)^{4i} \cdot 6p^2(1-p)^2 \times \sum_{j=0}^{n-i-2} (1-p)^{2j} \cdot 2p(1-p) \cdot (1-p)^{n-i-j-2} \right] \\
& + \sum_{i=0}^{n-2} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \times \sum_{j=0}^{n-2-i} (1-p)^{3j} \times p^3 \right] \\
& + \sum_{i=0}^{n-2} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p^3(1-p) \times \sum_{j=0}^{n-2-i} (1-p)^j \times p \right] \tag{3.16}
\end{aligned}$$

กรณี $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}
\Pr[2|4, n, p] & = \sum_{i=0}^{n-2} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \times \sum_{j=0}^{n-i-2} (1-p)^{3j} \cdot 3p(1-p)^2 \cdot (1-p)^{2(n-i-j-2)} \right] \\
& + \sum_{i=0}^{n-3} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \times \left\{ \sum_{j=0}^{n-i-3} \left[(1-p)^{3j} \cdot 3p(1-p)^2 \cdot \sum_{r=0}^{n-i-j-3} (1-p)^{2r} \cdot p^2 \right] \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{i=0}^{n-i-3} \left[(1-p)^{3j} \cdot 3p^2(1-p) \cdot \sum_{r=0}^{n-i-j-3} (1-p)^r \cdot p \right] \right\} \right] \\
& + \sum_{i=0}^{n-3} \left\{ (1-p)^{4i} \cdot 6p^2(1-p)^2 \cdot \sum_{j=0}^{n-i-3} (1-p)^{2j} \cdot 2p(1-p) \times \sum_{r=0}^{n-i-j-3} (1-p)^r \cdot p \right\} \tag{3.17}
\end{aligned}$$

กรณี $k = 3$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 3 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\begin{aligned}
\Pr[3|4, n, p] & = \sum_{i=0}^{n-3} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \cdot \sum_{j=0}^{n-i-3} \left[(1-p)^{3j} \cdot 3p(1-p)^2 \right. \right. \\
& \left. \left. \times \sum_{r=0}^{n-i-j-3} (1-p)^{2r} \cdot p(1-p) \cdot (1-p)^{n-i-j-r-3} \right] \right] \tag{3.18}
\end{aligned}$$

กรณี $k = 4$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 4 คนประสบความสำเร็จในการจองคือ

$$\Pr[4|4, n, p] = \sum_{i=0}^{n-4} \left[(1-p)^{4i} \cdot 4p(1-p)^3 \cdot \sum_{j=0}^{n-i-4} \left\{ (1-p)^{3j} \cdot 3p(1-p)^2 \right. \right.$$

$$\times \sum_{r=0}^{n-i-j-4} \left[(1-p)^{2r} \cdot 2p(1-p) \cdot \sum_{s=0}^{n-i-j-r-4} (1-p)^s p \right] \quad (3.19)$$

ดังนั้นในระบบที่มีผู้ให้บริการ 4 คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต และผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p จะหาค่าวิสัยสามารถได้คือ

$$T[4, n, p] = 0 \cdot \text{Pr}[0|4, n, p] + 1 \cdot \text{Pr}[1|4, n, p] + 2 \cdot \text{Pr}[2|4, n, p] + 3 \cdot \text{Pr}[3|4, n, p] + 4 \cdot \text{Pr}[4|4, n, p] \quad (3.20)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณในกรณีมีผู้ให้บริการ 4 คน สามารถหาค่าได้จากการทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.20) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของจำนวนสล๊อตที่มีในระบบ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดก็จะได้จากการแทนค่า p ที่เหมาะสมดังกล่าว

3.3 เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่

จากหัวข้อกรณีศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สมการที่ (3.3), (3.9), (3.14) และ(3.20) แสดงความ

สัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ กับจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ นั้นแสดงถึงค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของระบบ การเลือกค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณจะต้องเลือกใช้ค่าที่เหมาะสม เพราะถ้าเลือกใช้ค่าที่มากเกินไปจะทำให้ผู้ให้บริการเกือบทั้งหมดเข้าจองในช่วงสล๊อตการจองแรกๆและเกิดการชนกัน จากนั้นผู้ให้บริการที่เหลือจะเข้าจองส่งผลให้มีจำนวนผู้ให้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าน้อยลงเพราะเหลือผู้ให้บริการในจำนวนน้อยแล้ว ในทางตรงกันข้ามถ้าเลือกใช้ค่าที่น้อยเกินไป ก็จะทำให้แทบไม่มีผู้ให้บริการคนใดตัดสินใจเข้าจอง ส่งผลให้สล๊อตการจองเหลือว่างจำนวนมาก เพราะไม่ถูกใช้และจำนวนผู้ให้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าน้อยเพราะสล๊อตการจองมีการใช้งานน้อยเกินไป

ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงเสนอเทคนิควิธีการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ เพื่อนำมาใช้ในระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดในช่วงการจอง

3.3.1 วิธีใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (Cascade Fixed Probability (CFP))

วิธีการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่หรือเรียกว่า วิธี CFP จะกำหนดให้ผู้ให้บริการแต่ละคนทำการเข้าจองช่องสัญญาณตามลำดับ จากสถิติการจองแรกของเฟรมจนถึงสถิติการจองสุดท้าย ในแต่ละสถิติการจองของผู้ให้บริการจะตัดสินใจเข้าจองหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองที่มีค่าแน่นอนค่าหนึ่ง ซึ่งผู้ให้บริการแต่ละคนมีสิทธิเลือกใช้ค่าดังกล่าวเพียงครั้งเดียวตลอดการจองในเฟรมนั้นๆ โดยหัวข้อในกรณีศึกษาที่ผ่านมาเป็นส่วนหนึ่ง que แสดงให้เห็นการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธีนี้ สำหรับผู้ให้บริการที่ต้องการเข้าจองช่องสัญญาณที่มีจำนวนมากกว่า 4 คนและจำนวนสถิติการจองมากกว่า 4 สถิติ จะต้องมึวิธีการในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของระบบให้เป็นสมการในกรณีทั่วไป ดังนั้นในหัวข้อถัดไปจะแสดงวิธีการคำนวณหาค่าสมรรถนะของระบบในกรณีทั่วไป โดยค่าสมรรถนะของระบบดังกล่าวจะทำการคำนวณและวิเคราะห์ค่าในเทอมของ จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ และค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ส่วนค่าวิสัยสามารถที่จะคำนวณได้จากค่าของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณต่อจำนวนสถิติการจอง ส่วนค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง สามารถคำนวณได้จากค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณต่อจำนวนสถิติการจอง ตามลำดับ

3.3.2 การหาสมรรถนะของวิธี CFP ด้วย Recursive Formula ในรูปของ Pr

การหาสมรรถนะของวิธี CFP ด้วยการคำนวณค่าแบบวนซ้ำในเทอมของความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการประสบความสำเร็จในการจอง หรือเรียกว่า Recursive Formula ในรูปของ Pr จะนำมาใช้เป็นการคำนวณค่าสำหรับกรณีทั่วไปของกรณีศึกษาที่ผ่านมา ทั้งนี้เพราะจากกรณีศึกษาในการจองช่องสัญญาณจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อจำนวนผู้ให้บริการและจำนวนสถิติเพิ่มขึ้นจะมีความยุ่งยากในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการประสบความสำเร็จในการจองเป็นอย่างมาก ดังนั้นควรจะนำเทคนิคบางอย่างเข้ามาช่วยคือ เทคนิคการหาค่าแบบวนซ้ำในรูปของ Pr

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

m แทนจำนวนผู้ให้บริการ

m_{i+1} แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ตัดสินใจเข้าของ ณ สล็อตการจอบที่ $i + 1$

k แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ

n แทนจำนวนสล็อตการจอบ

j แทนจำนวนสล็อตการจอบที่ถูกใช้ ($n_{\text{successful}} + n_{\text{collision}}$)

$\Pr[k|m, n, p]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอบ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบด้วยความน่าจะเป็น p

$\Pr[k, j|m, n, p]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอบ และใช้จำนวนสล็อตการจอบ j สล็อต เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบด้วยความน่าจะเป็น p

$T[m, n, p]$ แทนค่าวิสัยสามารถ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบด้วยความน่าจะเป็น p

$D_{av}[m, n, p]$ แทนค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบด้วยความน่าจะเป็น p

$D[m, n, p]$ แทนค่าเวลาประวิงต่อแพ็คกเกิดการจอบ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบด้วยความน่าจะเป็น p

โดยที่จำนวนสล็อตการจอบที่มีผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอบ j ที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ

$$j = k, k + 1, k + 2, \dots, k + \left\lceil \frac{n - k}{2} \right\rceil \quad (3.21)$$

โดยกำหนดให้ $[x] =$ จำนวนเต็มที่ใหญ่ที่สุดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ x

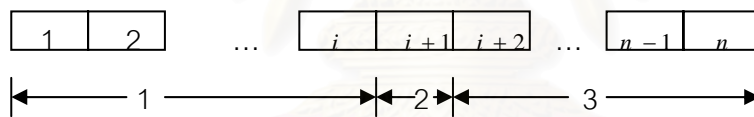
หมายเหตุ สมการที่ (3.21) ค่ามากที่สุดของ j ที่เป็นไปได้ คือผลรวมของจำนวนสล๊อตการจองที่มีสถานะประสบความสำเร็จกับจำนวนสล๊อตที่เกิดการชนได้มากที่สุด

ขั้นตอนในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ $\Pr[k, j | m, n, p]$ แสดงดังนี้

กรณี $j = 0$: ไม่มีจำนวนสล๊อตการจองใดถูกใช้ ดังนั้นจึงไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจองและประสบความสำเร็จในการจอง ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้คือ

$$\Pr[0,0 | m, n, p] = (1 - p)^{m \cdot n} \quad (3.22)$$

กรณี $j > 0$: มีผู้ใช้บริการอย่างน้อย 1 คนตัดสินใจเข้าจอง ดังนั้นสามารถที่จะพิจารณาแบ่งส่วนจำนวนสล๊อตการจองออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรก ส่วนที่สอง และส่วนสุดท้ายตามลำดับ



รูปที่ 3.3 การแบ่งจำนวนสล๊อตการจอง ออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนแรก แสดงถึงช่วงที่ยังไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจองในช่วงการจองทั้ง i สล๊อต เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอง ด้วยค่าความน่าจะเป็น p คือ

$$(1 - p)^{m \cdot i} \quad (3.23)$$

โดยค่าที่เป็นไปได้ของจำนวนสล๊อตการจอง i คือ

$$i = 0, 1, 2, \dots, n - j \quad (3.24)$$

ส่วนที่สอง แสดงถึงสล็อตการจองสล็อตแรกที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อย 1 คนตัดสินใจเข้าจอง ดังนั้นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ m_{i+1} คนเข้าจอง ณ สล็อตการจองที่ $i+1$ คือ

$$B[m, m_{i+1}, p] = \binom{m}{m_{i+1}} p^{m_{i+1}} (1-p)^{m-m_{i+1}} \quad (3.25)$$

กำหนดให้ $\binom{m}{m_{i+1}} = \frac{m!}{(m-m_{i+1})!(m_{i+1})!}$ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการที่ตัดสินใจเข้าจอง ณ สล็อตการจองที่ m_{i+1} ที่เป็นไปได้คือ

$$m_{i+1} = b_{i+1}, b_{i+1} + 1, b_{i+1} + 2, \dots, e_{i+1} \quad (3.26)$$

โดยที่ค่าของ b_{i+1} กำหนดค่าดังนี้

$$\begin{aligned} b_{i+1} &= 0, j = 0 \\ &= 1, j \neq 0, j = k \\ &= 2, j \neq 0, j \neq k \end{aligned} \quad (3.27)$$

และค่าของ e_{i+1} กำหนดดังนี้

$$\begin{aligned} e_{i+1} &= 0, j = 0 \\ &= m - 2(j-1), j \neq 0, k = 0 \\ &= 1, j \neq 0, j = k \\ &= (m-k) - 2(j-k-1), j \neq 0, j \neq k \end{aligned} \quad (3.28)$$

ส่วนที่ 3 แสดงการพิจารณาสล็อตการจองที่ $i+2$ จนถึงช่องสล็อตการจองสุดท้ายที่ n

กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ดังนี้

m' แทนจำนวนผู้ใช้บริการในช่วงที่ 3

k' แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในช่วงที่ 3

n' แทนจำนวนสล๊อตการจองในช่วงที่ 3

j' แทนจำนวนสล๊อตการจองที่ถูกใช้งานในช่วงที่ 3 ($n'_{\text{successful}} + n'_{\text{collision}}$)

$\Pr[k', j' | m', n', p]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k' คนประสบความสำเร็จในการจอง และใช้จำนวนสล๊อตการจอง j' สล๊อต เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m' คน จำนวนสล๊อตการจอง n' สล๊อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p

โดยค่าของ k', j', m' และ n' กำหนดได้ดังนี้

$$m' = m - m_{i+1} \quad (3.29)$$

$$k' = k - 1, m_{i+1} = 1 \quad (3.30)$$

$$= k, m_{i+1} \neq 1$$

$$j' = j, m_{i+1} = 0 \quad (3.31)$$

$$= j - 1, m_{i+1} > 0$$

$$n' = n - i - 1 \quad (3.32)$$

จากการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จในส่วนที่ 1, 2 และ 3 สามารถนำมาสรุป ดังนี้

$$\Pr[k, j | m, n, p] = \sum_{i=0}^{n-j} \left[(1-p)^{m-i} \times \sum_{m_{i+1}=b_{i+1}}^{e_{i+1}} B[m, m_{i+1}, p] \cdot \Pr[k', j' | m', n', p] \right] \quad (3.33)$$

โดยเงื่อนไขขอบเขตของสมการที่ (3.33) คือ

$$\Pr[k, j | 0, n, p] = \Pr[k, j | m, 0, p] = 0 \quad (3.34)$$

$$\Pr[k|m, n, p] = \sum_{j=k}^{k+\lfloor \frac{n-k}{2} \rfloor} \Pr[k, j|m, n, p] \quad (3.35)$$

$$= \sum_{j=k}^{k+\lfloor \frac{n-k}{2} \rfloor} \cdot \sum_{i=0}^{n-j} \left[(1-p)^{m \cdot j} \times \sum_{m_{i+1}=b_{i+1}}^{e_{i+1}} B[m, m_{i+1}, p] \cdot \Pr[k', j'|m', n', p] \right]$$

3.3.2.1 การพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p คือ

$$T_{method} [m, n, p] = \sum_{k=0}^m k \cdot \Pr_{method} [k|m, n, p] \quad (3.36)$$

$$= \sum_{k=0}^m k \cdot \left[\sum_{j=k}^{k+\lfloor \frac{n-k}{2} \rfloor} \cdot \sum_{i=0}^{n-j} \left[(1-p)^{m \cdot j} \times \sum_{m_{i+1}=b_{i+1}}^{e_{i+1}} B[m, m_{i+1}, p] \cdot \Pr_{method} [k', j'|m', n', p] \right] \right]$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณของวิธี CFP เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต สามารถหาค่าได้จากการทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.36) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของจำนวนสล๊อตที่มีในระบบ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดก็จะได้จากการแทนค่า p ที่เหมาะสมดังกล่าว

ส่วนค่าวิสัยสามารถ สามารถหาได้จากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จต่อจำนวนสล๊อตการจอง

3.3.2.2 การพิจารณาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยโดยวิธีประมาณค่า (Approximation Method)

ผลจากการแบ่งส่วนจำนวนช่องสล๊อตในการใช้งานดังรูปที่ 3.3 พบว่า ผู้ใช้บริการจะไม่ประสบความสำเร็จในช่วง i สล๊อตแรก และจะเริ่มประสบความสำเร็จในช่วงสล๊อตที่ $i+1$ เป็นต้นไป ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาค่าประวิงเวลาโดยเฉลี่ยได้ดังนี้ กำหนดให้

\bar{T} แทนค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (สล๊อต) สำหรับผู้ใช้บริการที่จะสามารถประสบความสำเร็จในการจองเป็นครั้งแรกจำนวน 1 คน โดยค่า \bar{T} ดังกล่าวจะเป็นค่าเฉลี่ยเชิงสถิติของ

ระยะเวลารอคอยอย่างสุ่มในช่วงการจอบที่ไม่ประสบความสำเร็จจำนวน i สล็อตแรก และมาประสบความสำเร็จในช่วงสล็อตการจอบที่ $i+1$ ถัดมา

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \text{ระยะเวลารอคอยในสล็อตที่ 1} \\ &+ \text{ระยะเวลารอคอยในสล็อตที่ 2} \\ &+ \dots \text{ระยะเวลารอคอยในสล็อตที่ } i \\ &+ \text{ประสบความสำเร็จในการจอบที่ } i+1 \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถพิจารณาค่า \bar{T} โดยกำหนดให้เป็นกรณีทั่วไปและค่าของ i เริ่มจาก 1 ถึง n สล็อตได้ดังนี้

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n (i \cdot (1-p)^{i-1} p) \quad (3.37)$$

$$= p \left(\sum_{i=1}^n i \cdot (1-p)^{i-1} \right)$$

$$= p \left(1 \cdot (1-p)^0 + 2 \cdot (1-p)^1 + 3 \cdot (1-p)^2 + \dots + n \cdot (1-p)^{n-1} \right)$$

$$= p \left(1 + 2(1-p)^1 + 3(1-p)^2 + \dots + n(1-p)^{n-1} \right)$$

$$= p \left(1 + \sum_{i=2}^n i \cdot (1-p)^{i-1} \right)$$

$$= p \left(1 + \frac{d}{d(1-p)} \left[\sum_{i=1}^n (1-p)^i - (1-p) \right] \right)$$

$$= p \left(1 + \frac{d}{d(1-p)} \left[\frac{(1-(1-p)^{n+1})}{1-(1-p)} - (1+(1-p)) \right] \right)$$

$$= p \left(1 + \left[\frac{-(n+1)(1-(1-p)(1-p)^n) + (1-(1-p)^{n+1})}{(1-(1-p))^2} - 1 \right] \right)$$

$$= p \left(1 - \frac{(1-(1-p))(n+1)(1-p)^n}{(1-(1-p))^2} + \frac{(1-(1-p)^{n+1})}{(1-(1-p))^2} - 1 \right)$$

$$= -(n+1)(1-p)^n + \frac{1-(1-(1-p)^{n+1})}{p} \quad (3.38)$$

สมการที่ (3.38) แสดงถึงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย สำหรับผู้ใช้บริการที่จะสามารถประสบความสำเร็จในการจองเป็นครั้งแรกจำนวน 1 คน จะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมาก และต้องมีวิธีการเลือกใช้งานอย่างเหมาะสม เพราะถ้าเลือกน้อยเกินไปจะทำให้เวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีระยะเวลาที่นานมาก ทั้งนี้เพราะผู้ใช้บริการยังไม่ตัดสินใจเข้าจองในช่วงสล๊อตแรกๆของการจอง ทำให้ต้องรอคอยในช่วงสล๊อตท้ายๆจึงจะเกิดการเข้าจอง เช่นเดียวกันกับกรณีของการวิเคราะห์ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งจะมีลดลงเช่นเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม ถ้าเลือกมากเกินไปอาจจะทำให้เวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีระยะเวลาที่น้อยลง ทั้งนี้เพราะผลของการชนกันของผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจองในช่วงสล๊อตการจองแรกๆ แต่ทั้งนี้ระยะเวลาที่ลดลงดังกล่าวอาจจะไม่ใช่ระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะจำนวนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ มีค่าลดลงเพราะผลจากการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองดังกล่าวจะใช้ค่าเดียวกันกับค่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองในกรณีการหาค่าจำนวนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดในแต่ละเทคนิคที่ใช้ในระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

ดังนั้น สำหรับการจองช่องสล๊อตในช่วงที่ $i+1$ เป็นต้นไป จำนวนช่องสล๊อต j ที่ใช้จะมีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยเป็น $\bar{T}(j+1)$ ซึ่งค่าเวลารอคอยเฉลี่ยดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยทั้งหมดของระบบ ที่มีผู้ใช้บริการจำนวน m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p คือ

$$D_{avmethod} [m, n, p] = \bar{T} \times \sum_{k=0}^m (k+1) \cdot \text{Pr}_{method} [k | m, n, p] \quad (3.39)$$

$$= \bar{T} \times \sum_{k=0}^m (k+1) \cdot \left[\sum_{j=k}^{k+\binom{n-k}{2}} \cdot \sum_{i=0}^{n-j} \left[(1-p)^{m \cdot j} \times \sum_{m_{i+1}=b_{i+1}}^{e_{i+1}} B[m, m_{i+1}, p] \cdot \text{Pr}_{method} [k', j | m', n', p] \right] \right]$$

ส่วนค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง สามารถหาได้จากเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง p จะใช้ค่าเดียวกันกับค่าความน่าจะเป็น

เป็นในการเข้าจองที่ให้ค่าที่มากที่สุดของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ทั้งนี้เพื่อต้องการเปรียบเทียบให้เห็นว่าเมื่อมีจำนวนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมากขึ้น ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะมีค่าลดลง ส่วนผลของค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองจะส่งผลต่อค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยอย่างไร จะแสดงให้เห็นในผลการวิเคราะห์ในบทที่ 4 ต่อไป

3.3.3 การหาค่าสมรรถนะของวิธี CFP ด้วย Recursive Formula ในรูปของ T (Recursive Formula of T)

จากการพิจารณาการหาค่าสมรรถนะด้วยวิธีการ Recursive Formula ในรูปของ Pr ในหัวข้อที่ 3.3.2 พบว่าการคำนวณค่าจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการหรือจำนวนสล๊อตที่มากขึ้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเสนอวิธีที่จะทำให้การคำนวณค่าง่ายขึ้น โดยทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$T_{CFP}[m, n, p]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP เมื่อกำหนดให้มีระบบผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจองเป็น n สล๊อตและผู้ใช้บริการทุกคนเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม p ที่เท่ากันในทุกเฟรมของการจอง

$p_{CFP}[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองของวิธี CFP เมื่อกำหนดให้มีระบบผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจองเป็น n สล๊อต

$B[m, x, p]$ แทนค่าความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียล (Binomial Probability) ที่ผู้ใช้บริการ x คนจากทั้งหมด m คนตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p

โดยที่ความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียล $B[m, x, p]$ กำหนดค่าดังนี้

$$B[m, x, p] = \binom{m}{x} p^x (1-p)^{m-x}$$

เมื่อพิจารณาสล๊อตการจองแรกจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 3 เหตุการณ์คือ

กรณี $x = 0$: ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง สล๊อตการจองจะอยู่ในสถานะว่าง และในสล๊อตการ

จงถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการจำนวน m คนเท่าเดิม ดังนั้นค่าจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะหาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์กับค่าของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในสล็อตการจอตถัดไป คือ

$$B[m, 0, p]T[m, n - 1, p] \quad (3.40)$$

ในกรณีเดียวกัน ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จคือ

$$B[m, 0, p]D_{av}[m, n - 1, p] \quad (3.41)$$

กรณี $x = 1$: มีผู้ให้บริการเข้าจอตเพียงคนเดียว ดังนั้นผู้ให้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอต และในสล็อตการจอตถัดไปก็จะเหลือผู้ให้บริการจำนวน $m - 1$ คน ดังนั้นค่าจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในกรณีนี้ จะหาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์กับผลรวมของ 1 กับค่าของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในสล็อตการจอตถัดไป คือ

$$B[m, 1, p](1 + T[m - 1, n - 1, p]) \quad (3.42)$$

ในกรณีเดียวกัน ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จคือ

$$B[m, 1, p](1 + D_{av}[m - 1, n - 1, p]) \quad (3.43)$$

กรณี $x > 1$: มีผู้ให้บริการมากกว่าหนึ่งคนเข้าจอต ดังนั้นจะเกิดการชนกันทำให้ผู้ให้บริการทั้ง x คนไม่ประสบความสำเร็จในการจอต และในสล็อตการจอตถัดไปก็จะเหลือจำนวนผู้ให้บริการจำนวน $m - x$ คน ดังนั้นค่าของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในกรณีนี้จะหาได้ดังนี้

$$B[m, x, p]T[m - x, n - 1, p] \quad (3.44)$$

ในกรณีเดียวกัน ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จคือ

$$B[m, x, p].D_{av}[m - x, n - 1, p] \quad (3.45)$$

ดังนั้นในระบบที่มีผู้ให้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต และผู้ให้บริการ ตัดสินใจเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p จะสามารถหาค่าจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จและค่าการประวิงเวลาโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ดังนี้

$$\begin{aligned} T_{method}[m, n, p] &= B[m, 0, p].T_{method}[m, n - 1, p] \\ &+ B[m, 1, p].(1 + T_{method}[m - 1, n - 1, p]) \\ &+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p].T_{method}[m - x, n - 1, p] \\ &= B[m, 1, p] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p].T_{method}[m - x, n - 1, p] \right) \end{aligned} \quad (3.46)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{method}[m, 0, p] = T_{method}[0, n, p] = 0$$

ในกรณีเดียวกัน ค่าการประวิงเวลาเฉลี่ยคือ

$$\begin{aligned} D_{avmethod}[m, n, p] &= B[m, 0, p].D_{avmethod}[m, n - 1, p] \\ &+ B[m, 1, p].(1 + D_{avmethod}[m - 1, n - 1, p]) \\ &+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p].D_{avmethod}[m - x, n - 1, p] \\ &= B[m, 1, p] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p].D_{avmethod}[m - x, n - 1, p] \right) \end{aligned} \quad (3.47)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avmethod}[m, 0, p] = D_{avmethod}[0, n, p] = 0$$

โดยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณ ในเฟรมแต่ละเฟรมคือค่าของ p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.46) เทียบกับ p มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่า p ที่ได้จะทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดและค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่ำสุด ในกรณีของวิธี CFP ก็จะได้ค่า $p_{CFP}[m, n]$ ซึ่งจะ

ทำให้ได้ค่า $T_{CFP}[m, n]$ สูงสุด โดยการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบในรูปการคำนวณแบบวนซ้ำ ในเทอมของ Recursive Formula ในรูปของ T จะนำไปใช้กับการคำนวณในทุกๆเทคนิควิธีของระเบียบวิธีการแย่งเข้าของช่องสัญญาณต่างๆ ในหัวข้อถัดไป

3.4 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณแบบปรับค่าได้

จากหัวข้อที่ 3.3 จะเห็นว่า เทคนิควิธีการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของแบบค่าคงที่ ซึ่งกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของเท่ากันทุกสล็อตการจอนในแต่ละเฟรม อาจจะไม่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงของระบบที่จำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้น จึงเสนอแนวคิดในการใช้เทคนิคค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณแบบปรับค่าได้ ถึงแม้ว่าเงื่อนไขดังกล่าวจะขัดแย้งกับข้อสมมุติฐานตอนต้น ทั้งนี้เพราะว่าแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่สถานีฐานจะทราบจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละสล็อตการจอน และจะสามารถแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบก่อนจะเข้าจอนในสล็อตการจอนนั้นๆ เนื่องจากผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ แต่เพื่อทดสอบแนวคิดว่าเป็นจริง จึงนำเสนอการวิเคราะห์ในเทคนิควิธีดังกล่าว ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.4.1 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณแบบปรับค่าได้

(Cascade Adaptive Probability (CAP))

วิธีนี้จะนำค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม $p_{CFP}[m, n]$ ที่ได้จากวิธี CFP มาใช้กับเทคนิคค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบปรับค่าได้ โดยค่าความน่าจะเป็นของวิธี CAP ได้มาจากการนำค่าความน่าจะเป็นของวิธี CFP มาใช้ในแต่ละสล็อตการจอนโดยคำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอนที่เหลืออยู่ในขณะนั้นๆ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$T_{CAP}[m, n, p]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เมื่อกำหนดให้ มีระบบผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอนเป็น n สล็อตและผู้ใช้บริการทุกคนเข้าจอนด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม $p_{CFP}[m, n]$ ในแต่ละสล็อตการจอน

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์การจูงใจในแต่ละสล็อตการจูงใจ จะพิจารณาเหตุการณ์ได้เช่นเดียวกับการเข้าจูงใจในวิธี CFP แต่จะแตกต่างกันการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจูงใจที่สามารถปรับค่าได้ในแต่ละสล็อตการจูงใจเท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจูงใจและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP ดังนี้

$$T_{CAP}[m, n] = B[m, 0, p_{CFP}[m, n]].T_{CAP}[m, n - 1] \quad (3.48)$$

$$\begin{aligned} & + B[m, 1, p_{CFP}[m, n]].(1 + T_{CAP}[m - 1, n - 1]) \\ & + \sum_{x=2}^m B[m, x, p_{CFP}[m, n]].T_{CAP}[m - x, n - 1] \\ & = B[m, 1, p_{CFP}[m, n]] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p_{CFP}[m, n]].T_{CAP}[m - x, n - 1] \right) \end{aligned}$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{CAP}[m, 0] = T_{CAP}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP ดังนี้

$$D_{avCAP}[m, n] = B[m, 0, p_{CFP}[m, n]].D_{avCAP}[m, n - 1] \quad (3.49)$$

$$\begin{aligned} & + B[m, 1, p_{CFP}[m, n]].(1 + D_{avCAP}[m - 1, n - 1]) \\ & + \sum_{x=2}^m B[m, x, p_{CFP}[m, n]].D_{avCAP}[m - x, n - 1] \\ & = B[m, 1, p_{CFP}[m, n]] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p_{CFP}[m, n]].D_{avCAP}[m - x, n - 1] \right) \end{aligned}$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avCAP}[m, 0] = D_{avCAP}[0, n] = 0$$

3.4.2 วิธีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณแบบปรับค่าได้ที่เหมาะที่สุด (Cascade Optimal Probability: COP)

พิจารณาจากวิธี CAP พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณถึงแม้ว่าจะมีการปรับเปลี่ยนได้ตามสภาวะของจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล๊อตการจองที่เหลืออยู่ในขณะนั้นๆ แต่ก็มีข้อจำกัดคือค่าความน่าจะเป็นที่ได้นั้นมาจากวิธีของ CFP ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่นำมาใช้งานอาจจะยังไม่ใช่ว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของระบบที่ผู้ใช้บริการสามารถปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นได้ทุกสล๊อตการจอง ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถที่จะได้รับค่าสมรรถนะสูงสุดบนพื้นฐานของเทคนิคความน่าจะเป็นที่ปรับค่าได้ ในหัวข้อนี้จึงทำการหาค่าความน่าจะเป็นที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ในผู้ใช้บริการแต่ละคนสำหรับสล๊อตการจองใดๆ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$p[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อตที่เหลืออยู่ ณ สล๊อตการจองในขณะนั้นๆ

$T[m, n, p[m, n]]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อตที่เหลืออยู่ ณ สล๊อตการจองในขณะนั้นๆ และผู้ใช้บริการทุกคนเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม $p[m, n]$ ในแต่ละสล๊อตการจอง

$p_{COP}[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธี COP เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต

$T_{COP}[m, n]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP เมื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต และผู้ใช้บริการทุกคนเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม $p_{COP}[m, n]$ ในแต่ละสล๊อตการจอง

$D_{avCOP}[m, n]$ แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ย ของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP เมื่อกำหนดให้ผู้ให้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอง n สล็อต และผู้ให้บริการทุกคนเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม $p_{COP}[m, n]$ ในแต่ละสล็อตการจอง

เมื่อพิจารณาสล็อตการจองในแต่ละสล็อตการจอง จะพิจารณาเหตุการณ์ได้เช่นเดียวกับการเข้าจองในวิธี CFP แต่จะแตกต่างในการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองที่สามารถปรับค่าได้ในแต่ละสล็อตการจองเท่านั้น

ดังนั้นสามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี COP ดังนี้

$$T_{COP}[m, n, p_{COP}[m, n]] = B[m, 0, p_{COP}[m, n]].T_{COP}[m, n - 1, p_{COP}[m, n]] \quad (3.50)$$

$$+ B[m, 1, p_{COP}[m, n]].(1 + T_{COP}[m - 1, n - 1, p_{COP}[m, n]])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p_{COP}[m, n]].T_{COP}[m - x, n - 1, p_{COP}[m, n]]$$

$$= B[m, 1, p_{COP}[m, n]] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p_{COP}[m, n]].T_{COP}[m - x, n - 1, p_{COP}[m, n]] \right)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{COP}[m, 0] = T_{COP}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP คือ

$$D_{avCOP}[m, n, p_{COP}[m, n]] = B[m, 0, p_{COP}[m, n]].D_{avCOP}[m, n - 1, p_{COP}[m, n]] \quad (3.51)$$

$$+ B[m, 1, p_{COP}[m, n]].(1 + D_{avCOP}[m - 1, n - 1, p_{COP}[m, n]])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p_{COP}[m, n]].D_{avCOP}[m - x, n - 1, p_{COP}[m, n]]$$

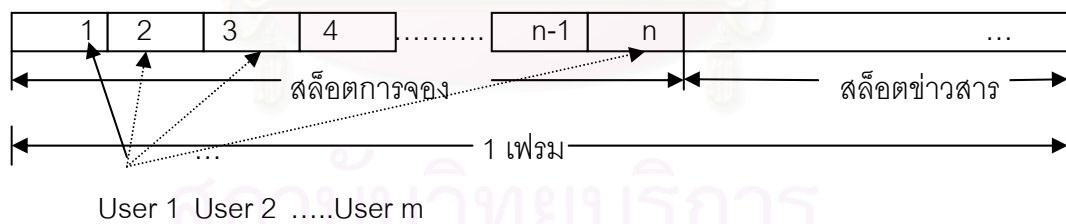
$$= B[m, 1, p_{COP}[m, n]] + \left(\sum_{x=0}^m B[m, x, p_{COP}[m, n]] \cdot D_{avCOP}[m-x, n-1, p_{COP}[m, n]] \right)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avCOP}[m, 0] = D_{avCOP}[0, n] = 0$$

3.5 วิธีการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (Uniform (UNI))

วิธีการนี้จะกำหนดให้ผู้ใช้บริการทั้งหมดทุกคน ณ จุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรมสามารถที่จะทำการเลือกสุ่มสล็อตการจองสล็อตใดสล็อตหนึ่ง หลังจากจบช่วงการจองในแต่ละเฟรม สถานีฐานจะทำการตรวจสอบผลการจองและจัดสรรสล็อตข่าวสารให้ผู้ใช้บริการผ่านทางช่องสัญญาณ ขาลง ผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จในการสุ่มสล็อตการจองสามารถที่จะทำการเลือกสุ่มสล็อตการจองได้ในเฟรมถัดไป ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการดังกล่าวผู้ใช้บริการสามารถที่จะสุ่มเลือกสล็อตการจองได้ทุกสล็อตในเฟรมการจองนั้นๆ ทำให้เกิดความเท่าเทียมกันของโอกาสที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาความหนาแน่นของสล็อตการจองช่องแรกๆที่เกิดจากวิธีการจองตามลำดับต่อเนื่องอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเลือกจองสล็อตอย่างสุ่มของวิธี UNI

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$T_{UNI}[m, n]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI เมื่อกำหนดให้ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

$D_{avUNI}[m, n]$ แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ย ของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI เมื่อกำหนดให้ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต

เนื่องจากการเข้าจองในวิธีนี้ ผู้ใช้บริการแต่ละคนสามารถที่จะเลือกจองสล๊อตใดสล๊อตหนึ่งก็ได้ในเฟรมการจองนั้นๆ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ m คน จำนวนสล๊อตการจอง n สล๊อต พบว่าค่าความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการแต่ละคนที่จะเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ $1/n$

