



การออกแบบโพรโทคอลในการเข้าใช้ตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณ  
สำหรับบริการข้อมูลประเภทเสียง และดาต้าในระบบสื่อสารไร้สาย

โดย

ลัญฉกร วุฒิสทิทธิกุลกิจ (Ph.D Essex)

โครงการวิจัยเลขที่ 167-ไฟฟ้า-2543

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

ธันวาคม 2544

การออกแบบโปรโทคอลในการเข้าใช้ตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณ  
สำหรับบริการข้อมูลประเภทเสียง และดาต้าในระบบสื่อสารไร้สาย

โดย

ถัญฉกร วุฒิสัทธาภักดิ์ (PhD Essex)



โครงการวิจัยเลขที่ 167-ไฟฟ้า-2543

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

นางสาวกรรณิศา อัคร และอ้อม  
มอบให้ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A ๘๓ ๕๕

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

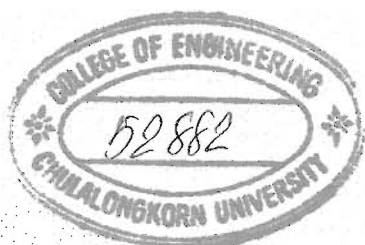
ธันวาคม 2544

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณที่สามารถรองรับ ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ร่วมกันในระบบสื่อสารไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพตามความต้องการคุณภาพในการบริการของทราฟฟิกแต่ละประเภท แนวคิดในการพัฒนาโพรโทคอลที่เสนอในรายงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ได้ 2 ส่วนคือ ส่วนของการเข้าจองช่องสัญญาณและส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณ สำหรับการจองช่องสัญญาณได้เสนอวิธีในการกระจายสล็อตสำหรับจองอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมและเทคนิคการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่อย่างเท่า ๆ กัน เพื่อลดเวลาประวิงที่เกิดจากการรอสล็อตสำหรับจองช่องถัดไป นอกจากนี้ได้มีการเสนอกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตการจองตามปริมาณไหลด้อย่างพลวัต 2 ลักษณะ คือ การใช้ความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยร่วมกันของทุกความถี่ และการเซตค่าความน่าจะเป็นแยกกันตามแต่ละความถี่ ทั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการกำหนดค่าความน่าจะเป็น 2 แบบ คือ exponential backoff และ Bayesian broadcast

สำหรับส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณ โพรโทคอลที่นำเสนอจะจัดสรรแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับความต้องการหรือคุณลักษณะของทราฟฟิกแต่ละประเภท ในกระบวนการปรับปรุงประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณ รายงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่ไว้ดังนี้คือ ในกรณีของทราฟฟิกเสียงมีการใช้บิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตในการบอกถึงสถานะของแหล่งกำเนิดเพื่อลดการสูญเสียของสล็อตข่าวสารโดยไม่จำเป็น สำหรับทราฟฟิกข้อมูลได้เพิ่มกลไก 3 อย่างในการลดปัญหาความไม่เท่าเทียมกันในการใช้ช่องสัญญาณของ message ที่มีขนาดแตกต่างกัน ได้แก่ การจำกัดการส่ง การแบ่งสล็อตข่าวสารอย่างยุติธรรม และการจัดสรรให้กับข้อมูลที่มี message สั้นก่อน นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการประยุกต์เทคนิคคิวที่สามารถลดปริมาณการเข้าจองและจำนวนโอเวอร์เฮดของสล็อตสำหรับจองได้ ถึงแม้ว่าโพรโทคอลที่เสนอจะมีความซับซ้อนมากกว่า โพรโทคอลเดิมคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ และโพรโทคอล MDRMA แต่โพรโทคอลที่เสนอนี้ก็จะมีสมรรถนะที่สูงขึ้นและสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากกว่าโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ และโพรโทคอล MDRMA ประมาณ 10 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



## Abstract

This research report presents a development of an effective multichannel media access control protocol, supporting integrated voice and data services and satisfying different quality of services requirements in wireless communication systems. The concepts in developing the proposed protocol can be divided into 2 main parts, i.e. channel reservation and channel assignment. For the channel reservation, this research report proposes a method of distributing reservation slots uniformly all over a frame and a technique of using different time offsets for frames of different frequencies, in order to reduce the delay in waiting for the next reservation slot. Furthermore, this research report introduces 2 dynamically updating packet transmission probability techniques, namely defining the average probability for every frequency and setting the probability separately for each frequency. In determining an appropriate transmission probability, two distinct algorithms are applied, i.e. exponential backoff and Bayesian broadcast.

For the channel assignment, the proposed protocol will allocate bandwidth of the channel based on the requirement or characteristics of each traffic. In the process of improving the channel assignment, this research report proposes several new techniques as follows. In the case of voice traffic, the last bit of each packet is used to indicate the source status in order to reduce unnecessary waste of information slots. For data traffic, three mechanisms are added to alleviate the unfairness problem of different message sizes; this includes limiting transmission, fair sharing of information slots and always assigning shortest data message first. Moreover, this research report presents a queue technique that can decrease the number of reservation attempts and reservation slot overhead. Although the proposed protocol is more complicate than the previously known the multichannel slotted-ALOHA and the MDRMA, it has superior performance and can support more users than the multichannel slotted-ALOHA and the MDRMA protocols about 10 and 50 percents, respectively.



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณท่าน ศ.ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลกร หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม Telecommunication System Research Laboratory (TSRL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์วิจัย การเงิน และสถานที่ พร้อมให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการและการถ่ายทอดประสบการณ์การทำงานวิจัยที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายพงศธร เศรษฐีธรรม ซึ่งเป็นบุคคลที่มีส่วนสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีงบประมาณ 2543 สำหรับการทำงานวิจัยโครงการนี้เป็นอย่างดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์.....	2
1.3	ขอบเขตของวิจัย.....	3
1.4	ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	4
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	5
2.1	กล่าวนำ.....	5
2.2	การแบ่งประเภทของโพรโทคอล MAC ที่เข้าตัวกลางแบบ TDMA.....	5
2.2.1	การสัญญาณสองทาง.....	6
2.2.1.1	การสัญญาณสองทางแบบแบ่งความถี่ (frequency division duplex signaling, FDD signaling).....	6
2.2.1.2	การสัญญาณสองทางแบบแบ่งความเวลา (time division duplex signaling, TDD signaling).....	7
2.2.2	การชิงชิงช่องสัญญาณ.....	8
2.2.2.1	โพรโทคอลที่ไม่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ (contention-free protocol).....	8
2.2.2.2	โพรโทคอลที่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ (contention-based protocol).....	9
2.2.2.3	โพรโทคอลที่ผสมวิธีการชิงชิงช่องสัญญาณของทั้งสองรูปแบบ.....	10
2.2.3	การจัดสรรช่องสัญญาณ.....	10
2.2.3.1	โพรโทคอลที่มีการจัดสรรในหน่วยของสล็อต (slot-by-slot assignment protocol).....	10
2.2.3.2	โพรโทคอลที่มีการจัดสรรในหน่วยของเฟรม (frame-by-frame assignment protocol).....	11
2.3	โพรโทคอลแบบหลายช่องสัญญาณ.....	11
2.4	ตัวอย่างของโพรโทคอลแบบหลายช่องสัญญาณที่ถูกเสนอขึ้นในปัจจุบัน.....	12
2.4.1	โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ.....	12

สารบัญญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4.2 โพรโทคอล MDRMA.....	15
2.4.3 โพรโทคอล R-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ.....	17
3 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน.....	18
3.1 กล่าวนำ.....	18
3.2 ข้อบกพร่องบางประการของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ ที่เคยถูกนำเสนอมา.....	19
3.3 การออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ สำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน.....	21
3.3.1 โครงสร้างเฟรมของช่องสัญญาณ.....	21
3.3.2 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจง อย่างพลวัต.....	25
3.3.2.1 วิธี exponential backoff.....	25
3.3.2.2 วิธี Bayesian broadcast.....	30
3.3.3 วิธีการลดจำนวนการร้องขอช่องสัญญาณโดยการเข้าคิว MT .....	33
3.3.4 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณตาม QoS ของแต่ละทราฟฟิก.....	34
3.3.4.1 การจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกเสียง.....	34
3.3.4.2 การจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูล.....	35
3.3.5 โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีการแยกกัน ระหว่างการสัญญาณ (signaling) และการส่งข่าวสารไว้คนละความถี่.....	37
4 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกันระหว่าง โพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลเดิมที่เคยถูกเสนอมา.....	40
4.1 ข้อกำหนดและแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	40
4.1.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณ.....	41
4.1.2 แบบจำลองของทราฟฟิก.....	43
4.1.2.1 ทราฟฟิกประเภทเสียง.....	43
4.1.2.2 ทราฟฟิกประเภทข้อมูลคอมพิวเตอร์.....	44
4.2 วิธีการจำลองแบบ.....	44

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDRMA .....	45
5 การทดสอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอ ในด้านการเข้าถึงตัวกลาง.....	60
5.1 การทดสอบแนวคิดในการกระจายสล็อตที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณ อย่างสม่ำเสมอทั่วเฟรม.....	60
5.2 การทดสอบแนวคิดในการกระจายสล็อตที่ใช้ในการจองสัญญาณ โดยการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่.....	71
5.3 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างเฟรมของช่องสัญญาณโดยใช้แนวคิด ในการกระจายสล็อตของช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วเฟรม และแนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่.....	84
5.4 การปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต สำหรับจองตามปริมาณทราฟฟิกไหลดอย่างพลวัต.....	101
6 การทดสอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอ ในด้านการจัดสรรช่องสัญญาณ.....	106
6.1 การทดสอบเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง.....	105
6.2 การทดสอบเทคนิคการเซตปิดสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียง.....	113
6.3 การทดสอบเทคนิคในการลดจำนวนการจองช่องสัญญาณ โดยการเข้าคิว MT.....	115
6.4 การทดสอบเทคนิคในการจัดสรรสล็อตข่าวสาร ให้กับทราฟฟิกข้อมูล.....	128
7 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูล ของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่นำเสนอระหว่าง โพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบรวมและแบบแยกการสัญญาณ และการส่งข่าวสาร.....	134
8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	141
8.1 บทสรุป.....	141
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	145



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	147
ภาคผนวก.....	149
- บทความชื่อ "การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการเสียงและข้อมูลร่วมกัน ในระบบสื่อสารไร้สาย" ในงานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 23 (EECON23) วันที่ 23-24 พฤศจิกายน 2543 จังหวัด เชียงใหม่ ประเทศไทย .....	150



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

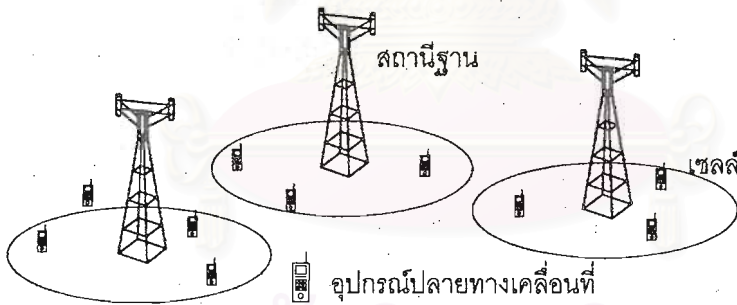
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนับวันยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้น สืบเนื่องมาจากการที่ผู้ใช้ต้องการอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถพกพาไปได้ในทุก ๆ สถานที่ ในระยะเริ่มแรก การสื่อสารไร้สายจะเน้นในด้านการบริการโทรภาพฟิสิกเสียงเป็นหลัก ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีมากขึ้น การให้บริการแก่โทรภาพฟิสิกประเภทอื่นเช่น ข้อมูลคอมพิวเตอร์ (computer data) หรือไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic mail) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้ใช้จะได้รับจากระบบสื่อสารไร้สาย แต่อย่างไรก็ตาม ระบบสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันก็ยังมีขีดจำกัดบางประการในการให้บริการเมื่อเทียบกับระบบสื่อสารแบบมีสายทั่ว ๆ ไป อาทิเช่น ขีดจำกัดทางด้านคุณภาพของข่าวสารที่ผู้ใช้จะได้รับ เนื่องจากการส่งข่าวสารในระบบไร้สายจะทำการส่งผ่านทางคลื่นวิทยุไปในอากาศซึ่งบางครั้งอาจมีการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกจนทำให้คุณภาพตลอดจนความเชื่อถือได้ (reliability) ของข่าวสารด้อยลงไป นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของผู้ใช้ภายในระบบก็จะเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีส่วนลดทอนประสิทธิภาพในการบริการให้ลดลงไปด้วย นอกจากนี้ขีดจำกัดทางด้านคุณภาพของข่าวสารแล้ว ตัวกลางหรือช่องสัญญาณที่ระบบสื่อสารไร้สายมีข้อจำกัดในเชิงแบนด์วิดท์ เมื่อเทียบกับระบบสื่อสารแบบมีสายเช่น โครงข่าย ATM หรือโครงข่ายท้องถิ่น (local area network, LAN) ที่จะมีอัตราข้อมูลของช่องสัญญาณในหน่วยของจิบิตต่อวินาที ในขณะที่โครงข่ายสื่อสารแบบไร้สายเช่น โครงข่าย W-ATM หรือโครงข่ายไร้สายท้องถิ่น (wireless local area network, WLAN) จะมีแบนด์วิดท์อยู่ในหน่วยของกิโลบิตต่อวินาทีหรือเมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้น [1-2] ดังนั้นปัญหาในการจัดสรรช่องสัญญาณของระบบสื่อสารไร้สายให้สามารถบริการผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัญหาใหญ่อีกปัญหาหนึ่ง

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ได้มีงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบสื่อสารไร้สายในด้านต่าง ๆ ออกมามากมาย งานวิจัยทางด้านวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณก็เป็นที่ได้รับ ความสนใจมากเช่นกัน โพรโทคอลที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการจัดสรรช่องสัญญาณดังกล่าวจะมีชื่อเรียกว่า โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางหรือโพรโทคอล MAC (media access control protocol, MAC protocol) ในช่วงเริ่มต้นการจัดสรรแบนด์วิดท์จะกระทำโดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุให้กับผู้ใช้บริการผลัดกันครอบครอง ซึ่งกลุ่มของโพรโทคอลที่ทำหน้าที่ในการแบ่งความถี่สำหรับบริการผู้ใช้เรียกว่า โพรโทคอลเข้าถึงตัวกลางหลายทางแบบแบ่งความถี่ (frequency division multiple

access, FDMA) ต่อมาได้มีการพัฒนาโพรโทคอลอีกประเภทหนึ่งที่ใช้การจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้โดยการแบ่งทางเวลาหรือโพรโทคอลเข้าถึงตัวกลางหลายทางแบบแบ่งเวลา (time division multiple access, TDMA) โดยผู้ใช้บริการจะสามารถครอบครองช่องสัญญาณของระบบได้ในเวลาที่แตกต่างกันบนความถี่เดียวกัน ซึ่งจะมีข้อดีกว่าโพรโทคอลประเภทแรกในแง่ของประสิทธิภาพในการใช้สอยช่องสัญญาณ จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ในปัจจุบันมีการผสมเทคนิคการเข้าถึงตัวกลางของโพรโทคอลแบบ TDMA กับโพรโทคอลแบบ FDMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการรับส่งข้อมูลและเพิ่มจำนวนผู้ใช้ที่โครงข่ายไร้สายสามารถรองรับได้

เพื่อเป็นการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางให้มีขีดความสามารถในการบริการรับส่งข่าวสารเพิ่มขึ้น ในรายงานวิจัยฉบับนี้จะพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้วิธี TDMA และ FDMA ร่วมกันหรือที่เรียกว่า โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณ (multichannel media access control protocol) สำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ร่วมกันในโครงข่ายสื่อสารไร้สายซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 1.1 [2] กล่าวคือ พื้นที่ในการให้บริการจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์และในแต่ละเซลล์จะประกอบไปด้วยสถานีฐาน (base station, BS) และอุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ (mobile terminal, MT) หรือผู้ใช้บริการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่าง BS และ MT จะส่งผ่านทางตัวกลางหรือคลื่นวิทยุ โดย BS จะเป็นศูนย์กลางในการติดต่อและจะมีการเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์เพื่อรวมกันเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่



รูปที่ 1.1 โครงข่ายสื่อสารไร้สาย

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณ (multichannel media access control protocol) ในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ให้สามารถรองรับทราฟฟิก (traffic) ประเภทเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ ตามความต้องการคุณภาพของการบริการ (quality of service, QoS) ของทราฟฟิกแต่ละประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณที่ใช้วิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบ TDMA และ FDMA ร่วมกัน เพื่อให้สามารถให้บริการโทรภาพพิกประเภทเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ ตามความต้องการคุณภาพในการให้บริการของโทรภาพพิกแต่ละประเภท โดยโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่พิจารณามีลักษณะทางกายภาพและข้อสมมติฐานเบื้องต้น ดังต่อไปนี้คือ

1. พื้นที่ในการให้บริการของโครงข่ายจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์ โดยในแต่ละเซลล์จะมีสถานีฐานเป็นศูนย์กลางในการให้บริการรับส่งข้อมูลทั้งเสียงและข้อมูลกับผู้ใช้ที่อยู่ภายในเซลล์
2. โทรภาพพิกที่ระบบให้บริการจะเป็นโทรภาพพิกประเภทเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่มีแบบจำลองของการกำเนิดโทรภาพพิกและความต้องการคุณภาพในการบริการ ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1.2
3. การแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่างผู้ใช้ปลายทางและสถานีฐานจะกระทำโดยใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยสถานีฐานจะใช้ความถี่ขาลงติดต่อกับผู้ใช้และในขณะเดียวกันผู้ใช้จะให้ความถี่ขาขึ้นติดต่อกับสถานีฐาน
4. สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการแสดงถึงสมรรถนะของโพรโทคอลจะมี 3 ค่าหลัก กล่าวคือ ค่าวิสัยสามารถ (throughput) จะใช้สำหรับวัดค่าการใช้ประโยชน์ของสัญญาณ (channel utilization) ของโพรโทคอล ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงและค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจะใช้ในการบ่งบอกถึงสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่มีต่อโทรภาพพิกประเภทเสียงและข้อมูลตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะเป็นฟังก์ชันของปริมาณโทรภาพพิกไหล (จำนวนของแหล่งกำเนิดโทรภาพพิก) ที่เพิ่มขึ้น
5. ในการพิจารณาเวลาประวิงในการรับส่งข่าวสารของการวิจัยนี้จะละเลยเวลาประวิงที่เป็นผลมาจากเวลาประวิงการแพร่กระจาย (propagation delay) และเวลาประวิงที่ใช้ในการประมวลผล (processing delay) ของผู้ใช้ปลายทางและสถานีฐาน
6. การรับส่งแพ็กเก็ตในงานวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงความผิดพลาดที่เกิดจากช่องสัญญาณ

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาไพโรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับให้บริการทราฟฟิกประเภทเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์
2. นำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาไพโรโทคอลให้สามารถรองรับบริการอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากทราฟฟิกประเภทเสียงและข้อมูล อาทิ ทราฟฟิกประเภทวิดีโอ (video) หรือทราฟฟิกเสียงประเภทอื่นเช่น audio
3. โปรแกรมที่ได้จากการออกแบบและพัฒนาไพโรโทคอลสามารถนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อพัฒนาไพโรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายต่อไป
4. แนวคิดบางส่วนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมทางวิชาการในงาน EECON23 ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก
5. เสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในการออกแบบไพโรโทคอลให้กับคณะผู้วิจัย ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนทั้งในระดับปริญญาบัณฑิตและมหาบัณฑิต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

### 2.1 กล่าวนำ

วิธีการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางหรือโพรโทคอล MAC จัดเป็นโพรโทคอลที่อยู่ในระดับล่างของสถาปัตยกรรมโครงข่าย (network architecture) ซึ่งจะมีส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการสนับสนุนการทำงานของโพรโทคอลชั้นที่สูงกว่า [3] หน้าที่หลักของโพรโทคอล MAC คือจัดสรรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับ MT ให้สามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร (information packet) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการส่งแพ็กเก็ตซ้ำอีกครั้งเมื่อเกิดความเสียหายขึ้น และการจัดการปัญหาการชนของแพ็กเก็ตข่าวสารจากหลาย ๆ MT ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีผู้นำเสนอโพรโทคอล MAC มากมายสำหรับให้บริการ MT ในโครงข่ายสื่อสารไร้สายต่าง ๆ เช่น โครงข่าย ATM ไร้สาย (wireless ATM network) โครงข่ายไร้สายท้องถิ่น (wireless local area network) และโครงข่ายสื่อสารดาวเทียม (satellite communication network) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาโพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณในลักษณะของการแบ่งทางเวลาร่วมกับการแบ่งทางความถี่ ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากกว่าโพรโทคอลที่อิงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลาเพียงอย่างเดียว โดยในหัวข้อที่ 2.2 จะอธิบายถึงประเภทและตัวอย่างการทำงานเบื้องต้นของโพรโทคอลแบบ TDMA ที่ถูกเสนอในปัจจุบันจากนั้นจึงต่อยกกล่าวถึงการทำงานของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงพื้นฐานการทำงานของโพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ TDMA ในหลายมิติอย่างเป็นลำดับขั้นตอนและจะสรุปท้ายด้วยการยกตัวอย่างโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณใน หัวข้อที่ 2.4

### 2.2 การแบ่งประเภทของโพรโทคอล MAC ที่เข้าถึงตัวกลางแบบ TDMA

โพรโทคอลที่ใช้การแบ่งเวลาในการครอบครองช่องสัญญาณสามารถจัดเป็นหมวดหมู่ได้ในหลายรูปแบบตามลักษณะของเกณฑ์การแบ่งที่แตกต่างกัน โดยหลักเกณฑ์ใหญ่ ๆ ที่ใช้ในการจัดแบ่งหมวดหมู่จะมีอยู่ 3 หลักเกณฑ์ดังนี้ [3,4]

1. การสัญญาณสองทาง (duplex signaling)
2. การช่วงชิงช่องสัญญาณ
3. การจัดสรรช่องสัญญาณ (channel assignment)

โดยรายละเอียดตลอดจนตัวอย่างของโพรโทคอลที่จัดอยู่ในหมวดหมู่ตามเกณฑ์ทั้งสามสามารถอธิบายได้ดังนี้

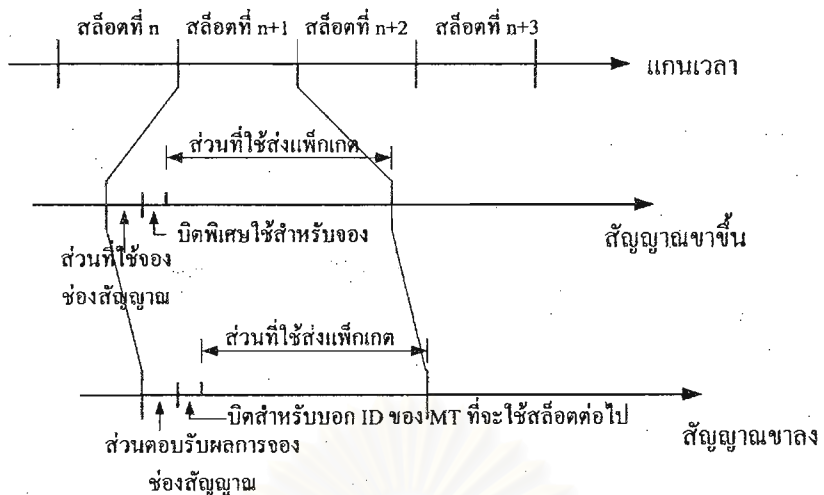
### 2.2.1 การสัญญาณสองทาง

การสัญญาณสองทางคือการติดต่อกันระหว่าง BS กับ MT การส่งสัญญาณจาก BS ไปยัง MT จะเรียกว่า การสัญญาณขาลง (downlink signaling, DL signaling) ในทางตรงกันข้ามการส่งสัญญาณจาก MT ไปยัง BS จะเรียกว่า การสัญญาณขาขึ้น (uplink signaling, UL signaling) โดยการสัญญาณสองทางนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.1.1 การสัญญาณสองทางแบบแบ่งความถี่ (*frequency division duplex signaling, FDD signaling*)

การติดต่อกันระหว่าง BS และ MT โดยผ่านการสัญญาณขาขึ้นและลงจะใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของโพรโทคอลที่ทำงานในโหมด FDD นี้เช่น โพรโทคอล slotted-ALOHA [5] โพรโทคอล packet reservation multiple access (PRMA) [1] และโพรโทคอล distributed queuing request update multiple access (DQRUMA) [6] เป็นต้น

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล DQRUMA ที่ใช้การสัญญาณขาขึ้นและลงโดยใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน พบว่า ความถี่ขาขึ้นจะใช้สำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารและการร้องขอช่องสัญญาณจาก MT ไปยัง BS และที่ความถี่ขาลง BS จะใช้สำหรับการส่งผลการร้องขอช่องสัญญาณของแต่ละ MT การบอกถึงเลขประจำตัวของ MT ที่จะได้รับแพ็กเก็ตในสล็อตต่อไป และแพ็กเก็ตข่าวสารที่ MT จะได้รับจาก BS



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล DQRUMA ที่ใช้การสัญญาณแบบ FDD

### 2.2.1.2 การสัญญาณสองทางแบบแบ่งเวลา (time division duplex signaling, TDD signaling)

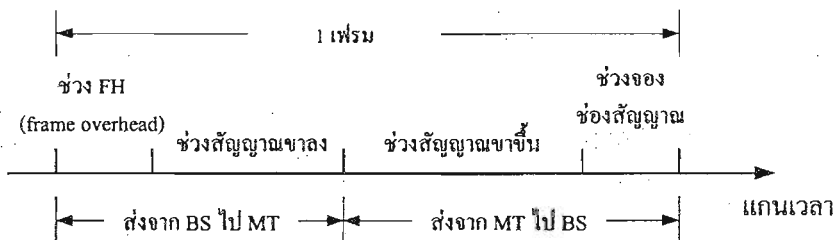
โพรโทคอลที่ทำงานในโหมดนี้จะใช้การสัญญาณขาขึ้นและลงที่ความถี่เดียวกัน แต่จะมีการแบ่งเวลาในการเข้าถึงระหว่างการสัญญาณขาขึ้นและลงบนความถี่นั้น ตัวอย่างของโพรโทคอลที่ทำงานในโหมด TDD นี้ได้แก่ โพรโทคอล mobile access scheme based on contention and reservation for ATM (MASCARA) [7] และโพรโทคอล dynamic time division multiple access with time division duplex (DTDMA/TDD) [4] เป็นต้น

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MASCARA ที่ใช้การสัญญาณในโหมด TDD พบว่า ใน 1 เฟรมจะมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงเวลาที่ BS ส่งข่าวสารและสัญญาณสำหรับใช้ในการชิงโครโนซ์ ผลการร้องขอช่องสัญญาณจากเฟรมก่อนตลอดจนพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมการติดต่อสื่อสารไปยัง MT
2. ช่วงเวลาสำหรับ MT ส่งข่าวสารและร้องขอช่องสัญญาณจาก BS

โดยเวลาทั้ง 2 ช่วงที่ใช้ในการส่งข่าวสารจาก BS ไปยัง MT และจาก MT ไปยัง BS จะมีการแยกกันทางเวลาอย่างเด็ดขาด โดย MT จะรู้ถึงขอบเขตของเวลาแต่ละช่วงจากช่วงเฟรมโอเวอร์เฮด (frame overhead, FH)





รูปที่ 2.2 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MASCARA ที่ใช้การสัญญาณแบบ TDD

## 2.2.2 การช่วงชิงช่องสัญญาณ

ลักษณะการช่วงชิงช่องสัญญาณของโพรโทคอล MAC สามารถกระทำได้ใน 3 ลักษณะ

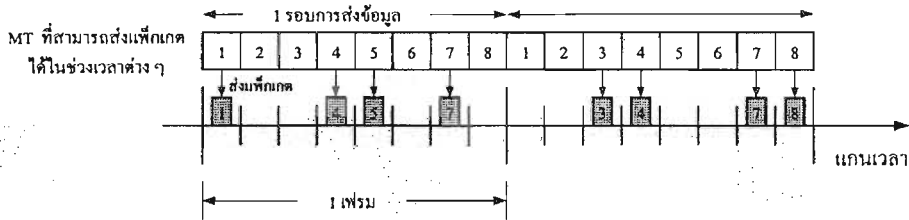
คือ

### 2.2.2.1 โพรโทคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (contention-free protocol)

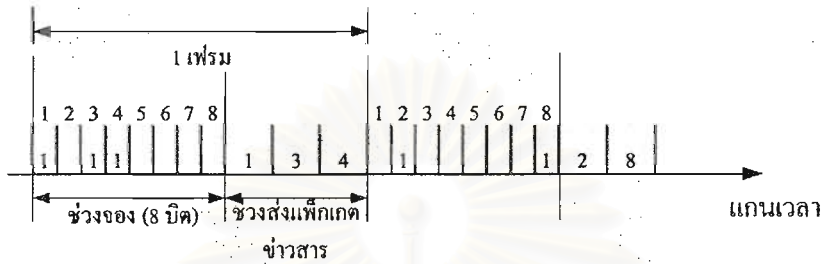
โพรโทคอลประเภทนี้จะกำหนดช่องสัญญาณตายตัวสำหรับให้แต่ละ MT ส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร โดย MT จะไม่สามารถเข้าถึงตัวกลางที่จองไว้สำหรับ MT อื่น ๆ ได้ แม้ว่าช่องสัญญาณนั้นจะว่างอยู่ ตัวอย่างของโพรโทคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณเช่น bitmap [8] และ TDMA

รูปที่ 2.3 และ 2.4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล TDMA และ bitmap สำหรับโพรโทคอล TDMA จะมีการกำหนดสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารที่ตายตัวสำหรับแต่ละ MT ถ้า MT ใดไม่ต้องการส่งแพ็กเก็ตในเฟรมนั้น สล็อตที่จองไว้ก็จะว่างลงโดยที่ MT อื่น ๆ ไม่สามารถเข้าถึงได้ สำหรับโพรโทคอล bitmap จะแตกต่างจากโพรโทคอล TDMA คือ โพรโทคอลจะกำหนดสล็อตสำหรับจองให้แต่ละ MT โดยจำนวนสล็อตประเภทนี้จะมีค่าคงที่ในทุก ๆ เฟรมซึ่งจะต่างกับสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารที่จะมีจำนวนแปรผันตามปริมาณของแพ็กเก็ตที่จะส่งในเฟรมนั้น ๆ

ในกรณีที่ MT มีความประสงค์จะส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร MT จะต้องส่งบิต '1' ไปยังสล็อตสำหรับจองและในทางตรงกันข้าม MT จะส่งบิต '0' เมื่อไม่ต้องการส่งแพ็กเก็ตในเฟรมนั้น ซึ่งจำนวนสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารจะมีจำนวนเท่ากับบิต '1' ในช่วงจองของแต่ละเฟรม



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเฟรมและการทำงานของโพรโทคอล TDMA

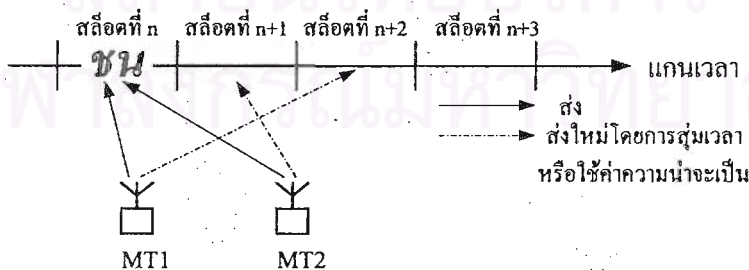


รูปที่ 2.4 โครงสร้างเฟรมและการทำงานของโพรโทคอล bitmap

2.2.2.2 โพรโทคอลที่มีการชิงช่องสัญญาณ (contention-based protocol)

โพรโทคอลประเภทนี้จะไม่กำหนดช่องสัญญาณตายตัวสำหรับให้แต่ละ MT โดยทุก ๆ ช่องสัญญาณถือเป็นของส่วนรวม MT สามารถเข้าถึงได้ทั้งหมด ซึ่งในบางกรณีอาจมีมากกว่า 1 MT ที่มีความต้องการจะใช้ช่องสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกันส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ต ซึ่งเป็นข้อเสียของโพรโทคอลที่มีการชิงช่องสัญญาณ

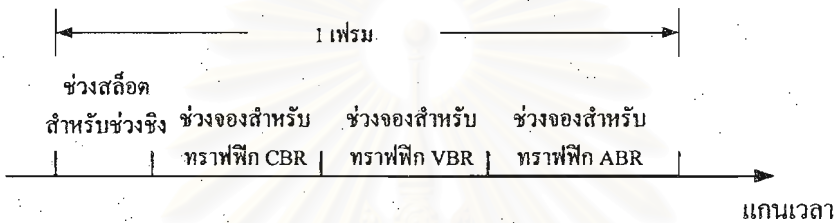
ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนของโพรโทคอลประเภทนี้ได้แก่ slotted-ALOHA ซึ่ง MT สามารถเข้าถึงได้ทุก ๆ สล็อตจากรูปที่ 2.5 พบว่า ถ้าเกิดการชนกันที่สล็อตที่ 2 MT ก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ซ้ำอีกในสล็อตต่อ ๆ ไป โดยอาจจะมีการแก้ปัญหาการชนกันด้วยวิธีการใช้ค่าความน่าจะเป็น ในการส่งหรือการสุ่มเวลาการส่งใหม่



รูปที่ 2.5 โพรโทคอล slotted-ALOHA

### 2.2.2.3 โพรโทคอลที่ผสมวิธีการช่วงชิงช่องสัญญาณของทั้งสองรูปแบบ

โพรโทคอลจะเป็นการผสมทั้ง 2 วิธีข้างต้น สำหรับตัวอย่างของโพรโทคอลประเภทนี้ได้แก่ packet reservation multiple access with dynamic allocation (PRMA/DA) [9] การทำงานของโพรโทคอล PRMA/DA จะให้ MT ช่วงชิงช่องสัญญาณเพียงครั้งเดียวในช่วงของการส่งแพ็กเก็ตแรก หลังจากนั้นก็จะอนุญาตให้สามารถส่งแพ็กเก็ตต่อ ๆ ไปในช่องสัญญาณที่จองไว้ให้จนกระทั่งหมดบัฟเฟอร์ (buffer) โดยสล롯ที่จองนั้นจะมีแบ่งแยกขอบเขตกันตามชนิดของทราฟฟิกแต่ละประเภทดังรูปที่ 2.6



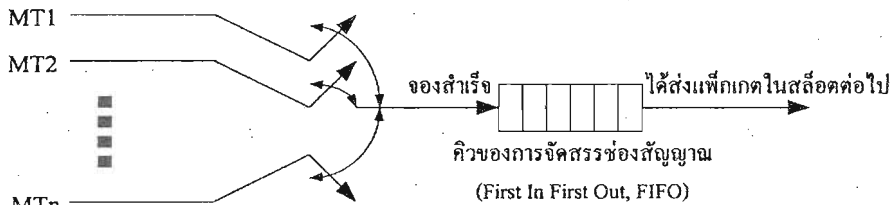
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล PRMA/DA

### 2.2.3 การแบ่งตามเกณฑ์การจัดสรรช่องสัญญาณ

การจัดสรรช่องสัญญาณของ BS จะสามารถกระทำได้ใน 2 ลักษณะคือ การจัดสรรในหน่วยของสลอต (slot) และการจัดสรรในหน่วยของเฟรม (frame) ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [6]

#### 2.2.3.1 โพรโทคอลที่มีการจัดสรรในหน่วยสลอต (slot-by-slot assignment protocol)

หลักการทำงานของโพรโทคอลประเภทนี้สามารถอธิบายได้ด้วยการยกตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล DQRUMA [6] จากรูปที่ 2.1 โพรโทคอล DQRUMA จะกำหนดให้ 1 สลอตประกอบไปด้วยช่วงร้องขอช่องสัญญาณและช่วงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร เมื่อได้รับการร้องขอช่องสัญญาณจาก MT เป็นผลสำเร็จ (ในกรณีที่การร้องขอไม่สำเร็จ MT จะต้องร้องขอใหม่อีกครั้งในสลอตถัดไป) BS จะจัดลำดับของ MT นั้นไว้ในคิว โดย BS จะจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ MT แต่ละตัวในคิวเรียงตามลำดับก่อนหลังดังรูปที่ 2.7

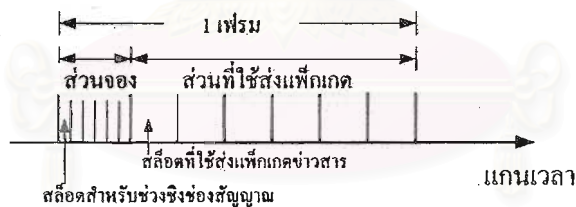


รูปที่ 2.7 แผนภาพการจัดการลำดับการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล DQRUMA

### 2.2.3.2 โพรโทคอลที่มีการจัดสรรในหน่วยเฟรม (frame-by-frame assignment protocol)

เมื่อ BS ได้รับการร้องขอช่องสัญญาณจาก MT BS จะตรวจหาสล็อตที่ว่างในเฟรมที่ MT ร้องขออยู่ (ใน 1 เฟรมจะประกอบไปด้วยหลาย ๆ สล็อต) ในกรณีที่ไม่มีสล็อตว่างในเฟรม BS ก็จะจัดสรรสล็อตให้แก่ MT แต่ถ้าทุกสล็อตในเฟรมไม่ว่าง MT ก็จะต้องทำการร้องขอช่องสัญญาณอีกครั้งในเฟรมถัดไป ตัวอย่างของโพรโทคอลประเภทนี้ได้แก่ ALOHA-reservation [2], PRMA/DA [9]

สำหรับโพรโทคอล ALOHA-reservation จะมีโครงสร้างเฟรมที่แบ่งช่วงการจองช่องสัญญาณและช่วงการส่งข่าวสารที่ตายตัวดังรูปที่ 2.8 โดยในช่วงจอง MT จะส่งแพ็กเก็ตสำหรับร้องขอช่องสัญญาณด้วยวิธี slotted-ALOHA ถ้าการจองเป็นผลสำเร็จ BS ก็จะหาสล็อตที่ว่างในเฟรมนั้นให้แก่ MT โดยจะจัดสรรจำนวนสล็อตให้ตามความต้องการของแต่ละ MT



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA-reservation

## 2.3 โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ

เนื่องจากการเติบโตของระบบสื่อสารไร้สายเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละโครงข่ายมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มความจุในการให้บริการของโพรโทคอล MAC ที่ต้องการจัดสรรแบบ TDMA จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยวิธีในการเพิ่มความจุของโครงข่ายนอกเหนือจากการเพิ่มอัตราข้อมูลของช่องสัญญาณแล้ว เทคนิคในการใช้วิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบ TDMA และ FDMA ร่วมกัน ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจจากผู้ทำวิจัยทางด้านโพรโทคอล MAC โดยโพรโทคอลที่ถูกนำไปใช้ร่วมกับวิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบ FDMA คือ โพรโทคอล slotted-ALOHA

โพรโทคอล reservation-ALOHA (R-ALOHA) [10] และ โพรโทคอล PRMA ข้อแตกต่างระหว่างโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณกับโพรโทคอลที่อิงการจัดสรรแบบ TDMA คือ การเข้าช่วงชิงช่องสัญญาณของ MT และการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณจะกระทำโดยพิจารณาทุก ๆ ความถี่ที่ซิงโครไนซ์ (synchronize) กันอยู่ ซึ่งจะต่างจากโพรโทคอลที่อิงการจัดสรรแบบ TDMA ที่จะมีความถี่เดียวในเซลล์สำหรับให้บริการ MT ดังนั้นเทคนิคในการเข้าจองและจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณจะมีความซับซ้อนมากกว่าโพรโทคอลที่อิงการจัดสรรแบบ TDMA ธรรมดา อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความจุของโครงข่ายก็ยังเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการพัฒนาขีดความสามารถในการให้บริการของระบบสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน

เพื่อให้เห็นภาพการทำงานของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ ในหัวข้อที่ 2.4 จะอธิบายรายละเอียดของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่เคยถูกนำเสนอขึ้น

## 2.4 ตัวอย่างของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่ถูกนำเสนอขึ้นในปัจจุบัน

โพรโทคอล MAC อิงการจัดสรรแบบ TDMA ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการเข้าถึงตัวกลางแบบ FDMA คือ โพรโทคอล slotted-ALOHA โพรโทคอล R-ALOHA และ โพรโทคอล PRMA โดยมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปตามผู้นำเสนอคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ [11] โพรโทคอล R-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ [12] และโพรโทคอล multidimensional PRMA (MDPRMA) [13] ซึ่งมีวิธีการทำงานดังต่อไปนี้

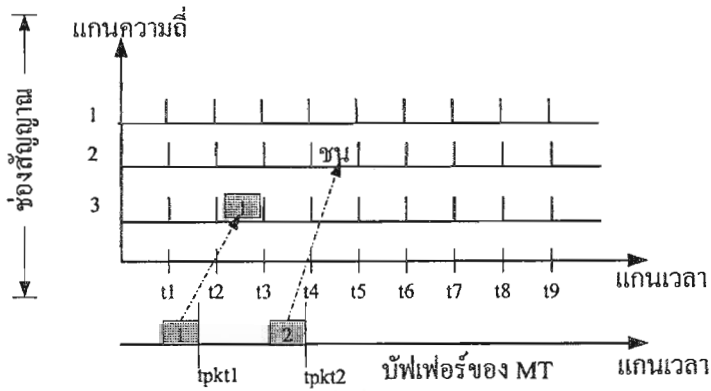
### 2.4.1 โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ

ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง BS และ MT จะกระทำในโหมด FDD โดยใช้ความถี่ 2 กลุ่ม คือ ความถี่ขาขึ้นใช้ติดต่อจาก MT ไปยัง BS และความถี่ขาลงใช้ติดต่อจาก BS ไปยัง MT ในแต่ละกลุ่มความถี่จะประกอบไปด้วย  $M$  ความถี่ที่มีอัตราข้อมูลเท่ากัน ในแต่ละความถี่จะถูกแบ่งทางเวลาออกเป็นสล็อตที่มีขนาดเท่ากับแพ็กเก็ตข่าวสารที่ MT ต้องการส่งและทุก ๆ สล็อตในทุกลความถี่จะต้องมีการซิงโครไนซ์กันดังรูปที่ 2.9 ซึ่งในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารของ MT ภายใต้โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณที่ถูกจัดอยู่ในประเภทของโพรโทคอลที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ MT จะต้องเริ่มส่งแพ็กเก็ตที่จุดเริ่มต้นของสล็อตเท่านั้น ( $t_1, t_2, \dots$ ) จากนั้นจึงเลือกสล็อตที่จะทำการส่งอย่างสุ่ม 1 สล็อตจากทั้งหมด  $M$  สล็อตใน  $M$  ความถี่ ในกรณีที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข่าวสาร MT จะต้องส่งใหม่อีกครั้งโดยจะทำซ้ำตามกระบวนการข้างต้น

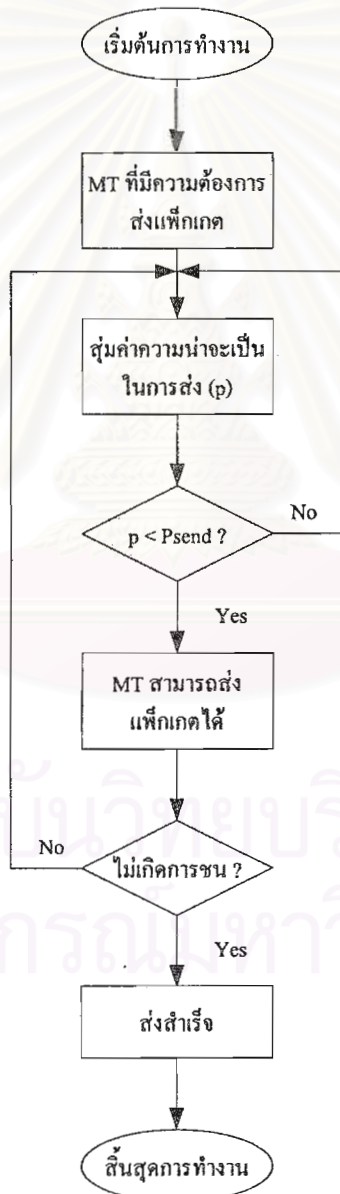
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ สมมติให้มี MT ที่มีความต้องการส่ง 2 แพ็กเก็ตที่เวลา  $tpkt1$  และ  $tpkt2$  ตามลำดับ โดย  $t1 < tpkt1 < t2$  และ  $t3 < tpkt2 < t4$  ในการส่งแพ็กเก็ตแรก MT จะต้องรอจนถึงเวลาเริ่มต้นสล็อตที่  $t2$  จึงสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ในสล็อตระหว่างช่วงเวลา  $t2$  และ  $t3$  ซึ่ง MT ต้องเลือกความถี่ที่จะใช้ส่งอย่างสุ่ม 1 ความถี่ ในตัวอย่างนี้ MT สุ่มเลือกส่งแพ็กเก็ตผ่านความถี่ที่สามไปยัง BS สำหรับการส่งแพ็กเก็ตที่สอง MT ก็จะทำในลักษณะเดียวกันคือ MT จะต้องรอจนถึงเวลาเริ่มต้นสล็อตที่  $t4$  จึงจะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ในสล็อตระหว่างช่วงเวลา  $t4$  และ  $t5$  โดย MT สุ่มเลือกส่งแพ็กเก็ตที่ความถี่ที่สอง แต่ในตัวอย่างนี้มี MT อื่นที่มีความต้องการส่งแพ็กเก็ตในช่วงเวลาและความถี่เดียวกัน จึงทำให้เกิดการชนกันส่งผลให้ MT ทั้งสองต้องทำการส่งแพ็กเก็ตใหม่อีกครั้งในสล็อตถัดไปและเพื่อเป็นการบรรเทาปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ต โพรโทคอล MAC ที่ใช้วิธีการช่วงชิงช่องสัญญาณแบบ slotted-ALOHA จะใช้ค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่งในการส่งแพ็กเก็ต (packet transmission probability) จากรูปที่ 2.11 ในกรณีที่ MT มีความต้องการส่งแพ็กเก็ต MT จะต้องสุ่มค่าความน่าจะเป็นขึ้นมา 1 ค่า ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มขึ้นน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ระบบกำหนด ( $P_{send}$ ) MT ก็จะสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ ในกรณีที่ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มขึ้นมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ระบบตั้งไว้ MT จะไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตในสล็อตนั้นได้และต้องทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นใหม่อีกครั้งเพื่อให้สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ในสล็อตต่อ ๆ ไป ดังนั้นในระบบที่มีการร้องขอช่องสัญญาณจาก MT มาก ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตของ MT ที่ระบบกำหนดขึ้นควรมีค่าต่ำ เพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ต และอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการลดโอกาสการชนกันของแพ็กเก็ตคือ การสุ่มเวลาส่งใหม่หลังการชน จากรูปที่ 2.12 เมื่อ MT ต้องการส่งแพ็กเก็ตครั้งแรกไม่เป็นผลสำเร็จ MT ก็จะทำการสุ่มเวลาสำหรับการส่งแพ็กเก็ตอีกครั้ง เพื่อลดโอกาสการชนกับ MT อื่น ๆ ที่มีความประสงค์จะส่งแพ็กเก็ตในช่วงเวลาเดียวกัน



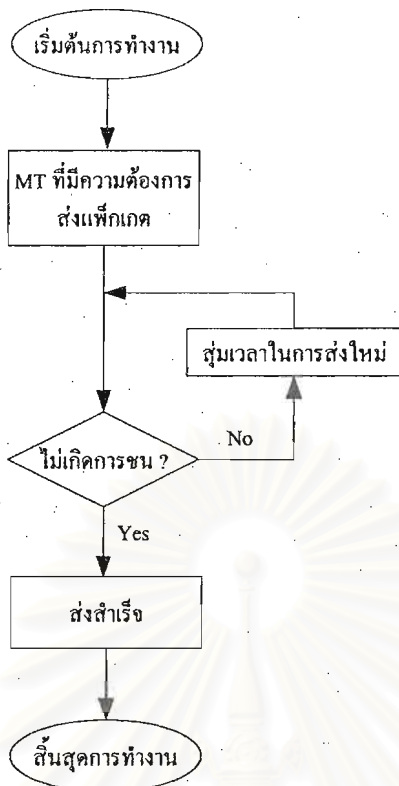
รูปที่ 2.9 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.11 แผนผังการส่งแพ็กเก็ตด้วยวิธีสุ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่ง



รูปที่ 2.12 แผนผังการส่งแพ็กเก็ตด้วยวิธีสุ่มเวลาในการส่ง

#### 2.4.2 โพรโทคอล MDRMA

โพรโทคอล MDRMA ถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงซึ่งมีการกำเนิดแพ็กเก็ตอย่างเป็นรายคาบ การทำงานของโพรโทคอล MDRMA จะใกล้เคียงกับโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณในด้านการชวงชิงช่องสัญญาณของแพ็กเก็ตแรกของ MT ที่ต้องการส่งข่าวสาร แต่จะมีความแตกต่างกันทั้งในด้านของโครงสร้างเฟรมและวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณดังนี้คือ แต่ละความถี่ที่ให้บริการแก่ MT จะถูกแบ่งทางเวลาออกเป็นเฟรมแต่ละเฟรมจะแบ่งย่อยออกเป็นสล็อตที่มีขนาดเท่ากับแพ็กเก็ตข่าวสาร โดยความยาวของเฟรมจะเท่ากับเวลาที่ใช้ในกำเนิดแพ็กเก็ตเสียง 1 แพ็กเก็ต นอกจากความแตกต่างในด้านของโครงสร้างเฟรมแล้ว โพรโทคอล MDRMA ยังมีวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ไม่เหมือนกับโพรโทคอล slotted-ALOHA โดยสามารถระบุเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

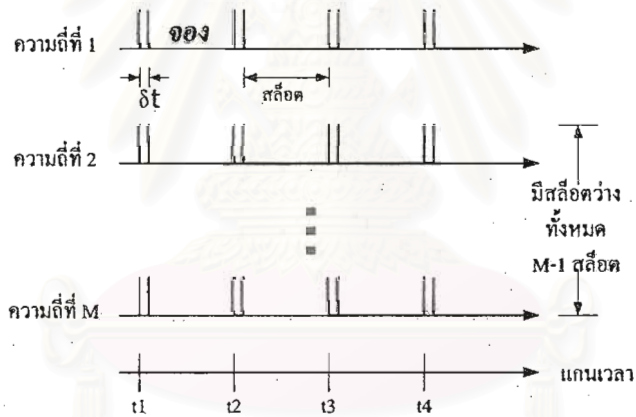
1. ทุก ๆ สล็อตจะมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ  $T_t$  ซึ่งช่วงเวลานี้ BS จะใช้ในการประกาศสถานะของสล็อตนั้น ๆ ผ่านทางสัญญาณขาลงว่าอยู่ในสถานะ "จอง" หรือ "สามารถเข้าถึงได้" (รูปที่ 2.13) สมมติว่า ที่เวลา  $t_1$  ณ ระบบที่ใช้ M ความถี่ในการให้บริการ BS กำลังจองสล็อตหนึ่งสำหรับให้ MT ตัวหนึ่งส่งแพ็กเก็ต ดังนั้น MT อื่น ๆ ที่



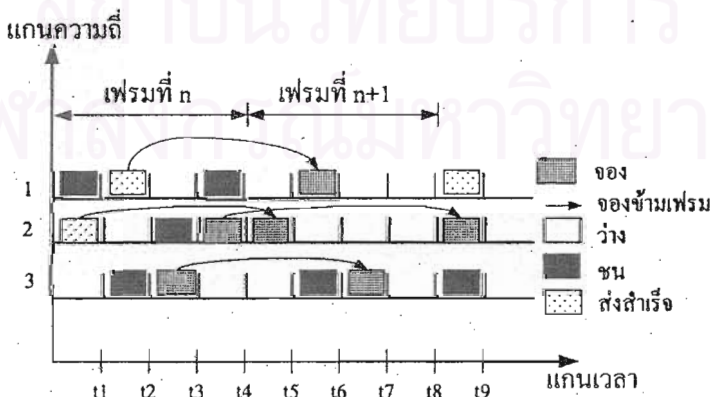
มีความต้องการจะส่งแพ็กเก็ตในช่วงเวลานั้น ก็จะต้องเลือกสล็อตสำหรับการส่งอย่าง  
 คู่ม 1 สล็อตจากสล็อตว่างทั้งหมด  $M-1$  สล็อต

2. ในกรณีที่ MT สามารถส่งแพ็กเก็ตแรกได้สำเร็จ BS จะจองสล็อต ณ ตำแหน่งนั้นใน  
 เฟรมถัดไปทีความถี่เดิม (ดังรูปที่ 2.14) สำหรับให้ MT ส่งแพ็กเก็ตจนกระทั่งหมด  
 บัฟเฟอร์ (buffer) ซึ่ง BS จะล่วงรู้ได้ก็ต่อเมื่อตรวจพบว่าสล็อตที่จองไว้ให้นั้นว่างลง  
 จากนั้น BS ก็จะปล่อยสล็อตที่จองไว้ว่างในเฟรมถัดไป ข้อดีของโพรโทคอลนี้คือ MT  
 จะจองสล็อตเพียงครั้งเดียวต่อ 1 หน่วยข่าวสาร (talkspurt สำหรับทราฟฟิกเสียงและ  
 message สำหรับทราฟฟิกข้อมูล) ทำให้ปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตลดลง

จากรูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล MDRMA พบว่าที่ความถี่ที่ 1  
 MT สามารถส่งแพ็กเก็ตเสียงได้สำเร็จในสล็อตที่ 2 ในเฟรมที่  $n$  จากนั้น BS จะจองสล็อตที่  
 ตำแหน่งเดียวกันในเฟรมที่  $n+1$  ให้กับ MT ส่งต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดบัฟเฟอร์และเนื่องจาก  
 ความยาวเฟรมมีขนาดเท่ากับเวลาในการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียงจึงเป็นการประกันว่า MT จะ  
 สามารถส่งแพ็กเก็ตต่อ ๆ ไปใน talkspurt หรือ message ได้อย่างแน่นอน



รูปที่ 2.13 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MDRMA



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล MDRMA

### 2.4.3 โพรโทคอล R-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ

จากการศึกษาการทำงานของโพรโทคอล R-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ พบว่า การช่วงชิงและการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล R-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณจะเหมือนกับโพรโทคอล MDRMA ซึ่งรายละเอียดนั้นสามารถดูได้จากหัวข้อที่ 2.4.2



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน

### 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณในงานวิจัยนี้ มีเป้าหมายเพื่อให้โครงข่ายสื่อสารไร้สายที่ทำงานภายใต้โพรโทคอลสามารถรองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลตาม QoS ของทราฟฟิกแต่ละประเภทอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคุณลักษณะที่ดีของโพรโทคอล MAC สามารถอธิบายได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. โพรโทคอลควรมีเทคนิคในการจัดการกระบวนการเข้าถึงหรือจองช่องสัญญาณที่ดีจากหัวข้อที่ 2.2.2 วิธีการเข้าถึงตัวกลางมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 วิธีคือ วิธีที่ไม่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ วิธีที่มีการชิงชิงช่องสัญญาณและแบบที่ผสมทั้ง 2 วิธี โดยแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น โพรโทคอลที่ไม่มีการชิงชิงช่องสัญญาณจะมีประสิทธิภาพในการเข้าสอยช่องสัญญาณที่สภาวะโหลดต่ำหรือโหลดไม่สม่ำเสมอ (nonuniform load) ที่ดีกว่าโพรโทคอลที่มีการชิงชิงช่องสัญญาณ รวมถึงความยืดหยุ่นในการทำงานของระบบก็จะมีน้อยกว่าด้วย ในขณะที่โพรโทคอลที่มีการชิงชิงช่องสัญญาณจะมีข้อเสียในกรณีที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ต เนื่องจากทุก ๆ MT มีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางทุกช่องอย่างเท่าเทียมกัน โดยจะมีผลมากขึ้นที่ปริมาณโหลดสูง ซึ่งปัญหาการชนนี้ก็สามารถบรรเทาได้โดยการใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตหรือการสุ่มเวลาส่งใหม่ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.4.1 ดังนั้นโพรโทคอล MAC ที่ดีควรใช้วิธีการเหล่านี้ให้ได้อย่างเหมาะสมที่สุดกับลักษณะการกำเนิดของทราฟฟิกที่ระบบกำลังให้บริการอยู่
2. การจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละประเภทอย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับธรรมชาติการกำเนิดของทราฟฟิก ยกตัวอย่างเช่น ทราฟฟิกประเภทเสียงที่มีการกำเนิดแพ็กเก็ตอย่างเป็นรายคาบในลักษณะของการสวิตช์วงจร (circuit switching) [12] โพรโทคอลที่ถูกออกแบบสำหรับบริการทราฟฟิกก็ควรจะมีการจัดสรรสล็อตให้แก่แต่ละแหล่งกำเนิดเสียงสามารถส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของโพรโทคอลดังกล่าวคือ โพรโทคอล R-ALOHA และ โพรโทคอล PRMA สำหรับทราฟฟิกข้อมูลที่มีการกำเนิดข่าวสารเป็นแบบเบิรสต์ในลักษณะของการสวิตช์

