

การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง
สำหรับการร่วมบริการเสียงและข้อมูลในระบบสื่อสารไร้สาย



นางสาวพัชชา สุวรรณภักดี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0441-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIPLE ACCESS CONTROL FOR
INTEGRATED VOICE AND DATA SERVICES IN WIRELESS COMMUNICATION



Miss Padcha Suwanpakdee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-03-0441-9

พดชา สุวรรณภักดี : การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและข้อมูลในระบบสื่อสารไร้สาย. (PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIPLE ACCESS CONTROL FOR INTEGRATED VOICE AND DATA SERVICES IN WIRELESS COMMUNICATION).

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ลัญจกร วุฒิสวัสดิ์กุลกิจ, 213 หน้า. ISBN 974-03-0441-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางบนพื้นฐานของโพรโทคอล Packet Reservation Multiple Access (PRMA) เพื่อให้ระบบสามารถจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่บริการประเภทเสียงและดาตาได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับคุณภาพของการบริการ (QoS) ที่แตกต่างกันและมีควาวิสัยสามารถของระบบสูงสุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแยกพิจารณาปัญหาออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนแรกจะพิจารณาถึงลักษณะทางธรรมชาติของบริการแต่ละประเภท เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติพื้นฐานและความต้องการทางด้านบริการของทราฟฟิกแต่ละประเภท จากนั้นจึงพิจารณาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่า Voice Permission Probability ค่า Data Permission Probability ขนาดของแพ็กเก็ต ความยาวเฟรม ฯลฯ เพื่อให้เข้าใจขีดความสามารถตลอดจนข้อจำกัดของโพรโทคอล PRMA และส่วนสุดท้ายซึ่งจัดเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง ได้แก่ เทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่การแก้ปัญหาการสูญเสียทรัพยากรอันเนื่องมาจากการชนกันในช่วงที่ผู้ใช้ร้องขอไทม์สล็อตแบบสุ่มไปยังสถานะพื้นฐาน และการหาแนวทางในการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ภายหลังจากที่ผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ

เทคนิคที่นำเสนอเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA จะแบ่งออกเป็น 3 แนวทางคือ 1. เทคนิคการปรับค่า Permission Probability ซึ่งประกอบด้วย เทคนิค Variable Probability PRMA (VP-PRMA) และเทคนิค Exponential Back-off 2. เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ ซึ่งประกอบด้วย เทคนิค Piggybacking (PGBK) เทคนิค Multiple packet assignment เทคนิค Slot Stealing และเทคนิค Collision Reduction PRMA (CR-PRMA) 3. เทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมให้อยู่ในรูปของสล็อตร้องขอและสล็อตข้อมูล ทั้งนี้จะมีการทดสอบและวิเคราะห์ผลของแต่ละเทคนิคอย่างละเอียด จากนั้นจึงได้พัฒนาโพรโทคอลที่เกิดจากการรวมเทคนิคต่าง ๆ บางประเภทข้างต้น ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับวิธี PGBK จะมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้น ในขณะที่การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับวิธี Multiple packet assignment จะมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาว ทั้งนี้โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะให้ควาวิสัยสามารถที่สูง โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่ต่ำ อีกทั้งยังสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการได้ตามต้องการ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4170436721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL / MULTIPLE ACCESS CONTROL PROTOCOL /
MAC / WIRELESS COMMUNICATIONS / INTEGRATED VOICE AND DATA SERVICES

PADCHA SUWANPAKDEE : PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIPLE ACCESS CONTROL
FOR INTEGRATED VOICE AND DATA SERVICES IN WIRELESS COMMUNICATION. THESIS

ADVISOR: ASST. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D. 213 pp. ISBN 974-03-0441-9

This thesis presents the design and development of an effective Multiple Access Control protocol based on Packet Reservation Multiple Access protocol (PRMA) for integrated voice and data services in wireless communications. In order to achieve high levels of channel utilization and guarantee Quality of Service (QoS), key issues on the protocol design have been identified and extensively investigated. In this thesis, the protocol design problem is divided into various design aspects as follows. First, traffic characteristics are considered in order to understand their behavior and the requirement of each traffic type. Next, the influence of system parameters on PRMA performance, i.e., Voice Permission Probability, Data Permission Probability, packet length and frame duration are intensively studied. The main aspect of this research is how to find the operational mechanisms that can reduce the frequency of collisions and serve each successful terminal effectively, thereby leading to improvements in overall system performance.

Three distinct techniques have been proposed for developing the PRMA's performance. They are as follows. 1. technique that varies the permission probability, namely, Variable Probability PRMA (VP-PRMA) and Exponential Back-off 2. technique that reduces the number of requests in the system, namely, Piggybacking (PGBK), Multiple packet assignment, Slot Stealing and Collision Reduction PRMA (CR-PRMA) 3. technique that separates resources for contention and data transmission. This study aims to provide a comprehensive investigation of these schemes and thereupon, we have put together some of these schemes to form a new Multiple Access Control protocol that offers very desirable performance such as high throughput, low data packet delay and QoS guaranteed. The simulation results show that the combination between PGBK with Exponential Back-off and VP-PRMA technique is suitable for integrated voice and data services in short message environments whereas the combination between Multiple packet assignment with Exponential Back-off and VP-PRMA technique is effective in long message environments.

Department of Electrical Engineering

Student's signature

Field of study Electrical Engineering

Advisor's signature

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ดร.ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณ ศ. ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล และโครงการศิษย์ก้นกุฎิ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการนำเสนอผลงานวิจัย ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา รศ. ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุมิ และอาจารย์วิทยากร อัครวิเศษ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในกลุ่มงานวิจัยเรื่องเดียวกันที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งให้ความสนับสนุนทางด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พัตชา สุวรรณภักดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ด
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	พ
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	7
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2 โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและ บริการดาตาในระบบสื่อสารไร้สาย	9
2.1 ประเภทของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง	9
2.1.1 แบบที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรมัลติมีเดีย	9
2.1.1.1 ประเภทที่มีการจัดสรรแบบตายตัว (Fixed assignment Protocol)	9
2.1.1.2 ประเภทที่มีการจัดสรรตามความต้องการ (Demand assignment Protocol)	10
2.1.2 แบบที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรมัลติมีเดีย	11

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2 ลักษณะของทราฟฟิกแต่ละประเภท	12
2.2.1 ข้อมูลเสียง	13
2.2.1 ข้อมูลดาตา	14
2.3 โพรโทคอล Packet Reservation Multiple Access (PRMA)	15
3 แบบจำลองพื้นฐานและวิธีการจำลองระบบ	21
3.1 ข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองระบบและวิเคราะห์	21
3.2 การนำเสนอผลการจำลองระบบ	23
3.3 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึง หลายทางที่ใช้อ้างอิง	24
3.3.1 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA สำหรับ บริการเสียง	24
3.3.2 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA สำหรับ การร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	25
3.3.3 การวิเคราะห์ผลความถูกต้องของโพรโทคอลที่ได้จำลองขึ้น ..	27
4 การศึกษาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA	28
4.1 บทนำ	28
4.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA	30
4.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการ เสียง	30
4.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของค่า Voice Permission Probability ที่มีต่อความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและค่าความจุ ...	33
4.2.2	การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	36
	4.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของค่า Data Permission Probability ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA	36
	4.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนผู้ใช้เสียงและจำนวนผู้ใช้งานดาตาในระบบที่มีต่อค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA	49
	4.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA	50
	4.2.3 การวิเคราะห์ผลของการเลือกขนาดของแพ็กเก็ต	52
5	ผลการจำลองและการวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA	54
	5.1 เทคนิคการปรับค่า Permission Probability	54
	5.1.1 การปรับค่า p โดยใช้วิธี Variable Probability PRMA (VP-PRMA)	54
	5.1.1.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล VP-PRMA	57
	5.1.2 การปรับค่า Retransmission Probability โดยใช้วิธี Exponential Back-off	63
	5.1.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Full load	64

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.1.2.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Underload	68
5.1.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของค่า r ที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาและค่าวิสัยสามารถ	68
5.1.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของค่า r ที่มีต่อจำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อกและค่า p	70
5.1.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาและค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha-EB	72
5.1.2.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการปรับค่า Retransmission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off	79
5.2 เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ	85
5.2.1 การใช้ Piggybacking (PGBK) ของผู้ใช้งานดาตาเพื่อบอกสถานะพื้นฐานในกรณีที่ผู้ใช้งานดาตายังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเกตดาตาในชุดข่าวสารเดียวกัน	85
5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-PGBK	87
5.2.2 การอนุญาตให้ผู้ใช้งานดาตาสามารถส่งแพ็กเกตได้มากกว่าหนึ่งแพ็กเกตต่อเฟรม (Multiple packet assignment)	92
5.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของจำนวนไทม์สล็อตสำรอง	94

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อ สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment	102
5.2.3 การจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing ..	107
5.2.3.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ มีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing	110
5.2.3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ มีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing และมีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR	115
5.2.4 การลดการชนกัน (Collision Reduction) โดยการลดจำนวน การร้องขอของผู้ใช้ดาตา	118
5.2.4.1 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อ สมรรถนะของโพรโทคอล CR-PRMA	119
5.3 เทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม	122
5.3.1 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมโดยมีจำนวนสล็อตร้องขอ คงที่	124
5.3.1.1 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล็อตร้องขอของ โพรโทคอล PRMA++ที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูล ให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบ FIFO และคิวแบบที่มี การจัดลำดับความสำคัญ	124
5.3.1.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล็อตร้องขอที่มีต่อ เวลาประวิงของผู้ใช้เสียงและจำนวนสล็อตข้อมูล ที่อยู่ในสถานะว่างของโพรโทคอล PRMA++ ที่มี การจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบที่	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
มีการจัดลำดับความสำคัญ	131
5.3.1.3 การวิเคราะห์ผลของตำแหน่งของสล๊อตร่องขอ ภายในเฟรม	133
5.3.2 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมโดยมีการปรับจำนวน สล๊อตร่องขอในแต่ละเฟรมแบบพลวัต	137
5.3.2.1 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล๊อตร่องขอสูงสุด และจำนวนสล๊อตร่องขอต่ำสุด	139
5.4 สรุป	149
6 การออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการ เสียงและบริการดาตา	157
6.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคที่ได้นำเสนอ	157
6.1.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการปรับค่า Permission Probability	164
6.1.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ	166
6.1.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง ของเฟรม	168
6.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค	172
6.2 การออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการ ร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	177
6.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้น	183
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	194
7.1 บทสรุป	194
7.2 ข้อเสนอแนะ	198

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	200
ภาคผนวก	203
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	213



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง	24
ตารางที่ 3.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	25
ตารางที่ 4.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง	30
ตารางที่ 4.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	36
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$	43
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$	44
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$	45
ตารางที่ 4.6	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ค่า p และ q ต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที	46
ตารางที่ 4.7	ค่าวิสัยความสามารถของโพรโทคอล PRMA ที่จำนวนผู้ใช้เสียงและจำนวนผู้ใช้ดาตาต่าง ๆ เมื่อ $p = 0.4$ และ $q = 0.06$	49
ตารางที่ 5.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Underload	68
ตารางที่ 5.2	เปรียบเทียบสัดส่วนของไทม์สล็อตในสถานะ N_V และ N_D ของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment ที่มี $M = 0$ และ 2 สล็อต	97
ตารางที่ 5.3	เปรียบเทียบสัดส่วนของไทม์สล็อตในสถานะ N_A และ N_C ของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment ที่มี $M = 0$ และ 2 สล็อต	98
ตารางที่ 5.4	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment	101
ตารางที่ 5.5	เปรียบเทียบสัดส่วนของไทม์สล็อตในสถานะ N_V และ N_D ของ	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
	โพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 1$ สล็อต $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร	104
ตารางที่ 5.6	เปรียบเทียบสัดส่วนของไทม์สล็อตในสถานะ N_A และ N_C ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 1$ สล็อต $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร	105
ตารางที่ 5.7	เปรียบเทียบสัดส่วนของไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงทั้งสามประเภทและค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้ดาตาของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$	111
ตารางที่ 5.8	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล CR-PRMA ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์	122
ตารางที่ 5.9	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์	130
ตารางที่ 5.10	เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 3$ สล็อต และ $N_R(\max) = 6$ สล็อต	140
ตารางที่ 5.11	เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 3$ สล็อต และ $N_R(\max) = 8$ สล็อต	141
ตารางที่ 5.12	เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 4$ สล็อต และ $N_R(\max) = 6$ สล็อต	142
ตารางที่ 5.13	เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 4$ สล็อต และ $N_R(\max) = 8$ สล็อต	143
ตารางที่ 5.14	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสีย	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
	แพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์	148
ตารางที่ 6.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะ ของเทคนิคแต่ละอย่าง	157
ตารางที่ 6.2	รายละเอียดและค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคแต่ละอย่างที่จะนำมาใช้ใ การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ	158
ตารางที่ 6.3	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	173
ตารางที่ 6.4	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	173
ตารางที่ 6.5	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	175
ตารางที่ 6.6	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 10000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	176
ตารางที่ 6.7	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	186
ตารางที่ 6.8	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	187
ตารางที่ 6.9	สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 6.10	188
เมื่อ $L_m = 5$ แพ้กเกต/ข่าวสาร สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ้กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ้กเกตดาดตาไม่เกิน 10000 มิลลิวินาที	
ตารางที่ 6.11	189
เมื่อ $L_m = 50$ แพ้กเกต/ข่าวสาร สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ้กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ้กเกตดาดตาไม่เกิน 300 มิลลิวินาที	
ตารางที่ 6.12	191
เมื่อ $L_m = 5$ แพ้กเกต/ข่าวสาร สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ้กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ้กเกตดาดตาไม่เกิน 3000 มิลลิวินาที	
เมื่อ $L_m = 50$ แพ้กเกต/ข่าวสาร สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ้กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ้กเกตดาดตาไม่เกิน 3000 มิลลิวินาที	192

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MPRMA	4
รูปที่ 1.2 โครงสร้างของโพรโทคอล DQRUMA	5
รูปที่ 1.3 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล HAR	5
รูปที่ 2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบ TDMA	10
รูปที่ 2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบ S-Aloha	12
รูปที่ 2.3 รูปแบบการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียง	13
รูปที่ 2.4 แบบจำลอง Speech Activity Detector	13
รูปที่ 2.5 รูปแบบการกำเนิดแพ็กเก็ตดาตา	15
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA	16
รูปที่ 2.7 แบบจำลองของการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้เสียงของโพรโทคอล PRMA	16
รูปที่ 2.8 แบบจำลองของผู้ใช้ดาตาในโพรโทคอล PRMA	18
รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของผู้ใช้เสียงในโพรโทคอล PRMA	19
รูปที่ 2.10 แผนผังการทำงานของผู้ใช้ดาตาในโพรโทคอล PRMA	20
รูปที่ 3.1 การส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานในระบบสื่อสารไร้สาย	21
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง	25
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	26
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการ ทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการ ร่วมบริการเสียงและบริการดาตา	27
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.1, 0.2,$ $0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ และ 0.7	31

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของ โพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5,$ 0.6 และ 0.7	31
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนโทรมสล็อต/เฟรมของ โพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$	34
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุกับจำนวนโทรมสล็อต/เฟรมของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$	34
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	37
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	37
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	38
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของ โพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	38
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของ โพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	39
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของ โพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	39
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	40
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	40
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 ..	47
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4	47
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4	48
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $L_m = 1, 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	50
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $L_m = 1, 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	51
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้กับความยาวเฟรมของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$	53
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$	58
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$	58
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$	59
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.4$ $p_{\max} = 0.7, 0.8$ และ 0.9	61
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ 0.9	61
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ 0.9	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ $0.9 \dots$	62
รูปที่ 5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Full load เมื่อ $p = 0.01, 0.1$ และ $0.3 \dots \dots \dots$	65
รูปที่ 5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Full load เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ $0.99 \dots$	65
รูปที่ 5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ $0.99 \dots \dots \dots$	69
รูปที่ 5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ 0.99	69
รูปที่ 5.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับจำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อกของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $R_D = 5, 7$ และ 10 กิโลบิต/วินาที $r = 0.5 \dots \dots \dots$	71
รูปที่ 5.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $R_D = 5, 7$ และ 10 กิโลบิต/วินาที $r = 0.5 \dots \dots \dots$	71
รูปที่ 5.14	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดากับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $r = 0.25, 0.5$ และ $0.7071 \dots \dots \dots$	73
รูปที่ 5.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $r = 0.25, 0.5$ และ $0.7071 \dots \dots \dots$	73
รูปที่ 5.16	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดากับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $r = 0.5 \dots \dots \dots$	75
รูปที่ 5.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน	

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
$r = 0.5$	75
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับจำนวนผู้ใช้ใน สถานะบล็อกของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $R_D = 5$ กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$	76
รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $R_D = 5$ กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$	76
รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับอัตราการส่งข้อมูล ดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 $L_m = 1, 10$ และ 100 แพ็กเกต/ข่าวสาร $r = 0.5$	78
รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของ โพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $L_m = 1, 10$ และ 100 แพ็กเกต/ข่าวสาร $r = 0.5$	79
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสี่ยงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB สำหรับบริการเสี่ยง เมื่อ $r = 0.5$...	80
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของผู้ใช้เสี่ยงของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $q_{max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08	81
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของผู้ใช้เสี่ยงของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 28 คน $q_{max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08	82
รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสี่ยงกับ จำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08	82
รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของ โพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08	83
รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.28 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่มีการเซ็ทบิต PGBK ของผู้ใช้ดาตา	86
รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	87
รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	88
รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	88
รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับความยาวข่าวสารของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = $20, 24$ และ 30 คน	91
รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับความยาวข่าวสารของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = $20, 24$ และ 30 คน	91
รูปที่ 5.34 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาแบบ Multiple packet assignment เมื่อ $M = 1$ สล็อต	94
รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต	95
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต	95
รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต	96
รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต	96

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	102
รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตติดต่อกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	103
รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	103
รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$	113
รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตติดต่อกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$	113
รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$	114
รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation	116
รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตติดต่อกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation	116
รูปที่ 5.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation	117
รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	119
รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตติดต่อกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	120

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร	120
รูปที่ 5.51 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA++	123
รูปที่ 5.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ	125
รูปที่ 5.53 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตตามากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ	125
รูปที่ 5.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ	126
รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของผู้ใช้เสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ เมื่อจำนวนสล็อดร็องขอ = 3, 4 และ 5 สล็อด/เฟรม	131
รูปที่ 5.56 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสล็อดตข้อมูลในสถานะว่างกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ เมื่อจำนวนสล็อดร็องขอ = 3, 4 และ 5 สล็อด/เฟรม	132
รูปที่ 5.57 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีสล็อดร็องขออยู่ตอนต้นของเฟรม	134
รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสล็อดร็องขอกระจายภายในเฟรมและสล็อดร็องขออยู่ตอนต้นของเฟรม	134
รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตตามากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสล็อดร็องขอกระจายภายในเฟรมและสล็อดร็องขออยู่ตอนต้นของเฟรม	135
รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสล็อดร็องขอกระจายภายในเฟรมและสล็อดร็องขออยู่ตอนต้นของเฟรม	135

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 5.61	ไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล้อตร้องขอ	138
รูปที่ 5.62	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล้อตร้องขอแบบพลวัต	144
รูปที่ 5.63	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล้อตร้องขอแบบพลวัต	144
รูปที่ 5.64	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล้อตร้องขอแบบพลวัต	145
รูปที่ 6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	159
รูปที่ 6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	159
รูปที่ 6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	160
รูปที่ 6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ...	160
รูปที่ 6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	161
รูปที่ 6.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ...	161
รูปที่ 6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการดาดากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	162
รูปที่ 6.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการดาดากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร	162

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 6.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	163
รูปที่ 6.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร ...	163
รูปที่ 6.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	180
รูปที่ 6.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	180
รูปที่ 6.13	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	181
รูปที่ 6.14	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	181
รูปที่ 6.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	182
รูปที่ 6.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร	182

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MAC	โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง
PRMA	โพรโทคอล Packet Reservation Multiple Access
S-Aloha	โพรโทคอล Slotted-Aloha
IPRMA	โพรโทคอล Integrated Packet Reservation Multiple Access
MPRMA	โพรโทคอล Mini Packet Reservation Multiple Access
IS	สลีตข้อมูล
RS	สลีตร้องขอ
DQRUMA	โพรโทคอล Distributed Queuing Request Update Multiple Access
PGBK	Piggybacking
HAR	โพรโทคอล Hybrid Aloha-reservation/R-Aloha
Aloha-r	โพรโทคอล Aloha-reservation
SAD	Speech Activity Detector
γ	ความน่าจะเป็นที่ช่วงสนทนาจะสิ้นสุดในไทม์สลีตใด ๆ
τ	ขนาดของไทม์สลีต (ในหน่วยของเวลา)
σ	ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบเป็นช่วงสนทนาในไทม์สลีตใด ๆ
SIL	ช่วงเงียบ
TLK	ช่วงสนทนา
CON	สถานะการแข่งขัน
RES	สถานะจอง
FDD	Frequency Division Duplex
R_C	อัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ
R_V	อัตราการส่งข้อมูลเสียง
R_D	อัตราการส่งข้อมูลดาตา
L_m	ความยาวข่าวสาร
p	Voice Permission Probability
q	Data Permission Probability
$M_{0.01}$	จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

η	ค่าความจุ
T	ความยาวเฟรม
H	ขนาดของโอเวอร์เฮด
N_{TS}	จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม
D_{\max}	เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียง
S	จำนวนไทม์สล็อตสูงสุดที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ได้ก่อนที่จะถูกละทิ้ง
VP-PRMA	วิธี Variable Probability PRMA
CR-PRMA	วิธี Collision Reduction PRMA
EB	วิธี Exponential Back-off
r	สัมประสิทธิ์การปรับค่า Retransmission Probability ของวิธี Exponential Back-off
M	จำนวนไทม์สล็อตสำรองของวิธี Multiple packet assignment
N_V	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะจองของผู้ใช้เสียง
N_D	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่ผู้ใช้ดาตาใช้ในการส่งแพ็กเก็ตดาตา
N_A	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้คนใดส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอไทม์สล็อต
N_C	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากเกิดการชนกัน
ID	หมายเลขประจำตัวของผู้ใช้
APR	วิธี Adaptive Permission Reservation
n_1	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่เกิดหลังจากผู้ใช้เสียงส่งแพ็กเก็ตสุดท้ายของช่วงสนทนาเสร็จก่อนที่สถานีฐานจะตรวจพบว่าไทม์สล็อตนี้ไม่มีแพ็กเก็ตส่งมาและปล่อยไทม์สล็อตให้เป็นอิสระในเฟรมถัดไป
n_2	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตไม่ได้รับอนุญาตจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเก็ต
n_3	สัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในขณะนั้น
PRF	Piggybacking Request Field
ATDMA	ระบบ Advanced Time Division Multiple Access

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PRMA++	โพรโทคอล Packet Reservation Multiple Access ++
FIFO	การจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบ First In First Out
N_R	จำนวนสล็อตร้องขอทั้งหมดภายในเฟรมแต่ละเฟรม
N_{R-C}	จำนวนสล็อตร้องขอที่เกิดการชนกันในเฟรมแต่ละเฟรม
N_{R-A}	จำนวนสล็อตร้องขอที่อยู่ในสถานะว่างในเฟรมแต่ละเฟรม
N_{R-S}	จำนวนสล็อตร้องขอที่ผู้ใช้สามารถร้องขอใหม่สล็อตได้สำเร็จในเฟรมแต่ละเฟรม
$N_R(\min)$	จำนวนสล็อตร้องขอน้อยที่สุดภายในเฟรมแต่ละเฟรม
$N_R(\max)$	จำนวนสล็อตร้องขอมากที่สุดภายในเฟรมแต่ละเฟรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในระบบโทรคมนาคมมากขึ้น เนื่องจากผู้ใช้งานต้องการอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถพกพาติดตัวและใช้ติดต่อสื่อสารได้ทุกบริเวณที่อยู่ภายในพื้นที่การให้บริการ นอกจากนี้รูปแบบการให้บริการก็ได้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก จากเดิมที่มีการให้บริการเฉพาะการสื่อสารทางเสียง ในปัจจุบันการให้บริการสื่อสารรูปแบบอื่น ๆ เช่น การรับส่งไฟล์ การส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ และการค้นหาข้อมูลผ่านเว็บไซต์ เริ่มมีให้เห็นมากขึ้น ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ความต้องการใช้งานของระบบสื่อสารไร้สายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว

ปัญหาหลักของระบบสื่อสารไร้สายได้แก่การที่ระบบมีแบนด์วิดท์จำกัด ในขณะที่ความต้องการบริการต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ที่มีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงจำเป็นต้องจะมีการแบ่งพื้นที่การให้บริการออกเป็นเซลล์ขนาดเล็ก (microcell) เพื่อเพิ่มความสามารถในแง่ของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse) โดยภายในเซลล์แต่ละเซลล์จะประกอบด้วยสถานีฐานหนึ่งสถานีที่ทำหน้าที่ดูแลและควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้บริการกับระบบโครงข่าย

การส่งสัญญาณในทิศทางจากสถานีฐานไปสู่ผู้ใช้บริการมีกลไกการทำงานที่ค่อนข้างเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการส่งสัญญาณในทิศทางนี้ทางสถานีฐานสามารถที่จะควบคุมจังหวะการส่งสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ ในทางกลับกัน การส่งสัญญาณในทิศทางจากผู้ใช้ไปยังสถานีฐานมีกลไกการทำงานที่ซับซ้อนกว่ามาก ทั้งนี้เพราะผู้ใช้แต่ละคนมักจะมีการใช้งาน ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีการเคลื่อนที่ไปมาได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ ผู้ใช้ที่ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งจะไม่สามารถทราบความต้องการในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นภายในระบบได้ จึงต้องมีการพัฒนารวมวิธีในการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างการส่งข้อมูลของผู้ใช้ที่เกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกัน และในขณะเดียวกันระบบก็จะพยายามใช้งานช่องสัญญาณที่มีความจุจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด เราเรียกรวมวิธีในการควบคุมเหล่านี้ว่าโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Control protocol : MAC)

การพัฒนาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางในอดีต จะถูกออกแบบมาเพื่อรองรับบริการเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น โพรโทคอล TDMA ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับบริการเสียง ในขณะที่สภาพปัจจุบันผู้ใช้งานจะมีความต้องการบริการในรูปแบบการสื่อสารอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น ทำให้การนำโพรโทคอลเดิมมาประยุกต์ใช้ในหลายกรณีพบว่าให้ประสิทธิภาพของระบบไม่ดีนัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างบริการแต่ละประเภทได้และสามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่บริการต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับคุณภาพของการบริการ (Quality of Service :QoS) ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ลักษณะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ดีควรจะทำให้ระบบมีค่าความจุ (network capacity) สูง เพื่อให้สามารถรองรับผู้ใช้ในขณะใดขณะหนึ่งได้เป็นจำนวนมาก ในขณะที่โครงสร้างตลอดจนหลักการทำงานของโพรโทคอลที่ถูกออกแบบขึ้นมาควรจะต้องมีความเรียบง่าย เพื่อให้ต้นทุนของอุปกรณ์โครงข่ายมีราคาถูกลงและสามารถนำไปใช้กับระบบที่มีความจุสูงขึ้นในอนาคตได้ [1]

โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายที่เคยนำเสนอมาก่อนหน้านี้มีเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถจะแบ่งออกอย่างกว้าง ๆ ตามลักษณะการจัดสรรทรัพยากรให้แก่ผู้ใช้ได้เป็น 2 ประเภท [1] คือ แบบที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรม์สล็อต (Contention-free access) และแบบที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรม์สล็อต (Contention-based access) โพรโทคอลส่วนใหญ่ที่ถูกนำเสนอขึ้นจะนำเอาข้อดีของโพรโทคอลทั้ง 2 แบบมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน จึงจัดเป็นประเภทผสมระหว่างเทคนิคที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรม์สล็อตและเทคนิคที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรม์สล็อต (Contention-free and Contention-based scheme) ในส่วนต่อไปจะขอกกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่มีความพยายามที่จะนำข้อดีของโพรโทคอลทั้ง 2 ชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงข้อดีและข้อเสียของโพรโทคอลแต่ละชนิดเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาโพรโทคอลต่อไป

D.J. Goodman [2] ได้นำเสนอโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง PRMA (Packet Reservation Multiple Access) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่มีการทำงานแตกต่างไปจากระบบ TDMA ที่ได้ถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่สอง โพรโทคอลนี้จะมีการนำหลักการของการแข่งขันในการเข้าใช้โทรม์สล็อตมาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับระบบ TDMA เดิม ซึ่งจะช่วยขจัดปัญหาเดิมในระบบ TDMA ที่ทรัพยากรจะสูญเสียไปเมื่อผู้ใช้ไม่มีความต้องการจะส่งข้อมูล

การทำงานของโพรโทคอล PRMA นี้ จะประกอบด้วยโทรม์สล็อตเช่นเดียวกับระบบ TDMA โดยที่โทรม์สล็อตจะถูกจัดรวมกันอยู่ในรูปของเฟรม สล็อตแต่ละสล็อตจะมีขนาดเท่ากันและ

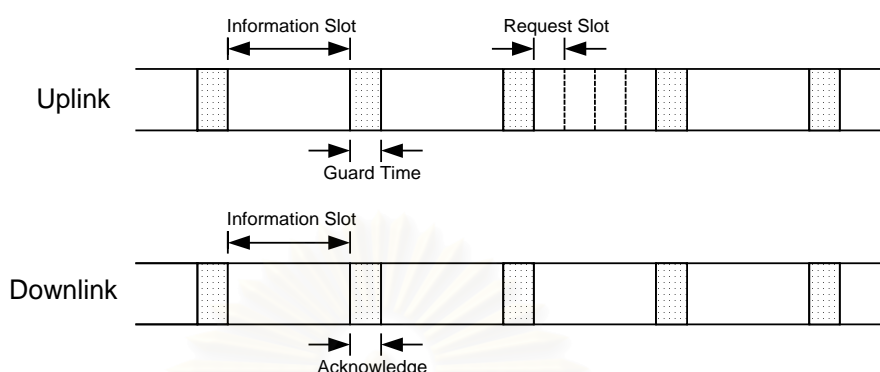
สามารถส่งข้อมูลได้ที่ละหนึ่งแพ็กเก็ต เมื่อผู้ใช้ต้องการจะส่งข้อมูลก็จะร้องขอโทรมสล็อตโดยการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเข้าไปในโทรมสล็อตด้วยวิธี Slotted-Aloha (S-Aloha) ซึ่งถ้าไม่เกิดการชนกันภายในสล็อตนั้นก็ถือว่าผู้ใช้ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ และผู้ใช้ก็จะสามารถส่งข้อมูลที่เหลือในเฟรมถัดมาในตำแหน่งโทรมสล็อตเดิม โดยไม่ต้องร้องขอโทรมสล็อตใหม่จนกว่าจะส่งแพ็กเก็ตหมดบัพเพอร์

จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลชนิดนี้เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณเสียงซึ่งมีลักษณะต่อเนื่องแต่ไม่เหมาะสำหรับรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาพร้อมกัน ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรมสล็อตทุกครั้งที่จะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเนื่องจากผู้ใช้ดาตามีค่าสูงซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของบริการเสียงลดลงด้วย

W.C. Wong และ D.J. Goodman [3] ได้นำเสนอโพรโทคอลตระกูล PRMA ที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับบริการดาตาได้แก่ IPRMA (Integrated Packet Reservation Multiple Access) ซึ่งผู้ใช้เสียงจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปเพื่อร้องขอโทรมสล็อตเช่นเดียวกับในวิธีแรก และเมื่อผู้ใช้เสียงร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จก็จะได้รับการจัดสรรโทรมสล็อต 1 สล็อต/เฟรม สำหรับผู้ใช้ดาตาก็จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปร้องขอโทรมสล็อตเช่นเดียวกับผู้ใช้เสียง แต่จะมีการระบุจำนวนของโทรมสล็อตที่ต้องการในขณะที่ร้องขอโทรมสล็อต ซึ่งถ้าผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จสถานีฐานก็จะจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาจำนวนหนึ่ง ทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตที่เหลือได้โดยไม่ต้องร้องขอโทรมสล็อตใหม่ อย่างไรก็ตาม จำนวนโทรมสล็อตสูงสุดที่จะจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตาแต่ละครั้งจะมีค่าจำกัดที่ค่า ๆ หนึ่ง ทั้งนี้เพราะจะมีการรับประกันโทรมสล็อตที่ว่างส่วนหนึ่งไว้เพื่อให้ผู้ใช้อื่นสามารถมาร้องขอโทรมสล็อตได้ และป้องกันไม่ให้ผู้ใช้คนใดคนหนึ่งยึดครองโทรมสล็อตนานเกินไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงที่ต้องการการส่งที่ทันทีทันใด โพรโทคอลชนิดนี้จะให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงขึ้น

Liang-Seng Koh and Ming T. Liu [4] ได้เสนอโพรโทคอล MPRMA (Mini-Packet Reservation Multiple Access) ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียแบนด์วิดท์ที่เกิดจากการชนกันระหว่างการร้องขอ ทั้งนี้ระบบจะปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมใหม่ โดยจะแบ่งออกเป็นสล็อตข้อมูล (Information Slot : IS) และสล็อตร้องขอ (Request Slot : RS) ตามรูปที่ 1.1 เมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ต ผู้ใช้ก็จะร้องขอโทรมสล็อต โดยการส่งแพ็กเก็ตร้องขอ (request packet) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแพ็กเก็ตข้อมูลไปในสล็อตร้องขอขนาดเล็ก ดังนั้นในกรณีที่เกิดการชนกัน จะทำให้การสูญเสียทรัพยากรในส่วนของการร้องขอลดลง แต่กระนั้น การที่สล็อตแต่ละสล็อตภายในเฟรมมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน จะทำให้โครงสร้างของเฟรมมีความซับซ้อนขึ้น และ

ระบบจะต้องการการชิงโครโนซ์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทำให้ระบบที่มีการแบ่งสล็อตต้องให้อยู่ในรูปของสล็อตขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้กับระบบสื่อสารที่มีความเร็วสูงมาก

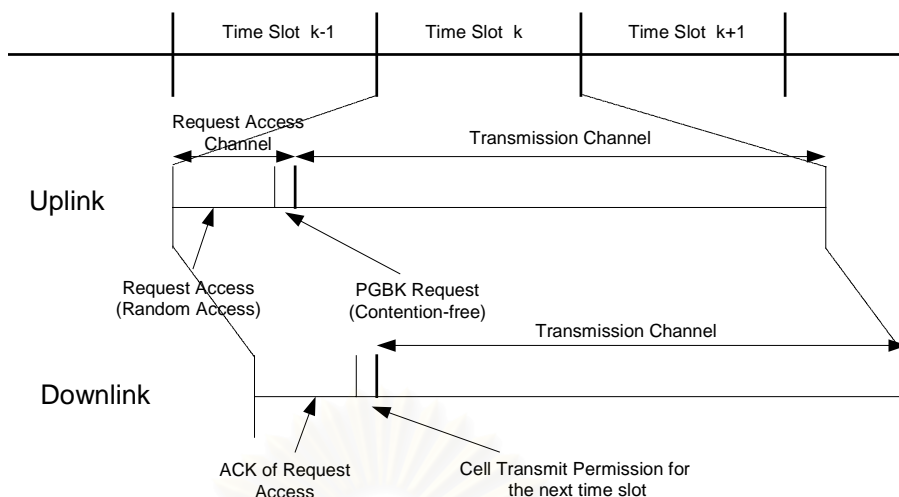


รูปที่ 1.1 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MPRMA

นอกจากนี้ยังมีกลไกที่ถูกนำมาใช้เพิ่มเติมภายในโพรโทคอลนี้ ได้แก่ การใช้ continuation flag ที่ตอนท้ายของไทม์สล็อตแต่ละสล็อต ซึ่งผู้ใช้ดาตาสามารถส่งสัญญาณผ่านช่องนี้เพื่อบอกสถานะพื้นฐานว่ายังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเกตอยู่ และสถานะพื้นฐานจะจัดสรรไทม์สล็อตเพื่อให้ผู้ใช้ นั้นส่งแพ็กเกตดาตาได้ในไทม์สล็อตที่ว่างที่อยู่ใกล้ที่สุดในเฟรมถัดไป โดยจะสามารถส่งข้อมูลได้เพียง 1 แพ็กเกต/เฟรม เท่านั้น

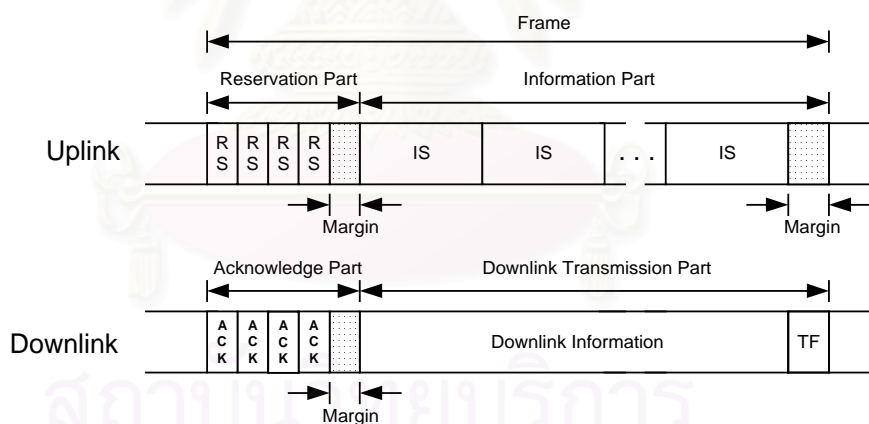
จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลนี้ไม่มีความเหมาะสมกับผู้ใช้ดาตาที่ต้องการส่งข้อมูลจำนวนมาก เพราะการที่สถานะพื้นฐานอนุญาตให้ผู้ใช้แต่ละคนสามารถส่งข้อมูลได้เพียง 1 แพ็กเกต/เฟรม จะทำให้แพ็กเกตที่เหลือต้องรอส่งในเฟรมถัด ๆ ไป แม้ว่าในบางเฟรมจะมีไทม์สล็อตที่ว่างอยู่ ทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรไปโดยเปล่าประโยชน์

โพรโทคอลอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักที่นำเสนอโดย Karol M.J. ได้แก่ โพรโทคอล DQRUMA (Distributed Queuing Request Update Multiple Access) [5] ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรองรับบริการดาตา โดยจะอาศัยแนวคิดของการเซตบิตสุดท้ายของแต่ละแพ็กเกตเพื่อบอกสถานะพื้นฐานว่าผู้ใช้อยู่ยังมีข้อมูลที่จะส่งอีกหรือไม่ ซึ่งจะเรียกว่าการใช้ Piggybacking (PGBK) สำหรับข้อเสียของโพรโทคอลชนิดนี้คือการทำงานจะอยู่บนพื้นฐาน Slot-Assignment ทำให้สัดส่วนระหว่างจำนวนของโอเวอร์เฮดต่อจำนวนของข้อมูลที่ส่งได้มีค่าสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไทม์สล็อตลดลง นอกจากนี้ยังไม่มีระบบการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละบริการ (Priority Assignment) จึงอาจทำให้บริการดาตาอื่นครอบครองไทม์สล็อต และเป็นสาเหตุให้บริการเสียงซึ่งต้องการการส่งแบบทันทีทันใดไม่สามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้ โพรโทคอล DQRUMA นี้จะมีโครงสร้างตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของโพรโทคอล DQRUMA

สำหรับโพรโทคอล Hybrid Aloha-reservation/R-Aloha (HAR) [6] นั้นเป็นโพรโทคอลลูกผสมระหว่างโพรโทคอล R-Aloha และโพรโทคอล Aloha-reservation (Aloha-r) โครงสร้างเฟรมของระบบเชื่อมโยงขาขึ้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ใช้สำหรับร้องขอไทม์สล็อต (Reservation part) และส่วนที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล (Information part) ตามรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล HAR

สถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงที่ร้องขอได้สำเร็จโดยอาศัยหลักการของโพรโทคอล R-Aloha ในขณะที่การจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จจะอาศัยหลักการของโพรโทคอล Aloha-r กล่าวคือ ผู้ใช้เสียงจะได้รับอนุญาตให้จองสล็อตข้อมูลที่ตำแหน่งเดิมเพื่อส่งแพ็กเก็ตจนกระทั่งผู้ใช้เสียงนี้สามารถส่งแพ็กเก็ตได้จนหมดบัฟเฟอร์ ส่วนผู้ใช้อาตาก็จะสามารถระบุจำนวนสล็อตข้อมูลที่ต้องการไปยังสถานีฐานในขณะที่ทำร้องขอได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอล HAR กับโพรโทคอลที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าโพรโทคอล HAR จะมี

ประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอล HAR กับ โพรโทคอล IPRMA พบว่าในโพรโทคอล IPRMA นั้น ถ้าผู้ใช้งานสามารถร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จก่อนผู้ใช้เสียง สถานีฐานจะจัดสรรโทรม์สลิตต์ให้ผู้ใช้งานส่งแพ็กเก็ตได้จำนวนหนึ่ง ทำให้ผู้ใช้เสียงไม่สามารถเข้าใช้โทรม์สลิตต์ได้ ในขณะที่โพรโทคอล HAR นั้น แม้ว่าผู้ใช้งานจะสามารถร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จก่อนผู้ใช้เสียง แต่ผู้ใช้เสียงก็สามารถจะเข้าใช้สลิตต์ข้อมูลได้ โดยอาศัยหลักการที่ว่าข้อมูลเสียงควรมีลำดับความสำคัญ (Priority) สูงกว่าข้อมูลดาตา

นอกจากนี้ในโพรโทคอล IPRMA ผู้ใช้งานสามารถที่จะเข้าใช้โทรม์สลิตต์หลาย ๆ สลิตต์ได้ภายในเฟรมเดียวเท่านั้น หากยังมีข้อมูลที่จะส่งอีกก็จะต้องร้องขอโทรม์สลิตต์ใหม่ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มจำนวนการร้องขอและอาจทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้นในขณะที่โพรโทคอล HAR ผู้ใช้งานสามารถที่จะส่งข้อมูลได้จนกระทั่งส่งข้อมูลในชุดข่าวสารเดียวกันหมดโดยไม่ต้องร้องขอโทรม์สลิตต์ใหม่

นอกจากนี้ยังมีวิธีที่ถูกเสนอขึ้นเพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล เช่น เมื่อทางสถานีฐานไม่สามารถจัดสรรโทรม์สลิตต์ให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ ผู้ใช้จะต้องไปร้องขอโทรม์สลิตต์ใหม่ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคการใช้คิว (queue) ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ที่ร้องขอสำเร็จไม่ต้องไปร้องขอใหม่ ตัวอย่างโพรโทคอลที่อาศัยเทคนิคนี้ได้แก่ DQRUMA [5]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมาในอดีตจะมีวัตถุประสงค์ตลอดจนกรรมวิธีในการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์แนวทางหรือกลไก ตลอดจนข้อดีและข้อเสียของโพรโทคอลเหล่านี้ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถพัฒนาโพรโทคอลที่สามารถรองรับความต้องการของบริการแต่ละประเภทที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้การวิเคราะห์และทดสอบสมรรถนะของกลไกต่าง ๆ จะเป็นประโยชน์แก่การทำงานวิจัย จึงจัดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโพรโทคอลที่สามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา โดยการประยุกต์ใช้กลไกที่ได้ศึกษา เพื่อให้ได้โพรโทคอลที่สอดคล้องกับความต้องการกล่าวคือโพรโทคอลจะต้องสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการให้แก่ทราฟฟิกแต่ละชนิดที่แตกต่างกันได้ โดยที่ผู้ใช้แต่ละคนจะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้อย่างเท่าเทียมกัน ทั้งนี้ในการออกแบบโพรโทคอลนั้น ต้องมีการคำนึงถึงลักษณะทางธรรมชาติของข้อมูลแต่ละประเภท ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความยาวเฟรม ค่า Voice Permission Probability ค่า Data Permission Probability ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการจัดสรร

โทรม์สล็อด เช่น การนำเอาเทคนิคคิวมาใช้ลดจำนวนการร้องขอภายในระบบ ซึ่งจะช่วยให้โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่เดียวกัน โครงสร้างและการทำงานของโพรโทคอลที่ออกแบบขึ้นควรมีโครงสร้างที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านอุปกรณ์โครงข่าย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงสมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาในระบบสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ รวมทั้งพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของโพรโทคอลแต่ละประเภท เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง

2. พัฒนาโพรโทคอลที่สามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาในสภาวะทราฟฟิกต่าง ๆ โดยที่โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นนี้จะต้องให้ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง (Voice dropping probability) และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (Data packet delay) ต่ำ ในขณะที่จะให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบ (system throughput) สูง และยังสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการ (Quality of Service : QoS) ให้แก่บริการประเภทต่าง ๆ ได้ โดยจะมีการพิจารณาถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ เช่น ลักษณะทางธรรมชาติของทราฟฟิกแต่ละประเภท การเลือกความยาวเฟรมที่เหมาะสม ตลอดจนกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางในงานวิจัยอ้างอิงที่สามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้

2. พัฒนาและปรับปรุงโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่สามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการให้แก่บริการประเภทต่าง ๆ ได้

3. สร้างแบบจำลอง (Simulation model) เพื่อทดสอบโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น โดยจะมีการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความยาวเฟรม, Voice Permission Probability ฯลฯ ที่มีต่อสมรรถนะของระบบ ได้แก่ ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยความสามารถของระบบ

4. ศึกษาและเปรียบเทียบโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นกับโพรโทคอลที่มีการนำเสนอมาแล้ว

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางและแบบจำลองที่ได้มีการนำเสนอในงานวิจัยอ้างอิง
2. พิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางเพื่อสร้างแบบจำลองของระบบ
3. วิเคราะห์ และกำหนดพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องการทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อสมรรถนะของระบบ
4. สร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ และทดสอบโพรโทคอลที่ถูกออกแบบขึ้นที่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ พิจารณาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบโพรโทคอลที่เสนอขึ้นกับโพรโทคอลที่มีการนำเสนอมาแล้ว
6. สรุปผลงานวิจัย และเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการให้แก่ผู้ใช้ได้ด้วย
2. แบบจำลองที่ใช้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบอื่นในอนาคต
3. ทำให้มีความเข้าใจลักษณะสมบัติของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ตลอดจนเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบโพรโทคอลดังกล่าว

บทที่ 2

โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาในระบบสื่อสารไร้สาย

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการจัดแบ่งประเภทของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง โดยจะอธิบายถึงภาพรวมของโพรโทคอลที่มีอยู่และพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา จากนั้นจะพิจารณาถึงคุณลักษณะของทราฟฟิก เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติพื้นฐานและความต้องการทางด้านบริการของทราฟฟิกแต่ละประเภท โดยในที่นี้จะพิจารณาแบบจำลองการให้กำเนิดแพ็กเก็ตเสียงและแพ็กเก็ตดาตา และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานตลอดจนการทำงานของโพรโทคอล PRMA โครงสร้างของโพรโทคอลชนิดนี้จะเป็นโครงสร้างที่จะนำมาใช้ศึกษาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาให้โพรโทคอล PRMA นี้สามารถรองรับความต้องการของบริการประเภทต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น

2.1 ประเภทของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง

โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางในปัจจุบันสามารถจะแบ่งได้อย่างกว้าง ๆ ตามลักษณะของการจัดสรรทรัพยากรให้แก่ผู้ใช้ได้เป็น 2 ประเภท [1] คือ แบบที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรมัลติแอส (Contention free access) และแบบที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรมัลติแอส (Contention based access) ซึ่งแต่ละระบบจะมีข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ กันดังนี้

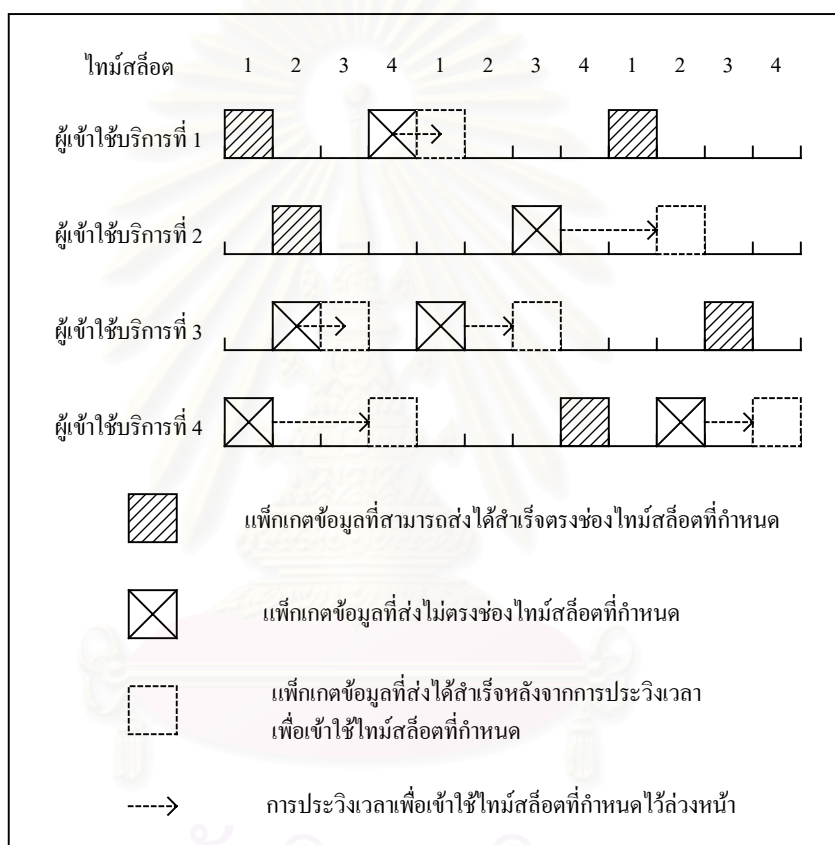
2.1.1 แบบที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้โทรมัลติแอส แบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อย

2.1.1.1 ประเภทที่มีการจัดสรรแบบตายตัว (Fixed assignment Protocol)

ลักษณะที่สำคัญของโพรโทคอลในประเภทนี้ คือ ผู้ใช้แต่ละคนจะมีสล็อตเป็นของตนเอง ทำให้เมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้มีความต้องการจะส่งข้อมูลก็จะสามารถส่งข้อมูลผ่านสล็อตของตนได้โดยไม่ต้องแย่งชิงกับผู้อื่น ตัวอย่างของโพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ โพรโทคอล TDMA และโพรโทคอล FDMA

ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้ คือการที่ผู้ใช้แต่ละคนมีสล็อตเป็นของตนเองทำให้เกิดการชนกัน และระบบจะมีเสถียรภาพที่ทุก ๆ สภาวะทราฟฟิก โดยจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อจำนวนผู้ใช้ในโครงข่ายค่อนข้างน้อยและผู้ที่มีข้อมูลที่จะส่งอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเช่นข้อมูลเสียงมากกว่าข้อมูลแบบดาตาซึ่งมีลักษณะเป็นแบบเบิสต์

อย่างไรก็ตาม วิธีการจัดสรรสล็อตให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนล่วงหน้าโดยไม่พิจารณาถึงปริมาณ และช่วงเวลาของความต้องการในการส่งข้อมูลนั้นนับว่าเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากใน บางครั้งผู้ใช้ไม่ต้องการส่งข้อมูลจะทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะ สล็อตที่ถูกกำหนดไว้ให้ล่วงหน้านั้นไม่สามารถรองรับทราฟฟิกของผู้ใช้บริการรายอื่นได้ นอกจากนี้ จำนวนของผู้ใช้ที่ระบบสามารถรองรับได้จะไม่เกินจำนวนของสล็อตที่มีภายในระบบ ทำให้ไม่ เหมาะสำหรับการรองรับทั้งการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ตัวอย่างการเข้าถึงหลายทาง แบบ TDMA แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบ TDMA

2.1.1.2 ประเภทที่มีการจัดสรรตามความต้องการ (Demand assignment Protocol)

จากข้อเสียของระบบจัดสรรแบบตายตัวในแง่ของการสูญเสียทรัพยากรไปโดยเปล่า- ประโยชน์เมื่อผู้ใช้ไม่มีความต้องการจะส่งข้อมูล จึงได้มีการปรับปรุงมาเป็นการจัดสรรตาม ความต้องการของผู้ใช้ [7] ซึ่งจะมีการกำหนดสล็อตสำรอง (request slot) ให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนแทน การจัดไทม์สล็อตให้ผู้ใช้แต่ละคนแบบระบบที่มีการจัดสรรแบบตายตัว และเมื่อผู้ใช้นั้นใดมีความ ต้องการจะส่งข้อมูล ผู้ใช้นั้นก็จะส่งสัญญาณไปยังสล็อตสำรองของตนเอง จากนั้นทางสถานีฐานก็ จะจัดสรรไทม์สล็อตให้ตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจะทำให้การจัดสรรไทม์สล็อตมีประสิทธิภาพ

มากขึ้นเพราะเป็นการจัดสรรไทม์สล็อตตามสภาวะทราฟฟิก ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของช่องสัญญาณ (Channel utilization) เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของโพรโทคอลชนิดนี้ ได้แก่ โพรโทคอล Bit Map [8]

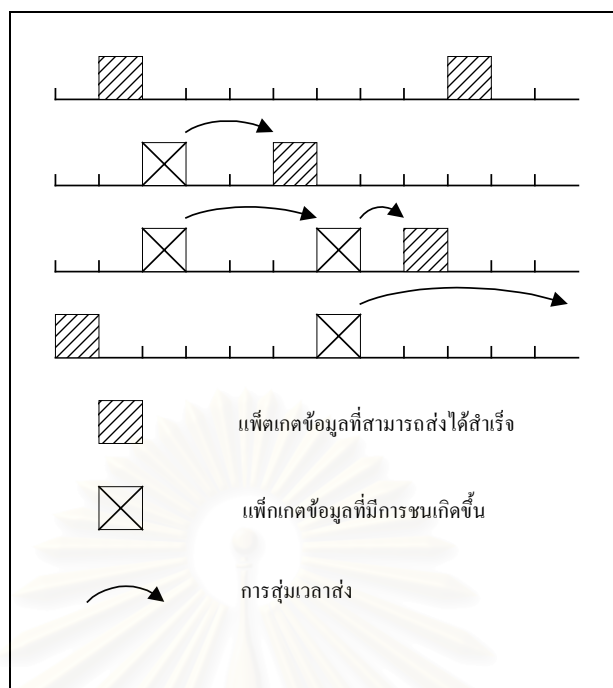
2.1.2 แบบที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ไทม์สล็อต

ลักษณะที่สำคัญของโพรโทคอลชนิดนี้คือผู้ใช้ทั้งหมดจะใช้ไทม์สล็อตร่วมกัน เมื่อใดที่ผู้ใช้ต้องการที่จะส่งข้อมูลก็จะร้องขอไทม์สล็อตไปยังสถานีฐาน ซึ่งทางสถานีฐานจะจัดสรรไทม์สล็อตให้ผู้ใช้แต่ละคนตามความเหมาะสม ตัวอย่างของโพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ โพรโทคอล Pure-Aloha และโพรโทคอล S-Aloha [8]

ข้อดีของวิธีนี้คือจะทำให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นไปอย่างคุ้มค่าที่สุด โดยระบบจะจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้เมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งข้อมูลเท่านั้น หากเวลาใดที่ผู้ใช้ไม่มีความต้องการที่จะส่งข้อมูล ผู้ใช้นั้นก็จะปล่อยไทม์สล็อตให้เป็นอิสระเพื่อให้ผู้อื่นมาใช้ไทม์สล็อตนั้นได้ อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งผู้ใช้อาจสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จแต่ทางสถานีฐานไม่สามารถจัดสรรไทม์สล็อตให้ได้ ซึ่งอาจเกิดจากการไม่มีไทม์สล็อตที่ว่าง ผู้ใช้จะต้องร้องขอไทม์สล็อตใหม่ หรือผู้ใช้อาจถูกเก็บไว้ในคิวเพื่อรอให้สถานีฐานจัดสรรไทม์สล็อตที่ว่างให้ ในกรณีนี้จะทำให้ค่าเวลาประวิงของผู้ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลเสียมากกว่าข้อมูลดาตา

สำหรับข้อเสียของโพรโทคอลประเภทนี้คือ การที่ผู้ใช้ทุกคนมาใช้ไทม์สล็อตร่วมกันโดยการร้องขอไทม์สล็อตนั้นอาจทำให้เกิดการชนกันได้ นอกจากนี้ค่าวิสัยความสามารถของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผู้ใช้จำนวนมากพยายามที่จะส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันเพราะจะทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอไทม์สล็อตนั้นได้สำเร็จ ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล S-Aloha แสดงในรูปที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบ S-Aloha

ดังนั้นโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาส่วนใหญ่ จึงได้นำเอาข้อดีของรูปแบบทั้งสองที่กล่าวไปข้างต้นมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน โดยจะจัดอยู่ในประเภท Reservation-based Multiple access protocol [1] ตัวอย่างเช่น Aloha-Reservation [9], Distributed Queuing Request Update Multiple Access (DQRUMA) [5] ซึ่งในช่วงของการร้องขอโทรม์สล็อตจะใช้วิธีของ Contention-based แต่เมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ทางสถานีฐานก็จะจัดสรรโทรม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนแบบ Contention-free ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมากและมีค่าวิสัยสมรรถนะที่สูงขึ้น

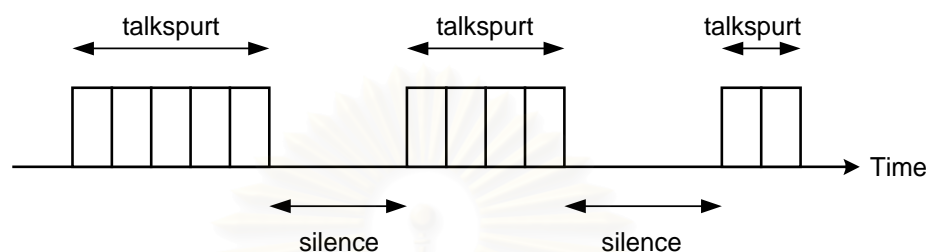
ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบโพรโทคอล ได้แก่ ลักษณะของทราฟฟิกแต่ละประเภท จากนั้นจะได้นำเสนอรายละเอียดการทำงานของโพรโทคอล PRMA ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.2 ลักษณะของทราฟฟิกแต่ละประเภท

ปัจจัยแรกที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ได้แก่ ลักษณะทางธรรมชาติของทราฟฟิกแต่ละประเภท ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาทราฟฟิก 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลเสียงและข้อมูลดาตา

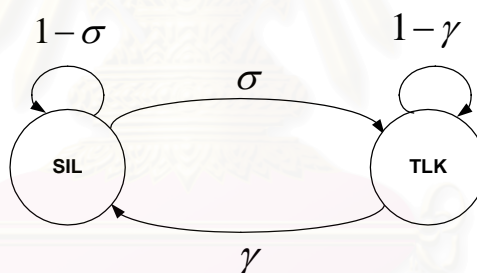
2.2.1 ข้อมูลเสียง

ลักษณะทางธรรมชาติของข้อมูลเสียง จะเป็นทราฟฟิกที่ต้องการการส่งแบบทันทีทันใด (Real time) โดยจะประกอบด้วยชุดลำดับของช่วงสนทนา (talkspurt) สลับกับช่วงเงียบ (silence) ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียง

ในการจำลองลักษณะของข้อมูลเสียงจะใช้ Speech Activity Detector (SAD) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานเป็น 2-State Markov Chain ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลอง Speech Activity Detector

ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจากช่วงสนทนาเป็นช่วงเงียบในไทม์สล็อตใด ๆ หรือความน่าจะเป็นที่ช่วงสนทนาจะสิ้นสุดในไทม์สล็อตใด ๆ (γ) แสดงได้ดังสมการที่ 2.1 [10] เมื่อ t_1 คือค่า mean talkspurt interarrival time และ τ คือ ขนาดของไทม์สล็อตในหน่วยของเวลา

$$\gamma = 1 - e^{-\frac{\tau}{t_1}} \quad (2.1)$$

ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบเป็นช่วงสนทนาในไทม์สล็อตใด ๆ (σ) แสดงได้ดังสมการที่ 2.2 [10] เมื่อ t_2 คือ ค่า mean silence interarrival time

$$\sigma = 1 - e^{-\frac{\tau}{t_2}} \quad (2.2)$$

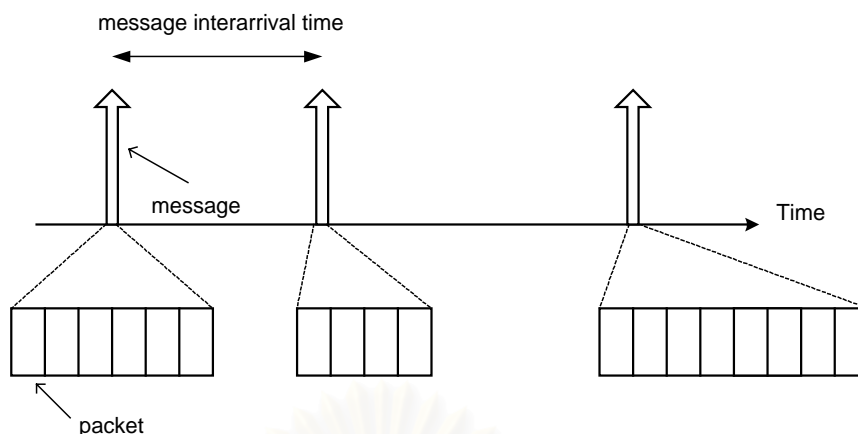
ในช่วงเงียบซึ่งอาจจะเป็นช่วงหยุดระหว่างประโยค, วลี หรือระหว่างพยางค์ จะถือว่าไม่มีการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียงของผู้ใช้ โดยทั่วไปจะพบว่าในตลอดระยะเวลาการสนทนาจะเป็นช่วงเงียบประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาทั้งหมด [11] ดังนั้นเพื่อให้การใช้โหมดีสล็อตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อผู้ใช้เข้าสู่ช่วงเงียบก็จะปล่อยโหมดีสล็อตที่ยึดครองไว้ในช่วงสนทนาให้เป็นอิสระ เพื่อให้ผู้ใช้คนอื่นสามารถมาใช้โหมดีสล็อตได้

สำหรับช่วงสนทนาจะมีการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียงอย่างต่อเนื่องเป็นคาบ ๆ ดังนั้นระบบควรจัดสรรโหมดีสล็อตให้แก่ผู้ใช้เสียงให้มีลักษณะเป็นคาบเช่นกัน โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางโดยทั่วไปจะกำหนดขนาดของเฟรมให้เท่ากับช่วงเวลาในการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียง (Voice packet generation period) ทำให้สถานีฐานสามารถจัดสรรโหมดีสล็อตให้แก่ผู้ใช้เสียง 1 สล็อต/เฟรม โดยถ้าผู้ใช้สามารถร้องขอโหมดีสล็อตได้สำเร็จและสามารถส่งแพ็กเก็ตแรกได้แล้ว ทางสถานีฐานก็จะจองโหมดีสล็อตนั้นในเฟรมถัดไปให้ทันทีโดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องร้องขอโหมดีสล็อตใหม่ จนกว่าผู้ใช้จะส่งแพ็กเก็ตเสียงในช่วงสนทนาเสร็จ

เนื่องจากข้อมูลเสียงเป็นทราฟฟิกที่ต้องการการส่งแบบทันทีทันใด ดังนั้นแพ็กเก็ตเสียงที่ไม่สามารถส่งได้ภายในเวลาที่กำหนด (ในการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียงเท่ากับ 32 มิลลิวินาที) [2] จะถูกละทิ้งไป ดังนั้นในการวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง จะพิจารณาจากความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง ซึ่งความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงที่ระบบยอมรับได้จะต้องมีค่าไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ [1]

2.2.2 ข้อมูลดาตา

ข้อมูลดาตาจะมีลักษณะเป็นแบบเบิรสต์ โดยที่ข่าวสารแต่ละชุด (message) จะประกอบด้วยแพ็กเก็ตดาตาจำนวนหนึ่งตามรูปที่ 2.5 และเมื่อผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารก็จะต้องแบ่งข่าวสารให้อยู่ในรูปของแพ็กเก็ตก่อนที่จะส่ง



รูปที่ 2.5 รูปแบบการกำหนดแพ็กเก็ตเกิดดาตา

ข้อมูลดาตาจะมีความแตกต่างกับข้อมูลเสียง [1,11] เนื่องจากข้อมูลดาตาสามารถที่จะทนต่อเวลาประวิงได้ ในขณะที่ต้องการความถูกต้องในการส่งข้อมูลสูง สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ได้แก่ เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเกิดดาตา

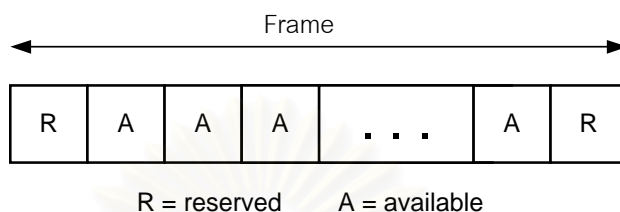
ในส่วนถัดไปจะขอกกล่าวถึงโครงสร้างตลอดจนการทำงานของโพรโทคอล PRMA ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพัฒนาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาโดยอาศัยพื้นฐานของโพรโทคอลชนิดนี้ ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล PRMA จะมีโครงสร้างและการทำงานที่ค่อนข้างเรียบง่าย ทำให้ต้นทุนของอุปกรณ์โครงข่ายมีราคาค่อนข้างถูก นอกจากนี้ยังสามารถนำโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้กับระบบที่มีความจุสูงขึ้นในอนาคตได้

2.3 โพรโทคอล Packet Reservation Multiple Access (PRMA)

D.J. Goodman ได้นำเสนอโพรโทคอลสำหรับรองรับบริการเสียง PRMA [2] ซึ่งจัดว่าเป็นโพรโทคอลที่มีพื้นฐานอยู่บนระบบ TDMA แต่จะมีการนำหลักการของการแข่งขันในการเข้าใช้ไทม์สล็อตมาประยุกต์ใช้เข้ากับโพรโทคอล TDMA เดิม เพื่อช่วยขจัดปัญหาการสูญเสียทรัพยากรไปในขณะที่ผู้ใช้ไม่มีความต้องการจะส่งข้อมูล

สำหรับการทำงานของโพรโทคอล PRMA นี้ จะประกอบด้วยไทม์สล็อตเช่นเดียวกับโพรโทคอล TDMA โดยที่ไทม์สล็อตจำนวนหนึ่งจะถูกจัดรวมกันอยู่ในรูปของเฟรม ทั้งนี้ขนาดของเฟรมแต่ละเฟรมจะมีค่าเท่ากับอัตราการทำเนิดแพ็กเก็ตเกิดเสียง เพื่อให้แพ็กเก็ตเกิดเสียงมีอัตราการทำเนิดแพ็กเก็ตคงที่คือเท่ากับ 1 แพ็กเก็ต/เฟรม

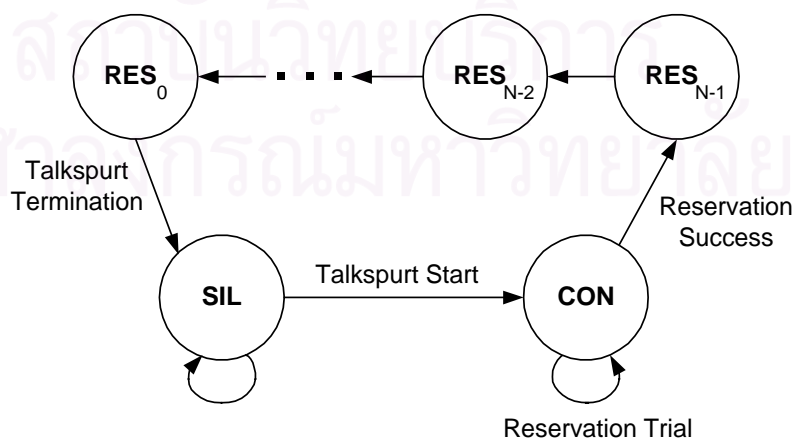
โทรม์สล็ตแต่ละสล็ตจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งระหว่างสถานะจอง (reserved) และสถานะว่าง (available) โดยสถานะพื้นฐานจะแพร่กระจาย (broadcast) สถานะของโทรม์สล็ตแต่ละสล็ตให้แก่ผู้้ใช้ผ่านระบบเชื่อมโยงขาลงที่ตอนท้ายของแต่ละโทรม์สล็ต รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA

เมื่อผู้้ใช้พบว่า มีโทรม์สล็ตที่อยู่ในสถานะว่าง ผู้้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งข้อมูลก็จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของตนไปเพื่อร้องขอโทรม์สล็ตโดยใช้วิธี S-Aloha การที่ผู้้ใช้จะได้รับอนุญาตให้ส่งข้อมูลได้หรือไม่จะขึ้นอยู่กัค่า Transmission Permission Probability ของระบบ ซึ่งในกรณีที่มีผู้้ใช้มากกว่า 1 คน ร้องขอโทรม์สล็ตเดียวกันจะถือว่าเกิดการชนกันขึ้น และจะไม่มีผู้้ใช้คนใดได้ใช้โทรม์สล็ตนั้น

สำหรับการจัดสรรโทรม์สล็ตให้แก่ผู้้ใช้เสียงและผู้้ใช้ดาตาจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจกักราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันทั้งในแง่ของการทนต่อเวลาประวิงและลักษณะการกำเนิดแพ็กเก็ต ดังนั้นนอกจากระบบจะกำหนดให้ผู้้ใช้เสียงและผู้้ใช้ดาตามีค่า Transmission Permission Probability ที่แตกต่างกันแล้ว ลักษณะการจัดสรรโทรม์สล็ตก็จะแตกต่างกันด้วย รูปที่ 2.7 จะแสดงแบบจำลองของการจัดสรรโทรม์สล็ตให้แก่ผู้้ใช้เสียงของโพรโทคอล PRMA



รูปที่ 2.7 แบบจำลองของการจัดสรรโทรม์สล็ตให้แก่ผู้้ใช้เสียงของโพรโทคอล PRMA

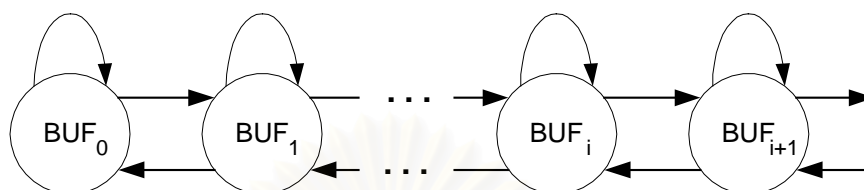
เมื่อผู้ใช้เสียงได้รับสัญญาณจากสถานีฐานว่าโทรมสล็อตอยู่ในสถานะว่างและขณะนั้นผู้ใช้เสียงเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบ (Silence :SIL) เข้าสู่ช่วงสนทนา (Talkspurt :TLK) จะถือว่าผู้ใช้เสียงนั้นอยู่ในสถานะการแข่งขัน (Contending :CON) ผู้ใช้เสียงนี้จะต้องส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังสถานีฐานเพื่อร้องขอโทรมสล็อตที่ว่างนี้ ผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จก็ต่อเมื่อผู้ใช้เสียงนี้ได้รับอนุญาตจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลโดยที่ไม่มีผู้ใช้คนอื่นได้รับอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในโทรมสล็อตเดียวกัน ในกรณีที่ผู้ใช้มากกว่า 1 คนส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมาเพื่อร้องขอโทรมสล็อตในสล็อตเดียวกัน จะถือว่าเกิดการชนกันและไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ หลังจากนั้นผู้ใช้เสียงจะส่งแพ็กเก็ตมาเพื่อร้องขอโทรมสล็อตใหม่อีกครั้งหลังจากการประวิงเวลาเป็นระยะหนึ่ง

เนื่องจากทราฟฟิกเสียงมีลักษณะการกำเนิดแพ็กเก็ตอย่างต่อเนื่องเป็นรายคาบในช่วงสนทนาและเป็นทราฟฟิกที่ต้องการการส่งแบบทันทีทันใด ดังนั้นเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ ก็จะได้รับอนุญาตให้จองโทรมสล็อตเพื่อส่งข้อมูลจนกว่าจะส่งข้อมูลได้หมดช่วงสนทนา โดยผู้ใช้จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะจอง (Reserved :RES) และสถานีฐานจะจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้เสียงคล้ายกับระบบ TDMA กล่าวคือ สถานีฐานจะจองโทรมสล็อตเดิมให้แก่ผู้ใช้เสียงในเฟรมถัด ๆ ไป เพื่อให้ผู้ใช้เสียงสามารถที่จะส่งแพ็กเก็ตเสียงได้จนกระทั่งหมดช่วงสนทนา โดยไม่ต้องร้องขอโทรมสล็อตใหม่ ในช่วงนี้สถานีฐานจะแพร่กระจายสถานะของโทรมสล็อตนี้ว่าเป็นสถานะจองเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้คนอื่นส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมาเพื่อร้องขอโทรมสล็อตในสล็อตนี้ และเมื่อสถานีฐานตรวจพบว่าไม่มีแพ็กเก็ตข้อมูลส่งมาในโทรมสล็อตที่อยู่ในสถานะจอง สถานีฐานก็จะทราบว่าคุณใช้นั้นเข้าสู่ช่วงเงียบ จากนั้นสถานีฐานก็จะแพร่กระจายสถานะของโทรมสล็อตนี้ว่าอยู่ในสถานะว่าง เพื่อให้ผู้ใช้คนอื่น ๆ ที่มีความต้องการจะส่งข้อมูลมาร้องขอโทรมสล็อตได้

อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ใช้เสียงไม่สามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จในช่วงระยะเวลาหนึ่งแพ็กเก็ตเสียงนั้นก็จะถูกทิ้งไป และผู้ใช้ก็จะใช้แพ็กเก็ตในลำดับถัดไปของช่วงสนทนามาร้องขอโทรมสล็อตใหม่ การสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงนี้จะทำให้คุณภาพของการบริการเสียงลดลง ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงที่ระบบยอมรับได้คือ 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการวัดสมรรถนะของระบบที่รองรับบริการเสียงจึงพิจารณาที่ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง

นอกจากนี้ โพรโทคอล PRMA สามารถที่จะรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้ แต่เนื่องจากผู้ใช้ดาตาสามารถทนเวลาประวิงได้ ระบบจึงไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จจองโทรมสล็อตเช่นเดียวกับผู้ใช้เสียง ทำให้ผู้ใช้ดาตาต้องร้องขอโทรมสล็อตทุกครั้งที่จะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต

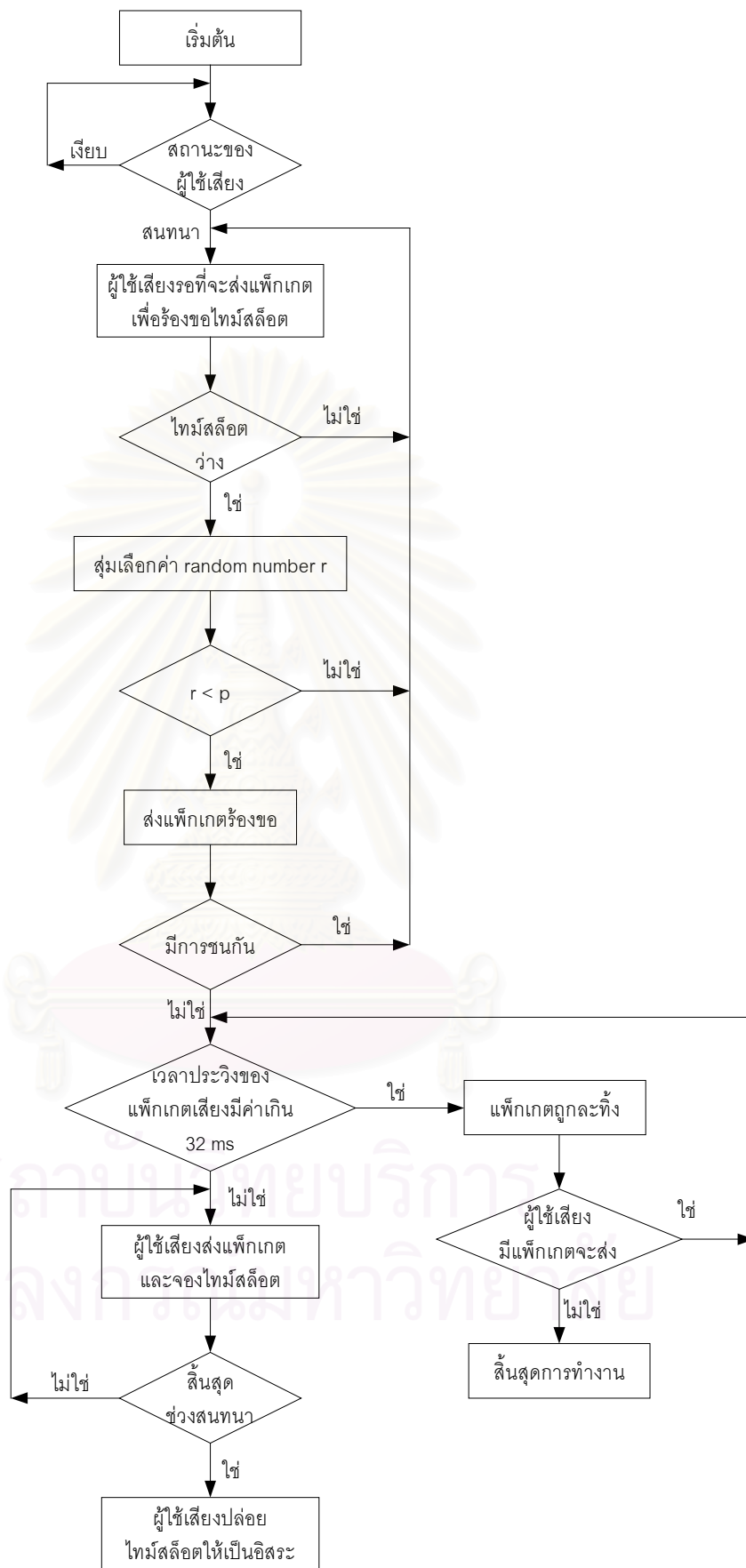
กำหนดให้ BUF_0 แทนสถานะของผู้ใช้ดาตาเมื่อผู้ใช้ดาตานั้นไม่มีแพ็กเกตดาตาภายในบัฟเฟอร์ และ BUF_i แทนสถานะของผู้ใช้ดาตาที่มีแพ็กเกตจำนวน i แพ็กเกตภายในบัฟเฟอร์ ในที่นี้จะสมมติให้ผู้ใช้ดาตาสามารถให้กำเนิดแพ็กเกตดาตาได้เพียง 1 แพ็กเกต/ไทม์สล็อต เราสามารถเขียนแบบจำลองของผู้ใช้ดาตาได้ดังรูปที่ 2.8



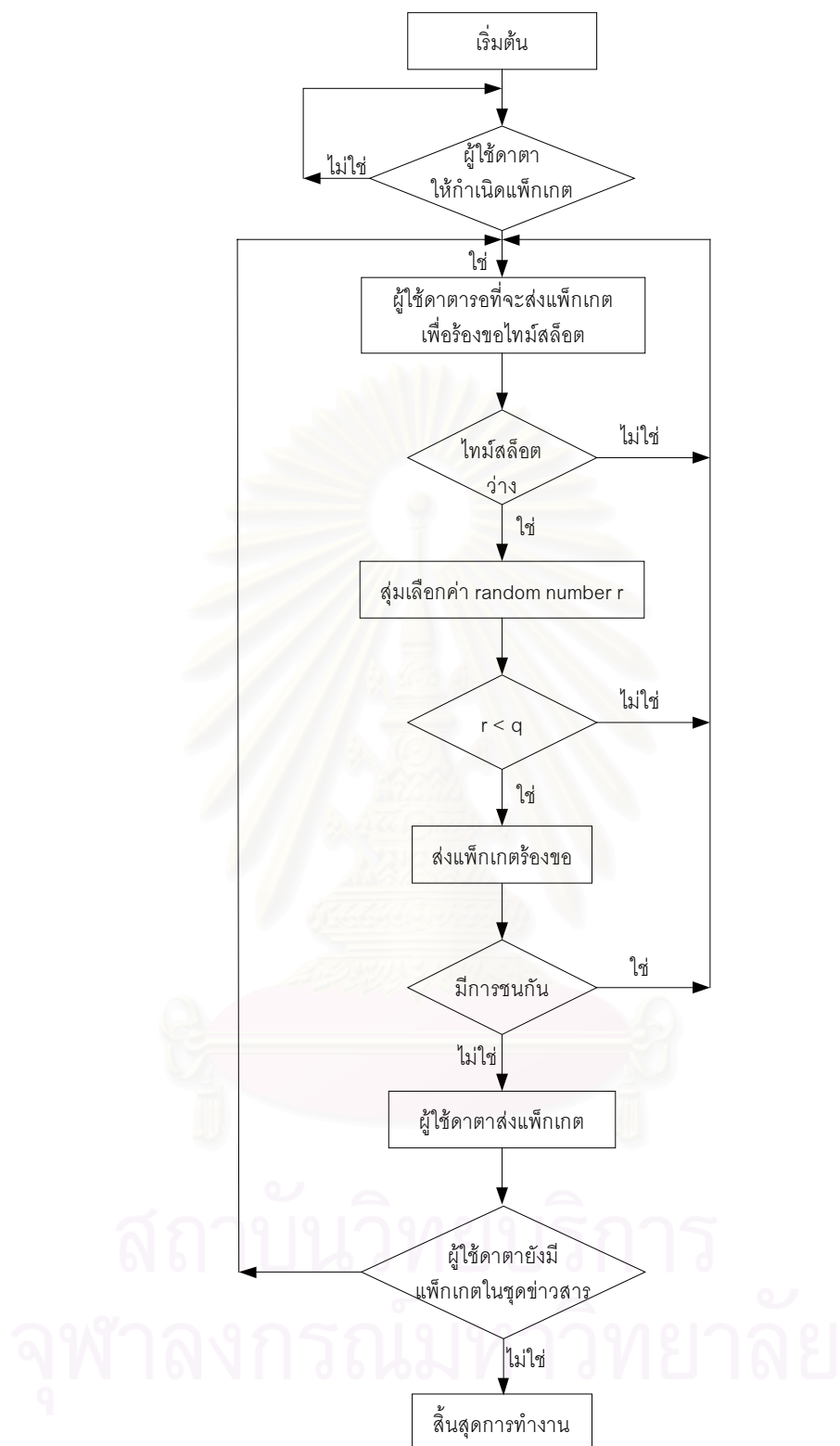
รูปที่ 2.8 แบบจำลองของผู้ใช้ดาตาในโพรโทคอล PRMA

จากรูปที่ 2.8 ผู้ใช้ดาตาจะอยู่ในสถานะ $BUF_i ; i \geq 0$ และในไทม์สล็อตถัดไปถ้าผู้ใช้ดาตานั้นให้กำเนิดแพ็กเกตใหม่และผู้ใช้ไม่สามารถที่จะร้องขอไทม์สล็อตเพื่อส่งแพ็กเกตที่อยู่ในบัฟเฟอร์ได้สำเร็จจะทำให้ผู้ใช้ดาตาเปลี่ยนไปอยู่สถานะ BUF_{i+1} แต่ถ้าในไทม์สล็อตถัดไปนั้นผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเกตได้สำเร็จและในไทม์สล็อตนั้นไม่มีการให้กำเนิดแพ็กเกตใหม่ ผู้ใช้ดาตาก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ BUF_{i-1}

แผนผังการทำงานของโพรโทคอล PRMA ของผู้ใช้เสียงและผู้ใช้ดาตาจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของ ผู้ใช้เสียงในโพรโทคอล PRMA



รูปที่ 2.10 แผนผังการทำงานของผู้ใช้คาดาทาในโพรโทคอล PRMA

บทที่ 3

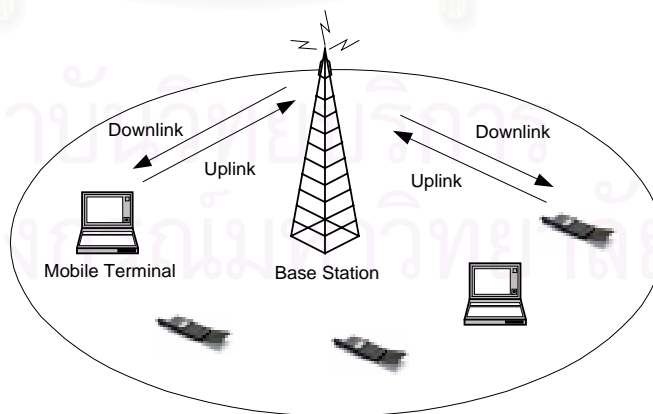
แบบจำลองพื้นฐานและวิธีการจำลองระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการจำลองระบบ เพื่อนำไปสู่การประเมินสมรรถนะของ โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ให้บริการของโครงข่ายที่มีอยู่เดิมและโพรโทคอลที่ ได้พัฒนาขึ้น โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะกล่าวถึงข้อกำหนดสมมติฐานโดย รวมตลอดจนแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองระบบ ส่วนที่สองได้แก่ค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการ พิจารณาสมรรถนะของระบบ และส่วนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองโพรโทคอล PRMA กับบทความอ้างอิง ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้จำลองขึ้น

3.1 ข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองระบบและวิเคราะห์

สำหรับข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองระบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมี ลักษณะโดยรวมดังต่อไปนี้

1. โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางจะทำงานในระบบ Frequency Division Duplex (FDD) สถานีฐานและผู้ใช้จะติดต่อกันผ่านระบบเชื่อมโยงขาขึ้น (Uplink) และระบบเชื่อมโยงขาลง (Downlink) โดยใช้ความถี่แยกจากกัน ทั้งนี้สถานีฐานจะแพร่กระจาย (broadcast) สัญญาณควบคุมและข่าวสารต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้ผ่านระบบเชื่อมโยงขาลง ในขณะที่ผู้ใช้จะส่งแพ็ก-เก็ตข้อมูลไปยังสถานีฐานผ่านระบบเชื่อมโยงขาขึ้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานในระบบสื่อสารไร้สาย

ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการส่งสัญญาณในระบบเชื่อมโยงขาขึ้นเท่านั้น เนื่องจากโดยปกติแล้วสถานีฐานสามารถที่จะควบคุมการทำงานของระบบเชื่อมโยงขาลง ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์

2. แพ็กเก็ตที่ส่งระหว่างผู้ใช้และสถานีฐานแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- แพ็กเก็ตข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แพ็กเก็ตดาตา (Data packet) และแพ็กเก็ตเสียง (Voice packet) ผู้ใช้จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังสถานีฐานผ่านไทม์สลิตต์ ไทม์สลิตต์แต่ละสลิตต์สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ครั้งละ 1 แพ็กเก็ต

- แพ็กเก็ตตอบรับ (Acknowledgement packet) สถานีฐานจะแพร่กระจายผลของการร้องขอไทม์สลิตต์ตลอดจนข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้ โดยการส่งแพ็กเก็ตตอบรับผ่านระบบเชื่อมโยงขาลง

3. สมมติว่าผู้ใช้สามารถได้รับสัญญาณตอบกลับเกี่ยวกับผลของการร้องขอไทม์สลิตต์ (Acknowledgement) จากทางสถานีฐานทันทีเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจส่งแพ็กเก็ตในสลิตต์ถัดไปโดยไม่คิดผลของเวลาประวิงการแพร่กระจาย (Propagation delay) ซึ่งจะเป็นจริงในกรณีของระบบสื่อสารไร้สายภาคพื้นดินที่เซลล์มีขนาดเล็กจนทำให้ค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายมีค่าต่ำพอเมื่อเทียบกับเวลาในการส่งแพ็กเก็ต (Packet Transmission time) จนสามารถละทิ้งได้

ตัวอย่างเช่น ในระบบสื่อสารไร้สายที่สถานีฐานมีรัศมีเป็น 200 เมตร ระบบมีอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ (R_c) เป็น 720 กิโลบิต/วินาที แพ็กเก็ตมีขนาด 576 บิต จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{เวลาในการส่งแพ็กเก็ต} &= 576/(720 \cdot 10^3) \\ &= 8 \cdot 10^{-4} \text{ วินาที} \\ \text{เวลาประวิงการแพร่กระจาย} &= 200/(3 \cdot 10^8) \\ &= 6.67 \cdot 10^{-7} \text{ วินาที} \end{aligned}$$

4. การทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอลจะไม่พิจารณาปัญหาที่เกิดจากการส่งผ่านแพ็กเก็ตผิดพลาดและปัญหาที่เกิดจากสัญญาณรบกวนภายนอก

5. กำหนดให้ผู้ใช้แต่ละคนมีบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่พอที่จะรองรับการกำเนิดแพ็กเก็ตโดยไม่คำนึงถึงการสูญเสียแพ็กเก็ตเนื่องจากบัฟเฟอร์เต็ม ดังนั้นในการพิจารณาการละทิ้งแพ็กเก็ตเสียงจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่แพ็กเก็ตเสียงนั้นไม่สามารถส่งผ่านจากผู้ใช้ไปยังสถานีฐานภายในเวลาที่กำหนดเท่านั้น

6. ผู้ใช้แต่ละคนให้กำเนิดทั้งแพ็กเก็ตเสียงและแพ็กเก็ตดาตา โดยระบบจะรองรับบริการเสียงและบริการดาตาของผู้ใช้แต่ละคนอย่างเป็นอิสระต่อกัน

7. ข้อมูลเสียงจะเกิดเป็นชุดลำดับของช่วงสนทนาและช่วงเงียบ โดยช่วงระยะเวลาของช่วงสนทนาและช่วงเงียบจะมีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย 1 และ 1.35 วินาทีตามลำดับ โดยที่อัตราการส่งข้อมูลเสียง (R_v) มีค่าเท่ากับ 32 กิโลบิต/วินาที

8. ช่วงระยะเวลาในการมาถึงระหว่างข้อความข่าวสารของผู้ใช้ดาตา (message arrival) จะมีการแจกแจงแบบปัวส์ซง โดยที่จำนวนแพ็กเก็ตดาตาในแต่ละข้อความข่าวสารจะมีการแจกแจงแบบ geometric และผู้ใช้แต่ละคนจะให้กำเนิดแพ็กเก็ตอย่างเป็นอิสระต่อกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาในการมาถึงระหว่างข้อความข่าวสารของผู้ใช้ดาตา อัตราการส่งข้อมูลดาตา (R_D) และความยาวข่าวสาร (message length : L_m) จะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3.1

$$\text{ช่วงระยะเวลาในการมาถึงระหว่างข้อความข่าวสาร} = \frac{\text{อัตราการส่งข้อมูลดาตา}}{\text{ความยาวข่าวสาร}} \quad (3.1)$$

เมื่อ ความยาวข่าวสาร (บิต) = จำนวนแพ็กเก็ต/ข่าวสาร \times ขนาดของแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต

3.2 การนำเสนอผลการจำลองระบบ

ในการนำเสนอผลการประเมินสมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง จะพิจารณาผลการประเมินในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)
2. ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง (Voice dropping probability)
3. ค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (Data packet delay)
4. จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้
5. ค่าความจุของระบบ (Capacity)

3.3 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ใช้อ้างอิง

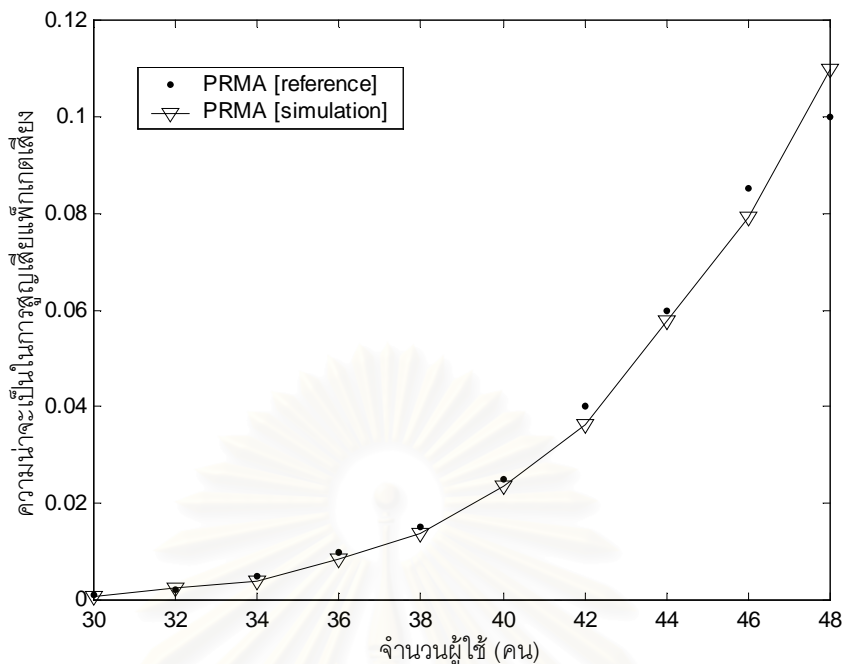
3.3.1 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง

การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA ที่ได้จำลองขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง จากโพรโทคอลที่ได้จำลองขึ้นเองเทียบกับค่าที่ได้จากบทความ [12] โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง

พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_C (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64
ข้อมูลเสียง	
R_V (กิโลบิต/วินาที)	32
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาสนทนา (วินาที)	1
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาเงียบ (วินาที)	1.35
เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียง (มิลลิวินาที)	32
Voice Permission Probability	0.3

จากผลการจำลองระบบจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง

3.3.2 การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

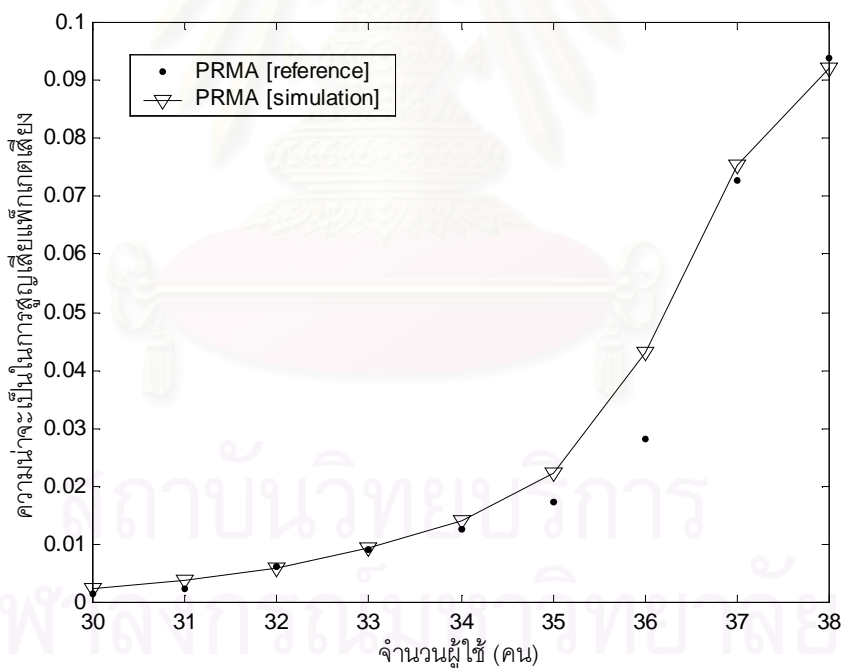
การประเมินผลความถูกต้องของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาจะจำลองระบบและเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา จากโพรโทคอลที่ได้จำลองขึ้นกับค่าที่ได้จากบทความ [13] โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

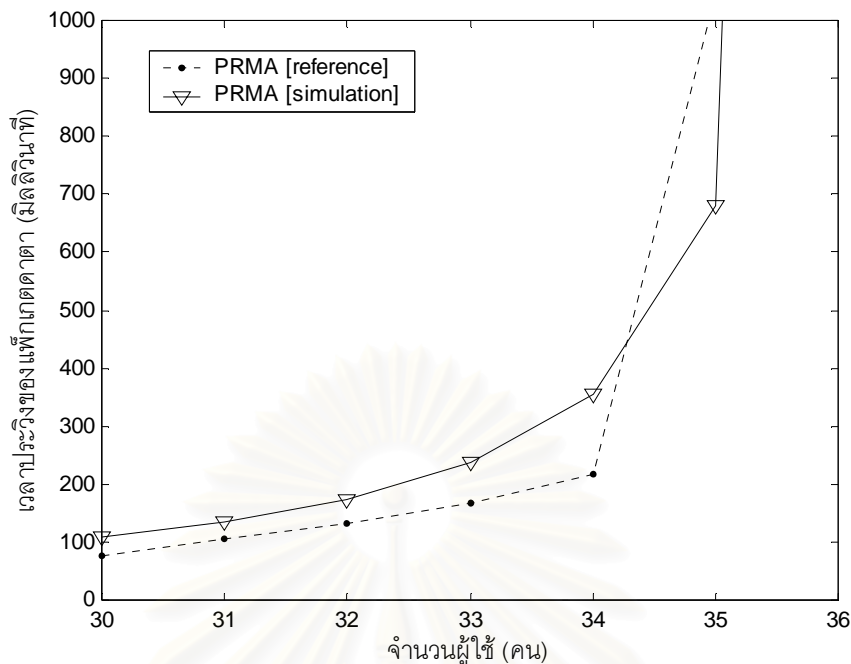
พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_c (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64

ข้อมูลเสียง	
R_V (กิโลบิต/วินาที)	32
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาสนทนา (วินาที)	1
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาเงียบ (วินาที)	1.35
เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียง (มิลลิวินาที)	32
Voice Permission Probability	0.3
ข้อมูลดาตา	
R_D (กิโลบิต/วินาที)	1.2
ค่าเฉลี่ยความยาวของแต่ละข่าวสาร (แพ็กเก็ต)	1
Data Permission Probability	0.045

จากผลการจำลองระบบจะได้อาจความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาดตามรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

3.3.3 การวิเคราะห์ผลความถูกต้องของโพรโทคอลที่ได้จำลองขึ้น

จากการเปรียบเทียบผลของการจำลองโพรโทคอล PRMA กับค่าที่ได้จากบทความอ้างอิงพบว่าแนวโน้มของผลการจำลองระบบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับค่าในบทความอ้างอิง จะมีสาเหตุมาจากการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่แตกต่างกัน ในที่นี้ได้ทดสอบโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียงเป็นระยะเวลา 4,000,000 ไทม์สล็อต ซึ่งเทียบเท่ากับระยะเวลาใช้งานจริงประมาณ 53 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยาวนานเพียงพอ ในขณะที่บทความอ้างอิง [12] ไม่ได้ระบุระยะเวลาในการจำลองระบบ ส่วนความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการทดสอบโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดานั้น อาจเกิดเนื่องจากการที่โพรโทคอล PRMA ในบทความ [13] ไม่ได้ระบุค่าของพารามิเตอร์เกี่ยวกับลักษณะการกำเนิดแพ็กเกตดาตา เช่น ความยาวของข่าวสารแต่ละข่าวสารไว้

บทที่ 4

การศึกษาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

4.1 บทนำ

จากบทที่ 3 ได้นำเสนอผลของการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียงเปรียบเทียบกับบทความ [12] และโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาเปรียบเทียบกับบทความ [13] โดยอาศัยค่าพารามิเตอร์เฉพาะที่กำหนดในบทความ [12] และบทความ [13] เท่านั้น ซึ่งเมื่อศึกษาลงในรายละเอียดจะพบว่าสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA มีความไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ และเนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โครงสร้างของโพรโทคอล PRMA สำหรับการพัฒนาโพรโทคอลเพื่อรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของระบบ

ในบทนี้ได้รวบรวมการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของโพรโทคอล PRMA ได้แก่ Voice Permission Probability (p), Data Permission Probability (q), ขนาดของแพ็กเกต, ความยาวเฟรม, ความยาวข่าวสาร ฯลฯ เพื่อให้เข้าใจขีดความสามารถตลอดจนข้อจำกัดของโพรโทคอล PRMA ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการรวมบริการเสียงและบริการดาตาลงในระบบได้

สำหรับการประเมินสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA จะพิจารณาจาก ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา, จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้, ค่าวิสัยสามารถและค่าความจุ โดยจะมีการนิยามค่าที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ดังนี้

ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียง (Voice dropping probability) คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนแพ็กเกตเสียงที่ถูกทิ้งไปกับจำนวนแพ็กเกตเสียงทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างเวลาการจำลองระบบ [14]

เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา (Data packet delay) คือค่าเฉลี่ยของระยะเวลาตั้งแต่แพ็กเกตดาตาถูกสร้างขึ้นในโครงข่ายจนกระทั่งระบบสามารถส่งแพ็กเกตดาตาได้สำเร็จ [15]

จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้ (Maximum number of simultaneous conversation : $M_{0.01}$) คือ จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้โดยที่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ [14]

ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) คือ อัตราส่วนของอัตราบิตข้อมูลที่ส่งได้ต่ออัตราบิตของช่องสัญญาณในช่วงเวลาของการจำลองระบบ [14]

ค่าความจุ (Capacity : η) คือ จำนวนผู้ใช้ที่ระบบสามารถรองรับได้ต่อ 1 ไทม์สล็อต เมื่อพิจารณาที่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ [1,14]

สำหรับระบบ TDMA เมื่อไม่คิดผลของโอเวอร์เฮดจะมีจำนวนของไทม์สล็อตในแต่ละเฟรมเท่ากับ R_C / R_V เมื่อ R_C คือ อัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ (Channel Rate) และ R_V คืออัตราการส่งข้อมูลเสียง (Voice coder Rate) ตัวอย่างเช่น ถ้าช่องสัญญาณมีอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณเท่ากับ 720 กิโลบิต/วินาที และอัตราการส่งข้อมูลเสียงเท่ากับ 32 กิโลบิต/วินาที จะได้จำนวนไทม์สล็อตในแต่ละเฟรมเป็น $720/32 = 22.5$ สล็อต ดังนั้นจะสามารถหาค่าความจุสูงสุดได้จากสมการที่ 4.1

$$\eta = \frac{M_{0.01}}{R_C / R_V} \quad \text{คน/ไทม์สล็อต} \quad (4.1)$$

ค่าความจุที่ได้จากสมการที่ 4.1 นี้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความจุที่ได้จากการทดสอบกับโปรแกรม Simulation เพื่อพิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมที่จะทำให้โพรโทคอล PRMA มีสมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดภายใต้สภาวะใดสภาวะหนึ่ง

ในส่วนถัดไปจะพิจารณาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เพื่อให้สามารถเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่สภาวะหนึ่ง ๆ ได้ ซึ่งในการทดสอบจะใช้เงื่อนไขที่ว่าโพรโทคอล PRMA จะต้องสามารถรองรับผู้ใช้ในเวลาหนึ่ง ๆ ได้เป็นจำนวนมากโดยที่ระบบจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ระบบยังจะต้องมีค่าวิสัยสามารถสูง และผู้ใช้งานสามารถที่จะส่งแพ็กเก็ตได้โดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่สูงเกินไปนัก

4.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

ในการศึกษาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA นั้น จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน โดยเริ่มจากระบบที่รองรับเฉพาะบริการเสียงเพียงอย่างเดียว จากนั้นจึงพิจารณาระบบที่รองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา การแยกพิจารณาเป็นกรณีเช่นนี้ช่วยให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบของบริการดาตาที่มีต่อบริการเสียงได้

4.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง

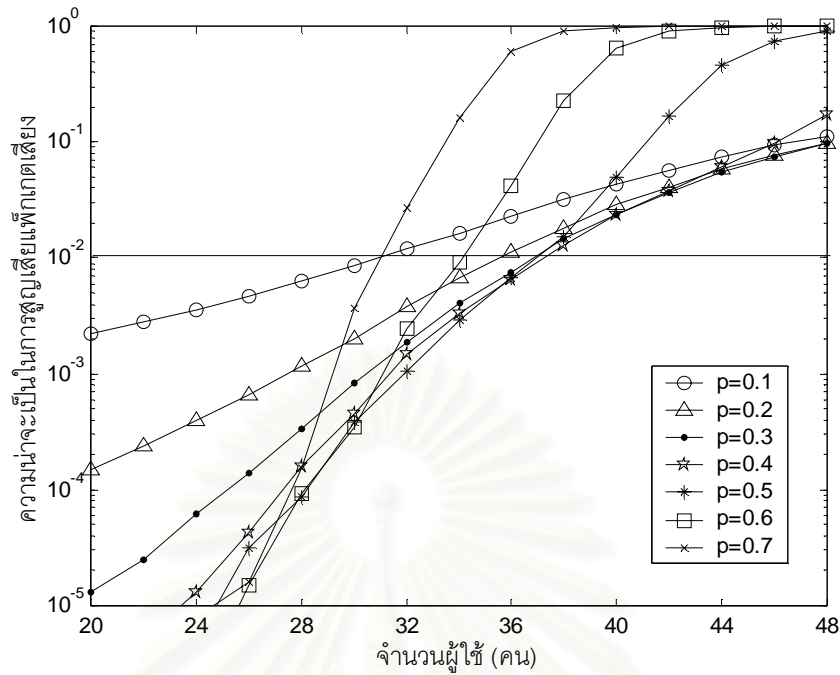
ในการวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง จะอาศัยแบบจำลองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง

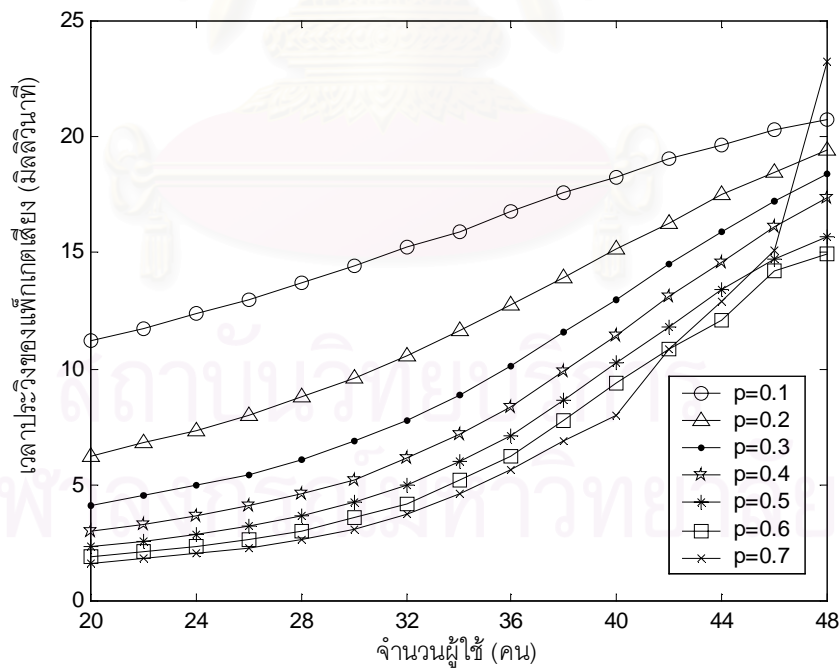
พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_C (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64
ข้อมูลเสียง	
R_V (กิโลบิต/วินาที)	32
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาสนทนา (วินาที)	1
ค่าเฉลี่ยช่วงระยะเวลาเงียบ (วินาที)	1.35
เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียง (มิลลิวินาที)	32

4.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของค่า Voice Permission Probability ที่มีต่อความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ผลของค่า Voice Permission Probability (p) ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่รองรับแต่บริการเสียงเท่านั้น เราจะแสดงผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียง ภายใต้อัตรา p ที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ และ 0.7



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ และ 0.7

เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ในระบบที่ค่า p ที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงจะมีค่าสูงขึ้นตาม ตัวอย่างเช่น เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 29 คน ระบบที่ใช้ค่า $p = 0.7$ จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงเกินค่าที่กำหนดไว้ และเมื่อผู้ใช้ในระบบมากกว่า 40 คน จะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามสถานการณ์นี้จะมีความรุนแรงน้อยลง เมื่อมีการใช้ค่า p ที่ต่างไป เช่น กรณีที่ใช้ค่า $p = 0.1$ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ระบบจะใช้ควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้ได้แก่ค่า p ซึ่งค่า p ที่ถูกนำมาใช้ในระบบจะมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

ในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิกมีค่าต่ำ ไทม์สล็อตส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง (available) ดังนั้นการเลือกค่า p ที่ต่ำเกินไปจะไม่เกิดประโยชน์ เพราะผู้ใช้จะไม่สามารถเข้าไปใช้ไทม์สล็อตที่ว่างนี้ได้ ในสถานะเช่นนี้ระบบจึงควรที่จะเลือกใช้ค่า p ที่สูง เพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าร้องขอไทม์สล็อตของผู้ใช้และทำให้ช่องสัญญาณมีการใช้งานได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ตาม การเลือกค่า p ที่สูงเกินไปจะทำให้แพ็กเก็ตที่ผู้ใช้ส่งไปเกิดการชนกัน และผู้ใช้ต้องไปร้องขอไทม์สล็อตใหม่จึงเป็นการสูญเสียแบนด์วิดท์ไปโดยเปล่าประโยชน์ โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง การเลือกค่า p สูง ๆ จะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ยกตัวอย่างเช่น เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อยกว่า 25 คน ระบบที่มี $p = 0.7$ จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงต่ำมาก แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น จะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 30 คน เนื่องจากเกิดการชนกันอย่างซ้ำแล้วซ้ำอีก และเมื่อผู้ใช้ในระบบมากกว่า 46 คน ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงจะมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งแสดงว่าแพ็กเก็ตเสี่ยงเกือบจะทั้งหมดถูกละทิ้ง ดังนั้นเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าเพิ่มขึ้น ระบบควรลดค่า p ลง เพื่อป้องกันไม่ให้อัตราการชนกันที่เข้าสู่ระบบในเวลาเดียวกันมีค่าสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการชนกัน

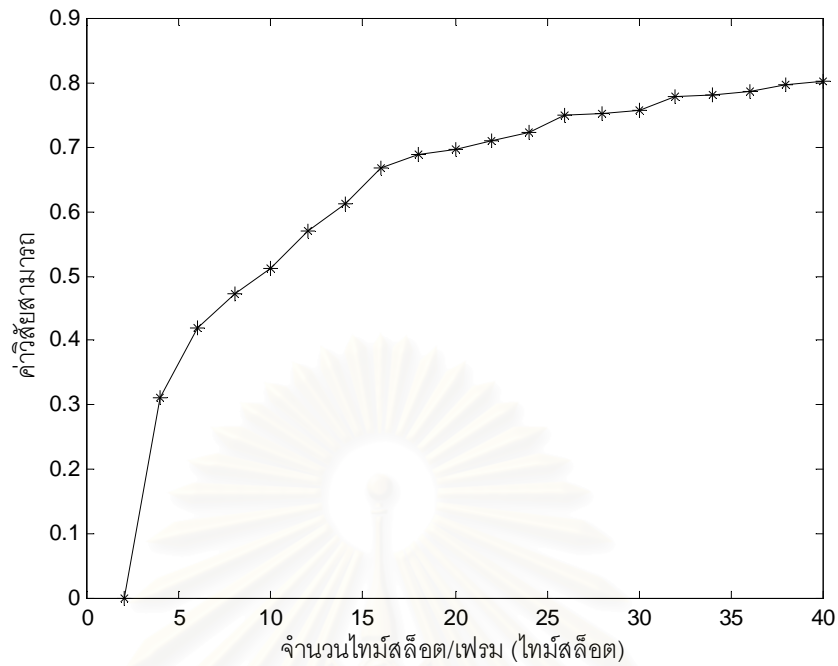
เมื่อพิจารณาเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสี่ยงในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าน้อย การเลือกค่า p ที่สูงขึ้นจะทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสี่ยงลดลง ดังนั้นผู้ใช้จะสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้เร็วขึ้นโดยไม่ต้องรออยู่ภายในบัฟเฟอร์โดยไม่จำเป็น ตัวอย่างเช่น ระบบที่ใช้ค่า $p = 0.7$ จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสี่ยงต่ำสุด แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่ง เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสี่ยงของระบบที่ใช้ค่า $p = 0.7$ จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกระหว่างผู้ใช้ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับกราฟรูปที่ 4.1

โดยสรุปแล้วจะเห็นว่า การเลือกค่า p ที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของโพรโทคอล ซึ่งควรจะเลือกค่า p ให้สอดคล้องกับสภาวะทราฟฟิกขณะนั้น โดยถ้าปริมาณทราฟฟิกมีค่าต่ำก็ควรเลือกค่า p ให้มีค่าสูง เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการส่งให้แก่ผู้ใช้ แต่ถ้าปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงควรจะลดค่า p ลง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตของผู้ใช้

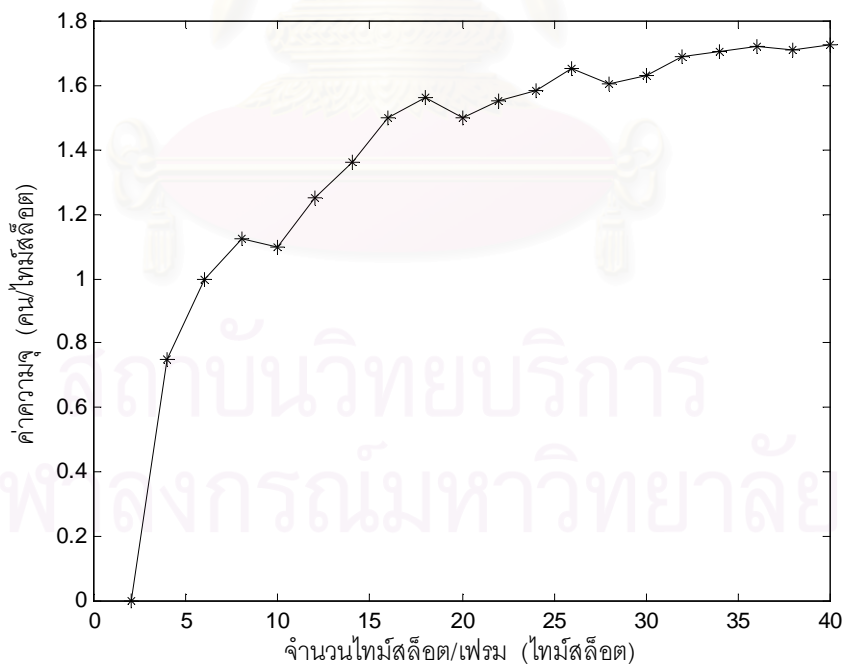
เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบ PRMA รองรับได้กับระบบ TDMA จะพบว่า ระบบ PRMA จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่า เช่น ที่ $p = 0.3$ ซึ่งเป็นค่า p ค่าหนึ่งที่ทำให้ผลการทำงานที่ดีภายใต้ปริมาณทราฟฟิกต่าง ๆ ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้สูงสุดถึง 36 คน และให้ค่า η เป็น $36/22.5 = 1.6$ คน/ไทม์สล็อต ในขณะที่ระบบ TDMA ที่ไม่มีโอเวอร์เฮดจะมีค่า η เพียง 1 คน/ไทม์สล็อต เท่านั้น

4.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและค่าความจุ

ในส่วนนี้จะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบและค่าความจุ η กับจำนวนไทม์สล็อตสัมพัทธ์ที่ไม่คิดผลของโอเวอร์เฮด ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนระหว่าง R_C / R_V เมื่อ R_V เท่ากับ 32 กิโลบิต/วินาที เฟรมมีขนาด 16 มิลลิวินาที ค่า R_C ที่ใช้อยู่ระหว่าง 64 กิโลบิต/วินาที (2 ไทม์สล็อตสัมพัทธ์) ถึง 1.28 เมกกะบิต/วินาที (40 ไทม์สล็อตสัมพัทธ์) ซึ่งจะได้ผลของค่าวิสัยสามารถและค่าความจุในรูปแบบที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนโหนดสล็อต/เฟรมของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุกับจำนวนโหนดสล็อต/เฟรมของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า เมื่อจำนวนไทม์สล롯/เฟรมมีค่าน้อย โอกาสที่ผู้ที่มีความต้องการจะส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันจะมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันและทำให้ค่าวิสัยสามารถและค่า η มีค่าต่ำ แต่เมื่อจำนวนไทม์สลอต/เฟรมมีค่าเพิ่มขึ้น ผู้ใช้ก็จะมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สลอตได้สำเร็จมากขึ้น ทำให้ค่าวิสัยสามารถและค่า η เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า โพรโทคอล PRMA จะมีค่า η มากกว่า 1 เมื่อจำนวนไทม์สลอต/เฟรมมากกว่า 6 ไทม์สลอต หรือเมื่อ R_c มีค่าสูงกว่า 192 กิโลบิต/วินาที

การที่โพรโทคอล PRMA จะสามารถให้ค่า η ที่มากกว่าหนึ่ง และมีค่า η เพิ่มขึ้นตามอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ เนื่องจากโพรโทคอล PRMA มีการใช้อุปกรณ์ Speech Activity Detector (SAD) ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำให้สถานีฐานสามารถจัดสรรไทม์สลอตในช่วงที่ผู้ใช้ไม่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้รายอื่นได้ โดยจะทำให้โพรโทคอล PRMA ทำงานเหมือนกับเป็น statistical multiplexer [16] กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้คนใดเข้าสู่ช่วงเงียบผู้ใช้นั้นก็จะปล่อยไทม์สลอตที่ยึดครองอยู่ในช่วงสนทนาให้เป็นอิสระเพื่อให้ผู้ใช้คนอื่นที่อยู่ในช่วงสนทนามาใช้ไทม์สลอตได้ ทำให้ไทม์สลอตถูกใช้ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ ค่า η และค่าวิสัยสามารถมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับระบบ TDMA แบบดั้งเดิมที่ไม่มีการนำเอา SAD มาใช้ อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนไทม์สลอตมีค่าเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง ค่าวิสัยสามารถและค่า η จะค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากขณะนั้นไทม์สลอตถูกใช้อย่างเต็มสมรรถนะแล้ว

ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาช่วงสนทนาเป็น 1 วินาที และค่าเฉลี่ยของระยะเวลาเงียบเป็น 1.35 วินาที จะได้ค่า speech activity factor เป็น $1/(1+1.35)$ หรือเท่ากับ 0.426 ดังนั้นค่า η และค่าวิสัยสามารถสูงสุดควรจะมีค่าเท่ากับ $10/0.426 = 2.36$ คน/ไทม์สลอต และ 1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าในอุดมคติเมื่อระบบมีการ multiplex อย่างสมบูรณ์และภายในแต่ละไทม์สลอตมีการส่งแพ็กเก็ตของผู้ใช้ตลอดเวลา แต่เมื่อพิจารณาผลของการจำลองการทำงานของโพรโทคอล PRMA ในรูปที่ 4.3 และ 4.4 แล้ว พบว่าค่า η และค่าวิสัยสามารถไม่สามารถมีค่าตามอุดมคติได้ ทั้งนี้เนื่องมาจาก

- การเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตของผู้ใช้ ทำให้ไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถเข้าใช้ไทม์สลอตได้ ส่งผลให้ไทม์สลอตนี้ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์
- การสูญเสียไทม์สลอตเมื่อแพ็กเก็ตสุดท้ายของช่วงสนทนาถูกส่งไปแล้ว ก่อนที่สถานีฐานจะตรวจพบว่าไม่มีแพ็กเก็ตส่งมาในไทม์สลอตที่ผู้ใช้เสียงจางอยู่ จากนั้นสถานีฐานจะปล่อยไทม์สลอตให้เป็นอิสระ

- การสูญเสียทรัพยากรบางส่วนสำหรับส่วนของโอเวอร์เฮดของแต่ละแพ็คเกจ

4.2.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

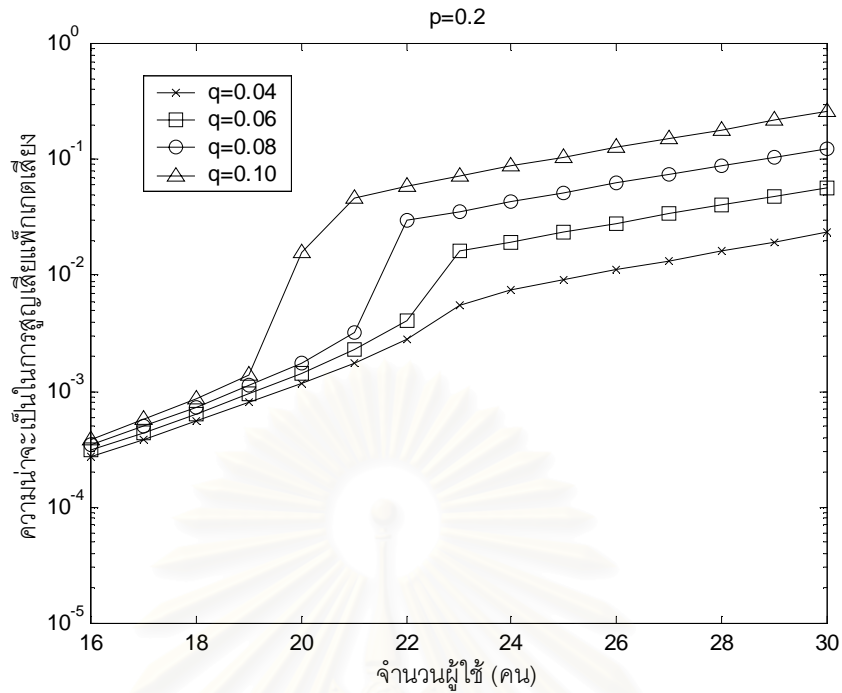
ในการวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาจะถือว่าผู้ใช้แต่ละคนสามารถให้กำเนิดทั้งแพ็คเกจเสียงและแพ็คเกจดาตา ในที่นี้จะอาศัยแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

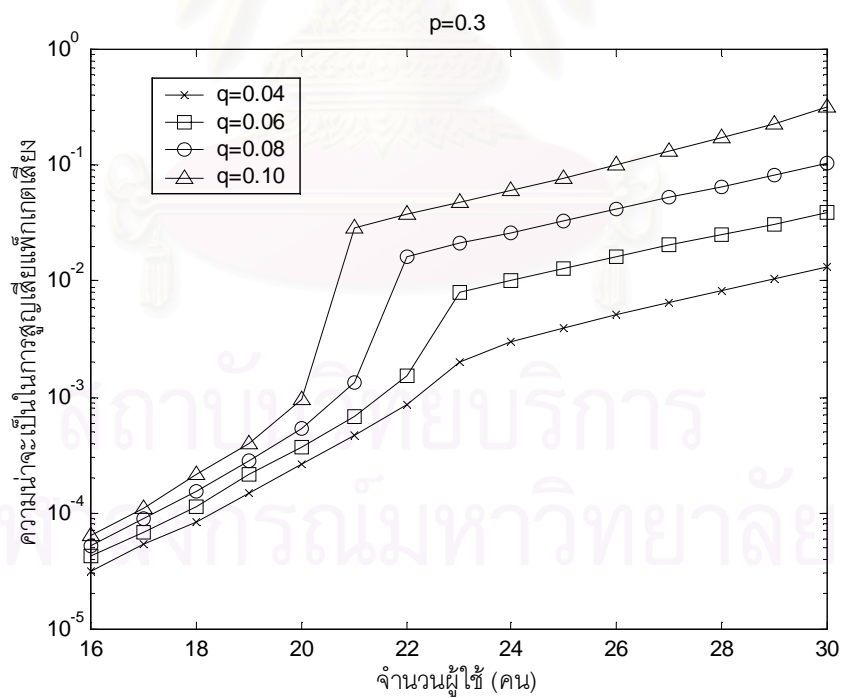
พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_c (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64
ข้อมูลเสียง	
R_v (กิโลบิต/วินาที)	32
เวลาประวิงสูงสุดของแพ็คเกจเสียง (มิลลิวินาที)	32
ข้อมูลดาตา	
R_d (กิโลบิต/วินาที)	5.12
ค่าเฉลี่ยความยาวของแต่ละข่าวสาร (แพ็คเกจ)	5

4.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของค่า Data Permission Probability ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

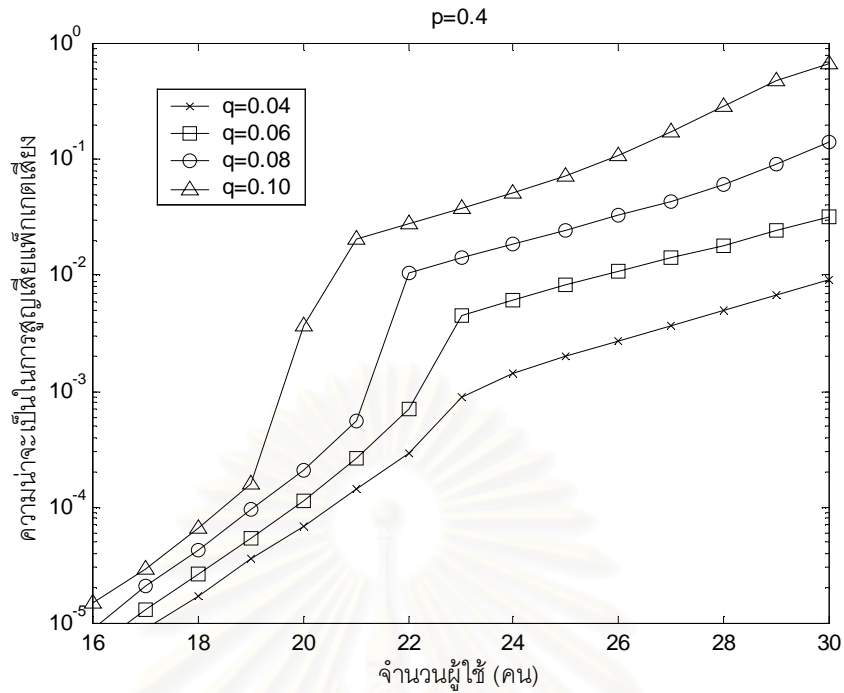
ในส่วนนี้จะพิจารณาผลของค่า Data Permission Probability (q) ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อปรับค่า p และ q ด้วยค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียง, เวลาประวิงของแพ็คเกจดาตาและค่าวิสัยสามารถ ตามรูปที่ 4.5-4.13



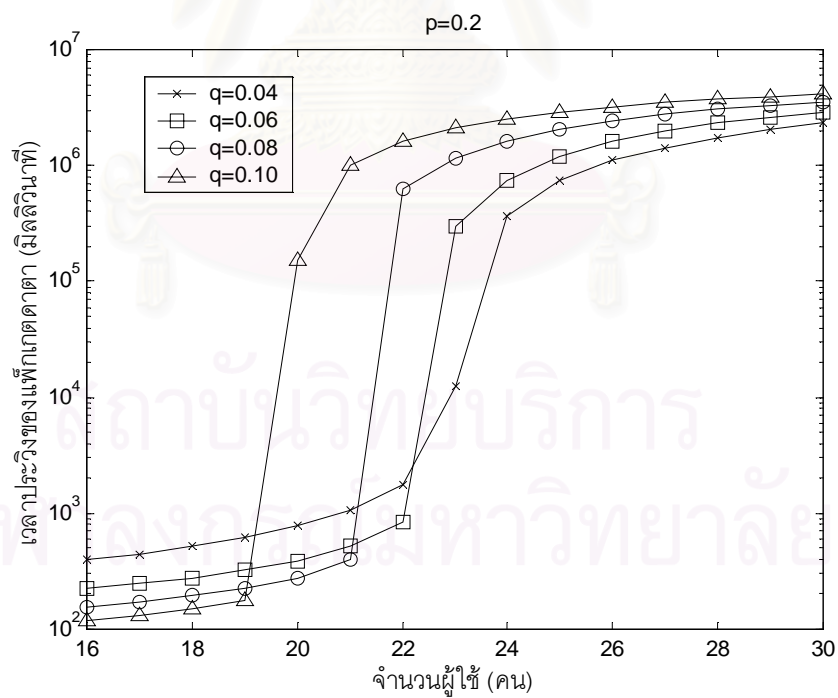
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



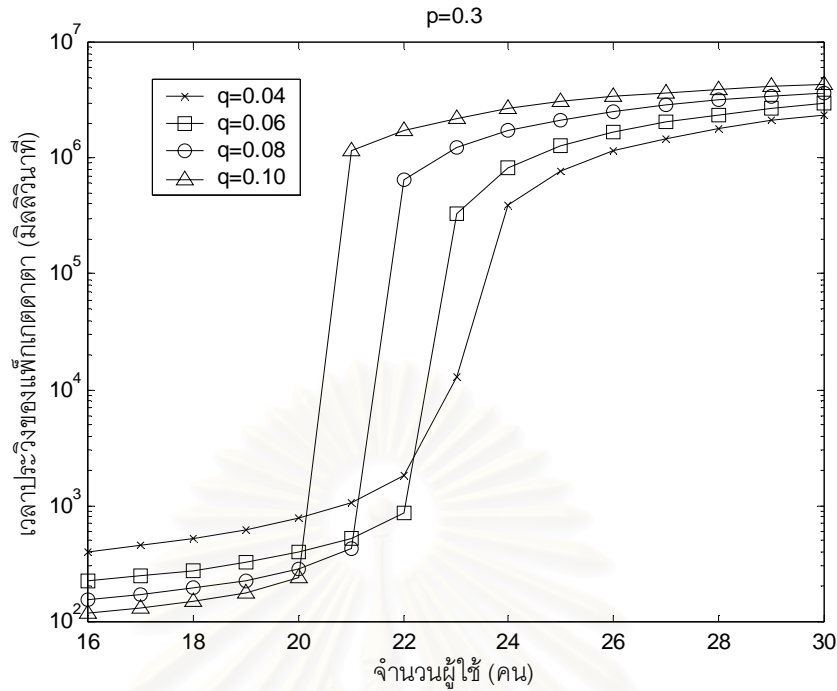
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



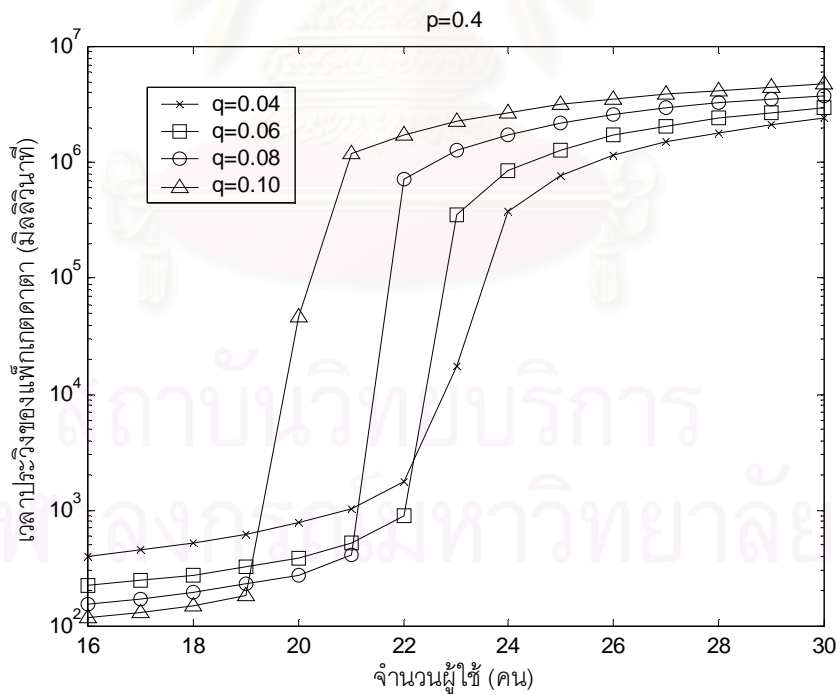
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



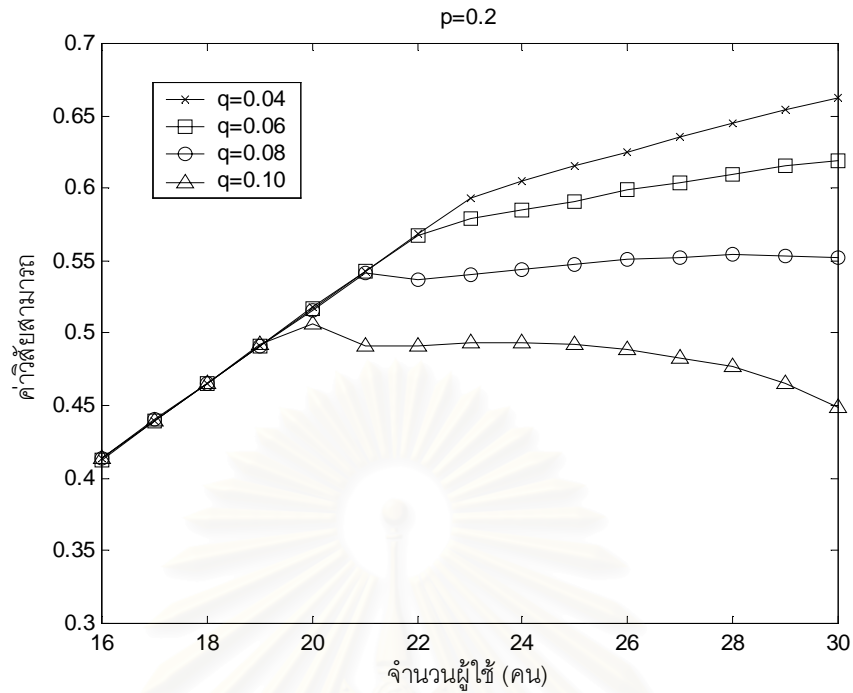
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเกิดดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



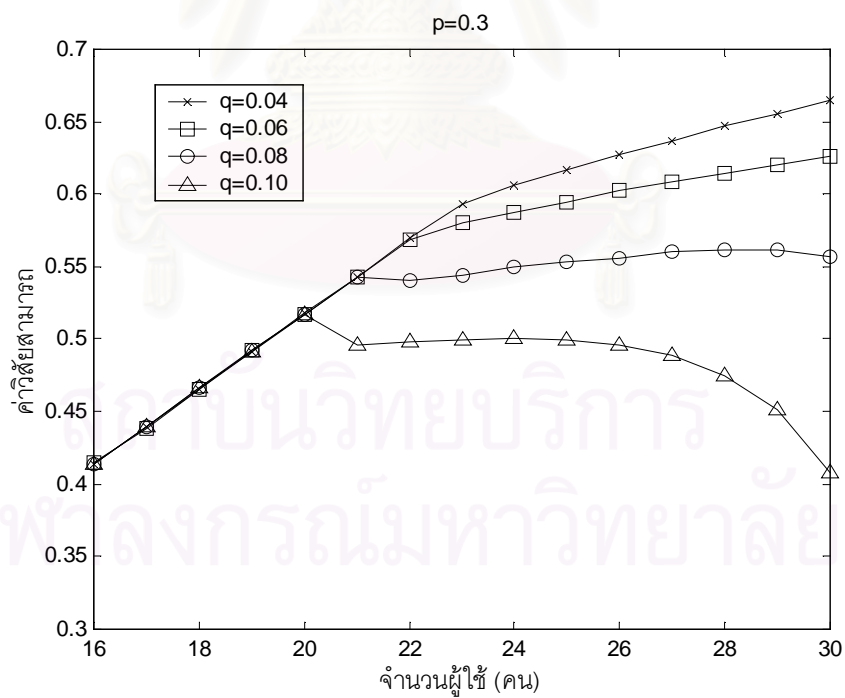
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



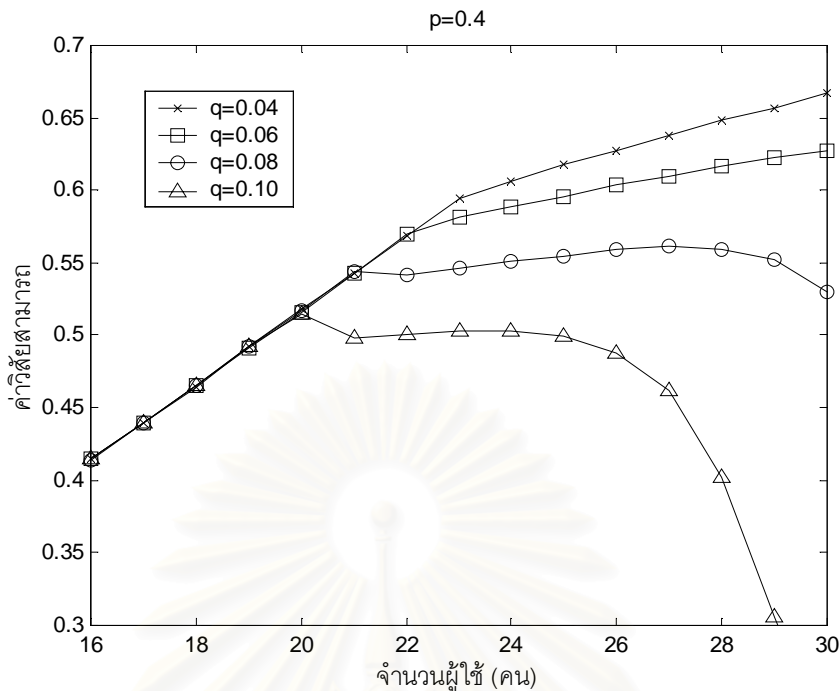
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$ $q = 0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10

เมื่อพิจารณาผลกระทบของค่า q ที่มีต่อความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของระบบที่มีค่า p คงที่ในรูปที่ 4.5-4.7 พบว่าค่าที่ได้จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-19 คน) ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของระบบที่มีค่า q ที่ต่างกัน จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าการเพิ่มค่า q ในระบบจะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากที่สภาวะทราฟฟิกเบาบางเช่นนี้ โอกาสที่ผู้ใช้แต่ละคนจะร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จจะมีค่าสูง โดยเฉพาะระบบที่มีค่า q สูงนั้น ผู้ใช้ดาตาจะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ดาตาไปแย่งโทรมส์ลิตต์จากผู้ใช้เสียงส่งผลให้จำนวนโทรมส์ลิตต์ที่ว่างที่จะรองรับผู้ใช้เสียงลดลง แต่เนื่องจากผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้เพียงครั้งละหนึ่งแพ็กเก็ตเท่านั้นโดยที่ผู้ใช้ดาตาจะไม่สามารถจองโทรมส์ลิตต์ได้ ทำให้การเพิ่มผู้ใช้ดาตาเข้ามาในระบบไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงมากนัก ในทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาระบบที่มีค่า q คงที่ค่าหนึ่ง แล้วเพิ่มค่า p จะพบว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 18 คน ระบบที่ใช้ค่า $p = 0.2$ จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเท่ากับ 0.000633 ในขณะที่ระบบที่ใช้ค่า $p = 0.4$ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลงเหลือเพียง 0.000027 เท่านั้น ทั้งนี้การเลือกค่า p ที่สูงขึ้นจะทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จมากขึ้น ซึ่งเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอ

โทรมส์ล็ตได้สำเร็จ ก็ส่งแพ็กเกตที่เหลือในลักษณะของการจอง ทำให้โอกาสที่แพ็กเกตเสียจะถูกชะทิ้งลดลง

อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น การเพิ่มค่า q ในระบบจะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับระบบที่มีค่า q ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวจะมีปริมาณการร้องขอเป็นจำนวนมาก ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง ดังนั้นการเลือกค่า q ที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกระหว่างผู้ใช้งานดาตาและผู้ใช้เสียง ทำให้ไม่มีผู้ใดสามารถร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จ และสถานการณ์นี้จะมี ความรุนแรงมากยิ่งขึ้นในระบบที่มีการเลือกค่า p ที่สูง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.7 ว่า ระบบที่มีค่า $p = 0.4$ และ $q = 0.10$ จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากกว่า 21 คน

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาในรูปที่ 4.8-4.10 พบว่าการเลือก q ที่สูงขึ้น จะทำให้ผู้ใช้งานดาตามีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาลดลง แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง การเลือกค่า q ที่สูง จะทำให้ผู้ใช้งานดาตาจำนวนมากได้รับอนุญาตจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเกตในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง และเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 4.11-4.13 พบว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าน้อยถึงปานกลาง การเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานในระบบ จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น โดยที่ค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีค่า q ที่แตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะขณะที่ปริมาณทราฟฟิกมีค่าไม่สูงนัก ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จสูง ดังนั้นการที่ผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น จะทำให้โทรมส์ล็ตถูกใช้งานมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง ทั้งนี้เนื่องจากจะเกิดการชนกันทำให้ไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้โทรมส์ล็ตได้ โดยเฉพาะระบบที่มีค่า q สูง ๆ ซึ่งโอกาสที่จะเกิดการชนกันมีมากกว่า

ในส่วนถัดไป จะศึกษาถึงสมรรถนะของระบบที่มีการแปรเปลี่ยนค่า p และ q ที่ต่างกัน เพื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดที่ระบบรองรับได้ ($M_{0.01}$) โดยจะแสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสีย, เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา และค่าวิสัยสามารถ ดังตารางที่ 4.3-4.5

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.2$

q	$M_{0.01}$	ความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
0.04	25	0.009170	735682.090	0.615302
0.05	23	0.008589	20019.318	0.591213
0.06	22	0.004123	859.626	0.567643
0.07	21	0.002638	430.228	0.541886
0.08	21	0.003262	400.866	0.542014
0.09	20	0.002082	250.837	0.516768
0.10	19	0.001339	177.114	0.491244
0.11	19	0.001568	164.739	0.491400
0.12	18	0.001013	124.988	0.465291
0.13	18	0.001133	116.810	0.465258
0.14	17	0.000758	93.360	0.439390
0.15	17	0.000815	87.558	0.439348
0.16	17	0.000944	84.447	0.429083
0.17	16	0.000608	68.981	0.414081
0.18	16	0.000670	65.925	0.414083
0.19	15	0.000446	56.014	0.388729
0.20	15	0.000478	53.253	0.388262

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.3$

q	$M_{0.01}$	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
0.04	28	0.008355	909398.498	0.646838
0.05	26	0.009343	672526.826	0.617119
0.06	23	0.007822	168509.657	0.580750
0.07	22	0.005066	30177.155	0.563967
0.08	21	0.001289	426.556	0.543452
0.09	20	0.000709	255.150	0.517835
0.10	20	0.000961	246.552	0.513496
0.11	19	0.000496	162.069	0.491281
0.12	18	0.000287	126.176	0.465591
0.13	18	0.000350	117.281	0.462154
0.14	17	0.000202	94.026	0.440021
0.15	17	0.000247	88.940	0.438612
0.16	17	0.000300	84.436	0.436239
0.17	16	0.000162	69.113	0.414137
0.18	16	0.000187	65.684	0.409426
0.19	16	0.000223	63.105	0.400441
0.20	15	0.000131	53.596	0.388234

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $p = 0.4$

q	$M_{0.01}$	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
0.04	30	0.009056	2396199.729	0.666609
0.05	25	0.004184	947727.192	0.609889
0.06	24	0.006049	848309.290	0.588010
0.07	23	0.008218	769514.694	0.564861
0.08	21	0.000574	411.242	0.542904
0.09	20	0.000299	255.881	0.517813
0.10	19	0.000149	179.872	0.492125
0.11	19	0.000210	165.912	0.491701
0.12	18	0.000108	126.187	0.465452
0.13	18	0.000135	117.346	0.465741
0.14	17	0.000070	93.752	0.439481
0.15	17	0.000092	88.674	0.439926
0.16	17	0.000119	84.010	0.430932
0.17	16	0.000063	69.585	0.414562
0.18	16	0.000075	66.206	0.406914
0.19	15	0.000040	55.905	0.388207
0.20	15	0.000057	53.881	0.386594

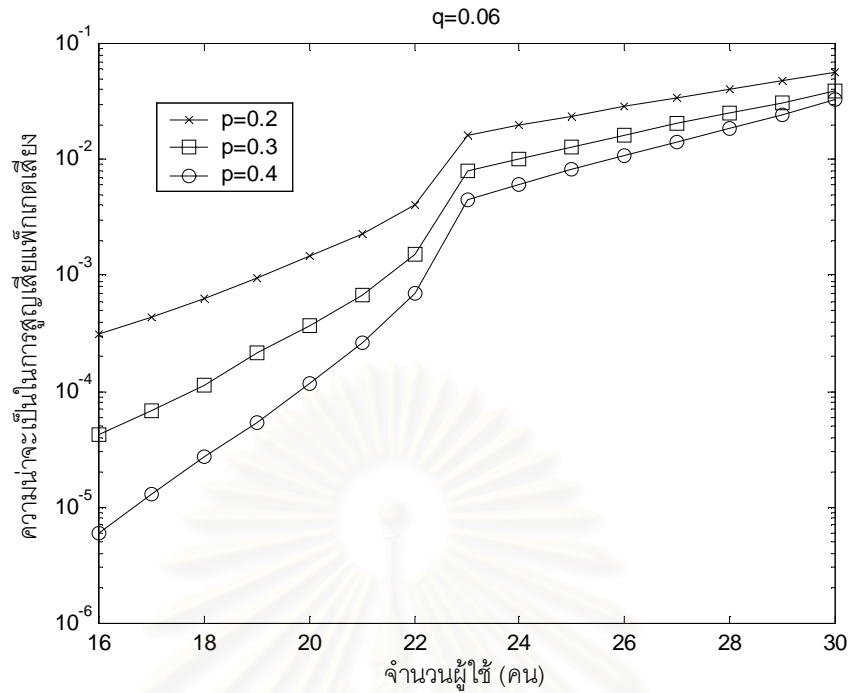
ในการพิจารณาจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้ จะพิจารณาจากความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่ระบบเพิ่มค่า p และลดค่า q จะทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.5 ว่าระบบที่ใช้ค่า $p = 0.4$ และ $q = 0.04$ จะรองรับผู้ใช้ได้สูงสุดถึง 30 คน อย่างไรก็ตาม การลดค่า q จะส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติจะมีการกำหนดให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกินค่า ๆ หนึ่งที่ผู้ใช้อยอมรับได้

ดังนั้นจะพิจารณาหาจำนวนผู้ใช้ที่ระบบสามารถรองรับได้ ภายใต้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที ซึ่งได้แสดงผลดังตารางที่ 4.6

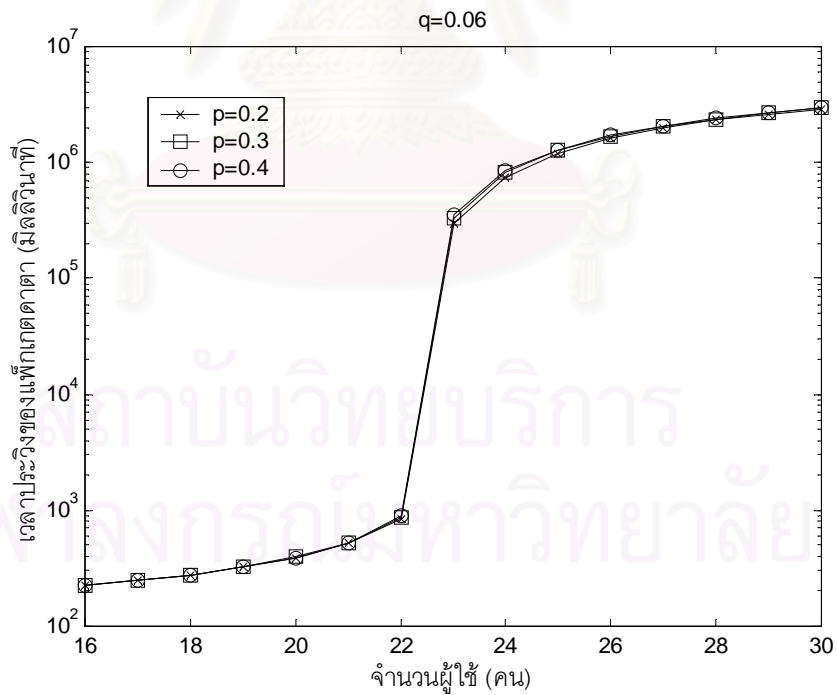
ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ค่า p และ q ต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที

p	q	จำนวนผู้ใช้	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
0.2	0.04	20	0.001166	781.316157	0.517733
0.2	0.06	22	0.004086	850.277576	0.567586
0.2	0.08	21	0.003246	393.170206	0.541602
0.2	0.10	19	0.001386	178.235260	0.491839
0.3	0.04	20	0.000261	776.721081	0.517684
0.3	0.06	22	0.001538	876.465758	0.568478
0.3	0.08	21	0.001318	426.586502	0.543366
0.3	0.10	20	0.000955	243.663187	0.516928
0.4	0.04	20	0.000069	780.535248	0.518160
0.4	0.06	22	0.000695	906.856870	0.569555
0.4	0.08	21	0.000564	408.496384	0.543529
0.4	0.10	19	0.000162	182.028426	0.492243

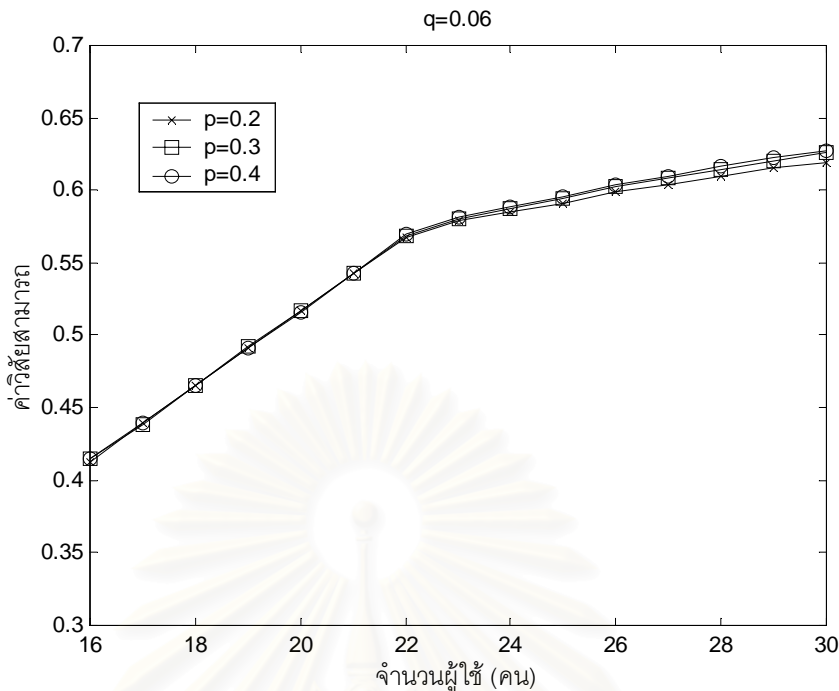
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีค่า q คงที่เท่ากับ 0.06 นั้น ระบบที่มีรับค่า $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวน 22 คนเท่ากัน ดังนั้นจะพิจารณาเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีค่า $q = 0.06$ และมีการปรับค่า $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบดังรูปที่ 4.14-4.16



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4

จากกราฟรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ระบบที่มีค่า $p = 0.4$ จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำสุด ในขณะที่เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาและค่าวิสัยสามารถของระบบที่ใช้ค่า p ที่ต่างกัน จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงจะใช้ค่า $p = 0.4$ และ $q = 0.06$ สำหรับการจำลองระบบในส่วนตัวต่อไป