และเมื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล๊อตการจอง ก็จะมีเหตุการณ์สถานะประสบความสำเร็จ สถานะว่างและสถานะการชนกัน เช่นเดียวกับวิธีการที่ผ่านมา ดังนั้นสามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI ดังนี้

กรณี $x = 0$: ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง สล๊อตการจองอยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นผู้ใช้บริการจำนวน m คนจะทำการสุ่มเลือกจองในสล๊อตการจองที่เหลืออยู่จำนวน $n - 1$ สล๊อต ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองดังนี้

$$B[m, 0, \frac{1}{n}]T_{UNI}[m, n - 1] \quad (3.52)$$

กรณี $x = 1$: มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวเข้าจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองนั้นผู้ใช้บริการจำนวน $m - 1$ คนจะทำการสุ่มเลือกจองในสล๊อตการจองที่เหลืออยู่จำนวน $n - 1$ สล๊อต ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองดังนี้

$$B[m, 1, \frac{1}{n}].(1 + T_{UNI}[m - 1, n - 1]) \quad (3.53)$$

กรณี $x > 1$: มีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งคนเข้าจองจะทำให้เกิดการชนกัน ดังนั้นผู้ใช้บริการทั้ง x คนจะไม่ประสบความสำเร็จในการจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการที่เหลือจำนวน $m - x$ คนจะทำการสุ่มเลือกจองในสล๊อตการจองที่เหลืออยู่จำนวน $n - 1$ สล๊อต ดังนั้นสามารถสรุปค่าจำนวนผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจอง

$$B[m, x, \frac{1}{n}]T_{UNI}[m - x, n - 1] \quad (3.54)$$

สามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI ดังนี้

$$T_{UNI}[m, n] = B[m, 0, \frac{1}{n}]T_{UNI}[m, n - 1] \quad (3.55)$$

$$+ B[m, 1, \frac{1}{n}](1 + T_{UNI}[m - 1, n - 1])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{n}]T_{UNI}[m - x, n - 1]$$

$$= B[m, 1, \frac{1}{n}] + (\sum_{x=0}^m B[m, x, \frac{1}{n}]T_{UNI}[m - x, n - 1])$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{UNI}[m, 0] = T_{UNI}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI คือ

$$D_{avUNI}[m, n] = B[m, 0, \frac{1}{n}]D_{avUNI}[m, n - 1] \quad (3.56)$$

$$+ B[m, 1, \frac{1}{n}](1 + D_{avUNI}[m - 1, n - 1])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{n}]D_{avUNI}[m - x, n - 1]$$

$$= B[m, 1, \frac{1}{n}] + (\sum_{x=0}^m B[m, x, \frac{1}{n}]D_{avUNI}[m - x, n - 1])$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avUNI}[m, 0] = D_{avUNI}[0, n] = 0$$

3.6 วิธีเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการในการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (Uniform with Limited Access (UNI+LA))

วิธีนี้จะพัฒนามาจากวิธีการ UNI โดยจะนำมาลดปัญหาที่เกิดขึ้นของวิธี UNI ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองมากขึ้นเนื่องจากวิธี UNI ไม่ได้คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการที่มีอยู่ ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองมากๆ ($m/n \gg 1$) จะทำให้เกิดการชนกันมากขึ้น และส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง ดังนั้นในวิธีการ UNI+LA นี้ จะจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการให้มีความเหมาะสมกับจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ โดยในขั้นแรกผู้ใช้บริการทุกคนจะตัดสินใจเข้าจองสล็อตการจองหรือไม่ ด้วยค่าความน่าจะเป็น p ค่าหนึ่ง หลังจากนั้นผู้ใช้บริการที่ตัดสินใจเข้าจองก็จะเน้นวิธีการเข้าจองเช่นเดียวกับวิธีการ UNI แต่สำหรับผู้ใช้บริการที่ไม่ตัดสินใจเข้าจองก็จะรอคอยช่วงการจองในสล็อตของเฟรมถัดไป สำหรับค่าความน่าจะเป็น p ที่เหมาะสมจะกำหนดค่าได้จากจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้คือ

$T_{UNI+LA}[m, n]$ แทนค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI+LA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m คนจำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

$P_{UNI+LA}[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน k คนเข้าจองของวิธี UNI+LA จากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m คนจำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

$D_{avUNI+LA}[m, n]$ แทนค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองของวิธี UNI+LA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m จำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของวิธีนี้คือ เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจองสล็อตใดสล็อตหนึ่งจากจำนวนทั้งหมด n สล็อต ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, x, p]T_{UNI}[x, n] \quad (3.57)$$

สามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI+LA ดังนี้

$$T_{UNI+LA}[k|m, n, p] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p] \cdot T_{UNI}[x, n]) \quad (3.58)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{UNI+LA}[m, 0] = T_{UNI+LA}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+LA คือ

$$D_{UNI+LA}[m, n, p] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p] \cdot D_{UNI}[x, n]) \quad (3.59)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{UNI+LA}[m, 0] = D_{UNI+LA}[0, n] = 0$$

3.7 การประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอ

เนื่องจากวิธี Pseudo-Bayesian และวิธี Exponential Backoff ที่กล่าวในบทที่ 2 ต่างเป็นเทคนิควิธีที่ละเอียดในเรื่องของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารความเร็วต่ำ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอเทคนิคการจองของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง ซึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์เข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งในหนึ่งเฟรม ดังนั้นจึงต้องประยุกต์วิธีทั้งสองก่อน โดยในกรณีของวิธี Pseudo-Bayesian จะไม่นำเทอมของอัตราการเข้าจอง (Arrival Rate) มาพิจารณา และวิธี Exponential Backoff จะไม่นำปริมาณของผู้เข้าจองมาพิจารณา แต่จะพิจารณาเฉพาะสถานะที่เกิดขึ้นจากการเข้าจองเท่านั้น นอกจากนี้จะยังแสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีสิทธิ์เข้าจองช่องสัญญาณได้หลายครั้งใน 1 เฟรม เพื่อแสดงการวิเคราะห์ให้เห็นว่าสมรรถนะของระบบทั้งสองแตกต่างกันอย่างไร

3.7.1 การประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอในการเข้าของช่องสัญญาณเพียงครั้งเดียว

วิธีนี้จะพิจารณาระบบการสื่อสารที่มีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าของช่องสัญญาณเพียงครั้งเดียวใน 1 เฟรม ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ใน 2 หัวข้อย่อยดังนี้

3.7.1.1 วิธีการประมาณค่าแบบเอ็กโพเนนเชียล (Single Access Exponential Backoff (SEB))

วิธีการนี้ประยุกต์มาจากวิธี Exponential Backoff ที่มีการใช้งานพื้นฐานในระบบที่มีระยะเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ โดยข้อกำหนดของวิธีการนี้คือผู้ใช้บริการทุกคนสามารถทราบสถานะช่องสัญญาณในสล็อตการจอนั้นๆ ซึ่งประกอบด้วย สถานะว่าง สถานะการชนและสถานะประสบความสำเร็จ ก่อนจะเริ่มการจอนในสล็อตการจอนถัดไป ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณโดยอาศัยข้อมูลดังกล่าว ซึ่งสามารถพิจารณาเป็น 3 กรณีดังนี้

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้คือ

$T_{SEB}[m, n, p]$ แทนค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอนของวิธี SEB เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าของ m คนจำนวนสล็อตการจอน n สล็อต และผู้ใช้บริการแต่ละคนตัดสินใจเข้าของด้วยค่าความน่าจะเป็น p

กรณีที่ 1 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมาอยู่ในสถานะว่าง ผู้ใช้บริการจะทำการปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยการคูณค่าความน่าจะเป็นด้วยตัวประกอบ q ทั้งนี้เพื่อเพิ่มโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจอนช่องสัญญาณได้มากขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าของและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าของ ดังนี้

$$B[m, 0, p] T_{SEB}[m, n - 1, \min\{1, q \cdot p\}] \quad (3.60)$$

$$B[m, 0, p].D_{SEB}[m, n - 1, \min\{1, q \cdot p\}] \quad (3.61)$$

กรณีที่ 2 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมามีอยู่ในสถานะเกิดการชนกัน ผู้ใช้บริการจะทำการปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณให้มีค่าลดลงโดยการคูณค่าความน่าจะเป็นด้วยตัวประกอบ $1/q$ ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันในสล็อตการจองนั้นๆ ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, x, p].T_{SEB}[m - x, n - 1, \frac{p}{q}] \quad (3.62)$$

$$B[m, x, p].D_{SEB}[m - x, n - 1, \frac{p}{q}] \quad (3.63)$$

กรณีที่ 3 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมามีอยู่ในสถานะประสบความสำเร็จ ผู้ใช้บริการจะใช้ค่าความน่าจะเป็นค่าเดิมในการจองสล็อตถัดไป ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, 1, p].(1 + T_{SEB}[m - 1, n - 1, p]) \quad (3.64)$$

$$B[m, 1, p].(1 + D_{SEB}[m - 1, n - 1, p]) \quad (3.65)$$

ดังนั้นสามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$T_{SEB}[m, n, p] = B[m, 0, p].T_{SEB}[m, n - 1, \min\{1, q \cdot p\}] \quad (3.66)$$

$$+ B[m, 1, p].(1 + T_{SEB}[m - 1, n - 1, p])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p].T_{SEB}[m - x, n - 1, \frac{p}{q}]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{SEB}[m, 0] = T_{SEB}[0, n] = 0$$

และสามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$D_{avSEB}[m, n, p] = B[m, 0, p].D_{avSEB}[m, n - 1, \min\{1, q.p\}] \quad (3.67)$$

$$+ B[m, 1, p].(1 + D_{avSEB}[m - 1, n - 1, p])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p].D_{avSEB}[m - x, n - 1, \frac{p}{q}]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avSEB}[m, 0] = D_{avSEB}[0, n] = 0$$

โดยตัวประกอบ q ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นแบบพลวัตเพื่อให้ได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม และโดยทั่วไปจะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ $(1/2)^k$ โดย k เป็นค่าจำนวนเต็ม ซึ่งเหตุผลในการกำหนดค่าตัวประกอบ q ให้มีค่าดังกล่าวเพื่อให้สอดคล้องกับระบบทางดิจิทัลที่มีการใช้งานวงจรรีจิสเตอร์ต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามตัวประกอบ q ที่นำไปคูณกับค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวผลคูณที่ได้ต้องมีค่าไม่เกิน 1 สำหรับค่าเริ่มต้นของ p ที่เหมาะสมกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $1/m$ ส่วนค่า q ที่เหมาะสมคือ 2

3.7.1.2 วิธีการเข้าจองช่องสัญญาณครั้งเดียวแบบประมาณค่าโดยตรง

(Single Access Direct Estimate Probability (SDP))

วิธีการนี้จะประยุกต์มาจากวิธี Pseudo-Bayesian โดยอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าผู้ใช้บริการแต่ละคนสามารถที่จะทราบจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดที่ต้องการเข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละสล็อตนั้นๆ จากนั้นจะทำการเข้าจองด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากันและให้มีค่าเท่ากับ $1/m$ โดย m คือจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดที่ต้องการเข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละสล็อตนั้นๆ ดังนั้นในวิธีนี้

ผู้ใช้บริการทุกคนก็สามารถปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของได้ทุกสล็อต สามารถพิจารณาได้ 3 กรณีดังนี้

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้คือ

$T_{SDP}[m, n]$ แทนค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี SDP เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m คนจำนวนสล็อตการจอง n สล็อต

กรณีที่ 1 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมาอยู่ในสถานะว่าง สล็อตการจองถัดไปจะเหลือจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน m คนเท่าเดิม ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, 0, \frac{1}{m}] \cdot T_{SDP}[m, n - 1,] \quad (3.68)$$

$$B[m, 0, \frac{1}{m}] \cdot D_{SDP}[m, n - 1,] \quad (3.69)$$

กรณีที่ 2 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมาอยู่ในสถานะเกิดการชนกัน สล็อตการจองถัดไปจะเหลือจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน $m - x$ คน ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, x, \frac{1}{m}] \cdot T_{SDP}[m - x, n - 1] \quad (3.70)$$

$$B[m, x, \frac{1}{m}] \cdot D_{SDP}[m - x, n - 1] \quad (3.71)$$

กรณีที่ 3 ถ้าสถานะของช่องสัญญาณที่ผ่านมาอยู่ในสถานะประสบความสำเร็จ สล็อตการจองถัดไปจะเหลือจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน $m - 1$ คน ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองและค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, 1, \frac{1}{m}].(1 + T_{SDP}[m - 1, n - 1]) \quad (3.72)$$

$$B[m, 1, \frac{1}{m}].(1 + D_{SDP}[m - 1, n - 1]) \quad (3.73)$$

ดังนั้นสามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$T_{SDP}[m, n] = B[m, 0, \frac{1}{m}].T_{SDP}[m, n - 1] \quad (3.74)$$

$$+ B[m, 1, \frac{1}{m}].(1 + T_{SDP}[m - 1, n - 1])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{m}].T_{SDP}[m - x, n - 1]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{SDP}[m, 0] = T_{SDP}[0, n] = 0$$

และสามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$D_{avSDP}[m, n] = B[m, 0, \frac{1}{m}].D_{avSDP}[m, n - 1] \quad (3.75)$$

$$+ B[m, 1, \frac{1}{m}].(1 + D_{avSDP}[m - 1, n - 1])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{m}].D_{avSDP}[m - x, n - 1]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avSDP}[m, 0] = D_{avSDP}[0, n] = 0$$

3.7.2 การประยุกต์วิธีที่เคยถูกนำเสนอด้วยการเข้าจองช่องสัญญาณหลายครั้งในหนึ่งเฟรม

สำหรับระบบที่มีค่าระยะเวลาประวิงครบรอบต่ำ ในที่นี้กำหนดให้ผู้ให้บริการในระบบที่ทำการเข้าจองช่องสัญญาณสามารถที่จะทราบสถานะการจองช่องสัญญาณของตนเองทั้ง 3 สถานะ คือ สถานะว่าง สถานะประสบความสำเร็จและสถานะการชน ภายในระยะเวลาสล็อดของการจองนั้นๆ ดังนั้นในระบบนี้ผู้ให้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ สามารถที่จะทำการจองช่องสัญญาณได้ในสล็อดถัดไปภายในเฟรมช่องสัญญาณเดียวกัน ซึ่งวิธีการจองช่องสัญญาณของระบบที่มีพฤติกรรมดังกล่าวจะเสนอทั้งหมด 4 วิธีดังนี้คือ

3.7.2.1 วิธีการเข้าจองช่องสัญญาณหลายครั้งที่มีการประมาณค่าแบบเอ็กโพเนนเชียล

(Exponential Backoff (EB))

วิธีการนี้เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้งานในระบบช่องสัญญาณแบบ Slotted-Aloha โดยข้อกำหนดของวิธีการนี้คือ ผู้ให้บริการทุกคนสามารถทราบสถานะช่องสัญญาณในสล็อดการจองนั้นๆซึ่งประกอบด้วย สถานะว่าง สถานะการชนและสถานะประสบความสำเร็จก่อนจะเริ่มการจองในสล็อดการจองถัดไป จากนั้นผู้ให้บริการแต่ละคนจะทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณโดยอาศัยข้อมูลดังกล่าว ซึ่งสามารถพิจารณาเป็น 3 กรณีเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.7.1.1 แต่กรณีที่ผู้ให้บริการเข้าจองมากกว่าหนึ่งคนและเกิดสถานะการชนกันนั้นผู้ให้บริการก็สามารถที่จะเข้าจองได้อีกในสล็อดถัดไป

ดังนั้นสามารถหาจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$T_{EB}[m, n, p] = B[m, 0, p]T_{EB}[m, n - 1, \min\{1, q \cdot p\}] \quad (3.76)$$

$$+ B[m, 1, p] \cdot (1 + T_{EB}[m - 1, n - 1, p])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p]T_{EB}[m, n - 1, \frac{p}{q}]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{EB}[m, 0] = T_{EB}[0, n] = 0$$

และสามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$D_{avEB}[m, n, p] = B[m, 0, p] \cdot D_{avEB}[m, n - 1, \min\{1, q \cdot p\}] \quad (3.77)$$

$$+ B[m, 1, p] \cdot (1 + D_{avEB}[m - 1, n - 1, p])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, p] \cdot D_{avEB}[m, n - 1, \frac{p}{q}]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avEB}[m, 0] = D_{avEB}[0, n] = 0$$

3.7.2.2 วิธีการเข้าจองช่องสัญญาณที่มีการประมาณค่าโดยตรงหลายครั้งใน 1 เฟรม

(Direct Estimate Probability (DP))

วิธีการนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับวิธี SDP เพียงแต่ผู้ใช้บริการสามารถที่จะทำการจองช่องสัญญาณได้มากกว่า 1 ครั้งในเฟรมเดียวกันถ้าผลการจองในครั้งแรกไม่ประสบความสำเร็จ เมื่อพิจารณาสถิติการจองแรกจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 3 เหตุการณ์เช่นเดียวกับวิธี SDP แต่กรณีที่มีผู้ใช้บริการเข้าจองมากกว่าหนึ่งคนและเกิดสถานะการชนกันนั้นผู้ใช้บริการที่เกิดการชนกันก็สามารถที่จะเข้าจองได้อีกในสถิติถัดไป

ดังนั้นสามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$T_{DP}[m, n] = B[m, 0, \frac{1}{m}] T_{DP}[m, n - 1] \quad (3.78)$$

$$+ B[m, 1, \frac{1}{m}] \cdot (1 + T_{DP}[m - 1, n - 1])$$

$$+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{m}] T_{DP}[m, n - 1]$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{DP}[m, 0] = T_{DP}[0, n] = 0$$

และสามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ดังนี้

$$\begin{aligned} D_{avDP}[m, n] &= B[m, 0, \frac{1}{m}] D_{avDP}[m, n - 1] \\ &+ B[m, 1, \frac{1}{m}] (1 + D_{avDP}[m - 1, n - 1]) \\ &+ \sum_{x=2}^m B[m, x, \frac{1}{m}] D_{avDP}[m, n - 1] \end{aligned} \quad (3.79)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avDP}[m, 0] = D_{avDP}[0, n] = 0$$

3.7.2.3 วิธีการเข้าจองช่องสัญญาณที่มีการประมาณค่าโดยตรงและจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Direct Estimate Probability with Limited Access (DP+LA))

จากวิธีของ DP ในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ระบบจะมีค่าสมรรถนะที่ดีถ้าผู้ใช้บริการทุกคนสามารถทราบจำนวนที่เหลืออยู่ที่แท้จริงของผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจองในแต่ละสล็อตและสามารถทำการปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองให้สอดคล้องกับข้อมูลดังกล่าวได้ แต่พบว่าวิธี DP ไม่ได้คำนึงถึงจำนวนสล็อตที่เหลืออยู่ ดังนั้นในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตมากซึ่งโดยปกติค่าสมรรถนะของระบบจะลดลงซึ่งเป็นผลให้วิธีการดังกล่าวอาจไม่มีประสิทธิภาพในสถานะการณ์นี้ ดังนั้นเพื่อที่จะทำการปรับปรุงวิธีของ DP ให้ดีขึ้นจึงเสนอวิธีการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ โดยที่จุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรมผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องตัดสินใจว่าจะเข้า

จองช่องสัญญาณหรือไม่ ด้วยความน่าจะเป็น p ค่าหนึ่ง ซึ่งถ้าผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองก็จะดำเนินตามวิธี DP แต่ถ้าไม่ตัดสินใจเข้าจอง ก็จะต้องรอจนกว่าจะถึงจุดเริ่มต้นของเฟรมต่อไป โดยค่า p ที่เหมาะสมดังกล่าวจะกำหนดจากจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล롯การจองที่เหลืออยู่

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้คือ

$T_{DP+LA}[m, n]$ แทนค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี DP+LA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m คนจำนวนสลอตการจอง n สลิต

$P_{DP+LA}[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน x คนเข้าจองของวิธี DP+LA จากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m คนจำนวนสลอตการจอง n สลิต

$D_{avDP+LA}[m, n]$ แทนค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองของวิธี DP+LA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอง m จำนวนสลอตการจอง n สลิต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของวิธีนี้คือ เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจองสลิตใดสลิตหนึ่งจากจำนวนทั้งหมด n สลิต ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, x, p]T_{DP}[x, n] \quad (3.80)$$

สามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี DP+LA ดังนี้

$$T_{DP+LA}[m, n, p] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p]T_{DP}[x, n]) \quad (3.81)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{DP+LA}[m, 0] = T_{DP+LA}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี DP+LA คือ

$$D_{avDP+LA}[m, n, p] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p] \cdot D_{avDP}[x, n]) \quad (3.82)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avDP+LA}[m, 0] = D_{avDP+LA}[0, n] = 0$$

3.7.2.4 วิธีการจำลองช่องสัญญาณที่มีการประมาณค่าโดยตรงและจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายครั้งใน 1 เฟรม
(Direct Estimate Probability with Optimum Limited Access (DP+OLA))

จากวิธี DP+LA ในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า การนำวิธีการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการจะกระทำเฉพาะในช่วงจุดเริ่มต้นของสล็อตในเฟรมการจอบที่พิจารณาเท่านั้น ไม่ได้กระทำที่ทุกๆสล็อตการจอบในเฟรมนั้นๆ ดังนั้นจึงเสนอวิธีที่จำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่ทุกๆสล็อตการจอบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าสมรรถนะที่ตรงกับสภาวะของจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตที่เหลืออยู่อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงเรียกวิธีนี้ว่า DP+OLA

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้คือ

$T_{DP+OLA}[m, n, p[m, n]]$ แทนค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอบของวิธี DP+OLA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอบ m คนจำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต

$P_{DP+OLA}[m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน x คนเข้าจอบของวิธี DP+OLA จากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอบ m คนจำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต

$D_{avDP+OLA}[m, n]$ แทนค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจอบของวิธี DP+OLA เมื่อมีผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจอบ m จำนวนสล็อตการจอบ n สล็อต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของวิธีนี้คือ เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจองสล็อตใดสล็อตหนึ่งจากจำนวนทั้งหมด n สล็อต ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน x คนจากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน m คนตัดสินใจเข้าจอง ดังนี้

$$B[m, x, p].T[x, n, p[m, n]] \quad (3.83)$$

สามารถสรุปค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี DP+OLA ดังนี้

$$T_{DP+OLA}[m, n, p[m, n]] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p].T[x, n, p[m, n]]) \quad (3.84)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$T_{DP+OLA}[m, 0] = T_{DP+OLA}[0, n] = 0$$

ค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+OLA คือ

$$D_{avDP+OLA}[m, n, p[m, n]] = \sum_{x=0}^m (B[m, x, p].D_{av}[x, n, p[m, n]]) \quad (3.85)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสมการดังกล่าวคือ

$$D_{avDP+OLA}[m, 0] = D_{avDP+OLA}[0, n] = 0$$

สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณของวิธี DP+OLA คือค่าความน่าจะเป็น $p[m, n]$ ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการที่ (3.84) มีค่าเท่ากับศูนย์ และค่าความน่าจะเป็น $p[m, n]$ ดังกล่าวจะทำให้ได้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงสุด และค่าของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จอาจจะมีค่าต่ำสุด

บทที่ 4

ผลทดสอบและการวิเคราะห์

บทนี้เป็นการแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคต่างๆที่นำมาใช้
ในระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าถึงตัวกลาง ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 รวมถึงการเปรียบเทียบกับ
เทคนิควิธีที่เคยถูกนำเสนอ ผลการทดสอบที่นำมาแสดงจะเป็นผลที่ได้มาจากสมการทาง
คณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ให้เห็นในบทที่ผ่านมา สำหรับผลจำลองทางคอมพิวเตอร์
(Simulation) จะแสดงให้เห็นในทุกเทคนิควิธี เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
ว่าให้ผลถูกต้องตรงกันทั้งหมดหรือไม่ โดยผลจำลองทางคอมพิวเตอร์จะจำลองจากการวิเคราะห์
วิธีการหาค่าเวลาประจักษ์เฉลี่ยในทุกสล็อตการจอง ในหัวข้อที่ 4.1

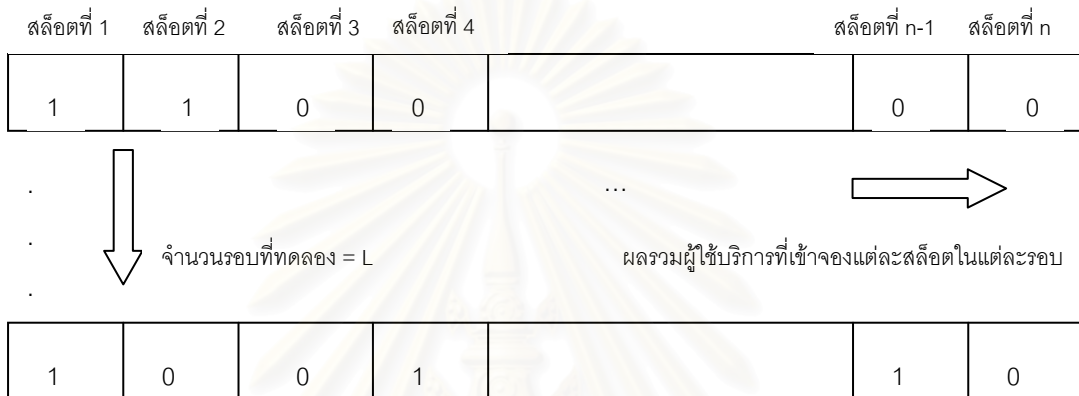
กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้อธิบายในรูปต่างๆดังนี้

Analysis	แทนผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
Simulation	แทนผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์
M	แทนจำนวนผู้ใช้บริการ
N	แทนจำนวนสล็อตการจอง
p	แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณ (Transmission Probability)
T	แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
S	แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ต่อจำนวนสล็อตการจอง
G	แทนปริมาณโหลด หรือจำนวนผู้ใช้บริการในระบบต่อจำนวนสล็อตการจอง

D_{av}	แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ (สลีต)
D	แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง หรือเรียกว่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจอง
\bar{T}	แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่งคน ที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณเป็นครั้งแรก (สลีต)
CFP	แทนวิธี Cascade Fixed Probability
CAP	แทนวิธี Cascade Adaptive Probability
COP	แทนวิธี Cascade Optimum Probability
UNI	แทนวิธี Uniform
UNI+LA	แทนวิธี Uniform with Limited Access
SEB	แทนวิธี Single Access Exponential Backoff
EB	แทนวิธี Exponential Backoff
SDP	แทนวิธี Single Access Direct Estimated Probability
DP	แทนวิธี Direct Estimated Probability
DP+LA	แทนวิธี Direct Estimated Probability with Limited Access
DP+OLA	แทนวิธี Direct Estimated Probability with Optimum Limited Access

4.1 การวิเคราะห์วิธีการหาค่าเวลาประวิงเฉลี่ยในทุกสล็อตการจอง

ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นวิธีการวิเคราะห์การหาค่าเวลาประวิงเฉลี่ยในทุกสล็อตการจอง จากนั้นจะจำลองผลโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลจำลองที่ได้จะจำลองผลทั้งหมดจำนวน 40,000 ครั้งในเทคนิควิธีแต่ละเทคนิควิธี จากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยของผลจำลองดังกล่าวมาไว้เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์การหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยโดยวิธีการประมาณค่าในหัวข้อที่ 3.3.2.2



$\sum_{i=1}^n m_i$ แทนผลรวมของผู้ใช้บริการที่เข้าจองในแต่ละรอบ

$\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^n m_i$ แทนผลรวมของผู้ใช้บริการที่เข้าจองทั้งหมดจำนวน L รอบ

$T[m, n, p]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง

$$T[m, n, p] = \frac{\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^n m_i}{L} \tag{4.1}$$

$\text{Pr}[k|i, m, n]$ แทนค่าความน่าจะเป็นของเวลาประวิงเฉลี่ยในสล็อตแต่ละสล็อตการจอง

$$\text{Pr}[k|i, m, n] = \frac{\text{ผลรวมผู้ใช้บริการที่เข้าจองในแต่ละสล็อตในทุกรอบ}}{T[m, n, p]} \tag{4.2}$$

$D[m, n, p]$ แทนเวลาประวิงเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง

$$D[m, n, p] = \sum_{i=1}^n i \cdot \text{Pr}[k|i, m, n, p] \tag{4.3}$$

4.2 ผลทดสอบและการวิเคราะห์กรณีศึกษา

หัวข้อนี้จะแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่มีผู้ใช้บริการเพียง 1, 2, 3 และ 4 คนตามลำดับ และได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยในการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะทำการทดสอบโดยเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าของช่องสัญญาณ จากค่า 0 ถึง 1 ด้วยความละเอียด (Step Size) เท่ากับ 0.001 ซึ่งจะทำให้การทดสอบในช่วงการจำลองจำนวน 100,000 ครั้ง

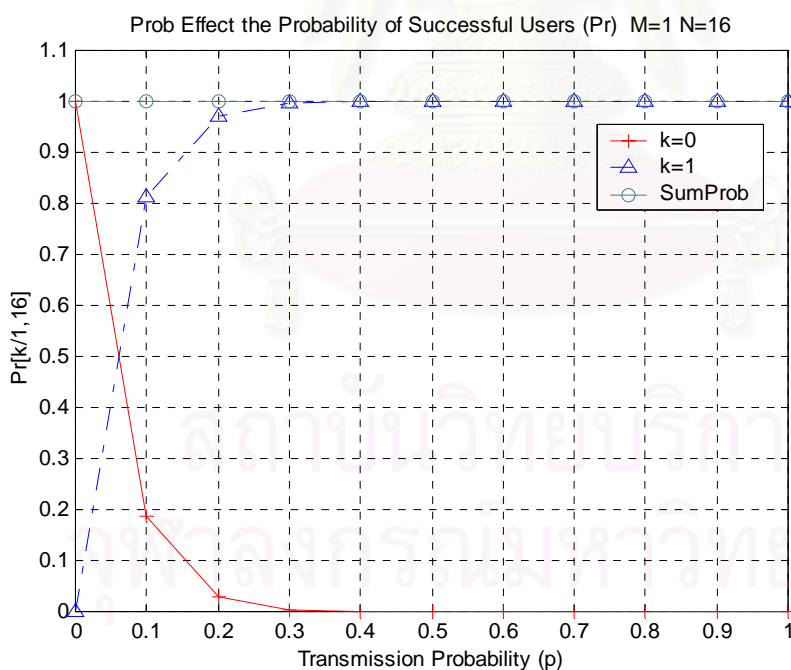
กรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะไม่ประสบความสำเร็จในการจอง ($Pr[k = 0]$) และประสบความสำเร็จในการจอง ($Pr[k = 1]$) เป็นไปตามสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ โดยเมื่อทำการพิจารณาระบบที่มีจำนวนสล๊อตการจอง 16 สล็อต ผลของความน่าจะเป็นในการเข้าจองดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าถ้าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเพิ่มขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบผลสำเร็จในการจอง ($Pr[k = 1]$) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะไม่ประสบความสำเร็จในการจอง ($Pr[k = 0]$) จะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเพิ่มขึ้นแสดงถึงความต้องการในการเข้าจองจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งในกรณีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวนั้นผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน และสามารถใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองที่ค่ามากที่สุด คือ $p = 1$ ได้ แต่ถ้าใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองค่าต่ำๆผู้ใช้บริการมีแนวโน้มที่จะไม่ประสบความสำเร็จในการจอง เพราะผู้ใช้บริการไม่ประสงค์จะส่งแพ็คเกจการจองนั่นเอง

รูปที่ 4.1 (ข) แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (\bar{x}) จะเห็นว่าเมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย และมีค่ามากที่สุดที่ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่ามากที่สุด คือ $p = 1$ ตรงตามการวิเคราะห์ในบทที่ผ่านมา

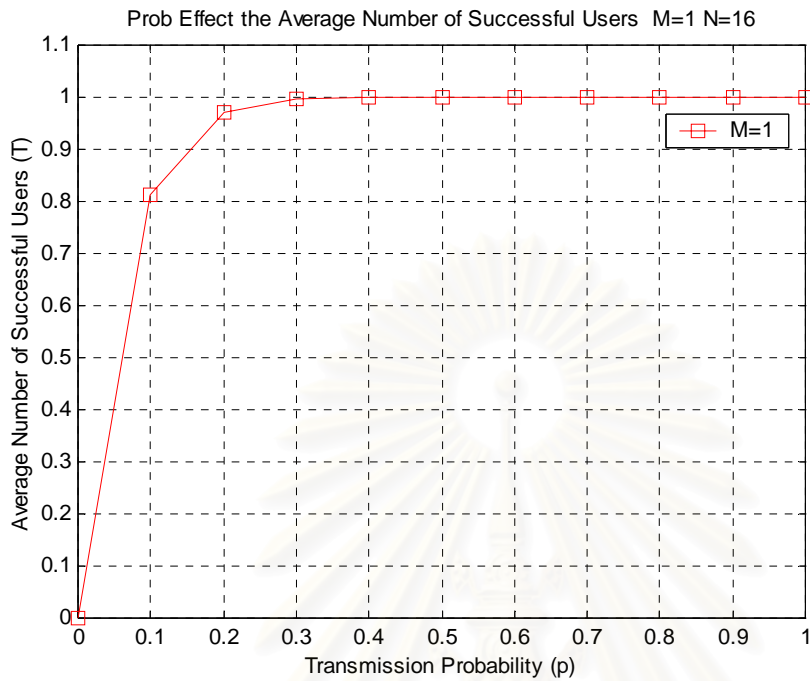
รูปที่ 4.1 (ค) แสดงเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ เมื่อพิจารณาในเงื่อนไขจำนวนสล๊อตการจองที่ 16 สล็อตเหมือนกัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองค่าต่ำๆผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองต่ำไปด้วย ในขณะที่ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะผู้ใช้บริการไม่พยายามเข้าจองนั่นเอง และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนสล๊อตการ

จงมีจำนวนเพิ่มขึ้น ในกรณีที่จำนวนสล็อตการจองมีจำนวนไม่มากนัก ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจะมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1 สล็อตซึ่งก็คือ ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน

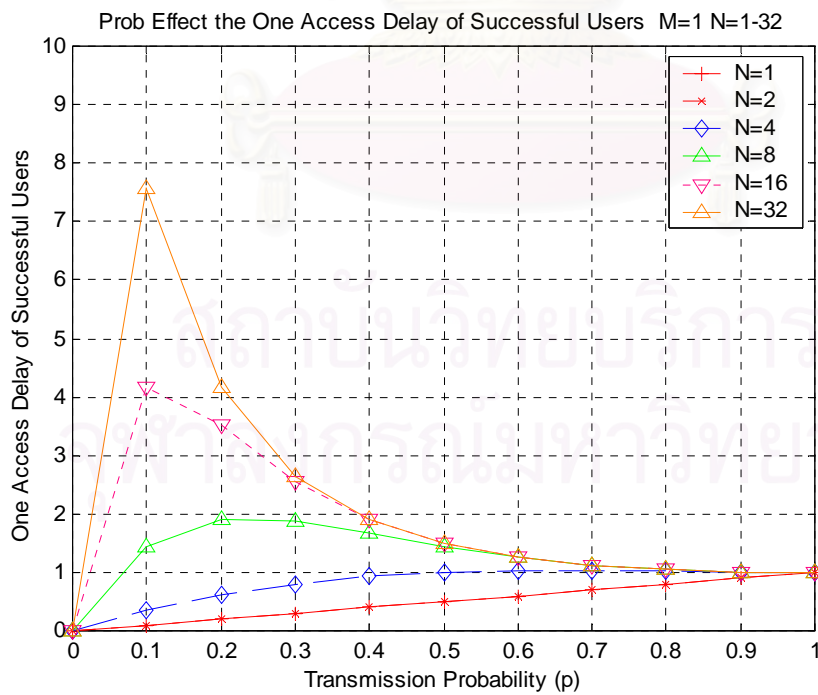
รูปที่ 4.1 (ง) แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (T) ในกรณีที่จำนวนสล็อตการจองมีค่าต่างๆกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อสล็อตการจองมีจำนวนเพิ่มขึ้น ผู้ใช้บริการสามารถใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองให้มีค่าลดลงได้ โดยที่จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าเท่ากัน เช่นในกรณี สล็อตการจองจำนวน 4 สล็อต ผู้ใช้บริการจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 1 แต่ถ้าสล็อตการจองมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 32 สล็อต ผู้ใช้บริการจะสามารถใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.3 เท่านั้น แต่ต้องพิจารณาผลของเวลาประวิงโดยเฉลี่ยร่วมด้วย เพราะถ้าผู้ใช้บริการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่าลดลง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบได้