แพ็กเก็ต (packet switching) ก็จะเหมาะสมกับโพรโทคอลที่ยินยอมให้สามารถส่งข่าวสารได้คราวละหลาย ๆ แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีการจัดสรรในลักษณะนี้ได้แก่ โพรโทคอล ALOHA-reservation ดังนั้นการออกแบบโพรโทคอลสำหรับรองรับกราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกันในงานวิจัยนี้ ก็ควรจะมึลักษณะการจัดสรรช่องสัญญาณที่ผสมทั้ง 2 เทคนิคที่กล่าวไว้ข้างต้น

3. นอกจากการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างเหมาะสมกับสภาพการกำเนิดของแต่ละกราฟฟิกแล้ว การจัดสรรช่องสัญญาณควรคำนึงถึงความต้องการคุณภาพในการบริการที่แตกต่างกันของแต่ละกราฟฟิก ยกตัวอย่างเช่น กราฟฟิกเสียงจัดเป็นข่าวสารที่ต้องการการสื่อสารแบบเวลาจริง (real time) ในขณะที่กราฟฟิกข้อมูลสามารถทนทานต่อเวลาประวิงได้ ดังนั้นในการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่กราฟฟิกแต่ละประเภท ก็ควรจะมึลำดับที่แตกต่างและคำนึงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการเข้าถึงตัวกลาง (channel utilization) ของระบบด้วย
4. โพรโทคอลควรมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป โพรโทคอลที่ถูกออกแบบให้มีวิธีการเข้าถึงและจัดสรรช่องสัญญาณที่ซับซ้อน อาจทำได้ยากเมื่อนำไปใช้ในระบบจริง หรืออาจจะต้องใช้เทคโนโลยีหรือเครื่องมือที่มีราคาสูง โดยความซับซ้อนของโพรโทคอลสามารถวัดได้จากความยากในการซิงโครไนซ์กับช่องสัญญาณของ MT

### 3.2 ข้อบกพร่องบางประการของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่เคยถูกนำเสนอมา

เมื่อนำเอาหลักการทำงานของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณเดิมคือโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDRMA มาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะโพรโทคอล MAC ที่ดีสำหรับการให้บริการรับส่งข่าวสารในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ดังหัวข้อที่ 3.1 พบว่า โพรโทคอลที่เคยถูกนำเสนอยังมีข้อบกพร่องบางประการสำหรับการนำมาให้บริการกราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน ซึ่งสามารถระบุได้เป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้คือ

1. ในการเข้าถึงตัวกลาง (สล็อต) MT จะส่งแพ็กเก็ตข่าวสารสำหรับช่วงชิงหรือจองช่องสัญญาณแบบ slotted-ALOHA ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการจองนั้นไม่จำเป็นต้องใช้แพ็กเก็ตข่าวสารที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นเพราะจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนของแพ็กเก็ตและสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดการชนกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการเข้าถึงตัวกลางของระบบลดลง ซึ่งปัญหานี้จะบรรเทาลงในกรณีที่ระบบใช้สล็อตขนาดเล็กสำหรับจอง นอกจากนี้ในระบบที่มีปัญหาการรบกวนจาก

สัญญาณภายนอกหรือการเฟดดิ้ง (fading) ซึ่งต้องการการตอบรับผลการช่วงชิงช่องสัญญาณที่รวดเร็ว ก็จะมี ความเหมาะสมกับโพรโทคอลใช้สล็อตขนาดเล็กสำหรับจองมากกว่าโพรโทคอลที่ใช้แพ็กเก็ตข่าวสารในการจองช่องสัญญาณ

2. เนื่องจาก BS จะอนุญาตให้แต่ละ MT สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ครั้งละ 1 แพ็กเก็ต ทำให้ประสิทธิภาพของการเข้าถึงตัวกลางต่ำ โดยเฉพาะในกรณีที่ปริมาณของทราฟฟิกไหล (traffic load) ต่ำ กล่าวคือ ยังมีสล็อตว่างเหลืออยู่ในเฟรมทั้ง ๆ ที่ MT ยังมีความต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตข่าวสารอยู่ในขณะนั้น อีกทั้งการจัดสรรช่องสัญญาณแบบนี้จะไม่มี ความยืดหยุ่นกับทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่มีความต้องการส่งครั้งละหลาย ๆ แพ็กเก็ต
3. ในกรณีของโพรโทคอล MDRMA BS จะล่วงรู้ถึงสถานะของผู้ใช้ว่าหมดแพ็กเก็ตที่จะส่งคืออยู่ในคาบเงียบ (silent period) หรือโหมดไม่ทำงาน (inactive mode) ก็ต่อเมื่อตรวจพบว่า สล็อตที่จองไว้ให้ นั้นว่างลง ทำให้ MT อื่น ๆ ไม่สามารถเข้าถึงสล็อตดังกล่าวในเฟรมนั้นได้ เป็นเหตุให้สูญเสียแบนด์วิดท์ไปโดยเปล่าประโยชน์
4. วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกแต่ละประเภทของทั้ง 2 โพรโทคอลจะไม่มีการจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่มีความต้องการคุณภาพในการบริการที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ทราฟฟิกประเภทเสียงซึ่งต้องการการบริการแบบเวลาจริง ควรจะมีลำดับความสำคัญในการจัดสรรช่องสัญญาณสูงกว่าทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่มีความทนทานต่อเวลาประวิงได้สูง จากเอกสาร [13] ได้เสนอวิธีการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทราฟฟิก โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารที่แตกต่างกันตามความต้องการคุณภาพในการบริการของทราฟฟิกแต่ละประเภท อย่างไรก็ตามโพรโทคอลที่เสนอนี้ก็ได้กล่าวถึงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่คำนึงถึงความต้องการคุณภาพในการบริการของแต่ละทราฟฟิก
5. ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการควบคุมการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองช่องสัญญาณเพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตของโพรโทคอลทั้ง 2 จะมีค่าคงที่ ซึ่งไม่เหมาะสมกับปริมาณของทราฟฟิกที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (dynamic) ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ทราฟฟิกไหลต่ำ ระบบต้องการค่าความน่าจะเป็นในการอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองช่องสัญญาณสูง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ แต่ในกรณีที่มีปริมาณไหลมาก ระบบต้องการค่าความน่าจะเป็นต่ำ ๆ เพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ต

สำหรับในหัวข้อต่อไปจะเป็นการเสนอแนวคิดในการแก้ไขข้อบกพร่องข้างต้นและ ออกแบบเพื่อพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและ ข้อมูลร่วมกัน

### 3.3 การออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการ ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่ทำงานในโหมด FDD ซึ่งมีกระบวนการในการจัดการการชนงชิงตัวกลาง (access contention procedure) ที่รวดเร็วกว่า โพรโทคอลที่ทำงานในโหมด TDD กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การตอบรับผลการชนงชิงตัวกลางของโพรโท คอลแบบ FDD จะสามารถกระทำได้เร็วกว่า TDD เหตุเพราะ MT ไม่ต้องรอเวลาประวิงที่เกิดจาก การแบ่งกันครอบครองช่องสัญญาณระหว่างการสัญญาณขาขึ้นและขาลง ซึ่งข้อได้เปรียบนี้จะ สอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัยที่เน้นการบริการที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับวิธีการเข้า ถึงตัวกลางของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่เสนอนี้จะใช้การผสมผสานกันทั้งวิธีที่ มีและไม่มีการชนงชิงช่องสัญญาณตามความเหมาะสมกับลักษณะของทราฟฟิก ที่ให้บริการ นอก จากนี้การจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอก็จะกระทำในลักษณะของเฟรมต่อเฟรม ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรมากกว่าแบบสล็อตต่อสล็อต ซึ่งรายละเอียดของแนวคิดในการ ออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถแจกแจงออกเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

#### 3.3.1 โครงสร้างเฟรมของช่องสัญญาณ

งานวิจัยนี้จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างเฟรมของแต่ละความถี่จากโพรโทคอล MAC แบบ หลายช่องสัญญาณเดิมที่เคยถูกเสนอมาที่ทุกสล็อตสามารถจองและส่งข่าวสารได้ มาเป็นรูปแบบ ของเฟรมที่มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA-reservation [2] ดังรูปที่ 3.1 โดยในแต่ละเฟรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณ (reservation part) และส่วนที่ใช้ในการส่งแพ็กเกตข่าวสาร (information part) ในส่วนแรกจะ ประกอบไปด้วยสล็อตที่ใช้ในการร้องขอช่องสัญญาณ (request slot, RS) สำหรับส่วนที่สองจะมี สล็อตที่ใช้ในการส่งแพ็กเกตข่าวสาร (information slot, IS) เป็นองค์ประกอบ โดยขนาดของสล็อต ที่ใช้ในการร้องขอช่องสัญญาณจะเล็กกว่าสล็อตที่ใช้ในการส่งข่าวสาร สำหรับข้อดีการเปลี่ยนรู ปร่างของช่องสัญญาณสามารถระบุได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. เนื่องจากสล็อตที่ใช้ในการร้องขอช่องสัญญาณจะมีขนาดเล็กกว่าสล็อตที่ใช้ในการส่งข่าวสาร ทำให้ขนาดของแพ็กเก็ตที่ใช้จองช่องสัญญาณเล็กลงซึ่งจะเป็นการประหยัดแบนด์วิดท์รวมถึงกำลังงานที่ MT ต้องใช้ในการส่งแพ็กเก็ตอีกด้วย โดยจะมีความยาวของแพ็กเก็ตที่เพียงพอสำหรับบรรยายละเอียดในการเข้าจองช่องสัญญาณของ MT อาทิ เช่น เลขประจำตัว ชนิดของทราฟฟิกที่ต้องการส่ง ตลอดจนจำนวนแพ็กเก็ตที่จะส่งสำหรับรายละเอียดของแพ็กเก็ตสำหรับจอง ได้ระบุไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2
2. ลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตเนื่องจากจากระยะเวลาในการจองแพ็กเก็ตในแต่ละรอบสั้นลง (ระยะเวลาสล็อตสำหรับจองสั้นลง)
3. ในกรณีที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ต ผลของการถดถอยของค่าวิสัยสามารถ (throughput degradation) จะมีในโพรโทคอลที่ใช้แพ็กเก็ตขนาดใหญ่ในการจองมากกว่าโพรโทคอลที่ใช้แพ็กเก็ตขนาดเล็ก
4. การใช้สล็อตสำหรับจองขนาดเล็กจะทำให้ BS สามารถตอบสนองผลของการจองช่องสัญญาณได้รวดเร็วกว่าซึ่งจะเป็นการลดเวลาประวิงที่เกิดขึ้น
5. เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นเฟรม ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณจะกระทำในหน่วยของเฟรมซึ่งจะมีความเหมาะสมกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่มีการกำเนิดเป็นเบิสต์ โดย BS จะสามารถจัดสรรสล็อตสำหรับส่งข่าวสารให้กับแหล่งกำเนิดข้อมูลได้คราวละหลาย ๆ สล็อต

จากรูปที่ 3.2 เป็นการนำโครงสร้างเฟรมในรูปที่ 3.1 มาประยุกต์เป็นโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ โดยเวลาเริ่มต้นของเฟรมทุก ๆ เฟรมในเวลาที่แต่ละความถี่ซึ่งโคโรไนท์กัน ในการจองช่องสัญญาณ MT จะต้องรอจนถึงช่วงจองของเฟรมแล้วจึงทำการส่งค่าความน่าจะเป็นในการส่ง เมื่อค่าความน่าจะเป็นที่ส่งได้ผ่านตามเกณฑ์ที่ระบบอนุญาตให้ส่ง MT ก็จะเลือกส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองไปในสล็อตสำหรับจองอย่างสุ่ม 1 สล็อตจากทั้งหมด M สล็อต ถ้ามีการชนเกิดขึ้น MT จะสามารถเข้าจองในสล็อตสำหรับจองช่องถัดไปได้ เนื่องจาก BS สามารถตอบสนองผลการจองได้ในทันที อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงสร้างเฟรมดังรูปที่ 3.2 ก็ยังมีข้อเสียบางประการคือ ในช่วงส่งแพ็กเก็ตข่าวสารของเฟรมปัจจุบัน MT จะไม่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้และจะต้องรอไปจนกระทั่งถึงช่วงจองของเฟรมถัดไปเป็นผลให้เกิดเวลาประวิงเพิ่มขึ้นในกระบวนการเข้าจองช่องสัญญาณ

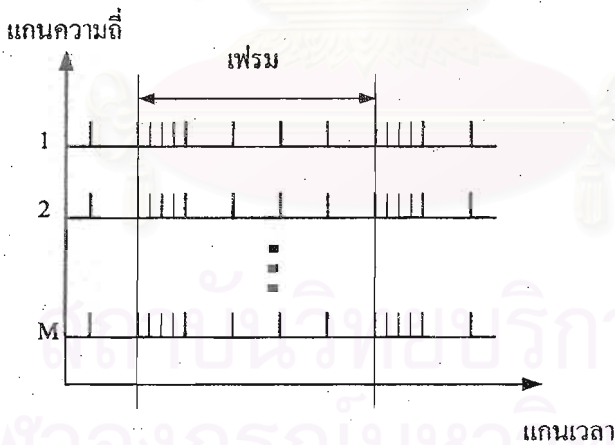
สำหรับการขาดเสียข้อเสียดังกล่าว จากรูปที่ 3.3 จะเป็นการนำเสนอโครงสร้างเฟรมที่มีลักษณะกระจายสล็อตสำหรับจองช่องสัญญาณ ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้ MT มีโอกาสที่จะเข้าจองช่องสัญญาณได้ดีขึ้น สำหรับข้อเสียของการกระจายช่องสัญญาณอาจมีดังในตัวอย่างในรูปที่ 3.4 คือ เมื่อ MT สามารถเข้าจองได้สำเร็จในสล็อตสำหรับจองที่ 3 และมีความต้องการส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร

3 แพ็กเก็ต แต่ BS จะสามารถจัดสรรสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารให้กับ MT ในเฟรมนั้นได้เพียง 2 สล็อตเท่านั้น ในขณะที่สล็อตอื่น ๆ ในเฟรมว่าง ซึ่ง MT ก็ไม่สามารถเข้าถึงได้เพราะการจองช่องสัญญาณสำเร็จเกิดขึ้นภายหลังช่วงเวลาที่ยื่นสล็อตอื่น ๆ ว่าง

เพื่อเป็นการชดเชยข้อเสียดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการกระจายสล็อตสำหรับจองในอีกรูปแบบหนึ่งที่กำหนดให้เวลาเริ่มเฟรมของแต่ละความถี่มีค่าแตกต่างกันดังรูปที่ 3.5 ซึ่งความห่างของการกระจายสล็อตก็จะขึ้นกับจำนวนความถี่ที่ใช้ในระบบด้วย ดังนั้นในการออกแบบโพรโทคอลจึงต้องใช้จำนวนความถี่มาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งด้วย สำหรับข้อเสียของวิธีนี้คือ อาจมีความซับซ้อนของระบบในทางปฏิบัติ เนื่องจากเวลาเริ่มเฟรมของแต่ละความถี่มีค่าไม่เท่ากัน ทำให้การชิงโครโนระหว่าง MT กับช่องสัญญาณทำได้ยากขึ้น

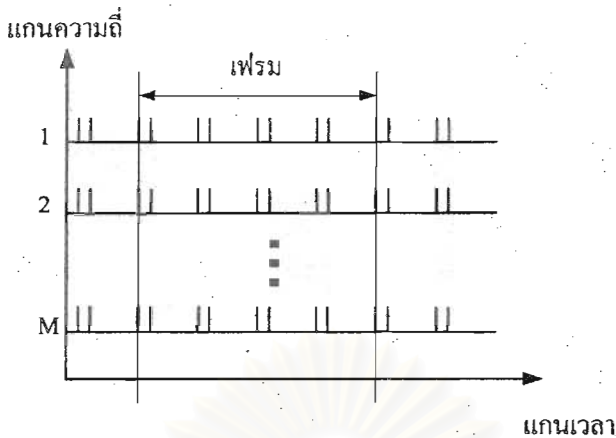


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของช่องสัญญาณแบบที่นำเสนอ

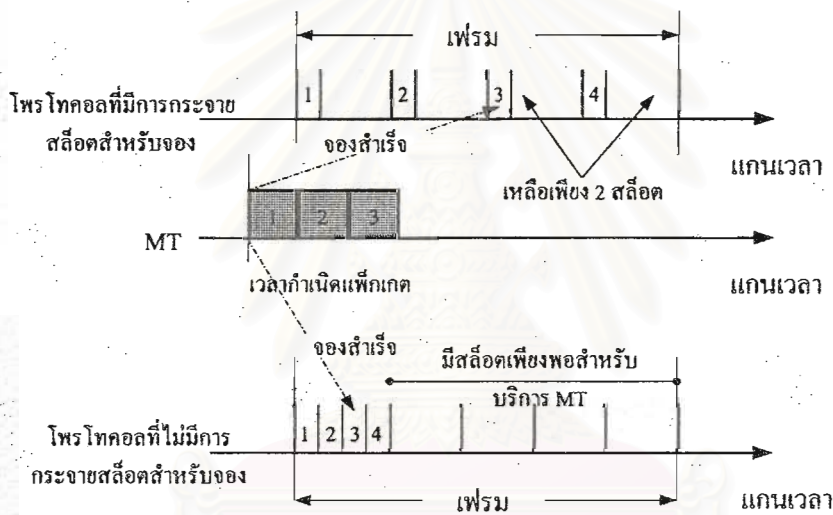


รูปที่ 3.2 การประยุกต์ใช้โครงสร้างของช่องสัญญาณแบบเฟรมกับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ

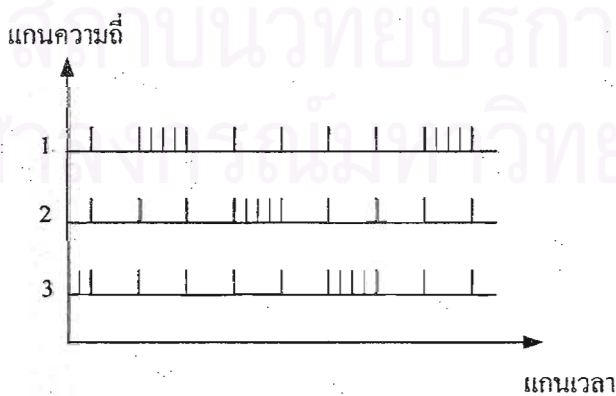




รูปที่ 3.3 การกระจายสล็อตสำหรับจองช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรม



รูปที่ 3.4 ข้อเสียของการกระจายสล็อตสำหรับจองช่องสัญญาณในเฟรม



รูปที่ 3.5 การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่

### 3.3.2 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองอย่างพลวัต

ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองช่องสัญญาณที่ใช้สำหรับการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณในงานวิจัยนี้จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของโหนดที่เข้ามาในขณะนั้นกล่าวคือ ในช่วงเวลาที่มีโหนดมากหรือมีการจองช่องสัญญาณเข้ามาในเฟรมมากค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะกำหนดให้ MT ส่งแพ็กเก็ตก็จะลดลงเพื่อป้องกันปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตที่อาจจะเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามในช่วงเวลาที่มีโหนดต่ำ ค่าความน่าจะเป็นจะมีค่าสูง เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ MT ที่มีความต้องการที่จะส่งข่าวสารได้จองและส่งแพ็กเก็ตในช่วงนั้นซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการเข้าถึงตัวกลางของระบบดีขึ้น สำหรับวิธีการหรืออัลกอริทึม (algorithm) ที่จะใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตในงานวิจัยนี้มีอยู่ 2 วิธีคือ Bayesian broadcast (BB) [5] และ exponential backoff (EB) [15] โดยรายละเอียดและวิธีการประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณของแต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 3.3.2.1 วิธี exponential backoff

ในการจองช่องสัญญาณผ่านทางสลิตสำหรับจองของ MT สถานะของสลิตสำหรับจองที่ MT จะได้รับแจ้งจาก BS จะมีทั้งหมด 3 สถานะคือ มีการส่งแพ็กเก็ตเป็นผลสำเร็จในสลิต เกิดการชนกันบนสลิตและไม่มีการขอเข้าถึงตัวกลางในสลิตนั้น โดย BS จะแจ้งสถานะของ สลิตปัจจุบันให้กับ MT ทราบก่อนที่จะถึงสลิตต่อไป ในการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นตามปริมาณโหนดจะให้สถานะของสลิตที่ BS แจ้งให้กับ MT เป็นข้อมูลสำคัญในการตัดสินใจที่จะเพิ่มหรือลดค่าความน่าจะเป็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากเอกสาร [15] ได้กำหนดให้  $z(t)$  แทนจำนวนของแพ็กเก็ตร้องขอช่องสัญญาณที่เข้ามาในสลิตที่ทำการพิจารณา โดย  $z(t)$  จะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการจองช่องสัญญาณเกิดขึ้นในสลิต และจะมีค่าเป็น 1 เมื่อมีแพ็กเก็ตจองช่องสัญญาณ 1 แพ็กเก็ตถูกส่งเข้ามาจองในสลิตนั้นซึ่งก็หมายความว่า การจองเป็นผลสำเร็จ ในกรณีที่  $z(t) > 1$  แสดงว่าเกิดการชนขึ้นในสลิต การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยพิจารณาจากสถานะของสลิตสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$p(t+1) = \min\{p_{\max}, p(t)(q_{|z(t)>1} + I_{z(t)=1} + q^{-1}I_{z(t)=0})\} \quad (3.1)$$

จากสมการที่ (3.1)  $p(t)$  คือค่าความน่าจะเป็นของสล็อต  $t$  (สล็อตปัจจุบัน) ดังนั้น  $p(t+1)$  ก็คือค่าความน่าจะเป็นของสล็อตที่  $t+1$  หรือสล็อตถัดไป และ  $I_A$  คือ ฟังก์ชันบ่งชี้ (indication function) ที่จะมีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อเกิดเหตุการณ์  $A$  ขึ้น สำหรับค่า  $p_{max}$  คือค่าความน่าจะเป็นในการส่ง แพ็กเก็ตสูงสุดที่ระบบกำหนดซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 1 สมการข้างต้นนี้คือ อัลกอริทึมในการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถแปลความหมายได้ดังนี้

ในกรณีที่ MT ได้รับการตอบรับสถานะจาก BS ว่า "เกิดการชนในสล็อต" MT จะปรับค่าความน่าจะเป็นให้ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้า BS ประกาศสถานะของสล็อตว่า "ว่าง" MT จะปรับค่าความน่าจะเป็นให้สูงขึ้น โดย  $q$  คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าความน่าจะเป็น ในโพรโทคอล slotted-ALOHA ที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่จะใช้ค่า  $q$  เท่ากับ 1 จากเอกสาร [15] จะกำหนดให้  $q$  มีค่าเป็น  $(\frac{1}{2})^k$  โดย  $k$  คือ เลขจำนวนนับ สำหรับเหตุผลที่กำหนดให้การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ  $\frac{1}{2}$  ก็เพื่อให้สอดคล้องกับชิฟต์รีจิสเตอร์ (shift register) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร และจากผลการทดสอบจากเอกสารดังกล่าวพบว่า ที่ค่า  $k$  เท่ากับ 1 ( $q=\frac{1}{2}$ ) จะเป็นค่าพารามิเตอร์ในการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นตามปริมาณโหลดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบที่ใช้วิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบ slotted-ALOHA ดีที่สุด ซึ่งในการออกแบบโพรโทคอลในงานวิจัยนี้จะใช้ค่า  $q=\frac{1}{2}$  เช่นเดียวกัน เพื่อให้มีสมรรถนะสูงสุดในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูล

เอกสาร [14] เป็นการประยุกต์ใช้วิธี exponential backoff กับโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเป็นเฟรมสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ ในการทำงาน BS จะประกาศค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตผ่านทางสัญญาณขาลงทุก ๆ ปลายสล็อตสำหรับจงแพ็กเก็ตที่เป็นสล็อตสุดท้ายของเฟรม จากนั้น MT ที่เป็นทราฟฟิกเสียงก็จะบันทึกค่าไว้และจะทำการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในทุก ๆ สล็อตสำหรับจงโดยจะคูณค่าความน่าจะเป็นด้วยสอง ( $q=\frac{1}{2}$ ) ก็ต่อเมื่อสล็อตสำหรับจงว่างและจะหารสองเมื่อเกิดการชนกัน สำหรับการส่งที่เป็นผลสำเร็จจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็น โดยค่าความน่าจะเป็นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 และ  $(\frac{1}{2})^8$  สำหรับทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะมีการบันทึกและเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นเช่นเดียวกับทราฟฟิกเสียง แต่จะต่างกันเมื่อ MT ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลส่งแพ็กเก็ต ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้จะไม่เปลี่ยนตามสถานะของสล็อตสำหรับจง แต่จะเปลี่ยนตามจำนวนครั้งในการชนของแพ็กเก็ตที่ MT ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลส่ง ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกข้อมูลจะมีค่าไม่เกินค่าความน่าจะเป็นที่ใช้กับทราฟฟิกเสียงและจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อระบบอยู่ในสภาวะโหลดสูงที่มีการชนกันมากเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพในการส่งของทราฟฟิกเสียงที่มีความทนทานต่อเวลาประวิงได้ต่ำกว่า วิธีการนี้อาจทำให้ประสิทธิภาพในการบริการทราฟฟิกข้อมูลต่ำมากที่สุด

งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตตามทราฟฟิกไหลด้วยวิธี exponential backoff สำหรับการประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณโดยการประยุกต์นั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

1. การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยแยกตามความถี่ที่ให้บริการ

การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นด้วยวิธีนี้ BS จะปรับค่าความน่าจะเป็นในแต่ละความถี่แตกต่างกันไปตามโหลดที่เข้ามาและการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของแต่ละความถี่จะกระทำโดยอิสระต่อกัน ดังสมการต่อไปนี้

$$p_i(t+1) = \min\{p_{\max}, p_i(t)(q_{|Z_i(t)>1} + I_{Z_i(t)=1} + q^{-1}I_{Z_i(t)=0})\} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3.2)$$

จากสมการที่ (3.2) สามารถระบุได้ว่า  $p_i(t+1)$  และ  $p_i(t)$  คือค่าความน่าจะเป็นของสล็อตสำหรับจอง สล็อตถัดไป (สล็อตที่  $t+1$ ) และสล็อตปัจจุบัน (สล็อตที่  $t$ ) ของความถี่ที่  $i$  โดยมีความถี่ที่ให้บริการอยู่ทั้งหมด  $M$  ความถี่ พารามิเตอร์  $q$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{2}$  และ  $I_{Z_i(t)}$  คือฟังก์ชันบ่งชี้ของความถี่ที่  $i$  ดังนั้นในการเข้าถึงตัวกลาง MT จะต้องเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งให้ตรงกับค่าความน่าจะเป็นของความถี่ที่ให้บริการอยู่ สำหรับขั้นตอนในการเข้าถึงตัวกลางของโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่แตกต่างกันในแต่ละความถี่สามารถสรุปได้ดังแผนผังในรูปที่ 3.6 ซึ่งในการส่ง MT จะต้องเลือกความถี่ที่จะส่งก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งค่าความน่าจะเป็นในการส่ง

สำหรับวิธีนี้จะมีข้อดีคือ ค่าความน่าจะเป็นที่ได้จะสอดคล้องกับปริมาณโหลดของความถี่แต่ละความถี่อย่างแท้จริง สำหรับข้อเสียก็คือ MT ต้องคอยตรวจบันทึกค่าความน่าจะเป็นของทุก ๆ ความถี่ทำให้เกิดความซับซ้อนของอุปกรณ์ใน MT มากขึ้น

2. การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ค่าเฉลี่ยเดียวกันทุกความถี่ที่ให้บริการ

สำหรับวิธีนี้ทุก ๆ ความถี่จะใช้ค่าความน่าจะเป็นเดียวกัน โดยค่าความน่าจะเป็นโดยรวมของระบบที่ได้จะเป็นค่าความน่าจะเป็นของสล็อตก่อนหน้าคูณด้วยค่าเฉลี่ยกันของสถานะสล็อตจากทุก ๆ ความถี่ ดังสมการที่ (3.3)

$$p(t+1) = \min\{p_{\max}, p(t)[\sum (q_{|Z_i(t)>1} + I_{Z_i(t)=1} + q^{-1}I_{Z_i(t)=0})]/M\} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3.3)$$

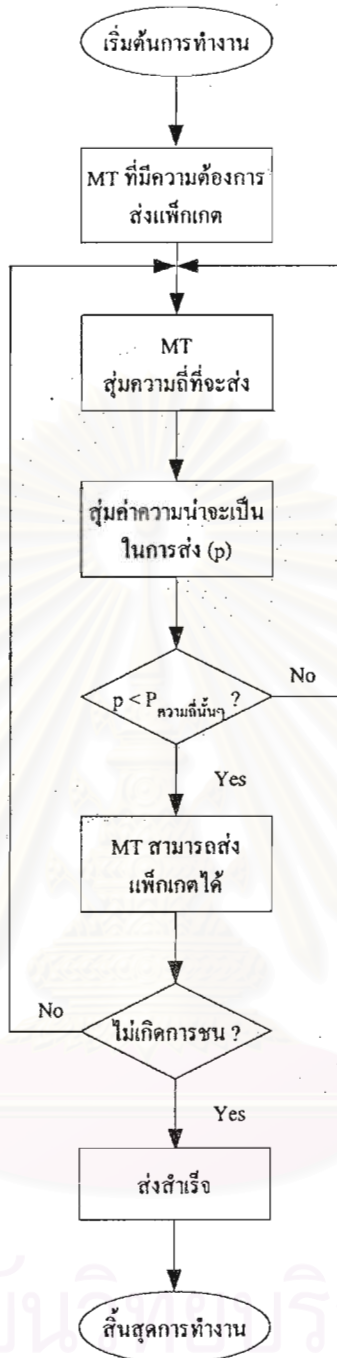
จากสมการที่ (3.3) พบว่า  $p(t+1)$  และ  $p(t)$  คือค่าความน่าจะเป็นของสล็อตสำหรับจอง สล็อตถัดไป (สล็อตที่  $t+1$ ) และสล็อตปัจจุบัน (สล็อตที่  $t$ ) ของระบบโดยรวม โดยมีความถี่ที่ให้บริการอยู่ทั้งหมด  $M$  ความถี่ ขั้นตอนในการเข้าถึงตัวกลางของโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็น

เดียวกันทั้งระบบสามารถสรุปได้ดังแผนผังในรูปที่ 3.7 ในการส่ง MT จะต้องสุ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งถ้าผ่านเกณฑ์ตามที่ระบบกำหนดจากนั้นจึงเลือกความถี่ที่จะส่งอย่างสุ่มเพื่อส่งแพ็กเก็ตต่อไป

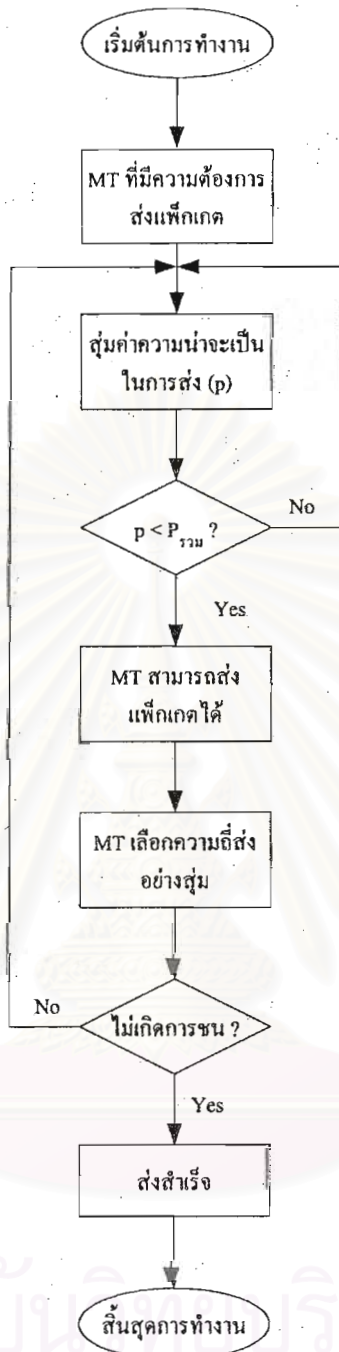
วิธีนี้จะมีข้อดีตรงที่สามารถลดความซับซ้อนในการทำงานของ MT แต่จะมีข้อเสียอยู่บ้างในกรณีที่แต่ละความถี่มีปริมาณโหลดที่แตกต่างกันมากหรือมีการกระจายปริมาณโหลดในแต่ละความถี่ไม่เท่ากัน ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ MT สมควรจะใช้ในการจองจริง ๆ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการส่งแพ็กเก็ตของ MT ในระบบที่เปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยแยกตามความถี่ที่ให้บริการ



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการส่งแพ็กเก็ตของ MT ในระบบที่เปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยใช้  
ค่าเดียวกันทุกความถี่ให้บริการ

### 3.3.2.2 วิธี Bayesian broadcast

วิธี Bayesian broadcast จะเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งที่เหมาะสมที่สุด (optimal transmission probability) ในโพรโทคอลที่ใช้วิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบ

slotted-ALOHA โดยจะคำนวณจากการประมาณค่าของปริมาณทราฟฟิกไหลที่เข้ามาในสล็อตที่กำลังทำการพิจารณาภายใต้เงื่อนไขของการประมาณแบบปัวส์ซง (Poisson estimation)

สำหรับวิธีการคำนวณจะคิดจากการหาค่าวิสัยสามารถสูงสุดที่ระบบยังทำงานได้โดยค่านี้สามารถหาได้จากอัตราการมาถึงที่มากที่สุดที่ระบบยังมีเสถียรภาพอยู่จากเอกสาร [5] ได้กำหนดให้  $G(n)$  คืออัตราการมาถึงของระบบที่มีจำนวนแบ็กล๊อค MT (backlogged mobile terminal) อยู่  $n$  ตัว ค่า  $G(n)$  ที่สูงสุดที่ยังทำให้ระบบมีเสถียรภาพจะมีค่าเป็น 1 หมายความว่า ภายใต้การทำงานที่ยังมีเสถียรภาพของโพรโทคอล slotted-ALOHA อัตราการมาถึงของแต่ละสล็อตจะต้องมีค่าไม่เกิน 1 โดยค่า  $G(n)$  ที่สูงสุดนี้จะทำให้โพรโทคอลมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ  $1/e$  หรือประมาณ 0.368 ดังนั้นในการหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งแพ็กเก็ตจะสามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$G(n) = nq(n) \quad (3.4)$$

$q(n)$  คือค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของแต่ละแบ็กล๊อค MT ในกรณีที่  $G(n)$  มีค่าเป็น 1 และ  $q(n)$  จะมีค่าเป็น  $1/n$  โดยจะมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จและค่าความน่าจะเป็นที่สล็อตนั้นว่างเป็น  $1/e$  สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันจะมีค่าเท่ากับ  $1-2/e$  หรือประมาณ 0.264 ปัญหาที่สำคัญของวิธี Bayesian broadcast นี้คือการหาค่าแบ็กล๊อค MT โดยประมาณ ( $n^{es}$ ) หรือ MT ที่มีความต้องการจองช่องสัญญาณในสล็อตที่กำลังพิจารณา โดยการประมาณค่าแบ็กล๊อค MT ของสล็อตถัดไป (สล็อตที่  $k+1$ ) จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} n^{es}(k+1) &= \max \{ \lambda, n^{es}(k) + \lambda - 1 \} \quad \text{สำหรับส่งสำเร็จหรือสล็อตว่าง} \quad (3.5) \\ &= n^{es}(k) + \lambda + (e-2)^{-1} \quad \text{ในกรณีที่เกิดการชน} \end{aligned}$$

$\lambda$  คืออัตราการมาถึงโดยเฉลี่ยของแต่ละสล็อต จากสมการที่ (3.5) พบว่าการประมาณค่าแบ็กล๊อค MT ของสล็อตถัดไปจะรวมค่าอัตราการมาถึงของแบ็กล๊อค MT ใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้นเพิ่มจากสล็อตปัจจุบัน ในกรณีที่การส่งเป็นผลสำเร็จจำนวนแบ็กล๊อค MT จะถูกลบด้วย 1 โดย 1 ก็คือจำนวน MT ที่สามารถส่งได้ ในกรณีที่สล็อตว่างหรือเกิดการชนกันของสล็อตจำนวนแบ็กล๊อค MT จะถูกลบด้วย 1 และบวกด้วย  $(e-2)^{-1}$  ตามลำดับ เพื่อที่จะเพิ่มค่าความน่าจะเป็น  $q(n^{es})$  ในกรณีที่มีสล็อตว่างสำหรับกระตุ้นให้แบ็กล๊อค MT ส่งแพ็กเก็ตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณและลด  $q(n^{es})$  เพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ต โดยการปรับจำนวนแบ็กล๊อค MT



โดยประมาณตามปริมาณโหลดก็เพื่อที่จะทำให้ค่าประมาณมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนแบ็กล็อก MT ที่แท้จริงอย่างมากที่สุด

สำหรับการประยุกต์ใช้วิธี Bayesian broadcast สำหรับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีโครงสร้างเป็นเฟรมที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถแยกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยแยกตามความถี่ที่ให้บริการและการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ค่าเดียวกันทุกความถี่ที่ให้บริการ ซึ่งขั้นตอนในการส่งแพ็กเก็ตของ MT จะเหมือนกับแผนผังในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ โดยจะแตกต่างกันในกระบวนการการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็น สำหรับระบบที่มีการใช้ค่าความน่าจะเป็นค่าเดียวสำหรับทุกความถี่จะมีวิธีการปรับค่าความน่าจะเป็นโดยสามารถอธิบายได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1. ที่เวลา  $t=0$  เซตค่า  $n^{es}$  เท่ากับ  $M$  ( $M$  คือจำนวนสลิตสำหรับช่องที่ชิงใครในซีกัน)
2. MT แต่ละตัวจะส่งแพ็กเก็ตสำหรับช่องด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ  $\min(1, M/n^{es})$
3. ค่า  $n^{es}$  จะเปลี่ยนแปลงตามสถานะของสลิตจากทั้งหมด  $M$  สลิต โดยค่าแบ็กล็อก MT ของสลิตถัดไป  $n^{es}(k+1)$  จะมีค่าเป็น  $n^{es}(k)+[C/(e-2)]-(M-C)$  โดย  $C$  คือจำนวนสลิตที่เกิดการชนกัน
4. เซตค่า  $n^{es}(k+1)$  เท่ากับ  $\max(n^{es}(k+1)+\lambda, M)$

โดยค่า  $\lambda$  คืออัตราการมาถึงต่อสลิตที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ  $M/e$  ในกรณีอุดมคติที่ BS รู้ถึงลักษณะการกำเนิดและจำนวนของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลค่า  $\lambda$  สามารถคำนวณได้ดังนี้ โดยในโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเป็นเฟรมที่มีการแบ่งช่วงจองและช่วงส่งแพ็กเก็ตอย่างชัดเจนจะมีวิธีการคำนวณค่า  $\lambda$  ที่แตกต่างออกไปเป็น 2 กรณีดังนี้คือ

1. กรณีแรก ตำแหน่งของสลิตสำหรับจองอยู่ต้นเฟรม โดย  $\lambda$  จะคำนวณจากอัตราการมาถึงของทราฟฟิกเสียง ( $\lambda_{เสียง}$ ) และข้อมูล ( $\lambda_{ข้อมูล}$ ) รวมกัน ยกตัวอย่างเช่น ทราฟฟิกเสียงมีช่วง talkspurt และ silence ยาว  $T$  และ  $S$  วินาที ตามลำดับ และมีจำนวนแหล่งกำเนิดเสียงเท่ากับ  $V$  ดังนั้น  $\lambda_{เสียง}$  ต่อเฟรม (เฟรมยาว  $F$  วินาที) จะมีค่าเป็น  $\lambda_{เสียง} = FV/S$  สำหรับทราฟฟิกข้อมูลที่มีระยะห่างโดยเฉลี่ยของแต่ละ message เป็น  $A$  วินาที โดยมีจำนวนของแหล่งกำเนิดข้อมูลเป็น  $D$  จะมี  $\lambda_{ข้อมูล}$  ต่อเฟรมเป็น  $\lambda_{ข้อมูล} = FD/A$  ดังนั้นค่า  $\lambda = \lambda_{เสียง} + \lambda_{ข้อมูล}$
2. กรณีที่สอง ตำแหน่งของสลิตสำหรับจองอยู่ในส่วนต่อเนื่องในส่วนจองของเฟรม อัตราการมาถึงของสลิตที่อยู่ในตำแหน่งนี้จะคิดในหน่วยความยาวของสลิตสำหรับจอง ซึ่งจะใช้การคำนวณคล้ายกับกรณีแรก แต่จะเปลี่ยนพจน์  $F$  ที่แทนความ

ยาวเฟรมในหน่วยวินาทีเป็นพจน์  $R$  ซึ่งแทนความยาวของสล็อตสำหรับจองในของหน่วยวินาทีเช่นกัน

ในระบบที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นแยกตามความถี่ก็จะใช้วิธีการคล้ายกับวิธีข้างต้น แต่จะพิจารณาแยกเฉพาะแต่ละความถี่ โดยแต่ละความถี่จะให้กระบวนการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นดังนี้

1. ที่เวลา  $t=0$  เซตค่า  $n^{es}$  เท่ากับ 1 (1 คือพิจารณาแยกแต่ละความถี่)
2. MT แต่ละตัวจะส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ  $\min(1, 1/n^{es})$
3. ค่า  $n^{es}$  จะเปลี่ยนแปลงตามสถานะของสล็อตที่กำลังพิจารณาในความถี่นั้น โดยค่าแบ็กล็อก MT ของสล็อตถัดไป  $n^{es}(k+1)$  จะมีค่าเป็น  $n^{es}(k) + (e-2)^{-1}$  ในกรณีที่เกิดการชน และมีค่า  $n^{es}(k)-1$  เมื่อส่งสำเร็จหรือสล็อตว่าง
4. เซตค่า  $n^{es}(k+1)$  เท่ากับ  $\max(n^{es}(k+1) + \lambda, 1)$

โดยค่า  $\lambda$  จะมีค่าเป็น  $1/e$  และค่า  $\lambda$  ในกรณีอุดมคติจะมีวิธีการคำนวณคล้ายกับการคิดค่าความน่าจะเป็นรวมของระบบ แต่จะต่างกันที่ค่า  $\lambda$  ที่ใช้ในกรณีนี้ต้องถูกหารด้วยจำนวนความถี่ทั้งหมดในระบบ ( $M$ ) ที่ให้บริการแก่ MT

### 3.3.3 วิธีการลดจำนวนการร้องขอช่องสัญญาณโดยการเข้าคิว MT

ในกรณีที่ไม่มีสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสารหลงเหลืออยู่ในเฟรม ถึงแม้ว่า MT จะสามารถส่งแพ็กเก็ตจองช่องสัญญาณได้เป็นผลสำเร็จ BS ก็จะไม่สามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับ MT ได้ ทำให้ MT เหล่านั้นต้องทำการจองช่องสัญญาณใหม่อีกครั้งในเฟรมต่อไป ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกับแพ็กเก็ตที่จองของ MT อื่น เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการจัดเก็บรายละเอียดเกี่ยวกับการจองของ MT ที่สามารถจองได้แต่ไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณให้อยู่ในคิวไว้ที่ BS โดยจะเก็บแยกตามประเภทของทราฟฟิกเพื่อรอรับการจัดสรรช่องสัญญาณที่ว่างในเฟรมต่อไป ทำให้ MT เหล่านี้ไม่ต้องทำการร้องขอช่องสัญญาณใหม่อีกครั้ง สำหรับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับ MT ที่อยู่ในคิวจะมีลักษณะเหมือนกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกปกติ และเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพในการให้บริการ ลำดับในการจัดสรรช่องสัญญาณของ MT ที่อยู่ในคิวจะสูงกว่า MT ที่เพิ่งร้องขอช่องสัญญาณเข้ามาใหม่ในเฟรมนั้น ๆ

สำหรับวิธีการนี้เคยถูกนำเสนอเพื่อใช้กับโพรโทคอลที่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับ MT ครั้งละ 1 สล็อตเช่น โพรโทคอล DQRUMA โดย BS จะเก็บเลขประจำตัวของ MT ไว้ที่ตารางการร้องขอ (request table) จากนั้นก็จะจัดสรรสล็อตช่องสัญญาณให้กับ MT ในภายหลัง โดย MT

จะรอฟังสัญญาณ transmission permission (Xmt\_Perm) ในการบอกตำแหน่งของ สล็อตที่จะส่งต่อไป

สำหรับการประยุกต์วิธีการเข้าคิว MT ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะมีความแตกต่างจากการประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล DQRUMA โดยรายละเอียดที่ BS จะต้องจัดเก็บไว้ในคิวนอกจากจะมีเลขประจำตัวของ MT แล้วยังมีประเภทของทราฟฟิกที่ต้องการจะส่งจำนวนสล็อตที่ต้องการใช้ในการส่ง (ในกรณีที่ทราฟฟิกนั้นเป็นประเภทข้อมูลที่มีการกำเนิดในลักษณะเบิร์สต์) ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้จะช่วยให้การจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอมีความยืดหยุ่นตามความต้องการในการส่งแพ็กเก็ตของแต่ละทราฟฟิกได้มากกว่า ซึ่งจะต่างจากโพรโทคอล DQRUMA ที่ MT สามารถส่งข่าวสารได้เพียงครั้งละ 1 แพ็กเก็ตโดยไม่คำนึงของประเภทของทราฟฟิก

### 3.3.4 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณตาม QoS ของแต่ละทราฟฟิก

วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณหรือสล็อตที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณเดิมที่ถูกเสนอขึ้นนั้น มิได้ออกแบบสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน ยกตัวอย่างเช่น โพรโทคอล MDPQMA ถูกออกแบบสำหรับบริการทราฟฟิกประเภทเสียงดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบโพรโทคอลที่สามารถให้บริการร่วมกันได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูล โดยการจัดสรรช่องสัญญาณในแต่ละความถี่จะกระทำในหน่วยของเฟรมกล่าวคือ เมื่อ BS ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอช่องสัญญาณจาก MT ที่มีความประสงค์จะส่งข่าวสารในเฟรมนั้น BS ก็ จะจัดสรรสล็อตสำหรับส่งข่าวสารให้กับ MT โดยมีลำดับในการจัดสรรช่องสัญญาณเรียงตามลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอช่องสัญญาณที่ได้รับจาก MT ที่ร้องขอเข้ามาในเฟรมนั้น ซึ่ง MT จะสามารถล่วงรู้ถึงตำแหน่งและความถี่ของสล็อตได้จากการตอบรับผลการจองจาก BS ผ่านทางสัญญาณขาลง โดยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้จะกระทำตาม คุณลักษณะของทราฟฟิกดังนี้คือ

#### 3.3.4.1 การจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกเสียง

การออกแบบโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกเสียงในงานวิจัยนี้ จะอนุญาตให้แต่ละแหล่งกำเนิดเสียงสามารถส่งแพ็กเก็ตในลักษณะที่เป็นรายคาบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดช่วงจังหวะพูดหรือ talkspurt ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งอัตราการส่งจะต้องซิงโครไนซ์กับอัตราการกำเนิดของแพ็กเก็ตเสียง เพื่อเป็นการประกันว่าแพ็กเก็ตต่อไปใน talkspurt จะต้องได้รับการส่งในสล็อตที่ BS ได้จองไว้ให้แน่นอน

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเข้าถึงตัวกลางให้กับทราฟฟิกเสียง ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการสำหรับลดการสูญเสียแบนด์วิดท์ที่ BS ต้องใช้สำหรับตรวจสอบสถานะของแหล่งกำเนิดเสียง โดยในการกำเนิดแพ็กเก็ตระหว่างช่วงจังหวะ talkspurt ของเสียง เราจะใช้บิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตบอก BS ว่าเป็นแพ็กเก็ตสุดท้ายของจังหวะ talkspurt หรือไม่ กล่าวคือ ถ้าบิตสุดท้ายถูกเซตเป็น '0' แสดงว่า แพ็กเก็ตนั้นอยู่ในช่วงต่อเนื่องของ talkspurt ในทางตรงกันข้าม ถ้าบิตสุดท้ายเป็น '1' แพ็กเก็ตนั้นคือ แพ็กเก็ตสุดท้ายของ talkspurt จากวิธีการดังกล่าว BS จะสามารถรับรู้ถึงสถานะของ MT ว่าอยู่ในจังหวะ talkspurt หรือจังหวะเงียบ ทำให้ BS สามารถปล่อยสล็อตที่จองนั้นให้กับ MT อื่น ๆ ได้เข้าถึงเป็นผลให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ได้พอดีตามความต้องการและใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างคุ้มค่า

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ก็ยังมียกเว้นอยู่บ้างคือ ทราฟฟิกเสียงจะต้องยอมเสียบิตเสียงจำนวนหนึ่ง (บิตที่สูญเสียจะมีจำนวนโดยเฉลี่ยเท่ากับจำนวนแพ็กเก็ตเสียงที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยต่อ talkspurt) เพื่อใช้เป็นบิตบอกสถานะของ MT ให้กับ BS ซึ่งอาจจะทำให้คุณภาพเสียงที่ได้รับด้อยลงไปบ้าง

### 3.3.4.2 การจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูล

เนื่องจากทราฟฟิกประเภทนี้มีการกำเนิดที่มีลักษณะเป็นเบิรสต์ ดังนั้นในการจัดสรรช่องสัญญาณ BS จะยินยอมให้แต่ละแหล่งกำเนิดข้อมูลสามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสารได้มากกว่าหนึ่งแพ็กเก็ตต่อเฟรมตามความต้องการในการส่ง เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะโดยธรรมชาติในการกำเนิดข้อมูล ในกรณีที่มีสล็อตว่างในเฟรมไม่เพียงพอกับความต้องการส่งแพ็กเก็ตของทราฟฟิก BS จะจองสล็อตจำนวนที่เหลือให้กับทราฟฟิกในเฟรมต่อไปโดยที่ไม่ต้องจองช่องสัญญาณใหม่อีกครั้ง โดยจะมีลำดับในการจัดสรรสูงกว่าทราฟฟิกข้อมูลที่อยู่ในคิวและทราฟฟิกข้อมูลที่เพิ่งจะเข้ามาใหม่ ตามลำดับ

สำหรับกรณีที่แหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาดของเบิรสต์สั้นไปต่อท้ายคิวแหล่งกำเนิดข้อมูลอีกแหล่งที่มีความยาวของเบิรสต์มาก ทำให้แหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาดเบิรสต์สั้นจะต้องรอจนกระทั่งแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาดเบิรสต์ยาวส่งแพ็กเก็ตจนหมดจึงจะสามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสารของตนเองได้ ทำให้เวลาประวิงที่เกิดมีค่ามากจนเกินความจำเป็น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้เสนอแนวคิดดังนี้คือ

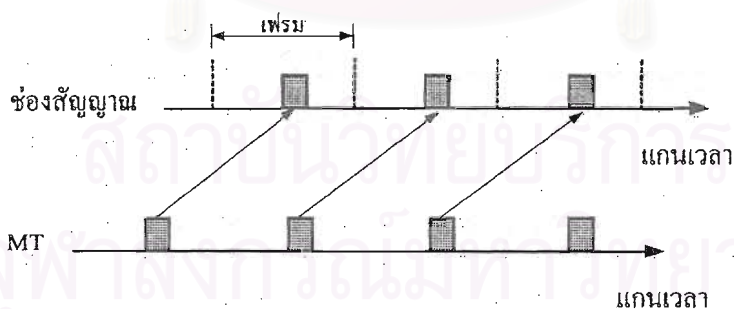
แนวคิดแรก: การจำกัดการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดข้อมูล โดย BS จะยินยอมให้แหล่งกำเนิดข้อมูลสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ไม่เกินจำนวนหนึ่ง ถ้าแหล่งกำเนิดข้อมูลยังมีความต้องการที่จะส่งต่อก็จะต้องไปต่อท้ายคิวเพื่อสลับให้แหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้มีโอกาสส่งแพ็กเก็ตบ้าง ในกรณีที่

ไม่มี MT. อินเทอร์เน็ตทำ BS จะอนุญาตให้ MT ที่กำลังส่งข่าวสารอยู่สามารถส่งแพ็กเก็ตในเฟรมปัจจุบันได้ตามต้องการ

แนวคิดที่สอง: BS จะแบ่งแบนด์วิดท์ให้กับทุก ๆ แหล่งกำเนิดข้อมูลที่ทำกรร้องขอของสัญญาณสำเร็จเท่า ๆ กัน ทำให้ทุกแหล่งกำเนิดสามารถส่งแพ็กเก็ตได้อย่างยุติธรรมและไม่ต้องการการส่งตามคิวของแพ็กเก็ตร้องขอของสัญญาณที่ BS รับผิดชอบ แนวคิดนี้อาจมีข้อเสียอยู่บ้างเนื่องจากทุกแหล่งกำเนิดจะได้รับการจัดสรรสล็อตเท่า ๆ กันโดยที่ไม่คิดถึงลำดับก่อนหลังของแหล่งกำเนิดข้อมูล ทำให้แหล่งกำเนิดที่มีลำดับการจัดสรรต้นๆ เกิดเวลาประวิงมาก

แนวคิดที่สาม: BS จะกำหนดให้แหล่งกำเนิดที่มีความต้องการในการส่งแพ็กเก็ตปริมาณน้อยสุดมีลำดับในการส่งสูงสุด ในกรณีที่มีปริมาณของแพ็กเก็ตที่ต้องการจะส่งเท่ากัน BS จะพิจารณาจากลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอของสัญญาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดเป็นขั้นต่อไป โดยแนวคิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในระบบที่มีจำนวนของกราฟฟิกข้อมูลที่มีขนาดของเบิตสตัยยาวเป็นส่วนมาก

เนื่องจากกราฟฟิกแต่ละประเภทมี QoS ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการจัดสรรของสัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอนี้จะใช้วิธีการจัดสรรตามลำดับก่อนหลัง (priority assignment) ของกราฟฟิกแต่ละประเภท โดยจะจัดให้กราฟฟิกประเภทเสียงที่มีความทนทานต่อเวลาประวิงต่ำได้รับการจัดสรรก่อนกราฟฟิกประเภทข้อมูล โดยลำดับการจัดสรรของสัญญาณจะให้แพ็กเก็ตเสียงที่เป็นส่วนต่อเนืองมีลำดับสูงสุด ตามด้วยแพ็กเก็ตเสียงของ MT ที่อยู่ในคิว แพ็กเก็ตเสียงของ MT ที่เพิ่งจองเข้ามาใหม่ แพ็กเก็ตข้อมูลที่เป็นส่วนต่อเนืองของเบิตสตัย แพ็กเก็ตข้อมูลของ MT ที่อยู่ในคิวและแพ็กเก็ตข้อมูลของ MT ที่เพิ่งจองเข้ามาใหม่เป็นลำดับสุดท้าย



รูปที่ 3.8 การจัดสรรของสัญญาณให้กับกราฟฟิกเสียงอย่างเป็นรายคาบ

### 3.3.5 โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีการแยกกันระหว่างการส่งสัญญาณ (signaling) และการส่งข่าวสารไว้คนละความถี่