ในการเปรียบเทียบผลกระทบของผู้ใช้ดาตาที่มีต่อผู้ใช้เสียงในโพรโทคอล PRMA พบว่า เมื่อนำโพรโทคอล PRMA มารองรับบริการเสียงเพียงอย่างเดียว ระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้ที่อัตราการส่งข้อมูลเสียง 32 กิโลบิต/วินาที ได้สูงสุดถึง 36 คน ที่ค่า $p = 0.3$ แต่เมื่อนำโพรโทคอล PRMA มารองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้ที่อัตราการส่งข้อมูลเสียง 32 กิโลบิต/วินาที ได้ และอัตราการส่งข้อมูลดาตา 5.12 กิโลบิต/วินาที ได้เพียง 22 คน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้มีจำนวนลดลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรมส์ลิตทุกครั้งที่ต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ทำให้โพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมไม่เหมาะสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ดังนั้นจะได้มีการนำเสนอวิธีการเพื่อปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ต่อไป在本ที่ 5

4.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนผู้ใช้เสียงและจำนวนผู้ใช้ดาตาในระบบที่มีต่อค่า วิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA

ในส่วนนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบของจำนวนผู้ใช้เสียงและจำนวนของผู้ใช้ดาตาที่มีต่อค่าวิสัยสามารถของระบบ โดยในที่นี้จะถือว่าจำนวนของผู้ใช้เสียงและจำนวนของผู้ใช้ดาตาภายในระบบมีจำนวนแตกต่างกัน เพื่อหาจำนวนของผู้ใช้เสียงและผู้ใช้ดาตาที่ระบบสามารถรองรับได้โดยที่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที ในการทดสอบจะใช้ค่า $p = 0.4$ และ $q = 0.06$ ซึ่งได้ผลการจำลองระบบดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA ที่จำนวนผู้ใช้เสียงและจำนวนผู้ใช้ดาตาค่าต่าง ๆ เมื่อ $p = 0.4$ และ $q = 0.06$

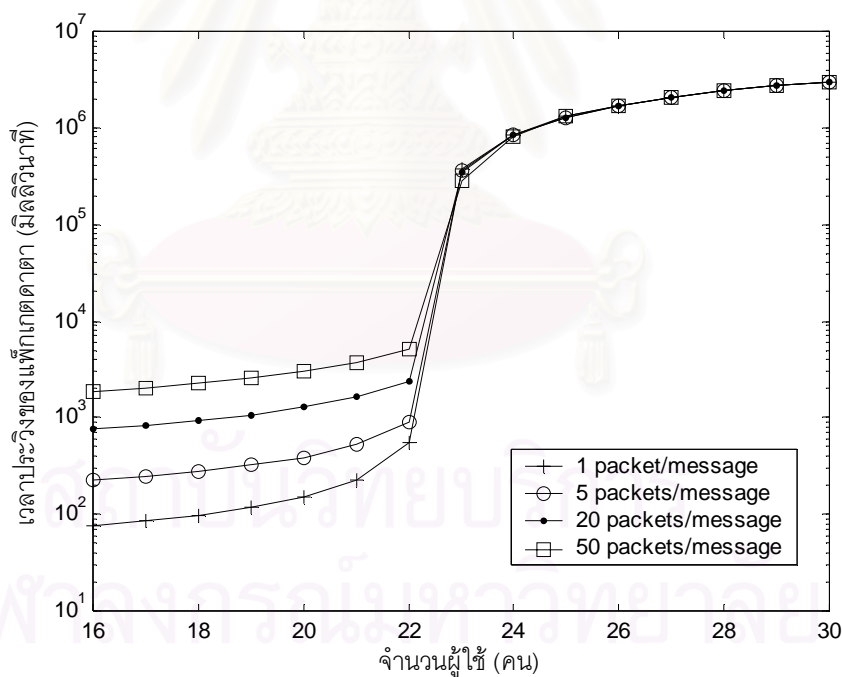
จำนวน ผู้ใช้เสียง	จำนวน ผู้ใช้ดาตา	ค่าวิสัยสามารถ ของผู้ใช้เสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของผู้ใช้ดาตา	ค่าวิสัยสามารถรวม
0	37	0	0.263289	0.263289
5	35	0.093514	0.249349	0.342863
10	31	0.187598	0.220335	0.407932
15	27	0.281139	0.192099	0.473238
20	24	0.375348	0.170751	0.546099
25	18	0.468233	0.128228	0.596461
30	11	0.562569	0.078314	0.640883
35	1	0.653697	0.007147	0.660843
36	0	0.670205	0	0.670205

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้น ระบบจะต้องลดจำนวนผู้ใช้บริการอีกชนิดหนึ่งลง เพื่อให้ระบบยังคงเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาได้ โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้เสียงในระบบเป็นศูนย์ ระบบจะมีการทำงานคล้ายกับวิธี S-Aloha ซึ่งระบบสามารถรองรับผู้ใช้ดาตาได้ 37 คน และมีค่าวิสัยสามารถของระบบเป็น 0.263289 แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ดาตาในระบบเป็นศูนย์ โพรโทคอล PRMA สามารถรองรับผู้ใช้เสียงได้ 36 คน โดยที่มีค่าวิสัยสามารถของระบบเป็น 0.670205 นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้เสียงในระบบเพิ่มขึ้น

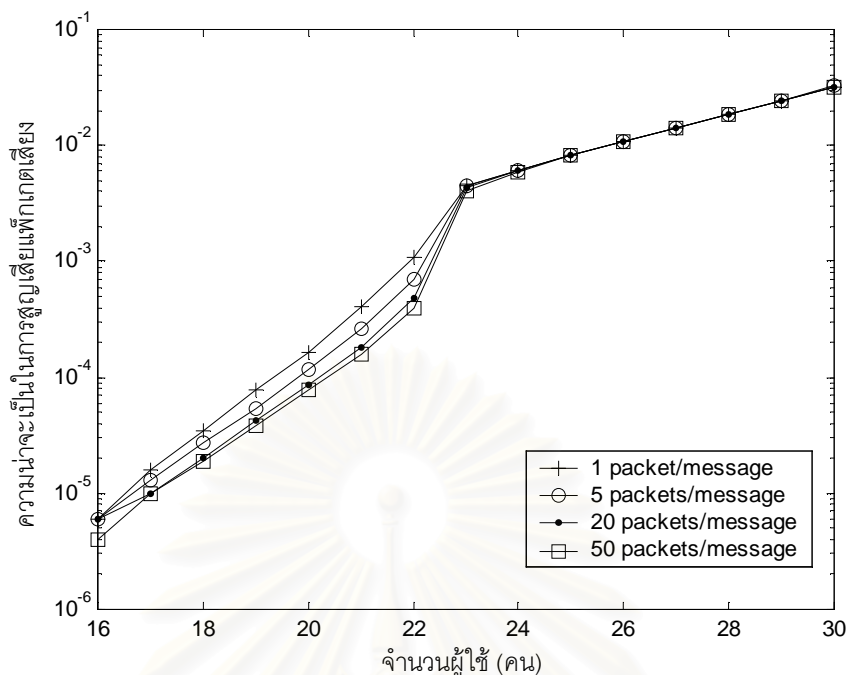
ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จ ผู้ใช้เสียงซึ่งมีลักษณะการกำเนิดแพ็กเก็ตเป็นแบบรายคาบจะสามารถส่งแพ็กเก็ตที่เหลือในโทรมส์ลิตต์เดิมได้โดยไม่ต้องร้องขอโทรมส์ลิตต์ใหม่ ทำให้โทรมส์ลิตต์ถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้าม ผู้ใช้ดาตาจะมีลักษณะการกำเนิดแพ็กเก็ตเป็นแบบสุ่ม (random) ทำให้ผู้ใช้ดาตาไม่ได้รับอนุญาตให้จองโทรมส์ลิตต์ได้เช่นเดียวกับผู้ใช้เสียง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันในระบบที่มีผู้ใช้ดาตาจะมีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้โทรมส์ลิตต์บางส่วนต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง

4.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA โดยจะพิจารณากกรณีที่ความยาวข่าวสารเป็น 1, 5, 20 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ซึ่งจะได้อาแสดงเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง ตามรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $L_m = 1, 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA เมื่อ $L_m = 1, 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อข่าวสารมีขนาดยาวขึ้นจะทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตตามีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากการที่ข่าวสารมีขนาดยาว จะทำให้แพ็กเก็ตดาตาที่อยู่ในบัฟเฟอร์จะต้องรอเป็นเวลานานก่อนที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ ในทางกลับกัน ข่าวสารขนาดสั้นจะมีอัตราการกำเนิดข่าวสารบ่อยครั้งกว่าข่าวสารขนาดยาว ซึ่งจะทำให้ปริมาณการร้องขอในแต่ละช่วงเวลาของระบบที่มีข่าวสารขนาดสั้นมีปริมาณสูงกว่าระบบที่มีข่าวสารขนาดยาว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนการร้องขอนี้ จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และส่งผลให้โอกาสที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกทิ้งเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.18 ว่า ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของระบบที่มีความยาวข่าวสารเท่ากับ 1 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร จะมีค่าสูงที่สุด

สำหรับส่วนสุดท้ายเป็นการทดลองเพิ่มจากการทดลองทั้งหมดเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดแพ็กเก็ตที่มีต่อการทำงานของโพรโทคอล PRMA ซึ่งในทางปฏิบัติการเลือกขนาดของแพ็กเก็ตจะไม่มีความเป็นอิสระเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากจะถูกจำกัดโดยอุปกรณ์ภายในโครงข่าย เช่น ตัววงจรเข้ารหัสที่ใช้

4.2.3 การวิเคราะห์ผลของการเลือกขนาดของแพ็กเก็ต

การเลือกขนาดของแพ็กเก็ตจัดว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ซึ่งในกรณีที่แพ็กเก็ตเสียงมีอัตราการกำเนิดเท่ากับ 1 แพ็กเก็ต/เฟรม จะได้ว่าขนาดของแพ็กเก็ตเสียงที่ไม่รวมโอเวอร์เฮดจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของเฟรม T และอัตราการส่งข้อมูลเสียง R_V ตามสมการที่ 4.2

$$\text{ขนาดของแพ็กเก็ตเสียง (ไม่รวมโอเวอร์เฮด)} = R_V T \quad \text{บิต} \quad (4.2)$$

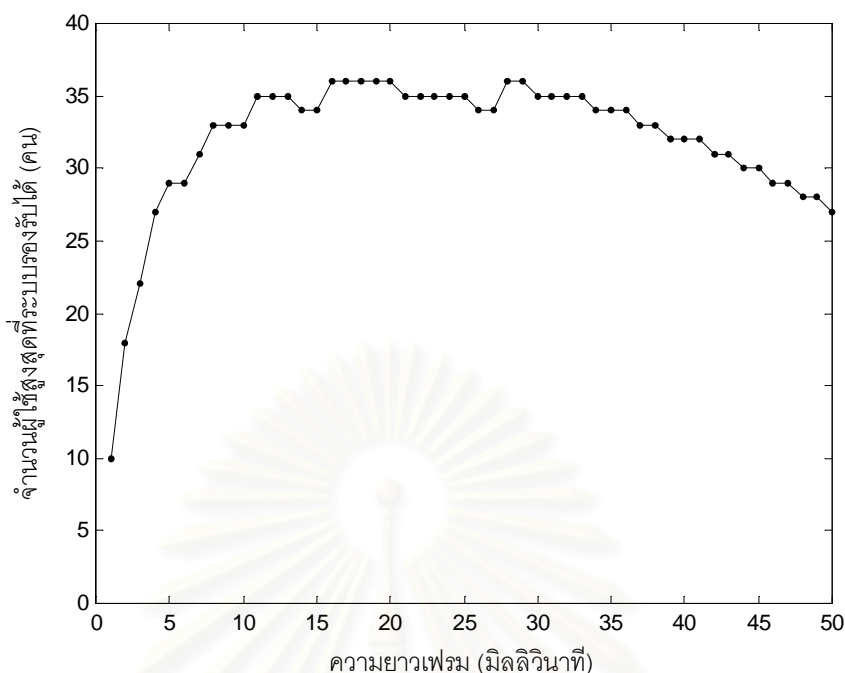
ถ้าแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตประกอบด้วยโอเวอร์เฮดขนาด H บิต ขนาดของแพ็กเก็ตเสียงแต่ละแพ็กเก็ตจะเท่ากับ $R_V T + H$ บิต ซึ่งจะเท่ากับขนาดของไทม์สล็อต 1 ไทม์สล็อต และในระหว่างช่วงระยะเวลา 1 เฟรม ซึ่งมีขนาด T วินาทีนั้น ระบบจะมีการส่งข้อมูลได้สูงสุดเท่ากับ $R_C T$ บิต ดังนั้นจะสามารถหาจำนวนของไทม์สล็อต/เฟรม (N_{TS}) ได้ตามสมการที่ 4.3

$$N_{TS} = \left\lfloor \frac{R_C T}{R_V T + H} \right\rfloor \quad \text{ไทม์สล็อต/เฟรม} \quad (4.3)$$

ผู้ใช้แต่ละคนจะมีบัฟเฟอร์เพื่อเก็บแพ็กเก็ตเสียงที่ยังไม่ได้ส่งออกไป โดยการส่งแพ็กเก็ตจะใช้หลัก First-In-First-Out (FIFO) เมื่อผู้ใช้ไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตแรกภายในระยะเวลา D_{\max} วินาที หรือภายใน S ไทม์สล็อต แพ็กเก็ตเสียงนั้นก็จะถูกทิ้งไป และผู้ใช้ก็จะใช้แพ็กเก็ตลำดับถัดไปในช่วงสนทนามาร้องขอไทม์สล็อตต่อไป จำนวนไทม์สล็อตสูงสุด S สล็อต ที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ได้ก่อนที่จะถูกทิ้งไปนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$S = \left\lfloor \frac{D_{\max} N_{TS}}{T} \right\rfloor \quad \text{ไทม์สล็อต} \quad (4.4)$$

ในการพิจารณาขนาดของแพ็กเก็ตที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเฟรมกับจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้ ($M_{0.01}$) ทั้งนี้ขนาดของแพ็กเก็ตเสียงที่ไม่รวมโอเวอร์เฮดจะมีความสัมพันธ์กับความยาวเฟรมตามสมการที่ 4.2 ในการทดสอบจะอาศัยแบบจำลองโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง ที่มีค่า $p = 0.3$ ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบในรูปแบบที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้กับความยาวเฟรมของโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง เมื่อ $p = 0.3$

จากสมการที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเลือกความยาวเฟรม T ที่น้อยเกินไปจะทำให้สัดส่วนของโอเวอร์เฮดในแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตเมื่อเทียบกับขนาดของบิตข้อมูลมีค่าสูง นอกจากนี้ยังทำให้จำนวนของไทม์สล็อต/เฟรม N_{TS} มีค่าน้อย ซึ่งจะส่งผลให้โอกาสที่แพ็กเก็ตของผู้ใช้จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อระบบเพิ่มขนาดของ T จะพบว่าค่า N_{TS} ในสมการที่ 4.3 จะมีค่าเข้าสู่ค่า R_C / R_V ซึ่งจะส่งผลให้จำนวนไทม์สล็อตสูงสุด S สล็อต ที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ได้ก่อนที่จะถูกละทิ้งไปนั้นจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่า T ฉะนั้นการเลือกค่า T ที่สูงเกินไป จะส่งผลให้จำนวนไทม์สล็อตสูงสุด S มีค่าลดลง ผู้ใช้เสียงจึงมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้น้อยลง ทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้มีค่าลดลงด้วย

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าความยาวเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้โพรโทคอล PRMA สามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากจะมีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งเท่านั้น เช่น ถ้าต้องการให้จำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้มากกว่า 35 คน จะต้องเลือกความยาวของเฟรมให้อยู่ในช่วง 16-20 มิลลิวินาที และ 28-29 มิลลิวินาที ซึ่งในการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ได้ใช้เฟรมที่มีขนาด 16 มิลลิวินาที ซึ่งพบว่าเป็นค่าที่มีความเหมาะสม ทั้งนี้เพราะจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เท่ากับ 36 คน

บทที่ 5

ผลการจำลองและการวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุง สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA ซึ่ง
จะแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักดังนี้

1. วิธีแรกอาศัยการปรับค่า Permission Probability ให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพ
ของทราฟฟิก ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการปรับได้แก่ วิธี Variable Probability PRMA (VP-PRMA) และ
วิธี Exponential Back-off

2. วิธีที่สอง ระบบจะพยายามลดจำนวนการร้องขอให้น้อยลง ซึ่งสามารถเพิ่มโอกาสใน
การประสบความสำเร็จในการร้องขอโทรม์สล็อตของผู้ใช้ เทคนิคหรือกลไกที่นำเสนอในที่นี้ประกอบด้วย 4 วิธี ได้แก่ วิธี Piggybacking (PGBK) วิธี Multiple packet assignment วิธีการใช้เทคนิค
Slot Stealing และวิธีการลดการชนกันแบบ Collision Reduction PRMA (CR-PRMA)

3. วิธีสุดท้าย อาศัยการเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมให้ต่างไปจากเดิม โดยในแต่ละเฟรมจะ
ถูกแบ่งออกเป็นโทรม์สล็อต 2 ชนิด คือ สล็อตร้องขอและสล็อตข้อมูล สล็อตทั้งสองชนิดจะมีหน้าที่
สำคัญต่างกันโดยชัดเจน กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตก็จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูล
ไปเพื่อร้องขอโทรม์สล็อตผ่านสล็อตร้องขอ และเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ สถานี-
ฐานก็จะจัดสรรสล็อตข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตของตน ทั้งนี้จะพิจารณาระบบที่มีจำนวนสล็อต
ร้องขอในแต่ละเฟรมคงที่และระบบที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมแบบพลวัต

5.1 เทคนิคการปรับค่า Permission Probability

5.1.1 การปรับค่า p โดยใช้วิธี Variable Probability PRMA (VP-PRMA)

จากการพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA พบ
ว่า สาเหตุที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกละทิ้งเกิดจาก 3 สาเหตุ ได้แก่

1. การที่ระบบประกอบด้วยผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเกินกว่าจำนวน
โทรม์สล็อตที่ว่างในขณะนั้น ทำให้ผู้ใช้บางส่วนไม่ได้รับการจัดสรรโทรม์สล็อต และเป็นสาเหตุให้
แพ็กเก็ตของผู้ใช้เสียงที่ไม่ได้รับการจัดสรรโทรม์สล็อตภายในเวลา 32 มิลลิวินาที เกิดการละทิ้งไป

2. การที่ระบบมีค่า Permission Probability ที่ต่ำเกินไป ทำให้ผู้ใช้ชะลอการร้องขอโทรมส์ลิตโดยไม่จำเป็น แม้ว่าในขณะนั้นจะมีโทรมส์ลิตที่ว่างอยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของผู้ใช้ส่วนใหญ่เกิดจากการที่ผู้ใช้จะต้องรอคอยในการร้องขอโทรมส์ลิต (Waiting Delay)

3. การที่ระบบมีค่า Permission Probability ที่สูงเกินไป ทำให้จำนวนของผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตมีปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบจะรองรับได้ ส่งผลให้เกิดการชนกัน และไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จ ในที่นี้เวลาประวิงของผู้ใช้ส่วนใหญ่จะเกิดจากการร้องขอซ้ำ (Retransmission Delay)

จากการที่ค่า Permission Probability เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA เป็นอย่างมากดังได้อธิบายไปข้างต้น ทำให้ Jingfeng Li และ Shixin Cheng [17] ได้นำเสนอวิธีการปรับค่า Voice Permission Probability (p) ซึ่งเรียกว่าวิธี Variable Probability PRMA หรือ VP-PRMA ซึ่งจะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของบริการเสียง

หลักการของวิธี VP-PRMA นี้ จะอาศัยการแบ่งผู้ใช้เสียงออกเป็น 2 ประเภท คือผู้ใช้เสียงรายใหม่ (New user) และผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งาน (Communicating user) โดยระบบจะมีการจัดลำดับความสำคัญของผู้ใช้เสียงแต่ละประเภท ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จและได้รับการตอบรับจากสถานีฐานแล้ว ผู้ใช้เสียงย่อมจะมีความต้องการการสนทนาที่ต่อเนื่อง เมื่อผู้ใช้เสียงสามารถส่งแพ็กเก็ตสุดท้ายในช่วงสนทนาเสร็จแล้วและเข้าสู่ช่วงเงียบ ผู้ใช้นั้นก็จะปล่อยโทรมส์ลิตให้เป็นอิสระ แต่เมื่อผู้ใช้เสียงจะเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบไปสู่ช่วงสนทนาจึงต้องไปร้องขอโทรมส์ลิตใหม่ ซึ่งระบบควรจะทำให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จโดยเร็วที่สุดเพื่อความต่อเนื่องในการสนทนา ดังนั้นระบบควรจะต้องจัดให้ผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งานมีลำดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้เสียงรายใหม่ โดยการอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งานนี้สามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้ด้วยค่า p ที่สูง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.4 จะพบว่าช่วงสนทนาแต่ละช่วงของผู้ใช้แต่ละคน จะมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นการพิจารณาค่า p จะต้องนำเงื่อนไขทั้งสองมาพิจารณาร่วมกัน โดยจะให้ผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งานและเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบไปยังช่วงสนทนาได้รับค่า p ที่สูงในโทรมส์ลิตบางสล็อตเท่านั้น ในที่นี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ประเด็น

1. การแบ่งแยกระหว่างผู้ใช้เสียงรายใหม่และผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งาน
2. พิจารณาตำแหน่งของโทรมส์ลิตที่ผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการใช้งานสามารถร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า p สูง ๆ

เมื่อผู้ใช้เสียงคนใดสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ก็จะได้รับอนุญาตให้ใช้โทรม์สล็อตนั้นเพื่อส่งแพ็กเก็ตจนกว่าจะส่งแพ็กเก็ตหมดช่วงสนทนา ซึ่งในที่นี้จะเรียกผู้ใช้เสียงนั้นว่าเป็น "เจ้าของโทรม์สล็อต" (Owner) แต่เมื่อผู้ใช้เสียงเข้าสู่ช่วงเงียบ ผู้ใช้ก็จะปล่อยโทรม์สล็อตนี้ให้เป็นอิสระ ทั้งนี้ระบบจะยังพิจารณาว่าผู้ใช้นี้เป็นเจ้าของโทรม์สล็อตเดิมอยู่จนกว่าผู้ใช้จะร้องขอโทรม์-สล็อตอื่นได้สำเร็จ จึงจะถือว่าผู้ใช้เสียงนี้เป็นเจ้าของโทรม์สล็อตใหม่นั้น

ในกรณีที่เฟรมแต่ละเฟรมประกอบด้วยโทรม์สล็อต N_{TS} สล็อต โดยที่หมายเลขของโทรม์-สล็อตเป็นหมายเลข 0 ถึงหมายเลข $N_{TS} - 1$ ในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ i สามารถจองโทรม์สล็อตที่ j ได้สำเร็จ จะถือว่าผู้ใช้ที่ i เป็นเจ้าของโทรม์สล็อตที่ j โดยที่จะสามารถเขียนสมการแสดงการนิยามการเป็นเจ้าของโทรม์สล็อตที่ j ได้ดังสมการที่ 5.1

$$re(i, j) = \begin{cases} 1 & ; \text{if user } i \text{ is the owner of } j\text{th slot} \\ 0 & ; \text{other} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\text{เมื่อ } 0 \leq j < N_{TS}$$

จากสมการที่ 5.1 จะได้ว่า $re(i, j) = 0$ ในกรณีที่ผู้ใช้เสียงรายใหม่ ดังนั้นจะใช้ค่า $\sum_{j=0}^{N_{TS}-1} re(i, j)$ ในการแบ่งแยกระหว่างผู้ใช้เสียงรายใหม่ และผู้ใช้เสียงที่อยู่ในช่วงการใช้งาน

ในการร้องขอโทรม์สล็อต สถานีฐานจะอนุญาตให้ผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของโทรม์สล็อตสามารถร้องขอโทรม์สล็อตเดิมของตนด้วยค่า p ที่สูงกว่าการร้องขอในสล็อตอื่น ๆ สมการที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงสนทนา โดยที่ผู้ใช้คนที่ i จะร้องขอโทรม์สล็อตที่ j ด้วยความน่าจะเป็น $p(i, j)$

$$p(i, j) = p_{\text{permit}} + re(i, j) \times p_{\text{permit}} \quad (5.2)$$

$$\text{เมื่อ } 0 < p_{\text{permit}} < 1 - p_{\text{permit}}$$

ในการจำลองระบบ สมการที่ 5.2 จะถูกแทนค่าด้วยสมการที่ 5.3 เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

$$p(i, j) = \begin{cases} p_{\text{permit}} & ; \text{if } re(i, j) = 0 \\ p_{\text{max}} & ; \text{if } re(i, j) = 1 \end{cases} \quad (5.3)$$

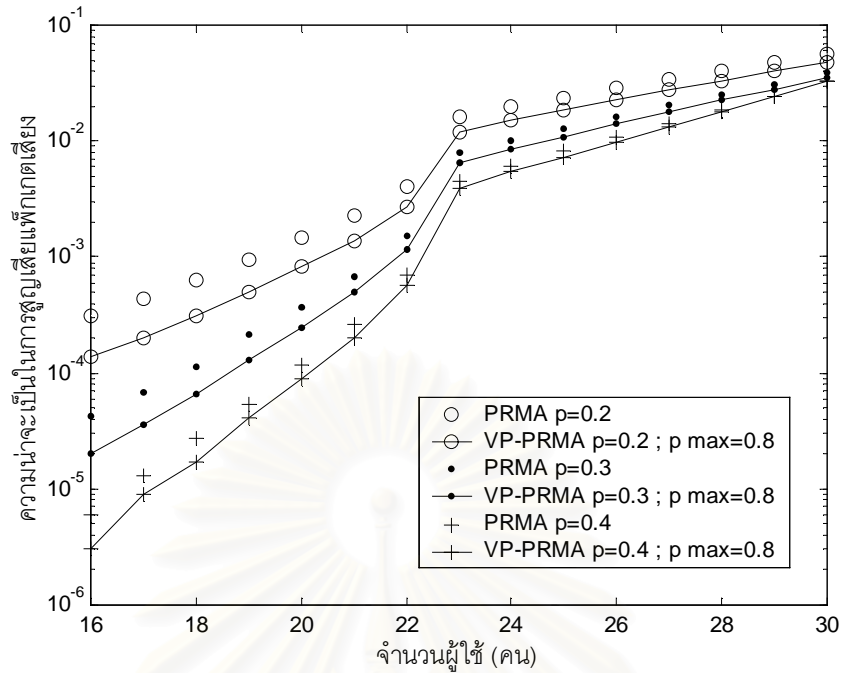
$$\text{เมื่อ } 0 < p_{\text{permit}} < p_{\text{max}} < 1$$

ในวิธีนี้เมื่อผู้ใช้เสียงคนที่ i เป็นผู้ใช้บริการรายใหม่ จะได้ว่า $\sum_{j=0}^{N_{TS}-1} re(i, j) = 0$ ทำให้ผู้ใช้
 นี้ร้องขอโทรมส์ล็อตที่ j ด้วยค่า $p = p_{\text{permit}}$ เมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ล็อตที่ j ได้สำเร็จ
 ก็จะจองโทรมส์ล็อตและผู้ใช้เสียงนั้นก็กลายเป็นเจ้าของโทรมส์ล็อตที่ j ทำให้ $\sum_{j=0}^{N_{TS}-1} re(i, j) = 1$
 ผู้ใช้เสียงนี้สามารถที่จะส่งแพ็กเก็ตเสียงของตนในโทรมส์ล็อตที่ j นี้ในเฟรมถัด ๆ ไปได้จนกระทั่ง
 ส่งแพ็กเก็ตสุดท้ายเสร็จสิ้นจึงจะปล่อยโทรมส์ล็อตให้เป็นอิสระ แม้ว่าในช่วงที่เข้าสู่ช่วงเงียบนี้ ผู้ใช้
 จะไม่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ก็ยังถือว่าผู้ใช้กำลังอยู่ในช่วงการใช้งานอยู่ ทั้งนี้เนื่องจาก
 $\sum_{j=0}^{N_{TS}-1} re(i, j) = 1$ ทำให้เมื่อผู้ใช้เปลี่ยนจากช่วงเงียบไปสู่ช่วงสนทนา ผู้ใช้จะสามารถร้องขอโทรมส์
 ล็อตด้วยค่า $p = p_{\text{max}}$ ในโทรมส์ล็อตที่ผู้ใช้เคยเป็นเจ้าของในช่วงสนทนาก่อนหน้า ในขณะที่จะ
 ร้องขอโทรมส์ล็อตอื่น ๆ ด้วยค่า $p = p_{\text{permit}}$

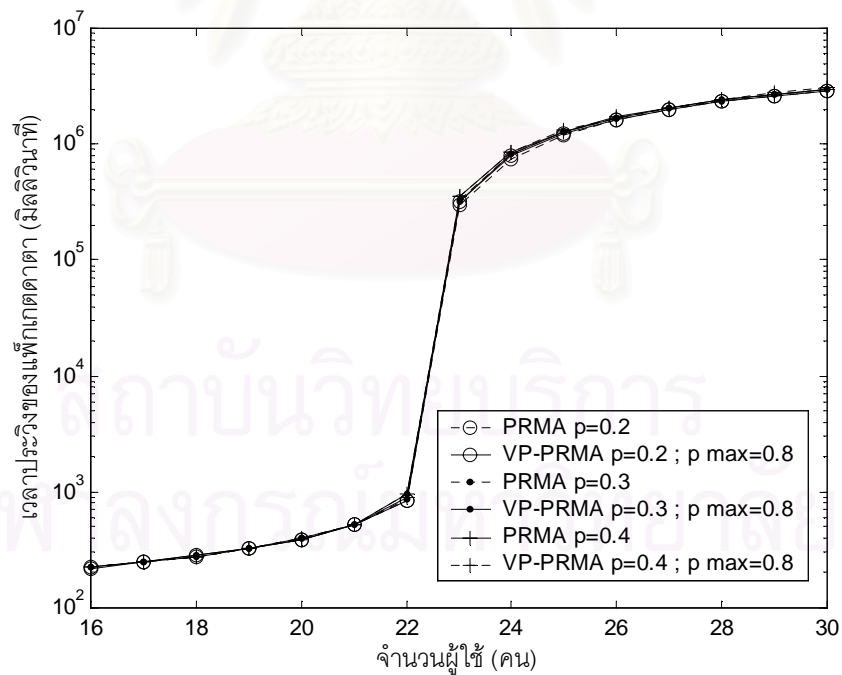
ในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ i ไม่สามารถร้องขอโทรมส์ล็อตที่ j ที่ผู้ใช้นั้นเคยเป็นเจ้าของมาก่อน
 ได้ แต่สามารถร้องขอโทรมส์ล็อตที่ m ได้สำเร็จ ผู้ใช้นั้นก็จะกลายเป็นเจ้าของโทรมส์ล็อตที่ m แทน
 ซึ่งจะทำให้ $re(i, m) = 1$ และ $re(i, j) = 0$ จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ผู้ใช้จะสามารถร้องขอโทรมส์ล็อต
 ได้ด้วยค่า p ที่สูงก็ต่อเมื่อผู้ใช้นั้นเคยเป็นเจ้าของโทรมส์ล็อตนี้ในช่วงสนทนาก่อนหน้า ซึ่งจะทำให้
 ผู้ใช้สามารถร้องขอโทรมส์ล็อตได้สำเร็จเร็วขึ้น ในขณะที่การอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอ
 โทรมส์ล็อตได้ด้วยค่า p ที่สูงนี้ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการชนกันเช่นเดียวกับการกำหนดให้ค่า p ใน
 โพรโทคอล PRMA มีค่าสูงตลอด

5.1.1.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล VP-PRMA

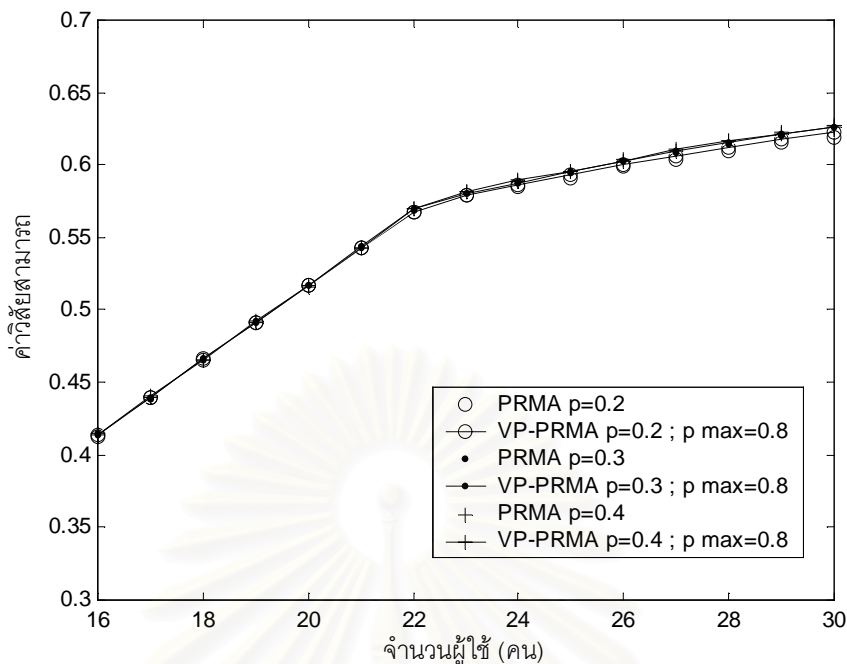
ในส่วนนี้จะศึกษาสมรรถนะของโพรโทคอล VP-PRMA โดยจะพิจารณาสถานการณ์ที่มี
 การปรับเปลี่ยนค่า p เฉพาะในส่วนของผู้ใช้เสียงเท่านั้น โดยจะไม่มีค่า q ของผู้ใช้ดาตา
 ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ จะมีการเปรียบเทียบผลของการจำลองโพรโทคอล VP-PRMA
 และโพรโทคอล PRMA ในส่วนของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของ
 แพ็กเก็ตดาตาและค่าวิสัยสามารถ ในรูปที่ 5.1-5.3 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็คเกจดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.8$

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า โพรโทคอล VP-PRMA มีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีปริมาณน้อย จะทำให้จำนวนการร้องขอภายในระบบมีปริมาณไม่สูงนัก ดังนั้นโอกาสที่จะมีผู้ใช้มากกว่าหนึ่งคนร้องขอไทม์สล็อตในเวลาเดียวกันมีค่าน้อย นอกจากนี้การที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าเบาบาง จะส่งผลให้โอกาสที่ไทม์สล็อตใด ๆ จะมีเจ้าของไทม์สล็อตเดิม 2 คนในเวลาเดียวกันก็จะมีค่าน้อย ดังนั้นผู้ใช้จะมีโอกาสร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จสูง โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้ร้องขอไทม์สล็อตในสล็อตเดิมที่ตนเป็นเจ้าของ เพราะผู้ใช้สามารถร้องขอได้ด้วยค่า p ที่สูง

แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น จะพิจารณาสิ่งที่เกิดขึ้นได้เป็น 2 กรณี คือ

1. จำนวนไทม์สล็อตที่มีเจ้าของมากกว่า 1 คนพร้อมกันจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ผู้ใช้ในระบบมี 30 คนและจำนวนไทม์สล็อตภายในแต่ละเฟรมเท่ากับ 20 สล็อต จะได้ว่าจำนวนไทม์สล็อตสูงสุดที่จะมีเจ้าของไทม์สล็อต 2 คน พร้อมกันเท่ากับ 10 สล็อต ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น

2. เนื่องจากผู้ใช้จะสามารถร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า $p = p_{\max}$ ได้เฉพาะในไทม์สล็อตที่ผู้ใช้นั้นเป็นเจ้าของเดิม ทำให้ผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p ค่าสูงเพียง 1 สล็อต/เฟรม

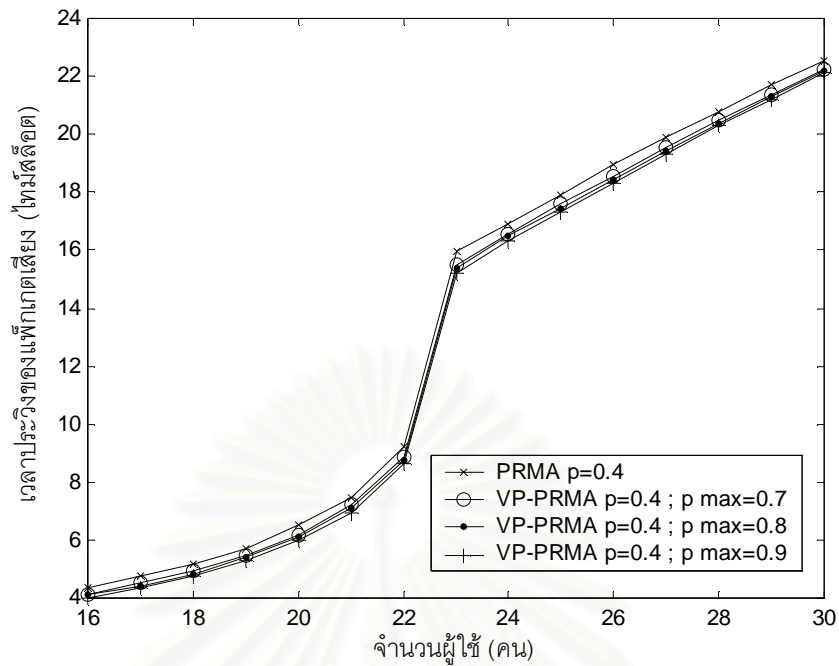
สำหรับโทรม์สลิตอื่น ๆ ผู้ใช้จะยังคงเข้าร้องขอด้วยค่า $p = p_{\text{permit}}$ ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนจึงมีน้อยเพราะผู้ใช้ส่วนใหญ่จะร้องขอโทรม์สลิตด้วยค่า $p = p_{\text{permit}}$ นอกจากนี้โอกาสที่เจ้าของโทรม์สลิตจะเข้าสู่ช่วงสนทนาในเวลาเดียวกัน และร้องขอโทรม์สลิตในสลิตเดียวกันก็มีค่าน้อย ดังนั้นโอกาสจะเกิดการชนก็มีค่าน้อย

เมื่อพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถภาพการทำงานของโพรโทคอล VP-PRMA มากกว่าได้แก่ปัจจัยที่สอง จึงทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล VP-PRMA มีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA

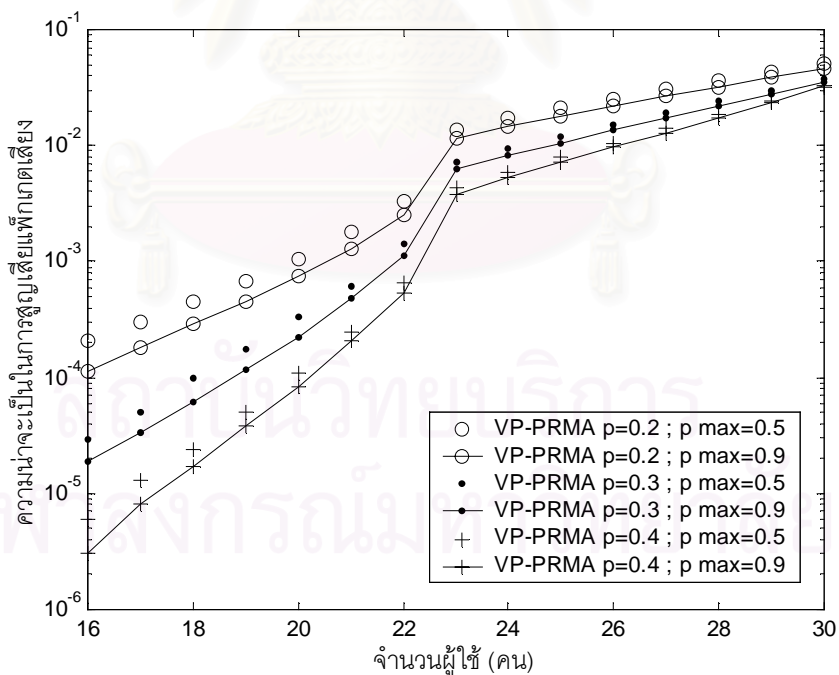
เมื่อพิจารณาค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.2 พบว่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล VP-PRMA จะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA แสดงว่าการอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลิตบางสลิตได้ด้วย p ที่สูงจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ดาตามากนัก สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 5.3 พบว่า วิธี VP-PRMA จะช่วยลดลักษณะแบบสุ่มของผู้ใช้เสียงในการร้องขอโทรม์สลิตโดยการพิจารณาความสัมพันธ์ของช่วงสนทนา ซึ่งจะทำให้โอกาสที่โทรม์สลิตนั้นจะถูกใช้โดยเจ้าของโทรม์สลิตเดิมมีค่าสูงกว่าถูกใช้โดยผู้อื่นและจะช่วยให้ผู้ใช้เสียงสามารถเข้าใช้โทรม์สลิตได้อย่างรวดเร็วโดยมีลักษณะแบบสุ่มลดลง เมื่อโทรม์สลิตที่ว่างถูกใช้อย่างรวดเร็วจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้น

ในส่วนถัดไปจะพิจารณาผลของค่า p_{max} ในโพรโทคอล VP-PRMA ซึ่งจะได้แสดงผลของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียง, ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.4-5.7 ตามลำดับ

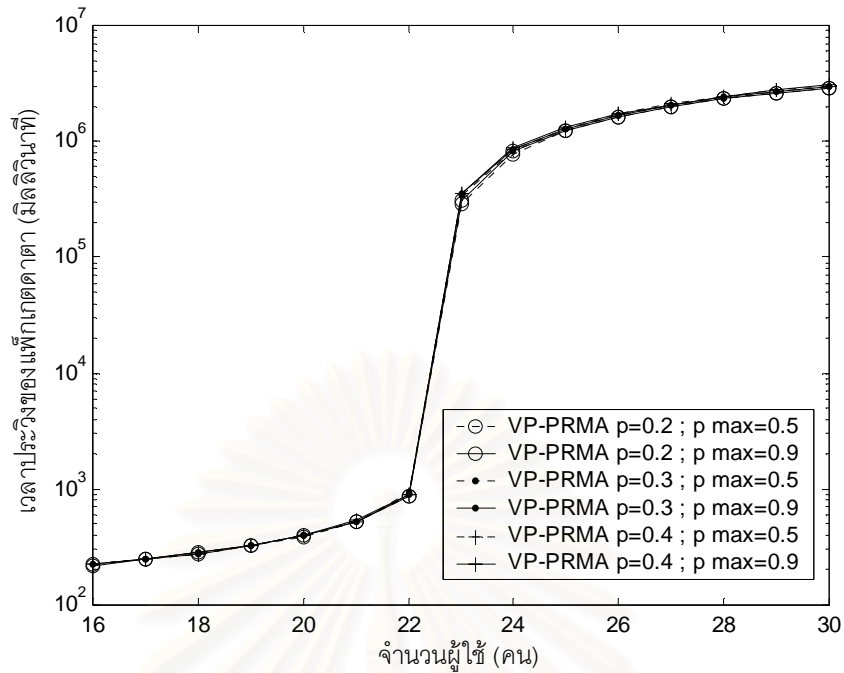
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



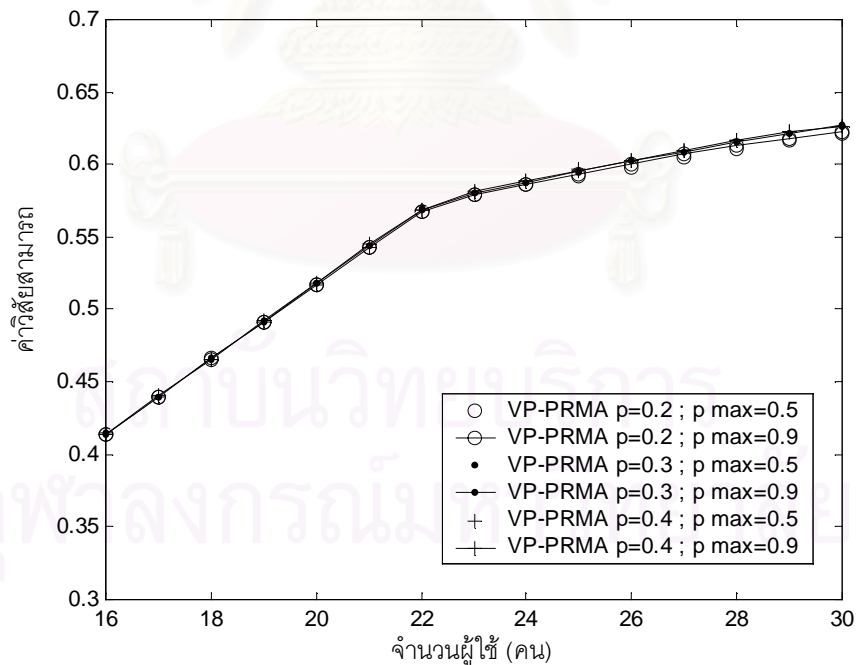
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประจักษ์ของแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.4$ $p_{\max} = 0.7, 0.8$ และ 0.9



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ 0.9



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ 0.9



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล VP-PRMA เมื่อ $q = 0.06$ $p = 0.2, 0.3$ และ 0.4 $p_{\max} = 0.5$ และ 0.9

จากรูปที่ 5.4 พบว่าวิธี VP-PRMA จะช่วยให้ผู้ใช้เสียงที่อยู่ในช่วงการใช้งานสามารถเข้าใช้โทรม์สลิตได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม โดยเมื่อพิจารณาจากผลการจำลองระบบจะพบว่า เมื่อระบบใช้ค่า p_{max} ที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงลดลง และเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จเร็วขึ้น จะทำให้โอกาสที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกทิ้งลดลง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนในรูปที่ 5.5 ว่าเมื่อพิจารณาที่ค่า p ค่าหนึ่ง ๆ การเพิ่มค่าของ p_{max} จะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลง

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่า p_{max} นี้ จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ดาตามากนัก โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 5.6 ว่า เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของระบบที่มีค่า p_{max} ที่แตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลิตด้วยค่า p_{max} ได้เพียง 1 ครั้ง/เฟรมเท่านั้น

ข้อสังเกต ในการศึกษาถึงการปรับค่า p ด้วยวิธี VP-PRMA จะใช้ได้กับเฉพาะข้อมูลเสียงแต่ไม่เหมาะสมกับข้อมูลดาตา เนื่องจากไม่สอดคล้องกับความต้องการของการบริการเพราะผู้ใช้งานดาตาจะต้องร้องขอโทรม์สลิตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตโดยไม่ได้รับอนุญาตให้จองโทรม์สลิตเช่นเดียวกับผู้ใช้เสียง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีโทรม์สลิตเพื่อรองรับผู้ใช้เสียงซึ่งมีลำดับความสำคัญสูงกว่า

5.1.2 การปรับค่า Retransmission Probability โดยใช้วิธี Exponential Back-off

โพรโทคอลส่วนใหญ่จะอาศัยวิธี S-Aloha ในการร้องขอโทรม์สลิต กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งข้อมูล ผู้ใช้ก็จะส่งแพ็กเก็ตของตนที่จุดเริ่มต้นของโทรม์สลิตและหากว่ามีผู้ใช้งานมากกว่าหนึ่งคนส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโทรม์สลิตในโทรม์สลิตเดียวกันจะทำให้เกิดการชนกันขึ้นในกรณีนี้จะถือว่าไม่มีผู้ใดสามารถร้องขอโทรม์สลิตนั้นได้สำเร็จ หลังจากนั้นผู้ใช้จะพยายามที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลใหม่ (Retransmission) หลังจากเวลาผ่านไประยะเวลาหนึ่งด้วยความน่าจะเป็น p ซึ่งในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะใช้ค่า p คงที่ตลอด ซึ่งจะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้จำนวนมากพยายามที่จะร้องขอโทรม์สลิตในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก นอกจากนี้การใช้ค่า p ที่คงที่ก็จะทำให้เกิดปัญหาในการหาค่า p ที่เหมาะสมกับสภาวะทราฟฟิกที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีที่จะเพิ่มเสถียรภาพของโพรโทคอล S-Aloha โดยจะมีการปรับค่า p ตามสภาวะทราฟฟิก โดยอ้างอิงถึงผลของการร้องขอโทรม์สลิตในโทรม์สลิตก่อนหน้าโดยใช้วิธี Exponential Back-off [18] ซึ่งวิธีนี้จะมีข้อดีในแง่ของความง่ายและให้ค่าวิสัยสามารถสูง

สำหรับระบบที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น ผู้ใช้แต่ละคนจะทราบผลของการร้องขอโทรมสล็อตก่อนจุดเริ่มต้นของโทรมสล็อตถัดไป เนื่องจากเวลาประวิงการแพร่กระจายมีขนาดสั้นมาก โดยที่สัญญาณตอบกลับนี้จะมี 3 สถานะ ได้แก่ โทรมสล็อตว่าง (idle), การร้องขอสำเร็จ (success) และเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต (collision)

เมื่อ $Z(t)$ เป็นจำนวนของผู้ใช้ที่ส่งแพ็กเก็ตไปในโทรมสล็อต t ดังนั้น $Z(t) = 0$, $Z(t) = 1$ และ $Z(t) \geq 2$ จะหมายถึงสถานะโทรมสล็อตว่าง, การร้องขอสำเร็จ และการชน ตามลำดับ และ $p(t)$ เป็นค่า Retransmission Probability ของโทรมสล็อต t ดังนั้นระบบจะปรับค่า $p(t+1)$ ตามค่าการตอบกลับจากโทรมสล็อตก่อนหน้าตามสมการที่ 5.4

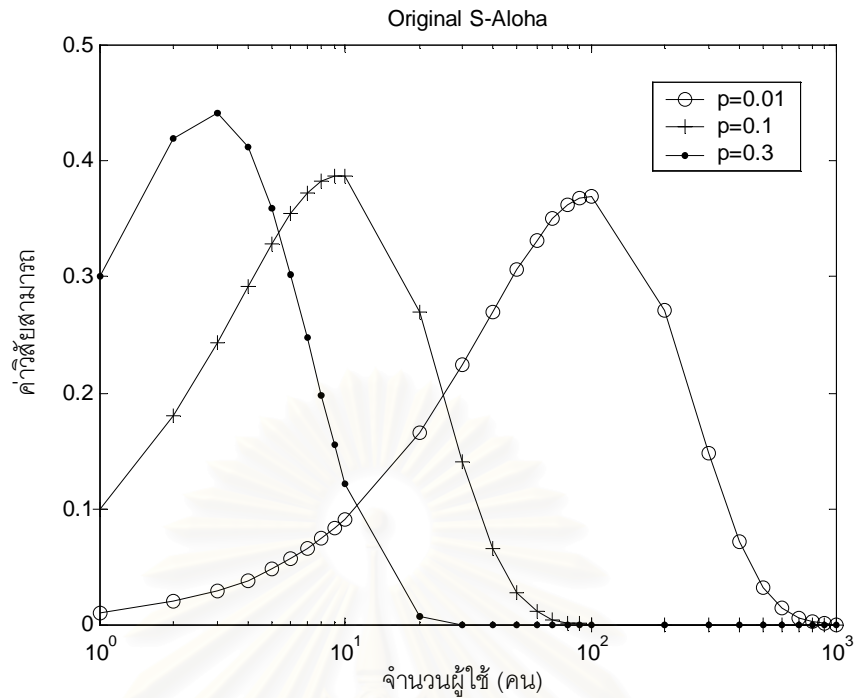
$$p(t+1) = \min \left\{ p_{\max}, p(t) \left(\frac{1}{r} I_{Z(t)=0} + 1 I_{Z(t)=1} + r I_{Z(t) \geq 2} \right) \right\} \quad (5.4)$$

เมื่อ $0 < p_{\max} \leq 1$, $0 < r \leq 1$ และ I_A จะเป็น Indication function ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดเหตุการณ์ A ขึ้น นอกนั้นจะมีค่าเป็น 0 อัลกอริทึมข้างต้นจะทำงานในลักษณะของเอกซ์โพเนนเชียล กล่าวคือ ถ้าสถานะพื้นฐานพบว่าโทรมสล็อตว่าง สถานะพื้นฐานก็จะทราบค่า p ที่ใช้อยู่ภายในระบบมีค่าต่ำเกินไปสำหรับสภาวะทราฟฟิกในขณะนั้น ดังนั้นสถานะพื้นฐานก็จะเพิ่มค่าของ p ในทางกลับกัน เมื่อระบบพบว่าเกิดการชนกันแสดงว่าปริมาณทราฟฟิกในขณะนั้นสูง ดังนั้นสถานะพื้นฐานก็จะลดค่า p ลง เพื่อลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้

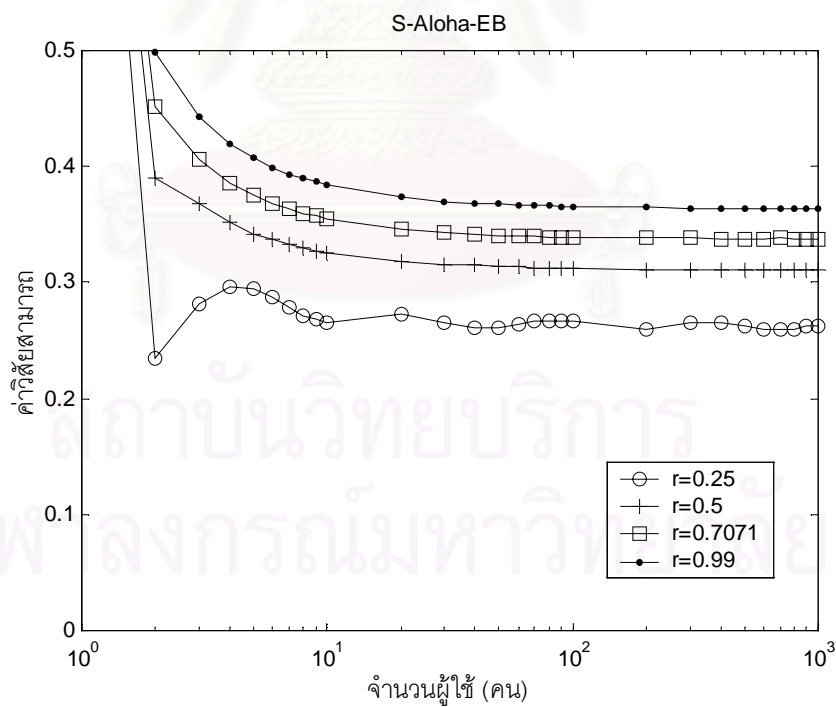
ในทางปฏิบัติมักจะกำหนดให้ r อยู่ในรูปของ $(1/2)^k$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็มบวก โดยที่การเลือกค่า r ที่เหมาะสมจะขึ้นกับอัตราการปรับที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่าจะเลือกใช้ค่า $r = 1/2$ หรือ 0.5 ซึ่งมีประโยชน์ในแง่ของการนำไปใช้งานจริงในการใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างเรียบง่ายคือใช้เพียงวงจรถ่าย shift register เท่านั้น โดยเฉพาะเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของ $I_{Z(t)=0}$ และ $I_{Z(t) \geq 2}$ เป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน จะได้ว่าการทำงานของอัลกอริทึมนี้จะเป็นการคูณและการหารด้วยค่าคงที่เท่ากับ 2 เทียบเท่ากับการเลื่อนบิตไปทางซ้ายหรือทางขวาตามลำดับ

5.1.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Full load

ในส่วนนี้จะเปรียบเทียบการทำงานของโพรโทคอล S-Aloha ที่ใช้ค่า p คงที่ และ โพรโทคอล S-Aloha ที่มีการปรับค่า p โดยวิธี Back-off ที่สภาวะ Full load ซึ่งเป็นสภาวะที่ผู้ใช้ทุกคนมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตในทุก ๆ โทรมสล็อต จากผลการทดสอบจะได้ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha ที่ใช้ค่า p คงที่ และโพรโทคอล S-Aloha ที่ใช้วิธี Back-off (S-Aloha-EB) ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Full load เมื่อ $p = 0.01, 0.1$ และ 0.3



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Full load เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ 0.99

เมื่อพิจารณาโพรโทคอล S-Aloha แบบดั้งเดิมในรูปที่ 5.8 จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้นี้มีค่าน้อยถึงปานกลาง ค่าวิสัยสามารถจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้นี้มีค่าน้อย ผู้ใช้แต่ละคนจะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จสูงและเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้โทรมสล็อตถูกใช้งานมากขึ้น ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก ทำให้ไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้โทรมสล็อตได้ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบจะลดลง โดยเฉพาะโพรโทคอลที่ใช้ค่า p สูง ๆ จะมีค่าวิสัยสามารถลดลงอย่างรวดเร็วกว่าโพรโทคอลที่ใช้ค่า p ต่ำ จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าโพรโทคอล S-Aloha จะไม่มีเสถียรภาพเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่ามาก โดยค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าเข้าหาศูนย์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.9 จะพบว่าโพรโทคอล S-Aloha-EB มีเสถียรภาพมากกว่า โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าวิสัยสามารถจะมีค่าเข้าหาค่าค่าหนึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถระหว่างการเลือกค่า r ต่าง ๆ พบว่าค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า r เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อจำนวนผู้ใช้เป็น 1000 คน ระบบที่มีค่า $r = 0.99$ จะให้ค่าวิสัยสามารถเป็น 0.363573 โดยที่ค่านี้จะใกล้เคียงกับค่า e^{-1} (~ 0.368) ซึ่งเป็นค่าวิสัยสามารถสูงสุดในทางทฤษฎีของโพรโทคอล S-Aloha อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ $r = 0.5$ จะให้ค่าวิสัยสามารถเป็น 0.311109 ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดมาก ในขณะที่การใช้ค่า $r = 0.5$ จะมีข้อดีในแง่ของความง่ายของอุปกรณ์

หมายเหตุ ในการพิจารณาค่า p ที่เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้ในระบบจะพิจารณาได้ดังนี้ สมมติให้ผู้ใช้แต่ละคนร้องขอโทรมสล็อตที่ว่างด้วยค่า p ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้คนใดคนหนึ่งจะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ ($P_{success}$) เมื่อจำนวนของผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตเท่ากับ k คน จะเป็นดังสมการที่ 5.5

$$P_{success} = kp(1-p)^{(k-1)} \quad (5.5)$$

การหาค่า optimal value ของ p จะหาจากสมการที่ 5.6

$$\frac{\partial P_{success}}{\partial p} = 0$$

$$\frac{\partial (kp(1-p)^{(k-1)})}{\partial p} = 0$$

$$k [p(k-1)(1-p)^{(k-2)}(-1) + (1-p)^{(k-1)}(1)] = 0$$

$$k(1-p)^{(k-2)} [p(k-1)(-1) + (1-p)] = 0$$

$$-pk + p + 1 - p = 0$$

$$p = \frac{1}{k} \quad (5.6)$$

ในการปรับค่า p ด้วยวิธี Back-off นั้น เมื่อสถานีฐานพบว่าไทม์สล็อตว่าง สถานีฐานก็จะทราบค่า p ในขณะนั้นต่ำไป ดังนั้นสถานีฐานก็จะเพิ่มค่าของ p โดยการหารค่า p เดิมด้วยค่า r ทั้งนี้ค่า p สูงสุดจะมีค่าเท่ากับ p_{\max} ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่า $p_{\max} = 1$ แต่ถ้าสถานีฐานพบว่าเกิดการชนกันภายในไทม์สล็อต สถานีฐานก็จะปรับลดค่า p ลง โดยการคูณค่า p เดิมด้วยค่า r โดยค่า r ที่เหมาะสมต่อสภาวะทราฟฟิกขณะใด ๆ ควรจะทำให้การปรับค่า p มีความสอดคล้องกับค่าในสมการที่ 5.6 กล่าวคือ ค่า p ที่ได้ควรจะมีค่าใกล้เคียงกับส่วนกลับของจำนวนของผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตในขณะนั้น

ในกรณีที่ $r = 0.25$ นั้น สถานีฐานจะปรับค่า p โดยการคูณค่า p เดิมหรือหารค่า p เดิมด้วย 4 เมื่อพบว่าไทม์สล็อตอยู่ในสถานะว่างและชนกันตามลำดับ ทำให้ค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 1, 0.25 และ 0.0625 แต่เนื่องจากระบบที่พิจารณาอยู่ในสภาวะ Full load ดังนั้นเมื่อสถานีฐานเพิ่มค่า p เป็น 1 จะทำให้เกิดการชนกันและสถานีฐานก็จะลดค่า p ลงมาเท่ากับ 0.25 ซึ่งเมื่อพิจารณากับสมการที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าการใช้ค่า $p = 0.25$ จะมีความเหมาะสมก็ต่อเมื่อจำนวนผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตในขณะนั้นเท่ากับ 4 คน ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.9 กล่าวคือ เมื่อใช้ $r = 0.25$ โพรโทคอล S-Aloha-EB จะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 4 คน นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า โพรโทคอล S-Aloha-EB ที่มีค่า $r = 0.25$ นี้จะมีค่าวิสัยสามารถต่ำสุดเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 2 คน ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 2 คน ระบบควรจะใช้ค่า $p = 0.5$ ในขณะที่การเลือกค่า $r = 0.25$ นั้นระบบไม่สามารถจะปรับค่า p ให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ได้

จากผลการจำลองระบบที่สภาวะ Full load นี้จะเห็นได้ว่าการนำวิธี Back-off มาใช้จะมีความจำเป็นในสภาวะที่ปริมาณโหลดมีการเพิ่มขึ้นชั่วคราวและทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ ในส่วนต่อไปจะแสดงถึงการจำลองระบบที่สภาวะ Underload ซึ่งเป็นสภาวะที่ปริมาณโหลดมีจำกัดทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.2.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Underload

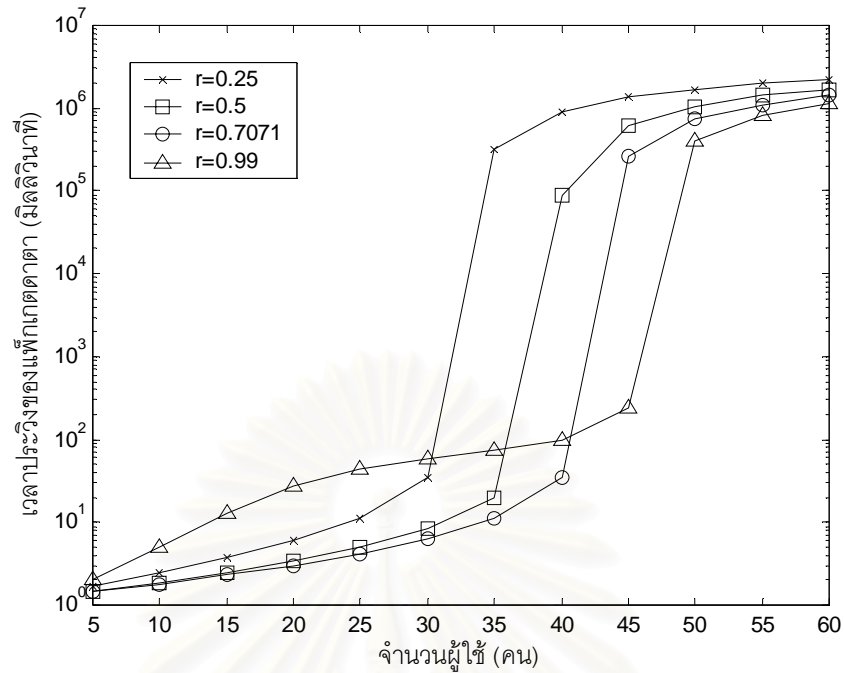
ในส่วนนี้จะพิจารณาการทำงานของโพรโทคอล S-Aloha ภายใต้สภาวะ Underload ซึ่งเวลาประวิงของแพ็กเกตตามีค่าจำกัด โดยถือว่าผู้ใช้แต่ละคนจะให้กำเนิดข่าวสารที่ประกอบด้วยแพ็กเกตจำนวนหนึ่ง ในการพิจารณาสถานะของผู้ใช้แต่ละคนจะพิจารณาที่จุดเริ่มต้นของไทม์สล็อต โดยที่ผู้ใช้จะอยู่ในสถานะว่าง (idle terminal) ก็ต่อเมื่อผู้ใช้นั้นไม่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตข้อมูลในไทม์สล็อตนั้น ๆ หรืออยู่ในสถานะบล็อกล็อก (blocked terminal) ก็ต่อเมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตข้อมูลในไทม์สล็อตนั้น ๆ ในการจำลองระบบจะใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโพรโทคอล S-Aloha ที่สภาวะ Underload

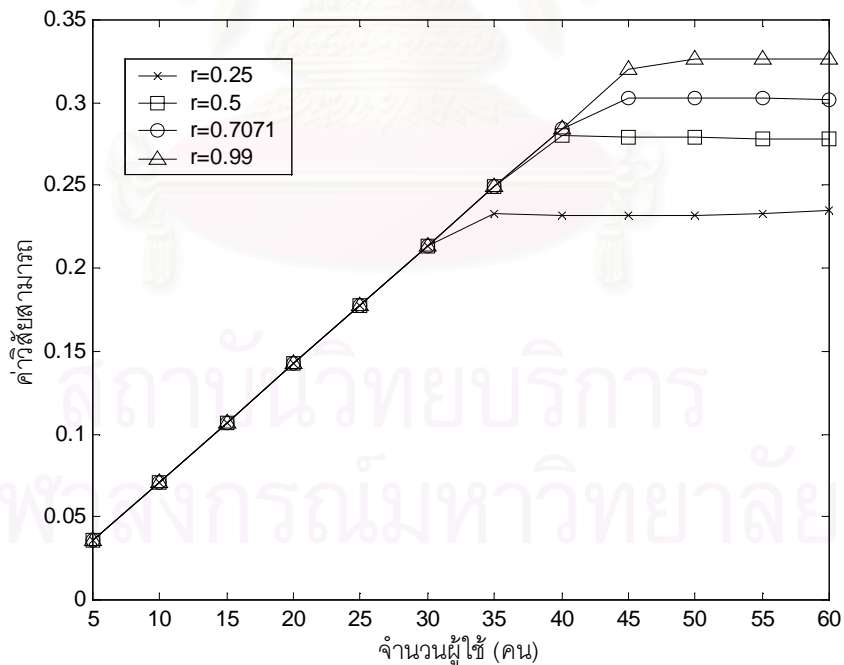
พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_c (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64

5.1.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของค่า r ที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตตาตาและค่าวิสัยสามารถ

ในส่วนนี้จะพิจารณาการเลือกค่า r ภายในสภาวะ Underload โดยจะพิจารณาเฉพาะระบบที่รองรับบริการตาตาเพียงอย่างเดียว โดยที่ $R_D = 5.12$ กิโลบิต/วินาที ความยาวข่าวสารเท่ากับ 1 แพ็กเกต/ข่าวสาร ซึ่งจะได้เวลาประวิงของแพ็กเกตตาตาและค่าวิสัยสามารถเมื่อใช้ค่า $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ 0.99 ตามรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ 0.99



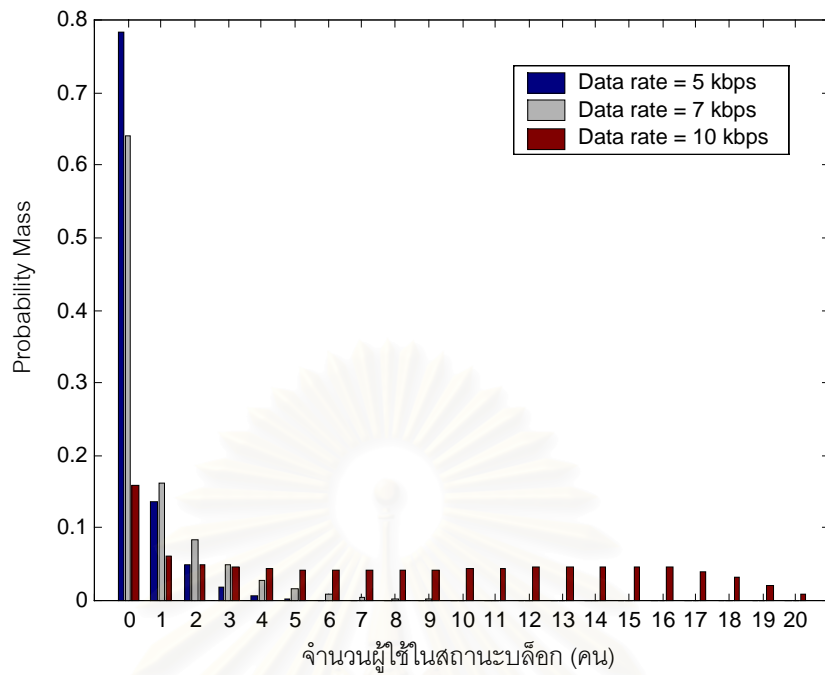
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยตามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $r = 0.25, 0.5, 0.7071$ และ 0.99

จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าการเลือกค่า r จะมีผลต่ออัตราการปรับค่า p เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยการเลือกใช้ค่า r ค่าสูง ๆ จะทำให้ระบบมีการปรับค่า p แบบค่อยเป็นค่อยไป ในขณะที่การเลือกค่า r ที่ต่ำลง จะทำให้ระบบสามารถปรับค่า p ได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจากกราฟรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ การเลือกใช้ค่า $r = 0.99$ จะทำให้ระบบมีเวลาประวิงของแพ็กเกตตาดาทาสูงกว่ากรณีที่ใช้ค่า r ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการที่ปริมาณทราฟฟิกมีค่าต่ำทำให้โหนดสล็อตไม่ได้ถูกใช้งานตลอดเวลา และเมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตข้อมูล ระบบควรจะสามารถปรับค่า p เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใช้โหนดสล็อตได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นโหนดสล็อตจะถูกใช้งานบ่อยครั้งมากขึ้น ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระบบจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่า p ที่สูง จึงทำให้การเลือกค่า r ที่สูงมีความเหมาะสมกว่า โดยเมื่อระบบสามารถปรับค่า p จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ระบบก็จะใช้ค่า p นี้ในการทำงานโดยอาจจะมีการปรับค่า p ขึ้นลงอีกเล็กน้อยเท่านั้น

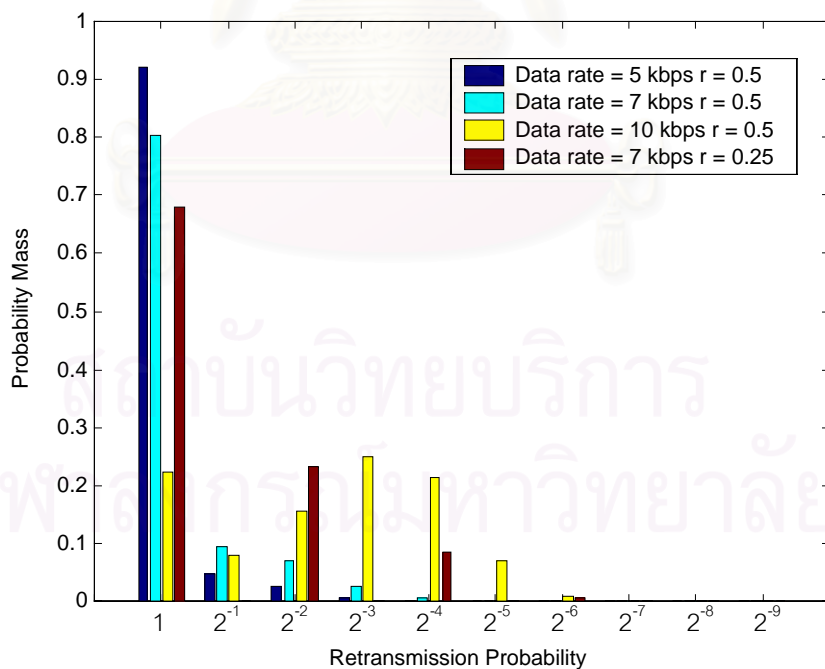
สำหรับค่าวิสัยความสามารถของระบบในรูปที่ 5.11 นั้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง การนำเอาวิธี Back-off มาใช้จะทำให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบมีค่าคงที่ โดยที่ค่าวิสัยความสามารถจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มค่า r ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการจำลองระบบที่สภาวะ Full load ในรูปที่ 5.9

5.1.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของค่า r ที่มีต่อจำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิ๊กและค่า p

ในส่วนนี้จะพิจารณา Probability mass function ของจำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิ๊กและ Probability mass function ของค่า Retransmission Probability ของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 20 คน ความยาวข่าวสารเป็น 1 แพ็กเกต/ข่าวสาร $r = 0.5$ ในทางปฏิบัติ ค่า Retransmission Probability จะถูกจำกัดขอบล่างไว้ โดยที่ $p_{\min} = r^k$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็มบวกค่าหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่า $p_{\min} = r^9$ ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับจำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อกของ โพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $R_D = 5, 7$ และ 10 กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$



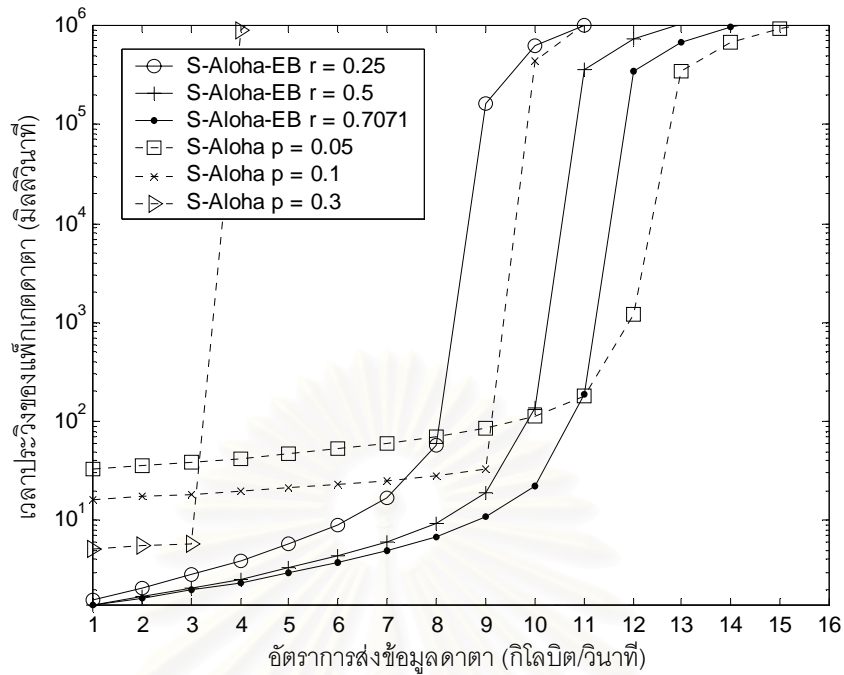
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่สภาวะ Underload เมื่อ $R_D = 5, 7$ และ 10 กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$

จากรูปที่ 5.12 พบว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้เพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อกของแต่ละโหนดจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการชนกัน โพรโทคอล S-Aloha-EB จะลดค่า p ลง ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.13 พิจารณากรณีที่ $r = 0.5$ เมื่ออัตราการส่งข้อมูลดาตาเป็น 5 กิโลบิต/วินาที จะได้ว่าค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าอัตราการส่งข้อมูลดาตาเพิ่มขึ้นเป็น 10 กิโลบิต/วินาที จะได้ว่าค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 2^{-3} นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในสภาวะทราฟฟิกสูง ๆ ซึ่งค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำนั้น ค่า p ในระบบที่มีค่าน้อยกว่า 2^{-6} จะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องในทางปฏิบัติที่กำหนดให้ค่า p มีขอบเขตล่างที่จำกัด