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ

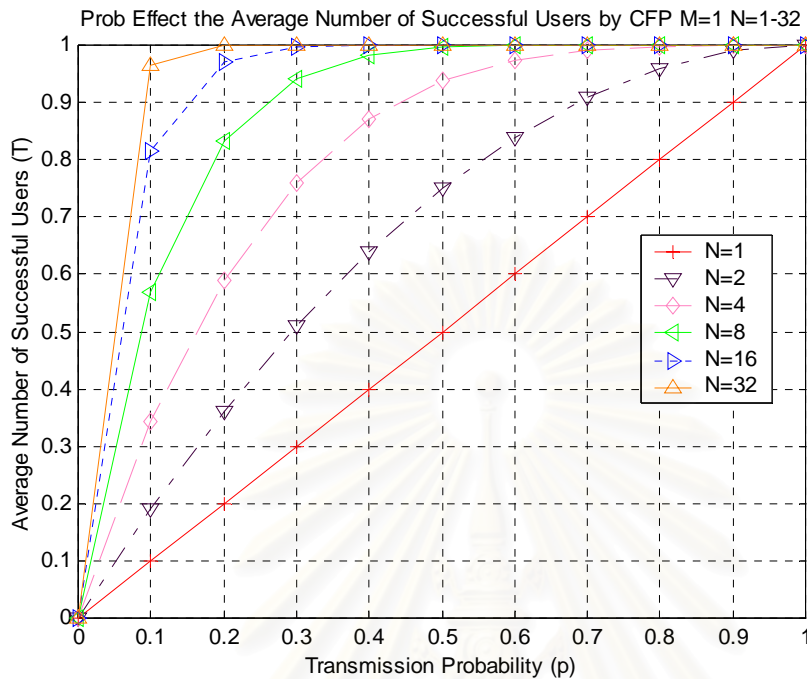


(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง



(ค) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองช่อง

สัญญาณ



(ง) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ที่ค่าสล็อตการจองต่างกัน

รูปที่ 4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 คนและจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

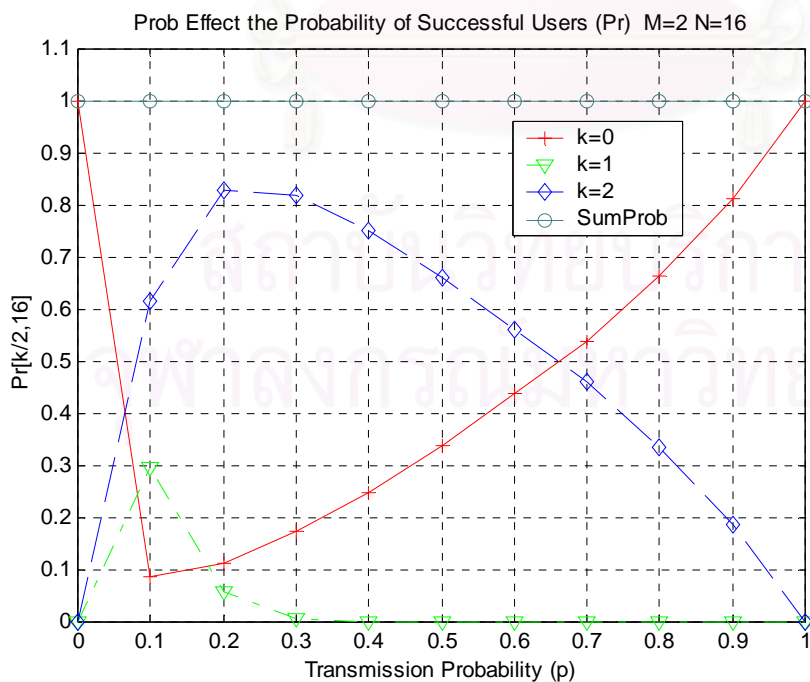
รูปที่ 4.2 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบในหัวข้อที่ 3.2.2 ในรูปที่ 4.2 (ก) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจองหรือการเข้าจองเพิ่มมากขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบผลสำเร็จในการจอง ($\Pr[k = 1]$) และ ($\Pr[k = 2]$) จะมีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ทั้งนี้เพราะโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตการจองมีมากขึ้น โดยค่าสูงสุดของ $\Pr[k = 1]$ เกิดที่ค่า p ค่าต่ำๆ เพราะถ้าค่า p สูงขึ้น ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะประสบความสำเร็จทั้งสองคนหรือชนกันทั้งสองคนมากขึ้น ในขณะที่ค่าสูงสุดของ $\Pr[k = 2]$ เกิดที่ค่า p ค่ามากกว่า เพราะถ้าเพิ่มค่า p โอกาสที่จะประสบความสำเร็จทั้งสองคนก็มีมากขึ้นด้วย

รูปที่ 4.2 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ในช่วงที่ p มีค่าน้อยจะมีค่าน้อยด้วย และจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ p มีค่าเพิ่มขึ้นเพราะเป็นผลมาจากการ

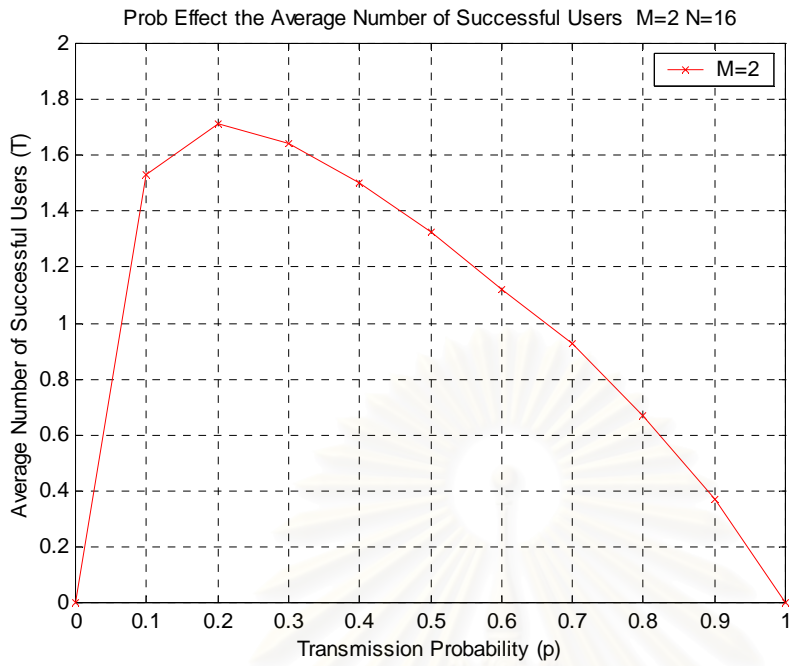
เพิ่มโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม p เกินจุดๆหนึ่งผลของการชนกันจะส่งผลให้ผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าลดลง โดยจะต้องใช้ค่า p ที่เหมาะสมเพื่อทำให้ผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่ามากที่สุด ซึ่งในกรณีนี้คือ $p = 0.2$ จะได้ค่าสูงสุดของ $T = 1.72$

รูปที่ 4.2 (ค) พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองในช่วงที่ p มีค่าน้อยจะมีค่าน้อยด้วย และจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ p มีค่าเพิ่มขึ้นเพราะเป็นผลมาจากการเพิ่มโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม p มากขึ้นโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจองก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเริ่มมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่ม p เกินจุดๆหนึ่งผลของการชนกันจะส่งผลให้ผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าลดลงและเข้าสู่ศูนย์ ซึ่งจะทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีค่าลดลงด้วย ในกรณี $p = 0.2$ จะได้ค่าสูงสุดของ $T = 1.72$ และค่าที่เหมาะสมของ $D_{av} = 9.611$

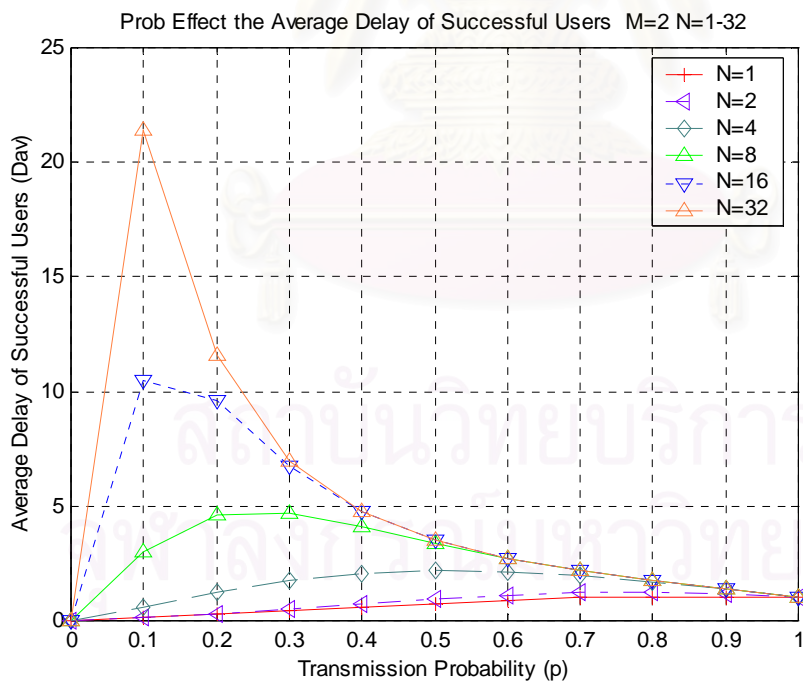
รูปที่ 4.2 (ง) แสดงจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (T) ในกรณีที่จำนวนสลอตการจองมีค่าต่างๆกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อสลอตการจองมีจำนวนเพิ่มขึ้นผู้ให้บริการสามารถที่จะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองที่เหมาะสมให้มีค่าลดลงได้ โดยที่จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าเท่ากัน



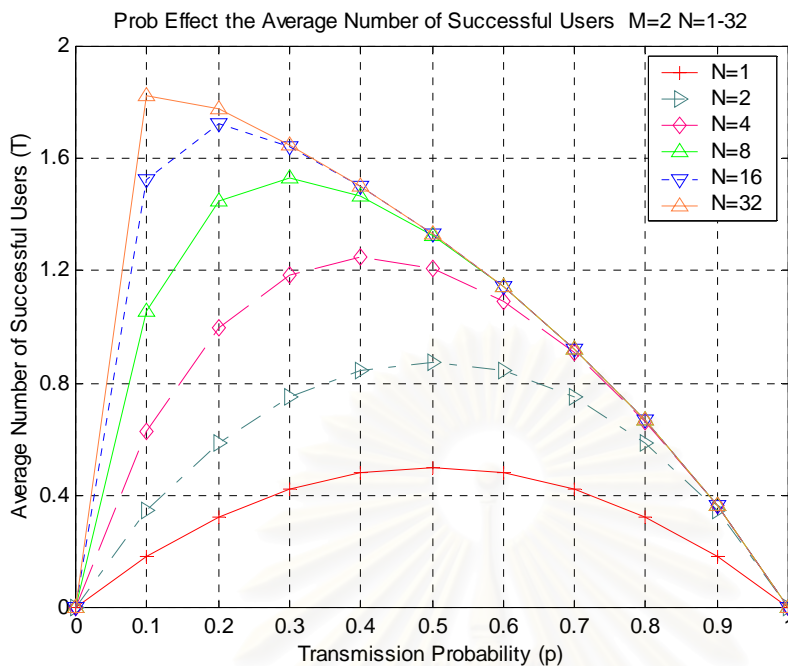
(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ให้บริการประสบความสำเร็จ



(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง



(ค) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 2 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ

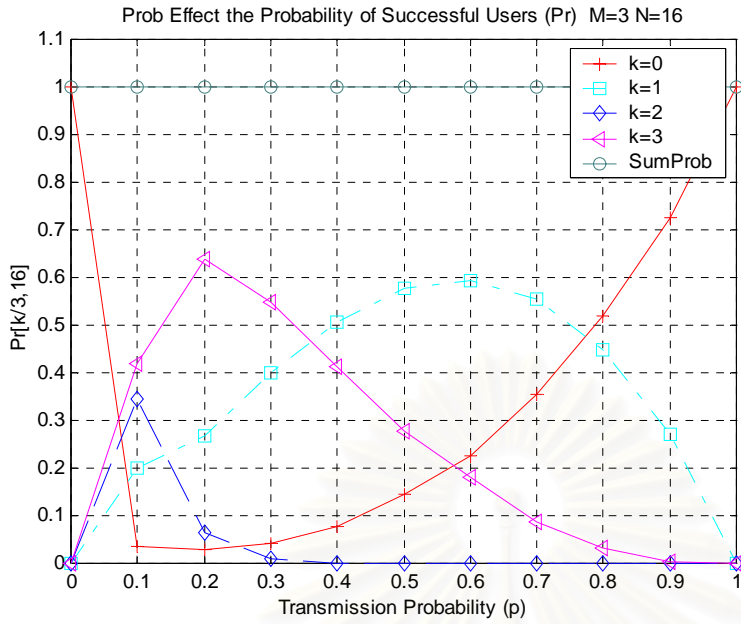


(ง) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ที่ค่าสล็อตการจองต่างกัน

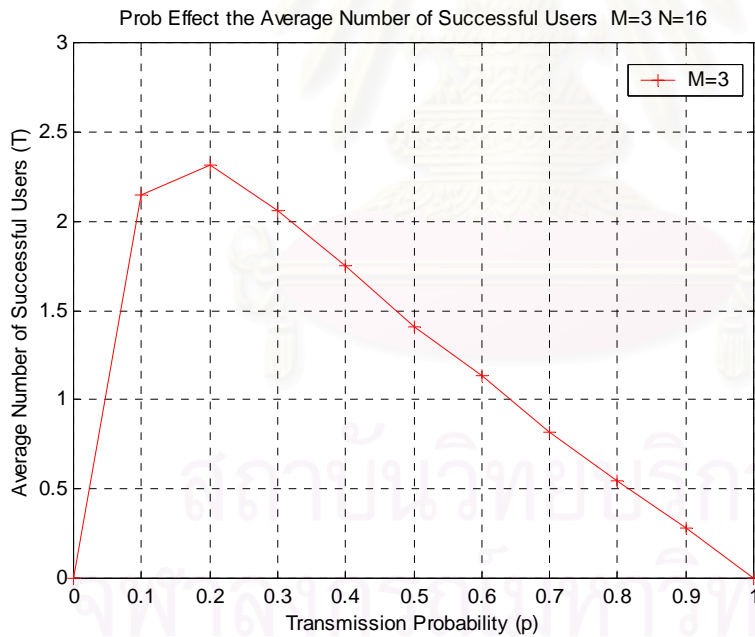
รูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คนและจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

รูปที่ 4.3 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 3 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต จากรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการจอง $\Pr[k=2]$ และ $\Pr[k=3]$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและเริ่มมีค่าลดลง เมื่อค่า p มีค่าเพิ่มขึ้นเพราะผลจากการชนกันของแพ็กเก็ตการจอง ในขณะที่ค่าของ $\Pr[k=1]$ จะเริ่มมีค่ามากขึ้นเพราะเหลือผู้ใช้บริการอีกเพียงคนเดียวจึงมีโอกาสประสบความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.3 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่ามากขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ $T = 2.32$ เมื่อใช้ค่า $p = 0.16$ และสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ



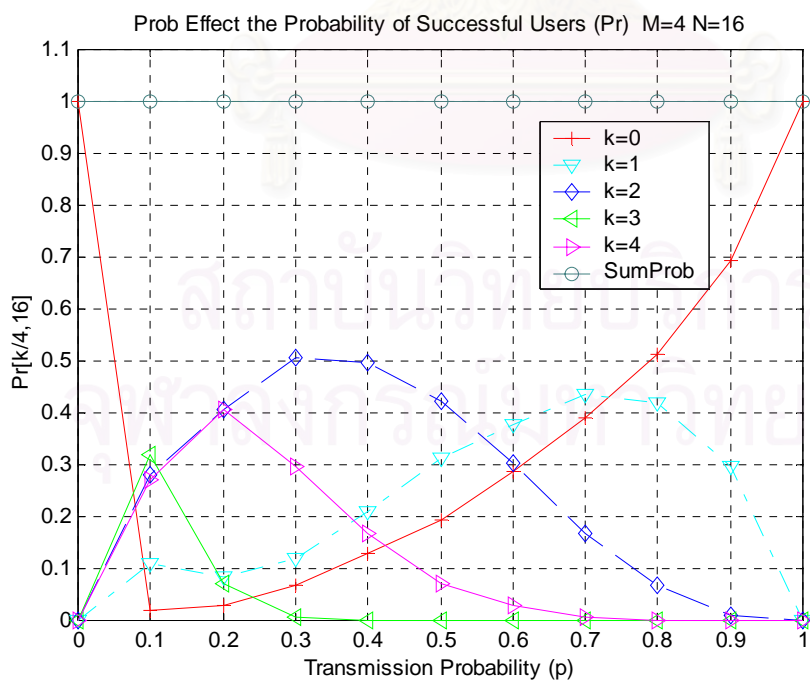
(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง

รูปที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 3 คนและจำนวน
สลั๊ตการจอง 16 สลั๊ต

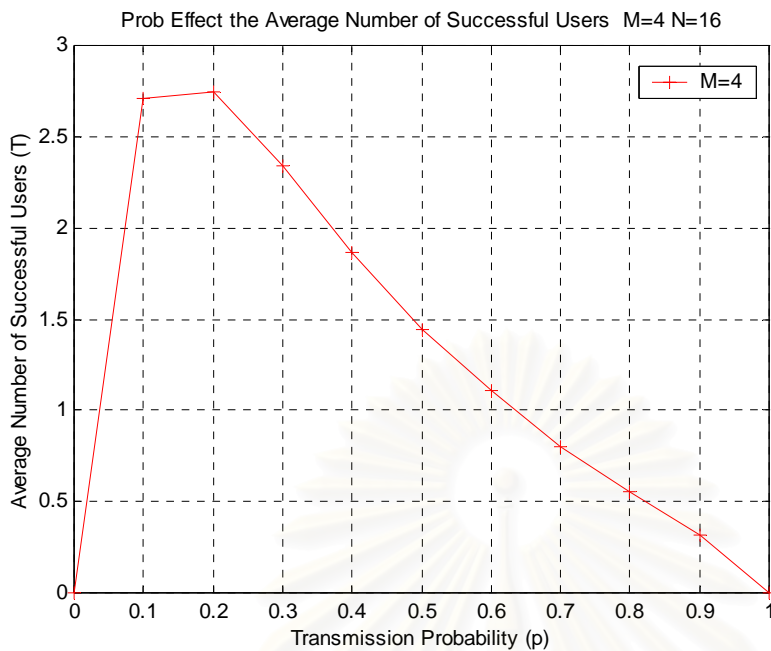
รูปที่ 4.4 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดการจ้อง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 4 คน และสลิตการจ้อง 16 สลิต จากรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการจ้อง $\Pr[k = 3]$ และ $\Pr[k = 4]$ จะมีค่าลดลงเมื่อค่า p เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเกิดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจ้องเพิ่มขึ้น โอกาสที่จะประสบความสำเร็จ ทั้ง 3 หรือ 4 คนจึงมีน้อยตามไปด้วย ในขณะที่ $\Pr[k = 1]$ และ $\Pr[k = 2]$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะโอกาสที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดการจ้องแล้วเหลือผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ 1 และ 2 คนจึงเพิ่มตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ค่าของ $\Pr[k = 1]$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า เพราะโอกาสที่จะประสบความสำเร็จเพียงคนเดียวมีค่ามากที่สุด เมื่อเพิ่มค่า p สูงขึ้น

รูปที่ 4.4 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจ้องจะมีค่ามากขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ $T = 2.83$ เมื่อใช้ค่า $p = 0.14$ และสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 พบว่าค่าผลรวมของความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจ้องในทุกๆค่าของ ความน่าจะเป็นในการเข้าจ้อง จะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่ถูกต้อง และจะใช้ผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในทุกๆหัวข้อของการวิเคราะห์



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ



(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง

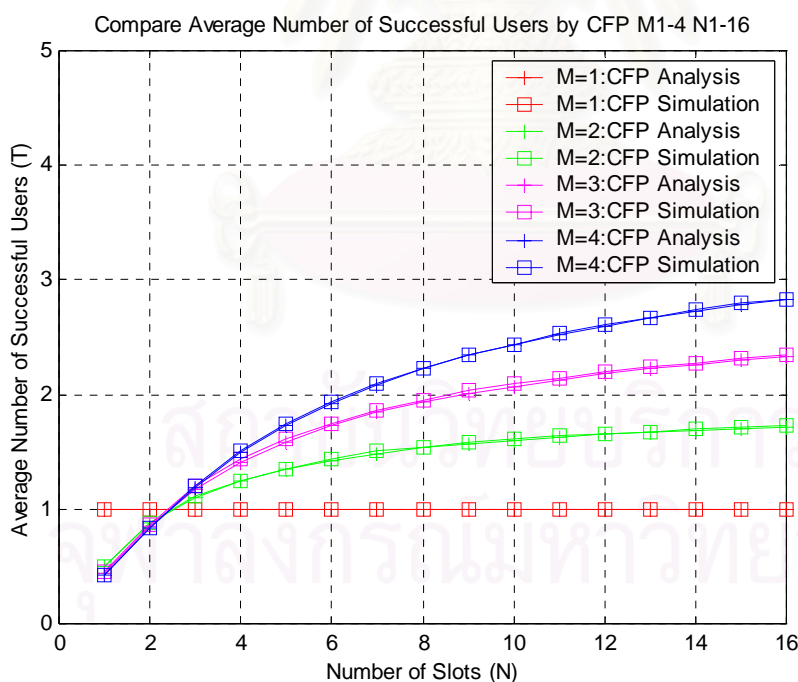
รูปที่ 4.4 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 4 คนและจำนวนสล๊อตการจอง 16 สล๊อต

กรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 4 คน ตามรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อมีจำนวนสล๊อตการจองมากขึ้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2 คน จำนวนสล๊อตการจองมีค่าเท่ากับ 1, 2, 4, 8 และ 16 สล๊อต จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.5, 0.875, 1.25, 1.53 และ 1.72 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มาจากการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองเท่ากับ 0.5, 0.5, 0.4, 0.3 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองเหล่านี้ จะขึ้นกับจำนวนสล๊อตการจอง นอกจากนี้จะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล๊อตการจองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มจำนวนสล๊อตการจอง จะทำให้เพิ่มโอกาสให้กับผู้ใช้บริการในการเข้าจองโดยไม่ต้องแย่งเข้าจองในสล๊อตการจองแรกๆ เพราะยังมีสล๊อตการจองที่เหลืออยู่อีกมาก แต่ถ้าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่าลดลงจนน้อยเกินไป อาจทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณมีค่าลดลง เนื่องจากผู้ใช้บริการอาจไม่เข้าจองช่องสัญญาณทำให้สล๊อตการจองเกิด

ความสูญเสียเปล่าได้ ดังนั้นจึงจะต้องมีค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง ต่อจำนวนสล๊อต การจองค่าหนึ่งเสมอ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่เท่ากันกับการจำลองผลทาง คอมพิวเตอร์ในทุกกรณี จึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 มีค่า ถูกต้อง สำหรับผลการทดสอบของวิธีการต่างๆในหัวข้อถัดไปเพื่อความสะดวกในการพิจารณา กราฟ จะใช้ผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก แต่อาจจะมีบางกรณีที่ผลการจำลองทาง คอมพิวเตอร์มาช่วยยืนยันด้วย

ดังนั้นจากที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้ จะสรุปได้ว่า ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการ เข้าจอง มีผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ซึ่งค่า ความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองดังกล่าว จะให้ค่าสูงสุดของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ และในขณะเดียวกันอาจจะให้ค่าที่ต่ำสุดของค่าเวลา ประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ



รูปที่ 4.5 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ของกรณีศึกษา เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 4 คน จำนวนสล๊อตการจอง 1 ถึง 16 สล๊อต

4.2 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CFP

ในวิธี CFP จะเป็นกรณีทั่วไปในการวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีการแย่งเข้าจองช่องสัญญาณของกรณีศึกษา ดังนั้นในหัวข้อนี้ จะแสดงการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ในการเข้าจองช่องสัญญาณ เพื่อให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงสุด ในขณะที่เดียวกันก็จะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าลดลง และจะทำให้ค่าเวลาประวิงต่อแพ็คเกจการจองมีค่าลดลงหรือเป็นค่าต่ำสุดด้วย

รูปที่ 4.6 (ก) แสดงผลของการเลือกใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 คน จำนวนสล๊อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อตตามลำดับ พบว่าเมื่อจำนวนสล๊อตการจองมีค่ามากขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าลดลง โดยเห็นได้จากที่ N เท่ากับ 32 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะมีค่าเท่ากับ 0.2 และถ้าจำนวนสล๊อตการจองน้อยลง ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อให้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงขึ้น ซึ่งก็ก่อให้เกิดโอกาสในการชนกันของแพ็คเกจการจองเพิ่มขึ้นด้วย

ในรูปที่ 4.6 (ข) เป็นกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น พบว่าถ้าใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงขึ้น โดยที่สล๊อตเท่ากับ 32 สล๊อต ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง เท่ากับ 0.12 จะให้ค่าให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เท่ากับ 1.84 ซึ่งมีค่าสูงกว่าระบบที่มีผู้ใช้บริการจำนวน 1 คน เมื่อเปรียบเทียบในเงื่อนไขเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมากขึ้น จะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะผลของโอกาสในการชนกันขอแพ็คเกจการจอง มีเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์ดังกล่าวจะนำไปใช้ในหลายๆกรณีของวิธี CFP

ในรูปที่ 4.7 (ก) แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง จะพบว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง และจำนวนสล๊อตการจอง เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อการกำหนดค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยดังกล่าว ซึ่งถ้าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่าน้อย ประกอบกับจำนวนสล๊อตการจองมีจำนวนมาก ก็จะทำให้ค่า

เวลาประวิงโดยเฉลี่ย มีค่ามากตามไปด้วยทั้งนี้เพราะผู้ใช้บริการยังไม่รีบแย่งเข้าจองในช่วงสล็อตแรกๆ แต่จะรอในช่วงสล็อตถัดไป ทำให้เกิดเวลารอคอยโดยเฉลี่ยในการประสบความสำเร็จในการจองมีค่าเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวน 1 คน ที่จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อตจะให้ค่ามากกว่า ที่ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.1 เทียบกับจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อตในกรณีเดียวกัน และเมื่อค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวน 1 คน จะมีค่าลดลง เพราะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากขึ้น และในระบบที่มีผู้ใช้บริการเพียง 1 คนจะประสบความสำเร็จอย่างแน่นอน ถึงแม้จะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดก็ตาม

ในรูปที่ 4.7 (ข) แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 คน พบว่าจะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมากกว่า กรณี ที่ผู้ใช้บริการเข้าจองเพียงคนเดียว ที่ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองค่าเดียวกัน โดยที่เมื่อค่าจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนสล็อตการจองมีค่ามากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นช่วงหนึ่ง เนื่องจากผู้ใช้บริการยังสามารถรอคอยที่จะเข้าจองในสล็อตต่อไปได้ แต่หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง เพราะมีโอกาสในการเข้าจองมากขึ้นหรือโอกาสที่แพ็กเกตการจองจะชนกันมากขึ้นในช่วงสล็อตท้ายๆ

รูปที่ 4.8 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง พบว่าในกรณีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง จะเท่ากับ 1 เสมอ เพราะในกรณีนี้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งผู้เข้าจองจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป การเพิ่มจำนวนสล็อตการจองจะทำให้ผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยประสบความสำเร็จเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมากขึ้นก็จะก่อให้เกิดโอกาสในการชนกันของแพ็กเกตการจองเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งก็จะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าลดลง ดังจะเห็นได้จากกรณีมีผู้ใช้บริการ 128 คน ซึ่งมีจำนวนที่มากกว่าจำนวนสล็อตการจองมาก จึงทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตการจองมากและทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าลดลงมากด้วยเช่นกัน

รูปที่ 4.9 แสดงค่าค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และมีจำนวนสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต พบว่าเมื่อผู้ใช้บริการมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าวิสัยสามารถจะลู่เข้าสู่ค่าหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.368 หรือเท่ากับ $1/e$ นั่นคือประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ 36.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ใช้วิธี Slotted ALOHA และพบว่าในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการไม่มากสล็อตการจองเพิ่มขึ้นค่าวิสัยสามารถมีค่าลดลง หรือประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณลดลง

รูปที่ 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของระบบ เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และมีจำนวนสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต พบว่าที่ปริมาณโหลดน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าวิสัยสามารถจะมีค่าลดลง ดังนั้นระบบที่สล็อตการจองน้อยเมื่อปริมาณโหลดน้อย จะให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามช่วงที่ปริมาณโหลดมีค่ามาก ค่าวิสัยสามารถจะให้ค่าเท่ากับไม่ขึ้นกับจำนวนสล็อตการจอง

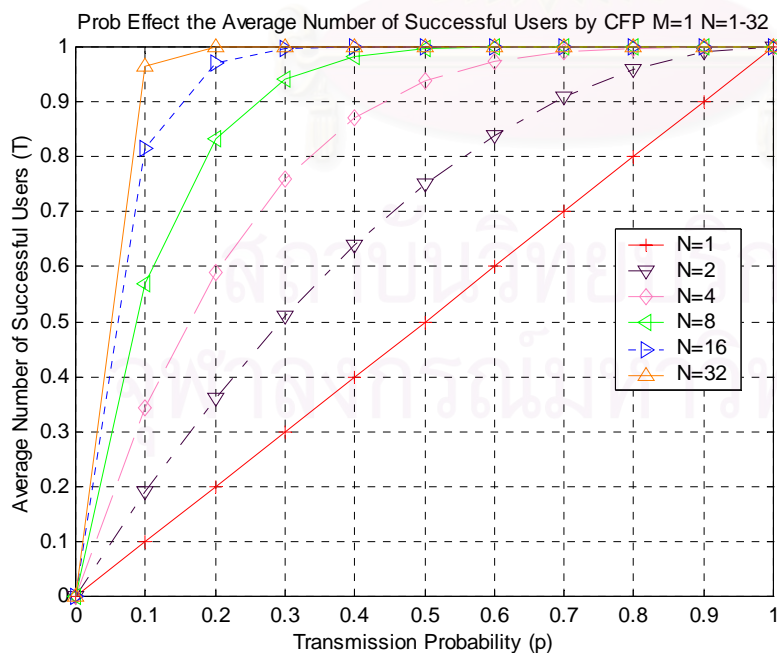
รูปที่ 4.11 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง จากผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน M คนที่แตกต่างกันในการเข้าจองช่องสัญญาณ พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีน้อยกว่าจำนวนสล็อต จะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพราะผู้ใช้บริการอาจจะยังไม่ตัดสินใจเข้าจองในสล็อตแรกๆ และเข้าจองในสล็อตท้ายๆ ทำให้ต้องเสียเวลาในการเข้าจองมากขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้นจึงเริ่มมีการแย่งเข้าจองตั้งแต่สล็อตแรกๆ ทำให้โอกาสประสบความสำเร็จในการจองและโอกาสชนกันของแพ็กเกตการจองเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่ำลง และถ้าจำนวนสล็อตการจองมีจำนวนมากขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย เพราะผู้ใช้บริการมีโอกาสใช้ช่องสัญญาณได้จำนวนมากขึ้น

รูปที่ 4.12 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง พบว่าเมื่อผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นด้วย เพราะผลจากการที่ผู้ใช้บริการอาจจะยังไม่ตัดสินใจเข้าจองในสล็อตแรกๆ และไปจองในสล็อตท้ายๆ และถ้าจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในช่วงที่สล็อตการจองจำนวนน้อยๆจะมีค่าไม่มากนักเพราะผลการชนกันของแพ็กเกตการจอง หรือผู้ใช้บริการยังไม่ตัดสินใจเข้าจอง และเมื่อสล็อตการจองมีจำนวนเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนใกล้เคียงกับจำนวนสล็อตการจองค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะให้

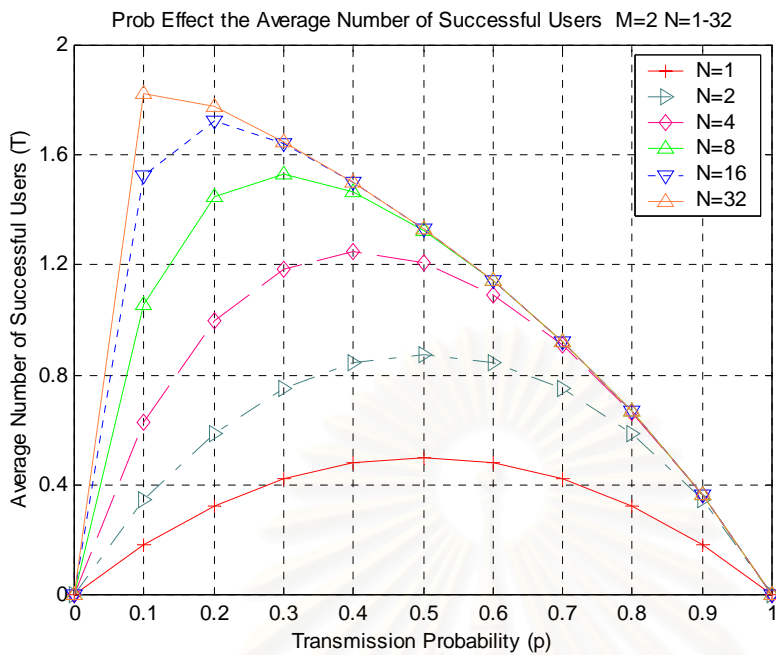
ค่าที่สูงมากที่สุด เพราะผู้ใช้บริการสามารถใช้สล็อตการจองได้เกือบทุกสล็อตการจอง และถ้าจำนวนสล็อตการจองยังมีจำนวนเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.13 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจอง พบว่าที่จำนวนผู้บริกรมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก เพราะผู้ใช้บริการอาจจะยังไม่ตัดสินใจเข้าจองในสล็อตแรกๆ และถ้าผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง จะทำให้เกิดการชนกันของแพ็คเกจการจองมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยลงและประสบความสำเร็จลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งส่งผลทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองลดลง และเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งด้วย