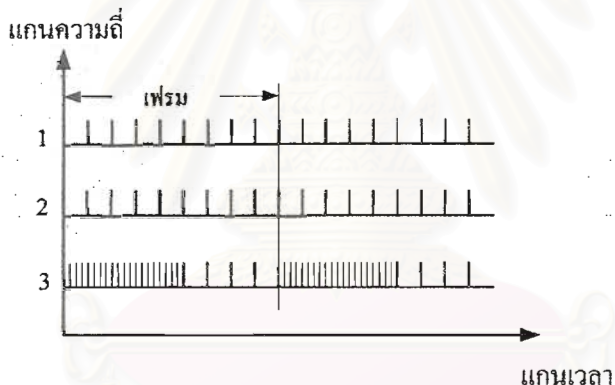
โพรโทคอลที่เคยถูกเสนอในงานวิจัยอื่นคือโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDPMA รวมถึงโพรโทคอลที่นำเสนอในหัวข้อข้างต้น โครงสร้างช่องสัญญาณของทั้งสามโพรโทคอลจะเป็นการรวมกันระหว่างการส่งสัญญาณและการส่งข่าวสารไว้ในความถี่เดียวกัน ซึ่งในกรณีนี้ MT จะสามารถเข้าจองและส่งข่าวสารได้ในทุก ๆ ความถี่ นอกจากลักษณะการทำงานดังกล่าวแล้ว ยังมีโพรโทคอลในอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการแยกกันระหว่างการส่งสัญญาณและการส่งข่าวสารไว้คนละความถี่ ในงานวิจัยนี้จะนำเอาโพรโทคอลที่มีโครงสร้าง เฟรมในลักษณะที่แยกการส่งสัญญาณและการส่งข่าวสารมาประยุกต์ใช้กับแนวคิดในการพัฒนา โพรโทคอลที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2 ถึง 3.4 จากนั้นก็จะนำมาเปรียบเทียบกับโพรโทคอลที่มีการรวมกันระหว่างการส่งสัญญาณและการส่งข่าวสาร เพื่อหาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการโทรภาพพิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน

โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่แยกการส่งสัญญาณและการส่งข่าวสารที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้จะมีลักษณะของโครงสร้างเฟรมดังรูปที่ 3.9 กล่าวคือ MT จะสามารถเข้าจองได้ที่ความถี่เดียวเท่านั้น จากตัวอย่างในรูปนี้ MT จะสามารถจองช่องสัญญาณได้เฉพาะความถี่ที่สาม สำหรับความถี่อื่น BS จะสงวนไว้ในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารเท่านั้น ในกรณีที่มีสล롯สำหรับจองไม่เต็มเฟรมในความถี่ที่สาม ช่องสัญญาณหรือพื้นที่ของสลอตที่เหลือภายในเฟรมจะเป็นสลอตข่าวสารซึ่งสามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสารได้เช่นเดียวกับความถี่อื่น ๆ นอกจากนี้ในการออกแบบลักษณะการจัดเรียงสลอตสำหรับจองบนความถี่ที่ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณก็สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดในการกระจายสลอตสำหรับจองอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมในหัวข้อที่ 3.3.1 ได้ดังรูปที่ 3.10 คือ จะมีการสลับกันไประหว่างสลอตสำหรับจองหรือร้องขอช่องสัญญาณ (reservation slot or request slot, RS) และสลอตข่าวสาร (information slot, IS)

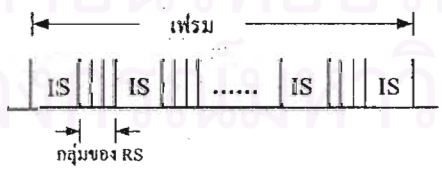
สำหรับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอจะมีลักษณะดังนี้คือ เมื่อ MT สามารถเข้าจองได้ BS จะหาสลอตข่าวสารที่ว่างในเฟรมถัดไป โดยจะเริ่มหาจากสลอตที่มีเวลาเริ่มต้นใกล้เคียงกับเวลาที่ MT สามารถเข้าจองได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.11 BS จะเก็บ V1 V2 และ D1 ซึ่งเป็น MT ที่มีความต้องการส่งโทรภาพพิกเสียงและข้อมูลไว้ในคิวของโทรภาพพิกเสียงและข้อมูลตามลำดับ จากนั้น BS จะจัดสรรช่องสัญญาณในเฟรมถัดไปให้กับโทรภาพพิกเสียงก่อน โดยจะเรียงตามลำดับเวลาที่สามารถเข้าจองได้ ในกรณีนี้ V1 จะได้รับการจัดสรรเป็นลำดับแรก ซึ่ง BS จะหาสลอตที่มีเวลาเริ่มต้นใกล้เคียงมากที่สุดกับเวลาที่จองได้ของ V1 และจะเรียงไปตามลำดับของความถี่ ในที่นี้ก็คือสลอตแรกของความถี่ที่หนึ่ง โดย V1 จะสามารถส่งแพ็กเก็ตเสียงจนหมด

talkspurt ที่ตำแหน่งของสล็อตและความถี่เดียวกันนี้ สำหรับ V2 จะได้รับการจัดสล็อตข่าวสารจาก BS ในสล็อตที่สองของความถี่ที่สอง เนื่องจากสล็อตแรกของความถี่ที่หนึ่งและสองและสล็อตที่สองของความถี่แรกกำลังถูกครอบครองจาก MT อื่น สำหรับทราฟฟิกข้อมูล BS จะมีการหาสล็อตแรกสำหรับส่งแพ็กเก็ตที่คล้ายกับทราฟฟิกเสียงและเมื่อสามารถส่งแพ็กเก็ตแรกได้ BS ก็จะอนุญาตให้ MT ส่งในสล็อตถัดไปบนความถี่เดียวกันโดยไม่ต้องจองช่องสัญญาณซ้ำอีกครั้ง ซึ่งในการกำหนดวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอลนี้จะสามารถประยุกต์ใช้กับแนวคิดทั้งหมดที่เสนอในหัวข้อที่ 3.3.4.2 ตามลักษณะของทราฟฟิกข้อมูลที่ระบบกำลังให้บริการ

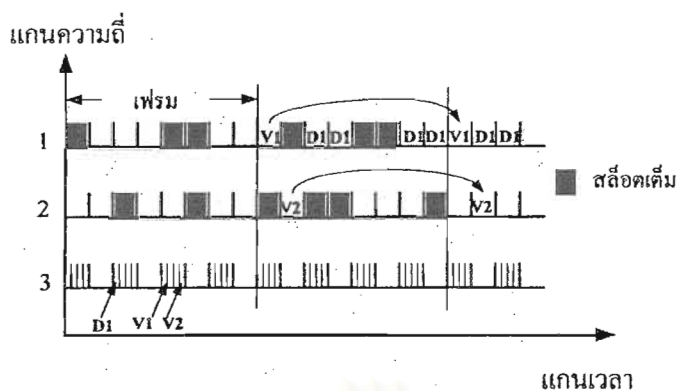
จากลักษณะการจัดสรรช่องสัญญาณดังกล่าวจะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่มีการแยกกันระหว่างการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะมีความยืดหยุ่นรวมถึงมีประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณมากกว่า ถึงแม้ว่าจะต้องเสียเวลาประวิงในการจัดสรรช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งความยาวเฟรมก็ตาม



รูปที่ 3.9 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีการแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสาร



รูปที่ 3.10 การกระจายสล็อตสำหรับจองภายในเฟรมของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีการแยกสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสาร



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีการแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสาร

สำหรับแนวคิดที่นำเสนอทั้งหมดนี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ โดยในบทที่ 4 ถึง 7 จะเป็นการทดสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้การประยุกต์แนวคิดในการพัฒนาโพรโทคอลและจะกล่าวสรุปผลรวมถึงข้อเสนอแนะในบทสุดท้าย



## การเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกัน ระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลเดิมที่เคยถูกเสนอมา

### 4.1 ข้อกำหนดและแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์ผล

สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลเดิมคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDRMA ในบทนี้รวมถึง การทดสอบแนวคิดในการพัฒนาโพรโทคอลที่นำเสนอเพิ่มเติมทั้งทางด้านการเข้าถึงและการ จัดสรรช่องสัญญาณในบทต่อ ๆ ไปของรายงานวิจัยฉบับนี้ จะกระทำภายใต้ข้อกำหนดและ ขอบเขตของแบบจำลองระบบดังนี้คือ

1. จำนวน MT ภายในโครงข่ายไร้สายจะคงที่ตลอดการจำลองแบบ (simulation) โดยไม่ คิดผลของการส่งต่อระหว่างเซลล์และตลอดช่วงระยะเวลาการจำลองแบบ MT จะอยู่ใน โหมดทำงานที่มีความต้องการส่งข่าวสารซึ่งเป็นกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะเลวร้ายที่ สุด ซึ่งแต่ละ MT สามารถส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน
2. การกำเนิดของแต่ละ talkspurt ของทราฟฟิกเสียงหรือ message ของทราฟฟิกข้อมูล จะเป็นอิสระต่อกัน
3. เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่แท้จริงในการให้บริการของโพรโทคอลที่ออก แบบ การจำลองแบบในงานวิจัยนี้จะละเลยเวลาประวิงการแพร่กระจายและเวลา ประวิงที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งความผิดพลาดในการรับส่งแพ็กเก็ตที่เกิดจาก ช่องสัญญาณเช่น ผลการเฟดดิ้งและผลของปรากฏการณ์รั้งจับ (capture effect) เป็นต้น
4. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแสดงถึงสมรรถนะของโพรโทคอลจะนอกจากจะใช้ 3 ค่า หลัก ๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 1.3 คือ ค่าวิสัยสามารถ (วัดจากจำนวนของ แพ็กเก็ตที่ส่งสำเร็จต่อจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดที่เกิดขึ้น) ค่าความน่าจะเป็นของการ ดริอปแพ็กเก็ตเสียงและค่าเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล (ค่าเวลาประวิงของ ทั้งแพ็กเก็ตเสียงและข้อมูลจะเริ่มนับจากเวลาที่แพ็กเก็ตเกิดจนถึงเวลาที่ระบบ สามารถส่งแพ็กเก็ตนั้น ๆ ได้สำเร็จ) ยังอาจจะใช้ค่าอื่น ๆ เพื่อความเหมาะสมใน แต่ละการทดสอบเช่น ค่าความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จ จำนวนการจองและ สล็อตว่างโดยเฉลี่ยต่อเฟรม เป็นต้น

แบบจำลองระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวอย่างของแบบจำลองโครงข่ายไร้สายท้องถิ่น หรือ WLAN [1] ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพและข้อสมมติฐานเบื้องต้นของโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่กำหนดไว้ในขอบเขตของงานวิจัยในหัวข้อที่ 1.3 สำหรับแบบจำลองระบบของ WLAN สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองของช่องสัญญาณและแบบจำลองของทราฟฟิก ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

#### 4.1.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณ

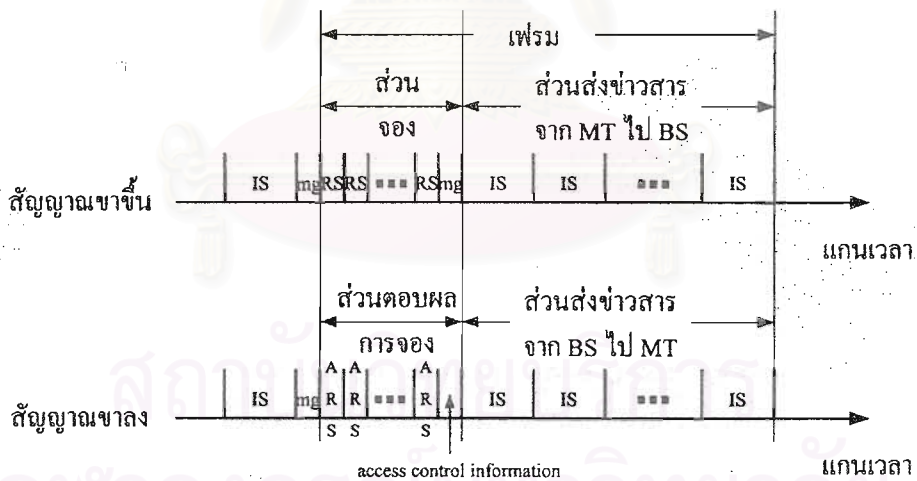
อัตราข้อมูลของช่องสัญญาณต่อความถี่ใน WLAN ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีค่าเท่ากับ 720 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) [1] โดยจะแบ่งออกทางเวลาเป็นเฟรมที่มีความยาว 16 มิลลิวินาที (ms) ซึ่งจะแบ่งออกเป็นส่วนของจองและส่วนที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร โดยขนาดของทั้ง 2 ส่วนนี้จะสามารถแปรผันได้ตามค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างเฟรมด้านสัญญาณขาขึ้นและขาลงของโพรโทคอลที่ถูกออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ ในด้านสัญญาณขาขึ้นจะประกอบไปด้วยส่วนของจอง (reservation part) ที่มีสล็อตสำหรับการจอง (reservation slot, RS) เป็นองค์ประกอบ โดย MT จะสามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสารผ่านทางสล็อตข่าวสาร (information slot, IS) ได้ในส่วนที่ใช้สำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร (information transmission part) โดยระหว่างส่วนของจองและส่วนที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจะมีส่วนเผื่อ (margin) คั่นไว้เช่นเดียวกับรอยต่อระหว่างเฟรม

ขนาดของสล็อตข่าวสารที่ใช้จะเท่ากับขนาดของแพ็กเก็ตข่าวสารที่ใช้ติดต่อกันระหว่าง BS และ MT ซึ่งมีความยาวทั้งหมด 576 บิตดังรูปที่ 4.2 โดยจะประกอบไปด้วยบิตหัว (header bits) ที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับเวลาป้องกัน (guard time) เวลาซิงโครไนซ์ (synchronization time) ประเภทของทราฟฟิก (เสียงหรือข้อมูล) ลำดับของแพ็กเก็ตตลอดจนลำดับของ message ในกรณีที่เป็นแพ็กเก็ตข้อมูลรวมทั้งสิ้น 64 บิตและบิตข่าวสารที่แท้จริงจำนวน 512 บิต

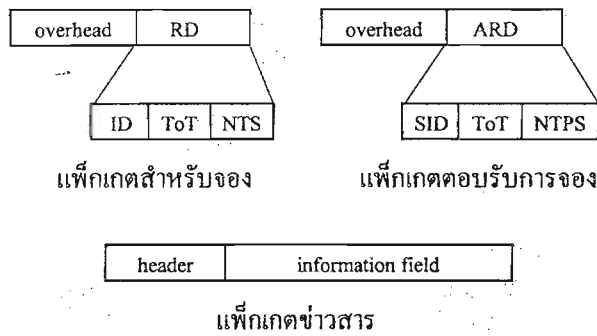
สำหรับแพ็กเก็ตสำหรับจองซึ่งมีขนาด 144 บิตจะประกอบไปด้วย ส่วนโอเวอร์เฮด (overhead) จำนวน 80 บิต และส่วนที่เป็นรายละเอียดของการจองช่องสัญญาณ (reservation description, RD) ที่ประกอบด้วย เลขประจำตัวของ MT (identification part, ID part) ยาว 40 บิต ชนิดของทราฟฟิกว่าเป็นเสียงหรือข้อมูล (type of traffic, ToT part) จำนวน 4 บิต ซึ่งจะเผื่อไว้สำหรับบริการทราฟฟิกประเภทมัลติมีเดีย (multimedia) และจำนวนสล็อตที่ต้องการจะส่งแพ็กเก็ต (number of transmission slots, NTS) จำนวน 20 บิต โดยทราฟฟิกเสียงจะเซตค่า  $NTS = 1$  เพราะในการส่งแพ็กเก็ต แหล่งกำเนิดเสียงจะส่งครั้งละ 1 แพ็กเก็ตอย่างเป็นรายคาบ สำหรับทราฟฟิกข้อมูลจะเซตค่า NTS ได้มากกว่า 1 ตามความต้องการส่งแพ็กเก็ตใน message นั้น

ในส่วนของสัญญาณขาหลงจะมีส่วนที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (access control part) และส่วนที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข่าวสารจาก BS ไปยัง MT ในส่วนแรกจะสามารถแบ่งออกเป็นสล็อตที่ใช้ตอบผลการจอง (acknowledge reservation slot, ARS) ซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับสล็อตที่ใช้จองของสัญญาณขาขึ้น และส่วนที่ใช้ประกาศพารามิเตอร์สำหรับควบคุมการเข้าใช้ตัวกลางจาก BS เช่น ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต เป็นต้น สำหรับแพ็กเก็ตที่ใช้ตอบผลการจองจะมีส่วนประกอบดังรูปที่ 4.2 โดยจะมีส่วนโอเวอร์เฮด (overhead) และส่วนของรายละเอียดที่ใช้ตอบผลการจอง (acknowledge reservation description, ARD) ซึ่งมีเลขประจำตัวของ MT ที่สามารถจองสำเร็จ (success identification part, SID) ชนิดของทราฟฟิก (type of traffic, ToT part) และจำนวนสล็อตที่ BS อนุญาตให้ MT ส่งแพ็กเก็ตได้ (number of transmission permission slots, NTPS) เป็นองค์ประกอบ โดยความยาวในหน่วยจำนวนบิตของทั้งสามส่วนนี้จะมีขนาดเท่ากับ ID ToT และ NTS ในแพ็กเก็ตสำหรับจอง ตามลำดับ

ในการตอบรับผลการจอง BS จะบอกผลกับ MT ผ่านทางสล็อตตอบผลการจองให้สามารถล่วงรู้ได้ทันทีก่อนที่สล็อตสำหรับจอง (บนสัญญาณขาขึ้น) สล็อตต่อไปจะเกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาประวิงที่เป็นผลมาจากเวลาประวิงการแพร่กระจายและเวลาประวิงที่ใช้ในการประมวลผลของ BS และ MT ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 1.3



รูปที่ 4.1 โครงสร้างเฟรมด้านสัญญาณขาขึ้นและขาหลงของโพรโทคอลที่นำเสนอ



รูปที่ 4.2 รายละเอียดและองค์ประกอบของแพ็กเก็ตสำหรับจองแพ็กเก็ตตอบรับผลการจองและแพ็กเก็ตข่าวสาร ตามลำดับ

#### 4.1.2 แบบจำลองของกราฟฟิก

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบโปรโตคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับรองรับกราฟฟิกเสียงและข้อมูลโดยมีรายละเอียดของกราฟฟิกแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

##### 4.1.2.1 กราฟฟิกประเภทเสียง

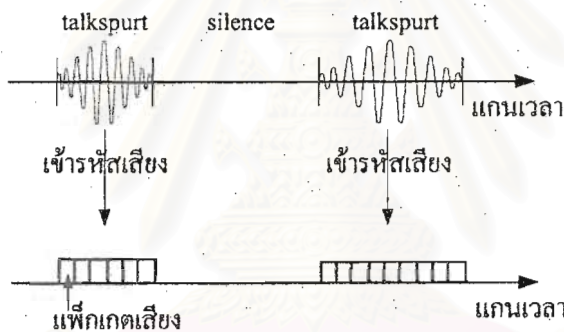
เสียงที่จะทำการพิจารณาในงานวิจัยนี้คือเสียงที่เป็นการสนทนาของมนุษย์ (speech) โดยใช้เครื่องมือชื่อ "voice activity detector (VAD)" แยกเสียงพูดออกเป็นช่วง talkspurt และ silence ข่าวสารทั้งหมดที่ต้องการส่งจะอยู่ในช่วง talkspurt ส่วนในช่วง silence จะเป็นช่วงเงียบไม่มีข่าวสารอยู่ ดังรูปที่ 4.3 จากเอกสาร [1] ระบุว่า เสียงพูดของมนุษย์จะมีสัดส่วนของช่วง talkspurt อยู่ประมาณร้อยละ 40 การแจกแจงทางสถิติของทั้ง 2 ช่วงจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) โดยในช่วง talkspurt จะมีอัตราการกำเนิดบิตข่าวสารคงที่ (8, 32 หรือ 64 กิโลบิตต่อวินาที) กราฟฟิกประเภทนี้ต้องการการส่งแบบเวลาจริง (real time) โดยแต่ละแพ็กเก็ตเสียงจะมีระยะเวลาจำกัดในการส่ง ถ้าล่วงเลยค่าเวลานี้แพ็กเก็ตเสียงก็จะถูกลบทิ้ง (discard) ไป ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงจะต้องไม่เกิน 0.01 สำหรับค่าความน่าจะเป็นในการดริอปแพ็กเก็ตเสียงนี้จะเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของการให้บริการแก่กราฟฟิกประเภทเสียง

สำหรับในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ช่วง talkspurt และ silence ของกราฟฟิกเสียงมีการแจกแจงทางสถิติแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ค่าเฉลี่ย 1 และ 1.35 วินาทีตามลำดับ อัตราการกำเนิดบิตเสียงในช่วง talkspurt เท่ากับ 32 กิโลบิตต่อวินาที ดังนั้นในการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียงขนาด 512 บิตแหล่งกำเนิดเสียงจะต้องใช้เวลาในการผลิตแพ็กเก็ตเสียงเท่ากับ 16 มิลลิวินาที ซึ่งสอดคล้องกับ

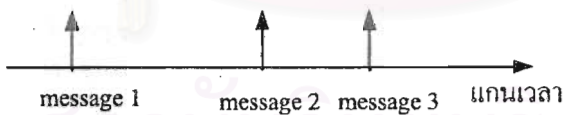
ขนาดของเฟรม แพ็กเก็ตเสียงสามารถทนเวลาประวิงได้ 32 มิลลิวินาที โดยจะมีค่าความน่าจะเป็นในการดรอปรอของแพ็กเก็ตไม่เกิน 0.01

#### 4.1.2.2 ทราฟฟิกประเภทข้อมูลคอมพิวเตอร์

ทราฟฟิกประเภทนี้จะมียุทธวิธีเป็น message ซึ่งความยาวและการแจกแจงทางสถิติจะแตกต่างกันไปตามโครงข่ายที่ให้บริการ ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้การแจกแจงทางสถิติของอัตราการมาถึง (arrival rate) ของแต่ละ message เป็นแบบปัวส์ซง (Poisson) ความยาวโดยเฉลี่ยของ message (ในหน่วยของแพ็กเก็ต) แปรผันจาก 1 ถึง 100 แพ็กเก็ต ที่ปริมาณโหลดคงที่ 5.76 กิโลบิตต่อวินาทีต่อแหล่งกำเนิด ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการกำเนิดบิตข้อมูลใน WLAN ของเอกสาร [1] โดยการแจกแจงทางสถิติของความยาว message ของข้อมูลคอมพิวเตอร์จะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล



รูปที่ 4.3 ลักษณะการกำเนิดของทราฟฟิกเสียง



รูปที่ 4.4 ลักษณะการกำเนิดของทราฟฟิกข้อมูล

#### 4.2 วิธีการจำลองแบบ

งานวิจัยนี้จะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองทำงานของระบบ ซึ่งในแต่ละค่าที่ได้จากผลทดสอบจะกระทำซ้ำกัน 3 ครั้งโดยกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรสุ่มที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยที่เกิดจากทั้ง 3 ค่า ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งจะกำหนดให้คอมพิวเตอร์ทำงานในจำนวนรอบที่ต่างกันไปตามชนิดของโพรโทคอล คือ ในกรณีของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบ

หลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDPMA จะกำหนดให้ทำงาน 10,000,000 สล็อตต่อครั้ง สำหรับโพรโทคอลที่มีรูปร่างเป็นเฟรมจะกำหนดให้ทำงาน 500,000 เฟรมต่อครั้ง

#### 4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDPMA

โพรโทคอลที่ได้ออกแบบตามแนวคิดที่เสนอในบทที่ 3 จะมีโครงสร้างเฟรมและพื้นฐานของการทำงานที่สามารถสรุปพอสังเขปได้ดังนี้คือ

โครงสร้างช่องสัญญาณของโพรโทคอลจะเป็นแบบเฟรมที่มีความยาวเท่ากับเวลาที่ใช้ในการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียง 1 แพ็กเก็ต ซึ่งในแต่ละเฟรมจะประกอบไปด้วยสล็อตสำหรับจองที่มีขนาดเล็กกว่าสล็อตสำหรับส่งข่าวสาร โดยในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารแรกของ talkspurt หรือ message MT จะต้องเข้าจองสล็อตข่าวสารผ่านทางสล็อตสำหรับจองด้วยวิธี slotted-ALOHA และเมื่อการจองเป็นผลสำเร็จ BS ก็จะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแพ็กเก็ตต่อ ๆ ไปโดยที่ MT ไม่ต้องทำการจองซ้ำอีกครั้ง โดยวิธีในการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอซึ่งมีการจัดสรรแบบเฟรมต่อเฟรมก็จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของทราฟฟิกคือ ในกรณีของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกเสียง BS จะกำหนดให้ MT ส่งทีละแพ็กเก็ตอย่างเป็นรายคาบจนกระทั่งหมด talkspurt ในส่วนของทราฟฟิกข้อมูล BS จะอนุญาตให้สามารถส่งได้คราวละหลายแพ็กเก็ตตามความต้องการทราบเท่าที่ยังมีสล็อตว่างอยู่ภายในเฟรม ในกรณีที่มีสล็อตเหลือไม่เพียงพอ BS จะให้แหล่งกำเนิดข้อมูลนั้น ๆ สามารถส่งแพ็กเก็ตต่อในเฟรมถัดไปโดยไม่ต้องจองซ้ำแต่ BS จะไม่จองสล็อตตายตัวให้กับแพ็กเก็ตข้อมูลเหมือนกับการจองให้กับแพ็กเก็ตเสียงที่จะต้องส่งแพ็กเก็ต ณ ตำแหน่งของสล็อตเดิมในทุกเฟรมที่จอง นอกจากนี้ลำดับในการจัดสรรช่องสัญญาณของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เป็นส่วนต่อเนื่องของ message จะต่ำกว่าแพ็กเก็ตเสียงที่เป็นส่วนต่อเนื่องของ talkspurt

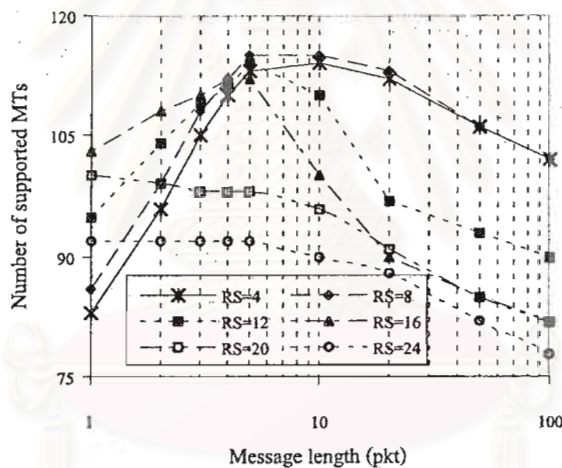
จากโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า จำนวนสล็อตสำหรับจองต่อเฟรมจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของโพรโทคอลที่นำเสนอ ดังนั้นการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลในการทดสอบแรกจะเป็นการหาจำนวนสล็อตสำหรับจองต่อเฟรมที่เหมาะสมกับสภาพของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message ต่าง ๆ กัน (รูปที่ 4.5 ถึง 4.7) จากนั้นจึงจะเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกันของโพรโทคอลที่เสนอกับโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDPMA ในการทดสอบที่สองและสามจากรูปที่ 4.8 ถึง 4.18 โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของความยาว message

ข้อมูลเพิ่มเติมในการทดสอบที่สาม (รูปที่ 4.12 ถึง 4.18) สำหรับการทดสอบสุดท้ายในรูปที่ 4.19 ถึง 4.20 จะเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของจำนวนความถี่ที่มีต่อแนวคิดการเปลี่ยนโครงสร้างเฟรม การทดสอบแรกจะเป็นการทดสอบโดยอาศัยแบบจำลองที่ใช้ความถี่ 4 ค่าในการให้บริการ แก่เซลล์ ในรูปที่ 4.5 จะกำหนดให้แต่ละ MT สามารถส่งได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความยาว message แปรผันจาก 1 ถึง 100 แพ็กเก็ตที่ปริมาณไหลต่อแหล่งกำเนิดคงที่เท่ากับ 5.76 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) และจะใช้จำนวน MT สูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้โดยที่ยังสามารถทำงานได้และมีค่าความน่าจะเป็นของการทรอปแพ็กเก็ตเสียง (probability of voice packet dropping,  $P_{drop}$ ) ไม่เกิน 0.01 เป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงสมรรถนะของโพรโทคอล โดยจำนวน MT จะเป็นฟังก์ชันกับความยาว message ของ ทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าที่ปริมาณไหลเท่ากัน แหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาด message สั้นจะมีอัตราการร้องขอหรือจองช่องสัญญาณที่สูงกว่าแหล่งกำเนิด ข้อมูลที่มีความยาว message มาก ดังนั้นในการทดสอบนี้จะใช้อัตราการร้องขอช่องสัญญาณเป็นตัวแปรสำคัญในการหาจำนวนสลิตสำหรับจองที่เหมาะสม ใน 1 เฟรม สำหรับในรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเป็นการวัดค่าสลิตข่าวสารที่ว่างโดยเฉลี่ยใน 1 เฟรม และค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จของโพรโทคอลที่ใช้จำนวนสลิตสำหรับจองต่อเฟรมเท่ากับ 24, 20, 16, 12, 8 และ 4 สลิต ตามลำดับ โดยค่าที่วัดได้จะเป็นฟังก์ชันกับปริมาณ MT ที่เพิ่มขึ้น และกำหนดให้ตัวอย่างของทราฟฟิกข้อมูลมีความยาวโดยเฉลี่ยของ message เป็น 10 แพ็กเก็ต

จากผลการจำลองแบบที่ได้ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า จำนวนสลิตสำหรับจองที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ ความสามารถในการรองรับปริมาณการจองที่เข้ามาในแต่ละเฟรมและขนาดของโอเวอร์เฮดที่ต้องสูญเสียไปกับส่วนที่ใช้สำหรับจอง ในกรณีที่มีจำนวนสลิตต่อเฟรมมากก็จะสามารถรองรับการจราจรของสัญญาณของทราฟฟิกได้สูงแต่ก็จะสูญเสียสลิตที่ใช้ส่งข่าวสารไปมากกว่าระบบที่มีจำนวนสลิตต่อเฟรมน้อย จากรูปที่ 4.5 พบว่า ในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว 1 แพ็กเก็ตต่อ message ซึ่งมีอัตราการจองสูง โพรโทคอลที่ใช้จำนวนสลิตสำหรับจองเท่ากับ 16 สลิตต่อเฟรมจะสามารถให้บริการ MT ได้มากที่สุดเท่ากับ 103 ตัว ในขณะที่โพรโทคอลที่มีจำนวนสลิตสำหรับจองเท่ากับ 20 และ 24 สลิตต่อเฟรมจะสามารถให้บริการ MT ได้จำนวนน้อยกว่า เนื่องจากมีจำนวนโอเวอร์เฮดต่อเฟรมมากเกินไป สำหรับโพรโทคอลที่ใช้จำนวนสลิตสำหรับจองน้อยกว่า 16 สลิต ก็จะมีความสามารถในการให้บริการ MT ลดหลั่นลงมาดังนี้คือ โพรโทคอลที่ใช้จำนวนสลิตเท่ากับ 12, 8 และ 4 สลิตต่อเฟรมจะสามารถให้บริการ MT ได้ 103, 86 และ 83 ตัว ตามลำดับ แต่ในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว message โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอัตราการจองก็จะลดน้อยลงและในสภาวะนี้ทราฟฟิกจะมีความต้องการสลิตข่าวสารต่อการส่ง 1 message เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นโพรโทคอลที่มีจำนวนสลิตสำหรับจองเท่ากับ 16 และ 12 สลิตต่อเฟรมจะสามารถให้บริการ MT ได้น้อยกว่าโพรโทคอลที่มี

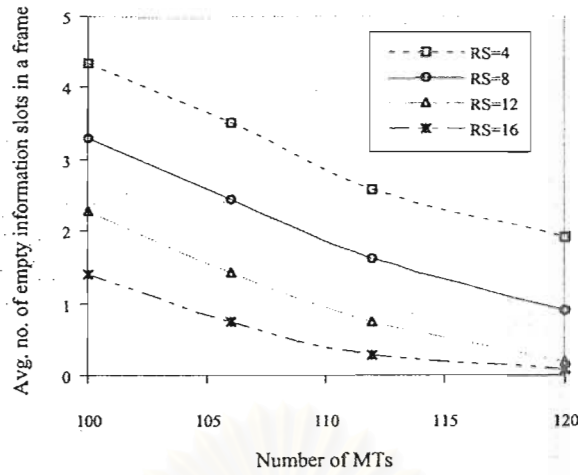
จำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 8 และ 4 เนื่องจากมีสล็อตว่างโดยเฉลี่ยในสวนที่ใช้ส่งแพ็กเก็ต  
 ข่าวสารน้อยกว่าโพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 8 และ 4 ดังรูปที่ 4.6 และจากการ  
 ที่มีสล็อตข่าวสารน้อยจะส่งผลให้การจัดสรรสล็อตให้แก่ MT ในแต่ละเฟรมไม่เพียงพอ ทำให้ MT  
 ต้องช่วงชิงช่องสัญญาณใหม่ในเฟรมถัดไป ทำให้ปริมาณการช่วงชิงสูงขึ้นส่งผลให้เกิดอัตราการ  
 ขนมากโดยเฉพาะในสภาวะโหลดสูง จากรูปที่ 4.7 จะสังเกตได้ว่า โพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อต  
 สำหรับจองเท่ากับ 16 และ 12 จะมีความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จต่ำลงที่ปริมาณโหลดสูงขึ้น  
 ในขณะที่โพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 8 จะมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ  
 โดยรวมดีที่สุด

จากผลโดยรวมที่ได้จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 8 จะมี  
 สมรรถนะในการให้บริการ MT ดีที่สุดเมื่อข้อมูลมีความยาวโดยเฉลี่ยมากกว่า 5 แพ็กเก็ตแต่ที่  
 ความยาว message ต่ำกว่า 5 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อตเท่ากับ 16 จะสามารถรองรับ  
 MT ได้มากที่สุด

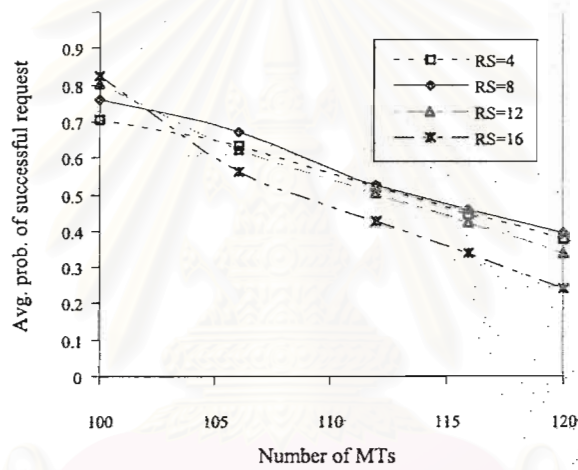


รูปที่ 4.5 จำนวน MT สูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ภายใต้โพรโทคอลที่เสนอโดยมี  
 จำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 สล็อตต่อเฟรมตามลำดับ





รูปที่ 4.6 จำนวนสล็อตข่าวสารที่ว่างโดยเฉลี่ยใน 1 เฟรมของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยมีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 16, 12, 8 และ 4 สล็อตต่อเฟรมตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ค่าความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยมีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 16, 12, 8 และ 4 สล็อตต่อเฟรมตามลำดับ

การทดสอบที่สองจะเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลระหว่างโพรโทคอลดั้งเดิมกับโพรโทคอลที่นำเสนอภายใต้ระบบที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ ซึ่งในการทดสอบนี้จะกำหนดให้แต่ละ MT สามารถส่งได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลโดยทราฟฟิกข้อมูลจะมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 10 แพ็กเก็ตต่อ message ที่ปริมาณโหลดต่อแหล่งกำเนิดคงที่เท่ากับ 5.76 kbps ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลจะใช้ค่า  $P_{drop}$  สำหรับวัดสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล (delay per data packet,  $D_{pkt}$ ) สำหรับวัดสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกข้อมูล และค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นที่ MT สามารถจองหรือร้องขอสำเร็จ ( $P_{suc}$ ) จะใช้ในการวัดสมรรถนะในการจัดการการช่วงชิงช่องสัญญาณของโพรโทคอล ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ทั้งสามค่าจะเป็นฟังก์ชันของปริมาณ MT

ที่เพิ่มขึ้น สำหรับโพรโทคอลที่นำเสนอจะกำหนดให้มีจำนวนสลิตสำหรับจองต่อเฟรมเท่ากับ 8 เหตุเพราะที่สภาวะความยาว message นี้โพรโทคอลที่มีจำนวนสลิตสำหรับจองเท่ากับ 8 จะมีสมรรถนะในการให้บริการที่สูงที่สุดดังรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.8 พบว่าสมรรถนะในการให้บริการกราฟฟิกเสียงของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ (เส้น multi\_s-ALOHA) จะดีกว่าโพรโทคอล MDRMA (เส้น MDRMA) และโพรโทคอลที่เสนอขึ้น (เส้น I) โดยจะสามารถให้บริการ MT ได้เพียง 45 ตัวเท่านั้น หรือประมาณ 0.4 เท่าของจำนวน MT ที่โพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่เสนอสามารถรองรับได้ ในกรณีที่มีจำนวน MT มากกว่า 60 ตัว ค่าเวลาประวิงที่เกิดขึ้นในระบบจะเพิ่มสูงอย่างมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ MT ที่รับบริการภายใต้โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ จะต้องช่วงชิงช่องสัญญาณทุกแพ็กเก็ต ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตทำให้ MT ไม่สามารถเข้าถึงช่องสัญญาณได้จึงเกิดเวลาประวิงในการรอการส่งสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่า ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จและค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณจะต่ำกว่าโพรโทคอลอื่น นอกจากนี้เมื่อปริมาณ MT เพิ่มขึ้นมากกว่า 60 ตัว ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณก็จะเริ่มลดลงดังรูปที่ 4.11

สำหรับค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่เสนอขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ปริมาณโหลดต่ำถึงโหลดค่อนข้างสูง เนื่องจากมีลักษณะการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับกราฟฟิกเสียงที่คล้ายคลึงกันและผลกระทบจากปัญหาอื่นคือ ปัญหาการช่วงชิงช่องสัญญาณและปัญหาการแย่งชิงช่องสัญญาณกับกราฟฟิกข้อมูลก็ยังมีน้อย แต่ที่ปริมาณโหลดสูงโพรโทคอลที่นำเสนอจะมีค่า  $P_{drop}$  ที่สูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากปัญหาการแย่งชิงช่องสัญญาณกับกราฟฟิกข้อมูล เพราะกลไกในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแหล่งกำเนิดข้อมูลของโพรโทคอลที่นำเสนอจะกระทำในลักษณะของจัดสรรตามความต้องการ ซึ่งในบางกรณีแหล่งกำเนิดข้อมูลอาจจะใช้สลิตชั่วคราวภายในเฟรมจนหมด เป็นผลให้ไม่มีสลิตชั่วคราวสำหรับบริการแหล่งกำเนิดกราฟฟิกเสียงที่สามารถช่วงชิงช่องสัญญาณได้ในลำดับหลัง ทำให้กราฟฟิกเสียงเหล่านั้นต้องช่วงชิงช่องสัญญาณอีกครั้งในเฟรมต่อไป ดังนั้นจึงเกิดเวลาประวิงเพิ่มขึ้นจนอาจจะทำให้เกิดแพ็กเก็ตเสียงมีค่าเวลาประวิงในการส่งสูงเกิน 32 มิลลิวินาที (ms) ทำให้ MT ต้องลบแพ็กเก็ตนั้น ๆ ทิ้งไป ซึ่งปัญหานี้จะมีผลมากในกรณีที่กราฟฟิกข้อมูลมีความยาวเฉลี่ยของ message มาก โดยจะกล่าวถึงผลกระทบนี้ อย่างละเอียดในการอธิบายผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.12 ถึง 4.16 ต่อไป

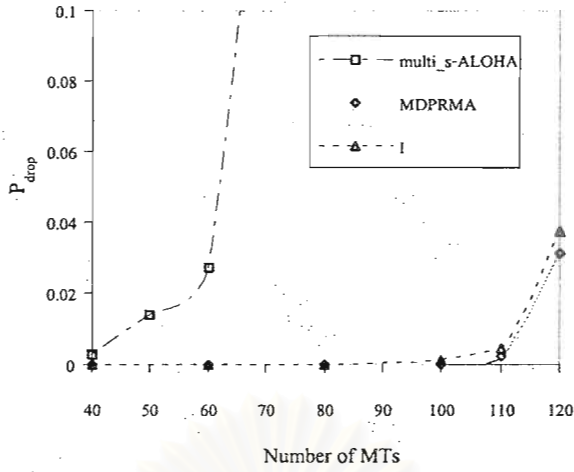
รูปที่ 4.9 พบว่าโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ จะมีสมรรถนะโดยรวมในการให้บริการกราฟฟิกข้อมูลที่ต่ำที่สุดเนื่องจากปัญหาการชนกันดังที่ได้กล่าวไป แต่ที่ปริมาณโหลดต่ำมาก (จำนวน MT น้อยกว่า 45 ตัว) ค่า  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบ

หลายช่องสัญญาณ จะดีกว่าโพรโทคอล MDRMA เนื่องจากโพรโทคอล MDRMA จะอนุญาตให้ MT สามารถส่งแพ็กเก็ตได้คราวละ 1 แพ็กเก็ตเท่านั้นถึงแม้ว่าจะมีสล็อตว่างในเฟรมก็ตาม ทำให้เกิดเวลาประวิงในการรอการส่งแต่ละรอบ ในขณะที่การทำงานของ MT ซึ่งใช้โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ MT จะสามารถเข้าถึงตัวกลางได้ทุกสล็อต ซึ่งจะสามารถลดเวลาประวิงในการรอการส่งได้ในสภาวะโหลดต่ำ

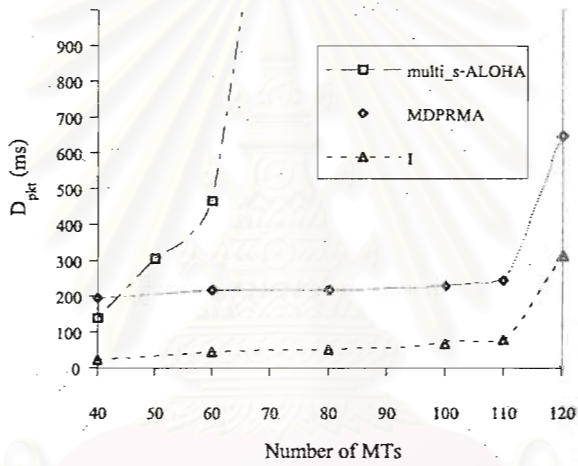
เมื่อเปรียบเทียบค่า  $D_{pkt}$  ระหว่างโพรโทคอล MDRMA กับโพรโทคอลที่นำเสนอในสภาวะโหลดต่ำถึงโหลดสูง พบว่าที่ปริมาณ MT 40-115 ตัว ค่า  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอล MDRMA จะสูงกว่าโพรโทคอลที่เสนอค่อนข้างคงที่ เนื่องจากที่สภาวะโหลดนี้ ระบบยังมีสล็อตเพียงพอสำหรับบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลอีกทั้งปัญหาการช่วงชิงช่องสัญญาณยังมีผลกระทบไม่มากนัก ดังนั้นผลต่างของเวลาประวิงในโพรโทคอล MDRMA จะเกิดจากการที่ MT ต้องรอส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในแต่ละรอบ แต่ที่ปริมาณโหลดสูงจะมีปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตและปัญหาการแย่งชิงสล็อตข่าวสารกันระหว่างทราฟฟิกเสียงและข้อมูล ดังนั้นค่า  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอล MDRMA จึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับโพรโทคอลที่นำเสนอ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.10 พบว่าค่า  $P_{suc}$  ของโพรโทคอล MDRMA สูงกว่าโพรโทคอลที่เสนอ เนื่องจากเหตุผล 2 ประการคือ

1. โพรโทคอล MDRMA อนุญาตให้ MT สามารถช่วงชิงช่องสัญญาณได้ทุกเวลา จึงเป็นการกระจายการจองของ MT ทำให้ไม่เกิดความคับคั่งบริเวณเริ่มต้นเฟรมเหมือนกับโพรโทคอลที่เสนอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เสนอทางแก้ปัญหานี้โดยการกระจาย สล็อตสำหรับจองดังรายละเอียดที่เสนอในหัวข้อที่ 3.3.1 ดังรูปที่ 3.3 และ 3.5
2. การที่โพรโทคอล MDRMA ยินยอมให้ MT ส่งแพ็กเก็ตได้ครั้งละ 1 แพ็กเก็ตทำให้เป็นการลดการร้องขอลง กล่าวคือ MT ที่กำลังส่งแพ็กเก็ตจะไม่สามารถเข้าจองได้จนกว่าจะส่งจนหมด และเมื่อมีจำนวน MT ที่ช่วงชิงช่องสัญญาณน้อยลง ดังนั้นเปอร์เซ็นต์หรือค่าความน่าจะเป็นของการจองสำเร็จจึงเพิ่มขึ้น

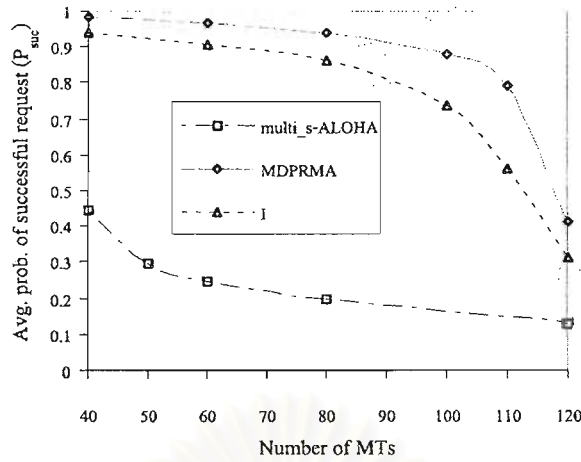


รูปที่ 4.8 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเพียงของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ โพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ

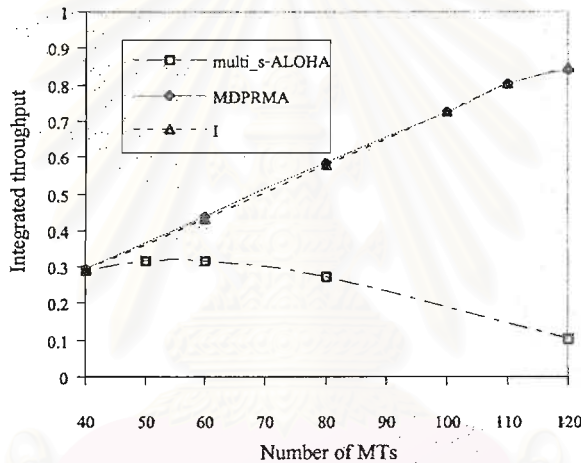


รูปที่ 4.9 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ โพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ค่าความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ โพรโทคอล MDRPMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ



รูปที่ 4.11 ค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกันของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณ โพรโทคอล MDRPMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ

สำหรับการทดสอบที่สามในรูปที่ 4.12 ถึง 4.13 และ 4.15 ถึง 4.16 เป็นการทดสอบผลกระทบของความยาว message ที่มีต่อสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่นำเสนอ ณ ระบบที่มีจำนวนโหนดคงที่ที่ปริมาณ MT เท่ากับ 113 ตัวซึ่งเป็นค่าโหนดสูงสุดที่โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถรองรับได้โดยค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงน้อยกว่า 0.01 ที่สถานะความยาว message โดยเฉลี่ยของทราฟฟิกข้อมูลเท่ากับ 10 แพ็กเก็ตสำหรับความยาวโดยเฉลี่ยของ message ข้อมูลในการทดสอบนี้จะมีขนาดแปรผันจาก 5 ถึง 100 แพ็กเก็ต ที่ปริมาณโหนดต่อแหล่งกำเนิดข้อมูลคงที่เท่ากับ 5.76 kbps ในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการเหมือนกับผลในรูปที่ 4.8 ถึง 4.11 โดยโพรโทคอลที่จะนำมาเปรียบเทียบสมรรถภาพคือ โพรโทคอล MDRPMA (เส้น MDRPMA) โพรโทคอล MDRPMA ที่อนุญาตให้ MT สามารถส่ง

ทราฟฟิกข้อมูลได้ครั้งละหลายแพ็กเก็ตตามความต้องการในการส่ง (เช่น MDIPRMA) ซึ่งมีการทำงานคล้ายกับโพรโทคอล IPRMA [16] แต่ในการทดสอบนี้จะกระทำในลักษณะของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ โดยจะใช้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่เป็นฟังก์ชันของความยาว message ของทราฟฟิกข้อมูลมาเป็นพารามิเตอร์สำหรับการวัดสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูล

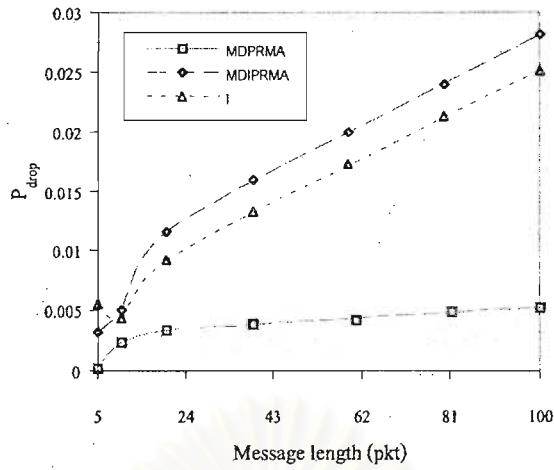
จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ในสภาวะที่ทราฟฟิกข้อมูลมีขนาด message สั้นมาก ๆ ประมาณ 5 แพ็กเก็ตต่อ message ค่า  $P_{drop}$  จะสูงกว่าระบบที่มีทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message 10 ถึง 15 แพ็กเก็ตต่อ message เนื่องจากแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาด message สั้นจะมีอัตราการจองช่องสัญญาณสูงทำให้เกิดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ต ดังนั้นสมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงจึงด้อยกว่า แต่ในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลกำเนิด message ที่มีขนาดยาวมากกว่า 20 แพ็กเก็ต สมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่นำเสนอจะดุดดอยลงอย่างมาก เนื่องจากแหล่งกำเนิดข้อมูลที่สามารถช่วงชิงช่องสัญญาณสำเร็จจะครองสล็อตข่าวสารเป็นเวลานานเป็นผลให้แหล่งกำเนิดเสียงที่สามารถเข้าจองได้ในภายหลังไม่สามารถเข้าถึงตัวกลางได้จึงเกิดเวลาประวิงยาวนานส่งผลให้มีการสูญเสียแพ็กเก็ตเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามสมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกข้อมูลที่มี message ยาวของโพรโทคอล MDPRMA จะต่ำกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอเป็นอย่างมาก (ดูรูปที่ 4.13 ประกอบ) เนื่องจากการส่งข่าวสารครั้งละแพ็กเก็ตทำให้เวลาประวิงเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตามความยาวของ message ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบโดยการนำโพรโทคอล MDPRMA มาประยุกต์โดยให้มีการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ทราฟฟิกข้อมูลเหมือนกับโพรโทคอล IPRMA ซึ่งจากผลที่ได้ค่า  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอล MDIPRMA จะใกล้เคียงกับโพรโทคอลที่นำเสนอ แต่ค่า  $P_{drop}$  จะสูงกว่าโพรโทคอลที่เสนอ เหตุเพราะสล็อตสำหรับส่งข่าวสารของโพรโทคอล MDIPRMA นอกจากจะใช้สำหรับจองช่องสัญญาณแล้วยังต้องใช้ส่งแพ็กเก็ตข่าวสารด้วย ซึ่งในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลมีความต้องการส่งข่าวสารครั้งละหลาย สล็อตก็จะมีสล็อตข่าวสารเหลือสำหรับการจองน้อยลง ดังนั้นสมรรถนะในการจัดการการเข้าจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลก็จะลดลงด้วยส่งผลให้มีเวลาประวิงในการเข้าถึงช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีของทราฟฟิกเสียง ในขณะที่โพรโทคอล ที่นำเสนอจะมีจำนวนสล็อตสำหรับจองคงที่โดยสูญเสียแบนด์วิดท์เพียง 2 สล็อตข่าวสารเท่านั้น

จากรูปที่ 4.14 ที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 50 แพ็กเก็ต เป็นการยืนยันข้อสมมติฐานข้างต้น สล็อตว่างภายในเฟรมของโพรโทคอล MDIPRMA แบบหลายช่องสัญญาณจะลดลงอย่างรวดเร็วที่โหลดสูง สำหรับโพรโทคอล MDPRMA จะมีสล็อตว่างเหลือมากกว่าโพรโทคอลอื่น เนื่องจากการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแต่ละแหล่งกำเนิดครั้งละสล็อต สำหรับการวัดจำนวนสล็อตว่างของโพรโทคอลที่นำเสนอจะคิดจากจำนวนสล็อตที่อยู่ในส่วนที่ใช้ส่งข่าวสารเท่านั้น

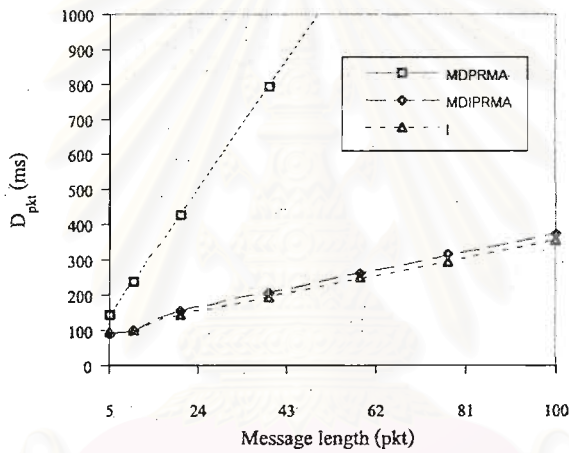
ดังนั้นในการออกแบบโพรโทคอลในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการจัดสรรช่องสัญญาณแบบมีลำดับก่อนหลังโดยจะจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับแพ็กเก็ตเสียงก่อน ซึ่งวิธีการนี้จะไม่สามารถประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล MDRMA ได้ เหตุเพราะกลไกในการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลจะกระทำในลักษณะสล็อตต่อสล็อตคือ MT จะสามารถส่งแพ็กเก็ตในสล็อตที่จองได้สำเร็จในทันที ทำให้ BS ไม่สามารถจัดสรรตามลำดับของทราฟฟิกได้ จากรูปที่ 4.15 โพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบมีลำดับ (เส้น I with priority) จะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงดีกว่าโพรโทคอล MDRMA โดยจะมีค่า  $P_{drop}$  ต่ำลงเมื่อข้อมูลมีความยาว message เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ปริมาณโหลดเท่ากัน แหล่งกำเนิดที่มีความยาว message มากจะมีอัตราการเข้าจองต่อเฟรมต่ำ ทำให้ความสามารถในการช่วงชิงช่องสัญญาณของทราฟฟิกเสียงเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงดีขึ้น ในขณะที่ค่า  $D_{pkt}$  ในรูปที่ 4.16 ของโพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบมีลำดับจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากทราฟฟิกข้อมูลต้องรอการจัดสรรสล็อตที่เหลือจากทราฟฟิกเสียง

รูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นการจำลองระบบทดสอบที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 50 แพ็กเก็ต โดยวัดค่าวิสัยสามารถของเสียงและข้อมูลตามปริมาณ MT ที่เพิ่มขึ้นพบว่า ที่ปริมาณโหลดสูงค่าวิสัยสามารถของเสียงของโพรโทคอลที่เสนอจะต่ำกว่าโพรโทคอล MDRMA เนื่องจากถูกทราฟฟิกข้อมูลแย่งสล็อตข่าวสารจนทำให้แพ็กเก็ตเสียงบางส่วนเกิดการสูญเสียไป แต่ถ้ามีการใช้ลำดับในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโพรโทคอลที่เสนอ ค่าวิสัยสามารถของเสียงจะมีค่าใกล้เคียงกับโพรโทคอล MDRMA โดยที่ค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกข้อมูลของทั้งสามโพรโทคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันเพราะว่าแพ็กเก็ตข้อมูลทวนเวลาประวิงได้สูงจึงไม่มีการสูญเสียแม้จะเกิดเวลาประวิงเพิ่มขึ้นก็ตาม

จากผลที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้ โพรโทคอล slotted-ALOHA จะมีสมรรถนะในการให้บริการทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำที่สุดประมาณ 0.4 เท่าของจำนวน MT ที่โพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถรองรับได้ที่ความยาว message ข้อมูลปานกลาง สำหรับโพรโทคอลที่นำเสนอจะมีความสามารถในการให้บริการทราฟฟิกข้อมูลดีที่สุด แต่จะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงต่ำกว่าโพรโทคอล MDRMA โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่ข้อมูลมีความยาว message มาก แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้การจัดสรรช่องสัญญาณแบบมีลำดับก่อนหลัง ซึ่งจะทำให้สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่เสนอดีกว่าโพรโทคอล MDRMA โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบมีทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message โดยเฉลี่ยมาก สำหรับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังของโพรโทคอลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดอีกครั้งในบทที่ 6