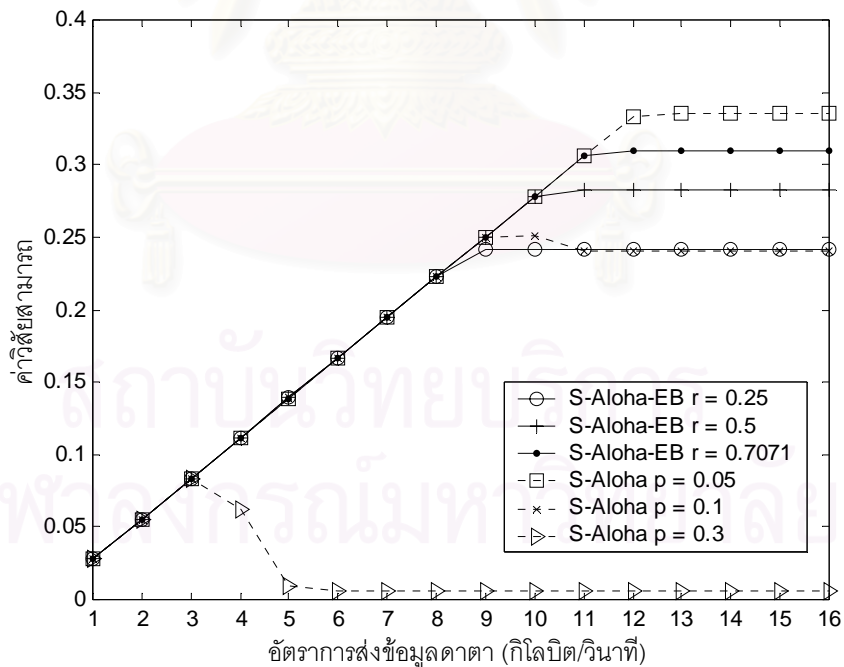
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเลือกค่า r ที่มีผลต่อค่า p จะเห็นได้ว่า ในกรณีที่อัตราการส่งข้อมูลดาตาเป็น 7 กิโลบิต/วินาที จะได้ว่าค่า p ของระบบที่มี $r = 0.5$ จะมีค่าอยู่ในช่วงของ 1, 2^{-1} , 2^{-2} และ 2^{-3} ในขณะที่ระบบที่มี $r = 0.25$ จะมีค่า p อยู่ในช่วง 1, 2^{-2} และ 2^{-4} ซึ่งการเพิ่มค่า r จะช่วยลดช่องว่างระหว่างค่า p ที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเป็นการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล S-Aloha-EB ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับรูปที่ 5.9 และ 5.11 ที่ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าเพิ่มตามค่า r ที่เพิ่มขึ้น

5.1.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาและค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha-EB

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB โดยที่จะแสดงการเปรียบเทียบเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา และค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha และโพรโทคอล S-Aloha-EB ที่ค่า r ต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 20 คน และความยาวข่าวสารเป็น 1 แพ็กเกต/ข่าวสาร ได้ดังรูปที่ 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวัของแพ็กเก็ตดาตากับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $r = 0.25, 0.5$ และ 0.7071



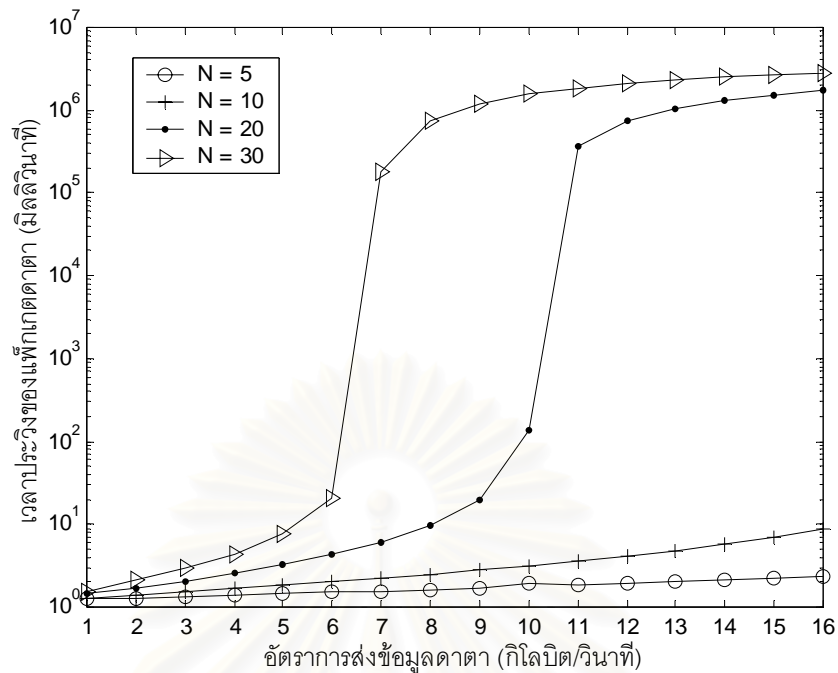
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยตามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $r = 0.25, 0.5$ และ 0.7071

จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าน้อยถึงปานกลาง ค่าเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB จะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล S-Aloha ที่มีการใช้ค่า p คงที่ โดยเลือกค่า r ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาดต่ำลงและค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองระบบที่ได้กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงมาก โพรโทคอล S-Aloha กรณีที่ $p = 0.05$ จะให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาดต่ำกว่ากรณีของโพรโทคอล S-Aloha-EB ในขณะที่จะให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่ปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง ปริมาณการร้องขอจะเกิดขึ้นบ่อยครั้งมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการชนกัน ระบบควรจะกำหนดให้ค่า p มีค่าต่ำ ๆ

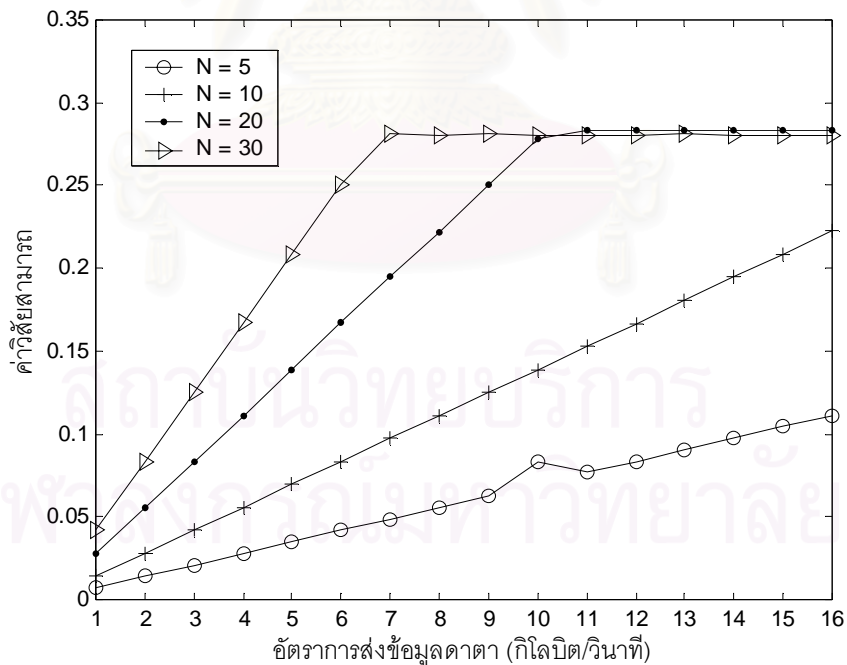
อย่างไรก็ตามโพรโทคอล S-Aloha จะมีปัญหาในการเลือกค่า p ที่เหมาะสมกับสภาวะทราฟฟิก ซึ่งจะเห็นจากรูปที่ 5.14 ว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าน้อยถึงปานกลาง การเลือกค่า p ที่สูงขึ้น ($p = 0.3$) จะทำให้ผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตามีค่าน้อย ในขณะที่เมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้นควรจะเลือกค่า p ที่มีค่าต่ำลง ($p = 0.05$) เพื่อเป็นการลดโอกาสการชนกัน

ในส่วนถัดไปจะพิจารณาผลของจำนวนผู้ใช้ในระบบที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา และค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha-EB ซึ่งในที่นี้จะพิจารณารณกรณีที่จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 5, 10, 20 และ 30 คน ความยาวข่าวสารเป็น 1 แพ็กเกต/ข่าวสาร ค่า $r = 0.5$ ซึ่งจะได้ผลของเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา, ค่าวิสัยสามารถ, Probability mass function ของจำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อก และ Probability mass function ของค่า Retransmission Probability ตามรูปที่ 5.16-5.19

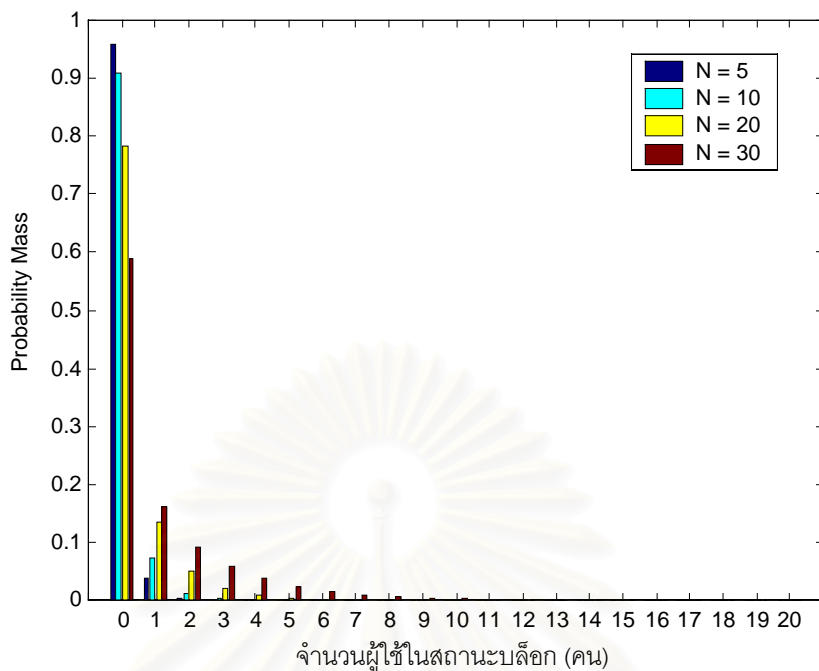
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



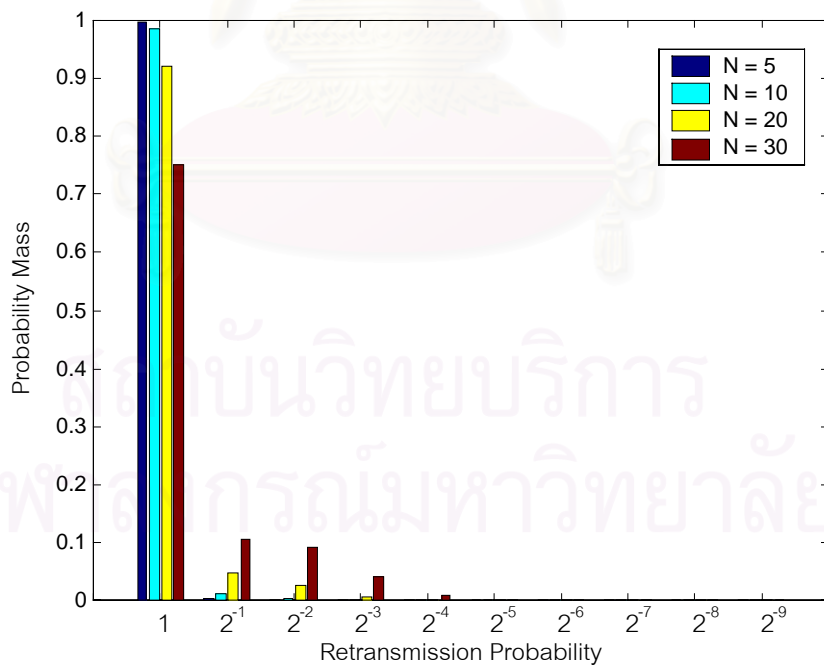
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $r = 0.5$



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $r = 0.5$



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับจำนวนผู้ใช้ในสถานะบล็อกของ โพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $R_D = 5$ กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 5, 10, 20 และ 30 คน $R_D = 5$ กิโลบิต/วินาที $r = 0.5$

จากรูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราการส่งข้อมูลดาตาค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าเวลาประวิงของแพ็กดาตาจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแข่งขันในการร้องขอโทรม์สลิตมากขึ้น ดังนั้นผู้ใช้งานจึงจะใช้เวลานานขึ้นก่อนที่จะสามารถร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จ ในขณะที่ระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ไม่มากนักจะมีอัตราการแข่งขันน้อยกว่า ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใช้โทรม์สลิตได้รวดเร็วกว่า นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราการส่งข้อมูลดาตามีค่าเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาของระบบที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงมาก ทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก และไม่มีผู้ใช้งานใดสามารถร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จ

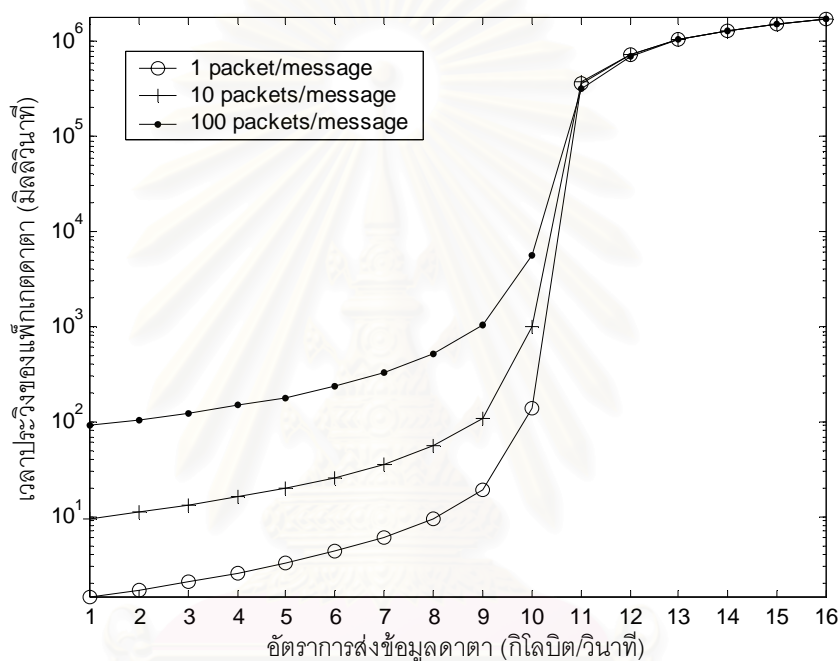
สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 5.17 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้มีค่ามากจะทำให้โอกาสที่โทรม์สลิตจะถูกใช้งานตลอดเวลาที่มีค่าสูง อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเมื่ออัตราการส่งข้อมูลดาตามีค่าเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่ง ค่าวิสัยสามารถจะมีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากโทรม์สลิตได้ถูกใช้งานอย่างเต็มสมรรถนะแล้ว

รูปที่ 5.18 แสดง Probability mass function ของจำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิคค่าต่าง ๆ เมื่ออัตราการส่งข้อมูลดาตาเท่ากับ 5 กิโลบิต/วินาที ซึ่งจะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 5 คน ค่า Probability mass function เมื่อจำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิคเป็น 0 คนจะมีค่าสูงสุดถึง 0.95 การที่จำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิคเป็น 0 จะหมายถึงสถานะที่โทรม์สลิตนั้นไม่มีผู้ใช้งานใดต้องการจะส่งแพ็กเกต ดังนั้นโทรม์สลิตส่วนใหญ่ในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 5 คน อยู่ในสถานะว่าง แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ค่า Probability mass function ที่จำนวนผู้ใช้ในสถานะบลิคเท่ากับ 0 จะมีค่าลดลง แสดงว่าโทรม์สลิตถูกใช้งานมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้นด้วยดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.17

รูปที่ 5.19 แสดง Probability mass function ของค่า Retransmission Probability p ต่าง ๆ เมื่ออัตราการส่งข้อมูลดาตาเท่ากับ 5 กิโลบิต/วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เป็น 5 คน ค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่ในระบบจะมีค่าเท่ากับ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้ไม่มากนักโอกาสที่จะเกิดการชนกันมีน้อย ดังนั้นระบบจะกำหนดให้ค่า p มีค่าสูงเพื่อให้ผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเกตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาที่ไม่สูงนัก ในทางกลับกัน เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 30 คน ค่า p ที่ใช้จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 2^{-3} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า p ที่ใช้จะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีจำนวนผู้ใช้น้อยกว่า

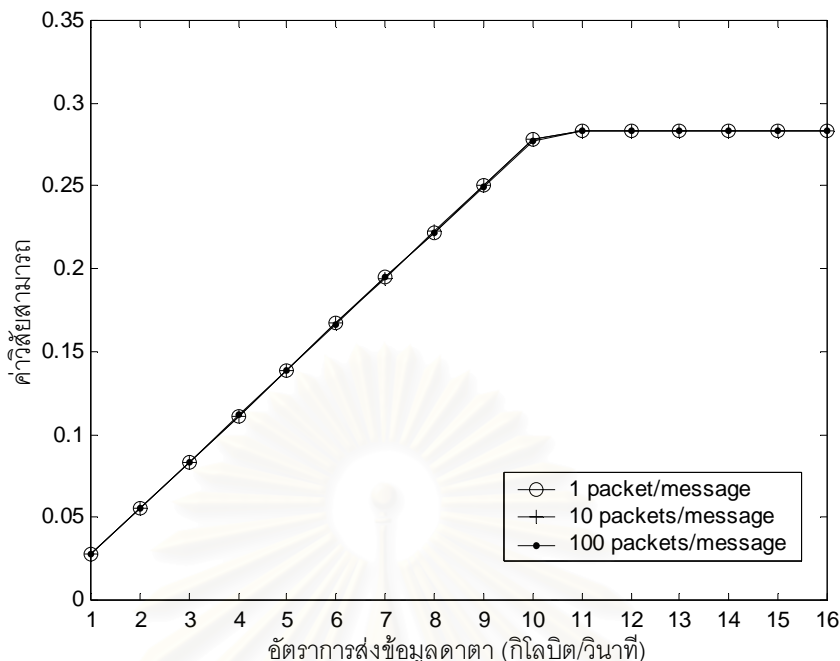
เพื่อลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ล็คอตได้สำเร็จมากขึ้น

ในส่วนถัดไปจะพิจารณาผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถ โดยจะกำหนดให้ความยาวข่าวสารเท่ากับ 1, 10 และ 100 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 20 คน $r = 0.5$ ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบในรูป 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $L_m = 1, 10$ และ 100 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร $r = 0.5$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

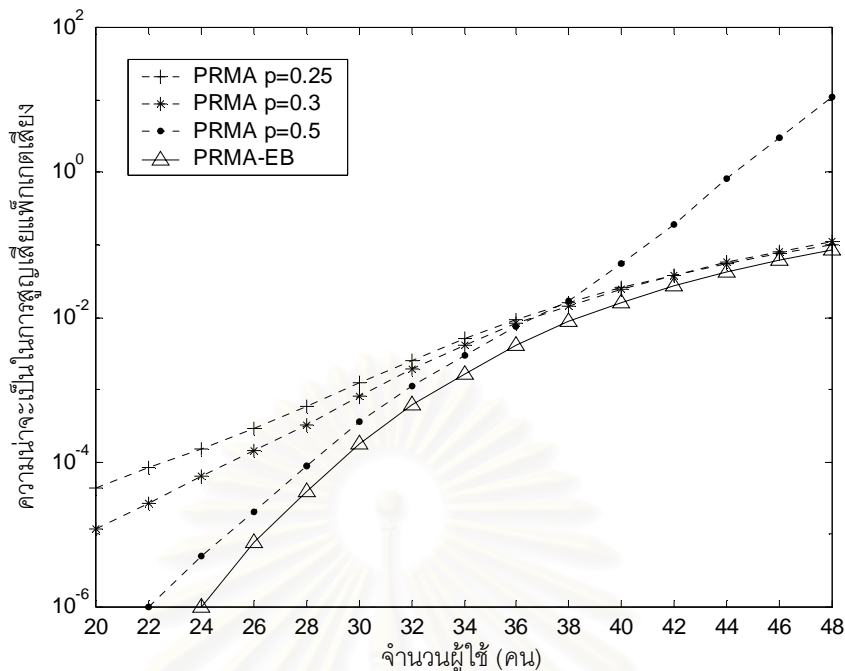


รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการส่งข้อมูลดาตาของโพรโทคอล S-Aloha-EB เมื่อจำนวนผู้ใช้ = 20 คน $L_m = 1, 10$ และ 100 แพ็กเกต/ข่าวสาร $r = 0.5$

จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาจะเพิ่มขึ้นตามความยาวข่าวสารที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อข่าวสารมีขนาดยาวขึ้น จะทำให้แพ็กเกตดาตาต้องใช้เวลารอภายในบัฟเฟอร์เป็นเวลานานก่อนที่จะสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ นอกจากนี้จะเห็นว่าค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล S-Aloha-EB ในรูปที่ 5.21 จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยไม่ขึ้นกับความยาวของข่าวสาร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.15 และ 5.17 แล้วจะพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าวิสัยสามารถของระบบโดยตรงได้แก่ค่า r ที่เลือกใช้ และจำนวนผู้ใช้ภายในระบบ

5.1.2.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการปรับค่า Retransmission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off

ในส่วนนี้จะพิจารณากำหนดโพรโทคอล S-Aloha-EB มาประยุกต์ใช้ในส่วนของการร้องขอไทม์สล็อตในโพรโทคอล PRMA โดยจะเรียกโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Back-off ว่า โพรโทคอล PRMA-EB ในการพิจารณาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-EB นี้ จะเปรียบเทียบกับผลการทดสอบระบบกับโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้ค่า p คงที่ โดยในส่วนแรกจะพิจารณากรณีของโพรโทคอล PRMA ที่รองรับบริการเสียงเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB สำหรับบริการเสียง เมื่อ $r = 0.5$

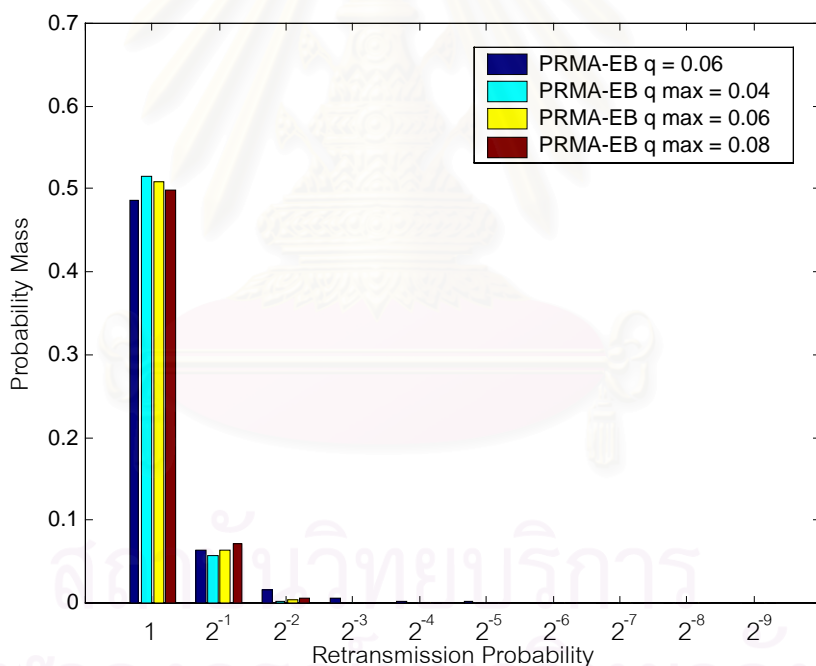
จากรูปที่ 5.22 พบว่า ในกรณีของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้ค่า p คงที่ การเพิ่มค่า p จะทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้ $M_{0.01}$ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อใช้ค่า $p = 0.5$ จะพบว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผู้ใช้มากกว่า 36 คน เนื่องจากเกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA-EB พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้มีค่าน้อย ค่า p ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูง ทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ $p = 0.5$ อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง (จำนวนผู้ใช้ ≥ 36 คน) ระบบจะปรับค่า p ให้ลดลงตามปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ $p = 0.3$

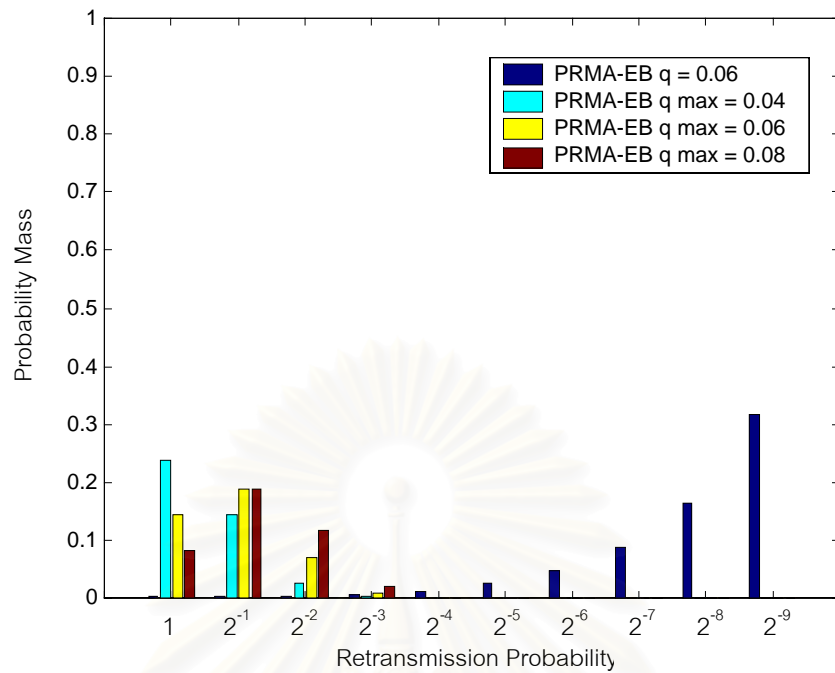
ในส่วนถัดไปจะพิจารณากรณีของโพรโทคอลสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ที่อัตราการส่งข้อมูลดาตา 5.12 กิโลบิต/วินาที ความยาวข่าวสารเป็น 5 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่มีการปรับค่า p และ q โดยวิธี Back-off กับกรณีที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี Back-off แต่ไม่มีการปรับค่า q นอกจากนี้ การที่ผู้ใช้เสียงสามารถทนต่อเวลาประวิงได้จำกัด จึงจะมีการกำหนดให้ค่า p_{\max} สูงกว่าค่า q_{\max} ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้ $p_{\max} = 1$ โดยจะมีการพิจารณาถึงผลของการเลือกค่า q_{\max} ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA-EB

ในการจำลองระบบจะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอล PRMA, โพรโทคอล PRMA-EB ที่มีการใช้ค่า $q = 0.06$ คงที่ และโพรโทคอล PRMA-EB ที่มีค่าปรับค่า q โดยที่มี $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08 ซึ่งจะได้ Probability mass function ของค่า Retransmission Probability p ของผู้ใช้เสียง เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าปานกลาง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 20 คน) และปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 28 คน) ในรูปที่ 5.23 และ 5.24 ตามลำดับ และเนื่องจากระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงสามารถยึดครองไทม์สล็อตได้ ดังนั้นการพิจารณา Probability mass function ของค่า p ของผู้ใช้เสียง จึงพิจารณาเฉพาะไทม์สล็อตที่ไม่ถูกยึดครองโดยผู้ใช้เสียงเท่านั้น

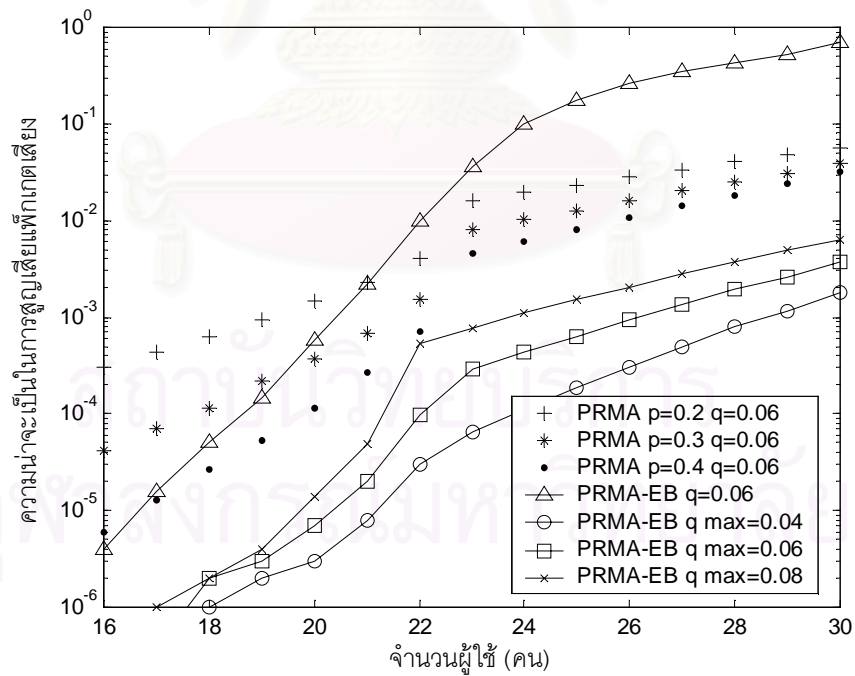
นอกจากนี้จะแสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถ เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 16-30 คน ในรูปที่ 5.25-5.27



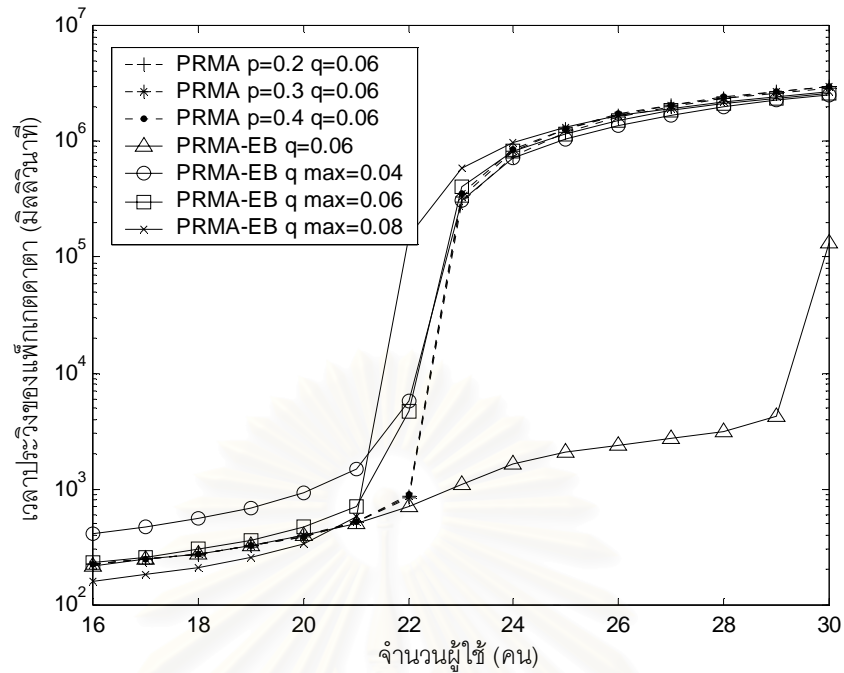
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของผู้ใช้เสียงของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20 คน $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08



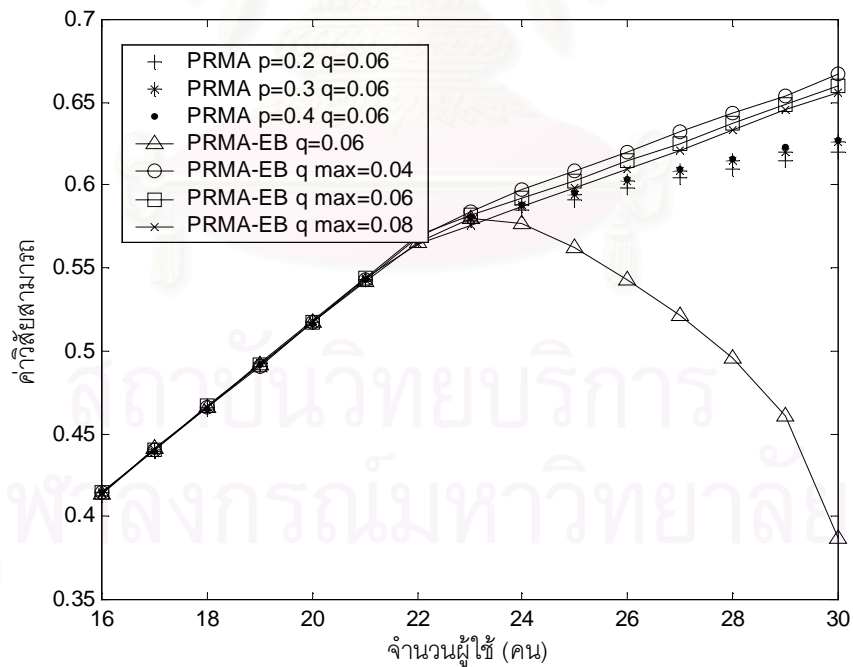
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability mass function กับ Retransmission Probability ของผู้ใช้เสียงของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 28 คน $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08



รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-EB เมื่อ $r = 0.5$ $q_{\max} = 0.04, 0.06$ และ 0.08

จากรูปที่ 5.23 เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 20 คน พบว่าโพรโทคอล PRMA-EB ที่มีการปรับเฉพาะค่า p โดยที่จะใช้ค่า $q = 0.06$ คงที่นั้น ระบบจะมีการปรับใช้ค่า p ตั้งแต่ 1 ถึง 2^5 โดยการที่ผู้ใช้ดาตาจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตด้วยค่า $q = 0.06$ ตลอดเวลาโดยไม่ขึ้นกับสภาวะทราฟฟิก ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้ดาตาจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมีค่าสูง โดยเฉพาะถ้าในขณะนั้นผู้ใช้เสียร้องขอโทรม์สล็อตด้วยค่า p ที่ต่ำ ซึ่งการที่ผู้ใช้ดาตาในระบบมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จสูงนี้ จะส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตามีค่าต่ำ ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.26 ในทางตรงกันข้าม โพรโทคอล PRMA-EB ที่มีการปรับทั้งค่า p และค่า q นั้น ระบบจะมีการปรับใช้ค่า p ที่สูงกว่า นั่นคือจะมีการปรับค่า p ในช่วง 1 ถึง 2^2 ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้เสียมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากกว่าระบบที่มีการใช้ค่า q เป็นค่าคงที่ และส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงของระบบที่มีการปรับทั้งค่า p และค่า q มีค่าต่ำกว่าระบบที่ใช้ค่า q คงที่

อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ปริมาณการร้องขอจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรม์สล็อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกต ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันก็จะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ระบบจะปรับค่า p ให้ลดลง ซึ่งจากผลของการจำลองระบบในรูปที่ 5.24 นั้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 28 คน ค่า p ของระบบที่ใช้ค่า $q = 0.06$ คงที่นั้นจะถูกปรับให้มีค่าเท่ากับ 2^9 ถึง 35% ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้เสียจะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมีค่าต่ำมาก และส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 5.25 ในขณะเดียวกัน ผู้ใช้ดาตาจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้ด้วยค่า $q = 0.06$ คงที่โดยไม่ขึ้นกับปริมาณทราฟฟิก ผู้ใช้ดาตาจึงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากกว่าผู้ใช้เสีย ดังนั้นค่าเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาจึงมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ ดังผลการจำลองในรูปที่ 5.26

ในการพิจารณาผลของค่า q_{\max} ของโพรโทคอล PRMA-EB ที่มีการปรับค่า p และค่า q ในรูปที่ 5.23 และ 5.24 จะพบว่าระบบจะปรับค่า p ให้มีค่าเท่ากับ 1 และ 2^1 เป็นส่วนใหญ่ โดยเมื่อ $q_{\max} = 0.04$ ระบบจะปรับค่า p ให้มีค่าเท่ากับ 1 มากที่สุด ดังนั้นโอกาสที่ผู้ใช้เสียจะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จเมื่อค่า $q_{\max} = 0.04$ จะมีค่าสูงกว่ากรณี $q_{\max} = 0.06$ และ 0.08 ซึ่งจะทำความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงเมื่อ $q_{\max} = 0.04$ มีค่าต่ำสุด ในขณะที่การใช้ค่า $q_{\max} = 0.08$ จะทำให้ผู้ใช้ดาตามีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้น และทำให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตามีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับกรณีใช้ค่า q_{\max} อื่น ๆ

นอกจากนี้ก็จะสังเกตได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง จะพบว่าจำนวนการร้องขอจะมีค่ามากขึ้น ทำให้ระบบลดค่า p และ q ลง ซึ่งการลดค่า q ลงนี้จะทำให้ผู้ใช้ดาตามีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จลดลง และเมื่อผู้ใช้ดาตาจำนวนมากที่ไม่สามารถร้องโทรมส์ล็ตได้มาร้องขอโทรมส์ล็ตในช่วงเวลาเดียวกันจะทำให้เกิดการชนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ ซึ่งในที่นี้จะทำให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.27 พบว่าโพรโทคอล PRMA-EB ที่ใช้ค่า $q_{\max} = 0.04$ จะให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ ซึ่งระบบนี้จะมีค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงต่ำสุด ดังนั้นผู้ใช้เสียงจะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จมากที่สุด และเมื่อผู้ใช้เสียงร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จก็จะส่งแพ็กเกตเสียงในลักษณะของการจงทำให้โทรมส์ล็ตถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางกลับกัน ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรมส์ล็ตทุกครั้งที่จะส่งแพ็กเกตโดยไม่ได้รับอนุญาตให้จงโทรมส์ล็ต ดังนั้นถ้าระบบกำหนดให้ผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอโทรมส์ล็ตด้วยค่า q ที่สูง จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีมากและไม่มีผู้ใช้ใดสามารถใช้โทรมส์ล็ตได้ เป็นการสูญเสียทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์

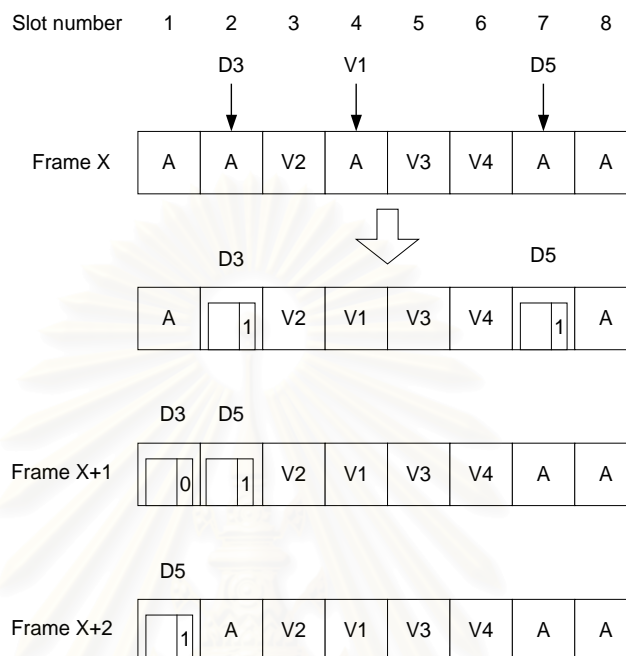
5.2 เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ

5.2.1 การใช้ Piggybacking (PGBK) ของผู้ใช้ดาตาเพื่อบอกสถานะพื้นฐานในกรณีที่ใช้ดาตายังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเกตดาตาในชุดข่าวสารเดียวกัน

สำหรับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมนั้น เมื่อผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอโทรมส์ล็ตได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเกตได้เพียง 1 แพ็กเกตต่อการร้องขอหนึ่งครั้ง โดยถ้าผู้ใช้ดาตานั้นยังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเกตอีกก็ต้องไปร้องขอโทรมส์ล็ตใหม่ จะเห็นได้ว่าการที่ระบบมีข้อกำหนดเช่นนี้จะทำให้ปริมาณของทราฟฟิกดาตาที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของทราฟฟิกดาตาจะทำให้จำนวนการร้องขอมีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลงได้

ดังนั้นจึงได้มีการเสนอแนวทางในการเพิ่มบิต PGBK ในทุก ๆ แพ็กเกตดาตาที่ส่งไปยังสถานะพื้นฐาน เพื่อบอกสถานะพื้นฐานว่าผู้ใช้ดาตายังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเกตดาตาที่อยู่ภายในชุดข่าวสารเดียวกันอีกหรือไม่ และเมื่อทางสถานะพื้นฐานรับทราบก็จะจัดสรรโทรมส์ล็ตในเฟรมถัดไปให้แก่ผู้ใช้ดาตาตามลำดับการเข้าโทรมส์ล็ตในเฟรมก่อนหน้านั้น โดยที่ผู้ใช้ดาตาแต่ละคนจะได้รับการจัดสรรโทรมส์ล็ต 1 สล็ต/เฟรม และจะได้รับการจัดสรรโทรมส์ล็ตจนกว่าจะส่งแพ็กเกตหมดชุดข่าวสารนั้น ๆ โดยไม่ต้องร้องขอโทรมส์ล็ตใหม่ จากวิธีนี้จะเห็นได้ว่าการที่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม-

สล็อตที่ได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้จนกระทั่งหมดชุดข่าวสารจะทำให้จำนวนของการร้องขอลดลง ตัวอย่างการจัดสรรไทม์สล็อตโดยวิธีการเซตบิต PGBK ของผู้ใช้งาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.28 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่มีการเซตบิต PGBK ของผู้ใช้งาน

รูปที่ 5.28 เป็นตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการเซตบิต PGBK ในการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้งาน โดยที่ 1 เฟรมจะประกอบด้วยไทม์สล็อต 8 สล็อต ในเฟรมที่ X ไทม์สล็อตที่ 3, 5 และ 6 ถูกยึดครองโดยผู้ใช้งาน ในขณะที่ไทม์สล็อตที่ 1, 2, 4, 7 และ 8 ว่าง ผู้ใช้งาน D3 ร้องขอไทม์สล็อตที่ว่างสล็อตที่ 2 ในขณะที่ผู้ใช้งาน V1 และผู้ใช้งาน D5 ร้องขอไทม์สล็อตที่ 4 และ 7 ตามลำดับ ในกรณีที่ผู้ใช้งานทั้งสามสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ ผู้ใช้งาน V1 จะส่งแพ็กเก็ตและเข้ายึดครองไทม์สล็อตที่ 4 ส่วนผู้ใช้งาน D3 และ D5 จะส่งแพ็กเก็ตในไทม์สล็อตที่ 2 และ 7 ตามลำดับ และการที่ผู้ใช้งานทั้งสองเซตบิต PGBK เป็น 1 แสดงว่าผู้ใช้งานทั้งสองมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตดาตาภายในชุดข่าวสารเดียวกัน

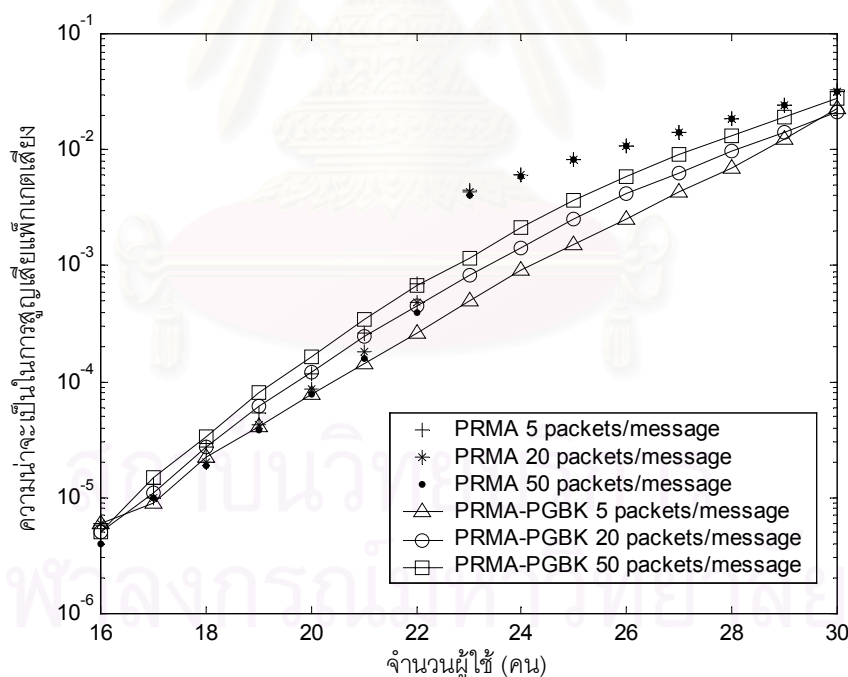
ในเฟรมที่ X+1 เมื่อสถานีฐานพบว่าไม่มีไทม์สล็อตว่างก็จะจัดสรรไทม์สล็อตที่ว่างนี้ให้แก่ผู้ใช้งานที่มีการเซตบิต PGBK เป็น 1 โดยสถานีฐานจะจัดสรรไทม์สล็อตให้ตามลำดับการส่งแพ็กเก็ตของผู้ใช้งานในเฟรมก่อนหน้า และเนื่องจากผู้ใช้งานไม่สามารถจองไทม์สล็อตได้เช่นเดียวกับผู้ใช้งาน ดังนั้นไทม์สล็อตที่ 1 และ 2 จะว่าง สถานีฐานจึงจัดสรรไทม์สล็อตที่ว่างนี้ให้แก่ผู้ใช้งาน D3 และ D5 ตามลำดับ หลังจากทีสถานีฐานจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้งานที่เซต

บิต PGBK เป็น 1 ครบหมดแล้ว ผู้ใช้คนอื่น ๆ ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตจะสามารถร้องขอไทม์สล็อตที่ว่างได้ตามปกติ

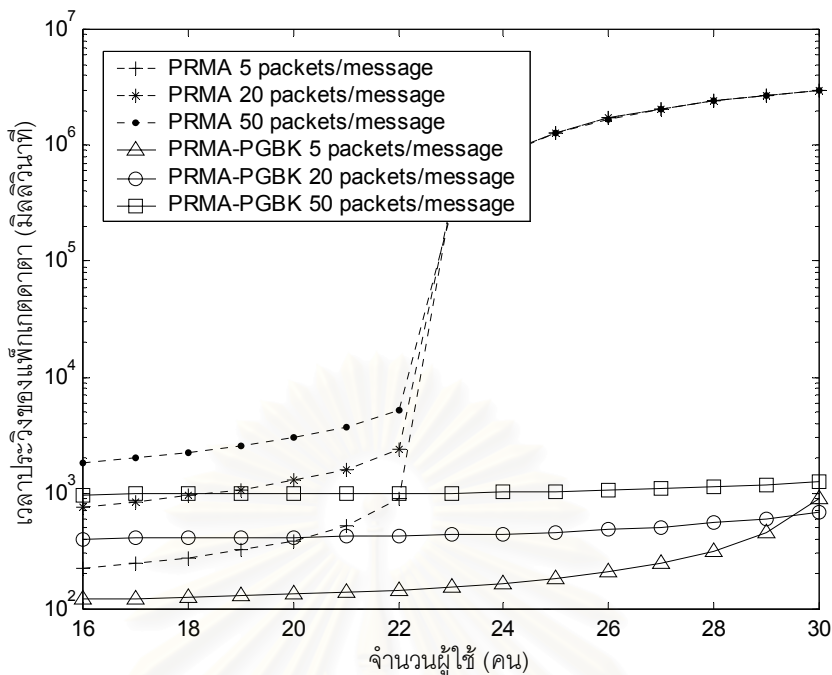
ในเฟรมที่ $X+1$ นี้จะพบว่าผู้ใช้ดาตา D3 ได้เซตบิต PGBK เป็น 0 ทำให้สถานีฐานรับทราบว่าแพ็กเก็ตนี้เป็นแพ็กเก็ตสุดท้ายของชุดข่าวสาร ดังนั้นสถานีฐานก็จะไม่จัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตา D3 นี้ในเฟรมถัดไป ทำให้ผู้ใช้ดาตา D5 ได้รับการจัดสรรไทม์สล็อตที่ว่างสล็อตที่ 1 ในเฟรมที่ $X+2$ แทน

5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-PGBK

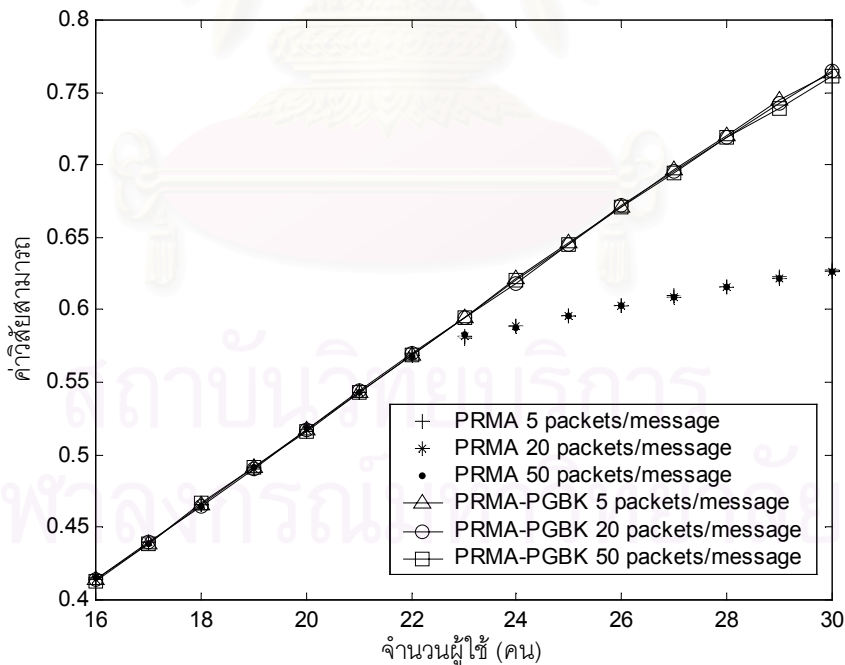
ในส่วนนี้จะพิจารณาโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิค PGBK เปรียบเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ที่ความยาวข่าวสารเป็น 5, 20 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร อัตราการส่งข้อมูลดาตาเป็น 5.12 กิโลบิต/วินาที ผู้วิจัยจะแสดงผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปแบบที่ 5.29-5.31 ตามลำดับ



รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร

การนำเอา PGBK มาใช้ในโปรโตคอล PRMA จะมีข้อดีในแง่ของการลดจำนวนการร้องขอของผู้ใช้ดาตา โดยถ้าผู้ใช้ดาตาคนใดสามารถร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จ ผู้ใช้นั้นจะสามารถเซ็ตบิต PGBK เป็น 1 เพื่อบอกสถานะฐานในกรณีที่ผู้ใช้ยังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตที่อยู่ภายในชุดข่าวสารเดียวกันอยู่ ทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ต่อเนื่องจนหมดชุดข่าวสารโดยไม่ต้องร้องขอโทรม์สลิตต์ใหม่ ซึ่งผลของ PGBK นี้จะช่วยลดปริมาณการร้องขอโดยเฉพาะในข่าวสารขนาดยาว และเมื่อปริมาณการร้องขอลดลงจะทำให้ผู้ใช้คนอื่น ๆ ที่ร้องขอโทรม์สลิตต์มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จสูง

อย่างไรก็ตาม การที่ผู้ใช้ดาตาที่ส่งข่าวสารขนาดยาวสามารถส่งแพ็กเก็ตของตนโดยการเซ็ตบิต PGBK นั้น จะทำให้ผู้ใช้ดาตาไปยึดครองโทรม์สลิตต์เป็นเวลานานหลายเฟรม ซึ่งอาจส่งผลให้ไม่มีโทรม์สลิตต์ว่างที่จะรองรับผู้ใช้คนอื่นโดยเฉพาะผู้ใช้เสียง และอาจทำให้แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้งได้ ในทางกลับกัน ข่าวสารขนาดสั้นจะมีความถี่ในการกำเนิดข่าวสารบ่อยครั้งกว่าข่าวสารขนาดยาว ดังนั้นจะมีจำนวนการร้องขอในแต่ละช่วงเวลามากกว่าข่าวสารขนาดยาว แต่จะมีระยะเวลาในการยึดครองโทรม์สลิตต์ของข่าวสารแต่ละชุดสั้นกว่าข่าวสารขนาดยาว

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงในรูปที่ 5.29 จะพบว่าในกรณีของโปรโตคอล PRMA การที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นจะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงกว่าการที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาว ทั้งนี้เนื่องจากข่าวสารขนาดสั้นมีอัตราการเกิดของข่าวสารบ่อยครั้งมากกว่าข่าวสารขนาดยาว ทำให้จำนวนการร้องขอในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มีปริมาณมาก ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันระหว่างผู้ใช้จึงมีมากกว่า ในขณะที่ข่าวสารขนาดยาวจะมีอัตราการเกิดไม่บ่อยครั้งนัก ทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มีจำนวนการร้องขอไม่มากนัก ผู้ใช้จึงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จมากกว่า

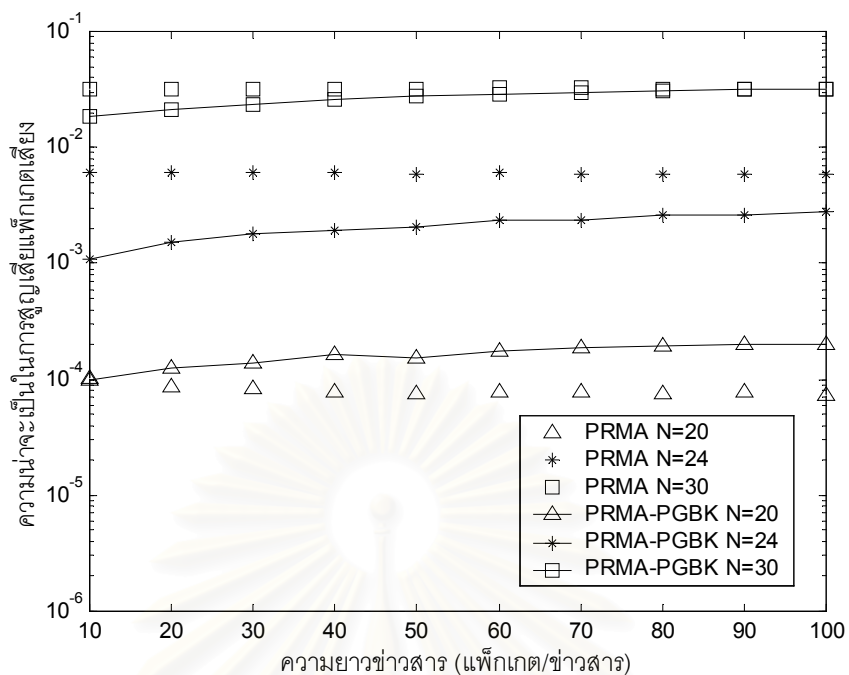
สำหรับระบบที่นำเอา PGBK มาใช้นั้น จะมีจำนวนการร้องขอที่ลดลง ทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จมากขึ้น ดังนั้นการที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกทิ้งจะมีสาเหตุมาจากการยึดครองโทรม์สลิตต์ของผู้ใช้ดาตาเป็นเวลานาน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้เสียงไม่สามารถเข้าใช้โทรม์สลิตต์ได้ โดยจะเห็นผลของการยึดครองโทรม์สลิตต์ของผู้ใช้ดาตาได้จากรูปที่ 5.29 ว่า ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตของข่าวสารขนาดยาวจะมีค่าสูงกว่าข่าวสารขนาดสั้น ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาจะยึดครองโทรม์สลิตต์เป็นเวลานานกว่าข่าวสารขนาดสั้น

เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโปรโตคอล PRMA แบบดั้งเดิม และโปรโตคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิค PGBK พบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย

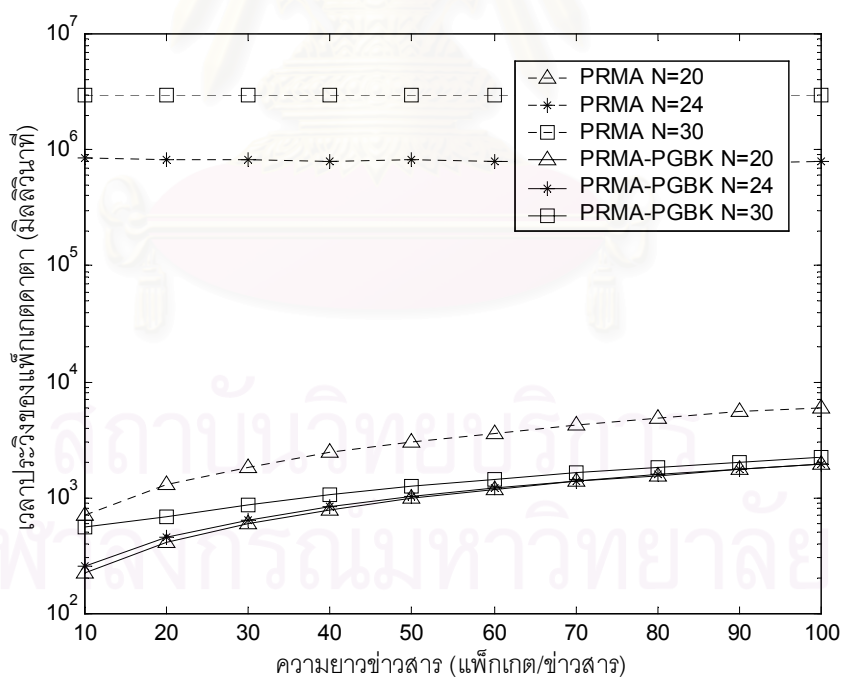
ถึงปานกลาง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-22 คน) การนำเอา PGBK มาใช้ในโพรโทคอล PRMA จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวจะมีจำนวนการร้องขอไม่มากนัก จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำ PGBK มาใช้เพื่อลดการร้องขอ ในขณะเดียวกัน การใช้ PGBK จะทำให้ผู้ใช้คาดเดายืดครองไทม์สล๊อตและอาจจะทำให้ผู้ใช้เสียงไม่สามารถเข้าใช้ไทม์สล๊อตได้จนเป็นสาเหตุให้แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้งไป แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูงขึ้น (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 23-30 คน) จำนวนการร้องขอในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะมีค่าสูงมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้ไทม์สล๊อตได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การนำเทคนิค PGBK มาใช้จะช่วยลดปริมาณการร้องขอซึ่งจะเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการร้องขอของผู้ใช้เสียงได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้วิธี PGBK จะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.30 จะเห็นได้ว่า ในระบบของข่าวสารขนาดยาวจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงกว่าระบบของข่าวสารขนาดสั้น ทั้งนี้เนื่องจากแพ็กเก็ตในข่าวสารขนาดยาวจะต้องใช้เวลารอภายในบัฟเฟอร์เป็นเวลานานก่อนที่จะได้รับการจัดสรรไทม์สล๊อต โดยที่ในกรณีของโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 22 คน ค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการร้องขอมีค่าสูงมาก ทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้ไทม์สล๊อตได้ดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับโพรโทคอล PRMA-PGBK จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล๊อตได้สำเร็จก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้จนหมดชุดข่าวสาร ทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่ลดลง

สำหรับค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.31 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนผู้ใช้ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ไทม์สล๊อตถูกใช้งานบ่อยครั้งขึ้นและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่ม แต่สำหรับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมนั้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้มากกว่า 22 คนขึ้นไป ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการร้องขอที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ไทม์สล๊อตบางส่วนต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ในส่วนถัดไปจะพิจารณาเปรียบเทียบผลของความยาวข่าวสารค่าต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 20, 24 และ 30 คน โดยจะแสดงผลการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.32 และ 5.33 ตามลำดับ



รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับความยาวข่าวสารของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20, 24 และ 30 คน



รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตตากับความยาวข่าวสารของโพรโทคอล PRMA-PGBK เมื่อ จำนวนผู้ใช้ = 20, 24 และ 30 คน

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงในรูปที่ 5.32 พบว่า ในกรณีของ โพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม (เส้นประ) นั้น ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะลดลง เมื่อข่าวสารของผู้ใช้ดาตามีขนาดยาวขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อข่าวสารมีขนาดยาวขึ้นจะทำให้ข่าวสาร มีอัตราความถี่ในการกำเนิดลดลง ส่งผลให้จำนวนการร้องขอในขณะหนึ่ง ๆ มีค่าไม่สูงนัก และ โอกาสที่จะเกิดการชนกันลดลง ในทางตรงกันข้าม ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของ โพรโทคอล PRMA-PGBK (เส้นทึบ) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวข่าวสารที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะ ข่าวสารขนาดยาวจะมีการยึดครองไทม์สล็อตเป็นเวลานาน ทำให้ผู้ใช้เสียงไม่สามารถเข้าใช้ไทม์- สล็อตได้ โดยเมื่อผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 20 คน) จะได้ว่าความน่าจะเป็น ในการสูญเสียแพ็กเก็ตของโพรโทคอล PRMA-PGBK จะมีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบ ดั้งเดิมเล็กน้อย (อยู่ในหน่วยของ 10^{-4}) แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 24 และ 30 คน ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตของโพรโทคอล PRMA-PGBK จะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมอย่างเห็นได้ชัด (อยู่ในหน่วยของ 10^{-3} และ 10^{-2}) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการใช้ PGBK นี้มีข้อดีในแง่ของการลดปริมาณการร้องขอโดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง ๆ ซึ่ง ปริมาณการร้องขอมีมาก ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.33 นั้น พบว่าเมื่อนำเทคนิค PGBK มาใช้ จะทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 30 คน) จะพบว่า เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาจะลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งนี้ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวมีปริมาณการร้องขอสูงที่สุด ทำให้การนำเอา PGBK มาใช้เห็นผลได้ ชัดเจน ซึ่งกรณีของโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะมีโอกาสชนกันสูงมาก ทำให้ค่าเวลาประวิง ของแพ็กเก็ตดาตามีค่าสูงตาม

5.2.2 การอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้มากกว่าหนึ่งแพ็กเก็ตต่อเฟรม (Multiple packet assignment)

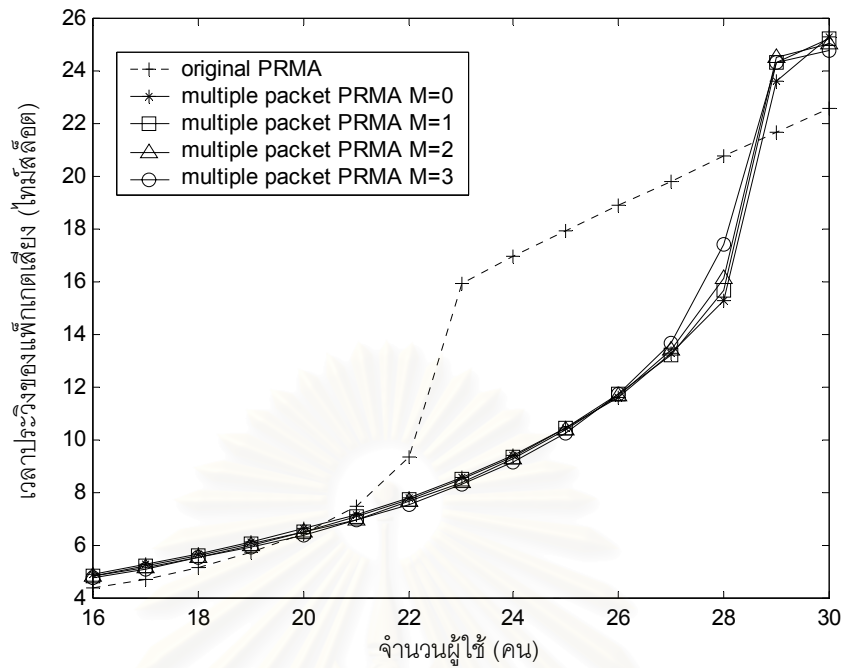
จากข้อเสียของโพรโทคอล PRMA ในการรองรับบริการดาตาที่ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอ ไทม์สล็อตใหม่ทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ทำให้ปริมาณของทราฟฟิก ดาตาที่ระบบสามารถรองรับได้มีค่าจำกัด ดังนั้นจึงจะมีการปรับปรุงโพรโทคอล PRMA โดยที่ ระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่สามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จสามารถส่งแพ็กเก็ตได้จำนวน หนึ่งต่อการร้องขอหนึ่งครั้ง เรียกว่าวิธี Multiple packet assignment [3] ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดจำนวน

การร้องขอของผู้ใช้ดาตาได้บางส่วน ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสการชนกันและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น

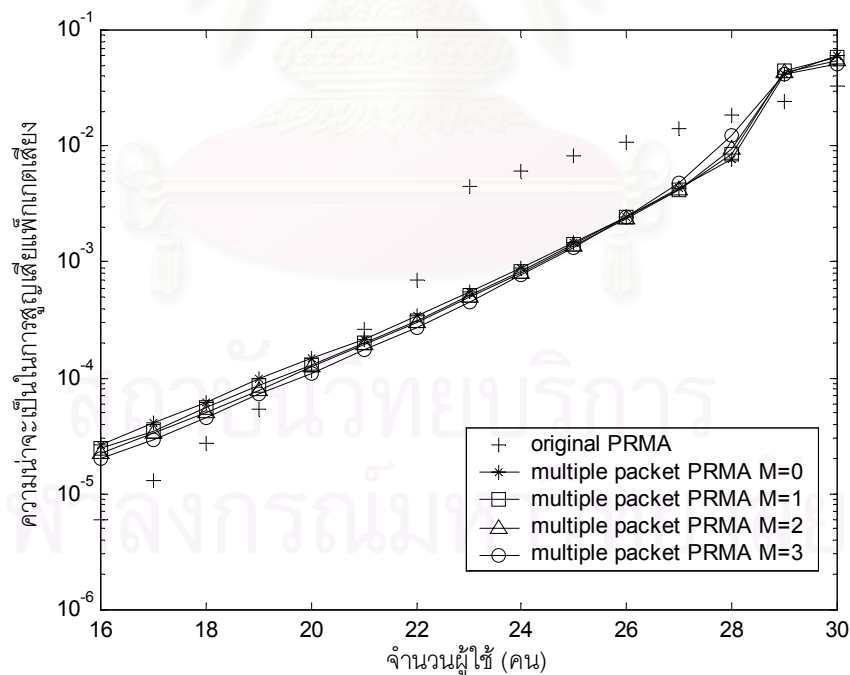
เนื่องจากสถานีฐานจะแพร่กระจายผลของการร้องขอผ่านระบบเชื่อมโยงขาลงไปยังผู้ใช้ที่ตอนท้ายของแต่ละโหนด ดังนั้นผู้ใช้จะสามารถทราบตำแหน่งและจำนวนของโหนดที่ว่างภายในเฟรมได้ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ที่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสามารถที่จะส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโหนดในโหนดที่ว่างได้ ในกรณีที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตจำนวนหนึ่ง ผู้ใช้ดาตาจะระบุจำนวนโหนดที่ต้องการไปยังสถานีฐานในขณะที่ร้องขอโหนด ทั้งนี้จำนวนโหนดที่สถานีฐานจะสามารถจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตาในการร้องขอครั้งหนึ่ง ๆ จะถูกจำกัด เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้ดาตายึดครองโหนดนานเกินไปและส่งผลให้ผู้ใช้คนอื่นไม่สามารถเข้าใช้โหนดได้

ในกรณีที่แต่ละเฟรมประกอบด้วยโหนด N_{TS} โหนด และในขณะที่ผู้ใช้ดาตาต้องการโหนดนั้นจะมีโหนดที่ว่างอยู่ k โหนด ($k \leq N_{TS}$) สถานีฐานจะจัดโหนดสำรองไว้ส่วนหนึ่งคือ M โหนด ($M \leq N_{TS}$) เพื่อให้ผู้ใช้รายอื่นสามารถร้องขอโหนดได้ ดังนั้นในกรณีที่ผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอโหนดได้สำเร็จ ผู้ใช้ดาตาจะได้รับการจัดสรรโหนดจากสถานีฐานเพื่อใช้ในการส่งแพ็กเก็ตที่เหลือได้อีก $k - M - 1$ โหนด การเข้าใช้โหนดของผู้ใช้ดาตานั้นจะมีลักษณะเหมือนกับ Sliding Window โดยที่โหนดแรกที่ผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอได้สำเร็จเปรียบเสมือนกับส่วนหัวของ Window และสถานีฐานจะจัดสรรโหนดให้แก่ผู้ใช้ดาตาจนกระทั่งผู้ใช้สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ $k - M$ แพ็กเก็ต โดยถ้าหลังจากนั้นผู้ใช้ดาตายังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตอีก ผู้ใช้ก็จะต้องไปร้องขอโหนดใหม่อีกครั้ง ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรโหนดให้แก่ผู้ใช้ดาตาแบบ Multiple packet assignment แสดงได้ดังรูปที่ 5.34

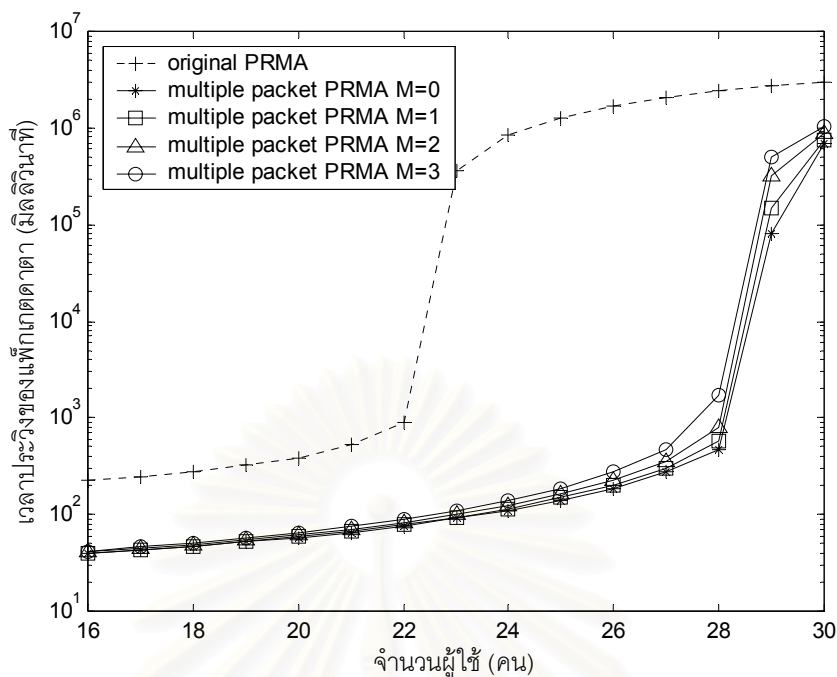
รูปที่ 5.34 เป็นตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค Multiple packet assignment ในการจัดสรรโหนดให้แก่ผู้ใช้ดาตา เมื่อจำนวนโหนดสำรอง $M = 1$ โดยที่แต่ละเฟรมประกอบด้วยโหนด 8 โหนด ในเฟรมที่ X โหนดที่ 3, 5 และ 6 ถูกยึดครองโดยผู้ใช้เสียง ในขณะที่โหนดที่ 1, 2, 4, 7 และ 8 จะว่าง สมมติให้ผู้ใช้ดาตา D3 ร้องขอโหนดที่ว่างโหนดที่ 4 และถ้าผู้ใช้ดาตา D3 นี้สามารถร้องขอโหนดได้สำเร็จ ผู้ใช้ดาตาจะทราบว่าจำนวนโหนดที่ว่างในขณะนั้นเท่ากับ 5 โหนด ดังนั้นผู้ใช้ดาตาจะสามารถเข้าใช้โหนดที่ว่างนี้ได้สูงสุดเท่ากับ $k - M$ หรือเท่ากับ 4 โหนด ซึ่งการเข้าใช้โหนดของผู้ใช้ดาตานั้นจะมีลักษณะเป็น Sliding Window โดยถือว่าโหนดที่ผู้ใช้ดาตาต้องการได้สำเร็จนั้นเป็นโหนดที่ 1



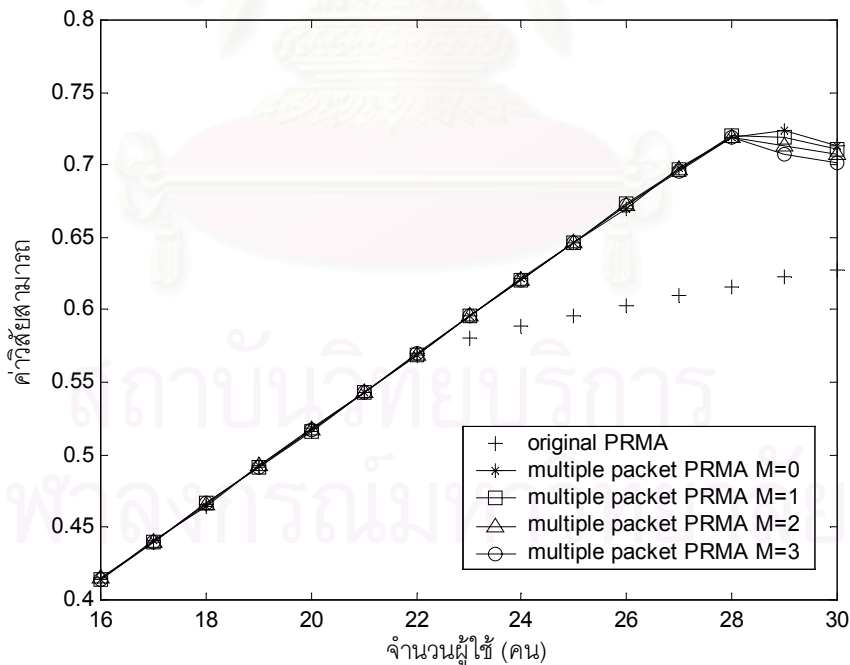
รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต



รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต



รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต



รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สล็อต

นอกจากนี้ยังได้แสดงตารางเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนโหนดในสถานะต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ จำนวนโหนดที่อยู่ในสถานะของผู้ใช้เสียง (N_V) ,จำนวนโหนดที่ผู้ใช้งานใช้ในการส่งแพ็กเก็ตเกิดดาตา (N_D) , จำนวนโหนดที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้คนใดส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโหนด (N_A) , จำนวนโหนดที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากเกิดการชนกัน (N_C) ระหว่างโหนด PRMA และโหนด PRMA-Multiple packet assignment ที่มี $M = 0$ และ 2 โหนด ในตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสัดส่วนของโหนดในสถานะ N_V และ N_D ของโหนด PRMA และโหนด PRMA-Multiple packet assignment ที่มี $M = 0$ และ 2 โหนด

จำนวนผู้ใช้ (คน)	N_V			N_D		
	PRMA	$M = 0$	$M = 2$	PRMA	$M = 0$	$M = 2$
16	0.332922	0.332680	0.332577	0.128428	0.128278	0.128312
17	0.354260	0.353677	0.353935	0.136185	0.136211	0.136087
18	0.374711	0.374715	0.375358	0.144098	0.144258	0.144086
19	0.395690	0.396336	0.394867	0.152218	0.152121	0.152271
20	0.417341	0.416558	0.416908	0.160243	0.160215	0.160087
21	0.437377	0.437847	0.438365	0.168148	0.167935	0.168044
22	0.458315	0.458273	0.459401	0.175917	0.176114	0.176029
23	0.477327	0.479109	0.477774	0.170342	0.184372	0.183877
24	0.498247	0.500010	0.500563	0.158224	0.192198	0.192158
25	0.516767	0.519425	0.520264	0.147053	0.199997	0.199907
26	0.535171	0.540930	0.540499	0.135763	0.208024	0.208277
27	0.553667	0.560288	0.560916	0.124699	0.216129	0.215911
28	0.572835	0.579226	0.577869	0.113318	0.224189	0.224270
29	0.589076	0.578412	0.577806	0.102709	0.228207	0.217137
30	0.605026	0.586806	0.590077	0.092280	0.206800	0.197309