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองและปริมาณโหลด พบว่าที่ปริมาณโหลดน้อยเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนโหลดมีค่าเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองก็เริ่มจะมีค่าลดลง โดยจำนวนสล็อตที่มากกว่าจะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองมากกว่าเมื่อเทียบที่ปริมาณโหลดค่าเดียวกัน และเมื่อปริมาณโหลดมากๆค่าวิสัยสามารถจะให้ค่าคงที่ และไม่ขึ้นกับจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะมีค่าลดลง

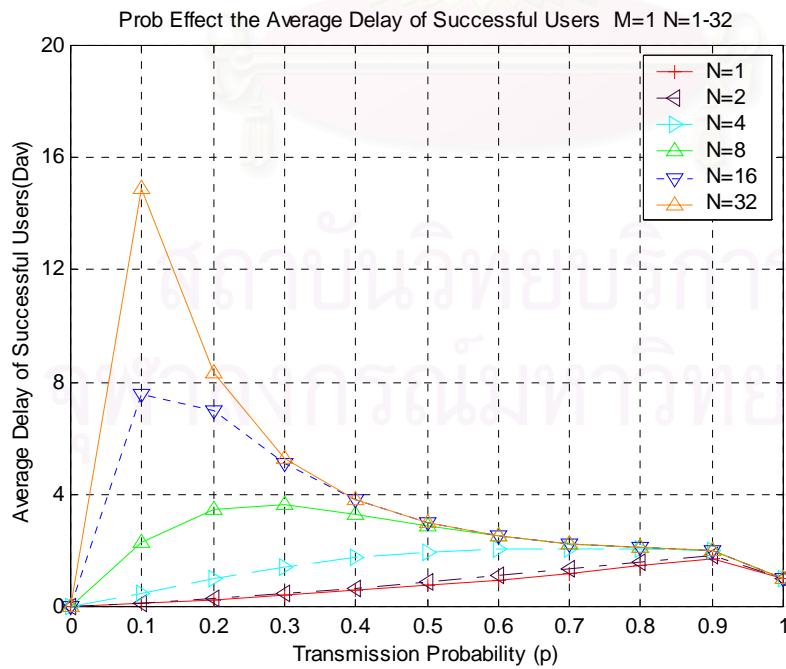


(ก) ระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 คน

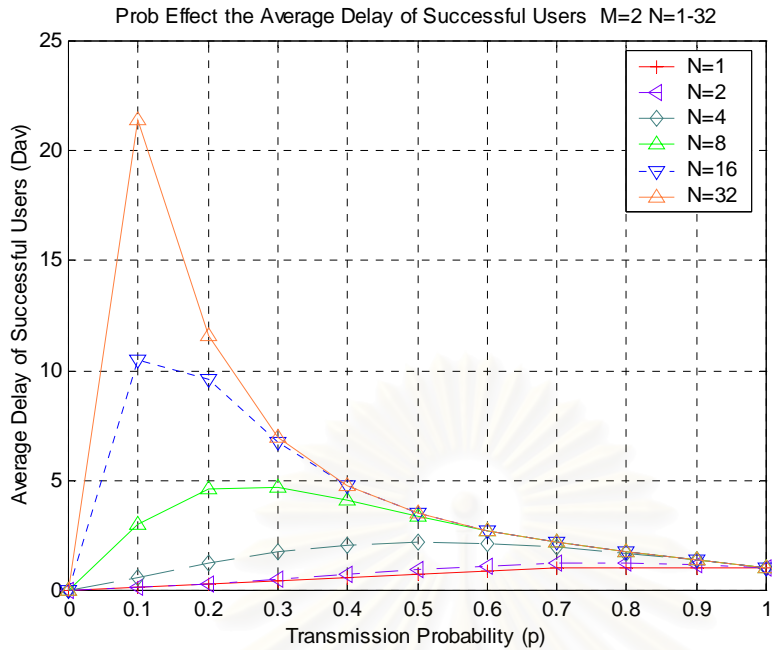


(ข) ระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 คน

รูปที่ 4.6 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง
เมื่อมีจำนวนสล็ตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต

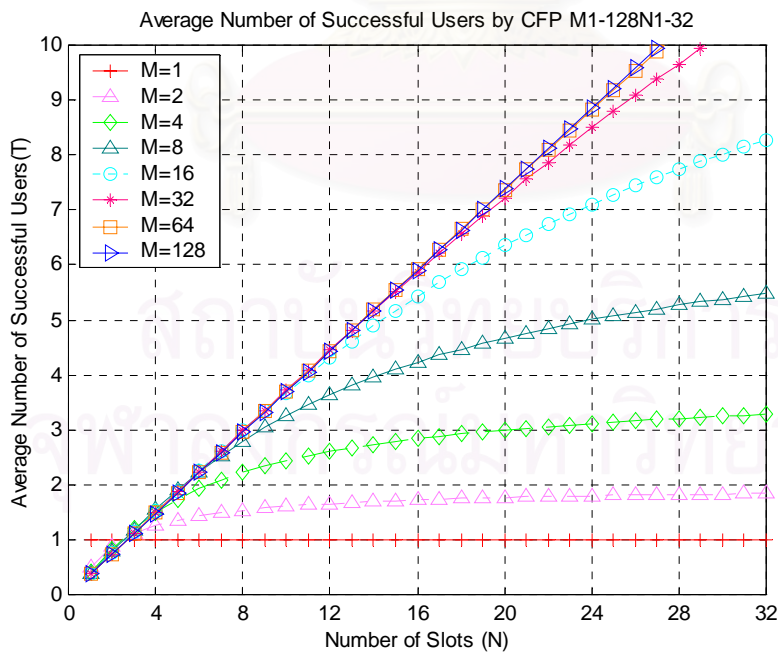


(ก) ผู้ใช้บริการจำนวน 1 คน

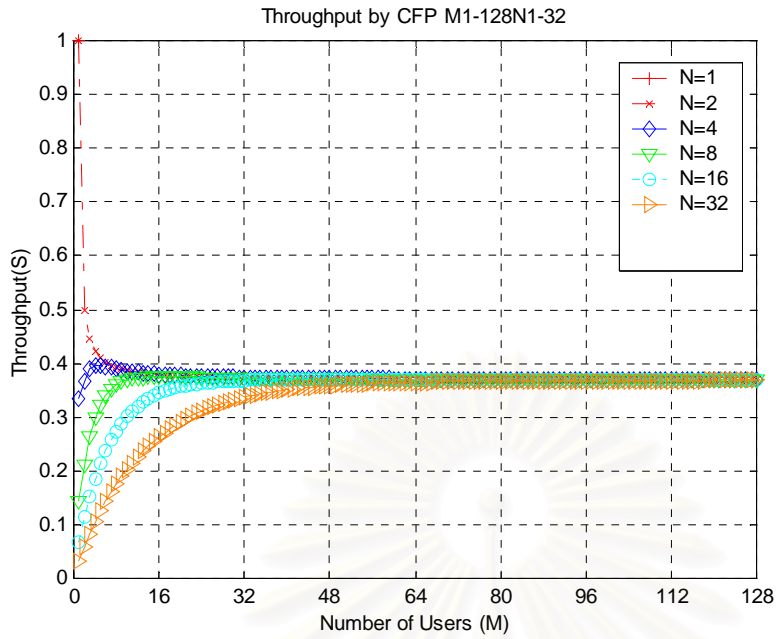


(ข) ผู้ใช้บริการจำนวน 2 คน

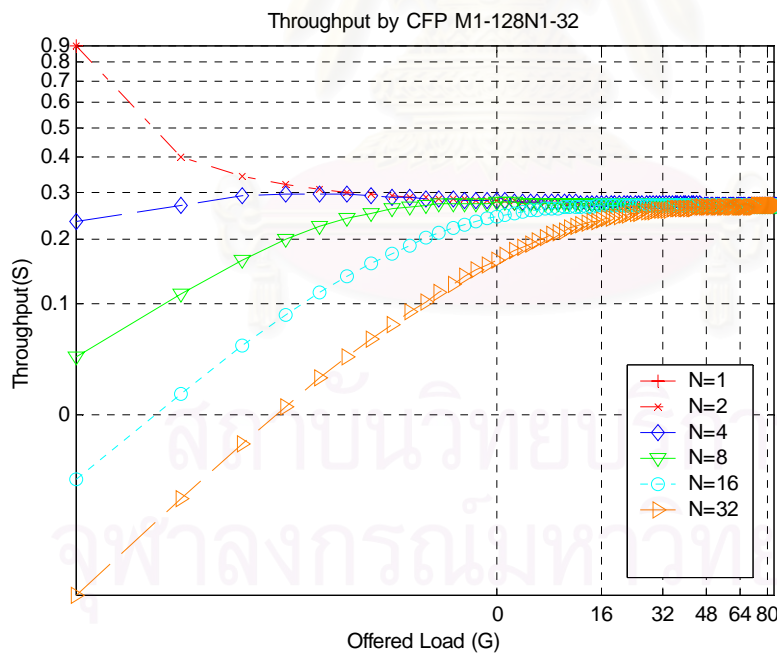
รูปที่ 4.7 จำนวนเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (สลิต) และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เมื่อมีจำนวนสลิตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สลิต



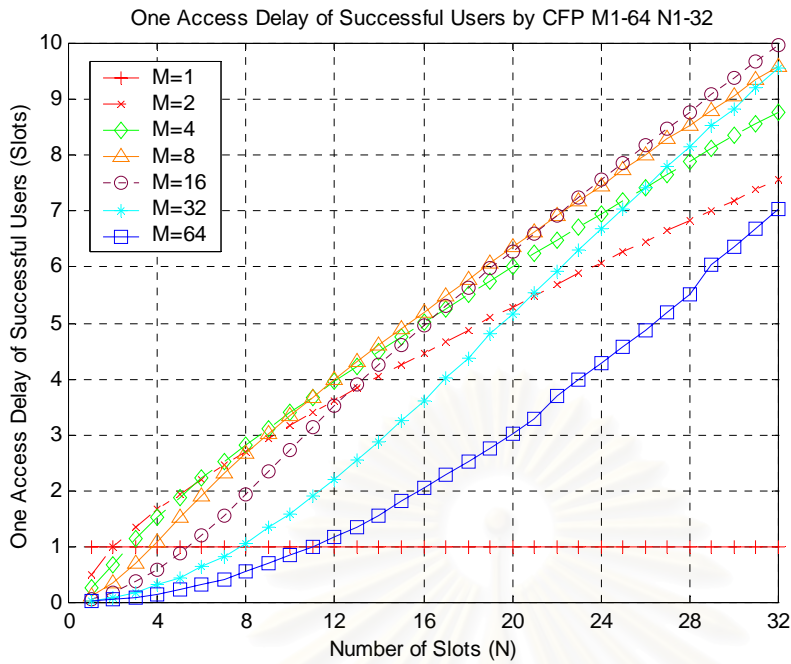
รูปที่ 4.8 จำนวนผู้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เมื่อมีจำนวนสลิตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สลิต



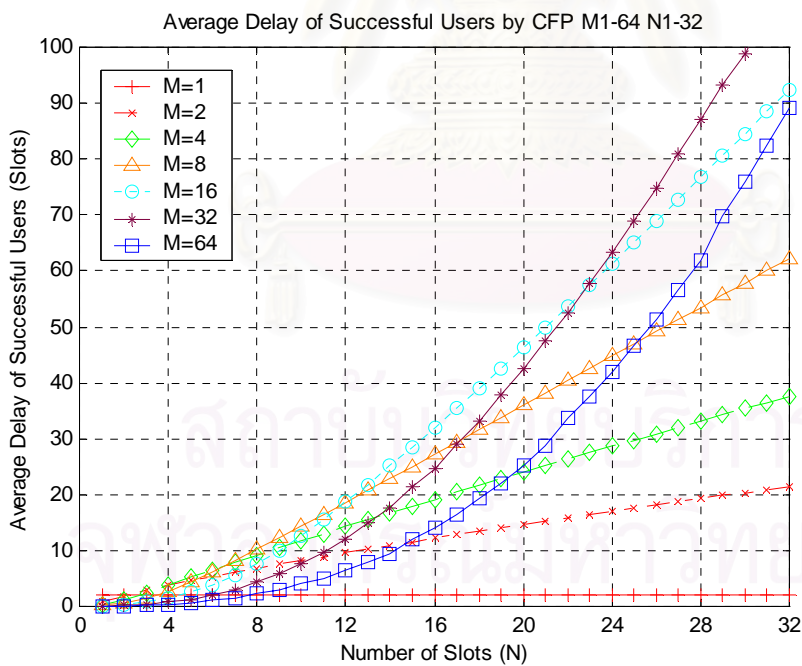
รูปที่ 4.9 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีจำนวนสลัดการของ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สลัด



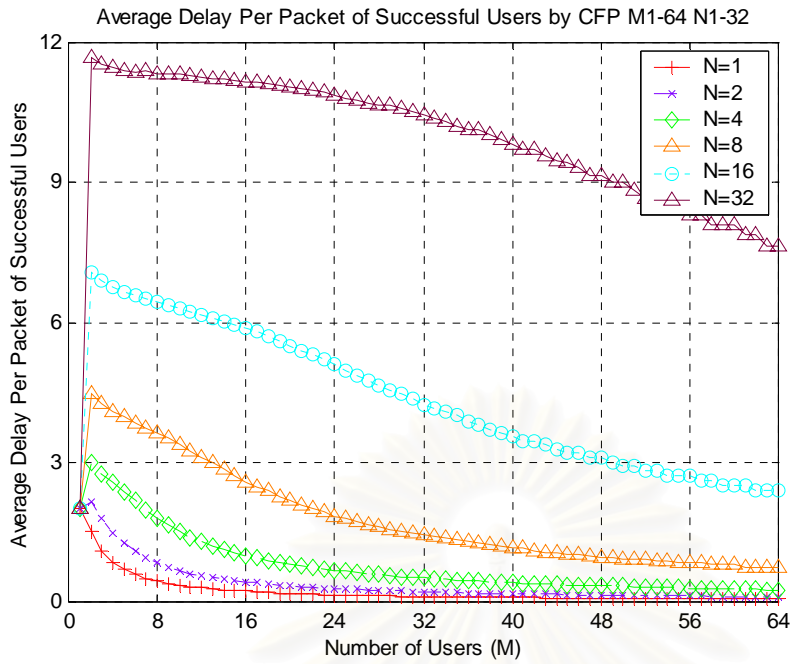
รูปที่ 4.10 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณโหลด เมื่อมีจำนวนสลัดการของ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สลัด



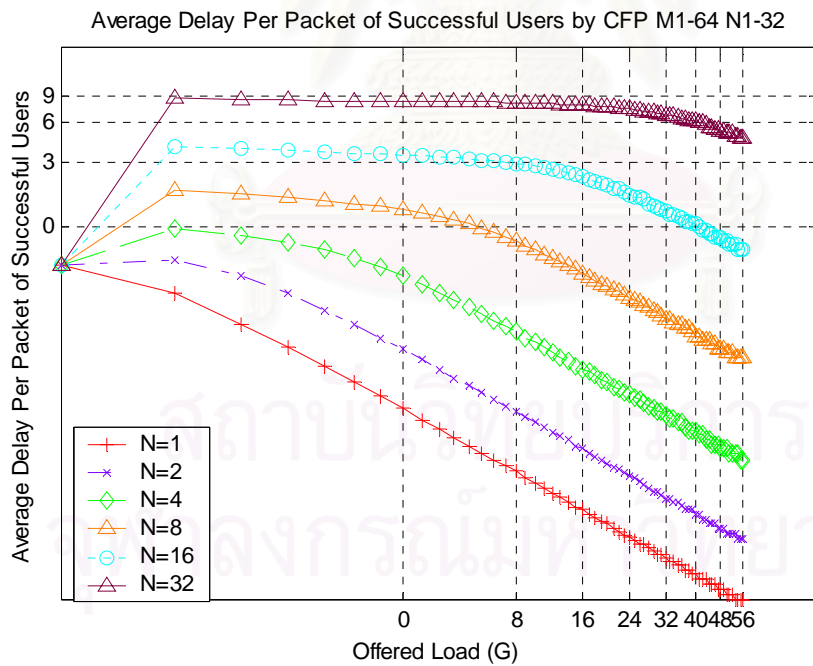
รูปที่ 4.11 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน



รูปที่ 4.12 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน



รูปที่ 4.13 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีสล็ตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต



รูปที่ 4.14 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง และปริมาณโหลด เมื่อมีสล็ตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต

4.3 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CAP

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์เมื่อผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจราจรได้ทุกสล็อตการจราจร โดยค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวได้มาจากวิธีของ CFP

ในรูปที่ 4.15 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าให้ผลที่ตรงกัน และในการแสดงรูปต่อไปจะใช้ผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก

ในรูปที่ 4.16 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คนตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจราจร 32 สล็อต พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP จะใกล้เคียงกับวิธีของ CFP แต่จะให้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จสูงกว่าในทุกกรณี

รูปที่ 4.17 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เปรียบเทียบกับวิธี CFP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คนตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจราจร 32 สล็อต พบว่าที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 คนจะให้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เท่ากับ 1.86, 3.33, 5.59 และ 8.51 ซึ่งสูงกว่าวิธีของ CFP คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 1, 1.5, 2 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ดังนั้นวิธีการปรับค่าความน่าจะเป็นแบบ CAP จะให้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบสูงขึ้นแต่เพิ่มขึ้นไม่มาก ทั้งนี้เพราะวิธีการปรับค่าความน่าจะเป็นแบบ CAP ได้นำค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดโดยรวมสำหรับช่วงหนึ่งของวิธี CFP มาใช้ในการปรับค่าความน่าจะเป็นในแต่ละสล็อตการจราจร ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวจึงไม่ใช่ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับสล็อตการจราจรในแต่ละสล็อต ดังนั้นเมื่อนำค่าความน่าจะเป็นของวิธี CFP มาใช้ในการส่งแพ็กเก็ตการจราจรบนกลไกของเทคนิคการปรับค่าความน่าจะเป็นได้ทุกสล็อตการจราจร ทำให้ระบบไม่ได้รับประสิทธิภาพที่เต็มที่ได้จากวิธีการดังกล่าว

รูปที่ 4.18 แสดงค่าวิสัยความสามารถของวิธี CAP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คนตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจราจร 32 สล็อต พบว่าจะให้ผล

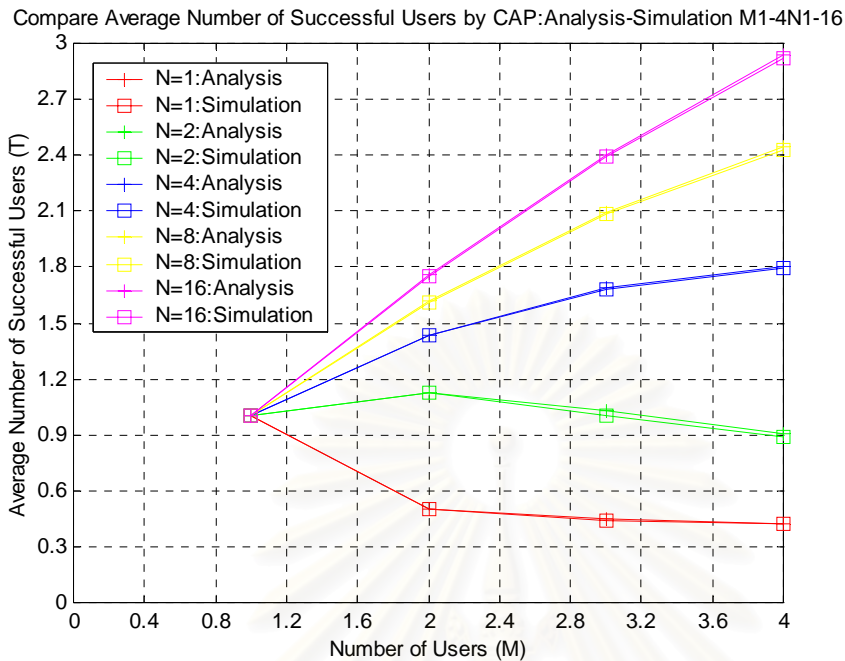
เช่นเดียวกับวิธี CFP แต่จะมีการลู่เข้าสู่ค่า $1/e$ เร็วกว่า เพราะผลจากการปรับค่าความน่าจะเป็นในแต่ละ

สล๊อตการจอง ดังนั้นประสิทธิภาพของวิธี CAP จะให้ผลเช่นเดียวกับวิธี CFP เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวนมาก และมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อย

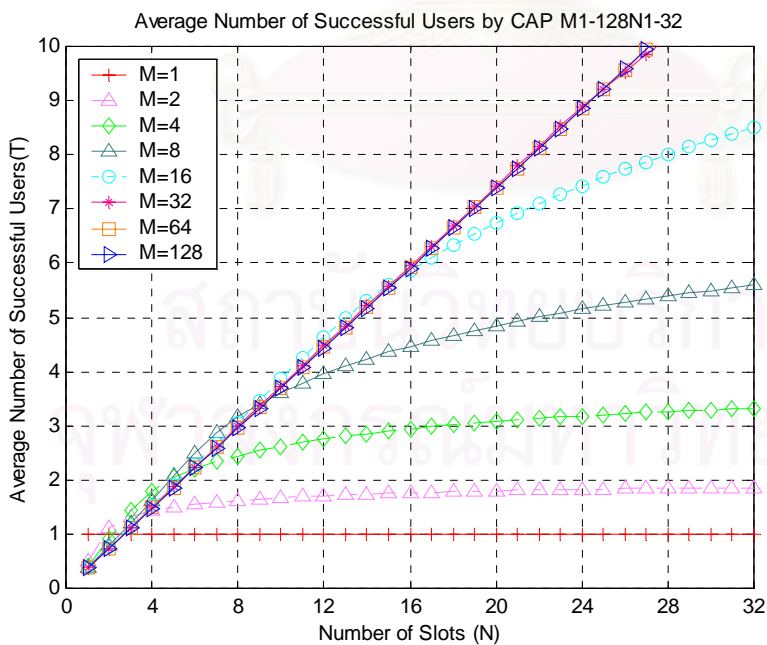
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณไหลของวิธี CAP พบว่าที่สล๊อตการจองน้อยจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าเมื่อสล๊อตการจองมาก และจะเห็นได้ว่าเมื่อไหลมีปริมาณมากขึ้นค่าวิสัยสามารถจะลู่เข้าสู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะมากกว่า $1/e$ และจำนวนสล๊อตการจองจะไม่มีผลต่อค่าวิสัยสามารถดังกล่าว

รูปที่ 4.20 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองจากผู้ให้บริการทั้งหมดจำนวน M คนที่แตกต่างกันในการเข้าจองช่องสัญญาณ เมื่อจำนวนสล๊อตการจองมีจำนวน 1 ถึง 32 สล๊อต พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี CAP จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันกับวิธี CFP เพราะวิธี CAP ได้นำค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของวิธี CFP มาใช้นั่นเอง พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล๊อตการจองมากๆ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะผู้ใช้บริการอาจจะยังไม่รีบตัดสินใจเข้าจองในสล๊อตแรกๆและอาจจะไปตัดสินใจเข้าจองในสล๊อตท้ายๆ แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นระบบจะเริ่มมีการแข่งขันเข้าจองตั้งแต่สล๊อตแรกๆด้วยความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธี CAP ทำให้ผู้ใช้บริการมีโอกาสประสบความสำเร็จและโอกาสในการชนกันของแพ็กเกตการจองมากขึ้น โดยในช่วงที่สล๊อตการจองน้อยๆโอกาสชนกันของแพ็กเกตการจองจะมีมากกว่าจึงทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการที่ประสบความสำเร็จมีค่าต่ำ และเมื่อจำนวนสล๊อตการจองเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

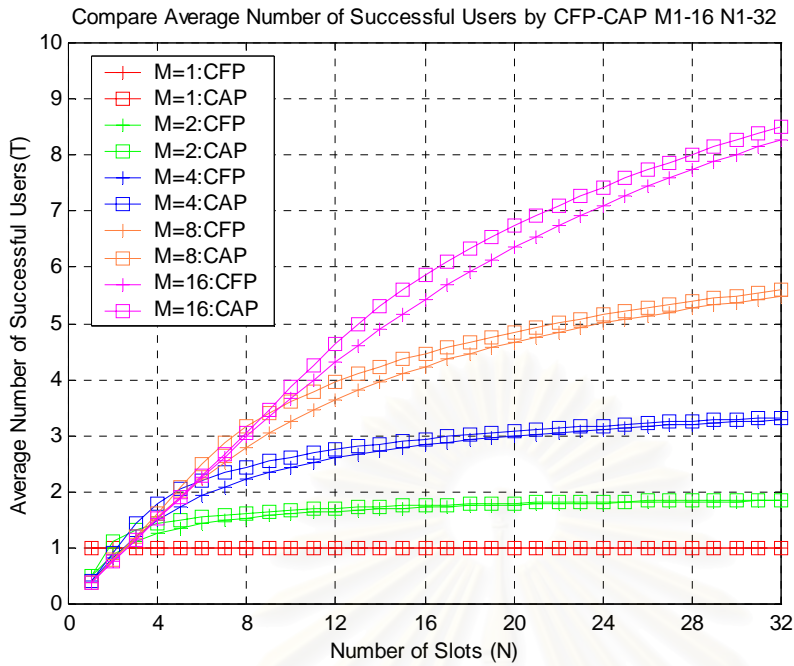
รูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็กเกตการจองของวิธี CAP ตามลำดับ พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธี CFP มาก ซึ่งอาจเป็นเพราะการนำค่าความน่าจะเป็นแบบค่าคงที่ของวิธี CFP ซึ่งเหมาะกับการทำงานเป็นช่วงของจำนวนสล๊อตการจองมาใช้งานกับการปรับค่าความน่าจะเป็นในทุกสล๊อตการจองอาจจะไม่เหมาะสมในกลไกดังกล่าว



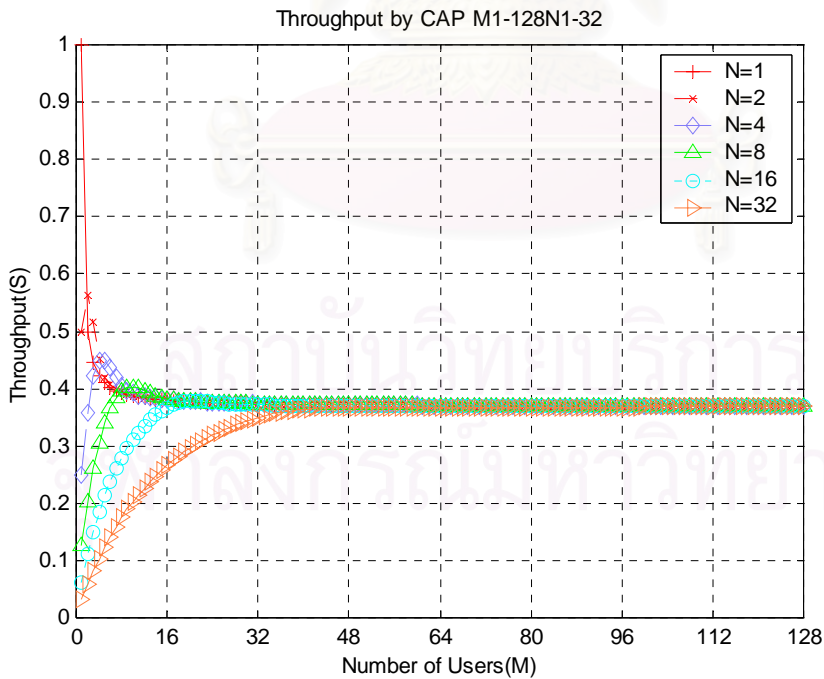
รูปที่ 4.15 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP และจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อระบบมีจำนวนสล롯การจอง 1,2,4,8, และ 16 สลิต



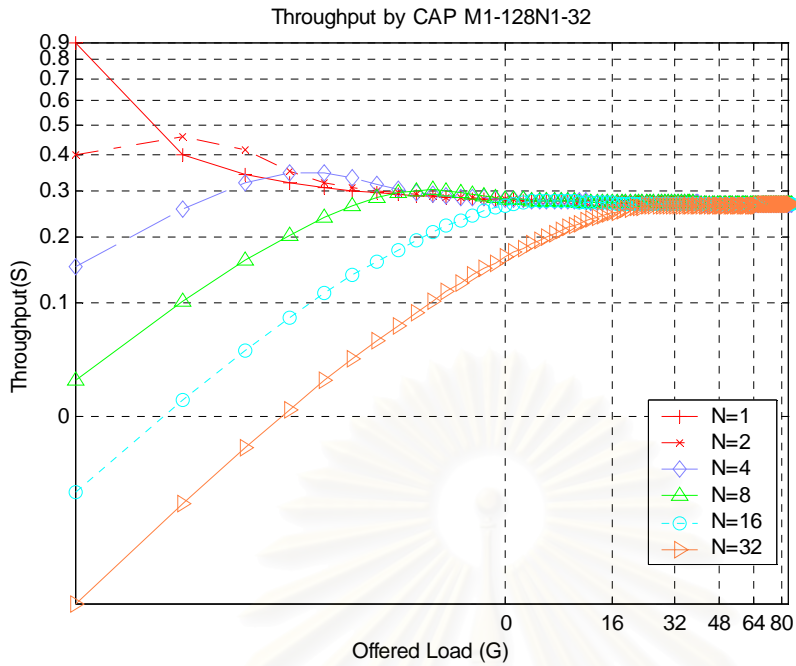
รูปที่ 4.16 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP และค่าสลิตการจองเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน



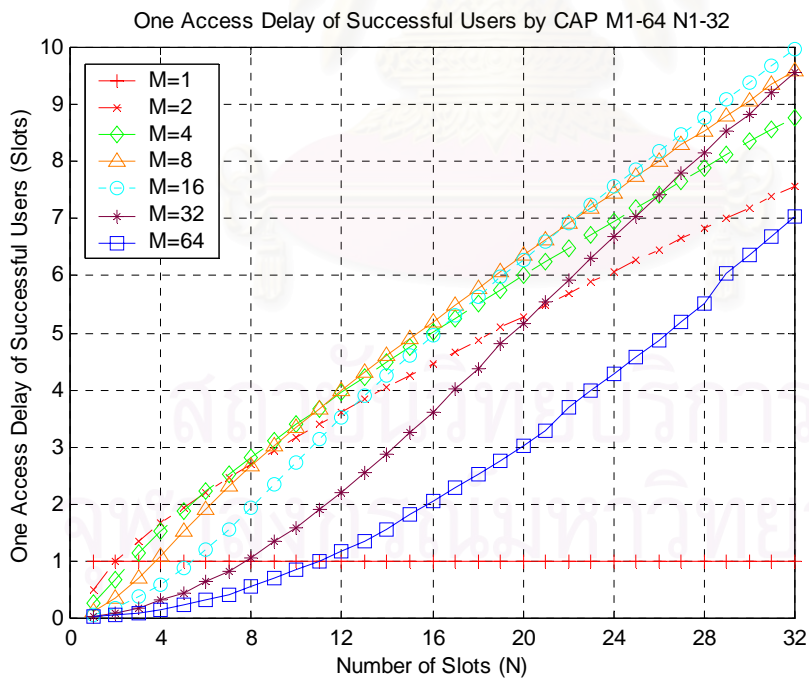
รูปที่ 4.17 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP เทียบกับวิธี CAP และจำนวนสล롯การจอง เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8 และ 16 คน



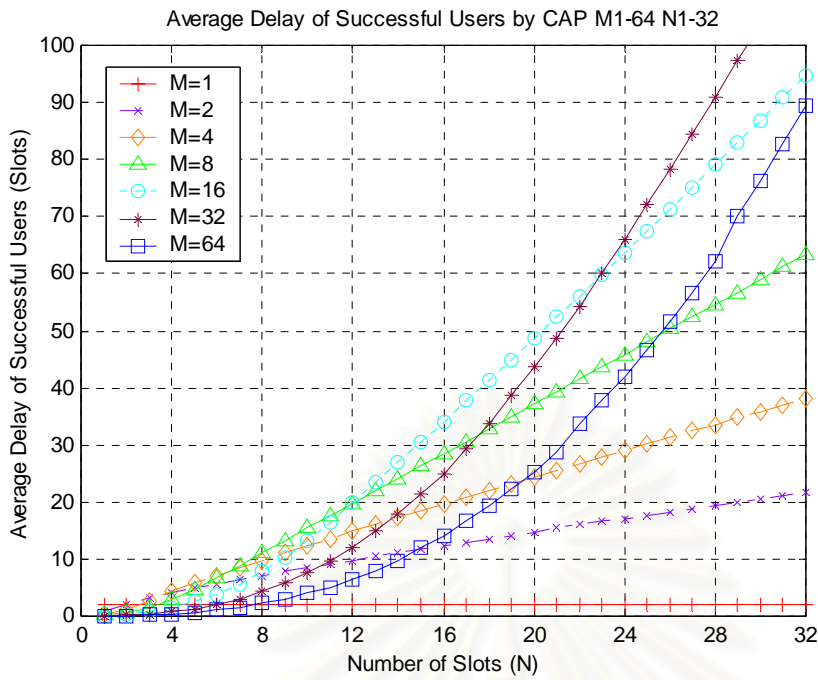
รูปที่ 4.18 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีจำนวนสล롯การจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สลิต



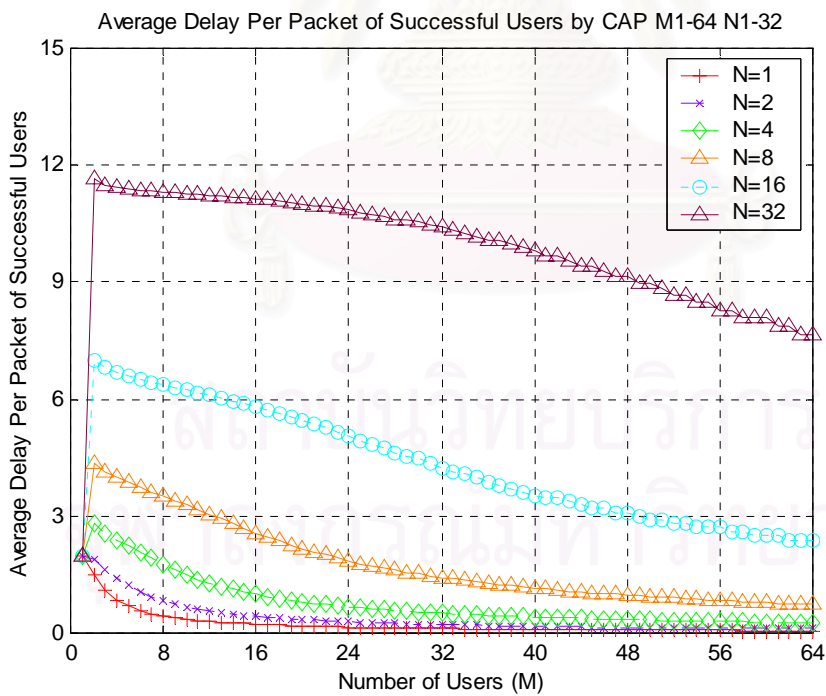
รูปที่ 4.19 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณโหลด เมื่อมีจำนวนสล็อดการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็อด



