การพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง ในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว

นางสาวอัครภัทร เจริญพาณิชกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1020-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20473618

A DEVELOPMENT OF CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL IN RELATIVELY LONG DELAY SYSTEMS

Miss Akkarapat Charoenpanichkit

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 2001

ISBN 974-03-1020-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว
โดย	นางสาวอัครภัทร เจริญพาณิชกิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

อัครภัทร เจริญพาณิชกิจ : การพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว. (A DEVELOPMENT OF CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL IN RELATIVELY LONG DELAY SYSTEMS)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, 150 หน้า. ISBN 974-03-1020-6.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับระบบสื่อสารที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว ซึ่งเป็นสภาวะที่ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม โดยเทคนิคที่นำเสนอสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการทำงานของระบบ ได้แก่ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณและเทคนิคการจองที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ทั้งนี้การประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นทั้งหมดจะอาศัยการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์เป็นหลัก

สำหรับเนื้อหาในส่วนแรกกล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Cascade Fixed Probability (CFP) และ Random Slot Selection (RSS) ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ เทคนิคการจองแบบ CFP นั้นได้รับการพัฒนาขึ้นโดยอาศัยแนวคิดจากระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ต่ำ ซึ่งการเข้าจองของผู้ใช้บริการในแต่ละเฟรมจะต้องพิจารณาช่องการจองทีละช่อง เรียงลำดับจากต้นเฟรมไปยังท้ายเฟรม และจากการทำงานในลักษณะนี้จึงทำให้ช่องสัญญาณจองต้นเฟรมมีโอกาสรองรับปริมาณโหลดสูงกว่าช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ส่งผลให้ระบบไม่สามารถใช้งานช่องสัญญาณจองทุกช่องได้อย่างเท่าเทียมกัน ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ขึ้นสองวิธี คือ Uniform (UNI) และ Uniform + Limited Access (UNI+LA) ซึ่งจากผลการทดสอบสมรรถนะพบว่าวิธีการทั้งสองนี้สามารถกระจายการใช้งานช่องการจองให้สม่ำเสมอเท่าเทียมกันตลอดทุกช่อง และทำให้สมรรถนะโดยรวมของระบบสูงกว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

สำหรับเนื้อหาในส่วนที่สอง เป็นการพัฒนาและประยุกต์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ให้สามารถรองรับระบบที่มีทราฟฟิกหรือรูปแบบการให้บริการมากกว่าหนึ่งประเภท เช่น ระบบสื่อสารมัลติมีเดีย ในระบบโครงข่ายเหล่านี้ การกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกันจะเป็นประโยชน์สำหรับการรับประกันคุณภาพการบริการตามที่ผู้ใช้บริการต้องการ โดยเทคนิคการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ แบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform + Divided Slot (UNI+DS) Uniform – Multiple Limited Access (UNI+MLA), Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS-MLA) และ Partial Uniform + Multiple Limited Access (Partial UNI+MLA) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS มีกลไกการทำงานที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน หากแต่โดยทั่วไประบบมักจะไม่สามารถควบคุมลำดับความสำคัญให้สอดคล้องกับความต้องการ ในขณะที่เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และ UNI+DS+MLA และ Partial UNI+MLA นั้น ระบบจะสามารถควบคุมและกำหนดลำดับความสำคัญได้อย่างละเอียดตรงตามความต้องการได้เสมอ อย่างไรก็ดีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบจะมีความซับซ้อนกว่า สำหรับสมรรถนะเปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิคทั้งสามนั้นขึ้นกับรูปแบบและความต้องการของระบบ อย่างไรก็ดีสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอนั้นจะสูงกว่าเทคนิคที่นำเสนอในอดีตทั้งในแง่ของค่าวิสัยสามารถและการรับประกันคุณภาพของการให้บริการ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2544

4270656521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: Channel Reservation Techniques / MAC Protocol / Long Delay Systems

AKKARAPAT CHAROENPANICHKIT : A DEVELOPMENT OF CHANNEL RESERVATION TECHNIQUES FOR MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL IN RELATIVELY LONG DELAY SYSTEMS. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D., 150 pp. ISBN 974-03-1020-6.