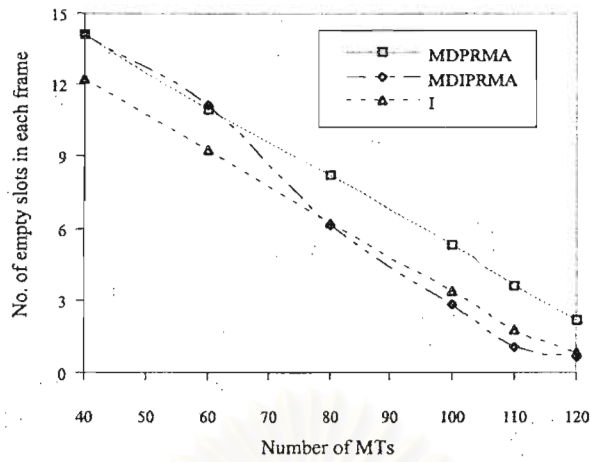
รูปที่ 4.12 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตความเสี่ยงของโพรโทคอล M DPRMA โพรโทคอล MDIPRMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ



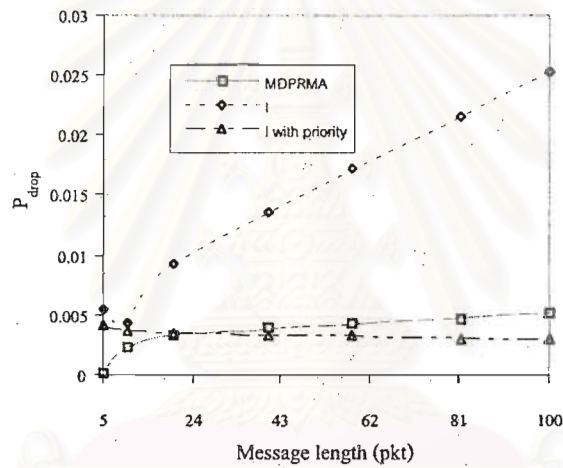
รูปที่ 4.13 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอล M DPRMA โพรโทคอล MDIPRMA และโพรโทคอลที่นำเสนอ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



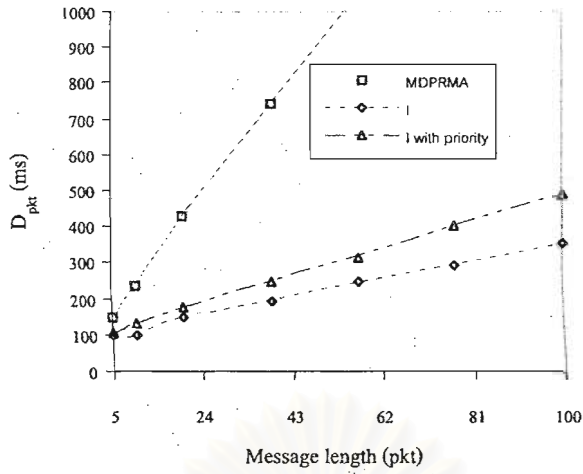


รูปที่ 4.14 จำนวนสล็อตว่างใน 1 เฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอล M DPRMA โพรโทคอล MDIPRMA และโพรโทคอลที่นำเสนองาน

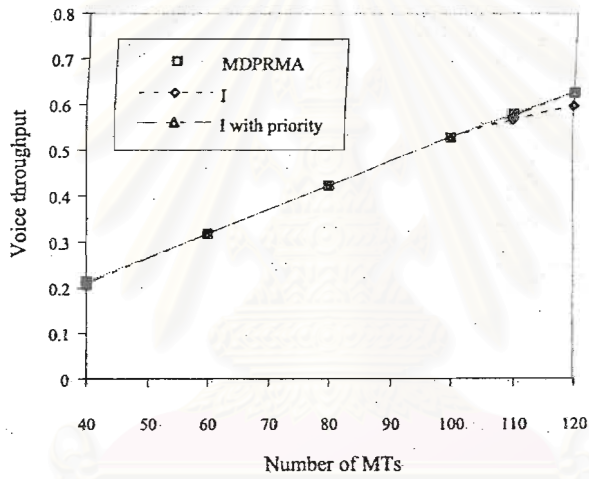


รูปที่ 4.15 ค่าความน่าจะเป็นของการรื้อบแพ็กเก็ตเสี่ยงของโพรโทคอล M DPRMA โพรโทคอลที่นำเสนองานที่ไม่มีและมีการจัดลำดับการจัดสรรช่องสัญญาณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

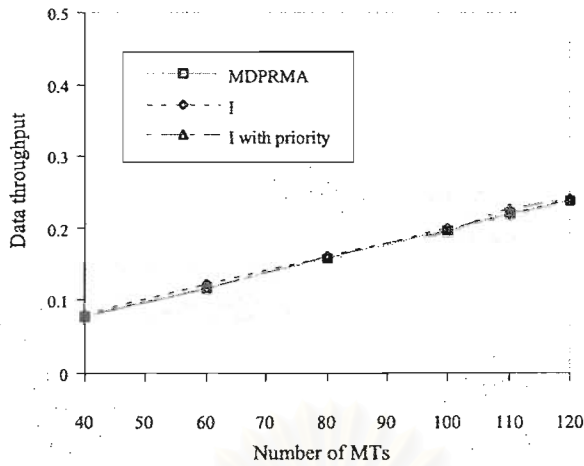


รูปที่ 4.16 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอล MDRMA โพรโทคอลที่นำเสนอ  
ทั้งที่ไม่มีและมีการจัดลำดับการจัดสรรของสัญญาณ



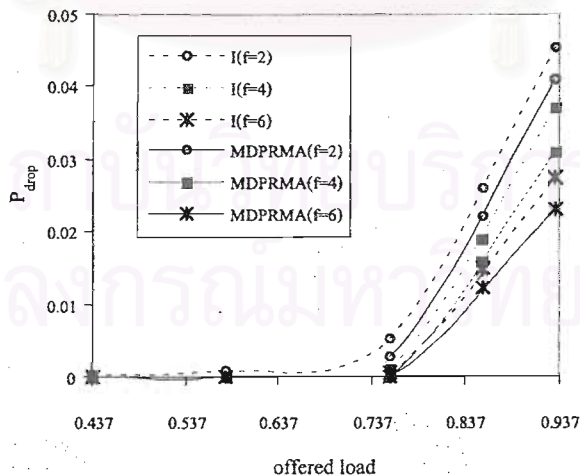
รูปที่ 4.17 ค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอล MDRMA โพรโทคอลที่นำเสนอ  
ทั้งที่ไม่มีและมีการจัดลำดับการจัดสรรของสัญญาณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

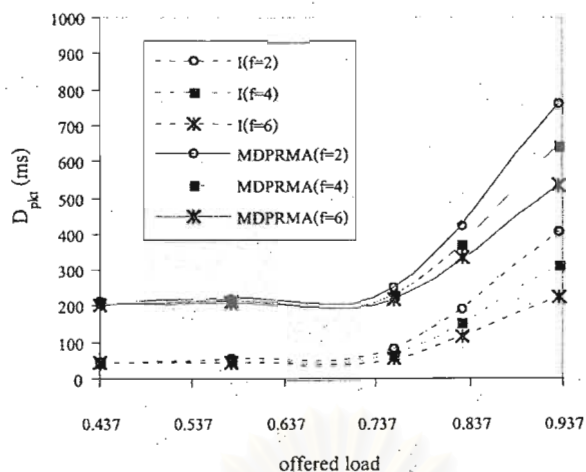


รูปที่ 4.18 ค่าวิสัยสามารถของกราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอล M DPRMA โพรโทคอลที่นำเสนอ ทั้งที่ไม่มีและมีการจัดลำดับการจัดสรรช่องสัญญาณ

รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงผลกระทบของแนวคิดในการเปลี่ยนโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่มีต่อจำนวนความถี่ในการให้บริการ โดยจะใช้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณของโหลดขอบริการ (offered load) ที่เพิ่มขึ้นเป็นพารามิเตอร์ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลที่เสนอ (แบบที่ไม่มีการจัดลำดับการจัดสรรช่องสัญญาณ) และโพรโทคอล M DPRMA พบว่า จำนวนความถี่ที่ให้บริการในระบบจะไม่มีผลกระทบต่อแนวคิดดังกล่าว โดยผลการจำลองแบบที่ได้จะมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งในระบบที่ใช้ 2, 4 และ 6 ความถี่ในการให้บริการ ซึ่งในระบบที่มีจำนวนความถี่มากกว่าจะสามารถรองรับ MT ได้จำนวนมากกว่าเนื่องจากมีค่า SMG (statistical multiplexing gain) ที่สูงกว่า



รูปที่ 4.19 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสี่ยงของโพรโทคอล M DPRMA และโพรโทคอลที่เสนอขึ้นในระบบที่ใช้ความถี่ในการบริการ 2, 4 และ 6 ความถี่ ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตของโพรโทคอล MDRMA และโพรโทคอลที่เสนอขึ้น  
ในระบบที่ใช้ความถี่ในการบริการ 2, 4 และ 6 ความถี่ ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การทดสอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอใน ด้านการเข้าถึงตัวกลาง

แนวคิดในการพัฒนาสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่นำเสนอเพิ่มเติมจากบทที่ 4 ในรายงานวิจัยฉบับนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวคิดใหญ่ ๆ คือ แนวคิดในการพัฒนาสมรรถนะในด้านการเข้าถึงตัวกลางและการจัดสรรช่องสัญญาณ สำหรับในบทนี้จะเป็นการทดสอบแนวคิดประเภทแรกซึ่งใช้ประยุกต์ในการพัฒนากระบวนการสำหรับการเข้าถึงตัวกลางของโพรโทคอล โดยแนวคิดที่นำเสนอดังกล่าวประกอบไปด้วย

1. แนวคิดในการกระจายสล็อตสำหรับการจองช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรม
2. แนวคิดในการกระจายสล็อตโดยใช้วิธีการเลือกเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่
3. แนวคิดในการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองอย่างพลวัต

ซึ่งในการทดสอบแนวคิดที่เสนอเพิ่มเติมเหล่านี้จะกระทำแยกทีละแนวคิดเพื่อให้สามารถเห็นถึงประโยชน์ของแต่ละแนวคิดได้อย่างชัดเจน โดยใช้โพรโทคอลที่นำเสนอที่ได้ทำการทดสอบในบทที่ 4 เป็นโพรโทคอลอ้างอิง

### 5.1 การทดสอบแนวคิดในการกระจายสล็อตที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรม

การกระจายสล็อตสำหรับจองอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมจะเป็นการชดเชยข้อเสียของโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่นำเสนอ โดยจะช่วยให้การลดเวลาประวิงที่เป็นผลมาจากการรอสล็อตสำหรับจอง (reservation slot, RS) ของเฟรมถัดไป สำหรับการทดสอบแนวคิดใน หัวข้อนี้จะกระทำในตัวอย่างของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 สล็อตต่อเฟรมที่จำนวนความถี่ต่อเซลล์เท่ากับ 4 (เนื่องจากแนวคิดที่เสนอนี้จะไม่มีผลกระทบต่อจำนวนความถี่ที่ใช้ภายในเซลล์ ดังนั้นตัวอย่างการทดสอบในงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบที่ค่าความถี่เดียว)

การกระจาย RS ภายในเฟรมของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่าง ๆ กันสามารถกระทำได้ในหลายรูปแบบ (รูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.4) กล่าวคือ ที่จำนวน RS เท่ากับ 4 สามารถกระจายสล็อตได้ทั้งหมด 3 รูปแบบคือ การกระจายกลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต (กลุ่มละ 4 สล็อตคือไม่มีการกระจาย RS) โดยระยะห่างของแต่ละกลุ่มจะจัดให้ห่างกันเท่า ๆ กันอย่างสมดุลที่สุดดังรูปที่ 5.1 กล่าวคือที่จำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 4 จะมีจำนวนสล็อตข่าวสารเหลือต่อเฟรมเท่ากับ 19 สล็อต

ในกรณีที่มีการกระจายสล็อตสำหรับจงกลุ่มละ 1 สล็อต ในงานวิจัยนี้จะแบ่งสล็อตข่าวสารออกเป็น 4 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มจะมีสล็อตสำหรับจงแทรกอยู่ 1 สล็อต และในแต่ละกลุ่มสล็อตข่าวสารจะมีจำนวนเท่ากับ 5, 5, 5 และ 4 สล็อต ตามลำดับ ตัวเลขดังกล่าวเกิดจากการนำจำนวนสล็อตข่าวสารที่เหลือในเฟรมหารด้วยจำนวนกลุ่มของสล็อตสำหรับจง (โดยมีจำนวน สล็อตข่าวสารในกลุ่มสุดท้ายของเฟรมเป็นเศษของการหาร) ซึ่งระยะห่างของสล็อตสำหรับจงแต่ละสล็อตในหน่วยของเวลามีค่าเท่ากับ 4.2, 4.2, 4.2 และ 3.4 ms ตามลำดับ (สล็อตสำหรับจงและสล็อตข่าวสารมีความยาวในหน่วยของเวลาเท่ากับ 0.2 และ 0.8 ms ตามลำดับ) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณดังกล่าวสำหรับการกระจายสล็อตสำหรับจงที่มีจำนวนหรือมีรูปแบบที่แตกต่างไปจากข้างต้นนี้ด้วย

ที่จำนวน RS เท่ากับ 8 และ 16 จะมีรูปแบบการกระจายสล็อตได้ทั้งหมด 3 และ 4 รูปแบบคือ การกระจายกลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต ในกรณีที่ RS เท่ากับ 16 จะมีรูปแบบการกระจายกลุ่มละ 16 เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งกลุ่ม โดยมีระยะห่างของแต่ละกลุ่มดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ในส่วนของ โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 จะมีรูปแบบการกระจายที่แตกต่างออกไปโดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ออกเป็น 6 รูปแบบคือ กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อต ซึ่งระยะห่างของแต่ละกลุ่มจะมีค่าที่แตกต่างกันดังรูปที่ 5.4

สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการหาโพรโทคอลที่มีจำนวนและการกระจายของ RS ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่สภาวะความยาวของ message ต่าง ๆ กัน โดยในรูปที่ 5.5, 5.7 และ 5.9 จะเป็นการทดสอบหาจำนวน MT ที่ระบบสามารถรองรับได้สูงสุดภายใต้เงื่อนไขที่ค่าความน่าจะเป็นของการรื้อบแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 0.01 และจำนวน MT จะเป็นฟังก์ชันกับความยาว message ของทราฟฟิกข้อมูล โดยที่แต่ละ MT สามารถส่งได้ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความยาว message แปรผันจาก 1 ถึง 100 แพ็กเก็ตที่ปริมาณโหลดต่อแหล่งกำเนิดคงที่เท่ากับ 5.76 kbps โดยระบบจะทำงานภายใต้โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 สล็อตต่อเฟรมและมีการกระจาย RS ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้สามารถวิเคราะห์ได้ตามลำดับต่อไปนี้

รูปที่ 5.5 เป็นการทดสอบการกระจาย RS ภายใต้โพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 จากผลการทดสอบพบว่า ในสภาวะที่ความยาว message ของข้อมูลเท่ากับ 1 แพ็กเก็ตซึ่งมีอัตราการร้องขอต่อเฟรมสูงมาก การกระจาย RS จึงไม่สามารถเพิ่มสมรรถนะในการจัดการการร้องขอของสัญญาณของโพรโทคอลได้ แต่ที่สภาวะความยาว message ของข้อมูลมากกว่า 3 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อตจะสามารถให้บริการ MT ได้มากที่สุด รองลงมาคือโพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 2 และ 4 สล็อตตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบนี้สามารถยืนยันได้จากรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงถึงปริมาณการจองช่องสัญญาณต่อเฟรมของโพรโทคอล

ที่ตัวอย่างความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 5 แพ็กเกต พบว่า โพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อตจะมีจำนวนการจองที่ต่ำที่สุดเหตุผลเพราะ MT สามารถเข้าจองช่องสัญญาณในช่วงระยะเวลาระหว่างเฟรมได้ทำให้จำนวนของ MT ที่จองในช่วงต้นเฟรมลดลง โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนขึ้นเมื่อมีปริมาณโหลดสูง สำหรับที่ขนาด message ยาวมาก (มากกว่า 50 แพ็กเกต) ที่มีอัตราการจองต่อเฟรมต่ำ การกระจาย RS จะไม่มีผลต่อสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลในกรณีนี้

รูปที่ 5.7 เป็นการทดสอบการกระจาย RS ของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 ซึ่งจะได้แนวโน้มคล้ายกับการทดสอบกระจาย RS ของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เป็น 4 กล่าวคือ ที่ความยาว message ของข้อมูลสั้น (เท่ากับ 1 ถึง 3 แพ็กเกต) และยาวมาก (มากกว่า 50 แพ็กเกต) การกระจาย RS จะไม่มีผลในการเพิ่มสมรรถนะของโพรโทคอลเนื่องจากมีอัตราการจองช่องสัญญาณที่ต่ำและสูงจนเกินไป และจากผลการทดสอบสามารถสังเกตได้เพิ่มเติมว่าที่ขนาด message ของข้อมูลสั้นมาก โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 จะสามารถรองรับ MT ได้มากกว่าโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวนสล็อตสำหรับรองรับปริมาณการจองของ MT ได้มากกว่า

ที่สภาวะความยาว message ของข้อมูลประมาณ 10 ถึง 20 แพ็กเกต โพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 2 สล็อตจะสามารถให้บริการ MT ได้พอ ๆ กันเหตุผลเพราะผลต่างของระยะห่างระหว่าง RS ของโพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 2 จะมีค่าประมาณ 2 ms ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับโพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 4 และ 8 ที่มีระยะห่างเป็น 8 และ 16 ms ตามลำดับ จากรูปที่ 5.8 พบว่าปริมาณการจองที่ต้นเฟรมของโพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกันและจะมีปริมาณน้อยกว่าโพรโทคอลที่มีการกระจาย RS กลุ่มละ 4 และ 8 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลในรูปที่ 5.7

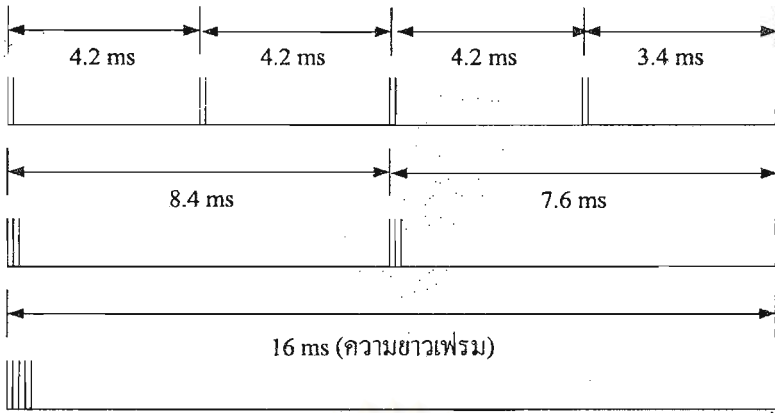
สำหรับการกระจาย RS ในโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 และ 16 พบว่า การกระจายจะไม่มีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะของโพรโทคอล จากรูปที่ 5.9 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 และ 16 ทั้งที่ไม่มีและมีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต พบว่าจำนวน MT ที่สามารถรองรับได้จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากโพรโทคอลมีจำนวน RS มากเพียงพอสำหรับให้บริการ MT ที่ทุกความยาว message ของทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งสมมติฐานนี้สามารถยืนยันได้จากรูปที่ 5.10 ซึ่งแสดงปริมาณการเข้าจองของ MT ในโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 และ 16 ทั้งที่ไม่มีและมีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเกต พบว่า ปริมาณการเข้าจองของทั้งสองกรณีจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในกรณีของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 และ 8 สล็อตต่อเฟรม การกระจาย RS จะมีผลต่อสมรรถนะของโพรโทคอลในการรองรับปริมาณการจองช่องสัญญาณของ MT นอกจากนี้ที่ปริมาณโหลดสูง อัตราการเข้า

จงโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 16 จะมีค่าสูงกว่าโพรโทคอลที่มีจำนวน RS น้อยกว่า เนื่องจากมีจำนวนสลิตข่าวสารในช่องสัญญาณไม่เพียงพอในการให้บริการกับ MT ในการส่ง ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลทำให้ MT ต้องทำการชวงชิงช่องสัญญาณใหม่อีกครั้งในเฟรมต่อไปซึ่งจะ เป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกันทำให้สมรรถนะในการให้บริการรวมไปถึงจำนวน MT ที่ระบบ สามารถรองรับได้ลดลง

จากผลที่ได้ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ในกลุ่มของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรม เท่ากัน โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สลิตจะมีสมรรถนะในการรองรับปริมาณการเข้าของ ช่องสัญญาณของ MT ได้ดีที่สุดเหตุเพราะมีการเปิดโอกาสให้ MT สามารถเข้าของได้ขึ้นซึ่งจะ เป็นการลดปัญหาที่เกิดจากการชนกันของแพ็กเก็ตเนื่องจากความคับคั่งของการจองในช่วงต้น เฟรมและยังช่วยในลดเวลาประวิงในการรอ RS ถัดไปของ MT อีกด้วย

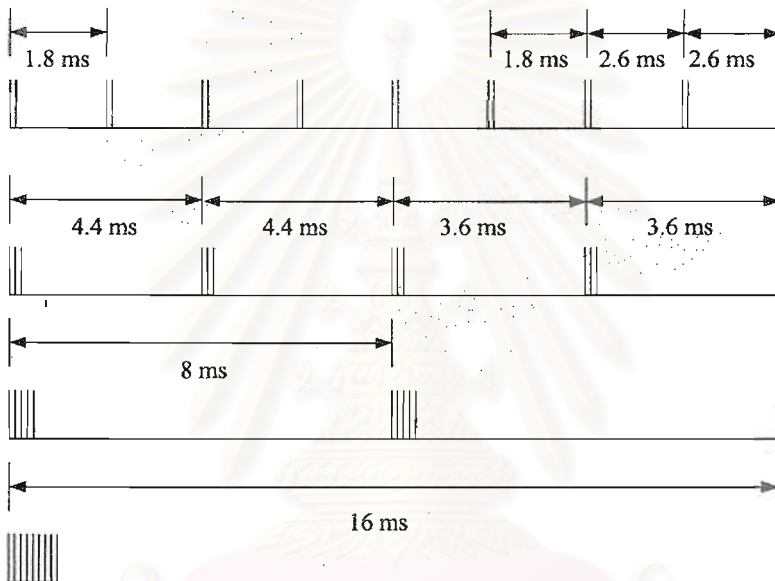
สำหรับการหาจำนวน RS ที่เหมาะสมต่อเฟรมก็จะมีหลักการคล้ายกับในรูปที่ 4.5 ของ บทที่ 4 กล่าวคือ โพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมมากจะเหมาะสมกับทราฟฟิกข้อมูลที่มีอัตรา การร้องขอต่อเฟรมสูงแต่มีขนาดของ message สั้น แต่ในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราการจอง ต่อเฟรมต่ำและมี message ยาว โพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมน้อยจะมีความเหมาะสมมากกว่า โดยค่ากล่าวนี้สามารถยืนยันได้ในรูปที่ 5.11 ถึง 5.13 ซึ่งแสดงถึงการหาจำนวนและการ กระจาย RS ที่เหมาะสมที่สุดในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความยาว message เท่า กับ 5, 50 และ 100 แพ็กเก็ต ตามลำดับ โดยจะใช้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณ MT ที่เพิ่มขึ้นเป็นพารามิเตอร์ในการวัดสมรรถนะในการให้บริการของทั้งสองทราฟฟิก สำหรับ โพรโท คอลที่จะทำการพิจารณาในการทดสอบนี้คือโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 ที่มีการกระจาย กลุ่มละ 1 และ 2 สลิตและโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 ที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สลิต จากผลที่ได้พบว่า โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 และมีการกระจายกลุ่มละ 1 สลิตจะมี สมรรถนะดีที่สุดเมื่อทราฟฟิกข้อมูลมีความยาวของ message ระหว่าง 3 ถึง 50 แพ็กเก็ต และ เมื่อทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว message เพิ่มขึ้นโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 และมีการ กระจายกลุ่มละ 1 สลิตจะมีสมรรถนะในการให้บริการที่ดีกว่าโพรโทคอลอื่น (ในกรณีที่ขนาด message ของข้อมูลน้อยกว่า 3 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 16 จะมี สมรรถนะในการให้บริการสูงสุด ดูรูปที่ 5.9 ประกอบ)





รูปที่ 5.1 การกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อตของโพรโทคอลที่มี

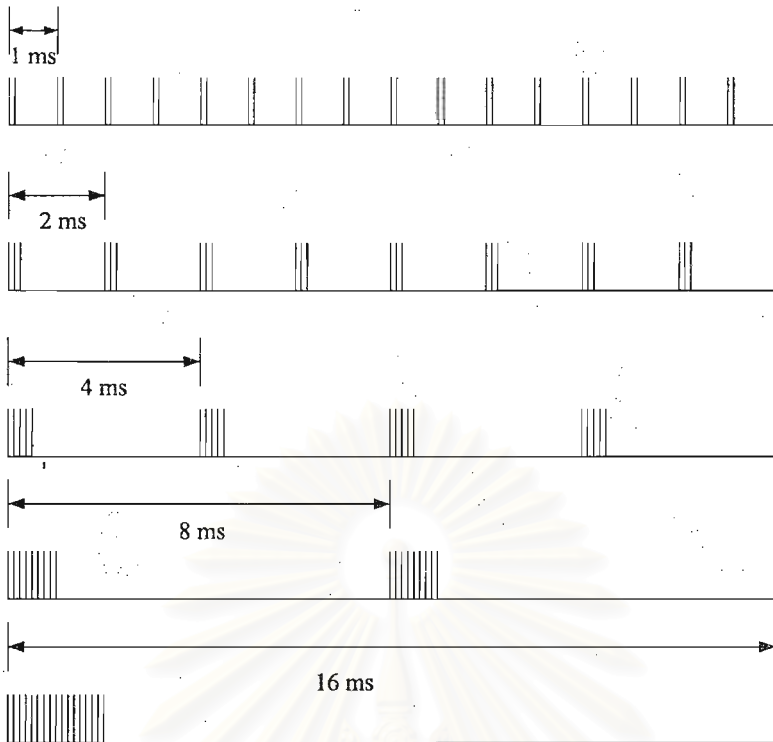
จำนวน RS เท่ากับ 4 สล็อต



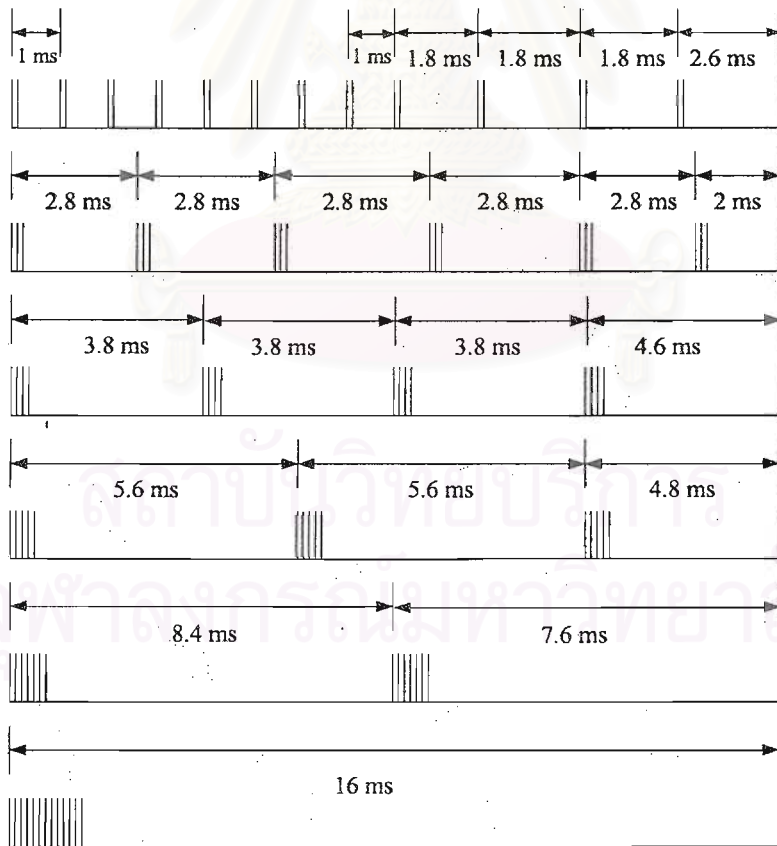
รูปที่ 5.2 การกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อตของโพรโทคอล

ที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 สล็อต

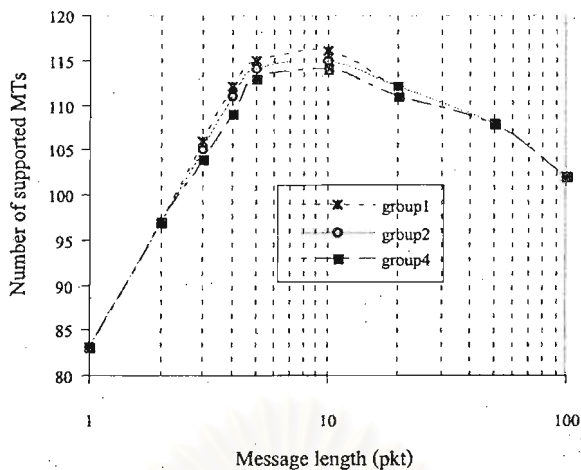
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



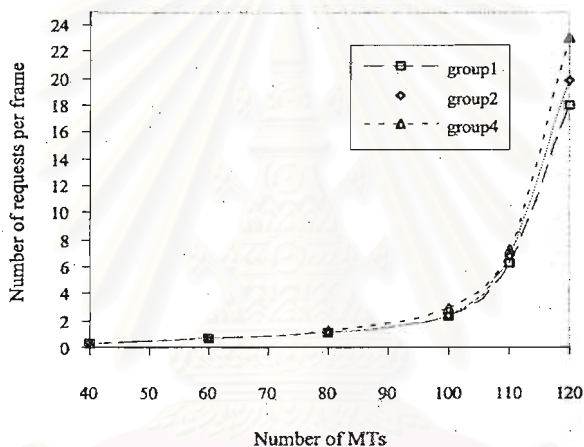
รูปที่ 5.3 การกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 4, 8 และ 16 สล็อตของโพรโทคอล  
ที่มีจำนวน RS เท่ากับ 16 สล็อต



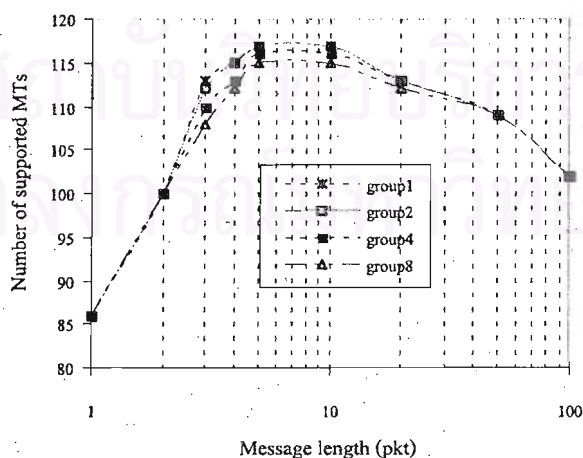
รูปที่ 5.4 การกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อตของโพรโทคอล  
ที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 สล็อต



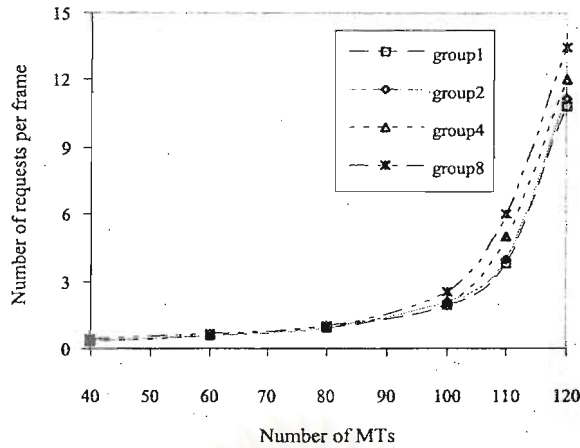
รูปที่ 5.5 จำนวน MT สูงสุดที่โพรโทคอลที่เสนอสามารถรองรับได้ โดยมีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 4 สล็อตต่อเฟรมและมีการกระจายกลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต



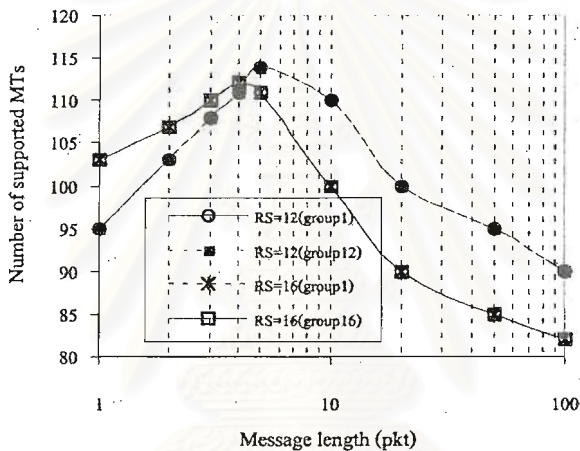
รูปที่ 5.6 ปริมาณการจองต่อเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอโดยมีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 4 สล็อตต่อเฟรมและมีการกระจายกลุ่มละ 1, 2 และ 4 ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเกต



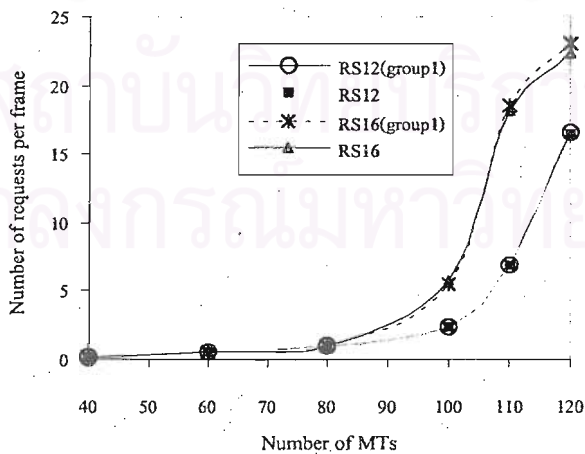
รูปที่ 5.7 จำนวน MT สูงสุดที่โพรโทคอลที่เสนอสามารถรองรับได้ โดยมีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 8 สล็อตต่อเฟรมและมีการกระจายกลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต



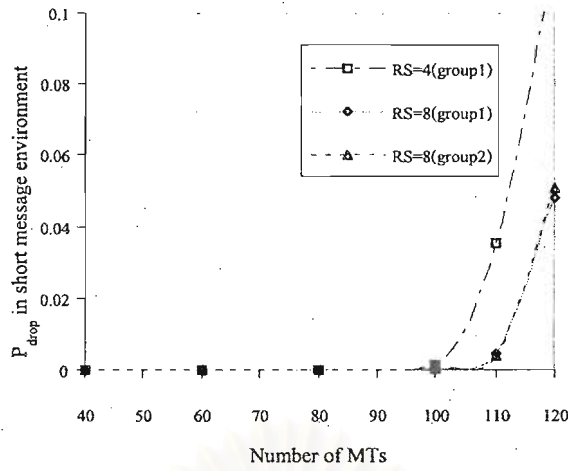
รูปที่ 5.8 ปริมาณการจอตอเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอโดยมีจำนวนสลิตสำหรับจอตอเท่ากับ 8 สลิตต่อเฟรมและมีการกระจายกลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเกต



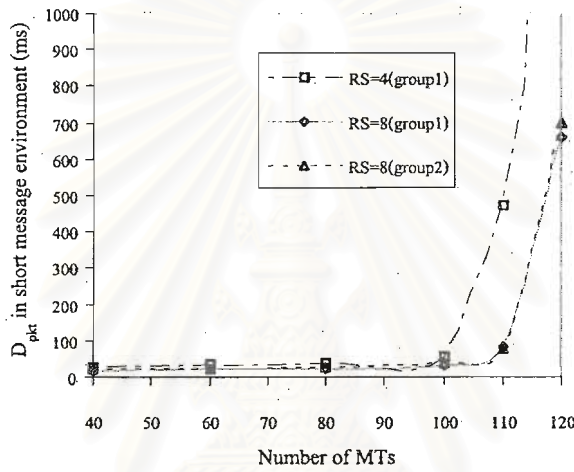
รูปที่ 5.9 จำนวน MT สูงสุดที่โพรโทคอลที่เสนอโดยมีจำนวน สลิตสำหรับจอตอเท่ากับ 12 และ 16 สลิต ทั้งที่ม่มีและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สลิต



รูปที่ 5.10 ปริมาณการจอตอเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอโดยมีจำนวนสลิตสำหรับจอตอเท่ากับ 12 และ 16 สลิตต่อเฟรมทั้งที่ม่มีและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สลิต



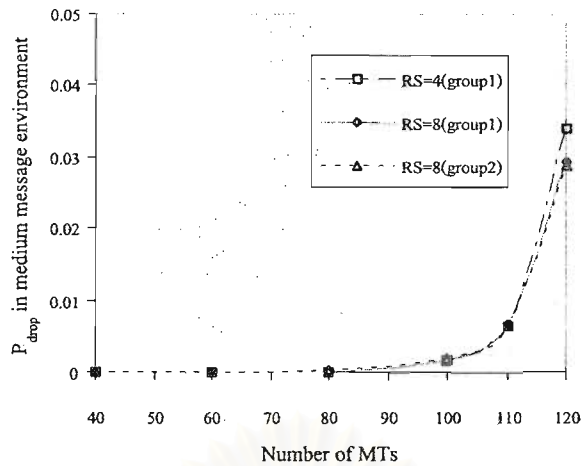
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียง



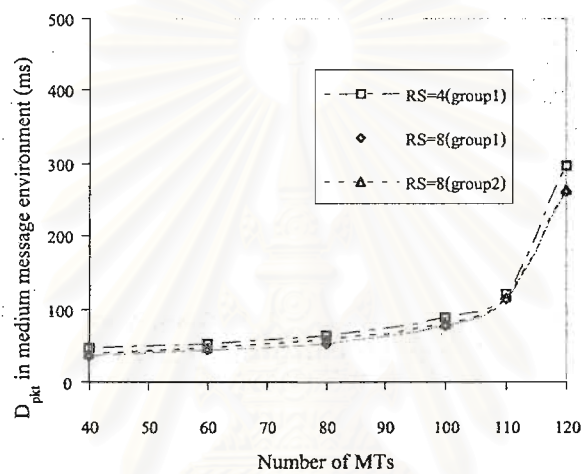
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.11 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 โดยมีการกระจายกลุ่มละ 1 และ 2 สล็อตและโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 ที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต ที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 5 แพ็กเก็ต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



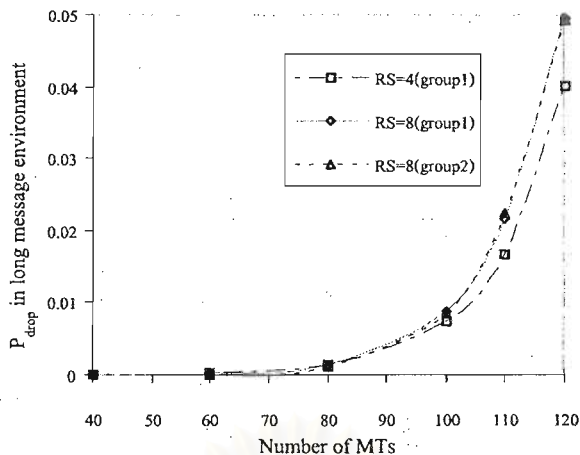
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียง



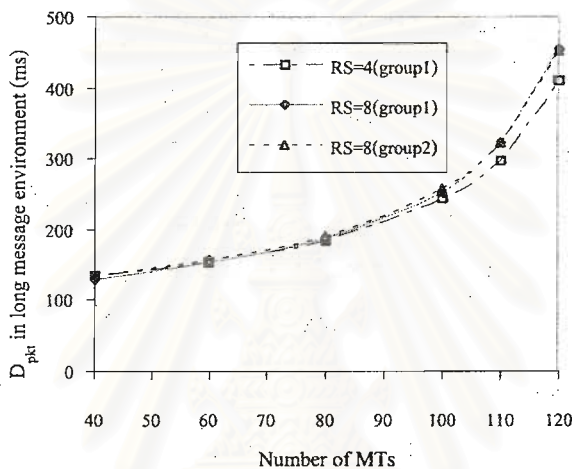
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.12 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 โดยมีการกระจายกลุ่มละ 1 และ 2 สล็อตและโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 ที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต ที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 50 แพ็กเก็ต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง

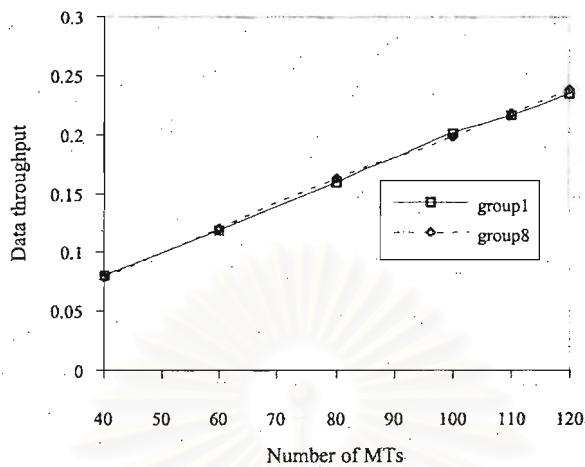


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.13 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 โดยมีการกระจายกลุ่มละ 1 และ 2 สล็อตและโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 ที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต ที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

สำหรับสมมติฐานที่กล่าวถึงข้อเสียของการกระจาย RS ในรูปที่ 3.4 หัวข้อที่ 3.3.1 ได้ทำการทดสอบดังตัวอย่างในรูปที่ 5.14 ภายใต้โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 ทั้งที่ไม่มีและมีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อตที่สภาวะ message ของกราฟฟิกข้อมูลมีขนาดยาว ซึ่งจะเป็นสภาวะที่สามารถแสดงให้เห็นผลของสมมติฐานได้มากที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ค่าวิสัยสามารถของกราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอลทั้งที่ไม่มีและมีการกระจาย RS จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากจนอาจกล่าวได้ว่า การกระจาย RS ไม่มีผลต่อการลดความสามารถของ MT ในการเข้าถึงตัวกลางเหตุเพราะถ้า MT ไม่สามารถเข้าใช้สล็อตในเฟรมปัจจุบันได้ MT ก็จะสามารถเข้าใช้สล็อตข่าวสารใน

เฟรมถัดไปได้ตามกฎเกณฑ์ในการจัดสรรของสัญญาณของโพรโทคอลทำให้ค่าวิสัยสามารถโดยเฉลี่ยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5.14 ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยมีจำนวน RS เท่ากับ 8 ทั้งที่ไม่มีและมีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อตที่ความยาว message ของกราฟฟิกข้อมูลเท่ากับ 100 แพ็กเกต

## 5.2 การทดสอบแนวคิดในการกระจายสล็อตที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณโดยการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่

แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการกระจาย RS ของโพรโทคอลที่นำเสนอ โดยจำนวนความถี่สำหรับให้บริการแก่ MT ในระบบจะมีผลต่อแนวคิดนี้ ดังนั้นการจำลองแบบในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ผลกระทบของการประยุกต์ใช้การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่มีต่อโพรโทคอลโดยตรง (รูปที่ 5.15 ถึง 5.20) ซึ่งจะทำให้การทดสอบเป็นตัวอย่างในระบบที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการคงที่เท่ากับ 4 โดยการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมนั้นจะเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 ลักษณะดังรูปที่ 5.15 กล่าวคือ ในรูปที่ 5.15 (ก) จะเป็นการเลียนแบบแรกคือจะเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่ให้สับหว่างอย่างเท่า ๆ กัน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ เวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่จะต่างกันเท่ากับ 4 ms (คำนวณจากความยาวเฟรมหารด้วยจำนวนความถี่) หรือเลื่อนไป 5 สล็อตข่าวสาร ในขณะที่การเลียนแบบที่สอง (รูปที่ 5.15 (ข)) เวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่จะสับหว่างไม่เท่ากัน ซึ่งในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะกระทำในกรณีสุดโต่งเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างในการจำลองแบบกล่าวคือ เวลา



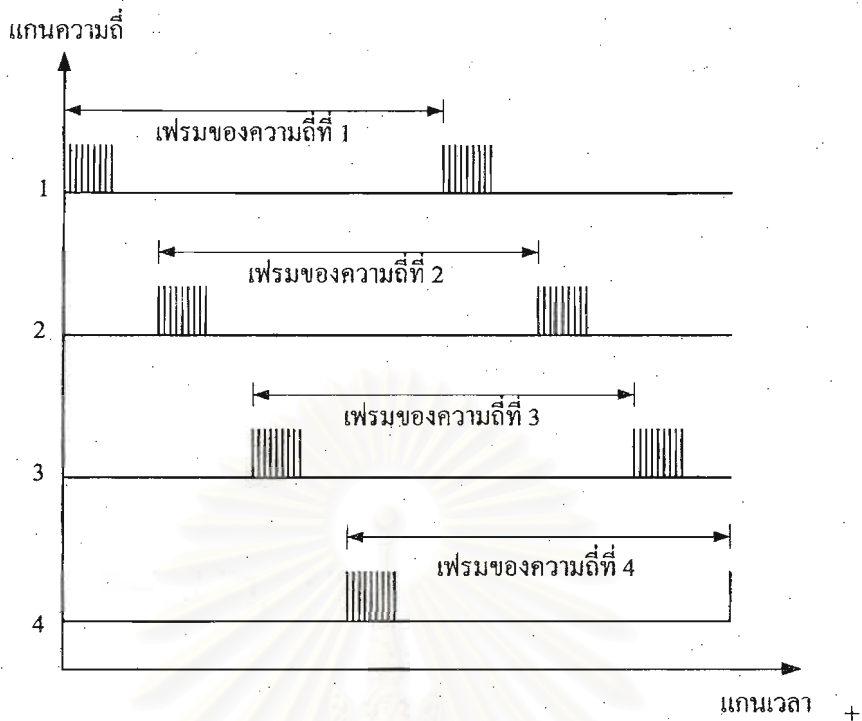
เริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่จะต่างกันเท่ากับความยาวของโอเวอร์เฮดที่ใช้สำหรับ  
ของช่องสัญญาณ

2. ผลกระทบของจำนวนความถี่ที่มีต่อแนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม (รูปที่ 5.21 ถึง 5.27) ซึ่งในการทดสอบจะจำลองแบบการทำงานของโพรโทคอลภายใต้ระบบที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 จนถึง 7 ความถี่ต่อเซลล์

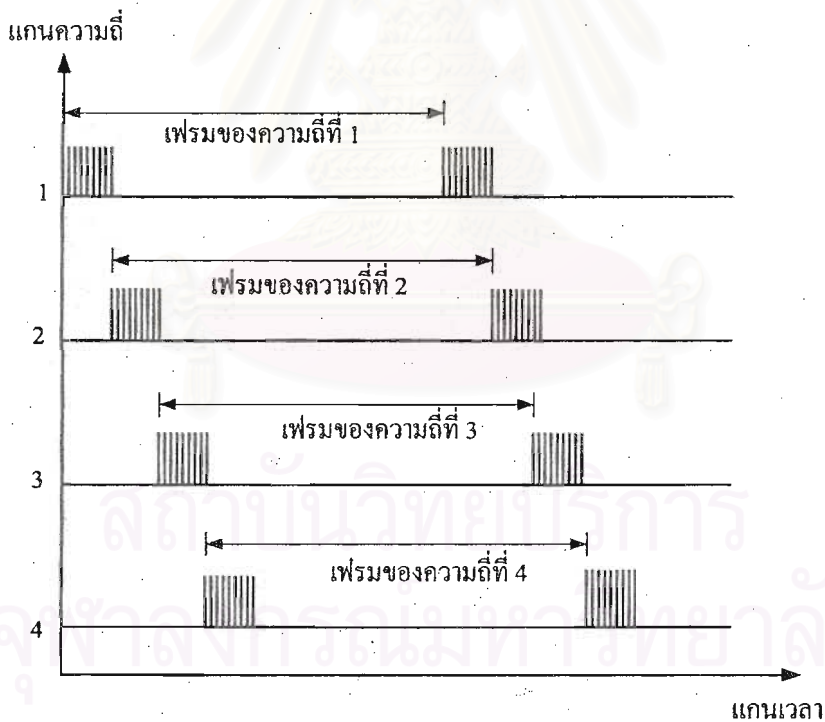
รูปที่ 5.16 ถึง 5.20 เป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่มีผลต่อสมรรถนะของโพรโทคอล ที่ตัวอย่างความยาว message ของทราฟฟิกข้อมูลเท่ากับ 10 แพ็กเก็ต และโพรโทคอลมีจำนวน RS เท่ากับ 8 สล็อตต่อเฟรม โดยในการจำลองแบบจะใช้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณของ MT ที่เพิ่มขึ้นสำหรับแสดงถึงสมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลและจะใช้จำนวนการร้องขอต่อเฟรม (Avg. no. of requests per frame) ค่าความน่าจะเป็นในการร้องขอสำเร็จ (Prob. Of success requests per frame) และจำนวนสล็อตในเฟรมของแต่ละความถี่ (Avg. no. of empty slots per frame) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายเหตุผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น สำหรับค่าความน่าจะเป็นสำหรับการส่งแพ็กเก็ตที่จะทำให้เกิดสมรรถนะสูงสุดของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาของต้นเฟรมจะมีค่าเท่ากับ 0.2 สำหรับการจองของทราฟฟิกเสียงและ 0.02 สำหรับทราฟฟิกข้อมูลซึ่งจะน้อยกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 และ 0.05 สำหรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ RS ในแต่ละความถี่ของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะไม่มีทับซ้อนกัน ดังนั้นในช่วงเวลาของการช่วงชิงช่องสัญญาณหนึ่ง ๆ จะมีเพียง 1 RS เท่านั้นที่สามารถให้บริการ MT ได้ ในขณะที่ช่วงเวลาในการช่วงชิงช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีจำนวน RS เท่ากับจำนวนความถี่ที่ให้บริการภายในเซลล์ (เปรียบเทียบกันระหว่างรูปที่ 5.15 และ 3.2 โพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม ตามลำดับ) ทำให้โพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมเพื่อลดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ต

จากเหตุผลดังกล่าวพบว่า ที่ปริมาณโหลดต่ำมาก (รูปที่ 5.16 และ 5.17 ที่จำนวน MT น้อยกว่า 60 ตัว) โพรโทคอลที่ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม (เส้น I\_shift และ II\_shift) จะมีสมรรถนะในการบริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม (เส้น no\_shift) เล็กน้อย เนื่องจาก MT ที่รับบริการภายใต้โพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีโอกาสในการส่งแพ็กเก็ตมากกว่าทำให้เวลาประวิงที่เกิดจากการรอการช่วงชิงช่องสัญญาณน้อยกว่าโพรโทคอลที่ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้น โดยที่สภาวะโหลดต่ำ ปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตจะมีไม่มากเนื่องจากมีปริมาณของ MT ที่ขอเข้าถึงตัวกลางเบาบาง อย่างไรก็ตาม

ก็ตามที่ปริมาณ MT มากกว่า 60 ตัว การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกซึ่งระยะห่างของเวลาเริ่มต้นเฟรมในแต่ละความถี่มีค่าเท่า ๆ กัน (เส้น I\_shift) จะช่วยให้โพรโทคอลมีสมรรถนะในการให้บริการที่ดีกว่า โพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม โดยค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่ได้จะมีค่าลดลงโดยเฉพาะในสภาวะโหลดสูง เนื่องจาก MT สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ดีขึ้นและไม่ต้องรอนจนกระทั่งถึงต้นเฟรมถัดไปทำให้จำนวนของ MT ที่รอการจองในช่วงต้นเฟรมมีค่าลดลงซึ่งสามารถลดอัตราการชนกันของแพ็กเก็ตสำหรับจองได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณโหลดสูงดังรูปที่ 5.18 และ 5.19 แสดงจำนวนการร้องขอโดยเฉลี่ยต่อเฟรมและค่าความน่าจะเป็นในการร้องขอสำเร็จที่ปริมาณ MT เท่ากับ 112 ตัว (เป็นค่าโหลดที่ทำให้กราฟฟีกเสียงของโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาต้นเฟรมมีค่าความน่าจะเป็นของการต้อแพ็กเก็ตเท่ากับ 0.01) ณ ความถี่ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบที่สอง (เส้น II\_shift) จะยังทำให้สมรรถนะในการให้บริการทั้งกราฟฟีกเสียงและข้อมูลด้อยลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาวะโหลดสูงเหตุเพราะการเลื่อนอย่างไม่สมดุลงจะทำให้ MT เข้าจองที่ความถี่ที่หนึ่งมากที่สุด รองลงมาคือความถี่ที่สอง สาม และสี่ ตามลำดับ จากการเข้าถึงตัวกลางของแต่ละความถี่ในลักษณะนี้จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จรวมไปถึงจำนวนสลิตว่างโดยเฉลี่ยในเฟรมของความถี่ที่หนึ่ง (รูปที่ 5.20) มีค่าน้อยที่สุดทำให้สมรรถนะของการให้บริการของโพรโทคอลในความถี่แรกลดลง ในขณะที่ความถี่ที่สามและสี่ยังสามารถรองรับการเข้าถึงตัวกลางของ MT ได้อยู่ ซึ่งต่างจากโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกที่มีปริมาณการเข้าถึงตัวกลางของ MT ในแต่ละความถี่มีค่าเท่า ๆ กัน

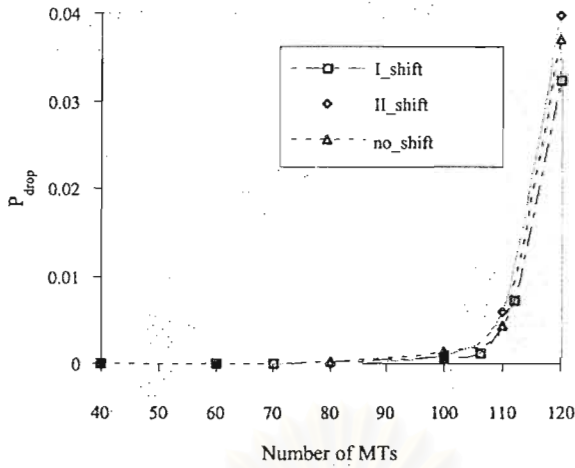


(ก) โพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรก

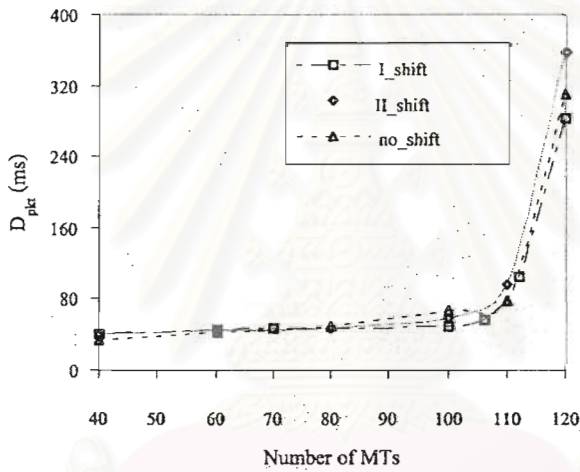


(ข) โพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบที่สอง

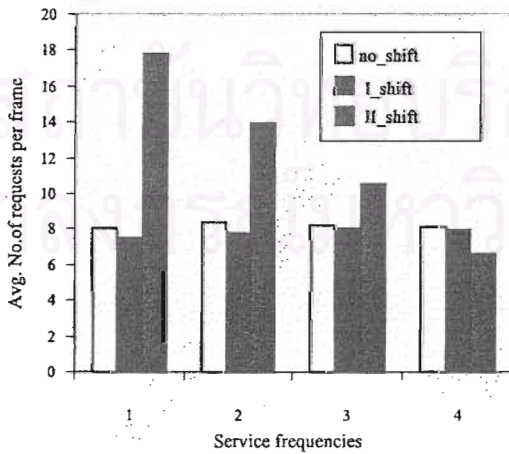
รูปที่ 5.15 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง ตามลำดับ ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 4 ความถี่