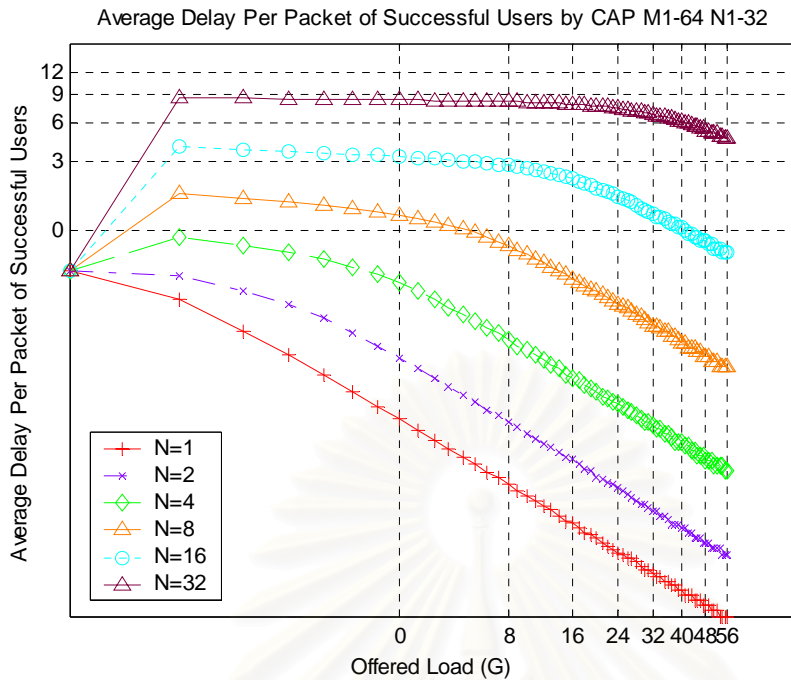
รูปที่ 4.20 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง และจำนวนสล็อดการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน



รูปที่ 4.21 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย และจำนวนสล๊อตการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน



รูปที่ 4.22 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง และจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อมีสล๊อตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อต



รูปที่ 4.23 ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจอง และปริมาณโหลด เมื่อมีสล็ตการจองจำนวน 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต

4.4 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี COP

จากผลการวิเคราะห์ของวิธี CAP พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธี CFP มาก ซึ่งไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบมากนัก ดังนั้นวิธี COP จึงถูกนำเสนอเพื่อให้ระบบสามารถใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในแต่ละสล็ตการจองได้อย่างแท้จริง โดยค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวจะมีการปรับค่าได้ในแต่ละสล็ตการจอง โดยทำการคำนวณจากจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองในสล็ตการจองนั้นๆ และจำนวนสล็ตการจองที่เหลืออยู่ในขณะนั้นๆ ดังนั้นทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตการจองของวิธี COP มีค่าต่ำกว่าวิธี CFP เพราะเป็นค่าที่ใช้เฉพาะสล็ตการจองหนึ่งๆ ในขณะที่เวลาที่พิจารณาอยู่ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธี COP จึงมีได้หลายค่าขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่และจำนวนสล็ตการจองที่เหลืออยู่ โดยจะมีค่าต่ำๆในช่วงแรกและจะเริ่มมีค่าสูงขึ้นในช่วงท้ายๆของการจอง ซึ่งพบว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธี CFP จะเป็นค่าที่อยู่ในช่วงกลางๆของการทำงานของวิธี COP

รูปที่ 4.24 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าให้ผลที่ตรงกัน และในการแสดงรูปต่อไปจะใช้ผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก

รูปที่ 4.25 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP พบว่าจะมีค่าสูงกว่าวิธี CAP ซึ่งเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน โดยที่จำนวนสล๊อตการจองเท่ากับ 32 สล๊อต จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 คน จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP จะมีค่าเท่ากับ 6.42 ในขณะที่จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP จะมีค่าเพียง 5.59 เท่านั้น

รูปที่ 4.26 แสดงค่าวิสัยความสามารถของวิธี COP เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อตและจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คนตามลำดับ พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ค่าวิสัยความสามารถจะเข้าสู่ค่า $1/e$ อย่างรวดเร็วและเร็วกว่าวิธี CAP เพราะเป็นผลมาจากการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองดีกว่า

รูปที่ 4.27 แสดงค่าวิสัยความสามารถ และปริมาณไหลตของวิธี COP เมื่อมีจำนวนสล๊อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล๊อตและจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คนตามลำดับ พบว่าในช่วงที่ปริมาณไหลตน้อยและสล๊อตการจองจำนวนมาก ค่าวิสัยความสามารถของวิธี COP จะให้ผลที่ดีกว่าวิธี CFP และ CAP เพราะผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองได้มากขึ้น แต่เมื่อปริมาณไหลตมากขึ้นค่าวิสัยความสามารถจะมีค่าลดลงเพราะเริ่มเกิดการชนกันของแพ็กเกตการจอง และในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนสล๊อตการจองค่าวิสัยความสามารถจะมากกว่าค่า $1/e$ เสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธี COP ให้ผลที่ดีกว่าวิธี Slotted Aloha

รูปที่ 4.28 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองจากผู้ให้บริการทั้งหมดจำนวน 64 คนที่เข้าจองช่องสัญญาณ เมื่อจำนวนสล๊อตการจองมีจำนวน 1 ถึง 32 สล๊อต พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี COP จะต่ำกว่าวิธีของ CFP และ CAP ในทุกๆกรณี โดยที่จำนวนสล๊อตการจองเท่ากับ 32 สล๊อต และจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 64 คนพบว่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี COP เท่ากับ 6.10 ในขณะที่วิธี CAP เท่ากับ 7.042 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่ปรับค่าได้อย่างแท้จริงในทุกสล๊อตการจองนั่นเอง

รูปที่ 4.29 แสดงผลเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าให้ผลที่ตรงกัน และในการแสดงรูปต่อไปจะใช้ผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก

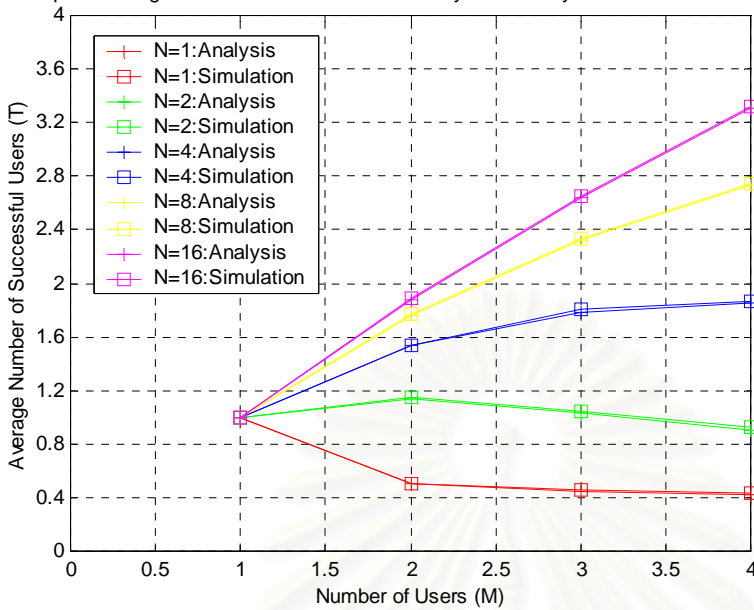
รูปที่ 4.30 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน สถิติการจองเท่ากับ 32 สถิติตามลำดับ พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี COP มีค่ามากกว่าวิธี CAP ในกรณีจำนวนผู้ให้บริการไม่มากนัก โดยที่จำนวนผู้ให้บริการเท่ากับ 64 คน สถิติการจองเท่ากับ 32 สถิติ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี COP เท่ากับ 78.699 และวิธี CAP เท่ากับ 89.53 ตามลำดับ

รูปที่ 4.31 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจองเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน สถิติการจองเท่ากับ 32 สถิติตามลำดับ พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็คเกจการจองของวิธี COP มีค่าน้อยกว่าวิธี CAP ในทุกกรณี โดยที่จำนวนผู้ให้บริการเท่ากับ 32 คน สถิติการจองเท่ากับ 32 สถิติ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองของวิธี COP เท่ากับ 9.39386 และวิธี CAP เท่ากับ 10.41762 ตามลำดับ

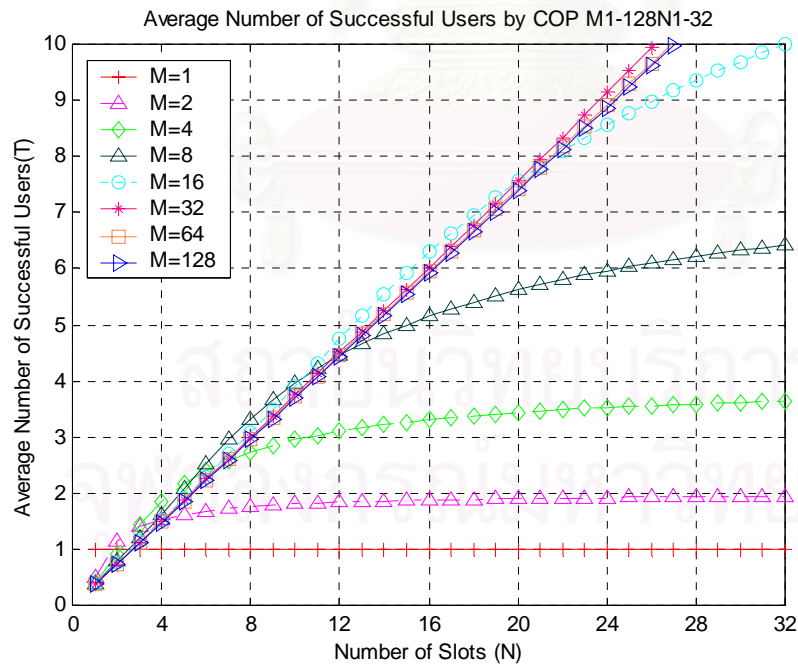
รูปที่ 4.32 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อปริมาณโหลดของวิธี COP พบว่าที่ปริมาณโหลดน้อย ระบบที่มีจำนวนสถิติการจองมากๆ จะให้ค่าเวลาประวิงต่อปริมาณโหลดที่สูงกว่าระบบที่มีจำนวนสถิติการจองน้อย ซึ่งหมายถึงระบบสามารถให้คำวิสัยสามารถที่ต่ำลง และเมื่อปริมาณโหลดมากขึ้นค่าเวลาประวิงต่อปริมาณโหลดจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนสถิติมากขึ้น

รูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง จำนวน 1 คนตามลำดับ ซึ่งพบว่าวิธี COP จะให้ผลที่ดีกว่าวิธี CFP และ วิธี CAP ในทุกกรณี

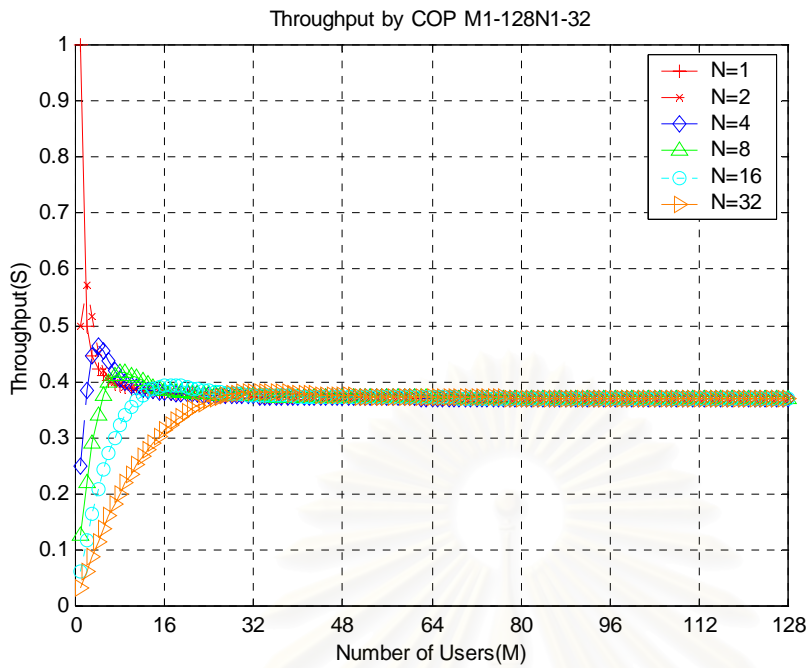
Compare Average Number of Successful Users by COP:Analysis-Simulation M1-4N1-16



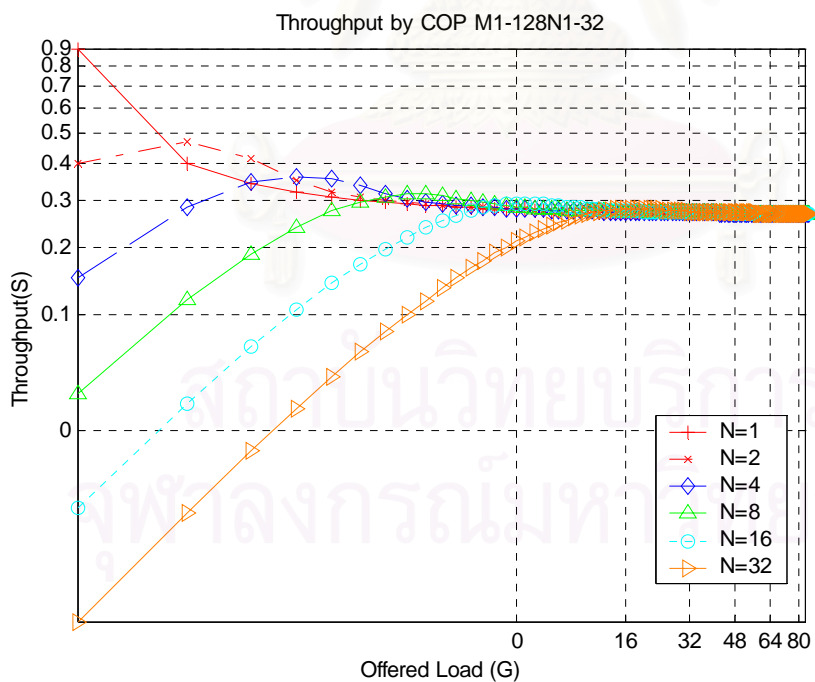
รูปที่ 4.24 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP และจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อระบบมีจำนวนสล롯การจอง 1,2,4,8, และ 16 สลิต



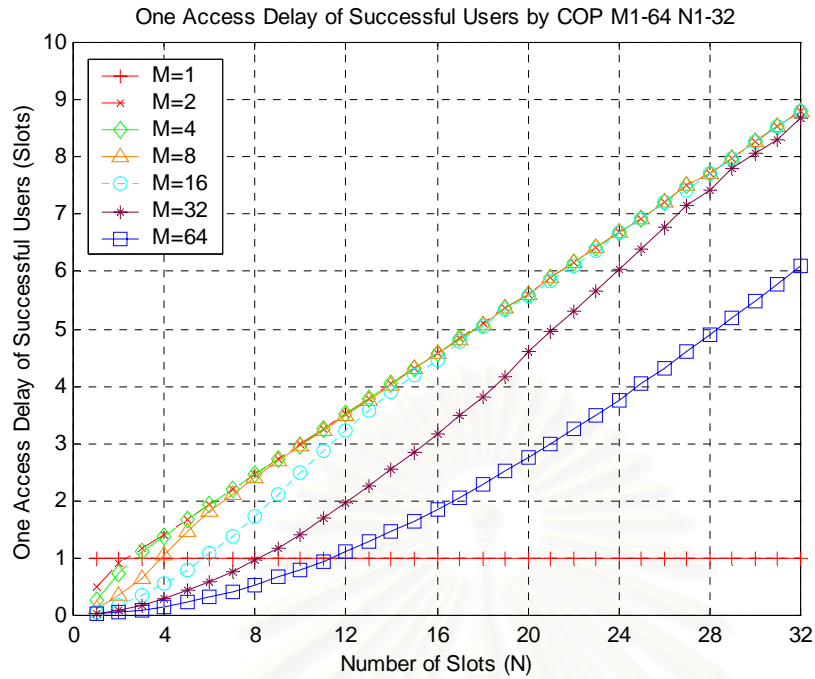
รูปที่ 4.25 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP และจำนวนสลิตการจอง เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน



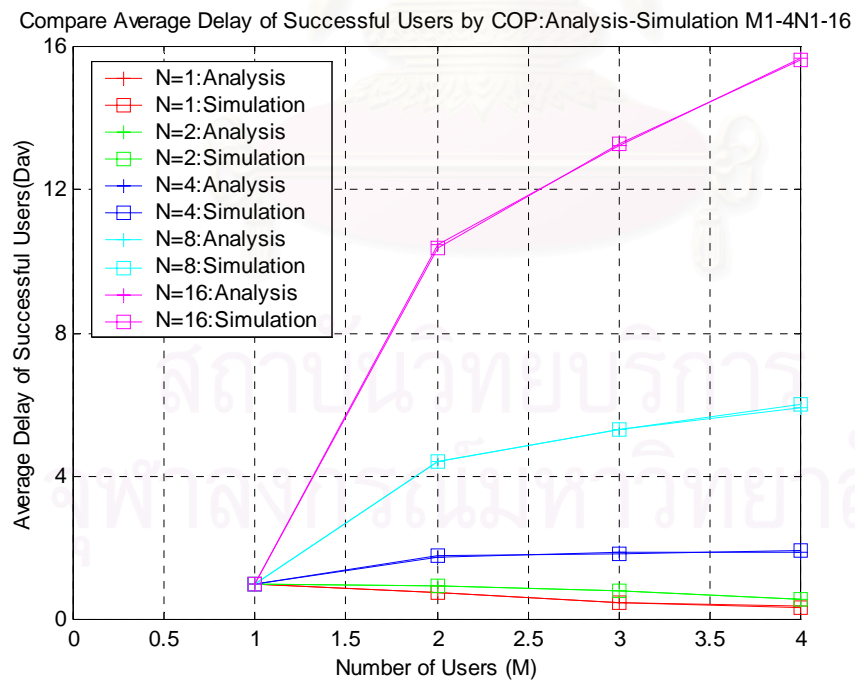
รูปที่ 4.26 ค่าวิสัยสามารถ และจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อมีจำนวนสล็ตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต



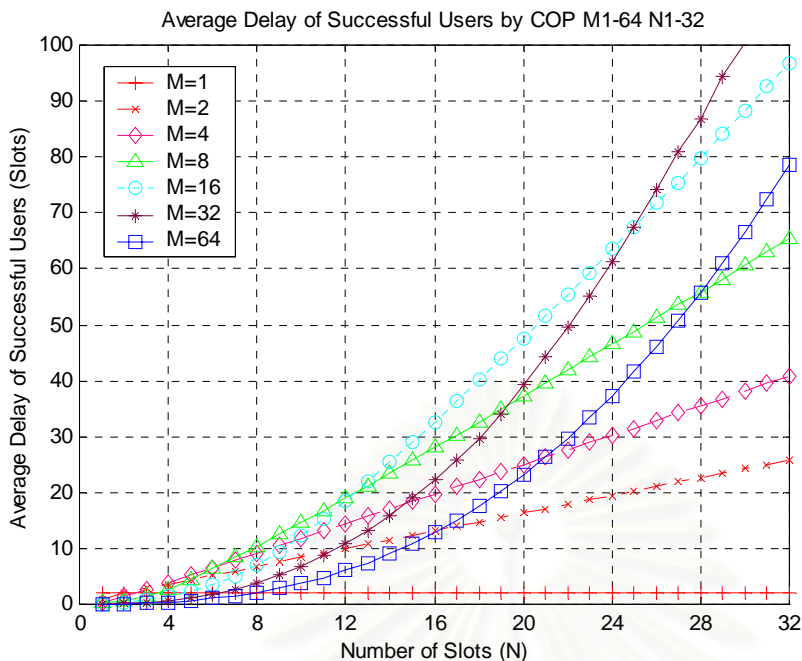
รูปที่ 4.27 ค่าวิสัยสามารถ และปริมาณโหลด เมื่อมีจำนวนสล็ตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็ต



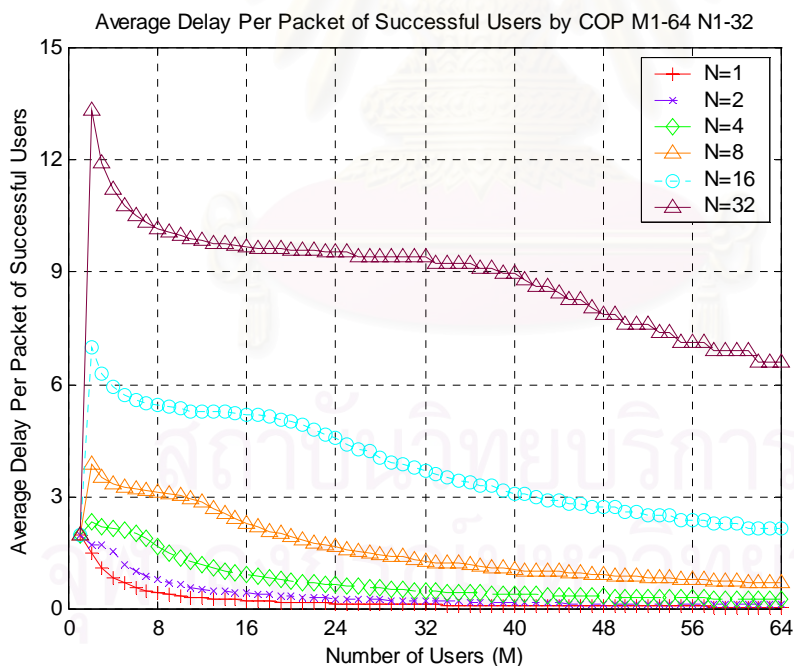
รูปที่ 4.28 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง จำนวน 1 คน และจำนวนสล็อตการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน



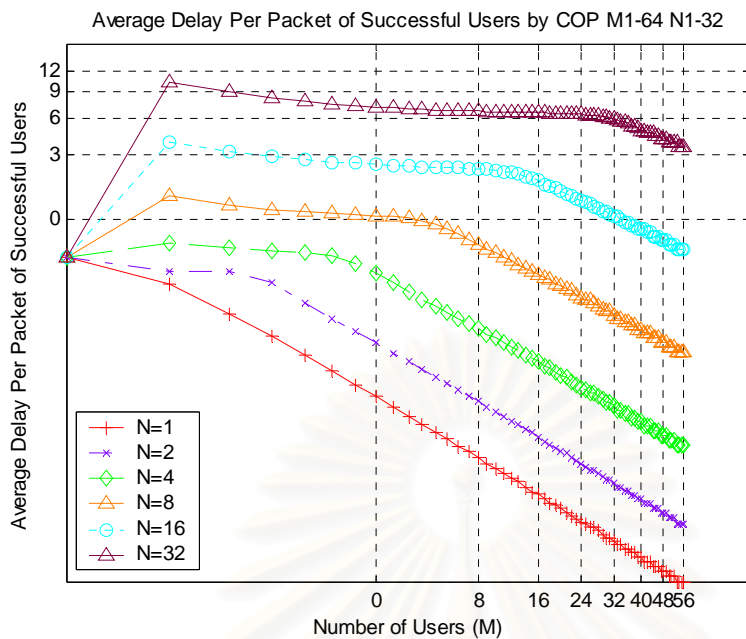
รูปที่ 4.29 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และผู้ให้บริการจำนวน เมื่อมีจำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 1, 2, 4, 8 และ 16 ตามลำดับ



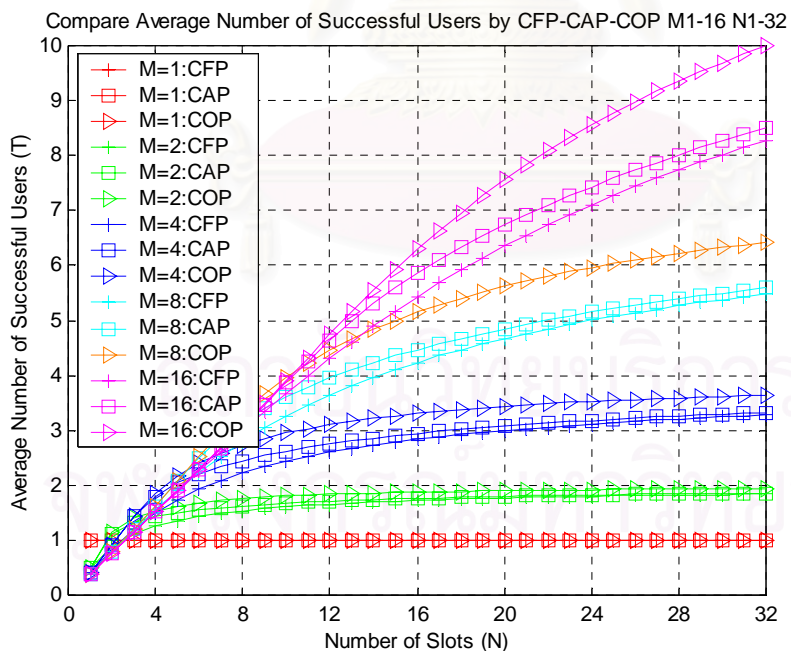
รูปที่ 4.30 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 คน สล็อตการจองเท่ากับ 32



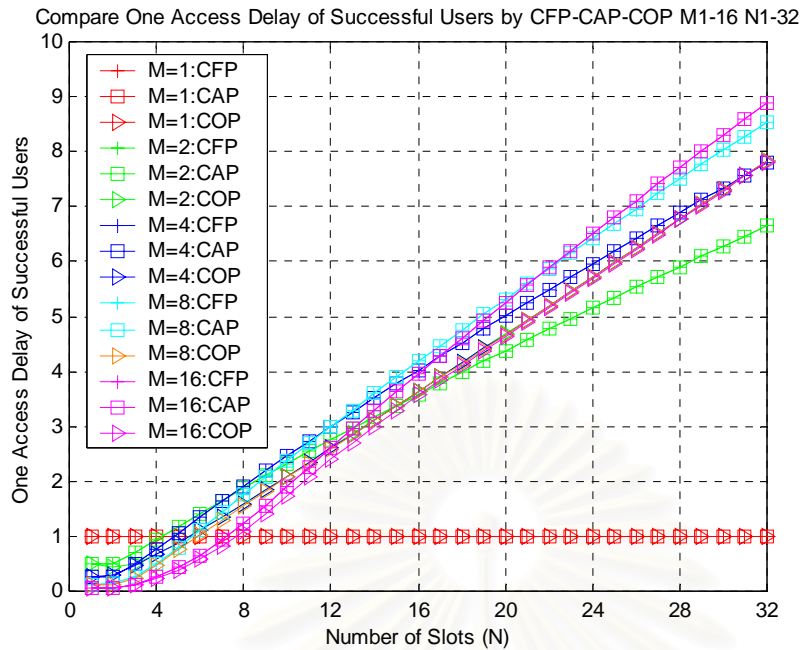
รูปที่ 4.31 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ต่อแพ็กเกจการจองเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 คน สล็อตการจองเท่ากับ 32 สล็อตตามลำดับ



รูปที่ 4.32 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ต่อปริมาณโหลด



รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของวิธี CFP, CAP และ COP



รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง จำนวน 1 คนของวิธี CFP, CAP และ COP

4.5 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี UNI

จากวิธีทั้งหมดที่ได้วิเคราะห์มาเป็นวิธีการเข้าจองช่องสัญญาณตามลำดับต่อเนื่อง แต่วิธี UNI ผู้ใช้บริการสามารถเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม โดยจะเลือกสล็อตการจองใดก็ได้

รูปที่ 4.35 แสดงจำนวนผู้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าเมื่อจำนวนผู้บริการมีจำนวนน้อยกว่าสล็อตการจองจำนวนผู้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง จำนวนผู้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่าลดลง เพราะเกิดโอกาสในการชนกันของแพ็กเกจการจองมากขึ้น

รูปที่ 4.36 แสดงค่าวิสัยความสามารถของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าระบบจะให้ค่าวิสัยความสามารถสูงสุดที่เงื่อนไขของจำนวนผู้บริการเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง และที่จำนวนผู้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองค่าวิสัยความสามารถของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยกว่าจะให้ค่าวิสัยความสามารถที่มากกว่าระบบที่มี

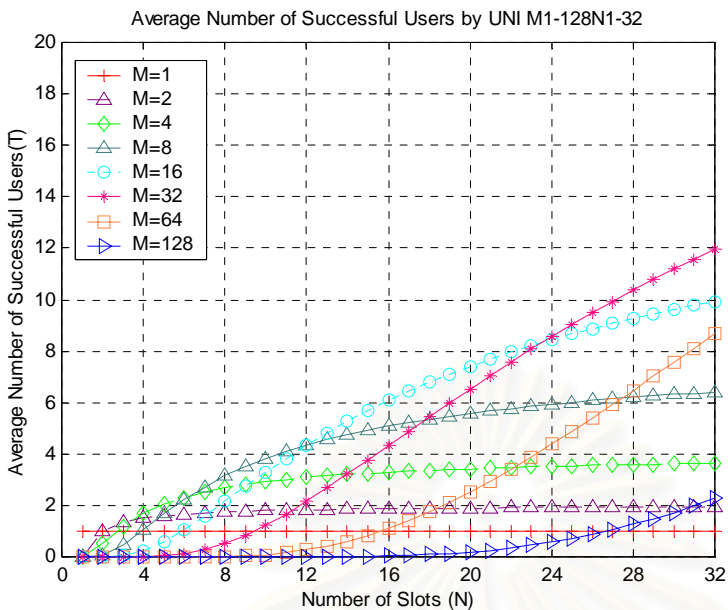
จำนวนสล๊อตมากกว่า แต่ในทางกลับกันถ้าจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นระบบที่มีจำนวนสล๊อตการจองมากจะให้ค่าวิสัยสามารถที่ดีกว่า เพราะโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตการจองน้อยลง

รูปที่ 4.37 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต พบว่าในช่วงที่จำนวนโหลดน้อยๆและจำนวนสล๊อตการจองน้อยๆจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่า แต่เมื่อจำนวนโหลดเพิ่มมากขึ้นระบบที่มีจำนวนสล๊อตการจองมากๆจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงขึ้น

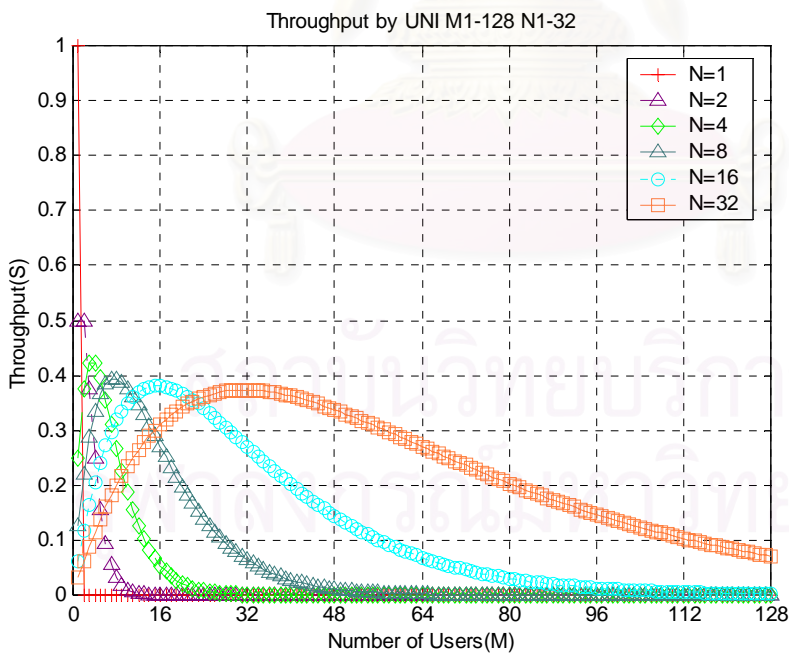
รูปที่ 4.38 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสล๊อตการจองเพิ่มขึ้น โดยที่จำนวนผู้ใช้บริการไม่มีผลต่อค่าเวลาประวิงดังกล่าว ซึ่งผลจากกราฟก็สามารถยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์ของสมการในการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองให้ผลที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองของวิธี UNI จะขึ้นกับจำนวนสล๊อตการจองเท่านั้น

รูปที่ 4.39 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล๊อตการจอง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าต่ำๆและจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้น และจะเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเริ่มมากกว่าจำนวนสล๊อตการจอง เพราะระบบมีจำนวนสล๊อตการจองไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้บริการที่จะทำให้การจองเป็นผลสำเร็จได้ แต่ถ้าเพิ่มจำนวนสล๊อตการจองมากขึ้น ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยก็จะลดต่ำลง เพราะระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้น แต่ก็สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนที่เหมาะสมคือ จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนสล๊อต

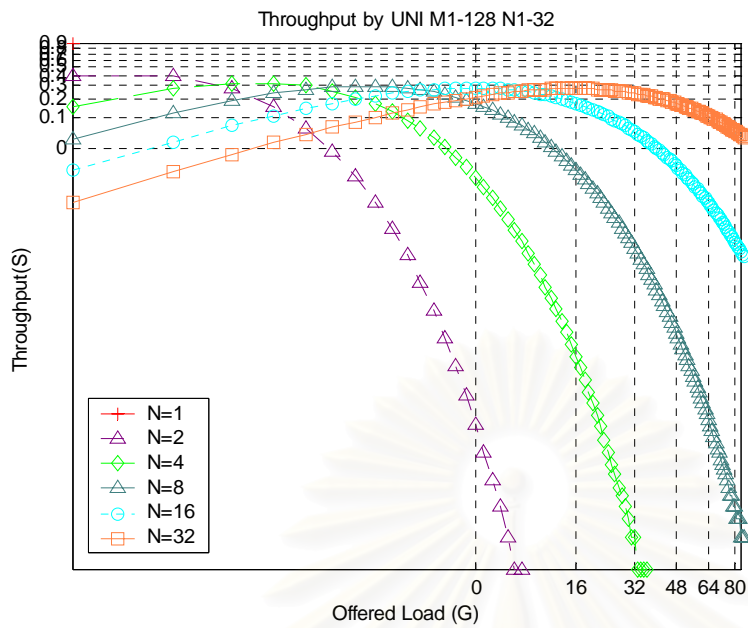
รูปที่ 4.40 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็กเก็ตการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต พบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล๊อตการจอง และถ้าจำนวนสล๊อตการจองเพิ่มขึ้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะลดลงในช่วงท้ายๆ



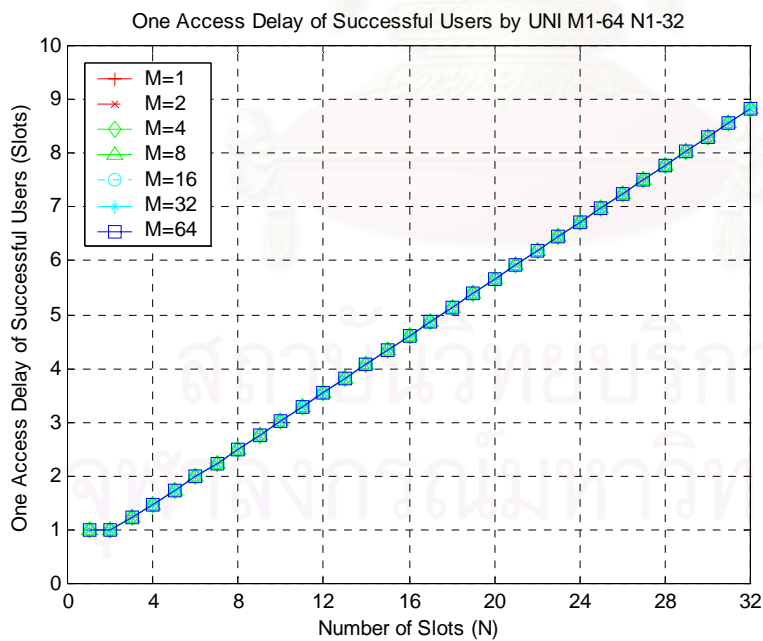
รูปที่ 4.35 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล롯การจอง 32 สล롯