This thesis presents the development of new channel reservation techniques that offer high efficiency and are suitable for the relatively long delay systems in which each user has only one chance per frame to access the channel. The proposed techniques can be classified into 2 types, the reservation techniques without and with priority, according to the ability of the system. The performance of all proposed techniques are evaluated through mathematical analysis.

In the first part, Cascade Fix Probability (CFP) and Random Slot Selection (RSS) without priority determination are introduced. The development of CFP is carried out with an assumption of the relatively short delay systems in which the reservation of users in each frame must perform sequentially slot by slot. This results in the inability of the system to utilize all slots equally as the reservation at the beginning of frame are more likely to be loaded than the slot at the end of frame. In order to solve this limitation, this thesis also introduces the RSS, namely Uniform (UNI) and Uniform + Limited Access (UNI+LA). The numerical results show that this two schemes are able to consistently distribute the use of all slots and results in the higher system throughput than that of CFP.

The second part extends RSS techniques to support the systems with multi-class traffics, for example, multimedia systems. In this kind of network, the settling of different priority is found to be advantageous in guaranteeing QoS. The proposed techniques are called Uniform + Divided Slot (UNI+DS), Uniform – Multiple Limited Access (UNI+MLA), Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS+MLA) and Partial Uniform + Limited Access (Partial UNI+MLA). The mechanism of UNI+DS scheme is simple and uncomplex. Nevertheless, the system cannot control priority to meet the user's requirement in general. While, UNI+MLA, UNI+DS+MLA, and Partial UNI+MLA schemes are capable of controlling and defining priority to satisfy the QoS requirement. However, the parameter adjustment of these schemes are more complex. The performance of these three techniques are comparable depending on the system configuration and requirement. However, these techniques are better than the existing technique in both throughput and QoS guarantee.

Department Electrical Engineering Student's signature Akkarapat Charoenpanichkit

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา นอกจากนี้ท่านยังได้ช่วยเหลือเงินบางส่วนในการไปนำเสนอบทความทางวิชาการ

ขอขอบพระคุณ ดร. สุภาวดี อร่ามวิทย์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการตรวจทานบทความทางวิชาการ

ขอขอบคุณ คุณ อัครพล ธนสรวิศ สำหรับคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเรื่อยมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บัญชีสัญลักษณ์..... น

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 3

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4

1.6 เค้าโครงวิทยานิพนธ์..... 4

2 ความรู้พื้นฐาน..... 6

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง..... 6

2.1.1 แบบที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าถึงตัวกลาง (Contention-free MAC Protocol)..... 6

2.1.2 แบบที่มีการแข่งขันในการเข้าถึงตัวกลาง (Contention-based MAC Protocol)..... 8

2.1.3 แบบผสมระหว่างเทคนิคที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าถึงตัวกลาง (Contention-free&Contention-based MAC Protocol)..... 9

2.2 คุณภาพของการบริการที่ต้องการ..... 11

2.3 การจองช่องสัญญาณ..... 12

บทที่			หน้า
	2.4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต.....	13
		2.4.1 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian.....	14
		2.4.2 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ (Pseudo Bayesian with Priority).....	14
	2.5	ผลของเวลาประวิง.....	16
	2.6	ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต.....	17
	2.7	เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ.....	18
	2.8	แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....	19
3	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....		20
	3.1	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....	20
	3.2	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....	23
4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....		27
	4.1	ที่มาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....	27
	4.2	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....	29
		4.2.1 เมื่อไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ.....	29
		4.2.1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI.....	29
		4.2.1.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA.....	31
		4.2.2 เมื่อมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ.....	32
		4.2.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS.....	32
		4.2.2.1.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส..	33
		4.2.2.1.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	34
		4.2.2.1.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส...	35
		4.2.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA.....	36
		4.2.2.2.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส...	37
		4.2.2.2.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	39

บทที่ หน้า

4.2.2.2.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส... 42
4.2.2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA... 44
4.2.2.3.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส... 45
4.2.2.3.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส... 47
4.2.2.3.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส... 48
4.2.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA..... 49
4.2.2.4.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส... 51
4.2.2.4.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส... 52
4.2.2.4.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส... 54

5 ผลการทดสอบ..... 57
5.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI..... 58
5.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA 63
5.3 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS..... 69
5.3.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..... 69
5.3.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.. 73
5.4 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+ MLA..... 78
5.4.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..... 78
5.4.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.. 82
5.5 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA..... 87
5.5.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..... 87
5.5.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.. 96
5.6 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA..... 104
5.6.1 ผลของการใช้ช่องสัญญาณจองร่วมกัน..... 104
5.6.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA..... 106
5.6.2.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ. 107
5.6.2.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..... 109

บทที่		หน้า
6	ผลการเปรียบเทียบ	111
	6.1 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA	113
	6.2 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal 1/m Applied UNI UNI+LA และ CFP	119
	6.3 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA	124
7	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	131
	7.1 บทสรุป	131
	7.2 ข้อเสนอแนะ	136
รายการอ้างอิง		137
ภาคผนวก		139
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่		140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		150

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สัมพันธ์กับลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ	15

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	การทำงานของระบบ TDMA	7
รูปที่ 2.2	การทำงานของระบบ Bitmap protocol	8
รูปที่ 2.3	การทำงานของระบบ S-ALOHA	9
รูปที่ 2.4	การทำงานของระบบ ALOHA-Reservation	10
รูปที่ 2.5	การทำงานของระบบ URN	11
รูปที่ 2.6	ผลการจองช่องสัญญาณ	12
รูปที่ 2.7	การจองช่องสัญญาณในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์สูง	17
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP	21
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP	25
รูปที่ 3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP	25
รูปที่ 3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP	26
รูปที่ 4.1	การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI	29
รูปที่ 4.2	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA	31
รูปที่ 4.3	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS	33
รูปที่ 4.4	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA	37
รูปที่ 4.5	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA	45
รูปที่ 4.6	ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA	50
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่นำเสนอ	56
รูปที่ 5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI	61
รูปที่ 5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI	61

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชนและการว่าง เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI.....	62
รูปที่ 5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจอง เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI.....	62
รูปที่ 5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA.....	67
รูปที่ 5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA.....	67
รูปที่ 5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA.....	68
รูปที่ 5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA	68
รูปที่ 5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง.....	71
รูปที่ 5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง.....	72
รูปที่ 5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง	72
รูปที่ 5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง.....	75
รูปที่ 5.13	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง.....	75

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 76

รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 76

รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 77

รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 77

รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 80

รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 81

รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 81

รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 84

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 84

รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 85

รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 85

รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 86

รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 86

รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 92

รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 93

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้คงที่แตกต่างกัน..... 93

รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 94

รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 94

รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA กำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ 8 ราย ช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง โดยกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้แตกต่างกัน..... 95

รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ 8 ราย ช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง โดยกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้แตกต่างกัน..... 95

รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 100

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 100

รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 101

รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 101

รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 102

รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 102

รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 103

รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของ ผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง..... 103

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง 106

รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLAกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 107

รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA กำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 108

รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 108

รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 109

รูปที่ 5.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 110

รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 110

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 6.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำมาทำการเปรียบเทียบ..... 112

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง... 117

รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง 118

รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง 118

รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal 1/m Applied UNI UNI+LA และ CFP และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 122

รูปที่ 6.6 จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ ณ ช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 10 ราย ช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 123

รูปที่ 6.7 จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ ณ ช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 25 ราย ช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 123

รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 129

รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ที่ค่า $\gamma = 8$ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง..... 129

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 130

รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ที่ค่า $\gamma = 8$ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง..... 130

บัญชีสัญลักษณ์

k	จำนวนผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ
M	จำนวนผู้ใช้บริการ
N	จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม
p	ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ
C	จำนวนคลาส (ระดับ) ของผู้ใช้บริการที่ระบบรองรับ
k_i	จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i ที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ
m_i	จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i
n_i	จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i
p_i	ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i