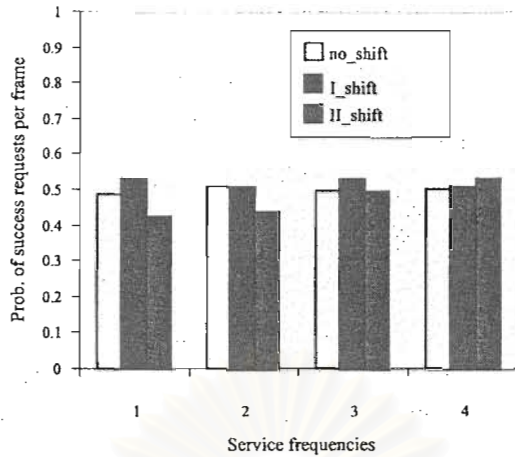
รูปที่ 5.16 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเกิดขึ้นของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยไม่มีและมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง



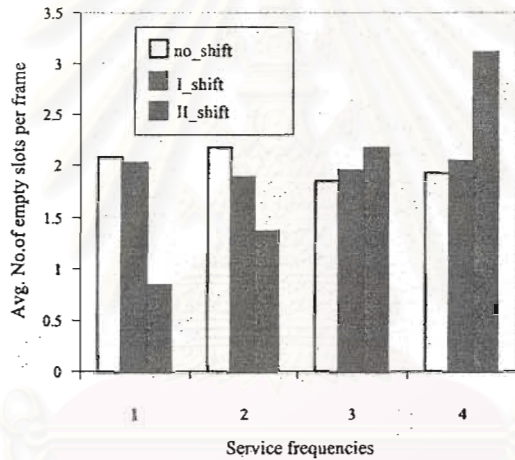
รูปที่ 5.17 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยไม่มีและมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง



รูปที่ 5.18 จำนวนการร้องขอโดยเฉลี่ยต่อเฟรมของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยไม่มีและมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง



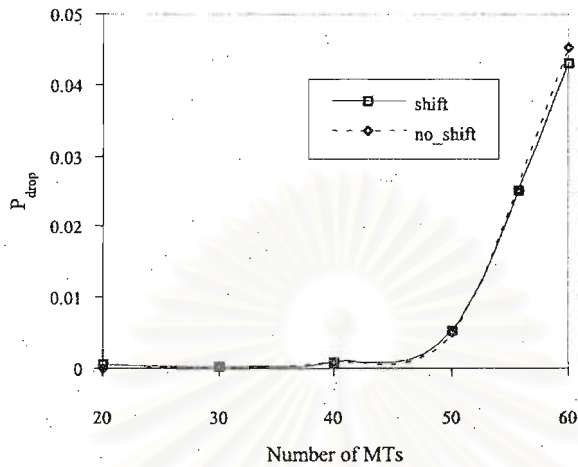
รูปที่ 5.19 ค่าความน่าจะเป็นในการร้องขอสำเร็จของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยไม่มีและมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง



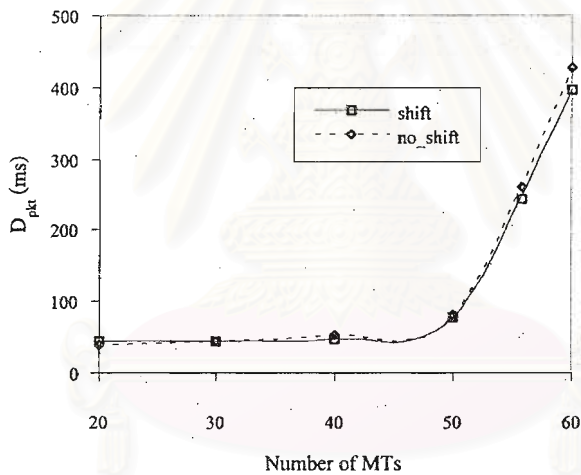
รูปที่ 5.20 จำนวนสล็อตว่างโดยเฉลี่ยต่อเฟรมของโพรโทคอลที่นำเสนอโดยไม่มีและมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่แบบแรกและแบบที่สอง

การทดสอบถึงผลกระทบของจำนวนความถี่ที่มีต่อแนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมในการทดสอบนี้จะกำหนดให้การเลื่อนระยะห่างระหว่างต้นเฟรมในแต่ละความถี่มีค่าเท่า ๆ กัน เพื่อให้มีสมรรถนะสูงสุดในการให้บริการ จากตัวอย่างผลการทดสอบในรูปที่ 5.21 ถึง 5.24 ซึ่งแสดงถึงสมรรถนะของโพรโทคอลที่มีและไม่มี การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีจำนวนความถี่ 2, 3, 4 และ 7 ความถี่ต่อเซลล์ (การทดสอบที่ความถี่มากกว่า 7 ความถี่จะมีแนวโน้มที่ใกล้เคียง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้จำนวนความถี่ต่อเซลล์เท่ากับ 7 เป็นตัวอย่างในการแสดงผลการทดสอบ) พบว่า แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมสามารถใช้ได้ดีที่ทุก ๆ จำนวนความถี่ โดยจำนวนความถี่ยิ่งมากสมรรถนะของโพรโทคอลก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะ

ห่างของต้นเฟรมในแต่ละความถี่มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้ว่า การพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 4 และ 7 จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากเวลาประวิงของ MT ที่ต้องรอ RS ในรอบถัดไปมีค่าใกล้เคียงกัน



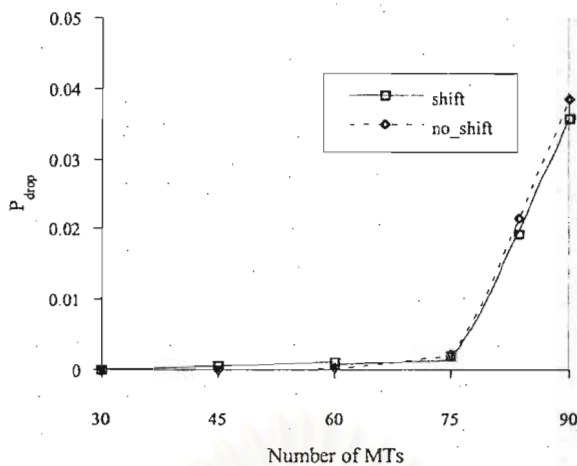
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียง



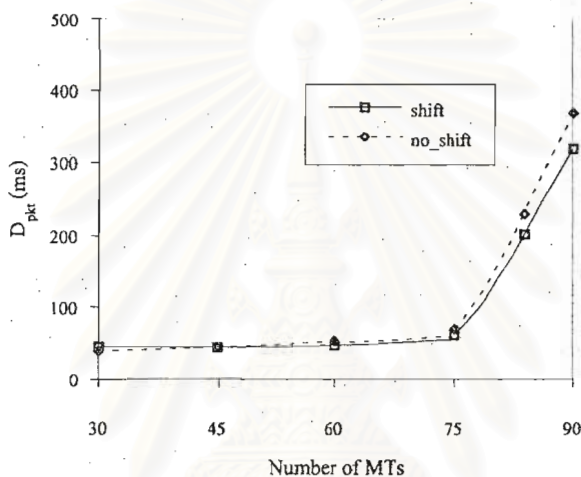
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.21 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีและไม่มี การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 2 ความถี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



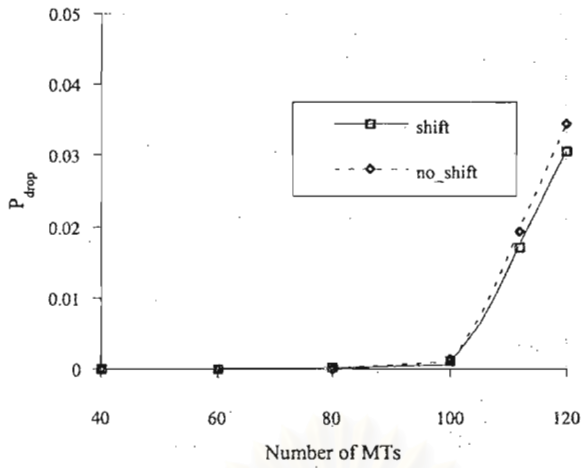
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียง



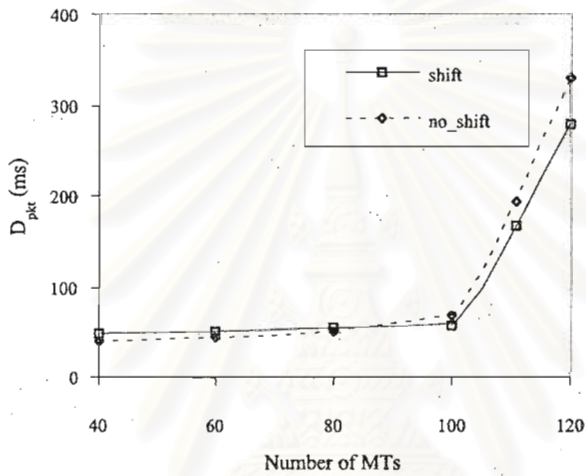
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.22 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 3 ความถี่

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



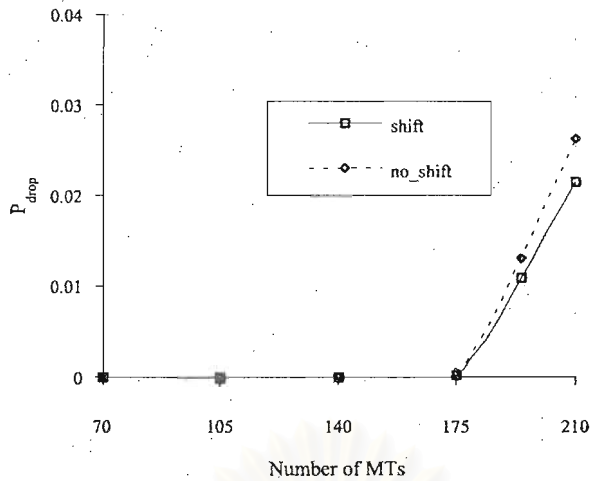
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



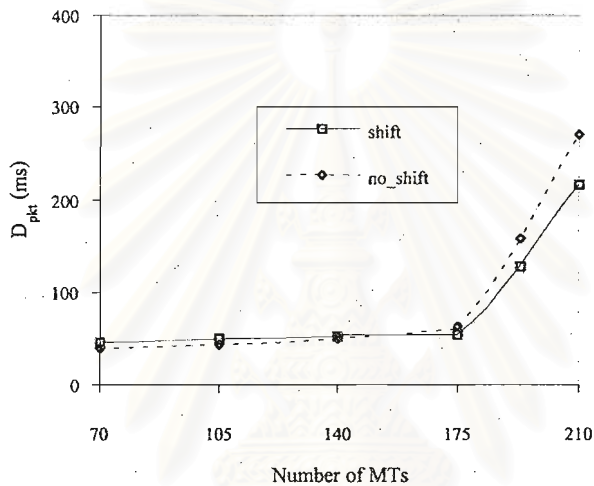
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.23 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 4 ความถี่





(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง

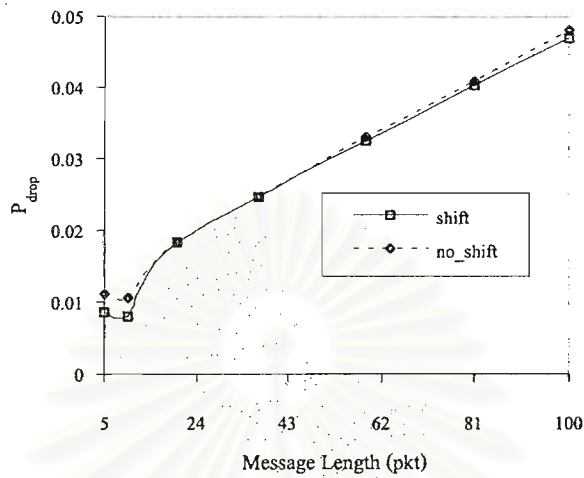


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

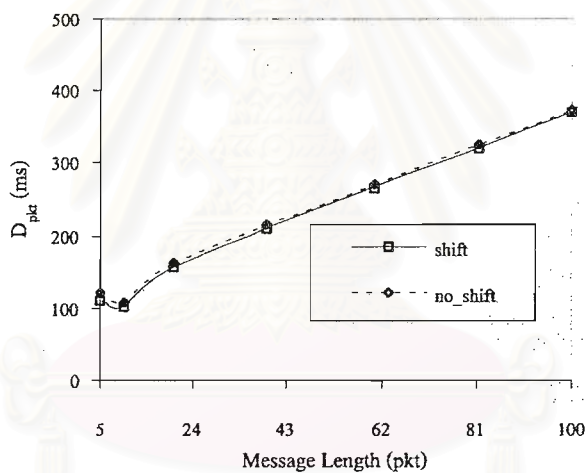
รูปที่ 5.24 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของ โพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 7

รูปที่ 5.25 ถึง 5.27 เป็นการทดสอบผลกระทบของความยาว message ที่มีต่อสมรรถนะ ในการให้บริการของโพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม ณ ระบบที่มีจำนวนโหลด คงที่ซึ่งเป็นค่าโหลดสูงสุดที่โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถรองรับได้โดยค่าความน่าจะเป็นของการ ดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงน้อยกว่า 0.01 ที่ตัวอย่างสภาวะความยาว message โดยเฉลี่ยของทราฟฟิก ข้อมูลที่ 10 แพ็กเก็ตสำหรับความยาวโดยเฉลี่ยของ message ข้อมูลในการทดสอบนี้จะมีขนาด แปรผันจาก 5 ถึง 100 แพ็กเก็ต ที่ปริมาณโหลดต่อแหล่งกำเนิดข้อมูลคงที่เท่ากับ 5.76 kbps โดย จะใช้แบบจำลองของ ระบบที่มี 2, 4 และ 7 ความถี่ในการให้บริการ ตามลำดับ พบว่า แนวคิดใน การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะให้ได้ดีขึ้นในสภาวะของขนาด message ข้อมูลสั้น เนื่องจากมีการ กระจาย RS ทำให้สามารถรองรับปริมาณการเข้าใช้ของสัญญาณที่มีมากของทราฟฟิกข้อมูลได้

ในขณะที่สภาวะของ message ข้อมูลที่มีความยาวมาก แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีผลไม่มากเพราะว่าที่สภาวะนี้ปริมาณการเข้าของช่องสัญญาณของทราฟฟิกข้อมูลจะมีค่าน้อย ทำให้การกระจาย RS อาจจะไม่มีความจำเป็นนัก



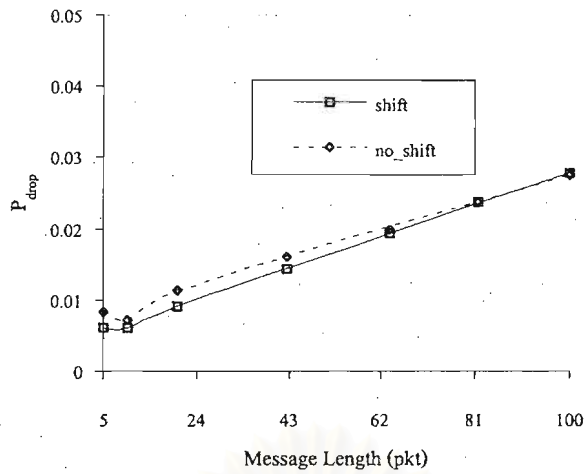
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



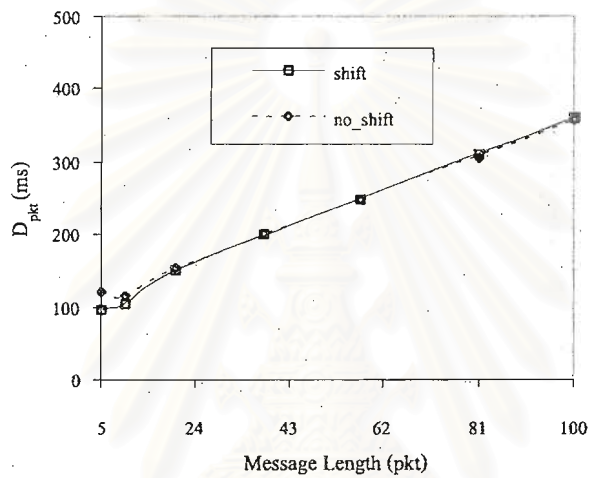
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.25 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโปรโตคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 2 ความถี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



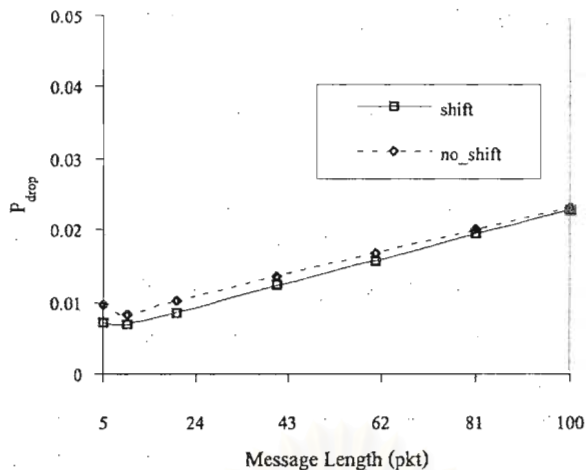
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



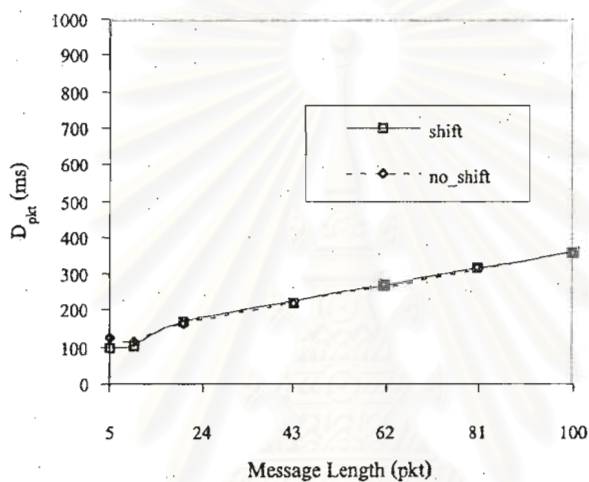
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.26 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 4 ความถี่

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.27 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีและไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่จำนวนความถี่เท่ากับ 7 ความถี่

จากผลที่ได้ทั้งหมดในหัวข้อนี้สามารถสรุปได้ว่า แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกจะช่วยให้สมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอดีขึ้นเนื่องจากการกระจาย RS ทำให้เวลาประวิงที่เกิดจากการรอการช่วงชิงช่องสัญญาณใน RS ถัดไปลดลง โดยแนวคิดนี้จะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในระบบที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการต่อเซลล์มากขึ้นหรือในสภาวะที่ message ข้อมูลสั้นลง สำหรับข้อเสียของแนวคิดนี้คือ ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่าต่ำลงทำให้มีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลด้อยกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาต้นเฟรมที่ปริมาณโหลดต่ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความจุของช่องสัญญาณ (จากรูปที่ 5.21 ถึง 5.24) มีสมรรถนะที่ดีกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม โดยจะมีสมรรถนะดียิ่งขึ้นเมื่อมีจำนวนความถี่ต่อเซลล์เพิ่มขึ้น

### 5.3 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลโดยใช้การกระจายสล็อตสำหรับช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วเฟรมและการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่

สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณโดยการประยุกต์ใช้วิธีการกระจายสล็อตสำหรับช่องและวิธีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม ซึ่งทั้งสองวิธีที่เสนอนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการลดระยะเวลาในการรอสล็อตสำหรับช่องในรอบถัดไปของช่องสัญญาณ สำหรับวิธีในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่ประยุกต์ใช้ในหัวข้อนี้จะทำการเลื่อนอย่างสมดุลที่สุดดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติให้ใน 1 เซลล์มีจำนวนความถี่ที่ให้บริการแก่ MT อยู่ทั้งหมดเท่ากับ 4 ความถี่ ค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณและแหล่งกำเนิดกราฟฟิกเป็นดังแบบจำลองในบทที่ 4 โดยในการออกแบบโครงสร้างเฟรมจะทำการหาจำนวนของสล็อตสำหรับช่อง (RS) และจำนวนสล็อตสำหรับส่งข่าวสาร (IS) ตลอดจนการกระจาย RS ในสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดภายใต้การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่อย่างสมดุลเท่ากับ 4 ms หรือ 5 สล็อตข่าวสารเพื่อให้โพรโทคอล MAC มีสมรรถนะสูงสุดในการให้บริการกราฟฟิกเสียงและข้อมูล โดยจำนวน RS ที่จะพิจารณาในตัวอย่างนี้จะเท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 สล็อตต่อเฟรม ซึ่งจะสามารถแบ่งกลุ่มในการกระจายสล็อตได้เป็นหลายกรณีดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.1 คือ ที่จำนวน RS เท่ากับ 4 สามารถกระจายสล็อตออกเป็นกลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต ที่จำนวน RS เท่ากับ 8 และ 16 สล็อต จะมีรูปแบบการกระจายสล็อตกลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต และ 1, 2, 4, 8 และ 16 สล็อต ตามลำดับ ในกรณีที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 จะสามารถแบ่งกลุ่มการกระจายได้ออกเป็น 6 รูปแบบคือ กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อต ในรูปที่ 5.28 ถึง 5.30 แสดงโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอนี้ขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการกระจาย RS และการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมร่วมกัน (เส้นประในรูปแสดงถึงต้นเฟรมของความถี่ที่ให้บริการและแกนนอนคือแกนเวลาในหน่วยของสล็อตข่าวสารที่มีความยาวเท่ากับ 0.8 ms และลูกศรแสดงให้เห็นถึงเวลาเริ่มต้นเฟรมที่เลื่อนไปของความถี่แต่ละความถี่) โดยผลการทดสอบสมรรถนะในการให้บริการแก่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลในทั้งสามรูปดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.31 ถึง 5.33 โดยใช้ค่า  $P_{drop}$  ของแพ็กเก็ตเสียงและ  $D_{pkt}$  ต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณ MT ที่เพิ่มขึ้นที่ความยาวเฉลี่ยของ message ข้อมูลคงที่เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต เป็นพารามิเตอร์ในการบ่งชี้ถึงสมรรถนะของโพรโทคอล

ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 สล็อต พบว่า สมรรถนะในการให้บริการกราฟฟิกเสียงและข้อมูลในรูปที่ 5.31 ของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 2 (เส้น shift&group1 และเส้น shift&group2) จะค่าใกล้เคียงกันและจะมีค่า  $P_{drop}$

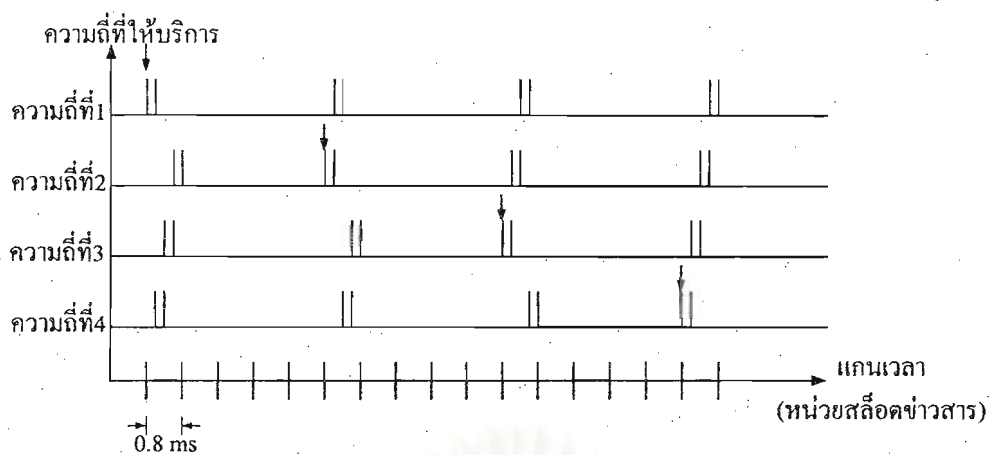
และ  $D_{pkt}$  ต่ำกว่าโพรโทคอลที่มีเฉพาะการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม (เส้น shift) เพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีระยะห่างระหว่าง RS ถัดไปใกล้เคียงกันดังรูปที่ 5.28 ทำให้เวลาประวิงที่เกิดจากการรอ RS ในรอบถัดไปตลอดจนจำนวนของ MT ที่รอการเข้าช่วงชิงช่องสัญญาณในช่วงต้นเฟรม (รูปที่ 5.31(ค)) มีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 5.29 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและมีการกระจายสล็อตกลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อตตามลำดับ พบว่า โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อตจะมีระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่าง RS ถัดไปน้อยที่สุด ส่วนโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 2 และ 8 สล็อตจะมีระยะห่างระหว่าง RS ที่ใกล้เคียงกัน โดยโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 4 จะมีระยะห่างมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบในรูปที่ 5.32(ก) และ 5.32(ข) ก็จะสามารถคล้องกับรูปที่ 5.29 กล่าวคือ โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อต (เส้น shift&group1) ซึ่งมีระยะห่างของ RS ถัดไปน้อยที่สุดก็จะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลดีที่สุดรองลงมาคือ โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 2 และ 8 (เส้น shift&group1 และเส้น shift) โดยโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 4 (เส้น shift&group4) จะมีสมรรถนะต่ำสุดเนื่องจากเวลาประวิงที่ MT ต้องรอ RS ถัดไปมีค่ามากที่สุด โดยผลการทดสอบนี้สามารถยืนยันได้ในรูปที่ 5.32(ค) ซึ่งแสดงปริมาณของ MT ที่ต้องการเข้าใช้ในช่วงต้นเฟรม

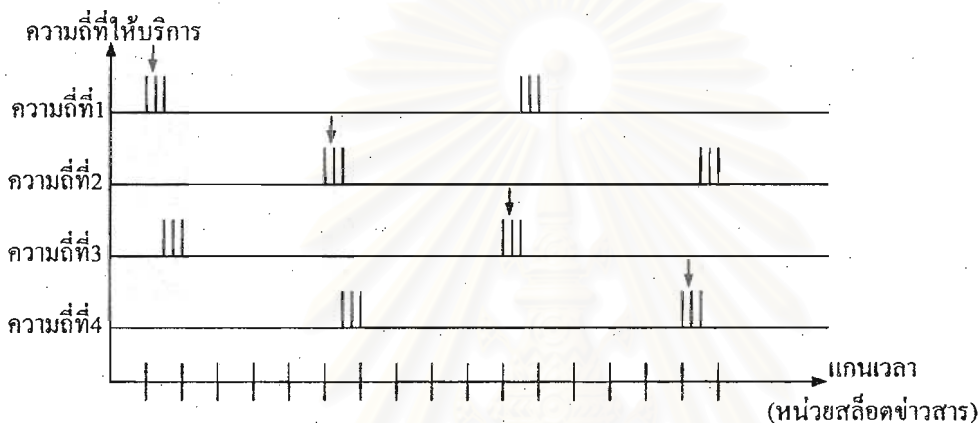
ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 12 ก็จะมีแนวโน้มคล้ายกันคือ โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่มีการจัดเรียงของ RS ที่ใกล้ชิดกันมากกว่าจะทำให้เวลาประวิงในการรอ RS ถัดไปน้อยกว่าเป็นผลให้มีสมรรถนะในการบริการเสียงและข้อมูลที่ดีกว่า ดังในรูปที่ 5.33(ก) และ 5.33(ข) โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อตจะมีสมรรถนะดีที่สุดรองลงมาคือ โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 2, 4, 6, 12 และ 3 สล็อต ตามลำดับ (ดูรูปที่ 5.30 ประกอบ)

สำหรับในกรณีที่โพรโทคอลมีจำนวน RS เท่ากับ 16 สล็อตต่อเฟรม การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของโพรโทคอลที่มีการกระจายสล็อตในรูปแบบต่าง ๆ จะไม่มีผลเนื่องจากไม่ว่าจะเลื่อนอย่างไร RS ก็ยังคงจัดเรียงในลักษณะเดิมไม่มีการสับหว่างเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 5.3 ประกอบ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อต



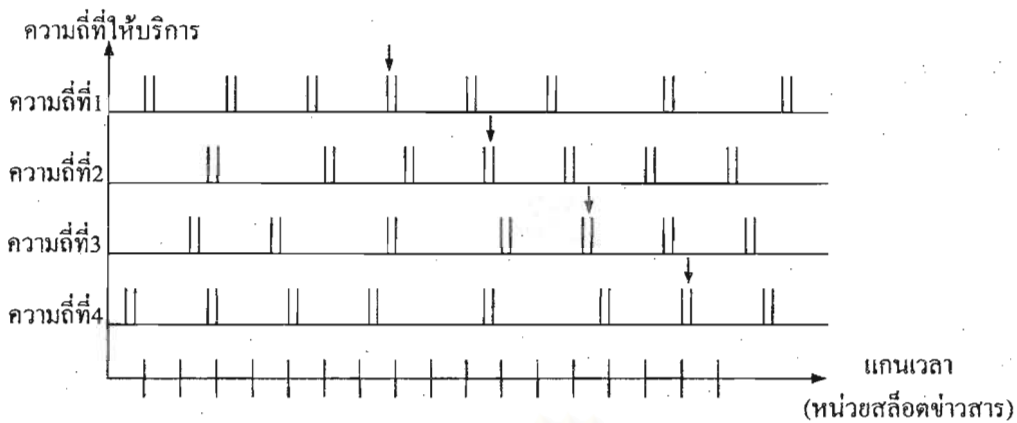
(ข) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 2 สล็อต



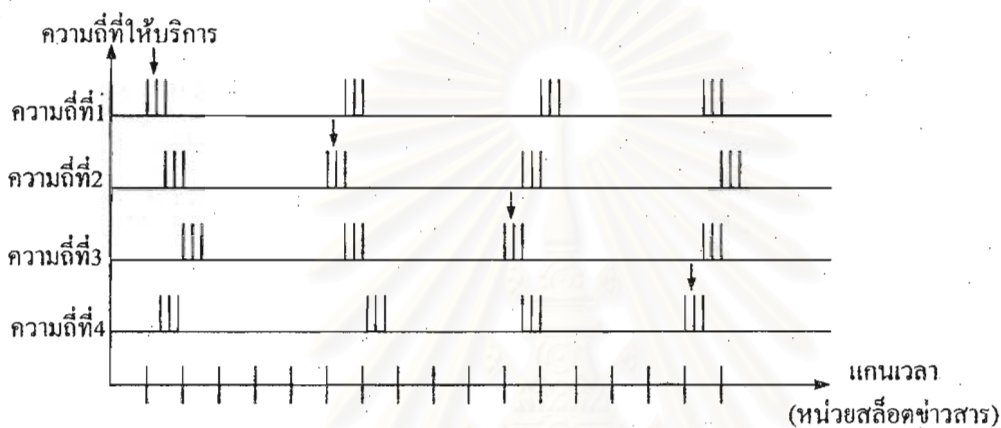
(ค) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 4 สล็อต

(ไม่มีการกระจาย RS)

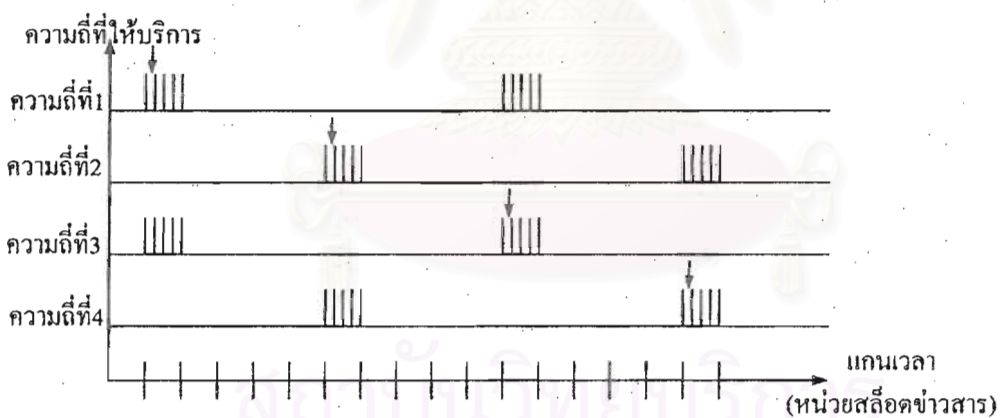
รูปที่ 5.28 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเป็น 4



(ก) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อต

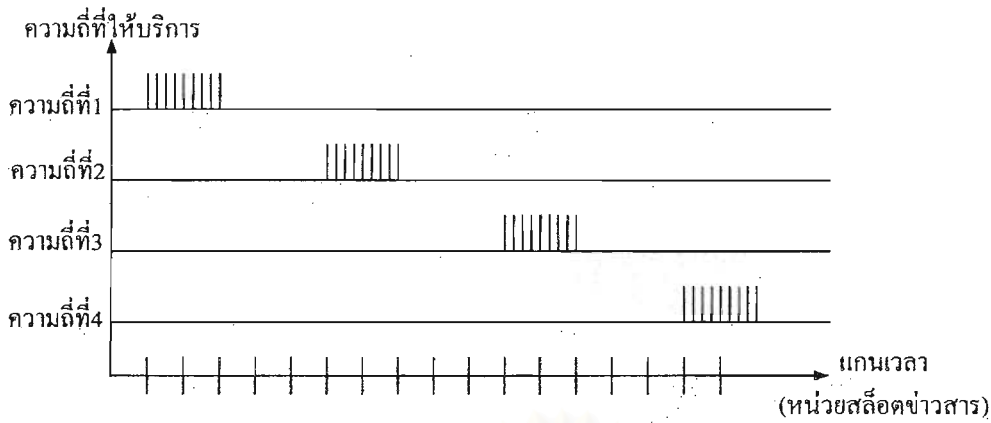


(ข) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 2 สล็อต



(ค) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 4 สล็อต

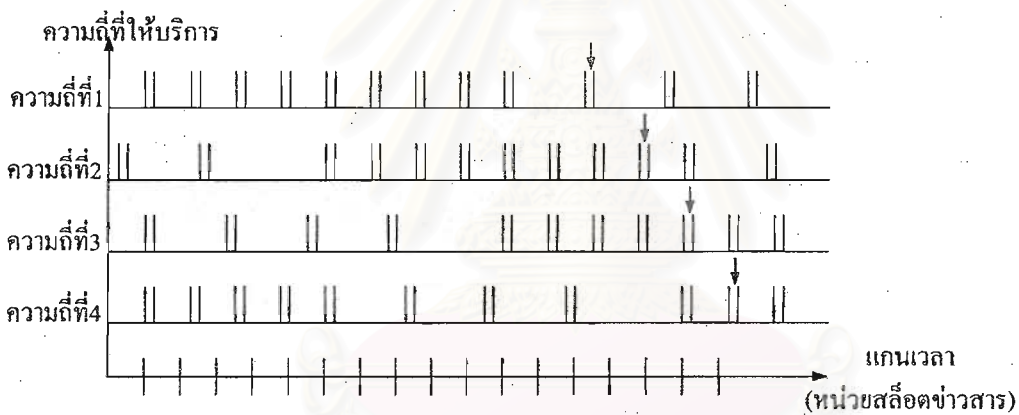




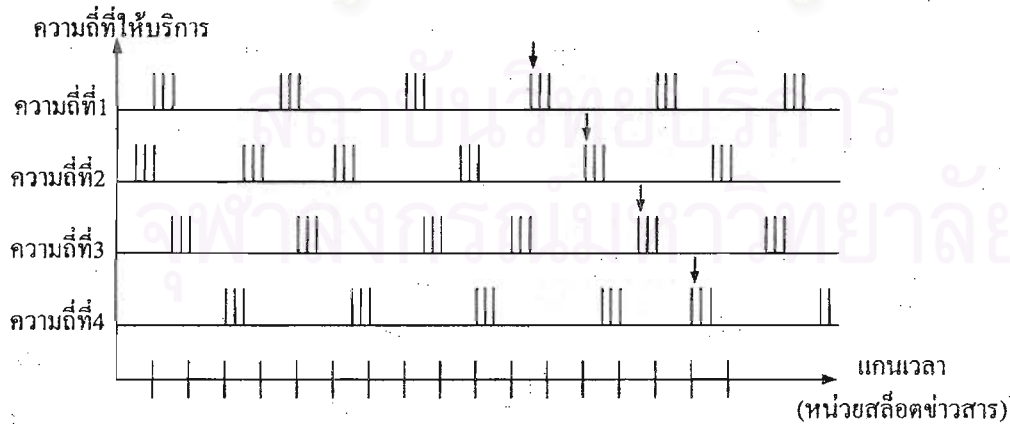
(ง) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 8 สล็อต (ไม่มีการกระจาย RS)

รูปที่ 5.29 โครงสร้างเฟรมของโพทโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลา เริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต

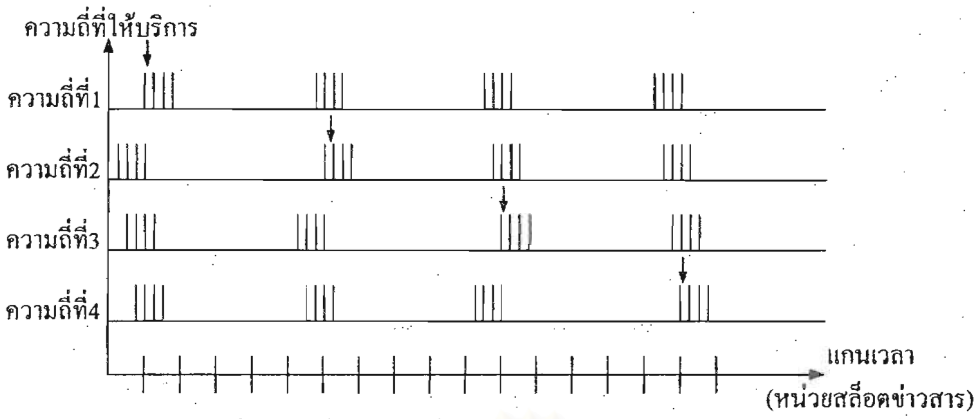
ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเป็น 8



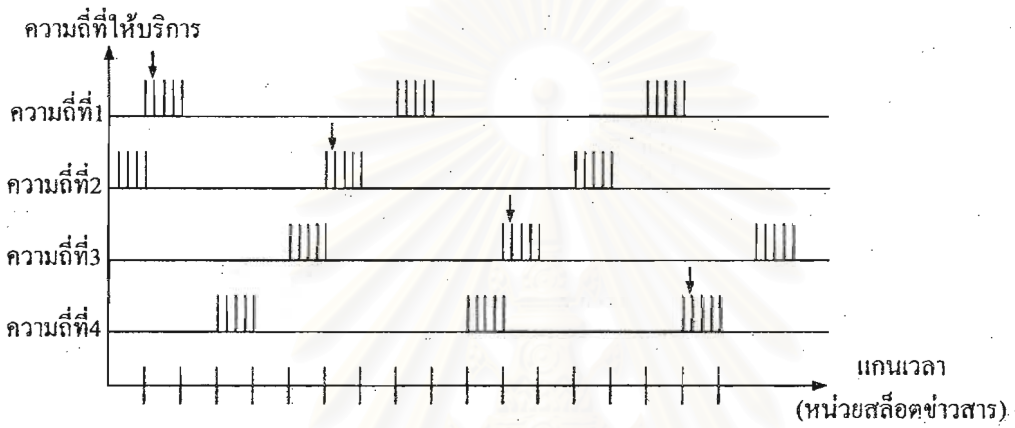
(ก) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อต



(ข) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 2 สล็อต

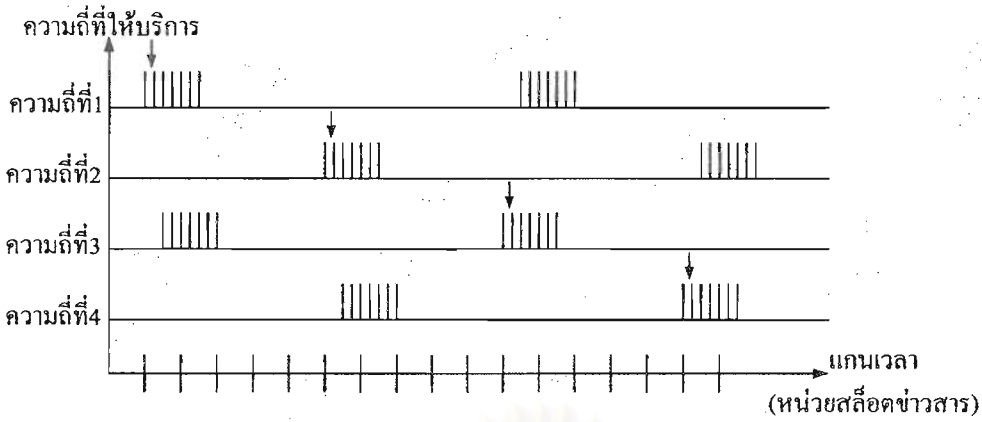


(ค) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 3 สล็อต

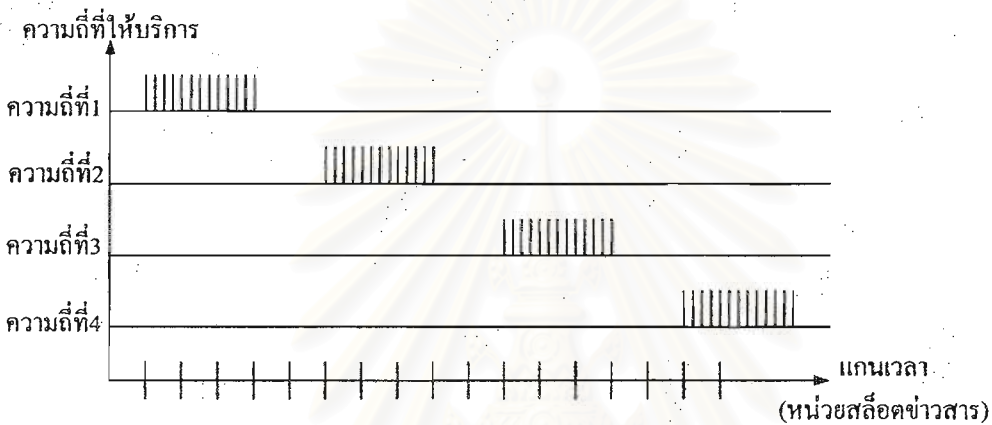


(ง) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 4 สล็อต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



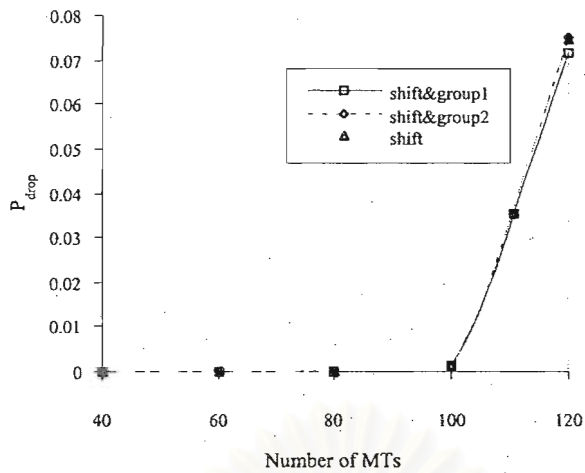
(จ) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 6 สล็อต



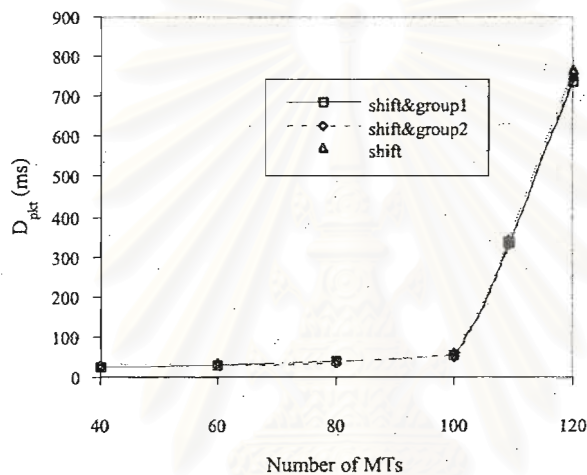
(ข) โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 12 สล็อต  
(ไม่มีการกระจาย RS)

รูปที่ 5.30 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลา  
เริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อต  
ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 12

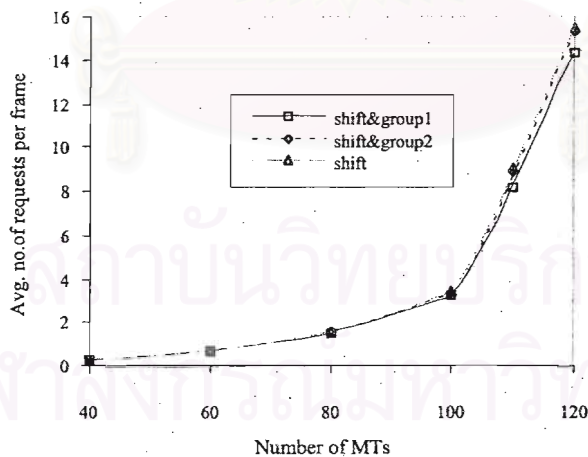
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสี่ยง



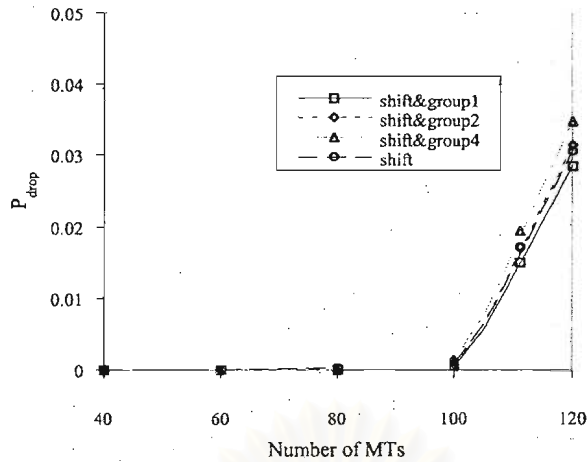
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล



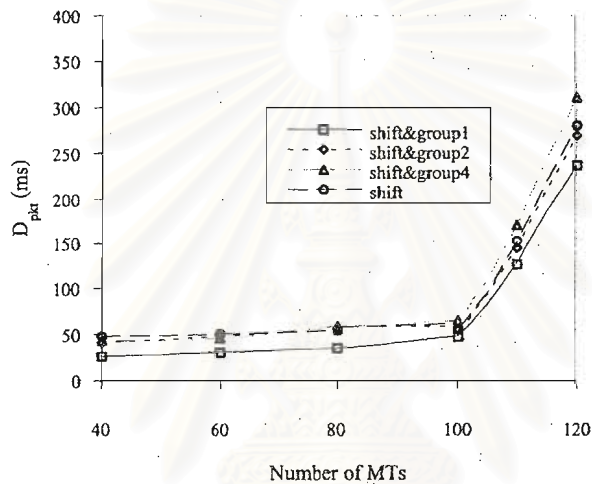
(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

รูปที่ 5.31 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสี่ยง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต ในกรณีที่มี

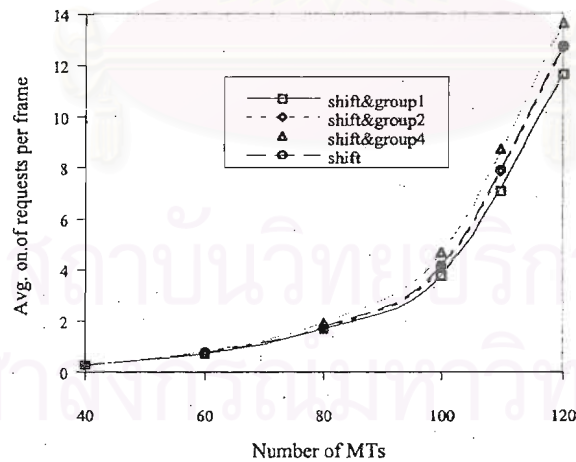
จำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



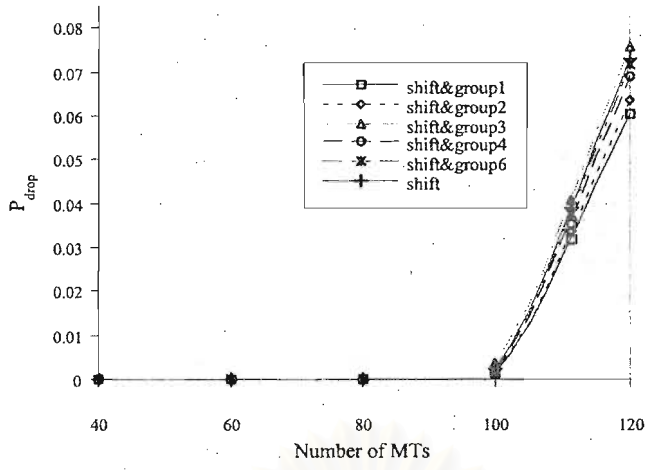
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล



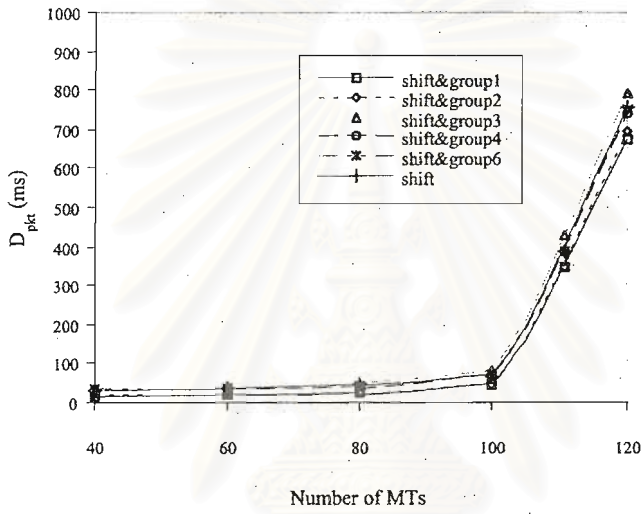
(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

รูปที่ 5.32 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต ในกรณีที่มี

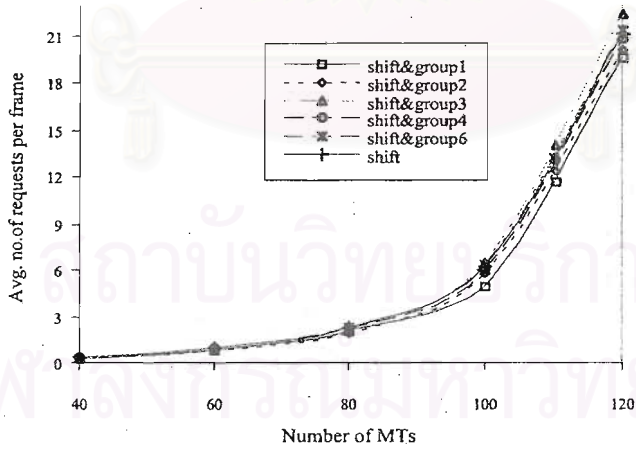
จำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

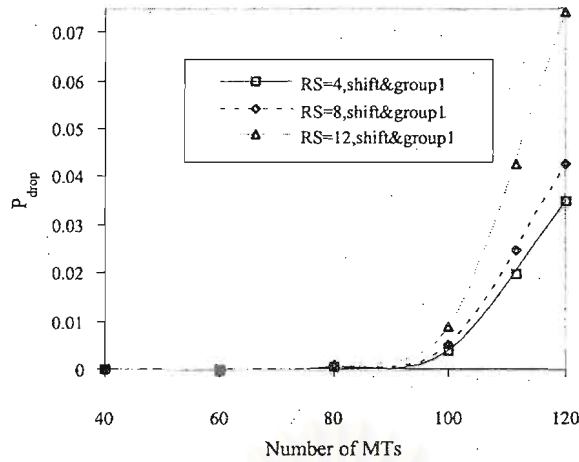


(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

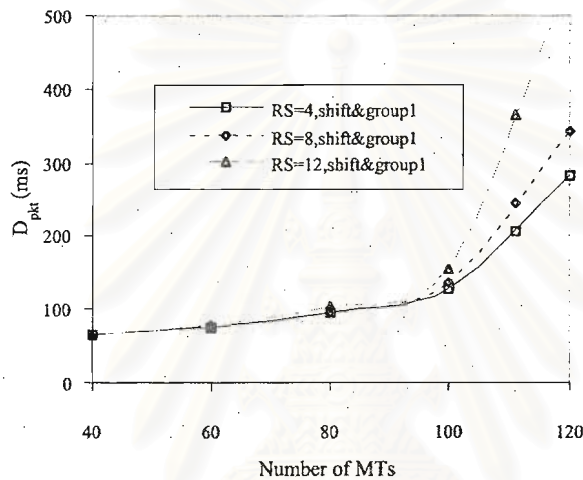
รูปที่ 5.33 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 12

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการหาโครงสร้างเฟรมที่มีจำนวนและการจัดเรียงของ RS อย่างเหมาะสมที่สุดในกรณีที่อัตราการมาถึงหรือความยาวของ message โดยเฉลี่ยของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าเท่ากัน สำหรับที่สภาวะของ message ของทราฟฟิกข้อมูลต่าง ๆ กัน การออกแบบโครงสร้างเฟรมที่เหมาะสมจะพิจารณาจากจำนวนของ RS ต่อเฟรมกล่าวคือ ที่สภาวะ message ของข้อมูลสั้นซึ่งมีอัตราการมาถึงของทราฟฟิกข้อมูลสูง โพรโทคอลควรมีจำนวน RS ต่อเฟรมมากเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการเข้าถึงตัวกลางได้ ในทางตรงกันข้ามที่สภาวะ message ของข้อมูลยาว โพรโทคอลควรมีจำนวน RS ต่อเฟรมหรือโอเวอร์เฮดน้อยลงเพื่อให้สามารถมีสล็อตข่าวสารเหลือเพียงพอสำหรับบริการทราฟฟิกข้อมูลที่มีความต้องการส่งคราวละหลายแพ็กเก็ตได้ โดยจำนวน RS ที่เหมาะสมจะมีแนวโน้มดังรูปที่ 5.5, 5.7 และ 5.9 กล่าวคือ ที่ความยาว message น้อยกว่า 3 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 16 จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบ ในสภาวะที่ความยาว message เท่ากับ 4 ถึง 50 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 จะสามารถรองรับจำนวน MT ได้มากที่สุด สำหรับที่สภาวะความยาว message มากกว่า 50 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 จะมีเข้าถึงตัวกลางในการให้บริการที่ดีที่สุดดังตัวอย่างในรูปที่ 5.34 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมที่เหมาะสมที่สุดคือมีการเลื่อนของเวลาเริ่มต้นเฟรมและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4, 8 และ 12 ตามลำดับพบว่า โพรโทคอลที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 จะให้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 5.34 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนของเวลาเริ่มต้นเฟรมและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4, 8 และ 12 ตามลำดับ ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 50 แพ็กเก็ต ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 4 ความถี่

ในกรณีที่มีจำนวนความถี่ต่อเซลล์ไม่เท่ากับ 4 ความถี่ต่อเซลล์ การจัดเรียงของโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลก็จะแตกต่างกันไปเช่นในกรณีที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการเท่ากับ 2 การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างสมดุลจะมีค่าเท่ากับ 8 ms (สามารถดูรูปของลักษณะโครงสร้างเฟรมที่มีการกระจายและการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมในกรณีที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4, 8 และ 12 สล็อต จากรูปที่ 5.28 ถึง 5.30 โดยสังเกตเฉพาะความถี่ที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมต่างกัน 8 ms เช่น ความถี่ที่ 1 กับ 3 หรือความถี่ที่ 2 กับ 4) พบว่า ในกรณีที่โพรโทคอลมีจำนวน RS เท่ากับ 4 และ 8 สล็อต โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนและกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อตมีระยะห่างของ RS น้อยที่สุดสำหรับโครงสร้างที่มีการกระจายรูปแบบอื่น ๆ จะมีระยะห่างของ RS ที่ใกล้เคียงกัน โดยในกรณีที่



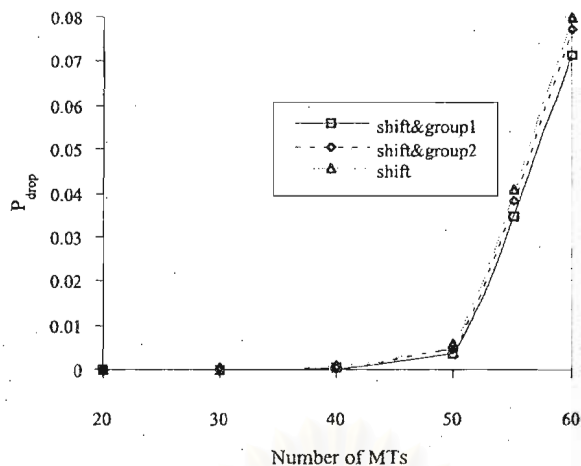
RS เท่ากับ 8 ที่มีการกระจายกลุ่มละ 4 สล็อต การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะไม่มีผลในการลดระยะห่างของ RS สำหรับโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 12 โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 สล็อตจะมีเข้าถึงตัวกลางดีที่สุดรองลงมาคือ โพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 2, 4, 3, 6 และ 12 สล็อต ตามลำดับ โดยโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 16 การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของโพรโทคอลที่มีการกระจายสล็อตในรูปแบบต่าง ๆ จะไม่มีผลเช่นเดียวกันกับระบบที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการต่อเซลล์

จากผลการทดสอบที่ได้ในรูปแบบที่ 5.35 ถึง 5.37 ก็จะสอดคล้องกับที่กล่าวข้างต้นคือ โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนและกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อตจะมีเข้าถึงตัวกลางในการให้บริการเสียงและข้อมูลที่ดีที่สุดในกรณีของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 และ 8 สำหรับในกรณีที่โพรโทคอลมีจำนวน RS เท่ากับ 12 โครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนและกระจาย RS กลุ่มละ 1 สล็อตจะให้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ที่ต่ำที่สุดโดยโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 2, 4 และ 3 สล็อตก็จะให้เข้าถึงตัวกลางที่ด้อยกว่าลดหลั่นกันลงไป สำหรับโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 6 และ 12 สล็อต จะมีค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ตลอดจนจำนวน MT ที่เข้าถึงในช่วงต้นเฟรมที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีระยะห่างของ RS กลุ่มถัดไปใกล้เคียงกัน

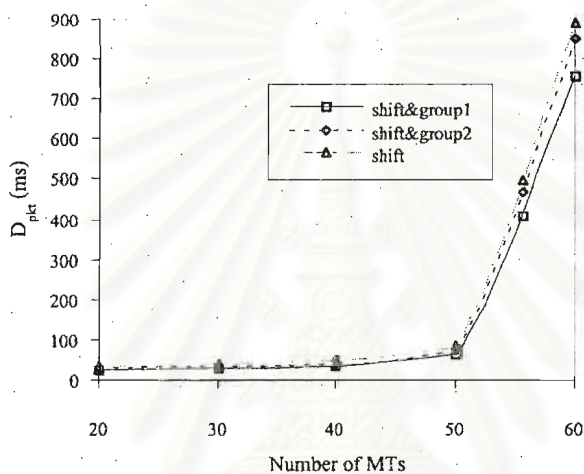
สำหรับการหาจำนวน RS ที่เหมาะสมในแต่ละสภาวะความยาวของ message ข้อมูลในระบบที่มีจำนวนความถี่เท่ากับ 2 ก็จะมีแนวโน้มเหมือนกับในกรณีที่มีจำนวนความถี่เท่ากับ 4 เพียงแต่จะมีจำนวน MT ที่รองรับได้น้อยลงเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ

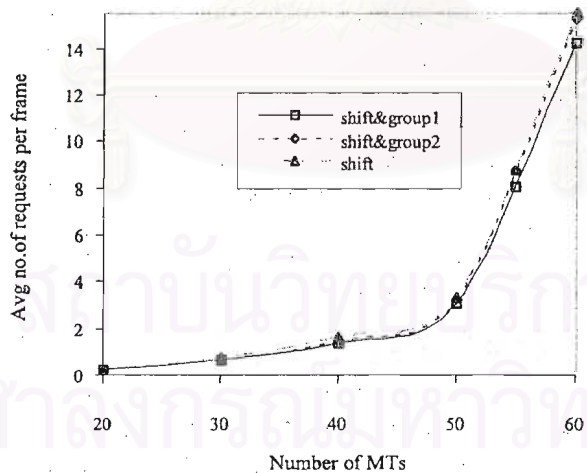
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสียง



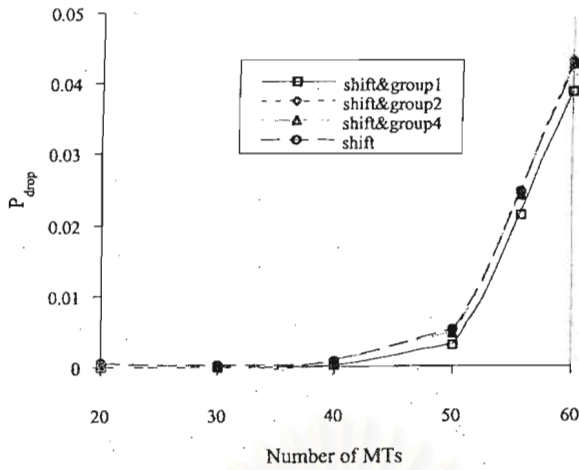
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล



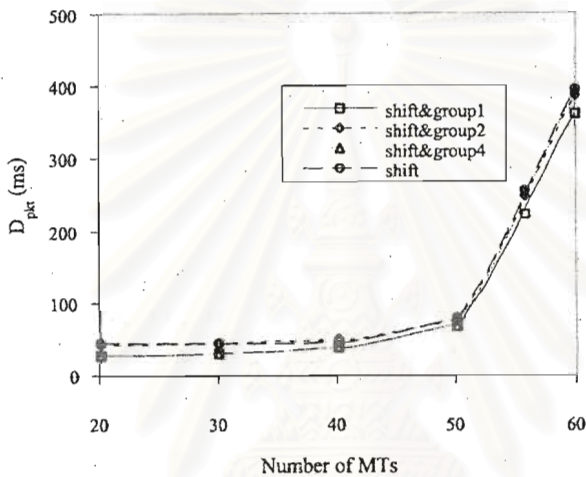
(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

รูปที่ 5.35 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2 และ 4 สล็อต ในกรณีที่มี

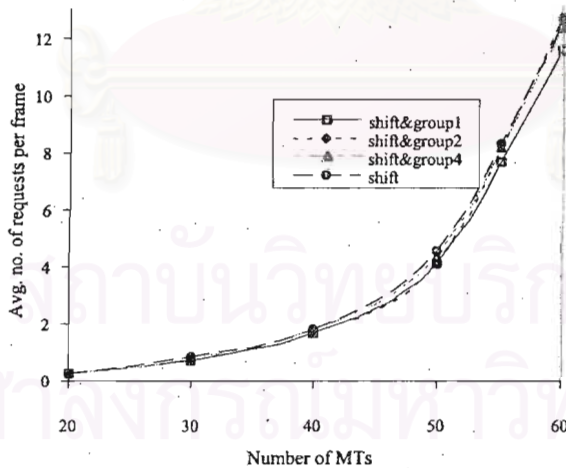
จำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 2 ความถี่



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรออปแพ็กเก็ตเสียง

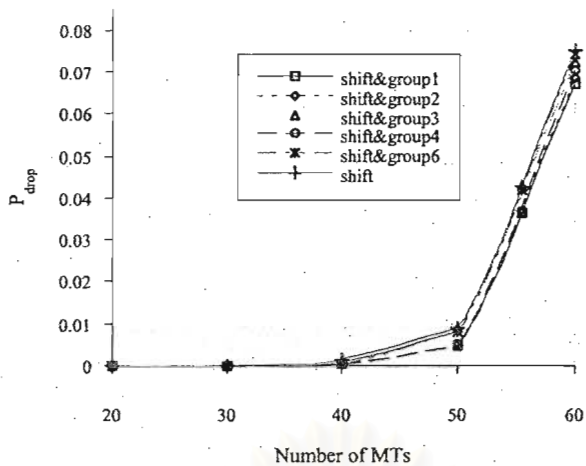


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

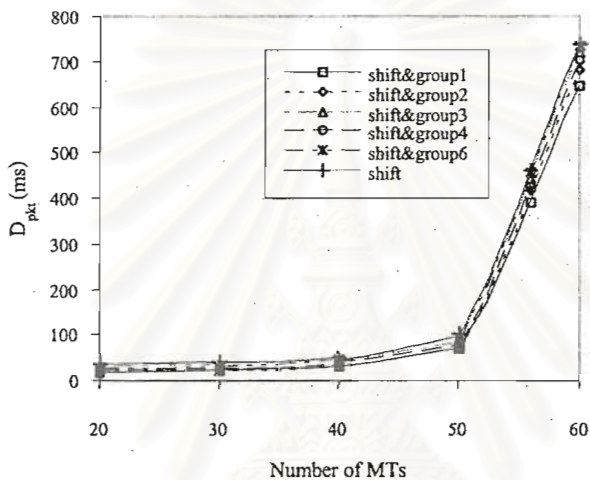


(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

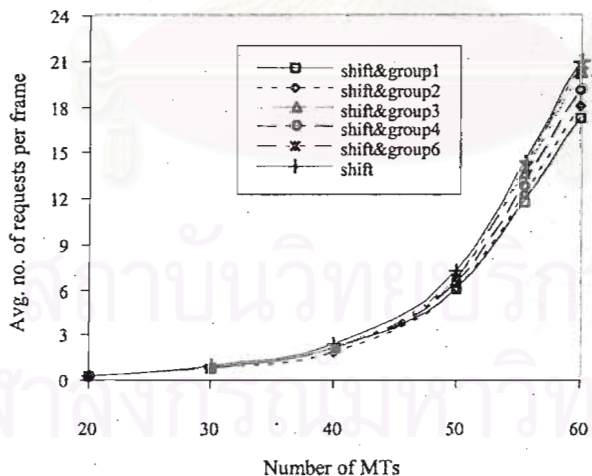
รูปที่ 5.36 ค่าความน่าจะเป็นของการดรออปแพ็กเก็ตเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 4 และ 8 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 สล็อตที่จำนวนความถี่เท่ากับ 2 ความถี่



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรออปแพ็กเก็ตเกิดขึ้น



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

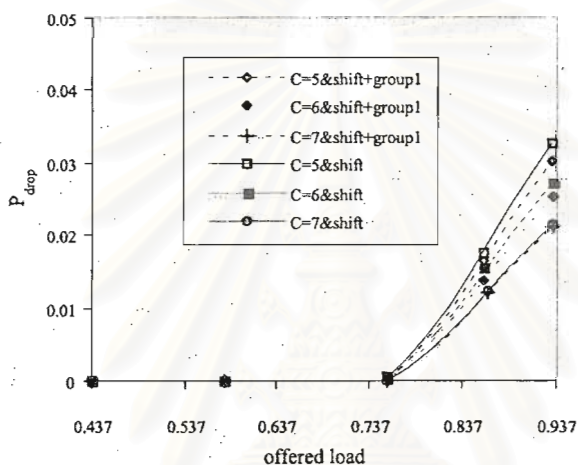


(ค) จำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ย

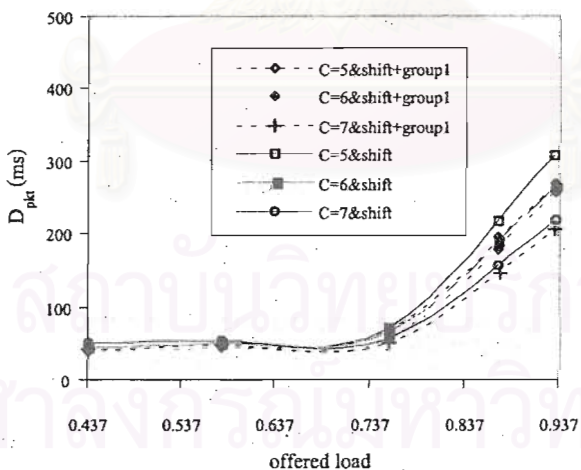
รูปที่ 5.37 ค่าความน่าจะเป็นของการดรออปแพ็กเก็ตเกิดขึ้น เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการเข้าถึงตัวกลางในต้นเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 สล็อต ในกรณีที่จำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 12 สล็อต ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 2 ความถี่



ในระบบที่มีจำนวนความถี่มากกว่า 4 ความถี่ต่อเซลล์ การกระจาย RS ในโครงสร้างเฟรมที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมนั้นจะมีผลน้อยลงเนื่องจากที่จำนวนความถี่มากจะมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมที่ถี่ขึ้น ทำให้ระยะห่างของกลุ่ม RS สั้นอยู่แล้วถึงแม้ว่าจะใช้วิธีการกระจาย RS ร่วมกับวิธีเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม แต่ผลต่างของระยะห่างที่ได้ก็จะไม่มากนัก ทำให้สมรรถนะในการให้บริการไม่แตกต่างกันมากนักดังผลการทดสอบเข้าถึงตัวกลางในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนและมีการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 8 สล็อต (ไม่มีการกระจาย RS) ในรูปที่ 5.38 ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 5, 6 และ 7 ความถี่ ตามลำดับ ณ ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 10 แพ็กเกต



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเกตเสียง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเกตข้อมูล

รูปที่ 5.38 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเกตเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเกตข้อมูลของโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมและการกระจาย RS กลุ่มละ 1 และ 8 สล็อต ในกรณีที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 ที่จำนวนความถี่เท่ากับ 5, 6 และ 7 ความถี่ ตามลำดับ

#### 5.4 การปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดสำหรับจองตามปริมาณทราฟฟิกไหลตัวอย่างพลวัต

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบแนวคิดที่ใช้การประยุกต์วิธีการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเกิดสำหรับจองอย่างพลวัตกับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่นำเสนอซึ่งใช้วิธีการช่วงชิง RS แบบ slotted-ALOHA สำหรับวิธีการเปลี่ยนความน่าจะเป็นในงานวิจัยนี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างวิธี exponential backoff (EB) กับวิธี Bayesian broadcast (BB) โดยการประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลที่เสนอนี้สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกเป็นการใช้ค่าความน่าจะเป็นค่าเดียวกันสำหรับทุกความถี่ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยปริมาณไหลของทุกความถี่ในระบบ สำหรับวิธีที่สองทุกความถี่จะมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่แตกต่างกันซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นไปตามปริมาณไหลที่เข้ามาในความถี่นั้น ๆ โดยรายละเอียดของกระบวนการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.2

สำหรับการทดสอบที่จะใช้ในการทดสอบแนวคิดจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 การทดสอบใหญ่ ๆ คือ การทดสอบแรกในรูปที่ 5.39 จะเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธี EB และวิธี BB ทั้งที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นค่าเดียวและหลายค่าแยกแต่ละความถี่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลที่นำเสนอ และในการทดสอบที่สอง (ผลในรูปที่ 5.40) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงข้อเสียของวิธีการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณไหลทั้งหมดค่าเดียวกับทุก ๆ ความถี่ โดยจะประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมในแบบที่สองเพื่อให้เห็นถึงผลของการทดสอบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

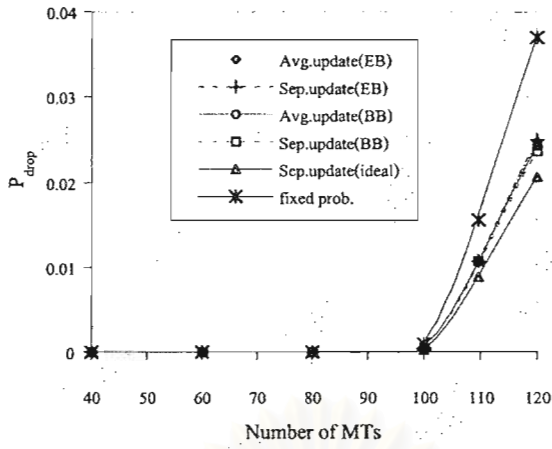
จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.39 ซึ่งกำหนดให้โพรโทคอลที่นำเสนอมีจำนวน RS เท่ากับ 8 สล็อต และระบบจะใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ ที่ความยาว message ข้อมูลเท่ากับ 10 แพ็กเก็ต สำหรับตัวอย่างของสัดส่วนความน่าจะเป็นของทราฟฟิกในการทดสอบนี้จะกำหนดให้ทราฟฟิกข้อมูลจะมีค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่าทราฟฟิกเสียง 4 เท่า (สำหรับค่าสัดส่วนที่ใช้อาจแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบโพรโทคอล) ซึ่งจะใช้ค่า  $P_{drop}$  ค่า  $D_{pkt}$  และค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จของแพ็กเก็ตการจอง (Prob. of successful requests per frame) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะ จากผลที่ได้พบว่า โพรโทคอลที่มีการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตทั้งวิธี EB และ BB ที่ใช้ความน่าจะเป็นค่าเดียว (Avg.update) และแยกตามความถี่ (Sep.update) จะมีสมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกทั้งสองดีกว่าโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่ (เส้น fixed prob.) เหตุเพราะการเปลี่ยนความน่าจะเป็นในการส่งอย่างเหมาะสมจะช่วยลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ต (ดังรูปที่ 5.39(ค)) ทำให้เวลาประวิงที่เกิดจากการช่วงชิงช่องสัญญาณลดลง ซึ่งจากผลที่ได้โพรโทคอลที่ใช้วิธี EB และ BB จะมี

สมรรถนะในการให้บริการที่ไม่แตกต่างกันนัก สำหรับเส้น ideal คือโพรโทคอลในอุดมคติที่ BS สามารถล่วงรู้ถึงจำนวนตลอดจนลักษณะในการกำเนิดทราฟฟิกเสียงและข้อมูลเช่น ช่วงเวลา talkspurt และ silence ของเสียง ความยาว message โดยเฉลี่ยและอัตราการมาถึงของ message ข้อมูล เป็นต้น โดย BS จะใช้ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นด้วยวิธี BB ตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.3.2.2 ซึ่งเส้น ideal นี้จะเป็นเส้นอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของทั้งวิธี EB และ BB

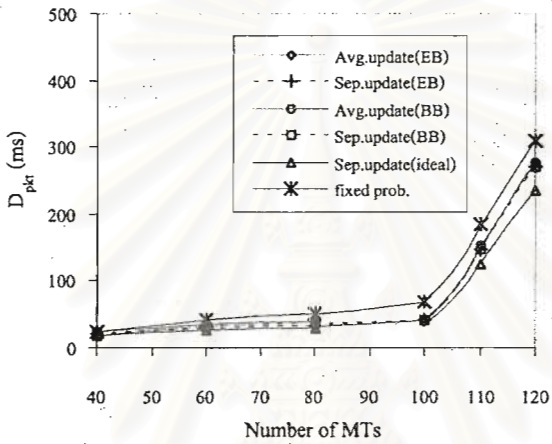
สำหรับค่า  $P_{drop}$  ค่า  $D_{pkt}$  และค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จของวิธีการใช้ความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตค่าเดียว (ซึ่งเป็นค่าโดยเฉลี่ยของทุกความถี่) และแยกตามความถี่ในการทดสอบนี้ จะมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างเฟรมของช่องสัญญาณในลักษณะนี้ จะมีการกระจายปริมาณไหลในทุกความถี่อย่างเท่า ๆ กัน ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความน่าจะเป็นของแต่ละความถี่ทำให้สมรรถนะในการให้บริการของระบบไม่แตกต่างกันดังผลการทดสอบที่ได้



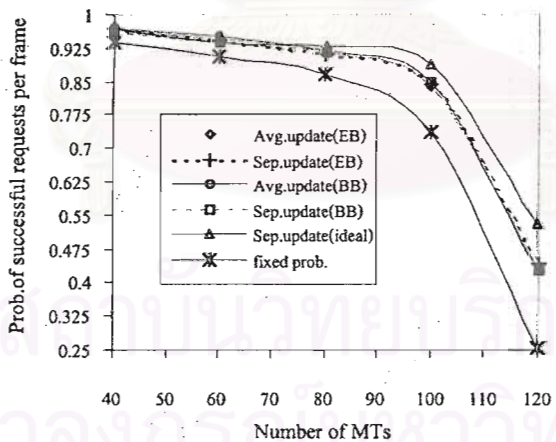
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเกิดขึ้น



(ข) เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูล



(ค) ความน่าจะเป็นในการจัดส่งสำเร็จต่อเฟรม

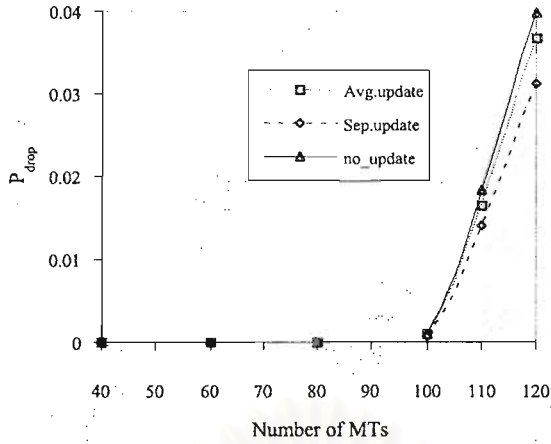
รูปที่ 5.39 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเกิดขึ้น เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลและความน่าจะเป็นในการจัดส่งสำเร็จต่อเฟรมของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการเปลี่ยนความน่าจะเป็นแบบ EB และ BB โดยให้ความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตค่าเดียวและแยกตามความถี่ โพรโทคอลที่ใช้วิธีการเปลี่ยนความน่าจะเป็นแบบ BB แบบอุดมคติโดยให้ความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตแยกตามความถี่และโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่



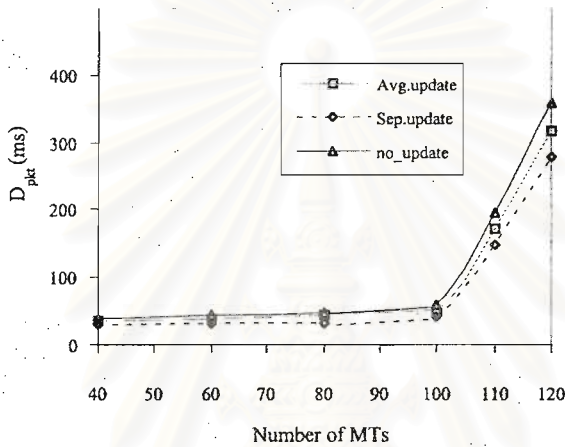
ในกรณีที่โพรโทคอลมีการจัดเรียงโครงสร้างเฟรมแบบที่สองดังรูปที่ 5.15(ข) โพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยจะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำกว่าโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นแยกตามความถี่ดังรูปที่ 5.40(ก) และ 5.40(ข) เนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างเฟรมที่มีการสับหว่างของแต่ละความถี่ที่ไม่เท่ากันทำให้อัตราการเข้าจองของแต่ละความถี่มีค่า แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของแต่ละความถี่แตกต่างกันโดยความถี่ที่หนึ่งควรมีค่าความน่าจะเป็นต่ำที่สุดเพื่อลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตเพราะที่ความถี่นี้จะมีอัตราการจองต่อเฟรมสูงสุดในขณะที่ความถี่ที่สอง สามและสี่จะมีอัตราการจองที่ลดหลั่นกันลงมา ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมก็ควรจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น การใช้ค่าความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยจึงเป็นการไม่เหมาะสมกับโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมในแบบที่สอง โดยผลการวิเคราะห์นี้สามารถยืนยันได้จากรูปที่ 5.40(ค) ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างอัตราการจองสำเร็จต่อเฟรมของความถี่ที่หนึ่ง สอง สามและสี่ ที่ปริมาณ MT คงที่เท่ากับ 110 ตัว



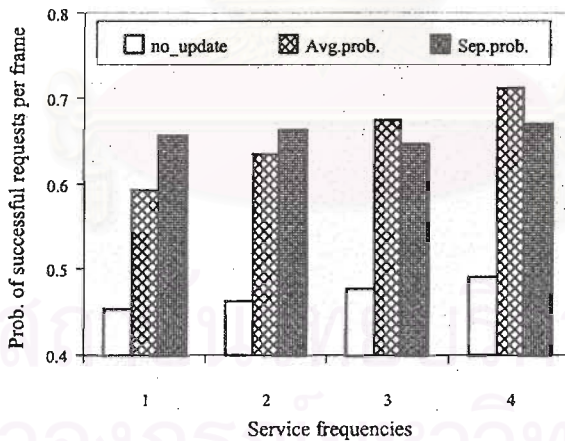
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



(ข) เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูล



(ค) ความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จต่อเฟรมในแต่ละความถี่

รูปที่ 5.40 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลและ ความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จต่อเฟรมในแต่ละความถี่ของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการเปลี่ยนความ น่าจะเป็นแบบ EB โดยใช้ความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตค่าเดียวและแยกตามความถี่ และ โพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่

## การทดสอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอใน ด้านการจัดสรรช่องสัญญาณ

ในบทนี้กล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของเทคนิคเพิ่มเติมสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ  
ที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.3.3 และ 3.3.4 ดังนี้

1. เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง
2. เทคนิคการเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียง
3. เทคนิคในการลดจำนวนการจองช่องสัญญาณโดยการเข้าคิว MT ที่สามารถจองได้  
สำเร็จเพื่อรอกการจัดสรรช่องสัญญาณจาก BS
4. เทคนิคในการจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับทราฟฟิกข้อมูล

สำหรับตัวอย่างของระบบที่จะทำการทดสอบถึงประสิทธิภาพของแต่ละแนวคิดที่ได้  
ทดสอบในบทนี้ จะกระทำที่จำนวนความถี่ต่อเซลล์คงที่เท่ากับ 4 โดยผลการทดสอบของแต่ละ  
เทคนิคที่เสนอทั้งหมดสามารถจัดเรียงเป็นหัวข้อย่อยได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้คือ

### 6.1 การทดสอบเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง

เนื่องจากทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีความต้องการการบริการที่แตกต่างกันโดยแพ็กเก็ต  
เสียงจะมีความทนทานต่อเวลาประวิงได้เพียง 32 ms ในกรณีที่เวลาประวิงในการรอกการส่งมาก  
กว่าที่กำหนดแพ็กเก็ตเสียงนั้นก็ต้องถูกลบทิ้งไป ในขณะที่แพ็กเก็ตข้อมูลมีความทนทานต่อ  
เวลาประวิงได้สูง ดังนั้นในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทั้งสองทราฟฟิกพร้อมกันจำเป็นจะต้องมี  
ลำดับก่อนหลังโดยจะต้องจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกเสียงก่อนข้อมูล โดย BS จะจัดสรร  
สล็อตข่าวสารให้กับแพ็กเก็ตประเภทต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้

1. แพ็กเก็ตเสียงที่เป็นส่วนต่อเนื่องของ talkspurt
2. แพ็กเก็ตเสียงของ MT ที่เพิ่งจองเข้ามาในเฟรมปัจจุบัน
3. แพ็กเก็ตข้อมูลที่เป็นส่วนต่อเนื่องของเบิสต์
4. แพ็กเก็ตข้อมูลของ MT ที่จองเข้ามาในเฟรมปัจจุบัน

สำหรับข้อดีของเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะทำให้สมรรถนะในการ  
บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่นำเสนอดีขึ้นโดยเฉพาะในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว  
โดยเฉลี่ยของ message มาก ดังผลการทดสอบในรูปที่ 4.15 ถึง 4.16 ของบทที่ 4 ดังนั้นผลการ

ทดสอบในหัวข้อย่อยนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของโพรโทคอลที่มีการใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังในอีกแง่มุมหนึ่งเพิ่มเติมจากการทดสอบในบทที่ 4 ดังนี้

รูปที่ 6.1 และ 6.2 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการแก่ MT มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 สล็อตและมีความยาว message ข้อมูลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10 และ 100 แพ็กเก็ต ซึ่งเป็นความยาว message ข้อมูลที่มีขนาดปานกลางและขนาดยาวมาก ตามลำดับ พบว่า ที่สภาวะโหลดต่ำถึงปานกลาง (จำนวน MT น้อยกว่า 103 ตัว) ในรูปที่ 6.1(ก) โพรโทคอลที่ไม่มีการจัดลำดับก่อนหลัง (เส้น no\_priority) จะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงที่ดีกว่า เนื่องจากกระบวนการจัดสรรสล็อตข่าวสารของ BS ที่ทำงานภายใต้โพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ (เส้น priority) จะต้องรับทราบการจองของ MT จากทุก ๆ RS ในเฟรมจึงจะสามารถจัดสรรช่องสัญญาณในเฟรมถัดไปให้กับ MT ตามลำดับของทราฟฟิกที่ต้องการส่งได้ ดังนั้น MT จะต้องเสียเวลาประวิงในการรอการจัดสรรเพิ่มขึ้นอีกเท่ากับ 1 ความยาวเฟรมหรือ 16 ms ในขณะที่โพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างไม่มีลำดับจะยินยอมให้ BS สามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับ MT ที่จองสำเร็จได้ ในช่วงที่ใช้ส่งข่าวสารของเฟรมปัจจุบันทำให้สมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของ โพรโทคอลที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างไม่มีลำดับดีกว่าที่สภาวะโหลดต่ำ แต่ในกรณีที่โหลดเพิ่มสูงปัญหาการแย่งชิงสล็อตข่าวสารจากทราฟฟิกข้อมูลก็จะรุนแรงขึ้นทำให้สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ไม่มีการจัดสรรตามลำดับก่อนหลังลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ความยาวโดยเฉลี่ยของ message ข้อมูลมาก ปัญหาการแย่งชิงช่องสัญญาณก็จะทวีความรุนแรงมาก จากรูปที่ 6.1(ข) พบว่า ค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่มีการจัดสรรตามลำดับก่อนหลังจะเริ่มต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการจัดสรรตามลำดับก่อนหลังเมื่อมีจำนวน MT เกิน 80 ตัวและจะต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีจำนวน MT ในระบบมากกว่า 100 ตัว ในขณะที่ระบบที่มีความยาว message โดยเฉลี่ยของทราฟฟิกข้อมูลเท่ากับ 10 แพ็กเก็ต สมรรถนะของโพรโทคอลที่ไม่มีการจัดลำดับก่อนหลังจะเริ่มดีกว่าโพรโทคอลที่มีการจัดสรรตามลำดับก่อนหลังเมื่อมีจำนวน MT มากกว่า 103 ตัว อีกทั้งผลต่างโดยรวมของค่า  $P_{drop}$  ของทั้งสองโพรโทคอลจะน้อยกว่าระบบที่มีความยาว message โดยเฉลี่ยเท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

จากผลการทดสอบที่ได้จึงสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณตามลำดับก่อนหลังจะมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่แหล่งกำเนิดทราฟฟิกข้อมูลในระบบผลิต message ที่มีความยาวมากหรือกรณีสภาวะที่โหลดในระบบสูงจนเกิดปัญหาการแย่งชิงสล็อตข่าวสารระหว่างทราฟฟิกเสียงและข้อมูล

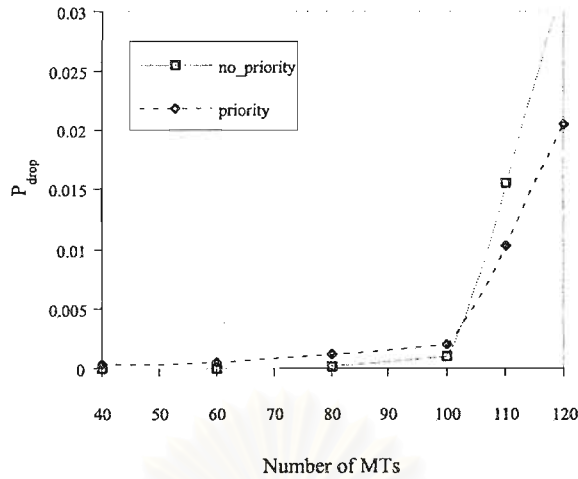
จากรูปที่ 6.2 พบว่า สมรรถนะในการบริการทราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอลที่มีการจัดลำดับก่อนหลังจะดีกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการจัดลำดับก่อนหลังโดยเฉพาะในกรณีที่ปริมาณโหลดสูงขึ้น เนื่องจากเหตุผลหลักสองประการคือ

ประการแรกทราฟฟิกข้อมูลต้องรอแบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือจากทราฟฟิกเสียงทำให้เกิดเวลาประวิงในการรอการจัดสรรช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น โดยในกรณีที่โหลดสูง MT มีปริมาณในการส่งแพ็กเก็ตต่อเฟรมมากจึงอาจจะทำให้ไม่มีสล็อตเหลือในเฟรมปัจจุบัน ดังนั้น MT ที่ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลแต่ไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณจึงต้องทำการจองช่องสัญญาณใหม่ในเฟรมถัดไปซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงยิ่งสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะโหลดสูงที่มีการชนกันของแพ็กเก็ตการจองมาก

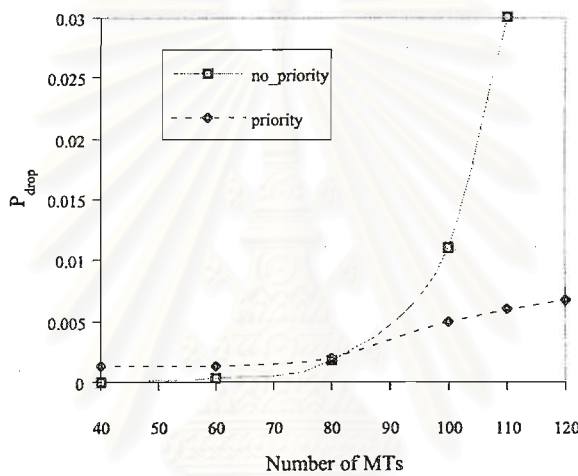
ประการที่สองคือเวลาประวิงที่เพิ่มมาจากการรอกระบวนการในการจัดสรรสล็อตข่าวสารในเฟรมถัดไปซึ่งมีเวลาเท่ากับ 1 ความยาวเฟรม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

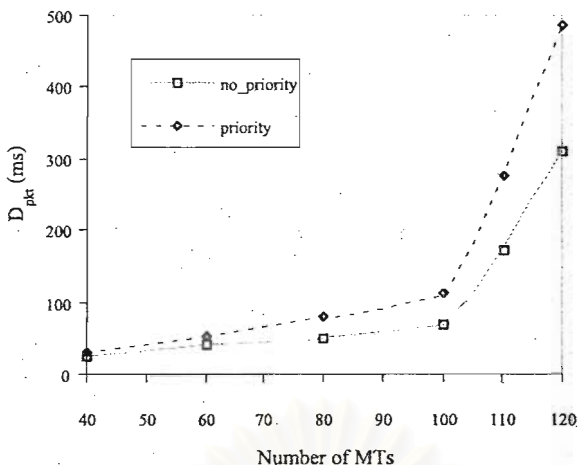


(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปรูปแพ็กเก็ตเสี่ยงที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต

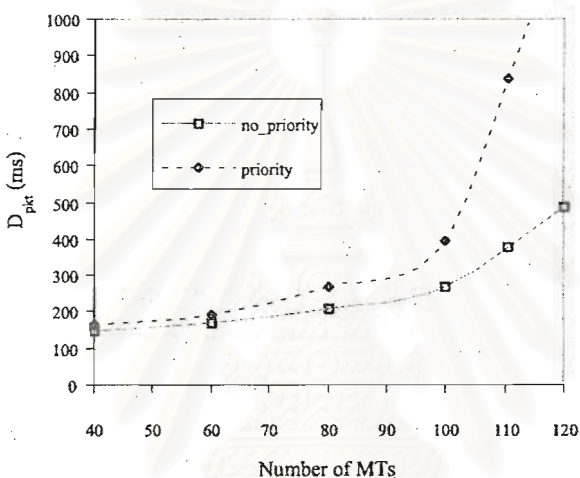


(ข) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปรูปแพ็กเก็ตเสี่ยงที่ความยาว message เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต  
รูปที่ 6.1 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปรูปแพ็กเก็ตเสี่ยงของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่ความยาว message เท่ากับ 10 และ 100 แพ็กเก็ตตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลที่ความยาว message เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

รูปที่ 6.2 เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่ความยาว message เท่ากับ 10 และ 100 แพ็กเก็ต ตามลำดับ

เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ของเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังเพิ่มขึ้นในหัวข้อย่อยนี้จึงได้ออกแบบการทดสอบที่มีแบบจำลองของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกที่แตกต่างจากแบบจำลองของแหล่งกำเนิดในบทที่ 4 ดังนี้คือ

แบบจำลองที่ 1 : แบบจำลองนี้จะออกแบบให้แต่ละ MT สามารถส่งทราฟฟิกเสียงหรือข้อมูลได้เพียงชนิดเดียว โดยระบบที่พิจารณาจะมีความถี่ในการให้บริการทั้งหมด 4 ความถี่ที่สถานะเริ่มต้นของระบบจะมีทราฟฟิกข้อมูลครอบครองช่องสัญญาณคิดเป็นค่าวิสัยสามารถได้ประมาณ 0.9 จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่ม MT ที่ส่งทราฟฟิกเสียงครั้งละตัว จากนั้นจึงทำการวัดสมรรถนะของโพรโทคอล

แบบจำลองที่ 2 : ในแบบจำลองนี้กำหนดให้ MT สามารถส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้อย่างเป็นอิสระต่อกันเหมือนกับแบบจำลองของแหล่งกำเนิดในบทที่ 4 และความถี่ที่ใช้ในการให้

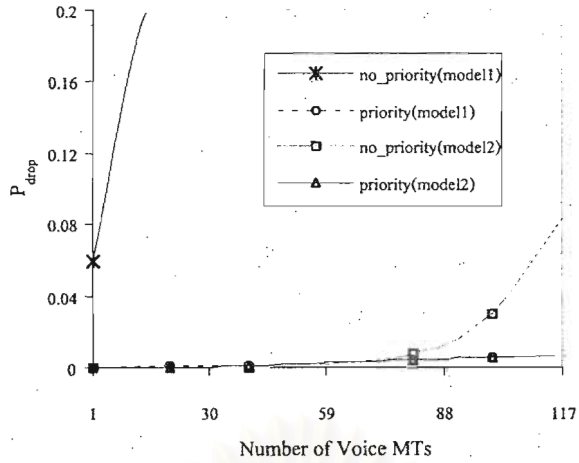
บริการในระบบก็จะมี 4 ความถี่เช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 1 แต่ในส่วนของสถานะเริ่มต้นของสัญญาณของระบบจะอยู่ในสถานะว่าง จากนั้นจึงเพิ่ม MT เข้าไปในระบบที่ละตัวแล้วจึงวัดสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่ได้

ในการทดสอบนี้จะเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 สล็อตและเพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ของเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังอย่างเต็มที่ การทดสอบนี้จึงลดผลการถดถอยของสมรรถนะโพรโทคอลที่สืบเนื่องมาจากปัญหาการชนชิงช่องสัญญาณ โดยกำหนดให้ทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว message เท่ากับ 600 แพ็กเก็ต ทำให้อัตราการจอตอเฟรมต่ำประมาณ 0.000266 ครั้งต่อเฟรม ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะในการบริการทราฟฟิกเสียงมาจากการจัดสรรช่องสัญญาณเพียงปัจจัยเดียว

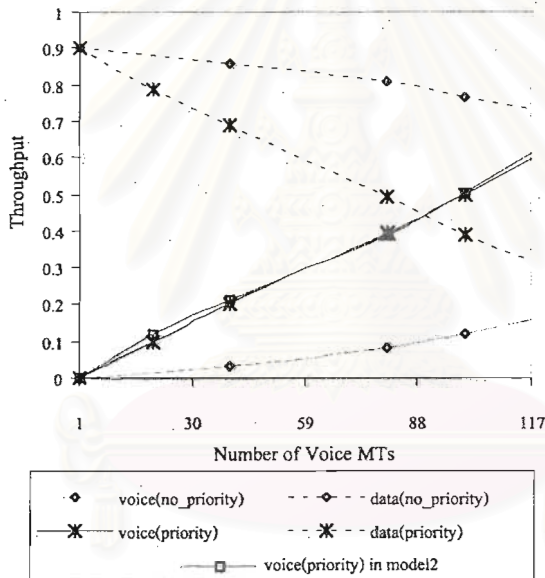
จากรูปที่ 6.3 แสดงค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังในแบบจำลองที่ 1 และ 2 พบว่า ปริมาณของทราฟฟิกข้อมูลที่ครอบครองช่องสัญญาณจะไม่มีผลต่อคุณภาพในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง โดยค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลทั้งในแบบจำลองที่ 1 และ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก (ดูเส้น priority(model1) และ priority(model2) ) เนื่องจาก BS จะจัดสรรสล็อตชั่วคราวที่เหลือจากทราฟฟิกเสียงให้กับทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งต่างจากโพรโทคอลที่ไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่จะมีสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงขึ้นกับปริมาณของทราฟฟิกข้อมูล ถ้าทราฟฟิกข้อมูลครอบครองช่องสัญญาณอยู่มากดังในแบบจำลองที่ 1 ระบบจะไม่สามารถให้บริการทราฟฟิกเสียงภายใต้เกณฑ์อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 0.01 ได้เลย (เส้น no\_priority(model1))

จากรูปที่ 6.4 เป็นการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังในแบบจำลองที่ 1 ซึ่งยืนยันผลการทดสอบในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่า ในโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังเมื่อเพิ่มจำนวน MT ที่ส่งเฉพาะทราฟฟิกเสียงเข้าไปในระบบ ค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกข้อมูลที่ครอบครองช่องสัญญาณอยู่เดิมจะลดลงอย่างรวดเร็ว (เส้น data(priority)) เมื่อเทียบกับโพรโทคอลที่ไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง (เส้น data(no\_priority)) โดยค่าวิสัยสามารถของทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่ได้ในแบบจำลองที่ 1 (เส้น voice(priority)) จะใกล้เคียงกับค่าวิสัยสามารถที่ได้จากแบบจำลองที่ 2 (เส้น voice(priority)in model2)





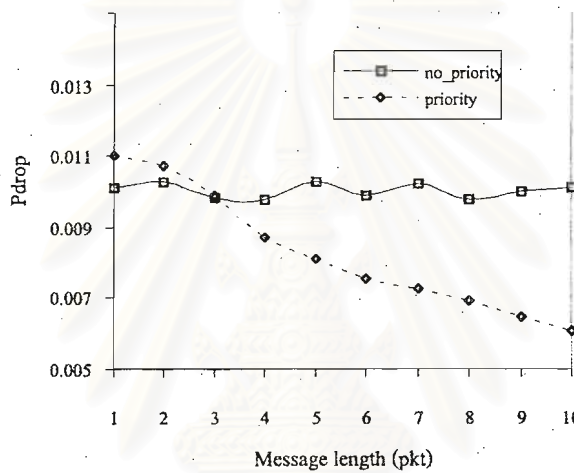
รูปที่ 6.3 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเกิดเสียงของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่ความยาว message เท่ากับ 600 แพ็กเกต ในแบบจำลองที่ 1 และ 2



รูปที่ 6.4 ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังที่ความยาว message เท่ากับ 600 แพ็กเกต

สำหรับในระบบที่มีความยาว message ของกราฟฟิกข้อมูลไม่มาก เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอาจจะไม่มีความจำเป็นเพราะปัญหาการถูกแย่งสล็อตข่าวสารจากกราฟฟิกข้อมูลจะลดลงเนื่องจาก message ข้อมูลมีขนาดสั้นทำให้มีระยะเวลาในการครอบครองช่องสัญญาณลดลง จากรูปที่ 6.5 แสดงค่า  $P_{drop}$  ที่ความยาว message ตั้งแต่ 1 ถึง 10 แพ็กเกต ณ สภาวะโหลดที่ทำให้ระบบมีค่า  $P_{drop}$  ของแพ็กเกตเสียงโดยประมาณ 0.01 ภายใต้โพรโทคอลที่ไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ พบว่า ค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัด

สรรของสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง (เส้น priority) จะแยกว่าโพรโทคอลที่ไม่ใช้เทคนิคการจัดสรรของสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง (เส้น no\_priority) ในกรณีที่ message ข้อความมีความยาวน้อยกว่า 3 แพ็กเก็ต เนื่องจาก MT ต้องเสียเวลาประวิงเพิ่มขึ้นอีก 1 ความยาวเฟรมในการรอการจัดสรรของสัญญาณจาก BS ในเฟรมถัดไป แต่เมื่อข้อความมีความยาว message เพิ่มขึ้นเทคนิคการจัดสรรของสัญญาณก็จะเป็นเทคนิคสำคัญที่จะช่วยลดปัญหาการแย่งชิงของสัญญาณจากกราฟฟิกข้อมูลได้ นอกจากนี้ค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรของสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง จะมีค่าลดลงเมื่อข้อความมีความยาว message เพิ่มขึ้น เนื่องจากแหล่งกำเนิดข้อมูลมีอัตราการกำเนิดกราฟฟิกต่ำลงทำให้สามารถลดปัญหาการถดถอยของคุณภาพเสียงที่มาจากการชนกันของแพ็กเก็ตสำหรับจองได้



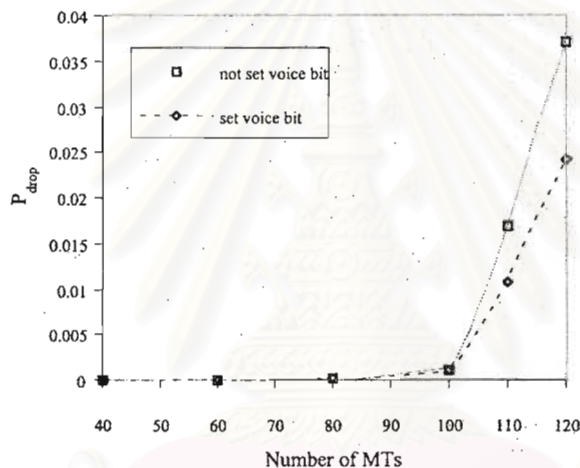
รูปที่ 6.5 ค่าความน่าจะเป็นของการรื้อบแพ็กเก็ตเกิดเสียงของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรของสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง

## 6.2 การทดสอบเทคนิคการเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียง

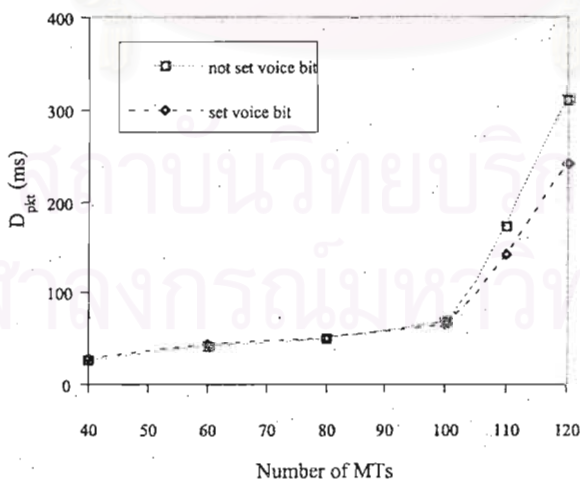
เทคนิคนี้จะช่วยเพิ่มสมรรถนะการเข้าถึงตัวกลางให้กับกราฟฟิกเสียง โดยจะใช้บิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตบอก BS ว่าเป็นแพ็กเก็ตสุดท้ายของจังหวะ talkspurt เพื่อให้ BS สามารถปล่อยสล็อตที่จองนั้นให้กับ MT อื่น ๆ ได้เข้าใช้ในเฟรมถัดไป ทำให้สามารถจัดสรรของสัญญาณให้กับผู้ใช้ได้พอดีตามความต้องการและใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างคุ้มค่า ซึ่งจากการคำนวณโดยประมาณพบว่า เทคนิคนี้จะยอมเสียบิตเสียง 1 บิตต่อแพ็กเก็ต ดังนั้นใน 1 talkspurt ที่มีความยาวโดยเฉลี่ย 1 วินาที อัตราการกำเนิดบิตเสียง 32 kbps และมีความยาวแพ็กเก็ตเสียงเมื่อไม่รวมบิตหัวเท่ากับ 512 บิต จะต้องเสียบิตเสียงสำหรับตรวจสอบสถานะของ MT ประมาณ 62.5 บิตต่อการส่งกราฟฟิกเสียง 1 talkspurt หรือ 32,000 บิต ซึ่งอาจจะทำให้คุณภาพของกราฟฟิกเสียงที่ได้ถดถอย

ลงไปบ้าง อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะช่วยให้ระบบประหยัดแบนด์วิดท์ได้ถึง 576 บิตหรือ 1 สล็อต ข่าวสารต่อการส่ง 1 talkspurt หรือถ้าคิดในหน่วยของเฟรมจะสามารถคำนวณจากพารามิเตอร์ของทราฟฟิกเสียงจากแบบจำลองแหล่งกำเนิดในบทที่ 4 ดังนี้คือในทุก ๆ 2.35 วินาทีจะเกิด 1 talkspurt ซึ่งในทุก talkspurt จะต้องเสีย 1 สล็อตสำหรับตรวจสอบสถานะของ MT ดังนั้นใน 1 เฟรมที่มีความยาว 16 ms ถ้าใช้เทคนิคเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียงระบบจะก็ได้สล็อตเพิ่มขึ้นมาถึง 0.00681 สล็อตต่อเฟรม

จากรูปที่ 6.6 แสดงค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียงที่มีความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต โดยมีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8 ที่จำนวนความถี่ต่อเซลล์คงที่เท่ากับ 4 พบว่า เทคนิคนี้จะช่วยให้สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลดีขึ้น เนื่องจากมีการใช้สล็อตอย่างคุ้มค่ายิ่งขึ้นดังที่กล่าวข้างต้น



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 6.6 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียง

### 6.3 การทดสอบเทคนิคในการลดจำนวนการจองช่องสัญญาณโดยการเข้าคิว MT

เทคนิคที่จะทำการทดสอบในหัวข้อนี้ เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการเข้าคิว MT ที่สามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จแต่ BS ไม่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับ MT เหล่านั้นได้เนื่องจากไม่เหลือสลิตชั่วคราวที่ว่างอยู่ในเฟรมปัจจุบันโดยในแต่ละความถี่จะมีคิวที่แยกกัน ทำให้ MT ไม่ต้องจองช่องสัญญาณใหม่ในเฟรมต่อไป ซึ่งจะมีผลดีในด้านที่จะช่วยลดอัตราการแข่งขันของแพ็กเก็ตสำหรับจอง นอกจากนี้เทคนิคการเข้าคิว MT ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับ ทราฟฟิกข้อมูลโดยกล่าวถึงรายละเอียดอีกครั้งในหัวข้อที่ 6.4

สำหรับความยาวคิวของแต่ละความถี่ ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้มีความยาวไม่จำกัด แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนคิวสูงสุดในระบบจะมีไม่เกินจำนวนของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกทั้งหมดในระบบนั้น ยกตัวอย่างเช่น ในระบบมีจำนวนของแหล่งกำเนิดเสียงและข้อมูลอย่างละ 100 แหล่ง จำนวนของแหล่งกำเนิดเหล่านั้นที่จะเข้าจองช่องสัญญาณต่อ 1 ความถี่จะต้องไม่เกิน 200 แหล่ง และเพื่อเป็นการเผื่อไว้สำหรับกรณีที่เลวร้ายที่สุด เมื่อทุกแหล่งกำเนิดเข้าถึงความถี่ใดความถี่หนึ่งเพียงความถี่เดียว ความยาวคิวของแต่ละความถี่จะต้องไม่น้อยกว่า 200 คิว

การทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการเข้าคิว MT (มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 8) จากรูปที่ 6.7 ถึง 6.9 เป็นการทดสอบในระบบที่มีความยาวเฉลี่ยของ message ข้อมูลเท่ากับ 5, 10 และ 100 แพ็กเก็ต ตามลำดับ โดยใช้ค่า  $P_{drop}$  และ  $D_{pkt}$  เป็นพารามิเตอร์ในการวัดสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอล พบว่าสมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิว MT (เส้น withQ) จะต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเข้าคิว MT (เส้น withoutQ) ในขณะที่สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิว MT จะดีกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีการเข้าคิว โดยแนวโน้มนี้จะเด่นชัดขึ้นเมื่อความยาวเฉลี่ยของ message เพิ่มขึ้นหรือเมื่อปริมาณโหลดเพิ่มขึ้น เนื่องจากในโพรโทคอลที่มีการเข้าคิว MT ที่อยู่ในคิวจะมีลำดับในการจัดสรรช่องสัญญาณที่สูงกว่า MT ที่เพิ่งจองเข้ามาในเฟรม ดังนั้นในกรณีที่มี ทราฟฟิกข้อมูลเป็นจำนวนมากหรือทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message มากอยู่ในคิว MT ที่มีความต้องการส่งแพ็กเก็ตที่เพิ่งจองเข้ามาใหม่ในเฟรมก็ต้องรอการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เหลือจาก ทราฟฟิกข้อมูลเหล่านี้ และถ้าทราฟฟิกข้อมูลเหล่านี้ครอบครองสลิตชั่วคราวเป็นระยะเวลาที่ยาวนานจนเกินเวลาประวิงที่ยอมรับได้ของคุณภาพเสียง แพ็กเก็ตเสียงก็จะต้องถูกลบทิ้งไปทำให้สมรรถนะในการให้บริการทราฟฟิกเสียงของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิว MT ต่ำลง จากเหตุผลดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากรูปที่ 6.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การครอบครองช่องสัญญาณต่อเฟรมของโพรโทคอลที่ใช้และไม่ใช้เทคนิคการเข้าคิวที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต พบว่า ทราฟฟิกข้อมูลของโพรโทคอลที่ใช้การเข้าคิว

จะมีเปอร์เซ็นต์ในการครอบครองช่องสัญญาณมากกว่าโพรโทคอลที่ไม่ใช้การเข้าคิว ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การครอบครองของทราฟฟิกเสียงจะมีลักษณะตรงกันข้ามเนื่องจากการถูกแย่งชิงสล็อตข่าวสารจากทราฟฟิกข้อมูล

เพื่อเป็นการชดเชยข้อเสียดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอให้มีการใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับโดยจะจัดสรรตามลำดับของแพ็กเกตดังนี้

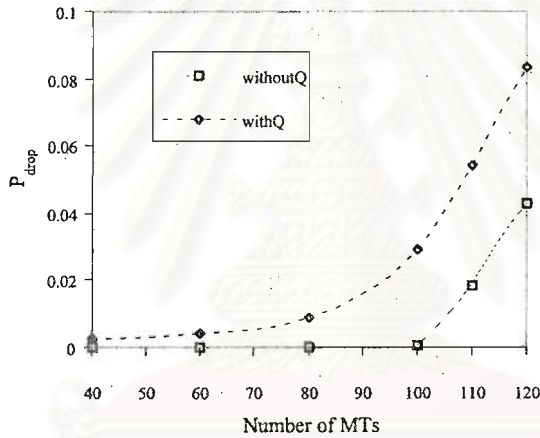
1. แพ็กเกตเสียงที่เป็นส่วนต่อเนืองของ talkspurt
2. แพ็กเกตเสียงของ MT ที่อยู่ในคิว
3. แพ็กเกตเสียงของ MT ที่จองเข้ามาใหม่
4. แพ็กเกตข้อมูลที่เป็นส่วนต่อเนืองของ message
5. แพ็กเกตข้อมูลของ MT ที่อยู่ในคิว
6. แพ็กเกตข้อมูลของ MT ที่จองเข้ามาใหม่

จากรูปที่ 6.11 ถึง 6.13 พบว่า เมื่อใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ (เส้น with Q&priority) คุณภาพในการให้บริการทราฟฟิกเสียงจะดีที่สุดเมื่อเทียบกับโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับเพียงอย่างเดียว (with priority) และโพรโทคอลที่ไม่ใช้ทั้งเทคนิคการเข้าคิวร่วมและเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ (เส้น without Q&priority) โดยเฉพาะในระบบที่มีขนาด message ข้อมูลสั้นซึ่งมีอัตราการจองต่อเฟรมสูงการเข้าคิว MT จะเป็นการช่วยลดอัตราการจองช่องสัญญาณดังรูปที่ 6.15(ค) โอกาสในการชนของ MT ก็ลดลง MT จึงสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ดีขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงที่เกิดจากการจองลดลงด้วย นอกจากนี้การเพิ่มเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณตามลำดับก่อนหลังให้กับเทคนิคการเข้าคิวก็จะเป็นการประกันคุณภาพในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงอีกด้วย

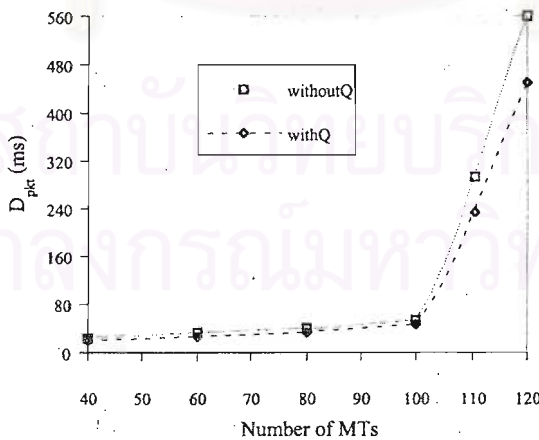
จากผลที่ได้ยังสามารถสังเกตเพิ่มเติมได้ว่า ค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะยิ่งดีขึ้นเมื่อ message มีความยาวมากขึ้น เนื่องจากที่ปริมาณไหลเท่ากัน ทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message มากจะมีอัตราการมาถึงที่ต่ำกว่าทำให้อัตราการชนลดลงสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลก็จะดีขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่โพรโทคอลมีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังนั่นเอง โดยปรากฏการณ์จะเห็นชัดขึ้นในระบบที่มีความยาว message มาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า  $P_{drop}$  ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะใกล้เคียงกับโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับเพียงอย่างเดียว เนื่องจากที่สภาวะนี้จะมีจำนวนการจองต่อเฟรมต่ำ ปัจจัยใหญ่ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเสียงคือ ปัจจัยที่มาจากความยาว message ดังนั้นที่สภาวะนี้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะมี

ส่วนสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะในการให้บริการเสียงมากกว่าเทคนิคการเข้าคิว MT ซึ่งจะตรงกันข้ามกับสถานะที่ระบบมีขนาดของ message ข้อมูลสั้น

สำหรับสมรรถนะในการให้บริการแก่กราฟฟิกข้อมูล โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะมีสมรรถนะในการให้บริการที่ดีกว่าโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับเพียงอย่างเดียวโดยเฉพาะที่ปริมาณโหลดสูง เนื่องจากการเข้าคิว MT จะเป็นการช่วยลดอัตราการจางของสัญญาณส่งผลให้เวลาประวิงที่เกิดจากการจางลดลง ซึ่งจะทำให้  $D_{pkt}$  ของแพ็กเก็ตข้อมูลต่ำลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่า  $D_{pkt}$  ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก็ยังมีค่าสูงกว่าโพรโทคอลที่ไม่ใช้ทั้งเทคนิคการเข้าคิวและเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ เหตุเพราะการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลต้องเสียเวลาประวิงเพิ่มขึ้นจากการรอการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เหลือจากแพ็กเก็ตเสียง

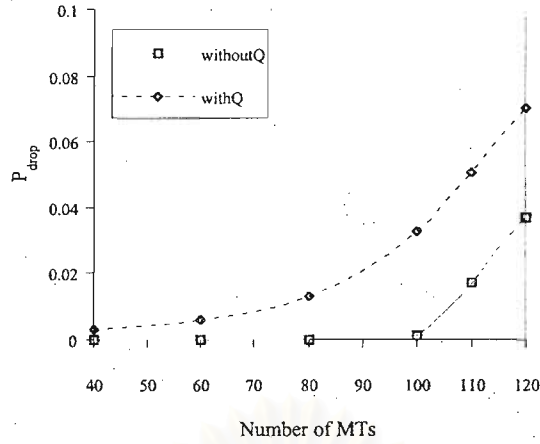


(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียง

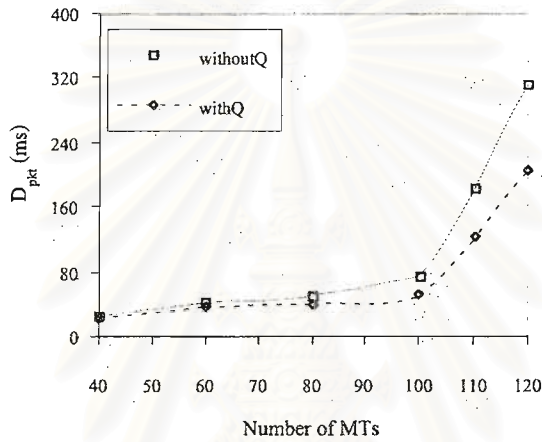


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 6.7 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเข้าคิว MT ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเก็ต



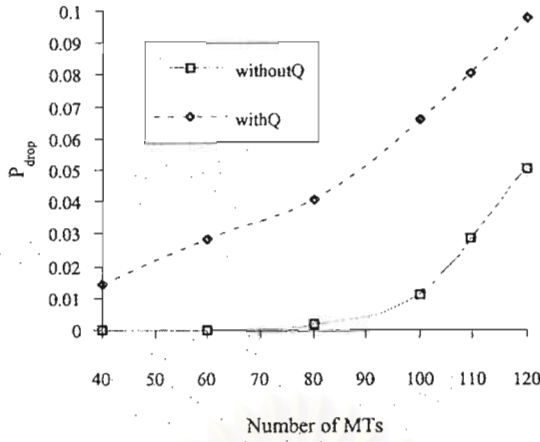
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียง



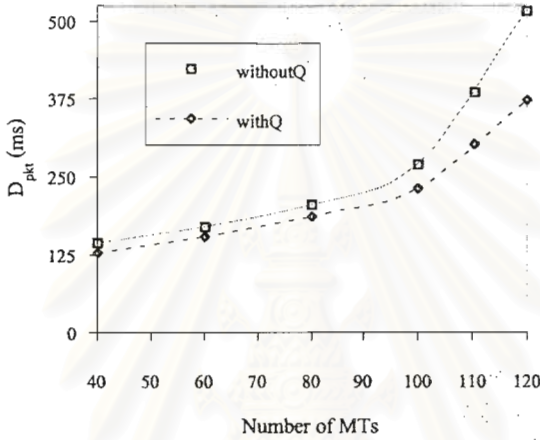
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 6.8 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเข้าคิว MT ที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

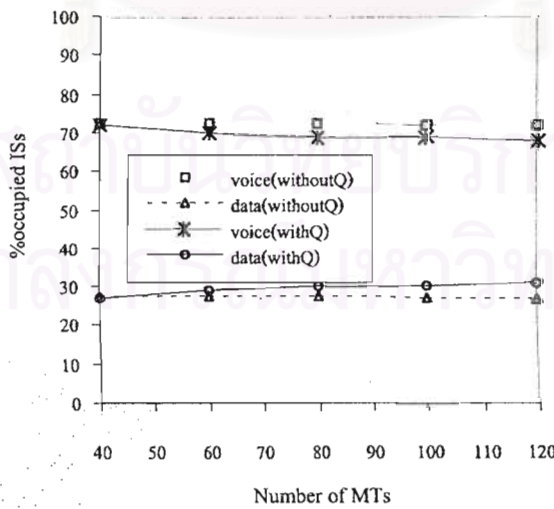


(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียง



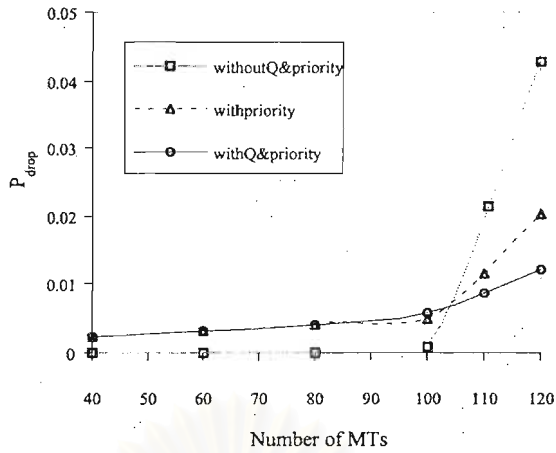
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 6.9 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเข้าคิว MT ที่ความยาว message เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

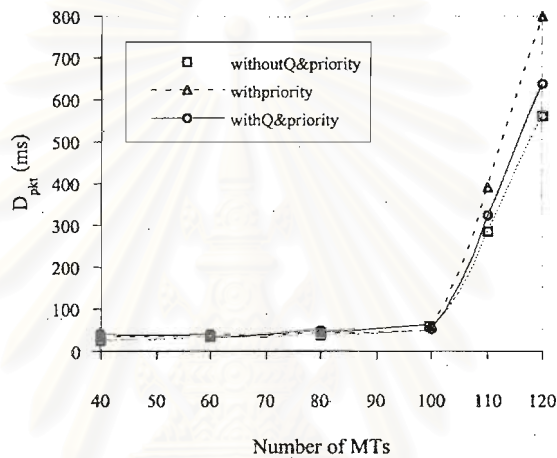


รูปที่ 6.10 เปอร์เซนต์การครอบครองสล็อตข่าวสารต่อเฟรมโดยเฉลี่ยของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้และใช้เทคนิคการเข้าคิว MT ที่ความยาว message เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

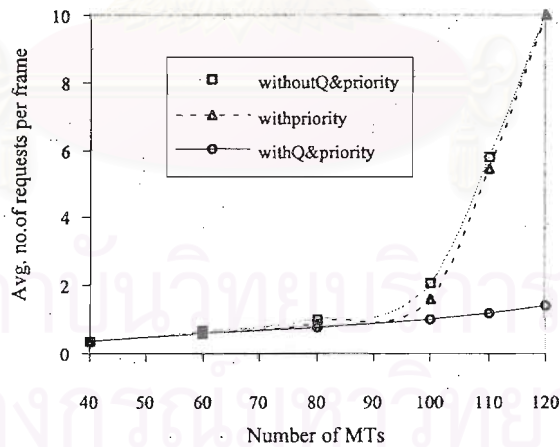




(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสียง

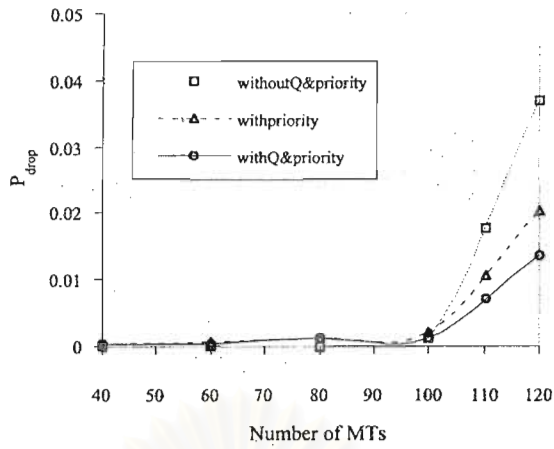


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

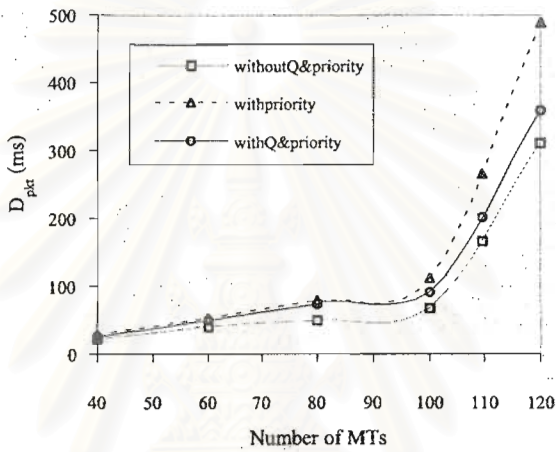


(ค) จำนวนการจ้องต่อเฟรมโดยเฉลี่ย

รูปที่ 6.11 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสียง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนการจ้องต่อเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่เสนอในบทที่ 4 โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับและโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเก็ต

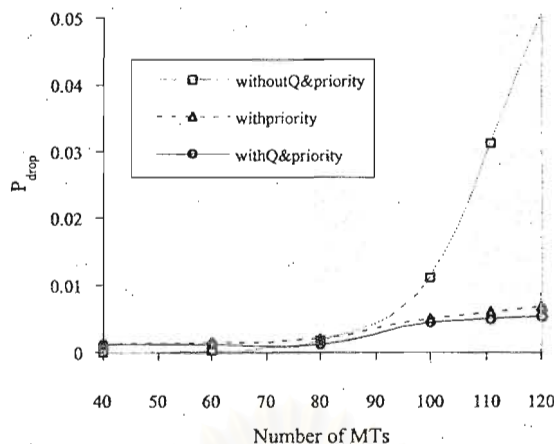


(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง

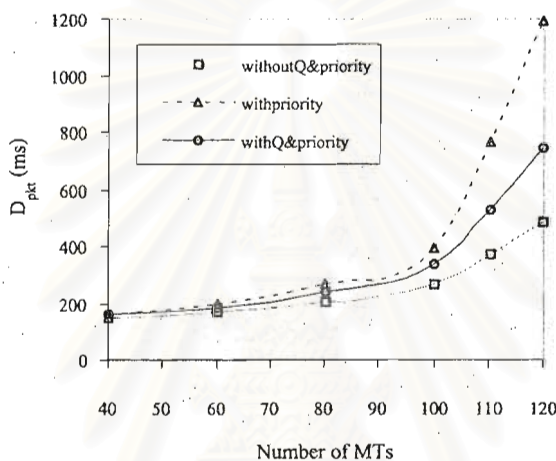


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

**รูปที่ 6.12** ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่เสนอในบทที่ 4 โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับและโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ ที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง

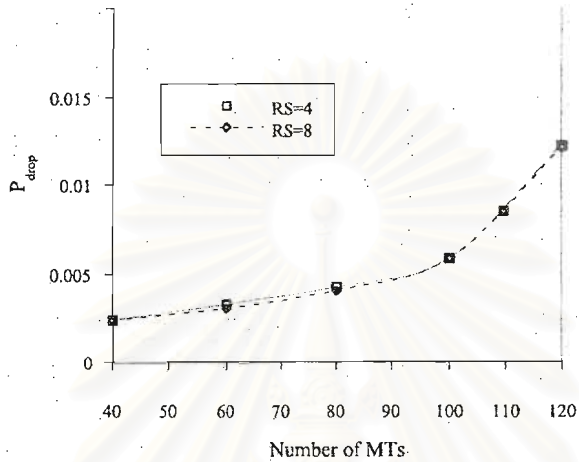


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

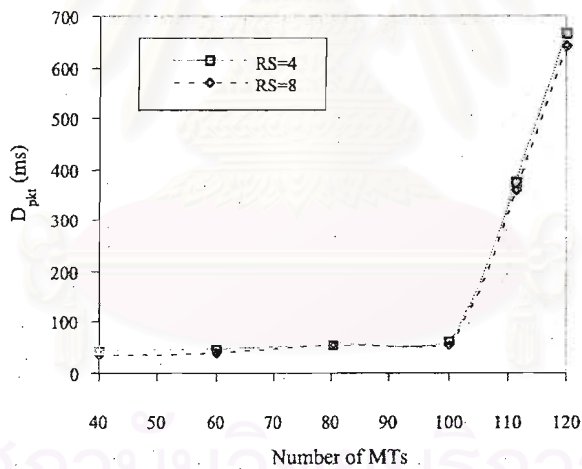
**รูปที่ 6.13** ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่เสนอในบทที่ 4 โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับและโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ ที่ความยาว message เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

จากผลในรูปที่ 6.11(ค) ทำให้สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้ว่า ในการออกแบบโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ อาจจะใช้จำนวน RS ต่อเฟรมที่น้อยลงได้เนื่องจากมีอัตราการใช้ช่องต่อเฟรมของ MT ที่ลดลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียแบนด์วิดท์เนื่องจากโอเวอร์เฮดลดลง จากรูปที่ 6.14 เป็นการทดสอบโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 และ 8 ตามลำดับ ในระบบที่มีขนาดของ message ข้อมูลเท่ากับ 5 แพ็กเก็ต พบว่า โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 จะมีสมรรถนะในการให้บริการทั้งทราฟฟิกเสี่ยงและข้อมูลที่ใกล้เคียงกันกับโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 นอกจากนี้โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 ยังมีสมรรถนะที่

ดีกว่าในกรณีที่ทราบพิกข้อมูลมีความยาวมาก (เท่ากับ 100 แพ็กเกต) ดังรูปที่ 6.15 เนื่องจากที่สถานะ message นี้แบนด์วิดท์สำหรับส่งแพ็กเกตข่าวสารจะมีส่วนสำคัญมากสำหรับส่ง message ข้อมูลยาว ๆ ซึ่งโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 จะสนองตอบต่อความต้องการนี้ได้ดีกว่าโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 โดยสามารถดูผลปอ ระกอบได้ในรูปที่ 6.15(ค) ซึ่งแสดงถึงจำนวนสล็อตว่างโดยเฉลี่ยต่อเฟรม (รวมโอเวอร์เฮด)

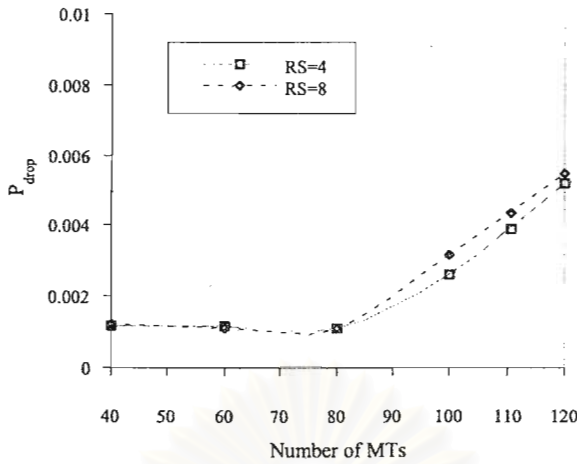


(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปรอบแพ็กเกตเสียง

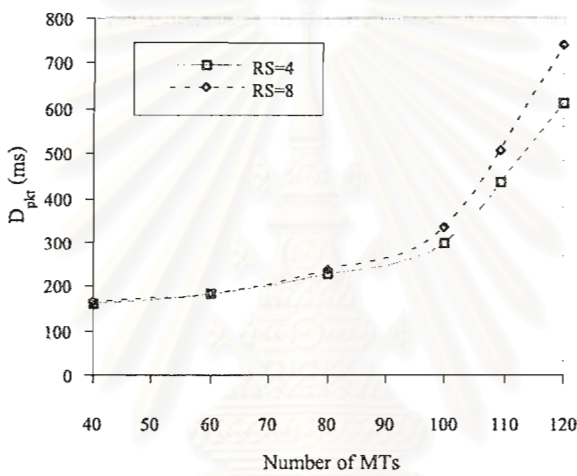


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเกตข้อมูล

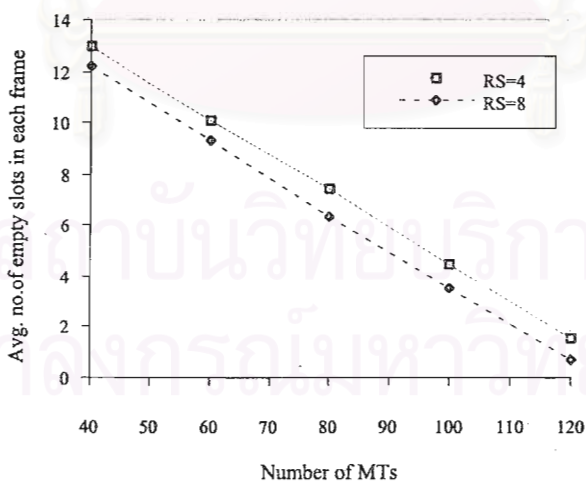
รูปที่ 6.14 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปรอบแพ็กเกตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเกตข้อมูลของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 และ 8 ที่ความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเกต



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสี่ยง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

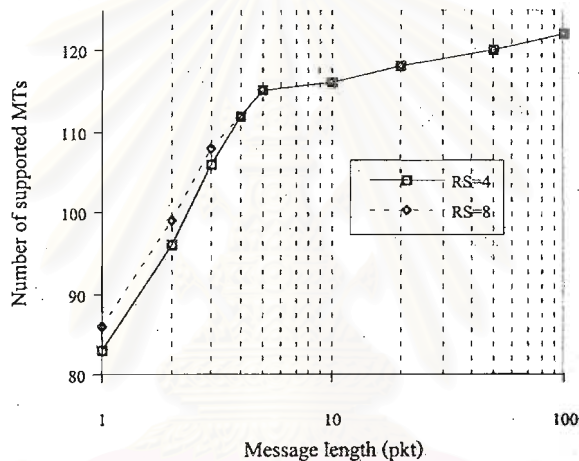


(ค) จำนวนสล็อตว่างต่อเฟรมโดยเฉลี่ย

รูปที่ 6.15 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปै็กเก็ตเสี่ยง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและจำนวนสล็อตว่างต่อเฟรมโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 และ 8 ที่ความยาว message เท่ากับ

100 แพ็กเก็ต

อย่างไรก็ตามที่ขนาด message สั้นมาก (สั้นกว่า 3 แพ็กเก็ต) โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 8 ก็ยังสามารถรองรับจำนวน MT ได้มากกว่าโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 4 เนื่องจากที่ความยาว message นี้ จำนวน RS จะมีความจำเป็นต่อสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลมาก ดังรูปที่ 6.16 แสดงจำนวน MT ที่ระบบสามารถรองรับได้โดยที่มีความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงเท่ากับ 0.01 ที่ความยาว message ตั้งแต่ 1 ถึง 100 แพ็กเก็ต จากรูปจะสามารถสังเกตได้เพิ่มเติมว่า ที่ความยาว message ข้อมูลมาก โพรโทคอลจะสามารถรองรับ MT ได้มากขึ้น เนื่องจากที่สภาวะนี้กราฟฟิกข้อมูลจะมีอัตราการกำเนิด message ต่ำทำให้กราฟฟิกเสียงสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณได้ง่ายขึ้น ในขณะที่ความยาว message จะไม่มีผลต่อการแย่งชิงช่องสัญญาณกับแพ็กเก็ตเสียงเหตุเพราะโพรโทคอลมีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับ



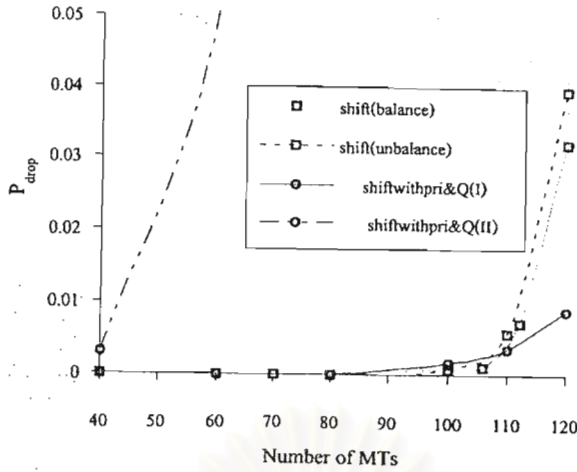
รูปที่ 6.16 จำนวน MT ที่รองรับได้ของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 และ 8

สำหรับข้อเสียของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับจะมีในกรณีที่ประยุกต์ใช้กับเทคนิคการเลื่อนระยะเวลาเริ่มต้นเฟรมของความถี่แต่ละความถี่ที่มีโครงสร้างเฟรมดังรูปที่ 5.15(ข) จากรูปที่ 6.17 พบว่า โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีการเลื่อนระยะเวลาเริ่มต้นเฟรมดังรูปที่ 5.15 (ข) (เส้น shiftwithpriority&Q(I)) ในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการจะให้สมรรถนะในการให้บริการเสียงและข้อมูลที่ต่ำที่สุด เหตุเพราะการเลื่อนเฟรมอย่างที่มีการสับหว่างของเวลาเริ่มต้นเฟรมไม่เท่ากัน จะทำให้มี MT เข้าจองช่องสัญญาณที่ความถี่ที่หนึ่งมากกว่าความถี่อื่นทำให้เกิดเข้าใช้ช่องสัญญาณและการสะสมคิวของ MT ที่ความถี่ที่หนึ่งมาก ส่งผลให้เกิดเวลาประวิงสูง ในขณะที่ความถี่อื่นยังมีสล็อตขาวสารและคิวว่างอยู่มากดังรูปที่ 6.18 และ

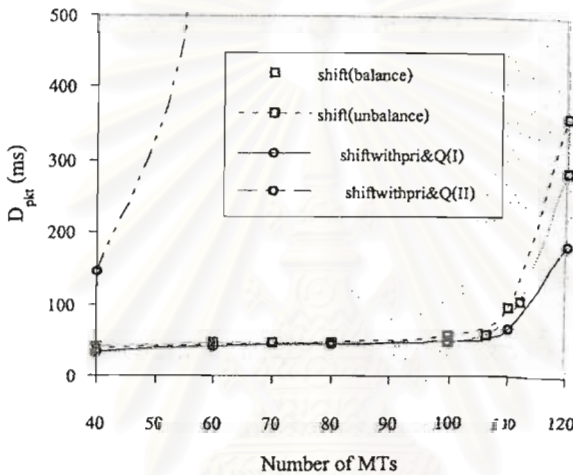
6.19 (แสดงถึงจำนวนสลอตที่ว่างโดยเฉลี่ยต่อเฟรมและจำนวนการจองโดยเฉลี่ยต่อเฟรมของ โพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีการเลื่อน ระยะเวลาเริ่มต้นเฟรมในรูปที่ 5.15 (ก) และ 5.15 (ข) ตามลำดับ) ซึ่งผลกระทบของการเลื่อนเฟรม ในแบบที่สองจะมีน้อยกว่าในโพรโทคอลที่ไม่มีการเข้าคิว (เช่น shiftwithoutpriority&Q(II)) เนื่องจากในกรณีที่สลอตชั่วคราวใน เฟรมไม่ว่าง MT ก็จะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณที่ความถี่อื่น ได้ ในขณะที่โพรโทคอลที่ใช้การเข้าคิว MT จะต้องรอการจัดสรรช่องสัญญาณในคิวเป็นเวลายาวนาน ซึ่งจะต่างจากโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมี ลำดับที่มีการเลื่อนระยะเวลาเริ่มต้นเฟรมในแบบแรก (เช่น shiftwithpriority&Q(I)) ที่มีสมรรถนะ ในการให้บริการแก่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ดีที่สุดเหตุเพราะนอกจากจะมีการใช้เทคนิคการเข้า คิวและเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับเพื่อช่วยในการพัฒนาสมรรถนะของ โพรโทคอลแล้วยังมีการกระจายโหลดของ MT อย่างเท่า ๆ กันในทุกความถี่อีกด้วย (ดูรูปที่ 6.18 และ 6.19)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยง

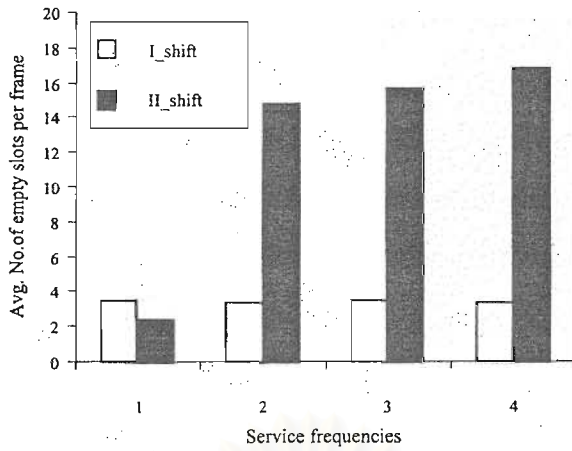


(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

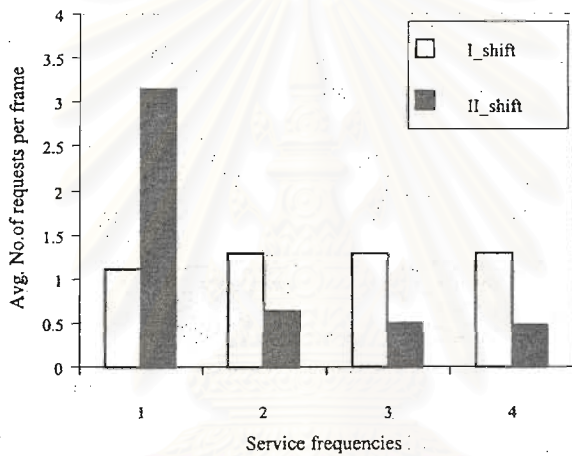
รูปที่ 6.17 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลที่ไม่ใช้ทั้งเทคนิคการเข้าคิวและเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับกับโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกและแบบที่สอง ณ ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 6.18 จำนวนสล็อตว่างโดยเฉลี่ยต่อเฟรมของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกและแบบที่สอง



รูปที่ 6.19 จำนวนการร้องขอโดยเฉลี่ยต่อเฟรมของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิคการเข้าคิวร่วมกับเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมแบบแรกและแบบที่สอง

#### 6.4 การทดสอบเทคนิคในการจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับกราฟฟิกข้อมูล

เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณที่เสนอทั้งสามแนวคิดในหัวข้อที่ 3.3.4.2 เป็นเทคนิคที่เสนอขึ้นเพื่อให้ BS สามารถจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับกราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาว message ต่าง ๆ กันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงโพรโทคอลต่อเนื่องจากแนวคิดการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลังและเทคนิคการเข้าคิว MT โดยจะเน้นในเรื่องของการลดเวลาประวิงต่อหน่วย message ของกราฟฟิกข้อมูลที่มีขนาด message สั้นในกรณีที่ message นั้นไปต่อท้ายแหล่งกำเนิดกราฟฟิกข้อมูลที่มีขนาด message ยาว โดยแนวคิดเหล่านี้จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของกราฟฟิกเสียงดังรูปที่ 6.20

สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเทคนิคในหัวข้อนี้จะกำหนดให้ MT ในระบบส่งโทรภาพฟิกเสียดและข้อมูล สำหรับโทรภาพฟิกข้อมูลจะกำหนดให้มีความยาวของ message แตกต่างกัน 2 กลุ่ม คือ MT ที่ส่ง message สั้นและยาว ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต ตามลำดับ สำหรับสาเหตุที่กำหนดความยาว message ให้มีขนาดแตกต่างกันก็เพื่อให้สามารถเห็นสมรรถนะของแนวคิดที่นำเสนอได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ในการวัดสมรรถนะของแนวคิดทั้งสามจะใช้เวลาประวิงต่อ message ( $D_{mess}$ ) ในหน่วยเวลาของ ms เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการโทรภาพฟิกข้อมูลในแกนตั้งของกราฟรูปที่ 6.21 ถึง 6.23 (จะเริ่มวัดเวลาประวิงตั้งแต่เวลาที่ message กำเนิดจนถึงเวลาที่ระบบสามารถส่ง message นั้นได้สำเร็จ) สำหรับแกนนอนจะเป็นสัดส่วนของจำนวน MT ในระบบที่มีขนาดของ message เท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ต โดย %short data message MTs คือ จำนวนของ MT ที่กำเนิด message ขนาดสั้นเมื่อคิดเป็นร้อยละเทียบกับจำนวน MT ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ที่ค่า %short data message MTs เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีจำนวนของ MT ที่กำเนิด message ขนาดเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเก็ตอยู่ในระบบเท่ากับ 20 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งระบบที่ทำการพิจารณาในการทดลองนี้จะใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ และโครงสร้าง เฟรมของโพรโทคอลจะเป็นดังในบทที่ 4 ที่มีจำนวน RS ต่อเฟรมเท่ากับ 4 สล็อต

รูปที่ 6.21 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของแนวคิดในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโทรภาพฟิกข้อมูลที่เสนอในหัวข้อที่ 3.3.4.2 กับวิธีการจัดสรรตามปริมาณในการส่งของโทรภาพฟิกข้อมูลที่มีต่อ  $D_{mess}$  ของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเก็ต จากผลที่ได้พบว่า โพรโทคอลที่อนุญาตให้ MT ส่งแพ็กเก็ตได้ตามต้องการ (เส้น on\_demand) จะมีค่า  $D_{mess}$  ของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีความยาว message เท่ากับ 5 แพ็กเก็ต ลดลงตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของ MT ที่ส่ง message สั้น จากการที่สัดส่วนของ MT ที่ส่ง message ข้อมูลเท่ากับ 5 แพ็กเก็ตมีค่าต่ำ แสดงว่าจะมีจำนวนของ MT ที่ส่ง message ยาวอยู่มากทำให้เกิดปัญหาในกรณีที่มี message ข้อมูลที่มีขนาดสั้นไปต่อท้ายคิวของ message ข้อมูลที่มีความยาวมากทำให้เกิดเวลาประวิงมากเกินความจำเป็น ซึ่งจะเห็นได้ว่าความรุนแรงของปัญหาจะลดลงเมื่อปริมาณของ MT ที่ส่ง message ยาวมีค่าน้อยลง ซึ่งแนวโน้มนี้จะตรงกันข้ามกับแนวโน้มที่ได้จากโพรโทคอลที่มีการประยุกต์ใช้แนวคิดทั้งสามที่นำเสนอ กล่าวคือค่า  $D_{mess}$  ของ message สั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ MT ที่ส่ง message ขนาดสั้น โดยสามารถอธิบายผลของปรากฏการณ์ตามลำดับของแนวคิดดังนี้คือ

แนวคิดแรก คือการจำกัดการส่งของแต่ละ message ที่ 5 และ 19 สล็อตต่อเฟรม (เส้น Limit5 และ Limit19 โดยการจำกัดที่ 5 สล็อตคือปริมาณการใช้สล็อตข่าวสารโดยเฉลี่ยของข้อมูล message สั้นและการจำกัดที่ 19 สล็อตคือปริมาณสล็อตข่าวสารต่อ 1 เฟรม) สำหรับสาเหตุที่  $D_{mess}$  เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ MT ที่ส่งข้อมูล message สั้น เนื่องจากการที่ข้อมูล message สั้นจะมี

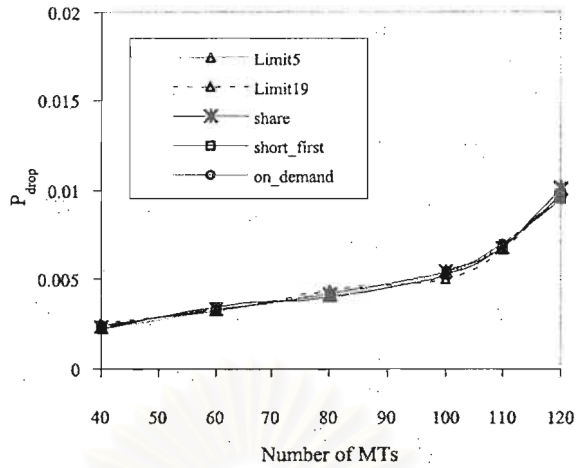
อัตราการร้องขอช่องสัญญาณต่อเฟรมสูงทำให้คิวในการจัดสรรช่องสัญญาณของ BS ยาวขึ้น ดังนั้นในระบบที่มีข้อมูล message สั้นเป็นจำนวนมาก คิวของระบบก็จะมีควมยาวมากทำให้เวลาประวิงในการรอการจัดสรรช่องสัญญาณสูงกว่าระบบที่มีข้อมูล message ยาวเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีการจองต่ำและมีคิวในการจัดสรรที่สั้นกว่า โดยความยาว message จะไม่มีผลต่อการครอบครองช่องสัญญาณเหตุเพราะกราฟฟิกข้อมูลที่มีความต้องการส่งแพ็กเกตมากกว่าที่กำหนดจะต้องไปต่อท้ายคิวทำให้ข้อมูล message สั้นที่ต่อท้ายอยู่ได้มีโอกาสในการส่ง นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้อีกว่า โพรโทคอลที่มีการจำกัดสล็อตในการส่งแต่ละรอบน้อย จะมีค่า  $D_{mess}$  ที่ต่ำกว่า โพรโทคอลที่มีการจำกัดสล็อตในการส่งแต่ละรอบมาก เนื่องจากเวลาในการรอการครอบครองช่องสัญญาณของ MT มีค่าลดลง ยกตัวอย่างเช่น โพรโทคอลที่มีการจำกัดการส่งที่ 5 สล็อต MT จะมีเวลาในการครอบครองช่องสัญญาณในแต่ละรอบเท่ากับ 4 ms ในขณะที่การจำกัดการส่งที่ 19 สล็อต MT จะมีเวลาในการครอบครองสล็อตข่าวสารเท่ากับ 15.2 ms

แนวคิดที่สอง BS จะแบ่งสล็อตข่าวสารในแต่ละให้กับทุก ๆ แหล่งกำเนิดข้อมูลที่ทำการร้องขอช่องสัญญาณสำเร็จอย่างเท่า ๆ กัน (เส้น share) สำหรับสาเหตุที่  $D_{mess}$  เพิ่มตามปริมาณของ MT ที่ส่งข้อมูล message สั้นก็จะคล้ายกันกับเหตุผลในแนวคิดแรก ซึ่งการเพิ่มความยาวของคิวเสมือนเป็นการเพิ่มตัวหารในการแบ่งสล็อตข่าวสารของ BS ให้กับ MT ทำให้เวลาในการส่ง message สำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้น

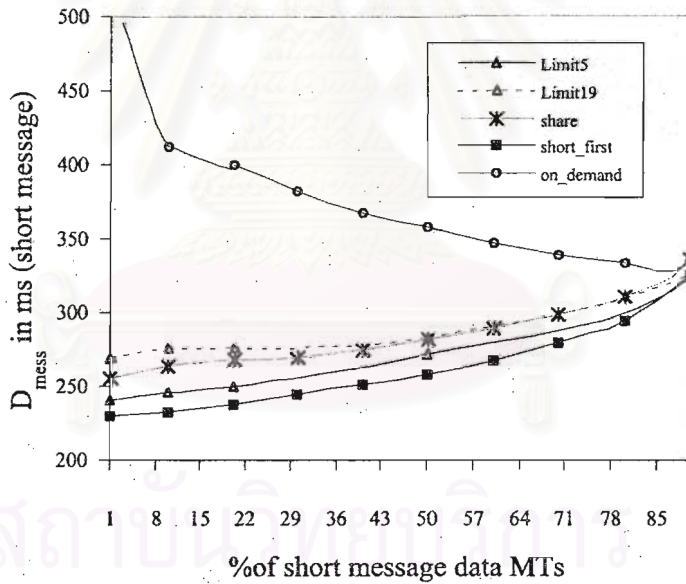
แนวคิดที่สาม การกำหนดให้ข้อมูล message สั้นมีลำดับความสำคัญในการส่งสูงกว่า message ยาว (เส้น short\_first) สำหรับในระบบที่มีกราฟฟิกข้อมูลขนาด message ยาวเป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลที่มี message สั้นจะได้สิทธิในการส่งก่อนเสมอ ทำให้มีค่า  $D_{mess}$  ต่ำกว่าแนวคิดอื่น โดยค่า  $D_{mess}$  ที่เพิ่มขึ้นจะมาจากการต่อคิวหรือรอการส่งระหว่างข้อมูลที่มี message สั้นด้วยกันเองเท่านั้น

สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของแนวคิดทั้งสาม พบว่า แนวคิดที่สามจะให้ค่า  $D_{mess}$  ที่ต่ำที่สุด โดยแนวคิดในการจำกัดการส่งที่ 5 สล็อตต่อเฟรมและแนวคิดในการแบ่งสล็อตข่าวสารอย่างเท่า ๆ กันจะมีสมรรถนะรองลงมา ตามลำดับ โดยแนวคิดในการจำกัดการส่งที่ 19 สล็อตต่อเฟรมจะมีค่า  $D_{mess}$  ที่สูงสุด แต่ในกรณีที่สัดส่วนของ MT ที่ส่งข้อมูล message สั้นมีค่ามากกว่า 78 เปอร์เซ็นต์ แนวคิดในการแบ่งสล็อตข่าวสารจะมีสมรรถนะต่ำที่สุดเนื่องจากที่สภาวะนี้จะมีอัตราการจองสูงทำให้มีจำนวน MT ในคิวมาก ซึ่งทุก MT จะได้รับการจัดสรรสล็อตเท่า ๆ กันโดยที่ไม่คิดถึงลำดับก่อนหลังของคิว ทำให้ MT ที่อยู่ต้นคิวมีเวลาประวิงสูง

นอกจากนี้ที่สัดส่วนของ MT ที่ส่งข้อมูล message สั้นมีค่ามากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ แนวคิดทั้งสามแทบจะไม่มีผลต่อ  $D_{mess}$  เนื่องจากที่สภาวะนี้กราฟฟิกข้อมูลส่วนใหญ่จะมีความยาว message ที่ใกล้เคียงกัน



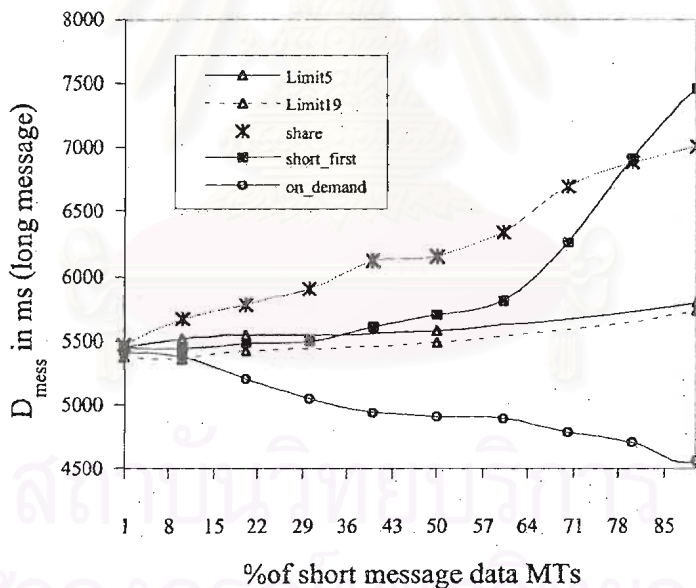
รูปที่ 6.20 ค่าความน่าจะเป็นของการรื้อบแพ็กเก็ตเสี่ยงของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการจัดสรรของสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูลตามแนวคิดแรก (ที่ 5 และ 19 แพ็กเก็ตต่อรอบการส่ง) แนวคิดที่สอง แนวคิดที่สาม และการจัดสรรตามความต้องการในการส่ง ตามลำดับ ในระบบที่ทราฟฟิกข้อมูลมี message 2 ขนาดที่แตกต่างกัน



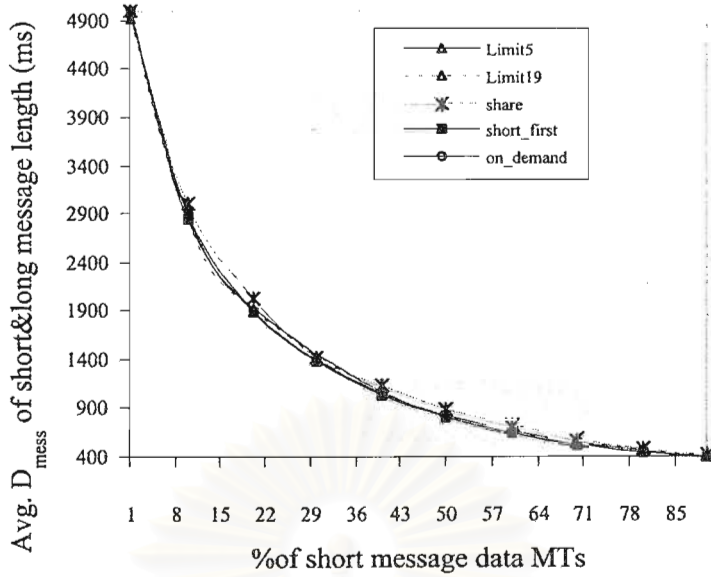
รูปที่ 6.21 เวลาประวิงต่อ message ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาวเท่ากับ 5 แพ็กเก็ตของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการจัดสรรของสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูลตามแนวคิดแรก (ที่ 5 และ 19 แพ็กเก็ตต่อรอบการส่ง) แนวคิดที่สอง แนวคิดที่สาม และการจัดสรรตามความต้องการในการส่งตามลำดับ

รูปที่ 6.22 แสดงถึงผลกระทบของแนวคิดในการจัดสรรของสัญญาณให้กับทราฟฟิกข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีต่อ  $D_{mess}$  ของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีความยาว message เท่ากับ 50 แพ็กเก็ต

พบว่า ค่า  $D_{\text{mess}}$  ของโพรโทคอลที่อนุญาตให้ MT ส่งแพ็กเก็ตได้ตามต้องการจะต่ำลงตามสัดส่วนที่ลดลงของจำนวน MT ที่ส่ง message ยาว เพราะเมื่อข้อมูล message ยาวมีจำนวนลดลงแสดงว่าระยะเวลาในการครอบครองของสัญญาณของการส่งจะลดลง ทำให้ MT อื่นที่ต่อท้ายคิวได้รับการจัดสรรของสัญญาณรวดเร็วขึ้น ในขณะที่ค่า  $D_{\text{mess}}$  ของโพรโทคอลที่ประยุกต์ใช้แนวคิดทั้งสามจะมีค่าเพิ่มตามสัดส่วนของ MT ที่ส่ง message สั้น เหตุเพราะการเพิ่มจำนวนข้อมูล message สั้นเสมือนเป็นการเพิ่มจำนวนคิวให้กับข้อมูล message ยาวทำให้ต้องรอการจัดสรรของสัญญาณนานขึ้น โดยแนวคิดแรกที่มีการจำกัดการส่งที่ 19 สล็อตต่อเฟรมจะมีค่า  $D_{\text{mess}}$  ที่ต่ำที่สุด ส่วนการจำกัดการส่งที่ 5 สล็อตต่อเฟรมและแนวคิดที่สองจะมีสมรรถนะรองลงมา ตามลำดับ โดยแนวคิดที่สามจะมีค่า  $D_{\text{mess}}$  ที่สูงสุด เนื่องจากการจัดสรรสล็อตโดยที่ไม่คำนึงถึงลำดับก่อนหลังของคิวดังที่กล่าวข้างต้น ในกรณีที่จำนวน MT ที่ส่งข้อมูล message ยาวในระบบมีสัดส่วนต่ำ ๆ (น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) แนวคิดที่สามจะไม่เหมาะสมเนื่องจากข้อมูล message ยาวจะต้องรอการจัดสรรของสัญญาณที่เหลือจากข้อมูล message สั้นซึ่งมีเป็นจำนวนมากในระบบ สำหรับค่า  $D_{\text{mess}}$  โดยเฉลี่ยของข้อมูล message สั้นและยาวของทุก ๆ วิธีการจัดสรรของสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.22 เวลาประวิงต่อ message ของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาวเท่ากับ 50 แพ็กเก็ตของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการจัดสรรของสัญญาณให้กับกราฟฟิกข้อมูลตามแนวคิดแรก (ที่ 5 และ 19 แพ็กเก็ตต่อรอบการส่ง) แนวคิดที่สอง แนวคิดที่สาม และการจัดสรรตามความต้องการในการส่งตามลำดับ



รูปที่ 6.23 เวลาประวิงต่อ message โดยเฉลี่ยของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความยาวเท่ากับ 5 และ 50 แพ็กเกตของโพรโทคอลที่ใช้วิธีการจัดสรรของสัญญาณให้กับกราฟฟิกข้อมูลตามแนวคิดแรก (ที่ 5 และ 19 แพ็กเกตต่อรอบการส่ง) แนวคิดที่สอง แนวคิดที่สาม และการจัดสรรตามความต้องการในการส่ง ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณแบบรวมและแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสาร

จากการทดสอบแนวคิดในการออกแบบโพรโทคอลที่ผ่านมาทั้งหมด โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่เสนอขึ้นจะมีลักษณะที่รวมสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสารไว้ในเฟรมเดียวกัน สำหรับในบทนี้จะเป็นการนำโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างเฟรมอีกแบบที่มีการแยกกันระหว่างสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสารดังรูปที่ 3.10 ซึ่งมีวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.5 โดยในการเปรียบเทียบจะมีการประยุกต์แนวคิดทั้งหมดที่เสนอมานำมาใช้กับโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารเพื่อให้ได้เห็นถึงสมรรถนะในการให้บริการที่สูงสุดของโพรโทคอลดังนี้คือ

1. เทคนิคการกระจายสล็อตสำหรับการจองอย่างสม่ำเสมอทั่วเฟรม
2. เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับก่อนหลัง โดยทราฟฟิกเสียงจะมีลำดับในการจัดสรรที่สูงกว่าข้อมูล
3. เทคนิคการส่งแพ็กเก็ตเสียงอย่างเป็นรายคาบและการเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตเสียง
4. เทคนิคการเข้าคิว MT ที่จองสำเร็จแต่ยังไม่ได้รับอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร
5. เทคนิคการจำกัดจำนวนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ไม่เกิน 1 เฟรมต่อการส่ง 1 รอบ (เนื่องจากความยาว message ข้อมูลในการทดสอบนี้มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลจึงใช้แนวคิดในการจัดสรรช่องสัญญาณแบบนี้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ ในกรณีที่ทราฟฟิกข้อมูลมีความยาว message แตกต่างกันมาก ก็สามารถใช้นโยบายอื่นที่ได้เสนอในหัวข้อที่ 3.3.4.2 ได้)
6. เทคนิคการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นตามปริมาณโหลด จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 5.4 พบว่า โพรโทคอลที่ใช้อัลกอริทึมของวิธี EB และ BB จะมีสมรรถนะในการให้บริการที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการทดสอบในบทนี้ จึงเลือกใช้อัลกอริทึมของวิธี EB เป็นตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณแบบรวมและแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารเพียงเทคนิคเดียว

สำหรับโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบรวมสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสารที่จะนำมาเปรียบเทียบก็จะมีการใช้เทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลเช่นเดียวกับที่กล่าว

ข้างต้นแต่จะแตกต่างกันบ้างคือ เทคนิคการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นตามปริมาตรวิธี EB จะเป็นแบบแยกตามความถี่และจะมีการใช้เทคนิคในการเลื่อนเวลาเริ่มต้น ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้จะไม่สามารถใช้กับโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบแยกสล็อต และสล็อตข่าวสารได้ เนื่องจากสล็อตสำหรับจองทั้งหมดจะอยู่ภายในช่องสัญญาณที่เดียวกัน

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่มีการจัดเรียงโครงสร้างเฟรมที่พบจะทดสอบในระบบที่มีจำนวนความถี่แตกต่างกันดังในรูปที่ 7.1 ถึง 7.4 สำหรับเส้น mulOHA และเส้น MDPMA คือเส้นกราฟที่ไขว้กันถึงสมรรถนะของโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDPMA ซึ่งจะนำมาแสดงในกราฟ ทั้งสามรูปเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการเปรียบเทียบยิ่งขึ้น

รูปที่ 7.1 ถึง 7.2 เป็นการทดสอบในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการ โดยในรูปที่ 7.1 จะแสดงถึงจำนวน MT สูงสุดที่โพรโทคอลแบบแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารที่จำนวนสล็อตสำหรับจองแตกต่างกันสามารถให้บริการได้ภายใต้เงื่อนไขคือ ค่าความน่าจะเป็นของการรื้อปแพ็กเก็ตเสียไม่เกิน 0.01 ที่ความยาว message ข้อมูลตั้งแต่ 1 ถึง 100 แพ็กเก็ต โดยจำนวนสล็อตสำหรับจองของโพรโทคอลแบบแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะสามารถเปรียบเทียบกับโพรโทคอลแบบรวมการสัญญาณและการส่งข่าวสารได้ดังนี้คือ ในกรณีที่โพรโทคอลแบบรวมมีสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 สล็อตต่อเฟรมจะเปรียบได้กับโพรโทคอลแบบแยกที่มีสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 16, 32, 48 และ 64 สล็อตในความถี่ที่สี่ สำหรับแบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือในความถี่นี้จะเป็นสล็อตข่าวสารที่มีจำนวนเท่ากับ 16, 12, 8 และ 4 สล็อตตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้เทคนิคการกระจายช่องสัญญาณ ดังนั้นโครงสร้างเฟรมก็จะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 3.10 คือในกรณีที่โพรโทคอลแบบแยกที่มีสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสารเท่ากับ 16 สล็อตจะมีการเรียงของสล็อตสำหรับจองและสล็อตข่าวสารสลับกันไปทีละ 1 สล็อต สำหรับโพรโทคอลแบบแยกที่มีสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 48 และ 64 สล็อต จะมีการเรียงสล็อตสำหรับจองกลุ่มละ 6 และ 16 สล็อตสลับกับสล็อตข่าวสาร 1 สล็อต ในส่วนของโพรโทคอลที่มีจำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 32 สล็อตจะมีการกระจายสล็อตสำหรับจองทั้งหมด 10 กลุ่ม ๆ ละ 3 สล็อตสลับกับสล็อตข่าวสาร 1 สล็อต โดยกลุ่มสุดท้ายจะมีสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 2 สล็อต

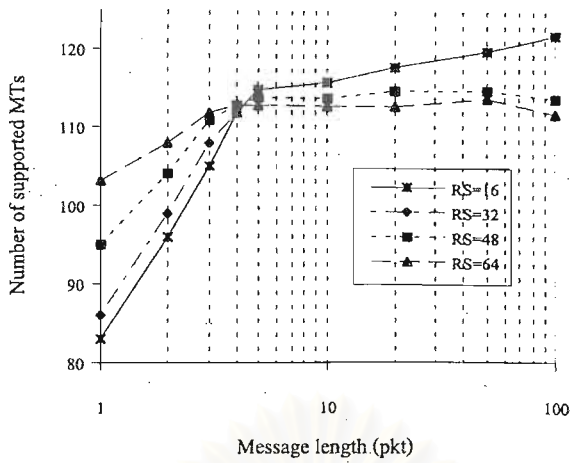
จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่า ในระบบที่มีขนาดของ message ยาวน้อยกว่า 4 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 64 จะมีสมรรถนะในการให้บริการทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ดีที่สุด ในกรณีที่ขนาดของ message มากกว่า 5 แพ็กเก็ต โพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 16 และ 32 สล็อต จะสามารถให้บริการผู้ใช้ในจำนวนที่ใกล้เคียงกันโดยจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อความยาว message เพิ่มขึ้นเนื่องจากทราฟฟิกข้อมูลจะมีอัตราการเข้าจองลดลงและจำนวนผู้ใช้จะ



มากกว่าจำนวนผู้ใช้ของโพรโทคอลที่มีจำนวน RS เท่ากับ 48 และ 64 สล็อต เนื่องจาก โพรโทคอลมีการสูญเสียโอเวอร์เฮดน้อยดังนั้นจึงเหลือแบนด์วิดท์มากกว่า

รูปที่ 7.2 แสดงถึงค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียง เวลาประวิงต่อหน่วย แพ็กเก็ตข้อมูลและความน่าจะเป็นในการจองสำเร็จ จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่า โพรโทคอลที่นำเสนอแบบรวมการสัญญาณและการส่งข่าวสาร (เส้น common) จะสามารถรองรับผู้ใช้ที่ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 0.01 ได้มากกว่าโพรโทคอลเดิมคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDRMA 66 และ 13 ตัว หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 126.9 และ 11.3 ตามลำดับ สำหรับในระบบที่มีจำนวนความถี่ต่อเซลล์เท่ากับ 2 โพรโทคอลที่เสนอก็จะสามารถให้บริการผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้นเมื่อเทียบโพรโทคอล MDRMA 3.84 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 7.3(ก) ) แต่ถ้ามีจำนวนความถี่ต่อเซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 7 ความถี่ โพรโทคอลที่เสนอก็สามารถให้บริการผู้ใช้ได้มากขึ้นถึง 11.56 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 7.4(ก) ) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะที่จำนวนความถี่ต่อเซลล์มาก แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีสมรรถนะในการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลสูงขึ้น ทำให้คุณภาพของการให้บริการตลอดจนปริมาณโหลดที่ระบบสามารถรองรับได้เพิ่มขึ้น

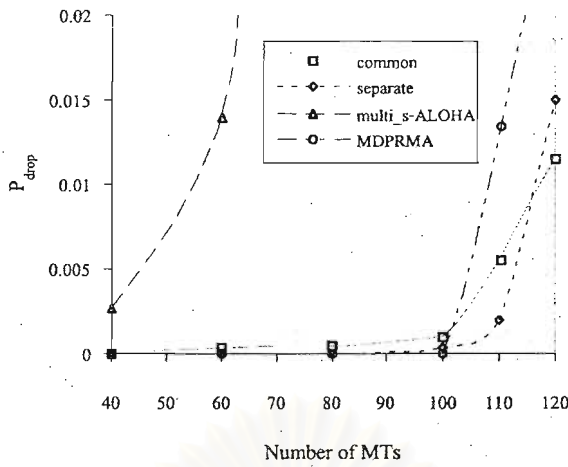
สำหรับการเปรียบเทียบกับโพรโทคอลแบบแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสาร (เส้น separate) พบว่า โพรโทคอลที่มีการแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะมีสมรรถนะในการให้บริการเสียงและข้อมูลที่ดีกว่าโพรโทคอลแบบรวมเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรช่องสัญญาณมากกว่า แต่ที่ปริมาณโหลดสูงหรือกรณีที่มีการเข้าจองมาก ๆ ที่จำนวน MT เท่ากับ 113 ตัวหรือที่โหลดประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ของความจุระบบ (คำนวณจากอัตราการทำเนียบิตเสียงและข้อมูลโดยเฉลี่ยต่อ MT 1 ตัว เท่ากับ 13.617 kbps บวกกับ 5.76 kbps จากนั้นจึงคูณด้วยจำนวน MT และหารด้วยความจุของช่องสัญญาณในหน่วย kbps รวมกันทุกความถี่ แล้วจึงคูณด้วย 100) โพรโทคอลที่แยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะมีสมรรถนะในการให้บริการต่ำกว่า เหตุเพราะการจัดเรียงสล็อตสำหรับจองดังลักษณะในรูปที่ 3.9 ซึ่งจะมีโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตมากกว่าการจัดเรียงสล็อตแบบรวม เนื่องจากที่เวลาเดียวกันโพรโทคอลที่รวมสล็อตสำหรับจองและสล็อตสำหรับส่งข่าวสารไว้ด้วยกันจะอนุญาตให้ MT สามารถเข้าใช้ สล็อตสำหรับจองอย่างเต็มที่ถึง 4 สล็อต โดยผลที่ได้นี้จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในระบบที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการมากขึ้น ดังในรูปที่ 7.3 และ 7.4 ในระบบที่มี 2 และ 7 ความถี่ในการให้บริการ ซึ่งจะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่แยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะมีสมรรถนะในการให้บริการที่ต่ำกว่าเมื่อมีจำนวนโหลดในระบบเท่ากับ 77 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