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของโทรม์สล็ตในสถานะ N_A และ N_C ของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment ที่มี $M = 0$ และ 2 สล็ต

จำนวนผู้ใช้ (คน)	N_A			N_C		
	PRMA	$M = 0$	$M = 2$	PRMA	$M = 0$	$M = 2$
16	0.508372	0.527263	0.527264	0.019535	0.001026	0.001100
17	0.474007	0.497398	0.497193	0.024141	0.001291	0.001386
18	0.439238	0.467324	0.466722	0.029858	0.001610	0.001736
19	0.401519	0.436787	0.437891	0.037803	0.002008	0.002205
20	0.360655	0.407292	0.406750	0.048349	0.002527	0.002828
21	0.316994	0.376870	0.375796	0.063370	0.003232	0.003691
22	0.258576	0.346684	0.344904	0.092404	0.004187	0.004871
23	0.116046	0.315558	0.316557	0.220909	0.005491	0.006357
24	0.103321	0.284304	0.282263	0.224199	0.007400	0.008912
25	0.092052	0.253897	0.250689	0.227449	0.009911	0.012376
26	0.081833	0.219168	0.215706	0.229949	0.014441	0.018078
27	0.072309	0.184391	0.177437	0.231462	0.021117	0.027685
28	0.063280	0.143122	0.131716	0.232106	0.034794	0.047538
29	0.055487	0.037895	0.032327	0.233729	0.136851	0.154109
30	0.048155	0.024868	0.026657	0.235040	0.162597	0.166892

ในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงพบว่า การที่แพ็กเก็ตเสี่ยงจะถูกละทิ้งจะเกิดได้จาก 2 สาเหตุคือ

1. การที่ผู้ใช้ดาตาหรือผู้ใช้เสียงยัดครองโทรม์สล็ตเป็นเวลานาน ทำให้ผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตไม่สามารถจะร้องขอโทรม์สล็ตได้เนื่องจากไม่มีโทรม์สล็ตว่าง
2. การที่จำนวนการร้องขอในระบบมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก และไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถเข้าใช้โทรม์สล็ตได้

เมื่อพิจารณาเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงในรูปที่ 5.35 พบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-20 คน) เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA เล็กน้อย ทั้งนี้ระบบจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงสูงที่สุดเมื่อจำนวนไทม์สล็อตสำรอง $M = 0$ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวนี้ จำนวนการร้องขอในระบบจะมีค่าไม่มากนัก ส่งผลให้ไทม์สล็อตส่วนใหญ่อยู่ในสถานะว่าง ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.3 ว่าสัดส่วนของไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่าง : N_d จะมีถึง 40-50% ดังนั้น ผู้ใช้แต่ละคนจะมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จสูง สำหรับระบบ Multiple packet assignment นั้น การที่สถานีฐานอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จให้สามารถยึดครองไทม์สล็อตได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเสียงไม่สามารถเข้าร้องขอไทม์สล็อตได้ ซึ่งถ้าผู้ใช้เสียงไม่สามารถร้องขอไทม์สล็อตและส่งแพ็กเก็ตได้ภายในระยะเวลา 32 มิลลิวินาที แพ็กเก็ตเสียงนั้นจะถูกทิ้งไป ดังนั้นโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment ที่มีค่า $M = 0$ ซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จสามารถส่งแพ็กเก็ตได้มากที่สุดคือเท่ากับจำนวนไทม์สล็อตที่ว่างในขณะนั้น จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงกว่ากรณีที่ $M = 1, 2$ และ 3 นอกจากนี้การที่โพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment มีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมเนื่องจากโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาของไทม์สล็อต ทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสในการร้องขอไทม์สล็อตมากกว่า

เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าปานกลาง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 21-28 คน) จำนวนการร้องขอจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมนั้น โอกาสที่จะเกิดการชนกันจะมีค่าสูง ทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงและความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment นั้น การที่ระบบอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถจองไทม์สล็อตได้บางส่วนจะช่วยลดจำนวนการร้องขอจากผู้ใช้งาน ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสการชนกัน ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.3 ว่าจำนวนไทม์สล็อตที่เกิดการชนกัน : N_c ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมมาก ส่วนผลของการยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตาของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะพิจารณาจากจำนวนไทม์สล็อตที่ผู้ใช้ดาตายึดครองอยู่ : N_d ในตารางที่ 5.2 ซึ่งจะพบว่าค่า N_d ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมไม่มากนัก ดังนั้นโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่าทั้งนี้เนื่องจากเทคนิค Multiple packet assignment

จะช่วยลดจำนวนการร้องขอ ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันลดลง ในขณะที่การยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตาของโพรโทคอลทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่ามาก (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 29-30 คน) จำนวนการร้องขอจะมีค่าสูงมาก ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงมาก ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.3 ว่าค่า N_C ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกรณีที่จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 21-28 คน ดังนั้นในการพิจารณาโอกาสที่แพ็กเกตเสียงจะถูกละทิ้งจะพิจารณาจากผลของการชน (N_C) และผลการยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตา (N_D) โดยเมื่อผู้ใช้ในระบบเป็น 29 คน พบว่าโพรโทคอล PRMA จะมีสัดส่วนของ $N_C + N_D$ เท่ากับ 0.3364 ในขณะที่โพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่า $N_C + N_D$ เท่ากับ 0.3651 และ 0.3712 เมื่อ $M = 0$ และ 2 ตามลำดับ ดังนั้นแพ็กเกตเสียงในโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จึงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงในรูปที่ 5.36

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาในรูปที่ 5.37 นั้น จะเห็นได้ว่าเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม โดยจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 22-28 คน ซึ่งเป็นสภาวะที่ปริมาณการร้องขอมีค่าสูง ดังนั้นการอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จให้สามารถส่งแพ็กเกตได้จำนวนหนึ่งจะช่วยลดปริมาณการร้องขอและเป็นการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการร้องขอของผู้ใช้มากกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมที่จำนวนการร้องขอมีมากจนทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้ ทั้งนี้ระบบที่มีค่า $M = 0$ จะมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาต่ำสุด เนื่องจากผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเกตในแต่ละครั้งของการร้องขอได้มากที่สุดเท่ากับจำนวนไทม์สล็อตที่ว่างในขณะนั้น

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.38 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-22 คน ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนผู้ใช้ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นไทม์สล็อตจะถูกใช้งานมากขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 23 คน ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากจะเกิดการชนกันทำให้ไทม์สล็อตบางส่วนต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังจะเห็นได้จาก ค่า N_C ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.092404 เป็น 0.220909 เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มจาก 22 คน เป็น 23 คน ในทางกลับกัน ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment จะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวน

ผู้ใช้เนื่องจากจำนวนการชนกันยังคงมีค่าไม่สูงนัก ทั้งนี้ระบบจะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 29 คน และจำนวนโทรม์สลิตสำรอง $M = 0$

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาและค่าวิสัยสามารถของระบบ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 0, 1, 2$ และ 3 สลิต

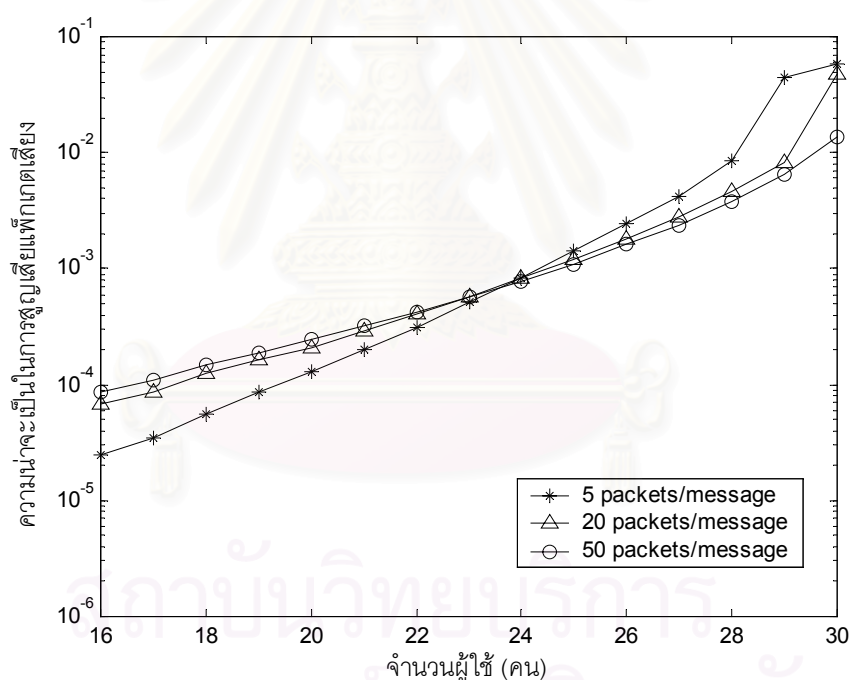
ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment

ระบบ	$M_{0.01}$	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
PRMA	25	0.008143	1291539.492742	0.595780
$M = 0$	28	0.007804	476.249219	0.719247
$M = 1$	28	0.008506	586.195943	0.720121
$M = 2$	28	0.009401	789.298706	0.719443
$M = 3$	27	0.004854	463.487709	0.696094

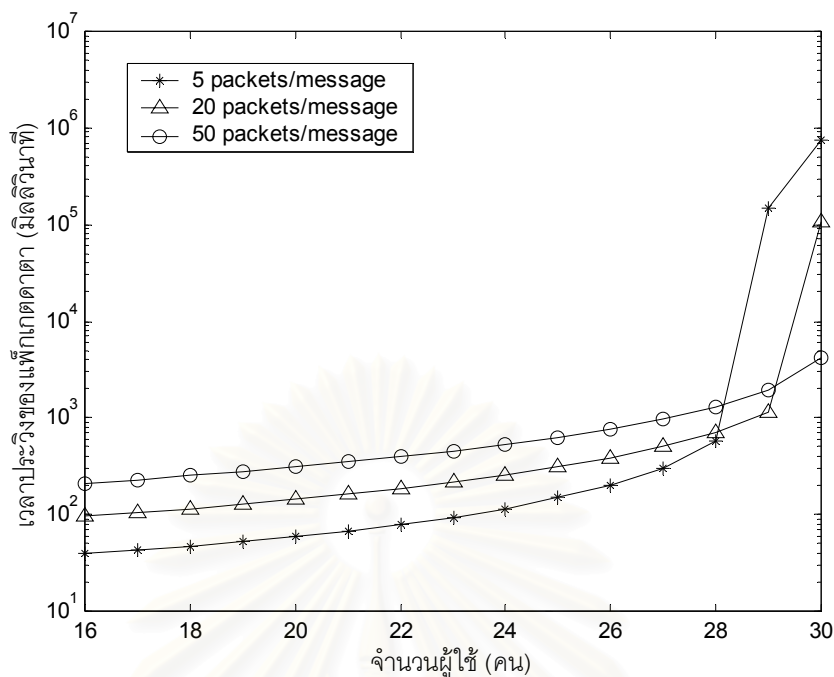
จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment สามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม โดยที่ค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาจะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งนี้การอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ส่วนหนึ่งในการร้องขอแต่ละครั้งนอกจากจะช่วยให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องโดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลงแล้ว ยังจะส่งผลให้จำนวนการร้องขอลดลง ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าระบบที่มี $M = 1$ จะให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด โดยจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้ถึง 28 คน

5.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment

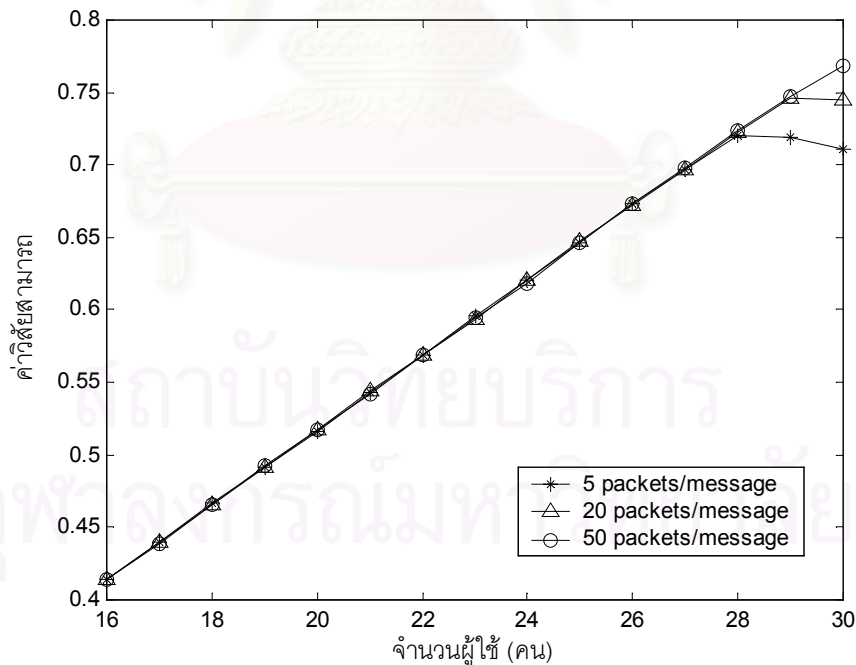
ในโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment นั้น เมื่อผู้ใช้งานสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จ ผู้ใช้งานนั้นก็จะสามารถเข้าใช้โทรมส์ลิตเพื่อส่งแพ็กเกตดาตาโดยไม่ต้องร้องขอโทรมส์ลิตจนกว่าจะส่งแพ็กเกตในชุดข่าวสารหมดหรือจนกว่าจะส่งแพ็กเกตได้เท่ากับจำนวนสูงสุดที่สถานีสถานอนุญาตให้ส่ง ดังนั้นในส่วนนี้จะพิจารณาผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment โดยจะพิจารณากรณีนี้ที่ $M = 1$ ซึ่งจะได้ผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 5.39-5.41 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้แสดงตารางเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนโทรมส์ลิตในสถานะต่าง ๆ คือสถานะ N_V , N_D , N_A และ N_C ในตารางที่ 5.5 และ 5.6



รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของโหนดที่สลับสถานะในสถานะ N_V และ N_D ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 1$ สลับ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา

จำนวนผู้ใช้ (คน)	N_V			N_D		
	$L_m = 5$	$L_m = 20$	$L_m = 50$	$L_m = 5$	$L_m = 20$	$L_m = 50$
16	0.333375	0.332792	0.333303	0.128010	0.127944	0.12828
17	0.354582	0.353369	0.354308	0.135820	0.136154	0.13567
18	0.375052	0.375297	0.375737	0.143904	0.143513	0.14331
19	0.395554	0.395811	0.395794	0.152255	0.151928	0.15175
20	0.415618	0.416758	0.416379	0.160303	0.160096	0.15917
21	0.437935	0.436363	0.437486	0.167858	0.168561	0.16860
22	0.458040	0.458542	0.458455	0.175835	0.175687	0.17674
23	0.479688	0.479311	0.479649	0.184221	0.184359	0.18383
24	0.499806	0.499875	0.500266	0.191891	0.192149	0.19202
25	0.519730	0.519421	0.520202	0.200510	0.199769	0.19990
26	0.540375	0.541426	0.541993	0.208425	0.207555	0.20818
27	0.560961	0.559967	0.561479	0.216297	0.216246	0.21662
28	0.578193	0.580902	0.581714	0.224419	0.223664	0.22348
29	0.576433	0.599641	0.600784	0.222961	0.231612	0.23284
30	0.589629	0.590485	0.617292	0.201720	0.232367	0.23960

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบสัดส่วนของโทรม์สล็ตในสถานะ N_A และ N_C ของโพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment เมื่อ $M = 1$ สล็ต $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร

จำนวนผู้ใช้ (คน)	N_A			N_C		
	$L_m = 5$	$L_m = 20$	$L_m = 50$	$L_m = 5$	$L_m = 20$	$L_m = 50$
16	0.526839	0.527947	0.52738	0.001042	0.000578	0.00052
17	0.496844	0.498320	0.49797	0.001318	0.000736	0.00064
18	0.467325	0.468177	0.46803	0.001657	0.000924	0.00082
19	0.437348	0.438318	0.43866	0.002095	0.001169	0.00103
20	0.407986	0.408239	0.40973	0.002647	0.001499	0.00129
21	0.376678	0.379049	0.37816	0.003401	0.001933	0.00166
22	0.346989	0.348510	0.34792	0.004385	0.002481	0.00211
23	0.314799	0.317623	0.31838	0.005856	0.003246	0.00270
24	0.284379	0.287620	0.28807	0.007825	0.004240	0.00354
25	0.252099	0.258438	0.25852	0.010882	0.005618	0.00461
26	0.218384	0.225730	0.22614	0.015379	0.007876	0.00621
27	0.181118	0.194725	0.19532	0.023568	0.010955	0.00849
28	0.138949	0.160689	0.16401	0.039806	0.016045	0.01209
29	0.030552	0.123487	0.12823	0.151452	0.025928	0.01880
30	0.025510	0.035128	0.08884	0.164155	0.122971	0.03435

ในการพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงในรูปที่ 5.39 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อยถึงปานกลาง (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-23 คน) จำนวนการร้องขอจะมีค่าไม่มากนัก และโทรม์สล็ตส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานที่ร้องขอโทรม์สล็ตได้สำเร็จส่งข่าวสารขนาดสั้น ผู้ใช้มักจะเข้าใช้โทรม์สล็ตเป็นจำนวนน้อยกว่าจำนวนโทรม์สล็ตสูงสุดที่สถานีฐานอนุญาตให้ผู้ใช้งานส่งแพ็กเกตได้ ส่งผลให้จำนวนโทรม์สล็ตที่ว่างที่ผู้ใช้เสียงจะสามารถมาร้องขอโทรม์สล็ตได้เพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ผู้ใช้งานที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาวมักจะเข้าใช้โทรม์สล็ตเท่ากับจำนวนโทรม์สล็ตสูงสุดที่สถานีฐานอนุญาตให้ผู้ใช้งานส่งได้ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้งานเสียงถูกประวิงเวลาก่อนที่สามารถมาร้องขอโทรม์สล็ตได้

ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวจึงมีค่าสูงกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นกว่า

เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 24-30 คน) จะทำให้จำนวนการร้องขอเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนมีมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของข่าวสารขนาดสั้นนั้นจะมีความถี่ในการกำเนิดข่าวสารบ่อยครั้งกว่าข่าวสารขนาดยาว ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันจึงมีมากกว่า ซึ่งจากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าค่า N_c ในกรณีของข่าวสารขนาดสั้น (5 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของข่าวสารขนาดปานกลางและขนาดยาว (20 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) และเมื่อพิจารณารูปที่ 5.39 พบว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของข่าวสารขนาดสั้นจะมีค่าสูงกว่าข่าวสารขนาดปานกลางและขนาดยาว แสดงให้เห็นว่าการที่แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้งนั้นเกิดจากการที่แพ็กเก็ตของผู้ใช้เกิดการชนกันเพราะปริมาณการร้องขอที่มีค่าสูงมากกว่าเกิดจากการยัดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตาที่มีข่าวสารขนาดยาว ซึ่งจะเห็นผลของการชนของข่าวสารขนาดสั้นได้ชัดเจนเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 29 คน โดยที่ข่าวสารขนาดสั้นจะมีค่า N_c เท่ากับ 0.151452 ในขณะที่ข่าวสารขนาดปานกลางและขนาดยาวจะมีค่า N_c เท่ากับ 0.025928 และ 0.0188 ตามลำดับ

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.40 นั้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-28 คน ข่าวสารขนาดสั้นจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาต่ำกว่าข่าวสารขนาดยาว ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นมีโอกาสที่จะส่งแพ็กเก็ตในชุดข่าวสารได้หมดภายในการร้องขอเพียงครั้งเดียว ในขณะที่ผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ในแต่ละครั้งของการร้องขอได้สูงสุดในกรณีที่ $M = 1$ เท่ากับจำนวนของไทม์สล็อตที่ว่างในขณะนั้น - 1 ซึ่งโอกาสที่ผู้ใช้จะส่งแพ็กเก็ตได้หมดภายในการร้องขอเพียงครั้งเดียวจะมีค่าน้อย ทำให้ผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวต้องไปร้องขอไทม์สล็อตใหม่เพื่อส่งแพ็กเก็ตที่เหลือในชุดข่าวสารต่อไป ดังนั้นแพ็กเก็ตดาตาจะต้องใช้เวลารอภายในบัฟเฟอร์เป็นระยะเวลาอันยาวนานก่อนที่จะได้รับการจัดสรรไทม์สล็อต อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 29 คน ข่าวสารขนาดสั้นจะมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.41 พบว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวจะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดมากกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น เนื่องจากในระบบข่าวสารขนาดสั้นนั้น จะมีโอกาสที่จะเกิดการชนกันได้มากกว่า ซึ่งจะส่งผลให้ไม่มีผู้ใดสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้ และค่าวิสัยสามารถของระบบจะลดต่ำลง

5.2.3 การจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing

จากโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม พบว่าคุณภาพของบริการเสียงจะลดลงเมื่อมีการนำโพรโทคอล PRMA นี้มาใช้รองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอไทม์สล็อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ทำให้จำนวนการร้องขอมีค่าสูงและโอกาสที่จะเกิดการชนเพิ่มมากขึ้น H.Qi และ L. Wei จึงได้นำเสนอวิธีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing [19] โดยที่ผู้ใช้ดาตาจะได้รับการจัดสรรไทม์สล็อตก็ต่อเมื่อเป็นไทม์สล็อตที่ผู้ใช้เสียงไม่ได้ใช้เท่านั้น ทั้งนี้จะเป็นการลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้เสียงและแพ็กเก็ตของผู้ใช้ดาตา ซึ่งการชนกันนี้จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง

เนื่องจากสถานีฐานจะแพร่กระจายผลของการร้องขอที่ตอนท้ายของแต่ละไทม์สล็อต ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนทราบสถานะของไทม์สล็อตแต่ละสล็อตตลอดเวลา ดังนั้นผู้ใช้ดาตาจะสามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาไปในไทม์สล็อตที่ไม่มีผู้ใช้เสียงร้องขอไทม์สล็อตได้ โดยระหว่างการทำ Call setup ผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับการจัดสรรหมายเลขประจำตัว (Identification Number : ID No.) จากสถานีฐาน เมื่อสถานีฐานทราบว่าจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอไทม์สล็อต (Contending terminal) เป็นศูนย์ และไทม์สล็อตนั้นอยู่ในสถานะว่าง สถานีฐานก็จะส่งสัญญาณบอกให้ผู้ใช้ดาตาคนใดคนหนึ่งส่งแพ็กเก็ตได้ที่ไทม์สล็อตนี้ ซึ่งการส่งสัญญาณบอกผู้ใช้ดาตาของสถานีฐานนั้น สถานีฐานจะเลือกจากผู้ใช้ดาตาที่มีหมายเลขประจำตัวต่ำสุดให้ส่งก่อน โดยถ้าผู้ใช้ดาตาคนนั้นไม่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ต ผู้ใช้คนอื่นก็ไม่สามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตนี้ได้ และเมื่อสถานีฐานพบว่าไม่มีไทม์สล็อตที่ว่างสล็อตถัดไปในขณะที่จำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอไทม์สล็อตเป็นศูนย์ สถานีฐานก็จะส่งสัญญาณบอกผู้ใช้ดาตาที่มีหมายเลขประจำตัวในลำดับถัดไปเพื่อให้ส่งแพ็กเก็ต ทั้งนี้สถานีฐานจะส่งสัญญาณบอกผู้ใช้ดาตาเรียงตามลำดับหมายเลขประจำตัวไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงหมายเลขประจำตัวสุดท้ายก็จะวนมาจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาคนแรกอีกครั้ง ดังนั้นผู้ใช้ดาตาแต่ละคนจะมีโอกาสในการส่งแพ็กเก็ตเพียง 1 ครั้งในแต่ละรอบ

ไทม์สล็อตที่สถานีฐานจะส่งสัญญาณเพื่อให้ผู้ใช้ดาตาส่งแพ็กเก็ตนั้นจะต้องเป็นไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียง เราจะแบ่งไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. ไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างในช่วงสุดท้ายของช่วงสนทนา เมื่อผู้ใช้เสียงส่งแพ็กเก็ตสุดท้ายของช่วงสนทนาเสร็จ ก่อนที่สถานีฐานจะตรวจพบว่าไทม์สล็อตนี้ไม่มีแพ็กเก็ตส่งมาอีกและสถานีฐานจะแพร่กระจายสถานะของไทม์สล็อตนี้ว่าอยู่ในสถานะว่างในเฟรมถัดไป

2. ไทม์สล롯ที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตไม่ได้รับอนุญาตจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเก็ต

3. ไทม์สลอตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในขณะนั้น

ในที่นี้สถานีฐานจะส่งสัญญาณเพื่อให้ผู้ใช้ดาตาส่งแพ็กเก็ตดาตาของตนก็ต่อเมื่อเป็นไทม์สลอตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 เท่านั้น และการที่ผู้ใช้ดาตาสามารถเข้าใช้ไทม์สลอตได้ก็ต่อเมื่อเป็นไทม์สลอตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงเท่านั้น ทำให้การส่งแพ็กเก็ตของผู้ใช้ดาตาไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ไทม์สลอตของผู้ใช้เสียง

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ สถานีฐานจะไม่สามารถทราบจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในระบบได้ ดังนั้นสถานีฐานจะประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตและแพร่กระจายผลของการประมาณให้ผู้ใช้แต่ละคนทราบ ทั้งนี้สถานีฐานจะประมาณค่าโดยพิจารณาจากผลของการร้องขอไทม์สลอตในไทม์สลอตที่ว่างก่อนหน้า โดยจะไม่พิจารณาในช่วงของไทม์สลอตที่อยู่ในสถานะจาง

Liang-Seng Koh และ Ming T. Liu ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตและปรับค่า Permission Probability ตามจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต เรียกว่าวิธี Adaptive Permission Reservation (APR) [20] ทั้งนี้การที่สถานีฐานแพร่กระจายผลของการร้องขอไทม์สลอตที่ตอนท้ายของแต่ละไทม์สลอต ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนทราบจำนวนของการชนและจำนวนของการร้องขอที่สำเร็จได้ และเนื่องจากค่า mean talkspurt interarrival time และค่า mean silence interarrival time ของผู้ใช้เสียงจะอยู่ในหน่วยของวินาที ในขณะที่ขนาดของไทม์สลอตอยู่ในหน่วยของมิลลิวินาที ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้เสียงคนใดคนหนึ่งจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะสนทนาไปยังสถานะว่างหรือจากสถานะว่างไปยังสถานะสนทนาในไทม์สลอตใด ๆ จะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นการประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตจึงพิจารณาจากผลต่างระหว่างจำนวนของการร้องขอที่เกิดการชนและจำนวนการร้องขอที่สำเร็จ

ในกรณีที่ k_j เป็นค่าประมาณของจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตที่ตอนท้ายของไทม์สลอตที่ว่างสลอตที่ j สถานีฐานจะปรับค่า k_{j+1} ที่ตอนท้ายของไทม์สลอตที่ว่างสลอตที่ $j+1$ ตามผลของการร้องขอในไทม์สลอตที่ว่างสลอตที่ $j+1$ ตามสมการที่ 5.7

$$k_{j+1} = \begin{cases} k_j - 1 & ; \text{ success and } k_j \geq 1 \\ 0 & ; \text{ success and } k_j = 0 \\ 2 & ; \text{ collision and } k_j = 0 \\ k_j + 1 & ; \text{ collision and } k_j \geq 1 \\ k_j & ; \text{ no transmission} \\ 1 & ; \text{ collision between voice and data and } k_j = 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

จากสมการที่ 5.7 จะเห็นได้ว่า ถ้าผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมสล็อตที่ $j+1$ ได้สำเร็จ (success) ผู้ใช้เสียงนั้นก็จะมีคนร้องขอโทรมสล็อตที่ $j+1$ ทำให้จำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตลดลง 1 คน แต่ถ้าในโทรมสล็อตที่ว่างก่อนหน้านี้นี้ระบบมีการประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเป็น 0 คน ระบบก็จะยังคงประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ 0 คน เช่นเดิม ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตไม่สามารถเป็นจำนวนลบได้

สำหรับกรณีที่เกิดการชนกัน (collision) แสดงว่าจะต้องมีผู้ใช้เสียงอย่างน้อย 2 คน ส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโทรมสล็อตในโทรมสล็อตเดียวกัน ซึ่งถ้าในโทรมสล็อตที่ว่างก่อนหน้านี้นี้ระบบได้ประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเป็น 0 คนแล้ว หลังจากเกิดการชนกัน ระบบจะพิจารณาว่าจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในขณะนั้นเท่ากับ 2 คน แต่ถ้าระบบพบว่าจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในโทรมสล็อตที่ว่างก่อนหน้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ก็จะถือว่าการชนกันนี้เกิดจากผู้เสียงคนใหม่ที่มาร้องขอโทรมสล็อต ดังนั้นระบบจะเพิ่มจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตขึ้น 1 คน สำหรับกรณีที่ไม่มีผู้ใช้เสียงคนใดร้องขอโทรมสล็อตที่ว่างสล็อตที่ $j+1$ ระบบจะถือว่าผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตมีจำนวนเท่าเดิม

อัลกอริทึมในการประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้างต้น จะพิจารณาเฉพาะการร้องขอที่เกิดขึ้นในโทรมสล็อตที่ว่างเท่านั้น ซึ่งถ้าระหว่างโทรมสล็อตที่ว่างสล็อตที่ j และสล็อตที่ $j+1$ เป็นสล็อตที่อยู่ในสถานะจอก็จะไม่มีมีการประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ทั้งนี้สถานะฐานจะแพร่กระจายค่า Retransmission Probability p สำหรับโทรมสล็อตที่ว่างสล็อตที่ $j+1$ ไปยังผู้ใช้เสียงแต่ละคนที่ตอนท้ายของโทรมสล็อตที่ j

อย่างไรก็ตาม อาจจะมีผลผลิตเกิดขึ้นเมื่อสถานะฐานพบว่าค่า $k_j = 0$ สถานะฐานจึงส่งสัญญาณบอกผู้ใช้ดาตาเพื่อให้ผู้ใช้ดาตาส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในโทรมสล็อตที่ว่างสล็อตที่ $j+1$ ในขณะที่ในโทรมสล็อตที่ว่างลำดับที่ $j+1$ นั้น มีผู้ใช้เสียงที่เปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบมาสู่ช่วง

สนทนา ทำให้แพ็กเกตของผู้ใช้เสียงนี้เกิดการชนกันกับแพ็กเกตของผู้ใช้ดาตา ซึ่งภายหลังจากการชนกันนี้ สถานีฐานจะปรับค่า k_{j+1} เป็น 1 และจะแพร่กระจายค่า k_{j+1} ไปยังผู้ใช้ที่ตอนท้ายของไทม์สล็อตที่ $j+1$ จากอัลกอริทึมข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มผู้ใช้ดาตาเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการสูญเสียไทม์สล็อตที่ว่างไปหนึ่งสล็อตคือสล็อตที่ผู้ใช้เสียงเปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบมาเป็นช่วงสนทนา

เมื่อสถานีฐานสามารถประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตในขณะใด ๆ ได้แล้ว สถานีฐานก็จะปรับค่า p_{j+1} ตามค่าของ k_{j+1} ดังสมการที่ 5.8

$$p_{j+1} = \frac{1}{k_{j+1}} \quad (5.8)$$

5.2.3.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing

ในส่วนนี้จะพิจารณาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot-Stealing โดยจะมีการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียง, โพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาที่ใช้ค่า $p = 0.4$ และ $q = 0.06$ และโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาที่ใช้วิธี Slot-Stealing โดยใช้ค่า $p = 0.3$ คงที่ และ $q = 1.0$ เมื่อผู้ใช้ดาตานั้นได้รับสัญญาณจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเกต ในที่นี้จะสมมติว่าสถานีฐานสามารถทราบจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตในขณะใด ๆ ได้อย่างสมบูรณ์

ในส่วนแรกนี้ จะแสดงถึงสัดส่วนของไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงและค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ในตารางที่ 5.7 ซึ่งไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงทั้งสามประเภทของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing จะแบ่งออกเป็น

- ไทม์สล็อตที่เกิดหลังจากผู้ใช้เสียงส่งแพ็กเกตสุดท้ายของช่วงสนทนาเสร็จ ก่อนที่สถานีฐานจะตรวจพบว่าไทม์สล็อตนี้ไม่มีแพ็กเกตส่งมา และปล่อยไทม์สล็อตให้เป็นอิสระในเฟรมถัดไป (n_1)
- ไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตไม่ได้รับอนุญาตจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเกต (n_2)

- โทมส์ล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเกิดขึ้นขณะนั้น (n_3)

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบสัดส่วนของโทมส์ล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงทั้งสามประเภท และค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้ดาตาของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$

จำนวนผู้ใช้ (คน)	n_1	n_2	n_3	ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้ดาตา
20	0.013465	0.015431	0.554339	0.142350
21	0.014157	0.016205	0.531711	0.149801
22	0.014742	0.016796	0.509586	0.156624
23	0.015481	0.017561	0.486248	0.163973
24	0.016060	0.018273	0.464648	0.170507
25	0.016810	0.019255	0.443013	0.177890
26	0.017471	0.019939	0.422251	0.185167
27	0.018145	0.020513	0.395627	0.192156
28	0.018839	0.021184	0.376579	0.199278
29	0.019419	0.021728	0.355875	0.206662
30	0.020111	0.022349	0.333518	0.213472
31	0.020796	0.023089	0.314011	0.220572
32	0.021470	0.023750	0.289111	0.227932
33	0.022047	0.024026	0.268775	0.233799
34	0.022705	0.024564	0.245683	0.219980
35	0.023389	0.024975	0.226138	0.201261
36	0.023925	0.025358	0.205030	0.183537

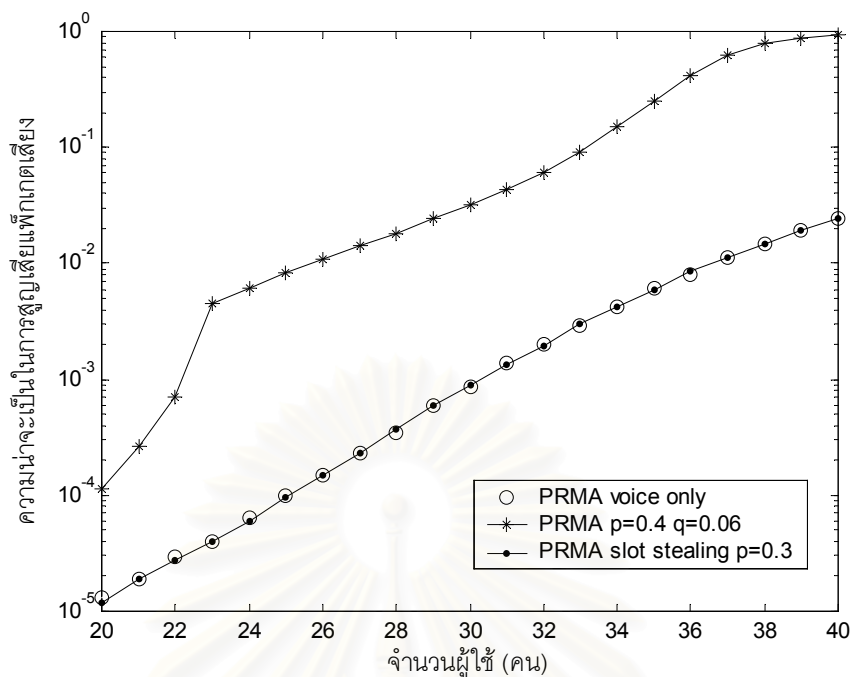
จากตารางที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าโทมส์ล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 จะมีสัดส่วนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับโทมส์ล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 1 และ 2 ซึ่งการที่โพรโทคอล PRMA-Slot Stealing อนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาเข้าใช้โทมส์ล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 นี้ จะทำให้โทมส์ล็อตส่วนใหญ่ที่สูญเสียไปในโพรโทคอล PRMA ที่รองรับบริการเสียงเพียงอย่างเดียวถูกจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตา และส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้ดาตา

จะมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนของโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 มาก ทั้งนี้นอกจากจะมีการสูญเสียทรัพยากรบางส่วนไปในส่วนของโอเวอร์เฮดแล้ว จะมีการสูญเสียโทมส์ลีดเนื่องจากผู้ใช้งานที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานให้ส่งแพ็กเก็ตไม่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ต ซึ่งจะทำให้โทมส์ลีดต้องสูญเสียไปเพราะผู้ใช้งานคนอื่นไม่สามารถมาใช้โทมส์ลีดนั้นได้

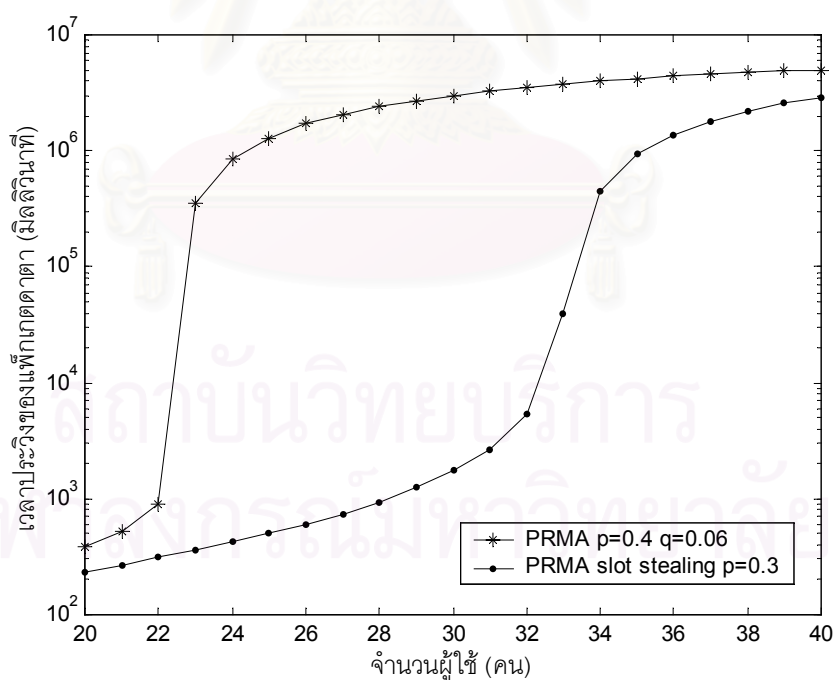
นอกจากนี้ การที่จำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อยจะทำให้จำนวนผู้ใช้เสียงที่ยึดครองโทมส์ลีดมีน้อยและส่งผลให้จำนวนโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงมีค่ามาก การที่สถานีฐานจะจัดสรรโทมส์ลีดที่ว่างส่วนใหญ่นี้ให้แก่ผู้ใช้งานโดยเรียงตามลำดับหมายเลขประจำตัวไปเรื่อย ๆ จะทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะได้รับสัญญาณให้ส่งแพ็กเก็ตของตนได้บ่อยครั้งกว่ากรณีที่จำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง และในบางครั้งผู้ใช้อาจจะไม่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตตามาทำให้โทมส์ลีดสูญเสียไป

แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มมากขึ้น ผู้ใช้เสียงจะไปยึดครองโทมส์ลีดส่วนใหญ ทำให้จำนวนโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงลดลง ดังนั้นการที่สถานีฐานจะวนกลับมาจัดสรรโทมส์ลีดให้แก่ผู้ใช้งานคนเดิมอีกครั้งหนึ่งนั้น ผู้ใช้งานจะต้องรอเป็นเวลานานกว่ากรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย ซึ่งในช่วงเวลานี้หากผู้ใช้งานมีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ ดังนั้นความแตกต่างระหว่างสัดส่วนของโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 และค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้งานจะเกิดจากการสูญเสียไปในส่วนโอเวอร์เฮดเป็นส่วนใหญ่

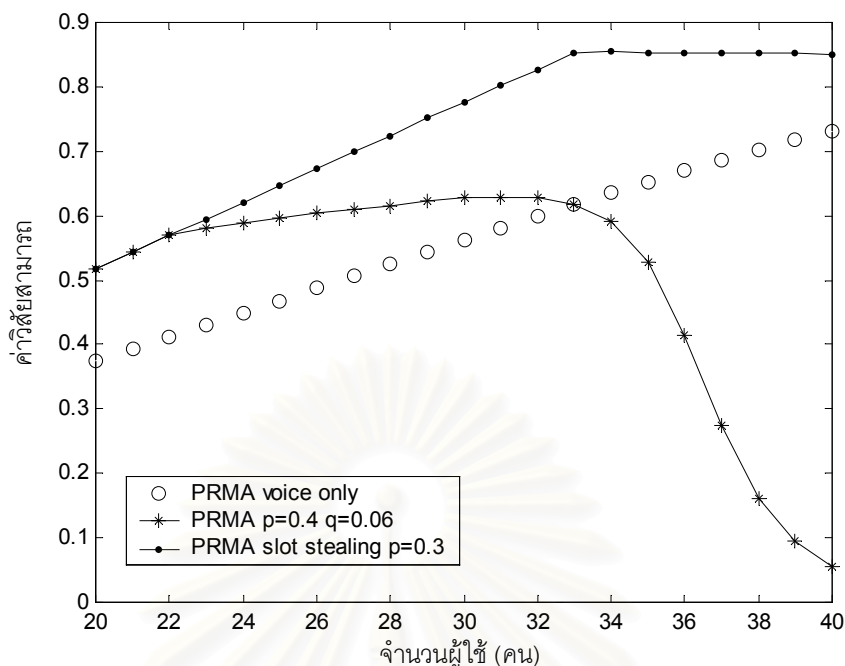
นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่า 20-33 คน ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้งานจะเพิ่มตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 33 คนแล้ว ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้งานจะลดลงตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกนั้น จำนวนโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงในประเภทที่ 3 ยังมีปริมาณมาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนผู้ใช้จะเป็นการเพิ่มระยะเวลาก่อนที่สถานีฐานจะวนกลับมาจัดสรรโทมส์ลีดให้แก่ผู้ใช้งานคนเดิม ซึ่งทำให้โอกาสที่ผู้ใช้งานจะมีความต้องการส่งแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งผู้ใช้เสียงจะไปยึดครองโทมส์ลีดส่วนใหญ่ ทำให้ปริมาณโทมส์ลีดที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงมีค่าลดลงตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้จำนวนแพ็กเก็ตที่ผู้ใช้งานสามารถส่งได้ลดลงด้วย ในส่วนถัดไปจะแสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตตามา และค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอลทั้งสามแบบซึ่งจะได้ผลการทดสอบในรูปที่ 5.42-5.44 ตามลำดับ



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเดี้ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$



รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเดี้ยงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$



รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing เมื่อ $p = 0.3$

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในรูปที่ 5.42 พบว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing จะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA ที่รองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาอย่างเห็นได้ชัด แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับโพรโทคอล PRMA ที่รองรับเฉพาะบริการเสียงเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากวิธี Slot Stealing นั้น ผู้ใช้ดาตาจะสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้ก็ต่อเมื่อเป็นไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงแล้วเท่านั้น ทำให้การเพิ่มผู้ใช้ดาตาเข้าไปในระบบไม่มีผลต่อผู้ใช้เสียง ในขณะที่โพรโทคอล PRMA แบบเดิมนั้น ผู้ใช้ดาตาจะต้องมาแข่งขันกันในการเข้าใช้ไทม์สล็อตกับผู้ใช้เสียง ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง โดยเฉพาะเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 5.43 ว่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 22 คน ในขณะที่เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing จะเริ่มมีค่าสูงเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 33 คน ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงจะยึดครองไทม์สล็อตส่วนใหญ่ ทำให้จำนวนไทม์สล็อตที่ว่างมีน้อย และผู้ใช้ดาตาจะต้องใช้เวลารอในบัฟเฟอร์เป็นเวลานานขึ้นก่อนที่จะได้รับการจัดสรรไทม์สล็อต

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 5.44 พบว่าในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมนั้น ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้มากกว่า 32

คน ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเริ่มลดลงตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการชนกันแบบซ้ำแล้วซ้ำอีก ซึ่งจะทำให้ไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถเข้าใช้โทรม์สลิตได้และจะเกิดการสูญเสียโทรม์สลิตไปโดยเปล่าประโยชน์ ในขณะที่โพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียงนั้นจะมีค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผู้ใช้ เนื่องจากเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จก็จะจองโทรม์สลิตไว้จนกว่าจะส่งแพ็กเก็ตหมดช่วงสนทนา ทำให้จำนวนการร้องขอในระบบไม่มากเท่ากับโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

สำหรับโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing นั้น การที่ผู้ใช้ดาตาจะเข้าใช้โทรม์สลิตก็ต่อเมื่อเป็นโทรม์สลิตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงจะทำให้โทรม์สลิตที่สูญเสียไปในโพรโทคอล PRMA สำหรับบริการเสียงถูกใช้งานมากขึ้น และส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่ง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าค่อนข้างคงที่ที่ค่าค่าหนึ่ง ซึ่งจากรูปที่ 5.44 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 33 คน ค่าวิสัยสามารถจะมีค่าประมาณ 0.85 ทั้งนี้เนื่องจากโทรม์สลิตจะถูกใช้งานอย่างเต็มสมรรถนะแล้วโดยจะมีโทรม์สลิตบางส่วนที่สูญเสียไปในส่วนของโอเวอร์เฮด

5.2.3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรโทรม์สลิตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing และมีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR

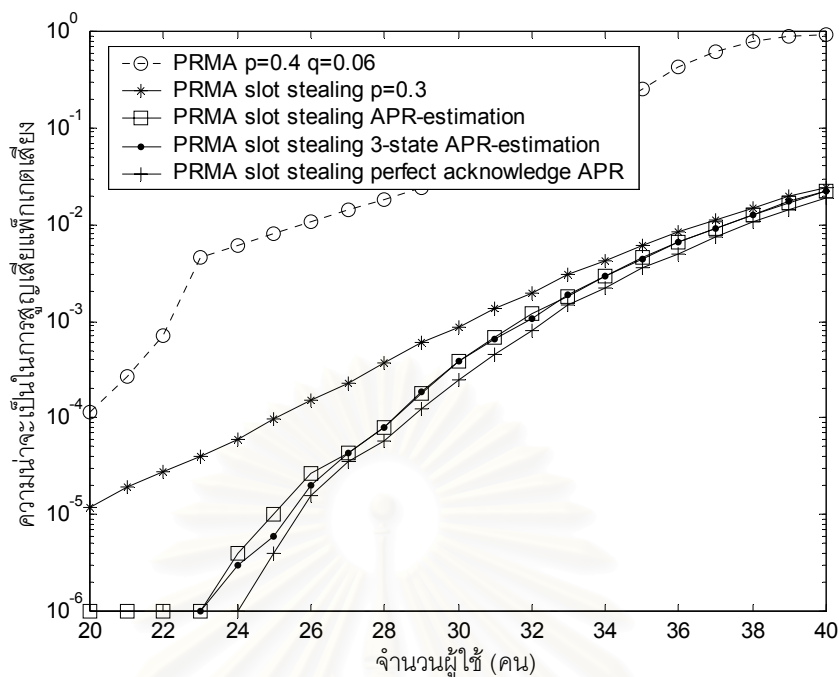
ในส่วนนี้จะพิจารณาสมรรถนะโพรโทคอล PRMA ที่มีการจัดสรรโทรม์สลิตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing โดยที่ระบบจะมีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

- วิธีแรก ได้แก่ วิธี APR-estimation โดยระบบจะประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต : k ตามสมการที่ 5.7 และปรับค่า $p = \frac{1}{k}$

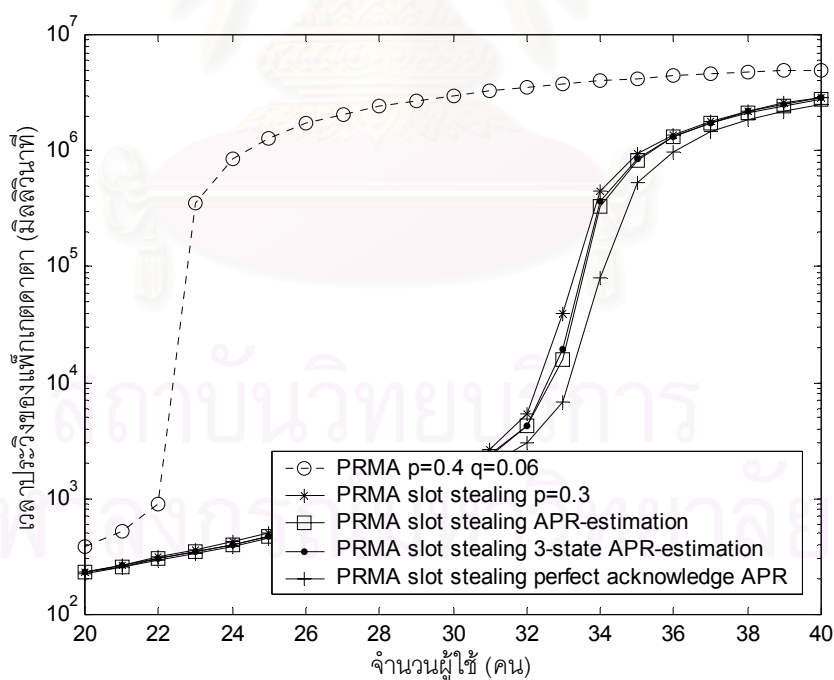
- วิธีที่ 2 ได้แก่ วิธี 3-state APR-estimation โดยระบบจะประมาณค่า k และปรับค่า p ดังนี้คือ $p = 1.0$ เมื่อ $k \leq 1$ $p = 0.5$ เมื่อ $k = 2$ และ $p = 1/3$ เมื่อ $k \geq 3$

- วิธีสุดท้าย ได้แก่ วิธี perfect acknowledge APR ระบบจะมีการปรับค่า $p = \frac{1}{k}$ โดยถือว่าระบบสามารถทราบจำนวนผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเสียงอย่างสมบูรณ์

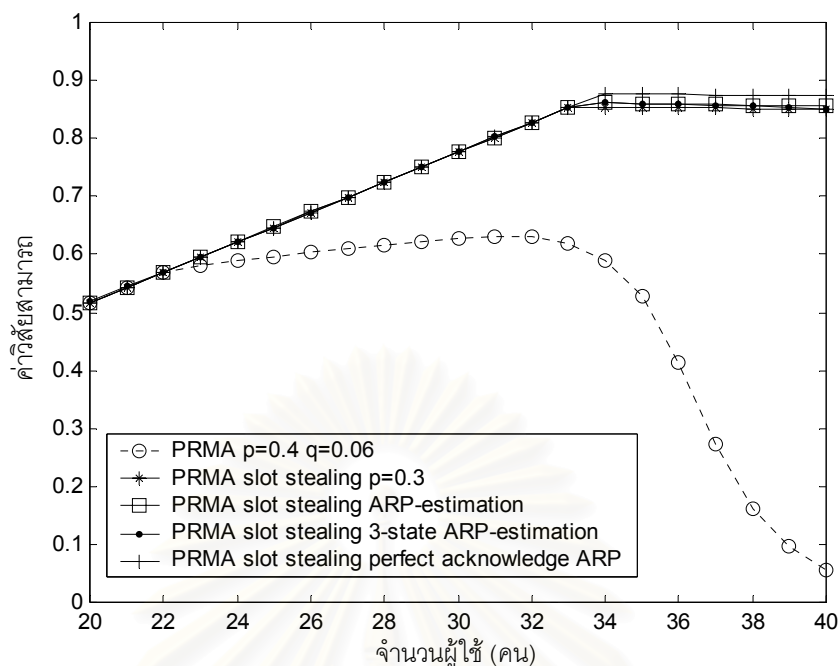
ในที่นี้จะเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธี Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ของผู้ใช้เสียงด้วย 3 วิธีข้างต้นกับโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่ไม่มีการปรับค่า p ซึ่งจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบ ในรูปที่ 5.45-5.47 ตามลำดับ



รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation



รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation



รูปที่ 5.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing ที่มีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation

จากรูปที่ 5.45 จะเห็นได้ว่า การนำวิธี APR มาใช้ในการปรับค่า p ของผู้ใช้เสี่ยงในโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่ากรณีที่ใช้ค่า p คงที่ โดยพบว่าเมื่อมีการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation และวิธี 3-state APR-estimation ผลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับกรณีของ perfect acknowledge APR ซึ่งเป็นกรณีอุดมคติที่ผู้ใช้ดาตาจะไม่มีผลต่อผู้ใช้เสียงเลยและระบบจะทำงานเหมือนกับกรณีที่รองรับเฉพาะบริการเสียงเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation นั้นจะมีการสูญเสียโทม์สล็อตไปบางส่วนเมื่อมีการประมาณจำนวนผู้ใช้เสี่ยงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเป็นศูนย์ ทำให้สถานีฐานส่งสัญญาณบอกให้ผู้ใช้ดาตาส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในโทม์สล็อตที่ว่างสล็อตถัดไป แต่ถ้าในขณะนั้นมีผู้ใช้เสี่ยงที่เปลี่ยนสถานะจากช่วงเงียบมาเป็นช่วงสนทนาและส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโทม์สล็อตจะทำให้เกิดการชนกันกับผู้ใช้ดาตาและโทม์สล็อตนี้จะต้องสูญเสียไป อย่างไรก็ตาม สถานีฐานจะไม่มีโอกาสทราบจำนวนที่แน่นอนของผู้ใช้เสี่ยงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตได้ ดังนั้นสถานีฐานจะอาศัยการประมาณค่าและแพร่กระจายค่า p ไปยังผู้ใช้ผ่านทางระบบเชื่อมโยงขาลง

นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า ระบบที่มีการประมาณค่าด้วยวิธี 3-state APR-estimation จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง (รูปที่ 5.45) เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา (รูปที่

5.46) และค่าวิสัยสามารถ (รูปที่ 5.47) ใกล้เคียงกับวิธี APR-estimation ที่ใช้สมการที่ 5.7 ในขณะที่วิธี 3-state APR-estimation จะมีข้อดีกว่าในแง่ของความง่ายของอุปกรณ์โครงข่ายจึงเหมาะสมสำหรับการนำมาปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA

5.2.4 การลดการชนกัน (Collision Reduction) โดยการลดจำนวนการร้องขอของผู้ใช้ดาตา

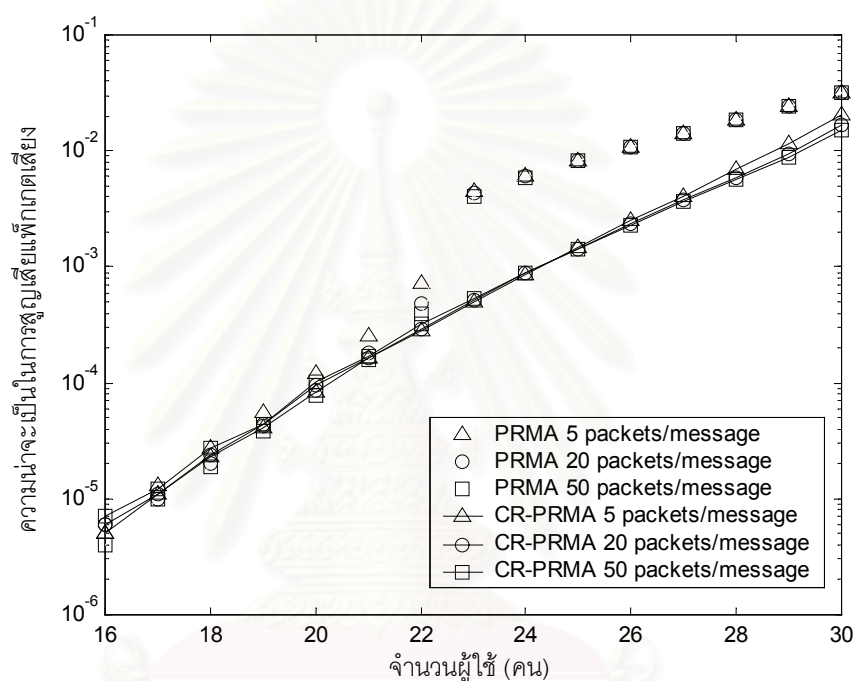
ในโพรโทคอล PRMA สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาโดยทั่วไปนั้น จะพิจารณาว่าผู้ใช้แต่ละคนให้กำเนิดทั้งแพ็กเก็ตเสียงและแพ็กเก็ตดาตา และเมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตชนิดใด ผู้ใช้ก็ต้องแข่งขันเพื่อเข้าร้องขอโทรมส์ล๊อต ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงโดยเฉพาะโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมที่ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรมส์ล๊อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต

Xingyao Wu และ Chengshu Li [21] ได้นำเสนอโพรโทคอล Collision Reduction PRMA (CR-PRMA) ซึ่งจะช่วยลดโอกาสการชนกันของการร้องขอโดยจะพิจารณาว่าผู้ใช้คนหนึ่ง ๆ สามารถให้กำเนิดทั้งแพ็กเก็ตเสียงและแพ็กเก็ตดาตา ดังนั้นเมื่อผู้ใช้สามารถส่งแพ็กเก็ตเสียงได้สำเร็จก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาได้หนึ่งแพ็กเก็ต ทั้งนี้สถานีฐานจะจัดสรรโทรมส์ล๊อตที่ใกล้ที่สุดให้ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตดาตา ทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องร้องขอโทรมส์ล๊อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตดาตา ซึ่งจะเป็นการลดจำนวนการร้องขอและทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันลดลงด้วย

เมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเสียง ผู้ใช้ก็จะร้องขอโทรมส์ล๊อตด้วยการส่งแพ็กเก็ตร้องขอในโทรมส์ล๊อตที่อยู่ในสถานะว่างเช่นเดียวกับโพรโทคอล PRMA แต่เมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตดาตา ผู้ใช้จะตรวจสอบว่าในขณะนั้นผู้ใช้มีแพ็กเก็ตเสียงอยู่ในบัฟเฟอร์หรือไม่ ซึ่งในกรณีที่ผู้ใช้พบว่าไม่มีแพ็กเก็ตเสียงอยู่ในบัฟเฟอร์ ผู้ใช้นั้นก็จะไม่ร้องขอโทรมส์ล๊อตเพื่อส่งแพ็กเก็ตดาตา แต่ในขณะที่ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตเสียงไปยังสถานีฐาน ผู้ใช้ก็จะเซตบิต Piggybacking Request Field (PRF) ที่อยู่ในแพ็กเก็ตเสียง เพื่อบอกสถานีฐานในการจองโทรมส์ล๊อตสำหรับการส่งแพ็กเก็ตดาตาของตน จากนั้นสถานีฐานก็จะจัดสรรโทรมส์ล๊อตที่ว่างที่อยู่ใกล้ที่สุดในเฟรมถัดไปเพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตดาตาพบว่าไม่มีแพ็กเก็ตเสียงอยู่ในบัฟเฟอร์ ผู้ใช้นั้นก็ต้องส่งแพ็กเก็ตไปเพื่อร้องขอโทรมส์ล๊อตตามปกติ

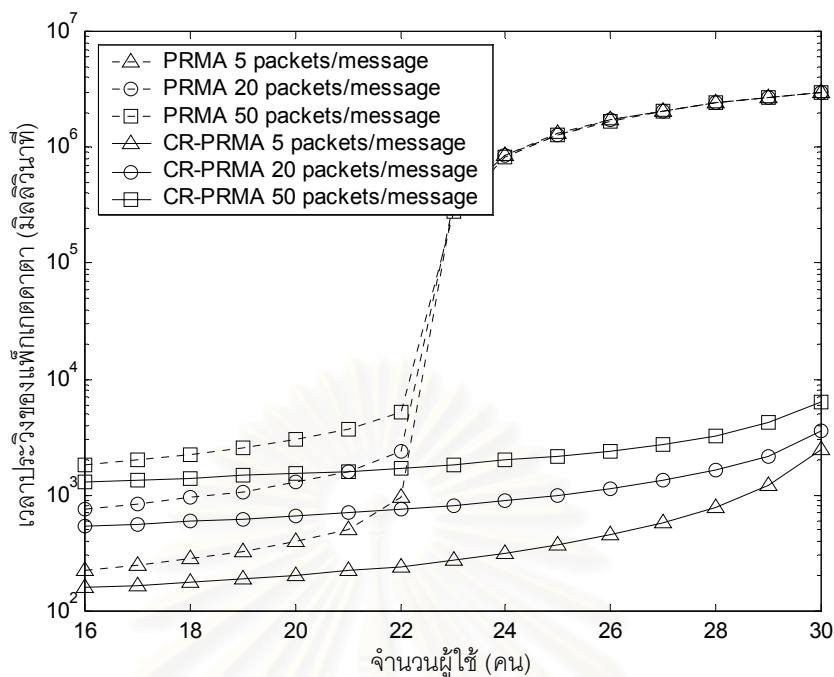
5.2.4.1 การวิเคราะห์ผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล CR-PRMA

ในส่วนนี้จะเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิค Collision Reduction กับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ที่ความยาวข่าวสารเท่ากับ 5, 20 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ซึ่งจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบดังรูปที่ 5.48-5.50 ตามลำดับ

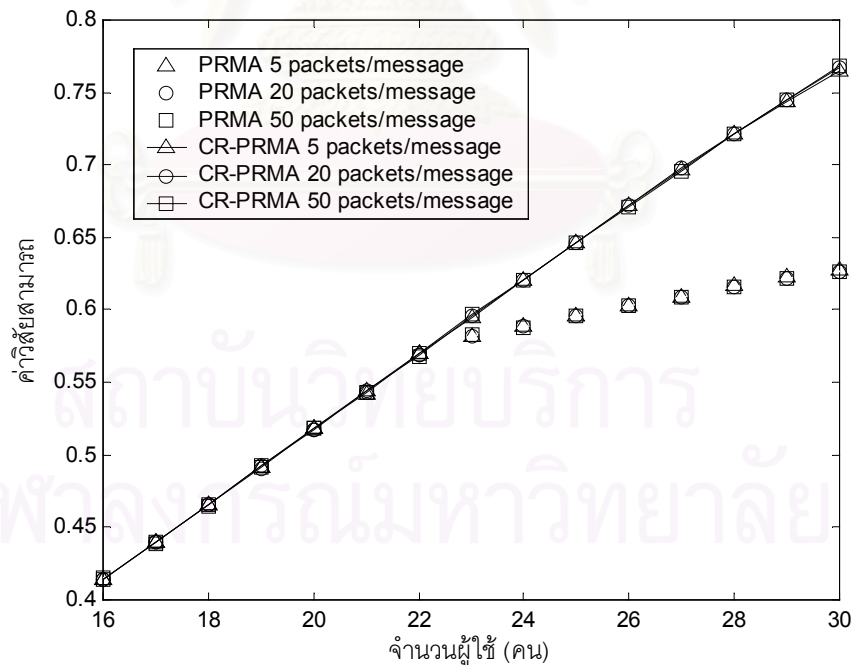


รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาดตา กับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล CR-PRMA เมื่อ $L_m = 5, 20$ และ 50 แพ็กเกต/ข่าวสาร

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.48-5.50 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล CR-PRMA จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งในแง่ของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถ โดยการใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอของผู้ใช้ดาตานั้นจะเห็นผลได้ชัดเจนเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง (จำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 22 คน) ในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมนั้น โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง ในขณะที่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับโพรโทคอล CR-PRMA ผู้ใช้ที่มีแพ็กเก็ตเสียงในบัฟเฟอร์จะสามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาได้โดยไม่ต้องร้องขอไทม์สล๊อต ทำให้จำนวนการร้องขอลดลง และผู้ใช้แต่ละคนจะมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล๊อตได้สำเร็จมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การที่ผู้ใช้สามารถเซตบิต PRF เพื่อส่งแพ็กเก็ตดาตาได้นั้น จะทำให้จำนวนไทม์สล๊อตที่ว่างในแต่ละเฟรมลดลง ดังนั้นผู้ใช้ที่จะร้องขอไทม์สล๊อตจะมีโอกาสในการร้องขอไทม์สล๊อตน้อยลง แต่จากผลการทดสอบพบว่าโพรโทคอล CR-PRMA จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA แสดงให้เห็นว่าจำนวนการร้องขอที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA ลดลง มากกว่าการที่จำนวนไทม์สล๊อตที่ว่างภายในเฟรมลดลง เพราะผู้ใช้สามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาได้โดยไม่ต้องร้องขอไทม์สล๊อต

เมื่อพิจารณาผลของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล CR-PRMA พบว่าจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาว ทั้งนี้เนื่องจากข่าวสารขนาดสั้นจะมีอัตราการกำเนิดข่าวสารบ่อยครั้งกว่าข่าวสารขนาดยาว ทำให้จำนวนการร้องขอในแต่ละช่วงเวลา มีค่าสูง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันในระบบข่าวสารขนาดสั้นจะมีมากกว่า ในทางตรงกันข้ามระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาว จะทำให้แพ็กเก็ตดาตาต้องรออยู่ภายในบัฟเฟอร์เป็นเวลานานก่อนที่จะได้รับการจัดสรรไทม์สล๊อต จึงทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของระบบนี้มีค่าสูงกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น

สำหรับค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.50 จะพบว่าค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล CR-PRMA จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนผู้ใช้ ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 22 คน ทั้งนี้เพราะไทม์สล๊อตบางส่วนจะสูญเสียไปเนื่องจากการชนกัน

ตารางที่ 5.8 จะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล CR-PRMA ที่ความยาวข่าวสารต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

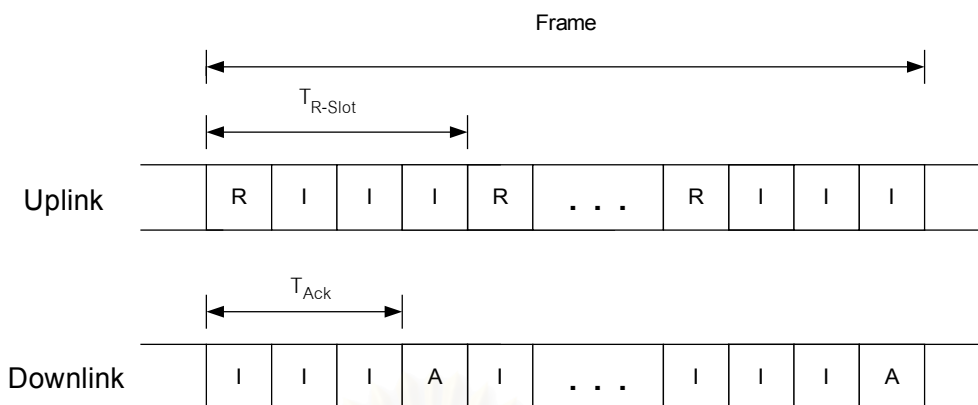
ตารางที่ 5.8 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล CR-PRMA ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

ระบบ	ความยาวข่าวสาร (แพ็กเก็ต/ข่าวสาร)	$M_{0.01}$	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
PRMA	5	25	1303563.770793	0.595842
PRMA	20	25	1290028.494131	0.595760
PRMA	50	25	1294126.661939	0.596328
CR-PRMA	5	28	789.419112	0.720894
CR-PRMA	20	29	2172.141048	0.744516
CR-PRMA	50	29	4224.664561	0.745200

จากตารางจะเห็นได้ว่า โพรโทคอล CR-PRMA จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากขึ้น เมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA โดยผู้ใช้งานดาตาสามารถที่จะส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลง ทั้งนี้โพรโทคอล CR-PRMA จะรองรับผู้ใช้ได้สูงสุด 29 คน ที่ความยาวข่าวสารเท่ากับ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร โดยระบบจะมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.74520

5.3 เทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม

จากข้อเสียของโพรโทคอล PRMA ในเรื่องของความไม่มีเสถียรภาพเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกทำให้ไม่มีผู้ใช้งานใดสามารถร้องขอไทม์-สล็อตได้สำเร็จและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอโพรโทคอล PRMA++ [22] ซึ่งเป็นโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ใช้ในระบบ RACE R2084 Advanced Time Division Multiple Access (ATDMA) โดยจะแบ่งไทม์สล็อตในระบบเชื่อมโยงขาขึ้นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สล็อตร้องขอ (Request Slot : R-Slot) และสล็อตข้อมูล (Information Slot : I-Slot) ส่วนไทม์สล็อตในระบบเชื่อมโยงขาหลังก็จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สล็อตตอบรับการร้องขอ (Acknowledgement Slot : A-Slot) และสล็อตข้อมูล (Information Slot : I-Slot) โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA++ จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.51



รูปที่ 5.51 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA++

เมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ต ผู้ใช้ก็จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของตนไปเพื่อร้องขอไทม์สล็อตในสล็อตร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งถ้าผู้ใช้ไม่ได้รับสัญญาณตอบรับการร้องขอในสล็อตตอบรับการร้องขอ ผู้ใช้ก็จะทราบว่าការร้องขอครั้งนั้นไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งอาจจะเกิดจากการชนกันหรือเกิดความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอไทม์สล็อต หลังจากนั้นผู้ใช้จะพยายามที่จะส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอไทม์สล็อตใหม่อีกครั้งในสล็อตร้องขอถัดไป

ในกรณีที่ผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ ผู้ใช้จะถูกเก็บไว้ในคิว (queue) ที่สถานีฐานเพื่อรอรับการจัดสรรสล็อตข้อมูล ซึ่งการที่สถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวนี้อาจจะใช้หลัก First-In-First-Out (FIFO) หรือใช้หลักการจัดตามลำดับความสำคัญให้แก่ผู้ใช้เสียงก่อนผู้ใช้ดาตา (Priority) ทั้งนี้สถานีฐานจะส่งสัญญาณเกี่ยวกับการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จทางสล็อตตอบรับการร้องขอ

เมื่อผู้ใช้ดาตาได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลจากสถานีฐาน ผู้ใช้ดาตานั้นจะสามารถเซตบิต PGBK เพื่อบอกสถานีฐานในกรณีที่ใช้นั้นยังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตภายในชุดข่าวสารเดียวกัน ซึ่งสถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK นี้ คนละ 1 สล็อตในแต่ละเฟรม จากนั้นภายในเฟรมยังมีสล็อตข้อมูลที่ว่างเหลืออยู่ สถานีฐานจึงจะจัดสรรสล็อตข้อมูลเหล่านี้ให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวต่อไป

ในกรณีที่ระบบจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบที่มีการจัดลำดับความสำคัญ สถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงที่อยู่ภายในคิวก่อน จากนั้นจึงจัดสรรสล็อตข้อมูลที่เหลือให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาที่อยู่ภายในคิวตามลำดับ ในกรณีที่สถานีฐานจัดสรรสล็อตข้อมูลที่ว่างให้แก่ผู้ใช้งานหมดและพบว่ายังคงมีผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ที่ยังไม่

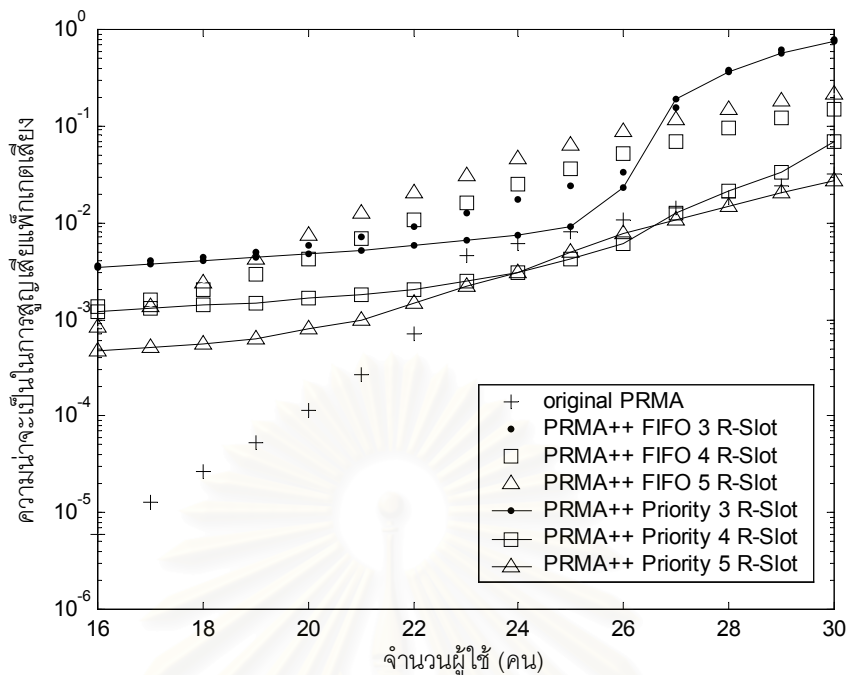
ได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูล ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ที่เหลืออยู่จะต้องไปร้องขอใหม่

5.3.1 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมโดยมีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่

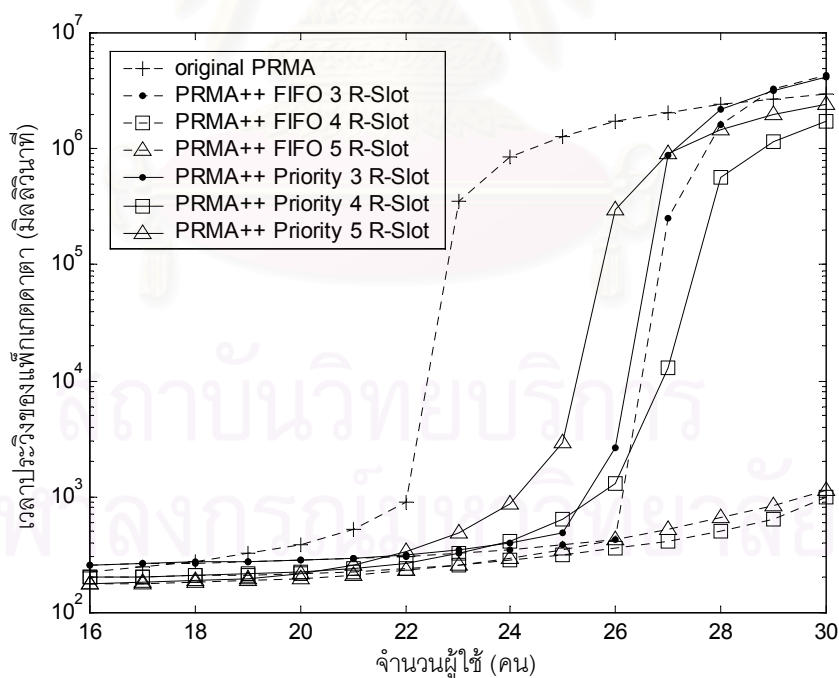
ในส่วนนี้จะพิจารณาสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอภายในแต่ละเฟรมคงที่ โดยจะพิจารณาถึงผลของจำนวนสล็อตร้องขอและตำแหน่งของสล็อตร้องขอภายในแต่ละเฟรมที่มีต่อการทำงานของโพรโทคอล PRMA++ ทั้งแบบที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ

5.3.1.1 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล็อตร้องขอของโพรโทคอล PRMA++ที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบ FIFO และคิวแบบที่มีการจัดลำดับความสำคัญ