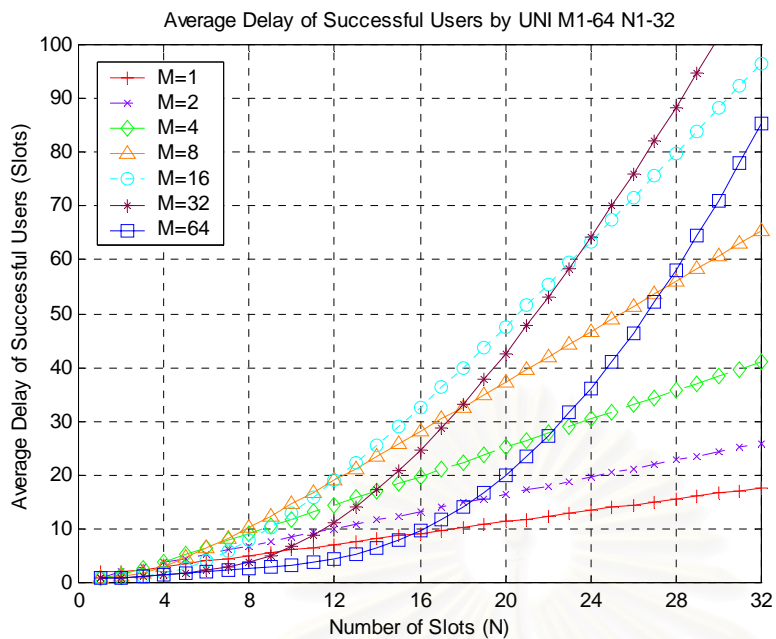
รูปที่ 4.36 ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล롯การจอง 32 สล롯



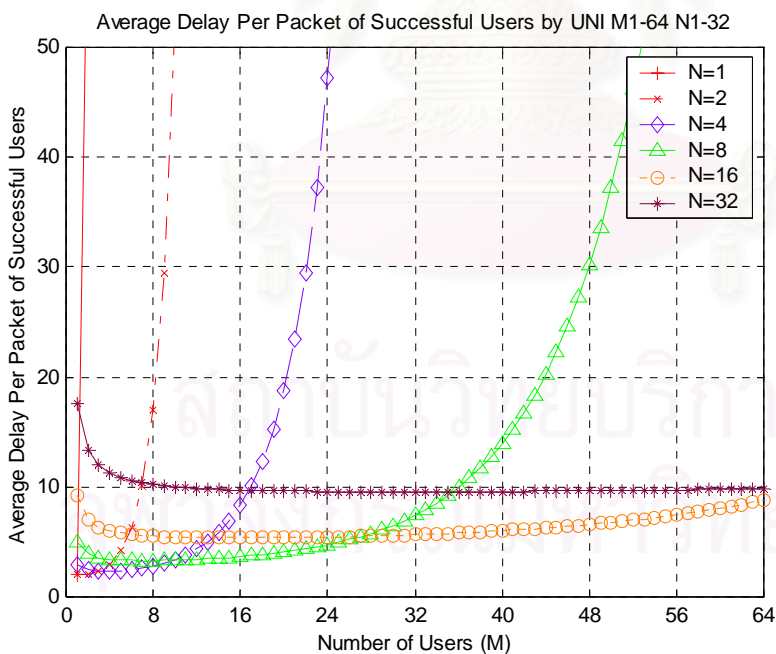
รูปที่ 4.37 ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจองของ 32 สล็อต



รูปที่ 4.38 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI



รูปที่ 4.39 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต



รูปที่ 4.40 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็กเก็ตการจองของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 64 คน

4.6 ผลทดสอบและการวิเคราะห์หัตถ์ UNI+LA

จากหัตถ์ UNI พบว่าจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนผู้ให้บริการมีจำนวนมากกว่าสล็อตการจองมากๆ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้เสนอเทคนิควิธีจำกัดจำนวนผู้ให้บริการ (Limit Access) โดยกำหนดให้ผู้ให้บริการจะทำการเข้าจองหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง

รูปที่ 4.41 แสดงจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของหัตถ์ UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าที่จำนวนผู้ให้บริการมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนสล็อตการจอง หัตถ์ UNI+LA จะให้ผลเช่นเดียวกับหัตถ์ UNI แต่เมื่อจำนวนผู้ให้บริการเพิ่มมากขึ้นกว่าจำนวนสล็อตการจองมาก หัตถ์ UNI+LA ยังคงให้ค่าจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมากขึ้น และเข้าสู่ค่าคงที่หรือเริ่มลดลงซึ่งพบว่าหัตถ์การจำกัดจำนวนผู้ให้บริการจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดีกว่าหัตถ์ UNI

รูปที่ 4.42 แสดงค่าวิสัยสามารถของหัตถ์ UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าถึงแม้จำนวนผู้ให้บริการจะเพิ่มมากขึ้นเท่าใด ค่าวิสัยสามารถของระบบค่อนข้างจะคงที่ หรือกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการจองช่องสัญญาณจะมีค่าคงที่เมื่อจำนวนผู้ให้บริการเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.43 แสดงค่าวิสัยสามารถของหัตถ์ UNI+LA และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าที่ปริมาณโหลดเท่ากับ 1 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด และเมื่อปริมาณโหลดเพิ่มขึ้นค่าวิสัยสามารถจะเข้าสู่ค่า $1/e$ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับหัตถ์ CFP

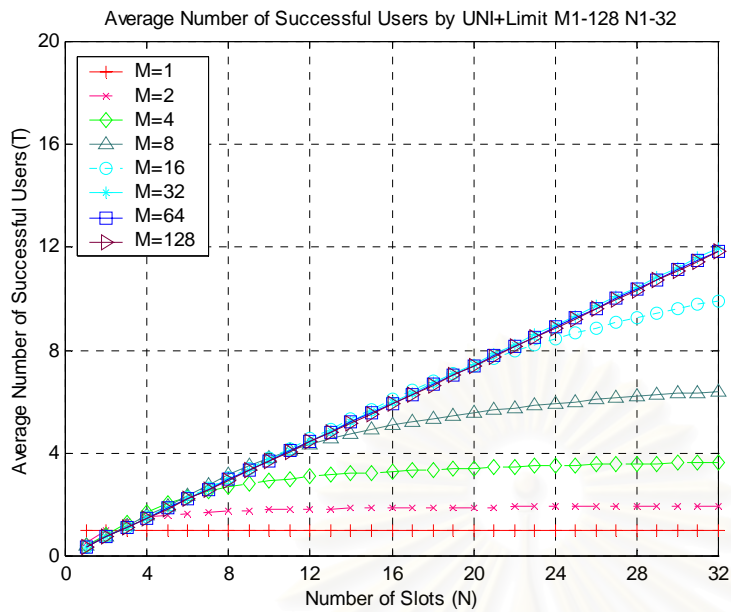
รูปที่ 4.44 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าเมื่อจำนวนผู้ให้บริการมีจำนวนน้อยกว่าสล็อตการจอง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะผู้ให้บริการสามารถเลือกสล็อตการจองได้ก็ได้ แต่เมื่อจำนวนผู้ให้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากจะทำให้ค่าวิสัยสามารถมีค่าคงที่ และค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าลดลงและเข้าสู่ค่าคงที่เพราะผลของกลไกการจำกัดจำนวนผู้ให้บริการที่เหมาะสม

รูปที่ 4.45 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต พบว่าในระบบที่ผู้ให้บริการมีจำนวนน้อยกว่าสล๊อตการจอง ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองจะมีค่าต่ำๆ เพราะผู้ให้บริการสามารถเลือกจองสล๊อตใดก็ได้ แต่ถ้าจำนวนผู้ให้บริการเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะผลการชนกันของแพ็กเก็ตการจองที่มากขึ้น แต่ถ้าจำนวนสล๊อตการจองเพิ่มขึ้นด้วยผลของกลไกการจำกัดจำนวนผู้ให้บริการจะช่วยลดผลการชนกันของแพ็กเก็ตการจองและจะทำให้ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นไม่มากนัก

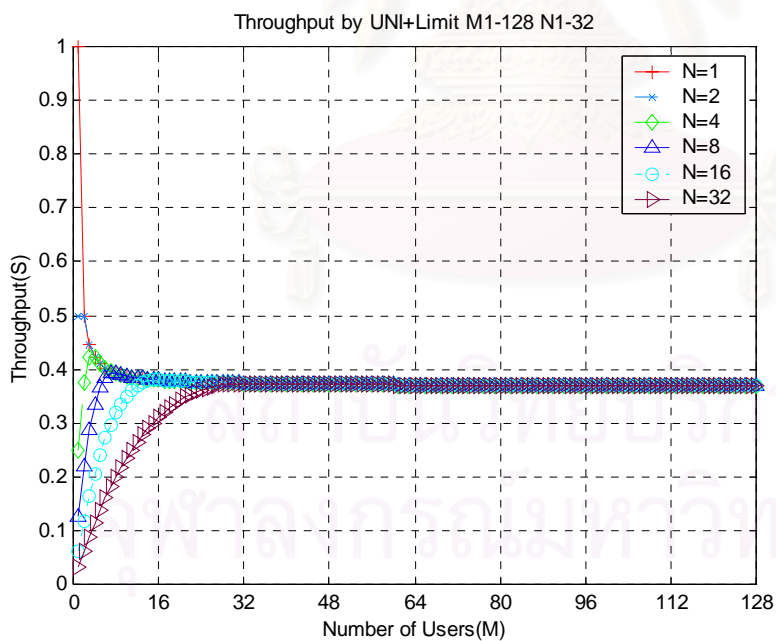
รูปที่ 4.46 แสดงค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองและปริมาณไหลด เมื่อระบบมีผู้ให้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล๊อตการจอง 32 สล๊อต พบว่าที่ไหลดมีค่าน้อยๆระบบที่มีสล๊อตการจองมากกว่าจะให้ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองน้อยกว่า และเมื่อปริมาณไหลดเพิ่มขึ้นและปริมาณสล๊อตเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองก็จะมากขึ้นด้วย โดยพบว่าระบบที่จำนวนสล๊อตมากกว่าจะให้ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองต่ำกว่าระบบที่จำนวนสล๊อตน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะเมื่อปริมาณไหลดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA จะเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ทำให้ระบบที่มีจำนวนสล๊อตการจองมากกว่าจะให้ค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตการจองที่ต่ำกว่า

รูปที่ 4.47 จะแสดงผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI และ UNI+LA ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี UNI+LA จะให้จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองมากกว่า

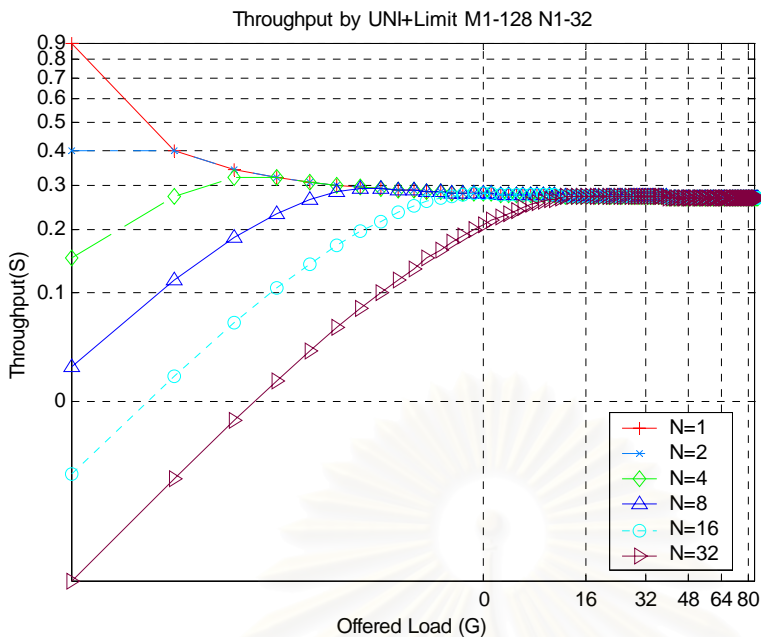
รูปที่ 4.48 จะแสดงผลเปรียบเทียบค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของวิธี UNI และ UNI+LA ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี UNI+LA จะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองที่ต่ำกว่า



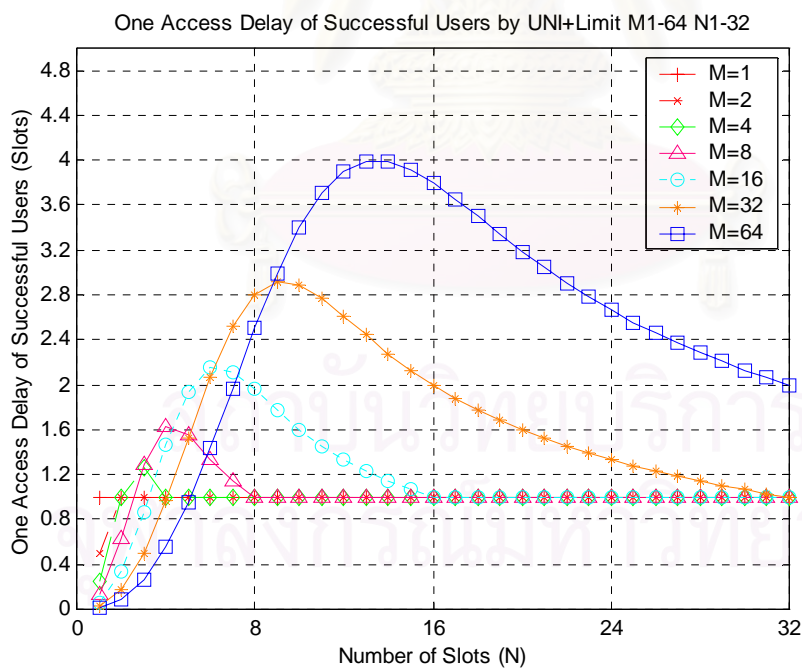
รูปที่ 4.41 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต



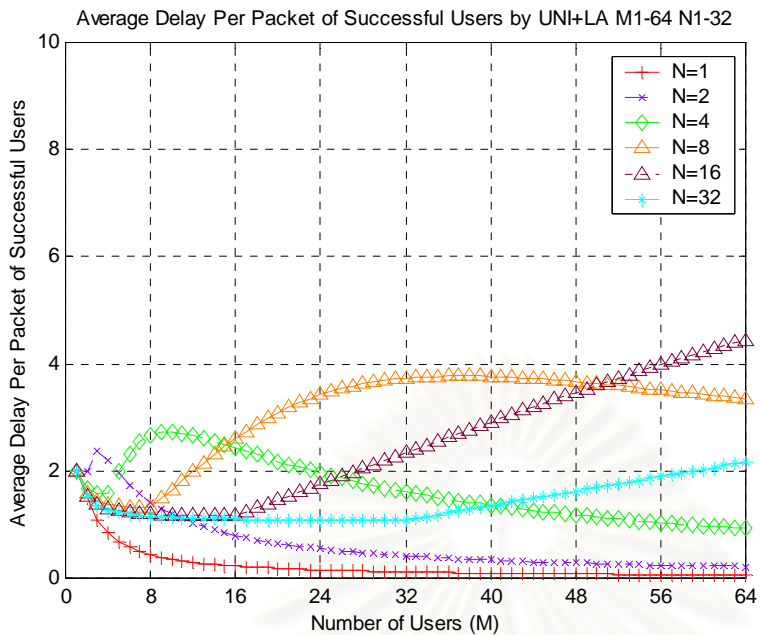
รูปที่ 4.42 ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต



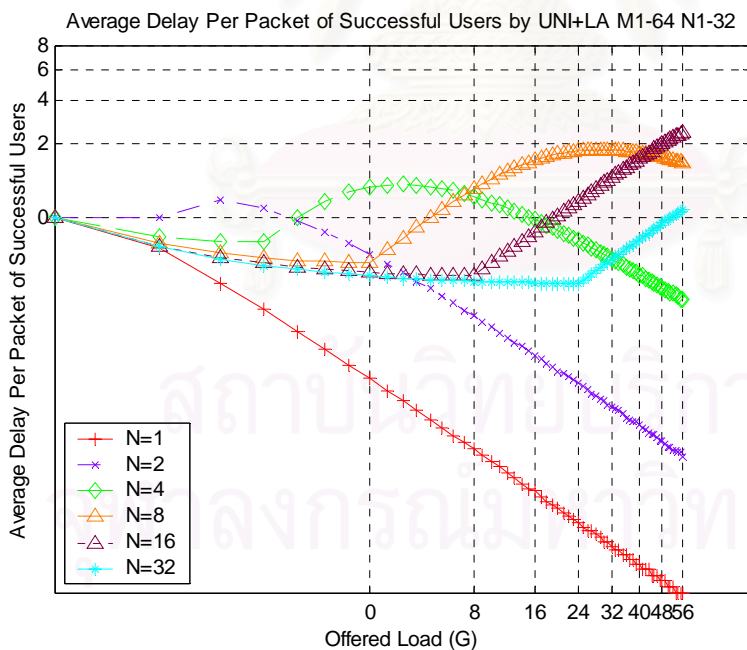
รูปที่ 4.43 ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA และปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน จำนวนสล롯การจอง 32 สลิต



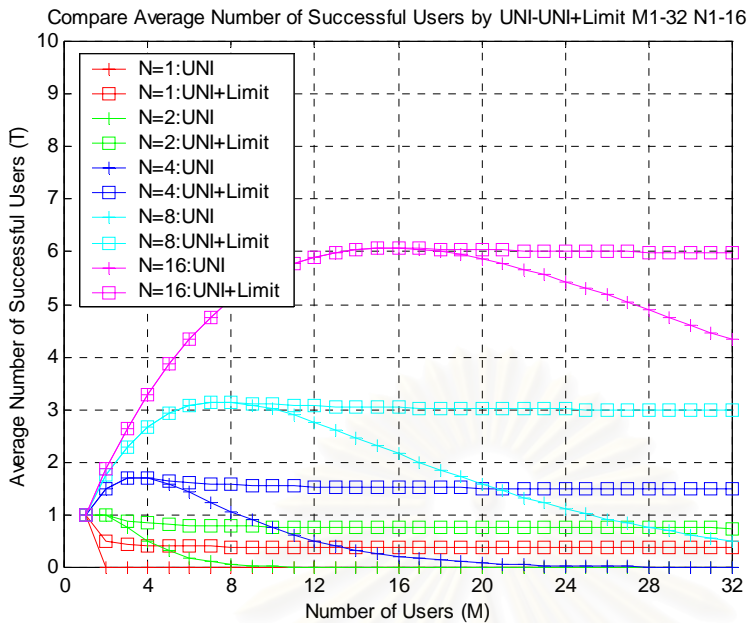
รูปที่ 4.44 ค่าเวลาประวงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยจำนวน 1 คนที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสลิตการจอง 32 สลิต



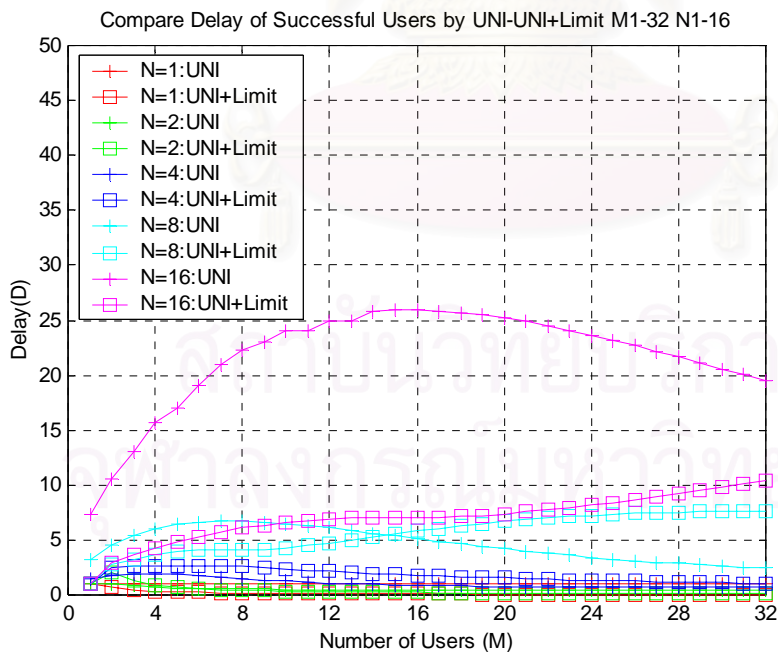
รูปที่ 4.45 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบ
ความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน จำนวนสล็ตการจอง 32 สล็ต



รูปที่ 4.46 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองและปริมาณโหลด เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1
ถึง 64 คน จำนวนสล็ตการจอง 32 สล็ต



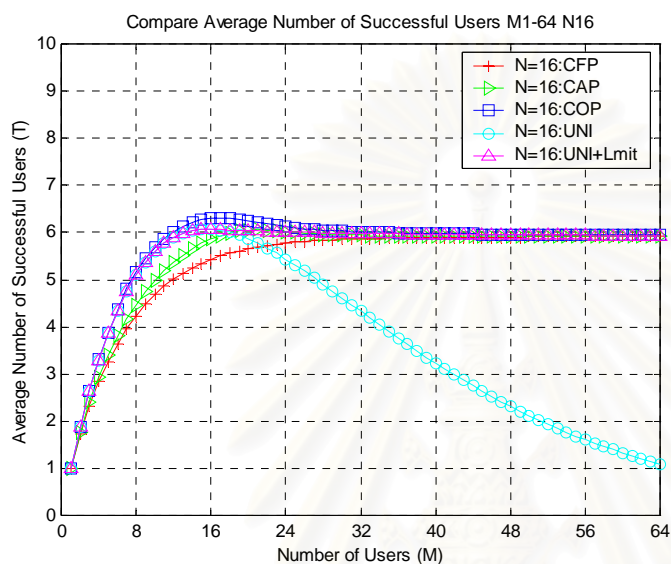
รูปที่ 4.47 ผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี UNI และ UNI+LA



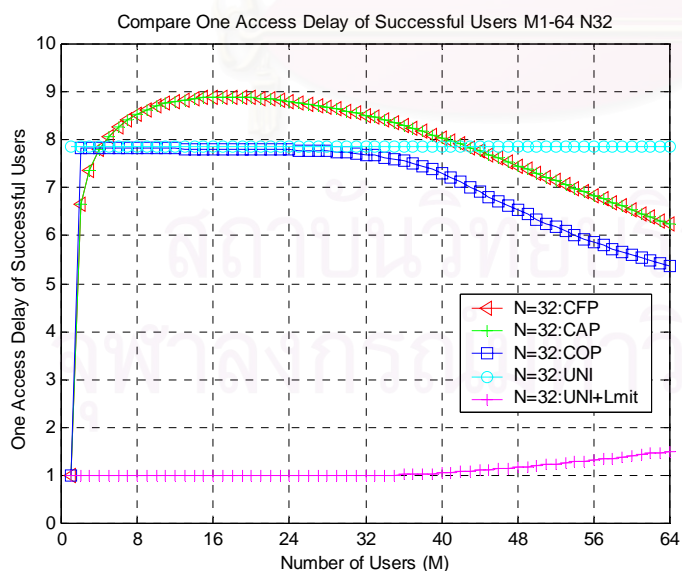
รูปที่ 4.48 ผลเปรียบเทียบค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของวิธี UNI และ UNI+LA

4.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอ

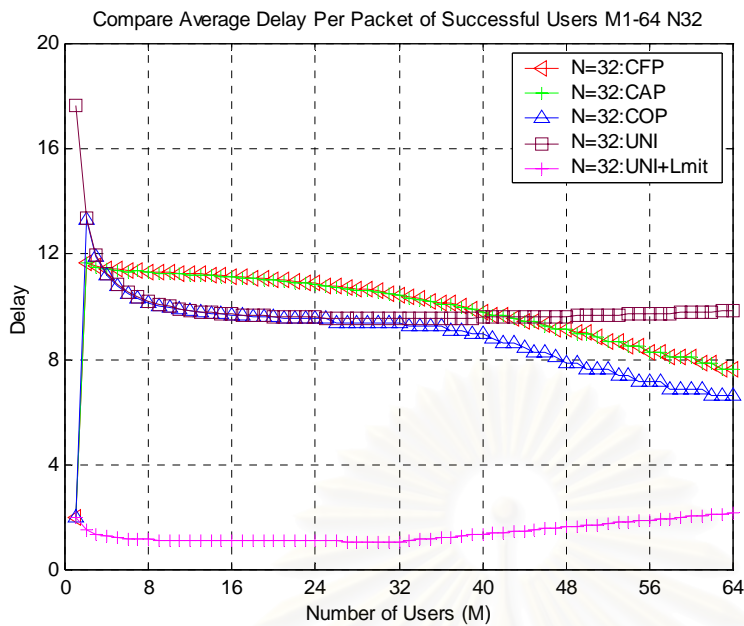
ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอทั้ง 5 วิธี คือ CFP, CAP, COP, UNI และ UNI+LA ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล๊อตการจองวิธี COP จะให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทั้งหมด แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีมากกว่าจำนวนสล๊อตการจองมากๆพบว่าวิธี UNI+LA จะให้ผลที่ดีที่สุด



รูปที่ 4.49 ผลเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของวิธี CFP, CAP, COP, UNI และ UNI+LA



รูปที่ 4.50 ผลเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจำนวน 1 คนของวิธี CFP, CAP, COP, UNI และ UNI+LA



รูปที่ 4.51 ผลเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองต่อแพ็กเก็ตการจองของวิธี CFP, CAP, COP, UNI และ UNI+LA

4.8 ผลจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลจำลองโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ในทุกเทคนิควิธี โดยรูปจะแสดงการวิเคราะห์ในหัวข้อ จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และการกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยตามลำดับ โดยระบบจะมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

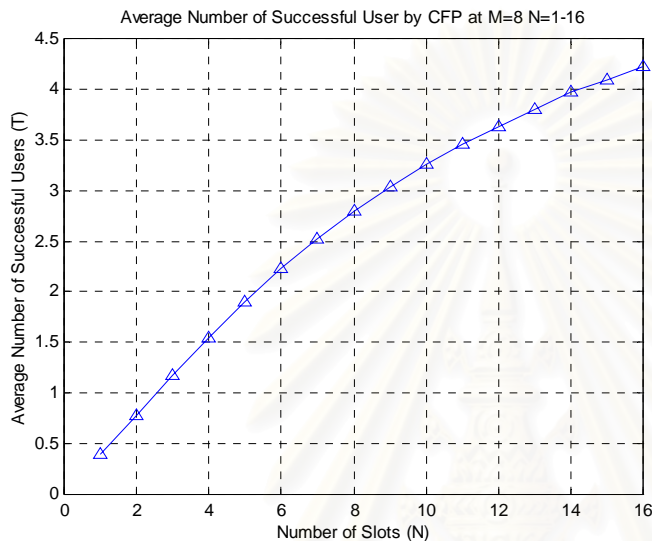
4.8.1 ผลจำลองวิธี CFP

รูปที่ 4.52 จะแสดงจำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต พบว่า เมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้นด้วย

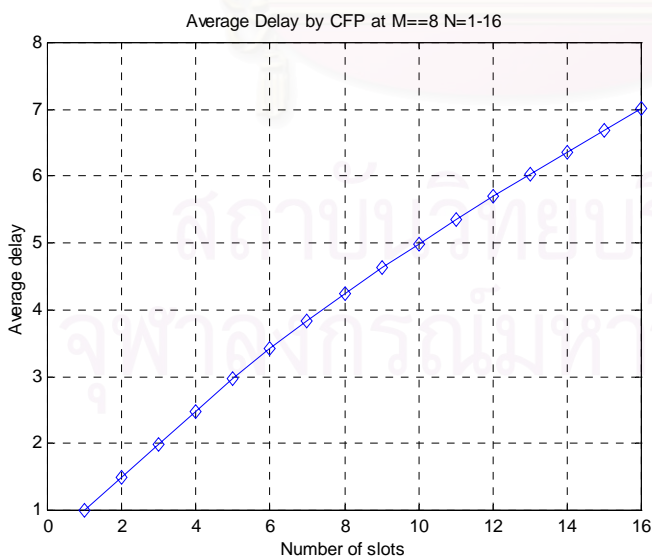
รูปที่ 4.53 จะแสดงค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16

สล็อด พบว่าค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกิดการจองมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนสล็อดการจองเช่นกัน

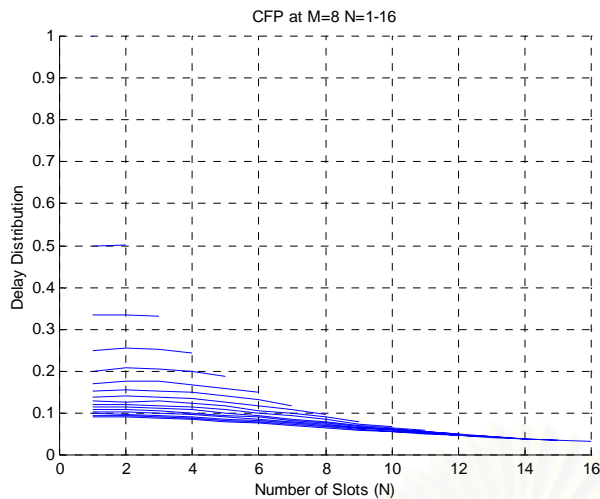
รูปที่ 4.54 จะแสดงการกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อดการจองจำนวน 16 สล็อด พบว่าในช่วงสล็อดแรกๆการกระจายตัวค่อนข้างดี ซึ่งหมายถึงมีผู้ให้บริการเข้าจองและประสบความสำเร็จจำนวนมาก แต่ในช่วงสล็อดท้ายๆการกระจายตัวลดลง เพราะจำนวนผู้ให้บริการเหลือน้อยลง และประสบความสำเร็จในการจองน้อยลง



รูปที่ 4.52 จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อดการจองจำนวน 16 สล็อด



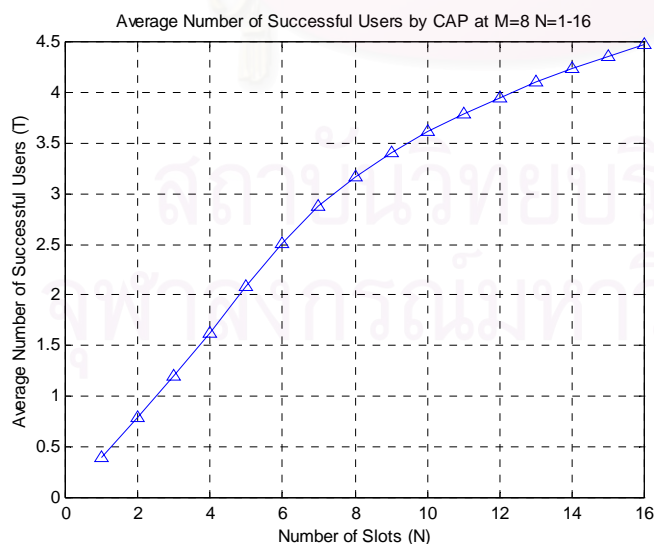
รูปที่ 4.53 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกิดการจองของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อดการจองจำนวน 16 สล็อด



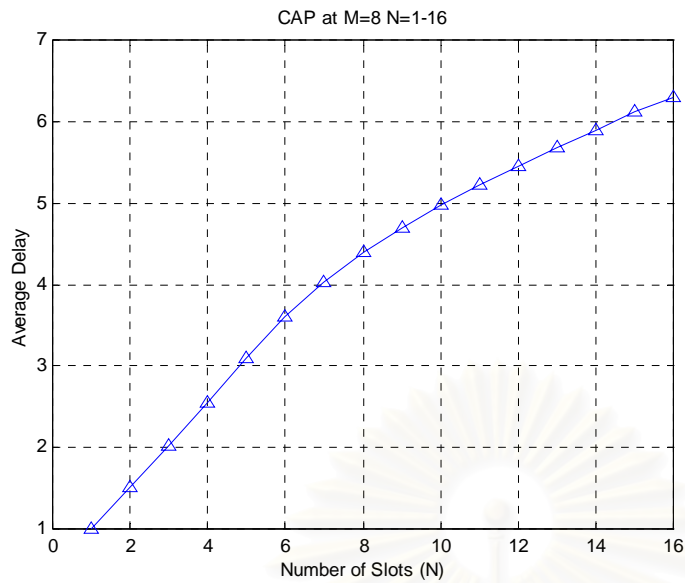
รูปที่ 4.54 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.2 ผลจำลองวิธี CAP

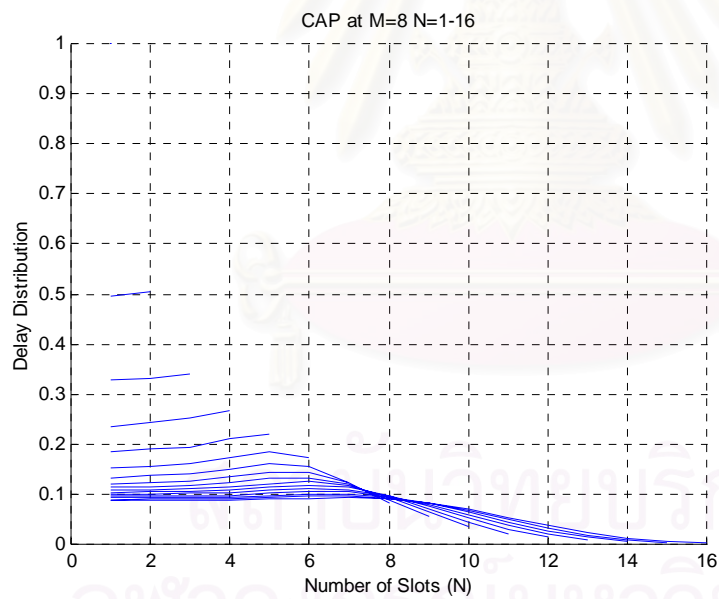
ในการวิเคราะห์ผลจำลองของวิธี CAP สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับวิธี CFP เพียงแต่วิธี CAP จะให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองสูงกว่าวิธี CFP ในขณะที่ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกิดการจองจะต่ำกว่า นอกจากนี้การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยจะสูงกว่าในช่วงสล็อตแรกๆ แต่สล็อตที่ 8 เป็นต้นไปการกระจายตัวจะลดลงมากเพราะผลการชนกันของแพ็กเกิดการจอง หรือผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ประสบความสำเร็จในสล็อตแรกๆ จำนวนมากทำให้เหลือผู้ใช้บริการที่จะเข้าจองและประสบความสำเร็จในสล็อตท้ายๆ ลดลง



รูปที่ 4.55 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



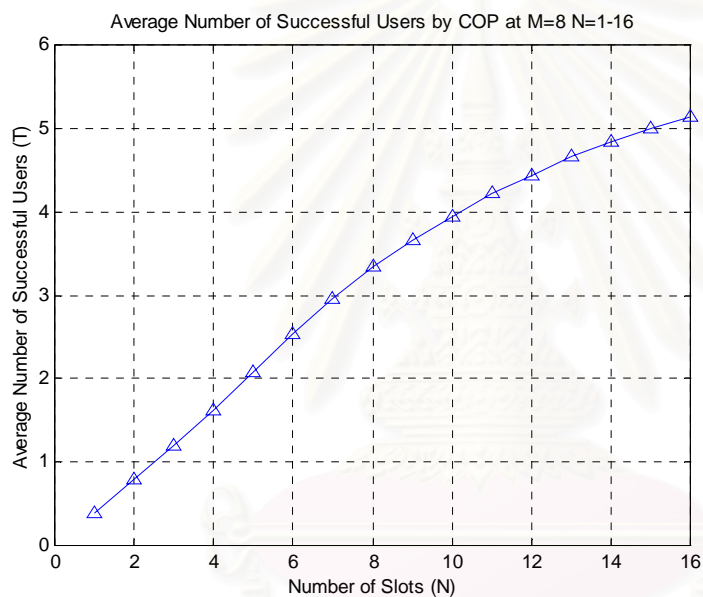
รูปที่ 4.56 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



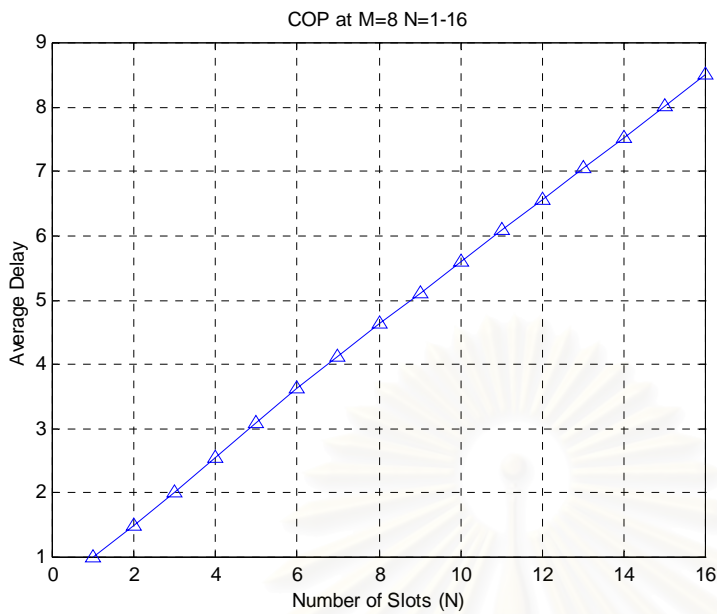
รูปที่ 4.57 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.3 ผลจำลองวิธี COP

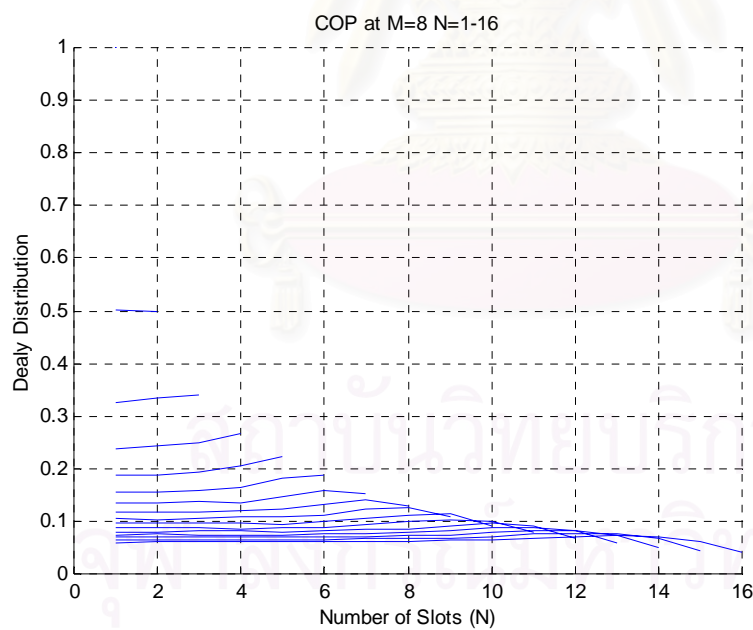
ในการวิเคราะห์ผลจำลองของวิธี COP สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับวิธี CAP เพียงแต่ว่าวิธี COP จะให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองสูงกว่าวิธี CAP ในขณะที่ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะสูงกว่า นอกจากนี้การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยจะสูงกว่าทั้งช่วงสล็อตการจอง ตั้งแต่ช่วงสล็อตแรกๆ จนถึงช่วงสล็อตท้ายๆ เพราะผลจากการปรับค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดในทุกสล็อตการจองนั่นเอง



รูปที่ 4.58 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



รูปที่ 4.59 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

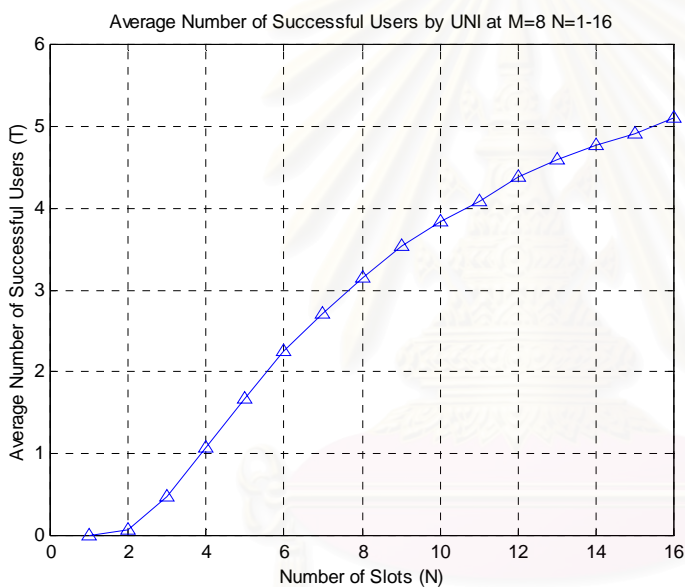


รูปที่ 4.60 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

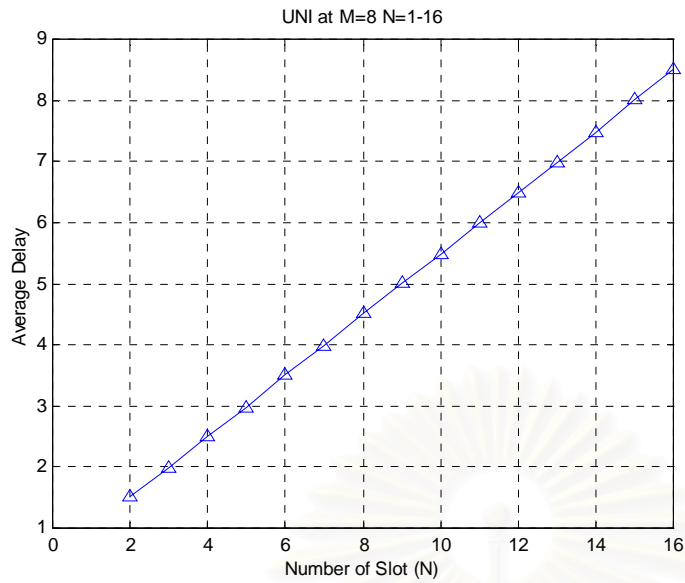
4.8.4 ผลจำลองวิธี UNI

ในส่วนผลการจำลองวิธี UNI ที่ผู้ใช้บริการสามารถเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มได้พบว่า ในส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งจำนวนผู้ใช้บริการเริ่มเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนสล็อตการจองจะเริ่มมีค่าลดลงอย่าง เพราะผลของการชนกันของแพ็คเกจการจอง

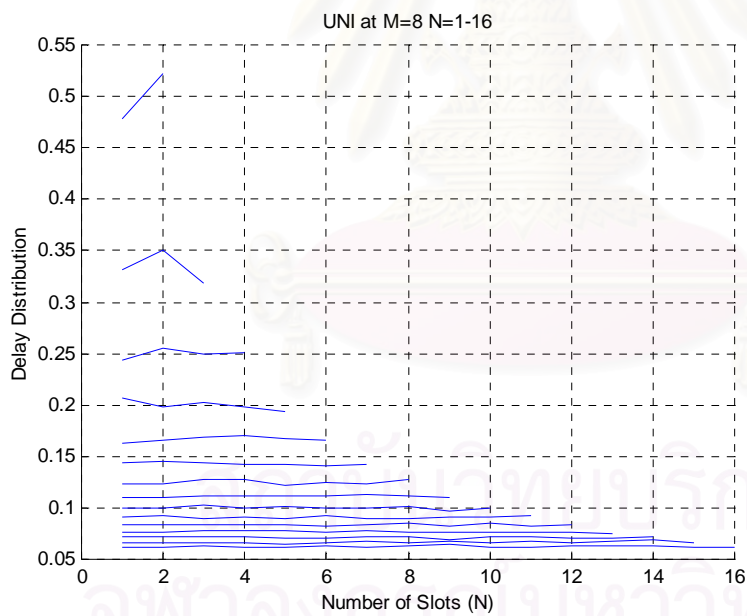
ในส่วนของค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยจะกระจายตัวดีมากในช่วงสล็อตแรกๆ หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงเพราะจำนวนผู้ใช้บริการเริ่มประสบความสำเร็จในการจองน้อยลง



รูปที่ 4.61 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



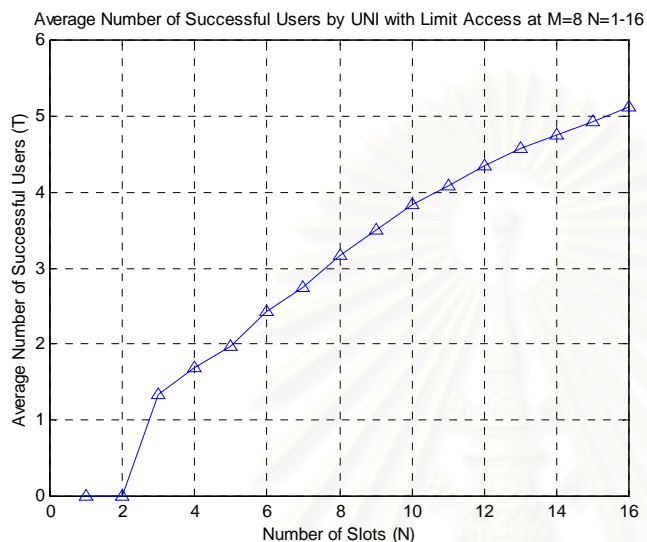
รูปที่ 4.62 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



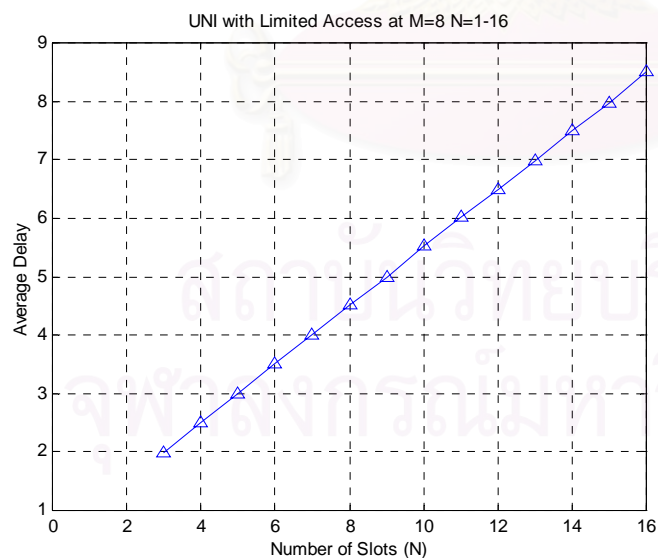
รูปที่ 4.63 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.5 ผลจำลองวิธี UNI+LA

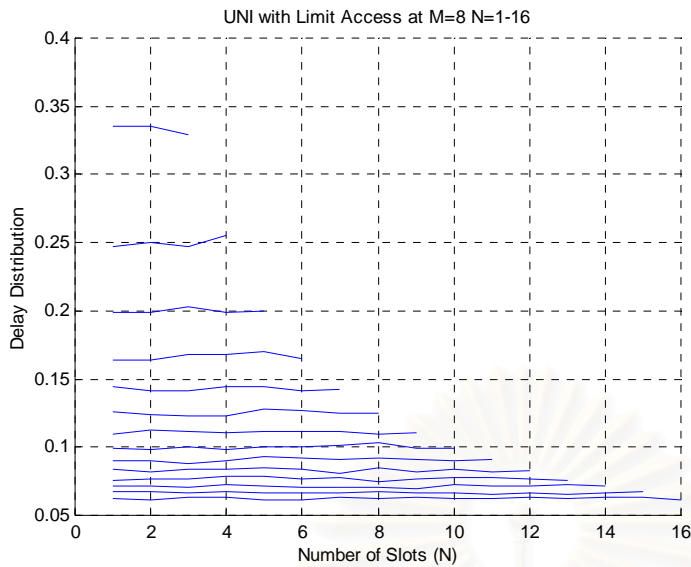
ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ที่ได้เช่นเดียวกับวิธี UNI เพียงแต่ว่ากลไกการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ทำให้วิธี UNI+LA มีการกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยดีตลอดช่วงการจอง



รูปที่ 4.64 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



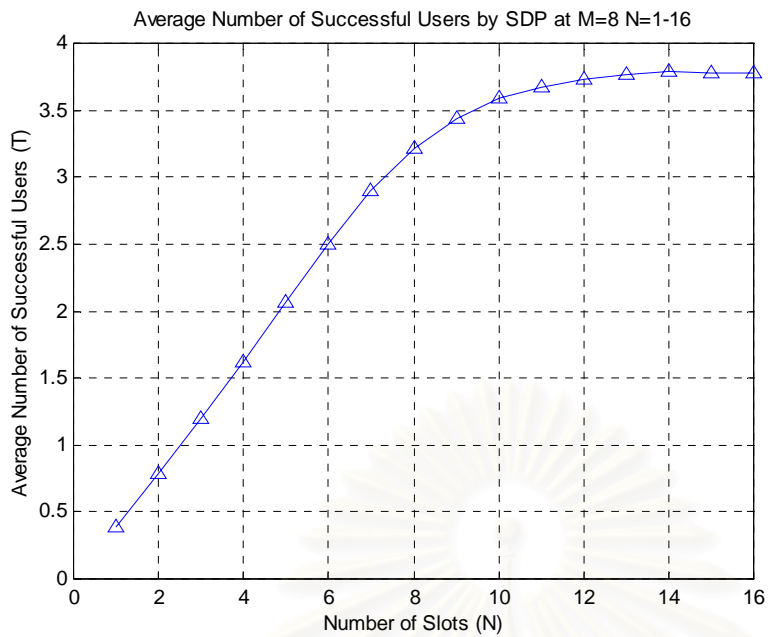
รูปที่ 4.65 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



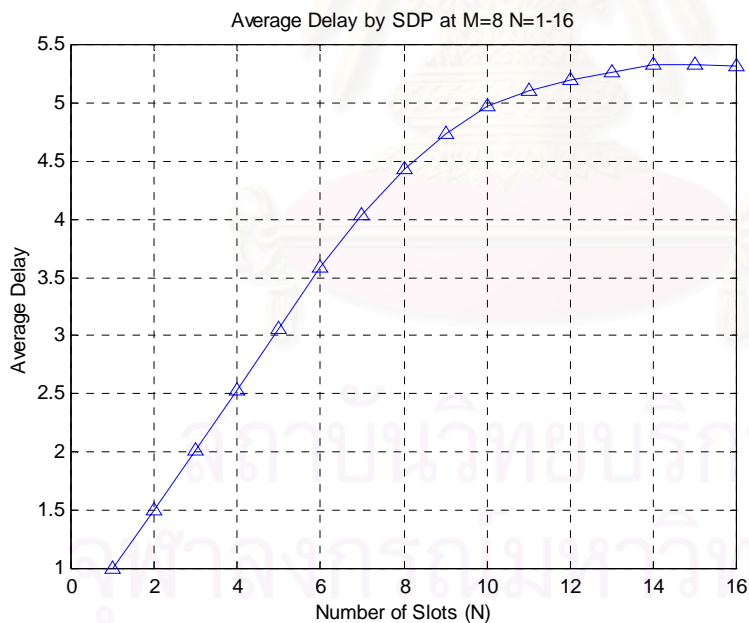
รูปที่ 4.66 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.6 ผลจำลองวิธี SDP

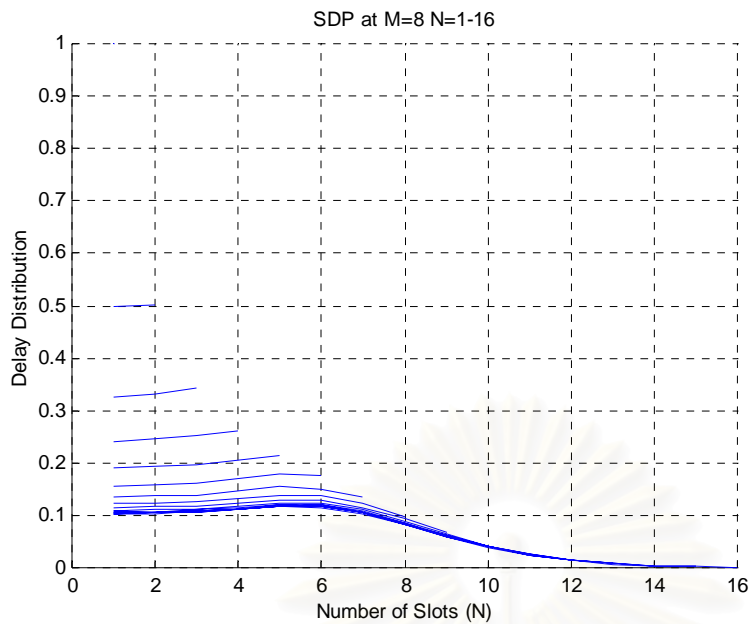
ในวิธี SDP กำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นได้ในทุกสล็อตการจอง แต่ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวใช้ค่าเดียวกัน ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองจะมีค่าสูงในช่วงแรกและจะเริ่มมีค่าลดลงตั้งแต่สล็อตที่ 8 ไปจนถึงสล็อตท้ายๆ เพราะจำนวนผู้ใช้บริการส่วนใหญ่จะประสบความสำเร็จในช่วงสล็อตแรกๆ และช่วงสล็อตท้ายๆ จึงเหลือผู้ใช้บริการน้อยลง และค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็คเกจการจองจะมีค่าเพิ่มสูงในช่วงสล็อตแรกๆ และเริ่มมีค่าลดลงในช่วงสล็อตท้ายๆ เช่นเดียวกัน ในส่วนของค่าการกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยจะมีการกระจายตัวสูงในช่วงแรกๆ แต่ในช่วงท้ายๆ การกระจายตัวจะลดลง . ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จน้อยลงนั่นเอง



รูปที่ 4.67 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



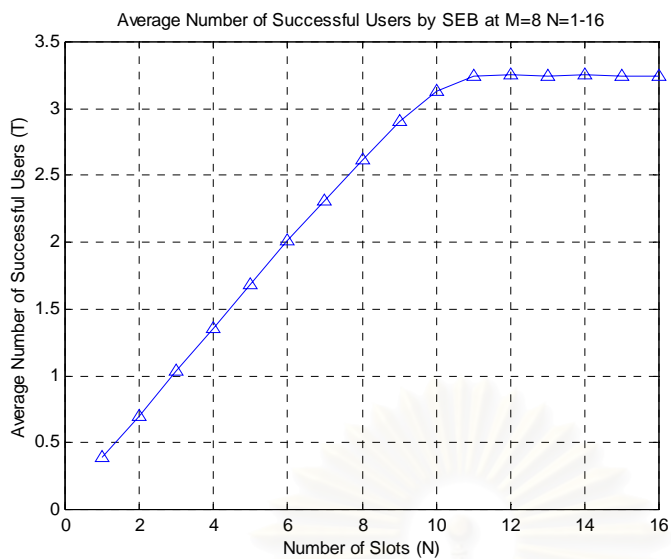
รูปที่ 4.68 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกจการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



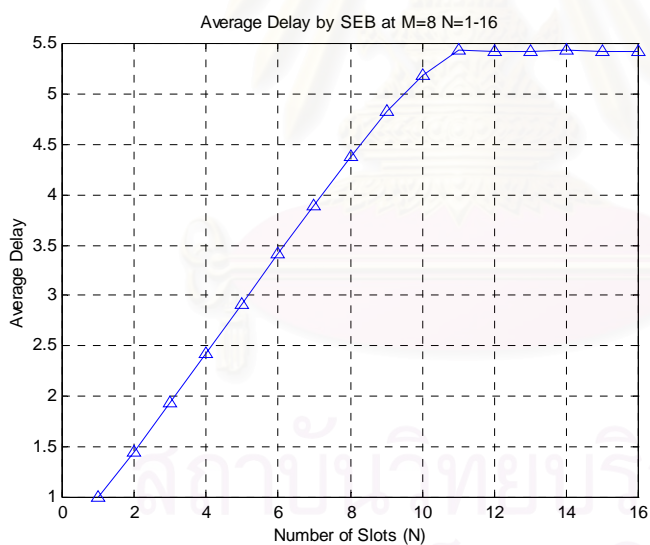
รูปที่ 4.69 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.7 ผลจำลองวิธี SEB

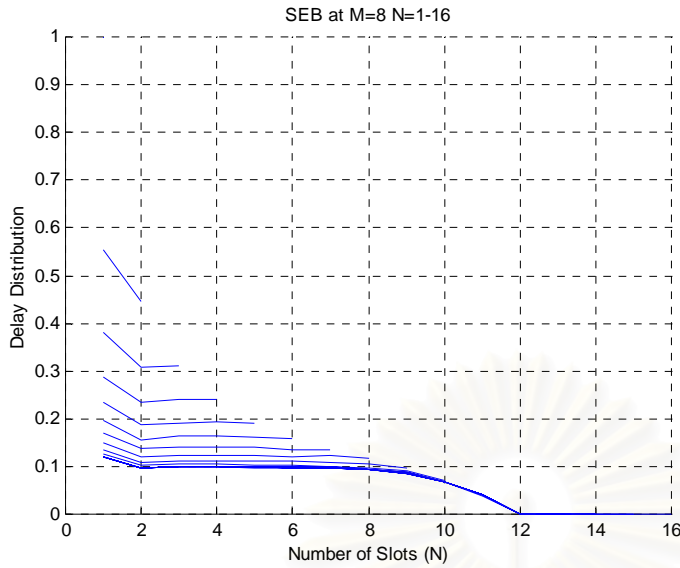
ในส่วนของวิธี SEB ผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นได้ในทุกสล็อตการจอง แต่ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวใช้ค่าเดียวกัน เช่นเดียวกับวิธี SDP เพียงแต่วิธีการปรับค่าความน่าจะเป็นของวิธี SEB จะมีการปรับค่าตามสถานะการณที่เกิดขึ้นในสล็อตก่อนหน้าที่ผ่านมาว่าสถานะการจองอยู่ในสถานะว่าง ประสบความสำเร็จ หรือสถานะการชน ดังนั้นการปรับค่าความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงดังกล่าวทำให้วิธี SEB ให้ผลการกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยที่ดีกว่าวิธี SDP



รูปที่ 4.70 จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



รูปที่ 4.71 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกจการจองของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

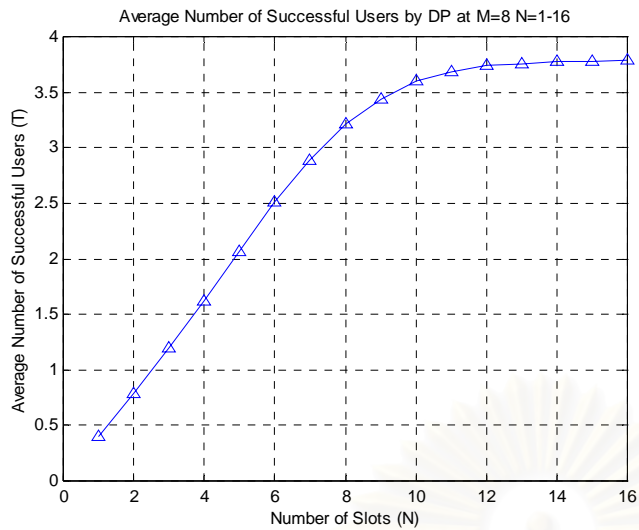


รูปที่ 4.72 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

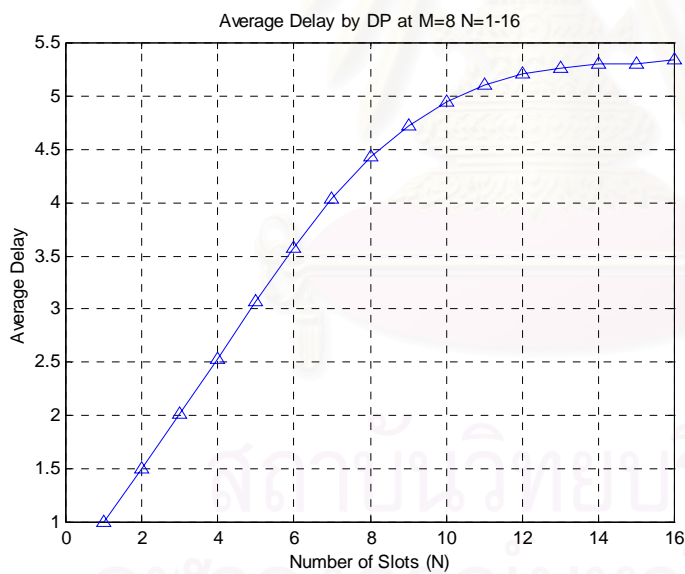
4.8.8 ผลจำลองวิธี DP

ผลจำลองวิธี DP ได้มาจากการประยุกต์วิธี SDP ให้ผู้ใช้บริการสามารถส่งแพ็กเก็ตการจองได้หลายครั้งในช่วงสล็อตการจอง ดังนั้นในส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะเพิ่มขึ้นมากในช่วงสล็อตแรกๆ และจะลดลงเพราะผลการชนกันของแพ็กเก็ตการจองในส่วนขอเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ในส่วนของ การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยจะมีการกระจายตัวดีในช่วงสล็อตแรกๆ แต่ในช่วงสล็อตท้ายๆ การกระจายตัวจะลดลงอย่างมาก เพราะผลการชนกันของแพ็กเก็ตการจองที่มากขึ้นนั่นเอง

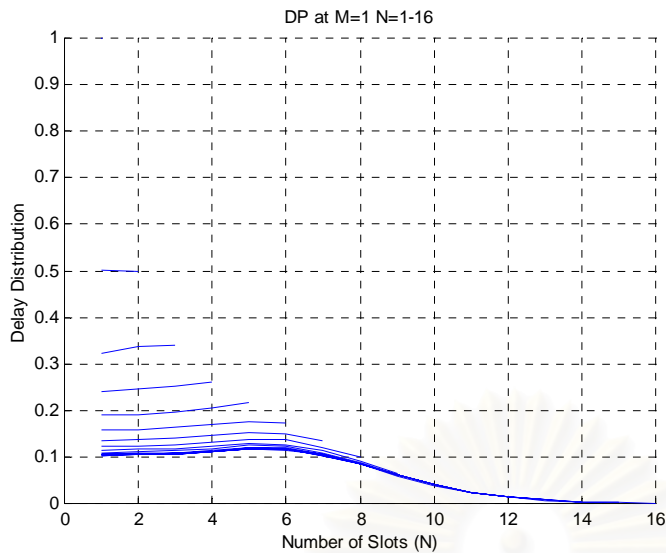
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.73 จำนวนผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



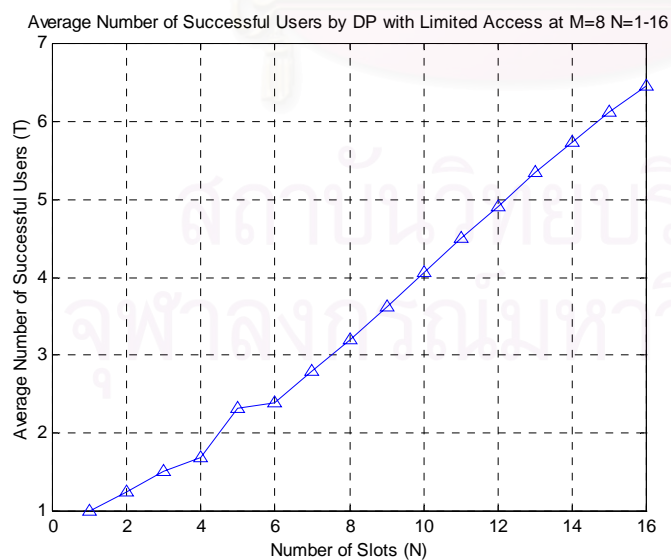
รูปที่ 4.74 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกจการจองของผู้ให้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



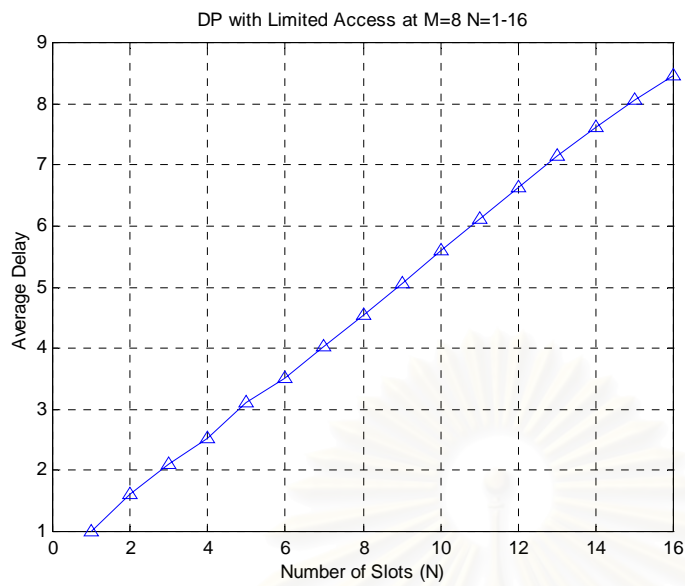
รูปที่ 4.75 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.9 ผลจำลองวิธี DP+LA

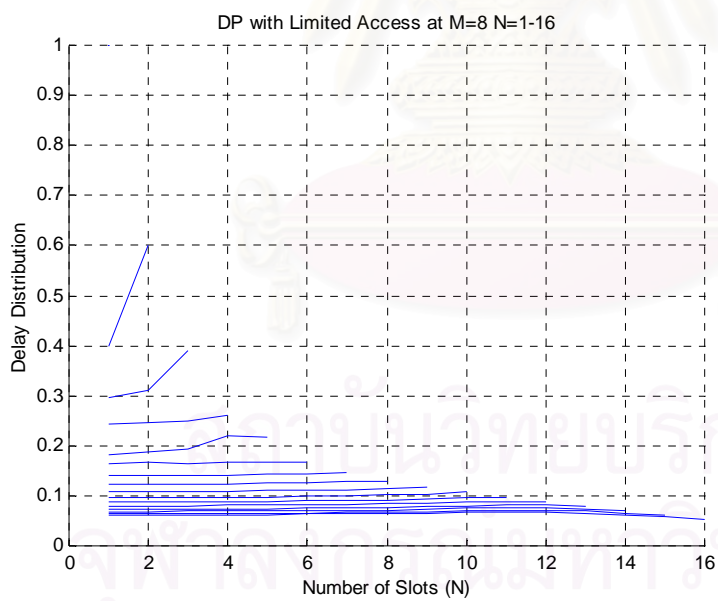
ในส่วนของผลจำลองวิธี DP+LA จะให้ผลที่ดีกว่าวิธี DP เพราะมีกลไกการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการให้มีความเหมาะสมในทุกๆช่วงสล็อตการจอง



รูปที่ 4.76 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



รูปที่ 4.77 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

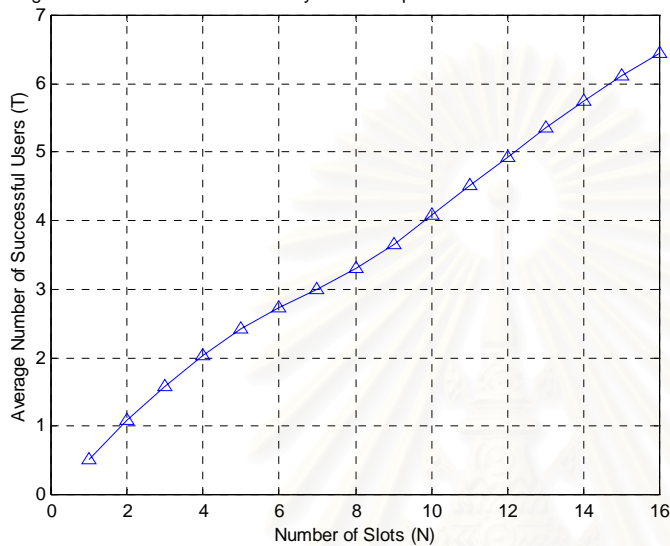


รูปที่ 4.78 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

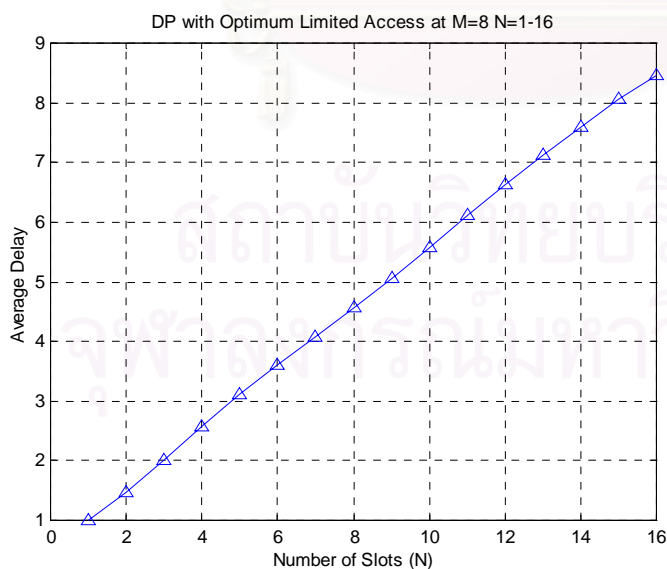
4.8.10 ผลจำลองวิธี DP+OLA

ผลจำลองวิธี DP+OLA จะให้ผลที่ดีกว่าวิธี DP+LA เพราะจะมีการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการให้เหมาะสมในทุกสล็อตการจอง

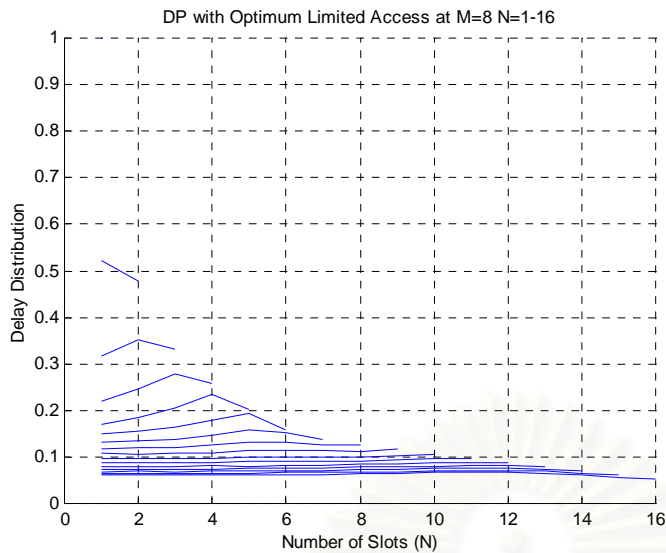
Average Number of Successful Users by DP with Optimum Limited Access at M=8 N=1-16



รูปที่ 4.79 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



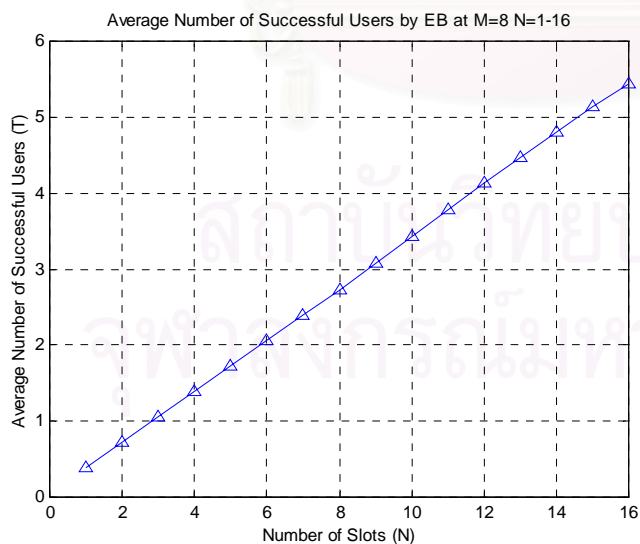
รูปที่ 4.80 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเกตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



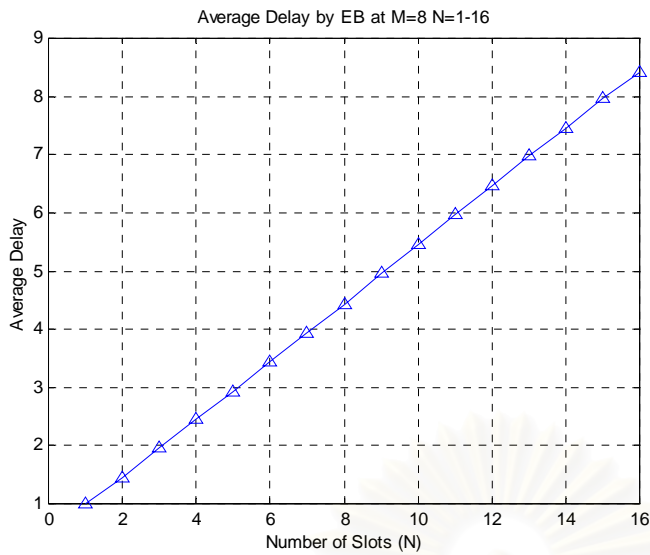
รูปที่ 4.81 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.8.11 ผลจำลองวิธี EB

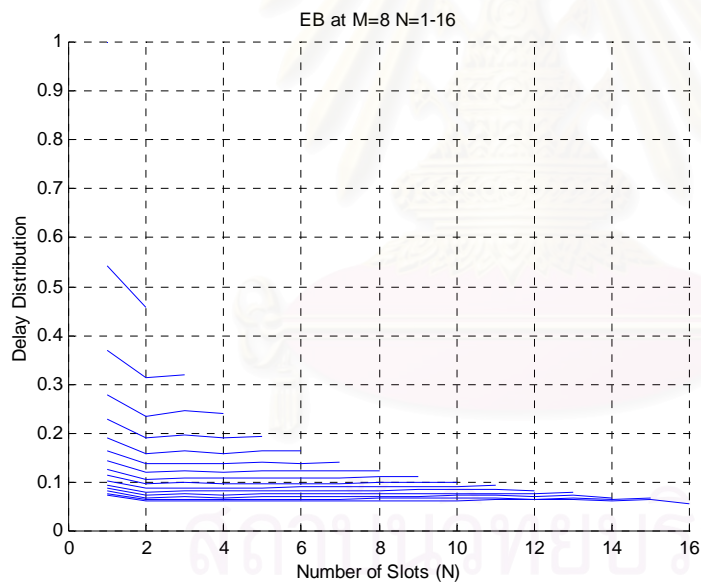
ผลจำลองวิธี EB สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับวิธี DP แต่จะให้การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ยที่ดีกว่า



รูปที่ 4.82 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



รูปที่ 4.83 ค่าเวลาประวิงเฉลี่ยต่อแพ็กเก็ตการจองของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต



รูปที่ 4.84 การกระจายตัวของเวลาประวิงเฉลี่ย เมื่อระบบมีผู้ให้บริการจำนวน 8 คน สล็อตการจองจำนวน 16 สล็อต

4.9 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับวิธี SDP และ SEB

ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีของวิธีที่นำเสนอคือวิธี CFP, CAP, COP, UNI และ UNI+LA กับวิธี SDP, SEB, DP, DP+LA, DP+OLA และ EB

สรุปจากการวิเคราะห์พบว่าโดยรวมแล้ววิธีที่นำเสนอจะมีสมรรถนะที่สูงกว่าวิธี SDP และ SEB ทั้งนี้เพราะวิธี SDP กำหนดให้ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง มีค่าเท่ากับ $1/m$ เมื่อ m คือจำนวนผู้ใช้บริการในขณะสล็อตการจองนั้นๆ ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่ไม่คำนึงถึงจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ ในขณะที่วิธี SEB จะทำการปรับค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองจากสถานะการเข้าจองที่ผ่านมาคือ สถานะว่าง สถานะประสบความสำเร็จ และสถานะการชนกันของแพ็กเกตการจอง ซึ่งในกรณีเกิดการชนกัน ก็ไม่ได้พิจารณาว่าชนกันกี่คน และเหลือจำนวนผู้ใช้บริการเข้าจองในสล็อตต่อไปอีกกี่คน ในขณะที่วิธี CFP, CAP และ COP จะพิจารณาทั้งจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองและจำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่ จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอ การวิเคราะห์สมรรถนะเชิงเวลาประวิงของระเบียบวิธีแก้ไขการแย่งเข้าถึงตัวกลางในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยวิเคราะห์บนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ โดยอาศัยเทคนิควิธีต่างๆ ที่นำมาใช้งานในช่วงการจอง โดยจะทำการวิเคราะห์ระบบที่มีระยะเวลาการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาการแพร่กระจายการส่งสัญญาณ ซึ่งจะมีผลทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวภายในหนึ่งช่วงการจอง นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

แนวคิดในการวิเคราะห์เทคนิคในช่วงการจองเกิดจากความต้องการที่จะพัฒนาสมรรถนะในช่วงการจองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยนำเสนอทั้งหมด 5 วิธี คือ การใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองแบบค่าคงที่ (CFP), การใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองแบบปรับค่าได้ (CAP), การใช้ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองแบบปรับค่าได้ที่เหมาะสมที่สุด (COP), การเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (UNI) และการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการในการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (UNI+LA) โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีที่เคยถูกนำเสนอแล้ว คือ การประยุกต์วิธี Pseudo-Bayesian (SDP) และ Exponential Backoff (SEB) เพิ่มเติมอีก 6 วิธี รวมทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ 11 วิธี

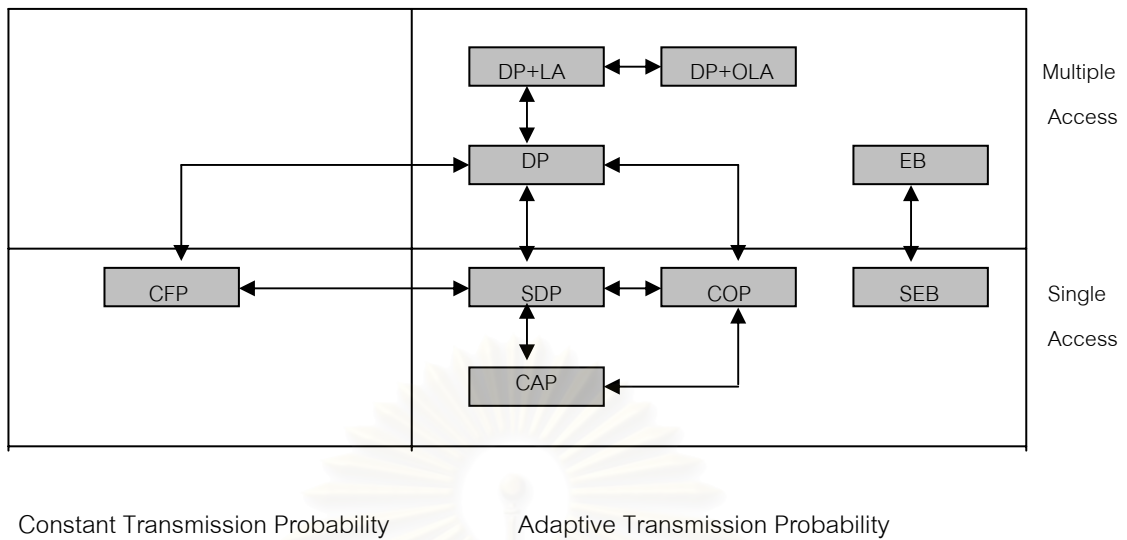
ผลทดสอบและการวิเคราะห์ในบทที่ 4 สรุปว่า ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลจำลองทางคอมพิวเตอร์ในบางเทคนิควิธีที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เช่นวิธี CFP แต่ถ้าวิธีใดมีการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองทุกสล็อตการจองผลที่ได้จะแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์สมการคณิตศาสตร์ดังกล่าวใช้วิธีการประมาณค่า โดยไม่นำผลของ joint probability ที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละสล็อตมาร่วมพิจารณา ซึ่งวิธีการคิด joint probability จะยุ่งยากมากเพราะต้องคิดให้ครอบคลุมความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นทุกๆกรณี ทั้งเหตุการณ์ในสล็อตก่อนหน้าที่จะส่งผลต่อ

สล๊อตปัจจุบันและเหตุการณ์ปัจจุบันที่จะส่งผลต่อสล๊อตถัดไปด้วย ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สมการคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้งานได้ในทุกเทคนิควิธีที่นำเสนอ แต่โดยรวมแล้ววิธีการที่นำเสนอส่วนใหญ่ ยกเว้นวิธีการ UNI จะให้สมรรถนะที่เหนือกว่าวิธี SDP และ SEB ส่วนวิธีที่ให้สมรรถนะสูงสุดในสภาวะปริมาณทราฟฟิกน้อยถึงปานกลางคือวิธี COP แต่ถ้าปริมาณทราฟฟิกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นวิธี UNI+LA จะให้ผลที่ดีกว่า

สรุปวิธีที่จะทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดในช่วงการจอง จะต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง ทุกสล๊อตการจองจะต้องรองรับโหลดเท่าเทียมกัน และมีความซับซ้อนของเทคนิควิธีไม่มากนัก ซึ่งวิธีที่ใช้งานได้ในทางปฏิบัติคือวิธี CFP และ UNI ทั้งนี้เพราะวิธีการทั้งสองดังกล่าวต้องการทราบพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการนำมาคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเพียง 2 ตัวแปรเท่านั้นคือ จำนวนสล๊อตทั้งหมดและจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด ซึ่งในกรณีนี้สถานีฐานอาจจะสามารถให้ข้อมูลดังกล่าวแก่ผู้ใช้บริการทุกคนได้ ส่วนวิธีอื่นๆเช่นวิธี COP ระบบจะต้องทราบข้อมูลเพิ่มเติมคือ จำนวนสล๊อตการจองที่เหลืออยู่และจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในแต่ละสล๊อต ซึ่งแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่สถานีฐานจะประมาณค่าทั้งสองดังกล่าวอย่างถูกต้อง นอกจากนี้วิธีทั้งสองดังกล่าวจะต้องใช้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมด้วยวิธีการวนซ้ำ (recursive) ตลอดเวลา ซึ่งถ้าจำนวนสล๊อตการจองและจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมาก หรือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะทำให้การคำนวณผลทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวยุ่งยากมากขึ้นและใช้เวลานานขึ้นมาก เพราะจะต้องมีการคำนวณสมการต่างๆที่ใช้งานในการคิดวนซ้ำจำนวนมาก

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่เข้าจองของวิธีแต่ละวิธี

วิธี	พารามิเตอร์			
	สล๊อตการจองทั้งหมด	สล๊อตการจองที่เหลืออยู่	จำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด	จำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่
CFP	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ
CAP	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
COP	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
UNI	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ
UNI+LA	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ
SDP	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
SEB	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
DP	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
DP+LA	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
DP+OLA	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
EB	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ



รูปที่ 4.85 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณตามลำดับแบบต่างๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าจะต้องนำ joint probability ที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจองมารวมพิจารณาด้วย เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกคนมีความสำคัญเท่ากันหรือเป็นระบบที่มีทราฟฟิกเดียวกัน ดังนั้นเพื่อรองรับระบบที่มีทราฟฟิกหลายประเภท ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะมีความสำคัญที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในงานวิจัยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc., 1996
2. S. Tasaka, K. Hayashi, and Y. Ishihashi, "Intergrated Video and Data Transmission in the TDD ALOHA-Reservation Wireless LAN", in Proc. ICC'95, Seattle, vol. 3, pp. 1387-1393, 1995.
3. M.J. Karol , "Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks", in Proc. ICC'95, Seattle, vol. 2, pp. 1224-1231, 1995.
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.
5. D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, 2nd ed. (United States of America: Prentice-Hall International), 1999
6. J.F. Frigon and V.C.M. Leung , A Pseudo-Bayesian Aloha Algorithms with Mixed Priorities for wireless ATM, IEEE Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol.1 (1998), pp. 45-49.
7. A. Charoenpanitkit, N. Sivamok, L. Wuttisittikulkiij, "An analysis of a new access control technique for channel request in wireless communications", in Proc. ISCAS 2001, Vol. 2, pp. 333 –336.
8. D.G. Jeong and W.S. Jeon, "Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment", IEEE Trans. Vehic. Tech., vol. 44, no.3, pp.470-479, Aug. 1995.
9. P. Suwanpakdee, P. Sedtheetorn, A. Thanasorawit and L. Wuttisittikulkiij, "On the Design of a Media Access Control Protocol for Integrated Voice and Data Services in Wireless Communications", ISAS2000, July 2000.
10. Lijiun Tan and qi Tu Zhang, "A Reservation Random- Access Protocol for Voice/data

- integrated Spread- Spectrum Multiple- Access Systems”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.14, no.9,pp. 1717-1727,Dec 1996.
11. S. Kantawong, N. Sivamok and L. Wuttisitulkij, “Investigation of Contention Resolution Algorithms for Wireless Communication Systems”, IEEE Vehic Tech., vol. 2, Dec 2001.
 12. T. Suzuki ; and Tasaka, S. A Performance Comparison of ALOHA-Reservation and PRMA in Integrated Voice and Data Wireless Local Area Networks. IEEE Proceedings of TENCON Vol. 2, No. 7 (1992): 754-758
 13. S. Tasaka ; Hayashi, K,; and Isahibashi, Y. Integrated Video and Data Tranmission in the TDD ALOHA-Reservation Wireless LAN. IEEE Proceeding of ICC Vol. 3 (1995): 1387-1393
 14. E. Jeong ; Jaecob, L.; and Maeng, S. Dynamic TDMA with Priority-based Request Packet Transmission Scheme for Integrated Multimedia Traffics. IEICE Transactions on comunication Vol. E82-B, No. 12 (December 1999): 1-8.
 15. Cunningham, GA. Delay Versus Throughput Comparisons for stabilized Slotted ALOHA. IEEE Transaction on Communications Vol. 38, No. 11 (November 1990): 1932-1934.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสงกรานต์ กันทองศ์ เกิดเมื่อวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2515 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2537 จากนั้นได้ศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Investigation of Contention Resolution Algorithms for Wireless Communication Systems

Songkran Kantawong*, Nattapon Sivamok**, Lunchakorn Wuttisittikulij**
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
 Bangkok University*, Chulalongkorn University**,
 Bangkok, Thailand 10330
 Tel: (662) 2186908 Fax: (662) 2518991 Email: lunch@ee.eng.chula.ac.th

Abstract - This paper investigates and compares 9 different contention resolution algorithms for wireless communications using a mathematical analysis. The first 4 algorithms, namely *EB*, *DP*, *DP+LA* and *DP+OLA*, are suitable for systems with multi-access attempts per frame, whereas the other 5 algorithms, namely *CFP*, *CAP*, *COP*, *SDP* and *SEB* are applicable to systems with single-access chance per frame. Numerical results show that systems with multi-access are in general more superior to systems with single-access.

I. INTRODUCTION

Medium access control (MAC) protocols for wireless communications have been investigated extensively over the past years. These MAC protocols can be classified into two categories, namely contention-free and contention-based [1]. Recently, high performance MAC protocols tend to organize the channel bandwidth of the upward channel into a frame structure that is composed of two parts, reservation and information transfer, see Fig. 1. The reservation part consists of a number of request slots, which are used by all users on a contention basis for channel reservation. A user who succeeds in the reservation process will be assigned the data slots within the information part for his information transmission. Defining a much shorter slot length for contention resolution than the information slot periods by several orders of magnitude are worthwhile, as channel bandwidth can be effectively utilized. Examples for this type of protocols are ALOHA Reservation [2], DQRUMA [3], PRMA [4] and other recently proposed protocols [5,6].

The objective of this paper is to investigate some contention resolution protocols suitable for systems with short and long round trip propagation delays (relative to the slot transmission time) so that appropriate algorithms can be identified, see the differences in operations of both scenarios in Figs. 1 and 2. For systems with comparatively short delay, users will be entitled to continue making another access if unsuccessful in the previous request slots. In contrast, for systems with relatively long propagation delay, users will be limited to make only a single access attempt per frame. We shall refer to the first systems as multi-access and the other systems as single-access.

The performance of each system is evaluated through mathematical analysis. In addition simulations are also conducted to verify the analytical results.

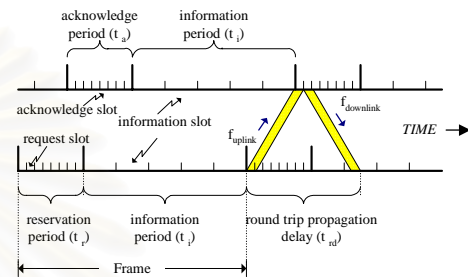


Fig. 1. Frame structure and system operation under relatively long propagation delay

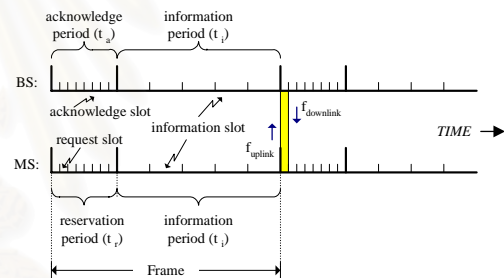


Fig. 2. Frame structure and system operation under relatively short propagation delay

The remaining of this paper is organized as follows. Section II describes 4 different channel reservation techniques for systems that permit users to repeat reservation attempt immediately right after the previous slot, i.e. multi-access systems. Section III provides 5 other reservation techniques for systems that allow users only a single attempt in each reservation period, i.e. single-access systems. Section IV illustrates the numerical results of all techniques with some discussions. Finally section V concludes the key findings of this paper.

II. CONTENTION RESERVATION ALGORITHMS FOR MULTI-ACCESS

A. Exponential Backoff (EB)

In the first technique, *Exponential Backoff (EB)*, it is assumed that each user can know the outcome of their request within the same slot. Also it is supposed that there is a ternary feedback (idle when no user accesses that request slot, success when only one user does and collision when

more than one user access in the same slot) for a slot. It is first estimated the number of blocked terminals (i.e. backlog) according to the transmission result of the previous slot and then compute transmission probability using the backlog estimate. If the previous frame is idle, each user increases a transmission probability by a factor of q . Conversely, if collision occurs, each user decreases the transmission probability by $1/q$ in order to reduce the chance of packet collisions. In addition, if there is a successful user in the previous contention, it means that the transmission probability is suitable and should be left unchanged.

Let p be the initial transmission probability for this scheme, $T[m,n,p]$ be the average number of successful users in the system with m users and n request slots and $b[m,i,p]$ be the binomial probability that i out of m users access a particular request slot.

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

The value of $T[m,n,p]$ can be derived as follows.

$$\begin{aligned} T[m,n,p] &= b[m,0,p]T[m,n-1,\min\{1,q \cdot p\}] \\ &+ b[m,1,p]T[m-1,n-1,p] \\ &+ \sum_{i=2}^m b[m,i,p]T[m,n-1,\frac{p}{q}] \end{aligned} \quad (1)$$

where $m \geq 0, n \geq 0$.

The boundary conditions of (1) are $T[a,0] = T[0,b] = 0$ where $a = 0, 1, \dots, m$ and $b = 0, 1, \dots, n$.

The initial value of p should be set to $1/m$ so that the system starts at a proper state. The parameter q determines how rapid the probability is dynamically adapted to reach the desired operating point. In general, $q = 2$ may be considered appropriate.

B. Direct-estimate Prob (DP)

For the second technique, *Direct-estimate Prob (DP)*, it is assumed that the system is able know the number of active users at each slot. Given this piece of information, it is useful to estimate the value of transmission probability directly based on the number of remaining users in each successive slot. In such a system, the proper transmission probability is $1/m$ where m is the number of active users found in each slot. The average number of successful users can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} T[m,n] &= b[m,0,\frac{1}{m}]T[m,n-1] \\ &+ b\left[m,1,\frac{1}{m}\right](1+T[m-1,n-1]) \\ &+ \sum_{i=2}^m b[m,i,\frac{1}{m}]T[m,n-1] \end{aligned} \quad (2)$$

C. Direct-estimate Prob with Limited Access (DP+LA)

The *DP* technique described earlier may seem effective for all system conditions, as it has a complete knowledge of the number of remaining users at each slot and users can adjust the transmission probability accordingly. In fact, the *DP* technique can become ineffective when the number of users is relatively much higher than the number of slots available. As the direct-estimate value of $1/m$ is applied to each successive slot independently, clearly the *DP* technique does not take into account of the number of remaining slots. As a result, the *DP* continues to work in the same manner regardless of the number of slots available. To improve the *DP* performance, we introduce an additional mechanism known as *Limited Access (LA)* to the *DP* technique and this combined mechanisms is referred to as the *Direct-estimate Prob with Limited Access (DP+LA)* technique.

At the beginning of each reservation period, each user will first decide whether it will enter the reservation process with a probability of p . Users that find themselves not to access the slots will do nothing and wait until the next reservation period whereas other users will follow exactly the same step as the *DP* scheme. The average number of successful can be analytically determined as follows:

$$T[m,n,p] = \sum_{i=0}^m b[m,i,p]T_{DP}[i,n] \quad (3)$$

D. Direct-estimate Prob with Optimum Limited Access (DP+OLA)

Although the *LA* mechanism added to the *DP* technique can improve the system performance, it is still not utilized to its full potential because the *LA* mechanism is implemented only at the beginning of each reservation period. In fact, further improvement can be attained by applying the *LA* mechanism in the same fashion as the *DP+LA* technique but at each request slot. This new concept is referred to as the *Direct-estimate Prob with Optimum Limited Access (DP+OLA)* technique. This new technique can potentially be more effective, as it is able to adapt the *LA* probability and the transmission probability in accordance with different system states and it in fact offers truly optimal system performance. Let $p[m,n]$ be the transmission probability as a function of the number of available request slots n and remaining users m so we can identify the appropriate transmission probability of the *DP+OLA* scheme by differentiating (4) with respect to p , setting it to 0 and finding the value of p that maximizes the average number of successful users.

$$\begin{aligned} T[m,n,p[m,n]] &= \sum_{i=0}^m b[m,i,p[m,n]] \\ &\times (b[i,1,\frac{1}{i}]T[i-1,n-1,p[i-1,n-1]] \\ &+ (1 - b[i,1,\frac{1}{i}])T[i,n-1,p[i,n-1]]) \end{aligned} \quad (4)$$

III. CONTENTION RESERVATION ALGORITHMS FOR SINGLE-ACCESS

A. Cascade Fixed Prob (CFP)

In the first scheme for single-access reservation system, each user will attempt to make a reservation on each request slot from the first slot to the last. The user will decide that he will access the present slot with a certain probability (p) and the value of this probability is the same for all users and fixed throughout all request slots. As a result, this scheme will be referred to as *Cascade Fixed Prob (CFP)*. It is apparent that the value of probability p is the key parameter to the system performance, hence must be chosen with care. We shall now derive an appropriate value of p as a function of the number of active users and the number of available slots that will maximize the average number of successful users.

Let $T[m, n]$ be the throughput of the system with m users and n request slots. In each request slot, only a single user can succeed in reservation, which will occur only when no other users access the slot. A more detailed analysis of $T[m, n]$ can be found in [9] and $T[m, n]$ is formulated in a recursive form as follows.

$$T[m, n] = b[m, 1, p] + \sum_{i=0}^m b[m, i, p] T[m - i, n - 1] \quad (5)$$

We can then find an appropriate transmission probability $p_{CFP}[m, n]$ of each frame by differentiating (5) with respect to p , setting it to 0, i.e. $\frac{\partial}{\partial p} T[m, n] = 0$ and determining p that gives the maximum throughput $T_{CFP}[m, n]$.

B. Cascade Adaptive Prob (CAP)

In the *CFP* scheme, it is seen that an appropriate value of p exists and can be formulated as function of the number of active users at the start of each frame (M) and the number of slots in each frame (N). It is interesting to further explore this finding to improve the system performance by introducing an idea of adaptive probability. Like the *CFP* scheme, all users still use the same value of probability at each slot, but the transmission probability may change from one slot to another by considering the current number of remaining users and slots. At the beginning of each request slot, each user must somehow acquire the present system conditions, i.e. the current number of remaining users and slots. Note that this requirement contradicts with the fundamental system assumption made here. Nevertheless, its analysis provides an interesting new aspect to this study. Once the user knows both parameters the user will choose the value of p based on these values using the formulation derived in the *CFP* scheme. Since the transmission probability is properly selected in response to the current system scenarios, an improved system performance can be intuitively expected.

This scheme will be known as *Cascade Adaptive Prob (CAP)*. The model for throughput analysis of this scheme is similar to that of the *CFP* scheme, though details may differ.

Let $T_{CAP}[m, n]$ be the average number successful users of the *CAP* system with m users and n request slots and $p_{CFP}[m, n]$ is the optimal transmission probability derived from the *CFP* system with m users and n request slots. $T_{CAP}[m, n]$ is computed as a recursive formula.

$$T_{CAP}[m, n] = b[m, 1, p_{CFP}[m, n]] + \sum_{i=0}^m b[m, i, p_{CFP}[m, n]] T_{CAP}[m - i, n - 1] \quad (6)$$

The same boundary conditions as in the *CFP* system are applied.

C. Cascade Optimal Prob (COP)

The adaptive scheme described above can indeed enhance the system performance. See the comparative results in the next section. Nevertheless, if the system assumption is to be violated, there exists a more effective way to adapt the transmission probability in accordance with the present system status and it in fact offers truly optimal system performance. This scheme is referred to as *Cascade Optimal Prob (COP)* and its full analysis will be given below.

Let $p[m, n]$ be the transmission probability as a function of the number of available request n and remaining users m .

$$T[m, n] = b[m, 1, p[m, n]] + \sum_{i=0}^m b[m, i, p[m, n]] T[m - i, n - 1] \quad (7)$$

The boundary conditions of (7) are the same as in the *CFP* system. We can now find the appropriate transmission probability $p_{COP}[m, n]$ of each frame by differentiating (7) with respect to $p[m, n]$, setting it to 0, and determining $p[m, n]$ that yields the maximum throughput $T_{COP}[m, n]$.

D. Single-access Direct-estimate Prob (SDP)

This technique is exactly like the *DP* technique except that once a user have made a reservation attempt, the user will no longer be allowed to make another try (single-access reservation). The average number of successful users of this technique is as follows.

$$T[m, n] = b\left[m, 1, \frac{1}{m}\right] + \sum_{i=0}^m b\left[m, i, \frac{1}{m}\right] T[m - i, n - 1] \quad (8)$$

E. Single-access Exponential Backoff (SEB)

This technique is exactly like the *EB* technique except that once a user have made a reservation attempt, the user will no longer be allowed to make another try (single-access reservation). The average number of successful users of this technique is as follows.

$$T[m,n,p] = b[m,0,p]T[m,n-1,\min\{1,q \cdot p\}] + b[m,1,p]T[m-1,n-1,p] \quad (9)$$

IV. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

All results given here are obtained from the mathematical formulations described in the previous sections. Moreover, these results are also confirmed with computer simulations, *i.e.* results from both approaches are all identical.

A. The essence of transmission probability

We shall first illustrate how the transmission probability has an effect on the system performance, which is measured in terms of the average number of successful users (also referred to as the system throughput here). The *CFP* scheme is specifically selected for discussion, as it is ideal for this purpose. By using equation (5), it is possible to obtain a relation between the average number of successful users and the transmission probability p ; this is depicted in Fig. 3. In this Figure, the number of slots N is held constant at 16 and the total number of users M varied from 1 to 16. As we can see, at small values of transmission probability the average number of successful users increases with the transmission probability. This is simply because under this condition users do not access the request slots frequently enough; a lot of time of these slots are idle. Therefore, an increase in the transmission probability will reduce the number of idle slots and thus improving the system throughput. As the transmission probability increases up to a certain value, the number of successful users begins to decline. This performance degradation is due to an increase in the number of collisions caused by too many attempts to access. A further increment of the transmission probability beyond this will only generate more collisions and results in the reduction of the number of successful users.

B. Performance of the *CFP*, *CAP* and *COP* techniques

Using an appropriate transmission probability, we can now obtain the system performance for *CFP*, *CAP* and *COP* schemes under different total number of users and request slots. This is depicted in Fig. 4. As we can see, the *COP* scheme can improve the number of successful users in comparison to the *CFP* scheme. This is as expected, because of two reasons. First, the *COP* scheme can dynamically adjust the users' transmission probability at each slot in response to actual system condition. Secondly, the transmission probability is optimally calculated for each system state.

When comparing these two schemes with the *CAP* scheme, it is found that the number of successful users lies between the *CFP* and *COP* schemes. Note that *CAP* results are not given here. This behavior can be explained as follows. The

CAP scheme poses the same feature as the *COP* scheme in that the transmission probability can be dynamically adjusted

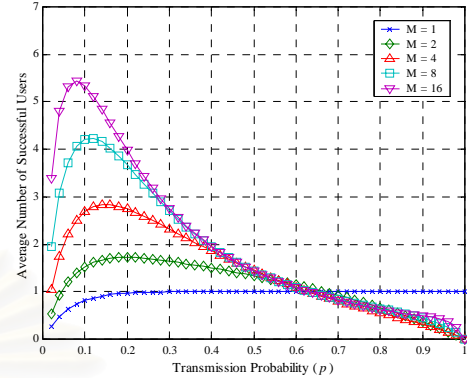


Fig. 3. The average number of successful users vs the transmission probability with the number of request slots (N) fixed at 16.

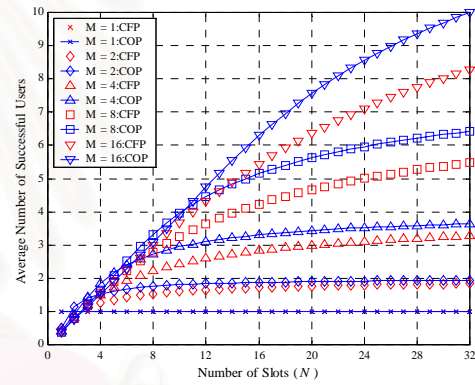


Fig. 4. The average number of successful users vs. the number of users with 16 slots (*CFP* and *COP*).

at each slot, but the transmission probability is not optimal as it is adopted from the *CFP* scheme. Therefore its performance is still below the *COP* scheme but is better than the *CFP* scheme.

C. Performance of the *DP*, *DP+LA* and *DP+OLA* techniques.

Fig. 5 illustrates the performance comparison of the *DP*, *DP+LA* and *DP+OLA* schemes. These numerical results are obtained by using an appropriate transmission probability derived from equations (2)-(4). It is seen that the averages number of successful users of all schemes are all identical when the number of users (M) is less than the number of slots available (N). When the number of users becomes greater than the number of slots, it appears that the *DP+OLA* scheme still continues to perform consistently well, *i.e.* no rapid decrease of the system throughput. This is not the case for the *DP* and *DP+LA* techniques; their system throughputs tend to

decline with an increase of the number of users. The throughput degradation is more prominent in the case of the *DP* technique than the *DP+LA* technique.

D. Performance of the *EB*, *SEB*, *DP* and *SDP* techniques

Consider the numerical results of all techniques in Fig. 6. When comparing the *EB* technique with the *SEB* technique, it appears that the *EB* technique offers much higher throughput at small number of users, but the at higher loads their performances become comparable. Recall that both techniques operate using the same mechanism except for the number of access attempts permitted per frame. This means that allowing multi-access attempts per frame will always perform better than its single-access attempt per frame.

Similar performance characteristics are observed when we compare the performance of the *DP* technique with the *SDP* technique. Multi-access technique is again superior to the single-access technique.

V. CONCLUSION

This paper has introduced two new reservation techniques namely, *DP+LA* and *DP+OLA*, and provided a full mathematical analysis of the system performances of all 9 contention resolution algorithms. These techniques are classified into two groups according to the number of chances that users are entitled to carry out their reservation attempts in each frame, namely multi-access and single-access. It is clear that the multi-access systems are in general more effective than the single-access systems, as there appear larger number of users succeeding in channel reservations. Indeed, this finding has some consequences. Consider a high-speed wireless communication system where the slot transmission time is relatively shorter than the round trip propagation delay. It is the case that the response of channel request from the base station to a user will not be back quickly so that the user cannot continue to make another reservation attempt immediately in the following slot in case of failure. Therefore, in such an environment users are limited to use a single-access contention resolution algorithm. This means that the performance of contention resolution in high-speed environments with relatively long propagation delay will not be as effective as that of low-speed systems.

REFERENCES

[1] Andrew S. Tanenbaum, *Computer Networks*, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc., 1996
 [2] S. Tasaka, K. Hayashi, and Y. Ishihashi, "Intergrated Video and Data Transmission in the TDD ALOHA-Reservation Wireless LAN", in *Proc. ICC'95*, Seattle, vol. 3, pp. 1387-1393, 1995.
 [3] Karol, M.J., "Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks", in *Proc. ICC'95*, Seattle, vol. 2, pp. 1224-1231, 1995.

[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.

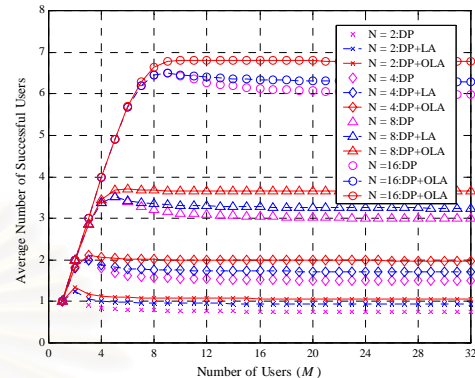


Fig. 5. The average number of Users of successful users vs. the number of users with 16 slots (*DP*, *DP+LA* and *DP+OLA*).

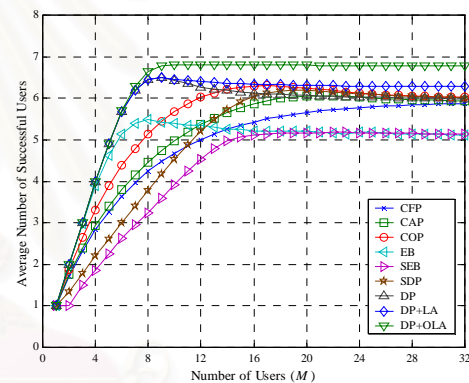


Fig. 6. The average number of successful users vs. the number of users with 16 slots for all techniques.

[5] P. Suwanpakdee, P. Sedtheetorn, A. Thanasorawit and L. Wuttisittikulij, "On the Design of a Media Access Control Protocol for Integrated Voice and Data Services in Wireless Communications", *ISAS2000*, July 2000.
 [6] A. Thanasorawit, A. Charoenpanitkit, and L. Wuttisittikulij, "Performance of Dynamic Frame Reservation Multiple Access-Dynamic Permission (DFRMA-DP) Protocol for Integrated Voice and Data Service in Wireless Communication Systems", *VTC2001*, May 2001.
 [7] D.G. Jeong and W.S. Jeon, "Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment", *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 44, no.3, pp.470-479, Aug. 1995.
 [8] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Network*, Second Edition, Prentice Hall, 1992.
 [9] A. Charoenpanitkit, N. Sivamok, L. Wuttisittikulij, "An analysis of a new access control technique for channel request in wireless communications", in *Proc. ISCAS 2001*, Vol. 2, pp. 333-336.