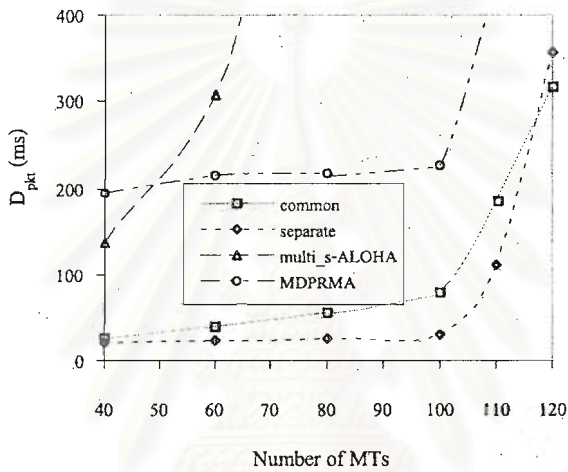
รูปที่ 7.1 จำนวน MT ที่รองรับได้ของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่ยก  
การสัญญาณและการส่งข่าวสารที่จำนวนสล็อตสำหรับจองเท่ากับ 16, 32, 48 และสี่ด  
ในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการ



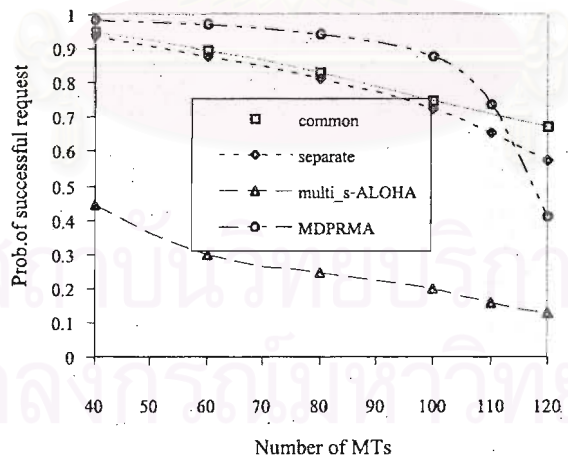
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการต้อปแพ็กเก็ตเสี่ยง

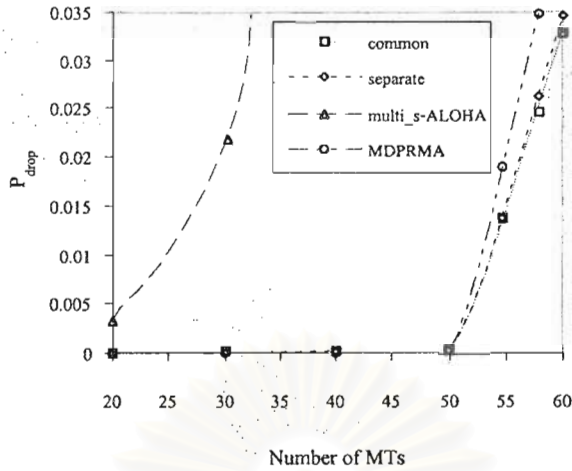


(ข) เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูล

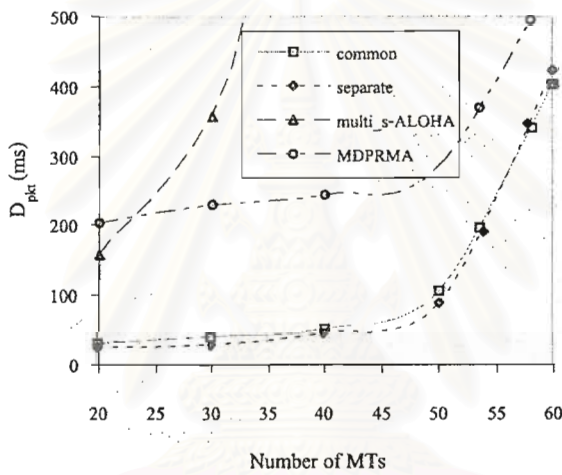


(ค) ความน่าจะเป็นในการจงสำเร็จ

รูปที่ 7.2 ค่าความน่าจะเป็นของการต้อปแพ็กเก็ตเสี่ยง เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและ ความน่าจะเป็นในการจงสำเร็จของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่รวมและแยก การสัญญาณและการส่งข่าวสาร โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและ โพรโทคอล MDRPMA ในระบบที่มี 4 ความถี่ในการให้บริการ



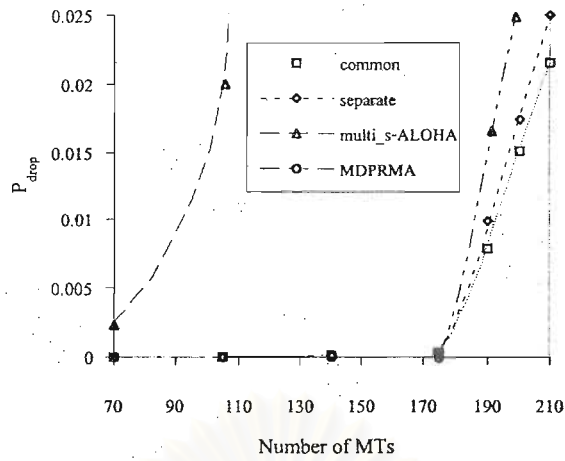
(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียง



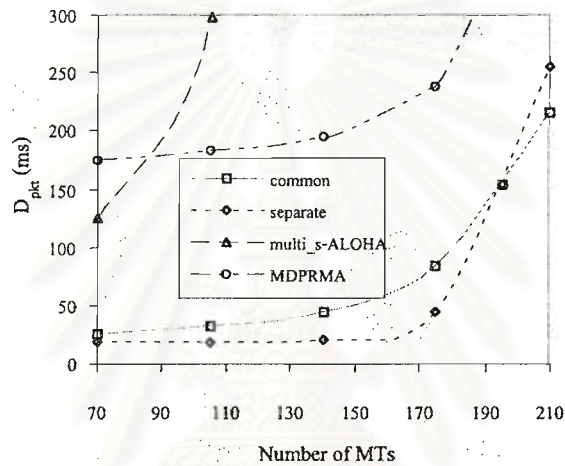
(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 7.3 ค่าความน่าจะเป็นของการดรอปปแพ็กเก็ตเสียงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของ  
โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่รวมและแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารใน  
ระบบที่มี 2 ความถี่ในการให้บริการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสี่ยง



(ข) เวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 7.4 ค่าความน่าจะเป็นของการดริอปแพ็กเก็ตเสี่ยงและเวลาประวิงต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของ โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่รวมและแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารในระบบที่มี 7 ความถี่ในการให้บริการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 8

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่ทำงานในโหมด FDD สำหรับให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์ร่วมกันในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย โดยแนวคิดที่ได้เสนอสำหรับการพัฒนาโพรโทคอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวคิดคือ แนวคิดในด้านการเข้าจองช่องสัญญาณและแนวคิดในด้านการจัดสรรช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถสรุปถึงรายละเอียดและข้อได้เปรียบของการใช้แนวคิดทั้งสองด้านได้ดังนี้คือ

#### (ก) แนวคิดในด้านการเข้าจองช่องสัญญาณ

ในงานวิจัยนี้เสนอให้โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลมีการแยกประเภทกันระหว่างสล롯ที่ใช้จองและสลอตสำหรับส่งข่าวสาร โดยสลอตที่ใช้จองจะมีขนาดเล็กกว่าสลอตข่าวสาร (โพรโทคอลเดิมคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA และโพรโทคอล MDRMA จะกำหนดให้ทุกสลอตมีขนาดเท่ากันและใช้แพ็กเก็ตข่าวสารในการเข้าถึงตัวกลางด้วย) ทำให้ MT ไม่ต้องใช้แพ็กเก็ตข่าวสารซึ่งมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นในการเข้าจอง สำหรับการจัดเรียงโครงสร้างของสลอตสำหรับจองภายในเฟรม ในงานวิจัยนี้จะเสนอให้มีการกระจายแต่ละสลอตอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมเพื่อให้มีระยะห่างระหว่างสลอตน้อยที่สุดซึ่งนอกจากจะช่วยในการลดเวลาประวิงที่ใช้ในการรอสลอตสำหรับจองในช่องถัดไปแล้วยังเป็นการกระจายปริมาณการเข้าถึงในช่วงต้นเฟรม ซึ่งจะส่งผลให้เกิดโอกาสในการชนลดลงทำให้ MT มีความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จที่สูงขึ้น ทำให้เวลาประวิงในการส่งแพ็กเก็ตเสียงและข้อมูลโดยรวมมีค่าลดลง โดยแนวคิดในการกระจาย สลอตสำหรับจองนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระบบที่มีอัตราการเข้าจองต่อเฟรมสูงหรือใน โพรโทคอลที่มีจำนวนสลอตสำหรับจองต่อเฟรมไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณการเข้าถึงของ MT

การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมในแต่ละความถี่ก็เป็นแนวคิดอีกแนวคิดหนึ่งที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ในการลดเวลาประวิงที่ MT ต้องรอสำหรับการเข้าช่วงชิงช่องสัญญาณในสลอตสำหรับจองช่องถัดไป โดยการเลื่อนจะกระทำอย่างสมดุลเพื่อไม่ให้เกิดการเข้าถึงที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งมากในขณะที่ความถี่อื่นยังว่างอยู่ ซึ่งจะทำให้สมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงและ

ข้อมูลโดยรวมของระบบต่ำลง สำหรับแนวคิดนี้จะมีผลในการพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนความถี่ในระบบมากขึ้น เนื่องจากระยะห่างของต้นเฟรมในแต่ละความถี่มีค่าลดลง ทำให้มีการกระจายของสล็อตสำหรับจองมากขึ้น และจากตัวอย่างของผลการทดสอบในหัวข้อที่ 5.2 สามารถสังเกตเพิ่มเติมได้ว่า ในระบบที่มีจำนวนความถี่มากกว่า 4 ความถี่ การพัฒนาสมรรถนะของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผลต่างของเวลาประวิงของ MT ที่ต้องรอสล็อตสำหรับจองในรอบถัดไปมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการออกแบบโครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล สามารถใช้แนวคิดในการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมร่วมกับแนวคิดในการกระจายสล็อตสำหรับจองอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมได้เพื่อลดเวลาประวิงในการรอสล็อตสำหรับจองช่องถัดไปให้มีค่าน้อยที่สุด จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 5.1 และ 5.2 พบว่าแนวคิดในการกระจายสล็อตสำหรับจองยังสามารถใช้ได้ดีกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีมีการกระจายสล็อตในช่วงที่มีปริมาณโหลดในระบบสูง เนื่องจากโพรโทคอลที่ไม่มีมีการกระจาย สล็อตถึงแม้ว่าจะมีสล็อตมากสำหรับรองรับปริมาณการเข้าถึงในช่วงต้นเฟรม แต่จากการศึกษาพบว่า MT ที่เข้าจองก็ยังคงเกิดการชนกันอยู่ดีทำให้ต้องเข้าจองใหม่ในเฟรมถัดไป ซึ่งจะทำให้โพรโทคอลมีสมรรถนะในการให้บริการโดยรวมต่ำกว่าโพรโทคอลที่มีการกระจายสล็อตสำหรับจอง

อย่างไรก็ตามแนวคิดนี้อาจจะมีข้อเสียอยู่บ้างคือ ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจะต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมเพราะสล็อตสำหรับจองในแต่ละความถี่ของโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะไม่มีทับซ้อนกัน ดังนั้นในช่วงเวลาของการช่วงชิงช่องสัญญาณหนึ่ง ๆ จะมีเพียง 1 สล็อตเท่านั้นที่สามารถให้บริการ MT ได้ ในขณะที่ช่วงเวลาในการช่วงชิงช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่ไม่มีมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนความถี่ที่ให้บริการในระบบนั้นคอยรองรับ ทำให้โพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมจะมีสมรรถนะในการให้บริการเสียและข้อมูลต่ำกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีมีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมเล็กน้อยที่ปริมาณโหลดต่ำ

เพื่อให้โพรโทคอลที่ออกแบบมีสมรรถนะในการจัดการกระบวนการเข้าช่วงชิงช่องสัญญาณที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอให้มีการประยุกต์ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตสำหรับจองตามปริมาณโหลดอย่างพลวัต ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.4 พบว่า โพรโทคอลที่ใช้วิธี EB และ BB จะมีความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จตลอดจนคุณภาพในการให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ดีกว่าโพรโทคอลที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่ แต่ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของทั้งสองวิธีนี้ พบว่าสมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่ได้จะไม่แตกต่างกันนัก

ในส่วนของการประยุกต์ใช้การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นอย่างพลวัตกับโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรม

อย่างไม่สมดุลจะเหมาะสมกับการเซตความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่แตกต่างกันไปตามปริมาณไหลของแต่ละความถี่ เนื่องจากอัตราการจองของแต่ละความถี่มีค่าแตกต่างกัน ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของแต่ละความถี่มีค่าไม่เท่ากัน สำหรับโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างสมดุลจะสามารถใช้ได้ทั้งการให้ความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยร่วมทุกความถี่หรือการเซตค่าความน่าจะเป็นแยกกันตามความถี่ เนื่องจากปริมาณการจองโดยเฉลี่ยของทุกความถี่กับปริมาณการจองในแต่ละความถี่มีค่าพอ ๆ กัน

### (ข) แนวคิดในด้านการเข้าจองช่องสัญญาณ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการสรุปรายละเอียดของโพรโทคอลในด้านของโครงสร้างเฟรมและแนวคิดในด้านการเข้าจองช่องสัญญาณ สำหรับแนวคิดของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอในหัวข้อย่อๆนี้สามารถสรุปได้เป็นข้อ ๆ คือ

1. การจัดให้มีการส่งแพ็กเก็ตเสียงอย่างเป็นทางการกำเนิดแพ็กเก็ตและให้มีการเซตบิตสุดท้ายของแต่ละแพ็กเก็ตเพื่อบอกจุดสิ้นสุดของ talkspurt ซึ่งการจัดสรรในลักษณะนี้จะสอดคล้องกับลักษณะของทราฟฟิกเสียงที่มีการกำเนิดแพ็กเก็ตเสียงอย่างเป็นทางการเช่นเดียวกันและต้องการการส่งอย่างต่อเนื่องเหตุผลเพราะการสูญเสียแพ็กเก็ตที่อยู่ในส่วนต่อเนื่องของ talkspurt จะมีผลรุนแรงต่อคุณภาพเสียง [8] นอกจากนี้การเซตบิตสุดท้ายของแพ็กเก็ตก็จะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการเข้าถึงตัวกลางของทราฟฟิกเสียงให้มีความคุ้มค่ายิ่งขึ้น
2. การจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับทราฟฟิกข้อมูลให้สามารถส่งแพ็กเก็ตได้ครั้งละหลายแพ็กเก็ตต่อเฟรมตามความต้องการเป็นผลให้ค่าเวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับโพรโทคอลเดิมคือ โพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณและโพรโทคอล MDRMA
3. การจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีลำดับโดยจะส่งทราฟฟิกเสียงก่อนข้อมูล แนวคิดนี้เสนอขึ้นเพื่อใช้ในการประกันคุณภาพในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียง โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบมีแหล่งกำเนิดทราฟฟิกข้อมูลที่ผลิต message ขนาดยาวหรือในระบบที่มีปริมาณไหลสูง ซึ่งการจัดสรรสล็อตข่าวสารให้กับทราฟฟิกเสียงก่อนจะเป็นการแก้ไขปัญหาการแย่งชิงช่องสัญญาณกันระหว่างแพ็กเก็ตเสียงกับแพ็กเก็ตข้อมูล ทำให้การถดถอยของคุณภาพเสียงเกิดจากปัญหาการเข้าจองและการแย่งสล็อตข่าวสารระหว่างทราฟฟิกเสียงด้วยกันเองเท่านั้น



4. การเข้าคิว MT ที่เข้าจองได้สำเร็จแต่ยังไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณ ซึ่งจะมีข้อดีอีกประการนอกเหนือจากการลดปริมาณการเข้าจองของ MT คือ ช่วยในการลดจำนวนโอเวอร์เฮดหรือจำนวนสลิตสำหรับจองที่ต้องใช้ในการเข้าช่องสัญญาณ ทำให้ระบบมีจำนวนสลิตข่าวสารไว้สำหรับบริการ MT ได้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะในการให้บริการทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูล
5. การจัดสรรสลิตให้กับทราฟฟิกข้อมูลในกรณีที่ระบบมีแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีความยาว message ต่าง ๆ กัน ในระบบที่มีจำนวนของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีขนาดสั้นและยาวต่าง ๆ กันจะมีความเหมาะสมสำหรับวิธีในการจัดสรรช่องสัญญาณที่แตกต่างกันไปดังนี้คือ ในกรณีที่แหล่งกำเนิดทราฟฟิกข้อมูลขนาด message สั้นอยู่ในระบบเป็นจำนวนไม่มาก แนวคิดที่สามที่กำหนดให้ message ที่มีขนาดสั้นที่สุดมีลำดับในการส่งสูงสุดจะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากข้อมูล message สั้นสามารถส่งได้ก่อนโดยที่ไม่ต้องรอส่งตามลำดับในคิว แต่ที่สัดส่วนของข้อมูล message สั้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แนวคิดนี้จะไม่เหมาะสมเหตุผลเพราะเวลาประวิงต่อหน่วย message ของแหล่งกำเนิดที่มี message ยาวจะมีเริ่มมีค่าสูง เนื่องจากต้องรอลำดับการจัดสรรต่อจากข้อมูล message สั้นซึ่งมีเป็นจำนวนมากในคิว สำหรับแนวคิดแรกที่กำหนดการส่งของ MT ในแต่ละรอบจะมีสมรรถนะในการให้บริการข้อมูล message สั้นและยาวแตกต่างกันไปตามจำนวนแพ็กเก็ตที่กำหนดในการส่ง ในกรณีที่กำหนดให้มีการจำกัดการส่งครั้งละน้อย ๆ แนวโน้มของค่า  $D_{\text{mess}}$  ที่ได้จะใกล้เคียงกับแนวคิดที่สาม แต่ที่สัดส่วนของข้อมูล message สั้นมาก ๆ ค่า  $D_{\text{mess}}$  ของข้อมูล message ยาวจะไม่สูงเท่ากับแนวคิดที่สาม เนื่องจากข้อมูล message ยาวยังสามารถส่งแพ็กเก็ตได้บ้างตามลำดับของคิวที่เวียนมาในแต่ละรอบ ในขณะที่แนวคิดที่สามข้อมูล message ยาวจะส่งแพ็กเก็ตได้ก็ต่อเมื่อข้อมูล message สั้นส่งจนหมดก่อนเท่านั้นโดยไม่คำนึงถึงลำดับก่อนหลังในการมาถึงของ message ซึ่งการจำกัดการส่งที่เหมาะสมจะขึ้นกับความยาว message โดยเฉลี่ยของข้อมูลในระบบตลอดจนสัดส่วนของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่เกิด message ที่ความยาวต่าง ๆ กัน โดยแนวโน้มของโพรโทคอลที่อนุญาตให้แหล่งกำเนิดข้อมูลสามารถส่งจำนวนแพ็กเก็ตได้มากขึ้นจะลู่เข้าหาโพรโทคอลที่ยินยอมให้ส่งแพ็กเก็ตได้ตามความต้องการ สำหรับแนวคิดที่สองที่มีการแบ่งสลิตข่าวสารให้กับทุก MT ภายในคิวจะมีสมรรถนะโดยรวมต่ำที่สุด เนื่องจากกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณที่ไม่คำนึงถึงลำดับการมาถึงของ message ทำให้ message ที่อยู่ต้นคิวมีเวลาประวิงสูง โดยจะเห็นผลชัดเจนเมื่อโหลดมีปริมาณสูงขึ้น

จากผลการทดสอบในบทที่ 7 พบว่า โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่นำเสนอตามแนวคิดทั้งหมดที่กล่าวมาจะมีสมรรถนะในการให้บริการทั้งกราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ดีกว่า โพรโทคอลเดิมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในกรณีของกราฟฟิกข้อมูล นอกจากนี้โพรโทคอลที่นำเสนอยังสามารถรองรับผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ตเสียงไม่เกิน 0.01 ได้มากกว่าโพรโทคอล slotted-ALOHA แบบหลายช่องสัญญาณประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และโพรโทคอล MDRMA ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มความจุให้กับระบบ

สำหรับการเปรียบเทียบกันระหว่างโพรโทคอลที่มีโครงสร้างเฟรมแบบรวมและแบบแยกการสัญญาณและการส่งข่าวสาร (ในกรณีที่มัลติสล็อตสำหรับจองไม่เต็มเฟรมในกรณีที่สำหรับจองแบนด์วิดท์หรือพื้นที่ที่เหลือนอกในเฟรมจะเป็นสล็อตข่าวสารซึ่งสามารถส่งแพ็กเก็ตข่าวสารได้เช่นเดียวกับความถี่อื่น ๆ) จากผลที่ได้พบว่า โพรโทคอลที่แยกการสัญญาณและการส่งข่าวสารจะมีสมรรถนะในการให้บริการเสียงและข้อมูลที่ดีกว่าโพรโทคอลแบบที่รวมการสัญญาณและการส่งข่าวสาร เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรช่องสัญญาณมากกว่า แต่ที่ปริมาณโหลดสูงหรือกรณีที่มีการเข้าจองมาก ๆ โพรโทคอลแบบแยกจะมีสมรรถนะในการให้บริการต่ำกว่า เหตุเพราะรูปแบบของการจัดเรียงช่องสัญญาณในลักษณะนี้จะทำให้มีโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตมากกว่าการจัดเรียงช่องสัญญาณตามแบบของโพรโทคอลแบบรวม เนื่องจากที่เวลาเดียวกัน MT จะสามารถเข้าใช้สล็อตสำหรับจองอย่างเต็มที่ถึง M สล็อตจาก M ความถี่ โดยผลที่ได้นี้จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในระบบที่มีจำนวนความถี่ในการให้บริการมากขึ้น

## 8.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากกราฟฟิกประเภทมัลติมีเดีย (multimedia) กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจในเวลานี้ ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณในส่วนที่เพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ควรจะออกแบบโพรโทคอลมีความสามารถในการรองรับกราฟฟิกประเภทอื่นที่นอกเหนือจากเสียงและข้อมูลคอมพิวเตอร์เช่น วิดีโอ (video) audio ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic mail) FTP และ WWW browsing
2. การประมาณปริมาณโหลดของระบบสำหรับการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตด้วยวิธี BB ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสูงสุดที่ระบบยังสามารถรองรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งไม่ใช่ค่าโหลดที่แท้จริงของระบบในขณะที่กำลังพิจารณา โดยในการพัฒนาโพรโทคอลให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นควรจะมีการใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมที่เหมาะสมในการประมาณปริมาณโหลดที่เข้ามาในแต่ละเฟรมให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

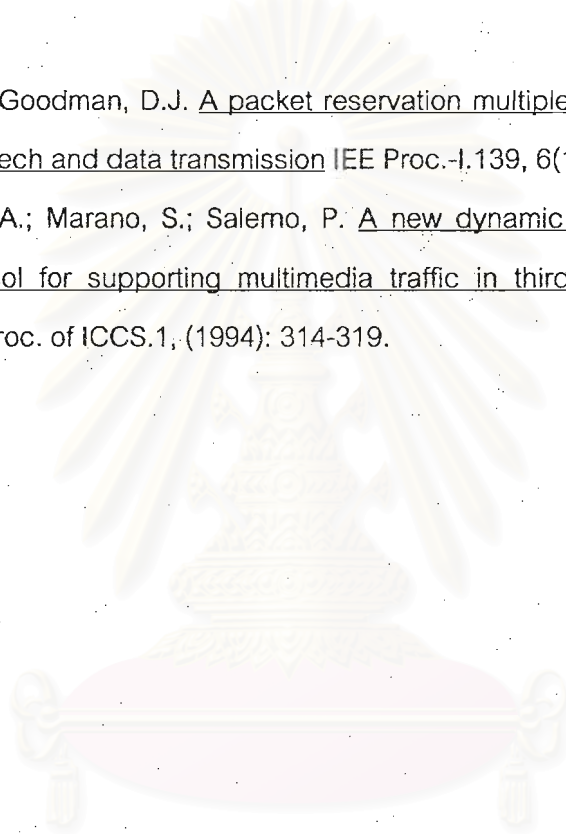
3. โพรโทคอลที่เสนอในงานวิจัยนี้จะมีจำนวนสล็อตสำหรับจองและส่งข่าวสารคงที่ ซึ่งอาจจะไม่มีความยืดหยุ่นในการให้บริการเท่าที่ควรและเพื่อให้การออกแบบโพรโทคอลมีความสมบูรณ์แบบมากขึ้น โพรโทคอลที่จะทำการพัฒนาต่อไปควรจะสามารถในการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตสำหรับจองและส่งข่าวสารตามปริมาณการเข้าจองของทราฟฟิกไหลได้อย่างพลวัต ซึ่งในปัจจุบันได้มีผู้เสนอโพรโทคอลประเภทนี้มาบ้างแล้ว แต่จะเป็นโพรโทคอลที่มีการจัดสรรแบบแบ่งเวลาในการครอบครองช่องสัญญาณ เช่น โพรโทคอล D-RMA [19] ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่เสนอขึ้นในระบบที่มี 1 ความถี่ต่อเซลล์ สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีหลายความถี่ต่อเซลล์อาจมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากในความถี่แต่ละความถี่จะมีเวลาเริ่มต้นเฟรมที่ไม่เท่ากับและไม่เป็นออฟเซต (offset) ซึ่งกันและกัน ดังนั้นกระบวนการในการซิงโครไนซ์ระหว่าง MT กับ BS ก็จะต้องมีความซับซ้อนมากเช่นเดียวกัน
4. ศึกษาการส่งข้อมูลในกรณีที่มีข้อผิดพลาดและต้องมีการส่งใหม่อีกครั้ง (retransmission)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. Goodman, D.J.; Valenzuela, R.A.; Gayliard, K.T.; and Ramamurth, B. Packet reservation multiple access for local wireless communications IEEE Trans. Commun. 37, 8(1989): 885-890.
2. Suzuki, T.; and Tasaka, S. A performance comparison of ALOHA-reservation and PRMA in integrated voice and data wireless local area networks IEEE Proc. of TENCON. 2,7(1992): 754-758.
3. Peyravi, H. Medium access control protocols performance in satellite communications IEEE Commun. Mag. 37,3(1999): 62-71.
4. Sanchez, J.; Martinez, R.; Marcellin, M.W.; A survey of MAC protocols proposed for wireless ATM IEEE Network. 11,6(1997): 52-62.
5. Bertsekas, D.; and Gallager, R. Data network 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
6. Karol, M.J.; Liu Z.; and Eng, K.Y. Distributed queuing update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks IEEE Proc. of ICC. 2,(1995):1224-1231.
7. Passas, N.; Paskalis, S.; Vali , D.; and Merakos, L. Quality-of-services-oriented medium access control for wireless ATM network IEEE Commun. Mag. 35,11(1997): 42-50.
8. Tanenbaum, S.A. Computer networks 3rd n.p.: Prentice-Hall, 1996.
9. Kim, J.G.; and Widjaja, I. PRMA/DA: a new media access protocol for wireless ATM IEEE Proc. of ICC. 1, (1996): 240-244.
10. Tasaka, S. Stability and performance analysis of the R-ALOHA packet broadcast system IEEE Trans. Computer. (1983): 20-29.
11. Zhang, Z.; and Lin, Y-J Multichannel ALOHA data networks for personal communications services (PCS) IEEE Proc. of GLOBECOM. 1,(1993): 21-25.
12. Hossain, A.Z.M.E.; Rahman, M.Z.; and Islam, M.M. On the performance of a multichannel R-ALOHA for voice and data integration in short-haul wireless communication environments IEEE Proc. of Personal Wireless Communications. (1997): 465-469.

13. Brand, A.; and Aghvami, A. Multidimensional PRMA with prioritized Bayesian broadcast – a MAC strategy for multiservice traffic over UMTS IEEE Trans. Veh. Technol. 47, 4(1998): 1148-1161.
14. Jeon, W.S.; Jeong, D.G.; and Choi, C-H An integrated services MAC protocol for local wireless communications IEEE Trans. Veh. Technol. 47, 1(1998): 352-364.
15. Jeong, D.G.; and Jeon, W.S. Performance of exponential backoff scheme for slotted-ALOHA protocol in local wireless environment IEEE Trans. Commun. 44, 3(1995): 470-479.
16. Wong, W.C.; and Goodman, D.J. A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission IEE Proc.-I.139, 6(1992): 607-612.
17. Beraldi, R.; Iera, A.; Marano, S.; Salerno, P. A new dynamic reservation multiple access protocol for supporting multimedia traffic in third generation cellular system IEEE Proc. of ICCS.1, (1994): 314-319.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณสำหรับบริการเสียงและข้อมูล ร่วมกันในระบบสื่อสารไร้สาย

## Improved performance of multichannel media access control protocol for integrated voice and data services in wireless communication systems

พงศธร เศรษฐสุวรรณ และ ดัญญกร วุฒิสัทติกุลกิจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์(02)218-6512 โทรสาร (02)251-8991 E-mail: lunch@ee.eng.chula.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความชื่อนี้เสนอแนวคิดในการปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณสำหรับส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบสื่อสารไร้สาย โดยแนวคิดที่เสนอมี 4 แนวคิดคือ การแบ่งโครงสร้างเฟรมให้มีส่วนของและส่วนที่ใช้ส่งข่าวสารแตกต่างกัน การกระจายสล็อตของช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอทั่วเฟรม การเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่อย่างสมดุล และการจัดสรรช่องสัญญาณตามลักษณะและลำดับความสำคัญของแต่ละทราฟฟิก จากผลการทดสอบพบว่าแนวคิดทั้งหมดที่เสนอนี้สามารถปรับปรุงคุณภาพในการให้บริการของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณเดิมที่เคยถูกเสนอมา

**คำสำคัญ :** โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบหลายช่องสัญญาณ, ระบบสื่อสารไร้สาย, โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

### Abstract

This paper presents concepts for improving the performance of multichannel media access control protocol that supports voice and data traffics in wireless communication systems. Four different concepts are proposed, namely dividing frame structure into reservation part and information transfer part, uniformly distributing request slots all over frame, adding different offset time at the beginning of frame for different frequency, and assigning channel to individual traffic according to its characteristic and priority. Based on the simulation results, it is found that these concepts can effectively improve the system quality of service provision in comparison to the other known protocols.

**Keywords :** multichannel media access control protocol, wireless communication systems, wireless local area network.

### 1. บทนำ

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (media access control, MAC) เป็นกลไกที่สำคัญอย่างยิ่งของระบบสื่อสารไร้สาย มีหน้าที่หลักในการจัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้สามารถบริการผู้ใช้ในการรับ

ส่งข้อมูล โดยคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการ (quality of service, QoS) ของทราฟฟิกแต่ละประเภทเป็นปัจจัยสำคัญ โพรโทคอล MAC ที่ผสมวิธีการเข้าถึงตัวกลางระหว่างแบบ TDMA กับ FDMA หรือ CDMA สำหรับบริการทราฟฟิกประเภทเสียงและข้อมูลกำลังเป็นที่น่าสนใจในขณะนี้ [1-3] โดยโพรโทคอล MAC อิงการจัดสรรแบบ TDMA ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการเข้าถึงตัวกลางแบบ FDMA หรือ CDMA คือ slotted-ALOHA (s-ALOHA), R-ALOHA และ PRMA ซึ่งจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปตามผู้นำเสนอคือ multichannel s-ALOHA [1], multichannel R-ALOHA [2] และ multidimensional PRMA (MDPRMA) [3]

สำหรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบให้บริการมีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้คือ ทราฟฟิกเสียงจะมีความทนทานต่อเวลาประวิงได้จำกัดเพียง 32 ms แต่สามารถทนต่อการสูญเสียแพ็กเก็ตระหว่างการส่งได้ประมาณ 1% [4] ซึ่งจะต่างจากทราฟฟิกข้อมูลที่ทนทานต่อเวลาประวิงในขณะที่การสูญเสียแพ็กเก็ตระหว่างการส่งจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อคุณภาพของทราฟฟิก

สำหรับบทความฉบับนี้จะทำการปรับปรุงโพรโทคอลที่ผสมวิธีการเข้าถึงตัวกลางระหว่าง TDMA กับ FDMA หรือ CDMA (โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ) ให้สามารถบริการทราฟฟิกประเภทเสียงและข้อมูลตาม QoS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2. โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ

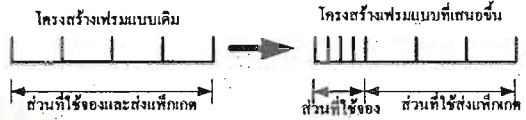
โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่กล่าวถึงนี้จะทำงานในโหมด FDD (frequency division duplex) ซึ่งใช้ความถี่ขาขึ้น (uplink, UL) และขาลง (downlink, DL) แยกต่างกัน โดยสถานีฐาน (base station, BS) สามารถควบคุมการส่งข้อมูลด้านขาลงได้อย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณที่ถูกเสนอในงานวิจัยอื่นคือโพรโทคอล multichannel s-ALOHA และ MDPRMA จะมีหลักการทำงานคล้ายกับโพรโทคอล s-ALOHA และ PRMA [4] แต่จะต่างในส่วนของการจองช่องสัญญาณกล่าวคือ เมื่อผู้ใช้ปลายทาง (mobile terminal, MT) ต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข่าวสารก็จะต้องรอถึงจุดเริ่มต้นของสล็อต จากนั้นจึงเลือกสล็อตที่จะทำการส่งอย่างสุ่ม 1 สล็อตจากทั้งหมด M สล็อตจาก M ความถี่ที่เข้าจังหวะกัน ในกรณีที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข่าวสาร MT จะต้องส่งใหม่อีกครั้ง โดยจะสุ่มเวลาในการส่งเพื่อป้องกันการชนกันที่อาจจะเกิดขึ้นอีก

จากวิธีการเข้าถึงตัวกลางของทั้ง 2 โพรโทคอลที่กล่าวมา พบว่า ยังมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการกล่าวคือ ในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ MT จะส่งแพ็กเก็ตข่าวสารสำหรับจองช่องสัญญาณแบบ s-ALOHA ในความเป็นจริงแล้วการจองนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้แพ็กเก็ตข่าวสารซึ่งมีขนาดใหญ่มากเกินความจำเป็นเพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์และยังเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนของแพ็กเก็ตอีกด้วย ในแง่ของความสามารถในการให้บริการเสียงและข้อมูลร่วมกันของทั้ง 2 โพรโทคอลก็จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก ยกตัวอย่างเช่น โพรโทคอล multichannel s-ALOHA จะให้บริการกับทราฟฟิกเสียงได้ไม่ดีเพราะจะต้องมีการแย่งชิงช่องสัญญาณทุก ๆ แพ็กเก็ตทำให้เกิดความคั่งเนื่องในการส่งแพ็กเก็ตเสียงที่มีการกำเนิดเป็นรายคาบและอาจทำให้เกิดเวลาประวิงสูงจนต้องสูญเสียแพ็กเก็ตระหว่างการส่งได้ สำหรับโพรโทคอล MDPDMA ก็ไม่เหมาะสมกับการบริการทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่มีลักษณะการกำเนิดแบบเบิสต์ (burst) เพราะโพรโทคอลจะอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถส่งได้เพียงครั้งละ 1 แพ็กเก็ตเป็นผลให้ลดประสิทธิภาพในการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่โหลด (load) ต่ำ นอกจากนี้โพรโทคอลทั้งสองยังไม่มีการจัดลำดับก่อนหลังในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มี QoS ที่แตกต่างกันอีกด้วย โขยในหัวข้อถัดไปจะเสนอแนวคิดในการปรับปรุงโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูล

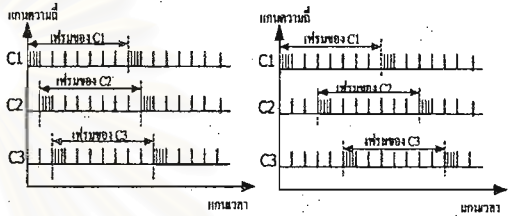
**3. แนวคิดในการปรับปรุงโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณ**

แนวคิดที่นำเสนอสำหรับปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกประเภทเสียงและข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในบทความนี้ สามารถสรุปเป็น 4 แนวคิดคือ แนวคิดแรกจะทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเฟรมจากเดิมที่แยกออกเสนอ มาเป็นดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณซึ่งจะประกอบไปด้วยสล็อตที่ใช้สำหรับร้องขอช่องสัญญาณ (request slot, RS) และส่วนที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข่าวสารที่มีสล็อตสำหรับส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร (information slot, IS) เป็นองค์ประกอบขนาดของสล็อตที่ใช้ในการร้องขอช่องสัญญาณจะเล็กกว่าสล็อตที่ใช้ในการส่งข่าวสาร ทำให้ขนาดของแพ็กเก็ตที่ใช้จองช่องสัญญาณเล็กลง ซึ่งเป็นผลดีเพราะนอกจากจะเป็นการประหยัดแบนด์วิดท์แล้วยังเป็นการลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตอีกด้วย ทั้งนี้รูปแบบของเฟรมดังกล่าวก็ยังมีข้อเสียคือ ในช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการส่งแพ็กเก็ตข่าวสาร MT จะไม่สามารถร้องขอช่องสัญญาณได้และจะต้องรอนกว่าจะถึงส่วนที่ใช้ในการร้องขอช่องสัญญาณในเฟรมถัดไปทำให้เกิดเวลาประวิงเพิ่มขึ้น สำหรับแนวคิดที่สองจะเป็นการชดเชยข้อเสียดังกล่าว โดยจะทำการกระจาย RS ให้ทั่วทั้งเฟรมทำให้ระยะเวลาในการรอ RS ถัดไปมีค่าลดลง แนวคิดที่สามก็จะเป็นวิธีในการลดเวลาประวิงที่เกิดจากการรอ RS ถัดไปเช่นเดียวกันแต่วิธีการจะต่างจากแนวคิดที่สองคือ ระบบจะกำหนดควาเร็วเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่ให้มีค่าแตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดการกระจาย RS ดังรูปที่ 2 ในส่วนของแนวคิดสุดท้ายจะเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ทราฟฟิกแต่ละประเภท สำหรับทราฟฟิกเสียง BS จะอนุญาตให้แต่ละแหล่งกำเนิดเสียงสามารถส่งแพ็กเก็ตในลักษณะที่เป็นรายคาบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมด

talkspurt ซึ่งอัตราการส่งจะเท่ากับอัตราการกำเนิดแพ็กเก็ต เพื่อเป็นการประกันว่า แพ็กเก็ตต่อ ๆ ไปใน talkspurt จะต้องได้รับการส่งในสล็อตที่ ES ได้จองไว้ให้ได้อย่างแน่นอน ในส่วนของทราฟฟิกข้อมูล BS จะจัดสรร IS ให้กับ MT ตามความต้องการ นอกจากนี้ทราฟฟิกเสียงจะมีลำดับในการส่งสูงกว่าทราฟฟิกประเภทข้อมูลเพื่อสนองตอบต่อ QoS ของทราฟฟิกทั้งสองประเภท



รูปที่ 1 การออกแบบโครงสร้างเฟรมตามแนวคิดที่หนึ่ง



รูปที่ 2ก)

รูปที่ 2ข)

รูปที่ 2ก-ข) การออกแบบโครงสร้างเฟรมตามแนวคิดที่สามทั้งแบบไม่สมดุลและสมดุล ตามลำดับ

**4. การทดสอบและวิเคราะห์ผล**

ในหัวข้อนี้ จะเป็นการทดสอบโพรโทคอลภายใต้โครงข่าย WLAN โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบ ซึ่งจะใช้น่าจะเป็นในการสูญเสียแพ็กเก็ต (dropping probability, Pdrop) ของทราฟฟิกเสียงและเวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ต (delay per packet, Dpkt) ของทราฟฟิกข้อมูล เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอล โดยระบบที่ใช้ในการจำลองแบบจะอ้างอิงตามเอกสาร [4] ซึ่งจะมีอัตราข้อมูลของช่องสัญญาณต่อความถี่ (รหัส) เท่ากับ 720 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ความยาวเฟรมในหน่วยของเวลาเป็น 16 มิลลิวินาที (ms) แพ็กเก็ตข่าวสารยาว 576 บิต โดยมีขนาดของบิตหัวเป็น 64 บิต แพ็กเก็ตแรกของช่องสัญญาณยาว 144 บิต สมมติให้ผู้ใช้งานทุกคนสามารถส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้อย่างอิสระต่อกัน โดยทราฟฟิกเสียงสามารถแบ่งออกเป็นช่วง talkspurt และ silence การกระจายทางสถิติของทั้ง 2 ช่วงจะเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ค่าเฉลี่ย 1 และ 1.35 วินาทีตามลำดับ อัตราการกำเนิดบิตเสียงเป็น 32 kbps สำหรับทราฟฟิกประเภทข้อมูลการกระจายทางสถิติของอัตราการมาถึง (arrival rate) ของแต่ละ message เป็นแบบปัวซอง (Poisson) ที่มีปริมาณโหลคองที่ 5.76 kbps ต่อแหล่งกำเนิด โดยมีความยาวโดยเฉลี่ยของ message (ในหน่วยของแพ็กเก็ต) แปรผันจาก 1 ถึง 100 แพ็กเก็ตและมีการกระจายแบบเรขาคณิต (geometrical distribution)

รูปที่ 3 และ 4 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงและข้อมูล ที่ความยาว message เท่ากับ 10 แพ็กเก็ต ในการทดลองนี้จะใช้ 4 ความถี่สำหรับให้บริการ MT พบว่า โพรโทคอล multichannel s-ALOHA จะมีสมรรถนะในการให้บริการต่ำสุดเพราะ MT ต้องร้องขอช่องสัญญาณทุกแพ็กเก็ตทำให้เสถียรภาพของระบบต่ำเมื่อ



โหลดเพิ่มขึ้น จากกราฟจะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่เสนอโดยเปลี่ยนโครงสร้างเฟรมตามแนวคิดแรก (เส้น 1) มีประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด โดยเฉพาะบริการของทราฟฟิกข้อมูลที่ระบบสามารถลดค่า Dpkt ลงจาก โพรโทคอล MDRMA ได้ถึง 150-300 ms เหตุเพราะการอนุญาตให้ MT สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้คราวละหลายแพ็กเก็ตซึ่งเป็นการลดเวลาประวิงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้สอยช่องสัญญาณ สำหรับทราฟฟิกเสียงค่า Pdrop ของโพรโทคอลที่เสนอจะน้อยกว่า MDRMA เล็กน้อย เพราะระบบต้องเสียแบนด์วิดท์บางส่วนสำหรับส่งทราฟฟิกข้อมูลครั้งละหลายแพ็กเก็ต ซึ่งปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อทราฟฟิกข้อมูลมีความยาวของ message มาก (ดังรูปที่ 5) อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยแนวคิดที่สี่คือการจัดลำดับ (priority) ให้ระบบทำการส่งแพ็กเก็ตเสียงก่อน ข้อมูล เส้น 1&IV ในรูปที่ 5 แสดงถึงโพรโทคอลที่มีการจัดลำดับให้ส่งแพ็กเก็ตเสียงก่อน พบว่า ความยาวของ message จะไม่มีผลกระทบต่อ Pdrop นอกจากนี้ในกรณีที่ความยาว message มาก ค่า Pdrop ของระบบที่ใช้ priority ในการส่งแพ็กเก็ตจะลดลงเนื่องจากอัตราการร้องขอช่องสัญญาณของทราฟฟิกข้อมูลลดลง อย่างไรก็ตามการใช้ลำดับก่อนหลังทำให้ค่า Dpkt ของแพ็กเก็ตข้อมูลเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6) เนื่องจากเกิดเวลาประวิงจากการที่แพ็กเก็ตข้อมูลต้องรอ IS ที่เหลือจากการจัดสรรให้กับทราฟฟิกเสียง แต่ค่า Dpkt ที่ได้ก็ยังมีค่าต่ำกว่า Dpkt ของโพรโทคอล MDRMA อยู่มาก รูปที่ 5 และ 6 เป็นการทดสอบแนวคิดที่สอง โดยการกระจาย RS จะมีหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างในการทดลองนี้ที่จำนวน RS เท่ากับ 8 เราสามารถจัดกลุ่มของ RS ให้กระจายในเฟรมอย่างสมดุลที่สุดได้ทั้งหมด 3 แบบคือ กระจายกลุ่มละ 1,2 และ 4 ช่องตามลำดับ (เส้น III, II2 และ II4) จะเห็นได้ว่า การกระจาย RS จะเป็นการเพิ่มสมรรถนะในการให้บริการของทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูล เพราะจะช่วยลดเวลาประวิงในการรอ RS ถัดไป ในกรณีนี้สมรรถนะในการให้บริการของโพรโทคอลที่มีการกระจายกลุ่มละ 1 และ 2 ช่องจะไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากค่าเวลาประวิงในการรอ RS รอบถัดไปใกล้เคียงกัน รูปที่ 7-9 เป็นการทดลองในระบบที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ โดยรูปที่ 7 และ 8 เป็นการทดสอบแนวคิดที่สามซึ่งใช้เทคนิคการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่เพื่อช่วยลดเวลาประวิงที่เกิดจากการรอ RS ถัดไป เส้น III(balance) และ III(unbalance) แทนโพรโทคอลที่มีการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างไม่สมดุลและสมดุลดังรูปที่ 2ก และ 2ข ตามลำดับ พบว่า การเลื่อนเวลาเริ่มต้นอย่างสมดุลจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการให้บริการ ในขณะที่การเลื่อนอย่างไม่สมดุลจะทำให้ประสิทธิภาพในการให้บริการของระบบแย่ลงเมื่ออยู่ในภาวะโหลดสูง เหตุเพราะการจัดเรียงโครงสร้างเฟรมอย่างไม่สมดุลจะทำให้การร้องขอช่องสัญญาณไม่สม่ำเสมอทุกความถี่ จากรูปที่ 9 พบว่า MT จะร้องขอช่องสัญญาณที่ความถี่แรกมากกว่าความถี่อื่น เป็นผลให้เกิดการชนกันมากที่ความถี่นี้ (เปอร์เซ็นต์การร้องขอสำเร็จต่ำ) ในขณะที่ความถี่อื่นยังสามารถรองรับการร้องขอจาก MT ได้อยู่ รูปที่ 10 เป็นการใช้นโยบายที่สามในระบบที่มีจำนวนความถี่สำหรับให้บริการแก่ MT แตกต่างกัน โดยจะเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างสมดุลที่สุด ในการทดลองนี้จะใช้เปอร์เซ็นต์การพัฒนาของ Dpkt (%improved) เมื่อเทียบกับ Dpkt ของโพรโทคอลตามแนวคิดที่หนึ่งเป็นตัวชี้วัดในการชี้ถึงประสิทธิภาพ พบว่า ระบบที่ใช้ 2 ความถี่จะมี %improved น้อยกว่าระบบอื่นที่ปริมาณ offered load เท่ากัน เหตุเพราะเวลาประวิงที่

MT ต้องรอสำหรับ RS ถัดไปมีค่าสูงกว่าระบบอื่น สำหรับระบบระบบที่ใช้จำนวนความถี่เท่ากับ 3,4 และ 5 จะมี %improved ที่ไม่ต่างกันมากนัก เหตุเพราะเวลาประวิงที่ MT ต้องรอสำหรับ RS รอบถัดไปมีค่าใกล้เคียงกัน

## 5. สรุป

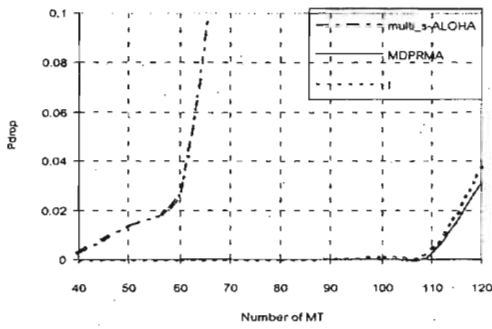
บทความฉบับนี้นำเสนอแนวคิดในการปรับปรุง โพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณทั้งหมด 4 แนวคิด แนวคิดแรกเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างเฟรมให้มีส่วนของและส่วนที่ใช้ส่งข่าวสารแยกจากกัน ซึ่งมีผลคือ ลดขนาดและลดโอกาสในการชนกันของแพ็กเก็ตร้องขอช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจจะมีข้อเสียอยู่บ้างคือ ในส่วนที่ใช้ส่งข่าวสาร MT จะไม่สามารถร้องขอช่องสัญญาณได้ ทำให้เกิดเวลาประวิงเพิ่มขึ้น ปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยใช้แนวคิดที่สองและสามคือการกระจาย RS อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเฟรมและการเลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมของแต่ละความถี่อย่างสมดุล โดยในระบบที่มีการเลื่อนอย่างไม่สมดุลจะทำให้เกิดปัญหาการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งจนมากเกินไป นอกจากนี้แนวคิดที่สามจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนความถี่ที่ระบบใช้รองรับ MT เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อความถี่เพิ่ม การสับหว่างเวลาเริ่มต้นเฟรมระหว่างความถี่ต่าง ๆ ก็จะถี่ขึ้น ทำให้เวลาประวิงที่ใช้ในการรอ RS ในรอบถัดไปลดลง สำหรับแนวคิดที่สี่เป็นการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลตามลักษณะการกำเนิดและ QoS ของแต่ละทราฟฟิก โดยแนวคิดทั้งหมดที่เสนอนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอล MAC แบบหลายช่องสัญญาณสำหรับให้บริการทราฟฟิกเสียงและข้อมูลร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

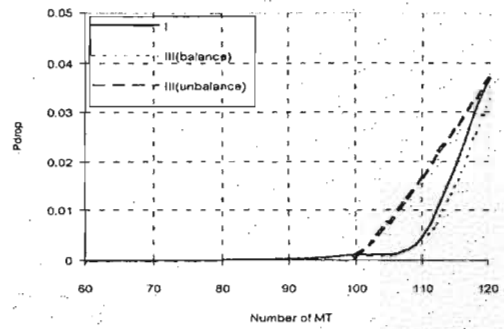
งานวิจัยในบทความฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## เอกสารอ้างอิง

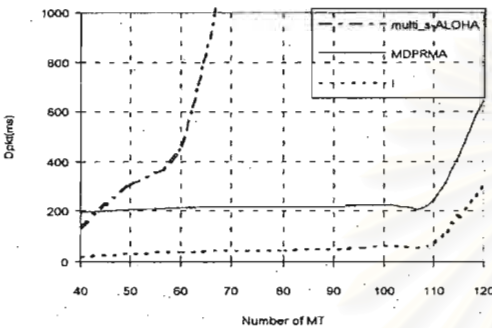
- [1] Z. Zhang and Y-J Lin, "Multichannel ALOHA data networks for personal communications services (PCS)," *IEEE Proc. of GLOBECOM*, vol. 1, 1993, pp. 21-25.
- [2] A.Z.M. Ekram Hossain, M. Ziaur Rahman and M. Mahfuzul Islam, "On the performance of a multichannel R-ALOHA for voice and data integration in short-haul wireless communication environments," *IEEE Proc. of Personal Wireless Communications*, 1997, pp. 465-469.
- [3] Alex E. Brand and A. Hamid. Aghvami, "Multidimensional PRMA with prioritized Bayesian broadcast—a MAC strategy for multiservice traffic over UMTS," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, Nov. 1998, pp. 1148-1161.
- [4] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela, and B. Ramamurth, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, 1989, pp. 885-890.



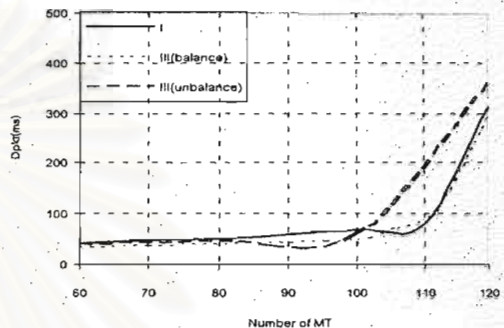
รูปที่ 3 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดขึ้นระหว่างโพรโทคอล multichannel s-ALOHA, MDRPMA และ โพรโทคอลที่เสนอตามแนวคิดแรก



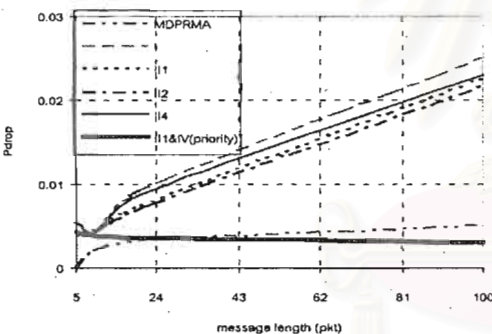
รูปที่ 7 ผลของการเคลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างสมดุลและไม่สมดุลของแนวคิดที่สามที่กระทบต่อคุณภาพการบริการกราฟฟิคเสียง



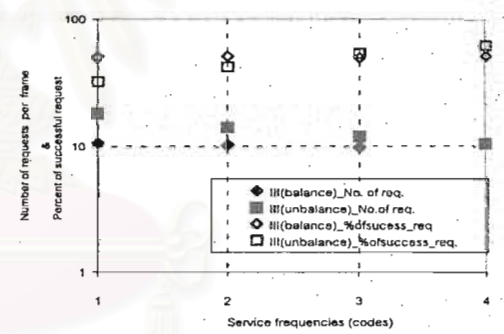
รูปที่ 4 เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลระหว่างโพรโทคอล multichannel s-ALOHA, MDRPMA และ โพรโทคอลที่เสนอตามแนวคิดแรก



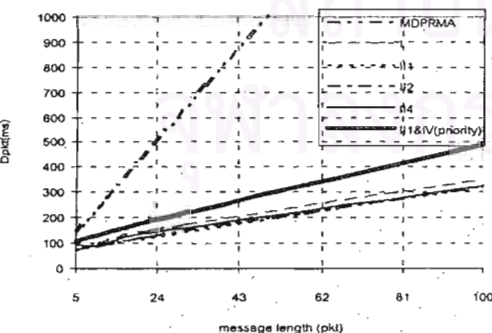
รูปที่ 8 ผลของการเคลื่อนเวลาเริ่มต้นเฟรมอย่างสมดุลและไม่สมดุลของแนวคิดที่สามที่กระทบต่อคุณภาพการบริการกราฟฟิคข้อมูล



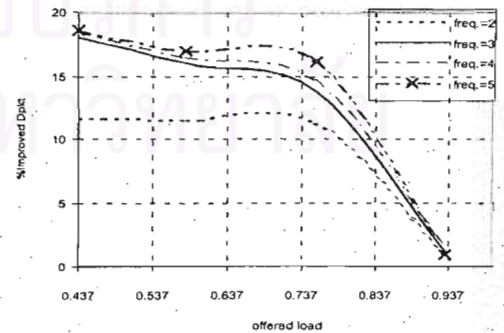
รูปที่ 5 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดขึ้นของโพรโทคอล MDRPMA และโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยใช้แนวคิดแรก แนวคิดที่สองและสี่ ณ ระบบที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ



รูปที่ 9 เปรียบเทียบจำนวนการร้องขอต่อเฟรมและเปอร์เซ็นต์การร้องขอสำเร็จของโพรโทคอลที่ใช้แนวคิดที่สามทั้งแบบสมดุลและไม่สมดุล



รูปที่ 6 เวลาประวิงต่อหน่วยแพ็กเก็ตข้อมูลของโพรโทคอล MDRPMA และโพรโทคอลที่เสนอขึ้นโดยใช้แนวคิดแรก แนวคิดที่สองและสี่ ณ ระบบที่ใช้ 4 ความถี่ในการให้บริการ



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ใช้แนวคิดที่สามในระบบที่ใช้จำนวนความถี่ในการให้บริการที่แตกต่างกัน