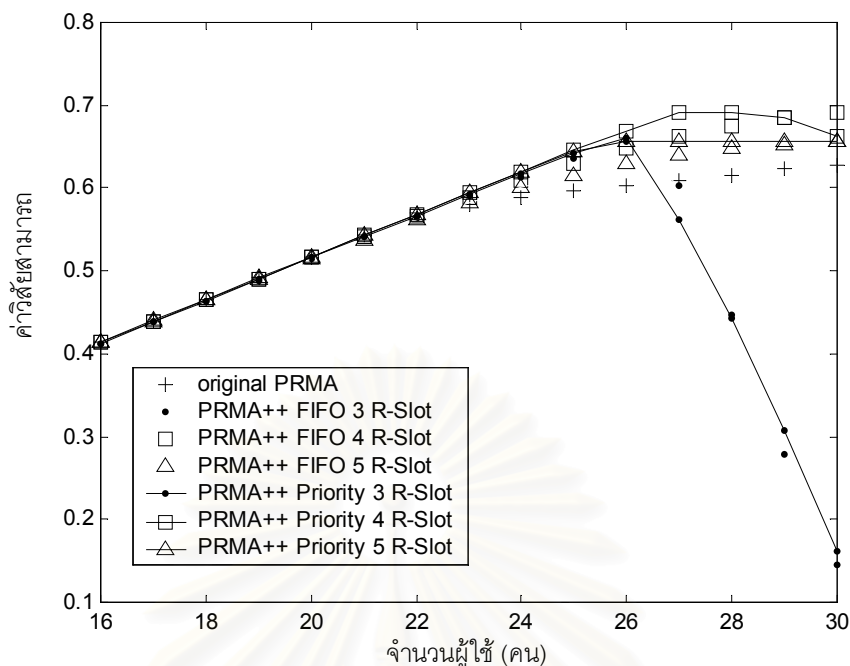
ในส่วนนี้จะพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างโพรโทคอล PRMA กับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมคงที่ โดยจะพิจารณากฎที่สถานีฐานจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ ในที่นี้จะพิจารณากฎที่จำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมเท่ากับ 3, 4 และ 5 สล็อต ระบบมีระยะ offset ระหว่างสล็อตร้องขอและสล็อตตอบรับการร้องขอเท่ากับ 3 สล็อต จากผลการทดสอบจะแสดงความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.52-5.54 ตามลำดับ



รูปที่ 5.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ



รูปที่ 5.53 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ



รูปที่ 5.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ

จากผลการทดสอบ พบว่าจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมจะมีผลต่อการทำงานของโพรโทคอล PRMA++ เป็นอย่างมาก โดยการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมจะช่วยให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้จำนวนสล็อตข้อมูลที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จลดลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาจำนวนสล็อตร้องขอที่เหมาะสมในแต่ละสภาวะทราฟฟิก

ในการพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง พบว่าการที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกละทิ้งเกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ

- เมื่อจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมีค่าน้อย โอกาสที่ผู้ใช้เสียงจะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จก็จะมีค่าน้อยตาม ซึ่งถ้าผู้ใช้เสียงไม่สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จภายในช่วงระยะเวลา 32 มิลลิวินาที หรือภายใน 2 เฟรม ก็จะทำให้แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้งไป

- เมื่อจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมีค่ามาก ผู้ใช้จะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้น แต่การเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้จำนวนสล็อตข้อมูลลดลง ซึ่งถ้าผู้ใช้เสียงที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จใช้เวลาภายในคิวเกินระยะเวลาที่กำหนดโดยไม่ได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูล ก็อาจเป็นสาเหตุให้แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้งได้

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบ FIFO ในรูปที่ 5.52 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-19 คน) ระบบที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 5 สล็อต จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย สล็อตข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นถ้าระบบลดจำนวนสล็อตข้อมูลลงและเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอให้มากขึ้น จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการร้องขอของผู้ใช้ ทำให้แพ็กเก็ตเสียงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งลดลง แต่เมื่อผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 20-26 คน) การที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอมากเกินไปจะทำให้มีจำนวนสล็อตข้อมูลที่ว่างไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ ดังนั้นจึงควรที่จะลดจำนวนสล็อตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลมารองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ โดยจะเห็นได้จากผลการทดสอบว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงจะมีค่าต่ำสุดเมื่อจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 3 สล็อต อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูงมาก (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 27-30 คน) ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเมื่อจำนวนสล็อตร้องขอเป็น 3 สล็อต จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอที่น้อยเกินไป ทำให้เกิดการชนกันในสล็อตร้องขออย่างซ้ำแล้วซ้ำอีก และไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ ดังนั้นสล็อตข้อมูลจะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์และระบบจะมีค่าวิสัยสามารถลดลงอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.54

สำหรับระบบที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบจัดลำดับความสำคัญนั้น พบว่าการยึดครองสล็อตข้อมูลของผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK จะไม่มีผลต่อผู้ใช้เสียง ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงจะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลก่อนผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK เสมอ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทรมสล็อตของผู้ใช้เสียง ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลง ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.52 ว่า ระบบที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 5 สล็อตจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ พบว่าเมื่อพิจารณาที่จำนวนสล็อตร้องขอต่อเฟรมเท่ากัน ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของวิธีจัดลำดับความสำคัญจะมีค่าต่ำกว่าวิธี FIFO โดยเฉพาะเมื่อจำนวนสล็อตร้องขอมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนสล็อตร้องขอมีค่าสูง ผู้ใช้เสียงจะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จมากขึ้น ในขณะที่จำนวนสล็อตข้อมูลที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จจะลดลง ซึ่งการลดลงของจำนวนสล็อตข้อมูลนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงในระบบจัดลำดับความสำคัญมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงในระบบจัดลำดับความสำคัญจะได้รับการ

จัดสรรสล็อตข้อมูลก่อนผู้ใช้ดาตาเสมอ ในขณะที่วิธี FIFO นั้น สถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ตามลำดับของการร้องขอที่สำเร็จ ซึ่งถ้าผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จก่อนผู้ใช้เสียง ผู้ใช้ดาตานั้นจะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลก่อนผู้ใช้เสียง นอกจากนี้ผู้ใช้ดาตายังได้รับอนุญาตให้เซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้จนกระทั่งหมดชุดข่าวสาร ซึ่งถ้าสถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK นี้ก่อนผู้ใช้ภายในคิว จนในบางครั้งอาจจะทำให้ผู้ใช้เสียงต้องใช้เวลารอภายในคิวนานขึ้นก่อนที่จะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูล ส่งผลให้โอกาสที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกทิ้งมีค่าสูง

นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า แม้ว่าปริมาณทราฟฟิกในระบบจะมีค่าน้อย แต่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA++ จะยังคงมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล PRMA++ อนุญาตให้ผู้ใช้ร้องขอโทรม์สล็อตได้เฉพาะในสล็อตร้องขอเท่านั้น ในขณะที่ผู้ใช้ในโพรโทคอล PRMA สามารถจะร้องขอโทรม์สล็อตได้ในทุกโทรม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นผู้ใช้เสียงในโพรโทคอล PRMA จึงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากกว่าผู้ใช้เสียงในโพรโทคอล PRMA++ อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง ปริมาณการร้องขอในโพรโทคอล PRMA จะมีความสูงมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันและทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้าม โพรโทคอล PRMA++ แบบจัดลำดับความสำคัญจะให้ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่า เนื่องจากผู้ใช้ดาตาสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตที่เหลือในชุดข่าวสารได้ ทำให้จำนวนการร้องขอจากผู้ใช้ดาตาลดลง ในขณะที่การยึดครองสล็อตข้อมูลของผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK นี้ไม่มีผลต่อผู้ใช้เสียง

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.53 นั้น พบว่าโพรโทคอล PRMA++ จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA โดยการลดลงของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตานั้นจะเห็นได้ชัดเจนในโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้วิธีการจัดสรรโทรม์สล็อตแบบ FIFO ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จจะสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตจนหมดชุดข่าวสารได้โดยไม่ต้องร้องขอโทรม์สล็อตใหม่ ในขณะที่โพรโทคอล PRMA++ แบบจัดลำดับความสำคัญจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงกว่าแบบ FIFO เนื่องจากผู้ใช้เสียงจะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลก่อนผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาภายในคิวเสมอ นอกจากนี้ ถ้าสถานีฐานจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงจนกระทั่งไม่มีสล็อตข้อมูลที่ว่างให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ผู้ใช้ดาตานั้นจะต้องไปร้องขอโทรม์สล็อตใหม่ ซึ่งจะทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของจำนวนสลิตร้องขอที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา พบว่าทั้งระบบ FIFO และระบบจัดลำดับความสำคัญจะให้ผลที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสลิตร้องขอเท่ากับ 5 สลิต จะมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาต่ำสุด ทั้งนี้เพราะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าไม่สูงนัก สลิตข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นการเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทรมสลิตของผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะเข้าใช้สลิตข้อมูลได้เร็วขึ้น ทั้งนี้โพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้วิธีการจัดสรรสลิตข้อมูลแบบจัดลำดับความสำคัญจะมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาสูงกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้วิธีการจัดสรรสลิตข้อมูลแบบ FIFO เล็กน้อย เนื่องจากผู้ใช้เสียงจะได้รับการจัดสรรสลิตข้อมูลก่อนผู้ใช้ดาตาเสมอ

แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น (จำนวนผู้ใช้เป็น 25-26 คน) สลิตข้อมูลส่วนใหญ่จะถูกยึดครองโดยผู้ใช้เสียง ทำให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาของระบบที่มีการจัดลำดับความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกัน เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาในระบบ FIFO จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรมสลิตได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเกตได้จนหมดชุดข่าวสาร ทั้งนี้ระบบที่มีจำนวนสลิตร้องขอเป็น 5 สลิต จะมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาสูงสุด เพราะระบบมีจำนวนสลิตร้องขอที่มากเกินไป ส่งผลให้มีจำนวนสลิตข้อมูลที่ว่างไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอโทรมสลิตได้สำเร็จ อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูงมาก (จำนวนผู้ใช้เป็น 27-30 คน) การลดจำนวนสลิตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสลิตข้อมูลจะไม่เกิดประโยชน์ เพราะจะเกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกในสลิตร้องขอ ซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาและความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงมีค่าสูงชันอย่างรวดเร็ว

สำหรับค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.54 พบว่าโพรโทคอล PRMA++ จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าโพรโทคอล PRMA โดยเฉพาะเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวโพรโทคอล PRMA จะมีจำนวนการร้องขอเป็นปริมาณมากซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก และไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถเข้าใช้โทรมสลิตได้ ในทางตรงกันข้าม เมื่อผู้ใช้ภายในโพรโทคอล PRMA++ มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตข้อมูลก็จะสามารถส่งแพ็กเกตเพื่อร้องขอโทรมสลิตในสลิตร้องขอได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงจำนวนสลิตข้อมูลที่ว่างในขณะนั้น และเมื่อสถานีฐานพบว่ามีสลิตข้อมูลว่างเกิดขึ้น ผู้ใช้ภายในคิวก็จะได้รับการจัดสรรสลิตข้อมูลทันทีโดยไม่ต้องร้องขอโทรมสลิตใหม่ อย่างไรก็ตาม โพรโทคอล PRMA++ จะมีข้อเสียในแง่ของการสูญเสียทรัพยากรไปในส่วนของสลิตร้องขอ โดยเฉพาะเมื่อจำนวนสลิตร้องขอมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดลดลงได้

จากผลการทดสอบที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะแสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเกิดดาตา และค่าวิสัยสามารถ ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสลิตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้คิวแบบ FIFO และแบบจัดลำดับความสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

การจัดสรรสลิตข้อมูล	$M_{0.01}$	จำนวนสลิตตร้อยขอ	เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเกิดดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
FIFO	22	3	305.616030	0.564716
FIFO	21	4	227.089894	0.541613
FIFO	20	5	197.894326	0.513810
จัดลำดับความสำคัญ	25	3	484.304759	0.641881
จัดลำดับความสำคัญ	26	4	1306.748514	0.669096
จัดลำดับความสำคัญ	26	5	303262.7569	0.657182

จากตารางที่ 5.9 พบว่า โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสลิตข้อมูลด้วยวิธี FIFO จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้สูงสุดเท่ากับ 22 คน เมื่อจำนวนสลิตตร้อยขอในแต่ละเฟรมเป็น 3 สลิต ในขณะที่โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสลิตข้อมูลด้วยวิธีจัดลำดับความสำคัญนั้นจะรองรับผู้ใช้ได้สูงสุดเท่ากับ 26 คน เมื่อจำนวนสลิตตร้อยขอในแต่ละเฟรมเท่ากับ 4 และ 5 สลิต อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนสลิตตร้อยขอเท่ากับ 4 สลิต/เฟรม โพรโทคอล PRMA++ จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเกิดดาตาต่ำกว่ากรณีที่มีจำนวนสลิตตร้อยขอเป็น 5 สลิต/เฟรม อย่างเห็นได้ชัดเจน อีกทั้งยังมีค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงกว่า ดังนั้นโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสลิตข้อมูลแบบจัดลำดับความสำคัญและมีจำนวนสลิตตร้อยขอในแต่ละเฟรมเท่ากับ 4 สลิต จะให้สมรรถนะที่ดีที่สุด

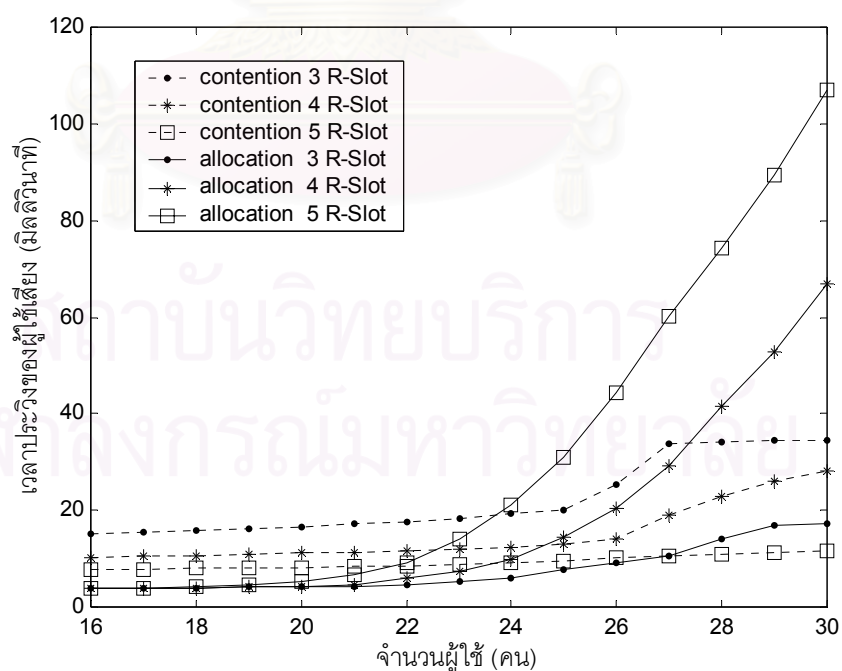
5.3.1.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล็อตร้องขอที่มีต่อเวลาประวิงของผู้ใช้เสียงและจำนวนสล็อตข้อมูลที่อยู่ในสถานะว่างของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้โดยใช้คิวแบบที่มีการจัดลำดับความสำคัญ

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลกระทบของจำนวนสล็อตร้องขอของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการจัดสรรสล็อตข้อมูลแบบจัดลำดับความสำคัญ ที่มีต่อเวลาประวิงของแพ็กเก็ตผู้ใช้เสียงและจำนวนสล็อตข้อมูลที่อยู่ในสถานะว่าง เวลาประวิงของผู้ใช้เสียงในที่นี่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

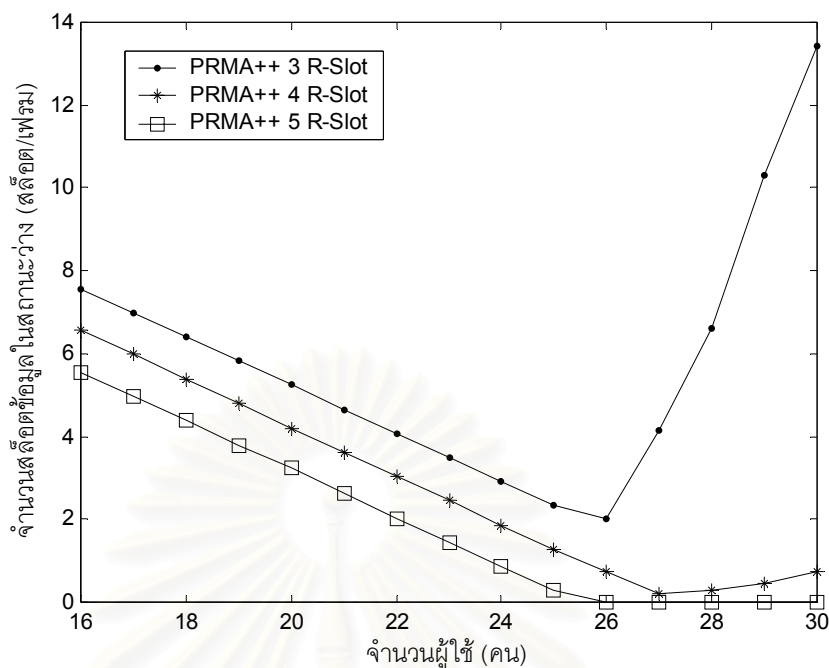
- เวลาประวิงในการร้องขอโทรมสล็อต (Contention Delay) พิจารณาตั้งแต่เวลาที่ผู้ใช้เสียงให้กำเนิดแพ็กเก็ตเสียงจนกระทั่งผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ

- เวลาประวิงในการจัดสรรสล็อตข้อมูล (Allocation Delay) พิจารณาตั้งแต่เวลาที่ผู้ใช้เสียงที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จถูกเก็บไว้ในคิว จนกระทั่งแพ็กเก็ตแรกได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูล

จากผลการทดสอบจะแสดงเวลาผลของประวิงของผู้ใช้เสียงและจำนวนสล็อตข้อมูลที่อยู่ในสถานะว่างในแต่ละเฟรมในรูปแบบที่ 5.55 และ 5.56 ตามลำดับ



รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของผู้ใช้เสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ เมื่อจำนวนสล็อตร้องขอ = 3, 4 และ 5 สล็อต/เฟรม



รูปที่ 5.56 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสล็อตข้อมูลในสถานะว่างกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ เมื่อ จำนวนสล็อตร้องขอ = 3, 4 และ 5 สล็อต/เฟรม

จากรูปที่ 5.55 พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาประวิงในการร้องขอโทรม์สล็อตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้การแข่งขันกันในการร้องขอโทรม์สล็อตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันก่อนที่ผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้เวลาประวิงในการร้องขอโทรม์สล็อตลดลง เพราะผู้ใช้จะมีโอกาสในการร้องขอโทรม์สล็อตมากขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้ระยะห่างระหว่างสล็อตร้องขอแต่ละสล็อตลดลง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตในสล็อตร้องขอได้เร็วขึ้นด้วย

สำหรับเวลาประวิงในการจัดสรรสล็อตข้อมูลนั้น พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ผู้ใช้ก็จะเข้าใช้สล็อตข้อมูลมากขึ้น ทำให้จำนวนสล็อตข้อมูลที่ว่างลดลง ดังนั้นผู้ใช้จะต้องใช้เวลารอภายในคิวมากขึ้นก่อนที่จะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูล โดยเมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้ค่าหนึ่ง ๆ จะพบว่าการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้เวลาประวิงในการจัดสรรโทรม์สล็อตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะทำให้จำนวนสล็อตข้อมูลลดลง

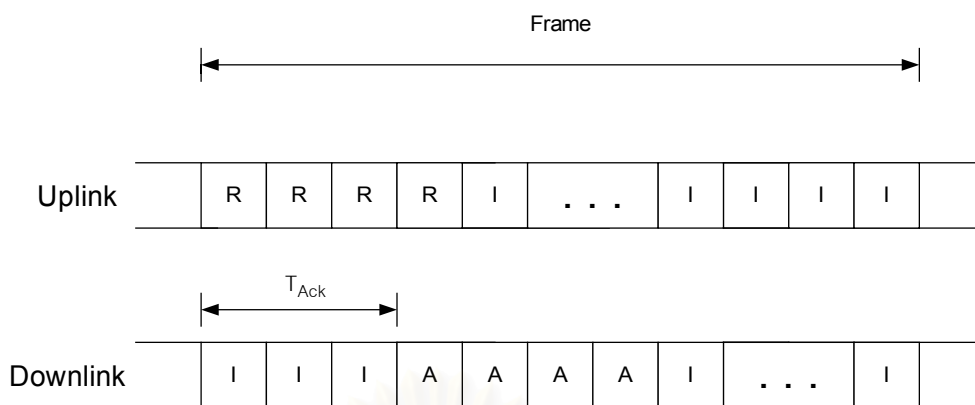
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาประวิงในการร้องขอโทรม์สล็ตและเวลาประวิงในการจัดสรรสล็ตข้อมูล พบว่าเมื่อจำนวนสล็ตร้องขอมีค่าน้อย (จำนวนสล็ตร้องขอเท่ากับ 3 สล็ต) เวลาประวิงของผู้ใช้เสียงส่วนใหญ่จะเกิดจากเวลาประวิงในการร้องขอโทรม์สล็ต ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนสล็ตร้องขอมีน้อยจะทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็ตได้สำเร็จน้อย แต่ถ้าผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สล็ตได้สำเร็จก็จะมีโอกาสที่จะได้รับการจัดสรรสล็ตข้อมูลสูง ทั้งนี้เพราะจำนวนสล็ตข้อมูลในแต่ละเฟรมมีจำนวนมาก การเพิ่มจำนวนสล็ตร้องขอจะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็ตได้สำเร็จมากขึ้น ทำให้เวลาประวิงของผู้ใช้เสียงส่วนใหญ่ในระบบที่มีจำนวนสล็ตร้องขอในแต่ละเฟรมมากเกิดจากเวลาประวิงในการจัดสรรสล็ตข้อมูล การเพิ่มขึ้นของเวลาประวิงในการจัดสรรสล็ตข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าสูง ๆ ซึ่งจำนวน สล็ตข้อมูลทีว่างในแต่ละเฟรมมีค่าน้อย ทำให้ผู้ใช้เสียงจะต้องใช้เวลารอภายในคิวเป็นเวลานานก่อนที่จะได้รับการจัดสรรสล็ตข้อมูล ดังจะเห็นได้ผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.55 เมื่อผู้ใช้ในระบบมากกว่า 25 คน ระบบที่มีจำนวนสล็ตร้องขอเป็น 5 สล็ต จะมีเวลาประวิงในการจัดสรรสล็ตข้อมูลสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาจำนวนสล็ตข้อมูลที่อยู่ในสถานะว่างในแต่ละเฟรมในรูปที่ 5.56 จะพบว่าจำนวนสล็ตข้อมูลในสถานะว่างจะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนสล็ตข้อมูลที่อยู่ในสถานะว่างจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็ตร้องขอเพิ่มขึ้น ทั้งนี้นอกจากจะเป็นผลมาจากการที่สล็ตข้อมูลบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสล็ตร้องขอแล้ว การเพิ่มจำนวนสล็ตร้องขอจะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็ตได้สำเร็จมากกว่าและส่งผลให้สล็ตข้อมูลถูกใช้งานมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็ตร้องขอน้อยเกินไป จะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและผู้ใช้ก็ไม่สามารถร้องขอโทรม์สล็ตผ่านสล็ตร้องขอได้สำเร็จ เมื่อผู้ใช้ไม่สามารถร้องขอโทรม์สล็ตได้ ผู้ใช้ก็ไม่สามารถเข้าใช้สล็ตข้อมูลทีว่างได้ ทำให้ระบบมีจำนวนสล็ตข้อมูลทีว่างเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนในระบบที่มีจำนวนสล็ตร้องขอเป็น 3 สล็ต เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 26 คน

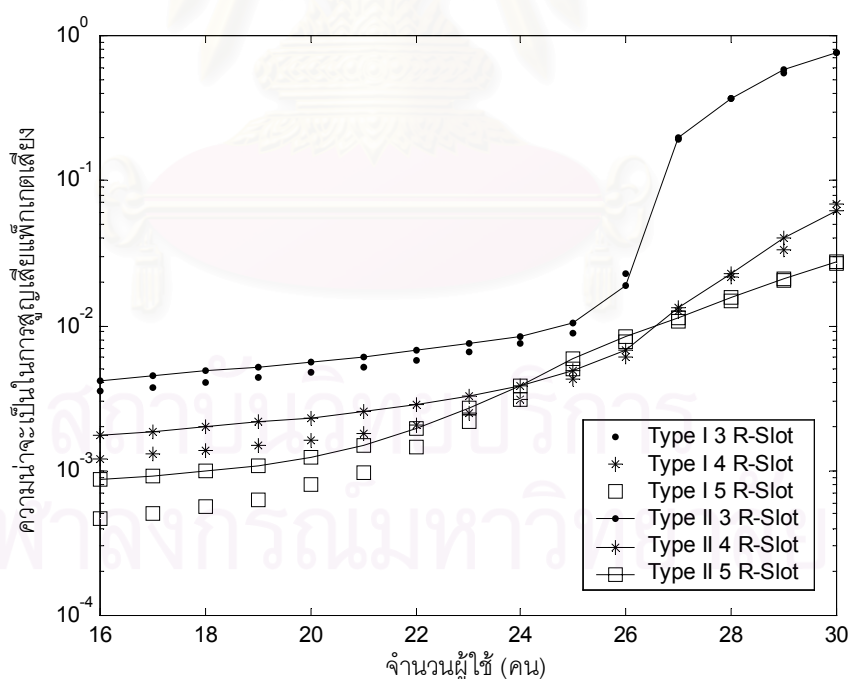
5.3.1.3 การวิเคราะห์ผลของตำแหน่งของสล็ตร้องขอภายในเฟรม

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลของตำแหน่งของสล็ตร้องขอภายในเฟรมของโพรโทคอล PRMA++ แบบใช้คิวที่มีการจัดลำดับความสำคัญ โดยจะพิจารณาเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ตำแหน่งของสล็ตร้องขอมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเฟรม (Type I) ตามรูปที่ 5.51 และกรณีที่ตำแหน่งสล็ตร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม (Type II) ตามรูปที่ 5.57

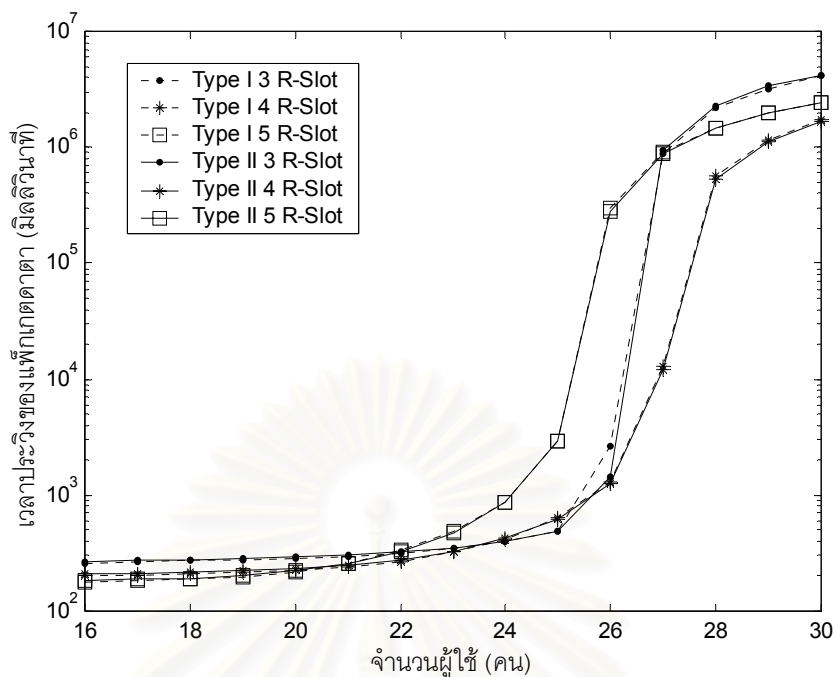


รูปที่ 5.57 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีสล롯ร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม

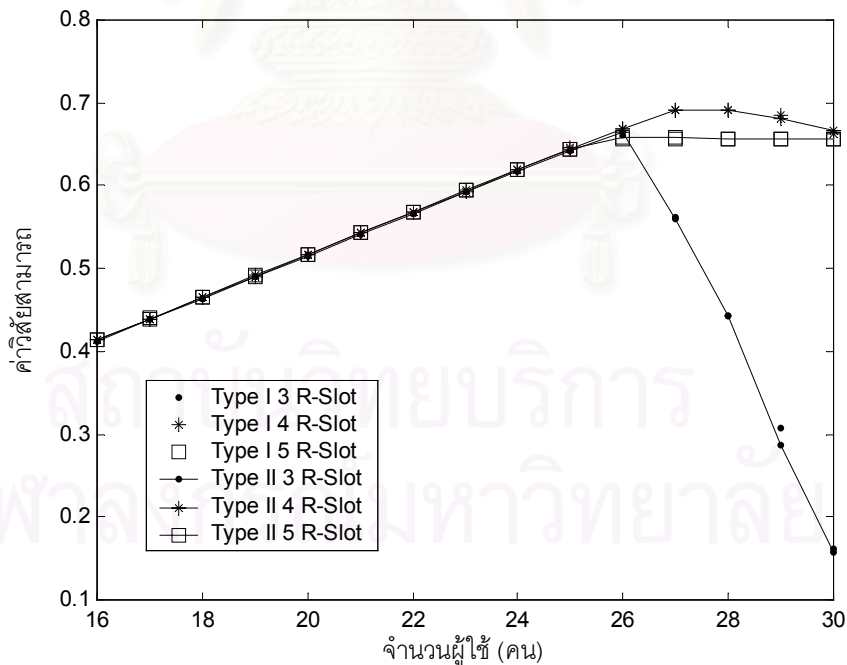
จากผลการทดสอบ จะแสดงผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA++ ทั้งกรณีที่มีสล롯ร้องขอกระจายภายในเฟรมและกรณีที่มีสล롯ร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม เมื่อระบบมีจำนวนสล롯ร้องขอเท่ากับ 3, 4 และ 5 สลิต/เฟรม ระยะ offset ระหว่างสลิตร้องขอและสลิตตอบรับการร้องขอเท่ากับ 3 ไทม์สลิต ตามรูปที่ 5.58-5.60 ตามลำดับ



รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสลิตร้องขอกระจายภายในเฟรมและสลิตร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม



รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตตามกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสล็อตร้องขอกระจายภายในเฟรมและสล็อตร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม



รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA ++ เมื่อสล็อตร้องขอกระจายภายในเฟรมและสล็อตร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรม

จากรูปที่ 5.58 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาที่จำนวนสล็อตร้องขอเท่ากัน ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการกระจายสล็อตร้องขอภายในเฟรมจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีสล็อตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรม ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายสล็อตร้องขอภายในเฟรมจะช่วยให้ผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตสามารถส่งแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอโทรม์สล็อตได้ในสล็อตร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุดซึ่งอาจจะอยู่ภายในเฟรมเดียวกัน ในขณะที่โพรโทคอล PRMA++ ที่มีสล็อตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรมนั้น ถ้าผู้ใช้เสียงมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตหลังจากผ่านช่วงของสล็อตร้องขอไปแล้ว ผู้ใช้เสียงจะต้องรอนจนกระทั่งถึงเฟรมหน้าจึงจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้ นอกจากนี้การกระจายตำแหน่งของสล็อตร้องขอภายในเฟรมจะช่วยลดจำนวนการร้องขอภายในสล็อตร้องขอแต่ละสล็อต โดยเมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตก็จะส่งแพ็กเก็ตร้องขอในสล็อตร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุด ในขณะที่ระบบที่มีสล็อตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรมนั้น ผู้ใช้ทุกคนที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตหลังจากผ่านสล็อตร้องขอสล็อตสุดท้ายไปแล้ว จะไปร้องขอโทรม์สล็อตพร้อมกันที่ตอนต้นของเฟรมถัดไป ซึ่งจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีมากกว่า

สำหรับเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.59 นั้น พบว่าทั้งสองวิธีจะมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาใกล้เคียงกันมาก โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อยระบบที่มีการกระจายสล็อตร้องขอภายในเฟรมจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาต่ำกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายสล็อตร้องขอจะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จสูงกว่าดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นระบบที่มีสล็อตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรมจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการที่แพ็กเก็ตเสียงในระบบนี้มีโอกาสที่จะถูกละทิ้งได้สูงทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ระบบที่มีการกระจายสล็อตร้องขอนั้น ผู้ใช้เสียงจะมีโอกาสร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากกว่าและเมื่อผู้ใช้เสียงร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จก็จะได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลก่อนผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ซึ่งเป็นสาเหตุให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถของระบบทั้งสองในรูป 5.60 พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากสถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ที่อยู่ในคิวตามลำดับคือ ผู้ใช้เสียงภายในคิว, ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาภายในคิว โดยระบบที่มีการกระจายสล็อตร้องขอนั้น ผู้ใช้เสียงจะมีโอกาสร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากกว่า สถานีฐานจึงจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จก่อนจึงจะจัดสรรสล็อตข้อมูลที่เหลือให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จตามลำดับ ในขณะที่ระบบที่มีสล็อตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรมนั้น แพ็กเก็ตเสียงจะมีโอกาสละทิ้งมากกว่า ซึ่งสถานีฐานก็จะจัดสรรสล็อตข้อมูล

ที่ว่างให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ดังนั้นสลิตข้อมูลจึงถูกใช้งานตลอดเวลาทำให้ค่าวิสัย
สามารถของระบบทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

5.3.2 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมโดยมีการปรับจำนวนสลิตร้องขอในแต่ละ เฟรมแบบพลวัต

จากหัวข้อที่ 5.3.1 จะเห็นได้ว่าการเลือกจำนวนสลิตร้องขอที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับ
ปริมาณกราฟิกในขณะนั้น ๆ โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย การเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอ
จะช่วยเพิ่มโอกาสในการร้องขอไทม์สลิตให้แก่ผู้ใช้ แต่ในบางครั้งการเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอที่
มากเกินไปอาจจะทำให้ทรัพยากรสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะผู้ใช้มีความต้องการที่จะ
ร้องขอไทม์สลิตเพื่อส่งแพ็กเก็ตข้อมูลน้อย ในทางกลับกัน เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น
ระบบควรลดจำนวนสลิตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสลิตข้อมูลมารองรับผู้ใช้ที่ร้องขอไทม์สลิต
ได้สำเร็จ ทั้งนี้จำนวนสลิตร้องขอก็ไม่ควรจะมีค่าน้อยเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการชนกันภายใน
สลิตร้องขอแบบซ้ำแล้วซ้ำอีกได้

Jeong Geun Kim และ Indra Widjaja ได้เสนอวิธีการปรับจำนวนของสลิตร้องขอตาม
ผลของการร้องขอไทม์สลิตของผู้ใช้ [23] โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อให้มีแบนด์วิดท์สูงสุดเพื่อ
รองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จและเป็นการลดเวลาประวิงในการเข้าใช้ไทม์สลิตของผู้ใช้ ซึ่งในกรณี
ที่ไม่มีผู้ใช้คนใดที่ต้องการจะใช้ไทม์สลิต สถานีฐานจะจัดให้มีสลิตร้องขออย่างน้อย 1 สลิต
แต่เมื่อปริมาณกราฟิกในระบบเพิ่มขึ้น การที่ระบบมีสลิตร้องขอเพียงสลิตเดียวจะไม่เพียงพอ
ต่อความต้องการจะเข้าใช้ไทม์สลิตของผู้ใช้ ดังนั้นจึงจะมีการปรับจำนวนสลิตร้องขอตามความ
ต้องการในการเข้าใช้ไทม์สลิตโดยจะมีการประมาณจำนวนผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต
อย่างไรก็ตาม สถานีฐานจะไม่สามารถทราบจำนวนผู้ใช้ที่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตที่แน่นอน
ได้ จึงจะมีการประมาณค่าจำนวนของผู้ใช้ในขณะใด ๆ โดยใช้ผลของการร้องขอในเฟรมก่อนหน้า

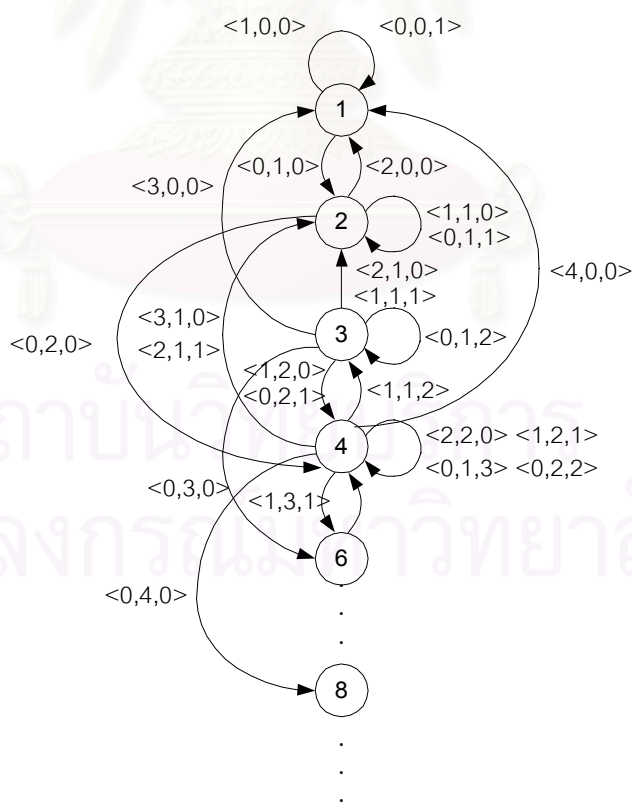
ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เฟรมที่ X มีสลิตร้องขอเพียง 1 สลิต และสมมติว่าเกิดการชนกัน
ภายในสลิตร้องขอนี้ สถานีฐานก็จะทราบว่าผู้ใช้อย่างน้อย 2 คน ส่งแพ็กเก็ตร้องขอมาเพื่อ
ร้องขอไทม์สลิตในสลิตร้องขอนี้ ดังนั้นสถานีฐานก็จะเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอในเฟรมที่ X+1
เป็น 2 สลิต และถ้าสถานีฐานพบว่าภายในเฟรมที่ X+1 นี้ เกิดการชนกันในสลิตร้องขอทั้ง 2
สลิต สถานีฐานก็จะประมาณว่ามีผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต 4 คน ทำให้สถานีฐานเพิ่ม
จำนวนสลิตร้องขอในเฟรมที่ X+2 เป็น 4 สลิต

สมมติให้ในเฟรมที่ $X+2$ มีสลักร้อยขอที่ผู้ใช้สามารถร้องขอได้สำเร็จ 2 สลักร้อยขอที่อยู่ที่อยู่ในสถานะว่าง 1 สลักร้อยขอ และสลักร้อยขอที่เกิดการชนกัน 1 สลักร้อยขอ สถานีฐานก็จะทราบ
ว่าผู้ใช้สามารถร้องขอใหม่สลักร้อยขอได้สำเร็จ 2 คนและยังมีผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตอีก 2
คน ดังนั้นสถานีฐานจะลดจำนวนสลักร้อยขอในเฟรมที่ $X+3$ จาก 4 สลักร้อยขอ มาเหลือเพียง 2 สลักร้อยขอ

จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่าสถานีฐานจะปรับจำนวนสลักร้อยขอในแต่ละเฟรมตาม
จำนวนผู้ใช้ที่น้อยที่สุดที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต โดยที่จำนวนผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่ง
แพ็กเก็ตนี้จะพิจารณาจาก จำนวนสลักร้อยขอทั้งหมดภายในเฟรม (N_R), จำนวนสลักร้อยขอที่
ผู้ใช้สามารถร้องขอได้สำเร็จ (N_{R-S}), จำนวนสลักร้อยขอที่เกิดการชน (N_{R-C}) และจำนวน
สลักร้อยขอที่อยู่ในสถานะว่าง (N_{R-A}) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 5.9

$$N_R = N_{R-S} + N_{R-C} + N_{R-A} \tag{5.9}$$

การพิจารณาจำนวนสลักร้อยขอในเฟรมที่ $X+1$ จะใช้ผลของการร้องขอในเฟรมที่ X ซึ่ง
จะอธิบายได้โดยใช้ไดอะแกรมในรูปที่ 5.61 เมื่อสถานะภายในวงกลมคือจำนวนสลักร้อยขอและ
การเปลี่ยนแปลงจำนวนของสลักร้อยขอในแต่ละเฟรมจะขึ้นอยู่กับค่า $\langle N_{R-S}, N_{R-C}, N_{R-A} \rangle$



รูปที่ 5.61 ไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนสลักร้อยขอ

จากรูปที่ 5.61 จะสามารถเขียนสมการเพื่อคำนวณจำนวนสล็อดร้องขอในเฟรมที่ $X+1$ ได้ดังสมการที่ 5.10

$$N_R^{(k+1)} = \begin{cases} \min(\max(N_R^{(k)} - N_{R-S}^{(k)}, 2N_{R-C}^{(k)}), N_R(\max)) & ; N_R^{(k)} \neq N_{R-S}^{(k)} \\ N_R(\min) & ; N_R^{(k)} = N_{R-S}^{(k)} \end{cases} \quad (5.10)$$

จากสมการที่ 5.10 ในกรณีที่จำนวนสล็อดร้องขอที่ผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อดได้สำเร็จมีค่าน้อยกว่าจำนวนสล็อดร้องขอทั้งหมดภายในเฟรมนั้น ระบบจะปรับจำนวนของสล็อดร้องขอที่ตอนท้ายของเฟรม โดยพิจารณาจากผลของจำนวนสล็อดร้องขอที่ผู้ใช้ร้องขอได้สำเร็จและจำนวนสล็อดร้องขอที่เกิดการชนกัน ทั้งนี้จำนวนสล็อดร้องขอสูงสุดในแต่ละเฟรม : $N_R(\max)$ จะมีค่าจำกัดที่ค่า ๆ หนึ่ง เนื่องจากระบบจะต้องมีแบนด์วิดท์ส่วนหนึ่งไว้รองรับผู้ใช้ที่ร้องขอไทม์สล็อดได้สำเร็จ แต่ถ้าสถานการณ์ฐานพบว่าผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อดได้สำเร็จในทุก ๆ สล็อดร้องขอภายในเฟรม สถานการณ์ฐานก็จะลดจำนวนสล็อดร้องขอลง โดยที่จำนวนสล็อดร้องขอภายในเฟรมจะต้องมีค่าต่ำสุดที่ค่า ๆ หนึ่ง คือ $N_R(\min)$ เพื่อรองรับผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเกตในเฟรมถัดไป

5.3.2.1 การวิเคราะห์ผลของจำนวนสล็อดร้องขอสูงสุดและจำนวนสล็อดร้องขอต่ำสุด

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลของจำนวนสล็อดร้องขอสูงสุด $N_R(\max)$ และจำนวนสล็อดร้องขอต่ำสุด $N_R(\min)$ ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อดร้องขอแบบพลวัต โดยจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อดภายในแต่ละเฟรมคงที่ ทั้งระบบที่มีตำแหน่งของสล็อดร้องขอกระจายภายในแต่ละเฟรม (Type I) และระบบที่มีตำแหน่งของสล็อดร้องขอที่ตอนต้นของเฟรม (Type II) เมื่อระบบมีระยะ offset ระหว่างสล็อดร้องขอและสล็อดตอบรับการร้องขอเท่ากับ 3 สล็อด ในที่นี้จะพิจารณารณที่ $N_R(\min)$ มีค่าเท่ากับ 3 และ 4 สล็อด เนื่องจากขนาดของเฟรมที่ใช้ในการทดสอบมีค่า 16 มิลลิวินาที ทำให้แพ็กเกตเสียงมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อดก่อนที่แพ็กเกตเสียงจะถูกละทิ้งได้เป็นระยะเวลาเพียง 2 เฟรม ดังนั้นการที่กำหนดให้ค่า $N_R(\min) = 1$ สล็อด จะทำให้โอกาสที่ผู้ใช้เสียงจะร้องขอไทม์สล็อดได้สำเร็จมีน้อย และโอกาสที่แพ็กเกตเสียงจะถูกละทิ้งมีสูง ในขณะที่โพรโทคอล [23] ใช้เฟรมขนาด 6 มิลลิวินาที ทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อดได้มากกว่าก่อนที่จะถูกละทิ้ง

จากผลการทดสอบจะได้ตารางแสดงสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบจะปรับจำนวนสล็อดร้องขอเป็นค่าที่กำหนด เพื่อให้ทราบถึงภาพรวมของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อดร้องขอแบบพลวัตในแง่ของจำนวนสล็อดร้องขอที่ระบบจะปรับไปใช้เป็นส่วนใหญ่ตลอดระยะเวลาการจำลองระบบ ในที่นี้จะพิจารณาให้ $N_R(\min) = 3$ และ 4 สล็อด และ $N_R(\max) =$

6 และ 8 สล็อต ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบตามตารางที่ 5.10-5.13 นอกจากนี้ยังแสดงผลของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.62-5.64 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 3$ สล็อต และ $N_R(\max) = 6$ สล็อต

จำนวนผู้ใช้ (คน)	สัดส่วนของจำนวนเฟรม					
	$N_R = 3$	$N_R = 4$	$N_R = 5$	$N_R = 6$	$N_R = 7$	$N_R = 8$
16	0.993658	0.005702	0.000097	0.000544	-	-
17	0.992182	0.006994	0.000119	0.000706	-	-
18	0.990521	0.008420	0.000157	0.000904	-	-
19	0.988373	0.010257	0.000188	0.001184	-	-
20	0.985875	0.012366	0.000231	0.001529	-	-
21	0.982863	0.014864	0.000293	0.001981	-	-
22	0.979258	0.017789	0.000356	0.002600	-	-
23	0.974443	0.021737	0.000430	0.003391	-	-
24	0.967943	0.026821	0.000602	0.004635	-	-
25	0.958618	0.033893	0.000792	0.006698	-	-
26	0.941753	0.045826	0.001205	0.011217	-	-
27	0.91153	0.064739	0.001937	0.021795	-	-
28	0.830592	0.104693	0.003635	0.061081	-	-
29	0.776923	0.116525	0.004620	0.101933	-	-
30	0.793759	0.102708	0.004254	0.099280	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสลิตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 3$ สลิต และ $N_R(\max) = 8$ สลิต

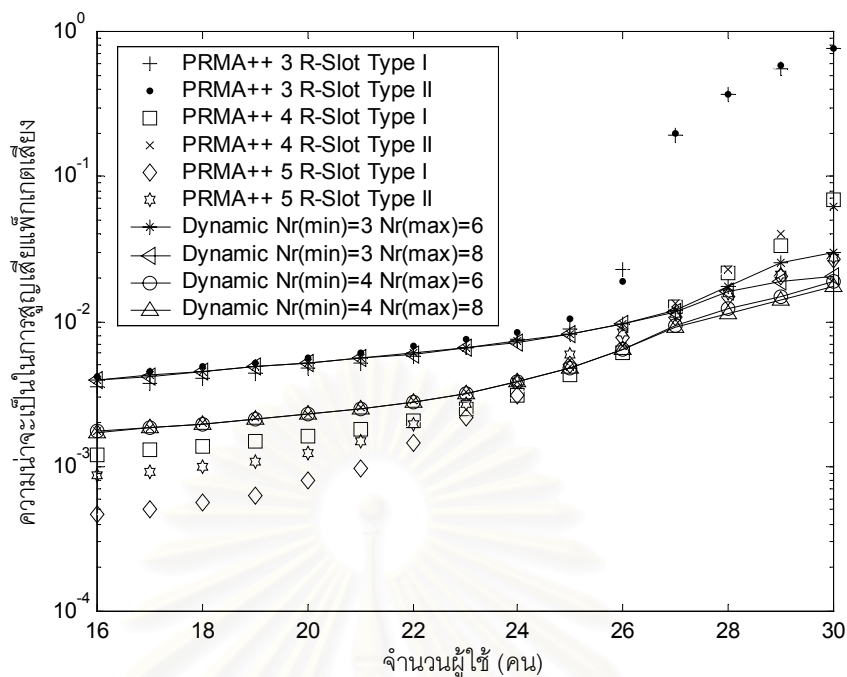
จำนวนผู้ใช้ (คน)	สัดส่วนของจำนวนเฟรม					
	$N_R = 3$	$N_R = 4$	$N_R = 5$	$N_R = 6$	$N_R = 7$	$N_R = 8$
16	0.993578	0.005729	0.000122	0.000508	0.000006	0.000059
17	0.992236	0.006897	0.000149	0.000642	0.000004	0.000074
18	0.990398	0.008508	0.000175	0.000797	0.000009	0.000115
19	0.988181	0.010314	0.000251	0.001097	0.000011	0.000148
20	0.985917	0.012252	0.000274	0.001339	0.000014	0.000207
21	0.982895	0.014753	0.000347	0.001687	0.000023	0.000297
22	0.978850	0.018132	0.000443	0.002184	0.000029	0.000363
23	0.974003	0.021970	0.000538	0.002880	0.000046	0.000565
24	0.967690	0.026859	0.000725	0.003833	0.000068	0.000826
25	0.957991	0.034155	0.000962	0.005390	0.000125	0.001378
26	0.942223	0.044971	0.001445	0.008522	0.000288	0.002552
27	0.914833	0.062298	0.002219	0.014261	0.000517	0.005874
28	0.840771	0.098438	0.004475	0.032938	0.001432	0.021948
29	0.808088	0.105096	0.005292	0.041977	0.002097	0.037453
30	0.827454	0.093552	0.004841	0.036896	0.002111	0.035147

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสลิตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 4$ สลิต และ $N_R(\max) = 6$ สลิต

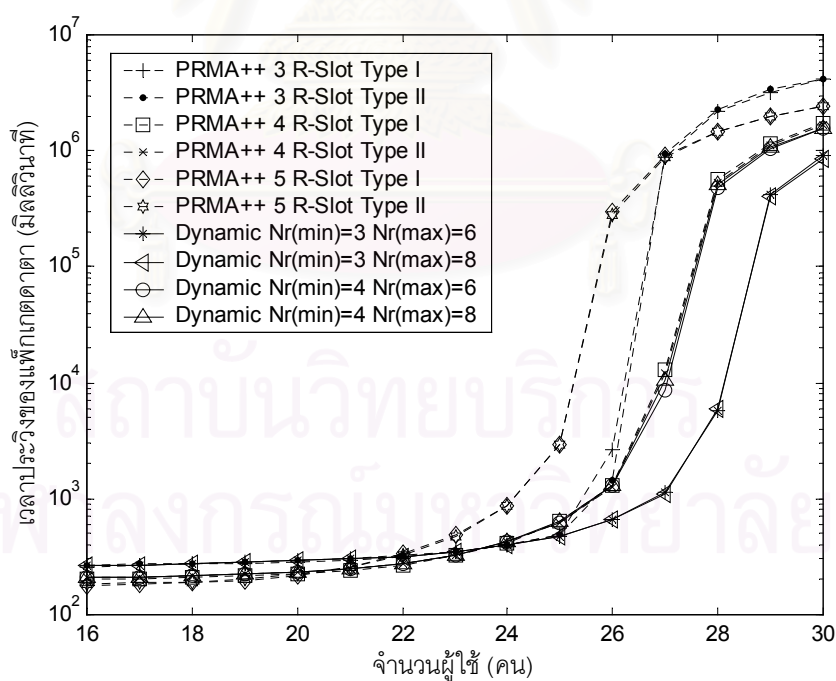
จำนวนผู้ใช้ (คน)	สัดส่วนของจำนวนเฟรม					
	$N_R = 3$	$N_R = 4$	$N_R = 5$	$N_R = 6$	$N_R = 7$	$N_R = 8$
16	-	0.999402	0.000144	0.000456	-	-
17	-	0.999265	0.000167	0.000570	-	-
18	-	0.999095	0.000195	0.000712	-	-
19	-	0.998912	0.000208	0.000881	-	-
20	-	0.998652	0.000273	0.001077	-	-
21	-	0.998321	0.000325	0.001355	-	-
22	-	0.997879	0.000391	0.001732	-	-
23	-	0.997338	0.000440	0.002224	-	-
24	-	0.996366	0.000581	0.003055	-	-
25	-	0.994666	0.000736	0.004600	-	-
26	-	0.990496	0.001072	0.008433	-	-
27	-	0.976689	0.001905	0.021408	-	-
28	-	0.970205	0.002056	0.027741	-	-
29	-	0.973242	0.001853	0.024907	-	-
30	-	0.976418	0.001622	0.021961	-	-

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสลิตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนด เมื่อ $N_R(\min) = 4$ สลิต และ $N_R(\max) = 8$ สลิต

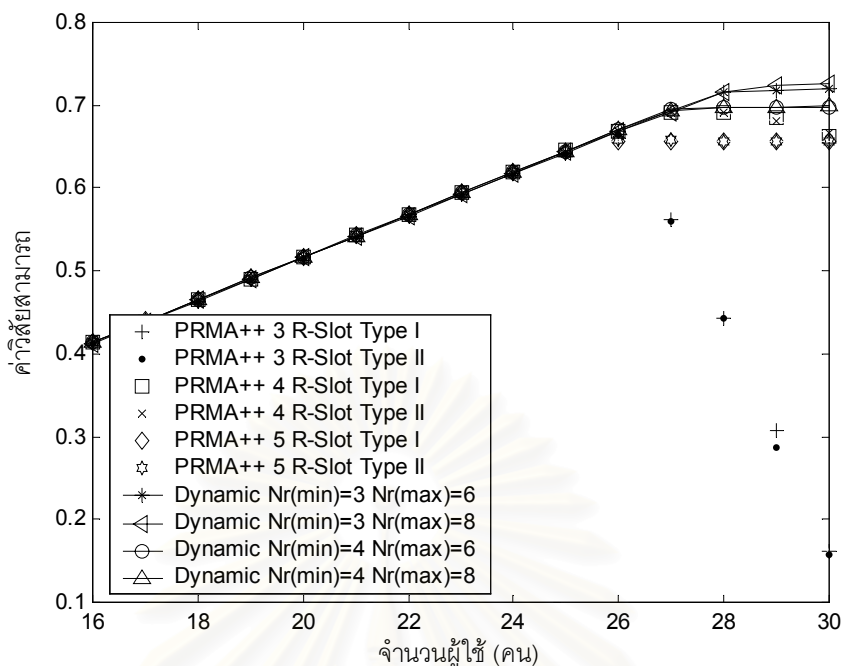
จำนวนผู้ใช้ (คน)	สัดส่วนของจำนวนเฟรม					
	$N_R = 3$	$N_R = 4$	$N_R = 5$	$N_R = 6$	$N_R = 7$	$N_R = 8$
16	-	0.999340	0.000180	0.000409	0.000006	0.000067
17	-	0.999261	0.000182	0.000482	0.000006	0.000072
18	-	0.999021	0.000236	0.000648	0.000012	0.000084
19	-	0.998773	0.000278	0.000810	0.000008	0.000132
20	-	0.998520	0.000329	0.000990	0.000011	0.000151
21	-	0.998218	0.000374	0.001205	0.000018	0.000186
22	-	0.997734	0.000455	0.001540	0.000019	0.000253
23	-	0.997076	0.000549	0.001980	0.000031	0.000366
24	-	0.996221	0.000679	0.002529	0.000056	0.000517
25	-	0.994392	0.000873	0.003736	0.000079	0.000921
26	-	0.990327	0.001327	0.006264	0.000129	0.001954
27	-	0.976376	0.002440	0.014044	0.000310	0.006832
28	-	0.972018	0.002583	0.015743	0.000374	0.009284
29	-	0.976373	0.002144	0.013256	0.000381	0.007848
30	-	0.979451	0.001945	0.011274	0.000349	0.006983



รูปที่ 5.62 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต



รูปที่ 5.63 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต



รูปที่ 5.64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต

โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตนี้ จะมีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอที่ตอนท้ายของทุก ๆ เฟรม โดยอาศัยผลการร้องขอในสล็อตร้องขอ ทั้งนี้ระบบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอก็ต่อเมื่อระบบพบว่าการชนกันเกิดขึ้นภายในสล็อตร้องขอในทางตรงกันข้าม ระบบจะลดจำนวนสล็อตร้องขอลงเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ ดังนั้นการพิจารณาว่าจะมีการเพิ่มหรือลดจำนวนสล็อตร้องขอ จะพิจารณาจากผลของการร้องขอโทรมสล็อตภายในสล็อตร้องขอทั้งหมดตามสมการที่ 5.10

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าที่กำหนดในตารางที่ 5.10-5.13 พบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย โพรโทคอล PRMA++ มักจะมีการปรับให้จำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมีค่าเท่ากับ $N_R(\min)$ สล็อต ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันจะมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นระบบจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอเพื่อรองรับผู้ใช้ที่เกิดการชนกัน ส่งผลให้ระบบคงจำนวนสล็อตร้องขอไว้ที่ค่าต่ำสุดคือเท่ากับ $N_R(\min)$

แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น การที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอที่น้อยเกินไปจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดการชนกัน ระบบก็จะเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอเพื่อเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทรมสล็อตของผู้ใช้ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.10-5.13 ว่า สัดส่วน

ของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าสูง ๆ จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะพบว่าสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเป็นค่าสูง ๆ นั้นจะมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนของจำนวนเฟรมที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ $N_R(\min)$ สล็อต ทั้งนี้เพราะถ้าระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอที่มากเกินไป จะทำให้จำนวนสล็อตข้อมูลภายในแต่ละเฟรมลดลงและไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอใหม่สล็อตได้สำเร็จ

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงในรูปที่ 5.62 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 16-24 คน) โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอภายในแต่ละเฟรมเท่ากับ 5 สล็อต ทั้งนี้เพราะโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะมีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมเท่ากับ $N_R(\min)$ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นการที่ระบบเลือกใช้ค่า $N_R(\min)$ เท่ากับ 3 และ 4 สล็อต จึงทำให้สมรรถนะของการทำงานของโพรโทคอลนี้มีค่าใกล้เคียงกับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเท่ากับ 3 และ 4 สล็อต ตามลำดับ ในทางกลับกันในโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมเท่ากับ 5 สล็อต จะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอใหม่สล็อตได้มากกว่า จึงส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงมีค่าต่ำกว่า นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าเมื่อพิจารณาโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอต่ำสุดเป็นค่าเดียวกันแล้ว การเลือกให้ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอสูงสุดที่ต่างกันจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะโพรโทคอล PRMA++ มักจะมีการปรับให้จำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมีค่าเท่ากับ $N_R(\min)$ สล็อต

เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น (จำนวนผู้ใช้ในระบบเป็น 25-30 คน) จำนวนการร้องขอจะมีปริมาณมาก ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในระบบที่มีจำนวนสล็อตร้องขอที่น้อยเกินไป อาจเกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ ตัวอย่างเช่น โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 3 สล็อต จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเกินกว่า 26 คน อย่างไรก็ตาม ถ้าระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมากเกินไป จะทำให้ระบบมีสล็อตข้อมูลที่ว่างไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ ส่งผลให้ผู้ใช้ที่ร้องขอใหม่สล็อตได้สำเร็จต้องใช้เวลารอภายในคิวเป็นเวลานานขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.55 ว่า เวลาประวิงในการจัดสรรสล็อตข้อมูลของผู้ใช้เสียงภายใน โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 5 สล็อต จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 26 คน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเวลาประวิงในการจัดสรรสล็อตข้อมูลนี้จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้แพ็กเก็ตเสียงถูกละทิ้ง

สำหรับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตนั้น เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ระบบก็จะเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอ เพื่อเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทรม์สล็อตของผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอจะไม่ส่งผลกระทบต่อผลของการลดลงของจำนวนสล็อตข้อมูลมากนัก ทั้งนี้เพราะเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ โพรโทคอล PRMA++ นี้ก็จะสามารถปรับลดจำนวนสล็อตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลได้ ดังนั้น โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่

การพิจารณาผลของค่า $N_R(\max)$ ที่มีต่อการทำงานของโพรโทคอล PRMA++ ในสถานะเช่นนี้ จะเห็นได้ว่าในระบบที่มีค่า $N_R(\min)$ เท่ากัน การเพิ่มขึ้นของ $N_R(\max)$ จะทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้น โดยการที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอเป็นปริมาณมากนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อผลของการลดลงของจำนวนสล็อตข้อมูลมากนัก เพราะถ้าผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ระบบก็จะลดจำนวนสล็อตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลได้ และเมื่อผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้มากขึ้น จะส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงลดลง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.62 ว่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงในกรณีที่มี $N_R(\max) = 8$ สล็อต จะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่มี $N_R(\max) = 6$ สล็อต

เมื่อพิจารณาเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 5.63 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่าน้อย โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่เท่ากับ 5 สล็อต จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาท่ำสุด ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ในระบบนี้จะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จสูงกว่าระบบอื่น แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่เท่ากับ 3 สล็อต และ 5 สล็อตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 3 สล็อต จะมีจำนวนสล็อตร้องขอที่น้อยเกินไป ทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอได้สำเร็จ ในขณะที่โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 5 สล็อต นั้น จะมีจำนวนสล็อตร้องขอที่มากเกินไป ทำให้ไม่มีสล็อตข้อมูลที่ว่างเพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ

สำหรับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตนั้นจะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาท่ำกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มี $N_R(\min)$ ที่ต่างกัน จะพบว่า ระบบที่มี $N_R(\min) = 3$ สล็อต จะมีเวลา

ประวิงของแพ็กเกตดาตาต่ำกว่าระบบที่มี $N_R(\min) = 4$ สล็อต ทั้งนี้เพราะระบบที่มี $N_R(\min) = 3$ สล็อต จะมีจำนวนสล็อตข้อมูลเพื่อรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จมากกว่า

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 5.64 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต โดยที่มีค่า $N_R(\min) = 3$ สล็อต และ $N_R(\max) = 8$ สล็อต จะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากระบบนี้จะมี $N_R(\max)$ เป็นค่าสูง ทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จสูง และเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ ระบบก็จะลดจำนวนสล็อตร้องขอลง โดยจะมี $N_R(\min)$ เป็นค่าที่น้อยที่สุด เพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จ

ในส่วนถัดไปจะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา และค่าวิสัยสามารถ ระหว่างโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเป็นค่าคงที่ และโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต ซึ่งจะแสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA++ ที่ใช้คิวแบบจัดลำดับความสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

ระบบ	$M_{0.01}$	เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ
$N_R = 3$	25	484.304759	0.641881
$N_R = 4$	26	1306.748514	0.669096
$N_R = 5$	26	303262.7569	0.657182
$N_R(\min) = 3 \quad N_R(\max) = 6$	26	657.848567	0.667656
$N_R(\min) = 3 \quad N_R(\max) = 8$	26	659.406905	0.669072
$N_R(\min) = 4 \quad N_R(\max) = 6$	27	8574.323515	0.694345
$N_R(\min) = 4 \quad N_R(\max) = 8$	27	10621.768674	0.693783

จากตารางที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอในโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่ จะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมมีปริมาณมาก ผู้ใช้แต่ละคนจะมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น และเนื่องจากสถานีฐานจะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงก่อนผู้ใช้ดาตาเสมอ จึงส่งผลให้ผู้ใช้เสียงที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จสามารถส่งแพ็กเกตได้โดยมีเวลาประวิงของ

แพ็กเก็ตเสียงลดลง ดังนั้นโอกาสที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกละทิ้งจึงมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนสล롯ร้องขอที่มากเกินไปจะทำให้ผู้ใช้คาดต้องใช้เวลารอการจัดสรรสล롯ข้อมูลภายในคิวเป็นเวลานานขึ้น เพราะระบบจะจัดสรรสล롯ข้อมูลเกือบทั้งหมดให้แก่ผู้ใช้เสียงที่ร้องขอได้สำเร็จ ดังนั้นการพิจารณาจำนวนสล롯ร้องขอที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาทั้งสองปัจจัยร่วมกัน ซึ่งพบว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล롯ร้องขอเท่ากับ 4 สล롯 จะมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยโพรโทคอลนี้จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้ 26 คน ในขณะที่จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่สูงเกินไปนัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล롯ร้องขอแบบพลวัตแล้ว พบว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล롯ร้องขอแบบพลวัตที่มีค่า $N_R(\min)=4$ สล롯 และ $N_R(\max)=6$ สลอต จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากกว่า โดยจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้ 27 คน

5.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA 3 วิธีหลัก คือการปรับค่า Permission Probability, การลดจำนวนการร้องขอ และการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม ซึ่งจะขอกกล่าวสรุปถึงผลที่ได้จากการทดสอบกับวิธีที่นำเสนอทั้ง 8 วิธีดังต่อไปนี้

วิธี VP-PRMA ระบบจะกำหนดให้ผู้ใช้เสียงที่กำลังอยู่ในช่วงการเฝ้าฟังให้สามารถร้องขอโทรม์สลอตบางสลอตได้ด้วยค่า p ที่สูง ทั้งนี้เพื่อความต่อเนื่องในการสนทนา ซึ่งจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงสนทนา จะได้ว่าระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลอตด้วยค่า p_{\max} ในโทรม์สลอตที่ผู้ใช้เคยเป็นเจ้าของในช่วงสนทนาก่อนหน้า ในขณะที่จะร้องขอโทรม์สลอตอื่น ๆ ด้วยค่า p_{permit} ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าผู้ใช้เสียงจะสามารถเข้าใช้โทรม์สลอตได้โดยมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตเสียงลดลง และเมื่อผู้ใช้สามารถเข้าใช้โทรม์สลอตได้รวดเร็วขึ้น จะส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลงและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การที่ระบบกำหนดให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลอตด้วยค่า p_{\max} ค่าสูง ๆ จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ดาตามากนัก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรม์สลอตได้ด้วยค่า p_{\max} ได้เพียง 1 ครั้งในแต่ละเฟรมเท่านั้น ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีน้อยกว่าการกำหนดให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สลอตด้วยค่า p ที่สูงเช่นในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม

วิธี Exponential Back-off จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในโพรโทคอล S-Aloha ที่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพเมื่อผู้ใช้จำนวนมากภายในระบบพยายามที่จะร้องขอโทรม์สลอตในช่วงระยะเวลาที่

ใกล้เคียงกัน เพราะจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง โดยที่วิธี Exponential Back-off นี้จะมีการปรับค่า p ตามผลของการร้องขอในไทม์สล็อตก่อนหน้าในลักษณะของเอกซ์โพเนนเชียล กล่าวคือ ถ้าสถานะพื้นฐานพบว่าไทม์สล็อตว่าง สถานะพื้นฐานก็จะทราบว่าค่า p ที่ใช้อยู่ภายในระบบมีค่าต่ำเกินไปสำหรับสภาวะทราฟฟิกในขณะนั้น ดังนั้นสถานะพื้นฐานจะเพิ่มค่าของ p ในทางตรงกันข้าม เมื่อพบว่าเกิดการชนกันแสดงว่าปริมาณทราฟฟิกในขณะนั้นสูง ดังนั้นสถานะพื้นฐานจะลดค่า p ลง

พารามิเตอร์ที่สำคัญของวิธี Exponential Back-off นี้ ได้แก่ค่า r ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้อัตราการปรับค่า p โดยการเลือกค่า r เป็นค่าที่สูงจะช่วยลดช่องว่างระหว่างค่า p ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ระบบมีการปรับค่า p อย่างค่อยเป็นค่อยไปซึ่งจะส่งผลให้ระบบมีค่าวิสัยสามารถสูงกว่าการเลือก r ค่าต่ำ อย่างไรก็ตามพบว่าการเลือกค่า $r = 1/2$ จะมีข้อดีในแง่ของการนำไปใช้งานจริง เพราะวงจรจะคูณหรือหารค่า p ด้วย 2 เมื่อสถานะพื้นฐานตรวจพบว่าไทม์สล็อตก่อนหน้าอยู่ในสถานะว่างหรือเกิดการชนกัน ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้เพียงวงจร Shift register เท่านั้น

การนำเอาวิธี Exponential Back-off ไปประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล PRMA จะพบว่าเมื่อพิจารณาระบบที่มีการปรับเฉพาะค่า p โดยใช้ค่า q เป็นค่าคงที่นั้น การที่ผู้ใช้ดาตามีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า q ที่คงที่ตลอดโดยไม่ขึ้นกับสภาวะทราฟฟิกจะทำให้โอกาสที่ผู้ใช้ดาตาจะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมีค่าสูงโดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้ในระบบมีปริมาณมากเพราะจะเกิดการชนกันภายในระบบและภายหลังจากการชนกันนี้ระบบจะลดค่า p ลง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการร้องขอไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตา ส่วนระบบที่มีการปรับทั้งค่า p และค่า q นั้น เนื่องจากบริการเสียงจะสามารถทนต่อเวลาประวิงได้น้อยกว่าบริการดาตา จึงได้มีการกำหนดให้ p_{\max} มีค่าสูงกว่า q_{\max} โดยถ้าระบบลดค่า q_{\max} ลง จะทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้น ส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลง นอกจากนี้การลดค่า q_{\max} จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบโดยรวมสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้เสียงที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จจะส่งแพ็กเก็ตในลักษณะของการจองซึ่งจะทำให้ไทม์สล็อตถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอไทม์สล็อตทุกครั้งที่จะส่งแพ็กเก็ต ดังนั้นถ้าระบบกำหนดให้ผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า q ที่สูง จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงและเมื่อเกิดการชนกันก็จะมีผู้ใช้คนใดสามารถจะใช้ไทม์สล็อตได้ซึ่งจะทำให้ทรัพยากรต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

วิธี Piggybacking (PGBK) จะช่วยแก้ปัญหาในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมที่ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอไทม์สล็อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ทำให้ปริมาณของทราฟฟิก

ดาตาที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดเพื่อป้องกันมิให้ระบบมีจำนวนการร้องขอมากเกินไปและทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยในขณะที่ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตดาตาไปยังสถานีฐาน ผู้ใช้ก็จะเซตบิต PGBK ที่อยู่ภายในแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตเพื่อบอกสถานีฐานว่าผู้ใช้นี้ยังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตภายในชุดข่าวสารเดียวกันหรือไม่ ซึ่งสถานีฐานก็จะจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK เป็นจำนวน 1 ไทม์สล็อต/เฟรม จนกระทั่งผู้ใช้สามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาภายในชุดข่าวสารเดียวกันหมดโดยที่ผู้ใช้นั้นไม่ต้องร้องขอไทม์สล็อตใหม่ จากหลักการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี PGBK นี้ จะส่งผลผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตอย่างต่อเนื่องได้โดยมีค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลง

ข้อดีของวิธีนี้คือระบบจะมีจำนวนการร้องขอที่เกิดจากผู้ใช้นี้ลดลงและเมื่อจำนวนการร้องขอลดลงจะทำให้ผู้ใช้คนอื่น ๆ มีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการที่ผู้ใช้สามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตดาตาได้อย่างต่อเนื่องจนหมดชุดข่าวสารจะทำให้ในบางครั้งผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวยึดครองไทม์สล็อตเป็นระยะเวลา นานหลายเฟรมจนอาจทำให้ไม่มีไทม์สล็อตที่ว่างเพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้เสีย กรณีนี้อาจจะเป็นสาเหตุให้แพ็กเก็ตเสียงที่ไม่สามารถส่งได้ภายในระยะเวลา 32 มิลลิวินาที เกิดการละทิ้งไปได้

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าไม่สูงนัก จำนวนการร้องขอจะมีปริมาณน้อย ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จสูง ซึ่งระบบที่มีการนำเอา PGBK มาใช้จะทำให้ผู้ใช้ดาตาไปยึดครองไทม์สล็อตบางส่วน ส่งผลให้ผู้ใช้เสียงจะต้องประวิงเวลาระยะหนึ่งก่อนที่จะสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ ในกรณีนี้จะทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค PGBK มีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมเล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น จำนวนการร้องขอในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการชนกันและทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การนำเอา PGBK มาใช้ในสภาวะทราฟฟิกค่าสูงนี้จะช่วยลดจำนวนการร้องขอลงอย่างเห็นได้ชัด และการลดจำนวนการร้องขอด้วยการใช้ PGBK นี้จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบมากกว่าการยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตา โดยจะสังเกตได้จากการที่ระบบที่นำเอาเทคนิค PGBK มาใช้ จะมีค่าวิสัยสามารถสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม

วิธี Multiple packet assignment จะอาศัยหลักการที่ว่า ผู้ใช้แต่ละคนจะทราบจำนวนไทม์สล็อตที่ว่างภายในเฟรมได้ตลอดเวลาเพราะสถานีฐานจะแพร่กระจายผลของการร้องขอผ่านระบบเชื่อมโยงขาลงไปยังผู้ใช้ที่ตอนท้ายของแต่ละไทม์สล็อต ทำให้ผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการจะ

ส่งแพ็กเก็ตเกิดสามารถระบุจำนวนโทรมส์ลิตที่ต้องการไปยังสถานีฐานในขณะที่ผู้ใช้นั้นร้องขอโทรมส์ลิตได้ ซึ่งจำนวนโทรมส์ลิตที่สถานีฐานจะสามารถจัดสรรให้แก่ผู้ใช้งานในการร้องขอแต่ละครั้งจะถูกจำกัด ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้ดาตายืดครองโทรมส์ลิตนานเกินไปและส่งผลให้ผู้ใช้คนอื่นไม่สามารถเข้าใช้โทรมส์ลิตได้

จำนวนโทรมส์ลิตที่ผู้ใช้งานจะได้รับจากการจัดสรรจากสถานีฐานในแต่ละครั้งของการร้องขอจะมีค่าไม่แน่นอน โดยถ้าในขณะนั้นสถานีฐานพบว่า มีโทรมส์ลิตที่ว่างเท่ากับ k สลิต สถานีฐานก็จะสำรองโทรมส์ลิตไว้ส่วนหนึ่งคือ M สลิต เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้รายอื่นที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตให้สามารถมาร้องขอโทรมส์ลิตที่ว่าง M สลิต นี้ได้ จากนั้นจึงจัดสรรโทรมส์ลิตเพื่อให้ผู้ใช้งานส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องเท่ากับ $k - M$ สลิต โดยถ้าหลังจากนี้ผู้ใช้งานดาต่ายังมีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตอีก ผู้ใช้ก็ต้องไปร้องขอโทรมส์ลิตใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าน้อย จำนวนโทรมส์ลิตที่ว่างในแต่ละเฟรมจะมีปริมาณมาก ทำให้ผู้ใช้งานที่ร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จมีโอกาสที่จะได้รับการจัดสรรโทรมส์ลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าผู้ใช้มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้น ผู้ใช้นั้นก็อาจจะส่งแพ็กเก็ตจนหมดชุดข่าวสารได้ภายในระยะเวลาเพียงเฟรมเดียว ทำให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามีค่าน้อยกว่าการจัดสรรโทรมส์ลิตด้วยวิธี PGBK ที่ผู้ใช้จะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้เพียง 1 แพ็กเก็ต/เฟรม เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การที่สถานีฐานจัดสรรโทรมส์ลิตให้ผู้ใช้งานดาตาส่งแพ็กเก็ตอย่างต่อเนื่องนั้น จะทำให้ผู้ใช้งานเข้าใช้โทรมส์ลิตที่ว่างส่วนใหญ่ภายในแต่ละเฟรม ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้เสี่ยงไม่สามารถเข้าร้องขอโทรมส์ลิตในเฟรมนั้นได้ ดังนั้นแพ็กเก็ตเสี่ยงจึงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งได้สูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมที่ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้งานดาตาส่งโทรมส์ลิต สถานการณ์นี้จะมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นในระบบที่มีค่า $M = 0$ เพราะเมื่อผู้ใช้งานดาตาในระบบนี้สามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จ สถานีฐานจะจัดสรรโทรมส์ลิตที่ว่างทั้งหมดให้แก่ผู้ใช้งานดาตา ทำให้แพ็กเก็ตเสี่ยงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งได้สูง แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น จำนวนการร้องขอในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการชนกันและทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการอนุญาตให้ผู้ใช้งานดาตาสามารถจองโทรมส์ลิตได้บางส่วนจะช่วยลดจำนวนการร้องขอและลดโอกาสการชนกันทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม จะพบว่าการจัดสรรโทรมส์ลิตให้แก่ผู้ใช้งานดาตาดด้วยวิธี Multiple packet assignment นี้ จะไม่เหมาะสมกับระบบที่มีปริมาณทราฟฟิกค่าสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากที่สถานะดังกล่าว ระบบจะมีจำนวนโทรมส์ลิตที่ว่างในแต่ละเฟรมไม่มากนัก ทำให้จำนวนโทรมส์ลิตที่

สถานีฐานสามารถจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้ในแต่ละครั้งลดลง ดังนั้นจำนวนการร้องขอในระบบจะยังคงมีค่าสูง และทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้มีค่าสูงตาม นอกจากนี้การที่สถานีฐานอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถยึดครองไทม์สล็อตได้ส่วนหนึ่ง ก็จะเป็นการลดโอกาสในการร้องขอไทม์สล็อตของผู้ใช้เสียงอีกทางหนึ่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก 2 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จะทำให้แพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค Multiple packet assignment มีโอกาสที่จะถูกละทิ้งได้มากกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม และทำให้ควาวิสัยสามารถของระบบลดลง

วิธี Slot Stealing จะลดโอกาสการชนกันระหว่างผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเสียงกับผู้ใช้ที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตดาตา ทั้งนี้ระบบจะให้ความสำคัญกับผู้ใช้เสียงซึ่งเป็นบริการที่ต้องการการส่งแบบทันทีทันใดมากกว่าผู้ใช้ดาตา โดยสถานีฐานจะจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาก็ต่อเมื่อสถานีฐานพบว่าไม่มีไทม์สล็อตที่อยู่ในสถานะว่างเนื่องจากไม่มีผู้ใช้เสียงคนใดมีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติ สถานีฐานจะไม่สามารถทราบจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในขณะใด ๆ ได้ ดังนั้นสถานีฐานจะประมาณจำนวนของผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต โดยพิจารณาจากผลต่างระหว่างจำนวนการร้องขอที่เกิดการชนและจำนวนการร้องขอที่ประสบความสำเร็จภายในไทม์สล็อตที่ว่างก่อนหน้านั้น และเมื่อใดก็ตามที่สถานีฐานพบว่าจำนวนผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเป็นศูนย์ สถานีฐานก็จะส่งสัญญาณเพื่อบอกให้ผู้ใช้ดาตาคนใดคนหนึ่งส่งแพ็กเก็ตดาตาของตนมาในไทม์สล็อตที่ว่างสล็อตถัดไป

จากผลการทดสอบพบว่าโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing จะมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับโพรโทคอล PRMA ที่รองรับบริการเสียงเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผู้ใช้ดาตาเข้าไปในระบบไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงมากนัก นอกจากนี้การที่สถานีฐานจะจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาก็ต่อเมื่อไทม์สล็อตนั้นเป็นไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียง ทำให้ไทม์สล็อตที่สูญเสียไปในโพรโทคอล PRMA ที่รองรับบริการเสียงเพียงอย่างเดียวถูกใช้ประโยชน์ ส่งผลให้ควาวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น

ในการพิจารณาผลของการประมาณจำนวนผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตและปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation ของโพรโทคอล PRMA-Slot Stealing นั้น พบว่าการปรับค่า p ด้วยวิธี APR-estimation จะทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีกว่าการใช้ค่า p เป็นค่าคงที่ โดยผลที่ได้นี้จะมีความใกล้เคียงกับกรณีอุดมคติที่สถานีฐานสามารถทราบจำนวนผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะมีสาเหตุมาจากการที่ระบบประมาณ

จำนวนผู้ใช้เสียงที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตเกิดเป็นศูนย์ในขณะที่มีผู้ใช้เสียงที่เปลี่ยนจากสถานะเงียบมาสู่สถานะสนทนา ทำให้ผู้ใช้เสียงนี้เกิดการชนกันกับผู้ใช้ดาตาและส่งผลให้โทมส์ลิตต์นี้ต้องสูญเสียไป นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับค่า p ด้วยวิธี 3-state APR-estimation จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธี APR-estimation ในขณะที่วิธี 3-state APR-estimation จะมีข้อดีในแง่ของความง่ายของอุปกรณ์โครงข่าย จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอล PRMA ต่อไป

วิธี CR-PRMA จะช่วยลดจำนวนการร้องขอที่เกิดจากบริการดาตา โดยในขณะที่ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตเสียงไปยังสถานีฐาน ผู้ใช้สามารถที่จะเซ็ตบิต PRF ที่อยู่ในแพ็กเก็ตเสียงเพื่อบอกสถานีฐานในการจองโทมส์ลิตต์สำหรับการส่งแพ็กเก็ตดาตาได้ ซึ่งสถานีฐานจะจัดสรรโทมส์ลิตต์ที่ว่างที่อยู่ใกล้ที่สุดในเฟรมถัดไปให้ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตดาตา จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าโพรโทคอล CR-PRMA จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA ทั้งในแง่ของการลดลงของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง แสดงว่าการที่ระบบมีจำนวนการร้องขอเป็นปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบมากกว่าการที่ผู้ใช้เสียงสามารถเซ็ตบิตเพื่อจองโทมส์ลิตต์ให้แก่ผู้ใช้ดาตาและทำให้จำนวนโทมส์ลิตต์ที่ว่างลดลง

วิธีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม จะอาศัยโครงสร้างของโพรโทคอล PRMA++ โดยที่ระบบจะแบ่งโทมส์ลิตต์เดิมในระบบเชื่อมโยงขาขึ้นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สลิตต์ร้องขอ และสลิตต์ข้อมูล เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตก็จะร้องขอโทมส์ลิตต์ในสลิตต์ร้องขอ และถ้าผู้ใช้สามารถร้องขอโทมส์ลิตต์ได้สำเร็จ ผู้ใช้นั้นก็จะถูกเก็บไว้ในคิวเพื่อรอรับการจัดสรรสลิตต์ข้อมูลจากสถานีฐานต่อไป

พารามิเตอร์สำคัญที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA++ เป็นอย่างมากได้แก่จำนวนสลิตต์ร้องขอ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบจะพบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าไม่สูงนัก ระบบที่มีจำนวนสลิตต์ร้องขอเป็นจำนวนมากจะมีความเหมาะสมกว่า ทั้งนี้เพราะในสภาวะดังกล่าวนี้ สลิตต์ข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง ดังนั้นถ้าสถานีฐานสามารถเปลี่ยนสลิตต์ข้อมูลให้เป็นสลิตต์ร้องขอก็จะช่วยเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทมส์ลิตต์ให้แก่ผู้ใช้ได้ แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูงขึ้น ระบบควรจะลดจำนวนสลิตต์ร้องขอลง เพื่อให้มีจำนวนสลิตต์ข้อมูลที่มากเพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ อย่างไรก็ตาม ถ้าระบบลดจำนวนสลิตต์ร้องขอลงจนกระทั่งมีจำนวนสลิตต์ร้องขอภายในแต่ละเฟรมที่น้อยเกินไป จะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกภายในสลิตต์ร้องขอได้ การชนกันนี้จะเป็นสาเหตุให้ไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทมส์ลิตต์ได้สำเร็จและสลิตต์ข้อมูลจะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

เมื่อเปรียบเทียบแนวทางในการจัดสรรสลิตต่อข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ภายในคิวระหว่างวิธีจัดลำดับความสำคัญกับวิธี FIFO พบว่า ระบบที่จัดสรรสลิตต่อข้อมูลโดยการจัดลำดับความสำคัญจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงต่ำกว่าระบบที่จัดสรรสลิตต่อข้อมูลแบบ FIFO โดยเฉพาะเมื่อจำนวนสลิตร้องขอในระบบมีค่าสูง เพราะการเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอจะช่วยให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสในการร้องขอใหม่สลิตต่อสำเร็จมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันการยึดครองโทรมสลิตต่อของผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสี่ยงในระบบนี้ เนื่องจากสถานีฐานจะจัดสรรสลิตต่อข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสี่ยงที่ร้องขอใหม่สลิตต่อได้สำเร็จก่อนเสมอ ในทางตรงกันข้าม การจัดสรรสลิตต่อข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ด้วยวิธี FIFO จะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้ดาตา เพราะผู้ใช้ดาตาจะสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่ต่ำ

ในการพิจารณาผลกระทบของตำแหน่งของสลิตร้องขอภายในเฟรม จะพบว่าระบบที่กระจายตำแหน่งของสลิตร้องขอภายในเฟรมจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าระบบที่มีตำแหน่งของสลิตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรม ทั้งนี้เพราะการกระจายสลิตร้องขอภายในเฟรมนั้นจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถร้องขอใหม่สลิตต่อในสลิตร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุดได้ทันที ซึ่งจะช่วยลดอัตราการแข่งขันในการร้องขอของผู้ใช้ภายในสลิตร้องขอแต่ละสลิตต่อได้ ในทางตรงกันข้าม การที่ระบบมีสลิตร้องขออยู่ตอนต้นของเฟรมเท่านั้น จะทำให้ผู้ใช้ที่มีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตหลังจากผ่านช่วงของสลิตร้องขอไปแล้ว ต้องรอจนกระทั่งถึงเฟรมหน้าจึงจะสามารถร้องขอใหม่สลิตต่อได้ และถ้ามีผู้ใช้จำนวนมากไปร้องขอในสลิตร้องขอที่ตอนต้นของเฟรม จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มมากขึ้น

สำหรับระบบที่มีการปรับจำนวนสลิตร้องขอแบบพลวัตนั้น ระบบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอก็ต่อเมื่อระบบพบว่าการชนกันเกิดขึ้นภายในสลิตร้องขอ ในทางกลับกันระบบจะลดจำนวนสลิตร้องขอลงเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอใหม่สลิตต่อได้สำเร็จ โดยระบบจะกำหนดจำนวนสลิตร้องขอต่ำสุด $N_R(\min)$ และจำนวนสลิตร้องขอสูงสุด $N_R(\max)$ ไว้เป็นค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งจากผลการทดสอบจะพบว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสลิตร้องขอจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสลิตร้องขอคงที่ โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูง เพราะถ้าระบบพบว่าการชนกันภายในสลิตร้องขอ ระบบก็จะสามารถเพิ่มจำนวนสลิตร้องขอได้จนกระทั่งจำนวนสลิตร้องขอมีค่าเท่ากับ $N_R(\max)$ เพื่อช่วยลดการชนกันภายในสลิตร้องขอ และภายหลังจากที่ผู้ใช้สามารถร้องขอใหม่สลิตต่อได้สำเร็จ ระบบก็จะลดจำนวนสลิตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสลิตต่อข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ

จากการพิจารณาภาพรวมของโพรโทคอล PRMA++ พบว่าการนำเอาระบบคิวมาใช้สำหรับเก็บผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จจะเป็นการลดจำนวนการร้องขอภายในระบบ ซึ่งจะช่วยให้ระบบมีสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูง ทั้งนี้เพราะโอกาสที่จะเกิดการชนกันภายในโพรโทคอล PRMA เดิมมีค่าสูงมาก อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA++ นี้จะให้สมรรถนะการทำงานของระบบที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA เมื่อนำมาใช้ในระบบที่มีปริมาณทราฟฟิกเบาบาง เนื่องจากผู้ใช้ในโพรโทคอล PRMA++ จะถูกจำกัดให้ร้องขอโทรม์สล็อตได้เฉพาะในสล็อตร้องขอเท่านั้น ทำให้ผู้ใช้ถูกประวิงเวลาในการร้องขอโทรม์สล็อตโดยไม่จำเป็น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง สำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ห้กลไกในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ในบทที่ 5 พบว่าเทคนิคแต่ละเทคนิคจะมีความเหมาะสมกับสภาวะทราฟฟิกที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปรียบเทียบถึงสมรรถนะการทำงานของเทคนิคต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 5 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่สามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคที่ได้นำเสนอ

ในส่วนนี้จะเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคต่าง ๆ ภายใต้สภาวะทราฟฟิกเดียวกัน โดยอาศัยแบบจำลองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคแต่ละอย่าง

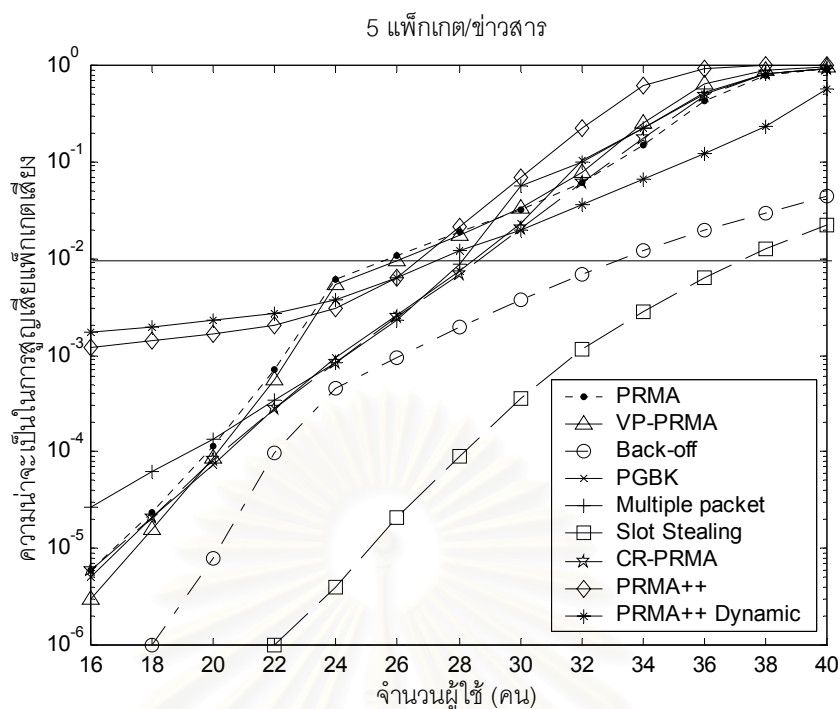
พารามิเตอร์ของระบบ	
ความยาวเฟรม (มิลลิวินาที)	16
R_c (กิโลบิต/วินาที)	720
จำนวนไทม์สล็อต/เฟรม	20
ขนาดของไทม์สล็อต (บิต)	576
ขนาดของโอเวอร์เฮด (บิต)	64
ข้อมูลเสียง	
R_v (กิโลบิต/วินาที)	32
เวลาประวิงสูงสุดของแพ็กเก็ตเสียง (มิลลิวินาที)	32
ข้อมูลดาตา	
R_D (กิโลบิต/วินาที)	5.12
ค่าเฉลี่ยความยาวของแต่ละข่าวสาร (แพ็กเก็ต)	5 และ 50

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของแต่ละเทคนิคที่ได้นำเสนอในบทที่ 5 นั้น จะต้องมีการกำหนดรายละเอียดและค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในแต่ละเทคนิค โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากการที่ระบบจะต้องสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากและให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูง นอกจากนี้ ผู้ใช้ดาตาควรจะสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้โดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาไม่สูงนัก อีกทั้งโครงสร้างการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวควรจะต้องมีความเรียบง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะได้ตารางแสดงรายละเอียดของแต่ละเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของระบบดังตารางที่ 6.2

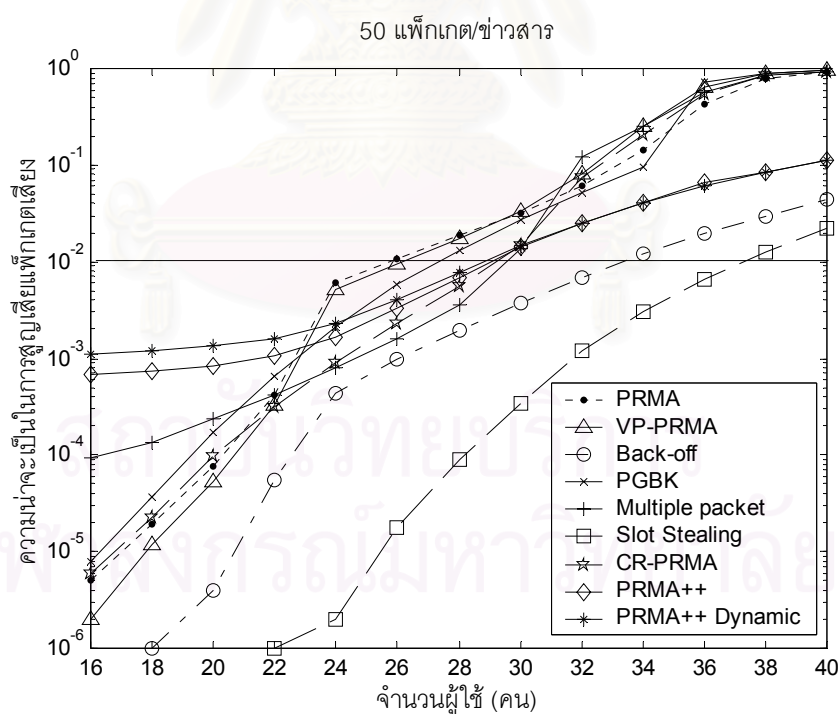
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดและค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคแต่ละอย่างที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ

ระบบ	พารามิเตอร์
PRMA	$p = 0.4 \quad q = 0.06$
VP-PRMA	$p = 0.4 \quad p_{\max} = 0.9 \quad q = 0.06$
PRMA Exponential Back-off	$p_{\max} = 1 \quad q_{\max} = 0.06 \quad r = 0.5$
PRMA-PGBK	$p = 0.4 \quad q = 0.06$
PRMA-Multiple packet assignment	$p = 0.4 \quad q = 0.06 \quad M = 1$
PRMA-Slot Stealing	3-state APR-estimation
CR-PRMA	$p = 0.4 \quad q = 0.06$
PRMA++	$N_R = 4$
PRMA++ Dynamic	$N_R(\min) = 4 \quad N_R(\max) = 6$

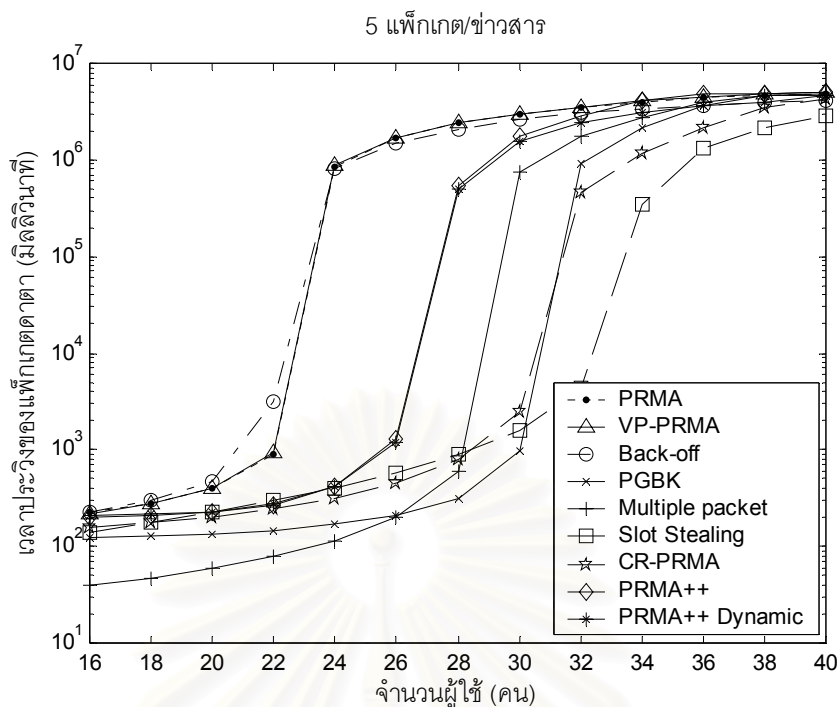
ในส่วนถัดไปจะแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคแต่ละเทคนิคข้างต้น โดยการประเมินสมรรถนะของระบบจะพิจารณาจากความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเกตดาตา, ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียง, ค่าวิสัยสามารถของบริการดาตา และค่าวิสัยสามารถรวมของระบบ ภายใต้สภาวะที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น (5 แพ็กเกต/ข่าวสาร) และข่าวสารขนาดยาว (50 แพ็กเกต/ข่าวสาร) ซึ่งจะได้ผลการจำลองระบบตามรูปที่ 6.1-6.10



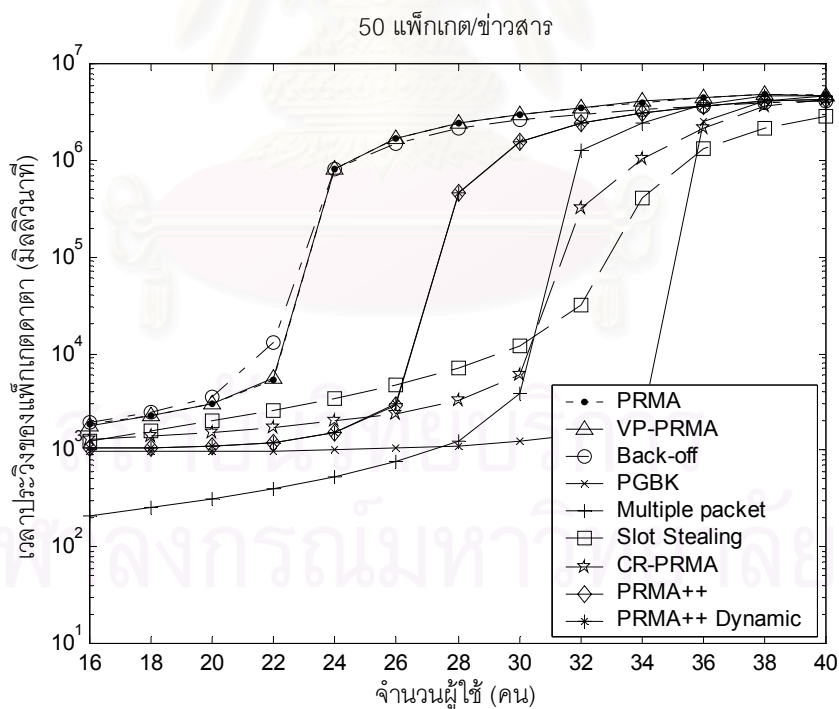
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



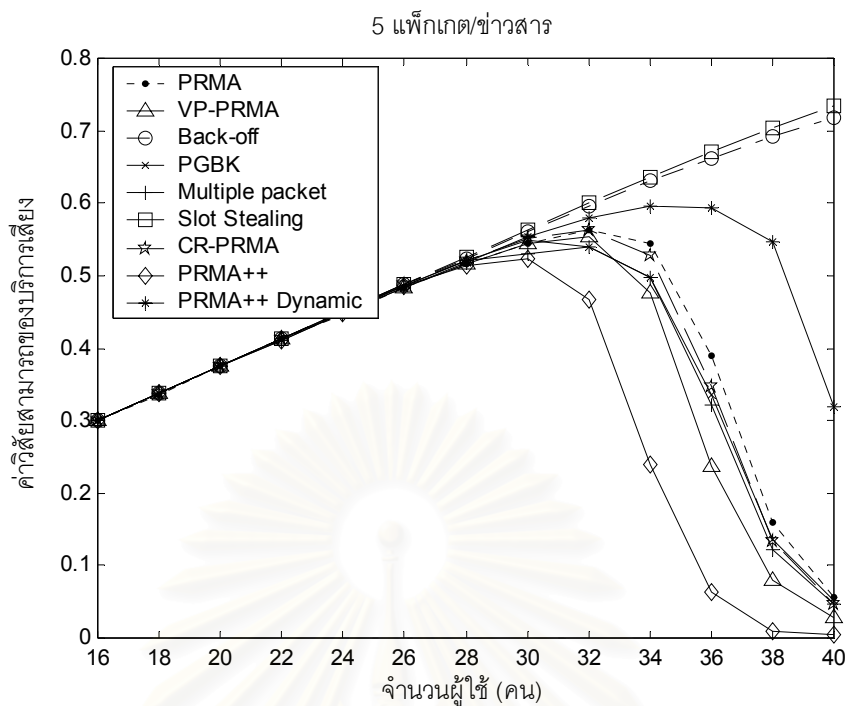
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



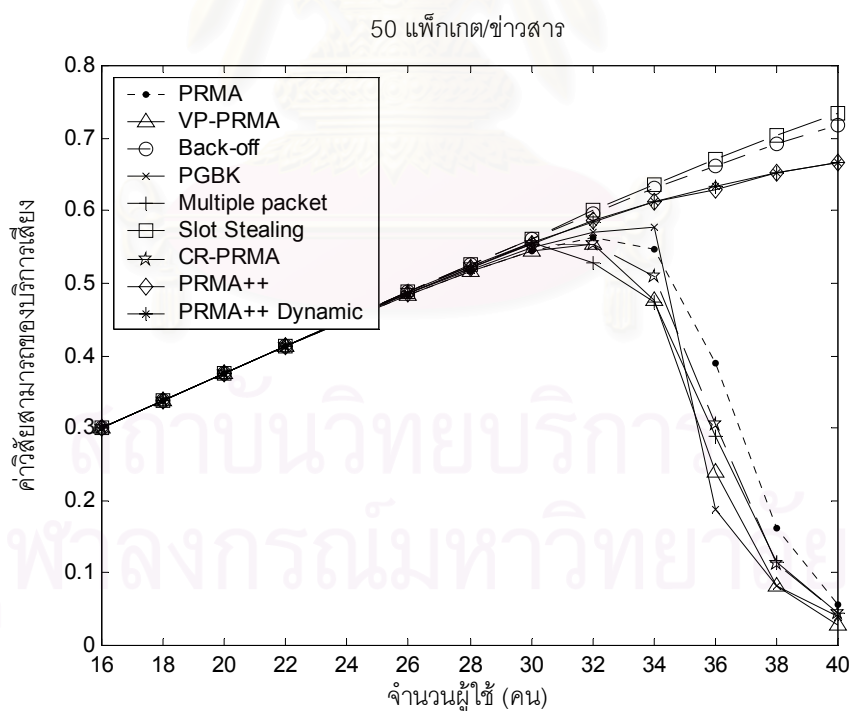
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา



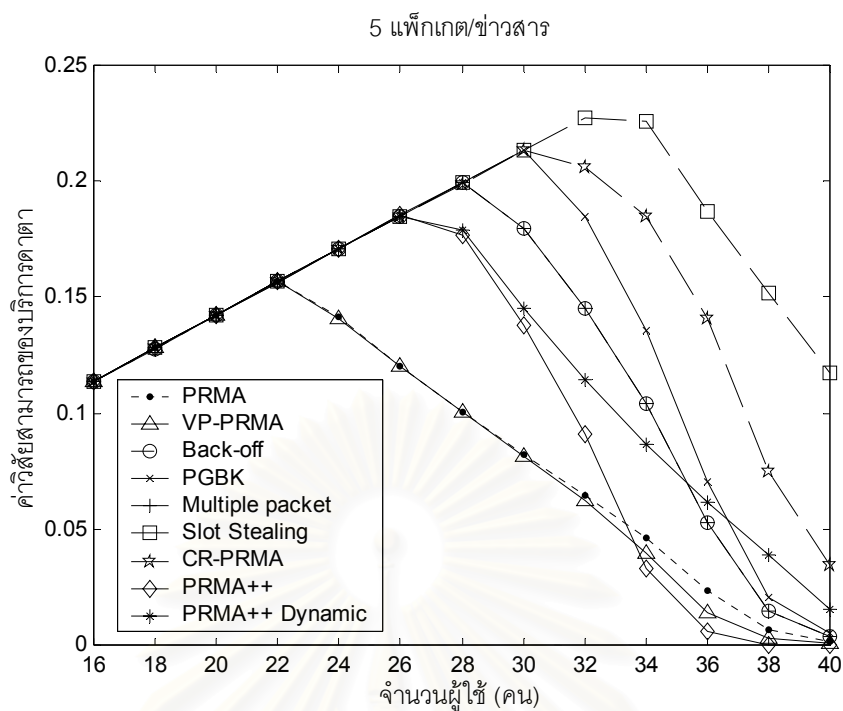
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา



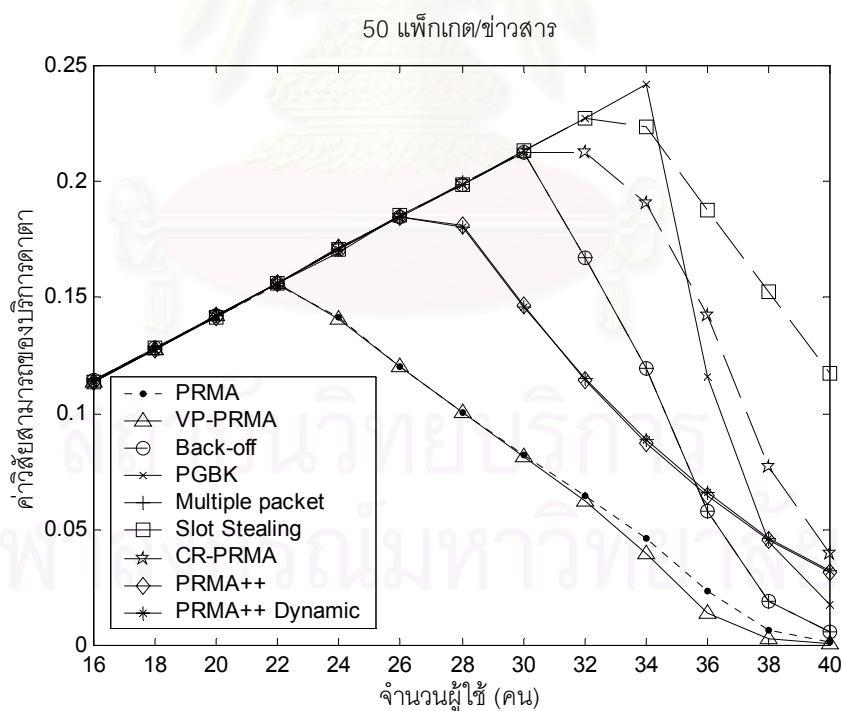
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยความสามารถของบริการเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา



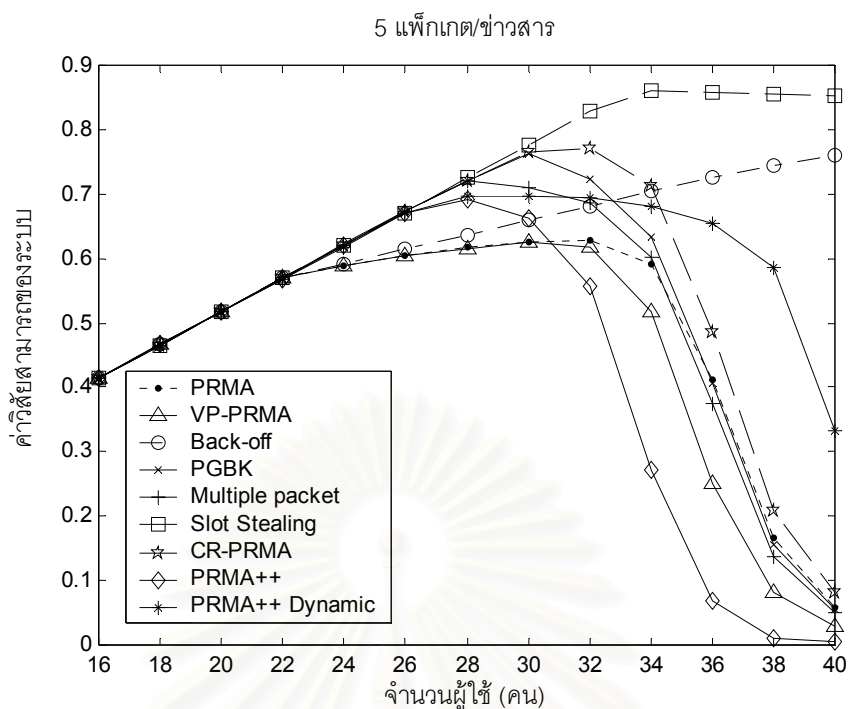
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยความสามารถของบริการเสียงกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา



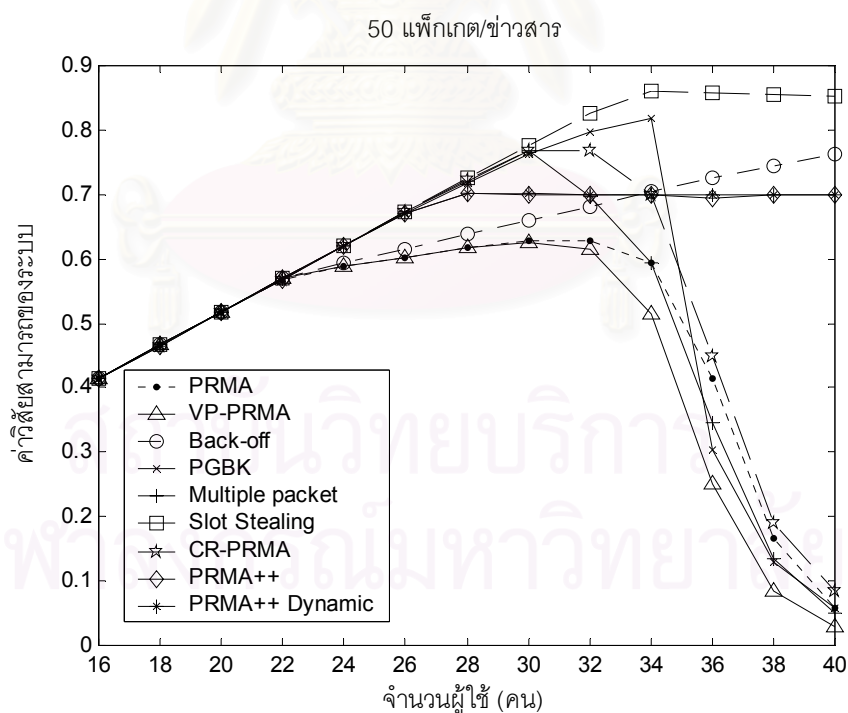
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของบริการดาตากับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบกับจำนวนผู้ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร

6.1.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการปรับค่า Permission Probability

เทคนิคการปรับค่า Permission Probability ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่ วิธี VP-PRMA และ วิธี Exponential Back-off ซึ่งจากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าการนำเอาวิธีทั้งสองมาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล PRMA จะทำให้สมรรถนะของบริการเสียงดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6.1 และ 6.2 ว่า โพรโทคอล PRMA ที่มีการนำวิธี VP-PRMA และ Exponential Back-off มาใช้จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม โดยการนำเอาวิธี VP-PRMA มาใช้จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลงเล็กน้อย ในขณะที่การนำเอาวิธี Exponential Back-off มาใช้จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้ เพราะวิธี Exponential Back-off จะมีการปรับค่า p และ q ตามผลของการร้องขอในแต่ละไทม์สล็อต ซึ่งในกรณีที่เกิดการชนกัน ระบบจะปรับลดทั้งค่า p และ q และเนื่องจากระบบมีการจัดลำดับความสำคัญให้แก่บริการเสียงมากกว่าบริการดาตา โดยการกำหนด p_{\max} ให้มีค่าสูงกว่า q_{\max} ค่อนข้างมาก ทำให้เมื่อระบบปรับลดค่า q ลง จะส่งผลให้ผู้ใช้ดาตามีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จน้อยมาก ดังนั้นผู้ใช้เสียงจึงมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้นและทำให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลง

ในทางตรงกันข้าม วิธี VP-PRMA นั้น ระบบจะกำหนดให้ผู้ใช้ร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p และ q ที่คงที่ตลอด โดยที่ผู้ใช้เสียงจะได้รับอนุญาตให้ร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p_{\max} ที่สูงขึ้นในไทม์สล็อตเดิมที่ตนเคยเป็นเจ้าของได้ ซึ่งการที่ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตบางสล็อตได้ด้วยค่า p ที่สูงนี้ จะช่วยให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จเร็วขึ้น แต่จากผลการทดสอบจะพบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ จำนวนการร้องขอจะมีปริมาณไม่สูงนัก ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จสูง ดังนั้นการอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตบางสล็อตได้ด้วยค่า p_{\max} จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของบริการเสียงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้ด้วยค่า p_{\max} ได้เพียง 1 ครั้งในแต่ละเฟรมเท่านั้น ในขณะที่จะร้องขอไทม์สล็อตที่เหลือด้วยค่า p แสดงว่าผู้ใช้เสียงจะร้องขอไทม์สล็อตส่วนใหญ่ด้วยค่า p ทำให้ระบบมีการทำงานที่ใกล้เคียงกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม แต่ปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น โอกาสที่แต่ละไทม์สล็อตแต่ละสล็อตจะมีเจ้าของไทม์สล็อตเดิม 2 คน จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้การกำหนดให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้ด้วยค่า p_{\max} จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงกว่าระบบ PRMA แบบดั้งเดิมที่ผู้ใช้เสียงจะร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p ที่คงที่ตลอด ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอล VP-PRMA ที่สภาวะทราฟฟิกสูงจึงมีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA

อย่างไรก็ตาม การนำเอาเทคนิคทั้งสองนี้มาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล PRMA จะทำให้ระบบสามารถปรับเฉพาะค่า Permission Probability ตามสภาวะทราฟฟิกได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการร้องขอโทรมส์ลิตของผู้ใช้ดาตาได้ ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ดาตายังคงจะต้องร้องขอโทรมส์ลิตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ซึ่งทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้มีค่าสูงและส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาเข้าใช้โทรมส์ลิตได้โดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาค่อนข้างสูง ซึ่งเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตานี้จะเป็นข้อจำกัดของระบบ ทำให้การพิจารณาจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้จะต้องนำเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

จากผลการจำลองระบบในรูปแบบที่ 6.3 และ 6.4 พบว่า วิธี VP-PRMA จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่ใกล้เคียงกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งนี้เพราะผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า p_{max} เพียง 1 สลิต/เฟรม เท่านั้น ทำให้การร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า p ที่สูงของผู้ใช้เสียงไม่ส่งกระทบกับผู้ใช้ดาตามากนัก ในทางกลับกัน การนำเอาวิธี Exponential Back-off มาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล PRMA เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าไม่สูงนัก จะทำให้ระบบมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าว จำนวนการร้องขอจะมีปริมาณน้อย ดังนั้นถ้าระบบปรับลดค่า q ลงเมื่อเกิดการชนกัน จะเป็นการลดโอกาสในการร้องขอโทรมส์ลิตของผู้ใช้ดาตา ทำให้ผู้ใช้ดาตาถูกประวิงเวลาโดยไม่จำเป็น แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้น การอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า q ที่สูง จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มขึ้น ซึ่งการนำเอาวิธี Exponential Back-off มาใช้จะช่วยให้ระบบสามารถปรับลดค่า p และ q ลงได้ ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสจะร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จมากขึ้น และผู้ใช้ดาตาจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปแบบที่ 6.9 และ 6.10 พบว่า โพรโทคอล PRMA ที่ใช้วิธี Exponential Back-off จะมีค่าวิสัยสามารถของระบบสูงกว่าโพรโทคอล PRMA และโพรโทคอล PRMA ที่ใช้วิธี VP-PRMA อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เพราะผู้ใช้เสียงในระบบนี้จะมีโอกาสร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จสูง โดยเฉพาะเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูงซึ่งระบบจะสามารถปรับลดค่า q ลง เพื่อเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการร้องขอของผู้ใช้ได้ และเมื่อผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จ ผู้ใช้เสียงนี้จะส่งแพ็กเก็ตในลักษณะของการจอง ทำให้การใช้โทรมส์ลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนวิธี VP-PRMA นั้น การอนุญาตให้ผู้ใช้เสียงร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า p_{max} จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันที่สภาวะทราฟฟิกค่าสูงมีมากกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ซึ่งการชนกันนี้จะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียงและค่าวิสัยสามารถของบริการดาตามีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่า

ลดลงเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6.5 และ 6.6 ว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 32 คน ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียงในวิธี VP-PRMA จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อผู้ใช้ในระบบมากกว่า 38 คน ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียงจะมีค่าต่ำกว่า 0.1 ซึ่งแสดงว่าแพ็กเก็ตเสียงส่วนใหญ่จะถูกทิ้งไปในระบบ

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของความยาวข่าวสารที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการปรับค่า Permission Probability จะพบว่า ผลที่ได้จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ดาตาภายในระบบจะยังคงต้องร้องขอโทรมส์ลิตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ทำให้ปริมาณการร้องขอในระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นและระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวมีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณการร้องขอนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะจำกัดสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ในส่วนถัดไปจะได้พิจารณาถึงสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA ที่มีการนำเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้

6.1.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ

ในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ระบบจะกำหนดให้ผู้ใช้ดาตาจะต้องร้องขอโทรมส์ลิตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ทำให้จำนวนการร้องขอภายในระบบมีปริมาณมากและส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิกดาตาที่ระบบสามารถรองรับได้ถูกจำกัด ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้ปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อาศัยเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอทั้งสิ้น 4 เทคนิค ได้แก่ เทคนิค PGBK, เทคนิค Multiple packet assignment, เทคนิค Slot Stealing และเทคนิค Collision Reduction ข้อดีของการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอที่กล่าวมาข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล PRMA คือ เทคนิคนี้จะช่วยลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น ปัญหาที่ตามมาที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คือ เมื่อระบบจัดสรรโทรมส์ลิตส่วนหนึ่งให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จ จะทำให้จำนวนโทรมส์ลิตที่ว่างเพื่อที่จะรองรับผู้ใช้เสียงมีปริมาณลดลง ดังนั้นผู้ใช้เสียงจะถูกประวิงเวลาเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่ผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรมส์ลิตได้ ซึ่งถ้าผู้ใช้เสียงถูกประวิงเวลาจนกระทั่งไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ภายในเวลาที่กำหนด ระบบจะละทิ้งแพ็กเก็ตเสียงไป ส่งผลให้คุณภาพของบริการเสียงลดลง

จากผลการทดสอบจะพบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ จำนวนการร้องขอจะมีปริมาณน้อย ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จสูง ดังนั้นการนำเอาวิธี

PGBK, วิธี Multiple packet assignment และวิธี Collision Reduction มาใช้ลดจำนวนการร้องขอภายในระบบจะไม่มีประโยชน์มากนัก ในขณะที่เดียวกันการจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธีที่กล่าวมาจะทำให้ผู้ใช้เสียเวลามากในการร้องขอโทรมสล็อต จึงส่งผลให้ระบบที่นำเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้มีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดเสียงสูงกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมเล็กน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่า ระบบที่มีการจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Multiple packet assignment จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดเสียงสูงที่สุด ทั้งนี้เพราะระบบจะจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องติดกันเป็นระยะเวลาหนึ่งเฟรม ซึ่งถ้าผู้ใช้เสียงมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตในขณะที่ระบบจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตา ผู้ใช้เสียงจะต้องถูกประวิงเวลาไปอย่างน้อยหนึ่งเฟรม ทำให้แพ็กเก็ตเสียงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งสูง ส่วนวิธี PGBK และวิธี Collision Reduction นั้นระบบจะจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาเพียง 1 สล็อต/เฟรมเท่านั้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อประวิงเวลาของผู้ใช้เสียงมากนัก อย่างไรก็ตาม การจัดสรรโทรมสล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Multiple packet assignment นี้ จะมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น เพราะผู้ใช้มีโอกาสที่จะส่งแพ็กเก็ตจนหมดชุดข่าวสารได้ภายในระยะเวลาเพียงเฟรมเดียว ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาดำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ

เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น การนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้จะช่วยแก้ปัญหาการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกอันเนื่องมาจากปริมาณการร้องขอที่เพิ่มขึ้นในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งนี้การลดจำนวนการร้องขอลงนี้จะช่วยลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้และทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดเสียงของโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอจะมีค่าต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน

นอกจากนี้ การที่สถานีฐานจัดสรรโทรมสล็อตส่วนหนึ่งให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จ จะทำให้ผู้ใช้ดาตาไม่ต้องร้องขอโทรมสล็อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาที่ลดลง โดยเฉพาะในระบบที่ใช้เทคนิค PGBK นั้น ผู้ใช้ดาตาสามารถที่จะเซ็ตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าผู้ใช้ดาตาจะส่งแพ็กเก็ตได้จนหมดชุดข่าวสาร ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตของตนได้โดยที่มีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาดำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ใช้ดาตาเซ็ตบิต PGBK เพื่อส่งข่าวสารขนาดยาว ผู้ใช้ดาตานี้จะไปยึดครองโทรมสล็อตเป็นระยะเวลานานหลายเฟรม และอาจส่งผลให้จำนวนโทรมสล็อตที่ว่างในแต่ละเฟรมลดลง

จนไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้เสียง ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของระบบ PGBK ที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวจึงมีค่าสูงกว่าระบบที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอเทคนิคอื่น

สำหรับเทคนิค Slot Stealing นี้ จะมีความแตกต่างจากเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอทั้งสามเทคนิคข้างต้น ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ดาตาจะไม่ต้องส่งแพ็กเก็ตไปเพื่อร้องขอไทม์สล็อต แต่ผู้ใช้ดาตาจะรอรับการจัดสรรไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียง ทำให้การนำเอาบริการดาตามาใช้ร่วมในระบบไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเสียง ซึ่งจากผลการทดสอบในรูปที่ 6.1 และ 6.2 จะเห็นได้ว่า การนำเอาวิธี Slot Stealing มาใช้กับโพรโทคอล PRMA จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ และเมื่อผู้ใช้เสียงจำนวนมากสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จและเข้าใช้ไทม์สล็อต จะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นสามารถสูงตาม ซึ่งจากผลการจำลองระบบในรูปที่ 6.5-6.10 จะพบว่า ระบบที่ใช้วิธี Slot Stealing นี้ จะมีค่าความยืดหยุ่นสามารถสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ

อย่างไรก็ตาม วิธี Slot Stealing นี้ จะมีข้อเสียในแง่ของการจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาในสภาวะทราฟฟิกค่าต่ำ ทั้งนี้เพราะที่สภาวะดังกล่าว จะมีปริมาณการร้องขอภายในระบบไม่สูงนัก ซึ่งโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรไทม์สล็อตที่อนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้ เช่น วิธี PGBK, วิธี Multiple packet assignment และวิธี Collision Reduction จะช่วยให้ผู้ใช้ดาตาเข้าใช้ไทม์สล็อตได้เร็วกว่าวิธี Slot Stealing ที่ผู้ใช้ดาตาจะต้องรอรับการจัดสรรไทม์สล็อตจากสถานีฐานเท่านั้น ดังนั้นโพรโทคอล PRMA ที่นำเทคนิค Slot Stealing มาประยุกต์ใช้ จะมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขออื่น ๆ

6.1.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม

ในการนำเอาเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมมาใช้ปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA นั้น ระบบจะปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมใหม่โดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานของโพรโทคอล PRMA++ กล่าวคือ ระบบจะแบ่งไทม์สล็อตเดิมในระบบเชื่อมโยงขาขึ้นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สล็อตร้องขอและสล็อตข้อมูล เมื่อผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ผู้ใช้จะต้องร้องขอไทม์สล็อตโดยการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปร้องขอไทม์สล็อตในสล็อตร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งถ้าผู้ใช้สามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ ผู้ใช้จะไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ทันทีเช่นเดียวกับผู้ใช้ในโพรโทคอล PRMA แต่ผู้ใช้นั้นจะถูกเก็บไว้ในคิวเพื่อรอรับการจัดสรรสล็อตข้อมูลจากสถานีฐาน ทั้งนี้จะมีการนำเอาเทคนิคการจัดลำดับความสำคัญของบริการ (Priority) มาใช้ โดยที่สถานี

ฐานจะจัดสรรสิทธิ์ข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงที่สามารถร้องขอโทรม์สิทธิ์ได้สำเร็จก่อน จากนั้นจึงจะจัดสรรสิทธิ์ข้อมูลที่เหลือให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สิทธิ์ได้สำเร็จตามลำดับ

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษา 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่มีจำนวนสิทธิ์ร้องขอภายในแต่ละเฟรมคงที่เท่ากับ 4 สิทธิ์ และระบบที่มีการปรับจำนวนสิทธิ์ร้องขอในแต่ละเฟรมตามผลของการร้องขอในสิทธิ์ร้องขอ ทั้งนี้จะกำหนดให้จำนวนสิทธิ์ร้องขอต่ำสุดในแต่ละเฟรมเท่ากับ 4 สิทธิ์ และจำนวนสิทธิ์ร้องขอสูงสุดในแต่ละเฟรมเท่ากับ 6 สิทธิ์

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียงในรูปที่ 6.1 และ 6.2 จะพบว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าไม่สูงนัก การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมให้อยู่ในรูปของสิทธิ์ร้องขอและสิทธิ์ข้อมูลนั้น จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียงที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม ทั้งนี้เพราะที่สภาวะดังกล่าว โทม์สิทธิ์ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะว่าง ทำให้ผู้ใช้ในโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สิทธิ์ได้สำเร็จสูง ในทางตรงกันข้าม ผู้ใช้ในโพรโทคอล PRMA++ จะสามารถร้องขอโทรม์สิทธิ์ได้ก็ต่อเมื่อถึงสิทธิ์ร้องขอแล้วเท่านั้น ทำให้ผู้ใช้ถูกประวิงเวลาโดยไม่จำเป็น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียงระหว่างโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสิทธิ์ร้องขอคงที่ กับโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสิทธิ์ร้องขอแบบพลวัต จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสิทธิ์ร้องขอแบบพลวัตจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็คเกจเสียงสูงกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสิทธิ์ร้องขอคงที่เล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้เพราะการกำหนดจำนวนสิทธิ์ร้องขอที่แน่นอนภายในเฟรม จะทำให้ระบบสามารถกำหนดตำแหน่งของสิทธิ์ร้องขอที่ตายตัวได้ โดยระบบจะกระจายตำแหน่งของสิทธิ์ร้องขอไปภายในเฟรมเพื่อลดจำนวนการร้องขอในสิทธิ์ร้องขอแต่ละสิทธิ์ ทั้งนี้เพราะผู้ใช้จะสามารถส่งแพ็คเกจเพื่อร้องขอโทรม์สิทธิ์ในสิทธิ์ร้องขอที่อยู่ใกล้ที่สุดได้ แต่สำหรับระบบที่มีการปรับจำนวนสิทธิ์ร้องขอแบบพลวัตนั้น ระบบจะกำหนดตำแหน่งของสิทธิ์ร้องขอโดยจะพิจารณาจากสิทธิ์ที่ว่างตั้งแต่ต้นเฟรมจนกระทั่งได้จำนวนสิทธิ์ร้องขอตามที่ต้องการ ดังนั้นสิทธิ์ร้องขอส่วนใหญ่จะอยู่ที่ส่วนต้นของเฟรม ซึ่งถ้าผู้ใช้มีความต้องการจะส่งแพ็คเกจหลังจากผ่านช่วงของสิทธิ์ร้องขอนี้ไปแล้ว ผู้ใช้จะต้องรอจนกระทั่งถึงเฟรมหน้าจึงจะสามารถร้องขอโทรม์สิทธิ์ได้ ทำให้แพ็คเกจเสียงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งมากขึ้น

แต่เมื่อปริมาณกราฟฟิกในระบบสูงขึ้น การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมในลักษณะเช่นนี้จะทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบจะเก็บผู้ใช้ที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จภายในคิวและอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการร้องขอภายในระบบลดลง ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีโอกาสที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเซตบิต PGBK ของผู้ใช้ดาตาเพื่อส่งแพ็กเก็ตในชุดข่าวสารจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงเช่นเดียวกับการใช้เทคนิค PGBK ในหัวข้อที่ 6.1.2 เพราะการใช้เทคนิคการจัดลำดับความสำคัญ จะทำให้ระบบสามารถที่จะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงก่อนผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ได้เสมอ โดยเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่ และโพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัต จะพบว่า ระบบที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่าระบบที่มีการกำหนดจำนวนสล็อตร้องขอแบบตายตัว ทั้งนี้เพราะการที่จำนวนการร้องขอภายในระบบมีค่าสูง จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันภายในสล็อตร้องขอเพิ่มมากขึ้น ซึ่งภายหลังจากการชนกันนี้ ระบบที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอขึ้นเพื่อรองรับปริมาณการร้องขอที่สูงขึ้นนี้ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มขึ้นของจำนวนสล็อตร้องขอจะไม่ส่งผลกระทบต่อผลลดลงของจำนวนสล็อตข้อมูลมากนัก เพราะเมื่อผู้ใช้สามารถร้องขอได้สำเร็จ ระบบก็จะลดจำนวนสล็อตร้องขอลง เพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลไว้รองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ

ในทางกลับกัน ระบบที่มีจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมคงที่ จะประสบปัญหาเกี่ยวกับการเลือกจำนวนสล็อตร้องขอที่เหมาะสมกับปริมาณกราฟฟิก ทั้งนี้เพราะถ้าระบบกำหนดให้จำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมมีค่าน้อยเกินไป จะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกภายในสล็อตร้องขอและส่งผลให้ไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ แต่ถ้าระบบกำหนดให้จำนวนสล็อตร้องขอภายในเฟรมมีค่ามากเกินไป จะทำให้ระบบมีจำนวนสล็อตข้อมูลไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จ ซึ่งจากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อปริมาณกราฟฟิกในระบบมีค่าสูง การที่ระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอเพียง 4 สล็อตนั้น จะไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการชนกันภายในสล็อตร้องขอและส่งผลให้แพ็กเก็ตเสียงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งเพิ่มมากขึ้น สถานการณ์นี้จะมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นในระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น เพราะระบบดังกล่าวนี้จะมีปริมาณการร้องขอในแต่ละช่วงเวลามากกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาว ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีสูงกว่าดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.1 ว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 28 คน โพรโทคอล

PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอเท่ากับ 4 สล็อต จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสี่ยงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาในรูปที่ 6.3 และ 6.4 จะพบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าน้อย เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA++ จะมีค่าสูงกว่าโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค PGBK เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล PRMA++ จะมีการนำเอาระบบจัดลำดับความสำคัญมาใช้ ทำให้ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ได้รับการจัดสรรสล็อตข้อมูลภายหลังจากสถานีฐานจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นผู้ใช้ดาตาจะถูกประวิงเวลาก่อนที่จะสามารถเข้าใช้สล็อตข้อมูลได้ ความแตกต่างระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA++ และโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค PGBK จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูง เพราะที่สภาวะดังกล่าวนี้จำนวนสล็อตข้อมูลที่ว่างจะมีปริมาณลดลงอย่างมาก ซึ่งถ้าโพรโทคอล PRMA++ จัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงจนกระทั่งไม่มีสล็อตข้อมูลที่ว่างเหลืออยู่ภายในระบบ จะส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรมสล็อตได้สำเร็จต้องไปร้องขอโทรมสล็อตใหม่ อันจะเป็นสาเหตุให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาของโพรโทคอล PRMA++ มีค่าสูงกว่าระบบ PGBK อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาค่าวิสัยสามารถในรูปที่ 6.5-6.10 พบว่า โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะมีค่าวิสัยสามารถสูงกว่าโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่ โดยเมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตจะสามารถเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่โพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่นั้น จะมีจำนวนสล็อตร้องขอน้อยเกินไป ทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกภายในสล็อตร้องขอและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถลดลง ทั้งนี้การลดลงของค่าวิสัยสามารถ จะเห็นได้ชัดเจนเมื่อนำโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่นี้มารองรับผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้น เนื่องจากระบบจะมีปริมาณการร้องขอในขณะใด ๆ ที่สูงกว่าระบบที่ผู้ใช้ดาตาที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาว ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีสูงกว่า ซึ่งจากผลการทดสอบในกรณีนี้ที่ผู้ใช้ดาตามีค่าเฉลี่ยของความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ในรูปที่ 6.5 และ 6.7 จะพบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมากกว่า 30 คน ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียงและค่าวิสัยสามารถของบริการดาตาของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่ จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 6.9 มีค่าลดลงตาม นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA++ ที่มีจำนวนสล็อตร้องขอคงที่นี้จะมีค่าต่ำที่สุดภายใต้สภาวะที่ผู้ใช้ดาตามี

ความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีจำนวนสล็อตร้องขอที่น้อยเกินไป ส่งผลให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกอย่างรุนแรงและโอกาสที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกละทิ้งมีค่าสูง

6.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค โดยจะพิจารณาจากเงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะแสดงตารางเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่ระบบรองรับได้, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตเดาตา, ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียง, ค่าวิสัยสามารถของบริการเดาตา และค่าวิสัยสามารถรวมของระบบ เมื่อความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ตามตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	$M_{0.01}$ (คน)	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ ของบริการเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของบริการดาตา	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	24	848309.29	0.446752	0.141258	0.588010
VP-PRMA	26	1708269.36	0.483551	0.120062	0.603614
Back-off	33	3219889.83	0.613683	0.079748	0.693430
PGBK	28	318.92	0.521475	0.199384	0.720859
Multiple packet	28	594.22	0.521283	0.199455	0.720737
Slot Stealing	37	1738672.03	0.687711	0.169245	0.856956
CR-PRMA	28	780.82	0.521637	0.198889	0.720526
PRMA++	26	1285.37	0.484862	0.185181	0.670043
PRMA++ Dynamic	27	9744.84	0.501870	0.192179	0.694050

ตารางที่ 6.4 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	$M_{0.01}$ (คน)	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ ของบริการเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของบริการดาตา	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	25	1293551.73	0.465645	0.130588	0.596233
VP-PRMA	26	1682294.42	0.482641	0.120350	0.602991
Back-off	33	3207546.17	0.613640	0.079737	0.693378
PGBK	27	1080.03	0.502149	0.191829	0.693978
Multiple packet	29	1800.58	0.540907	0.205470	0.746377
Slot Stealing	37	1754429.88	0.688757	0.168319	0.857076
CR-PRMA	29	4193.08	0.539637	0.206570	0.746207
PRMA++	28	469177.79	0.520341	0.180789	0.701130
PRMA++ Dynamic	28	455155.94	0.521391	0.180115	0.701506

จากตารางที่ 6.3 และ 6.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ การนำเอาเทคนิคต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล PRMA จะทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดยที่ระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากขึ้นและมีค่าวิสัยสามารถรวมของระบบที่สูงขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคบางเทคนิคที่นำมาใช้เช่น เทคนิค VP-PRMA, เทคนิค Exponential Back-off หรือเทคนิค Slot Stealing นั้น จะให้ความสำคัญกับบริการเสียงมากเกินไป ส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามีค่าสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพของบริการดาตา โดยผู้ใช้งานดาตาควรจะสามารถเข้าใช้ไทม์สล็อตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่สูงนัก จึงจะมีการนำเอาเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในที่นี้จะกำหนดให้ผู้ใช้งานดาตาที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้น (ความยาวข่าวสาร 5 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) ควรจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที ส่วนผู้ใช้งานดาตาที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาว (ความยาวข่าวสาร 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) ควรจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 10000 มิลลิวินาที ผู้วิจัยจะได้แสดงตารางเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียง, ค่าวิสัยสามารถของบริการดาตา และค่าวิสัยสามารถรวมของระบบ เมื่อ ความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ตามตารางที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.5 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียง	ค่าวิสัยสามารถของบริการดาตา	ค่าวิสัยสามารถของระบบ
PRMA	22	0.000701	0.412459	0.156660	0.569119
VP-PRMA	22	0.000551	0.412477	0.156617	0.569094
Back-off	21	0.000020	0.393328	0.149400	0.542729
PGBK	28	0.007316	0.521475	0.199384	0.720859
Multiple packet	28	0.008606	0.521283	0.199455	0.720737
Slot Stealing	28	0.000091	0.526436	0.199365	0.725801
CR-PRMA	28	0.006838	0.521637	0.198889	0.720526
PRMA++	25	0.004154	0.467895	0.177792	0.645687
PRMA++ Dynamic	25	0.004785	0.467456	0.178006	0.645462

ตารางที่ 6.6 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเทคนิคแต่ละอย่าง ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 10000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถของบริการเสียง	ค่าวิสัยสามารถของบริการดาตา	ค่าวิสัยสามารถของระบบ
PRMA	22	0.000427	0.412511	0.155607	0.568117
VP-PRMA	22	0.000328	0.412678	0.156196	0.568874
Back-off	21	0.000011	0.394308	0.149203	0.543511
PGBK	27	0.008854	0.502149	0.191829	0.693978
Multiple packet	29	0.006255	0.540907	0.205470	0.746377
Slot Stealing	29	0.000177	0.543522	0.206144	0.749666
CR-PRMA	29	0.008732	0.538391	0.206106	0.744497
PRMA++	26	0.003356	0.485657	0.184429	0.670085
PRMA++ Dynamic	26	0.004117	0.486377	0.184666	0.671044

จากตารางที่ 6.5 และ 6.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาร่วมกันแล้ว โพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ อันได้แก่ เทคนิค PGBK, เทคนิค Multiple packet assignment, เทคนิค Slot Stealing และ เทคนิค Collision Reduction จะยังคงรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ด้วยเทคนิคการปรับค่า Permission Probability และเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล PRMA ที่มีการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี VP-PRMA และ วิธี Exponential Back-off นั้น แม้ว่าจะมีการให้ความสำคัญให้แก่บริการเสียงสูงกว่าบริการดาตา โดยการกำหนดให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตต์ด้วยค่า Permission Probability ที่สูงกว่าผู้ใช้ดาตา แต่การเพิ่มขึ้นของจำนวนการร้องขอที่สภาวะทราฟฟิกค่าสูง จะส่งผลให้เกิดการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้ได้ สำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ด้วยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมให้อยู่ในรูปของสล็อตร้องขอและสล็อตข้อมูลนั้น แม้ว่าจะมีกระบวนการในการลดจำนวนการร้องขอบางส่วน โดยการอนุญาตให้ผู้ใช้ดาตาที่สามารถร้องขอโทรมส์ลิตต์ได้สำเร็จให้สามารถเซ็ทบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตดาตาได้อย่างต่อเนื่อง แต่การนำระบบจัดลำดับความสำคัญมาใช้

จะทำให้สถานีฐานจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงก่อนเสมอ จนในบางครั้งอาจทำให้ไม่มีสล็อตข้อมูลเหลือเพียงพอที่จะจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK และผู้ใช้ดาตานั้นจะต้องไปร้องขอโทรม์สล็อตใหม่ ทำให้จำนวนการร้องขอในระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การที่ผู้ใช้แต่ละคนจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้เฉพาะในสล็อตร้องขอเท่านั้น ทำให้การเพิ่มขึ้นของจำนวนการร้องขอส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าจำนวนการร้องขอภายในระบบจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งถ้าจำนวนการร้องขอภายในระบบมีค่าสูงเกินไป จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงและทำให้ทรัพยากรต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์เพราะไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ดังนั้นการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้ในโพรโทคอล PRMA จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งจากผลการทดสอบในตารางที่ 6.5 และ 6.6 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค Slot Stealing จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากที่สุดและให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบสูงที่สุด ทั้งนี้เพราะวิธี Slot Stealing นี้ ระบบจะจัดสรรโทรม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาก็ต่อเมื่อเป็นโทรม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงแล้วเท่านั้น ทำให้การสูญเสียโทรม์สล็อตเนื่องจากการชนระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้เสียงและผู้ใช้ดาตาลดลงอย่างมาก

ในส่วนถัดไปจะนำเสนอโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา โดยจะมีการนำเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอและเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม ทั้งนี้การนำเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้จะช่วยทำให้โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่นำเสนอนี้สามารถปรับค่า Permission Probability ตามสภาวะทราฟฟิกได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่เดียวกันการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอและเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมมาใช้ จะช่วยให้จำนวนการร้องขอในระบบลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น

6.2 การออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา

จากการพิจารณาเทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ได้นำเสนอไปดังกล่าวข้างต้น พบว่าเทคนิคแต่ละเทคนิคจะมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่นการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล PRMA จะช่วยให้ระบบสามารถปรับค่า Permission Probability ให้มีความเหมาะสมกับปริมาณทราฟฟิกได้

แต่การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ด้วยเทคนิคนี้จะยังคงประสบปัญหาการชนกันอันเนื่องมาจากปริมาณการร้องขอภายในระบบที่มีค่าสูง ซึ่งภายหลังจากการชนกันนี้ ระบบจะลดค่า Permission Probability ลง ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้ดาตาจะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จลดลงอย่างมาก ส่วนการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอและเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมมาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล PRMA นั้น แม้ว่าจะสามารถลดจำนวนการร้องขอที่เกิดจากผู้ใช้งานดาตาได้บางส่วน แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูงขึ้น การที่ระบบใช้ค่า Permission Probability ที่คงที่ จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจึงจะได้มีแนวความคิดที่จะนำเอาข้อดีของเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ตามปริมาณทราฟฟิกมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ โดยเทคนิคของปรับค่า Permission Probability จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของบริการเสียง เพราะระบบจะกำหนดให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้ด้วยค่า Permission Probability ที่สูงกว่าผู้ใช้งานดาตา ส่วนเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอนั้น จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของบริการดาตา เพราะสถานีฐานจะจัดสรรโทรม์สล็อตส่วนหนึ่งให้แก่ผู้ใช้งานดาตาที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ทำให้ผู้ใช้งานดาตาไม่ต้องร้องขอโทรม์สล็อตใหม่ทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต นอกจากนี้ การที่ระบบมีจำนวนการร้องขอที่ลดลง จะช่วยลดโอกาสในการชนกันและช่วยเพิ่มโอกาสในการร้องขอโทรม์สล็อตสำเร็จของผู้ใช้แต่ละคนอีกด้วย

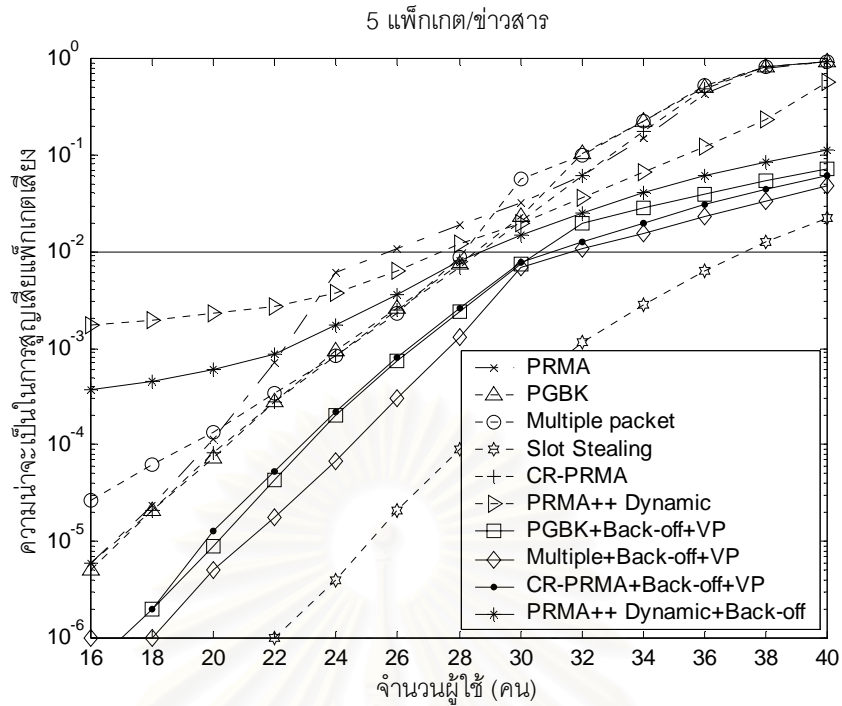
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ได้จากการนำเอาเทคนิคที่ได้นำเสนอไปข้างต้นมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน ในที่นี้จะแบ่งโพรโทคอลที่เกิดจากการนำเอาเทคนิคต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันออกเป็น 4 ระบบ ได้แก่

1. โพรโทคอล PRMA-PGBK ที่มีการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off ร่วมกับวิธี VP-PRMA
2. โพรโทคอล PRMA-Multiple packet assignment ที่มีการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off ร่วมกับวิธี VP-PRMA
3. โพรโทคอล CR-PRMA ที่มีการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off ร่วมกับวิธี VP-PRMA
4. โพรโทคอล PRMA++ ที่มีการปรับจำนวนสล็อตร้องขอในแต่ละเฟรมแบบพลวัต โดยจะมีการปรับค่า Permission Probability ในสล็อตร้องขอด้วยวิธี Exponential Back-off

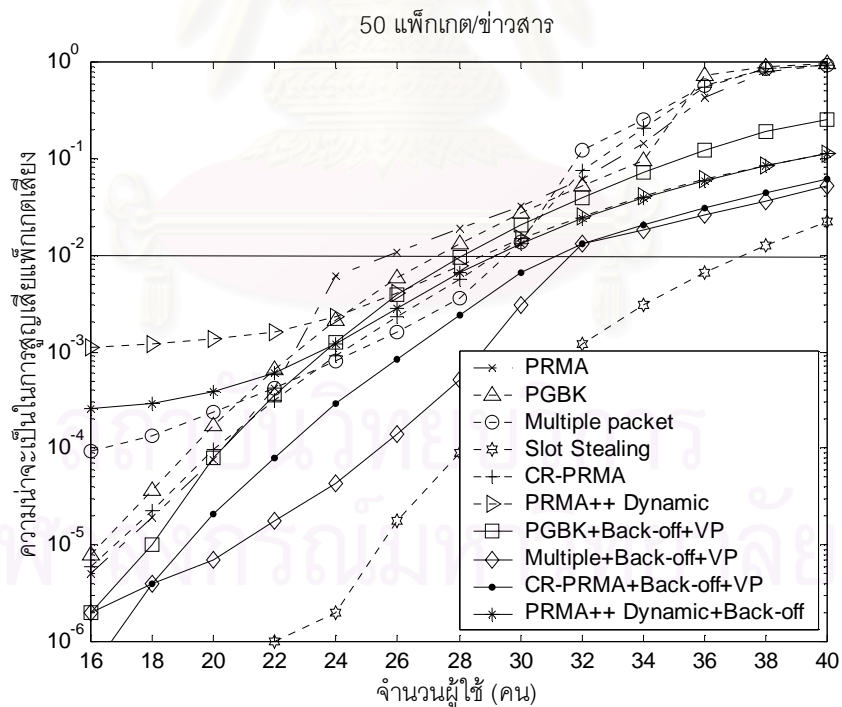
ในการทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ที่ได้พัฒนาขึ้นทั้ง 4 ระบบดังกล่าวข้างต้น จะเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้กับโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม และโพรโทคอล PRMA ที่มีการใช้เทคนิคดังกล่าวเพียงเทคนิคใดเทคนิคหนึ่ง ซึ่งจะได้แสดงผลการเปรียบเทียบในส่วนของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ในรูปที่ 6.11-6.16



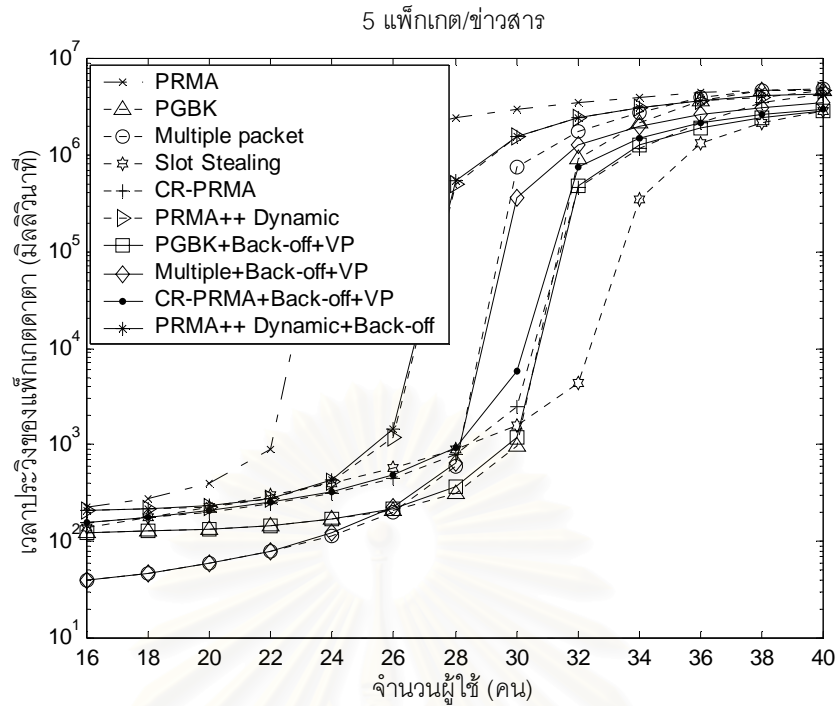
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



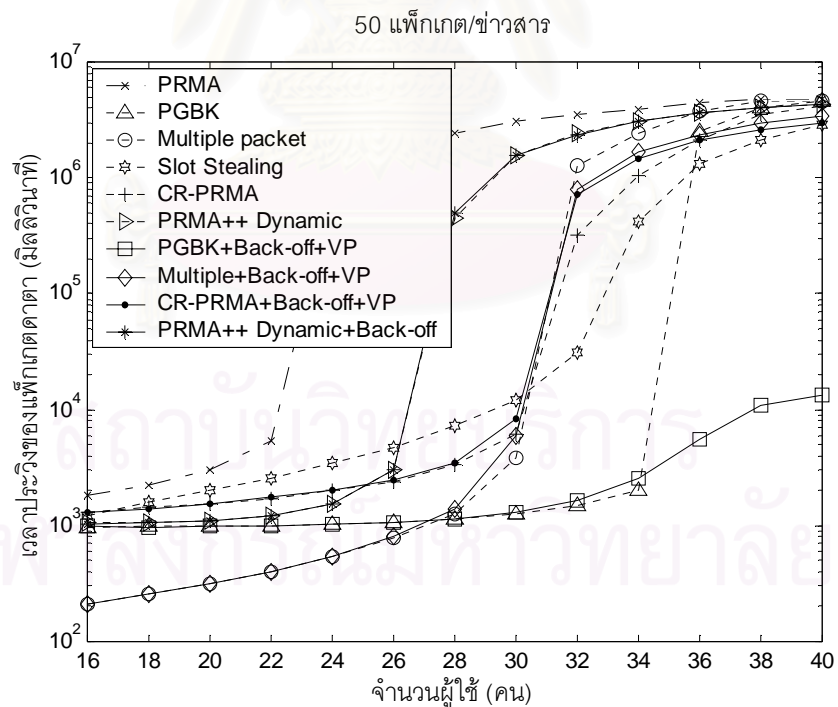
รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



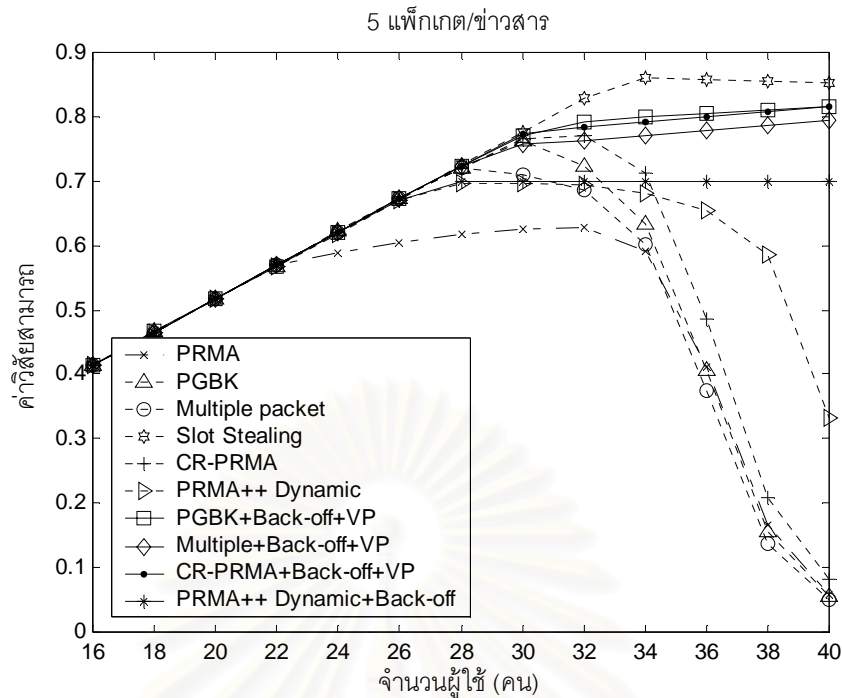
รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



