

การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีผลกระทบเวลา

PERFORMANCE EVALUATION OF ISMA
WITH TIME ADVANCING

สุทัสน์ จันทร์พงษ์
SUTOUCH JUNPONG

วิทยานิพนธ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความหลังสูตรปัญญาประดิษฐ์ระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2730-5

การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

**PERFORMANCE EVALUATION OF ISMA
WITH TIME ADVANCING**

**สุทัศน์ จันทรพงษ์
SUTOUCH JUNPONG**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2736-5

PERFORMANCE EVALUATION OF ISMA
WITH TIME ADVANCING

SUTOUCH JUNPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2736-5

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

นักศึกษา

นายสุทัศน์ จันทรพงษ์

รหัสนักศึกษา

47061072

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาเครื่องลูกข่ายจำนวนมากที่กำลังส่งแพ็กเก็ตข้อมูลบนช่องสัญญาณวิทยุที่ใช้ร่วมกันไปยังสถานีฐาน ในช่องสัญญาณที่แบ่งเป็นช่วงเวลา และมีการส่งข้อมูลไม่คงที่ของ ISMA (slotted non-persistent Inhibit Sense Multiple Access) หน้าที่ของโปรโตคอลนี้ สถานีฐานจะแพร่กระจายสัญญาณใช้งานขณะกำลังรับแพ็กเก็ตขาเข้า เพื่อห้ามเครื่องลูกข่ายอื่นจากการส่งชนกัน และแพร่กระจายสัญญาณว่างเมื่อรับแพ็กเก็ตเสร็จ เพื่ออนุญาตให้เครื่องลูกข่ายอื่นเริ่มการส่งแพ็กเก็ต สัญญาณเหล่านี้จะถึงแต่ละเครื่องลูกข่ายด้วยค่าดีเลย์ของการแพร่กระจาย ซึ่งแตกต่างกันตามระยะทางระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย และพิจารณาว่าแต่ละเครื่องลูกข่ายมีความน่าจะเป็นของการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จเท่ากัน

เทคนิคที่ใช้การชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระยะเวลาห้ามในช่องเวลาว่างและช่องเวลาใช้งาน การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลที่ได้ชดเชยเวลานี้ สมรรถนะของค่าวิสัยสามารถและดีเลย์ ได้ถูกวิเคราะห์บนช่องสัญญาณขาขึ้น และแสดงว่าค่าวิสัยสามารถและดีเลย์ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลาเทียบกับที่ไม่มีเวลาชดเชยดีขึ้นจริง และจำนวนการชนกันและการห้ามลดลงด้วย

Thesis Title	Performance evaluation of ISMA with time advancing
Student	Mr. Sutouch Junpong
Student ID.	47061072
Degree	Master of Electrical Engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Phichet Moungnoul

ABSTRACT

This thesis concerns about the studies in a large number of terminals transmitting data packets over a common radio channel to a central base station. In slotted non-persistent inhibit sense multiple access (ISMA). The function of this protocol, the base station broadcasts a busy signal when an incoming packet is being received, to inhibit other terminals from colliding transmissions, and broadcasts an idle signal when a packet is successfully received, to allow other terminals initiates packet transmission. These signals arrive at each terminal with a propagation delay, which is difference as the distance between the base station and the terminal, to consider that each terminal has equally probability of successfully transmitting a packet.

The techniques have been implemented time advancing to the idle signal, to reduce effect of inhibit time in busy and idle slot. The performance evaluation of this protocol that have been advanced time, the throughput and delay performance is analyzed on the forward channel, and show that the throughput and delay of ISMA with timing advance are substantially improve compared to without timing advanced and the number of collided attempts and inhibited attempts are reduce as well.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาเพื่อใช้ในการวิจัย รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา ซึ่งคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุทัศน์ จันทรพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IIIIV
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 โพรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง.....	4
2.1 ประเภทของโพรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง.....	4
2.1.1 การเข้าถึงแบบที่ไม่มีการแข่งขัน (Contention Free Access).....	5
2.1.2 การเข้าถึงแบบที่มีการแข่งขัน (Contention Based Access).....	9
2.2 โพรโตคอล ISMA.....	22
บทที่ 3 แบบจำลองพื้นฐานและวิธีการจำลองระบบ.....	25
3.1 ข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ระบบ.....	25
3.1.1 สมมติฐานของระบบ.....	25
3.1.2 สมมติฐานของทราฟฟิก.....	28
3.2 ผังการทำงานของโปรแกรม.....	30
3.3 การจำลองแบบ.....	36
3.3.1 แบบจำลองการทำงานของโพรโตคอล ISMA.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 แบบจำลองการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา.....	39
บทที่ 4 สมรรถนะของโปรโตคอล ISMA.....	45
4.1 บทนำ.....	45
4.2 การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA.....	45
4.2.1 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	46
4.2.2 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ด้วยโปรแกรมจำลองระบบ.....	48
4.3 การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา.....	65
4.3.1 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	67
4.3.2 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยโปรแกรมจำลองระบบ.....	69
บทที่ 5 ผลการจำลองและการวิเคราะห์.....	70
5.1 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	70
5.2 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	76
5.3 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	82
5.4 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ.....	88
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	96
เอกสารอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	102

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบโปรโตคอล ISMA	36
3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA	39
3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา.....	40
3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 30%.....	43
3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 60%.....	43
3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90%.....	43
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	49
4.2 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	52
4.3 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม	53
4.4 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	56
4.5 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	57
4.6 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	60
4.7 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์.....	61
4.8 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์.....	64
5.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.	70
5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	72
5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	72
5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ	73
5.5 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ.....	76
5.7 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	76
5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	78
5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	78
5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	79
5.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	80
5.12 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม.....	82
5.13 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต..	82
5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	84
5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	84
5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	85
5.17 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	86
5.18 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต.....	88
5.19 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์.....	88
5.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์.....	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ.....	90
5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ.....	91
5.23 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ.....	92
5.24 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ.....	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ประเภทของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง.....	4
2.2 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล TDMA	6
2.3 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล FDMA	6
2.4 การแบ่งช่องสัญญาณของโปรโตคอล CDMA.....	7
2.5 โครงสร้างเฟรมของโปรโตคอล Bit Map.....	8
2.6 ขั้นตอนการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย.....	9
2.7 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ALOHA.....	10
2.8 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล Slotted ALOHA.....	11
2.9 แสดงค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล ALOHA และ Slotted ALOHA.....	11
2.10 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล DFWMAC.....	12
2.11 โครงสร้างการนับถอยหลังของโปรโตคอล DFWMAC.....	13
2.12 ไซเคิลการเข้าถึงที่มีการชิงโครโนส์ของโปรโตคอล EY-NPMA.....	14
2.13 สถานะบนช่องสัญญาณของ RIBTMA	15
2.14 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ISMA	18
2.15 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล R-ALOHA	19
2.16 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล R-ISMA	20
2.17 โครงสร้างเฟรมของโปรโตคอล PRMA.....	21
2.18 การทำงานของโปรโตคอล ISMA	22
3.1 การส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานในระบบสื่อสารไร้สาย.....	25
3.3 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการส่ง.....	32
3.4 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการรอ.....	33
3.5 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการตรวจสอบช่องสัญญาณ.....	34
3.6 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการอนุญาต.....	35
3.7 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการชน.....	35
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการบิดนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	37
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการบิดนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	37

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	38
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	38
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	40
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	41
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	41
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิกของISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	42
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร	49
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร	50
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร	51
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334	53
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334	54
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334	55
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	79
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%	80
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%	81
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%	83
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	85
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	86
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	87
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $S_{rate} =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	89
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $S_{rate} =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	91
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับทราฟฟิก ที่ $S_{rate} =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%	92
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $S_{rate} =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%.....	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless communications) ได้เข้ามามีบทบาทในระบบโทรคมนาคมมากขึ้น เนื่องจากผู้ใช้งานต้องการอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถพกพาติดตัวไปได้ทุกที่ เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารได้ตลอดเวลา ด้วยจำนวนผู้ใช้บริการอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความต้องการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของระบบสื่อสารไร้สาย คือ การที่ระบบมีแบนด์วิดท์จำกัด ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ที่มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในระบบเซลลูลาร์ จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งพื้นที่การให้บริการออกเป็นเซลล์ขนาดเล็ก (Micro-cell) เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบ โดยการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency reuse) ซึ่งภายในเซลล์แต่ละเซลล์จะประกอบด้วย สถานีฐานหนึ่งสถานี ทำหน้าที่ดูแลและควบคุมการรับและการส่งแพ็กเก็ต ระหว่างผู้ใช้บริการจำนวนมากกับระบบโครงข่าย การส่งแพ็กเก็ตในทิศทางจากสถานีฐานไปสู่ผู้ใช้บริการ (Forward Link) มีกลไกการทำงานที่ค่อนข้างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการส่งสัญญาณในทิศทางนี้ สถานีฐานสามารถควบคุมจังหวะการส่งสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ ในทางกลับกัน การส่งสัญญาณในทิศทางจากผู้ใช้ไปยังสถานีฐาน (Reverse Link) มีกลไกการทำงานที่ซับซ้อนกว่ามาก ทั้งนี้เพราะผู้ใช้แต่ละคนมักจะมีการใช้งาน ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีการเคลื่อนที่ไปมาได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ ผู้ใช้ที่ตำแหน่งแต่ละตำแหน่ง จะไม่สามารถทราบความต้องการในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นภายในระบบได้ จึงต้องมีการพัฒนากรรมวิธีในการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณวิทยุสื่อสารร่วมกัน ระหว่างผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ภายในเซลล์เดียวกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตที่เกิดจากการส่งในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ในขณะเดียวกัน ระบบจะพยายามใช้งานช่องสัญญาณที่มีความจุจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเรียกกรรมวิธีควบคุมเหล่านี้ว่า โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Control protocol : MAC)

โปรโตคอล Inhibited Sense Multiple Access (ISMA) เป็นโปรโตคอลที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ใช้จำนวนมาก ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการซ่อนของเครื่องลูกข่าย (Hidden Terminal Problem) ที่เกิดขึ้นในระบบ Carrier Sense Multiple Access (CSMA) อย่างไรก็ตาม สมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ขึ้นอยู่กับระยะเวลาห้าม (inhibited time) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดีเลย์ของการแพร่กระจาย เมื่อค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายมีค่าสูง ค่าสมรรถนะ

ของระบบจะลดลง ดังนั้นโปรโตคอล ISMA จึงเหมาะที่จะใช้ในสภาวะการทำงานที่มีค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายต่ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดของโปรโตคอล ISMA

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของโปรโตคอล ISMA เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของระบบ
2. ปรับปรุงโปรโตคอล ISMA เพื่อให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบ (system throughput) สูงขึ้น และค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลง จำนวนการชนลดลง และจำนวนการห้ามลดลง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โปรโตคอล ISMA ที่ศึกษานี้ จะพิจารณามนโคจรข่ายสื่อสารแพ็กเก็ตสวิทช์ แบบ FDD (Frequency Division Duplex) ซึ่งมีเครื่องลูกข่ายจำนวนมากต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังสถานีฐานผ่านช่องสัญญาณเพียงช่องเดียว โดยหลักการทำงานของโปรโตคอล ISMA คือ สถานีฐานจะแพร่กระจายสัญญาณว่างในขณะที่ไม่ได้รับแพ็กเก็ต หากเครื่องลูกข่ายใดสร้างแพ็กเก็ตในขณะที่ได้รับสัญญาณว่างนี้ จะสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตที่จุดเริ่มต้นของช่องเวลาที่ปิดไปได้ทันที และเมื่อสถานีฐานเริ่มทำการรับแพ็กเก็ต ก็ จะแพร่กระจายสัญญาณใช้งานออกมาเพื่อห้ามเครื่องลูกข่ายอื่นไม่ให้ส่งแพ็กเก็ตออกมาชนกัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่อง ๆ ตามเวลา เรียกว่า ช่องเวลา (time slot) ประกอบด้วย ช่องเวลาใช้งาน (busy slot) และช่องเวลาว่าง (idle slot) โดยขนาดของช่องเวลาเหล่านี้ เป็นฟังก์ชันของค่าระยะเวลาห้าม ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายในระบบ ดังนั้นเมื่อค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายมีค่ามาก ค่าระยะเวลาห้ามจะมีค่ามาก ส่งผลให้ขนาดของช่องเวลามีค่ามากตามไปด้วย ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตเท่านั้น ทำให้ได้รับประโยชน์จากช่องสัญญาณน้อยลงและส่งผลให้สมรรถนะระบบต่ำลงด้วย

ดังนั้น การปรับปรุงสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ให้ดีขึ้น จึงต้องหากรรมวิธีในการลดผลของระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อทำให้ขนาดของช่องเวลาใช้งานและช่องเวลาว่างลดลง ส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้มากขึ้นและสมรรถนะของระบบจะเพิ่มขึ้น

1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การลดผลกระทบของระยะเวลาห้ามที่มีต่อสมรรถนะของระบบ สามารถทำได้ด้วยการลดระยะเวลาให้กับสัญญาณว่างที่สถานีฐานแพร่กระจายออกมาก่อนที่จะรับแพ็กเก็ตเสร็จ และการลดระยะเวลาส่งสัญญาณว่างให้สั้นลง ซึ่งระยะเวลาส่งสัญญาณว่างจะเท่ากับผลต่างระหว่างระยะเวลาห้ามและระยะเวลาชดเชยที่ชดเชยให้กับสัญญาณว่าง ทำให้ช่องเวลาใช้งานและช่อง

เวลาว่างเป็นฟังก์ชันของระยะเวลาห้ามและระยะเวลาชดเชย ดังนั้นเมื่อระยะเวลาชดเชยเพิ่มขึ้น ขนาดของช่องเวลาเหล่านี้จะเล็กลง ทำให้สมรรถนะของระบบสูงขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ของระบบ ประกอบด้วย รัศมีของพื้นที่ให้บริการ ระยะเวลาห้าม ความยาวของแพ็กเก็ต และอัตราเร็วสัญญาณ ซึ่งมีผลต่อค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA อย่างไร โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการศึกษาข้อจำกัดของระบบ และได้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ด้วยการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา กับสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่ไม่มีการชดเชยเวลา ซึ่งค่าสมรรถนะของระบบที่ทำการเปรียบเทียบ ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงประเภทและหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง สำหรับการสื่อสารไร้สาย รวมถึงโปรโตคอล ISMA ที่ใช้เป็นต้นแบบในการวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลองและวิธีการจำลองระบบ ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA และโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา และการประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA โดยใช้การจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ และเปรียบเทียบกับโปรโตคอล ISMA ด้วยการจำลองแบบ และแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอนี้ สามารถช่วยให้ระบบมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นได้

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

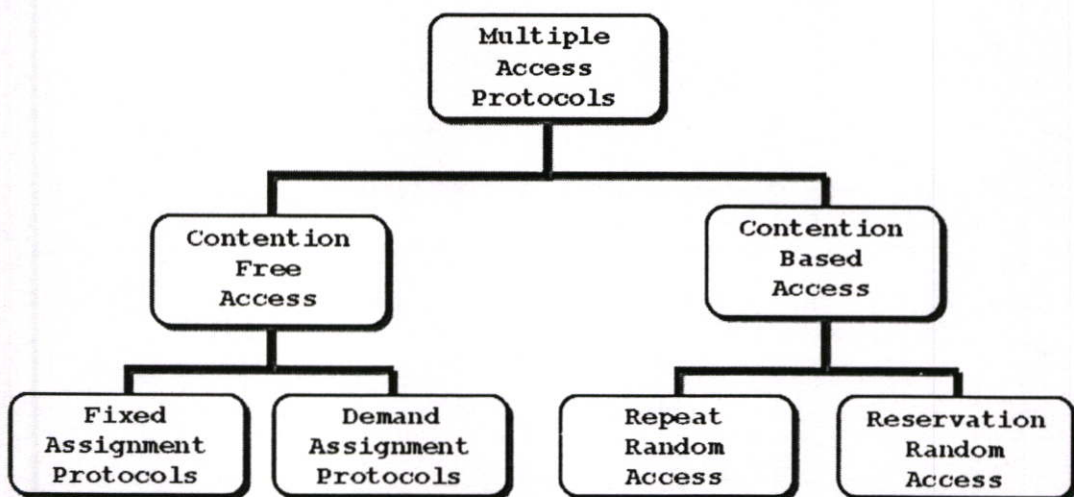
บทที่ 2

โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง

ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีการแบ่งประเภทโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย โดยจะอธิบายถึงโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะการทำงานที่สำคัญ รวมถึงตัวอย่างของโปรโตคอลในแต่ละประเภท

2.1 ประเภทของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง

โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง สามารถแบ่งตามลักษณะของการออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายได้ 2 แบบ คือ แบบกระจาย (Distributed) ที่มีกลไกควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณที่กำหนดโดยผู้ใช้ และแบบรวมศูนย์ (Centralized) ที่มีกลไกควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณที่กำหนดโดยสถานีฐาน นอกจากนี้โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางยังสามารถแบ่งตามวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ใช้ได้ 2 ประเภท คือ การเข้าถึงแบบที่ไม่มีการแข่งขัน (Contention free access) หรือการเข้าถึงตามที่กำหนด (Scheduled Access) มีหลักการการทำงานที่สำคัญ คือ ผู้ใช้ต้องได้รับอนุญาตให้เข้าถึงช่องสัญญาณจากสถานีฐานก่อนทำการส่งแพ็กเก็ต โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่จัดสรรการใช้ช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ทุกคน และการเข้าถึงแบบที่มีการแข่งขัน (Contention based access) หรือการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access) มีหลักการการทำงานที่สำคัญ คือ ผู้ใช้จะมีกลไกในการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยตนเอง โดยอาจจะอาศัยข่าวสารหรือสัญญาณจากสถานีฐาน ตามโครงสร้างการทำงานของแต่ละโปรโตคอล นอกจากนี้โปรโตคอลแต่ละประเภท ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง

2.1.1 การเข้าถึงแบบที่ไม่มีการแข่งขัน (Contention Free Access)

โพรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ในประเภทการเข้าถึงแบบที่ไม่มีการแข่งขันนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

2.1.1.1 โพรโตคอลที่มีการจัดสรรคงตัว (Fixed Assignment Protocols)

ลักษณะที่สำคัญของโพรโตคอลกลุ่มนี้ คือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเป็นของตนเองตลอดเวลาการใช้งาน ทำให้เมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้มีความต้องการส่งข้อมูล จะสามารถส่งไปบนช่องสัญญาณของตนได้ทันที โดยไม่มีการแย่งชิงกับผู้ใช้อื่น จนกว่าการส่งข้อมูลจะแล้วเสร็จและยกเลิกการใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อให้สถานีฐานสามารถนำช่องสัญญาณที่ว่างไปจัดสรรให้กับผู้ใช้อื่นได้ต่อไป

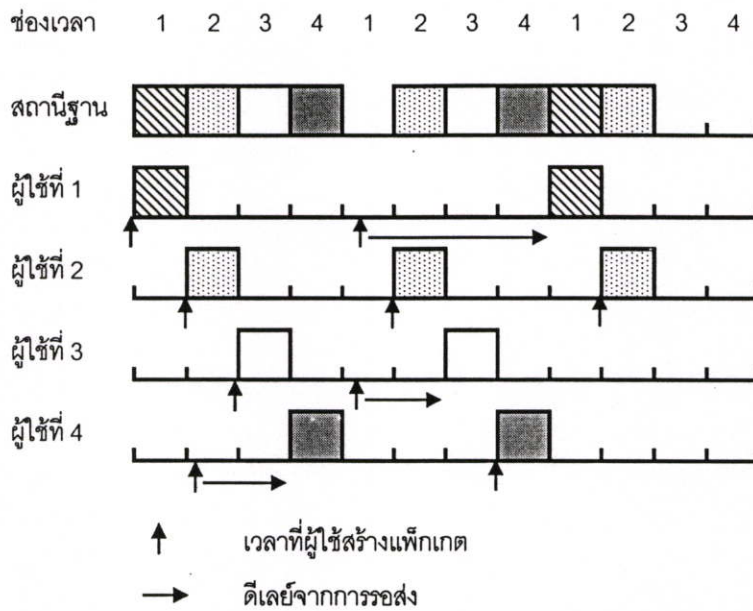
ข้อดีของโพรโตคอลประเภทนี้ คือ ผู้ใช้แต่ละคนมีช่องสัญญาณเป็นของตนเอง ทำให้ไม่เกิดการชนกันของข้อมูลบนช่องสัญญาณและสามารถควบคุมคุณภาพการให้บริการได้ ซึ่งระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อจำนวนผู้ใช้ในโครงข่ายเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณที่มีในระบบ และผู้ใช้มีข้อมูลที่ต้องการส่งอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เช่น แพ็กเก็ตเสียง ที่มีลักษณะของแพ็กเก็ตเป็นแบบเบิรสต์

อย่างไรก็ตาม วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนแบบคงตัว โดยไม่พิจารณาถึงปริมาณและช่วงเวลาของความต้องการส่งข้อมูลนั้น นับว่าเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากในบางเวลาที่ผู้ใช้ไม่ต้องการส่งข้อมูล หรือไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่งในขณะใดขณะหนึ่ง จะทำให้เกิดการสูญเสียการใช้งานช่องสัญญาณไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะช่องสัญญาณที่ถูกจัดสรรให้กับแต่ละผู้ใช้นั้น จะไม่สามารถนำไปใช้รองรับทราฟฟิกของผู้ใช้อื่นได้ นอกจากนี้จำนวนผู้ใช้ที่ระบบสามารถอนุญาตให้ทำการส่งข้อมูลได้พร้อมกัน จะไม่เกินจำนวนช่องสัญญาณที่มีในระบบ ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานในโครงข่ายแพ็กเก็ตที่มีผู้ใช้เป็นจำนวนมากได้ ซึ่งตัวอย่างของโพรโตคอลที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ โพรโตคอล TDMA และ โพรโตคอล FDMA และโพรโตคอล CDMA เป็นต้น

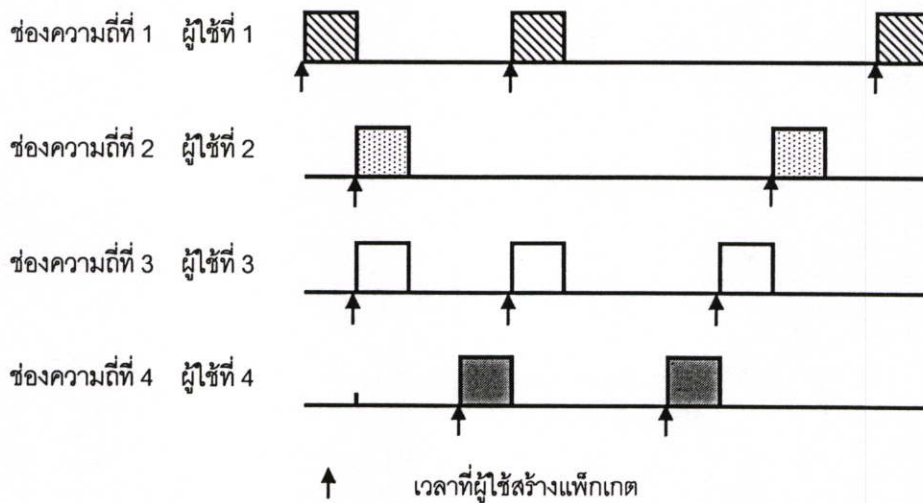
ลักษณะการทำงานของโพรโตคอล TDMA (Time Division Multiple Access) ที่สำคัญ คือ การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลา (time slot) โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่ในการจัดสรรช่วงเวลาให้กับผู้ใช้แต่ละคนที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อผู้ใช้ได้รับการจัดสรรช่วงเวลาจากสถานีฐานแล้ว จะสามารถทำการส่งข้อมูลได้จนกว่าผู้ใช้จะยกเลิกการใช้งานช่องเวลานั้น ดังนั้น หากผู้ใช้สร้างแพ็กเก็ตในอัตราที่ไม่คงที่หรือจังหวะการสร้างข้อมูลไม่ตรงกับช่วงเวลาที่ได้รับ การจัดสรร จะทำให้เกิดดีเลย์จากการรอส่งแพ็กเก็ตบนช่วงเวลาของตนเองขึ้น นอกจากนี้ในช่องเวลาที่ไม่มี การส่งแพ็กเก็ตของผู้ใช้ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้ช่องเวลานั้น ช่องเวลาดังกล่าวจะไม่สามารถใช้รองรับ

การส่งแพ็กเก็ตของผู้ใช้อื่นที่ต้องการส่งข้อมูลได้ ซึ่งหลักการทำงานของโปรโตคอล TDMA ดังรูปที่

2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล TDMA

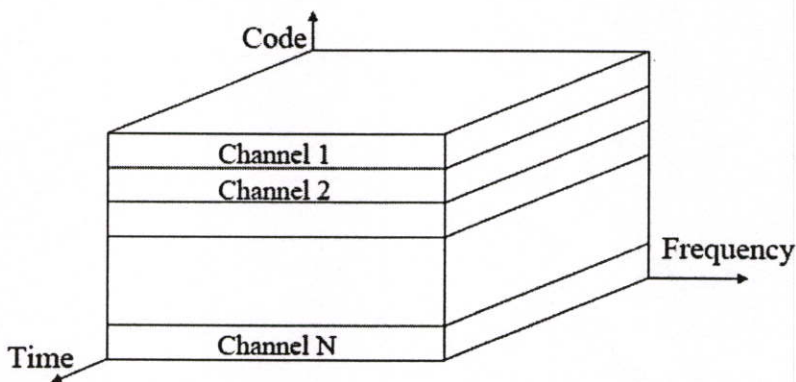


รูปที่ 2.3 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล FDMA

ลักษณะการทำงานของโปรโตคอล FDMA (Frequency Division Multiple Access) ที่สำคัญคือ การแบ่งแถบความถี่ที่ได้ทำการจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานออกเป็นช่องความถี่ (frequency channel) ที่มีขนาดตามระบบใช้งาน โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่ในการจัดสรรช่องความถี่ให้กับผู้ใช้แต่ละคนที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อผู้ใช้ได้รับการจัดสรรช่องความถี่จากสถานีฐาน

แล้ว จะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ต้องการจนกว่าผู้ใช้จะทำการยกเลิกการใช้งานของความถี่นั้น ดังนั้นเมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล จะสามารถส่งข้อมูลของตนได้ทันที จึงทำให้ไม่เกิดดีเลย์จากการรอส่งแพ็กเก็ตขึ้น ซึ่งโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล FDMA ดังรูปที่ 2.3

ลักษณะการทำงานของโปรโตคอล CDMA (Code Division Multiple Access) คือ การกำหนดช่องสัญญาณด้วยการใช้รหัส โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อผู้ใช้ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณจากสถานีฐานแล้ว ก็จะสามารถทำการส่งข้อมูลบนช่องสัญญาณได้ตลอดเวลาที่ต้องการ โดยการเข้ารหัสข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปด้วยรหัสตามช่องสัญญาณที่ได้รับการจัดสรรจากสถานีฐาน และสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้จนกว่าผู้ใช้จะยกเลิกการใช้งานของช่องสัญญาณนั้น ซึ่งผู้ใช้ในระบบนี้สามารถส่งข้อมูลของตนได้ทันที ทำให้ไม่เกิดดีเลย์จากการรอส่งแพ็กเก็ตเกิดขึ้น เช่นเดียวกับโปรโตคอล FDMA และการที่ระบบไม่มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องความถี่หรือช่องเวลา ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้ตลอดทั้งย่านความถี่ จึงทำให้ระบบนี้สามารถรองรับอัตราเร็วข้อมูลที่สูงกว่าระบบ TDMA และ FDMA อย่างไรก็ตามการที่ผู้ใช้ทุกคนทำการส่งข้อมูลโดยใช้ย่านความถี่เดียวกันหมดส่งผลให้เกิดการรบกวนกันของข้อมูลบนช่องสัญญาณขึ้น ทำให้สถานีฐานต้องมีโครงสร้างการทำงานในการถอดรหัสข้อมูลเพื่อแยกข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกจากกัน ดังนั้นระดับการรบกวนกันของข้อมูลบนช่องสัญญาณจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของโปรโตคอล CDMA



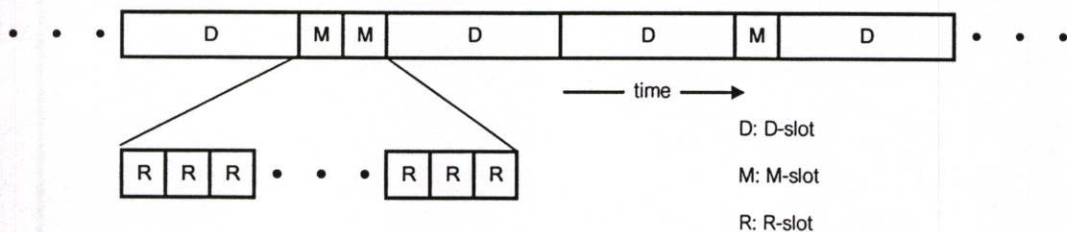
รูปที่ 2.4 การแบ่งช่องสัญญาณของโปรโตคอล CDMA

2.1.1.2 โปรโตคอลที่มีการจัดสรรตามต้องการ (Demand Assignment Protocols)

จากข้อเสียของโปรโตคอลที่มีการจัดสรรคงตัว ที่มีการใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณไม่เต็มที่เมื่อผู้ใช้ไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่งในช่วงเวลาขณะใดขณะหนึ่ง จึงได้มีการปรับปรุงขึ้นเป็นโปรโตคอลที่มีการจัดสรรตามความต้องการของผู้ใช้ [1] โดยการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องเวลาร้องขอ (request slot) ที่มีขนาดเล็กเพื่อจัดสรรให้กับผู้ใช้แทนการกำหนดช่องสัญญาณแบบ

โปรโตคอลที่มีการจัดสรรคงตัว และเมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล จะต้องส่งสัญญาณผ่านช่องเวลาร้องขอเหล่านี้ก่อน โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่ในการจัดสรรของสัญญาณให้กับผู้ใช้ตามความต้องการ ซึ่งทำให้การจัดสรรของสัญญาณมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะเป็นการจัดสรรของสัญญาณตามพฤติกรรมกรรมการส่งข้อมูลของผู้ใช้ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของช่องสัญญาณ (Channel utilization) เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ คือ โปรโตคอล Bit Map [2, 3]

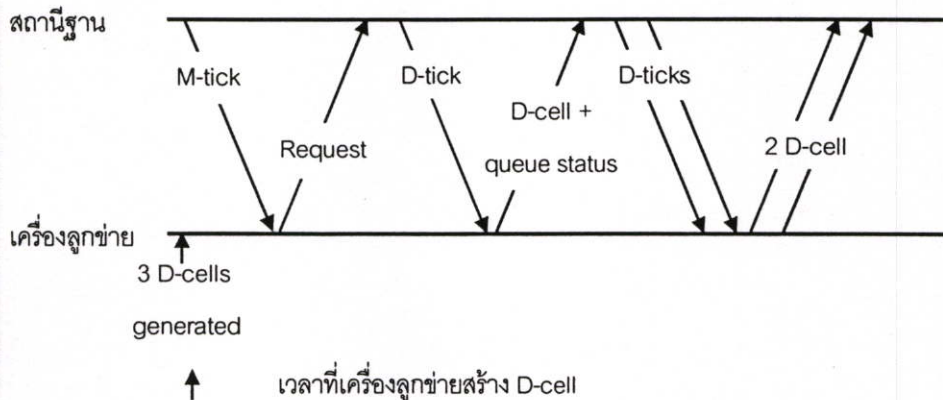
โปรโตคอล Bit Map เป็นโปรโตคอลที่มีการควบคุมแบบกระจาย [2] และต่อมาได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นโปรโตคอลที่มีการควบคุมแบบรวมศูนย์ [3] มีลักษณะการทำงานที่สำคัญคือ การแบ่งข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นออกเป็น 2 ช่อง ประกอบด้วย ช่องข้อมูล (Data slot) เรียกว่า D-slot และช่องควบคุมการเข้าถึงหลายทาง (Mac slot) เรียกว่า M-slot ซึ่งมีขนาดคงที่ โดยที่ D-slot มีขนาดเป็นจำนวนเท่าของ M-slot และภายใน M-slot ยังถูกแบ่งออกเป็นช่องร้องขอ (request slot) ขนาดเล็กจำนวนมากเรียกว่า R-slot ที่มีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.5 โดยมีสถานีฐานทำหน้าที่ในการจัดสรรลำดับของ D-slot และ M-slot ด้วยการส่งสัญญาณเวลาที่ เป็นแพ็กเก็ตขนาดเล็กไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านข่ายเชื่อมโยงขาลง ที่ประกอบด้วย สัญญาณเวลาควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ที่เรียกว่า M-tick และสัญญาณเวลาการส่งข้อมูล เรียกว่า D-tick เพื่อแสดงจุดเริ่มต้นของช่องข้อมูลหรือช่องควบคุมการเข้าถึงลำดับต่อไป



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเฟรมของโปรโตคอล Bit Map [3]

เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกแบ่งออกเป็นก้อน ๆ ให้มีขนาดเท่ากับ D-slot เรียกว่า D-cell และถูกเก็บไว้ในแถวคอยของอุปกรณ์ จากนั้นผู้ใช้จะรอสัญญาณ M-tick จากสถานีฐานเพื่อเริ่มทำการร้องขอการจัดสรร D-slot โดยการส่งสัญญาณร้องขอผ่านช่องร้องขอ R-slot ซึ่งสัญญาณร้องขอที่ส่งออกไปนั้น คือ Bit Map ที่มีความยาวเท่ากับ 1 บิต เมื่อสถานีฐานได้รับการร้องขออย่างถูกต้องแล้ว จะทำการจัดสรรของสัญญาณ D-slot ด้วยการส่ง D-tick ให้กับผู้ใช้ที่ทำการร้องขอการใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเริ่มทำการส่ง D-cell ได้ใน D-slot ต่อไป และในทุก D-cell ที่ผู้ใช้ทำการส่งออกไป อุปกรณ์จะทำการบรรจุลำดับของแถวคอยลงไปด้วย เพื่อแจ้งให้สถานีฐานทราบถึงจำนวน D-cell ที่เหลืออยู่ในแถวคอยของอุปกรณ์ จากนั้นสถานี

ฐานจะทำการจัดสรร D-tick ให้ผู้ใช้เท่ากับจำนวน D-cell ที่เหลืออยู่ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่ง D-cell ได้ทั้งหมด ซึ่งขั้นตอนการส่ง D-cell ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย

แม้ว่าโปรโตคอลที่มีการจัดสรรตามต้องการ จะมีการใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณสูงกว่าการจัดสรรคงตัว แต่การร้องขอให้สถานีฐานทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ทุกครั้งที่ต้องการส่งข้อมูล ส่งผลให้เกิดดีเลย์ในการเข้าถึงช่องสัญญาณ (channel delay access) และข้อมูลส่วนที่ใช้ในการควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนกันระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานในขณะที่มีการร้องขอของข้อมูล ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

2.1.2 การเข้าถึงแบบที่มีการแข่งขัน (Contention Based Access)

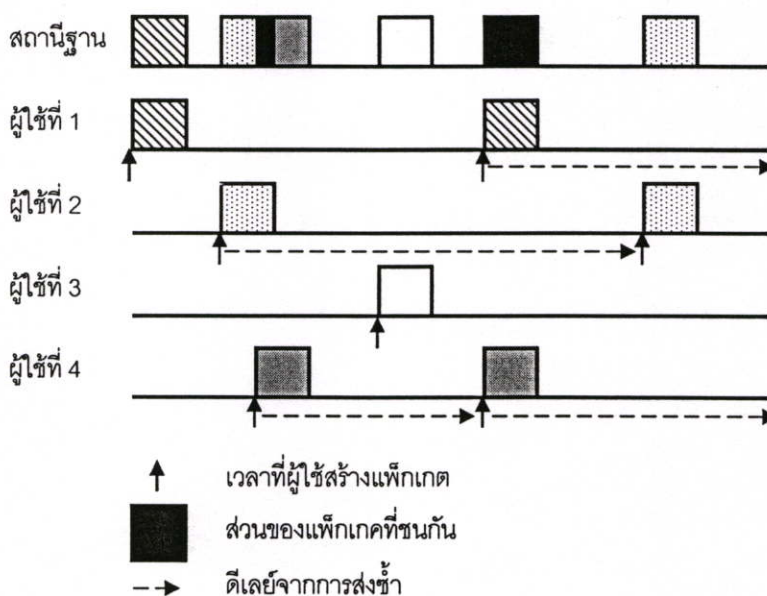
โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทาง ในประเภทการเข้าถึงแบบที่มีการแข่งขันนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

2.1.2.1 การเข้าถึงแบบสุ่มซ้ำ (Repeat Random Access)

ลักษณะที่สำคัญของโปรโตคอลกลุ่มนี้ คือ ผู้ใช้ทุกคนในระบบจะใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล จะทำการเข้าถึงช่องสัญญาณตามโครงสร้างการทำงานของแต่ละโปรโตคอล ตัวอย่างของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ เช่น ALOHA, slotted ALOHA, CSMA, BTMA, MACA, FAMA และ ISMA เป็นต้น

โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางแรกในกลุ่มนี้ที่ถูกพัฒนาขึ้น คือ โปรโตคอล ALOHA [4-9] เพื่อให้ควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณวิทยุสื่อสารของเครื่องลูกข่ายในมหาวิทยาลัยฮาวาย และต่อมาได้มีการพัฒนาโดยแบ่งออกเป็น 2 โปรโตคอล คือ โปรโตคอล Pure ALOHA และโปรโตคอล Slotted ALOHA เพื่อให้มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น

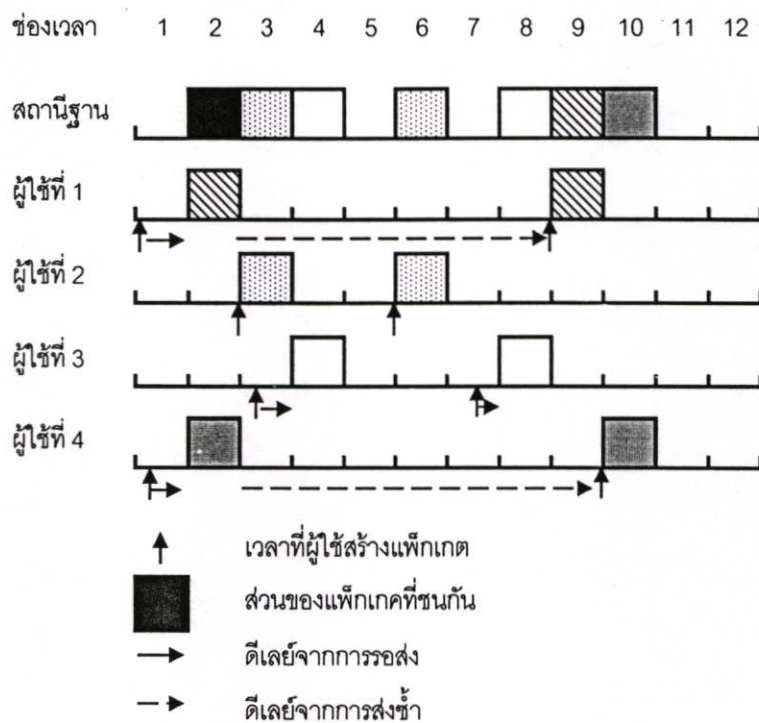
ลักษณะการทำงานของโปรโตคอล Pure ALOHA คือ การที่ผู้ใช้ทำการส่งแพ็กเก็ตออกไปทันทีที่ต้องการ โดยไม่มีการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณก่อน จึงทำให้ไม่เกิดดีเลย์จากการรอการส่งบนช่องสัญญาณ และการที่โปรโตคอลนี้ไม่มีกลไกควบคุมการชนกันของแพ็กเก็ตบนช่องสัญญาณ ดังนั้น หากมีเครื่องลูกข่ายตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป ต้องการส่งแพ็กเก็ตในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน จะส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้น และเมื่อปริมาณทราฟฟิกเพิ่มสูงขึ้น การชนกันของแพ็กเก็ตจะยิ่งเกิดมากขึ้นด้วย ซึ่งโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ALOHA ดังรูปที่ 2.7



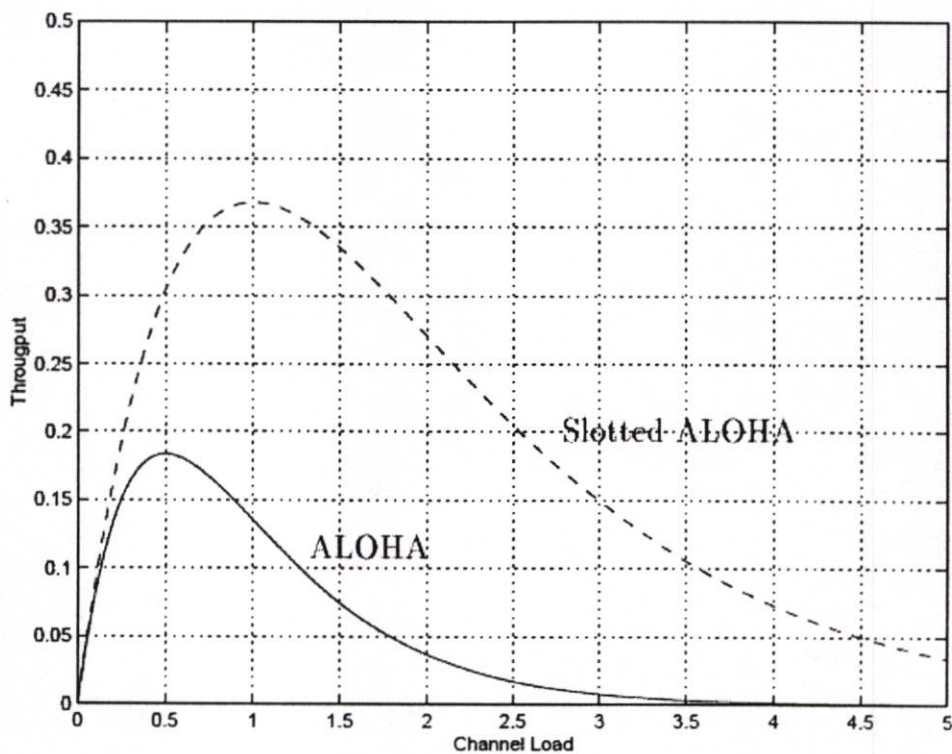
รูปที่ 2.7 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ALOHA

หลังจากเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต ผู้ใช้ทุกคนที่ส่งแพ็กเก็ตต้องทำการสุ่มเวลาการส่งแพ็กเก็ตเดิมซ้ำจนกว่าการส่งแพ็กเก็ตนั้นจะสำเร็จ ซึ่งเวลาที่สุ่มซ้ำจะมีค่ามากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต เพื่อลดโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเดิมซ้ำอีก จึงทำให้เกิดดีเลย์จากการส่งแพ็กเก็ตซ้ำขึ้นในการทำงาน และส่งผลให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบลดลง

โปรโตคอล Slotted ALOHA [6-13] เป็นโปรโตคอลที่ถูกปรับปรุงขึ้นจากโปรโตคอล ALOHA ด้วยการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลา (time slot) ที่มีขนาดเท่ากับเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต และกำหนดให้ผู้ใช้ทำการส่งแพ็กเก็ต ณ จุดเริ่มต้นของช่วงเวลาเท่านั้น ทำให้เกิดดีเลย์จากการรอส่งขึ้น ดังนั้นการชนกันของแพ็กเก็ตจึงเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาเท่านั้น ทำให้ช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตจึงลดลง โดยมีค่าเท่ากับขนาดของช่วงเวลา ซึ่งโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล Slotted ALOHA ดังรูปที่ 2.8



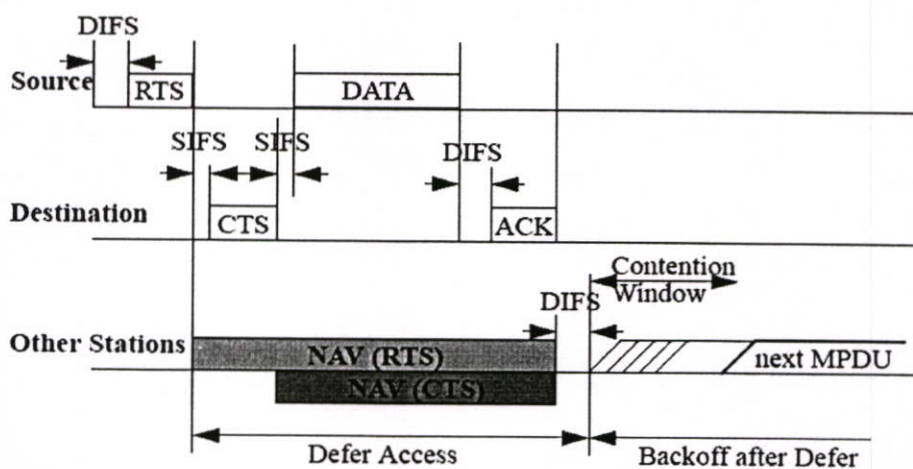
รูปที่ 2.8 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล Slotted ALOHA



รูปที่ 2.9 แสดงค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ALOHA และ Slotted ALOHA [6]

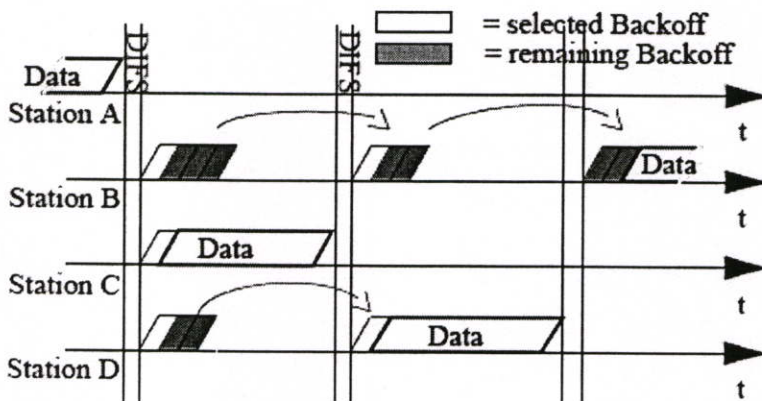
อย่างไรก็ตามโปรโตคอล Slotted ALOHA ยังไม่มีกลไกที่ใช้ในการควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณที่สามารถป้องกันการชนกันของแพ็กเก็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดดีเลย์จากการส่งซ้ำขึ้น ดังนั้น ความจุสูงสุดของระบบ (system capacity) จึงเพิ่มขึ้นเป็น 36.8% [6] จากโปรโตคอล Pure ALOHA ที่มี ความจุสูงสุดของช่องสัญญาณเพียง 18.6% ดังรูปที่ 2.9

โปรโตคอล CSMA (Carrier Sense Multiple Access) [14] มีลักษณะการทำงานที่สำคัญคือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณก่อน เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งแพ็กเก็ตชนกับผู้ใช้ที่กำลังส่งแพ็กเก็ตบนช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตามการชนกันของแพ็กเก็ตยังสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผู้ใช้ตั้งแต่ 2 รายขึ้นไป ตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน จึงเริ่มทำการส่งแพ็กเก็ตและทำให้เกิดการชนขึ้น นอกจากนี้ปัญหาการชนของเครื่องลูกข่ายที่เกิดขึ้นในสภาวะการทำงานของระบบ และยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมรรถนะของระบบลดลง เนื่องจากเครื่องลูกข่ายที่ถูกชน ไม่สามารถตรวจจับการใช้งานช่องสัญญาณของผู้ใช้ที่กำลังส่งแพ็กเก็ตได้ ดังนั้นโปรโตคอล CSMA จึงได้ถูกปรับปรุงเพื่อเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การพัฒนากระบวนการในการตรวจจับการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้น เป็นโปรโตคอล ISMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) [15] โดยผู้ใช้ที่กำลังส่งแพ็กเก็ตจะหยุดทำการส่งทันทีที่ตรวจสอบพบการชนกันบนช่องสัญญาณ เพื่อให้ช่องสัญญาณกลับสู่สภาวะปกติโดยเร็ว และการพัฒนากระบวนการในการหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ต เป็นโปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [16] ซึ่งถูกใช้เป็นมาตรฐานของ IEEE 802.11 [17, 18] แบบ DCF (Distributed Coordination Function) เรียกว่า DFWMAC (Distributed Foundation Wireless Medium Access Control) [19, 20] โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้ก่อนเริ่มทำการส่งข้อมูล



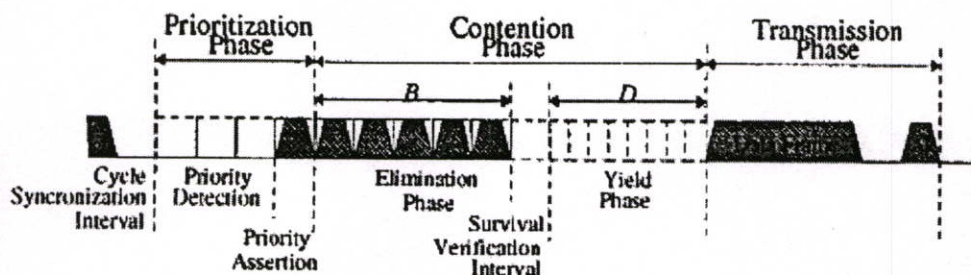
รูปที่ 2.10 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล DFWMAC [19]

โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล DFWMAC ดังรูปที่ 2.10 โดยผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูล ต้องทำการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณก่อน หากพบว่าช่องสัญญาณมีการใช้งานอยู่ ต้องรอจนช่องสัญญาณว่างก่อนและจะต้องรอต่อไปเป็นระยะเวลาเท่ากับ DIFS (Distributed InterFrame Space) จึงจะสามารถทำการสุ่มเลือกช่วงเวลาที่อยู่ภายในหน้าต่างการแข่งขันได้ (contention window) ถ้าหากไม่มีผู้ใช้อื่นทำการส่งข้อมูลก่อนช่วงเวลาที่สามารถสุ่มได้ การส่งข้อมูลก็จะเริ่มขึ้นโดยทันที ด้วยการส่งแพ็กเก็ต RTS เพื่อร้องขอการส่งข้อมูลไปยังผู้รับปลายทาง เมื่อผู้รับปลายทางได้รับแพ็กเก็ต RTS แล้ว จะรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ SIFS (Short InterFrame Space) เพื่อให้แน่ใจว่ามีการร้องขอการส่งจากผู้ใช้เพียงคนเดียว จากนั้นจึงทำการตอบกลับด้วยแพ็กเก็ต CTS เมื่อผู้ส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS แล้ว จะรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ SIFS เช่นเดียวกันก่อนเริ่มการส่งแพ็กเก็ต เมื่อผู้ส่งทำการส่งข้อมูลทั้งหมดแล้ว ผู้ใช้จะรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ DIFS ซึ่งมีระยะเวลา มากกว่า SIFS เพื่อให้แน่ใจว่าสิ้นสุดการส่งข้อมูลแล้ว จึงจะทำการส่งแพ็กเก็ต ACK (Acknowledgement) ออกไป เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ ผู้ใช้คนอื่นที่สามารถจับแพ็กเก็ต RTS และ CTS ได้ จะทำการอ่านเวลาที่อยู่ในแพ็กเก็ตเพื่อใช้อ้างอิงช่วงเวลา ที่ช่องสัญญาณถูกใช้งาน เรียกว่า NAV (Network Allocation Vector) โดยจะไม่ดำเนินการใด ๆ ในเวลานี้ ในกรณีที่ไม่มีผู้ใช้อื่นทำการสุ่มเลือกช่วงเวลาได้ในลำดับก่อนหน้า ผู้ใช้ที่เหลือทั้งหมด จะต้องหยุดการนับถอยหลังและรอจนกว่าการส่งข้อมูลนี้จะสิ้นสุด จึงจะเริ่มรอด้วยระยะเวลา DIFS อีกครั้ง ก่อนที่จะทำการนับถอยหลังต่อด้วยช่วงเวลาที่เหลืออยู่จากการสุ่มในหน้าต่างการแข่งขันครั้งก่อน ดังรูปที่ 2.11 อย่างไรก็ตามการชนกันของแพ็กเก็ตสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผู้ใช้ตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป สุ่มเลือกช่วงเวลาของหน้าต่างการแข่งขันเดียวกัน นอกจากนี้จำนวนแพ็กเก็ตที่เพิ่มขึ้นจากการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS ส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง



รูปที่ 2.11 โครงสร้างการนับถอยหลังของโปรโตคอล DFWMAC [20]

โปรโตคอล EY-NPMA (Elimination Yield-Non Preemptive Priority Multiple Access) เป็นโปรโตคอลที่ปรับปรุงขึ้นจากโปรโตคอล CSMA ที่ใช้เป็นมาตรฐานของ HYPERLAN [20-22] โดยสามารถแบ่งกลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณออกเป็น 3 เฟส ประกอบด้วย เฟสการจัดลำดับ (Priority Resolution Phase) เฟสการแข่งขัน (Contention Phase) และเฟสการส่ง (Transmission Phase) ดังรูปที่ 2.12

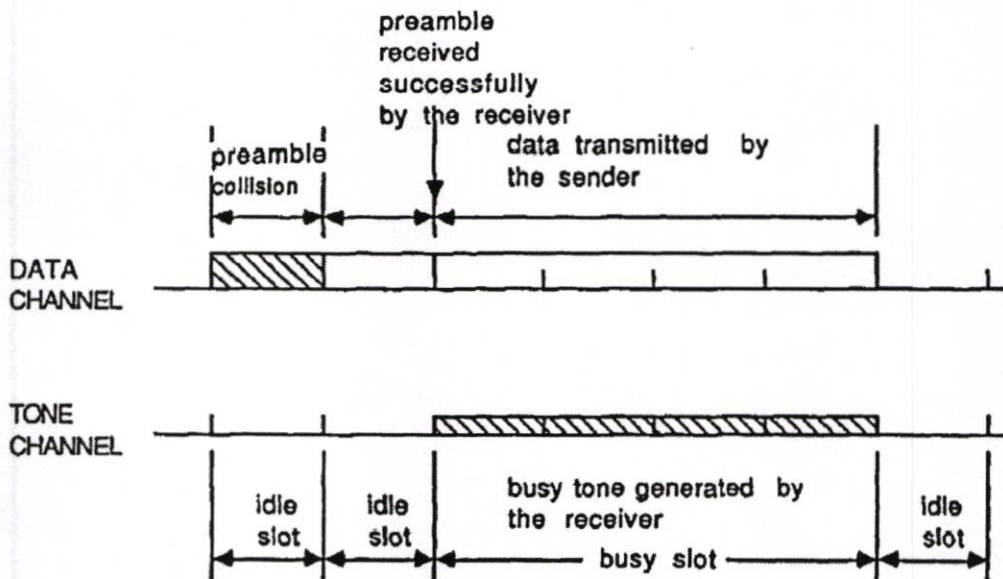


รูปที่ 2.12 ไซเคิลการเข้าถึงที่มีการชิงโครไนส์ของโปรโตคอล EY-NPMA [21]

เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูลจะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อน หากพบว่าช่องสัญญาณว่าง ผู้ใช้จะเข้าสู่เฟสการส่งโดยการส่งข้อมูลทันที ทำให้ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS ที่อัตราการบ่อนทรอฟิกต่ำ ๆ และในกรณีที่ตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณถูกใช้งาน ผู้ใช้ทุกคนจะรอจนกระทั่งการใช้งานช่องสัญญาณสิ้นสุดลงและจะเข้าสู่เฟสการจัดลำดับ โดยการส่งแพ็กเก็ตเบิรส์เพื่อให้ระบบทำการจัดลำดับความสำคัญ โดยระบบจะพิจารณาจากค่า NRML (Normalized Residual MPDU Lifetime) ของแพ็กเก็ต โดยแพ็กเก็ตเบิรส์ของผู้ใช้ที่มีค่า NRML สูง เช่น มากกว่า 80 ms [21] จะมีความสำคัญน้อยที่สุด ส่วนแพ็กเก็ตเบิรส์ของผู้ใช้ที่มีค่า NRML ต่ำ เช่น น้อยกว่า 10 ms [21] จะมีความสำคัญมากที่สุด ดังนั้น ผู้ใช้ทุกคนที่มีความสำคัญมากที่สุดที่ต้องการส่งข้อมูลในไซเคิลนี้จะสามารถผ่านเข้าสู่เฟสการแข่งขันได้ ในขณะที่ผู้ใช้ที่มีความสำคัญรองลงมาจะหยุดการเข้าถึงช่องสัญญาณและรอทำการเข้าถึงใหม่ในไซเคิลต่อไป ในเฟสการแข่งขันประกอบด้วย 2 เฟส คือ เฟสการกำจัด (Elimination Phase) และเฟสการยกให้ (Yield Phase) ซึ่งผู้ใช้ที่รอดจากเฟสการจัดลำดับจะทำการส่งแพ็กเก็ตเบิรส์ต่อเนื่องกันเป็นเวลาเท่ากับระยะเวลาที่ทำการสุ่มขึ้น จากนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะตรวจสอบช่องสัญญาณอีกครั้ง หากพบว่ามี การส่งแพ็กเก็ตเบิรส์จากผู้อื่น ๆ อยู่ ผู้ใช้นั้นจะหยุดการเข้าถึงช่องสัญญาณและออกจากเฟสการกำจัดทันที ดังนั้นจะเหลือผู้ใช้อย่างน้อย 1 คนที่สามารถเข้าสู่ช่วงการยืนยันการอยู่รอด (Survival Verification Interval) และเข้าสู่เฟสการยกให้ได้ ในเฟสการยกให้ผู้ใช้ที่เหลือจากเฟสกำจัดจะสุ่มระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบช่องสัญญาณขึ้น เมื่อถึงเวลาตรวจสอบช่องสัญญาณและพบว่า

ช่องสัญญาณว่าง การส่งข้อมูลจึงจะเริ่มขึ้น ส่วนผู้ใช้ที่เหลือจะออกจากเฟสการยกให้เมื่อตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณถูกใช้งานไปแล้ว และรอเข้าสู่ไซเคิลการเข้าถึงที่มีการชิงโครโนสต่อไป

โปรโตคอล BTMA (Busy Tone Multiple Access) [23] เป็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อป้องกันปัญหาการชนของเครื่องลูกข่าย (hidden terminal problem) โดยมีโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอลคือ การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่อง ประกอบด้วย ช่องข้อมูล และช่องเสียง ซึ่งใช้สำหรับส่งเสียงใช้งาน (busy tone) และเป็นช่องที่แยกต่างหากจากช่องข้อมูล (out of band signal) และเมื่อผู้ใช้ใดก็ตามได้ยินเสียงใช้งานจากผู้ส่ง ก็จะทราบว่ามีมีการใช้งานช่องสัญญาณเกิดขึ้น ผู้ใช้เหล่านี้จะทำการส่งเสียงใช้งานออกไปยังผู้ใช้อื่น ๆ อีกต่อหนึ่ง เมื่อผู้ใช้อื่นได้ยินเสียงใช้งานก็จะไม่ทำการส่งข้อมูลของตนเองออกมา ดังนั้นผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ภายในรัศมีเท่ากับ $2R$ ของผู้ส่ง จะถูกห้ามไม่ให้ทำการส่งข้อมูลในขณะที่ได้รับเสียงใช้งาน โดยที่ R คือ รัศมีของสัญญาณเสียงใช้งานที่ส่งออกมาจากผู้ส่ง



รูปที่ 2.13 สถานะบนช่องสัญญาณของ RIBTMA [24]

โปรโตคอล RIBTMA (Receiver Initiated Busy Tone Multiple Access) [24] เป็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาการชนของเครื่องลูกข่ายเช่นเดียวกับโปรโตคอล BTMA ต่างกันตรงที่ผู้รับจะทำหน้าที่ในการส่งเสียงใช้งานออกมาแทนผู้ส่ง ซึ่งหลักการทำงานของโปรโตคอลนี้ คือ ผู้ส่งจะทำการส่งแพ็กเก็ตเริ่มต้น (preamble packet) ออกไปยังผู้รับปลายทางที่ต้องการ เมื่อผู้รับได้รับแพ็กเก็ตเริ่มต้นอย่างถูกต้องแล้ว จะทำการส่งเสียงใช้งานออกมายังผู้ส่ง เพื่อแจ้งสถานะของช่องสัญญาณและรอรับข้อมูลจากผู้ส่ง เมื่อผู้ส่งได้รับเสียงใช้งานจากผู้รับแล้ว ผู้ส่งจะเริ่มทำการส่งข้อมูลออกไปทันที ดังนั้น หน้าที่ของสัญญาณเสียงใช้งานในโครงสร้างการ

ทำงานของโปรโตคอลนี้จึงมี 2 ประการคือ ทำหน้าที่ตอบรับการร้องขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณจากผู้ส่ง และทำหน้าที่ห้ามการส่งข้อมูลจากผู้ใช้อื่น ๆ ที่อยู่ภายในรัศมี R ของผู้รับ ซึ่งสถานะบนช่องสัญญาณของโปรโตคอล RIBTMA ดังรูปที่ 2.13

โปรโตคอล MACA (Multiple Accesses Collision Avoidance) [25] เป็นโปรโตคอลที่ใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS/ACK เพื่อแก้ปัญหาการชนของเครื่องลูกข่าย โดยมีลักษณะการทำงานที่สำคัญคือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลต้องทำการส่งแพ็กเก็ต RTS ที่มีขนาดเล็กออกไปยังผู้รับปลายทางก่อน เมื่อผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ภายในรัศมีการส่งของผู้ส่งได้รับแพ็กเก็ต RTS แล้ว จะทำการดีเลย์เวลาการส่งแพ็กเก็ต RTS ของตนเองออกไป เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งแพ็กเก็ตชนกัน ผู้รับจะตอบรับการขอส่งนี้ด้วยการส่งแพ็กเก็ต CTS (Clear To Send) ซึ่งผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ภายในรัศมีการส่งของผู้รับจะได้รับแพ็กเก็ต CTS นี้ จะทำการดีเลย์เวลาการส่งแพ็กเก็ต RTS ของตนเองออกไปเช่นเดียวกัน เมื่อผู้ส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS จากผู้รับแล้ว จะถือว่าได้รับอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณ และเริ่มทำการส่งข้อมูลทันที

อย่างไรก็ตามกลไกการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS นี้ ไม่สามารถแก้ปัญหาการชนของเครื่องลูกข่ายได้โดยสมบูรณ์ โดยทำได้เพียงแค่ป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขยายตัวออกไปเท่านั้น ด้วยเหตุนี้การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS จึงได้ถูกปรับปรุงขึ้นเป็นโปรโตคอล MACAW (Media Access Protocol for Wireless LAN) [26] และ FAMA (Floor Acquisition Multiple Access) [27, 28] นอกจากนี้การใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS เพื่อแก้ปัญหาการชนของเครื่องลูกข่าย จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมระหว่างการเพิ่มขึ้นของแพ็กเก็ตที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS กับการลดลงของเครื่องลูกข่ายที่ถูกชน

โปรโตคอล MACAW (Media Access Protocol for Wireless LAN) เป็นโปรโตคอลที่ใช้หลักการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS/DS/DATA/ACK เพื่อเข้าถึงช่องสัญญาณเช่นเดียวกับโปรโตคอล MACA โดยมีการเพิ่มแพ็กเก็ตชนิดใหม่เข้าไปในขั้นตอนการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต 2 แพ็กเก็ต คือ แพ็กเก็ต DS (Data Sending) และแพ็กเก็ต ACK (Acknowledgement) เมื่อผู้ส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS จากผู้รับปลายทางที่ต้องการแล้ว จะทำการส่งแพ็กเก็ต DS ก่อนเริ่มทำการส่งข้อมูลของตนเองออกไป ซึ่งแพ็กเก็ต DS นี้ จะทำหน้าที่แจ้งให้ผู้ใช้ที่อยู่บริเวณข้างเคียงทราบว่า การได้ตอบ RTS/CTS สำเร็จอย่างสมบูรณ์และการส่งข้อมูลกำลังจะเริ่มขึ้น ผู้ใช้ข้างเคียงจะตอบรับด้วยการส่งแพ็กเก็ต ACK ออกมาทันที เพื่อตอบรับการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ส่ง จากนั้นผู้ส่งจึงเริ่มทำการส่งข้อมูลออกไป

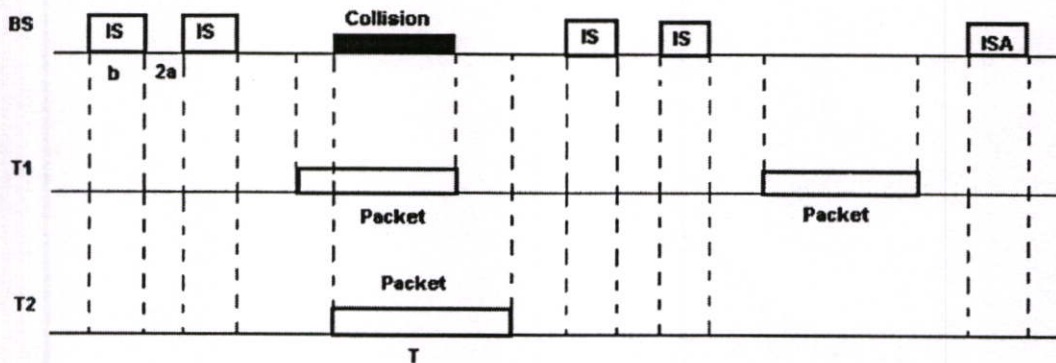
โปรโตคอล FAMA (Floor Acquisition Multiple Access) เป็นโปรโตคอลที่มีลักษณะการทำงานคือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลต้องพยายามยึดช่องสัญญาณให้ได้ก่อน โดยเริ่มจากการ

ตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณ และหากพบว่าช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งาน ผู้ใช้จะทำการสูมเวลานับถอยหลัง (backoff time) ขึ้นเพื่อรอให้ช่องสัญญาณว่าง เมื่อหมดเวลานับถอยหลังแล้ว ผู้ใช้จะเริ่มทำการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณใหม่อีกครั้ง หากพบว่าช่องสัญญาณว่าง ผู้ใช้จะทำการส่งแพ็กเก็ต RTS ออกไปยังผู้รับปลายทางและรอรับแพ็กเก็ต CTS จากผู้รับ ซึ่งระยะเวลา รอนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของระยะเวลา 1 รอบการเดินทางของแพ็กเก็ต (round-trip time) กับ ระยะเวลาที่ผู้รับใช้ในการสร้างแพ็กเก็ต CTS เพื่อส่งออกมา ถ้าผู้ใช้ที่ขอส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS ผิดพลาดหรือได้รับภายหลังจากหมดระยะเวลารอแล้ว ผู้ใช้จะเข้าสู่สถานะของการนับถอยหลังอีกครั้ง และเริ่มทำการตรวจสอบช่องสัญญาณใหม่ หากผู้ใช้ที่ขอส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS จากผู้รับ ปลายทางอย่างถูกต้องและอยู่ภายในช่วงเวลาระยะเวลารอ ผู้ใช้จึงจะเริ่มทำการส่งข้อมูลได้ และเพื่อไม่ให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ส่งข้อมูลใช้งานช่องสัญญาณนานเกินไป ระบบจึงกำหนดจำนวน แพ็กเก็ตสูงสุดที่สามารถส่งได้ต่อ 1 รอบของการใช้งานช่องสัญญาณไว้ ดังนั้นผู้ใช้ที่มีแพ็กเก็ตมากกว่าจำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดที่ระบบกำหนด ผู้ใช้นั้นจะต้องทำการยึดช่องสัญญาณให้ได้อีกเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้ครบทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรโตคอล FAMA ใช้ทั้งหลักการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณและหลักการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS เพื่อให้แน่ใจว่าได้รับสิทธิ์ในการใช้ช่องสัญญาณอย่างแน่นอน และสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้สำเร็จ ส่งผลให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล CSMA [27] อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผู้ใช้จะต้องเริ่มทำการตรวจสอบช่องสัญญาณใหม่ทุกครั้งที่เกิดปัญหาในการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS หรือตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณไม่ว่าง ทำให้เกิดดีเลย์จากการเข้าถึงช่องสัญญาณขึ้น

โปรโตคอล DBTMA (Dual Busy Tone Multiple Access) [29] เป็นโปรโตคอลที่ใช้ทั้งการโต้ตอบ RTS/CTS และการส่งเสียงใช้งาน 2 เสียง ผ่านช่องสัญญาณที่แยกออกต่างหากจากช่องข้อมูลเช่นเดียวกับโปรโตคอล BTMA และ RIBTMA เพื่อแจ้งสถานะของการใช้งานช่องสัญญาณให้ผู้ใช้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงทราบ เมื่อผู้ส่งพร้อมทำการส่งข้อมูล ผู้ส่งจะทำการส่งเสียงใช้ส่ง (Transmit Busy Tone) พร้อมกับส่งแพ็กเก็ต RTS ออกไปยังผู้รับ เมื่อผู้รับปลายทางได้รับแพ็กเก็ต RTS จากผู้ส่งแล้ว จะทำการส่งเสียงใช้รับ (Receive Busy Tone) พร้อมทั้งส่งแพ็กเก็ต CTS ออกมาและรอรับข้อมูลจากผู้ส่ง เมื่อผู้ส่งได้รับเสียงใช้รับและแพ็กเก็ต CTS จากผู้รับแล้ว การส่งข้อมูลของผู้ส่งจึงจะเริ่มขึ้น เสียงใช้รับที่ผู้รับส่งออกมานั้นทำหน้าที่คล้ายกับเสียงใช้งานของโปรโตคอล RIBTMA ซึ่งสามารถทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นจากการใช้เสียงใช้งานเพียงเสียงเดียว

โปรโตคอล ISMA (Idle Signal Multiple Access) [30] เป็นโปรโตคอลที่มีการควบคุมแบบรวมศูนย์ และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานกับระบบ TDD (Time Division Duplex) โดยมีชาย

เชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงเชื่อมโยงขาของสัญญาณเดียวกัน ในขณะที่ช่องสัญญาณว่าง สถานีฐานจะทำหน้าที่ในการแพร่กระจายสัญญาณว่างที่มีขนาดสั้น ๆ เรียกว่า IS (idle signal) ออกไปยังผู้ใช้ โดยทำการส่งออกไปเป็นช่วง ๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลาเท่ากับ $2a+b$ จนกว่าสถานะของช่องสัญญาณจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ด้วยการได้รับแพ็กเกตจากผู้ใช้ที่มีการส่งเข้ามา โดยที่ a เป็นผลรวมของระยะเวลาที่ใช้ใน 1 รอบการเดินทางของแพ็กเกตระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย กับค่าดีเลย์ของการเปลี่ยนโหมดการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งโดยปกติแล้วอุปกรณ์สื่อสารจะไม่สามารถทำหน้าที่ในการรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ และ b เป็นระยะเวลาในการส่งสัญญาณ IS เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าขณะนี้ช่องสัญญาณว่าง เมื่อผู้ใช้ทั้งหมดได้รับสัญญาณ IS จากสถานีฐานแล้ว ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูล จะทำการส่งแพ็กเกตออกไปด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ p และการชนกันของแพ็กเกตสามารถเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้ตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป ทำการส่งแพ็กเกตหลังจากที่ได้รับสัญญาณ IS เดียวกัน เมื่อการชนกันสิ้นสุดลง สถานีฐานจึงจะเริ่มทำการแพร่กระจายสัญญาณ IS ออกไปใหม่อีกครั้ง ในกรณีที่ผู้ใช้สามารถทำการส่งแพ็กเกตได้สำเร็จและสถานีฐานได้รับแพ็กเกตถูกต้อง สถานีฐานจะทำการแพร่กระจายสัญญาณ IS พร้อมกับการตอบรับการส่งแพ็กเกต เรียกว่า ISA (idle signal with acknowledgement) ออกมา เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าแพ็กเกตที่ส่งออกไปนั้น สถานีฐานรับได้สำเร็จและขณะนี้ช่องสัญญาณว่างแล้ว ดังนั้นการส่งแพ็กเกต ISA ของสถานีฐานจึงทำหน้าที่ทั้งการตอบรับการส่งและแจ้งสถานะของช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน ซึ่งโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ISMA ดังรูปที่ 2.14



2a: round trip propagation delay + switching delay.

b: length of an idle signal.

T: length of a packet.

T1, T2: two terminals.

BS: base station.

IS: idle signal

ISA: idle signal with acknowledgment.

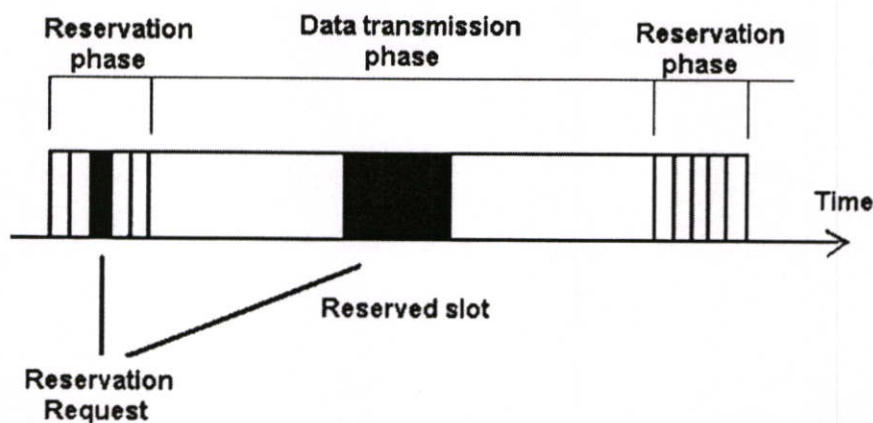
รูปที่ 2.14 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล ISMA [30]

จากรูปที่ 2.14 จะพบว่าการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่ไม่มีการแบ่งช่องสัญญาณ ออกเป็นช่วงเวลา ทำให้ระยะเวลาที่สามารถเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตมีค่าประมาณ 2 เท่าของ ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต เช่นเดียวกับโปรโตคอล ALOHA การชนกันของ แพ็กเก็ตจึงเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราทราฟฟิกเพิ่มขึ้น และในกรณีที่แพ็กเก็ตเกิดการชนกันขึ้น สถานีฐานจะ ไม่มีการตอบรับการส่งแพ็กเก็ต โดยจะทำการส่งเฉพาะสัญญาณ IS เพื่อแจ้งสถานะของ ช่องสัญญาณว่างเท่านั้น ทำให้ผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลออกไปนั้น จะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตเดิมซ้ำจนกว่า จะสามารถส่งได้สำเร็จ จึงทำให้เกิดการดีเลย์จากการส่งซ้ำขึ้น และส่งผลให้สมรรถนะของระบบ ลดลง

2.1.2.2 การเข้าถึงแบบสุ่มที่มีการสำรอง (Reservation Random Access)

ลักษณะที่สำคัญของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ คือ ผู้ใช้ทุกคนในระบบจะใช้ช่องสัญญาณ ร่วมกันเช่นเดียวกับการเข้าถึงแบบสุ่มซ้ำ และเมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล จะต้องทำการส่งสัญญาณ ร้องขอผ่านช่องร้องขอ (request slot) ไปยังสถานีฐานก่อน สถานีฐานจะทำหน้าที่ในการจัดสรร ช่องเวลาให้กับผู้ใช้ทุกรายที่ทำการร้องขอเข้ามาตามความเหมาะสม ตัวอย่างของโปรโตคอลที่อยู่ใน กลุ่มนี้ ได้แก่ R-ALOHA, R-ISMA และ PRMA เป็นต้น

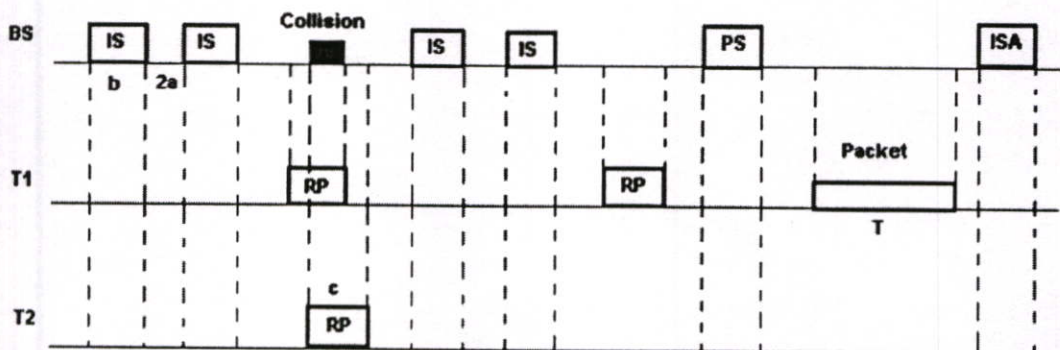
โปรโตคอล R-ALOHA (Reservation ALOHA) [31] ในช่วงแรกถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ใน ระบบดาวเทียมที่มีผู้ใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งต่อมาได้ถูกปรับปรุงขึ้นเพื่อใช้กับระบบวิทยุภาคพื้นดิน นอกจากนี้ยังถูกปรับปรุงขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานกับระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายอีกด้วย โดย ลักษณะการทำงานของโปรโตคอล R-ALOHA คือ การผสมผสานโครงสร้างการทำงาน ระหว่างโปรโตคอล Slotted ALOHA ที่มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลา กับโปรโตคอล TDMA ที่มีความยืดหยุ่นในการจัดสรรช่องเวลามากขึ้น โดยสามารถแบ่งลักษณะการทำงาน ออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสการสำรอง (Reservation Phase) และเฟสการส่งข้อมูล (Data Transmission Phase) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล R-ALOHA [31]

ลักษณะการทำงานในเฟสการสำรอง คือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ต RP (reservation packet) ซึ่งมีขนาดเล็กออกไปก่อน โดยไม่มีการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณว่าเป็นอย่างไร หลังจากที่ทำกรร้องขอช่องเวลาแล้ว ผู้ร้องขอจะทำการรอแพ็กเก็ตตอบรับที่สถานีฐานจะเป็นผู้ทำหน้าที่ส่งออกมา โดยในแพ็กเก็ตตอบรับจะบรรจุข่าวสารที่แจ้งตำแหน่งของช่องเวลาที่สถานีฐานได้ทำการจัดสรร เพื่อใช้ส่งข้อมูลของผู้ร้องขอในเฟสการส่งข้อมูล ซึ่งโครงสร้างการทำงานในเฟสการสำรองนี้ จะคล้ายกับโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล Slotted ALOHA ที่มีการส่งแพ็กเก็ตออกไปทันทีที่ต้องการ โดยไม่มีการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณก่อน ทำให้การชนกันที่เกิดขึ้นในระบบนี้ เป็นการชนกันของแพ็กเก็ต RP ที่ผู้ใช้ส่งออกมา และมีโอกาสเกิดการชนมากขึ้นเมื่ออัตราทราฟฟิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีกลไกในการควบคุมการชนกันของแพ็กเก็ต RP ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ

ลักษณะการทำงานในเฟสการส่งข้อมูล คือ ผู้ร้องขอที่ได้รับการจัดสรรช่องเวลาในเฟสการสำรองแล้วเท่านั้นจึงจะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ โดยผู้ร้องขออาจได้รับอนุญาตให้ทำการส่งข้อมูลได้หลายเฟรมตามที่ได้ร้องขอให้สถานีฐานทำการสำรองไว้ โดยผู้ร้องขอจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตเฉพาะช่องเวลาที่ได้รับการจัดสรรเท่านั้น ซึ่งวิธีการจัดสรรช่องเวลาลักษณะนี้คล้ายกับลักษณะการทำงานของโปรโตคอล TDMA ที่มีความยืดหยุ่นในการจัดสรรช่องเวลา โดยสถานีฐานจะทำหน้าที่ในการจัดสรรช่องเวลากับผู้ร้องขอ ทำให้ผู้ร้องขอที่ต้องการส่งข้อมูลและได้รับการสำรองช่องเวลาจากสถานีฐานแล้ว สามารถส่งข้อมูลในช่องเวลาของตนเอง โดยที่ไม่มีการแข่งขันกับผู้ใช้อื่นอีก



2a: round trip propagation delay + switching delay.

b: length of an idle signal.

T: length of a packet.

c: length of an RP.

T1, T2: two terminals.

BS: base station.

IS: idle signal

ISA: idle signal with acknowledgment.

RP: reservation packet.

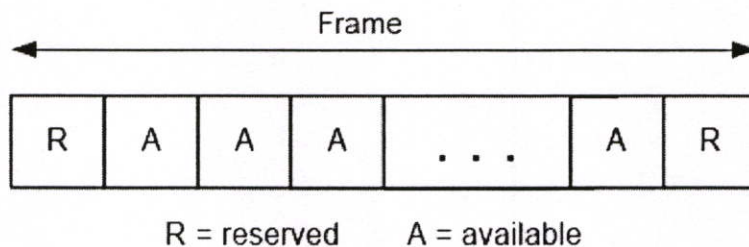
PS: polling signal.

รูปที่ 2.16 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล R-ISMA [32]

โปรโตคอล R-ISMA (Reservation Idle Sense Multiple Access) [32] เป็นโปรโตคอลที่มีการควบคุมแบบรวมศูนย์ และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานกับระบบ TDD (Time Division Duplex) เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA โดยลักษณะการทำงานที่สำคัญของโปรโตคอล R-ISMA คือ ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการสำรองช่องสัญญาณด้วยการส่งแพ็กเก็ตสั้น ๆ ที่เรียกว่า RP (Reservation Packet) หลังจากที่ได้รับสัญญาณ IS จากสถานีฐาน โดยมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโปรโตคอล ALOHA จึงทำให้เมื่ออัตราทราฟฟิกเพิ่มขึ้น โอกาสที่จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต RP จะมีเพิ่มขึ้นด้วย และในกรณีที่เกิดการชนกันขึ้น สถานีฐานจะทำการแพร่กระจายสัญญาณ IS ออกมา เพื่อให้ผู้ใช้ทำการส่งแพ็กเก็ต RP ใหม่ เมื่อสถานีฐานได้รับแพ็กเก็ต RP ถูกต้อง จะทำการตอบรับด้วยการส่งแพ็กเก็ต PS (Polling Signal) เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าสามารถทำการส่งข้อมูลได้ เมื่อผู้ใช้ได้รับแพ็กเก็ต PS แล้ว การส่งข้อมูลจึงจะเริ่มขึ้น และหลังจากที่สถานีฐานได้รับข้อมูลถูกต้องแล้ว จะยืนยันการส่งข้อมูลด้วยการส่งสัญญาณ IS ที่มีการตอบรับเรียกว่า ISA เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA ออกมา ซึ่งโครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล R-ISMA ดังรูปที่ 2.16

โปรโตคอล PRMA (Packet Reservation Multiple Access) [33-35] เป็นโปรโตคอลที่ปรับปรุงขึ้นมาจากโปรโตคอล R-ALOHA เพื่อให้สามารถรองรับการส่งแพ็กเก็ตเสียงในระบบเซลลูลาร์ได้ ซึ่งจัดว่าเป็นโปรโตคอลที่มีพื้นฐานการทำงานอยู่บนระบบ TDMA แต่จะมีการนำหลักการของการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องเวลามาประยุกต์เข้ากับโปรโตคอล TDMA เดิม เพื่อช่วยขจัดปัญหาการสูญเสียของสัญญาณในขณะที่ผู้ใช้ไม่มีความต้องการจะส่งข้อมูลออกไป

สำหรับลักษณะการทำงานที่สำคัญของโปรโตคอล PRMA คือ การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลาเช่นเดียวกับโปรโตคอล TDMA โดยที่ช่วงเวลาจำนวนหนึ่งจะถูกจัดรวมกันเป็นชุดในรูปของเฟรม ซึ่งช่วงเวลาแต่ละช่องจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งเท่านั้น ระหว่างสถานะสำรอง (reserved) และสถานะว่าง (available) ดังรูปที่ 2.17 โดยสถานีฐานจะทำหน้าที่ในการแพร่กระจายสถานะของช่วงเวลาแต่ละช่องผ่านข่ายเชื่อมโยงขาลง โดยบรรจุไว้ที่ส่วนท้ายของแต่ละช่วงเวลาเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ในระบบทั้งหมดทราบ

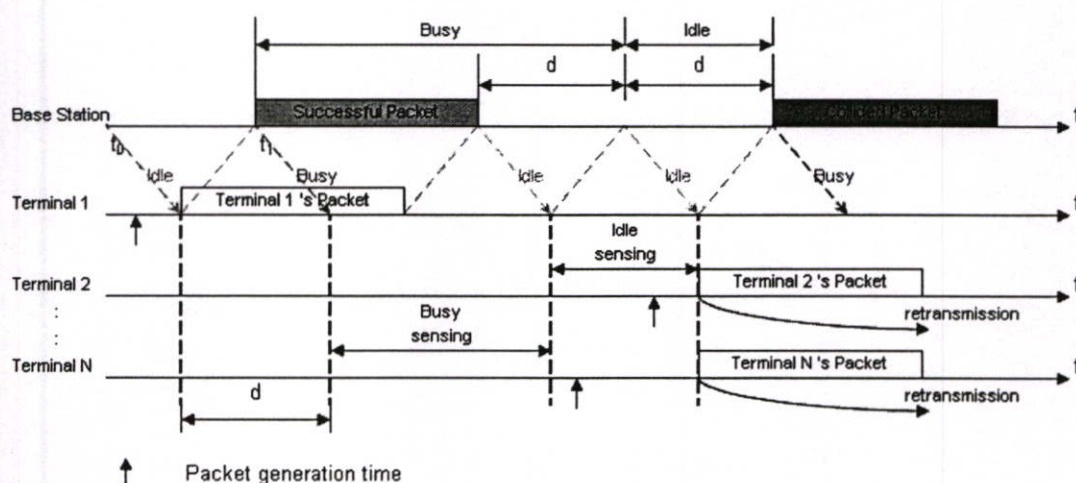


รูปที่ 2.17 โครงสร้างเฟรมของโปรโตคอล PRMA

เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูล และพบว่าไม่มีช่องเวลาที่อยู่ในสถานะว่าง ก็จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของตนออกไปในเวลานั้น เพื่อเป็นการร้องขอช่องเวลาจากสถานีฐาน โดยใช้ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโปรโตคอล Slotted ALOHA ซึ่งการที่ผู้ใช้จะได้รับอนุญาตให้ทำการส่งข้อมูลได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นของการอนุญาตให้ทำการส่ง (Transmission Permission Probability) ของระบบ และในกรณีที่ผู้ใช้มากกว่า 1 คน ทำการร้องขอใช้งานในช่องเวลาเดียวกัน จะถือว่าการชนกันขึ้นและจะไม่มีผู้ใช้คนใด ได้รับอนุญาตให้ใช้งานช่องเวลานั้น

2.2 โปรโตคอล ISMA

โปรโตคอล ISMA (Inhibit Sense Multiple Access) [36-41] ที่ใช้เป็นต้นแบบในการศึกษานี้ เป็นโปรโตคอลที่มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องเวลาและมีการส่งข้อมูลไม่คงที่ (Slotted non-persistent ISMA) ทำงานในระบบ FDD (Frequency Division Duplex) ซึ่งหลักการการทำงานของโปรโตคอล ISMA คือ สถานีฐานจะทำหน้าที่ในการแพร่กระจายสถานะของช่องสัญญาณผ่านสายเชื่อมโยงขาลง ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาประกอบด้วย สัญญาณว่าง (Idle signal) และสัญญาณใช้งาน (Busy signal) ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลในขณะที่ได้รับสัญญาณว่าง จะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ในช่องเวลาต่อไป และในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการส่งข้อมูลในขณะที่ได้รับสัญญาณใช้งาน (Busy signal) การส่งแพ็กเก็ตจะถูกห้าม จากนั้นผู้ใช้จะทำการสุ่มเวลาที่ทำการส่งแพ็กเก็ตใหม่อีกครั้ง โดยระยะเวลาสุ่มจะมีค่ามากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ตมาก เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตเดิม



รูปที่ 2.18 การทำงานของโปรโตคอล ISMA

จากรูปที่ 2.18 แสดงการทำงานของโปรโตคอล ISMA โดยเริ่มจากผู้ใช้ที่ 1 ทำการสร้างข้อมูลในขณะที่ได้รับสัญญาณว่างที่แพร่กระจายจากสถานีฐาน ดังนั้นผู้ใช้ที่ 1 จะสามารถทำการ

ส่งข้อมูลได้ที่จุดเริ่มของช่องสัญญาณต่อไป เมื่อสถานีฐานเริ่มรับแพ็กเก็ตจะทำการแพร่กระจายสัญญาณใช้งานออกมาทันที เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทั้งหมดทราบว่าช่องสัญญาณถูกใช้งานและห้ามไม่ให้ผู้อื่นทำการส่งในช่วงเวลานี้ จึงสามารถถือได้ว่าสัญญาณใช้งานที่สถานีฐานส่งออกมานั้น เป็นกลไกในการป้องกันปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตของระบบนั่นเอง โดยระยะเวลาตั้งแต่ผู้ใช้เริ่มทำการส่งแพ็กเก็ตจนกระทั่งได้รับสัญญาณใช้งานจากสถานีฐาน เรียกว่า ระยะเวลาห้าม (inhibited time) แทนด้วย d ซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับเวลาที่ผู้ใช้ส่งแพ็กเก็ตจนกระทั่งได้รับสัญญาณใช้งานที่ส่งออกมาจากสถานีฐาน โดยมีค่าประมาณ 2 เท่าของค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายระหว่างสถานีฐานกับผู้ใช้ เมื่อสถานีฐานรับแพ็กเก็ตสำเร็จจะทำการแพร่กระจายสัญญาณว่างออกมาทันที เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าสามารถทำการส่งได้ในช่วงเวลาต่อไป ซึ่งช่วงเวลาที่ผู้ใช้ได้รับสัญญาณใช้งานจากสถานีฐาน เรียกว่า ช่วงรับรู้การใช้งาน (busy sensing period) โดยมีระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการรับแพ็กเก็ต และช่วงเวลาที่ผู้ใช้ได้รับสัญญาณว่างจากสถานีฐาน เรียกว่า ช่วงรับรู้การว่าง (idle sensing period) โดยมีระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นบนช่องสัญญาณ

ในกรณีที่ผู้ใช้ตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป ต้องการส่งข้อมูลในช่วงรับรู้การว่างเดียวกัน และทำการส่งแพ็กเก็ตออกไปในช่วงเวลาว่างเดียวกัน ทำให้เกิดการชนกันที่สถานีฐานขึ้น ซึ่งสถานีฐานจะไม่ทำการส่งแพ็กเก็ตตอบรับการส่งครั้งนี้ออกมา เมื่อผู้ใช้เหล่านี้ไม่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับการส่งจากสถานีฐานภายในระยะเวลาเท่ากับผลรวมของระยะเวลา 1 รอบการเดินทางของแพ็กเก็ต กับเวลาที่สถานีฐานใช้ในการสร้างแพ็กเก็ตตอบรับ ผู้ใช้เหล่านี้จะถือว่าแพ็กเก็ตที่ส่งออกไปนั้นเกิดการชนกันขึ้น และจะต้องทำการสุ่มเวลาส่งใหม่จนกว่าการส่งแพ็กเก็ตเหล่านี้จะสำเร็จ ดังนั้น สถานะของช่องเวลาในช่องสัญญาณจึงมี 2 สถานะ คือ สถานะว่างและสถานะใช้งาน โดยช่องเวลาที่มีการรับแพ็กเก็ต เรียกว่า ช่องเวลาใช้งาน (Busy slot) ซึ่งจะมีระยะเวลาเท่ากับผลรวมของช่วงรับรู้การใช้งานกับช่วงรับรู้การว่าง และช่องเวลาที่ไม่มีกรรับแพ็กเก็ต เรียกว่า ช่องเวลาว่าง (idle slot) ซึ่งจะมีระยะเวลาเท่ากับช่วงรับรู้การว่างของระบบ และ 1 รอบการทำงานของระบบ จะประกอบด้วยช่องเวลาใช้งานและช่องเวลาว่างสลับกันไป

การที่ช่วงรับรู้การว่างในระบบ มีผลต่อช่องเวลาใช้งานและช่องเวลาว่างบนช่องสัญญาณโดยตรง และเป็นช่วงเวลาที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้ที่เกิดขึ้นตามหลักการทำงานของระบบ ดังนั้น หากช่วงรับรู้การว่างมีระยะเวลามากจะทำให้ช่องสัญญาณสามารถรองรับการส่งแพ็กเก็ตได้น้อยลง เมื่อเทียบกับช่วงรับรู้การว่างที่มีระยะเวลาน้อยในเวลาเท่ากัน และเนื่องจากช่วงรับรู้การว่างสัมพันธ์กับระยะเวลาห้าม ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายที่เกิดขึ้นในรัศมีของพื้นที่ให้บริการ หากรัศมีของพื้นที่ให้บริการมีค่ามาก ค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายในรัศมีของพื้นที่ให้บริการมีค่าสูงขึ้น และค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ช่วง

รับรู้การว่างมีระยะเวลามาก และการใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณลดลง ค่าวิสัยสามารถของระบบจึงลดลง

นอกจากนี้ จากหลักการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่ผู้ใช้ต้องรอสัญญาณว่างจากสถานีฐานก่อนทำการส่งข้อมูล และการที่สถานีฐานต้องรอแพ็กเก็ตจากผู้ใช้ก่อนการแพร่กระจายสัญญาณใช้งาน ทำให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA มีค่าสูงกว่าของโปรโตคอล CSMA เนื่องจากในระบบ CSMA ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะตรวจสอบช่องสัญญาณจากการส่งข้อมูลของผู้ส่งโดยตรง ทำให้ไม่เกิดค่าดีเลย์จากการรอสัญญาณจากสถานีฐาน รวมถึงค่าดีเลย์ในขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานเอง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า โปรโตคอล ISMA เหมาะกับสภาวะการทำงานในพื้นที่ให้บริการที่มีขนาดเล็ก เช่น ภายในห้อง เป็นต้น เนื่องมาจากค่าระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบจะมีค่าต่ำ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้สูง และค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบ CSMA ในสภาวะการทำงานเดียวกัน

บทที่ 3

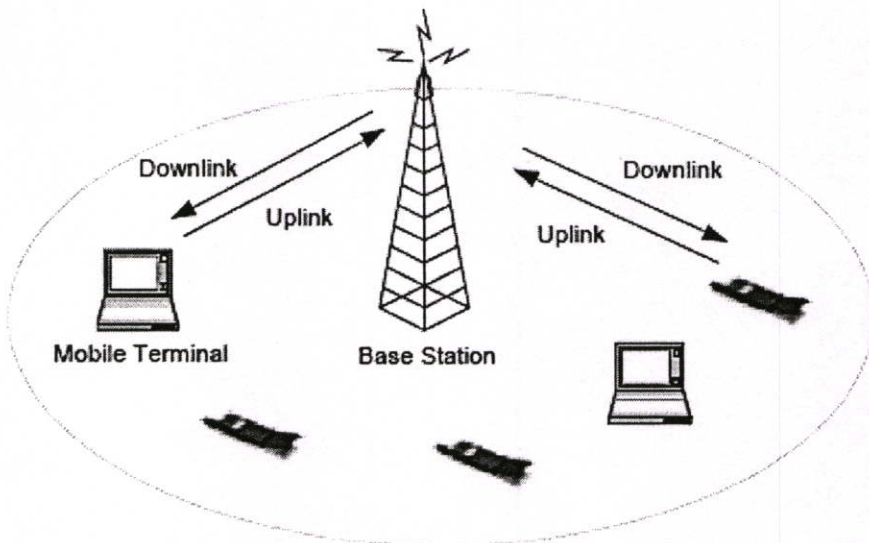
แบบจำลองพื้นฐานและวิธีการจำลองระบบ

3.1 ข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ระบบ

ข้อสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองระบบ ในการศึกษาี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สมมติฐานของระบบ และสมมติฐานของทราฟฟิก [14]

3.1.1 สมมติฐานของระบบ

3.1.1.1 โพรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางที่ศึกษา ทำงานในระบบ Frequency Division Duplex (FDD) ซึ่งสถานีฐานกับผู้ใช้จะติดต่อกันผ่านข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (Uplink) และข่ายเชื่อมโยงขาลง (Downlink) โดยใช้ช่องความถี่แยกจากกัน และสถานีฐานจะแพร่กระจาย (broadcast) สัญญาณควบคุมและข่าวสารต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้ผ่านข่ายเชื่อมโยงขาลง ในขณะที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานผ่านข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานในระบบสื่อสารไร้สาย

ในการจำลองระบบนี้ จะพิจารณาเฉพาะการส่งสัญญาณบนข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นเท่านั้น เนื่องจากโดยปกติแล้วสถานีฐานสามารถควบคุมการทำงานของข่ายเชื่อมโยงขาลง ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์

3.1.1.2 เครื่องลูกข่ายที่สร้างแพ็กเก็ตและพร้อมทำการส่ง เรียกว่า เครื่องลูกข่ายพร้อมส่ง (ready terminal) ซึ่งแพ็กเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นนี้ หมายถึง แพ็กเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ แพ็กเก็ตที่ถูกสร้างซ้ำหลังจากเกิดการชน หรือแพ็กเก็ตที่ถูกสร้างซ้ำหลังจากเกิดการห้าม

3.1.1.3 เครื่องลูกข่ายจะทำหน้าที่ส่งและรับอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนโหมดการทำงาน of เครื่องลูกข่าย อย่างไรก็ตามค่าดีเลย์ในการเปลี่ยนโหมดการทำงานมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาของการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต (packet transmission time) ดังนั้นในการจำลองระบบนี้จึงไม่พิจารณาค่าดีเลย์ที่เกิดจากการเปลี่ยนโหมดการทำงาน of เครื่องลูกข่าย

3.1.1.4 เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเวลาของการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต ดังนั้นในการจำลองระบบนี้จึงไม่พิจารณาค่าดีเลย์ที่เกิดจากเวลาในการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณ โดยการกำหนดให้เวลาการตรวจจับช่องสัญญาณเป็นศูนย์ (zero detection time)

3.1.1.5 ระบบกำหนดให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ต ณ จุดเริ่มต้นของช่วงเวลาเท่านั้น

3.1.1.6 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนภายนอกมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความผิดพลาดที่เกิดจากการชนกันของแพ็กเก็ตบนช่องสัญญาณ ดังนั้นในการจำลองระบบนี้จึงไม่พิจารณาผลของสัญญาณรบกวนจากภายนอก โดยการกำหนดให้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองระบบไม่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น (noiseless channel)

3.1.1.7 สถานีฐานไม่มีระบบการจับแพ็กเก็ต (Non-capture system) ดังนั้น เมื่อเกิดการชนกันขึ้น สถานีฐานจะไม่ดำเนินการใด ๆ กับแพ็กเก็ตเหล่านี้

3.1.1.8 เมื่อเครื่องลูกข่ายตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปทำการส่งแพ็กเก็ตบนช่วงเวลาเดียวกัน จะทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้น เครื่องลูกข่ายที่ส่งแพ็กเก็ตออกมาทั้งหมดต้องทำการส่งแพ็กเก็ตซ้ำ จนกว่าการส่งแพ็กเก็ตนั้นจะทำได้สำเร็จ

3.1.1.9 สถานีฐานจะทำการส่งแพ็กเก็ตตอบรับออกมา เมื่อได้รับแพ็กเก็ตจากเครื่องลูกข่ายโดยที่ไม่เกิดการชนกัน

3.1.1.10 เครื่องลูกข่ายจะถือว่าแพ็กเก็ตที่ส่งออกไปนั้น เกิดการชนกันหรือสูญหายก็ต่อเมื่อไม่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับจากสถานีฐานหรือได้รับภายหลังจากหมดระยะเวลารอแล้ว และ จะทำการสุ่มเวลาส่งแพ็กเก็ตเดิมซ้ำ

3.1.1.11 ค่าระยะเวลาห้ามมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเวลาของการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล 1 แพ็กเก็ต ตัวอย่างเช่น ในระบบสื่อสารไร้สายที่สถานีฐานมีรัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100 เมตร, 400 เมตร, 700 เมตร และ 1,000 เมตร ระบบมีอัตราเร็วสัญลักษณ์ (symbol rate) เท่ากับ 256 กิโลบิต/วินาที และความยาวของแพ็กเก็ตมีขนาดเท่ากับ 128 บิต ค่าระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความยาวของแพ็กเก็ต} = 128 \text{ บิต}$$

อัตราเร็วสัญญาณ	= 256	กิโลบิต/วินาที
เวลาของการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต	$= \frac{128}{256 \times 10^3}$	
	$= 5 \times 10^{-4}$	วินาที
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ	= 100	เมตร
ความเร็วของสัญญาณวิทยุ	$= 3 \times 10^8$	เมตร/วินาที
ค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายสูงสุด	$= \frac{100}{3 \times 10^8}$	
	$= 3.33 \times 10^{-7}$	วินาที
ค่าระยะเวลาห้ามสูงสุด	$= 6.66 \times 10^{-7}$	วินาที
อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาห้ามกับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ต	$= \frac{6.66 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-4}} = 1.332 \times 10^{-3}$	
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ	= 400	เมตร
ความเร็วของสัญญาณวิทยุ	$= 3 \times 10^8$	เมตร/วินาที
ค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายสูงสุด	$= \frac{400}{3 \times 10^8}$	
	$= 1.33 \times 10^{-6}$	วินาที
ค่าระยะเวลาห้ามสูงสุด	$= 2.66 \times 10^{-6}$	วินาที
อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาห้ามกับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ต	$= \frac{2.66 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-4}} = 0.532 \times 10^{-3}$	
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ	= 700	เมตร
ความเร็วของสัญญาณวิทยุ	$= 3 \times 10^8$	เมตร/วินาที
ค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายสูงสุด	$= \frac{700}{3 \times 10^8}$	
	$= 2.33 \times 10^{-6}$	วินาที
ค่าระยะเวลาห้ามสูงสุด	$= 4.66 \times 10^{-6}$	วินาที
อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาห้ามกับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ต	$= \frac{4.66 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-4}} = 0.932 \times 10^{-3}$	
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ	= 1,000	เมตร

ความเร็วของสัญญาณวิทยุ	$= 3 \times 10^8$	เมตร/วินาที
ค่าดีเลย์ของการแพร่กระจายสูงสุด	$= \frac{1,000}{3 \times 10^8}$	
	$= 3.33 \times 10^{-6}$	วินาที
ค่าระยะเวลาห้ามส่งสูงสุด	$= 6.66 \times 10^{-6}$	วินาที
อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาห้ามส่งกับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ต	$= \frac{6.66 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-4}} = 1.332 \times 10^{-2}$	

เนื่องจากระยะเวลาห้ามที่เพิ่มขึ้นในระบบ มีผลต่อสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA โดยตรงดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 และจากค่าของระยะเวลาห้ามที่ได้จากการคำนวณที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร พบว่าระยะเวลาห้ามมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต ดังนั้น จึงพิจารณาให้ค่าระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าเท่ากัน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าระยะเวลาห้ามสูงสุดที่เกิดขึ้นในรัศมีของพื้นที่ให้บริการแต่ละค่า เพื่อให้สมรรถนะที่ได้จากการประเมินด้วยการจำลองแบบเป็นค่าขอบของระบบ

3.1.2 สมมติฐานของทราฟฟิก

3.1.2.1 แหล่งกำเนิดทราฟฟิกในแบบจำลองนี้ ประกอบด้วย เครื่องลูกข่ายจำนวนมากทำการสร้างแพ็กเก็ตเพื่อส่งบนช่องสัญญาณ ซึ่งมีการแจกแจงแบบปัวส์ซง ดังนั้น ระยะเวลาในการมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูลของเครื่องลูกข่าย จึงมีการแจกแจงแบบปัวส์ซงด้วยอัตราการสร้างแพ็กเก็ตเฉลี่ยเท่ากับ λ แพ็กเก็ตต่อวินาที และเครื่องลูกข่ายทุกเครื่องทำการสร้างแพ็กเก็ตอย่างเป็นอิสระจากกัน

3.1.2.2 แพ็กเก็ตที่ถูกส่งระหว่างผู้ใช้และสถานีฐาน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. แพ็กเก็ตข้อมูล ซึ่งกำหนดให้มีขนาดเท่ากันทุกแพ็กเก็ต และเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องทำการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลครั้งละ 1 แพ็กเก็ตเท่านั้น และถูกส่งออกไปบนช่องเวลา (time slot) โดยที่ช่องเวลาแต่ละช่องสามารถรองรับการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ครั้งละ 1 แพ็กเก็ต

2. แพ็กเก็ตตอบรับ (Acknowledgement packet) สถานีฐานจะแพร่กระจายข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และแพ็กเก็ตตอบรับไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านสายเชื่อมโยงขาลง ซึ่งจะส่งออกมาอีกต่อเมื่อได้รับแพ็กเก็ตสำเร็จแล้วเท่านั้น โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการส่งแพ็กเก็ตตอบรับเท่ากับ 1

3.1.2.3 แพ็กเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตต้องใช้เวลาในการส่งเท่ากับ T วินาที และกำหนดให้ G คือ จำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้นต่อเวลาการส่ง ดังนั้น อัตราการป้อนทราฟฟิกทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น เพื่อป้อนเข้าไปในช่องสัญญาณสามารถหาได้จาก

$$G = \lambda T \quad (3.1)$$

3.1.2.4 จำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น และสามารถส่งเข้าไปเข้าไปในช่องสัญญาณได้ หรืออัตราการป้อนทราฟฟิกจริง แทนด้วย H ซึ่งมีค่าน้อยกว่า G เสมอ

3.1.2.5 จำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น และสามารถส่งออกไปยังสถานีฐานได้สำเร็จ เรียกว่า อัตราการป้อนทราฟฟิกสำเร็จ แทนด้วย S ซึ่งมีค่าน้อยกว่า H เสมอ หรือสามารถพิจารณาเป็นค่าการใช้งานช่องสัญญาณ (channel utilization) หรือค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณ (channel throughput) ที่มีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของช่องสัญญาณ เรียกว่า ความจุของช่องสัญญาณ (channel capacity)

3.1.2.6 เมื่อเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้นบนช่องสัญญาณ จำเป็นต้องมีวิธีการตอบรับ (acknowledgement scheme) เพื่อแจ้งให้เครื่องลูกข่ายที่ทำการส่งแพ็กเก็ตทราบว่า การส่งแพ็กเก็ตนั้นสำเร็จหรือไม่สำเร็จ ดังนั้น จึงสมมติให้ใช้วิธีการตอบรับแบบแน่นอน (positive acknowledgement scheme) ผ่านช่องสัญญาณอื่น โดยเป็นช่องสัญญาณแยกจากช่องสัญญาณที่ใช้ส่งแพ็กเก็ต ซึ่งวิธีการทำงานของการตอบรับแบบแน่นอน คือ ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สมควรจะได้รับแพ็กเก็ตตอบรับภายหลังจากทำการส่งแพ็กเก็ตออกไป หากเครื่องลูกข่ายไม่ได้รับการตอบรับจากสถานีฐาน เครื่องลูกข่ายจะถือว่าเกิดปัญหาขึ้นในการส่งแพ็กเก็ตนั้น และจะทำการตีเลยเวลาของการส่งแพ็กเก็ตเดิมออกไป ด้วยการสุ่มเวลาของการสร้างแพ็กเก็ตใหม่ แทนด้วย T_{int} เรียกว่า ค่าตีเลยของการส่งซ้ำ (retransmission delay) และมีค่าสูงกว่าค่าเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต (T) มาก โดยสามารถหาได้จาก

$$T_{int} = \frac{-T}{\log\left(1 - \frac{G}{M_{num}}\right)} \quad (3.2)$$

โดยที่ M_{num} คือ จำนวนเครื่องลูกข่ายทั้งหมดในการจำลองแบบ

3.1.2.7 เมื่อเกิดการห้ามการส่งแพ็กเก็ตเกิดขึ้น เครื่องลูกข่ายจะทำการตีเลยเวลาในการสร้างแพ็กเก็ตที่ถูกห้ามออกไป ด้วยการสุ่มเวลาของการสร้างแพ็กเก็ตใหม่ แทนด้วย R_{int} เรียกว่า ค่าตีเลยของการสร้างซ้ำ (regeneration delay) และมีค่าสูงกว่าค่าเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต (T) มาก โดยสามารถหาได้จาก

$$R_{int} = \frac{-T}{\log\left(1 - \frac{G}{M_{num}}\right)} \quad (3.3)$$

3.2 ผังการทำงานของโปรแกรม

การจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งผังการทำงานของโปรแกรมออกเป็นผังการทำงานหลัก ตามรูปที่ 3.2 และผังการทำงานย่อย จำนวน 5 ส่วน ประกอบด้วย ผังการทำงานส่วนการส่ง ผังการทำงานส่วนการรอ ผังการทำงานส่วนการตรวจสอบช่องสัญญาณ ผังการทำงานส่วนการอนุญาต และผังการทำงานส่วนการชน ตามรูปที่ 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม สามารถอธิบายได้ ดังนี้

1. เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม ตามรูปที่ 3.2 โดยการกำหนดพารามิเตอร์ของสถานะการทำงานที่จะทำการจำลองระบบ ประกอบด้วย พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณ เช่น อัตราเร็วข้อมูล อัตราเร็วสัญลักษณ์ และความยาวของแพ็กเก็ต พารามิเตอร์ของสถานีฐาน เช่น ความสูงของเสาอากาศ จำนวนเครื่องลูกข่ายทั้งหมด พารามิเตอร์การทำงานของโปรแกรม เช่น จำนวนแพ็กเก็ตสุดท้ายเพื่อจบการทำงาน อัตราการบ่อนทราฟฟิกของแต่ละรอบการจำลองแบบ

2. กำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของโปรแกรม ประกอบด้วย จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่ง, ความยาวของแพ็กเก็ตที่ส่ง, ความยาวของแพ็กเก็ตรวม, ค่าดีเลย์ของแพ็กเก็ต, จำนวนการชน และจำนวนการห้าม โดยกำหนดให้เป็น 0 และเวลาปัจจุบันเป็น -1

3. กำหนดให้โปรแกรมทำการตรวจสอบค่าเวลาปัจจุบัน ว่ามีค่าน้อยกว่า 0 หรือไม่ หากพบว่าค่าเวลาปัจจุบันมีค่าน้อยกว่า 0 ให้ทำการรีเซ็ตตารางการสุ่ม และกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ประกอบด้วย เวลาสร้างแพ็กเก็ตของเครื่องลูกข่าย, เวลาที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ตหลังสุด, เวลาเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่าย, สถานะของเครื่องลูกข่าย, ความยาวของแพ็กเก็ตที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น, ขนาดของช่องเวลา แต่ถ้าหากพบว่าค่าเวลาปัจจุบันมีค่ามากกว่า 0 ให้เข้าสู่ขั้นตอนการทำงานส่วนการส่งต่อไป

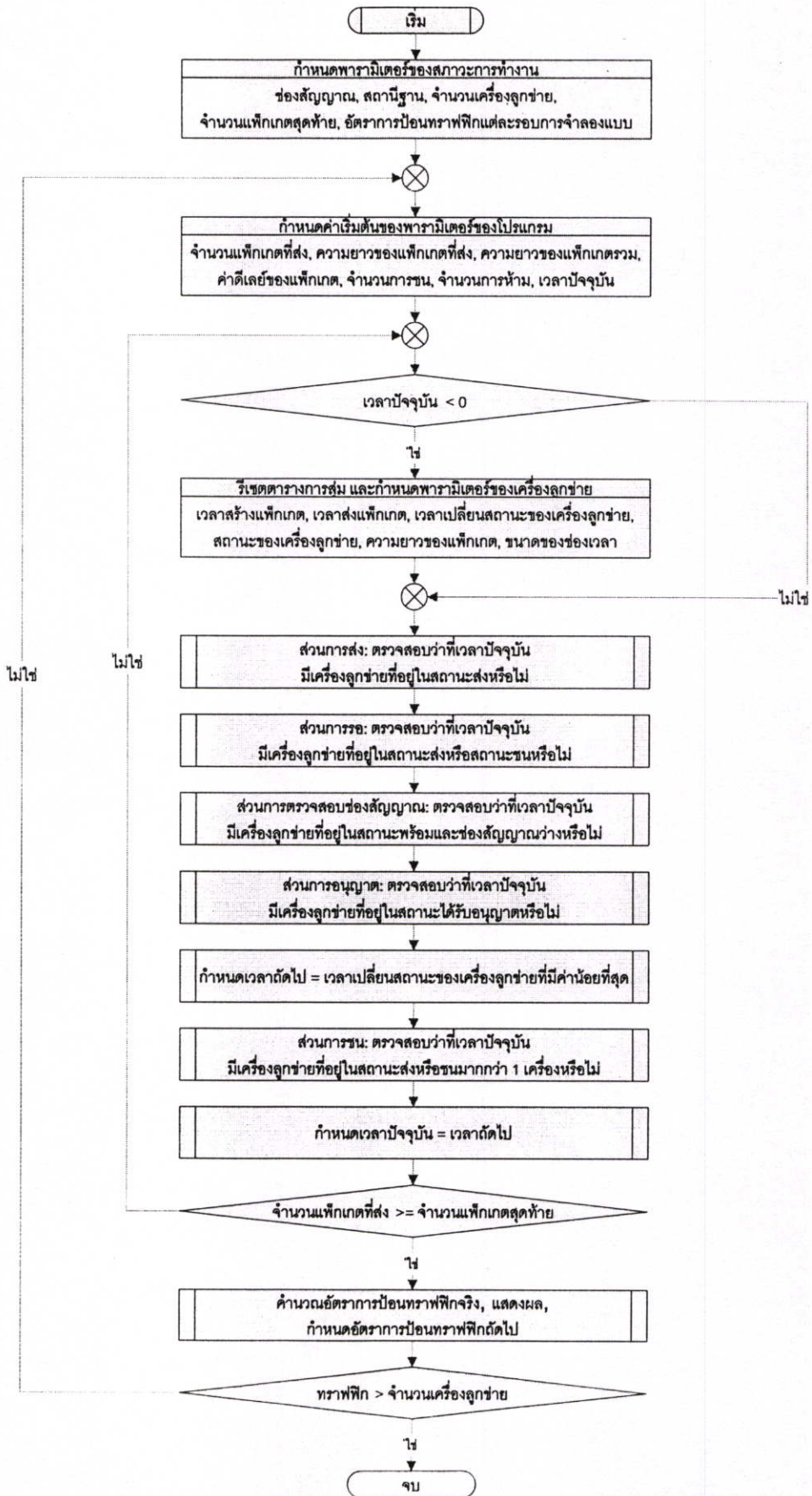
4. การทำงานส่วนการส่ง ตามรูปที่ 3.3 มีขั้นตอนการทำงานย่อยดังนี้

4.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องลูกข่ายทั้งหมดว่า ที่เวลาปัจจุบันมีเครื่องที่มีค่าเวลาการเปลี่ยนสถานะเท่ากับเวลาปัจจุบันและมีสถานะของเครื่องเป็น "TRANSMIT" เท่ากับ 1 เครื่องหรือไม่ หากพบเครื่องลูกข่ายที่มีสถานะตรงตามที่กำหนดและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้ทำการคำนวณจำนวนแพ็กเก็ตและความยาวของแพ็กเก็ตที่สามารถส่งได้จนถึงปัจจุบัน หากไม่พบว่ามีเครื่องลูกข่ายใดตรงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้จบขั้นตอนการทำงานย่อย

4.2 ให้ทำการคำนวณค่าดีเลย์รวม ซึ่งสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างเวลาที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ตได้สำเร็จกับเวลาที่เครื่องลูกข่ายทำการสร้างแพ็กเก็ตนี้ขึ้น

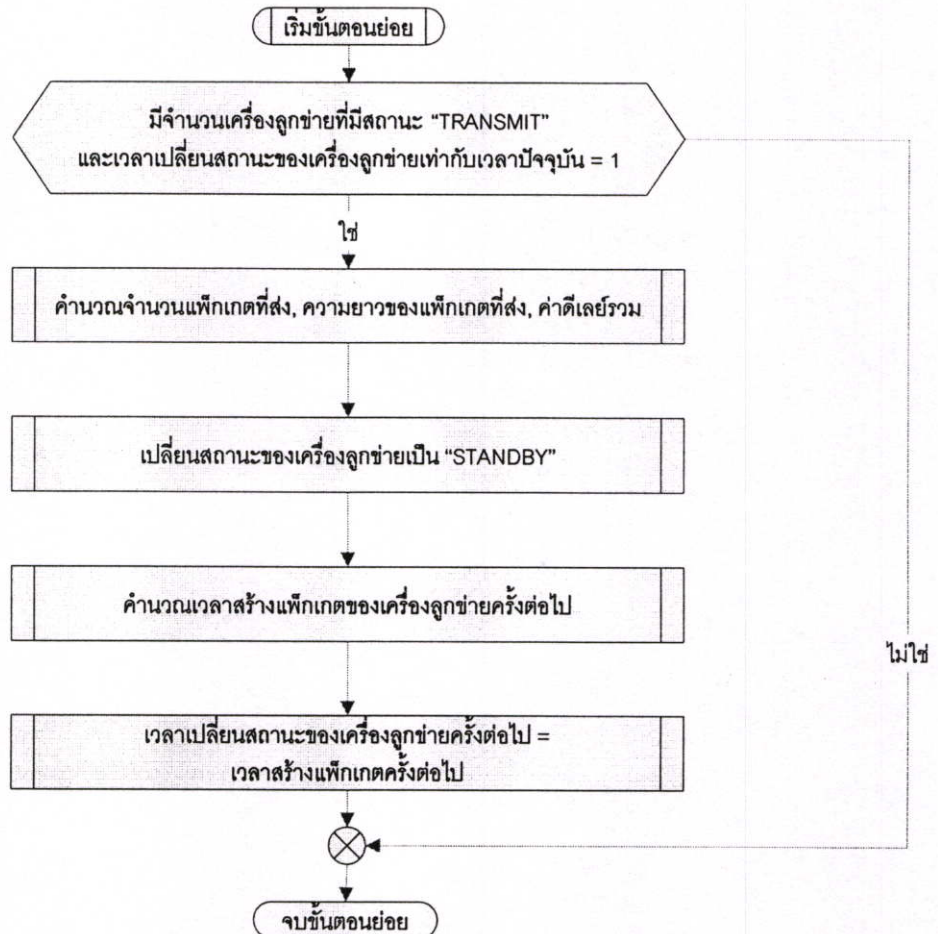
4.3 ให้ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเครื่องนี้เป็น "STANDBY"

4.4 ให้ทำการคำนวณเวลาสร้างแพ็กเก็ตของเครื่องลูกข่ายเครื่องนี้ในครั้งต่อไป



รูปที่ 3.2 แสดงผังการทำงานหลักของโปรแกรมการจำลองแบบ

- 4.5 ให้ทำการคำนวณเวลาของการเปลี่ยนสถานะของเครื่องครั้งต่อไป โดย
กำหนดให้เป็นเวลาเดียวกับเวลาของการสร้างแพ็กเก็ตใหม่ของเครื่องนี้
- 4.6 จบขั้นตอนการทำงานย่อยส่วนการส่ง

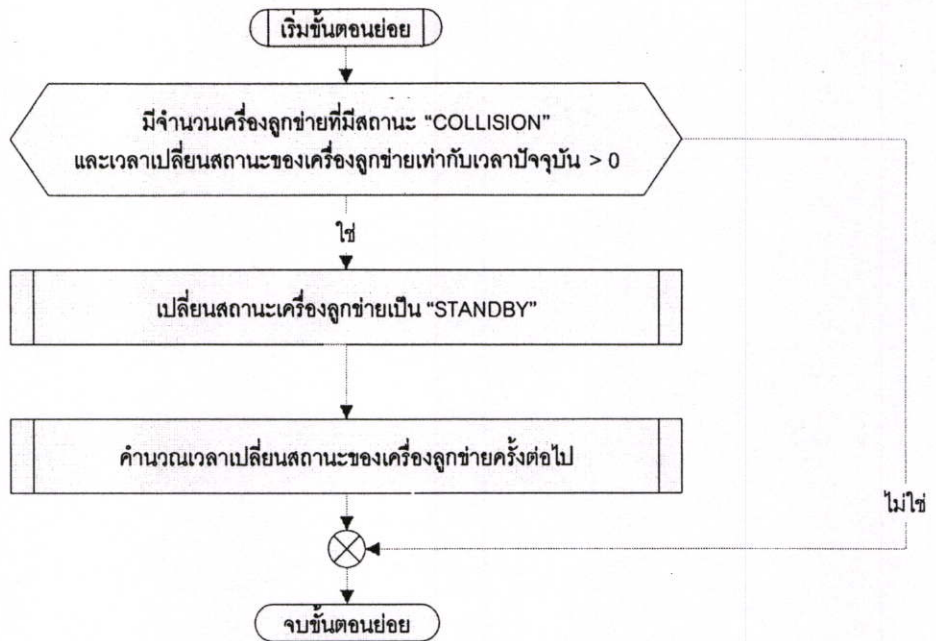


รูปที่ 3.3 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการส่ง

5. การทำงานส่วนการรอ ตามรูปที่ 3.4 มีขั้นตอนการทำงานย่อยดังนี้

5.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องลูกข่ายทั้งหมดว่า ที่เวลาปัจจุบันมีเครื่องที่มีค่าเวลาการเปลี่ยนสถานะเท่ากับเวลาปัจจุบันและมีสถานะของเครื่องเป็น "COLLISION" มากกว่า 0 เครื่องหรือไม่ หากพบเครื่องลูกข่ายที่มีสถานะตรงตามที่กำหนดและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และหากไม่พบว่ามีเครื่องลูกข่ายใดตรงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้จบขั้นตอนการทำงานย่อย

- 5.2 ให้ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้เป็น "STANDBY"
- 5.3 ให้ทำการคำนวณเวลาเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้ในครั้งต่อไป
- 5.4 จบขั้นตอนการทำงานย่อยส่วนการรอ



รูปที่ 3.4 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการรอ

6. การทำงานส่วนการตรวจสอบช่องสัญญาณ ตามรูปที่ 3.5 มีขั้นตอนการทำงานย่อย ดังนี้

6.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องลูกข่ายทั้งหมดว่า ที่เวลาปัจจุบันมีเครื่องที่มีค่าเวลาการเปลี่ยนสถานะเท่ากับเวลาปัจจุบันและมีสถานะของเครื่องเป็น "STANDBY" มากกว่า 0 เครื่องหรือไม่ หากพบเครื่องลูกข่ายที่มีสถานะตรงตามที่กำหนดและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และหากไม่พบว่ามีเครื่องลูกข่ายใดตรงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้จบขั้นตอนการทำงานย่อย

6.2 ให้ทำการคำนวณความยาวของแพ็กเก็ตรวม ซึ่งหาได้จากผลรวมของความยาวของแพ็กเก็ตที่เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องทำการสร้างขึ้น

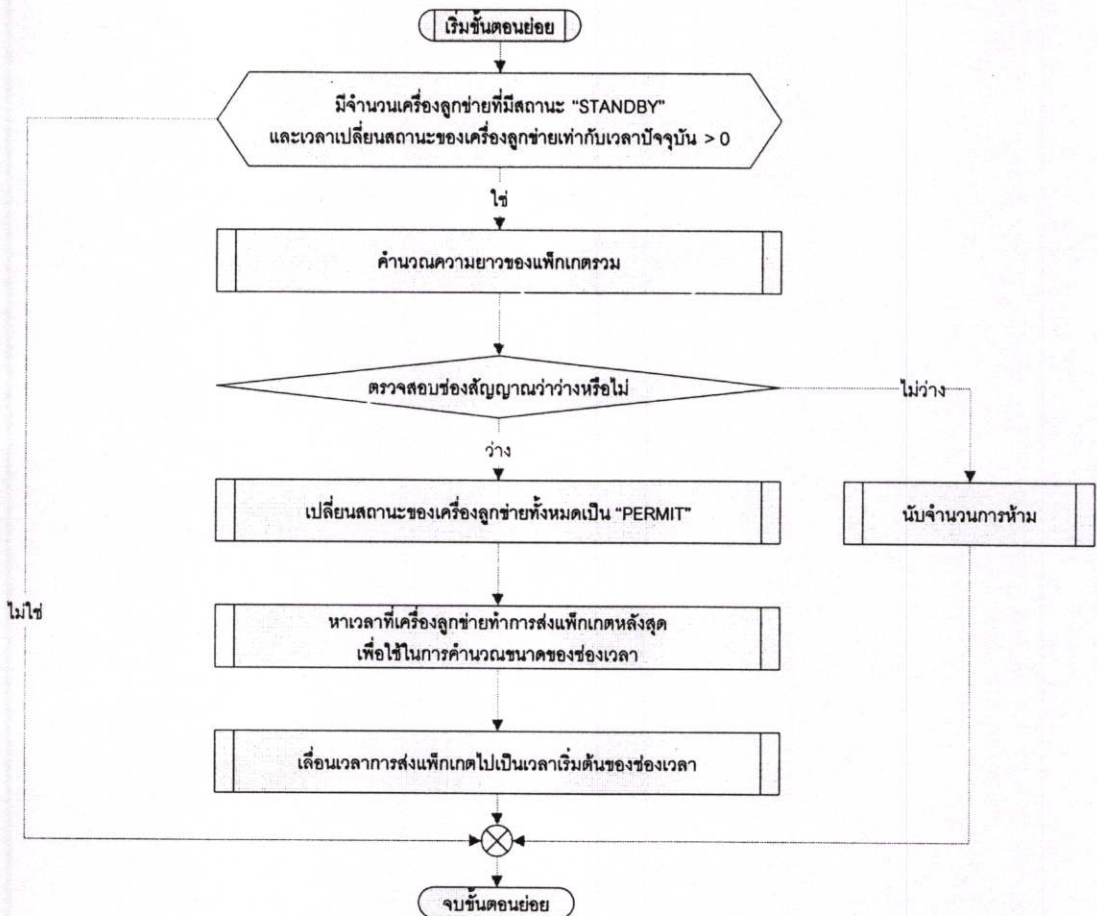
6.3 ให้ทำการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณว่าถูกใช้งานอยู่หรือไม่ หากพบว่าช่องสัญญาณถูกใช้งานอยู่ ให้ทำการนับจำนวนการห้าม และจบขั้นตอนการทำงานส่วนย่อย แต่หากพบว่าช่องสัญญาณไม่ได้ถูกใช้งาน หรือมีสถานะว่าง ให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

6.4 ให้ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้เป็น "PERMIT"

6.5 ให้ทำการหาเวลาที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ตหลังสุด เพื่อใช้ในการคำนวณช่องเวลาที่ถัดไปที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตเหล่านี้

6.6 ให้ทำการเลื่อนเวลาการส่งแพ็กเก็ตของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้ออกไป เป็นเวลาเริ่มต้นของช่องเวลาที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่แล้ว

6.7 จบขั้นตอนการทำงานย่อยส่วนการตรวจสอบช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.5 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการตรวจสอบช่องสัญญาณ

7. การทำงานส่วนการอนุญาต ตามรูปที่ 3.6 มีขั้นตอนการทำงานย่อยดังนี้

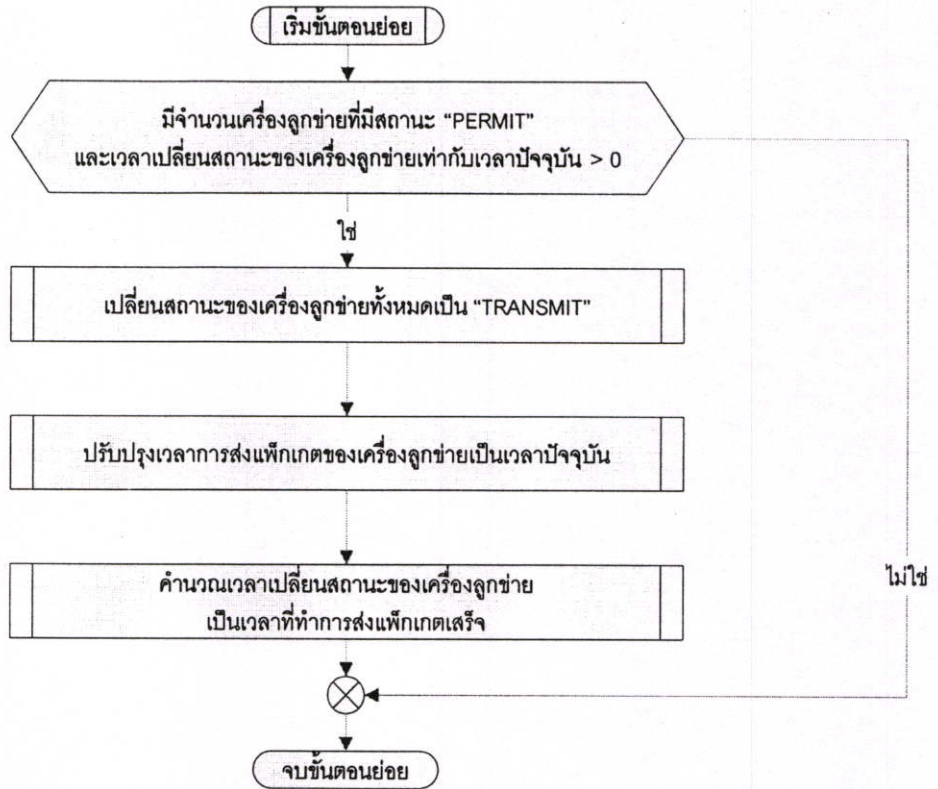
7.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องลูกข่ายทั้งหมดว่า ที่เวลาปัจจุบันมีเครื่องที่มีค่าเวลาการเปลี่ยนสถานะเท่ากับเวลาปัจจุบันและมีสถานะของเครื่องเป็น "PERMIT" มากกว่า 0 เครื่องหรือไม่ หากพบเครื่องลูกข่ายที่มีสถานะตรงตามที่กำหนดและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และหากไม่พบว่ามีเครื่องลูกข่ายใดตรงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้จบขั้นตอนการทำงานย่อย

7.2 ให้ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้เป็น "TRANSMIT"

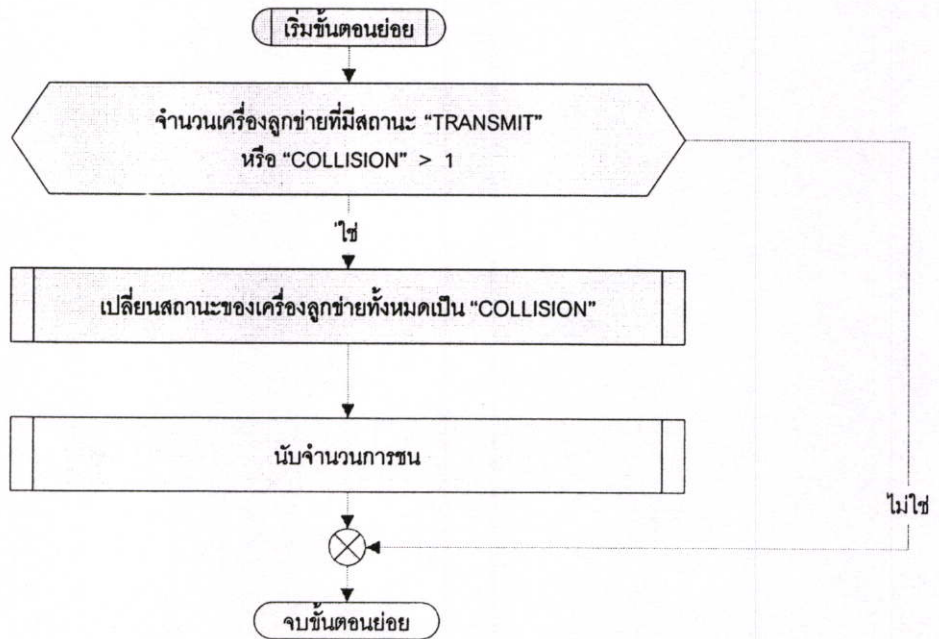
7.3 ให้ทำการปรับปรุงเวลาของการส่งแพ็กเก็ตของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้ เป็นเวลาปัจจุบัน

7.4 ให้ทำการคำนวณเวลาการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้ เป็นเวลาที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ตเสร็จ

7.5 จบขั้นตอนการทำงานย่อยส่วนการอนุญาต



รูปที่ 3.6 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการอนุญาต



รูปที่ 3.7 แสดงผังการทำงานย่อยของโปรแกรมส่วนการชน

8. การทำงานส่วนการชน ตามรูปที่ 3.7 มีขั้นตอนการทำงานย่อยดังนี้

8.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องลูกข่ายทั้งหมดว่า มีสถานะของเครื่องเป็น "TRANSMIT" มากกว่า 1 เครื่องหรือไม่ หากพบเครื่องลูกข่ายที่มีสถานะตรงตามที่กำหนดและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และหากไม่พบว่ามีเครื่องลูกข่ายใดตรงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ให้จบขั้นตอนการทำงานย่อย

8.2 ให้ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องลูกข่ายเหล่านี้เป็น "COLLISION"

8.3 ให้ทำการนับจำนวนการชน

8.4 จบขั้นตอนการทำงานย่อยส่วนการชน

3.3 การจำลองแบบ

การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ในการศึกษานี้จะพิจารณาจากค่าสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ (throughput) ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต (average packet delay) จำนวนการชน (number of collided attempts) และจำนวนการห้าม (number of inhibited attempts) ดังนั้นการประเมินความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรมจำลองแบบ จึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมการจำลองแบบ กับการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทต่อไป

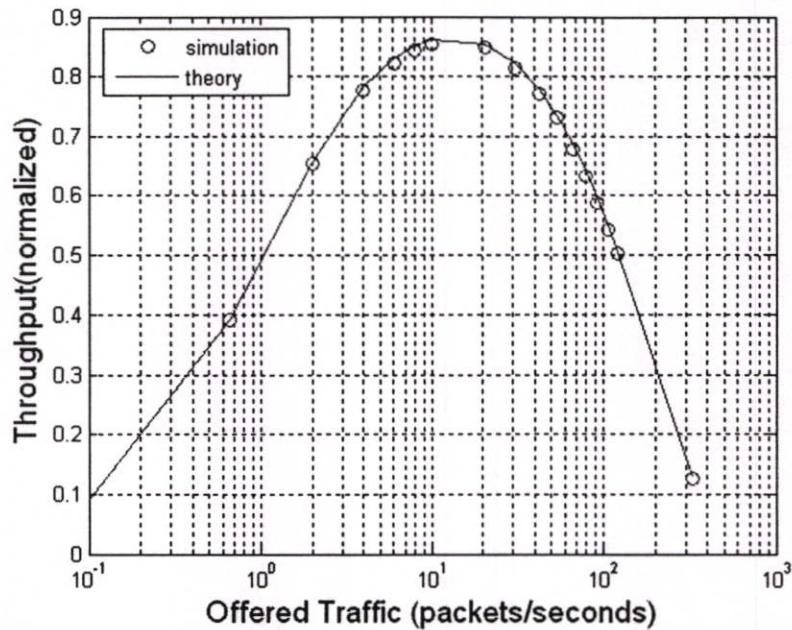
3.3.1 แบบจำลองการทำงานของโปรโตคอล ISMA

การจำลองแบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA เพื่อประเมินความถูกต้องของโปรแกรม โดยใช้สมมติฐานในการจำลองแบบตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบ รายละเอียดตามตารางที่ 3.1

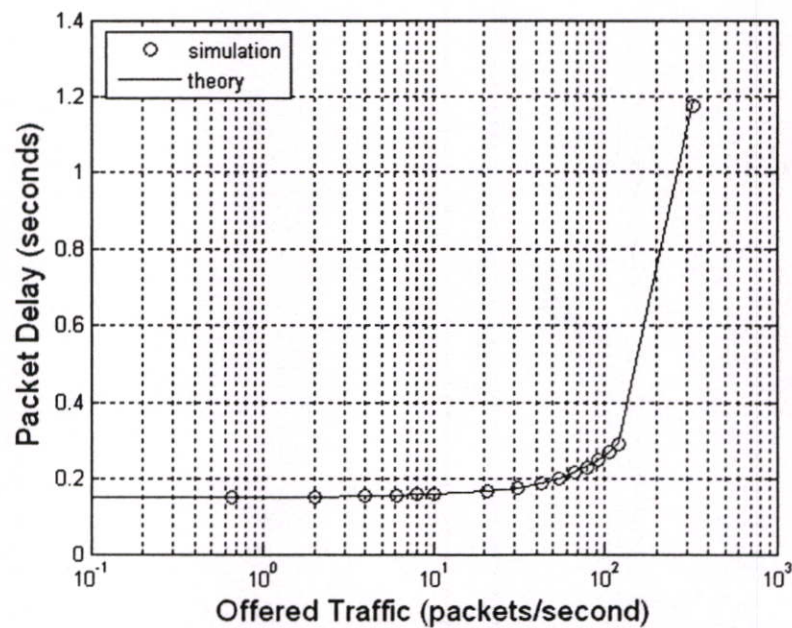
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบโปรโตคอล ISMA

ช่องสื่อสารสัญญาณวิทยุ		
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256	กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128	บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.01	
สถานีฐาน		
Service area radius (<i>r</i>)	850	เมตร
Base station high	20	เมตร
เครื่องลูกข่าย		
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300	เครื่อง

3.3.1.1 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบค่าวิสัยสมารถที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเกตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

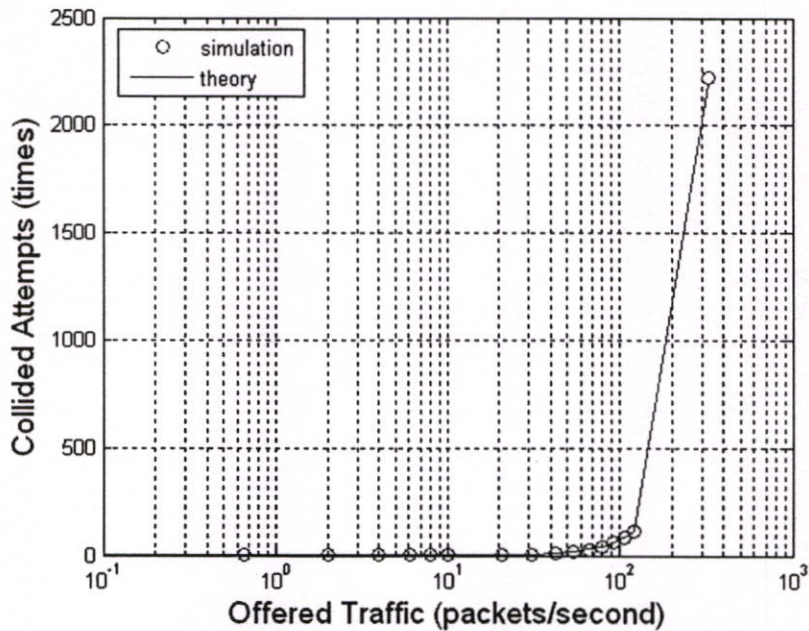


รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสมารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

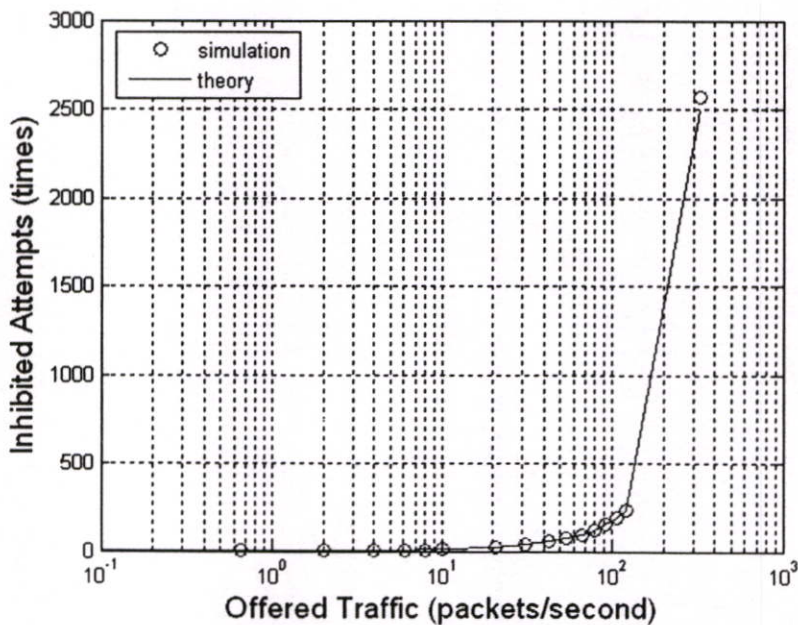


รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.1.2 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบค่า ดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.1.3 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบจำนวนการชนที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเกตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.3 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

3.3.1.4 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเกตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.3 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA

ค่าสมรรถนะของระบบ	โปรแกรมจำลองระบบ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ค่าวิสัยสามารถ	0.1256	0.1289	-2.57%
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต	1.1761	1.1908	-1.23%
จำนวนการชนเฉลี่ย	2220.8313	2202.3650	0.84%
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	2568.2302	2502.9780	2.61%

จากตารางที่ 3.2 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากการจำลองแบบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากับ 325 แพ็กเกตต่อวินาที พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต จำนวนการห้าม และจำนวนการชน มีค่าเท่ากับ 2.57, 1.23, 0.84 และ 2.61 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า โปรแกรมจำลองระบบ ISMA นี้ สามารถใช้เป็นต้นแบบในการปรับปรุงเพื่อทำการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลาต่อไปได้

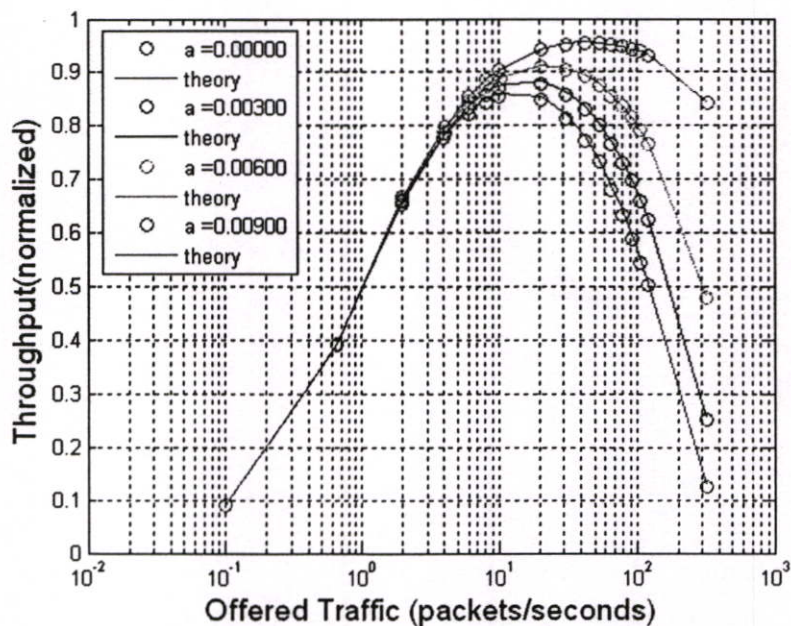
3.3.2 แบบจำลองการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

จากโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นเพื่อใช้จำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ซึ่งต้องทำการประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยใช้สมมติฐานในการจำลองแบบตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 เช่นเดียวกับการจำลองแบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบ รายละเอียดตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

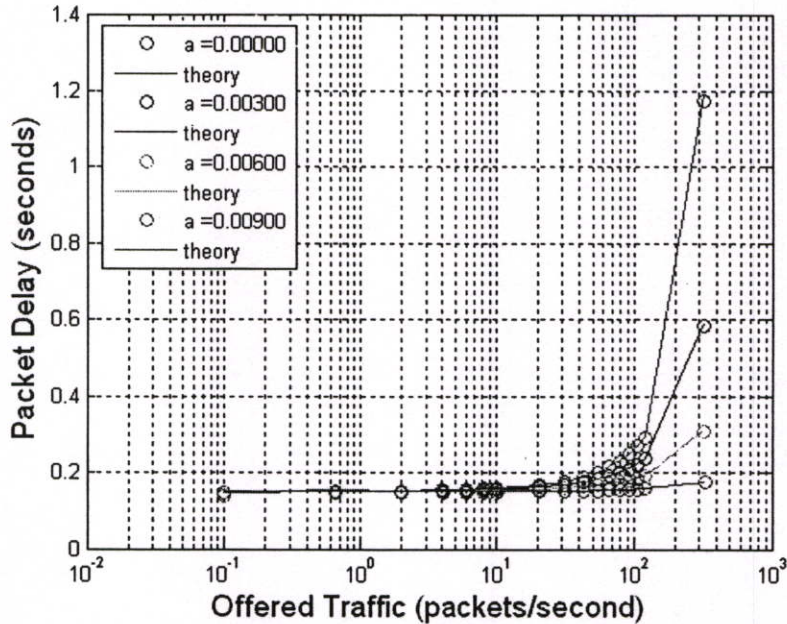
ช่องสื่อสารสัญญาณวิทยุ	
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128 บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.01
สถานีฐาน	
Service area radius (<i>r</i>)	850 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300 เครื่อง
การชดเชยเวลา	
Advanced time (<i>a</i>) (% of Inhibited time)	0%, 30%, 60%, 90%

3.3.2.1 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบค่าวิสัยสมรรถนะที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าเวลาชดเชยเท่ากับ 0%, 30%, 60% และ 90% ที่อัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.5 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน

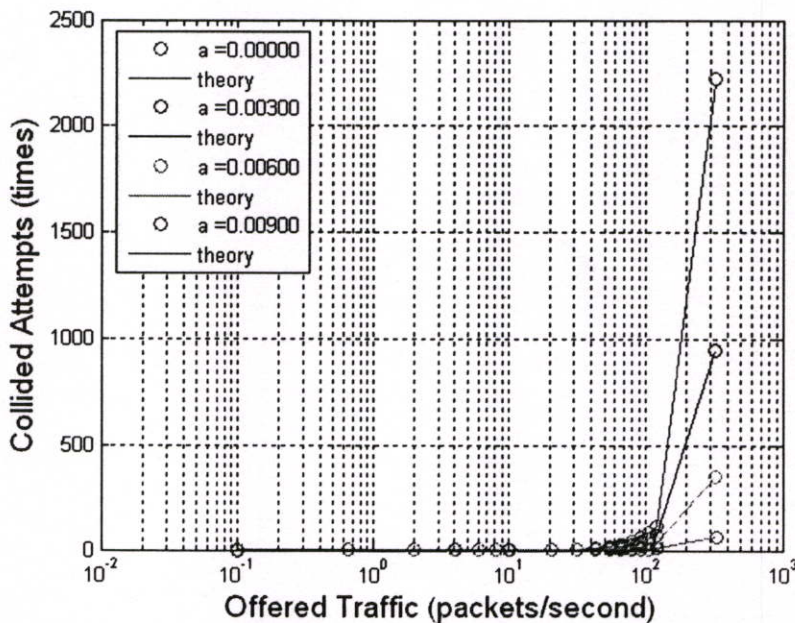


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสมรรถนะกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากการจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.2.2 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบค่า ดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าเวลาชดเชยเท่ากับ 0%, 30%, 60% และ 90% ที่อัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.6 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน

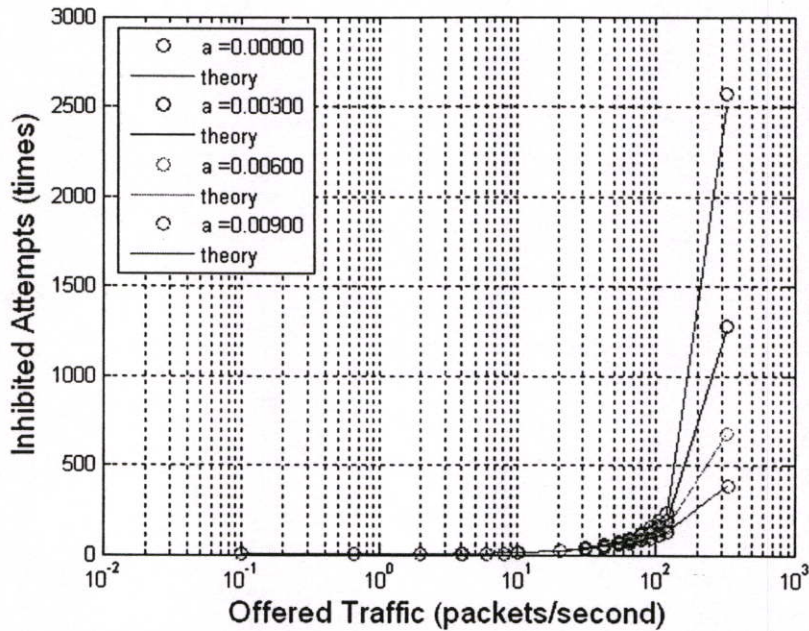


รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.2.3 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบจำนวนการชนที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าเวลาชดเชยเท่ากับ 0%, 30%, 60% และ 90% ที่อัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.7 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิกของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.2.4 การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบ โดยการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ค่าเวลาชดเชยเท่ากับ 0%, 30%, 60% และ 90% ที่อัตราการป้อนทราฟฟิกตั้งแต่ 0.1 ถึง 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.8 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 3.4 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากการจำลองแบบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 30% ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากับ 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าวิสัยสามารถ ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการห้าม และจำนวนการชน มีค่าเท่ากับ 1.34, 1.28, 0.03 และ 1.28 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมาก

จากตารางที่ 3.5 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากการจำลองแบบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 60% ที่ค่าอัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากับ 325 แพ็กเก็ตต่อวินาที พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ

ค่าวิสัยสามารถ ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเกต จำนวนการห้าม และจำนวนการชน มีค่าเท่ากับ 0.28, 1.14, 1.22 และ 0.14 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมาก

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 30%

ค่าสมรรถนะของระบบ	โปรแกรมจำลองระบบ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ค่าวิสัยสามารถ	0.2530	0.2564	-1.34%
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต	0.5836	0.5912	-1.28%
จำนวนการชนเฉลี่ย	947.2951	947.5499	-0.03%
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	1281.6724	1265.4330	1.28%

ตารางที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 60%

ค่าสมรรถนะของระบบ	โปรแกรมจำลองระบบ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ค่าวิสัยสามารถ	0.4799	0.4813	-0.28%
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต	0.3079	0.3114	-1.14%
จำนวนการชนเฉลี่ย	348.8604	353.1845	-1.22%
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	679.0716	678.1209	0.14%

ตารางที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากโปรแกรมจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90%

ค่าสมรรถนะของระบบ	โปรแกรมจำลองระบบ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ค่าวิสัยสามารถ	0.8426	0.8417	0.11%
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต	0.1749	0.1771	-1.22%
จำนวนการชนเฉลี่ย	59.5208	61.7692	-3.64%
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	388.4593	389.8713	-0.36%

จากตารางที่ 3.6 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบที่ได้จากการจำลองแบบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90% ที่ค่าอัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากับ 325 แพ็กเกตต่อวินาที พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าวิสัยสามารถ ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเกต จำนวนการห้าม และจำนวนการชน มีค่าเท่ากับ 0.11, 1.22, 3.64 และ 0.36 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมาก

จากการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา โดยพิจารณาจากสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเกต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม ที่ได้จากการโปรแกรมจำลองระบบ กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทำการประเมินจากรูปที่ 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.8 พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบ เพื่อประเมินเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากการโปรแกรมจำลองระบบ กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามตารางที่ 3.2, 3.4, 3.5 และ 3.6 พบว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า โปรแกรมจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลานี้ สามารถใช้เป็นต้นแบบในการจำลองแบบ เพื่อทำการศึกษาผลที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ของระบบในบทที่ 5 ต่อไปได้

บทที่ 4

สมรรถนะของโปรโตคอล ISMA

4.1 บทนำ

สมรรถนะของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางทุกประเภท จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดโดยระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่มีต่อสมรรถนะของตัวระบบเอง ในบทนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ ได้แก่ รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (service area radius), ระยะเวลาห้าม (inhibited time), ความยาวของแพ็กเก็ต (packet length) และอัตราเร็วสัญลักษณ์ (symbol rate) เพื่อให้เข้าใจถึงขีดความสามารถตลอดจนข้อจำกัดของโปรโตคอล ISMA และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดแนวทางปรับปรุงสมรรถนะของระบบต่อไป

การวิเคราะห์สมรรถนะด้านต่าง ๆ ของระบบ จะทำการประเมินโดยใช้ทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าสมรรถนะของระบบที่พิจารณา นั้น ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ (throughput), ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ต (average packet delay), จำนวนการชน (number of collided attempts) และจำนวนการห้าม (number of inhibited attempts) โดยกำหนดนิยาม ดังนี้

ค่าวิสัยสามารถ คือ อัตราการส่งแพ็กเก็ตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่ออัตราการส่งแพ็กเก็ตทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ช่องสัญญาณในระยะเวลาที่กำหนด

ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ต คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลา ระหว่างเวลาสร้างแพ็กเก็ตกับเวลาที่ส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ

จำนวนการชน คือ จำนวนครั้งของการชนกันของแพ็กเก็ตบนช่องสัญญาณ

จำนวนการห้าม คือ จำนวนครั้งของการสร้างแพ็กเก็ตในขณะที่ได้รับสัญญาณใช้งาน

4.2 การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA

การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA โดยการจำลองระบบการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของระบบที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอล ประกอบด้วย รัศมีของพื้นที่ให้บริการ ระยะเวลาห้าม ความยาวของแพ็กเก็ต และอัตราเร็วสัญลักษณ์ เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษา ไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงการทำงานของโปรโตคอล ISMA ให้มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นต่อไป

4.2.1 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาจากค่าสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม ดังนี้

4.2.1.1 การประเมินค่าวิสัยสามารถ

กำหนดให้ S แทนค่าวิสัยสามารถของระบบ โดยเป็นฟังก์ชันของระยะเวลาห้าม แทนด้วย d กับอัตราการป้อนทราฟฟิกทั้งหมด แทนด้วย G และกำหนดให้ \bar{B} แทนค่าประมาณของช่องเวลาใช้งานเฉลี่ย และ \bar{I} แทนค่าประมาณของช่องเวลาวางเฉลี่ย และ $\bar{B} + \bar{I}$ เป็นค่าประมาณของ 1 รอบการทำงานของช่องสัญญาณ และกำหนดให้ \bar{U} เป็นระยะเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้งานโดยไม่เกิดการชนกันใน 1 รอบการทำงาน ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณเฉลี่ย (average channel utilization) หรือค่าวิสัยสามารถ ถูกกำหนดโดย [14]

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + \bar{I}} \quad (4.1)$$

และความน่าจะเป็นของการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ สามารถหาได้จาก

$$P_{succ} = \frac{\text{Prob}[\text{single arrival within a slot}]}{\text{Prob}[\text{more arrivals within a slot}]} \quad (4.2)$$

$$P_{succ} = \frac{dGe^{-dG}}{1 - e^{-dG}} \quad (4.3)$$

ดังนั้น ระยะเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้งาน โดยไม่เกิดการชนกันใน 1 รอบการทำงาน หาได้โดย [14]

$$\bar{U} = \frac{\bar{B}}{1 + d} P_{succ} \quad (4.4)$$

โดยที่ช่องเวลาใช้งานเฉลี่ย ถูกกำหนดโดย [14]

$$\bar{B} = \frac{1 + d}{e^{-dG}} \quad (4.5)$$

และช่องเวลาวางเฉลี่ย ถูกกำหนดโดย [14]

$$\bar{I} = \frac{d}{1 - e^{-dG}} \quad (4.6)$$

ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณเฉลี่ยหรือค่าวิสัยสามารถ หาได้โดยนำสมการที่ (4.4), (4.5) และ (4.6) แทนลงในสมการที่ (4.1) จะได้ [14]

$$S = \frac{dGe^{-dG}}{1 + d - e^{-dG}} \quad (4.7)$$

4.2.1.2 การประเมินค่าจำนวนการห้าม

กำหนดให้ N_i แทนจำนวนการห้าม โดยเป็นฟังก์ชันของอัตราการป้อนทราฟฟิกทั้งหมด G กับอัตราการป้อนทราฟฟิกที่สามารถส่งได้จริง แทนด้วย H และค่าวิสัยสามารถ S ถูกกำหนดโดย [14]

$$N_i = (G - H) / S \quad (4.8)$$

โดยที่อัตราการป้อนทราฟฟิกที่สามารถส่งได้จริง H สามารถหาได้จาก

$$H_s = \frac{dG^2 e^{-dG}}{1 - e^{-dG}} \quad (4.9)$$

4.2.1.3 การประเมินค่าจำนวนการชน

กำหนดให้ N_c แทนจำนวนการชน โดยเป็นฟังก์ชันของอัตราการป้อนทราฟฟิกที่สามารถส่งได้จริง H และค่าวิสัยสามารถ S ถูกกำหนดโดย [14]

$$N_c = (H - S) / S \quad (4.10)$$

4.2.1.4 การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต

จากการทำงานของโปรโตคอล Slotted non-persistent ISMA ที่เครื่องลูกข่ายจะส่งแพ็กเกตในช่วงเวลาเท่านั้น ทำให้เกิดการดีเลย์จากการรอส่งขึ้น รวมถึงการดีเลย์จากการรอส่งซ้ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลในขณะที่ได้รับสัญญาณใช้งาน หรือการดีเลย์จากการส่งแพ็กเกตชนกัน ดังนั้น ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตในระบบ สามารถอธิบายตามขั้นตอนการทำงาน

ได้เป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าดีเลย์จากการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ ค่าดีเลย์จากการชน และค่าดีเลย์จากการห้าม ดังนี้

1. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการส่งสำเร็จ แทนด้วย D_s และสามารถหาได้จากสมการ

$$D_s = 1 + d \quad (4.11)$$

2. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการชน แทนด้วย D_r ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะทำการส่งซ้ำจนกว่าจะสามารถส่งได้สำเร็จ โดยเป็นฟังก์ชันของช่องเวลาที่มีการรับแพ็กเก็ต เท่ากับ $1 + d$, ระยะเวลาของการส่งแพ็กเก็ตตอบรับ แทนด้วย T_a , ระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตซ้ำจากการชนกัน แทนด้วย T_c และจำนวนการชน N_c ซึ่งหาได้จาก

$$D_r = N_c (1 + d + T_a + T_c) \quad (4.12)$$

3. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการห้าม แทนด้วย D_i ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะทำการส่งซ้ำจนกว่าจะสามารถส่งได้สำเร็จ เกิดจากการที่เครื่องลูกข่ายสร้างแพ็กเก็ตในขณะที่ได้รับสัญญาณใช้งาน โดยเป็นฟังก์ชันของระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตซ้ำจากการห้าม แทนด้วย T_r และจำนวนการห้าม N_r ซึ่งหาได้จาก

$$D_i = N_r T_r \quad (4.13)$$

ดังนั้น ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA สามารถหาได้จากผลรวมของสมการ (4.11), (4.12) และ (4.13) ดังนี้

$$D = 1 + d + N_c (1 + d + T_a + T_c) + N_r T_r \quad (4.14)$$

4.2.2 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ด้วยโปรแกรมจำลองระบบ

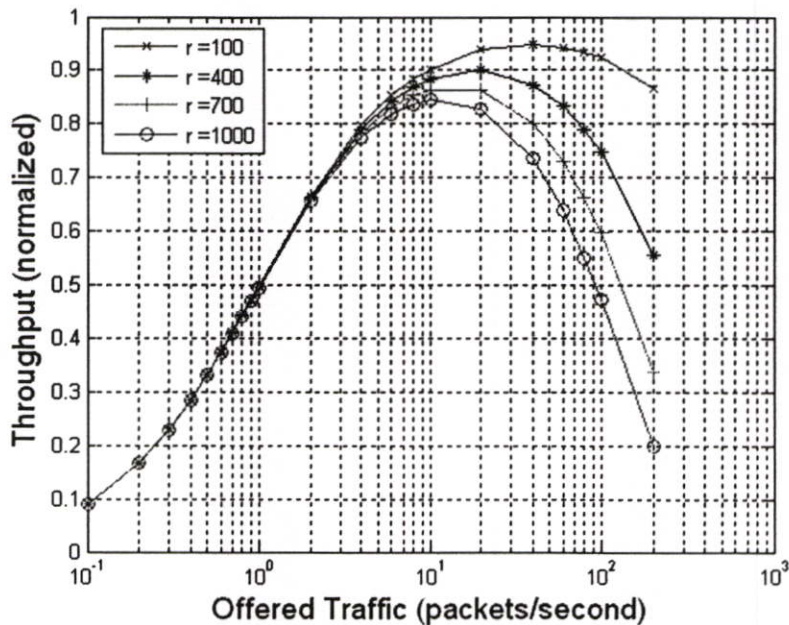
การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ด้วยโปรแกรมจำลองระบบ โดยพิจารณาจากค่าสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม ดังนี้

4.2.2.1 การประเมินค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128 บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.00136, 0.00533, 0.00933, 0.01334
สถานีฐาน	
Service area radius (<i>r</i>)	100, 400, 700, 1,000 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300 เครื่อง

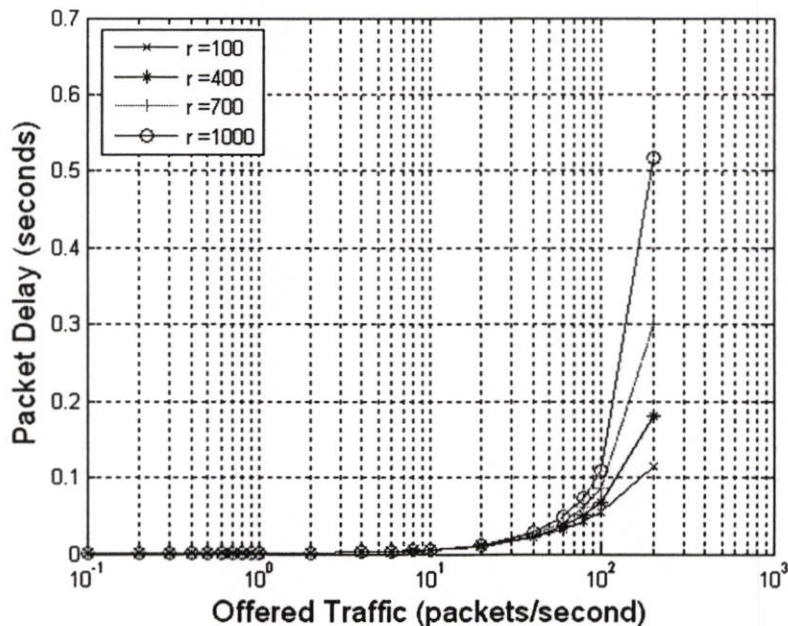
1. การประเมินค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยความสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อรัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 400, 700 และ 1,000 เมตร ตามลำดับ พบว่าค่าวิสัยสามารถที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าลดลงจาก 0.865449 เป็น 0.555126, 0.338756 และ 0.199527 ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณมีค่าลดลงจาก 0.948729 เป็น 0.900150, 0.863717 และ 0.845144 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.2 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าวิสัยสามารถและความจุของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA จึงเหมาะกับระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการต่ำ มากกว่าระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการสูง เพราะระบบจะให้ค่าความจุของช่องสัญญาณที่มากกว่า และสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

2. การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

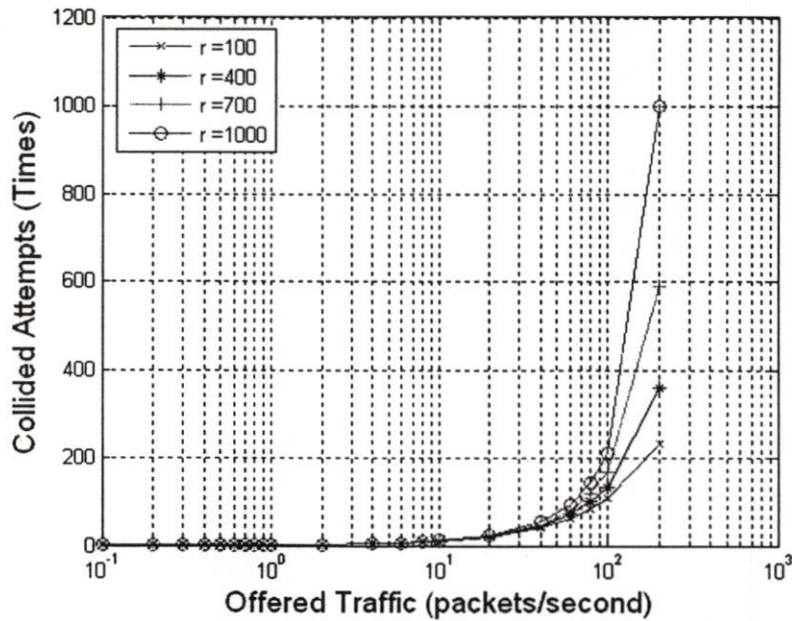


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ ($r = 100, 400, 700$ และ $1,000$ เมตร)

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 400, 700 และ 1,000 เมตร ตามลำดับ พบว่าค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.115841 เป็น 0.181697, 0.299540 และ 0.511528 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.2 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล

ISMA เหมาะกับระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการต่ำ มากกว่าระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการสูง เพราะระบบจะให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน

3. การประเมินค่าจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ



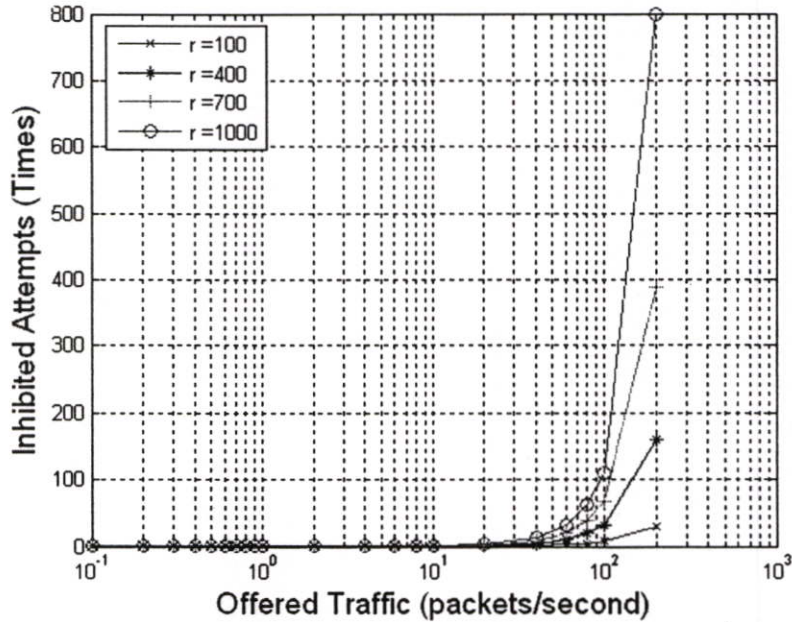
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 400, 700 และ 1,000 เมตร ตามลำดับ พบว่าจำนวนการชนที่อัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 230.094000 เป็น 359.278400, 589.395600 และ 1001.369000 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.2 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะจำนวนการชนของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการต่ำ มากกว่าระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการชนต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน

4. การประเมินค่าจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 400, 700 และ 1,000 เมตร ตามลำดับ พบว่าจำนวนการห้ามที่อัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 29.952130 เป็น

158.651800, 388.191100 และ 799.523100 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.2 ดังนั้น หากพิจารณาเฉพาะจำนวนการห้ามของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการต่ำ มากกว่าระบบที่มีรัศมีของพื้นที่ให้บริการสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการห้ามต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) = 100, 400, 700 และ 1,000 เมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

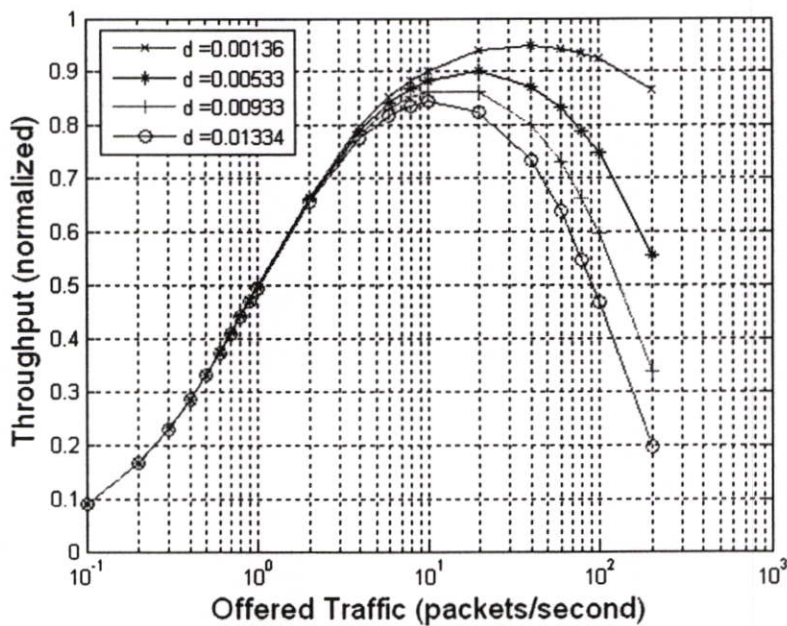
สมรรถนะของระบบ	รัศมีของพื้นที่ให้บริการ (r) (เมตร)			
	100	400	700	1,000
ความจุของช่องสัญญาณ	0.948729	0.900150	0.863717	0.845144
ค่าวิสัยสามารถ	0.865449	0.555126	0.338756	0.199527
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต	0.115841	0.181697	0.299540	0.511528
จำนวนการชนเฉลี่ย	230.094000	359.278400	589.395600	1001.369000
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	29.952130	158.651800	388.191100	799.523100

4.2.2.2 การประเมินค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128 บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.00136, 0.00533, 0.00933, 0.01334
สถานีฐาน	
Service area radius (<i>r</i>)	100, 400, 700, 1,000 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300 เครื่อง

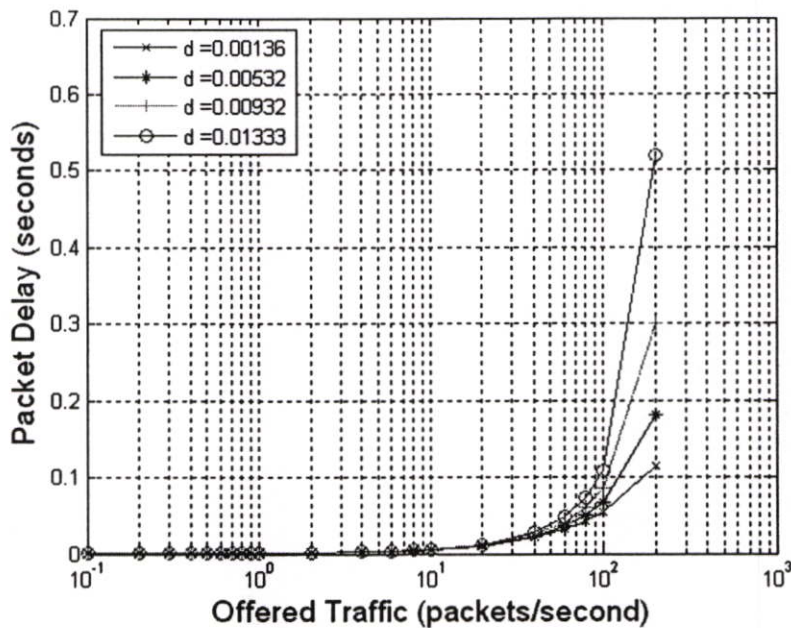
1. การประเมินค่าวิสัยสมารถของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสมารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (*d*) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.00136 เป็น 0.00533, 0.00933 และ 0.01334 ตามลำดับ พบว่าค่าวิสัยสามารถที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที มีค่าลดลงจาก 0.865330 เป็น 0.555604, 0.337977 และ 0.196244 ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณมีค่าลดลง จาก 0.948703 เป็น 0.900220, 0.863632 และ 0.844587 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าวิสัยสามารถและความจุของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA จึงเหมาะกับระบบที่มีระยะเวลาห้ามต่ำ มากกว่าระบบที่มีระยะเวลาห้ามสูง เพราะระบบจะให้ค่าความจุของช่องสัญญาณมากกว่า และสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

2. การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

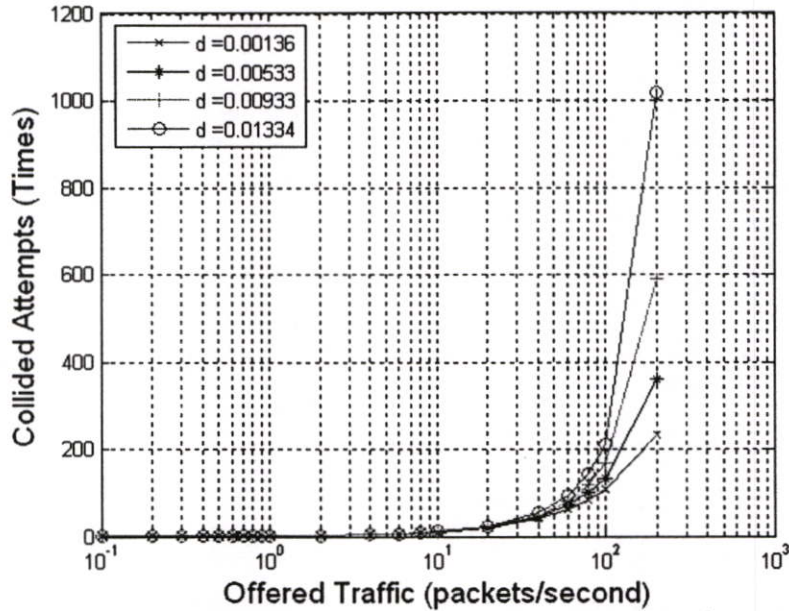


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.00136 เป็น 0.00533, 0.00933 และ 0.01334 ตามลำดับ พบว่า ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.115857 เป็น 0.181539, 0.300239 และ 0.520177 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล

ISMA เหมาะกับระบบที่มีระยะเวลาห้ามต่ำ มากกว่าระบบที่มีระยะเวลาห้ามสูง เพราะระบบจะให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน

3. การประเมินค่าจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม



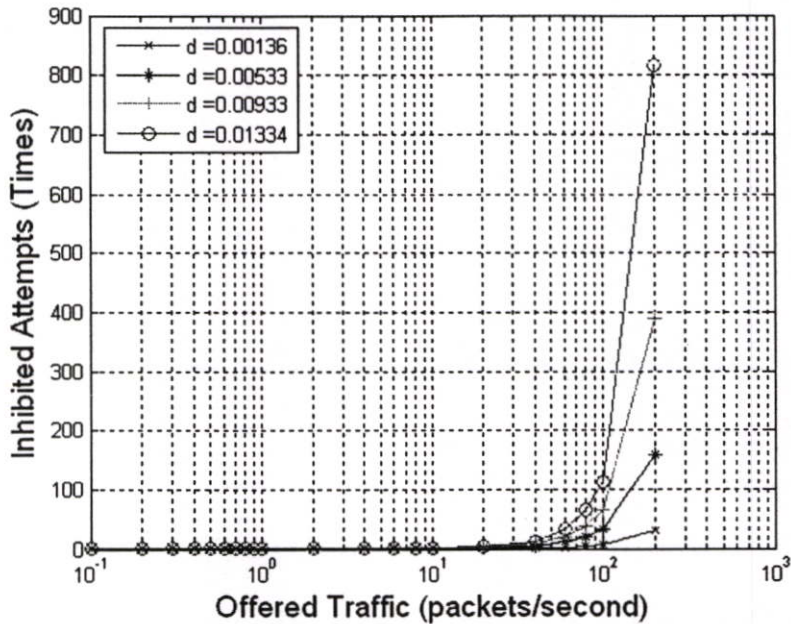
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนกราฟฟิก เมื่อระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.00136 เป็น 0.00533, 0.00933 และ 0.01334 ตามลำดับ พบว่าจำนวนการชนที่อัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 230.125800 เป็น 358.968500, 590.757000 และ 1018.139000 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะจำนวนการชนของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีระยะเวลาห้ามต่ำ มากกว่าระบบที่มีระยะเวลาห้ามสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการชนต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน

4. การประเมินค่าจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก เมื่อระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.00136 เป็น 0.00533, 0.00933 และ 0.01334 ตามลำดับ พบว่าจำนวนการห้ามที่อัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 29.983780 เป็น 158.342900, 389.549700 และ 816.273200 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4 ดังนั้น

หากพิจารณาเฉพาะจำนวนการห้ามของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีระยะเวลาห้ามต่ำ มากกว่าระบบที่มีระยะเวลาห้ามสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการห้ามต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม (d) = 0.00136, 0.00533, 0.00933 และ 0.01334

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

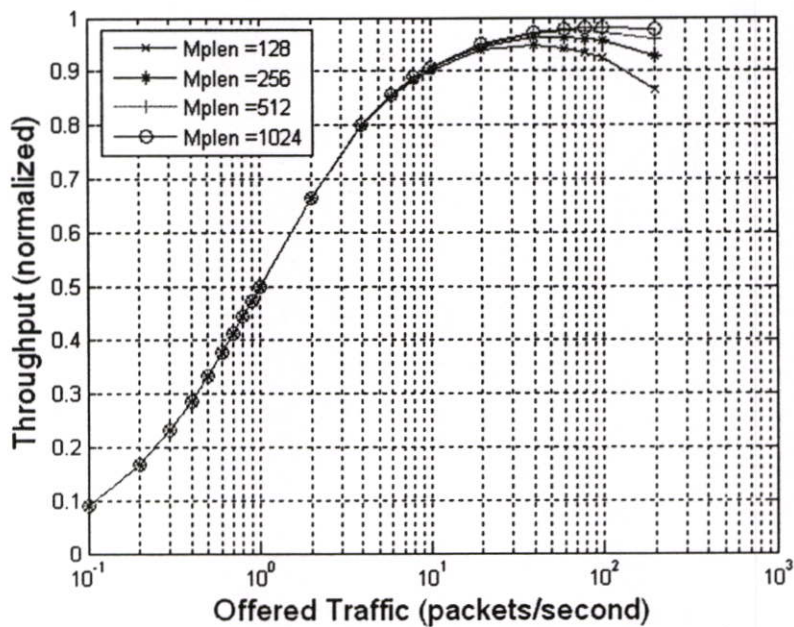
สมรรถนะของระบบ	ค่าระยะเวลาห้าม (d)			
	0.00136	0.00533	0.00933	0.01334
ความจุของช่องสัญญาณ	0.948703	0.900220	0.863632	0.844587
ค่าวิสัยสามารถ	0.865330	0.555604	0.337977	0.196244
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต	0.115857	0.181539	0.300239	0.520177
จำนวนการชนเฉลี่ย	230.125800	358.968500	590.757000	1018.139000
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	29.983780	158.342900	389.549700	816.273200

4.2.2.3 การประเมินค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128, 256, 512, 1,024 บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.00136
สถานีฐาน	
Service area radius (<i>r</i>)	100 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300 เครื่อง

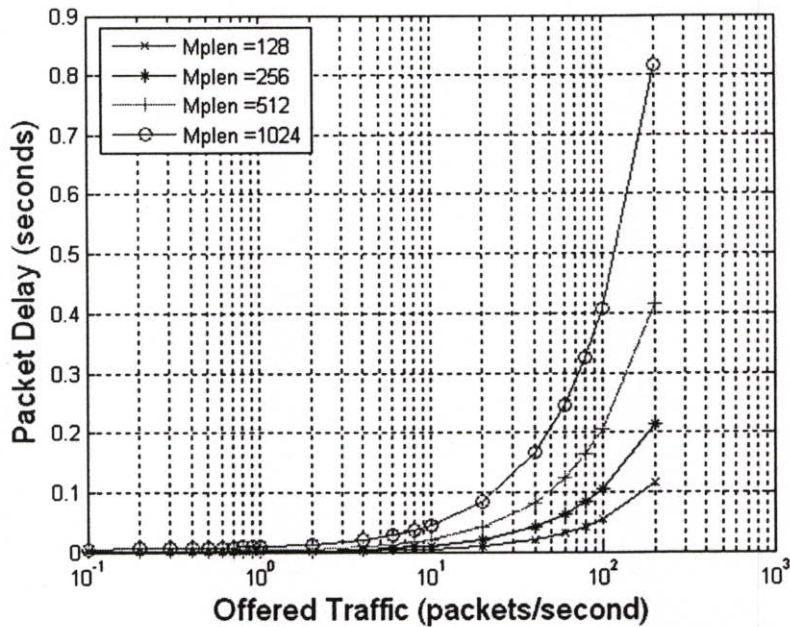
1. การประเมินค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยความสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ความยาวของแพ็กเก็ต (*Mplen*) = 128, 256, 442 และ 1,024 บิต

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อความยาวของแพ็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 128 เป็น 256, 442 และ 1,024 บิต ตามลำดับ พบว่าค่าวิสัยสามารถที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.865258 เป็น 0.928597, 0.961539 และ 0.978163 ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.948688 เป็น 0.963360, 0.974170 และ 0.981645 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.6 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าวิสัยสามารถและความจุของระบบเป็นสิ่งสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีแพ็กเกตขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีแพ็กเกตขนาดเล็ก เพราะระบบจะให้ค่าความจุของช่องสัญญาณมากกว่า และสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

2. การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเกต

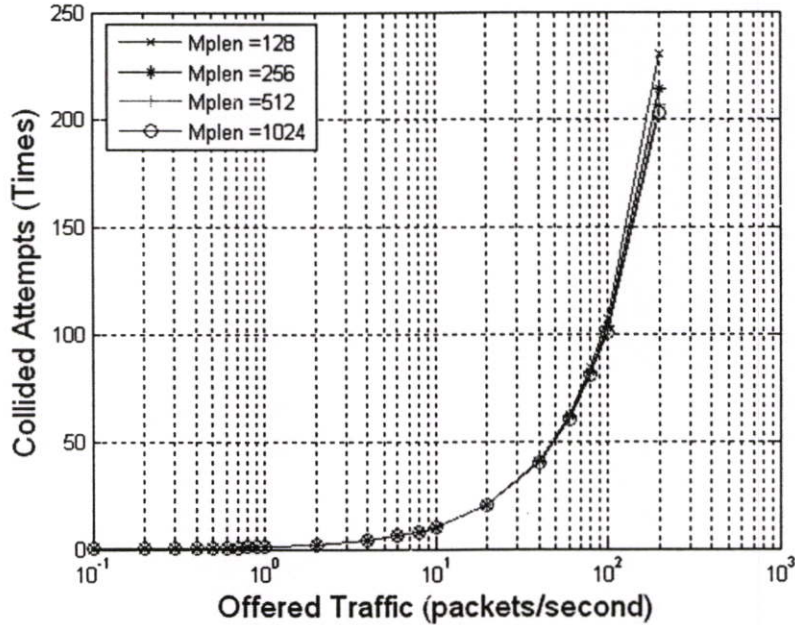


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ความยาวของแพ็กเกต (M_{plen}) = 128, 256, 442 และ 1,024 บิต

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อความยาวของแพ็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 128 เป็น 256, 442 และ 1,024 บิต ตามลำดับ พบว่าค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.115367 เป็น 0.214806, 0.414990 และ 0.817080 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.6 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของระบบเป็นสิ่งสำคัญ โปรโตคอล ISMA

เหมาะกับระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดเล็กมากกว่าระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดใหญ่ เพราะระบบจะมีค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่ำกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

3. การประเมินค่าจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต



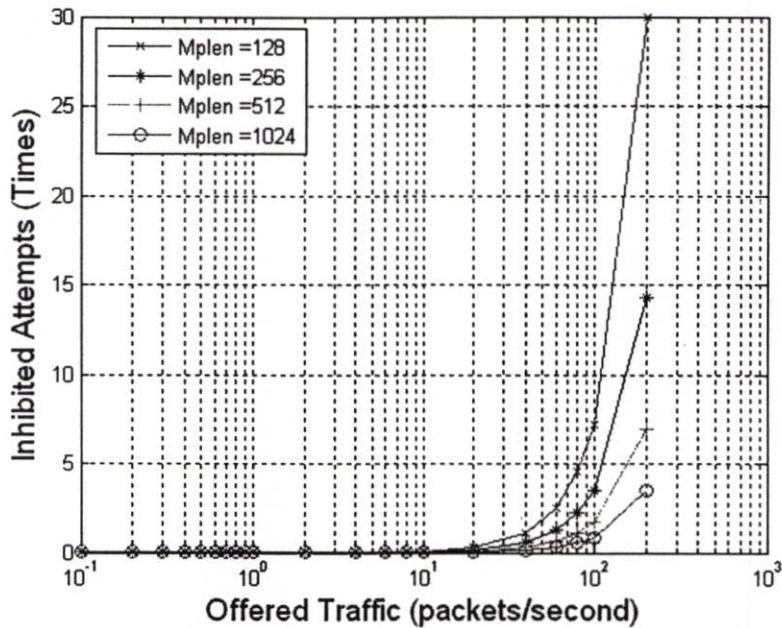
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ความยาวของแพ็กเก็ต (M_{plen}) = 128, 256, 442 และ 1,024 บิต

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อความยาวของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจาก 128 เป็น 256, 442 และ 1,024 บิต ตามลำดับ พบว่า จำนวนการชนมีค่าลดลงที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที จาก 230.144900 เป็น 214.378700, 206.999800 และ 203.464800 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.6 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะจำนวนการชนของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดเล็ก เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการชนต่ำกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

4. การประเมินค่าจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่อความยาวของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจาก 128 เป็น 256, 442 และ 1,024 บิต ตามลำดับ พบว่า จำนวนการห้ามที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที มีค่าลดลงจาก 30.002750 เป็น 14.309180, 6.965558 และ 3.447772 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.6 ดังนั้นหาก

พิจารณาเฉพาะจำนวนการห้ามของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีแพ็กเก็ตขนาดเล็ก เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการห้ามต่ำกว่าที่อัตราการป้อนกราฟฟิกเท่ากัน



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ความยาวของแพ็กเก็ต (M_{plen}) = 128, 256, 442 และ 1,024 บิต

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

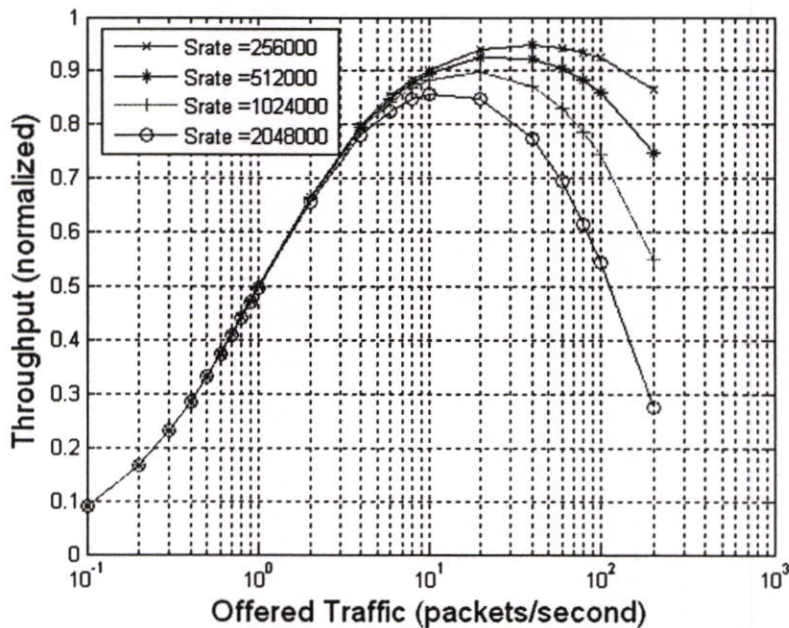
สมรรถนะของระบบ	ความยาวของแพ็กเก็ต (M_{plen}) (บิต)			
	128	256	442	1,024
ความจุของช่องสัญญาณ	0.948688	0.963360	0.974170	0.981645
ค่าวิสัยสามารถ	0.865258	0.928597	0.961539	0.978163
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต	0.115367	0.214806	0.414990	0.817080
จำนวนการชนเฉลี่ย	230.144900	214.378700	206.999800	203.464800
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	30.002750	14.309180	6.965558	3.447772

4.2.2.4 การประเมินค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์ โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate (<i>Srate</i>)	256, 512, 1,024, 2,048 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (<i>Mplen</i>)	128 บิต
Inhibited time (<i>d</i>) (normalized)	0.00136
สถานีฐาน	
Service area radius (<i>r</i>)	100 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (<i>Mnum</i>)	300 เครื่อง

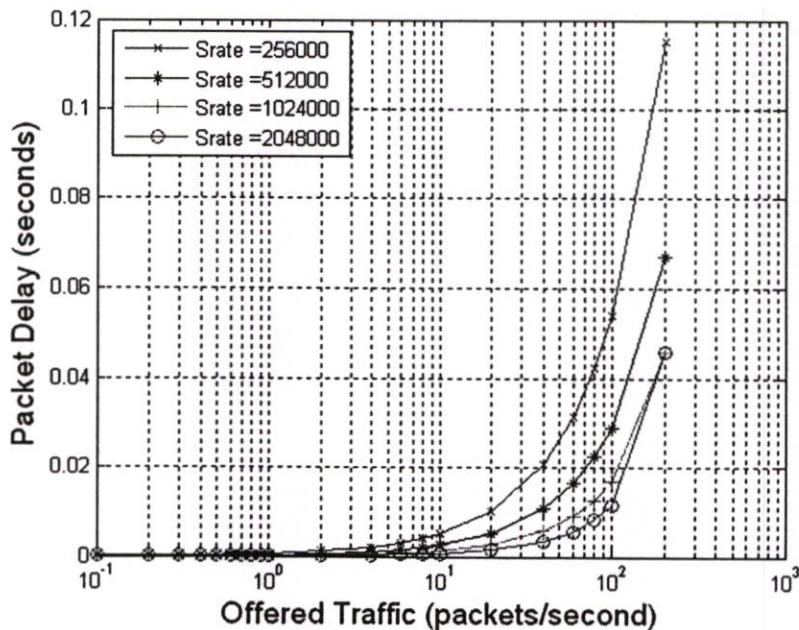
1. การประเมินค่าวิสัยความสามารถของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยความสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่อัตราเร็วสัญลักษณ์ (*Srate*) = 256, 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่ออัตราเร็วสัญลักษณ์เพิ่มขึ้นจาก 256 เป็น 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าค่าวิสัยสามารถที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าลดลงจาก 0.865324 เป็น 0.748112, 0.549122 และ 0.275572 ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณมีค่าลดลงจาก 0.948702 เป็น 0.925551, 0.899267 และ 0.856269 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.8 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าวิสัยสามารถและความจุของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีอัตราเร็วสัญลักษณ์ของช่องสัญญาณต่ำ มากกว่าระบบที่มีอัตราเร็วสัญลักษณ์ของช่องสัญญาณสูง เพราะระบบจะให้ค่าความจุของช่องสัญญาณมากกว่า และสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

2. การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

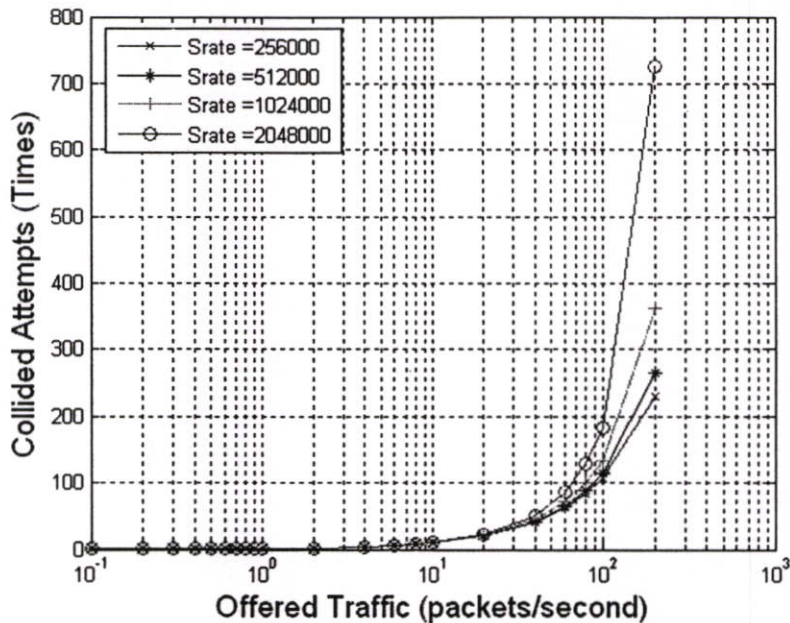


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่อัตราเร็วสัญลักษณ์ (Srate) = 256, 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่ออัตราเร็วสัญลักษณ์เพิ่มขึ้นจาก 256 เป็น 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที มีค่าลดลงจาก 0.115358 เป็น 0.066876 และ 0.045780 ตามลำดับ ยกเว้นที่อัตราเร็วสัญลักษณ์ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที มีค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตเท่ากับ 0.046041 ซึ่งสูงกว่าค่าดีเลย์เฉลี่ยของ

แพ็กเก็ตที่อัตราเร็วสัญญาณ 1,024 กิโลบิตต่อวินาที รายละเอียดตามตารางที่ 4.8 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณสูง ในช่วงที่อัตราการป้อนทราฟฟิกต่ำ และเหมาะกับระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณต่ำ ในช่วงที่อัตราการป้อนทราฟฟิกสูง เพราะระบบจะให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่ำกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

3. การประเมินค่าจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ

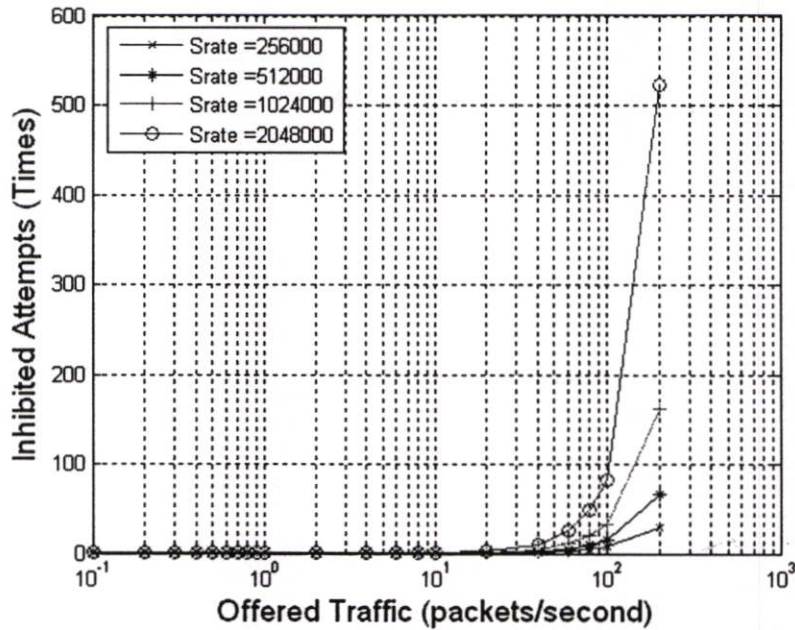


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่อัตราเร็วสัญญาณ (Srate) = 256, 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่ออัตราเร็วสัญญาณเพิ่มขึ้นจาก 256 เป็น 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าจำนวนการชนที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 230.127400 เป็น 266.339700, 363.217700 และ 724.762300 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.8 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะจำนวนการชนของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณต่ำ มากกว่าระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการชนต่ำกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน

4. การประเมินค่าจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก เมื่ออัตราเร็วสัญญาณเพิ่มขึ้นจาก 256 เป็น 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าจำนวนการห้ามที่อัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 29.985360 เป็น 66.043800, 162.578700 และ 523.309300 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 4.8 ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะจำนวนการห้ามของระบบเป็นสำคัญ โปรโตคอล ISMA เหมาะกับระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณต่ำ มากกว่าระบบที่มีอัตราเร็วสัญญาณของช่องสัญญาณสูง เพราะระบบจะให้ค่าจำนวนการห้ามต่ำกว่าที่อัตราการป้อนทราฟฟิกเท่ากัน



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่อัตราเร็วสัญญาณ (Srate) = 256, 512, 1,024 และ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ

สมรรถนะของระบบ	อัตราเร็วสัญญาณ (srate) (กิโลบิตต่อวินาที)			
	256	512	1,024	2,048
ความจุของช่องสัญญาณ	0.948702	0.925551	0.899267	0.856269
ค่าวิสัยสามารถ	0.865324	0.748112	0.549122	0.275572
ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต	0.115358	0.066876	0.045780	0.046041
จำนวนการชนเฉลี่ย	230.127400	266.339700	363.217700	724.762300
จำนวนการห้ามเฉลี่ย	29.985360	66.043800	162.578700	523.309300

ผลที่ได้จากการประเมินสมรรถนะของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในระบบ สามารถสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ของระบบที่ให้ค่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA สูงมีดังนี้

1. โปรโตคอล ISMA จะมีสมรรถนะดีขึ้น เมื่อระบบมีค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการต่ำ เพราะระบบจะให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณสูง ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำ ค่าจำนวนการชนต่ำ และค่าจำนวนการห้ามต่ำ

2. โปรโตคอล ISMA จะมีสมรรถนะดีขึ้น เมื่อระบบมีค่าระยะเวลาห้ามต่ำ เพราะระบบจะให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณสูง ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำ ค่าจำนวนการชนต่ำ และค่าจำนวนการห้ามต่ำ

3. โปรโตคอล ISMA จะมีสมรรถนะดีขึ้น เมื่อระบบมีการใช้แพ็กเกตขนาดเล็ก เพราะระบบจะให้ค่าวิสัยสามารถของระบบ และความจุของช่องสัญญาณที่ต่ำกว่าระบบที่ใช้แพ็กเกตขนาดใหญ่เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตที่ต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ระบบจะให้ค่าจำนวนการชนที่สูงกว่าเล็กน้อย และให้ค่าจำนวนการห้ามที่สูงกว่ามาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกความยาวของแพ็กเกตที่เหมาะสมกับแต่ละบริการ จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก

4. โปรโตคอล ISMA จะมีสมรรถนะดีขึ้น เมื่อระบบมีอัตราเร็วสัญลักษณ์ต่ำ เพราะระบบจะให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณสูง ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำที่อัตราการป้อนทราฟฟิกสูง นอกจากนี้ระบบจะให้ค่าจำนวนการชนต่ำ และค่าจำนวนการห้ามต่ำ

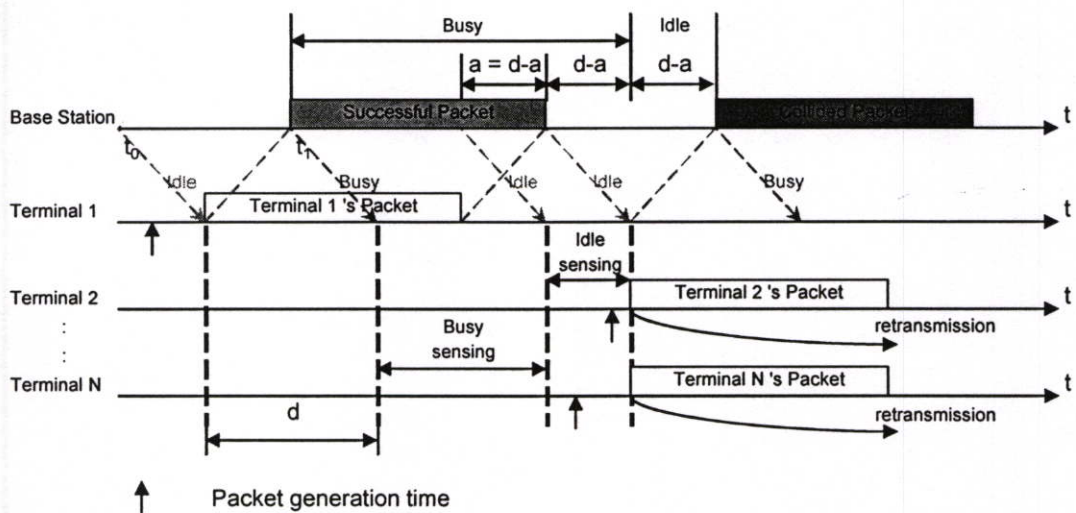
ดังนั้นโปรโตคอล ISMA จึงเหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ให้บริการที่มีขนาดเล็ก เพราะมีค่าระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบต่ำ และถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของระบบ ทำให้ในการออกแบบจำเป็นต้องใช้เซลล์จำนวนมากขึ้น เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่บริการที่ต้องการ และในการปรับปรุงโปรโตคอล ISMA ให้สามารถใช้งานได้ดีในพื้นที่ให้บริการที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น จะต้องสามารถลดผลของระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบให้น้อยลง เพราะเป็นพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการโดยตรง

4.3 การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

แนวทางในการลดผลที่เกิดจากระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ต้องทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานในส่วนที่สามารถดำเนินการได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องรอให้การทำงานในลำดับก่อนหน้าเสร็จ ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกที่จะปรับปรุงขั้นตอนของการแพร่กระจายสัญญาณว่างของสถานีฐาน และระยะเวลาที่สถานีฐานทำการส่งสัญญาณว่างออกมา เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ไม่จำเป็นต้องรอให้ขั้นตอนการทำงานลำดับก่อนหน้าเสร็จ และเป็นขั้นตอนที่ควบคุมโดยสถานีฐานซึ่งทำให้สามารถดำเนินการปรับปรุงได้ง่าย และไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนการทำงาน

ของโปรโตคอล โดยกำหนดให้สถานีฐานแพร่กระจายสัญญาณว่างก่อนที่จะทำการรับแพ็กเก็ตเสร็จ เรียกว่า การชดเชยเวลา และช่วงเวลาที่สถานีฐานส่งสัญญาณว่างออกมาก่อนที่จะรับแพ็กเก็ตเสร็จ เรียกว่า ระยะเวลาชดเชย (advanced time) แทนด้วย a โดยกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าระยะเวลาห้ามเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนทับกันของแพ็กเก็ตของช่องเวลาใช้งานถัดไป นอกจากนี้สถานีฐานจะลดช่วงเวลาการส่งสัญญาณว่างให้สั้นลง เพื่อลดโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตบนช่องสัญญาณให้น้อยลง

จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ทางเวลาของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา โดยสถานีฐานจะทำการแพร่กระจายสัญญาณว่างออกมาก่อนรับแพ็กเก็ตเสร็จ ทำให้ช่วงรับรู้การใช้งานสั้นลง และการที่สถานีฐานลดช่วงเวลาการส่งสัญญาณว่างลง ยังทำให้ช่วงการรับรู้ว่างสั้นลงอีกด้วย นอกจากนี้การชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างยังสามารถทำให้ช่องเวลาใช้งานมีขนาดลดลง โดยมีขนาดเท่ากับผลรวมของระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต กับผลต่างของระยะเวลาห้ามกับระยะเวลาชดเชย และช่องเวลาว่างจะมีขนาดเท่ากับผลต่างของระยะเวลาห้ามกับระยะเวลาชดเชย โดยช่วงเวลาที่ลดลงนั้น มีค่าเท่ากับระยะเวลาที่ชดเชยให้กับระบบนั่นเอง



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ทางเวลาของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา

เมื่อช่องเวลาว่างและช่องเวลาใช้งานมีขนาดลดลง ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตในช่องเวลาใช้งานคงที่ ส่งผลให้สัดส่วนของการใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และช่องสัญญาณสามารถรองรับทราฟฟิกได้เพิ่มขึ้นในระยะเวลาเท่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเวลาชดเชย ดังนั้นเทคนิคการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา จะดำเนินการโดยใช้ทั้งโปรแกรมจำลองระบบ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA

4.3.1 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างของโปรโตคอล ISMA โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ ทำให้สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เดียวกับโปรโตคอล ISMA ที่ไม่มีการชดเชยเวลาได้ โดยทำการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้กับระบบที่มีการชดเชยเวลา ดังนี้

4.3.1.1 การประเมินค่าวิสัยความสามารถของระบบที่มีการชดเชยเวลา

การชดเชยเวลาให้กับระบบจะทำให้ค่าประมาณของช่องเวลาใช้งานเฉลี่ย \bar{B} และค่าประมาณของช่องเวลาว่างเฉลี่ย \bar{I} มีขนาดเล็กลงจาก d เป็น $d-a$ โดยที่ a แทนระยะเวลาชดเชย ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ สามารถหาได้จาก

$$P_{succ} = \frac{(d-a)Ge^{-(d-a)G}}{1-e^{-(d-a)G}} \quad (4.15)$$

และ ระยะเวลาใน 1 รอบการทำงาน ที่ช่องสัญญาณถูกใช้งาน โดยไม่เกิดการชนกัน หาได้จาก

$$\bar{U} = \frac{\bar{B}}{1+(d-a)} P_{succ} \quad (4.16)$$

โดยที่ช่องเวลาใช้งาน ถูกกำหนดโดย

$$\bar{B} = \frac{1+(d-a)}{e^{-(d-a)G}} \quad (4.17)$$

และช่องเวลาว่าง ถูกกำหนดโดย

$$\bar{I} = \frac{d-a}{1-e^{-(d-a)G}} \quad (4.18)$$

ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณเฉลี่ย หรือค่าวิสัยสามารถ สามารถหาได้โดยการนำสมการที่ (4.16), (4.17) และ (4.18) แทนลงในสมการ (4.1) จะได้

$$S = \frac{(d-a)Ge^{-(d-a)G}}{1+(d-a)-e^{-(d-a)G}} \quad (4.19)$$

4.3.1.2 การประเมินค่าจำนวนการห้ามของระบบที่มีการชดเชยเวลา

จำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา สามารถหาได้จากสมการ (4.8) เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA โดยที่ อัตราการป้อนทราฟฟิกที่สามารถส่งได้จริง H ของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา สามารถหาได้จากสมการ

$$H_s = \frac{(d-a)G^2e^{-(d-a)G}}{1-e^{-(d-a)G}} \quad (4.20)$$

4.3.1.3 การประเมินค่าจำนวนการชนของระบบที่มีการชดเชยเวลา

จำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (4.10) เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA

4.3.1.4 การประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบที่มีการชดเชยเวลา

จากการปรับปรุงการทำงานของโปรโตคอล ISMA ด้วยการชดเชยเวลา โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับของขั้นตอนการทำงาน ทำให้สามารถประเมินค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตได้ เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA ประกอบด้วย ค่าดีเลย์จากการส่งแพ็กเก็ตได้สำเร็จ ค่าดีเลย์จากการชน และค่าดีเลย์จากการห้าม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการส่งได้สำเร็จ แทนด้วย D_s และสามารถหาได้จากสมการ

$$D_s = 1+(d-a) \quad (4.21)$$

2. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการชน แทนด้วย D_r ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะทำการส่งซ้ำจนกว่าจะสามารถส่งได้สำเร็จ โดยเป็นฟังก์ชันของช่วงเวลาที่มีการรับแพ็กเก็ต เท่ากับ $1+(d-a)$, ระยะเวลาของการส่งแพ็กเก็ตตอบรับ แทนด้วย T_a , ระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตซ้ำจากการชนกัน แทนด้วย T_c และจำนวนการชน N_c ซึ่งหาได้จาก

$$D_r = N_c(1+(d-a)+T_a+T_c) \quad (4.22)$$

3. การดีเลย์ของแพ็กเก็ตจากการห้าม แทนด้วย D_s ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะทำการส่งซ้ำจนกว่าจะสามารถส่งได้สำเร็จ เกิดจากการที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งแพ็กเก็ตในขณะที่ได้รับสัญญาณใช้งาน ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (4.13) ของโปรโตคอล ISMA

ดังนั้น ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA สามารถหาได้จากผลรวมของสมการที่ (4.13), (4.21) และ (4.22) ได้ดังนี้

$$D = 1 + (d - a) + N_c(1 + (d - a) + T_a + T_c) + N_i T_r \quad (4.23)$$

4.3.2 การประเมินสมรรถนะของ ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยโปรแกรมจำลองระบบ

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยการจำลองแบบ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ได้ปรับปรุงขึ้นจากโปรแกรมการจำลองแบบของโปรโตคอล ISMA และได้ทำการประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจำลองระบบแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการจำลองระบบที่มีการชดเชยเวลาได้ เพื่อทำการศึกษาผลที่เกิดจากพารามิเตอร์ของระบบที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เช่นเดียวกับโปรโตคอล ISMA ซึ่งผลการจำลองระบบและการประเมินสมรรถนะของระบบ จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 5

ผลการจำลองและการวิเคราะห์

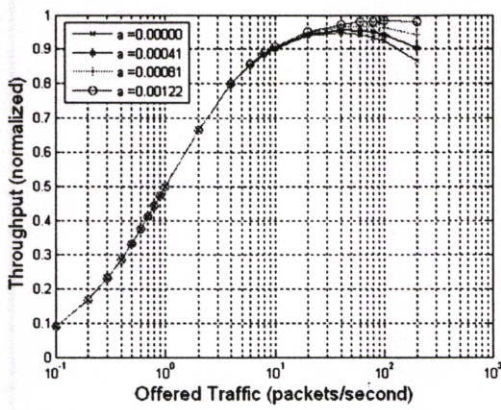
ในบทนี้จะทำการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการศึกษาผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอล ได้แก่ ค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ ได้แก่ รัศมีของพื้นที่ให้บริการ ระยะเวลาห้าม ความยาวของแพ็กเก็ต อัตราเร็วสัญญาณ โดยกำหนด ค่าระยะเวลาชดเชย (a) เท่ากับ 0%, 30%, 60% และ 90% ของระยะเวลาห้าม (d) บนช่องสัญญาณ ซึ่งโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 0% ของระยะเวลาห้าม หมายถึง โปรโตคอล ISMA ที่ไม่มีการชดเชยเวลา ซึ่งเป็นต้นแบบในการศึกษา

5.1 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

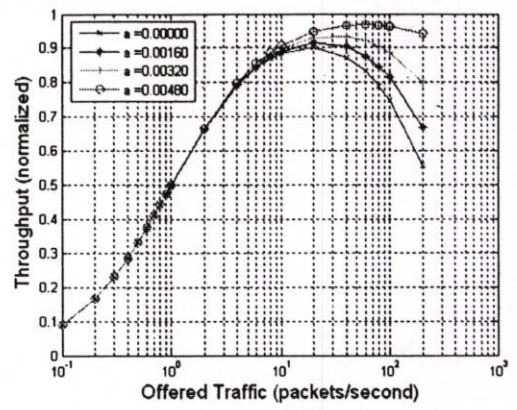
การพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการชดเชยเวลา ที่มีต่อค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้ามของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบระบบตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

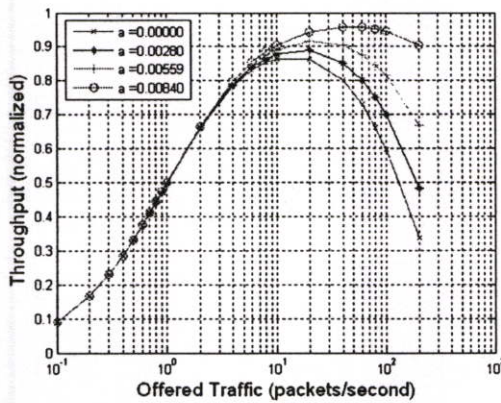
ช่องสัญญาณสื่อสาร		
Symbol rate ($Srate$)	256	กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length ($Mplen$)	128	บิต
Inhibited time (d) (normalized)	0.0014, 0.0053, 0.0093, 0.0133	
สถานีฐาน		
Service area radius (r)	100, 400, 700, 1,000	เมตร
Base station high	20	เมตร
เครื่องลูกข่าย		
Number of Mobile ($Mnum$)	300	เครื่อง
ระยะเวลาชดเชย		
Advanced time (a) (% of Inhibited time d)	0, 30, 60, 90	



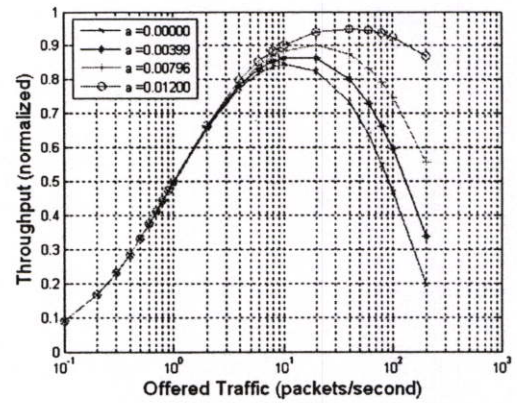
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $r =$ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการลดเซเวเวลาให้กับสัญญาณว่างจะทำให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และเมื่อการลดเซเวเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.33% เป็น 4.29% และ 4.23% ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0.84% เป็น 1.12% และ 1.64% ตามลำดับ ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100 เมตร และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการลดเซเวเวลาที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณจะมากขึ้นจาก 13.41% เป็น 341.92% และจาก 3.65% เป็น 12.38% ตามลำดับ เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร รายละเอียดตามตารางที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ดังนั้นการลดเซเวเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณได้

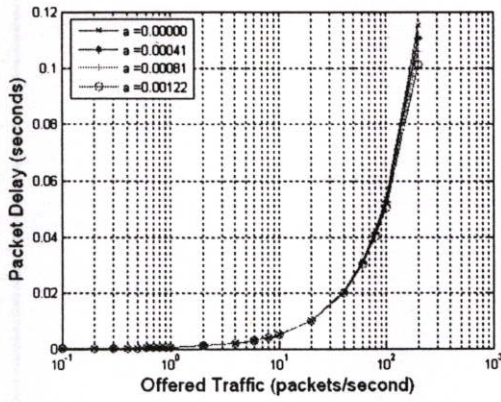
ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

รัศมีของพื้นที่ให้บริการ radius (r)	ค่าวิสัยสามารถ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
100 เมตร	0.865449	0.902960	0.941675	0.981490
400 เมตร	0.555202	0.668202	0.796798	0.942599
700 เมตร	0.337953	0.481031	0.668246	0.904583
1,000 เมตร	0.196340	0.338368	0.556936	0.867659

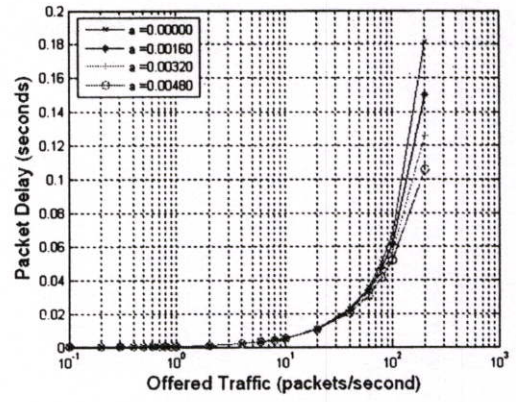
ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

รัศมีของพื้นที่ให้บริการ radius (r)	ค่าความจุของช่องสัญญาณ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
100 เมตร	0.948729	0.956726	0.967399	0.983317
400 เมตร	0.900161	0.915651	0.933568	0.967683
700 เมตร	0.863630	0.888734	0.915657	0.957068
1,000 เมตร	0.844603	0.863675	0.900415	0.949205

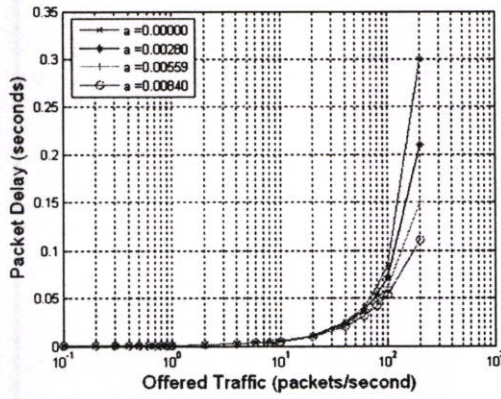
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการบ่อนทรานฟิฟที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างจะทำให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.21% เป็น 4.17% และ 4.12% ตามลำดับ ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100 เมตร และอัตราการบ่อนทรานฟิฟ 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะมากขึ้นจาก 11.99% เป็น 77.72% เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร รายละเอียดตามตารางที่ 5.4 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบได้



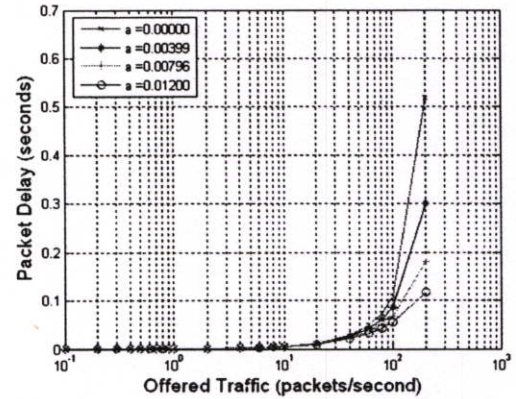
(a)



(b)



(c)

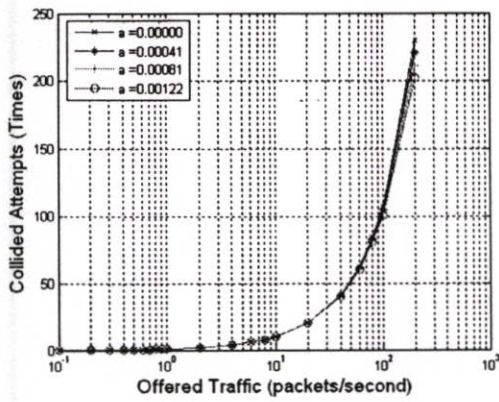


(d)

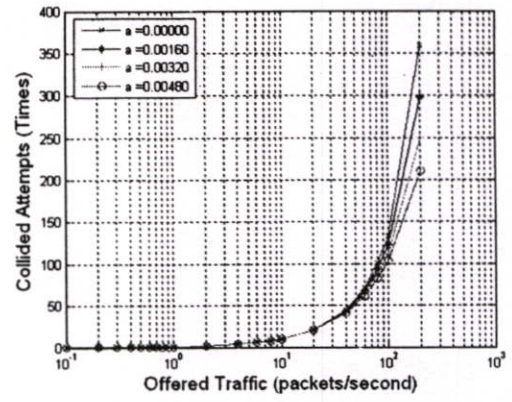
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ $r =$ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA กับโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

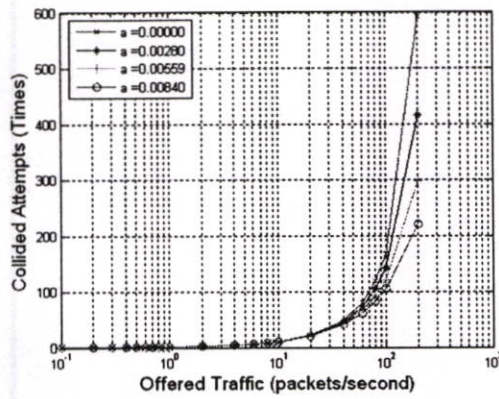
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ radius (r)	ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
100 เมตร	0.115341	0.110482	0.105874	0.101515
400 เมตร	0.181172	0.150201	0.125672	0.105979
700 เมตร	0.299760	0.209854	0.150489	0.110720
1,000 เมตร	0.519421	0.299977	0.181312	0.115730



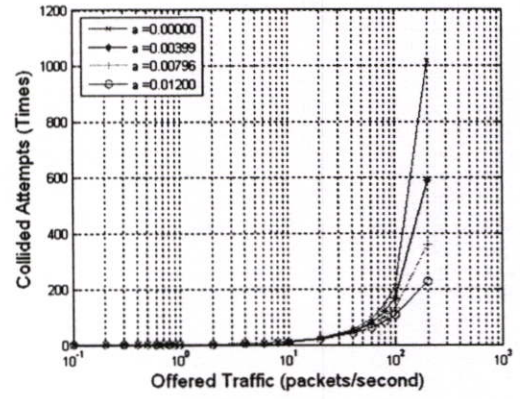
(a)



(b)



(c)



(d)

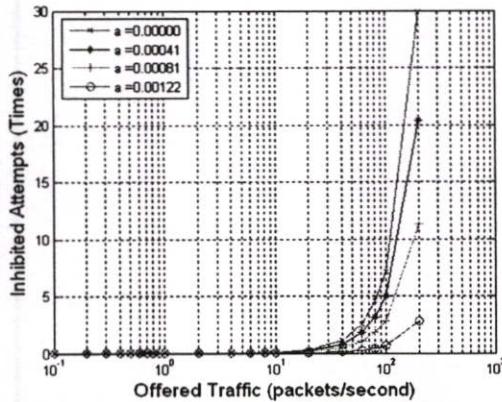
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $r =$ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่ มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการ

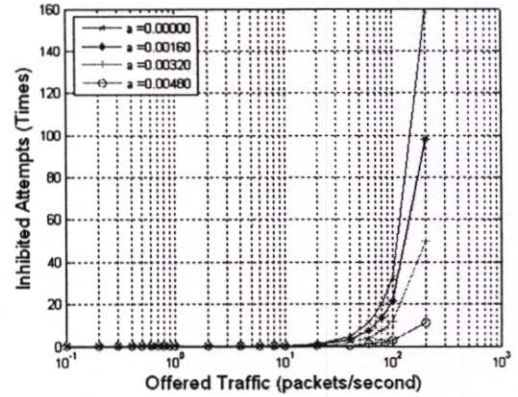
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ radius (r)	จำนวนการชนเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
100 เมตร	230.094000	220.493700	211.387400	202.771900
400 เมตร	359.229500	298.310800	250.004800	211.179300
700 เมตร	590.798100	414.773600	298.291100	220.096300
1,000 เมตร	1017.642000	590.071700	358.107700	229.505400

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างจะทำให้จำนวนการชนลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการชน

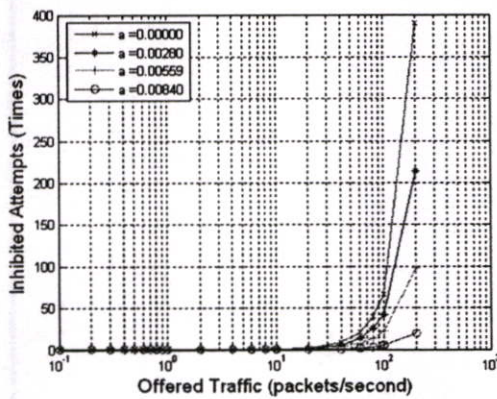
ลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.17% เป็น 4.13% และ 4.08% ตามลำดับ ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100 เมตร และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการลดเซเวเวลาที่มีต่อจำนวนการชนจะมากขึ้นจาก 11.87% เป็น 77.45% เมื่อค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร รายละเอียดตามตารางที่ 5.5 ดังนั้นการลดเซเวเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการชนของระบบได้



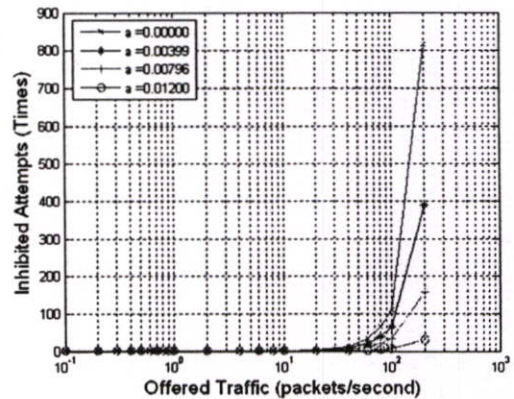
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $r =$ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ (a) 100 เมตร (b) 400 เมตร (c) 700 เมตร (d) 1,000 เมตร เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการลดเซเวเวลาให้กับสัญญาณว่างจะทำให้จำนวนการห้ามลดลง และเมื่อการลดเซเวเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการห้ามลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 31.71% เป็น 44.70% และ 75.59% ตามลำดับ ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 100 เมตร และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที

นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการห้ามจะมากขึ้นจาก 90.79% เป็น 96.40% เมื่อรัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร รายละเอียดตามตารางที่ 5.6 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการห้ามของระบบได้

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงรัศมีของพื้นที่ให้บริการ

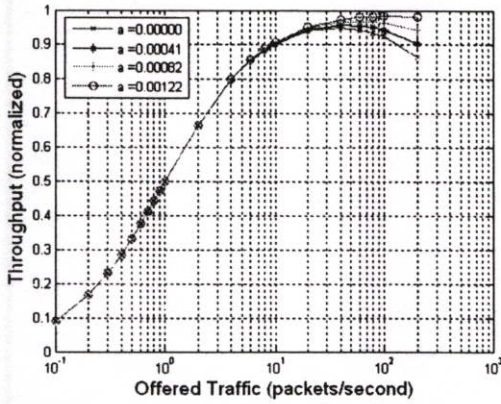
รัศมีของพื้นที่ให้บริการ radius (r)	จำนวนการห้ามเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
100 เมตร	29.895120	20.415520	11.290700	2.755663
400 เมตร	158.603000	97.891870	49.776210	11.124940
700 เมตร	389.590700	213.982600	97.872240	20.000050
1,000 เมตร	815.776600	388.865800	157.484800	29.366200

5.2 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

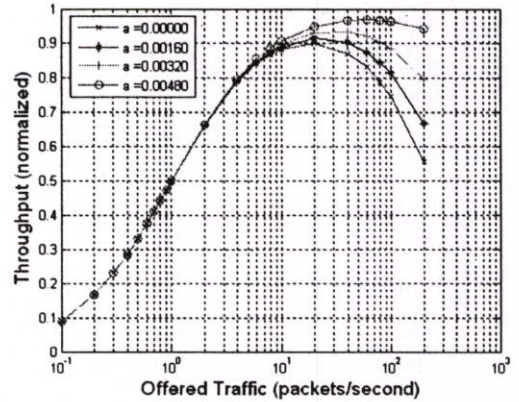
การพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการชดเชยเวลา ที่มีต่อค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้ามของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบระบบตามตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

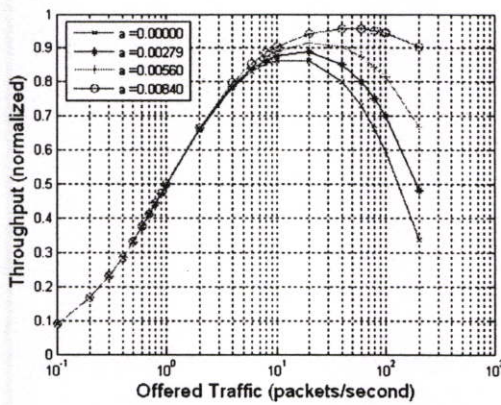
ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate ($Srate$)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length ($Mplen$)	128 บิต
Inhibited time (d) (normalized)	0.0014, 0.0053, 0.0093, 0.0133
สถานีฐาน	
Service area radius (r)	100, 400, 700, 1,000 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile ($Mnum$)	300 เครื่อง
ระยะเวลาชดเชย	
Advanced time (a) (% of Inhibited time d)	0, 30, 60, 90



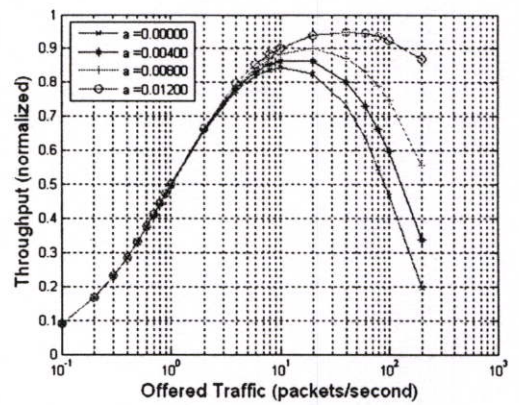
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ระยะเวลาห้าม เท่ากับ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างจะทำให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.33% เป็น 4.29% และ 4.23% ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0.84% เป็น 1.12% และ 1.65% ตามลำดับ ที่ค่าระยะเวลาห้ามเท่ากับ 0.0014 และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณจะมากขึ้นจาก 13.41% เป็น 341.97% และจาก 3.65% เป็น 12.38% ตามลำดับ เมื่อค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.0014 เป็น 0.0133 รายละเอียดตามตารางที่ 5.8 และ 5.9

ตามลำดับ ดังนั้นการขดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณได้

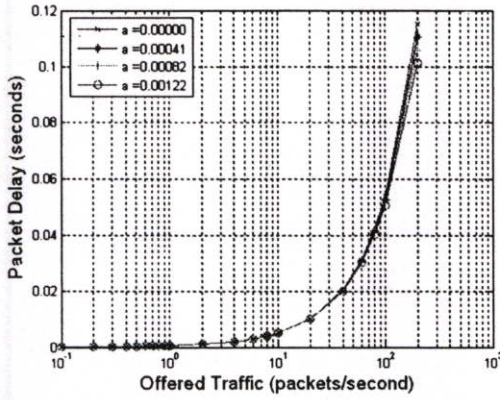
ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการขดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

ระยะเวลาห้าม inhibited time (d)	ค่าวิสัยสามารถ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
0.0014	0.865449	0.902960	0.941675	0.981490
0.0053	0.555701	0.667843	0.796757	0.942607
0.0093	0.338713	0.482040	0.667924	0.904581
0.0133	0.196311	0.338001	0.555393	0.867638

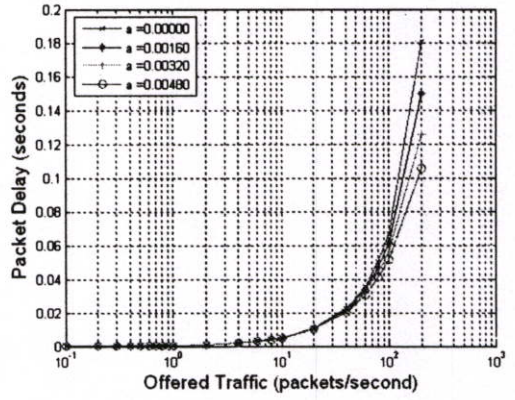
ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการขดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

ระยะเวลาห้าม inhibited time (d)	ค่าความจุของช่องสัญญาณ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
0.0014	0.948729	0.956726	0.967399	0.983317
0.0053	0.900234	0.915605	0.933559	0.967686
0.0093	0.863712	0.888898	0.915615	0.957067
0.0133	0.844599	0.863635	0.900189	0.949201

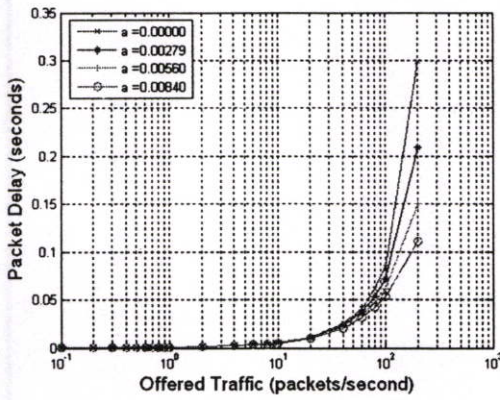
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าระยะเวลาห้าม เท่ากับ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการขดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลง และเมื่อการขดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.21% เป็น 4.17% และ 4.12% ตามลำดับ ที่ค่าระยะเวลาห้ามเท่ากับ 0.0014 และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการขดเชยเวลาที่มีต่อค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะมากขึ้นจาก 11.99% เป็น 77.72% เมื่อค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.0014 เป็น 0.0133 รายละเอียดตามตารางที่ 5.10 ดังนั้นการขดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบได้



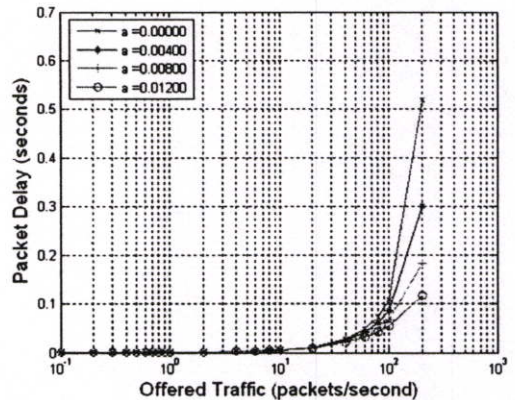
(a)



(b)



(c)

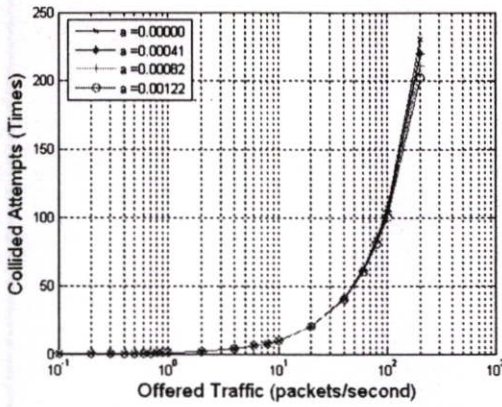


(d)

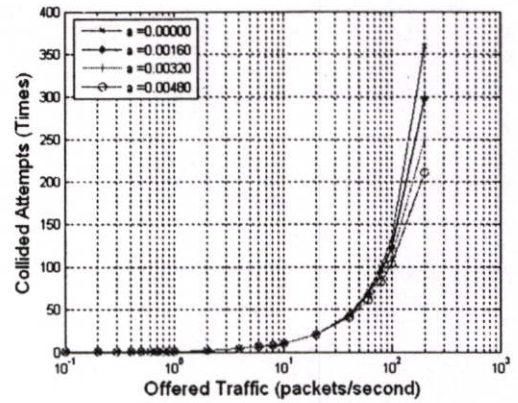
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

ตารางที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแพ็กเก็ตของโปรโตคอล ISMA กับโปรโตคอล ISMA ที่มีการขดเซยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

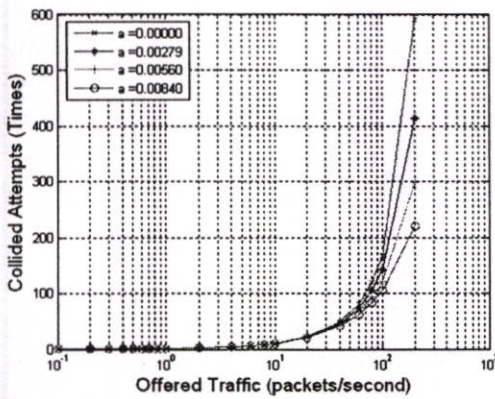
ระยะเวลาห้าม inhibited time (d)	ค่าเฉลี่ยของแพ็กเก็ต			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
0.0014	0.115341	0.110482	0.105874	0.101515
0.0053	0.181007	0.150283	0.125679	0.105978
0.0093	0.299079	0.209408	0.150563	0.110720
0.0133	0.519497	0.300307	0.181827	0.115733



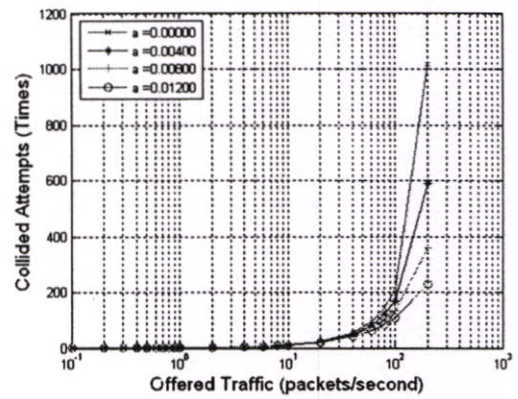
(a)



(b)



(c)



(d)

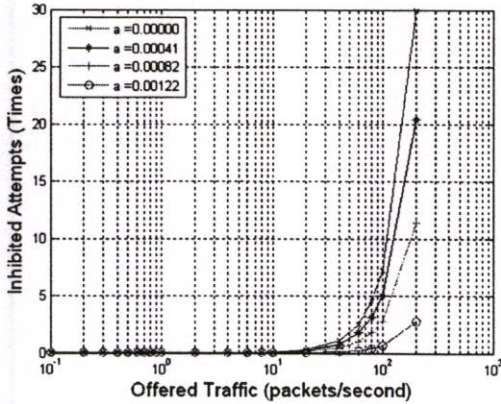
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

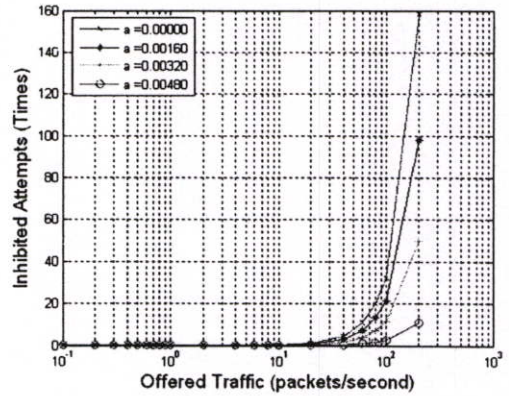
ระยะเวลาห้าม inhibited time (d)	จำนวนการชนเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
0.0014	230.094000	220.493700	211.387400	202.771900
0.0053	358.906100	298.471400	250.017600	211.177500
0.0093	589.471100	413.903500	298.435100	220.096800
0.0133	1017.789000	590.713700	359.105200	229.510900

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าระยะเวลาห้าม เท่ากับ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการชนลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการชนลดลงมากขึ้น

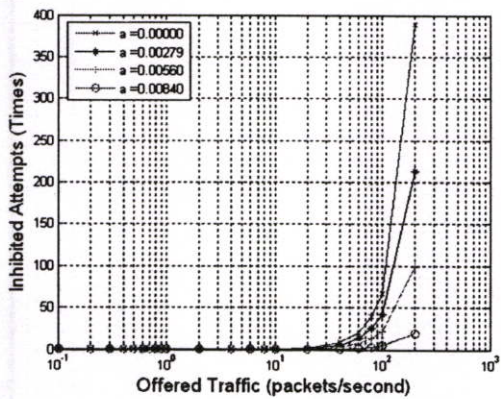
ด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.17% เป็น 4.13% และ 4.08% ตามลำดับ ที่ค่าระยะเวลาห้ามเท่ากับ 0.0014 และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการชนจะมากขึ้นจาก 11.87% เป็น 77.45% เมื่อค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.0014 เป็น 0.0133 รายละเอียดตามตารางที่ 5.11 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการชนของระบบได้



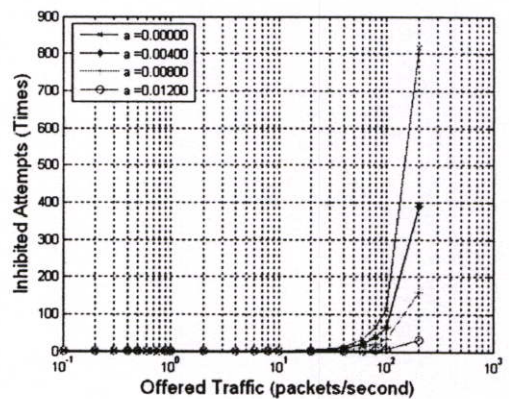
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $d =$ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าระยะเวลาห้าม เท่ากับ (a) 0.0014 (b) 0.0053 (c) 0.0093 (d) 0.0133 เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการห้ามลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการห้ามลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 31.91% เป็น 44.44% และ 75.66% ตามลำดับ ที่ค่าระยะเวลาห้ามเท่ากับ 0.0014 และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชย

เวลาที่มีต่อจำนวนการห้ามจะมากขึ้นจาก 90.79 เป็น 96.40 เมื่อค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.0014 เป็น 0.0133 รายละเอียดตามตารางที่ 5.12 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการห้ามของระบบได้

ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาห้าม

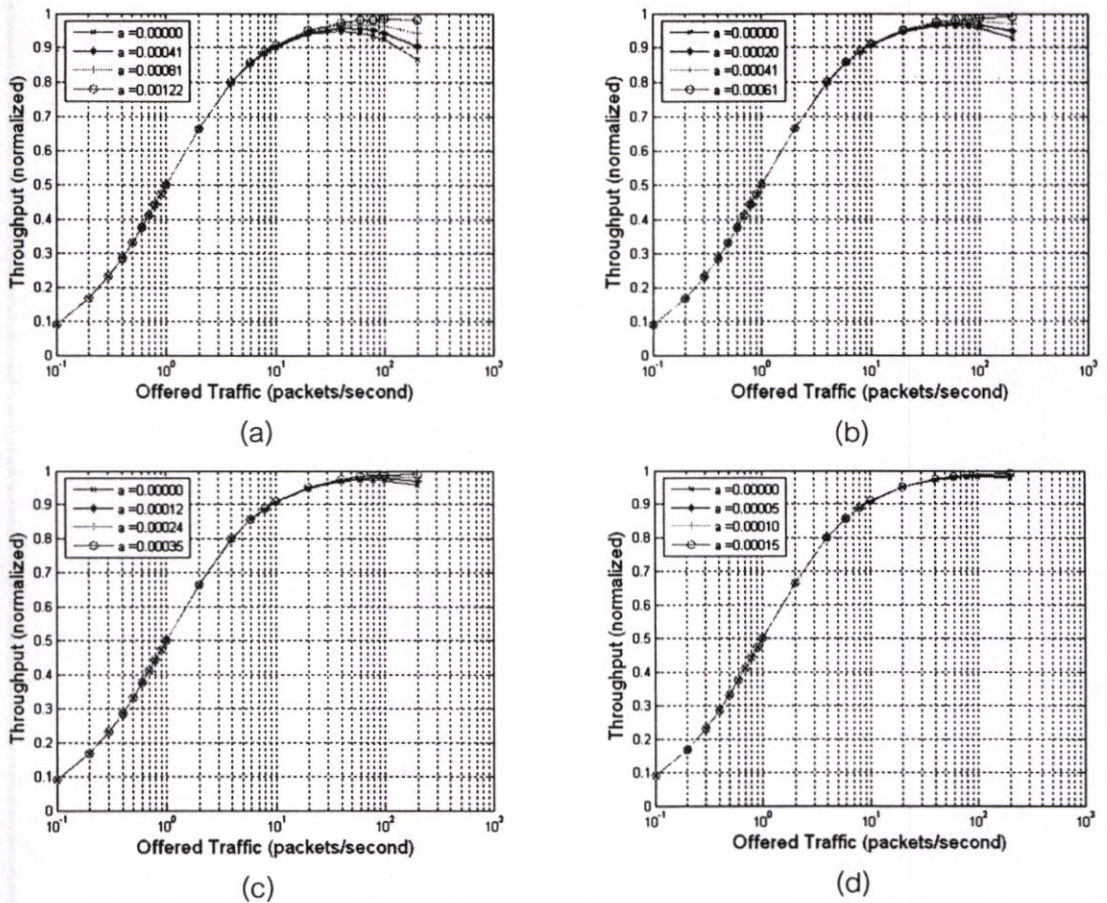
ระยะเวลาห้าม inhibited time (d)	จำนวนการห้ามเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
0.0014	29.952130	20.395630	11.332090	2.758206
0.0053	158.280700	98.051870	49.788940	11.123210
0.0093	388.266500	213.114800	98.015650	20.000490
0.0133	815.923700	389.506600	158.479200	29.371660

5.3 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

การพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการชดเชยเวลาที่มีต่อค่าวิสัยสมารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้ามของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบระบบตามตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate ($Srate$)	256 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length ($Mplen$)	128, 256, 442, 1,024 บิต
Inhibited time (d) (normalized)	0.0013
สถานีฐาน	
Service area radius (r)	100 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile ($Mnum$)	300 เครื่อง
ระยะเวลาชดเชย	
Advanced time (a) (% of Inhibited time d)	0, 30, 60, 90



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าความยาวของแพ็กเกต เท่ากับ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการลดเซยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้ค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และเมื่อการลดเซยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.34% เป็น 4.29% และ 4.23% ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0.83% เป็น 1.12% และ 1.65% ตามลำดับ ที่ค่าความยาวของแพ็กเกตเท่ากับ 128 บิต และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการลดเซยเวลาที่มีต่อค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณจะลดลงจาก 13.42% เป็น 1.55% และจาก 3.65% เป็น 1.19% ตามลำดับ เมื่อค่าความยาวของแพ็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 128 บิต เป็น 1,024 บิต รายละเอียดตามตารางที่ 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ ดังนั้นการลดเซยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณได้

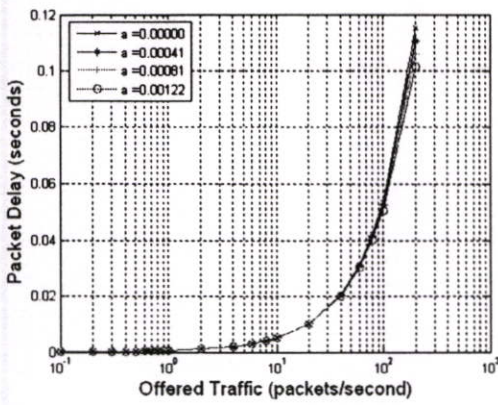
ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

ความยาวของแพ็กเก็ต packet length (M_{plen})	ค่าวิสัยสามารถ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
128 บิต	0.865330	0.902891	0.941627	0.981499
256 บิต	0.928697	0.948236	0.968103	0.988242
442 บิต	0.956196	0.967734	0.979380	0.991096
1,024 บิต	0.978125	0.983195	0.988260	0.993327

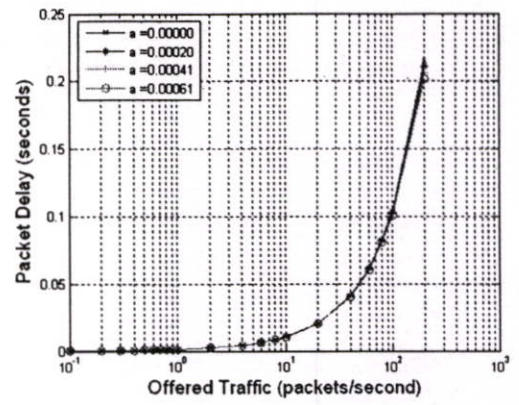
ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

ความยาวของแพ็กเก็ต packet length (M_{plen})	ค่าความจุของช่องสัญญาณ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
128 บิต	0.948703	0.956711	0.967384	0.983321
256 บิต	0.963391	0.969415	0.976828	0.988242
442 บิต	0.972001	0.976679	0.982257	0.991096
1,024 บิต	0.981626	0.984173	0.988260	0.993327

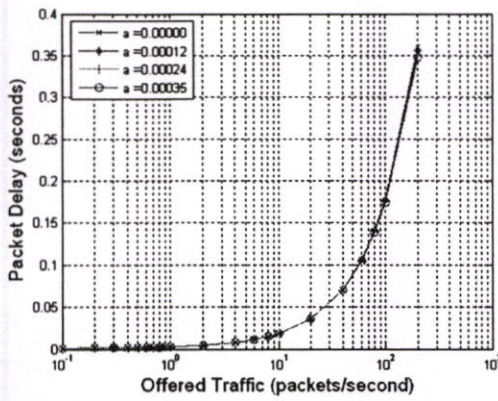
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ต เท่ากับ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.22% เป็น 4.17% และ 4.12% ตามลำดับ ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ตเท่ากับ 128 บิต และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะลดลงจาก 12.00% เป็น 1.56% เมื่อค่าความยาวของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจาก 128 บิต เป็น 1,024 บิต รายละเอียดตามตารางที่ 5.16 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบได้



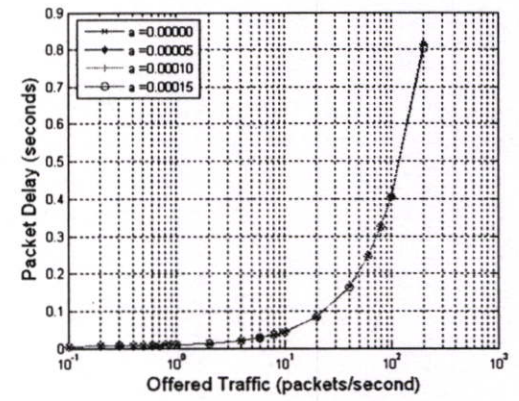
(a)



(b)



(c)

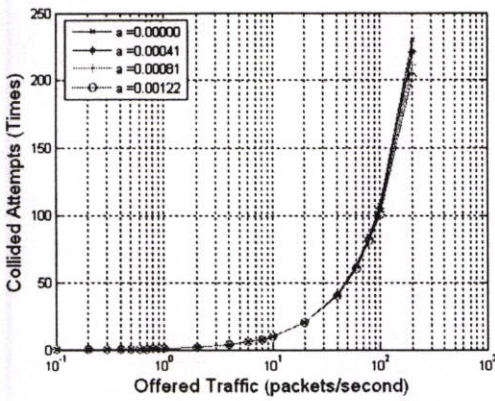


(d)

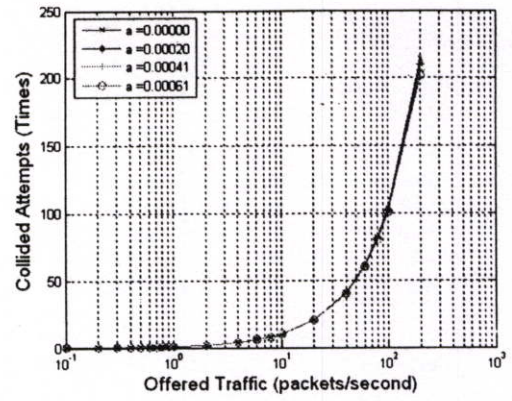
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ $Mplen$ = (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเกต

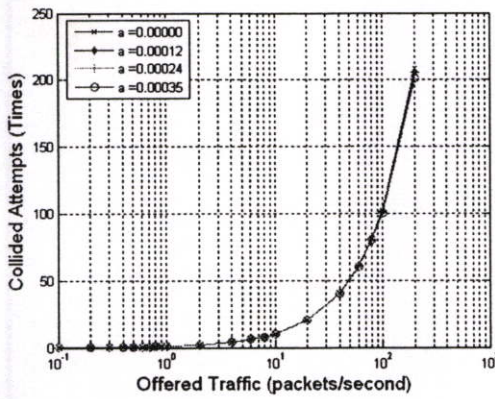
ความยาวของแพ็กเกต packet length ($Mplen$)	ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
128 บิต	0.115357	0.110490	0.105879	0.101514
256 บิต	0.214783	0.210290	0.205908	0.201646
442 บิต	0.360205	0.355841	0.351541	0.347317
1,024 บิต	0.817113	0.812822	0.808580	0.804378



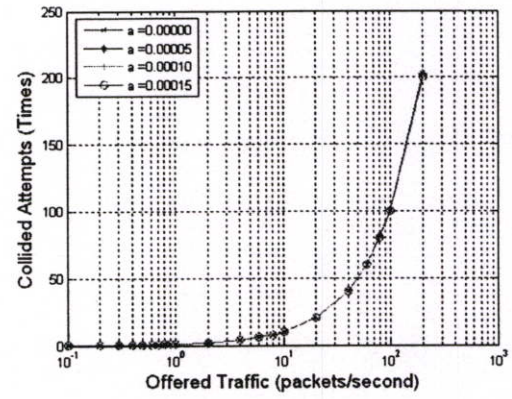
(a)



(b)



(c)



(d)

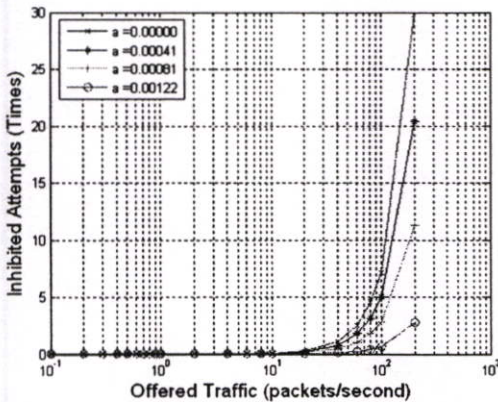
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

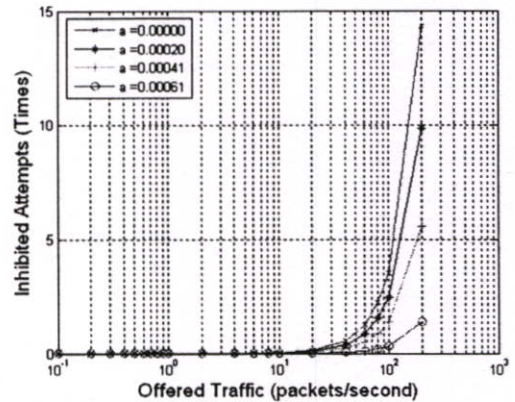
ความยาวของแพ็กเก็ต packet length (M_{plen})	จำนวนการชนเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
128 บิต	230.125800	220.510600	211.398200	202.769800
256 บิต	214.355500	209.918000	205.589600	201.379600
442 บิต	208.162200	205.668300	203.210800	200.796800
1,024 บิต	203.472800	202.418500	201.375900	200.343500

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ต เท่ากับ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการชนลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการชนลดลง

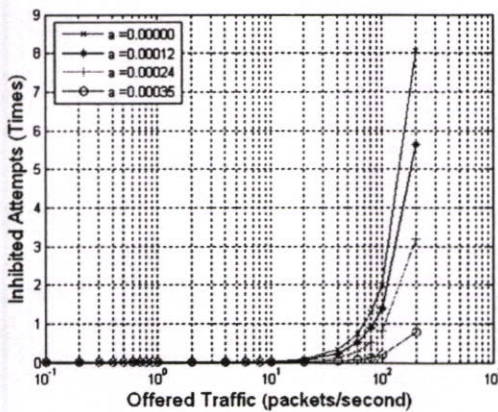
มากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.18% เป็น 4.13% และ 4.08% ตามลำดับ ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ตเท่ากับ 128 บิต และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการชนจะลดลงจาก 11.89% เป็น 1.54% เมื่อค่าความยาวของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจาก 128 บิต เป็น 1,024 บิต รายละเอียดตามตารางที่ 5.17 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการชนของระบบได้



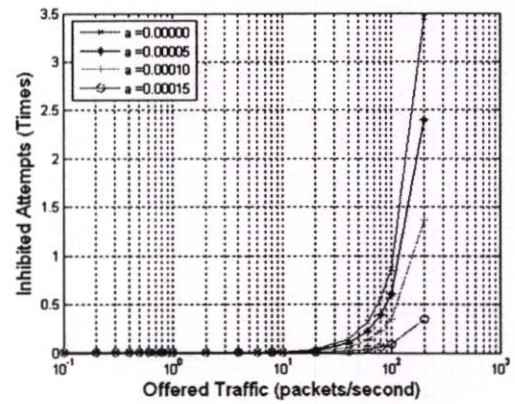
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับทราฟฟิก ที่ $M_{plen} =$ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ต เท่ากับ (a) 128 บิต (b) 256 บิต (c) 442 บิต (d) 1,024 บิต เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการห้ามลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการห้ามลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 31.50% เป็น 44.49% และ 75.74% ตามลำดับ ที่ค่าความยาวของแพ็กเก็ตเท่ากับ 128 บิต และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผล

ของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการห้ามจะลดลงจาก 90.78% เป็น 90.10% บิต เมื่อค่าความยาวของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจาก 128 บิต เป็น 1,024 บิต รายละเอียดตามตารางที่ 5.18 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการห้ามของระบบได้

ตารางที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของแพ็กเก็ต

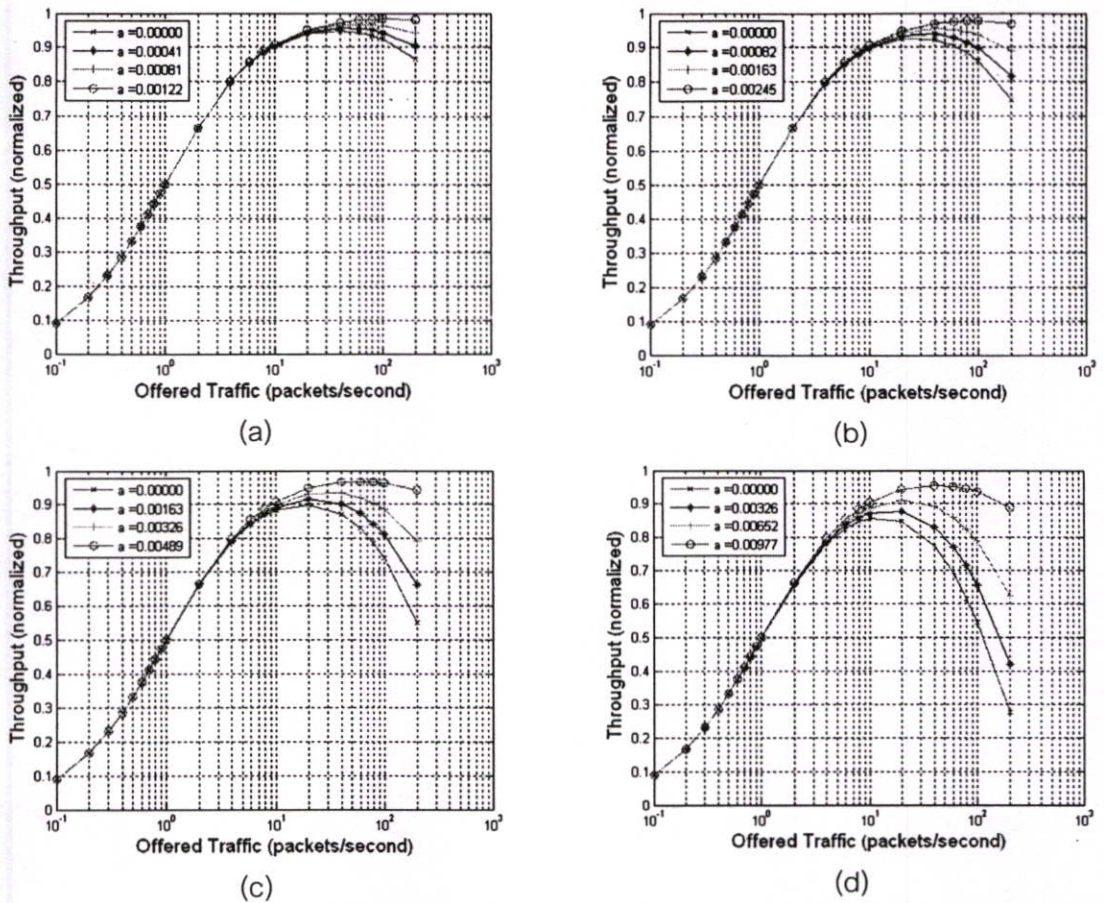
ความยาวของแพ็กเก็ต packet length (M_{plen})	จำนวนการห้ามเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
128 บิต	29.793550	20.407140	11.327000	2.747749
256 บิต	14.311340	9.861816	5.532650	1.371804
442 บิต	8.049733	5.629413	3.191112	0.788356
1,024 บิต	3.454335	2.402239	1.371804	0.342025

5.4 ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อสมรรถนะของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ

การพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการชดเชยเวลา ที่มีต่อค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้ามของระบบ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบระบบตามตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญญาณ

ช่องสัญญาณสื่อสาร	
Symbol rate (S_{rate})	256, 512, 1,024, 2,048 กิโลบิตต่อวินาที
Packet Length (M_{plen})	128 บิต
Inhibited time (d) (normalized)	0.0013
สถานีฐาน	
Service area radius (r)	100 เมตร
Base station high	20 เมตร
เครื่องลูกข่าย	
Number of Mobile (M_{num})	300 เครื่อง
ระยะเวลาชดเชย	
Advanced time (a) (% of Inhibited time d)	0, 30, 60, 90



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ $Srate =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ อัตราเร็วสัญญาณลักษณะ เท่ากับ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการลดระยะเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้ค่าวิสัยสามารถ และความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และเมื่อการลดระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าวิสัยสามารถจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.36% เป็น 4.27% และ 4.23% ตามลำดับ และความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0.85% เป็น 1.11% และ 1.65% ตามลำดับ ที่ค่าอัตราเร็วสัญญาณลักษณะเท่ากับ 256 กิโลบิตต่อวินาที และอัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการลดระยะเวลาที่มีต่อค่าวิสัยสามารถ และความจุของช่องสัญญาณจะมากขึ้นจาก 13.43% เป็น 223.27% และจาก 3.65% เป็น 11.42% เมื่อค่าอัตราเร็วสัญญาณลักษณะเพิ่มขึ้นจาก 256 กิโลบิตต่อวินาที เป็น 2,048 กิโลบิตต่อวินาที

รายละเอียดตามตารางที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณได้

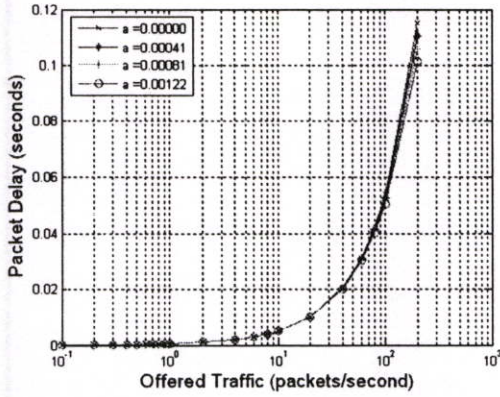
ตารางที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

อัตราเร็วสัญลักษณ์ symbol rate (Srate)	ค่าวิสัยสามารถ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
256 กิโลบิตต่อวินาที	0.865330	0.903097	0.941703	0.981509
512 กิโลบิตต่อวินาที	0.748542	0.816928	0.890379	0.968098
1,024 กิโลบิตต่อวินาที	0.548782	0.662811	0.793278	0.941696
2,048 กิโลบิตต่อวินาที	0.275437	0.420640	0.622669	0.890394

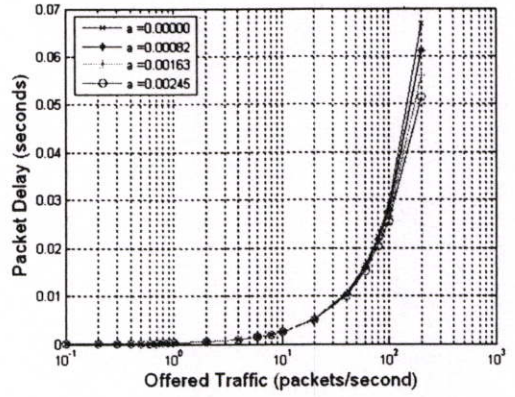
ตารางที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของช่องสัญญาณของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

อัตราเร็วสัญลักษณ์ symbol rate (Srate)	ค่าความจุของช่องสัญญาณ			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
256 กิโลบิตต่อวินาที	0.948703	0.956755	0.967408	0.983326
512 กิโลบิตต่อวินาที	0.925603	0.938089	0.954065	0.976826
1,024 กิโลบิตต่อวินาที	0.899217	0.914955	0.932771	0.967405
2,048 กิโลบิตต่อวินาที	0.856252	0.878436	0.909646	0.954068

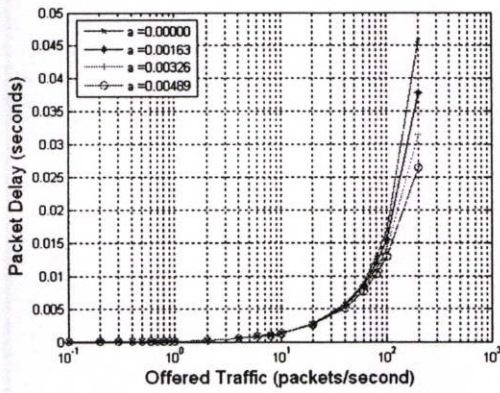
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตกับอัตราการป้อนกราฟฟิก ที่ค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์ เท่ากับ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.24% เป็น 4.16% และ 4.12% ตามลำดับ ที่ค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์เท่ากับ 256 กิโลบิตต่อวินาที และอัตราการป้อนกราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะมากขึ้นจาก 12.00% เป็น 69.46% เมื่อค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์เพิ่มขึ้นจาก 256 กิโลบิตต่อวินาที เป็น 2,048 กิโลบิตต่อวินาที รายละเอียดตามตารางที่ 5.22 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตของระบบได้



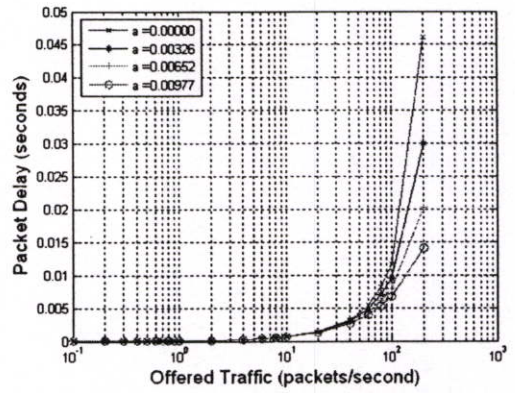
(a)



(b)



(c)

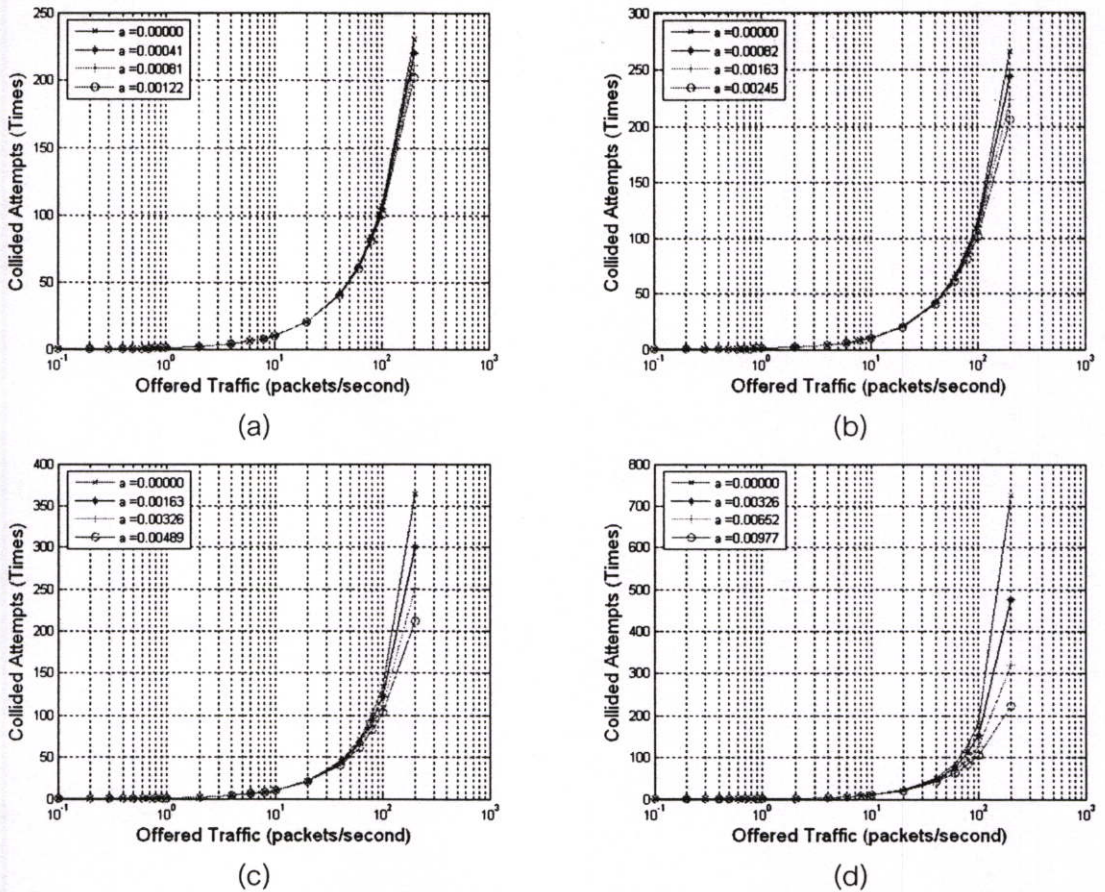


(d)

รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ *Srate* = (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ *a* = 0%, 30%, 60% และ 90%

ตารางที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล ISMA กับโปรโตคอล ISMA ที่มีการขดเซยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

อัตราเร็วสัญลักษณ์ symbol rate (<i>Srate</i>)	ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
256 กิโลบิตต่อวินาที	0.115357	0.110465	0.105871	0.101513
512 กิโลบิตต่อวินาที	0.066837	0.061170	0.056057	0.051494
1,024 กิโลบิตต่อวินาที	0.045809	0.037844	0.031548	0.026512
2,048 กิโลบิตต่อวินาที	0.046064	0.030044	0.020210	0.014068



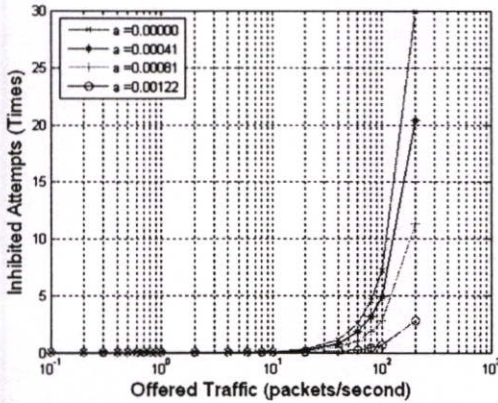
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับทราฟฟิก ที่ $Srate =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90%

ตารางที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการชนของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

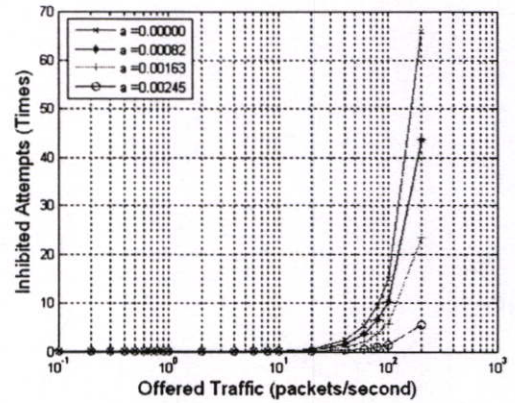
อัตราเร็วสัญลักษณ์ symbol rate ($Srate$)	จำนวนการชนเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
256 กิโลบิตต่อวินาที	230.125800	220.460000	211.381200	202.767800
512 กิโลบิตต่อวินาที	266.186200	243.819500	223.623400	205.590700
1,024 กิโลบิตต่อวินาที	363.443700	300.745200	251.118500	211.382900
2,048 กิโลบิตต่อวินาที	725.119900	474.466100	320.198100	223.619700

รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการชนกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์ เท่ากับ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30% , 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการชนลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30% , 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการ

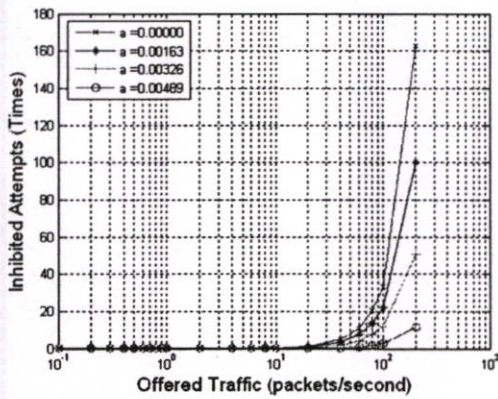
ชนลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจาก 4.20% เป็น 4.12% และ 4.07% ตามลำดับ ที่ค่าอัตราเร็วสัญญาณลักษณะเท่ากับ 256 กิโลบิตต่อวินาที และอัตราการป้อนทราฟฟิก 200 แพ็กเก็ตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการชนจะเพิ่มขึ้นจาก 11.89% เป็น 69.16% เมื่อค่าอัตราเร็วสัญญาณเพิ่มขึ้นจาก 256 กิโลบิตต่อวินาที เป็น 2,048 กิโลบิตต่อวินาที รายละเอียดตามตารางที่ 5.23 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการชนของระบบได้



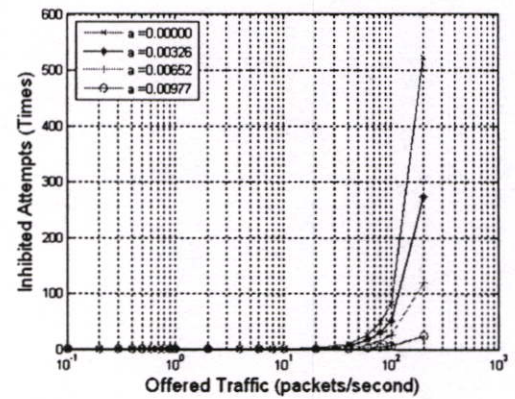
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ $S_{rate} =$ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90%

รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการห้ามกับอัตราการป้อนทราฟฟิก ที่ค่าอัตราเร็วสัญญาณลักษณะเท่ากับ (a) 256 kbps (b) 512 kbps (c) 1,024 kbps (d) 2,048 kbps เมื่อ $a = 0\%$, 30%, 60% และ 90% พบว่าการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง จะทำให้จำนวนการห้ามลดลง และเมื่อการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ จำนวนการ

ห้ามลดลงมากขึ้นด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 32.09% เป็น 44.38% และ 75.68% ตามลำดับ ที่ค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์เท่ากับ 256 กิโลบิตต่อวินาที และอัตราการบ่อนทราฟฟิก 200 แพ็กเกตต่อวินาที นอกจากนี้ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อจำนวนการห้ามจะเพิ่มขึ้นจาก 90.81% เป็น 95.51% เมื่อค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์เพิ่มขึ้นจาก 256 กิโลบิตต่อวินาที เป็น 2,048 กิโลบิตต่อวินาที รายละเอียดตามตารางที่ 5.24 ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับระบบ จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะของจำนวนการห้ามของระบบได้

ตารางที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนการห้ามของโปรโตคอล ISMA กับ โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วสัญลักษณ์

อัตราเร็วสัญลักษณ์ symbol rate (Srate)	จำนวนการห้ามเฉลี่ย			
	ISMA	ISMA + 30%	ISMA + 60%	ISMA + 90%
256 กิโลบิตต่อวินาที	29.983780	20.362100	11.325860	2.754189
512 กิโลบิตต่อวินาที	65.890850	43.617310	23.510870	5.563281
1,024 กิโลบิตต่อวินาที	162.804000	100.317300	50.885210	11.327560
2,048 กิโลบิตต่อวินาที	523.666300	273.518400	119.700900	23.507210

จากผลการประเมินสมรรถนะของระบบ และการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในระบบ พบว่า การชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่างของระบบ และการลดระยะเวลาในการส่งสัญญาณว่างให้สั้นลง สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากระยะเวลาห้ามในระบบได้ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90% ให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น 341.92% และความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น 12.38% ให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตลดลง 77.72% ให้ค่าจำนวนการชนลดลง 77.45% และให้ค่าจำนวนการห้ามลดลง 96.40% ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเท่ากับ 1,000 เมตร โดยเปรียบเทียบกับโปรโตคอล ISMA

2. โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90% ให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น 341.97% และความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น 12.38% ให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตลดลง 77.72% ให้ค่าจำนวนการชนลดลง 77.45% และให้ค่าจำนวนการห้ามลดลง 96.40% ที่ค่าระยะเวลาห้ามเท่ากับ 0.0133 โดยเปรียบเทียบกับโปรโตคอล ISMA

3. โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90% ให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น 1.55% และความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น 1.19% ให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตลดลง 1.56% ให้ค่าจำนวน

การชนลดลง 1.54% และให้ค่าจำนวนการห้ามลดลง 90.11% ที่ค่าความยาวของแพ็กเกตเท่ากับ 1,024 บิต โดยเปรียบเทียบกับโปรโตคอล ISMA

4. โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา 90% ให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น 223.27% และความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น 11.42% ให้ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกตลดลง 69.46% ให้ค่าจำนวนการชนลดลง 69.16% และให้ค่าจำนวนการห้ามลดลง 95.51% ที่ค่าอัตราเร็วสัญญาณเท่ากับ 2,048 กิโลบิตต่อวินาที โดยเปรียบเทียบกับโปรโตคอล ISMA

จากข้อสรุปเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าโปรโตคอล ISMA ดังนั้นการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง และการลดระยะเวลาในการส่งสัญญาณว่างของสถานีฐาน สามารถเพิ่มสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ทั้งค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเกต จำนวนการชน และจำนวนการห้ามได้เป็นอย่างดี ทำให้โปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา สามารถทำงานได้ดีในพื้นที่ให้บริการที่มีรัศมีเพิ่มขึ้นมากกว่าการทำงานของโปรโตคอล ISMA

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การที่จำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจำนวนผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน รวมถึงบริการใหม่ ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อรองรับพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ต้องการความสะดวกตัวในการใช้งาน ที่เปิดให้บริการเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ทำให้ความต้องการใช้งานย่านความถี่เพื่อรองรับการใช้งานบริการเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ความถี่ซึ่งเป็นทรัพยากรโทรคมนาคมที่จำเป็นต่อการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication) มีจำกัด ทำให้มีการคิดค้น พัฒนา และปรับปรุงเทคนิคใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถได้ประโยชน์จากความถี่ได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้บริการ

โปรโตคอล ISMA เป็นโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงหลายทางในประเภทการเข้าถึงแบบสุ่มซ้ำ ที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ใช้จำนวนมาก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการชนของเครื่องลูกข่ายที่เกิดขึ้นในระบบ CSMA อย่างไรก็ตามสมรรถนะของ ISMA ขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในการทำงานของระบบเป็นสำคัญ ดังนั้น ISMA จึงเหมาะกับการทำงานในสภาวะที่มีค่าระยะเวลาห้ามต่ำ ซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะในพื้นที่ให้บริการที่มีขนาดเล็ก รวมถึงค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ตในระบบ ISMA ที่มีค่าสูงกว่าในระบบ CSMA จึงถือว่าเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้งานโปรโตคอล ISMA ในพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่ที่มีระยะเวลาห้ามสูง ทำให้แนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบนั้น จึงต้องหาวิธีลดผลกระทบของระยะเวลาห้ามที่เกิดขึ้นในระบบให้น้อยลง

ในการศึกษานี้ ได้นำเสนอเทคนิคการชดเชยเวลาให้กับสัญญาณว่าง ที่สถานีฐานแพร่กระจายออกมา เพื่อลดขนาดของช่องเวลาใช้งานที่มีการรับแพ็กเก็ตให้เล็กลง และกำหนดให้สถานีฐานลดระยะเวลาในการส่งสัญญาณว่างให้สั้นลง เพื่อลดขนาดของช่องเวลาว่างของระบบให้เล็กลงเช่นเดียวกัน เมื่อช่องเวลาว่างและช่องเวลาใช้งานเล็กลง จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้มากขึ้น และส่งผลให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น

การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลา ด้วยโปรแกรมจำลองระบบการทำงานและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาจากค่าวิสัยสามารถ ค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต จำนวนการชน และจำนวนการห้าม พบว่าที่ระยะเวลาชดเชยเท่ากับ 90% ของระยะเวลาห้าม ผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของค่าวิสัยสามารถและความจุของช่องสัญญาณมากที่สุดเท่ากับ 341.97% และ 12.38% ตามลำดับ ที่ค่าระยะเวลาห้ามเพิ่มขึ้นจาก 0.0014 เป็น 0.0133 และผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อการลดลงของค่าดีเลย์เฉลี่ยของแพ็กเก็ต

มากที่สุดเท่ากับ 96.40% ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร และผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อการลดลงของค่าจำนวนการชนมากที่สุดเท่ากับ 77.45% ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร และผลของการชดเชยเวลาที่มีต่อการลดลงของค่าจำนวนการห้ามมากที่สุดเท่ากับ 96.40% ที่ค่ารัศมีของพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 100 เมตร เป็น 1,000 เมตร จึงแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA ที่มีการชดเชยเวลาเพิ่มขึ้นสูงกว่าโปรโตคอล ISMA และเมื่อระยะเวลาชดเชยเพิ่มขึ้น จะทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นด้วย

การชดเชยเวลาให้กับระบบที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นเพียงเทคนิคหนึ่งในการเพิ่มสมรรถนะของโปรโตคอล ISMA เท่านั้น ปัจจุบันยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถเพิ่มสมรรถนะของ ISMA ได้ เช่นเดียวกัน เช่น การใช้เทคนิคในการจับแพ็กเก็ตเมื่อเกิดการชนกัน เป็นต้น ซึ่งจะทำให้โปรโตคอล ISMA สามารถทำงานได้ดีในสถานะที่มีอัตราการบ่อนทรานฟฟิกสูง ๆ ดังนั้นการปรับปรุง ISMA ให้มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นและเหมาะสมกับทุกสภาวะการทำงานนั้น จึงเป็นสิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Kubbar and H.T. Mouftah, "Multiple access control protocols for wireless ATM: Problems Definition and Design Objectives," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 11, pp. 93 – 99, Nov. 1997.
- [2] A. S. Tanenbaum, "*Computer Networks*," Prentice-Hall International, 1996.
- [3] V. Pronk, P. A. M. van Grinsven, C.-J.L. van Driel, "A Performance Analysis of the Bit-Map Access Protocol for Shared-Medium Networks," *Proc. Broadband Communications Conf.*, pp. 69 – 73, 17 – 19 Feb. 1998.
- [4] N. Abramson, "The ALOHA System-Another Alternative for Computer Communications," *Proc. 1970 Fall Joint Computer Conf.*, AFIPS Press, Vol. 37, New Jersey, USA, pp. 281 - 285, 1970.
- [5] N. Abramson, "The Throughput of Packet Broadcasting Channels," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 25, No. 1, pp. 117 - 128, Jan. 1977
- [6] L. G. Roberts, "ALOHA Packet System with and without Slots and Capture," *Computer Communication Review*, Vol. 5, No. 2, pp. 28 - 42, Apr. 1975.
- [7] N. R. Prasad and C. -Y. Liu, "Throughput Analysis of Some Mobile Packet Radio Protocols in Rician Fading Channels," *Proc. IEE Communications Conf.*, Vol. 139, No. 3, Jun. 1992.
- [8] J. C. Arnbak and W. V. Blitterswijk, "Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Fading Channels," *IEEE Journal Communications*, Vol. 5, No. 2, pp. 261 – 269, Feb. 1987.
- [9] C. Van Der Plas and J. -P. M. G. Linnartz, "Stability of Mobile Slotted ALOHA Network with Rayleigh Fading, Shadowing and Near-Far Effects," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 39, No. 4, pp. 359 - 366, Nov. 1990.
- [10] N. R. Prasad and J. C. Arnbak, "Effects of Rayleigh Fading on Packet Radio Channels with Shadowing," *Proc. IEEE TENCON Conf.*, Bombay, India, pp. 546 – 548, 22 – 24 Nov. 1989.
- [11] N. R. Prasad and J. C. Arnbak, "Enhanced Throughput in Packet Radio Channels with Shadowing," *Electronics Letters*, Vol. 24, No. 16, pp. 986 - 988, Aug. 1988.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] R. Prasad and J. C. Ambak, "Enhanced Throughput in Packet Radio Channels with Shadowing," *Electronics Letters*, Vol. 24, No. 16, pp. 986 - 988, Aug. 1988.
- [13] V. O. K. Li, "Multiple Access Communications Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 25, No. 6, pp. 41 - 48, Jun. 1987.
- [14] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I - Carrier Sense Multiple Access modes and their throughput-delay characteristics," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 23, No. 12, pp. 1400 - 1416, Dec. 1975.
- [15] F. Tobagi and V. Hunt, "Performance analysis of carrier sense multiple access with collision detection," *Computer Networks*, Vol. 4, pp. 245 - 259, 1980.
- [16] S. M. Nor and I. Ismail, "Performance of CSMA-CA MAC protocol for distributed radio local area networks," *Proc. IEEE PIMRC Conf.*, Vol. 2, pp. 912 - 916, Toronto, Canada, Sep. 1995.
- [17] B. P. Crow, I. Widjaja, L. G. Kim, P. T. Sakai, "IEEE 802.11: Wireless Local Area Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 9, pp. 116 - 26, Sep. 1997.
- [18] H. S. Chhaya and S. Gupta, "Performance Modeling of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocols," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 3, No. 5, pp. 8 - 15, Oct. 1996.
- [19] J. Weinmuller, H. Woesner, J. Ebert and A. Wolisz, "Analyzing the RTS/CTS Mechanism in the DFWMAC Media Access Protocol for Wireless LANs", *IFIP TC6 Workshop Personal Wireless Communications*, Czech Republic, pp. 1 - 14, Apr. 1995.
- [20] J. Weinmiller, A. Festag, M. Schlager, and A. Wolisz, "Performance Study of Access Control in Wireless LANs- IEEE802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN," *Mobile Networks and Applications Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 56 - 67, Jun. 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [21] G. Anastasi, L. Lenzini, and E. Mingozzi, "Stability and Performance Analysis of HIPERLAN," *Proc. IEEE INFOCOM Conf.*, California, USA, Vol. 1, pp.134 - 141, 29 Mar. - 2 Apr. 1998.
- [22] K. Fu, Y. J. Guo, and S. K. Barton, "Performance of the EY-NPMA Protocol," *Wireless Personal Communications Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 41 - 50, Jan. 1997.
- [23] F. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II- The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 23, No. 12, pp. 1417 - 1433, Dec. 1975.
- [24] C. Wu and V. O. K. Li, "Receiver Initiated Busy Tone Multiple Access in Packet Radio Networks," *Proc. ACM SIGCOMM Conf.*, pp. 336 - 342, Vermont, USA, 1987.
- [25] P. Karn, "MACA - A New Channel Access Method for Packet Radio," *Proc. 9th ARRL Computer Networking Conf.*, Ontario, Canada, pp. 134 - 140, 22 Sep. 1990.
- [26] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's," *Proc. ACM SIGCOMM Conf.*, London, UK, Vol. 24, No. 4, pp. 212 - 225, 31 Aug. - 2 Sep. 1994.
- [27] C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-Radio Networks," *Proc. ACM SIGCOMM Conf.*, Massachusetts, USA, Vol. 25, No. 4, pp. 262 - 273, 1995.
- [28] C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Solutions to Hidden Terminal Problems in Wireless Networks," *Proc. ACM SIGCOMM Conf.*, Cannes, France, Vol.27, No.4, pp. 39 - 49, 14 - 18 Sep. 1997.
- [29] Z. J. Haas, and J. Deng, "Dual Busy Tone Multiple Access (DTBMA) - A Multiple Access Control Scheme for Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Communications*, Vol.50, No.6, pp. 975 - 985, Jun. 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [30] G. Wu, K. Mukumoto, and A. Fukuda, "An Integrated Voice and Data Transmission System with Idle Signal Multiple Access-Dynamic Analysis," *IEICE Trans. Communications*, Vol. E76-B, No.11, pp. 1398 -1407, Nov. 1993.
- [31] L. Roberts, "Dynamic Allocation of Satellite Capacity through Packet Reservation," *Proc. AFIPS Conf.*, Vol. 42, pp. 711 – 716, New York, USA, 4 - 8 Jun. 1973.
- [32] G. Wu, K. Taira, H. Harada, M. Mizuno, K. Mukumoto, A. Fukuda., "An R-ISMA Integrated Voice/Data Wireless Information System with Different Packet Generation Rates," *Proc. IEEE ICC Conf.*, Texas, USA, Vol. 3, pp. 1263 - 1269, 23 - 27 Jun. 1996.
- [33] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K.T. Gayliard, B. Ramamurthi, "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 37, No. 8, pp. 885 – 890, Aug. 1989.
- [34] W. C. Wong and D. J. Goodman, "Integrated Data and Speech Transmission Using Packet Reservation Multiple Access," *Proc. IEEE ICC Conf.*, Geneva, Switzerland, Vol. 1, pp. 172 - 176, 23 – 26 May 1993.
- [35] D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 40, No.1, Feb. 1991.
- [36] K. J. Zdunek, D. R. Ucci, and J. L. LoCicero, "A Packet Radio Network Using Inhibit Sense Multiple Access with Capture," *Proc. IEEE GLOBECOM Conf.*, Vol. 2, pp. 702 - 706, 27 – 30 Nov. 1989.
- [37] K. J. Zdunek, D. R. Ucci, and J. L. LoCicero, "Packet Radio Performance of Inhibit Sense Multiple Access with Capture," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 45, No. 2, pp. 164 - 167, Feb. 1997.
- [38] N. R. Prasad and J. A. M. Hijhof, "Indoor Wireless Communications Using Slotted Non-persistent ISMA, 1-Persistent ISMA and Non-persistent ISMA\CD," *Proc. IEEE VTC-47th Conf.*, Vol. 3, pp. 1513 - 1517, 4 - 7 May 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [39] N. R. Prasad, "Performance Analysis of Mobile Packet Radio Networks in Real Channels with Inhibit-Sense Multiple Access", *Proc. IEE Conf.*, Vol. 138, No. 5, pp. 458 - 464, Oct. 1991.
- [40] J. -P. M. G. Linnartz, G. A. Awater, and R. -J. Venema, "Throughput of Inhibit Sense Multiple Access with Propagation Delays," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 42, No. 1, pp. 119 - 126, Jan. 1994.
- [41] K. J. Zdunek, D. R. Ucci, and J. L. Locicero, "Throughput of Nonpersistent Inhibit Sense Multiple Access with Capture," *Electronics Letters*, Vol. 25, No. 1, pp. 30 - 32, Jan. 1989.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Sutouch Junpong and Phichet Moungnoul, "Packet Radio Performance of ISMA w/ Timing Advance," *Proc. of the 2006 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference*, Ubon Ratchathani, Thailand, pp. 469-472, May 10-13, 2006.

Packet Radio Performance of Inhibit Sense Multiple Access w/ Timing Advance

Sutouch Junpong and Phichet Moungnoul

Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Bangkok 10520, THAILAND
Phone: +66-2-3264242, Fax: +66-2-3264554, E-mail: s7061072@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper concerns about a large number of terminals transmitting data packets over a common radio channel to a central base station which is slotted. In Inhibit Sense Multiple Access (ISMA), the base station broadcasts a busy signal when an incoming packet is being received, to inhibit other terminals from colliding transmissions and broadcasts an idle signal when an incoming packet is successfully received. These signals arrive at each terminal with a propagation delay, proportional to the distance between the base station and the terminal. We assume that each terminal has equal probability of successful transmitting a data packet. Using of timing advance to an idle signal can reduce the effect of the propagation delay on the busy and idle period of radio channel. The throughput and delay performance are analyzed on the forward channel of packet radio communication networks, and show that the throughput and delay of ISMA with timing advance can be substantially better than that of the same protocol without timing advance.

Keywords: ISMA, Packet radio

1. INTRODUCTION

Packet switching in radio channels relies on appropriate access protocol to organize randomly occurring attempts by terminals, to transmit a data packet to a central base station, and offers the efficient sharing of communication resources by many contending user with unpredictable demand. The ALOHA system [1] is one of the earliest examples of packet-switching of data over radio channels, to provide a means of communication between a number of geographically distributed terminals and a central base station. The ALOHA protocol; terminals transmit packets over a common radio channel without any mutual collision control or regulation. If two or more terminals happen to transmit simultaneously, a packet 'collision' occurs. This mutual interference results in loss of packets, which have to be retransmitted. To reduce the adverse effects of collisions, a number of alternative protocols have been proposed. In carrier sense multiple access (CSMA), has been shown to be highly efficient in environments with propagation delays which are short compared to the packet transmission time [2]. In essence, CSMA reduce the level of interference caused

by overlapping packets in the random multi-access channel by allowing a terminal with a packet to be transmitted, first senses the channel for active carriers from other terminals. Only if the channel is idle, a new data packet is allowed to be transmitted, and inhibit transmission when the channel is in use. Packets which are inhibited or suffer rescheduled for transmission at a later time according to some rescheduling policy. In mobile radio systems, CSMA has the drawback that collisions can occur if a terminal is not aware of an ongoing transmission by another remote terminal due to the distance between a terminal transmitting a data packet and the remote terminal which generating a data packet to transmit is very far or has the obstacles between them. This issue is discussed as the hidden terminal problem in [3]. In the absence of propagation delays, this problem is avoided in ISMA [4-5], where the central base station continuously broadcasts the status of the inbound channel, being either IDLE or BUSY, to all terminals. The terminals transmit a data packet when it receives an idle signal and schedule retransmission when it receives inhibit signal.

However, increasing of delay time in ISMA is more than that of CSMA because all terminals detect only the channel status signal from the base station, and the base station needs to receive packets from terminals and then broadcasts an inhibit signal to all terminals.

In this paper, we propose the slotted non-persistent ISMA with timing advance to channel status signal broadcast from the base station for reduce the effect of propagation delay on radio communication channel. Numerical analysis of throughput and delay for the proposed system is performed. In the proposed system, the base station broadcasts an idle signal with time advanced before successfully receive, and the interval between the idle and inhibit signals are fixed at regular interval. The proposed system shown that, the throughput and delay performance is improved compare to conventional ISMA.

2. SYSTEM MODEL AND ASSUMPTIONS

The difference of various packet switching protocols is the action that a terminal takes after sensing the channel. However, in all cases, when a terminal knows that its transmission was unsuccessful, it reschedules the transmission of the packet according to a randomly distributed retransmission delay. At this new point in

time, the transmitter senses the channel and repeats the algorithm dictated by the protocol. At any instant a terminal is called a *ready terminal* [2] if it has a packet ready for transmission at this instant (either a new packet just generated or a previously conflicted packet rescheduled for transmission at this instant).

The delay of packet switching in radio channels occurs from various causes such as from the terminal process to transmit a data packet after received an idle signal, propagation delay on the radio channels, and the base station processes to receive a data packet and broadcast an inhibit signal to all terminals. This paper considers only the propagation delay on the radio channel. Furthermore, simplify the problem by assuming the propagation delay (small compared to the packet transmission time) to be identical for all source-destination pairs. Consider this constant propagation delay to be equal to the average of the propagation delay.

All packets have constant length and transmitted over an assumed noiseless channel (i.e., the errors in packet reception caused by random noise are not considered to be a serious problem and are neglected in comparison with errors caused by overlap interference). The system assumes non-capture (i.e., the overlap of any fraction of two packets results in destructive interference and both packets must be retransmitted)

2.1 Slotted non-persistent ISMA

The concept of *non-persistent ISMA* is to avoid the interference from another packet as receiving a data packet by always rescheduling a packet which receives inhibit signal upon arrival. More precisely, a ready terminal waits the channel status signal from base station and operates as follows.

1.) If the terminal receives an idle signal, it transmits the packet.

2.) If the terminal receives a inhibit signal, then the terminal schedules the retransmission of the packet to some later time according to the retransmission delay distribution. At this new point in time, it waits the channel status signal and repeats the algorithm described.

A slotted version of the non-persistent ISMA can be considered in which the time-axis is slotted and the slot size is different between idle and busy slot. The base station and the terminals are synchronized and are forced to start transmission only at the beginning of a slot. When a packet's arrival occurs during a slot, the terminal waits

for the channel status signal at the beginning of the next slot and operates according to the protocol as described before. Fig. 1 illustrates the timing relationship in slotted non-persistent ISMA. A cycle starts at t_0 by starting of idle signal from a base station. The average time between the beginning of a packet transmission and the detection of a busy status by the remaining terminals is the inhibit time [5] denoted by d , which is twice that of average of the propagation delay. Therefore, an idle signal reaches at terminals with time $t_0+d/2$. For simplicity, assume that the average of inhibit time is normalized to a unity packet length. The ready terminals transmit a data packet to the base station at time $t_0+d/2$, reaches at the base station at time $t_0+d = t_1$. Then, the base station broadcasts an inhibit signal, reaches the terminal at time $t_1+d/2$ and successfully received a data packet at t_1+1 . The base station broadcasts an idle signal and reaches the terminal at time $t_1+1+d/2$. Any terminal is ready to transmit between $t_1+d/2$ and $t_1+1+d/2$, are inhibited to transmit and reschedule its data packet, and if ready between $t_1+1+d/2$ and $t_1+1+3d/2$, are permitted to transmit on the next slot. The slot has received a packet, is called *busy slot* and no receive a packet is called *idle slot*. The average duration of the idle and busy slot are denoted by \bar{I} and \bar{B} , respectively, alternates in the forward channel transmissions. The forward channel is busy when one or more packets are presence. If more than one terminal transmit packet in the same idle slot, the collision is occurring, with non-capture effect, both of data packets are destructive and retransmit at a later time. The duration of each packet is set to the unit of time, which is 1. When the reception of the last interfering packet terminates, the base station broadcasts idle signal at the next time slot and the next cycle starts. If one terminal transmitted a data packet in the idle slot, successfully transmission and the base station broadcasts an idle signal immediately.

2.2 Slotted non-persistent ISMA with timing advance

Although the slotted the time-axis is enable to increase the throughput, the effect of propagation delay results in empty period in forward channel directly. This paper, proposes the slotted non-persistent ISMA with timing advance to channel status signals to decrease effect of propagation delay by reducing the empty period of idle and busy slot on forward channel.

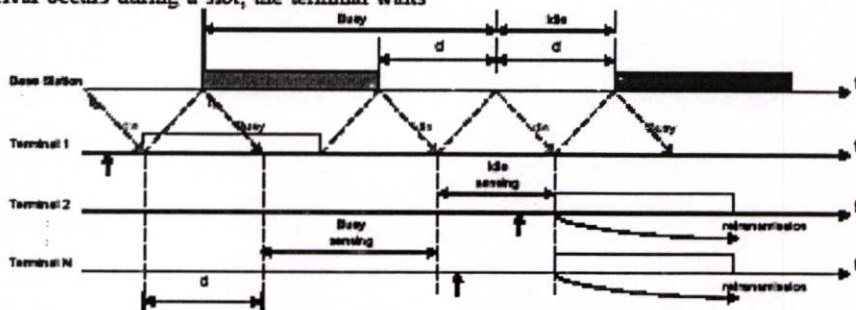


Fig. 1: Time relationships in slotted non-persistent ISMA

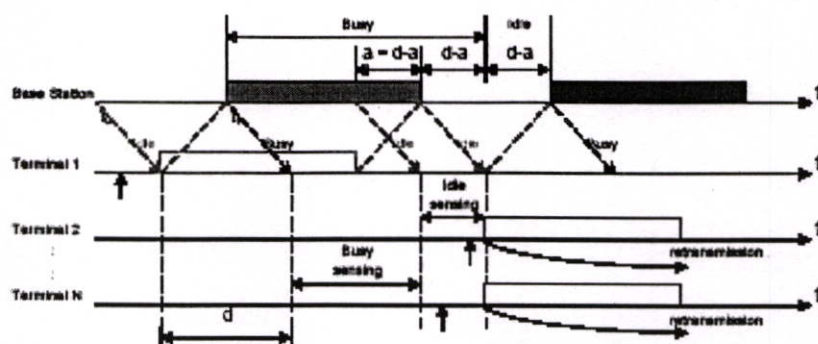


Fig. 2: Timing relationships in slotted non-persistent ISMA with timing advance.

The average duration of the timing advance is denoted by a , which normalized to a unity packet length. Fig. 2 illustrates the timing relationship in slotted non-persistent ISMA with timing advance. Result in the empty duration of busy and idle slots are reduced to $d-a$. A cycle starts at the base station receiving a data packet, before it received the successfully at $t_1 + 1 - a$, the base station broadcast an idle signal to all terminals to permit the transmission, and then broadcast an inhibit signal before successfully received a data packet if $2a-d$ is positive value or after the successfully received if $2a-d$ is negative value. An inhibit signal is broadcasted at $t_1 + 1 - a - (2a-d)$. Thus, during the ready terminals are permitted to transmit a data packet and reduces to be $d-a$, and the ready terminals are inhibited to transmit and increases to be $1-d-a$.

3. PERFORMANCE ANALYSIS

3.1 Throughput Analysis

Following the performance approach in [2], the virtual offered traffic on the forward channel, assume Poisson with average value G , consists of both new packet arrivals and rescheduled packets from both collisions and inhibited transmissions. With slotted non-persistent ISMA, the normalized slot length is set just slightly greater than $(d-a)/2$. It allows terminals to commence transmitting packets only at slot boundaries, thereby reducing collisions and resulting in higher throughput. For ISMA, the busy period is found [6] as,

$$\bar{B} = \frac{1+d-a}{e^{-(d-a)G}} \quad (1)$$

The average idle period is found as:

$$\bar{I} = \frac{d-a}{1-e^{-(d-a)G}} \quad (2)$$

The average successful packet transmission time in a cycle is found as:

$$\bar{U} = \frac{\bar{B}}{1+(d-a)} P_{\text{succ}} \quad (3)$$

where P_{succ} is the probability of a successful transmission period. We have:

$$P_{\text{succ}} = \frac{\text{Prob}[\text{single arrival within a slot}]}{\text{Prob}[\text{more arrivals within a slot}]} \quad (4)$$

$$P_{\text{succ}} = \frac{(d-a)Ge^{-(d-a)G}}{1-e^{-(d-a)G}} \quad (5)$$

Putting all these together we get the average throughput is

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + \bar{I}} = \frac{(d-a)Ge^{-(d-a)G}}{1+(d-a)-e^{-(d-a)G}} \quad (6)$$

3.2 Design Delay Analysis

The packet delay is found using the quasi-static assumption of offered traffic [2] applied to the slotted non-persistent ISMA protocol with timing advance. There are three components of packet delay:

1) When a data packet is successfully received, the normalized delay by the packet length is denoted by $D_s = 1 + (d-a)$.

2) When a data packet is unsuccessfully received due to a collision and retransmits until successfully received, the delay consists of the transmission time of the packet is $1+d-a$, the average propagation delay is $d/2$, the transmission time of the acknowledgement packet is T_a , and the average retransmission delay is T_c , that is $D_r = N_c(1+(d-a)+T_a+T_c)$ which normalized by the packet length, where N_c is the average number of unsuccessful transmission attempts (collisions) a packet encounters before being successfully delivered.

3) When the forward channel is busy, the delay is $D_i = N_i T_r$, where N_i is the average number of inhibited attempts before successful packet transmission, and T_r is the average retransmission wait time.

The expression for the average packet delay for slotted non-persistent ISMA with timing advance is,

$$\bar{D} = 1 + (d - a) + N_c(1 + (d - a) + I_a + I_c) + N_i T_r \quad (7)$$

The average number of attempts can be found [2] as:

$$N_c = (H/S) - 1 \quad (8)$$

The average number of inhibited attempts can be found as:

$$N_i = (G - H)/S \quad (9)$$

where H is the rate of actual transmissions on the channel. For slotted non-persistent ISMA, $H = H_s(d, G)$ is given by [7], modified as:

$$H_s = \frac{(d - a)G^2 e^{-(d-a)G}}{1 - e^{-(d-a)G}} \quad (10)$$

Thus, we are able to determine the average packet delay time as a function of either the virtual traffic, or the throughput.

4. SIMULATION RESULTS

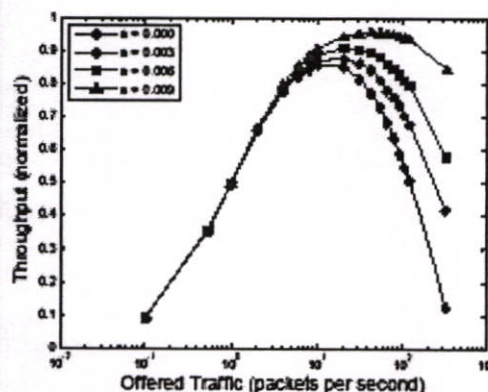


Fig. 3: The throughput of slotted non-persistent ISMA w/ timing advance.

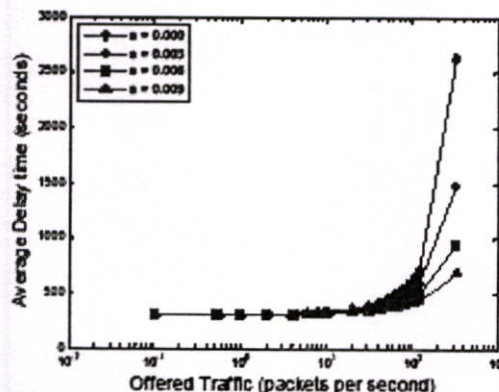


Fig. 4: Average packet delay time of slotted non-persistent ISMA w/ timing advance.

Verification of the analytic throughput results with a Poisson source discrete-event simulation is shown in Fig. 3, it shows the throughput (S) of the proposed system versus the offered traffic G of slotted non-persistent ISMA with timing advance. The normalized average delay (d) from the simulation model and timing advance (a) is set to be 0% (w/o timing advance), 30%, 60% and 90%, respectively. Observe that timing advance serves to increase the throughput, when advance time is increased.

Fig. 4 shows the delay performance of slotted non-persistent ISMA with timing advance. Observe that timing advance serves to reduce the average packet delay time, when advanced timing is increased.

5. CONCLUSION

The ISMA with timing advance can reduce the propagation delay effect on the busy and idle period of forward radio channel between the base station and the terminals. The throughput and delay performances are analyzed. It is shown that the proposed system is increased the throughput performance when increase the timing advance and decreased average delay time of a data packet also. It is also shown that the time duration of idle sensing period is decreased and busy sensing period is increased.

6. REFERENCES

- [1] N. Abramson, "The throughput of packet broadcasting channels," *IEEE Trans. Communications*, Vol. COM-25, pp. 117-128, 1977.
- [2] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I - Carrier Sense Multiple Access modes and their throughput-delay characteristics," *IEEE Trans. Communications*, Vol. COM-23, No. 12, pp. 1400-1416, 1975.
- [3] F. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels Part II - The hidden terminal problem in carrier sense multiple access and the busy tone solution," *IEEE Trans. Communications*, Vol. COM-23, No. 12, pp. 1417-1433, 1975.
- [4] J. M. Linnartz, G. A. Awater, and R. J. Venema, "Throughput of inhibit sense multiple access with capture," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 42, No. 1, pp. 119-126, 1994.
- [5] K. J. Zdunek, D. R. Ucci, and J. L. LoCicero, "Packet Radio Performance of Inhibit Sense Multiple Access with Capture," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 45, No. 2, pp. 164-167, 1997.
- [6] N. R. Prasad and J. A. M. Hijhof, "Indoor Wireless Communications Using Slotted Non-persistent ISMA, 1-Persistent ISMA and Non-persistent ISMA/CD," *IEEE VTC-47th Conference*, Vol. 3, pp. 1513-1517, 4-7 May 1997.
- [7] F. Tobagi, "Random access techniques for data transmission over packet switched radio networks," Ph.D. dissertation, Dept. of Computer Science, School of Eng. and Applied Science, Univ. of California, Los Angeles, Rep. UCLA-ENG 7499, Dec. 1974.

ประวัติผู้เขียน

นายสุทัศน์ จันทรพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ.2515 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในระดับ ปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547