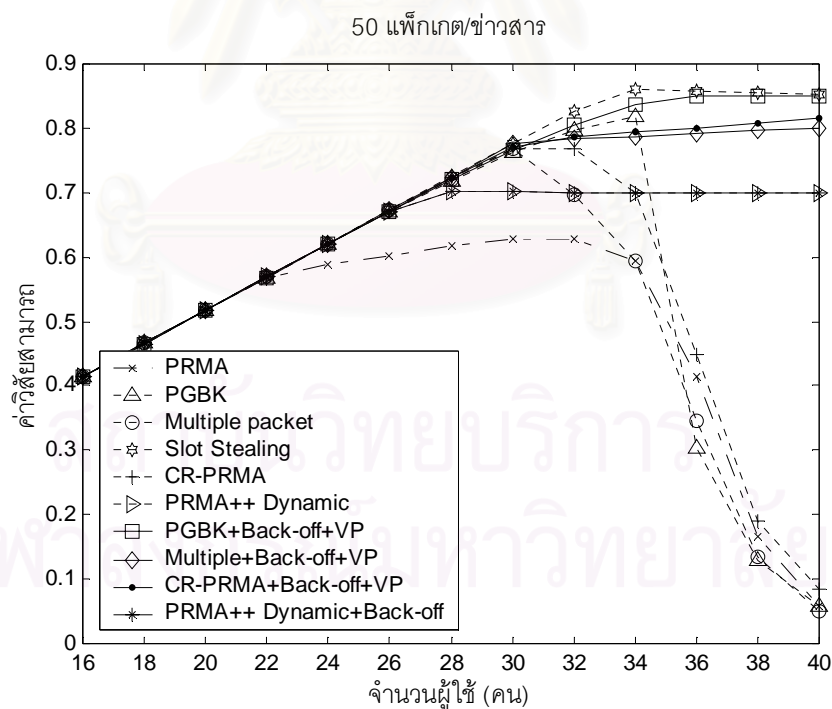
รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตากับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเกต/ข่าวสาร



รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้น เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเกต/ข่าวสาร

6.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้น

เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงในรูปที่ 6.11 และ 6.12 พบว่าการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอและเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมในโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จะช่วยให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงต่ำกว่าโพรโทคอล PRMA ที่ได้รับการปรับปรุงสมรรถนะโดยอาศัยเพียงเทคนิคใดเทคนิคหนึ่งอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคการปรับค่า Permission Probability นี้ จะให้ความสำคัญแก่บริการเสียงมากกว่าบริการดาตา โดยนอกจากระบบจะปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off ที่มีค่า p_{max} ที่สูงกว่าค่า q_{max} แล้ว ผู้ใช้เสียงยังจะได้รับอนุญาตให้ร้องขอโทรมส์ลิตที่ตนเคยเป็นเจ้าของได้ด้วยค่า p ที่สูงอีกด้วย ทั้งนี้การที่ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรมส์ลิตด้วยค่า p ที่สูงนี้จะไม่ทำให้เกิดปัญหาการชนกันกับแพ็กเก็ตดาตาเช่นเดียวกับโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการปรับค่า Permission Probability เพียงอย่างเดียว เพราะโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นนี้ได้มีการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้ร่วมด้วย ซึ่งเทคนิคนี้จะช่วยลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้เสียงและแพ็กเก็ตของผู้ใช้ดาตา ดังนั้นผู้ใช้เสียงจึงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรมส์ลิตได้สำเร็จสูงและส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดต่ำลง

เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงของโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นทั้ง 4 ระบบ กับโพรโทคอลที่ได้รับการปรับปรุงสมรรถนะโดยอาศัยเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอภายในระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้นในรูปที่ 6.11 พบว่า ระบบที่ใช้เทคนิค Multiple packet assignment จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ แต่เมื่อมีการนำเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค Multiple packet assignment จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการนำเอาเทคนิค Multiple packet assignment มาใช้นั้น จะช่วยลดจำนวนการร้องขอจากผู้ใช้ดาตาได้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับเทคนิค PGBK เพราะสถานีฐานจะจัดสรรโทรมส์ลิตให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จโดยการพิจารณาจากจำนวนโทรมส์ลิตที่ว่างในขณะนั้น ซึ่งถ้าระบบมีโทรมส์ลิตที่ว่างอยู่เป็นปริมาณน้อย ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอได้สำเร็จจะได้รับการจัดสรรโทรมส์ลิตจากสถานีฐานเพียงไม่กี่สลิตเท่านั้น จากนั้นผู้ใช้จะต้องไปร้องขอโทรมส์ลิตใหม่เพื่อส่งแพ็กเก็ตที่เหลือในชุดข่าวสาร ส่งผลให้ปริมาณการร้องขอในระบบยังคงมีค่าสูง จึงทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันในระบบ Multiple packet assignment มีค่าสูงและทำให้แพ็กเก็ตเสียงมีโอกาสที่จะถูกละทิ้งมากกว่าระบบอื่น ๆ แต่เมื่อมีการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้

ระบบจะปรับลด p และ q ลงเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ทั้งนี้การลดค่า q ของระบบจะเป็นการลดโอกาสในการร้องขอโทรม์สลิตของผู้ใช้ดาตา ทำให้ผู้ใช้เสียงมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้น

สำหรับระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาวนั้น จะมีจำนวนการร้องขอในขณะใด ๆ ไม่มากนัก ดังนั้นการที่แพ็กเกตเสียงจะถูกละทิ้งจะเกิดจากการที่ผู้ใช้ดาตาคัดครองโทรม์สลิตเป็นเวลานานและส่งผลให้ผู้ใช้เสียงต้องประวิงเวลาก่อนที่จะร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จ ซึ่งจากผลการทดสอบในรูปที่ 6.12 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค PGBK จะมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงสูงกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จจะสามารถเซ็ตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเกตได้อย่างต่อเนื่องจนหมดชุดข่าวสาร

เมื่อพิจารณาเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาในรูปที่ 6.13 และ 6.14 พบว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอจะทำให้ระบบมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะที่สภาวะดังกล่าวจำนวนการร้องขอจะมีปริมาณไม่มากนัก ดังนั้นถ้าระบบปรับลดค่า q ลงเมื่อเกิดการชนกันจะเป็นการลดโอกาสในการร้องขอโทรม์สลิตของผู้ใช้ดาตา และผู้ใช้ดาตาจะต้องถูกประวิงเวลาโดยไม่จำเป็น แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้น โพรโทคอล PRMA ที่ใช้ค่า q เป็นค่าคงที่ จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง ซึ่งการนำเอาวิธี Exponential Back-off มาใช้จะทำให้ระบบมีการปรับลดค่า p และ q ลง ทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จมากขึ้น ดังนั้นผู้ใช้ดาตาจะสามารถส่งแพ็กเกตดาตาได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาลดลง

นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูงมาก การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิค PGBK จะทำให้ระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาวมีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวนั้น จะมีจำนวนการร้องขอเป็นปริมาณมาก ซึ่งเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอจะสามารถลดการร้องขอของผู้ใช้ดาตาได้บางส่วนเท่านั้น ในขณะที่ผู้ใช้ดาตาและผู้เสียงจะยังคงร้องขอโทรม์สลิตด้วยค่า Permission Probability ที่สูงอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเกตเสียงและเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการนำเอาวิธี Exponential Back-off มาใช้จะช่วยทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สลิตได้สำเร็จมากขึ้น และเมื่อผู้ใช้ดาตาในระบบ PGBK สามารถร้องขอโทรม์สลิตได้

สำเร็จ ผู้ใช้ก็จะสามารถเซตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตดาตาได้โดยมีเวลาประวิงที่ต่ำที่สุด

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบในรูปที่ 6.15 และ 6.16 นั้น พบว่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอเพียงอย่างเดียวจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนการร้องขอมีค่าสูงขึ้นตาม ซึ่งการนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล PRMA จะช่วยให้จำนวนการร้องขอของผู้ใช้ดาตาลดลงได้บางส่วนเท่านั้น ในขณะที่เดียวกันผู้ใช้ดาตาและผู้ใช้เสียงภายในระบบจะยังคงร้องขอโทรม์สลิตต์ด้วยค่า Permission Probability ที่สูงอยู่ ทำให้เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีกและไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จ ในที่นี้จะส่งผลให้โทรม์สลิตต์ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้จะช่วยลดการชนกันที่สถานะทราฟฟิกค่าสูงได้ ผู้ใช้แต่ละคนจึงมีโอกาสร้องขอโทรม์สลิตต์ได้สำเร็จมากขึ้น ระบบจึงมีค่าวิสัยสามารถที่สูงขึ้น

จากการวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นทั้ง 4 ระบบ ที่ได้กล่าวไปข้างต้น จะได้แสดงตารางเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, เวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตา และค่าวิสัยสามารถ เมื่อความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ได้ดังตารางที่ 6.7 และ 6.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.7 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ช่วงเวลา

ระบบ	$M_{0.01}$ (คน)	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	24	848309.29	0.588010
VP-PRMA	26	1708269.36	0.603614
Back-off	33	3219889.83	0.693430
PGBK	28	318.92	0.720859
Multiple packet	28	594.22	0.720737
Slot Stealing	37	1738672.03	0.856956
CR-PRMA	28	780.82	0.720526
PRMA++	26	1285.37	0.670043
PRMA++ Dynamic	27	9744.84	0.694050
PGBK+Back-off+VP-PRMA	30	1213.53	0.771659
Multiple+Back-off+VP-PRMA	31	822958.16	0.759995
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	30	5756.08	0.773009
PRMA++ Dynamic+Back-off	28	530800.10	0.698424

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	$M_{0.01}$ (คน)	เวลาประวิงของ แพ็กเก็ตดาตา (ms)	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	25	1293551.73	0.596233
VP-PRMA	26	1682294.42	0.602991
Back-off	33	3207546.17	0.693378
PGBK	27	1080.03	0.693978
Multiple packet	29	1800.58	0.746377
Slot Stealing	37	1754429.88	0.857076
CR-PRMA	29	4193.08	0.746207
PRMA++	28	469177.79	0.701130
PRMA++ Dynamic	28	455155.94	0.701506
PGBK+Back-off+VP-PRMA	28	1148.80	0.719612
Multiple+Back-off+VP-PRMA	30	6041.02	0.775096
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	30	8333.47	0.771305
PRMA++ Dynamic+Back-off	29	1041775.21	0.701075

จากตารางที่ 6.7 และ 6.8 พบว่าการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอจะทำให้โพรโทคอล PRMA มีสมรรถนะที่ดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากขึ้นและยังมีค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามจะพบว่าการรวมกันระหว่างเทคนิคบางเทคนิคเช่น การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค Multiple packet assignment หรือการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off มาใช้กับโพรโทคอล PRMA++ จะทำให้ระบบมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพของการบริการดาตา จึงจะมีการนำเอาเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยได้แสดงตารางเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง และค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ตามตารางที่ 6.9 และ 6.10

ตารางที่ 6.9 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 1000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	22	0.000701	0.569119
VP-PRMA	22	0.000551	0.569094
Back-off	21	0.000020	0.542729
PGBK	28	0.007316	0.720859
Multiple packet	28	0.008606	0.720737
Slot Stealing	28	0.000091	0.725801
CR-PRMA	28	0.006838	0.720526
PRMA++	25	0.004154	0.645687
PRMA++ Dynamic	25	0.004785	0.645462
PGBK+Back-off+VP-PRMA	29	0.004316	0.748962
Multiple+Back-off+VP-PRMA	28	0.001316	0.722682
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	28	0.004459	0.747810
PRMA++ Dynamic+Back-off	25	0.002390	0.645984

ตารางที่ 6.10 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 10000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	22	0.000427	0.569119
VP-PRMA	22	0.000328	0.569094
Back-off	21	0.000011	0.542729
PGBK	27	0.008854	0.693978
Multiple packet	29	0.006255	0.720737
Slot Stealing	29	0.000177	0.725801
CR-PRMA	29	0.008732	0.720526
PRMA++	26	0.003356	0.645687
PRMA++ Dynamic	26	0.004117	0.645462
PGBK+Back-off+VP-PRMA	28	0.009418	0.719612
Multiple+Back-off+VP-PRMA	30	0.003091	0.775096
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	30	0.006526	0.771305
PRMA++ Dynamic+Back-off	26	0.002855	0.670229

จากตารางที่ 6.9 และ 6.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงและเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาร่วมกันแล้ว โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นนี้จะยังคงมีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA ที่ได้รับการปรับปรุงสมรรถนะโดยอาศัยเพียงเทคนิคใดเทคนิคหนึ่ง โดยเมื่อพิจารณาระบบที่ผู้ใช้งานตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นในตารางที่ 6.9 พบว่า การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค PGBK จะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น โดยระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้ถึง 29 คน และมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.748962 ซึ่งการนำเอาเทคนิค PGBK นี้ มาใช้รองรับระบบที่ผู้ใช้งานตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้นจะมีความเหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ PGBK จะสามารถลดจำนวนการร้องขอจากผู้ใช้งานดาตาได้เป็นจำนวนมากที่สุด โดยถ้าผู้ใช้งานดาตาสามารถร้องขอโทรมส์ล๊อตได้สำเร็จแล้ว ผู้ใช้งานดาตานั้นจะสามารถเซ็ตบิต PGBK เพื่อส่งแพ็กเก็ตได้อย่าง

ต่อเนื่องจนกว่าผู้ใช้จะส่งแพ็กเก็ตได้หมดชุดข่าวสาร ซึ่งถ้าผู้ใช้งานนี้มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาวเกินไป ผู้ใช้ก็จะยึดครองไทม์สล็อตเป็นระยะเวลาหลายเฟรม และส่งผลให้ผู้ใช้เสียวงกว้างเวลาจนอาจเป็นสาเหตุให้แพ็กเก็ตเสียวงกว้างได้ นอกจากนี้การที่ระบบ PGBK จัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้งานเพียง 1 สล็อต/เฟรม จะทำให้แพ็กเก็ตของผู้ใช้งานที่มีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดยาวนี้ต้องรออยู่ในบัฟเฟอร์เป็นระยะเวลาสั้นก่อนที่จะได้รับการจัดสรรไทม์-สล็อตจากสถานีฐานซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของแพ็กเก็ตตามีค่าสูง ดังนั้นการนำเอา PGBK มาใช้จึงมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะส่งข่าวสารที่ไม่ยาวจนเกินไป โดยผู้ใช้งานที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้จนกระทั่งหมดชุดข่าวสาร และการยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้งานจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียมากนัก

เมื่อพิจารณาระบบที่ผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวในตารางที่ 6.10 พบว่า การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค Multiple packet assignment จะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น โดยระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้ได้ถึง 30 คน และมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.775096 ทั้งนี้การจัดสรรไทม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้งานด้วยเทคนิค Multiple packet assignment นี้ จะมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาว เพราะระบบจะจัดสรรไทม์สล็อตให้ผู้ใช้งานส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องภายในระยะเวลาหนึ่งเฟรม ทำให้การจัดสรรไทม์สล็อตในลักษณะเช่นนี้มีความสอดคล้องกับลักษณะทางธรรมชาติของบริการดาตาซึ่งเป็นแบบเบิสต์ ดังนั้นผู้ใช้งานจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลง

ในส่วนถัดไป จะพิจารณาสมรรถนะโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นในสภาวะการใช้งานจริง โดยระบบที่ผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้น (5 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) และระบบที่ผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาว (50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร) จะถูกจำกัดให้มีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่เกิน 300 มิลลิวินาที และ 3000 มิลลิวินาที ตามลำดับ ผู้วิจัยได้แสดงตารางเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้, ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสีย และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อความยาวข่าวสารเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต/ข่าวสาร ตามตารางที่ 6.11 และ 6.12

ตารางที่ 6.11 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 300 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 5$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	18	0.000025	0.465651
VP-PRMA	18	0.000016	0.465857
Back-off	18	0.000001	0.466188
PGBK	27	0.004371	0.696110
Multiple packet	26	0.002435	0.671373
Slot Stealing	22	0.000001	0.568851
CR-PRMA	23	0.000500	0.594608
PRMA++	22	0.002811	0.567376
PRMA++ Dynamic	22	0.002774	0.568074
PGBK+Back-off+VP-PRMA	27	0.001331	0.698717
Multiple+Back-off+VP-PRMA	26	0.000294	0.672372
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	23	0.000116	0.595005
PRMA++ Dynamic+Back-off	22	0.000881	0.568470

ตารางที่ 6.12 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาดตาไม่เกิน 3000 มิลลิวินาที เมื่อ $L_m = 50$ แพ็กเก็ต/ข่าวสาร

ระบบ	ผู้ใช้ (คน)	ความน่าจะเป็นในการ สูญเสียแพ็กเก็ตเสียง	ค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
PRMA	19	0.000035	0.490919
VP-PRMA	19	0.000024	0.491971
Back-off	19	0.000001	0.492408
PGBK	27	0.008854	0.693978
Multiple packet	29	0.006255	0.720737
Slot Stealing	23	0.000001	0.595109
CR-PRMA	27	0.003568	0.696529
PRMA++	25	0.002965	0.645492
PRMA++ Dynamic	26	0.004010	0.670880
PGBK+Back-off+VP-PRMA	28	0.009418	0.719612
Multiple+Back-off+VP-PRMA	29	0.001111	0.749482
CR-PRMA+Back-off+VP-PRMA	27	0.001438	0.697606
PRMA++ Dynamic+Back-off	26	0.002933	0.670980

จากตารางที่ 6.11 และ 6.12 พบว่า เมื่อนำโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มาใช้ในสภาวะการใช้งานจริง ระบบจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิม และโพรโทคอล PRMA ที่ได้รับการปรับปรุงสมรรถนะโดยอาศัยเพียงเทคนิคใดเทคนิคหนึ่ง ทั้งในแง่ของจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้ ความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง และค่าวิสัยสามารถของระบบ โดยเมื่อพิจารณา ระบบที่ผู้ใช้ดาดตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดสั้นในตารางที่ 6.11 พบว่า โพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะรองรับผู้ใช้ได้เพียง 18 คน โดยระบบจะมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.465651 แต่เมื่อมีการนำเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค PGBK จะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้เพิ่มขึ้นเป็น 27 คน โดยมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.698717 ส่วนระบบที่ผู้ใช้ดาดตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสารขนาดยาวในตารางที่ 6.12 นั้น พบว่า โพรโทคอล PRMA แบบดั้งเดิมจะรองรับผู้ใช้ได้เพียง 19 คน ที่ค่าวิสัยสามารถของระบบเท่ากับ 0.490919 ในขณะที่การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission

Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค Multiple packet assignment จะทำให้โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถรองรับผู้ใช้ได้ถึง 29 คน โดยมีค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 0.749482 ซึ่งจากผลการทดสอบในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบที่ได้จะมีค่าวิสัยสามารถที่สูง ในขณะที่มีเวลาประวิงของแพ็กเกตดาตาที่ต่ำ อีกทั้งยังสามารถรับประกันคุณภาพของการบริการได้ตามต้องการ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง เพื่อรองรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตา โดยโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จะเป็นโพรโทคอลที่มีโครงสร้างพื้นฐานบนโพรโทคอล PRMA ซึ่งจะมีจุดเด่นในแง่ของความง่ายและไม่ซับซ้อน เพื่อให้ระบบสามารถลดต้นทุนของอุปกรณ์โครงข่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีความจุที่สูงขึ้นในอนาคตได้

ในการออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง ได้แก่ ลักษณะทางธรรมชาติของข้อมูลแต่ละประเภท ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความยาวเฟรม ค่า Voice Permission Probability ค่า Data Permission Probability ที่มีต่อสมรรถนะของระบบ ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการจัดสรรโทรมัลติมีเดียให้แก่ผู้ใช้ ทั้งนี้เพื่อให้โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่บริการประเภทต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับคุณภาพของการบริการ (QoS) ที่แตกต่างกัน โดยที่บริการเสียงจะเป็นบริการที่ต้องการการส่งแบบทันทีทันใด ดังนั้นแพ็กเก็ตเสียงที่ไม่สามารถส่งได้ภายในระยะเวลาจำกัดจะถูกทิ้งไปในระบบ สำหรับบริการดาตานั้นจะเป็นบริการที่ต้องการความถูกต้องในการส่งข้อมูลสูง แต่จะสามารถทนต่อเวลาประวิงได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ควรจะ สามารถจัดสรรโทรมัลติมีเดียให้แก่ผู้ใช้ในระบบได้โดยที่มีความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาไม่สูงนัก

สำหรับองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสามารถสรุปแยกตามแต่ละบทได้ดังนี้

ในบทที่ 4 ได้นำเสนอผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งจะพบว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งมีผลกระทบกับสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA โดยตรง ได้แก่ ค่า Permission Probability และขนาดของแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ต ทั้งนี้ระบบจะใช้ค่า Permission Probability สำหรับควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้ โดยถ้าปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำ ระบบควรจะเลือกค่า Permission Probability ให้มีค่าสูง เพื่อ

เป็นการเพิ่มโอกาสในการส่งให้แก่ผู้ใช้ ในทางตรงข้าม เมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น ระบบควร จะลดค่า Permission Probability ลง เพื่อลดโอกาสในการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้

สำหรับการเลือกขนาดของแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตในระบบ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ ขนาดของเฟรมเพื่อให้อัตราการกำเนิดของแพ็กเก็ตเสียงมีอัตราคงที่เท่ากับ 1 แพ็กเก็ต/เฟรม ซึ่ง จากผลการทดสอบพบว่า การเลือกขนาดของแพ็กเก็ตที่สั้นเกินไป นอกจากจะส่งผลให้สัดส่วนของ โอเวอร์เฮดเมื่อเทียบกับสัดส่วนของบิตข้อมูลในแต่ละแพ็กเก็ตมีค่าสูงแล้ว ยังจะส่งผลให้จำนวน ไทม์สล็อตในแต่ละเฟรมมีค่าน้อย ทำให้โอกาสที่แพ็กเก็ตของผู้ใช้จะเกิดการชนกันมีค่าสูง แต่ถ้า เลือกขนาดของแพ็กเก็ตที่ยาวเกินไป จะทำให้จำนวนไทม์สล็อตสูงสุดที่ผู้ใช้เสียงจะสามารถส่ง แพ็กเก็ตไปเพื่อร้องขอไทม์สล็อตได้ก่อนที่แพ็กเก็ตเสียงจะถูกทิ้งลดลง ซึ่งจะส่งผลให้แพ็กเก็ต เสียงมีโอกาสที่จะถูกทิ้งเพิ่มมากขึ้น

ในบทที่ 5 ได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 3 เทคนิคหลัก ได้แก่ เทคนิคการปรับค่า Permission Probability, เทคนิค การลดจำนวนการร้องขอ และเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม ซึ่งแต่ละเทคนิคจะมีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

เทคนิคการปรับค่า Permission Probability ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 2 วิธี ได้แก่ วิธี VP-PRMA และวิธี Exponential Back-off โดยวิธี VP-PRMA นั้น ระบบจะอนุญาตให้ ผู้ใช้เสียงร้องขอไทม์สล็อตบางสล็อตด้วยค่า p_{max} จากผลการทดสอบจะพบว่า วิธี VP-PRMA นี้ จะช่วยให้ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จเร็วยิ่งขึ้นและส่งผลให้สมรรถนะของบริการ เสียงดีขึ้น ทั้งนี้การที่ผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p ที่สูงนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ ดาตามากนัก เพราะผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอไทม์สล็อตด้วยค่า p ที่สูงนี้เพียงแค่ 1 ครั้งในแต่ละ เฟรมเท่านั้น สำหรับวิธี Exponential Back-off นั้น ระบบจะมีการปรับค่า p และ ค่า q ตามผล ของการร้องขอในไทม์สล็อตก่อนหน้า ทำให้เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ระบบสามารถที่จะปรับลดค่า p และ q ลง เพื่อลดโอกาสในการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้ได้ ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาส ที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จมากยิ่งขึ้นและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มสูงขึ้น

เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 4 วิธี ได้แก่ วิธี PGBK, วิธี Multiple packet assignment, วิธี Slot Stealing และ วิธี Collision Reduction โดย เทคนิคเหล่านี้จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของระบบเมื่อปริมาณทราฟฟิกภายในระบบมีค่าค่อนข้าง สูง ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวจะมีจำนวนการร้องขอเป็นปริมาณมาก ทำให้แพ็กเก็ตของผู้ใช้ ในโพรโทคอล PRMA เกิดการชนกันซ้ำแล้วซ้ำอีก และไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้

สำเร็จ ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง ดังนั้นการนำเอาเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาใช้ จะช่วยลดจำนวนการร้องขอของบริการดาตา ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้และทำให้ผู้ใช้แต่ละคนมีโอกาสที่จะร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จมากขึ้น

หลักการงานที่สำคัญของเทคนิคนี้ คือ ระบบจะพยายามจัดสรรโทรม์สล็อตจำนวนหนึ่งให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ทำให้ผู้ใช้ดาตาไม่ต้องร้องขอโทรม์สล็อตทุกครั้งที่มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ต ซึ่งการทำงานของเทคนิคนี้นอกจากจะทำให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลงแล้ว ยังจะทำให้จำนวนการร้องขอในระบบลดลงและจะช่วยเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการร้องขอของผู้ใช้แต่ละคนได้ อย่างไรก็ตาม การที่ระบบจัดสรรโทรม์สล็อตจำนวนหนึ่งให้แก่ผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอโทรม์สล็อตสำเร็จ จะส่งผลให้ผู้ใช้เสียงถูกประวิงเวลาเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่ผู้ใช้เสียงจะสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ระบบจะต้องพิจารณาจำนวนโทรม์สล็อตที่เหมาะสมที่จะจัดสรรให้แก่ผู้ใช้ดาตาในการร้องขอแต่ละครั้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ผู้ใช้ดาตายึดครองโทรม์สลอตนานเกินไปจนเป็นสาเหตุให้ผู้ใช้เสียงไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตได้และแพ็กเก็ตเสียงจะถูกละทิ้งไปในระบบ จากผลการทดสอบจะพบว่าการจัดสรรโทรม์สล็อตให้แก่ผู้ใช้ดาตาด้วยวิธี Slot Stealing จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ให้ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ดาตาจะสามารถเข้าใช้โทรม์สล็อตได้ก็ต่อเมื่อเป็นโทรม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงแล้วเท่านั้น ทำให้การส่งแพ็กเก็ตของบริการดาตาไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบริการเสียง

เทคนิคสุดท้ายที่ได้นำเสนอได้แก่ เทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม โดยการแบ่งโครงสร้างของเฟรมแบบเดิมออกเป็นสล็อตร้องขอและสล็อตข้อมูล ซึ่งจากผลการทดสอบจะพบว่า การจัดโครงสร้างให้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนจำนวนสล็อตร้องขอแบบพลวัตได้จะทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดียิ่งขึ้น เพราะถ้าระบบพบว่ามี การชนกันเกิดขึ้นภายในสล็อตร้องขอ ระบบก็จะสามารถเพิ่มจำนวนสล็อตร้องขอเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่เดียวกันจำนวนสล็อตร้องขอที่เพิ่มขึ้นนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจำนวนสล็อตข้อมูล เพราะภายหลังจากที่ผู้ใช้สามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ ระบบก็จะสามารถลดจำนวนสล็อตร้องขอลงเพื่อเพิ่มจำนวนสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอได้สำเร็จได้

จุดเด่นที่สำคัญอีกจุดหนึ่งของระบบนี้ ได้แก่ การนำเอาเทคนิคคิวและเทคนิคการจัดลำดับความสำคัญของบริการมาใช้ ทำให้การยึดครองสล็อตข้อมูลของผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK ไม่มีผลต่อผู้ใช้เสียงภายในระบบ เพราะถ้าผู้ใช้เสียงสามารถร้องขอโทรม์สล็อตได้สำเร็จ สถานีฐานก็จะจัดสรรสล็อตข้อมูลให้แก่ผู้ใช้เสียงก่อนผู้ใช้ดาตาที่เซตบิต PGBK เสมอ

ในบทที่ 6 ได้เปรียบเทียบถึงข้อดีและข้อเสียของเทคนิคทั้งสามเทคนิคดังกล่าวข้างต้น พบว่าการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA โดยใช้เทคนิคบางเทคนิค เช่น เทคนิค VP-PRMA, เทคนิค Exponential Back-off หรือเทคนิค Slot Stealing นั้น จะให้ความสำคัญกับบริการเสียงมากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้ดาตาสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพของบริการดาตา จึงจะมีการนำเอาเงื่อนไขของเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตามาพิจารณาพร้อมกับเงื่อนไขของความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียง ซึ่งจากผลการทดสอบจะสังเกตได้ว่าโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการลดจำนวนการร้องขอจะยังคงมีสมรรถนะการทำงานของระบบที่ค่อนข้างดี เมื่อเทียบกับโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิคการปรับค่า Permission Probability และโพรโทคอล PRMA ที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรม โดยโพรโทคอล PRMA ที่ใช้เทคนิค Slot Stealing จะสามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากที่สุดและให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบที่สูงที่สุด ทั้งนี้เพราะผู้ใช้ดาตาจะได้รับการจัดสรรไทม์สล็อตที่ต่อเนื่องเป็นไทม์สล็อตที่เหลือจากการใช้งานของผู้ใช้เสียงแล้วเท่านั้น ทำให้การสูญเสียไทม์สล็อตเนื่องมาจากการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้เสียงและแพ็กเก็ตของผู้ใช้ดาตาดลดลงอย่างมาก ในทางตรงกันข้าม การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ด้วยเทคนิคการปรับค่า Permission Probability และเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเฟรม จะยังคงประสบปัญหาการชนกันอันเนื่องมาจากการจำนวนการร้องขอภายในระบบที่มีค่าสูง ดังนั้นจำนวนการร้องขอภายในระบบจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโพรโทคอล PRMA ซึ่งถ้าจำนวนการร้องขอภายในระบบมีค่าสูงเกินไป จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูง และทำให้ทรัพยากรต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จ

อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าสูงขึ้น จำนวนการร้องขอในระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการนำเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอมาประยุกต์ใช้อาจจะไม่เพียงพอที่จะลดการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตของผู้ใช้ได้ เพราะผู้ใช้แต่ละคนสามารถที่จะร้องขอไทม์สล็อตได้ด้วยค่า Permission Probability ที่สูงเช่นเดียวกับที่สภาวะทราฟฟิกที่ต่ำ ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิคการลดจำนวนการร้องขอ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอล PRMA จากผลการทดสอบจะพบว่าการนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability ด้วยวิธี Exponential Back-off และวิธี VP-PRMA มาใช้ร่วมกับเทคนิค PGBK จะมีความเหมาะสมกับระบบที่ผู้ใช้ดาตามีความต้องการจะส่งข่าวสารขนาดสั้น เพราะผู้ใช้ดาตาที่ร้องขอไทม์สล็อตได้สำเร็จจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้จนกระทั่งหมดชุดข่าวสาร โดยการยึดครองไทม์สล็อตของผู้ใช้ดาตานั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้เสียงมากนัก แต่เมื่อผู้ใช้ดาตามีความต้องการที่จะส่งข่าวสาร

ขนาดยาว การนำเอาเทคนิคการปรับค่า Permission Probability มาใช้ร่วมกับเทคนิค Multiple packet assignment จะมีความเหมาะสมมากกว่า เพราะระบบจะจัดสรรไทม์สล็อตให้ผู้ใช้งานดาตาส่ง แพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องภายในระยะเวลาหนึ่งเฟรม ทำให้การจัดสรรไทม์สล็อตในลักษณะเช่นนี้มีความสอดคล้องกับลักษณะทางธรรมชาติของบริการดาตาซึ่งเป็นแบบเบิรสต์และผู้ใช้ดาตาจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยมีเวลาประวิงของแพ็กเก็ตดาตาลดลง

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้วิธีการของโพรโทคอล S-Aloha ในการร้องขอไทม์สล็อตของผู้ใช้ โดยในกรณีที่ผู้ใช้มากกว่าหนึ่งคนร้องขอไทม์สล็อตในสล็อตเดียวกัน ระบบจะพิจารณาว่าเกิดการชนกันขึ้นและจะไม่มีผู้ใช้คนใดสามารถร้องขอไทม์สล็อตนั้นได้สำเร็จ ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ทรัพยากรต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยในขั้นต่อไปอาจจะนำผลของ Near/far Effect [24] มาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับแพ็กเก็ตของผู้ใช้ที่มีความแรงของสัญญาณที่ภาครับสูงที่สุดได้ เป็นการลดการสูญเสียทรัพยากรอันเนื่องมาจากการชนกันในโพรโทคอล S-Aloha

2. โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ถูกออกแบบสำหรับการร่วมบริการเสียงและบริการดาตาเท่านั้น ในขณะที่สภาวะปัจจุบันนั้น ผู้ใช้มีความต้องการทางด้านบริการที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น การรับส่งสัญญาณภาพ สัญญาณวีดีโอ ตลอดจนรูปแบบการบริการดาตาต่าง ๆ เช่น การรับส่งไฟล์ การส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงความแตกต่างและความต้องการทางด้านบริการของทราฟฟิกแต่ละประเภท เพื่อให้สามารถนำเทคนิคที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้รองรับบริการใหม่ ๆ ในอนาคตได้

3. ในทางปฏิบัติการทำงานในระบบสื่อสารไร้สายนั้น จะต้องคำนึงถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในระบบเนื่องจากสัญญาณรบกวน และในกรณีที่สถานีปลายทางไม่สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยอาศัยบิต Cyclic Redundancy Code (CRC) ที่อยู่ภายในแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตได้ ผู้ใช้ก็ต้องส่งข้อมูลดังกล่าวซ้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง

4. พารามิเตอร์ที่สำคัญพารามิเตอร์หนึ่งในการออกแบบโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงหลายทางได้แก่ค่า Permission Probability ระบบควรจะปรับค่า Permission Probability นี้ ให้มีความเหมาะสมสอดคล้องตามสภาวะทราฟฟิก ดังนั้นงานวิจัยในขั้นต่อไปควรจะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้สามารถพิจารณาหาค่าที่ดีที่สุดอย่างแท้จริง (Optimal Value) ของค่า

Permission Probability รวมทั้งการพัฒนาอัลกอริทึมในการประมาณค่าของปริมาณกราฟิกเพื่อให้สามารถเลือกวิธีการจัดสรรโหนดที่สอดคล้องกับปริมาณกราฟิกภายในระบบได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- 1 Nofal, M.; Shokair, M.; Nassar, M.; El-Halafawy, F. Reservation-based multiple access protocols for mixed-media mobile radio networks. NRSC'98 Radio Science Conference (1998) : C14/1 - C14/8.
- 2 Goodman, D.J.; Valenzuela, R.A.; Gayliard, K.T.; Ramamurthi, B. Packet reservation multiple access for local wireless communications. IEEE Transactions on Communications (Aug.1989) : 885 - 890.
- 3 Wong, W.C.; Goodman, D.J. A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission. IEE Proceedings (Dec 1992) : 607 - 612.
- 4 Liang-Seng Koh; Liu, M.T. A wireless multiple access control protocol for voice-data integration. IEEE Proceeding of Parellel and Distributed Systems (1996) : 206 -213.
- 5 Karol, M.J.; Zhao Liu; Eng, K.Y. Distributed-queueing request update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks. IEEE International Conference (1995) : 1224 –1231.
- 6 Wha Sook Jeon; Dong Geun Jeong; Chong-Ho Choi. An integrated services MAC protocol for local wireless communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology (Feb.1998) : 352 –364.
- 7 Kubbar, O.; Mouftah, H.T. Multiple access control protocols for wireless ATM : problems definition and design objectives. IEEE Communications Magazine (Nov. 1997) : 93 –99.
- 8 Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks Prentice-Hall International, 1996.
- 9 P.Sedtheetorn, P. Suwanpakdee, A. Thanasorawit, L. Wuttisittikulkij.
Improved performance of the ALOHA-reservation protocol for integrated voice and data services in wireless communication. Smartnet'99 Special Session in Intelligent Network (1999)
- 10 Fantacci, R.; Zoppi, L. A combined reservation random access polling protocol for voice-data transmissions in a wireless packet network. IEEE Transactions on Vehicular Technology (March 1999) : 652 –662.

- 11 Xiaoxin Qiu; Li, V.O.K. A unified performance model for reservation-type multiple-access schemes. IEEE Transactions on Vehicular Technology (Feb 1998) : 173 –189.
- 12 Jyh-Horng Wen; Jee-Wey Wang. A new protocol for wireless voice communications non-collision packet reservation multiple access. Sixth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (1995) : 638 –642.
- 13 Chung, H.Y.; Goodman, D.J. Transmission of speech and data using packet reservation multiple access. ICC'91 Conference Record IEEE International Conference on Communications (1991) : 99 –104.
- 14 Goodman, D.J.; Wei, S.X. Efficiency of packet reservation multiple access. IEEE Transactions on Vehicular Technology (Feb. 1991) : 170 –176.
- 15 Fantacci, R.; Zoppi, L. A combined reservation random access polling protocol for voice-data transmissions in a wireless packet network. IEEE Transactions on Vehicular Technology (March 1999) : 652 –662.
- 16 Dunlop, J.; Robertson, D.; Cosimini, P.; De Vile, J. Development and optimisation of a statistical multiplexing mechanism for ATDMA. IEEE Vehicular Technology Conference (1994) : 1040 –1044.
- 17 Jingfen Li; Shixin Chen. A new improvement of PRMA's voice service. IEEE International Conference on Universal Personal Communications (1998) :191 –194.
- 18 Dong Geun Jeong; Wha Sook Jeon. Performance of an Exponential Backoff scheme for slotted-ALOHA protocol in local wireless environment. IEEE Transactions on Vehicular Technology (Aug. 1995) : 470 –479.
- 19 Qi, H.; Wei, L. Simple and channel efficient scheme for voice data integration over PRMA. IEE Proceedings-Communications (Dec. 1999) : 354 –358.
- 20 Liang-Seng Koh; Liu, M.T. The adaptive permission reservation protocol for wireless communications. IEEE International Performance, Computing and Communications Conference (1997) : 483 –489.
- 21 Xingyao Wu; Chengshu Li. A novel protocol for the integration of voice and data

- over PRMA. IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings (2000)
: 1541 –1544.
- 22 Dunlop, J.; Irvine, J.; Robertson, D.; Cosimini, P. Performance of a statistically multiplexed access mechanism for a TDMA radio interface. IEEE Personal Communications (June 1995) : 56 –64.
- 23 Jeong Geun Kim; Widjaja, I. PRMA/DA: a new media access control protocol for wireless ATM. IEEE International Conference on Communications (1996)
: 240 –244.
- 24 Goodman, D.J.; Saleh, A.A.M. The Near/Far Effect in Local Aloha radio Communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology
(Feb.1987) : 19-27.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากส่วนหนึ่งของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในงานการประชุมทางวิชาการ 4th World Multiconference on Systemics Cybernetics and Informatics and 6th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis ที่รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ในวันที่ 23-26 กรกฎาคม พ.ศ. 2543 ในชื่อบทความทางวิชาการเรื่อง On the Design of a Media Access Control Protocol for Integrated Voice and Data Services in Wireless Communications ดังนั้น จึงขออนุญาตความที่ได้รับการตีพิมพ์มาเสนออีกครั้งหนึ่ง ในภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ON THE DESIGN OF A MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL FOR INTEGRATED VOICE AND DATA SERVICES IN WIRELESS COMMUNICATIONS

P. Suwanpakdee, P. Sedtheetorn, A. Thanasorravit and L. Wuttisittikulij

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand 10330
Tel. +662 2186512 Fax. +662 2518991
Email: lunch@ee.eng.chula.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a comprehensive study of a media access control (MAC) protocol design for integrated voice and data services in wireless communications. In order to achieve high levels of channel utilization and guarantee quality of services, key issues on the protocol design have been identified and extensively investigated. These include channel assignment, priority mechanism and the determination of a proper frame length. According to our intensive study results, it is found that the combination of channel assignment techniques between multiple packets with priority and queuing for already admitted terminal in short frame length conditions is suitable for supporting integrated voice and data services.

Keyword: Media access control, MAC, Wireless, Voice and Data

1. INTRODUCTION

In order to satisfy the rapid growth in the demand for wireless communications, which support a wide range of applications including voice and data, a vast improvement in its spectral efficiency is required. One of the most important issues in the design of these systems is the medium access control (MAC) protocol. Over the past decade, a number of MAC protocols based on TDMA have been proposed for integrated voice and data services. These protocols can be classified into contention-free and contention-based schemes. For the contention-free scheme [1,2], each terminal has its own request slot in order to reserve an information slot, therefore packet collision never occur. For the contention-based scheme, all terminals share a fixed number of request slots. This scheme may cause collision; however, the overhead utilization can be made superior to the former.

As to the design of a MAC protocol in this paper, we emphasize the latter scheme because of its high overhead efficiency. Moreover, appropriate control of the request packet transmission can alleviate or minimize the packet collision problem.

Among contention based protocols, the notable one is PRMA [3]. In PRMA, when the terminal needs to transmit packets, it begins to contend for the channel by transmitting its packet in available slots until it succeeds in a transmission. After a successful transmission, the terminal will obtain a reservation for the exclusive use of the corresponding time slots in subsequent frames. This protocol is suitable for voice, which is a continuous traffic, but it may not be effective for supporting both voice and data traffic simultaneously. For example a variant of PRMA [4] requires each individual packet of the data terminal to contend for access. With this scheme, the effect of contentions from data packets will significantly reduce the quality of voice transmission. In addition, PRMA, which uses information packets for contention, does not have sufficient slots to reduce possible contentions caused by random access. Another protocol modified from PRMA to support data traffic is IPRMA [5]. In this protocol, voice or data terminals must contend only to send their first packet and the remaining packets are continually sent in the reservation mode, thereby reducing contention from data packets in comparison to PRMA [4]. However the problem of using information packets for requests is not solved. To overcome this, the MPRMA protocol was proposed [6]. It uses minislots for contention and exploits the last bit of each packet or continuation flag for transmitting subsequent packets. However, this protocol is not suitable for long data messages because a data terminal can send only one packet per frame. This implies that the remaining packets in the message must wait for transmission in the following frames, even if there may be empty slots available in the current frame. This could cause excessive delay to data packets. Another well-known protocol worth mentioning is DQRUMA [7]. This is a protocol designed specifically for data traffic. The protocol implements the same concept of using the last bit of each packet to indicate whether there are further packets waiting for transmission but this mechanism is referred to as "piggy backing (PGBK)". Another protocol such as HAR [8] is superior to the above-mentioned protocols. The protocol allows a data terminal to send packets based on its requirement and periodically assigns available slots to voice terminals the same as in [3]. In addition, it uses minislots for contention as in [6]. However, the channel assignment of this protocol is not based on priority of voice over data transmissions in order to guarantee the quality of voice connections. PRMA-DSA [9], RRA [10] and a published protocol [11] provide priority assignment based on the quality of services of both traffics but they require a complicated mechanism.

Another mechanism that can improve the system performance is that if a base station cannot assign information slots to the successful request terminals, these terminals have to contend for reserving slots again in

the following frames. Therefore, the system may suffer from repeated collision especially when the number of terminals in the request state are high. As a result, a queue mechanism is applied to the terminal in which its request is successful but no available information slot can be assigned at that time. The slot-by-slot protocol such as DQRUMA [7] and a published protocol [12] use this technique to queue already-admitted terminals and assign available slots to them later.

In this paper, the operational mechanisms of each protocol mentioned above are addressed as well as their advantages and disadvantages. We intensively studied these MAC protocols and classified them as five protocols based on their channel assignments. Thereupon, we determined the appropriate protocol for integrated voice and data services. Furthermore, we also investigated the proper size of frame length and its effect on the system performance.

2. KEY DESIGN CONSIDERATIONS

2.1 Traffic characteristics

In general, voice traffic is treated as a time-ordered sequence of talkspurt and silent gap and its packets are constantly generated during the talkspurt period. Since voice packets require immediate transmission, packets delayed beyond a certain time (an upper limit of 32 ms [3]) are invalid and should be discarded. Therefore, both voice dropping probability and maximum tolerable delay are very important parameters for the system design. There is evidence that speech distortion due to a 1% packet dropping is barely audible; hence, a 1% dropping rate is adopted as the dropping constraint in our study. For data traffic, it is bursty by nature. Each burst or message of data traffic contains a variable number of packets. Consequently, the data terminals have to divide each message into a number of packets before the actual data transmission can take place. Besides, data traffic requires zero information loss, but the delay requirements are less stringent than those regarding voice traffic.

2.2 Channel Assignment

In order to understand the usage of each mechanism described above, it is useful to classify the MAC protocols studied into 5 categories according to the channel assignment, namely i) single packet with PGBK, ii) single packet with PGBK and priority assignment, iii) multiple packet assignment, iv) multiple packet with priority assignment and v) multiple packet with priority assignment and queuing. These protocols have three features in common.

1. They all operate on a contention-based scheme. Active terminals will contend (by slotted-Aloha) for information slots via request slots in the reservation part, see Figure 1.
2. To satisfy the nature of voice traffic, when an active voice terminal successfully transmits its first packet, the base station continually assigns the corresponding slots to subsequent frames until the end of the talkspurt.
3. They exploit the fact that the round trip propagation delay between wireless terminals is very short. Due to this short delay, terminals can respond to the outcomes of their transmission almost immediately since their acknowledgements can be received promptly.

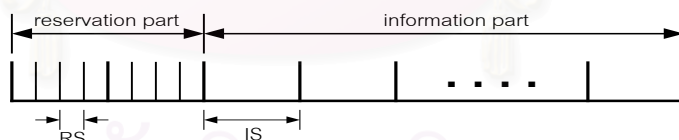


Figure 1: frame structure of designed protocols

The different features of each individual protocol can be described as follows.

1. **Single packet with PGBK:** each data terminal can send only one packet per frame and uses PGBK to indicate whether the terminal still has packets left for transmission. Whenever there are no slots available for the successful request terminals, these terminals have to make a new request in the next frames. An example of protocols using this channel assignment is MPRMA [6].
2. **Single packet with PGBK and priority assignment:** this protocol is developed from the first by assigning a higher priority to voice traffic than data. A base station assigns available slots in the following order; voice reserved packet, new access voice packet, PGBK data packet and new access data packet. When the terminal succeeds in request access, it must wait for at least one frame for channel allocation by the base station so that the priority assignment can be executed. A protocol described in [12] is an example of MAC protocols that have adopted this scheme.
3. **Multiple packet assignment:** each data terminal can send more than one packet per frame. If the number of available information slots in the present frame is not enough for the terminal's requirement, the remainders of data packets will be assigned to the next frame. In case the terminal continues to occupy the channel over a long period of time, other terminals will not be able to transmit their packets and must keep accessing the request slots until the channel is available. Examples of protocols classified

into this category include ALOHA-r [4], IPRMA [5] and HAR [8]. Note that the channel allocations of PRMA/DA [13] and ATDMA [14] are partially different from this protocol.

4. **Multiple packet with priority assignment:** this protocol has been developed from the third protocol by applying the priority to traffics in the following order; voice reserved packet, new access voice packet, remainder of data packet and new access data packet. As in the second protocol, the successful request terminals will have to wait for transmission permission for at least one frame. Examples of protocols falling into this category are PRMA-DSA [9], RRA [10], a published protocol [11] and PODA [15].
5. **Multiple packet with priority assignment and queuing:** This model applies voice and data queue mechanisms to multiple packets with a priority assignment protocol for the already-admitted terminals the base station cannot assign available information slots to. This means that each terminal needs not re-access the request slot because its successful request will be kept in the queue and the terminal will only has to wait for information slots from the base station.

2.3 Frame length

Most protocols found in the literature [3-6, 8, and 13] have adopted the frame length equal to the voice packet generation period. However, there are certain protocols that choose other frame sizes devoid of specific criteria, [11]. It is not clear how the frame length will affect the system performance. Therefore, to understand its impacts, we investigated three different frame sizes, namely half, equal and twice the voice packet generation period. The base station continuously assigns one slot per two frames, one slot per frame and two slots per frame to each active voice terminal in the case of short, normal, and long frame lengths, respectively (see Figure 2).

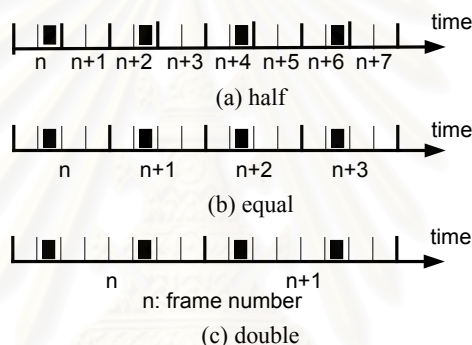


Figure 2: periodic assignment in half, equal and double frame lengths relative to voice generation period.

3. SIMULATION PARAMETERS

Our assumption as to the design of frame-based MAC protocols is that the system operates in the frequency division duplex (FDD) mode. The base station and the terminals communicate with each other using two separated channels. The base station uses the downlink channel to broadcast control and information traffic to the terminals, whereas the terminals use the uplink channel to transmit their traffic to the base station. In addition, it is further assumed that the propagation delays are negligible and each transmission channel is error free. The system operates in wireless ATM network environments with the channel rate of 792 kbps and each mobile user independently generates both voice and data packets during the entire simulation time. For voice traffic, the durations of talkspurt and silent gap are exponentially distributed with a mean value of 1 and 1.35 seconds, respectively. The bit rate generated by each terminal is 32 kbps. The data message arrival behavior of each user can be modeled by a Poisson process, and its length (i.e. number of packets) follows a geometric distribution with the mean varying from 1 to 100 packets at a rate of 5.76 kbps/user. Hence, that a shorter data message is generated more frequently than a longer one.

Each packet normally contains a 128-bit payload, but the use of a (31,16) cyclic redundancy code [16] increases the total payload of the MAC layer to become 248 bits. In addition, a 40-bit overhead is added for the purpose of identifying the terminal's ID (8 bits), type of services (1 bit), informing the base station as to the number of packets the data terminals want to send (8 bits) and the physical layer overhead (23 bits).

The frame structure used in our protocol is shown in Figure 1. The frame is divided into two parts; namely reservation part and information part. Users can contend for request slots (RSs) in the reservation part whereas regular slots are used for sending information packets. The size of the RS is 4 times smaller than that of the IS. For the ratio between the number of RSs and ISs, careful investigation has shown that the ratio of 4:10 is appropriate. The details of this investigation will be given in the later section.

4. SIMULATIONS AND DISCUSSION

In this section, We first discuss the effects of data message length on the system performance of each class of the five protocols described above. We then compare the system performance between the single packet

schemes and the multiple packet systems. After that, we examine the effect of the queue mechanism as to improving the performance of the multiple packet system with priority and investigate the impact of frame size on the system performance. To achieve efficient channel utilization, it is important to identify the overhead ratio, therefore we illustrate the determination of this ratio as examples in the multiple packet with priority and single with PGBK and priority systems. Finally, we highlight the essence of priority assignment on the system performance.

4.1 Effects of message length

4.1.1 Single packet with PGBK system

Figure 3(a) shows that at low to medium offered loads, the mean data packet delay is increased along with the message length. This is as expected because each data terminal can send only one packet per frame; hence, long messages require more frames to complete their transmission. For the voice dropping probability, there are two influential factors that must be considered: the amount of data request packets and the channel occupancy period of each continuous transmission by a data terminal. For the same level of traffic load, short messages generate more request packets but they occupy the channel for a shorter period of time than long messages. Based on the results in Figure 3(b), it appears that the dropping probability of voice packets is more severe in short data message environments. Therefore, the amount of data request packets has a greater impact on the quality on voice packet transmission than the data terminal occupancy period. It is worth mentioning that the PGBK mechanism is important for the single packet system protocol. Without it, the amount of data request accesses will increase considerably, causing serious collisions in the request slots.

4.1.2 Single packet with PGBK and priority assignment for the voice terminal system

In Figure 4, the priority assignment is applied to voice service. As in the previous case, similar results are observed but the mean delay of data packets is slightly worse than in the previous scheme. This is due to the fact that voice terminals are always allocated first and each terminal must wait at least for one frame before gaining priority. Contrasting that, the voice packet dropping probability is marginally improved from the first protocol as a result of the priority scheme. It should be noted that the improvement becomes significant only under heavy load conditions with very long data messages, because this is the only situation where the priority scheme can really make an impact.

4.1.3 Multiple packet system

The simulation results in Figure 5(a) show that the mean delay of data packets of the multiple packet technique is significantly improved in comparison to that of the single packet technique in Figure 3(a). This is mainly attributable to the bursty nature of the data arrival process. However, the dropping probability of voice packets becomes worse (Figure 5(b)), as the base station allows each data terminal to continue sending its packets until the end of the message; the channel occupancy of the terminal can span as many frames as it wishes. Any new arrival of voice packets during that period could be held up in the buffer until that particular data terminal releases the channel. If these voice packets are held up for over 32 ms, the equivalent of 8 frames or 88 timeslots (or packets) in this system configuration, they will be discarded. Therefore, transmission of a message longer than 80 packets can easily cause voice packet droppings; this is evident from the results in Figure 5(b) where the mean message length is 100 packets.

4.1.4 Multiple packet with priority system

As seen in Figure 6(b), applying priority to the multiple packet system can significantly improve the dropping probability of voice packets, particularly for long data messages. This is because with priority, no matter how long the data message is, its occupancy period can no longer affect the voice transmission quality. Therefore, in this system long messages should actually perform better than the shorter ones because they have fewer request packets. However, this voice dropping improvement is achieved at the expense of a slight increase in the mean data packet delay (Figure 6(a)). This investigation indicates clearly that the priority mechanism is crucial for the system performance of the multiple packet protocol.

4.2 Performance comparison among the techniques studied

4.2.1 Single packet with PGBK system vs Multiple packet system

In Figures 3(a) and 5(a), the mean data packet delay in the single packet with the PGBK system appears to be higher than that of the multiple packet case. This disparity is obviously greater if the message length is increased. The multiple packet system seems advantageous as it allows data terminals to send more than one packet per frame so their packets can be completely sent within one or just a few frames. On the other hand, the single packet with the PGBK system allows only one packet per frame, thus more frames are required and the mean data packet delay is clearly increased.

In Figures 3(b) and 5(b), the probability of voice dropping of the single packet with the PGBK system is lower than that of the multiple packet system. The latter allows data terminals to send many packets in one frame and, sometimes, there are not enough idle slots to support voice terminals. This difference is distinctive especially when the amount of packets per message is high which can be explained as follows. When the amount of packets is increased, data terminals in the multiple packet system tend to occupy most of the information slots, thus

impeding the voice terminals from using the channel. Note however that under heavy traffic conditions the data terminals in the single packet system can also occupy most of the information slots, and hence causing the same problem.

4.2.2 Single packet with PGBK and Priority system vs Multiple packet with Priority system

The mean data packet delays in priority-assignment systems are depicted in Figures 4(a) and 6(a). It appears that the results are similar to non-priority assignment systems; however, as a consequence of higher priority given to voice terminals, the mean data packet delay is higher than that of a non-priority assignment system. Voice dropping is increased as a function of message length in both systems (Figures 4(b) and 6(b)). It can be seen that the improvement in voice dropping of the single packet with PGBK and priority system results from the use of PGBK. This system exploits PGBK in reducing the number of requests via access channels, leaving more available access slots. As a result, mobile users can succeed early and more easily in slot reservation. Nevertheless, this disparity is clearly greater particularly when the message length increases because the effect of PGBK is prominent.

Based on the above discussion, it can be seen that each technique is suitable for different traffic conditions. The single packet schemes are suitable for voice transmission whereas the multiple packet schemes are more suitable for data traffic. In the next section, we will examine how the performance of multiple packet schemes can be further improved to efficiently support both voice and data services simultaneously by introducing a queue concept.

4.3 Effect of queue

From Figure 7, it should be noted that the multiple packet with priority and queuing system can minimize the mean data packet delay and the voice dropping compared to all other systems above. This is because the applied queue results in the decrease of the number of requests. As all previous simulation results have revealed that the number of requests is the pivotal factor which influences the system performance, the queuing technique can greatly improve the system performance.

It is also interesting to note that the function of the queue mechanism is in effect similar to the PGBK operation to some extent. In the PGBK system, a successful request is effectively kept in the queue at the base station while it waits for channel assignment. Nonetheless, the maximum number of terminals waiting in the queues for the PGBK system does not exceed the amount of time slots in one frame whereas the amount of queuing terminals in the multiple packet system can be unlimited.

4.4 Effect of frame length

According to the frame structure used in this paper, a terminal will see request slots once per frame. If the traffic arrival time is uniformly distributed over each frame period, the terminal will wait on average for half a frame time before it acquires the first request slot. In case the terminal does not succeed in accessing the request slots either due to collisions or lack of empty information slots, the terminal will have to repeat the request in the following frames, causing an extra frame delay per each request attempted. Note that for the systems with priority there will be an additional one-frame delay for the base station to determine whether the terminal request can be accepted. It is not difficult to see that all these delays increase in direct proportion to the frame sizes.

According to the simulation results (Figures 8(b) and 9(b)), the voice dropping rate is rather high for long frame lengths which can be explained as follows. The frame size is 8 ms in length. Therefore, the voice terminal must succeed in accessing the request slots within 2-3 frames, otherwise packet dropping will inevitably occur. In contrast, for normal and short frame systems the voice terminal will have in excess of 6 and 14 frames respectively to try.

As to the mean delay performance of data packets (Figures 8(a) and 9(a)), the results are not as straightforward. The short frame length system is not necessarily always superior to the longer frame length systems; the performance is dependent on the system protocols used. For the single packet systems, the short frame length system performs better than the long frame length system. This is due to long frame length implying a large number of information slots and hence a greater likelihood for the information slots to be not fully utilized at all times in comparison with the shorter frames, thereby resulting in longer delays. In contrast, with heavy loads, long frame length is advantageous for multiple packet systems. This is primarily due to the excessive losses of voice packets that leave more empty slots to data packets. Unlike the single packet systems, the multiple packet systems are able to take advantage of these empty slots.

4.5 Determination of the ratio between RSs and ISs

To determine the proper number of RSs per frame, we vary RSs from 1, 2, 4, 8, 12, 16 and 20 slots per frame at various data message lengths from 1 to 100 packets per message. After that, we evaluate the system performance by measuring the maximum number of users that the systems can support under 1% voice packet dropping rate constrain. At the short data message environment (1 to 5 packets per message), request accesses occur frequently, therefore the number of RSs should be large to accommodate the request from data terminals. As a result, the systems, which have 1 and 2 RSs per frame, can serve the number of users less than the others (3 and 6 users in multiple packet with priority system and 5 and 10 users in single packet with PGBK and priority system as shown in Figure 10). However, the large amount of RSs decreases the number of ISs, thus the appropriate number of RSs in this environment should be traded off between two mentioned constrains. Our experimental results show that when the number of RSs equal 8 per frame in single packet with PGBK and priority, the system can serve

more users than the others (14 users) whereas the appropriate number of RSs for multiple packet with priority system is 12. From this result, it is found that, multiple packet system needs the number of RSs more than single packet with PGBK. This is because the successful request in single packet with PGBK system seems to be kept in the queue at the base station while it waits for channel assignment. Whereas, in multiple packet system, the base station assigns ISs to the terminal until end of message. This operation may cause the other successful request terminals request again if the base station can not assign available slots to them in the current frame. At medium to long data message (10 to 100 packets per message), the number of request access is reduced then the large number of RSs is not required. Therefore the systems with short overhead (the number of RSs equal 1, 2, 4) is preferable than the long ones. Figure 10 confirms that in the case of 20 to 100 packets per message environment, the systems, which have the number of RSs equal 1, 2, 4, can serve more users than the others. Note that the number of users, which the system can serve, is increased with the increase of message length because of the reduction of request, which is the significant impact of system performance. However, this effect is not clearly evident in large number of RSs especially in the case of 20 request slots per frame in which the number of users is constant at 9 for every message length. This is because the number of RSs is sufficient for the number of request access at every data message length environments.

As above simulation results, the system that has 4 RSs per frame (ratio between number of RSs and ISs is 4:10) is the most preferable. Then we use this ratio in our simulation.

5. CONCLUSIONS

In this paper, a design study of MAC protocols for integrated voice and data services using several channel assignment techniques has been investigated. The effects of each technique and the frame length on the system performance have been identified. Each strategy has various advantages and disadvantages. The multiple packet system has been found superior to the single packet with the PGBK system in terms of the mean data packet delay, but voice dropping worsens and the disparity is clearly observed in long message conditions. By applying priority assignment to the above techniques, the voice service quality is improved especially in the multiple packet system. Furthermore, the applied queue has the advantage of reducing access delay and yields better performance of the protocol.

In terms of frame size, the short frame length is particularly suitable for voice traffic. This is due to the fact that the interval between subsequent access slots is short and the terminal can gain earlier access to information slots. However, the average data delay in the long frame length system is shorter than that in the short frame length because there are enough information slots in each frame so that a message transmission can be completed within one frame. In the PGBK system, a short frame length system performs better than a long frame length system because the time required to complete sending each data message is decreased. This is particularly distinct for long messages.

In conclusions, our investigations indicate that the combination of channel assignment techniques between multiple packets with priority and queuing for already admitted terminal in short frame length conditions is suitable for supporting integrated voice and data services.

7. REFERENCES

- [1] J.H. Wen, J.W. Wang, "A new protocol for wireless voice communications- non-collision packet reservation multiple access," IEEE Proc. of PIMRC, 1995, pp.638-642.
- [2] S.A. Tanenbaum, Computer networks, third edition, Prentice-Hall International, Inc., Chapter 4, 1996.
- [3] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela, K.T. Gayliard, B. Ramamurth, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," IEEE Trans. Commun., vol.37, no.8, 1989, pp.885-890.
- [4] T. Suzuki, S. Tasaka, "A performance comparison of ALOHA-Reservation and PRMA in integrate voice and data wireless local area networks," IEEE Proc. of TENCON, vol.2, 1992, pp. 754-758.
- [5] W.C. Wong, D.J. Goodman, "A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission," IEE Proc.-I, vol.139, no. 6, Dec. 1992, pp.607-612.
- [6] L-S Koh, M.T. Liu, "A wireless multiple access control for voice-data integration," IEEE Proc. of Parallel and Distributed Systems, 1996, pp.206-213.
- [7] M.J. Karol, Z. Liu, K.Y. Eng, "Distributed queuing update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks," IEEE Proc. of ICC, Jun.1995, pp.1224-1231.
- [8] W.S. Jeon, D.G. Jeong, C-H Choi, "An integrated services MAC protocol for local wireless communications," IEEE Trans. Veh. Technol, vol. 47, Feb. 1998, pp.352-364.
- [9] G. Wu, K. Mukumoto, A. Fukuda, "A PRMA integrated voice and data system with data steal into voice (DSV) technique," IEEE Proc. of GLOBECOM, 1994, pp.476-482.
- [10] A.C. Clearly, M. Patterakis "An investigation of reservation random access algorithm for voice-data integration in microcellular wireless environments," IEEE Proc. of GLOBECOM, 1994, pp.314-319.
- [11] W.C. Chan, E. Geraniotis, "A medium access protocol for interconnecting ATM and wireless networks," IEEE Proc. of ICC, vol. 3, pp.1448-1453.
- [12] M. Yamamoto, S. Machida, H. Ikeda, "Access control scheme for multimedia ATM wireless local area networks," IEICE Trans. Commun., vol. E81-B, No. 11, Nov. 1998, pp. 2048-2055.
- [13] J.G. Kim, I. Widjaja "PRMA/DA: a new media access protocol for wireless ATM," IEEE Proc. of ICC, Jun. 1996, pp. 240-244.
- [14] D. Raychaudhuri, N.D. Wilson "ATM-based transport architecture for multiservices wireless personal communication network," IEEE JSAC, vol. 12, Oct. 1994, pp. 259-272.
- [15] H. Peyravi, "Medium access control protocols performance in satellite communications," IEEE Commun. Mag., vol.37, March 1999, pp. 62-71.

- [16] G. Beneli, L. Favalli, G. Filigheddu, "A data link layer protocol for wireless ATM," IEEE Proc. of ICC, vol. 3, pp. 1438-1422.
- [17] N. Passas, S. Paskalis, D.Vali , L.Merakos, "Quality-of-services-oriented medium access control for wireless ATM network," IEEE Commun. Mag., Nov. 1997, pp.42-50.
- [18] J. Sanchez, R. Martinez, M.W. Marcellin, "A survey of MAC protocols proposed for wireless ATM," IEEE Network, vol. 116, Nov.-Dec. 1997, pp. 52-62.

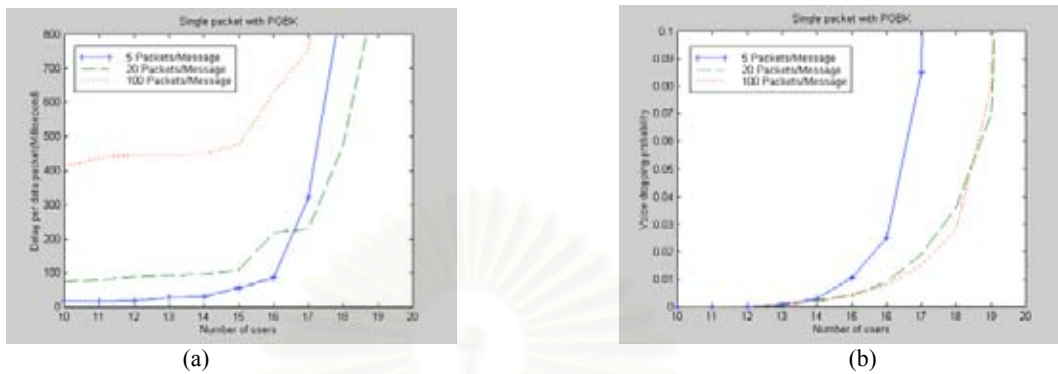


Figure 3: Single-Packet-with-PGBK system

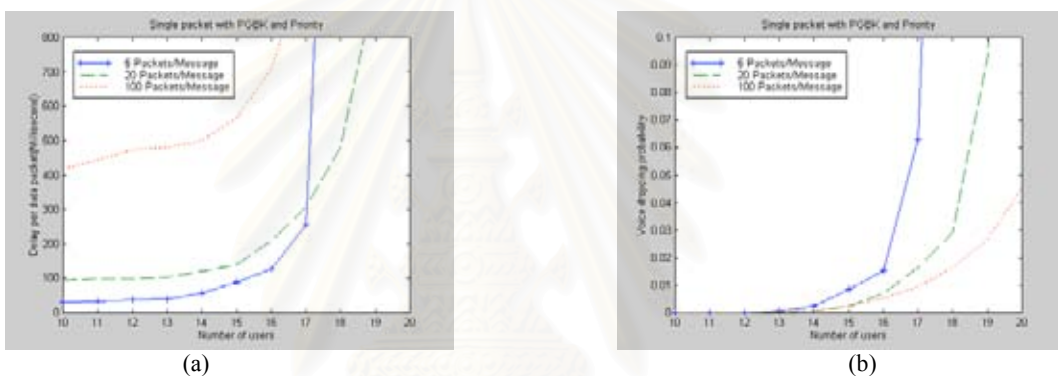


Figure 4: Single-Packet-with-PGBK-and-Priority system

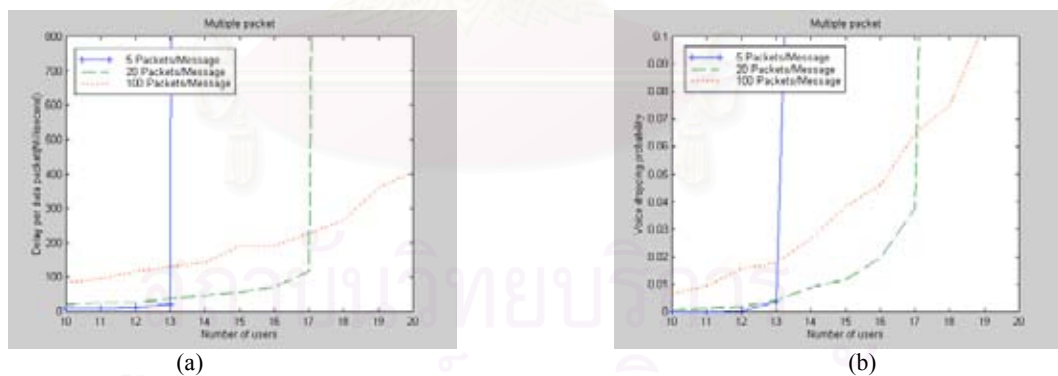


Figure 5: Multiple-Packet system

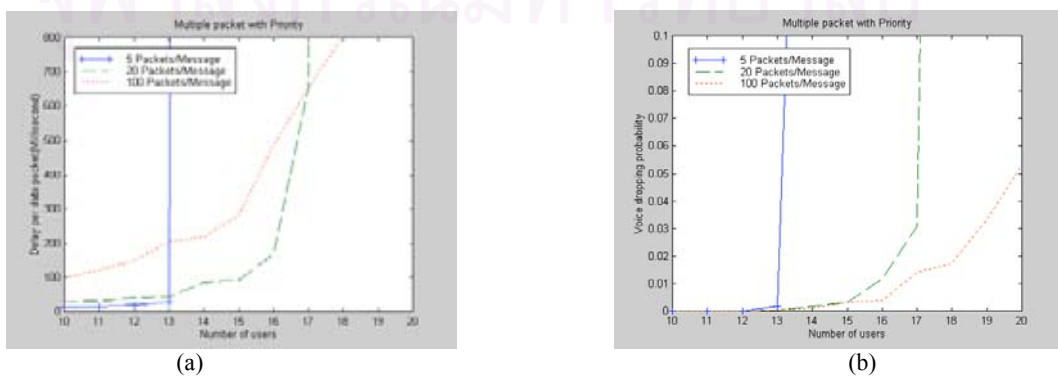


Figure 6: Multiple-Packet-and-Priority system

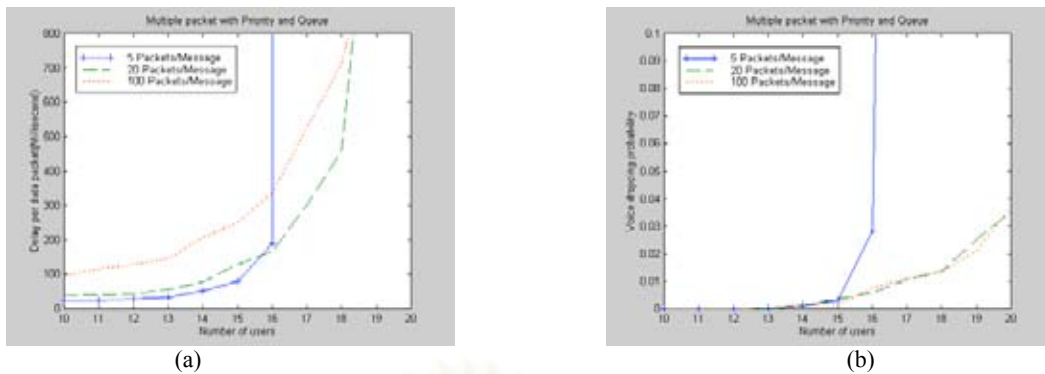


Figure 7: Multiple-Packet-and-Priority-with-Queuing system

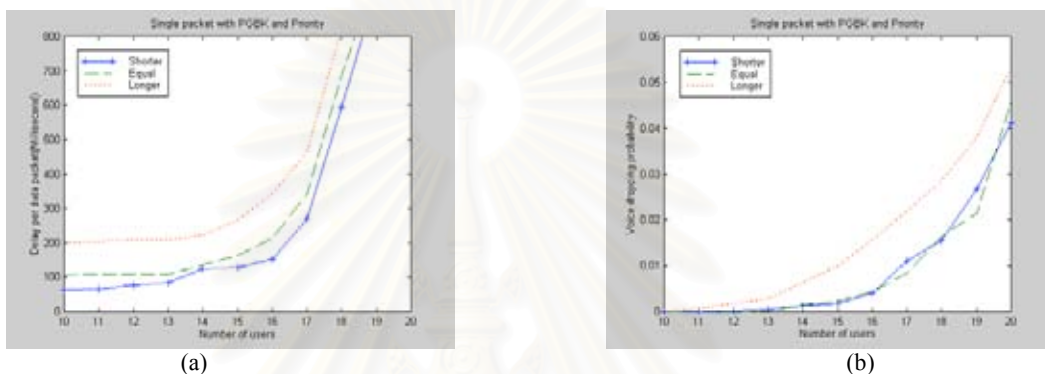


Figure 8: Single-packet-with-PGBK-and-priority system in different frame length situations (20 Packets/Message)

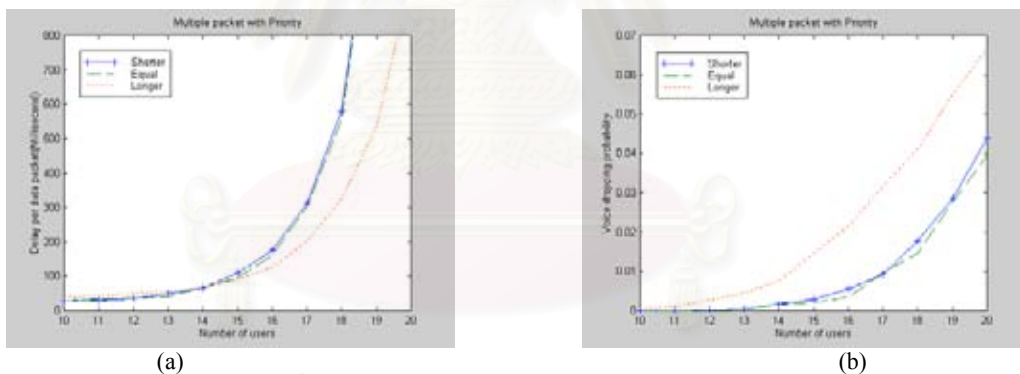


Figure 9: Multiple-packet-with-priority system in different frame length situations (20 Packets/Message)

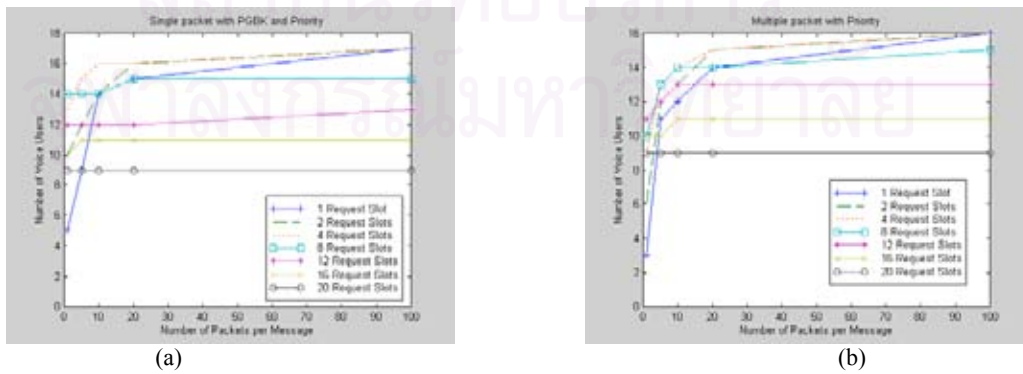


Figure 10: Effect of Request slot in Multiple-packet-with-priority system and Single-packet-with-PGBK-and-Priority system

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชชา สุวรรณภักดี เกิดวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย