

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยน
อัตราการส่งข้อมูล

PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR AD-HOC WIRELESS NETWORKS
USING ADAPTIVE RATE SCHEME



T110416



ประทีป ปรงประเสริฐ
PRATEEP PRUNGPRASERT

ฉน.

๒/๒๗๓

๑๐๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

110416

- 2 พ.ย. 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL 2010-EN-M-070-120

**PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR AD-HOC WIRELESS NETWORKS
USING ADAPTIVE RATE SCHEME**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMITL 2010-EN-M-070-120
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารนี้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูล
Thesis Title Performance Improvement for Ad-Hoc Wireless Networks using Adaptive Rate Scheme
นักศึกษา นายประทีป ปรงประเสริฐ
รหัสประจำตัว 48060702
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรนุรัตน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-070-120

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุรินทร์	กิตติธรรกุล	ผศ.ดร.สุรินทร์
ดร.ปกรณ์	วัฒนจตุรพร	ดร.ปกรณ์
รศ.ดร.สมภพ	ภูริวิกรัยพงศ์	รศ.ดร.สมภพ
ผศ.ดร.สมศักดิ์	วัลย์รัชต์	ผศ.ดร.สมศักดิ์
ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย	ทิพย์จักรนุรัตน์	ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2553 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ลายมือชื่อ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.

วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

วันที่ 17 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำเนื้อหาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูล
นักศึกษา	นายประทีป ปรุงประเสริฐ
รหัสประจำตัว	48060702
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์สุรัตน์

บทคัดย่อ

เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ เป็นเครือข่ายไร้สายที่ประกอบด้วยโมบายล์โหนดไร้สายต่างๆ ที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายที่สามารถติดต่อสื่อสารกัน โดยปราศจากสายนำสัญญาณ และเนื่องจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจใช้กระบวนการควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณบนพื้นฐานของกระบวนการ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) ซึ่งวิธีการนี้อาจทำให้เกิดโอกาสในการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นได้ ในกรณีที่มีความต้องการเข้าใช้งานเครือข่ายเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ มาตรฐาน IEEE 802.11 ยังสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วหลายอัตรา ขึ้นอยู่กับคุณภาพของช่องสัญญาณ ดังนั้นการลดการชนกันของข้อมูลในสถานะที่มีการใช้งานเครือข่ายอย่างหนาแน่น และการใช้วิธีการที่เหมาะสมในการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณให้มีความแม่นยำ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจได้

วิทยานิพนธ์นี้ เราได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูล ของเครือข่ายโดยขึ้นกับการประมาณค่าคุณภาพของช่องสัญญาณที่ได้รับข้อมูลจากผู้รับข้อมูล และ มีการนำข้อมูลการเกิดการชนกัน ของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมาพิจารณาถึงการปรับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลด้วย โดยวิธีการที่นำเสนอนี้ ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน โดยอาศัยข้อมูลช่องสัญญาณจากชั้นกายภาพ และ ข้อมูลการเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลจากชั้นควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลและช่วงเวลาให้สอดคล้องกับสถานะการทำงานของเครือข่าย ผลจากการจำลองการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่ม throughput ให้กับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจให้มากขึ้นถึง 55% และช่วยลดอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดในเครือข่ายลงได้ 4.25% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐาน IEEE 802.11b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Performance Improvement for Ad-Hoc Wireless Networks using Adaptive Rate Scheme
Student	Mr. Prateep Prungprasert
Student ID.	48060702
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr Sakchai Thipchaksurat

ABSTRACT

Wireless Ad-Hoc Networks consist of a collection of wireless mobile nodes that form a network and are able to communicate each other without cable. Multiple access control mechanism in wireless ad-hoc network is based on Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). But CSMA/CA possibly causes more collision in the intensive wireless ad-hoc network. IEEE 802.11 also has multiple data rate base on channel quality. Using appropriate mechanism to measure channel quality and mechanism to reduce collision in intensive wireless network will increase network throughputs.

This thesis, we propose the scheme for performance improvement of wireless ad-hoc network using rate adaptive. In this scheme, channel quality estimation based on receiver information and average packet collisions are used to consider the time interval for sending data packet. Our proposed scheme use channel quality from physical layer (PHY) and collision rate from medium access control layer (MAC) to adjust transmission data rate and backoff period follow the network condition. Simulation results show that our scheme can achieves up to 55% higher throughput and 4.25% lower loss rate compared with IEEE 802.11b standard.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรภูรัตน์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์
และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาสอนวิชาพื้นฐานที่จำเป็นต้อง
ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้
กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยอบรมเลี้ยงดู และให้โอกาสใน
การศึกษา และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ รวมถึงช่วยเป็นกำลังใจให้เสมอมา ทำให้ข้าพเจ้า
สามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ประทีป ประุงประเสริฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	5
2.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	6
2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	7
2.2.1 โหมดโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure).....	7
2.2.2 โหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc).....	9
2.3 มาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11.....	10
2.4 วิวัฒนาการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11.....	11
2.4.1 IEEE 802.11b.....	11
2.4.2 IEEE 802.11a.....	11
2.4.3 IEEE 802.11g.....	12
2.4.4 IEEE 802.11e.....	12
2.4.5 IEEE 802.11i.....	12
2.4.6 IEEE 802.11f.....	13
2.4.7 IEEE 802.11h.....	13
2.4.8 IEEE 802.11k.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.9 IEEE 802.11n.....	13
2.4.10 IEEE 802.1x.....	13
2.5 โครงสร้างสถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI.....	13
2.5.1 ชั้นกายภาพ (Physical Layer).....	14
2.5.2 ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer).....	14
2.5.3 ชั้นควบคุมเครือข่าย (Network Layer).....	15
2.5.4 ชั้นจัดการนำส่งข้อมูล (Transport Layer).....	15
2.5.5 ชั้นกำหนดหน้าต่างสื่อสาร (Session Layer).....	15
2.5.6 ชั้นนำเสนอข้อมูล (Session Layer).....	15
2.5.7 ชั้นการประยุกต์ (Application Layer).....	16
2.6 ชั้นสื่อสารกายภาพในมาตรฐาน IEEE 802.11.....	16
2.6.1 อินฟราเรด (Infrared).....	17
2.6.2 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum).....	17
2.6.3 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).....	19
2.6.4 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	19
2.6.5 HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum).....	20
2.7 กระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณในชั้น MAC ของ IEEE 802.11.....	21
2.7.1 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA).....	21
2.7.2 CSMA/CA with Acknowledgement.....	22
2.7.3 Distribute Coordination Function (DCF).....	22
2.7.4 Point Coordination Function (PCF).....	28
2.7 โครงสร้างเฟรมใน IEEE 802.11.....	29
บทที่ 3 ปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
3.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ.....	33
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
3.2.1 A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Network.....	34
3.2.2 History Based Contention Window Control in IEEE 802.11 MAC Protocol in Error Prone Channel.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการที่นำเสนอ.....	40
4.1 แนวคิดในการออกแบบ.....	40
4.2 วิธีการที่นำเสนอ.....	41
4.2.1 การปรับขนาดช่วงเวลาหยุดตามสภาวะการเข้าใช้งานเครือข่าย.....	42
4.2.2 การปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ.....	47
บทที่ 5 การวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ.....	52
5.1 Network Simulator version 2 (NS-2).....	52
5.2 ผลการจำลองการทำงานของระบบ.....	54
5.2.1 การจำลองการทำงานของระบบในสถานะที่เครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่.....	54
5.2.2 การจำลองการทำงานของระบบในสถานะที่เครือข่ายมีการเคลื่อนที่.....	59
บทที่ 6 บทสรุปและแนวทางการพัฒนาต่อ.....	64
6.1.1 สรุป.....	64
6.1.2 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก. NS-2 IEEE 802.11b Code.....	68
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ IEEE 802.11b.....	32
3.1 การเปรียบเทียบข้อมูลสถานะในวิธีการ HBCWC.....	38
4.1 ค่า W, X, Y, Z ในกรณีทดสอบ ที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมในการขยายช่วงเวลาหยุดรอ.....	44
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อหาสมการคำนวณช่วงเวลาหยุดรอ.....	44
4.3 ความสัมพันธ์ของค่า Pcl กับอัตราการขยายช่วงเวลาหยุดรอ.....	47
4.4 กรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที.....	48
4.5 กรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 5.5 เมกะบิตต่อวินาที.....	48
4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อหาสมการปรับอัตราการส่งข้อมูล.....	49
4.7 อัตราการส่งข้อมูลที่แปรผันตามค่า Pr.....	51
5.1 พารามิเตอร์ในการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่.....	54
5.2 พารามิเตอร์ในการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง BSS และ ESS.....	7
2.2 แสดงการทำงานแบบ Multiple access Points และ Roaming.....	8
2.3 แสดงการใช้งานแบบเพิ่มขยายจุด.....	9
2.4 แสดงการต่อใช้งานแบบใช้เสาอากาศโดยตรง.....	9
2.5 แสดงการเชื่อมต่อใน โหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc).....	10
2.6 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI.....	14
2.7 แสดง โพรโตคอลเสต็กในชั้นสื่อสารกายภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.11.....	17
2.8 การทำงานของ FHSS.....	18
2.9 แสดงตัวอย่างรูปแบบการสลับไปมาของช่องสัญญาณใน FHSS.....	18
2.10 การทำงานของ DSSS.....	19
2.11 ขั้นตอนการทำงานของ OFDM.....	20
2.12 ชั้น MAC ในมาตรฐาน IEEE 802.11.....	21
2.13 แสดงการเกิด Hidden Terminal Problem.....	22
2.14 ขนาดของ Contention Windows (CW).....	24
2.15 กระบวนการ Backoff ใน IEEE 802.11 DCF.....	25
2.16 Hidden Terminal Problem.....	26
2.17 Exposed Terminal Problem.....	27
2.18 กระบวนการ Backoff ใน IEEE 802.11 DCF โหมด RTS/CTS.....	28
2.19 การส่งข้อมูลในโหมด PCF.....	29
2.20 เฟรมมาตรฐานของ IEEE 802.11.....	29
2.21 เฟรมควบคุม.....	30
2.22 โครงสร้างแพ็กเก็ตเกิดในชั้นสื่อสารกายภาพของ IEEE 802.11 ที่ใช้งาน Long Preamble.....	31
2.23 โครงสร้างแพ็กเก็ตเกิดในชั้นสื่อสารกายภาพของ IEEE 802.11 ที่ใช้งาน Short Preamble.....	31
3.1 ทฤษฎีทบทวนระยะทางในการส่งข้อมูลของการส่งข้อมูลโดยใช้อัตราการส่งข้อมูลต่างๆ.....	34
3.2 การเปรียบเทียบค่า SNR กับ BER.....	35
3.3 โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการ RBAR.....	36
3.4 โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการ HBCWC.....	38
4.1 โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ.....	42
4.2 แสดงค่า Delay ที่ได้จากการจำลองระบบ.....	45

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตที่วัดได้จากการจำลองระบบ.....	45
4.4 แสดงค่าทรูพุทที่วัดได้จากการจำลองระบบ.....	46
4.5 แสดงค่า Delay ที่ได้จากการจำลองระบบ.....	49
4.6 แสดงอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตที่วัดได้จากการจำลองระบบ.....	50
4.7 แสดงค่าทรูพุทที่วัดได้จากการจำลองระบบ.....	50
5.1 Simulation Model ที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	54
5.2 ค่า Delay ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี.....	55
5.3 ค่า Delay เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน.....	55
5.4 อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเกิดในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี.....	56
5.5 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน	57
5.6 ค่าทรูพุทในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี.....	57
5.7 ค่าทรูพุทเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีต่างกัน.....	58
5.8 ค่า Delay ของระบบเมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่.....	69
5.9 ค่า Delay เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่.....	60
5.10 อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเกิด เมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่	61
5.11 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่	62
5.12 ค่าทรูพุท เมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่.....	62
5.13 ทรูพุทเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นระบบเครือข่ายไร้สายภายในสำนักงาน การให้บริการเครือข่ายไร้สายในพื้นที่สาธารณะ เช่น บริเวณศูนย์การค้า สนามบิน ร้านกาแฟ หรือ ระบบเครือข่ายภายในบ้าน (Home Network) ด้วยคุณสมบัติเฉพาะของเครือข่ายไร้สายที่ไม่ต้องการสายนำสัญญาณในการเชื่อมต่อ ทำให้มีความประหยัด สะดวกรวดเร็วในการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สาย นอกจากนี้ยังง่ายต่อการบำรุงรักษาด้วย จึงทำให้เครือข่ายไร้สายมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network) เรามักจะเรียกว่า Wireless LAN หรือ WLAN เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีมาตรฐาน คือ IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานกำหนดรูปแบบในการสื่อสารซึ่งบรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์ได้ผลิตอุปกรณ์ออกมามากมาย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา พีดีเอ (PDA) หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือ ก็สนับสนุนการทำงานบนมาตรฐานนี้

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่ายออกเป็น 2 โหมด โดยโหมดแรกคือการเชื่อมต่อแบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ซึ่งจะอาศัยโครงข่ายพื้นฐานในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ผ่านอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง เช่น สถานีแม่ข่าย หรือที่เรียกว่า Access Point ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณในเครือข่าย และให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละสถานีในเครือข่าย ซึ่งเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะใช้การเชื่อมต่อประเภทแรกนี้ การเชื่อมต่อในโหมดที่ 2 คือการเชื่อมต่อแบบเฉพาะกิจ (Ad-Hoc) จะเป็นการเชื่อมต่อแบบที่ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง กล่าวคือ จะไม่มีจุดศูนย์กลางในการควบคุมการทำงานของระบบ แต่จะใช้งานร่วมกันเป็นหลัก ซึ่งการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายประเภทนี้ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในสนามรบ สถานที่เกิดภัยธรรมชาติ และในสถานที่ซึ่งไม่มีโครงข่ายพื้นฐานให้ใช้งาน โดยจะเรียกเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบเฉพาะกิจนี้ว่า เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad-Hoc Wireless Network)

เนื่องจากแต่ละสถานีในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ทำให้เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ประสบกับปัญหาประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงเนื่องจากการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล นอกจากนี้การที่ไม่มีจุดศูนย์กลางในการควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูล ของแต่ละสถานีในเครือข่าย ส่งผลให้อัตราการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ

สูง และทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีการปรับอัตราการเร็วในการส่งข้อมูล ตามคุณภาพของช่องสัญญาณ เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลให้มากขึ้น และลดการสูญเสียของข้อมูล แต่เนื่องจากการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณเกิดขึ้นที่ฝั่งผู้ส่ง ค่าที่วัดได้จึงไม่ใช่คุณภาพของช่องสัญญาณตั้งแต่ต้นทางไปจนถึงปลายทางอย่างแท้จริง ดังนั้นการหาวิธีการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่มีความแม่นยำ และให้ค่าที่มีความทันสมัยต่อการเปลี่ยนแปลงของเครือข่าย จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลในระบบได้

นอกจากนี้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ไม่สามารถที่จะตรวจสอบการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปได้ จึงได้มีการคิดกลไกในการเข้าใช้งานช่องสัญญาณขึ้น เพื่อช่วยลดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือวิธีการที่เรียกว่า Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) โดยสถานีผู้ส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องรอรับ Acknowledgement (ACK) จากสถานีที่ส่งข้อมูลไปให้หากไม่ได้รับ ACK กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนของสัญญาณขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป ซึ่งจากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้หากมีการจัดการการเข้าใช้งานช่องสัญญาณที่เหมาะสมกับแต่ละสถานะของเครือข่ายเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่อาจเกิดขึ้น จะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น และ ลดปริมาณการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เพื่อให้เหมาะสมต่อคุณภาพของช่องสัญญาณในขณะที่ทำการรับส่งข้อมูล

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงวิธีการจัดการการเข้าใช้งานช่องสัญญาณของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ที่เหมาะสมกับสถานะการใช้งานเครือข่าย โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเข้ามาช่วยในการจัดการ

1.2.3 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล ด้วยวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ ร่วมกับการลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล ด้วยวิธีการจัดการการเข้าใช้งานช่องสัญญาณตามความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่าย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่นำเสนอ ได้มีการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นขึ้นของแต่ละสถานี เพื่อให้แต่ละสถานีมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังกำหนดให้แต่ละสถานีมีข้อมูลสำหรับการส่งตลอดเวลาเพื่อจำลองเครือข่ายในสถานะที่มีการเข้าใช้งาน

ใช้งานอย่างหนาแน่น โดยกำหนดให้มีกระบวนการส่งแพ็กเก็ต Request-to-Send/Clear-to-Send (RTS/CTS) ก่อนที่จะเข้าใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อให้กระบวนการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณสามารถทำงานได้

ในส่วนของมาตรฐาน IEEE 802.11 กำหนดให้ช่องสัญญาณมีความกว้างเท่ากับ 22 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลเป็น 2, 5.5 และ 11 เมกะบิตต่อวินาที ตามคุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้ ซึ่งหากมีกระบวนการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่แม่นยำ และค่าที่ได้มีความทันสมัยต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ร่วมกับการจัดการการเข้าใช้งานช่องสัญญาณที่เหมาะสม จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และ ลดอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการชนกันได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เครือข่าย IEEE 802.11 ได้มีการกำหนดให้อัตราเร็วในการส่งข้อมูลสามารถปรับให้ช้าลงหรือเร็วขึ้นได้ ตามระยะทางในการเชื่อมต่อ หรือคุณภาพของช่องสัญญาณ เช่น มาตรฐาน IEEE 802.11b กำหนดให้อัตราการเร็วในการส่งข้อมูลที่ 2, 5.5 และ 11 เมกะบิตต่อวินาที IEEE 802.11a กำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูลไว้ที่ 11, 24, 36, 48 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที แต่เนื่องจากการเลือกอัตราการส่งข้อมูลเกิดขึ้นที่ฝั่งผู้ส่ง ซึ่งจะไม่ทราบถึงคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ ทำให้อัตราการส่งข้อมูลที่เลือกใช้ไม่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณในขณะนั้น และทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล และทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

นอกจากนั้น ปัญหาความคับคั่งในเครือข่ายซึ่งส่งผลให้เกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ เมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมากขึ้น ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล และทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ด้วยวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยใช้ข้อมูลความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากชั้นกายภาพ (Physical: PHY) ที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่งแพ็กเก็ต RTS/CTS เพื่อปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมต่อคุณภาพของช่องสัญญาณในขณะนั้น ร่วมกับการจัดการการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ ที่เหมาะสมในแต่ละสถานะของเครือข่ายโดยใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในระดับชั้น Medium Access Control (MAC) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และ สมรรถนะของเครือข่ายในสถานะที่มีจำนวนสถานีในเครือข่ายจำนวนมาก หรือ มีปริมาณข้อมูลหนาแน่น โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าสถิติ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ช่วงเวลาหยุดรอ (Backoff Time) ก่อนการส่งข้อมูล โดยจะทำการวัดประสิทธิภาพการทำงานของ
เมื่อกิจกรรมต่างๆบน ออกทางห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ เปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่มีชื่อว่า Receiver Based Auto-Rate (RBAR) ในงานวิจัยของ Gavin Holland และนักวิจัยร่วม [6] โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Network Simulator version 2 (NS-2) ผลที่ได้ แสดงค่าเวลาหน่วง (Delay) ในการส่งข้อมูล ทROUGHPUTS) ของระบบ และอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss Rate) เปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานและทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การทำงานของกระบวนการควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ (Medium Access Control) ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง และวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้กระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูล และการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ

บทที่ 4 อธิบายถึงกระบวนการทำงานของวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ และการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอให้สอดคล้องกับความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่าย ที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้

บทที่ 5 กล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพของระบบ พารามิเตอร์ที่ใช้ และผลที่ได้จากการจำลองระบบ เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยให้ระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย และแนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้กล่าวถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad-Hoc Wireless Network) ซึ่งเป็นเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายประเภทหนึ่ง ที่มีการเชื่อมต่อในโหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc) และใช้เทคโนโลยีไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ในการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่าย ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การทำงานของกระบวนการควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ (Medium Access Control) ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1971 บนเกาะฮาวาย โดยโปรเจกต์ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า "ALOHNET" ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบสองทิศทาง (Bi-Directional) ส่งไป-กลับผ่านคลื่นวิทยุ สื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะๆ หนึ่ง ที่ชื่อว่า Oahu

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทน หรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายใช้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งสัญญาณความถี่วิทยุในย่านวิทยุ (RF) และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ, ทะลุกำแพง, เพดาน หรือ สิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนี้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายที่สำคัญก็คือ การที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบเครือข่ายแบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันนี้ โลกของเราเป็นยุคแห่งการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจ และการใช้ชีวิตประจำวัน ความต้องการข้อมูลและการบริการต่างๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้น มีมากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook) เครื่องปาล์ม (Palm) ได้ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมากและ ผู้ที่น่าจะได้ประโยชน์จากการใช้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีมากมายไม่ว่าจะเป็น

- แพทย์หรือพยาบาลในโรงพยาบาล เนื่องจากสามารถดึงข้อมูลรักษาผู้ป่วยได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ที่เชื่อมต่อกับ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นักศึกษาในมหาวิทยาลัยสามารถใช้งานโน้ตบุ๊กเพื่อค้นคว้าข้อมูลในห้องสมุดของมหาวิทยาลัย หรือใช้อินเตอร์เน็ต จากสนามหญ้าในมหาวิทยาลัยได้
- นักธุรกิจที่มีความจำเป็นต้องใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์นอกสถานที่ ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนองาน ณ บริษัทลูกค้า หรือ การนำเครื่องคอมพิวเตอร์ติดตัวไปงานประชุมสัมมนาต่างๆ บุคคลเหล่านี้มีความจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรซึ่งอยู่ห่างออกไป หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์สาธารณะ เช่น เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลเหล่านี้ได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเปิดให้บริการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ตามสนามบินส่วนใหญ่ทั่วโลก และนำมาใช้งานแพร่หลายในห้างสรรพสินค้า และโรงแรมต่างๆแล้ว

2.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1. มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ใด หรือ เคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังสามารถเชื่อมต่อ กับเครือข่ายตลอดเวลา ครอบคลุมที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล (Mobility improves productivity and service)
2. ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล (Installation speed and simplicity)
3. ขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแคมี พืซิการ์มาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊ก หรือคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที (Installation flexibility)
4. ลดค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วยความสะดวกในการติดตั้ง (Reduced cost- of-ownership)
5. เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก (Scalability)

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียว หรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่าย

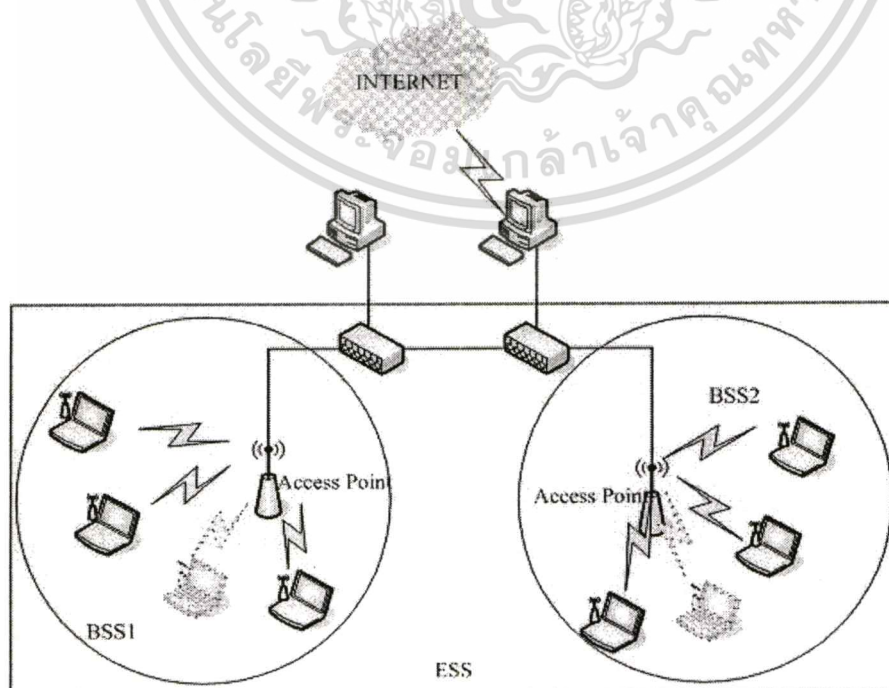
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่ายไว้ 2 โหมด โดยการเชื่อมต่อในโหมดแรก คือการเชื่อมต่อโหมดโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) และโหมดที่ 2 คือการเชื่อมต่อในโหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc) โดยลักษณะการเชื่อมต่อในโหมดต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 โหมดโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure)

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 จะเชื่อมต่อกันในโหมดโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมดโครงสร้างพื้นฐานนี้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภท ได้แก่สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ คอมพิวเตอร์แบบพกพา หรืออุปกรณ์พีดีเอ (PDA) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่ายท้องถิ่น IEEE 802.3 (IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมดโครงสร้างพื้นฐาน มีพื้นฐานการทำงานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีที่ผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้ การเชื่อมต่อในโหมดโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 แสดง BSS และ ESS
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Basic Service Set (BSS)

Basic Service Set (BSS) ซึ่งหมายถึงบริเวณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้งานในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายนี้เท่านั้น

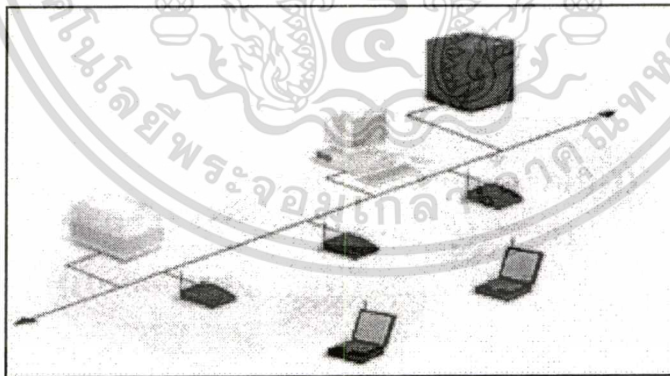
Extended Service Set (ESS)

Extended Service Set (ESS) หมายถึงบริเวณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้โดย BSS เหล่านี้จะทำการโรมมิ่ง (Roaming) หรือติดต่อ สื่อสารกันเพื่อทำการโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้งานดังกล่าว

การเชื่อมต่อใช้งานสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในโหมดโครงสร้างพื้นฐาน สามารถแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็นลักษณะต่างๆดังนี้

- **การเชื่อมต่อหลายจุด (Multiple access Points) และ การข้ามเครือข่าย (Roaming)**

โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับจุดเชื่อมต่อ (Access Point : AP) ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุต ภายในอาคาร และ 1000 ฟุต ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง มากๆ เช่นคลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้งจุดเชื่อมต่อ ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง

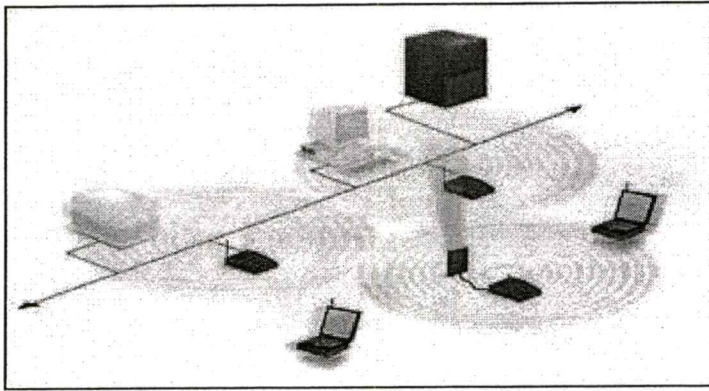


รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานแบบ Multiple access Points และ Roaming

- **การใช้งานแบบต่อเพิ่มขยายจุด (Use of an Extension Point)**

กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบ อาจจะใช้ จุดเชื่อมต่อเพิ่มขยาย (Extension Points) ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับจุดเชื่อมต่อ แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

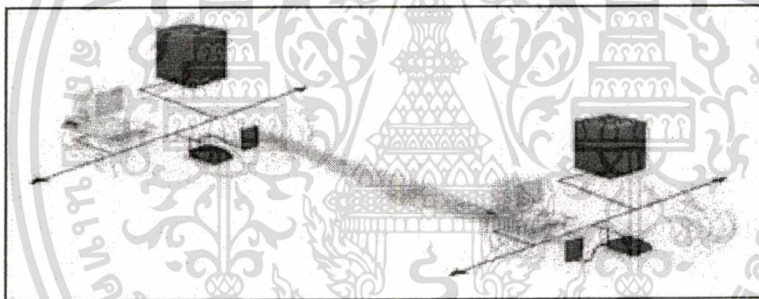
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการใช้งานแบบเพิ่มขยายจุด

- การต่อใช้งานโดยใช้เสาอากาศต่อตรง (Use of Directional Antennas)

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีการเชื่อมต่อแบบนี้ จะเป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อให้ทำการส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

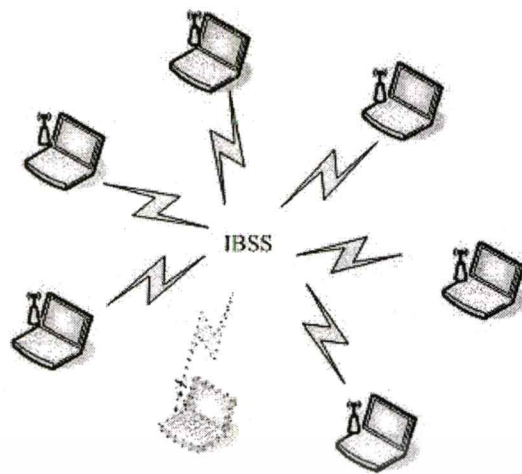


รูปที่ 2.4 แสดงการต่อใช้งานแบบใช้เสาอากาศต่อตรง

2.2.2 โหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc)

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่มีการเชื่อมต่อในโหมดเฉพาะกิจ จะเป็นเครือข่ายที่ปิดคือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มี การเชื่อมต่อ กับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในโหมดเฉพาะกิจ จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นๆได้ ซึ่งเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีการเชื่อมต่อในโหมดเฉพาะกิจนี้ จะเรียกว่า เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad-Hoc Wireless Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อในโหมดเฉพาะกิจ (Ad-Hoc)

เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ เป็นระบบเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยีไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ในการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่าย ซึ่งในหัวข้อถัดไป จะเป็นการอธิบายถึงข้อกำหนดต่างๆ ในการสื่อสารข้อมูล ตามมาตรฐาน IEEE 802.11

2.3 มาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11

มาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบันวิศวกรอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรไฟฟ้า (Institute of Electronics and Electrical Engineers) หรือที่มักจะเรียกสั้นๆว่า IEEE หรือ ไอทริปเปิลอี (I Triple E) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับเป็นข้อกำหนดของชั้นสื่อสารกายภาพ (Physical Layer : PHY) และชั้นสื่อสารย่อยควบคุมการใช้สื่อ (Media Access Control Layer : MAC) โดยในส่วนของชั้น PHY มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อ 3 ประเภทได้แก่ สัญญาณวิทยุความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ และ แสงอินฟราเรด (Infrared) สำหรับในส่วนของชั้น MAC มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกการทำงานโดยอาศัยโปรโตคอล Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) ซึ่งการทำงานมีความใกล้เคียงกับหลักการ Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งใช้กับเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network) แบบใช้สายนำสัญญาณ

นอกจากนี้ มาตรฐาน IEEE 802.11 ยังมีข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ด้วยการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้

(Authentication) เรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิวัฒนาการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11

หลังจากที่มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานนี้สามารถใช้ในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที และ 2 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยสื่ออินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกนั้นมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการคุณภาพในการให้บริการ (Quality of Service : QoS) ที่จำเป็นสำหรับการใช้งานบางประเภท อีกทั้งในส่วนของการรักษาความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายนั้นยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานเป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g และ IEEE 802.11i

2.4.1 IEEE 802.11b

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์เพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Complimentary Code Keying (CCK) ผสมกับ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที และสามารถปรับอัตราเร็วในการส่งข้อมูลให้ช้าลงได้ เพื่อเพิ่มระยะทางในการเชื่อมต่อให้ไกลขึ้น โดยสามารถส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 2, 5.5 และ 11 เมกะบิตต่อวินาที IEEE 802.11b จะรับส่งข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ไร้สายสำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wireless-Fidelity (Wi-Fi) ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

2.4.2 IEEE 802.11a

คณะทำงานชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที และสามารถปรับอัตราเร็วในการส่งข้อมูลให้ช้าลงได้เช่นเดียวกับมาตรฐาน IEEE 802.11b อย่างไรก็ตามการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย IEEE 802.11a สามารถส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 11, 24, 36, 48 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที แต่จะใช้สัญญาณวิทยุความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ก็คือในบางประเทศ ย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 กิกะเฮิรตซ์ ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจกรรมอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ยังมีราคาสูงกว่าอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อยกว่าอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b

2.4.3 IEEE 802.11g

คณะทำงานชุด IEEE 802.11 ได้ให้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11g มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11g จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a และอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11g สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้

2.4.4 IEEE 802.11e

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุงกระบวนการทำงานในชั้น MAC ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการสนับสนุนคุณภาพในการให้บริการ สำหรับการใช้งานที่เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุงกระบวนการทำงานในชั้น MAC ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ทุกมาตรฐานได้

2.4.5 IEEE 802.11i

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุงกระบวนการทำงานในชั้น MAC ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีช่องโหว่อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วยคีย์ (Key) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคีย์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่เสมอไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ทุกมาตรฐานได้

2.4.6 IEEE 802.11f

มาตรฐานนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม Inter Access Point Protocol (IAPP) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของจุดเชื่อมต่อตัวหนึ่งไปยังจุดเชื่อมต่ออีกตัวหนึ่งเพื่อให้บริการในแบบโรมมิ่ง (Roaming) สัญญาณระหว่างกัน

2.4.7 IEEE 802.11h

เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ใช้งานในย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป

2.4.8 IEEE 802.11k

เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการ การทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทั้งจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพ มีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณ การโรมมิ่งและการควบคุมกำลัง นอกจากนั้นก็ยังมีกรร้องขอและปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการทำงาน การหารหัสมีการใช้งานสำหรับสถานีผู้ใช้ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ระบบจัดการสามารถทำงานจากศูนย์กลางได้

2.4.9 IEEE 802.11n

เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่คาดหมายกันว่า จะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยให้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลในระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที

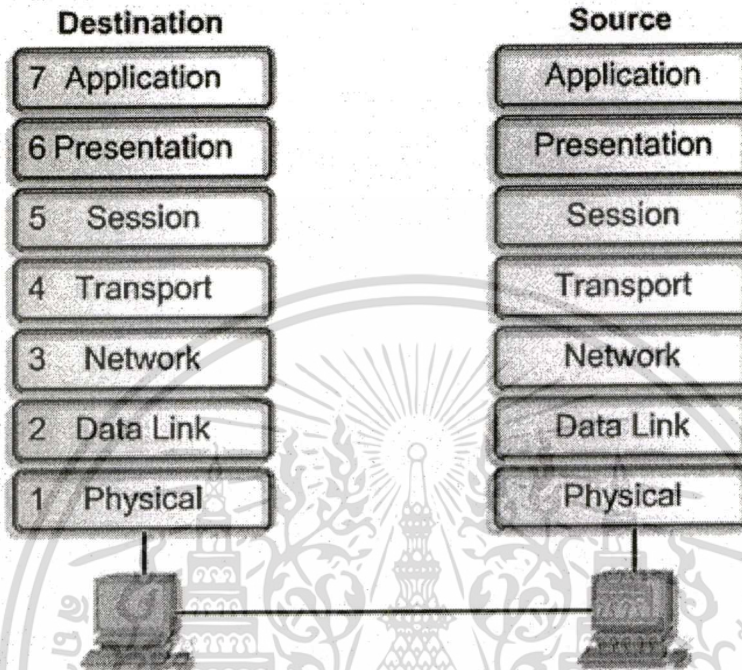
2.4.10 IEEE 802.1x

เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัย ซึ่งก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย จะต้องตรวจสอบสิทธิ์ในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.1x จะใช้โพรโทคอลอย่าง LEAP, PEAP, EAP-TLS, EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS, Kerberos เป็นต้น

2.5 โครงสร้างสถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI

ในปี ค.ศ. 1977 องค์กร ISO (International Organization for Standard) ได้จัดตั้งคณะกรรมการขึ้นกลุ่มหนึ่ง เพื่อทำการศึกษาจัดรูปแบบมาตรฐาน และพัฒนาสถาปัตยกรรมเครือข่าย และใน ปี ค.ศ. 1983 องค์กร ISO ก็ได้ออกประกาศรูปแบบของสถาปัตยกรรมเครือข่ายมาตรฐานในชื่อของ Open System Interconnection (OSI) [1] เพื่อใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานในการเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ จุดมุ่งหมายคือถาวรกำหนดการแบ่งโครงสร้างของสถาปัตยกรรมเครือข่าย

ออกเป็นชั้นๆ และกำหนดหน้าที่การทำงานในแต่ละชั้น รวมถึงกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างชั้นด้วย โดยภาพแสดงลำดับชั้นในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน OSI สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI

สถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI ได้ถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 7 ชั้น โดยในแต่ละชั้นได้ถูกกำหนดหน้าที่การทำงานไว้ดังนี้

2.5.1 ชั้นกายภาพ (Physical Layer)

เป็นชั้นระดับล่างสุดที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดวิธีการควบคุมการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในระดับบิต เช่น การกำหนดให้การส่งบิต 0 แทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่โวลต์ และบิต 1 แทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่โวลต์ แต่ละบิตจะใช้เวลาในการส่งนานเท่าใด การส่งเป็นแบบทางเดียว หรือสองทาง กระบวนการในการเริ่ม และสิ้นสุดการติดต่อ และข้อกำหนดของสายเคเบิล หรือสื่อนำสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งข้อกำหนดในชั้นกายภาพนี้ จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำงานของอุปกรณ์ สัญญาณไฟฟ้า ขั้นตอนการใช้ อุปกรณ์เหล่านั้น และความสัมพันธ์กับสื่อที่ใช้รับและส่งสัญญาณ

2.5.2 ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer)

หน้าที่หลักของชั้นเชื่อมต่อข้อมูลคือ ทำการรวบรวมข้อมูลจากชั้นกายภาพ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แล้วส่งข้อมูลที่ปราศจากข้อผิดพลาดนี้ ให้กับชั้นเครือข่าย โดยปกติ ผู้ส่งข้อมูลจะแบ่งข้อมูลที่มีความยาวมากออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อยๆ เรียกว่าแคด้าเฟรม (Data Frame) ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีขนาดคงที่ ประมาณสองถึงสามร้อยไบต์ และไม่เกินสองถึงสามพันไบต์ ชุดของคาต้าเฟรม สำหรับข้อมูลที่ต้องการส่งไปให้ถึงผู้รับ ก็จะถูกส่งออกไปทีละเฟรม ตั้งแต่เฟรมแรก ไปจนครบทุกเฟรม ผู้รับเมื่อได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง ก็จะตอบสนองด้วยการส่งเฟรมตอบรับ (Acknowledge: ACK) ไปถึงผู้ส่ง เพื่อเป็นการบอกให้ทราบว่าได้รับข้อมูลครบถ้วนแล้ว

ชั้นเชื่อมต่อข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นชั้นย่อย (Sub Layer) คือชั้นควบคุมการเชื่อมต่อทางตรรกะ (Logical Link Control: LLC) และชั้นควบคุมการใช้สื่อ (Media Access Control: MAC) การแบ่งแยกเช่นนี้จะทำให้ชั้น LLC ชั้นเดียวสามารถจะใช้ชั้น MAC ที่แตกต่างกันออกไปได้หลายชั้น ชั้น MAC นั้นเป็นการดำเนินการเกี่ยวกับแอดเดรสทางกายภาพอย่างที่ใช้ในมาตรฐานอีเทอร์เน็ตและโทเคนริง นอกจากนี้ในชั้น MAC ยังมีกระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่ช่วยทำให้ทุกๆสถานีในเครือข่าย มีโอกาสเข้าใช้งานสื่อสัญญาณได้อย่างเท่าเทียมกัน และป้องกันการยึดครองตัวกลางแต่เพียงผู้เดียวของอุปกรณ์สื่อสารตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณในชั้น MAC จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.5.3 ชั้นควบคุมเครือข่าย (Network Layer)

เป็นชั้นที่ออกแบบหรือกำหนดเส้นทางการเดินทางของข้อมูล ที่จะส่ง-รับ ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างต้นทางและปลายทาง ซึ่งแน่นอนว่าในการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายการสื่อสารจะต้องมีเส้นทางการส่ง-รับข้อมูลมากกว่า 1 เส้นทาง ดังนั้นในชั้นควบคุมเครือข่ายนี้จะทำหน้าที่เลือกเส้นทางที่ใช้เวลาในการสื่อสารน้อยที่สุด และระยะทางสั้นที่สุดด้วย

2.5.4 ชั้นจัดการนำส่งข้อมูล (Transport Layer)

เป็นชั้นที่ว่าด้วยการแบ่งข้อมูลที่รับมาจากชั้นกำหนดหน้าต่างสื่อสาร (Session Layer) ซึ่งโดยมากจะมีขนาดใหญ่ให้เป็นแพ็คเก็ตขนาดคงที่ ก่อนจะส่งต่อให้ชั้นควบคุมเครือข่าย ส่วนในแง่ของการรับข้อมูลนั้น ก็จะทำหน้าที่ประกอบแพ็คเก็ตให้กลับมาเป็นข้อมูลดั้งเดิม นอกจากนั้นยังมีหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดจากการจัดลำดับความเร่งด่วนของแพ็คเก็ตและควบคุมความเร็วในการรับส่งแพ็คเก็ตอีกด้วย

2.5.5 ชั้นกำหนดหน้าต่างสื่อสาร (Session Layer)

เป็นชั้นที่ว่าด้วยการจับคู่หรือเชื่อมโยงแอปพลิเคชัน (Application) ที่อยู่ต่างเครื่องกัน เพื่อให้สามารถแยกแยะได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้น ควรเป็นของแอปพลิเคชันคู่ไหน ทำให้เราสามารถเรียกใช้โปรแกรมในการสื่อสารพร้อมกันได้หลายๆ โปรแกรม เช่น เราสามารถเปิดโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์พร้อมๆกันกับการอ่านโปรแกรมอีเมลล์เป็นต้น

2.5.6 ชั้นนำเสนอข้อมูล (Presentation Layer)

เป็นชั้นที่ว่าด้วยการจัดรูปแบบข้อมูลที่รับมาจากชั้นกำหนดหน้าต่างสื่อสาร ให้อยู่ในรูปแบบที่แอปพลิเคชันแต่ละตัวจะสามารถเข้าใจได้ โดยจะช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้

ระบบปฏิบัติการต่างๆชนิดกันสามารถ ติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่มีปัญหา นอกจากนี้ยังให้บริการ ถอดหรือเข้ารหัสข้อมูลบางประเภทอีกด้วย

2.5.7 ชั้นการประยุกต์ (Application Layer)

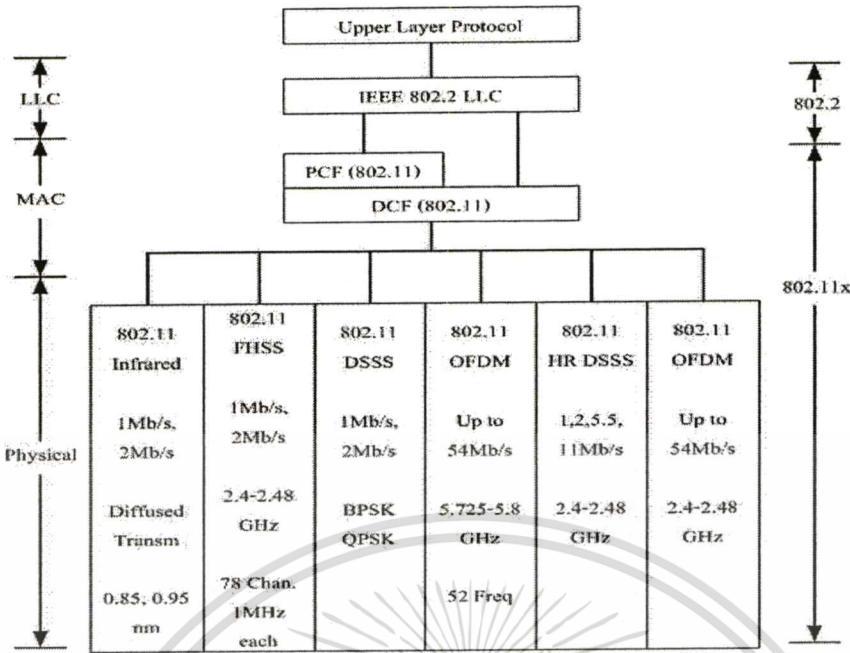
เป็นชั้นบนสุดของสถาปัตยกรรมเครือข่าย OSI คำว่าแอปพลิเคชัน (Application) ในที่นี้ หมายถึง ข้อกำหนดหรือวิธีการที่แอปพลิเคชันหรือโปรแกรมหรือแม้แต่ตัวระบบปฏิบัติการ จะใช้ ติดต่อส่งการหรือขอใช้บริการต่างๆ

2.6 ชั้นสื่อสารกายภาพในมาตรฐาน IEEE 802.11

เนื่องจากในงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย เฉพาะกิจ ด้วยการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยใช้ข้อมูล คุณภาพของช่องสัญญาณ ที่วัดได้จากชั้นสื่อสารกายภาพ ซึ่งในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ส่ง ข้อมูลในชั้นสื่อสารกายภาพในเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 [1]

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดเทคนิคในการถ่ายทอดข้อมูลไว้ 3 แบบ ในชั้นสื่อสาร กายภาพ วิธีการแรกจะเป็นการใช้แสงอินฟราเรดซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในรีโมท คอนโทรลสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ อีก 2 วิธีใช้คลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio) ซึ่งใช้ เทคนิคที่เรียกว่า Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) และ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ซึ่งทั้ง 2 วิธีทำงานอยู่ในช่วงคลื่น 2.4 กิกะเฮิรตซ์ อันเป็นช่วงคลื่นเดียวกันกับ โทรศัพท์ไร้สายและไมโครเวฟ เทคนิคทั้ง 3 แบบมีความเร็วในการส่งข้อมูลระหว่าง 1-2 เมกกะบิตต่อวินาที ในปี พ.ศ. 2542 ได้มีการคิดค้นเทคนิคใหม่ 2 แบบ ที่ช่วยให้ส่งข้อมูลได้เร็ว ยิ่งขึ้น นั่นคือ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) และ High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS) ซึ่งมีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ 54 เมกกะบิตต่อวินาที และ 11 เมกกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2544 เทคนิค OFDM แบบที่ 2 ก็ได้รับการ พัฒนาขึ้นมาใช้งาน โดยคลื่นความถี่ต่างไปจากเดิม โดยโครงสร้างโปรโตคอลเสต็กในชั้นสื่อสาร กายภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงโพรโตคอลเสต็กในชั้นสื่อสารกายภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.11

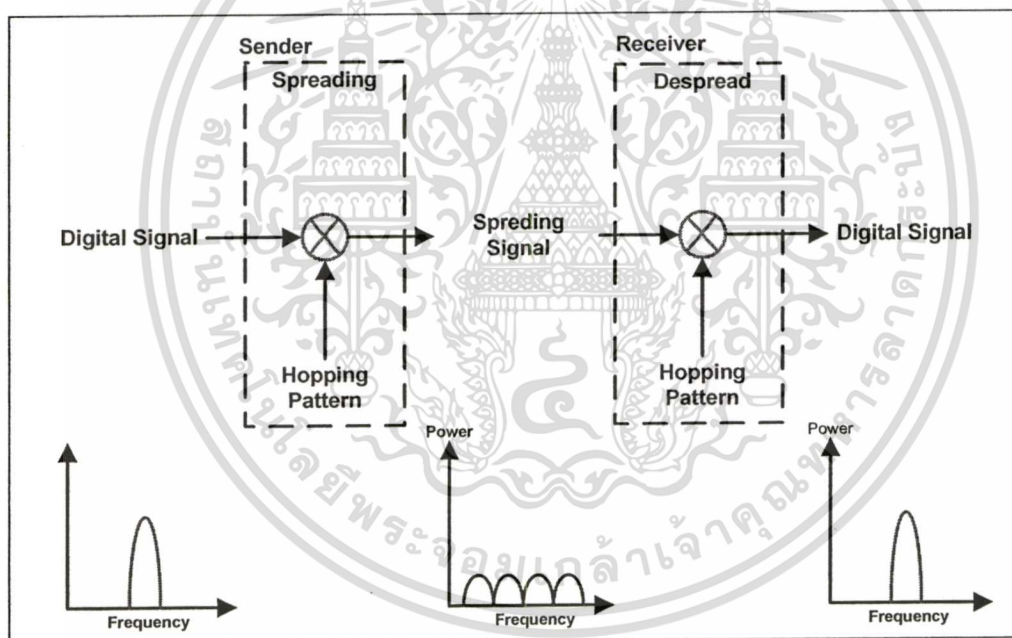
2.6.1 อินฟราเรด (Infrared)

เทคนิคการส่งข้อมูลด้วยอินฟราเรด ใช้การกระจายของลำแสงอินฟราเรดซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงระหว่างผู้รับและผู้ส่งข้อมูล มีขนาดคลื่นความถี่ของลำแสงที่นิยมใช้กัน 2 ขนาด คือ 0.85 และ 0.95 ไมครอน มีความเร็วในการส่งข้อมูล 1 เมกกะบิตต่อวินาที และ 2 เมกกะบิตต่อวินาที โดยที่ความเร็ว 1 เมกกะบิตต่อวินาที ใช้วิธีการเข้ารหัสข้อมูลโดยแปลงข้อมูลขนาด 4 บิตให้เป็นไค้ครหัสขนาด 16 บิต ที่ประกอบด้วยบิต 0 จำนวน 15 บิต และบิต 1 จำนวน 1 บิต ซึ่งเรียกว่า ไค้คอดีเทา (Gray Code) ไค้คอดีเทานี้มีคุณสมบัติที่ความผิดพลาดเล็กน้อยในการส่งข้อมูล และการเทียบจังหวะสัญญาณผิดพลาดจะนำไปสู่ข้อมูลผิดพลาดเพียงบิตเดียว (Single-bit Error) ที่สามารถแก้ไขได้ง่าย การส่งข้อมูลที่ความเร็ว 2 เมกกะบิตต่อวินาที จะทำการเข้ารหัสข้อมูลจำนวน 2 บิต และสร้างเป็นไค้ครหัสขนาด 4 บิต ที่มีบิต 1 เพียงบิตเดียว นั่นคือ 0001, 0010, 0100 และ 1000 ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไค้คอดีเทา สัญญาณอินฟราเรดไม่สามารถทะลุกำแพงห้องได้ ทำให้เซลล์ที่ใช้งานในแต่ละห้องทำงานมีความเป็นอิสระต่อกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีความกว้างของช่องสัญญาณค่อนข้างแคบ และแสงแดดอาจทำให้สัญญาณอินฟราเรดเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งาน

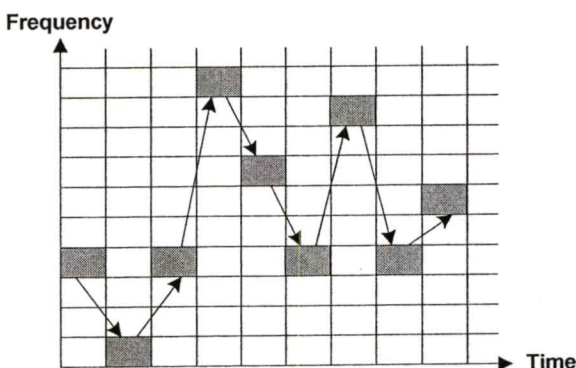
2.6.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

เทคนิคแบบ Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) มีช่องสัญญาณ 79 ช่องสัญญาณ ที่มีความกว้างช่องละ 1 เมกกะเฮิรซ์ ในช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิรซ์ เทคนิคการเลือกช่องสัญญาณแบบจำลองการสุ่ม (Pseudorandom number generator) ถูกนำมาใช้ในการเลือกช่องสัญญาณที่จะสลับไปมา (Hopping) และใช้ในการส่งสัญญาณ ถ้าสถานีรับ-ส่งสัญญาณทุกสถานีจะใช้ตัวเริ่มสำหรับการจำลองการสุ่มตัวเดิม (Seed) เหมือนกัน และมีจังหวะสัญญาณ

นาฬิกาตรงกัน ทุกสถานีก็จะเลือกใช้ช่องสัญญาณเดียวกันเสมอ ทำให้สามารถสื่อสารระหว่างกันได้ ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละช่องสัญญาณ เรียกว่า Dwell Time เป็นค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง ที่สามารถกำหนดใช้งานได้ แต่จะต้องมีค่าไม่มากไปกว่า 400 มิลลิวินาที การสุ่มเลือกใช้ช่องสัญญาณใน FHSS เป็นวิธีการที่ยอมรับได้ในการใช้งานในช่วงคลื่นความถี่ ISM Band และยังทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน เนื่องจากผู้บุกรุกจำไม่ทราบลำดับในการเลือกใช้ช่องสัญญาณ และระยะเวลาที่ใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณ การส่งสัญญาณในระยะทางไกลอาจเกิดปัญหา Multipath Fading คือการที่สัญญาณในช่องสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียงกัน เกิดการกระโดดหรือก่อกวนไปยังช่องสัญญาณอื่น แต่การสลับช่องสัญญาณอยู่เสมอ สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ การส่งสัญญาณด้วยเทคนิคนี้ ยังไม่ถูกรบกวนโดยสัญญาณคลื่นวิทยุทั่วไป จึงสามารถนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอาคารได้ อย่างไรก็ตามข้อด้อยของเทคนิคนี้คือ มีความกว้างของช่องสื่อสารที่แคบมาก กระบวนการทำงานของ FHSS และตัวอย่างรูปแบบการสลับไปมา ของช่องสัญญาณ (Hopping) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



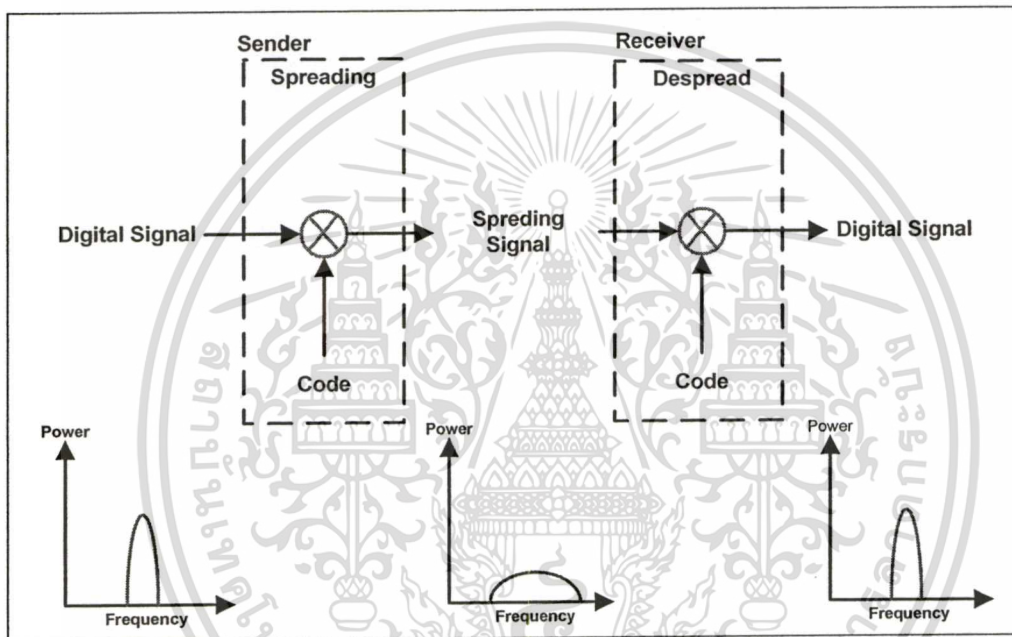
รูปที่ 2.8 การทำงานของ FHSS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างรูปแบบการสลับไปมาของช่องสัญญาณ ใน FHSS
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

เทคนิคแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) มีความกว้างของช่องสัญญาณ 1 ถึง 2 เมกกะบิตต่อวินาที ทำงานคล้ายกับเทคนิคแบบ Code Division Multiple Access (CDMA) แต่มีความแตกต่างกันคือข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งออกไปเป็น 11 ชิป (Chip) โดยสร้างขึ้นมาจากวิธี Barker Sequence ซึ่งการส่งข้อมูลเป็นแบบการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Shift Modulation) ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 M-Band โดยส่งข้อมูลออกไป 1 บิตต่อบอร์ค (Baud) เมื่อมีความเร็ว 1 เมกกะบิตต่อวินาที และ 2 บิตต่อบอร์ค เมื่อมีความเร็ว 2 เมกกะบิตต่อวินาที กระบวนการทำงานของ DSSS สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



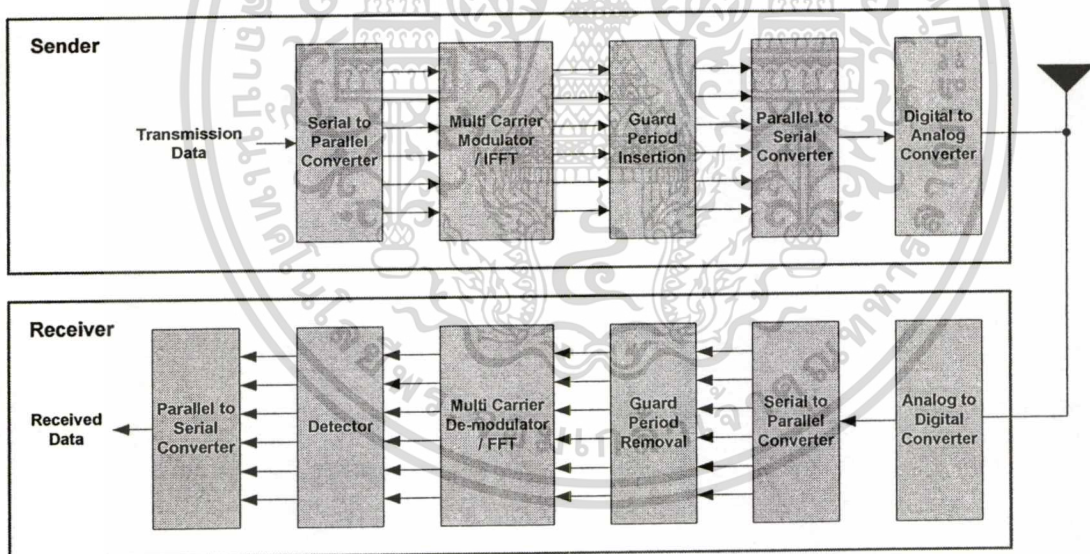
รูปที่ 2.10 การทำงานของ DSSS

2.6.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing หรือ OFDM เป็นเทคนิคการ Multiplex สัญญาณ โดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อยหลายๆ ความถี่ ซึ่งแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกันจึงทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับของสัญญาณที่อยู่ติดกัน และมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่ง OFDM ถูกนำมาใช้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีความเร็วสูงตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ซึ่งมีความเร็วมากถึง 54 เมกกะบิตต่อวินาที โดยใช้ช่องสัญญาณในย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ โดย OFDM จะใช้คลื่นความถี่มากถึง 52 คลื่นความถี่ โดยใช้ 48 คลื่นในการส่งข้อมูล และอีก 4 คลื่นในการเทียบจังหวะสัญญาณนาฬิกา เนื่องจากการส่งสัญญาณเกิดขึ้นหลายๆความถี่พร้อมๆกัน จึงเรียกว่าเป็นวิธีการแบบการกระจายคลื่นความถี่ (Spread Spectrum) แบบหนึ่งซึ่งมีความแตกต่างไปจากเทคนิค CDMA และ FHSS การแบ่งคลื่นสัญญาณออกเป็นคลื่นสัญญาณแคบๆหลายๆคลื่น มีข้อดีเหนือกว่าการใช้เป็นคลื่นสัญญาณเดี่ยวแต่มีขนาดกว้าง และยังมีโอกาสที่จะเกิดการรบกวนสัญญาณจากช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันน้อยกว่า ด้วยการแบ่งการแผ่กระจายพลังงาน ออกทั้งหม่อมให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ช่องสัญญาณที่อยู่ห่างกัน เทคนิคนี้ใช้วิธีการเข้ารหัสข้อมูลแบบซับซ้อน คือการผสมสัญญาณแบบการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Shift Modulation) สำหรับความเร็วไม่เกิน 18 เมกกะบิตต่อวินาที และใช้เทคนิคแบบ QAM ที่ความเร็วสูงกว่านั้น

การทำงานของ OFDM จะทำการแบ่งสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรมให้เป็นกลุ่มของข้อมูลแบบขนานที่มีความเร็วต่ำหลายๆกลุ่ม จากนั้นจะนำกลุ่มของข้อมูลแบบขนานที่ได้ไปมอดูเลต (Modulate) กับสัญญาณพาหะย่อย (Sub carriers) และส่งขนานออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมใช้ใน OFDM คือ QAM, 16QAM หรือ 64QAM เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลชัน จะเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ในการที่จะแปลงกลับมาเป็นสัญญาณบนแกนเวลา จะใช้การแปลงกลับฟาสต์ฟูเรียร์ (Inverse Fast Fourier Transform: IFFT) ซึ่งสัญญาณบนแกนเวลาที่ได้จากการแปลงกลับฟาสต์ฟูเรียร์จะถูกมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เข้าด้วยกันเป็นสัญญาณแบบอนุกรมและจะถูกส่งออกไปบนความถี่ที่เหมาะสมในสื่อสัญญาณ ในส่วนของผู้รับ จะดำเนินการกระบวนการตรงกันข้ามกับผู้ส่ง โดยผู้รับจะใช้การแปลงฟาสต์ฟูเรียร์ (Fast Fourier Transform: FFT) แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาให้เป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของ OFDM สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการทำงานของ OFDM

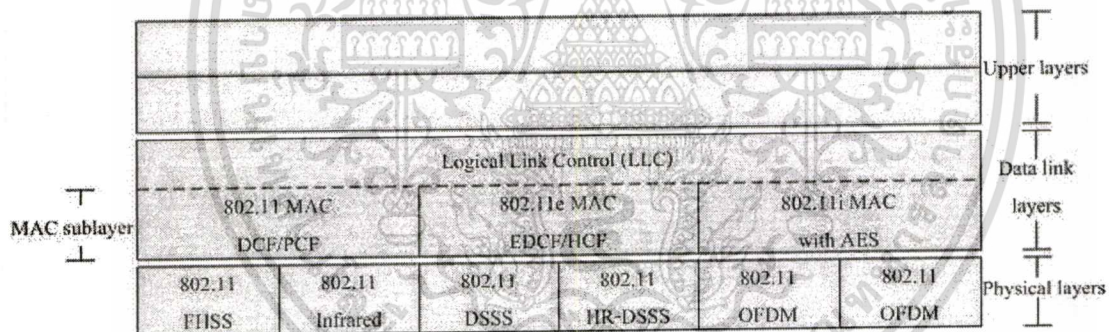
2.6.5 High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS)

High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS) เป็นเทคนิคแบบกระจายคลื่นความถี่อีกแบบหนึ่งซึ่งใช้ชิพจำนวน 11 ล้านชิพต่อวินาที เพื่อให้ได้ความเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาที ในช่วงคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มาตรฐาน IEEE 802.11 สำหรับวิธีนี้คือ IEEE 802.11b โดยมีความเร็วในการส่งข้อมูลหลายๆอัตรา คือ 1, 2, 5.5 และ 11 เมกกะบิตต่อวินาที โดยความเร็ว 2 ขั้นแรก เกิดจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล 1 M-Baud ที่ใช้ข้อมูล 1 และ 2 ตัวต่อสัญญาณ 1 ตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไปจนถึงการใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตามลำดับ ความเร็ว 2 ขั้นหลังเกิดจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล 1.375 M-Baud ที่ใช้ข้อมูล 4 และ 8 ไม่วางกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต่อสัญญาณ 1 ตัว ตามลำดับ โดยใช้วิธีการเข้ารหัสข้อมูลแบบ Wash/Hadamard Code ความเร็วในระหว่างการส่งข้อมูลสามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา เพื่อให้ดีที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขของสภาวะแวดล้อมในขณะนั้น เช่น ปริมาณข้อมูล และปริมาณสัญญาณรบกวน ในทางปฏิบัติความเร็วตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นมักจะใกล้เคียง 11 เมกกะบิตต่อวินาทีอยู่เสมอ แม้ว่ามาตรฐาน IEEE 802.11b จะมีความเร็วในการทำงานต่ำกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a แต่มีระยะทางในการส่งสัญญาณได้ไกลกว่าถึง 7 เท่า

2.7 กระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณในชั้น MAC ของ IEEE 802.11

ข้อกำหนดในชั้น MAC สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11 ใน [2-3] แบ่งกระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณเป็น 2 แบบ คือ Point Coordination Function (PCF) ซึ่งใช้งานได้กับเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อในโหมด Infrastructure เท่านั้น และ Distribute Coordination Function (DCF) ซึ่งทำงานอยู่บนการทำงานพื้นฐานของโพรโทคอล Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) [4] ในปัจจุบันอุปกรณ์ IEEE 802.11 จะทำงานอยู่ในโหมดนี้เท่านั้น รูปที่ 2.12 แสดงชั้น MAC ในมาตรฐาน IEEE 802.11



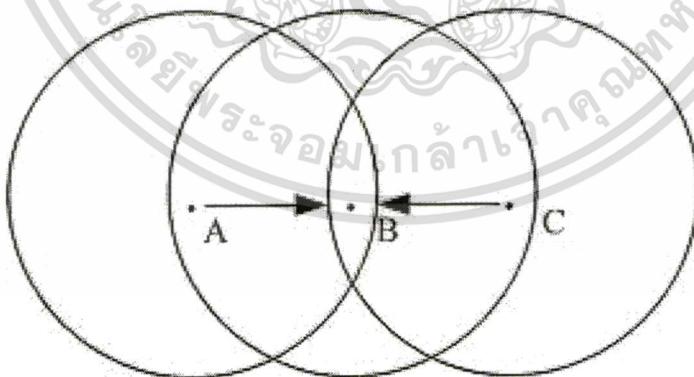
รูปที่ 2.12 ชั้น MAC ในมาตรฐาน IEEE 802.11

2.7.1 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)

เป็นกลไกสำหรับจัดสรรการเข้าใช้งานช่องสัญญาณของแต่ละสถานี ซึ่งกลไกนี้เป็นที่ยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยหลักการการทำงานของ CSMA/CA คือ เมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณ สถานีดังกล่าวจะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่น ทำการรับส่งสัญญาณอยู่หรือไม่ และ รอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างแล้วสถานีที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณ จะต้องรอต่อไปอีกระยะหนึ่ง (Random Backoff) ซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าหลังจากเสร็จการเข้าใช้ช่องสัญญาณครั้งก่อน สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อน แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีกลไกดังกล่าวอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลออกไปในเวลาพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น ซึ่งหากเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้น ก็จะต้องมีการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งด้วยกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.7.2 CSMA/CA with Acknowledgement

การสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ไม่สามารถตรวจสอบการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลได้ เนื่องจาก การตรวจสอบการชนกันของสัญญาณ ในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณ จะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่สามารถรับและส่งสัญญาณได้ในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณได้ในเวลาเดียวกัน (Half Duplex) นอกจากนี้ แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นทุกสถานี หรือ ปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node Problem ดังแสดงในรูปที่ 2.13 สถานี A ได้ยินสัญญาณจากสถานี B แต่ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี C และในทางกลับกันสถานี C ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี A แต่ได้ยินสัญญาณจากสถานี B ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยทั่วไป ดังนั้นการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณโดยตรงเป็นไปได้ยาก หรือ เป็นไปไม่ได้เลย มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้กำหนดให้ใช้เทคนิค CSMA/CA with Acknowledgement สำหรับการจัดการการเข้าใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานีเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ซึ่งการทำงานของกลไก CSMA/CA โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Backoff แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณและเทคนิคสำหรับการตรวจสอบว่าเกิดการชนกันของสัญญาณ และ เทคนิคสำหรับการตรวจสอบว่าเกิดการชนของสัญญาณหรือไม่ขึ้น สถานีผู้ส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องรอรับ Acknowledgement จากสถานีที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ Acknowledgement กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งต่อไป



รูปที่ 2.13 แสดงการเกิด Hidden Terminal Problem

2.7.3 Distribute Coordination Function (DCF)

DCF ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สนับสนุนการทำงานการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous ซึ่งเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลประเภท Best Effort เป็นหลัก ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมมากในอุปกรณ์ IEEE 802.11 ซึ่งโดยปกติแล้วจะทำงานในโหมดนี้เท่านั้น DCF จะทำงานบนพื้นฐานของ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) โพรโทคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ DCF แบ่งออกเป็น 2 หมวด คือ

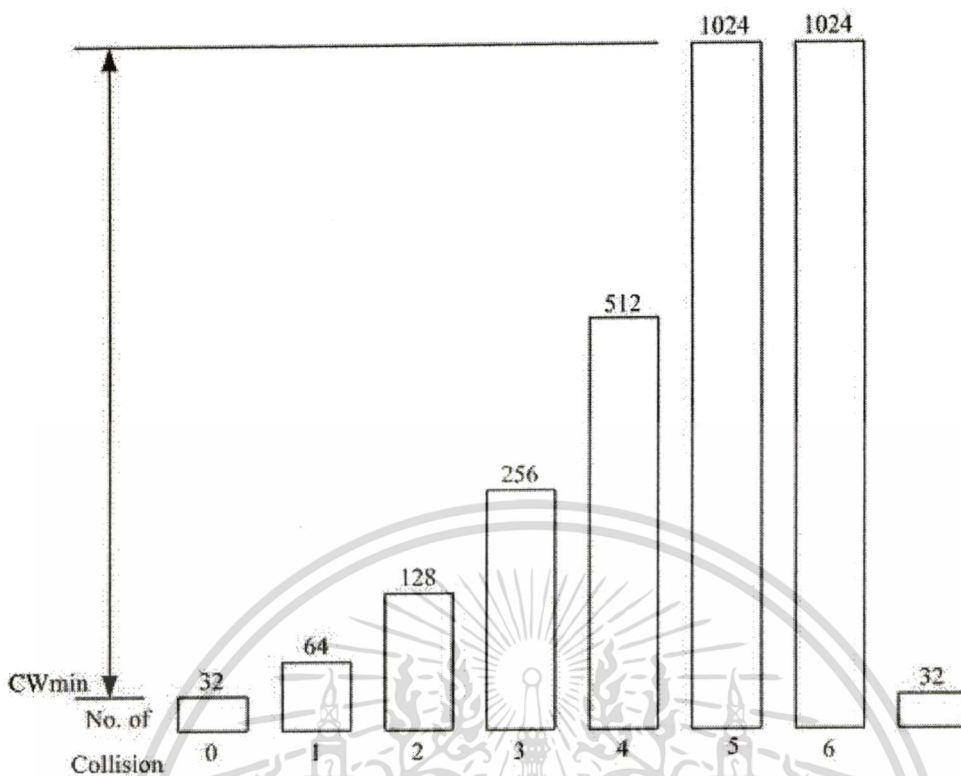
1. Basic Access (BA) หรือ Two-Way Hand Shake
2. Request-to-Send/Clear-to-Send (RTS/CTS) หรือ Four Way Hand Shake

โดยทั้งสองหมวดจะทำงานอยู่บนพื้นฐานของโพรโทคอล CSMA/CA เพื่อลดการชนกันของเฟรมข้อมูล โดยแต่ละหมวดมีวิธีการทำงานดังนี้

- **Basic Access (BA)**

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการทำงานในโหมด BA คือ การประยุกต์ใช้งานกระบวนการ Backoff ก่อนที่จะมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไป เมื่อสถานีในเครือข่ายมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่พร้อมจะส่ง สถานีจะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนเป็นอันดับแรก ถ้าช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานอยู่ ก็จะเริ่มหยุดการทำงานกระบวนการ Backoff หลังจากนั้นหากตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่าง ในช่วงเวลาเท่ากับ DCF Inter Frame Spacing (DIFS) สถานีจะทำการสุ่มเวลา (Random Time) ซึ่งเรียกว่าช่วงเวลาหยุดรอ (Backoff Time) เพื่อที่จะมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไปถ้าช่องสัญญาณยังคงว่าง หลังจากที่ผ่านมาผ่านช่วง Backoff time

ความยาวของช่วง Backoff time ถูกกำหนดโดยค่า Contention Window (CW) ซึ่งถูกกำหนดแยกออกไปตามแต่ละสถานีใน BSS ซึ่งการสุ่มเลือกจะเป็นเลขจำนวนเต็ม โดยที่จะทำการสุ่มเลือกระหว่างช่วง $[0, CW]$ ในมาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นได้มีการกำหนดให้มีการสุ่มเลือกค่าเวลา Backoff ภายในค่า Contention Windows (CW) ตั้งแต่ 32-1024 ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยที่เมื่อสถานีตรวจสอบได้ว่าเกิดการชนกันในช่องสัญญาณค่า CW ก็จะถูกปรับให้มากขึ้นตามจำนวนครั้งของการชนกัน จนถึงค่า CW_{max} ก็จะคงค่านี้ไว้จนกว่าการส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จจึงจะกลับมาที่ค่า CW_{min} อีกครั้งเมื่อมีการส่งข้อมูลครั้งต่อไป



รูปที่ 2.14 ขนาดของ Contention Windows (CW)

ค่า Backoff Time ที่สุ่มขึ้นมาได้จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงของเวลาที่เรียกว่า Time Slot ถ้าในการตรวจสอบช่องสัญญาณว่างในแต่ละช่วงของ Time Slot จะทำการลดค่า Backoff Time ลงครั้งละหนึ่ง และจะทำกระบวนการนี้ไปเรื่อย ๆ ในขณะที่ช่องสัญญาณว่าง จนค่าของ Backoff Time มีค่าลดลงจนถึง 0 สถานีจะทำการส่งข้อมูลออกไป แต่ถ้าในระหว่างกระบวนการ Backoff ตรวจสอบพบว่ามีการใช้งานช่องสัญญาณ ระบบจะทำการระงับกระบวนการลดค่าของ Backoff Time และจะทำการลดค่าของ Backoff Time อีกครั้งเมื่อตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างติดต่อกันเท่ากับค่า DIFS ซึ่งในบางครั้งสถานีจะทำการหยุดรอเท่ากับ Extended Inter Frame Spacing (EIFS) แทน DIFS ก่อนที่จะทำการลดค่า Backoff Time โดยที่จะเกิดเหตุการณ์ก็ต่อเมื่อสถานีตรวจสอบพบว่าเฟรมหลัก จากสถานีอื่นไม่ได้รับข้อมูลถูกต้อง ซึ่ง EIFS จะมีค่ามากกว่า DIFS มาก

802.11 กำหนดให้ ถ้าแพ็กเก็ตข้อมูลมาถึงในขณะที่ช่องสัญญาณว่าง สถานีต้องรอเท่ากับช่วงเวลาว่าง DIFS ก่อนที่จะเริ่มทำการส่งข้อมูล ในกรณีที่ไม่มี Backoff Time ในการสุ่มเลือก จากช่วงขนาดของ CW

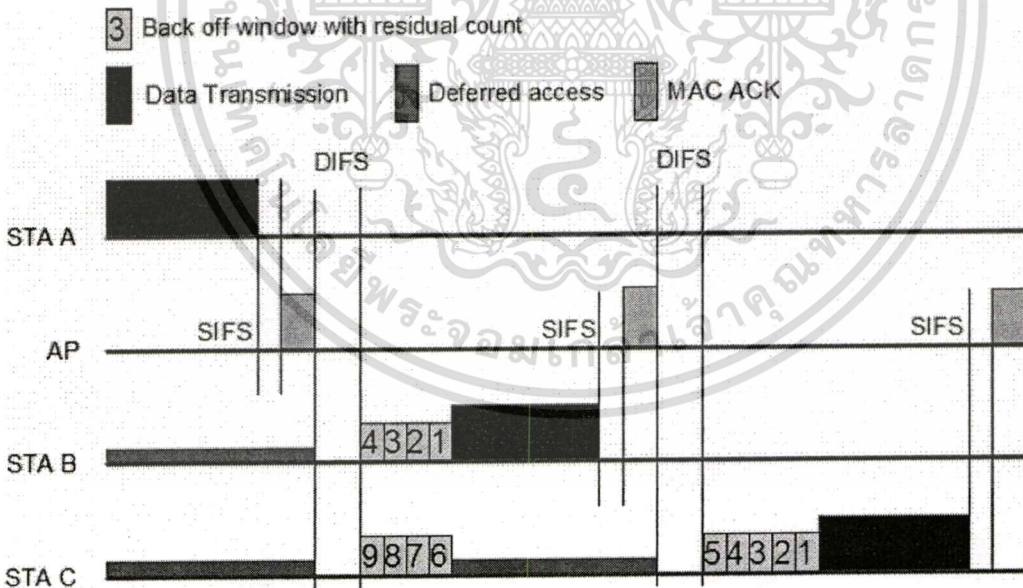
ค่าเริ่มต้นของ CW จะถูกกำหนดแยกอิสระจากกันตามแต่สถานีในเครือข่ายท้องถิ่นไว้สาย ทำให้ทุก ๆ สถานีมีความเป็นไปได้ที่จะมีโอกาสที่จะเข้าใช้งานช่องสัญญาณได้เท่ากัน และมีอัตราการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในระยะยาว

มีความเป็นไปได้ที่มีหลายแหล่งข้อมูลจะส่งข้อมูลออกไปในช่วงเวลาเดียวกัน ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของบริษัทที่สงวนไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้เป็นการค้า สถานีที่กำลังมีการส่งข้อมูลอยู่ ซึ่งแต่ละสถานีจะไม่สามารถที่จะตรวจสอบการใช้งานช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เพียงอย่างเดียวได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณอยู่ของสถานีอื่นเนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณจากสถานีอื่น ดังนั้นจะไม่สามารถตรวจสอบการชนกันระหว่างที่มีการส่งข้อมูล หลังจากที่ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สถานีปลายทางจะหยุดรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ Short Interframe Spacing (SIFS) และ จะทำการส่ง ACK แพ็กเก็ตไปยังสถานีส่ง โดย SIFS เป็นระยะเวลาที่สั้นกว่า DIFS ดังนั้นการส่ง ACK แพ็กเก็ต จะไม่ไปขัดขวางสถานีอื่นในการที่จะส่งข้อมูล ซึ่งก็หมายความว่าถ้าสถานีส่งข้อมูล ไม่สามารถที่จะได้รับ ACK แพ็กเก็ตในช่วงเวลาที่กำหนด จะถือว่าแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปนั้น ไม่สามารถไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในกรณีนี้สถานีส่งจะทำการคำนวณขนาดของ CW ใหม่โดยใช้สมการ (1)

$$CW_{new} = \min[CW_{max}, 2x(CW_{old} + 1) - 1] \quad (1)$$

โดยที่ค่า CW_{max} คือค่าที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ของ CW ซึ่งสถานีส่ง จะทำกระบวนการ Backoff ใหม่โดยใช้ค่า CW_{new} ใน IEEE 802.11 กำหนดให้ค่าจำนวนมากที่สุดในการที่จะพยายามส่งข้อมูล (Retry Count) ของแต่ละแพ็กเก็ต หลังจากที่ได้รับแพ็กเก็ตนั้นส่งไปไม่ถึงปลายทาง ซึ่งจำนวนครั้งในการที่จะพยายามส่งข้อมูลนั้น จะขึ้นกับขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยการทำงานของกระบวนการ Backoff ในโหมด BA สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กระบวนการ Backoff ใน IEEE 802.11 DCF

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ไม่ได้อธิบายความสัมพันธ์ของค่า CW กับจำนวนสถานี ในงานวิจัยของ Marek Natkanice และ Andrzej R. Pach [5] แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของ CW_{min} และ CW_{max} กับจำนวนสถานีใน BSS ดังนี้

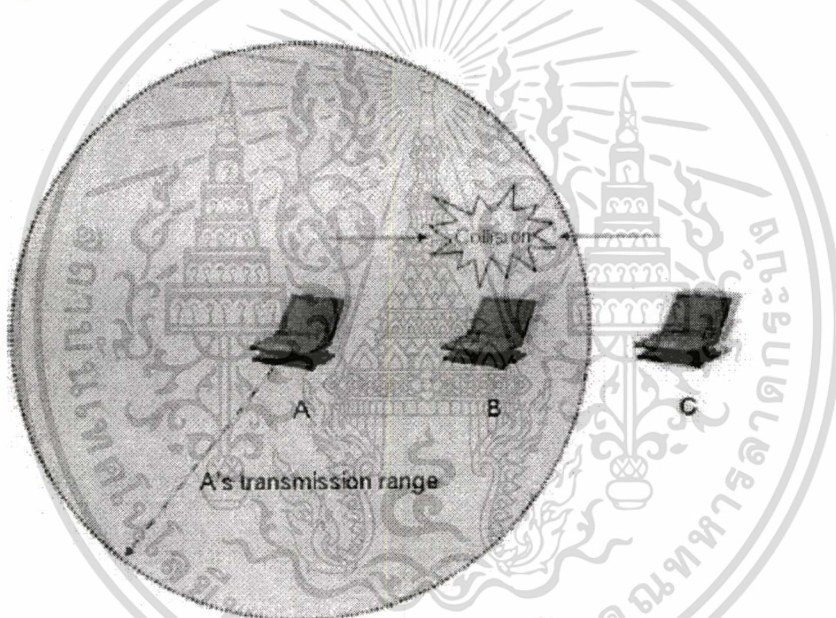
1. ค่า CW_{min} ที่น้อยเกินไป และสถานีที่มีจำนวนมาก ส่งผลให้มีการชนกันของเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ข้อมูลมาก และทำให้ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายลดลง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่า CW_{min} ที่มากเกินไป และสถานีที่มีจำนวนน้อย ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายแย่ลง เนื่องจากค่า Backoff Time ที่มาก ทำให้เสียเวลารอนาน ก่อนที่จะมีสิทธิส่งข้อมูล
3. ค่า CW_{max} ที่มีค่าน้อยเกินไป และสถานีมีจำนวนมาก จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายลดลง
4. ค่า CW_{max} มีผลต่อระบบไม่มาก แต่ไม่ควรลดค่า CW_{max} ลงในระบบเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีมาก

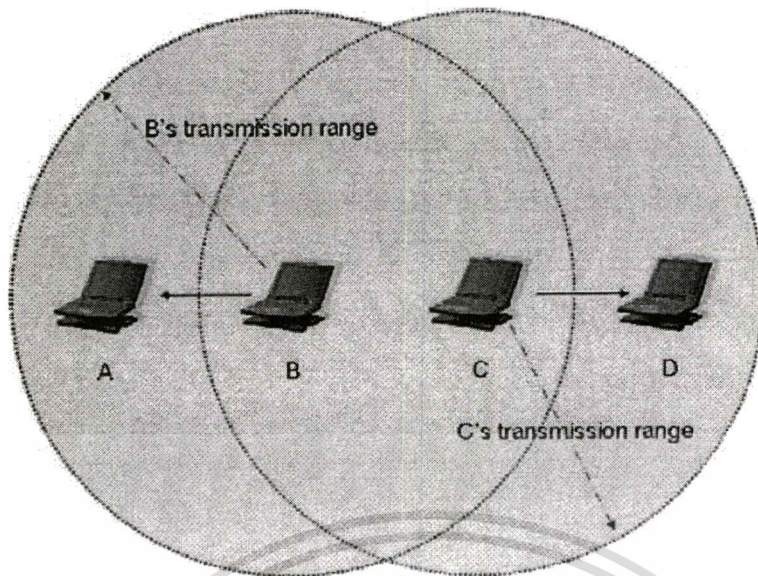
- **Request-to-Send/Clear-to-Send (RTS/CTS)**

การทำงานของ DCF ในโหมด RTS/CTS เกิดขึ้นสืบเนื่องมาจากปัญหาของ Hidden Terminal และ Exposed Terminal ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และ 2.17 ตามลำดับ



รูปที่ 2.16 Hidden Terminal Problem

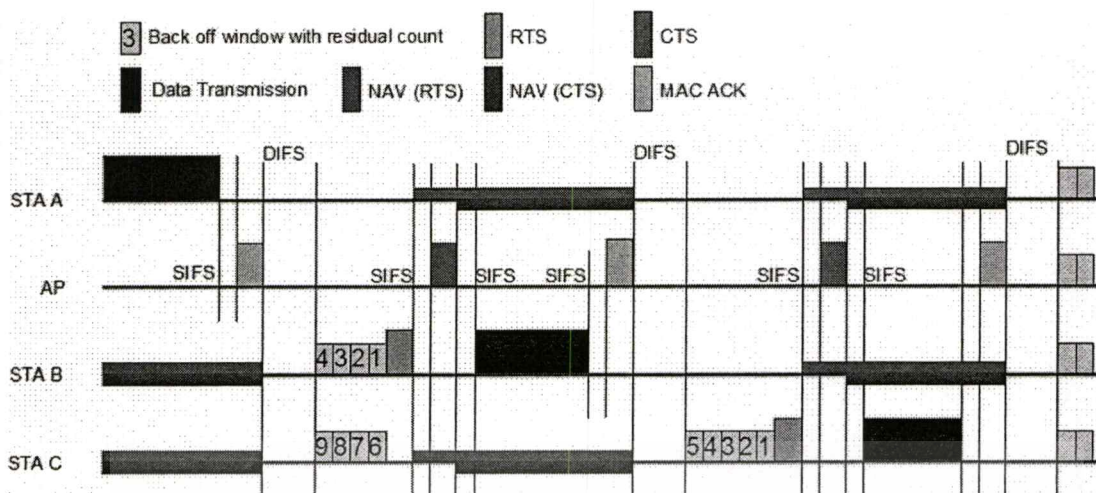
จากรูปที่ 2.16 แสดง Hidden Terminal Problem โดยในการเข้าใช้งานในโหมดพื้นฐานนั้น C จะไม่สามารถตรวจสอบการส่งข้อมูลระหว่าง A ไปยัง B ได้ ดังนั้นเมื่อ C ทำการตรวจสอบช่องสัญญาณจะพบว่าช่องสัญญาณว่าง และจะทำการส่งข้อมูลออกไปยัง B ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นที่ B



รูปที่ 2.17 Exposed Terminal Problem

จากรูปที่ 2.17 แสดง Exposed Terminal Problem ในขณะที่ B กำลังส่งข้อมูลไปยัง A และในขณะเดียวกันเมื่อ C ต้องการที่จะส่งข้อมูลออกไป เมื่อ C ตรวจสอบช่องสัญญาณจะพบว่าช่องสัญญาณถูกใช้งานอยู่ ดังนั้น C จะหยุดรอ การส่งข้อมูลออกไปยัง D ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสามารถที่จะส่งข้อมูลออกไปยัง D ได้

ใน IEEE 802.11 DCF ใช้วิธีการแก้ไขปัญหา Hidden Terminal Problem และ Exposed Terminal Problem โดยการกำหนดให้สถานีผู้ส่ง ทำการส่งสัญญาณ RTS แฝกเกิดออกไปเป็นอันดับแรก โดยที่ RTS แฝกเกิดจะมีข้อมูลของ ช่วงเวลาที่จะใช้ในการส่งข้อมูล และ สถานีปลายทาง สำหรับสถานีอื่น ๆ ที่อยู่ใน BSS เดียวกันจะทำการอ่านข้อมูลจาก RTS แฝกเกิด และทำการปรับปรุง Network Allocate Vector (NAV) ของที่สถานีตนเองพร้อมกัน ซึ่งใน NAV ของแต่ละสถานีจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาที่คาดว่าจะมีการใช้งานช่องสัญญาณที่จะเกิดขึ้น หลังจากที่ผ่านมาช่วงเวลา SIFS สถานีปลายทาง จะทำการส่ง CTS แฝกเกิดกลับไปยังสถานีผู้ส่ง ซึ่งในส่วนหัวของเฟรม CTS จะบอกถึงช่วงเวลาที่จะมีการใช้งานช่องสัญญาณ ซึ่งถ้าแฝกเกิด CTS ไปถึงปลายทาง ได้อย่างถูกต้องครบถ้วนทันเวลา ทางสถานีผู้ส่งจะสามารถที่จะทำการส่งข้อมูลออกไปได้โดยที่ไม่มีสถานีใดในเครือข่ายส่งข้อมูลออกมารบกวน ซึ่งวิธีการ RTS/CTS แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.18 ซึ่งแสดงการส่งแฝกเกิดข้อมูลหลาย ๆ แฝกเกิดไปยังจุดเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.18 กระบวนการ Backoff ใน IEEE 802.11 DCF โหมด RTS/CTS

2.7.4 Point Coordination Function (PCF)

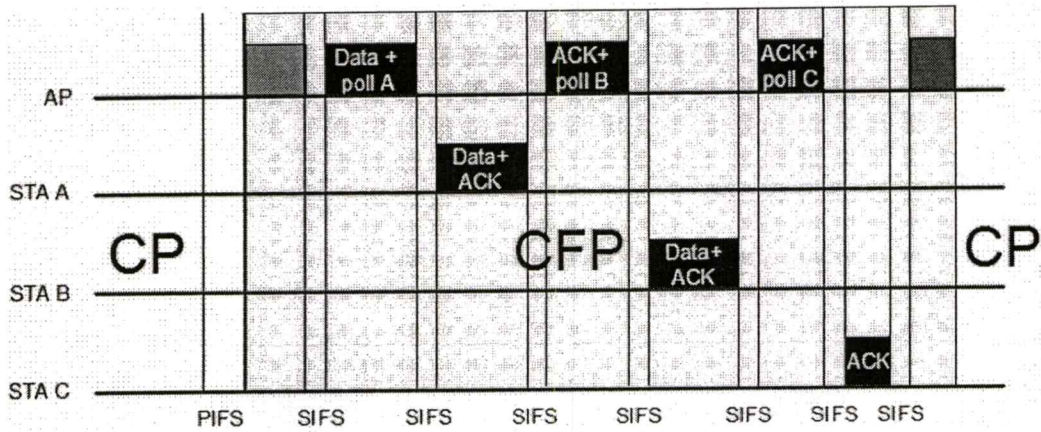
อีกวิธีการหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 คือกระบวนการ Point Coordination Function (PCF) โดย PCF นั้นจะทำงานบนพื้นฐานของ Poll-and-Response ซึ่งในแต่ละ BSS จะมี Point Coordinator (PC) ซึ่งโดยปกติแล้วหน้าที่ของ PC จะทำงานโดยจุดเชื่อมต่อใน BSS ซึ่งใน PCF นั้น PC จะกำหนด ช่องเวลา (Time Slot) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลโดยใช้หลักการของ Contention-Free (CF)

PCF จะอยู่ร่วมกันกับ DCF และ โดยปกติแล้วจะใช้ช่วงเวลาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งใน PCF นั้นปกติจะถูกเรียกว่า Contention-Free Period (CFP) ซึ่งจะตรงข้ามกับ DCF คือ Contention Period (CP)

โดย PC จะเริ่ม CFP โดยการส่ง Beacon เฟรม ซึ่งวิธีการนี้จะทำงานเมื่อช่องสัญญาณว่างในช่วงว่าง PCF Inter Frame Space (PIFS) ซึ่งเวลาของ PIFS นั้นจะสั้นกว่า DIFS โดย PCF สามารถที่จะเริ่ม CFP ก่อนที่สถานีอื่น ๆ จะเริ่มกระบวนการ Contending เพื่อเข้าใช้งานช่องสัญญาณ สถานีที่อยู่ใน BSS จะได้รับข้อมูลการมาถึงของ CFP จาก Beacon เฟรม โดยลำดับการ Polling นั้นจะถูกกำหนดโดย Polling List Maintained ที่ PC เมื่อผ่านพ้นช่วงเวลา SIFS หลังจากนั้นจะทำการส่ง Beacon เฟรม, PC เริ่มส่ง CF โดยส่งเฟรม CF-Poll (ไม่มีข้อมูล) หรือ ข้อมูล + CF-poll ไปยังสถานีแรกใน BSS หลังจากที่ได้รับเฟรมตอบกลับจากปลายทางเมื่อผ่านพ้นช่วงเวลา SIFS โดยปลายทางจะทำการส่งเฟรม CF-ACK (ไม่มีข้อมูล) หรือ ข้อมูล + CF-ACK เมื่อแพ็กเก็ตเหล่านั้นถูกส่งไปยัง PC ได้สำเร็จ มันจะสามารถทำกระบวนการเดิมซ้ำอีกครั้งไปยังสถานีเดิม หรือ สถานีต่อไปที่อยู่ใน Polling List แต่ถ้า PC ไม่สามารถรับเฟรมใด ๆ ในช่วงเวลา PIFS จากสถานีที่ทำการ Polling มันจะทำการ Poll ไปยังสถานีต่อไปที่อยู่ใน Polling List โดย PC จะสามารถสิ้นสุดการ CFP โดยการส่งเฟรม CF-END ในทุก ๆ ช่วงเวลาที่ตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างในช่วงเวลา SIFS (802.11) วิธีการ PCF แสดงดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

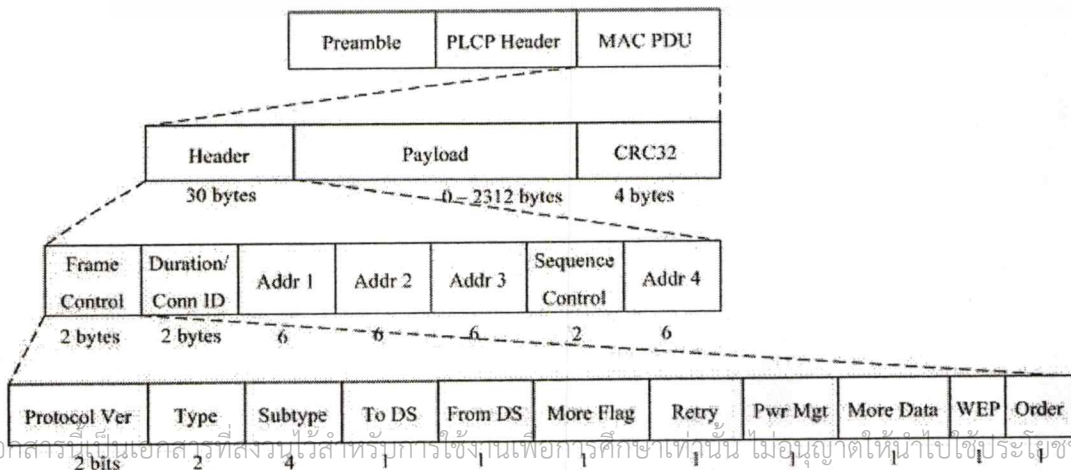


รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลในโหมด PCF

เนื่องจากว่า PCF เป็นการดำเนินงานแบบ Central-controlled จึงสามารถที่จะจำกัดความสำคัญของสถานีโดยบริการ Time-Stringent หรือโดยการเพิ่มความถี่ในการ polling ไปยังสถานีนั้นบ่อย ๆ ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้สถานีนั้นมีโอกาที่จะรับและส่งข้อมูลได้มากขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังมีอีกหลายอย่างที่ไม่เพียงพอในการที่จะระบุความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ เช่น CFP ที่สั้น, ไม่ทราบช่วงเวลาที่จะส่งของ สถานีที่ polled และยากที่จะคำนวณจำนวนเฟรม STAs ที่ต้องการที่จะส่ง อีกทั้งยังไม่มีกำหนดการสร้างตัวจัดการ interface ขึ้น และ กระบวนการควบคุม PCF ซึ่งนี่เป็นสาเหตุที่สำคัญในการที่จะนำออก PCF มาใช้งานบนเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน

2.8 โครงสร้างเฟรมใน IEEE 802.11

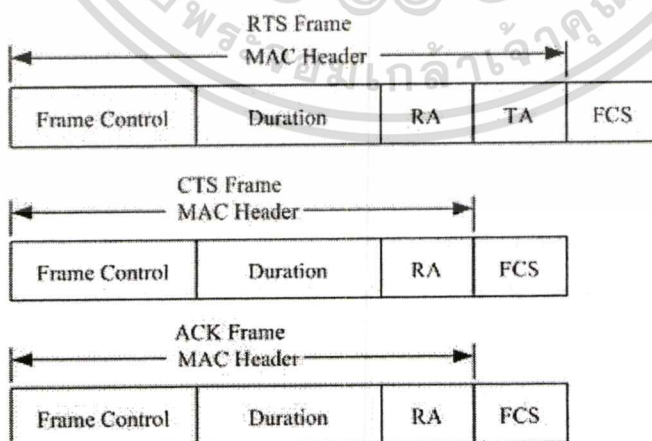
กระบวนการควบคุมในตามมาตรฐาน IEEE 802.11 อาศัยการส่งเฟรมต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย Control Frame Data Frame และ Management Frame ซึ่งชนิดต่าง ๆ ของเฟรมจะถูกกำหนดในส่วนของ Frame Control Field ดังรูปที่ 2.20 เป็นเฟรมมาตรฐานของ IEEE 802.11 MAC [1] ซึ่งประกอบด้วยส่วนหัวของเฟรม (Header) ส่วนของข้อมูล (Payload) และส่วนตรวจสอบความถูกต้องของเฟรม (CRC32)



รูปที่ 2.20 เฟรมมาตรฐานของ IEEE 802.11

จากรูปที่ 2.16 เขตข้อมูลแรกคือข้อมูลควบคุมเฟรม (Frame Control) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็นเขตข้อมูลย่อย 11 เขต เขตข้อมูลย่อยแรกคือหมายเลขโปรโตคอล (Protocol Version) ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงหมายเลข หรือรุ่นของโปรโตคอลสองชนิดที่สามารถนำมาใช้งานผสมกันได้ภายในเขตเดียวกัน เขตข้อมูลย่อยต่อไปคือประเภท (Type) คือข้อมูลควบคุม และข้อมูลบริหาร เขตข้อมูลต่อมา คือ ประเภทย่อย (Subtype) เช่น RTS และ CTS เขตข้อมูลย่อยขนาด 1 บิต คือ “To DS” และ “From DS” บอกให้ทราบว่าเฟรมข้อมูลนั้นมีทิศทางเข้าสู่เขต หรือถูกส่งออกไปจากเขต เขตข้อมูล “More Flag” บอกให้ทราบว่าจะมีเฟรมข้อมูลที่ถูกตัดแบ่ง (Fragment) ตามออกมาอีกหรือไม่ เขตข้อมูล “Retry” บอกให้ทราบว่าเฟรมข้อมูลที่ถูกส่งซ้ำออกมาของเฟรมที่ถูกส่งออกมาก่อนหน้านี้ เขตข้อมูล “Pwr Mgt” (Power Management) ถูกใช้โดยสถานีฐาน เพื่อบอกให้สถานีภายใน BSS เข้าสู่สถานะหยุดพัก (Sleep) หรือเข้าสู่สถานะพร้อมทำงาน (Active) เขตข้อมูล “More Data” บอกให้ทราบว่าผู้ส่งกำลังจะส่งเฟรมข้อมูลติดตามออกมาหรือไม่ เขตข้อมูล “WEP” กำหนดว่าส่วนที่บรรจุข้อมูลของเฟรมนั้น ถูกเข้ารหัสด้วยอัลกอริทึม WEP (Wired Equivalent Privacy) หรือไม่ และเขตข้อมูลสุดท้ายคือ “Order” บอกให้ผู้รับทราบว่าลำดับของเฟรมข้อมูลที่ถูกส่งมานี้ จะต้องได้รับการประมวลผลเรียงตามลำดับอย่างเข้มงวด

สำหรับเฟรม RTS, CTS และเฟรม ACK แสดงดังรูปที่ 2.21 แต่ละเฟรมประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ MAC Header และ FCS โดยภายในเฟรมจะประกอบด้วย เขตข้อมูล “RA” ซึ่งจะบอกถึงสถานีด้านรับ เขตข้อมูล “TA” คือสถานีด้านส่ง และเขตข้อมูล “Duration” ซึ่งจะบอกระยะเวลาที่สถานีที่ต้องใช้สำหรับการส่งข้อมูล หรือ เป็นตัวบอกระยะเวลาที่ช่องสัญญาณจะถูกใช้งาน โดยแต่ละสถานีจะตั้งเวลาค่านี้ไว้และคอยตรวจสอบช่องสัญญาณเมื่อหมดเวลาที่กำหนด



รูปที่ 2.21 เฟรมควบคุม

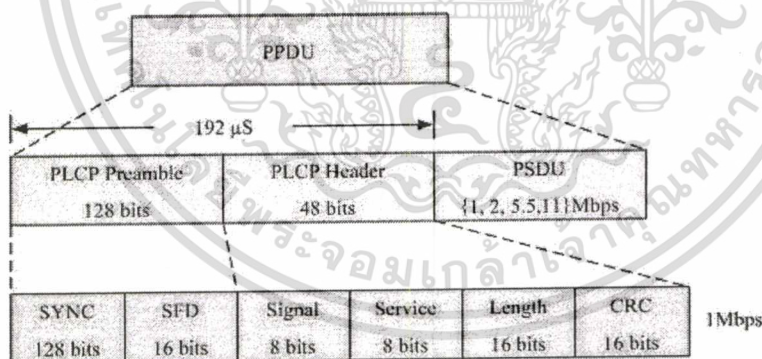
ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้เตรียมอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 5.5 เมกะบิตต่อวินาที และ 11 เมกะบิตต่อวินาที โดยขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่เอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนในส่วนนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กำหนดไว้ของเครือข่ายในชั้นสื่อสารกายภาพ ได้เพิ่มขยายโดย High Rate-Direct Sequence Spread Spectrum (HR-SS) อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spread Spectrum (HR-DSSS) รวมถึง Complementary Code Keying (CCK) อย่างไรก็ตาม กระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณในชั้น MAC ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.6 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสำหรับใน IEEE 802.11b ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว IEEE 802.11b สามารถใช้คุณสมบัติที่ได้มาจาก IEEE 802.11 รวมทั้งสามารถส่งข้อมูลได้ในอัตราที่สูงขึ้นกว่าเดิมด้วย ในปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางและเข้ามาแทนที่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 แบบเดิม

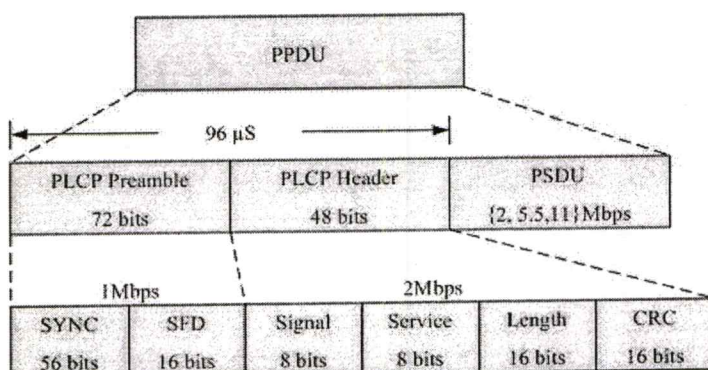
ชั้นสื่อสารถูกกำหนดโดยมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดโครงสร้างของแพ็กเก็ต โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ

- Preamble ใช้สำหรับกระบวนการตรวจสอบสัญญาณ และ Synchronization
- Header ใช้สำหรับข้อมูลของสื่อ เกี่ยวกับอัตราการส่งข้อมูล และ แพ็กเก็ต
- Payload ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจริง

สองส่วนที่แตกต่างคือ Preambles และ Headers ได้กำหนด Mandatory Long Preamble และ Header และ Optional Short Preamble และ Header ในกรณีที่ Long Preamble และ Header โดย Long Preamble ขนาด 144 บิตจะถูกใช้ ทั้ง Preamble และ Header จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราการส่งข้อมูลความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที โดย Header ของแพ็กเก็ตจะถูกส่งไปที่ความเร็ว 2 เมกะบิตต่อวินาที โครงสร้างของแพ็กเก็ตในชั้นสื่อสารถูกกำหนดที่มีการใช้ Long Preamble กับ Short Preamble แสดงดังรูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 ตามลำดับ



รูปที่ 2.22 โครงสร้างแพ็กเก็ตในชั้นสื่อสารถูกกำหนดของ IEEE 802.11 ที่ใช้งาน Long Preamble



รูปที่ 2.23 โครงสร้างแพ็กเก็ตในชั้นสื่อสารถูกกำหนดของ IEEE 802.11 ที่ใช้งาน Short Preamble

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ถ่ายทอดมาจากมาตรฐาน IEEE 802.11 มีเพียง Long Preamble และ Header ที่กำหนดขึ้นมา ดังนั้นโดยทั่วไปสถานีในเครือข่าย 802.11b จะสนับสนุนโหมดที่ได้ถ่ายทอดมาจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11 ในโหมด Short Preamble และ Header เป็นกระบวนการที่มุ่งความสนใจไปที่การให้ ค่าทรูพุทที่สูงที่สุด ระหว่างสถานีที่ต้องการ และ สถานีที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เดิม โดยในส่วนของพารามิเตอร์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ IEEE 802.11b

พารามิเตอร์	ค่า
Data Rate	{1, 2, 5.5, 11} เมกะบิตต่อวินาที
Basic Rate	{1, 2} เมกะบิตต่อวินาที
Time Slot	20 ไมโครวินาที
SIFS	10 ไมโครวินาที
DIFS	50 ไมโครวินาที
EIFS	304 ไมโครวินาที
CWmin	31
CWmax	1023
Retry Limit	{4, 7}
PHY Header	48 บิต
PLCP preamble	{72, 144} บิต
MAC header	{224, 272} บิต
RTSThreshold	2400 บิต
MAC ACK	112 บิต
RTS	160 บิต
CTS	112 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากลักษณะและการทำงานของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ในบทที่ 2 จะพบแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจให้มากขึ้นได้ โดยแก้ไขปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นในเครือข่าย และเนื้อหาในบทนี้ จะอธิบายถึงปัญหาดังกล่าว และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่นำเสนอถึงวิธีการแก้ไขปัญหา ที่จะถูกนำมาใช้อ้างอิงในงานวิจัยฉบับนี้

3.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ

เนื่องจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถปรับอัตราการส่งข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น และลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากสัญญาณรบกวน หรือสิ่งกีดขวางในบริเวณตำแหน่งของผู้ส่งข้อมูล แต่เนื่องจากการปรับอัตราการส่งข้อมูลโดยอัตโนมัติของ IEEE 802.11 ผู้ส่งจะเป็นคนตัดสินใจว่าจะส่งข้อมูลออกไปด้วยอัตราเท่าใด โดยใช้ข้อมูลคุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้ที่โหนดของตนเอง และเนื่องจากคุณภาพของช่องสัญญาณบริเวณผู้รับ อาจแตกต่างจากคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้ส่ง ดังนั้นการนำคุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้จากผู้ส่ง มาใช้กำหนดอัตราการส่งข้อมูลอาจทำให้อัตราการส่งข้อมูลที่เลือกใช้ ไม่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณจริงๆ ในขณะนั้น และทำให้เกิดการเสียหายของแพ็กเก็ตข้อมูลได้

นอกจากนี้ การที่เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจไม่สามารถตรวจสอบการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปได้ ในสภาวะที่เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจมีการใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่นอาจจะทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในปริมาณมากด้วย เนื่องจากแต่ละโหนดมีความต้องการที่จะส่งข้อมูลออกไป และอาจมีการเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่พร้อมกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลง และเกิดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลในปริมาณมาก

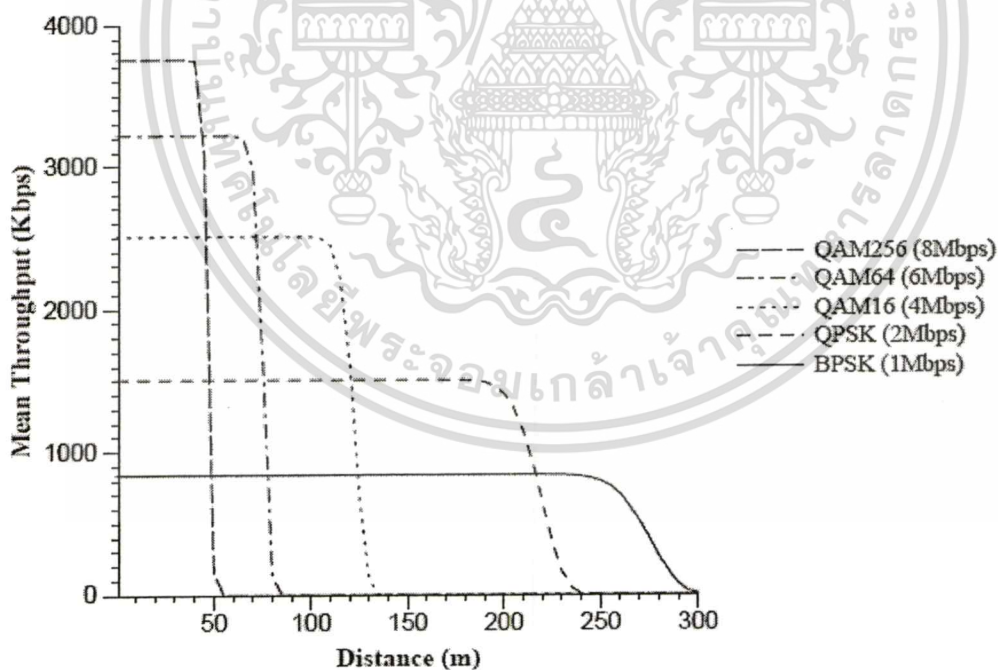
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยหลายฉบับที่กล่าวถึงการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยใช้การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ เช่น Holland และนักวิจัยร่วม [6] ได้เสนอวิธีการปรับอัตราส่งข้อมูลโดยใช้การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่ง RTS/CTS ในงานวิจัยของ Yuen และนักวิจัยร่วม [7] และ Yang และนักวิจัยร่วม

[8] ได้นำเสนอวิธีการทำงานแบบข้ามชั้น (Cross Layer) โดยใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลโดยใช้การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่ง RTS/CTS ร่วมกับการใช้ข้อมูลที่ชั้น MAC เข้ามาช่วยตัดสินใจในการเลือกเส้นทางการส่งข้อมูล โดยใน [7] จะใช้ข้อมูล Packet Delay ที่ชั้น MAC เพื่อบอกถึงสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ และ ใน [8] จะใช้ข้อมูลสถิติการใช้งานช่องสัญญาณที่ชั้น MAC ในการวัดความหนาแน่นของการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการปรับปรุงวิธีการจัดสรรการเข้าใช้งานช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับสภาวะการเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วย เช่นงานวิจัยของ Balador และนักวิจัยร่วม [9] ได้นำเสนอการปรับค่า CW โดยใช้การเก็บข้อมูลการเสียหายของแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการหิบบางงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น บางงานวิจัยมาอ้างอิง ดังนี้

3.2.1 A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Network

Holland และนักวิจัยร่วม ได้เสนอวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยใช้การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่ง RTS/CTS โดยให้ชื่อวิธีการที่นำเสนอชื่อว่า Receiver-Based Auto Rate (RBAR) [6] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



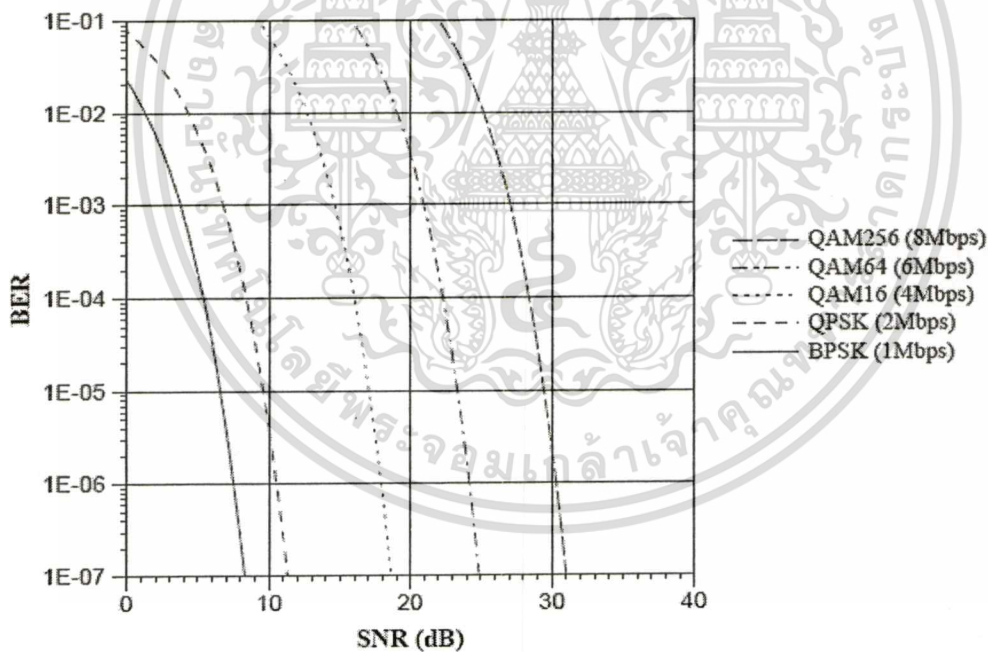
รูปที่ 3.1 ทฤษฎีกับระยะทางในการส่งข้อมูลของการส่งข้อมูลโดยใช้อัตราการส่งข้อมูลต่างๆ

เนื่องจากการระยะทางในการส่งข้อมูล และควาทหนทานต่อการเสียหายของบิตข้อมูล จะลดลง เมื่ออัตราการส่งข้อมูลมีค่าสูงขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 การปรับอัตราการส่งข้อมูล เพื่อให้

เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ และเพื่อลดอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ต เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าเสียหายของบิตข้อมูล จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายได้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิธีการ RBAR เมื่อผู้ส่งต้องการส่งข้อมูล จะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนเป็นอันดับแรก หากช่องสัญญาณว่างเป็นช่วงเวลาเท่ากับ DIFS ผู้ส่งจะทำการสู่มช่วงเวลาหยุดรอ (Backoff Time) เพื่อเริ่มกระบวนการ Backoff โดยหลังจากที่กระบวนการ Backoff เสร็จสิ้นลง ผู้ส่งจะทำการส่งแพ็กเก็ต RTS ออกไปยังผู้รับ เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล เมื่อฝ่ายรับได้รับ RTS แพ็กเก็ตแล้ว จะทำการตรวจสอบคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยวัดจากค่า Signal to Noise Ratio (SNR) ที่คำนวณได้จากแพ็กเก็ต RTS ที่ได้รับ โดยค่า SNR ที่วัดได้ จะมีค่าแปรผันกับค่าอัตราการเสียหายของบิตข้อมูล (Bit Error Rate: BER) ดังนี้

- หากค่า SNR สูง ค่า BER จะต่ำ แสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณที่อยู่ในสภาวะที่ดี และสามารถส่งข้อมูลออกไปด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าสูงได้ โดยมีโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลน้อย
- หากค่า SNR ต่ำ ค่า BER จะสูง แสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณที่อยู่ในสภาวะที่ไม่ดี การส่งข้อมูลออกไปโดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล ควรส่งออกไปด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบค่า SNR กับค่า BER

หลังจากที่ได้ค่า SNR แล้ว ผู้รับจะนำค่า SNR ที่วัดได้ ไปเปรียบเทียบกับค่า Threshold ที่กำหนดไว้ เพื่อเลือกวิธีการ Modulation ที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลออกไป ดังสมการ (2)

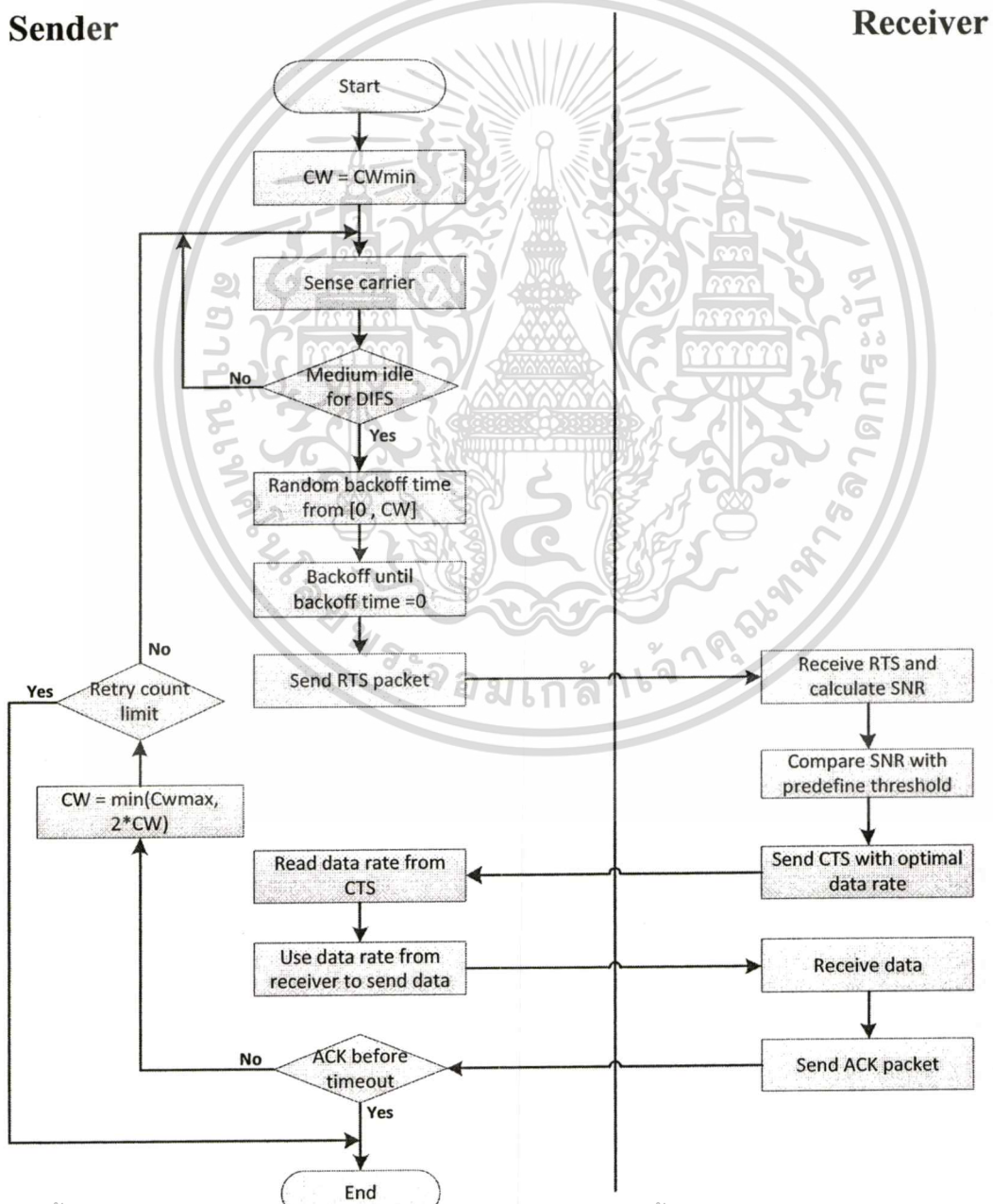
$$\begin{aligned}
 M_1 & \quad \text{if } SNR < \theta_1 \\
 M_i & \quad \text{if } \theta_i \leq SNR < \theta_{i+1}, \quad i = 1, \dots, N-1 \\
 M_N & \quad \text{otherwise}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_1, \dots, M_N คือ กระบวนการ Modulation ต่างๆ

$\theta_1, \dots, \theta_N$ คือ ค่า Threshold ของ SNR ที่มีการกำหนดไว้ในวิธีการนี้

เมื่อได้อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณแล้ว ผู้รับจะนำอัตราการส่งข้อมูลและความยาวของแพ็กเก็ตที่เหมาะสมมาใส่ไว้ในแพ็กเก็ต CTS และทำการส่งแพ็กเก็ต CTS ไปยังผู้ส่ง เมื่อผู้ส่งได้รับแพ็กเก็ต CTS ซึ่งมีข้อมูลดังกล่าวอยู่ ผู้ส่งจะทำการส่งข้อมูลออกไป โดยใช้ค่าอัตราการส่งข้อมูลและความยาวของแพ็กเก็ต ตามค่าที่ได้รับมาจากผู้รับนั่นเอง การทำงานของวิธีการ RBAR สามารถเขียน เป็น โฟลว์ชาร์ได้ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการ RBAR
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองระบบพบว่า วิธีการ RBAR สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นมากกว่าวิธีการอื่นๆ เมื่อโหนดต่างๆมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ แต่เมื่อการเคลื่อนที่เริ่มเร็วขึ้น กระบวนการ RBAR มีแนวโน้มการเพิ่มประสิทธิภาพที่ลดลง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ RBAR ทำงานได้ไม่ดีนัก ในสถานะที่คุณภาพของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ในสถานะที่เครือข่ายมีความต้องการใช้งานอย่างหนาแน่น การส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก อาจส่งผลให้มีการสูญเสียทรูพุตเป็นจำนวนมากจากการชนกันของแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่าย และการจำลองระบบที่มีจำนวนโหนดน้อย ก็ไม่สามารถบอกได้ว่า เมื่อนำวิธีการ RBAR ไปใช้งานบนเครือข่ายที่มีการใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น วิธีการ RBAR จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้หรือไม่

3.2.2 History Based Contention Window Control in IEEE 802.11 MAC Protocol in Error Prone Channel

Balador และนักวิจัยร่วม ได้เสนอวิธีการปรับขนาดของค่า CW ให้เหมาะสมกับสถานะการใช้งานของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ IEEE 802.11 โดยอ้างอิงจากการเก็บข้อมูลการเสียหายของแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่าย เรียกว่ากระบวนการ HBCWC [9]

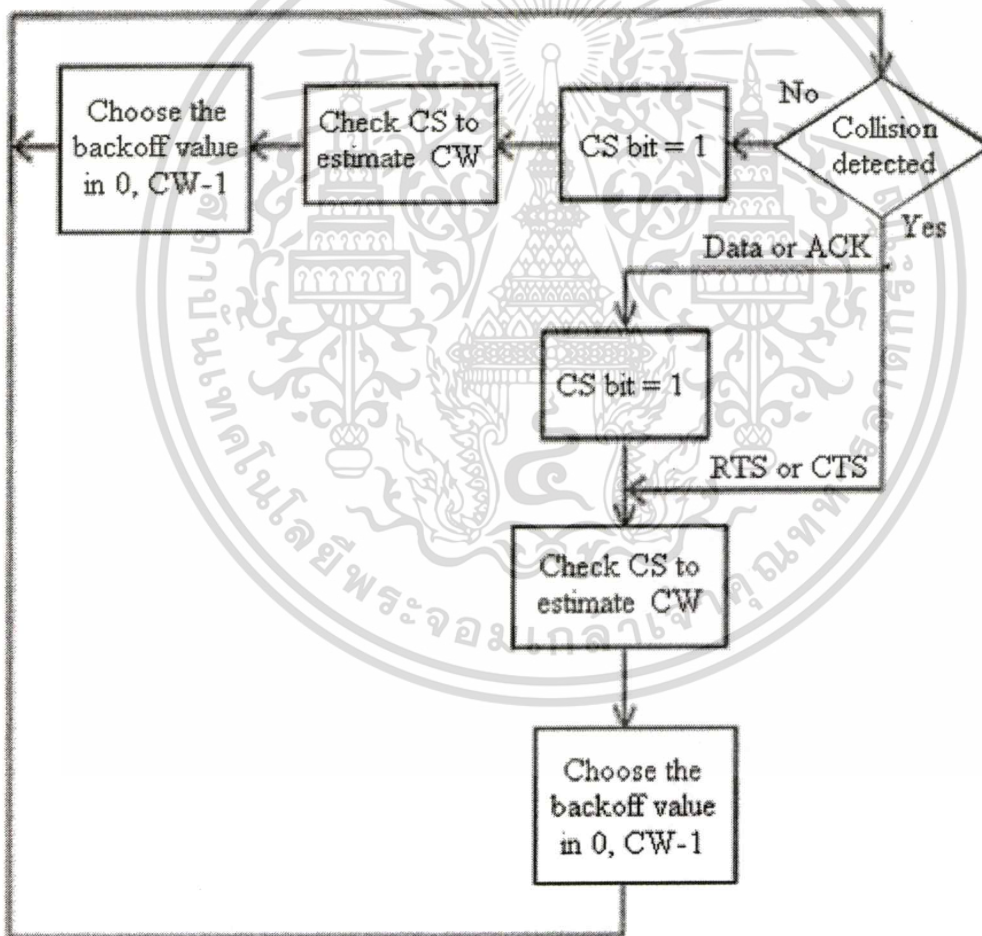
ในวิธีการ HBCWC จะกำหนดให้แต่ละโหนดในเครือข่ายมีการเก็บข้อมูลสถานะการส่งแพ็กเก็ต 3 ครั้งสุดท้ายไว้ใน array ซึ่งค่าที่เก็บใน array จะเป็นค่า 1 และ 0 โดยให้ 1 แทนการส่งข้อมูลที่สำเร็จ 0 แทนการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ ซึ่งการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จอาจเกิดจากการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล หรือเกิดจากการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูลเนื่องจากการเสียหายของบิตก็ได้ โดยสถานะการส่งข้อมูลใหม่ จะถูกเก็บเข้าไปแทนที่สถานะการส่งข้อมูลที่เก่าที่สุดใน array ทุกครั้งที่มีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลสถานะการส่งแพ็กเก็ตแล้ว HBCWC จะนำข้อมูลที่ได้ออกไปเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลสถานะ โดยในตารางจะมีค่า CW ที่ถูกปรับให้สูงขึ้นหรือลดลง ตามสถานะของเครือข่ายที่ได้จากการเก็บข้อมูลสถานะการส่งแพ็กเก็ต โดยเมื่ออัตราการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไม่สำเร็จในเครือข่ายสูงขึ้น เพื่อเป็นการลดความคับคั่ง ในกรณีที่มีความต้องการใช้งานเครือข่ายอย่างหนาแน่น และปรับให้ลดลงเมื่ออัตราการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไม่สำเร็จในเครือข่ายลดลง เพื่อเป็นการลดระยะเวลาการหยุดรอให้สั้นลงและส่งข้อมูลออกไปให้เร็วขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย ในขณะที่มีความต้องการใช้งานน้อย โดยใช้ค่าคงที่ x และ y ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.1 และ 1.9 ตามลำดับ โดยตารางเปรียบเทียบข้อมูลสถานะ แสดงดังตารางที่ 3.1 และโพลีชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการ HBCWC แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบข้อมูลสถานะในวิธีการ HBCWC

CS State	CW Range
000	$CW = CW*(x*y)$
001	$CW = CW_{min}$
010	$CW = CW*(x*y)$
011	$CW = CW_{min}$
100	$CW = CW*(x*y)$
101	$CW = CW_{min}$
110	$CW = CW*(y/x)$
111	$CW = CW_{min}$



รูปที่ 3.4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการ HBCWC

จากผลการจำลองระบบพบว่า วิธีการ HBCWC สามารถลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในเครือข่ายที่มีความต้องการเข้าใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มสูงขึ้นได้ แต่เนื่องจากการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ อาจเกิดได้ทั้งจากการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากความต้องการเข้าใช้งานเครือข่ายมีสูง ทำให้เกิดความคับคั่งใน

เครือข่าย และการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากคุณภาพช่องสัญญาณในขณะที่ส่งข้อมูล มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นการขยายช่วงเวลาหยุดรอให้ยาวขึ้น ในขณะที่ตรวจพบว่าอัตราการส่งข้อมูลไม่สำเร็จในเครือข่ายสูงขึ้น อาจทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่ายไป โดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จในขณะนั้น อาจไม่ได้เกิดจากการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล ที่มีสาเหตุมาจากความคับคั่งภายในเครือข่ายนั่นเอง

จากวิธีการ RBAR ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Holland และนักวิจัยร่วม และวิธีการ HBCWC ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Balador และนักวิจัยร่วม จะพบว่ามีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน คือ วิธีการ RBAR จะช่วยให้อัตราการเสียหายของบิต (Bit Error Rate: BER) ลดต่ำลง โดยการปรับอัตราการส่งข้อมูล ให้เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายเพิ่มขึ้น แต่การปรับอัตราการส่งข้อมูล โดยไม่คำนึงถึงปริมาณการเข้าใช้งานเครือข่าย หรือความหนาแน่นในเครือข่าย อาจทำให้เกิดปัญหาแพ็กเก็ตชนกันในเครือข่าย และทรูพุทของระบบลดลงได้ ส่วนข้อดีของวิธีการ HBCWC จะช่วยลดอัตราการชนกันของแพ็กเก็ตภายในเครือข่ายด้วยการขยายขนาดของค่า CW ให้สอดคล้องกับความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่ายในขณะนั้น โดยวัดจากสถิติการส่งข้อมูลไม่สำเร็จที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานี 3 ครั้งหลังสุด แต่ HBCWC ก็มีข้อเสียคือกรณีที่คุณภาพของช่องสัญญาณไม่ดี การส่งข้อมูลไม่สำเร็จที่เกิดขึ้น อาจไม่ได้เกิดจากความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่าย ดังนั้นการขยายขนาดของค่า CW จะทำให้ระบบสูญเสียทรูพุท ไปโดยเปล่าประโยชน์

จากข้อดีและข้อเสียของวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจทั้งสองวิธี จะพบว่าข้อดีในวิธีการ HBCWC จะช่วยแก้ไขข้อเสียที่เกิดขึ้นในวิธีการ RBAR ได้ และข้อดีในวิธีการ RBAR จะช่วยแก้ไขข้อเสียที่เกิดขึ้นในวิธีการ HBCWC ได้ ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงได้นำเอาข้อดีของวิธีการทั้งสองมาปรับใช้ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยจะนำเอากระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ เพื่อลดอัตราการเสียหายของบิตข้อมูลในวิธีการ RBAR และกระบวนการขยายขนาดของค่า CW เพื่อลดอัตราการชนกันของแพ็กเก็ตในวิธี HBCWC มาปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ดังที่จะได้อธิบายในบทต่อไป

บทที่ 4

วิธีการที่นำเสนอ

จากปัญหาการสูญเสียของแพ็คเกจข้อมูล เนื่องจากการเลือกอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ และปัญหาการเกิดการชนกันของแพ็คเกจข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในสถานะที่เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจมีการใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 3 นั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการของเรา ที่จะนำเสนอการปรับอัตราการส่งข้อมูล โดยใช้การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่ง RTS/CTS ซึ่งจะทำงานร่วมกับการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอ ที่สุ่มขึ้นมาได้ ให้มีค่าเพิ่มขึ้น ในสถานะที่เครือข่ายมีการใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น เพื่อลดอัตราการสูญเสียและการชนกันของแพ็คเกจข้อมูล ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงขึ้นนั่นเอง

4.1 แนวคิดในการออกแบบ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเอาแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ด้วยการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ จากกระบวนการ RBAR ที่ได้อธิบายในบทที่ 3 มาทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำการแก้ไขข้อด้อยของวิธีการ RBAR ในสถานะที่เครือข่ายมีความหนาแน่นของปริมาณความต้องการเข้าใช้งานสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของแพ็คเกจข้อมูลสูงขึ้น โดยนำเอาแนวคิดของการปรับขยายช่วงเวลาหยุดรอ จากกระบวนการ HBCWC มาใช้ เพื่อลดการชนกันของแพ็คเกจในสถานะที่เครือข่ายมีความต้องการเข้าใช้งานอย่างหนาแน่น

การปรับปรุงวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะช่วยให้อัตราการสูญเสียของแพ็คเกจข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการเสียหายของบิตข้อมูลลดต่ำลง ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับปรุงวิธีการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณ ให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และเป็นข้อมูลที่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นในเครือข่ายด้วย ซึ่งการปรับปรุงวิธีการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณ สามารถทำได้ดังนี้

- คุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้ ควรวัดจากฝั่งผู้รับ เนื่องจากการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้ส่ง ค่าที่ได้จะไม่สะท้อนถึงคุณภาพของช่องสัญญาณในเส้นทางการส่งข้อมูลที่แท้จริง
- การวัดคุณภาพของช่องสัญญาณทุกครั้ง ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล จะทำให้ได้ค่าที่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณมากที่สุด

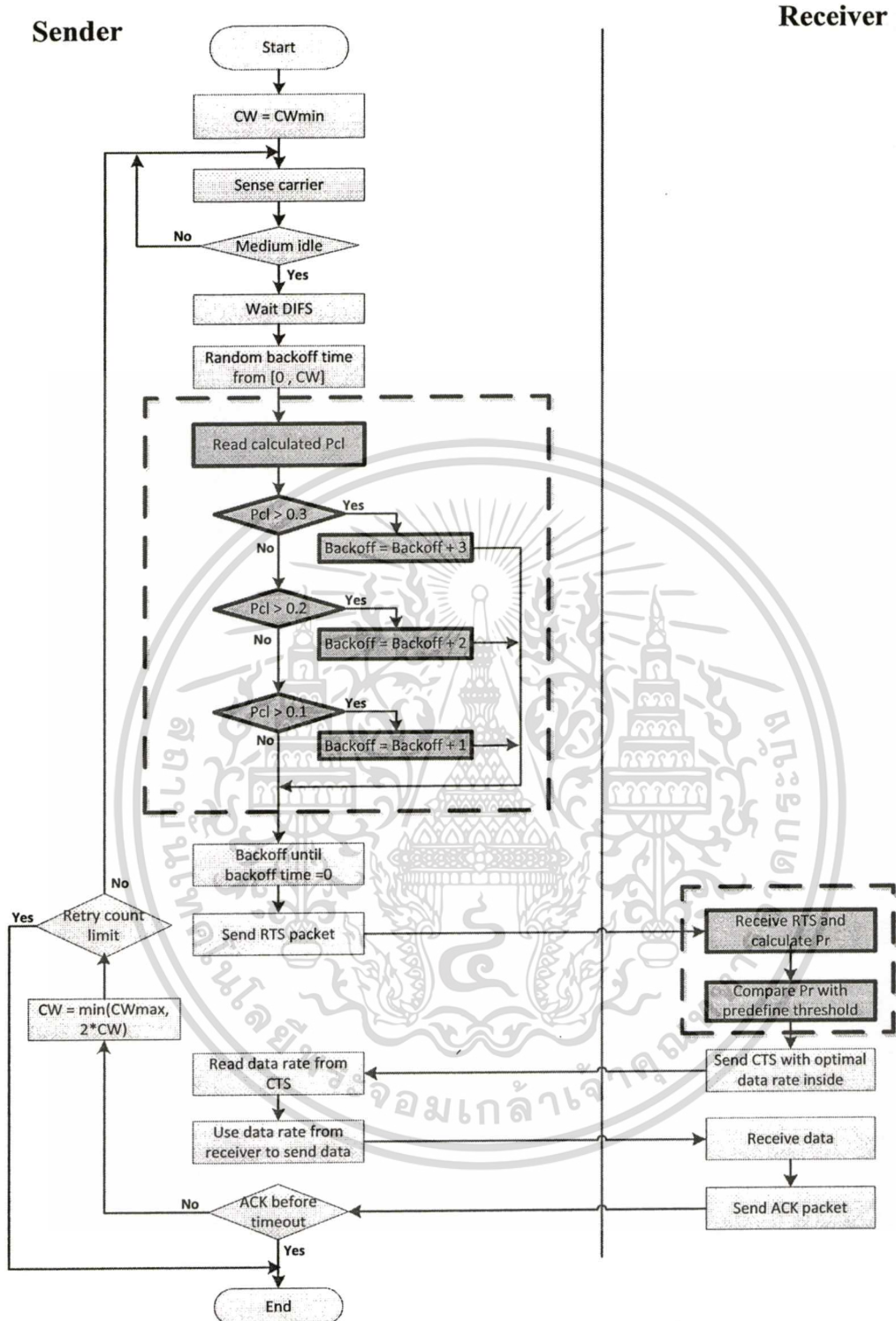
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลจะช่วยลดอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการเสียหายของบิตข้อมูลลง แต่ปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลภายในเครือข่ายเนื่องจากมีความต้องการเข้าใช้งานอย่างหนาแน่นจะยังไม่ถูกแก้ไข ในกรณีที่คุณภาพของช่องสัญญาณสูง และมีการเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงตามไปด้วย การเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล จะทำให้เสียทรัพยากรของระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำวิธีการจัดสรรการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ โดยการปรับค่าของช่วงเวลาหยุดรอตามสถานะการใช้งานของเครือข่าย มาใช้ร่วมกับวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ จะเป็นการลดการเสียหายของแพ็กเก็ตข้อมูล ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น ทั้งในเครือข่ายที่มีการใช้งานแบบเบาบาง และหนาแน่น

4.2 วิธีการที่นำเสนอ

เพื่อเป็นการลดอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ต ที่มีสาเหตุมาจากการเสียหายของบิตข้อมูล และลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อมีการเข้าใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้รับ โดยทำงานร่วมกับกระบวนการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอ โดยพิจารณาจากสถานะการเข้าใช้งานเครือข่ายในขณะนั้น

จากโฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการที่นำเสนอในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะแบ่งการทำงานของวิธีการที่นำเสนอออกเป็น 2 ส่วนภายในเส้นประ ซึ่งจะแตกต่างจากการทำงานของวิธีการ RBAR คือ ส่วนของการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอให้สอดคล้องกับสถานะการใช้งานเครือข่าย และ ส่วนของการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยในหัวข้อนี้ จะอธิบายถึงรายละเอียดและขั้นตอนการทำงานในส่วนต่างๆ และแสดงวิธีการจำลองระบบ เพื่อพิสูจน์หาสมการที่ใช้ในวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ

4.2.1 การปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอตามสถานะการเข้าใช้งานเครือข่าย

การปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอในขั้นตอนนี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล ในสถานะที่เครือข่ายมีการเข้าใช้งานอย่างหนาแน่น ซึ่งการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณเพียงอย่างเดียวนั้น อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ระบบเป็นจำนวนมาก ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีคุณภาพดี เนื่องจากทุกๆ หนวดที่ต้องการส่งไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล จะส่งข้อมูลออกมาด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ทำให้การชนกันของข้อมูลสูญเสียทรู พุดเป็นจำนวนมากด้วย ซึ่งขั้นตอนการปรับขนาดของช่วงเวลาหยุดรอในวิธีการ RBRA จะมี กระบวนการทำงานดังนี้

- กำหนดให้ทุกสถานีที่อยู่ในเครือข่ายทำการเก็บค่าจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไป, จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีการส่งซ้ำ (Retransmission) และจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไป แล้วได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับ ACK ที่สถานีของตนเอง
- ทุกๆ โหนดในสถานีจะนำค่าสถิติที่เก็บไว้มาคำนวณค่าเฉลี่ยการชนกันของแพ็กเก็ตผิด ข้อมูล ทุกๆ 1 นาที โดยสมการที่ใช้คำนวณสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3)

$$P_{cl} = 1 - \frac{ACK_{received}}{PKT_{sent} + PKT_{retransmit}} \quad (3)$$

เมื่อ P_{cl} คือ ค่าเฉลี่ยของการเกิดการชนกันของข้อมูล
 $ACK_{received}$ คือ จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกไปแล้วได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับ
 PKT_{sent} คือ จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกไป
 $PKT_{retransmit}$ คือ จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ทำกรส่งซ้ำ

- เมื่อความต้องการเข้าใช้งานในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น จำนวนโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลใน เครือข่ายที่มีจำนวนมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลสูงขึ้นตามไป ด้วย ดังนั้นค่า P_{cl} ที่คำนวณได้ ก็จะมีค่ามาก ในสภาวะที่เครือข่ายมีการเข้าใช้งานน้อย ค่า P_{cl} ที่คำนวณได้ก็จะมีค่าน้อยเช่นกัน
- จากโพลีชาร์ตในรูปที่ 4.1 หลังจากผู้ส่งตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างเป็นเวลา DIFS และเข้าสู่กระบวนการ Backoff โดยทำการสุ่มช่วงเวลาหยุดรอเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ส่งจะ นำค่า P_{cl} ที่คำนวณได้ มาหาอัตราการขยายช่วงเวลาหยุดรอ ซึ่งเราได้ทำการจำลอง ระบบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการขยายช่วงเวลาหยุดรอดังนี้

- กำหนดสมการคำนวณหาช่วงเวลาหยุดรอ ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} & \text{if}(P_{cl} \leq 0.1) \\ & \quad Backoff_{new} = Backoff_{current} + W \\ & \text{elseif}(P_{cl} \leq 0.2) \\ & \quad Backoff_{new} = Backoff_{current} + X \\ & \text{elseif}(P_{cl} \leq 0.3) \\ & \quad Backoff_{new} = Backoff_{current} + Y \\ & \text{else} \end{aligned} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ Backoff_{new} = Backoff_{current} + Z ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $Backoff_{current}$ คือ ช่วงเวลาหยุดรอที่ผู้ส่งส่งขึ้นมาได้
 $Backoff_{new}$ คือ ช่วงเวลาหยุดรอที่คำนวณได้จากค่า P_{cl}

- กำหนดค่า W, X, Y และ Z เป็นค่าต่างๆ เพื่อทำการจำลองระบบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่า W, X, Y, Z ในกรณีทดสอบ ที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมในการขยายช่วงเวลาหยุดรอ

กรณีทดสอบ	W	X	Y	Z
1	0	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6
5	4	5	6	7
6	5	6	7	8
7	6	7	8	9
8	7	8	9	10
9	8	9	10	11
10	9	10	11	12

- ทำการจำลองระบบโดยใช้ค่าจากสมการต่างๆ เพื่อตรวจสอบว่า การขยาย Backoff Time โดยใช้สมการใดเหมาะสมที่สุด ส่วนพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองระบบ แสดงดังตารางที่ 4.2

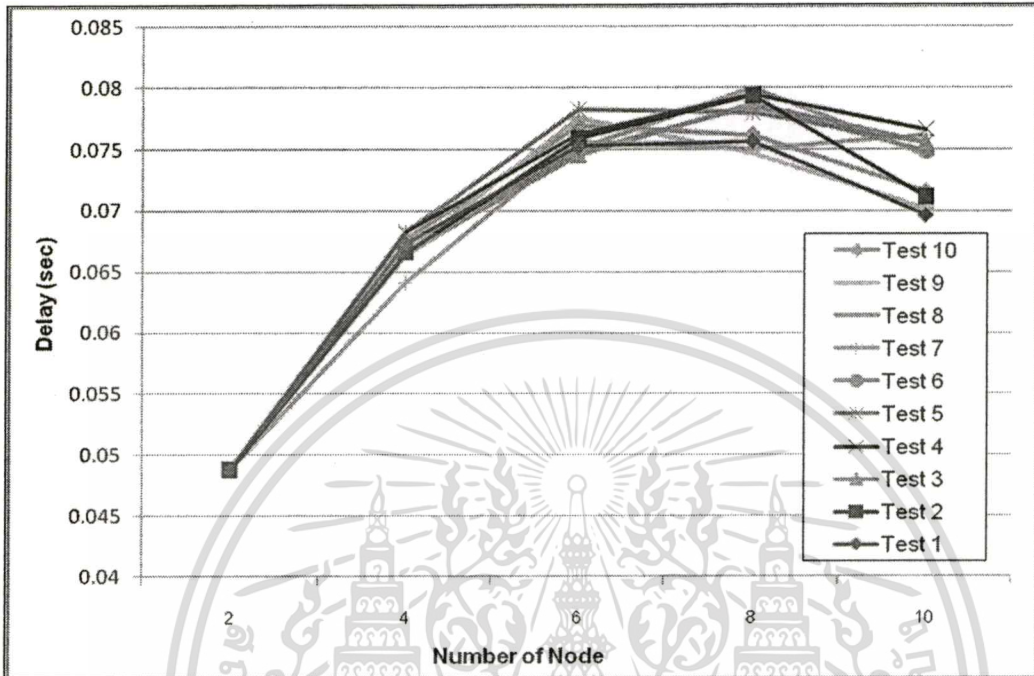
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อหาสมการคำนวณช่วงเวลาหยุดรอ

พารามิเตอร์	ค่า
พื้นที่ที่ใช้ในการจำลองระบบ	1,000,000 ตารางเมตร
จำนวนสถานีในเครือข่าย	2 - 10 สถานี
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ	300 วินาที
วิธีการส่งข้อมูล	Constant Bit Rate (CBR)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1 เมกะไบต์ต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล	1000 ไบต์
จำนวนครั้งในการจำลองระบบเพื่อหาค่าเฉลี่ย	5 ครั้ง

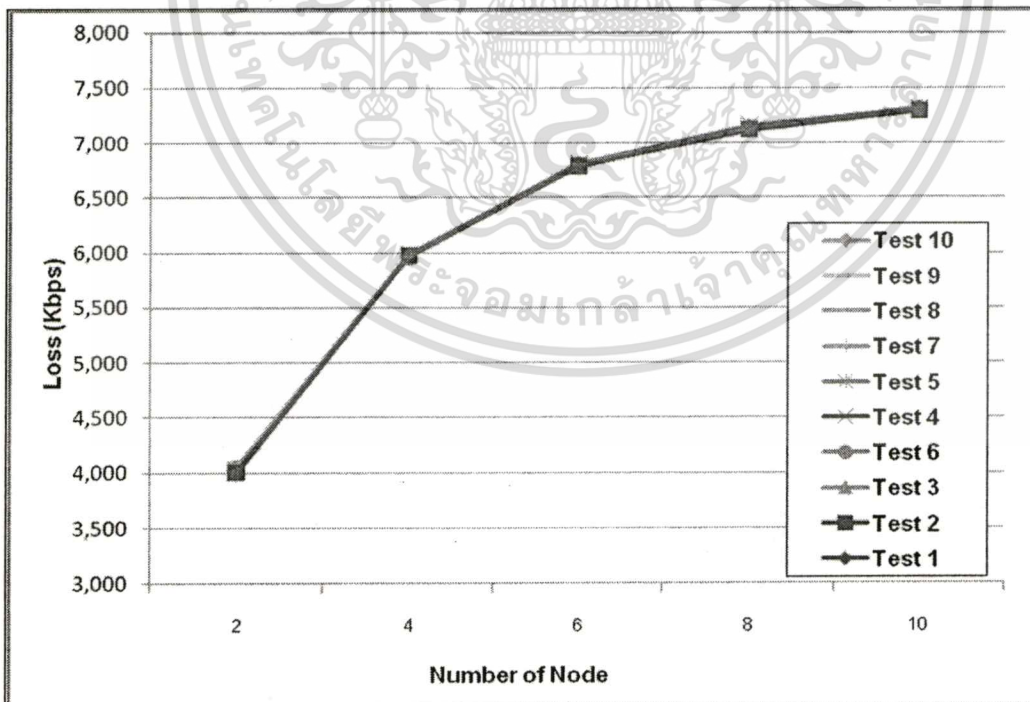
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวัดค่าทรูพุท (Throughput), อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss Rate) และเวลาหน่วง (Delay) จากการจำลองระบบ และนำมาสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้

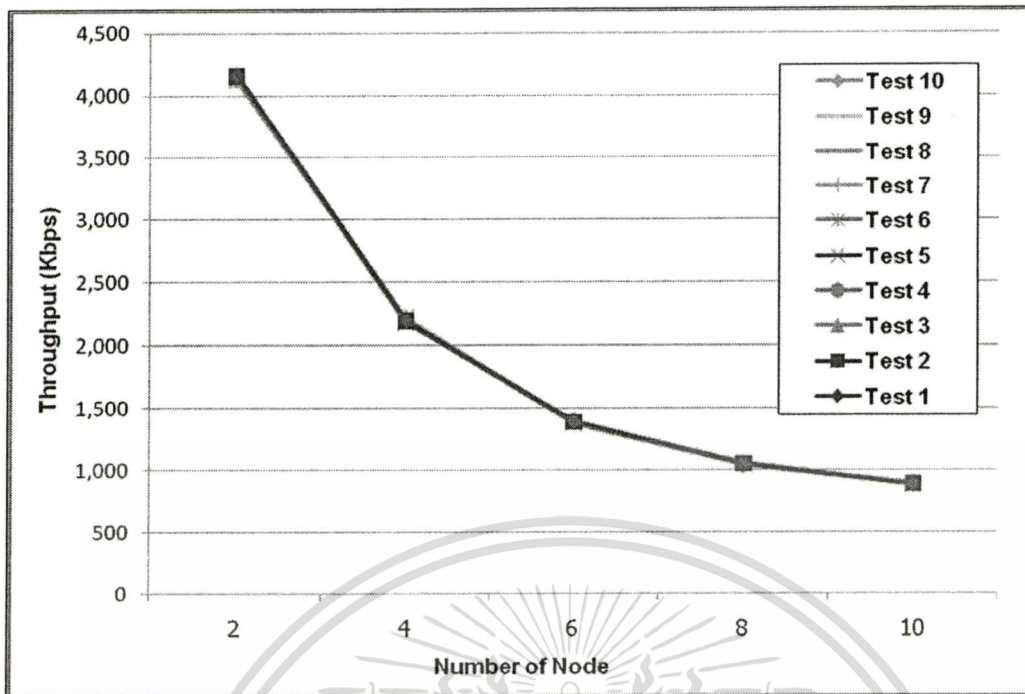


รูปที่ 4.2 แสดงค่า Delay ที่ได้จากการจำลองระบบ



รูปที่ 4.3 แสดงอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตที่วัดได้จากการจำลองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงค่าทราฟฟิคที่วัดได้จากการจำลองระบบ

- ผลที่ได้จากการจำลองระบบ พบว่าทุกสมการให้มีอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ต และค่าทราฟฟิคที่ใกล้เคียงกันมาก ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ แต่จากกราฟแสดงค่า Delay ของการส่งแพ็กเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า กรณีทดสอบที่ 1 มีค่า Delay ของระบบน้อยที่สุด ดังนั้นค่า W, X, Y และ Z ที่เหมาะสมสำหรับสมการคำนวณช่วงเวลาหยุดจะมีค่าเท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับทำให้ได้สมการที่ใช้ในการคำนวณช่วงเวลาหยุด ดังสมการที่ (5)

$$\text{if } (P_{cl} \leq 0.1)$$

$$\text{Backoff}_{new} = \text{Backoff}_{current}$$

$$\text{elseif } (P_{cl} \leq 0.2)$$

$$\text{Backoff}_{new} = \text{Backoff}_{current} + 1$$

$$\text{elseif } (P_{cl} \leq 0.3)$$

$$\text{Backoff}_{new} = \text{Backoff}_{current} + 2$$

else

$$\text{Backoff}_{new} = \text{Backoff}_{current} + 3$$

(5)

เมื่อ $\text{Backoff}_{current}$ คือ ช่วงเวลาหยุดที่ผู้ส่งส่งขึ้นมาได้

Backoff_{new} คือ ช่วงเวลาหยุดที่คำนวณได้จากค่า P_{cl}

- จากสมการที่ใช้คำนวณช่วงเวลาหยุด สามารถสรุปความสัมพันธ์ของค่า P_{cl} กับอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การขยายช่วงเวลาหยุดได้ดังตารางที่ 4.3

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่า P_{cl} กับอัตราการขยายช่วงเวลาหยุดรอ

ค่า P_{cl}	อัตราการขยายช่วงเวลาหยุดรอ
0.00 – 0.10	ไม่ขยาย
0.11 – 0.20	1 Time Slot
0.21 – 0.30	2 Time Slot
0.31 – 1.00	3 Time Slot

- การขยายช่วงเวลาหยุดรอ จะเริ่มทำงานเมื่อค่า P_{cl} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.1 เป็นต้นไป โดยเมื่อค่า P_{cl} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.1 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 จะทำการขยายช่วงเวลาหยุดรอเพิ่มขึ้น 1 Time Slot หากค่า P_{cl} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.2 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 จะทำการขยายช่วงเวลาหยุดรอเพิ่มขึ้น 2 Time Slot และหากค่า P_{cl} ที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่า 0.3 จะทำการขยายช่วงเวลาหยุดรอเพิ่มขึ้น 3 Time Slot แต่จะไม่เพิ่มมากกว่านี้ เนื่องจากจะทำให้สถานีที่ต้องการส่งข้อมูล ต้องรอนานเกินไป

4.2.2 การปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ

การปรับอัตราการส่งข้อมูลในขั้นตอนนี้ จะอาศัยข้อมูลคุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้จากฝั่งผู้รับ ในช่วงของการรับส่ง RTS/CTS ซึ่งการปรับอัตราการส่งข้อมูลในวิธีการที่นำเสนอ มีกระบวนการทำงานดังนี้

- จากโพลีชาร์ตในรูปที่ 4.1 หลังจากทีกระบวนการ Backoff เสร็จสิ้นลง ผู้ส่งจะทำการส่งแพ็กเก็ต RTS ออกไปยังผู้รับ เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล
- เมื่อผู้รับ ได้รับแพ็กเก็ต RTS แล้ว จะทำการตรวจสอบคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ (Power Received Indication: Pr) ของแพ็กเก็ต RTS ที่ได้รับ
- ค่า Pr ที่ได้รับจะมีลักษณะแปรผันตรงกับคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยหากค่า Pr ที่วัดได้มีค่าสูง แสดงว่าช่องสัญญาณในขณะนั้นอยู่ในสถานะที่ดี หากค่า Pr ที่วัดได้มีค่าต่ำ แสดงว่าช่องสัญญาณในขณะนั้นอยู่ในสถานะที่ไม่ดี มีโอกาสเกิดการเสียหายของแพ็กเก็ตข้อมูลสูง ซึ่งเราได้ทำการจำลองระบบ และเก็บข้อมูลค่า Pr เพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมกับ Pr ที่วัดได้ดังนี้

- ทำการหาค่า Pr ค่าใด ที่เหมาะสมต่อการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาที โดยกำหนดให้ส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาที ที่ค่า Pr ต่างๆ ดังสมการ แต่ถ้าค่า Pr ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ก็จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่ 2 เมกกะบิตต่อวินาที ซึ่งกรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่แสดงดังตารางที่ 4.4 มุ่งอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 กรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาที

กรณีทดสอบ	ค่า Pr
1	0.91 – 1.00
2	0.81 – 1.00
3	0.71 – 1.00
4	0.61 – 1.00
5	0.51 – 1.00
6	0.41 – 1.00
7	0.31 – 1.00
8	0.21 – 1.00
9	0.11 – 1.00
10	0.00 – 1.00

- หาค่า Pr ที่เหมาะสมต่อการส่งข้อมูลที่ 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที โดยกำหนดให้ส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที ที่ค่า Pr ต่างๆ ดังสมการ แต่ถ้าค่า Pr ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ก็จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่ 2 เมกกะบิตต่อวินาที ซึ่งกรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กรณีทดสอบที่ใช้หาค่า Pr สำหรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที

กรณีทดสอบ	ค่า Pr
1	0.91 – 1.00
2	0.81 – 1.00
3	0.71 – 1.00
4	0.61 – 1.00
5	0.51 – 1.00
6	0.41 – 1.00
7	0.31 – 1.00
8	0.21 – 1.00
9	0.11 – 1.00
10	0.00 – 1.00

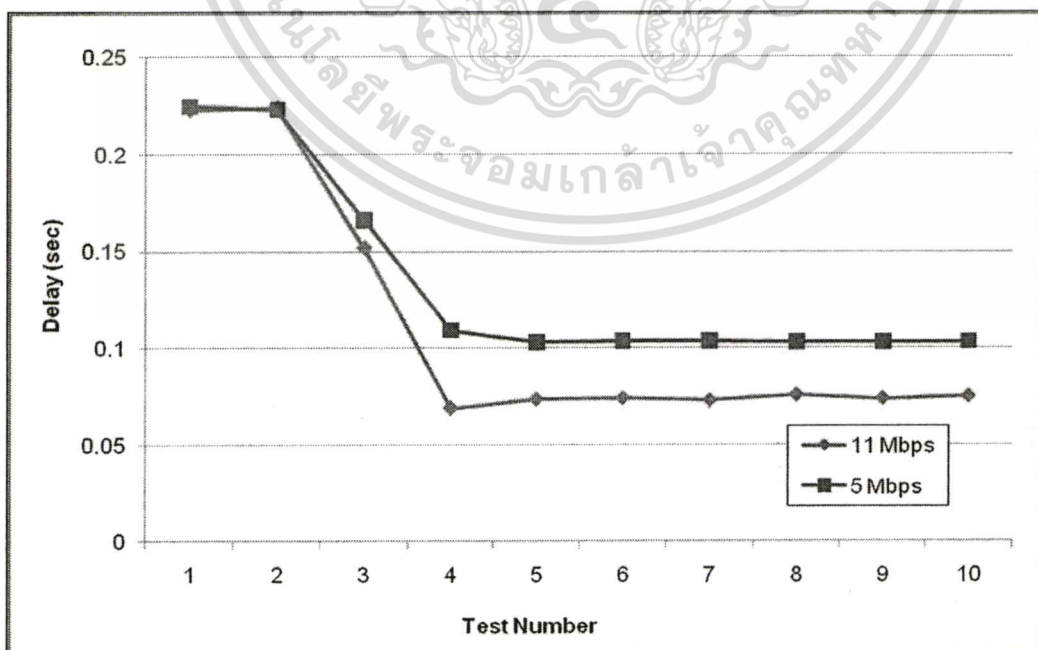
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการจำลองระบบโดยใช้ค่าจากสมการข้างต้น เพื่อตรวจสอบว่าค่า Pr ใดเหมาะสมกับการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 11 เมกกะบิตต่อวินาที และ 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที โดยใช้พารามิเตอร์ในการจำลองระบบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบเพื่อหาสมการปรับอัตราการส่งข้อมูล

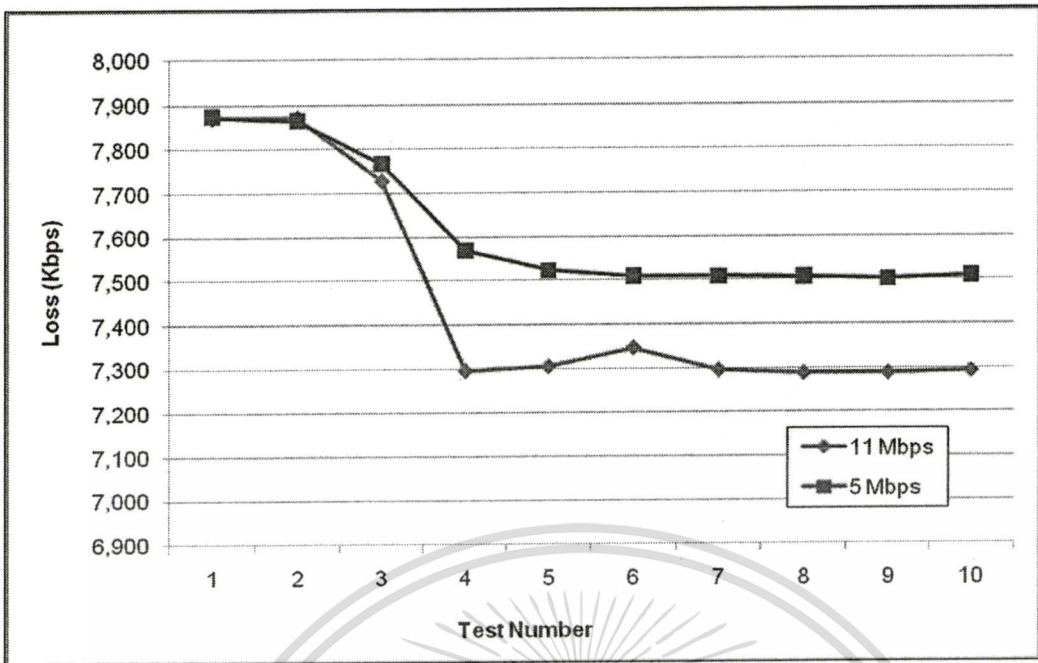
พารามิเตอร์	ค่า
พื้นที่ที่ใช้ในการจำลองระบบ	1,000,000 ตารางเมตร
จำนวนสถานีในเครือข่าย	10 สถานี
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ	300 วินาที
วิธีการส่งข้อมูล	Constant Bit Rate (CBR)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1 เมกกะไบต์ต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล	1000 ไบต์
จำนวนครั้งในการจำลองระบบเพื่อหาค่าเฉลี่ย	5 ครั้ง

- ทำการวัดค่าทราฟฟิค (Throughput), อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss Rate) และเวลาหน่วง (Delay) จากการจำลองระบบ และนำมาสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้

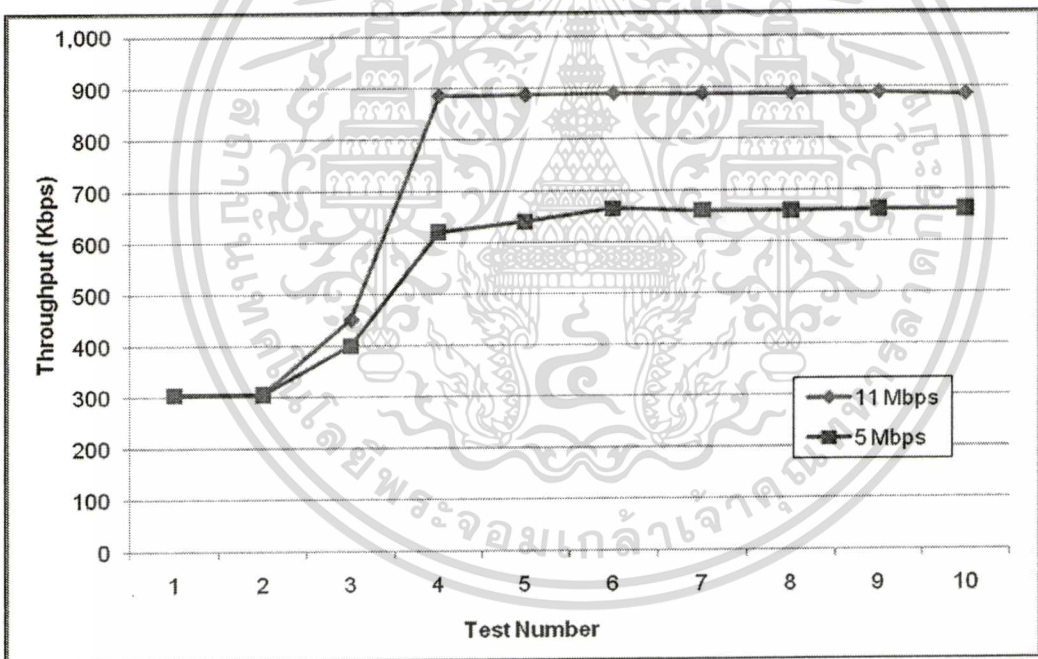


รูปที่ 4.5 แสดงค่า Delay ที่ได้จากการจำลองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตที่วัดได้จากการจำลองระบบ



รูปที่ 4.7 แสดงค่าทราฟฟิคที่วัดได้จากการจำลองระบบ

- จากกราฟแสดงผลจากการจำลองระบบในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 พบว่า อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตจากการจำลองระบบเพื่อหาค่า Pr ที่เหมาะสมกับอัตราการส่งข้อมูล 11 เมกกะบิตต่อวินาที มีค่าลดลงเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ ในกรณีทดสอบที่ 4 เช่นเดียวกับทราฟฟิคของระบบที่เริ่มคงที่ในกรณีทดสอบที่ 4 ดังนั้น ค่า Pr ที่เหมาะสมสำหรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาที จะมีค่าตามกรณีทดสอบที่ 4 คือ $Pr = 0.61 - 1.00$

• จากกราฟแสดงผลจากการจำลองระบบในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 พบว่า อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตจากการจำลองระบบเพื่อหาค่า Pr ที่เหมาะสมกับอัตราการส่งข้อมูล 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที มีค่าลดลงเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ ในกรณีทดสอบที่ 4 เช่นเดียวกับทราฟฟิคของระบบที่เริ่มคงที่ในกรณีทดสอบที่ 4 ดังนั้น ค่า Pr ที่เหมาะสมสำหรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที จะมีค่าตามกรณีทดสอบที่ 4 คือ $Pr = 0.61 - 1.00$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมกกะบิตต่อวินาที มีค่าลดลงเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ ในกรณีทดสอบที่ 6 เช่นเดียวกับทรูพุทของระบบที่เริ่มคงที่ในกรณีทดสอบที่ 6 ดังนั้น ค่า Pr ที่เหมาะสมสำหรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที จะมีค่าตามกรณีทดสอบที่ 6 คือ $Pr = 0.41 - 1.00$ แต่เนื่องจาก ค่า Pr ที่ $0.61 - 1.00$ สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกกะบิตต่อวินาทีได้ ซึ่งจะให้ค่าทรูพุทที่ดีกว่าการส่งข้อมูลที่ 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที ดังนั้น ค่า Pr ที่เลือกใช้สำหรับส่งข้อมูลที่ 5.5 เมกกะบิตต่อวินาที จะมีค่าเท่ากับ $0.41 - 0.60$

- จากการจำลองระบบเพื่อหาค่า Pr ที่เหมาะสมกับการส่งข้อมูล จะได้ค่าอัตราการส่งข้อมูลที่แปรผันตามค่า Pr ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อัตราการส่งข้อมูลที่แปรผันตามค่า Pr

Power Received Indication (Pr)	Data Rate (Mbps)
0 – 0.4	2
0.41 – 0.60	5.5
0.61 – 1.00	11

- หลังจากได้ค่า Pr แล้ว ผู้รับจะนำค่า Pr ที่ได้ไปหาอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม โดยการนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางที่ 4.1 และส่งค่าอัตราการส่งข้อมูลที่ได้ กลับไปยังผู้ส่ง ผ่านทางแพ็กเก็ต CTS
- เมื่อผู้ส่งได้รับค่าอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมแล้ว จะใช้ค่านั้นในการส่งข้อมูลออกไปยังผู้รับ

บทที่ 5

การวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ

ในบทนี้เราจะอธิบายถึงการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่เราได้นำเสนอโดยใช้การจำลองระบบ (Simulation) จากโปรแกรม Network Simulator version 2 (NS-2) [10] ซึ่งเราจะได้กล่าวถึงโปรแกรมที่ใช้จำลองการทำงานของระบบ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบตามวิธีการที่นำเสนอจากบทที่ 4 โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการวัดค่า ทROUGHPUT (Throughput) เวลาหน่วง (Delay) และอัตราการสูญเสีย (Loss Rate) ในสถานะที่เครือข่ายมีการหยุดนิ่ง และเคลื่อนที่ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมในมาตรฐาน IEEE802.11b และวิธีการ Receiver-Based Auto Rate (RBAR) ที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ในบทที่ 3

5.1 Network Simulator versions 2 (NS-2)

Network Simulator version 2 (NS-2) เป็นโปรแกรมที่มีการทำงานแบบ Discrete Event simulation ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย สำหรับจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายแบบมีสายและเครือข่ายแบบไร้สาย NS-2 ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lawrence Berkeley National Laboratory โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้วิจัยในด้านเครือข่าย

NS-2 เป็นโปรแกรมประเภท Open-Source และสามารถที่จะทำงานได้ทั้งบน Linux , FreeBSD, SunOS, Solaris, Window ซึ่งสนับสนุนการจำลองการเลือกเส้นทางในการขนส่งแพ็กเก็ต, จำลองการทำงานของ Multicast Protocol และ IP Protocol เช่น UDP, TCP, RTP, SRM ที่อยู่บนเครือข่ายประเภทใช้สายและไม่ใช้สาย ซึ่ง NS-2 เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์มากเนื่องจากสนับสนุนโพรโตคอลที่หลากหลาย และยังมีความสามารถในการแสดงรายละเอียดของกราฟฟิก (Traffic) ในเครือข่าย ออกมาในรูปแบบของกราฟฟิก รวมทั้งยังสนับสนุนอัลกอริทึม (Algorithm) ในการหาเส้นทาง (Routing) และการจัดการคิว (Queuing) เช่น FIFO, Round-Robin เป็นต้น

โค้ดที่ใช้ควบคุมการทำงานในชั้น MAC ของ NS-2 สามารถหาพบได้ในไดเรกทอรี `../ns-2.xx/mac/` ซึ่งจะมีกระบวนการทำงานของ DCF มาให้ โดยมี RTS, CTS, DATA, ACK และสามารถที่จะทำการบรอดคาสต์ (Broadcast) แพ็กเก็ตออกไปได้ นอกจากนี้ ยังมีกระบวนการตรวจสอบช่องสัญญาณโดยวิธีการ Virtual และ Physical Carrier Sense ซึ่งใน MAC ได้มีการเตรียมช่วงเวลา (frame space) ต่างๆ ที่มีการใช้งานในชั้นนี้ เช่น SIFS, PIFS, DIFS และ EIFS โดยที่ EIFS จะถูกนำมาใช้งานก็ต่อเมื่อหลังจากทุก ๆ ครั้งที่ตรวจสอบพบว่าการพยายามส่งข้อมูลไม่สำเร็จ โดยจะอาศัยการตรวจสอบแพ็กเก็ตเกิดตอบกลับ ACK จากที่ได้กล่าวมานั้น ในชั้น

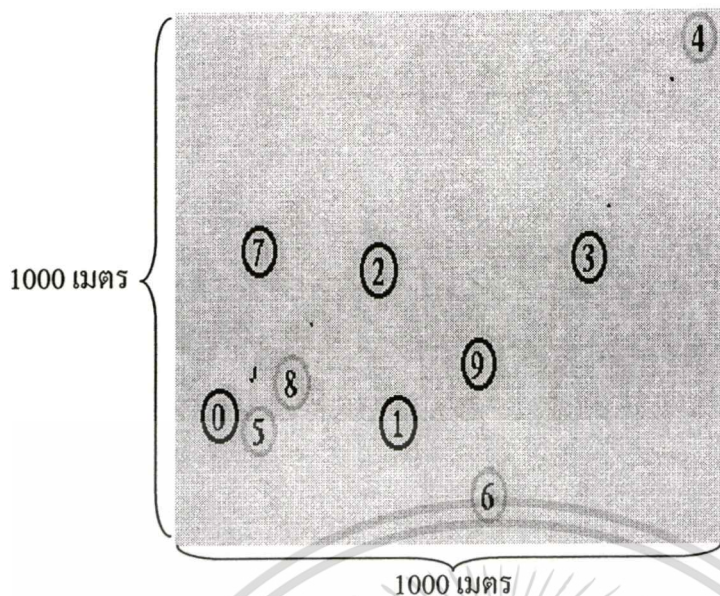
MAC ของ NS-2 จะมีการทำงานโดยแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Defer Timer: จะถูกใช้งานเมื่อ MAC ทำการตรวจสอบช่องสัญญาณเมื่อช่องสัญญาณว่างอย่างน้อยเท่ากับค่า DIFS หรือ ถ้า MAC มีการหยุดรอในช่วงเวลา SIFS
- Backoff Timer: จะทำการลดค่าลงจากช่วงเวลา Backoff ที่เหลืออยู่
- Interface Timer: จะแสดงถึงเวลาที่อินเตอร์เฟซจะอยู่ในโหมดสำหรับส่งข้อมูลเมื่อมีการส่งแพ็กเก็ต
- Send Timer: ใช้สำหรับแสดงถึงเวลาที่ควรจะได้รับ ACK ตอบกลับมาหลังจากที่มีการส่งข้อมูลออกไป
- NAV Timer: จะเริ่มทำงานเมื่อ
 - สำหรับ EIFS หากมีการตรวจสอบพบว่าเกิดการชนกันเกิดขึ้น
 - สำหรับช่วงเวลา Contention ในช่วงเวลาที่ได้รับเฟรมข้อมูลสมบูรณ์
 - สำหรับช่วงเวลาที่มีการแลกเปลี่ยน RTS/CTS/DATA/ACK

แต่ละช่วงเวลาจะมีการ เริ่ม (start), หยุด (stop), กลับมาทำงานใหม่ (Resume) และกระบวนการจัดการ (Handle Methode) โดยจะถูกสร้างขึ้นใน ../ns-2.xx/mac/mac-timers.cc/h ตามแต่เหตุการณ์เพื่อให้สอดคล้องกับจุดของเวลาที่มีการเพิ่มเข้าไปในตารางการทำงาน ในส่วนของกระบวนการเริ่มต้น (Start Method)

ในงานวิจัยฉบับนี้ จะใช้การจำลองการทำงานของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ดังรูปที่ 5.1 โดยการจำลองการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือทุกๆสถานีในเครือข่ายหยุดนิ่ง และส่วนที่สองคือมีการเคลื่อนที่โดยอิสระของสถานีในเครือข่าย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่สนใจในการจำลองระบบมี 3 ค่าคือ ทROUGHPUT (Throughput), อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล (Loss Rate) และเวลาหน่วง (Delay) ของระบบ จากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้จากการจำลองระบบ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากวิธีการมาตรฐาน IEEE 802.11b และค่าที่วัดได้จากวิธีการ RBAR



รูปที่ 5.1 Simulation Model ที่ใช้ในการจำลองระบบ

5.2 ผลการจำลองการทำงานของระบบ

ในหัวข้อนี้ จะนำเสนอผลที่ได้จากการจำลองระบบ เปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่ายในแต่ละวิธีการ จากค่าทราฟฟิค, อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดข้อมูล และเวลาหน่วง การจำลองระบบจะแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

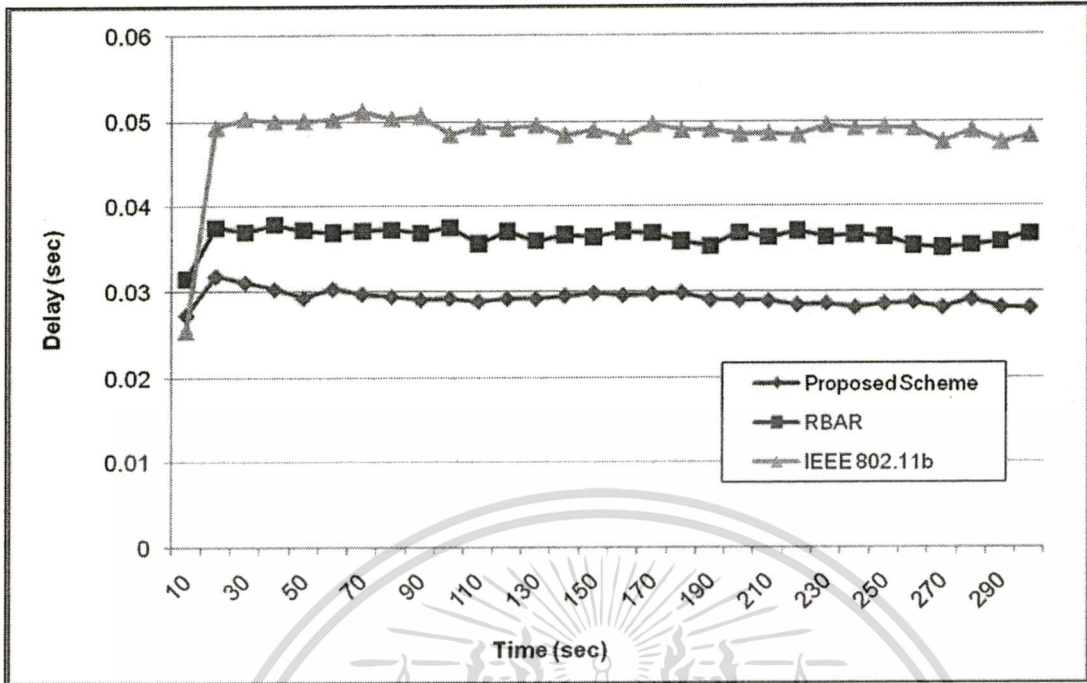
5.2.1 การจำลองการทำงานของระบบในสถานะที่เครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการนำวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ มาทดสอบการทำงานในสถานะที่ทุกสถานีในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่ โดยผู้วิจัยได้กำหนดสถานะของการจำลองระบบ โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ในการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่

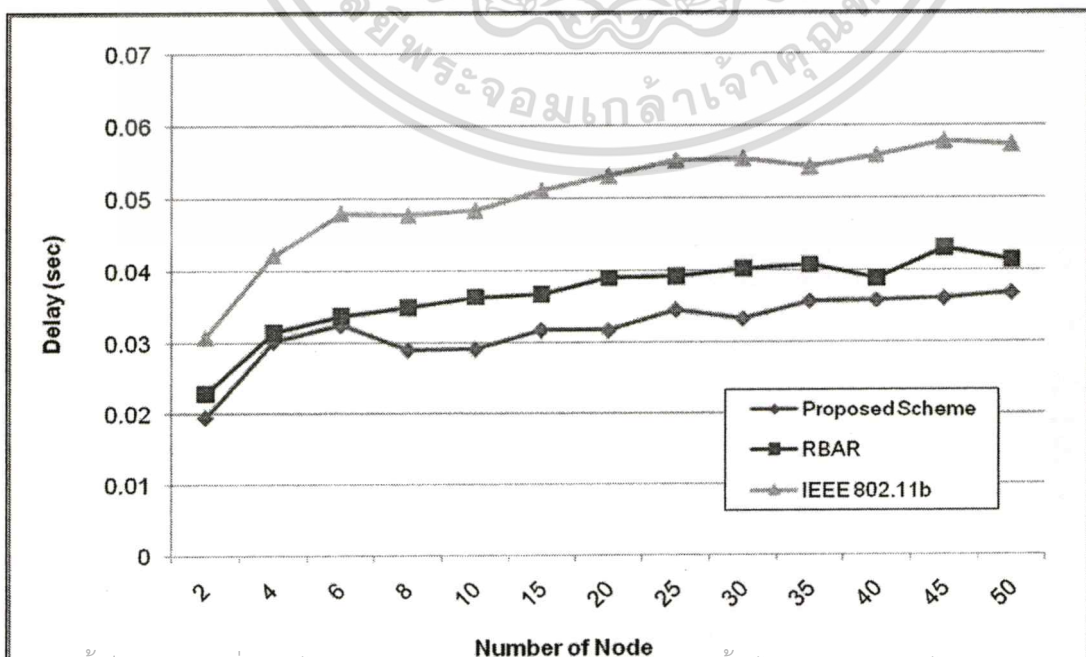
พารามิเตอร์	ค่า
พื้นที่ที่ใช้ในการจำลองระบบ	1,000,000 ตารางเมตร
จำนวนสถานีในเครือข่าย	2 - 50 สถานี
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ	300 วินาที
วิธีการส่งข้อมูล	Constant Bit Rate (CBR)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1 เมกกะไบต์ต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล	1000 ไบต์
จำนวนครั้งในการจำลองระบบเพื่อหาค่าเฉลี่ย	5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



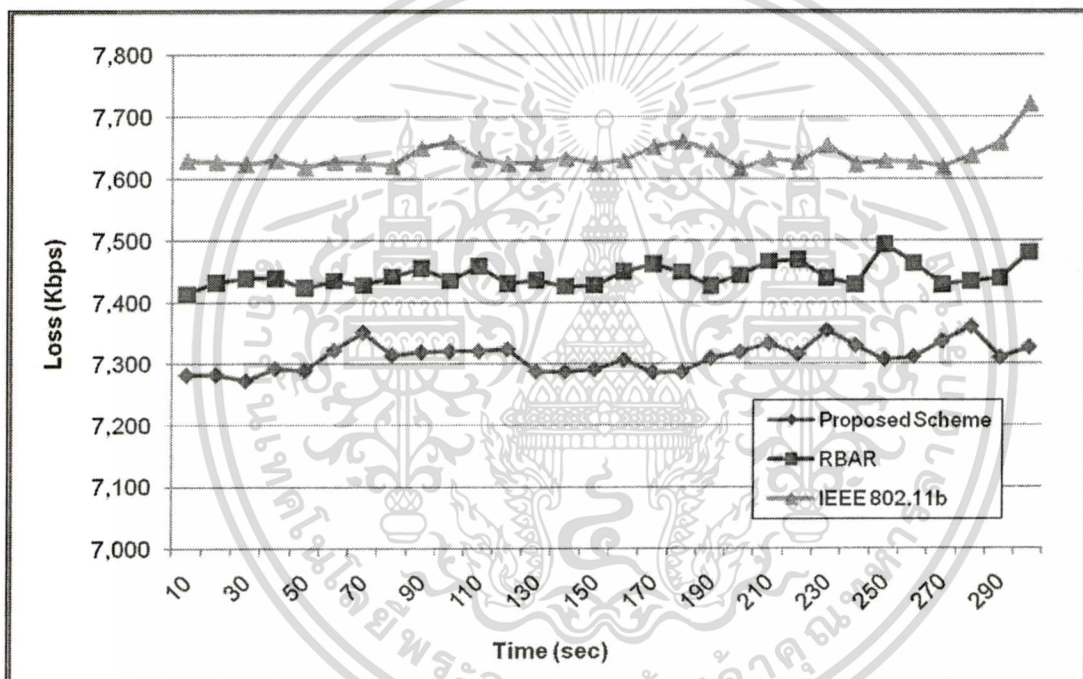
รูปที่ 5.2 ค่า Delay ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี

จากกราฟในรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงการวัดค่า Delay เฉลี่ยของการส่งแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่ายทั้งหมด 10 สถานี จะเห็นว่าค่า Delay ที่วัดได้จากวิธีการที่นำเสนอ มีค่าลดลงกว่า 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐาน IEEE 802.11b และมีค่าลดลง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ RBAR แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่ทำงานร่วมกับกระบวนการขยาย Backoff Time สามารถทำงานได้ดีและช่วยลดเวลาในการส่งแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางได้



รูปที่ 5.3 ค่า Delay เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน

จากกราฟในรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่า Delay เฉลี่ยของการส่งแพ็กเก็ต ข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน ซึ่งจากกราฟ จะเห็นว่าค่า Delay ของวิธีการที่นำเสนอยังคงมีค่าต่ำกว่าวิธีการอื่น แม้ว่าจำนวนสถานีในเครือข่ายจะเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก กระบวนการ DCF ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 จะเพิ่มค่า CW ขึ้นเป็น 2 เท่า ทุกครั้งที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ต และจากกระบวนการขยาย Backoff Time ในวิธีการที่นำเสนอ ที่สามารถลดการชนกันของแพ็กเก็ตในเครือข่ายที่มีความหนาแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่า CW ที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตได้สำเร็จในวิธีการที่นำเสนอ มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR ดังนั้นค่า Delay ที่วัดได้ในวิธีการที่นำเสนอจึงมีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

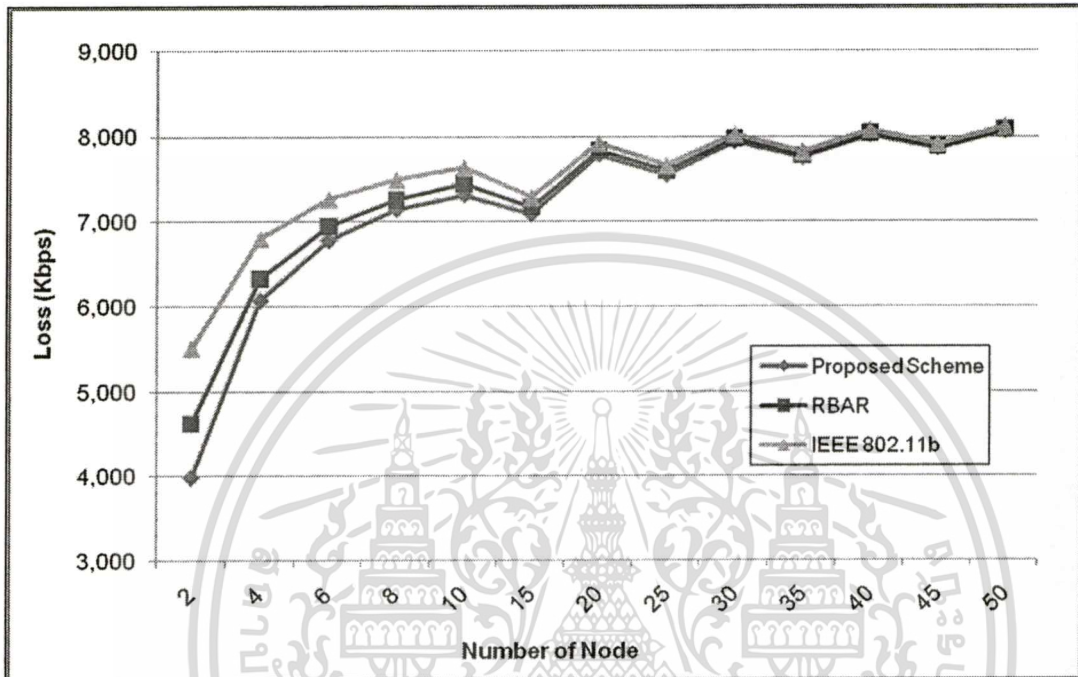


รูปที่ 5.4 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี

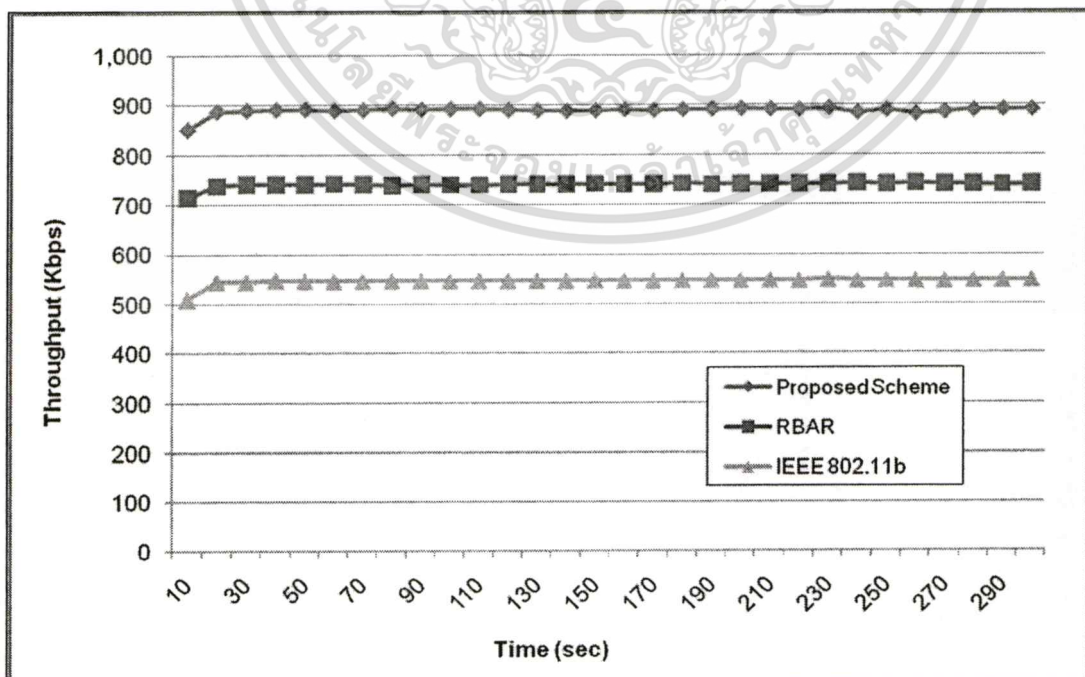
จากกราฟในรูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตในเครือข่าย ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่ายทั้งหมด 10 สถานี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตลดลง 4.25% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และมีค่าลดลง 2% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ RBAR เนื่องจากกระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูล ที่ช่วยลดการสูญเสียแพ็กเก็ต เนื่องจากการเสียหายของบิต (Bit Error) และกระบวนการขยายค่า Backoff Time ให้สอดคล้องกับความคับคั่งที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ที่จะช่วยลดการชนกันของแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้น ทำให้อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตในวิธีการที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าวิธีการอื่นๆ

กราฟในรูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน จะเห็นว่าเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตของวิธีการทั้ง 3 จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก

ปริมาณความต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่สูงมาก ทำให้แพ็กเก็ตส่วนใหญ่จะถูกครอบ (Drop) ที่คิวของแต่ละสถานี (IFQ) ทำให้กระบวนการขยาย Backoff Time ทำงานได้ไม่เต็มที่ แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดในวิธีการที่นำเสนอ ก็ยังมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR



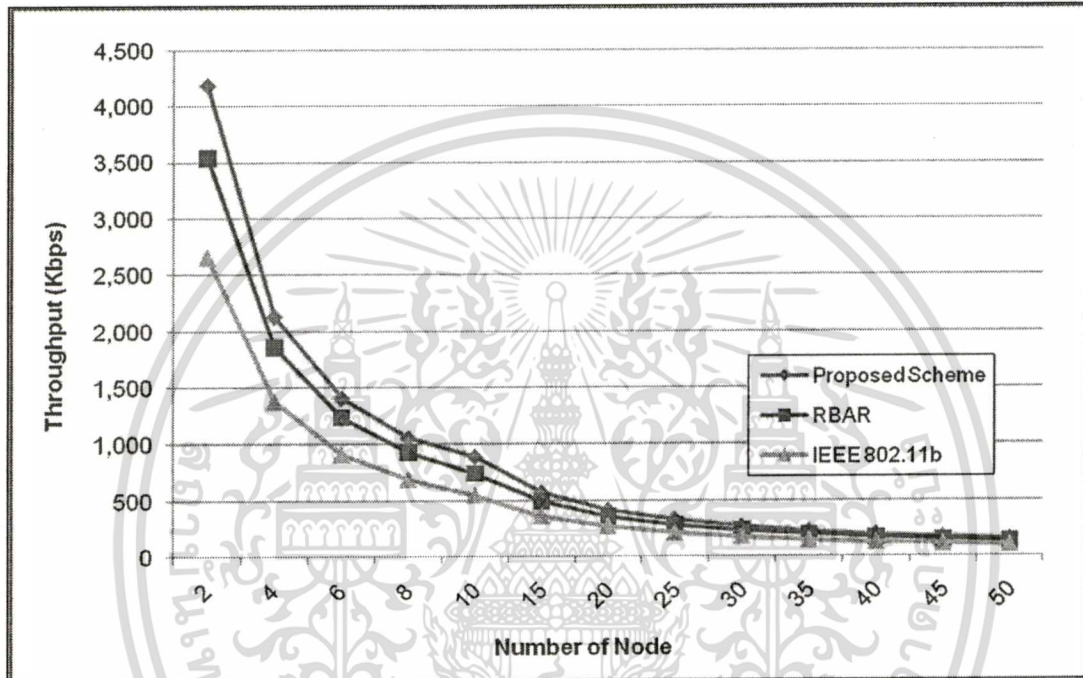
รูปที่ 5.5 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีแตกต่างกัน



รูปที่ 5.6 ค่า throughput ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบทรูพุทที่ได้จากการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี ซึ่งจะเห็นว่าค่าทรูพุทที่วัดได้จากวิธีการที่นำเสนอมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% และ มากกว่า 20% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR ตามลำดับ เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอ มีกระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูล และการขยาย Backoff Time ที่ทำให้ค่า Delay และอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลในระบบ ลดลงตามที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้



รูปที่ 5.7 ค่าทรูพุทเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในการจำลองระบบที่มีจำนวนสถานีต่างกัน

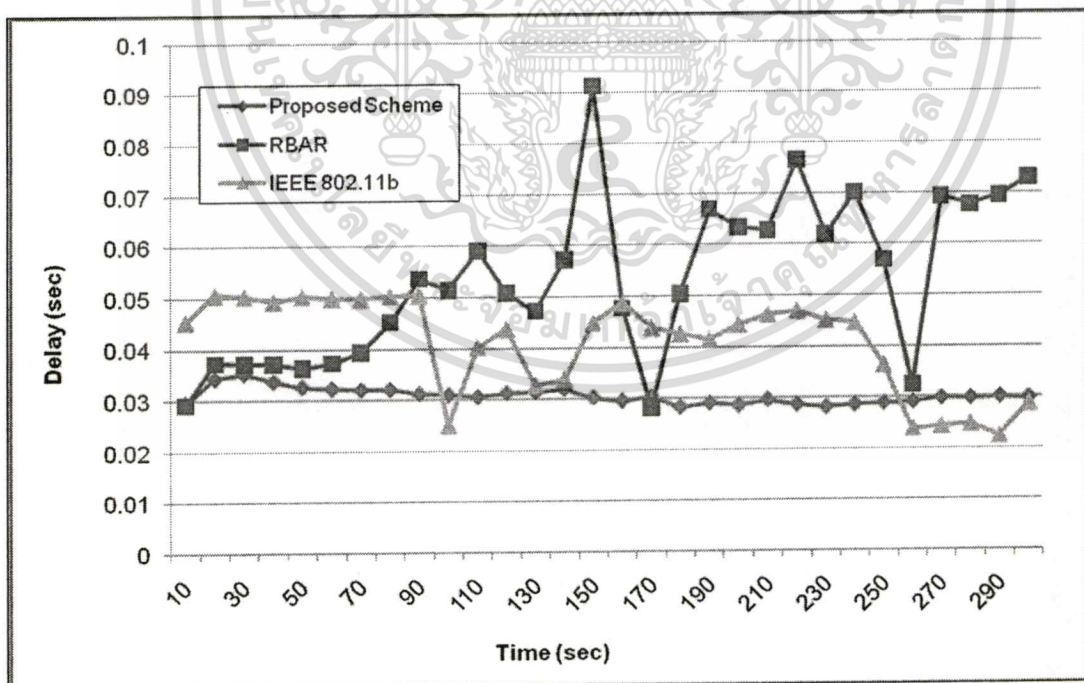
จากกราฟในรูปที่ 5.7 เมื่อเปรียบเทียบค่าทรูพุทเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ระหว่างวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่า แนวโน้มของค่าทรูพุทเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานีของวิธีการทั้ง 3 มีค่าลดลง เนื่องจากแพ็กเก็ตส่วนใหญ่จะถูกครอบที่คิวของแต่ละสถานี ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในกราฟแสดงอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการที่นำเสนอยังมีค่าทรูพุทเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR มากกว่า 55% และ 16% ตามลำดับ แม้ว่าจำนวนสถานีในเครือข่ายจะเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ให้สูงขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่ความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่ายต่ำ และความหนาแน่นของการเข้าใช้งานเครือข่ายสูง

5.2.2 การจำลองการทำงานของระบบในสถานะที่เครือข่ายมีการเคลื่อนที่

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าการเคลื่อนที่ของสถานีในเครือข่ายจะมีผลต่อการทำงานของวิธีการที่นำเสนอหรือไม่ โดยผู้วิจัยได้กำหนดสถานะของการจำลองระบบ โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ในการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่

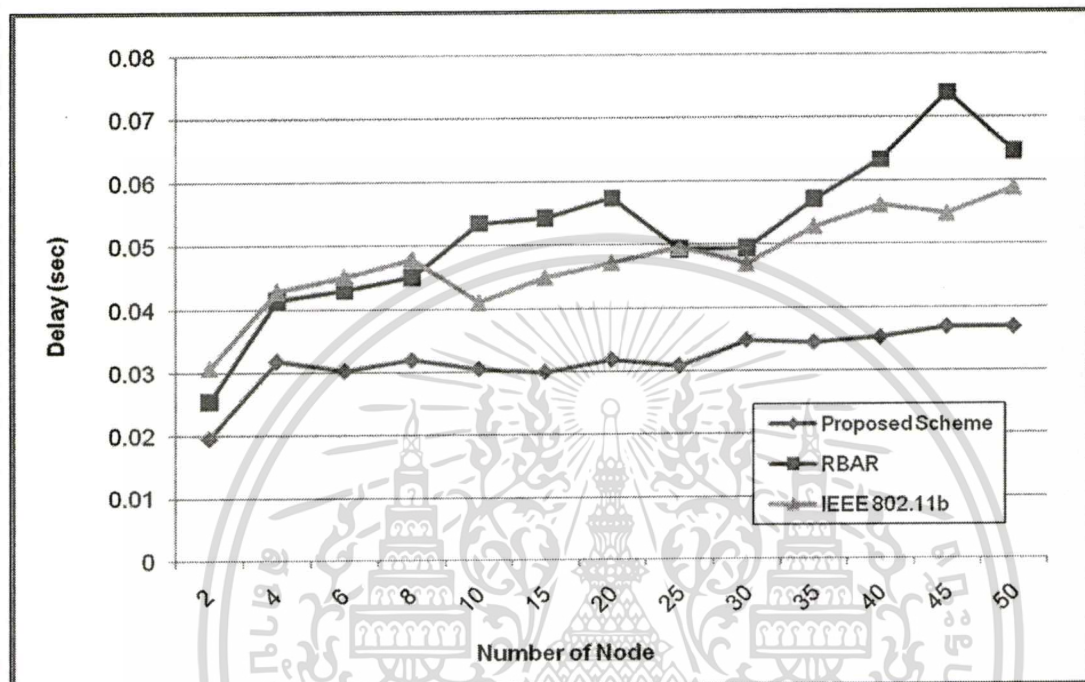
พารามิเตอร์	ค่า
พื้นที่ที่ใช้ในการจำลองระบบ	1,000,000 ตารางเมตร
จำนวนสถานีในเครือข่าย	2 - 50 สถานี
ความเร็วในการเคลื่อนที่	0 - 10 เมตรต่อวินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ	300 วินาที
วิธีการส่งข้อมูล	Constant Bit Rate (CBR)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1 เมกกะ ไบต์ต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล	1000 ไบต์
จำนวนครั้งในการจำลองระบบเพื่อหาค่าเฉลี่ย	5 ครั้ง



รูปที่ 5.8 ค่า Delay ของระบบเมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่

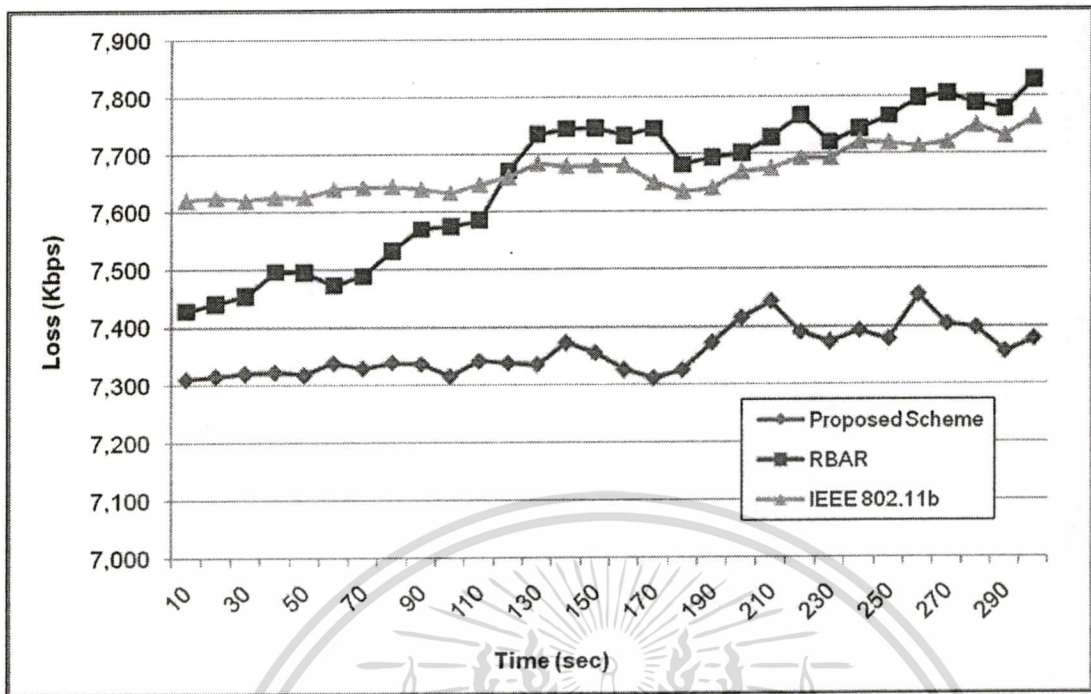
จากกราฟในรูป 5.8 จะพบว่าเมื่อนำวิธีการ RBAR มาใช้งานกับเครือข่ายที่มีการเคลื่อนที่ของสถานีในเครือข่าย ค่า Delay ที่วัดได้มีความแปรผันค่อนข้างสูง เนื่องจากในขณะที่สถานีมีการเคลื่อนที่ คุณภาพของช่องสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การปรับอัตราการส่งข้อมูลไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณในวิธีการ RBAR อาจไม่สามารถทำงานได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วได้ จึงทำให้ค่า Delay ที่วัดได้ มีความแปรผันค่อนข้างสูง แตกต่างจากวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งค่า Delay ที่วัดได้ จะมีค่าค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะมีการเคลื่อนที่ของสถานีในเครือข่ายก็ตาม



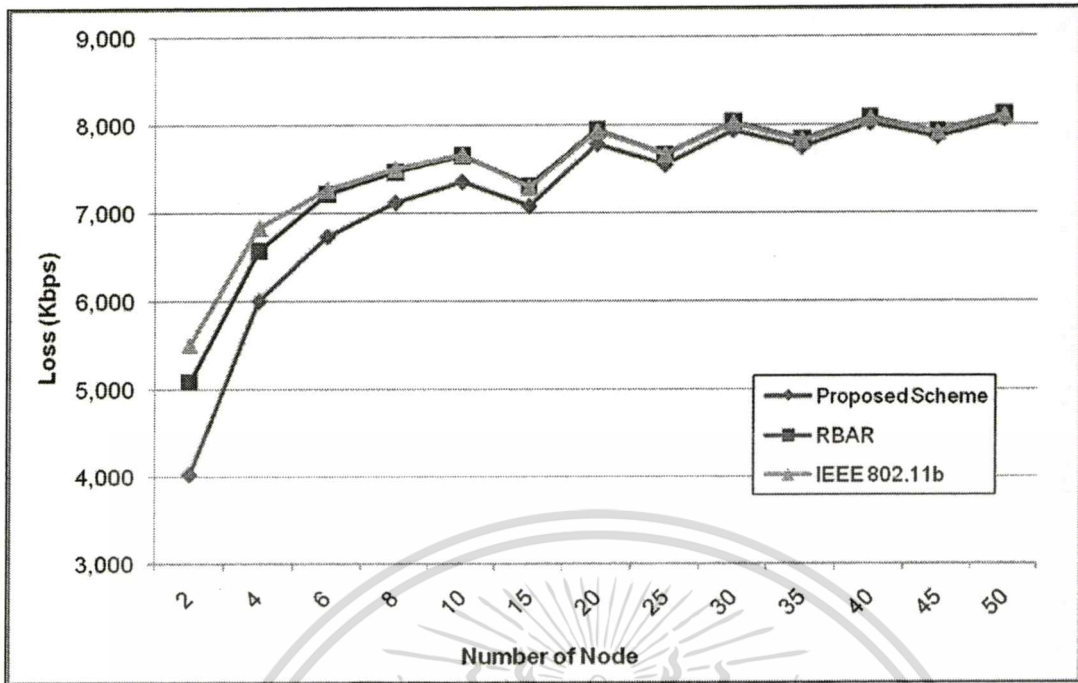
รูปที่ 5.9 ค่า Delay เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่

จากกราฟในรูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Delay เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี ในการจำลองการทำงานของระบบที่มีการเคลื่อนที่ของสถานีที่อยู่ในเครือข่าย จะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ มีค่า Delay ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR ถึง 32% และ 38% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ ยังคงลดปริมาณการชนกันของแพ็กเก็ตได้ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาวะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่



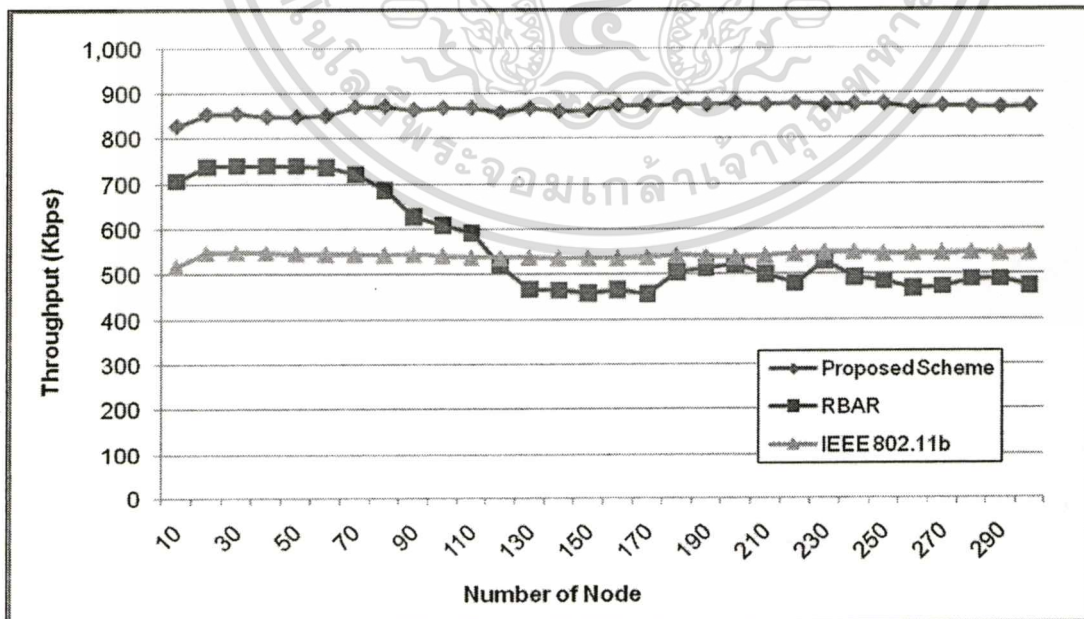
รูปที่ 5.10 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่

จากกราฟในรูป 5.10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเกิดในระบบที่มีการเคลื่อนที่ของสถานีในเครือข่าย จะเห็นว่า ในสภาวะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ วิธีการ RBAR จะมีอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นมากกว่าสภาวะที่สถานีในเครือข่ายหยุดนิ่ง ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากกระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณในวิธีการ RBAR อาจไม่สามารถทำงานได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลที่เลือกมาใช้งานนั้น ไม่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณ ทำให้อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเพิ่มสูงขึ้น ส่วนวิธีการที่นำเสนอมีอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการจำลองระบบในสภาวะที่สถานีในเครือข่ายหยุดนิ่ง เนื่องจากกระบวนการขยาย Backoff Time ยังสามารถทำงานได้ดีแม้สถานีในเครือข่ายจะมีการเคลื่อนที่นั่นเอง



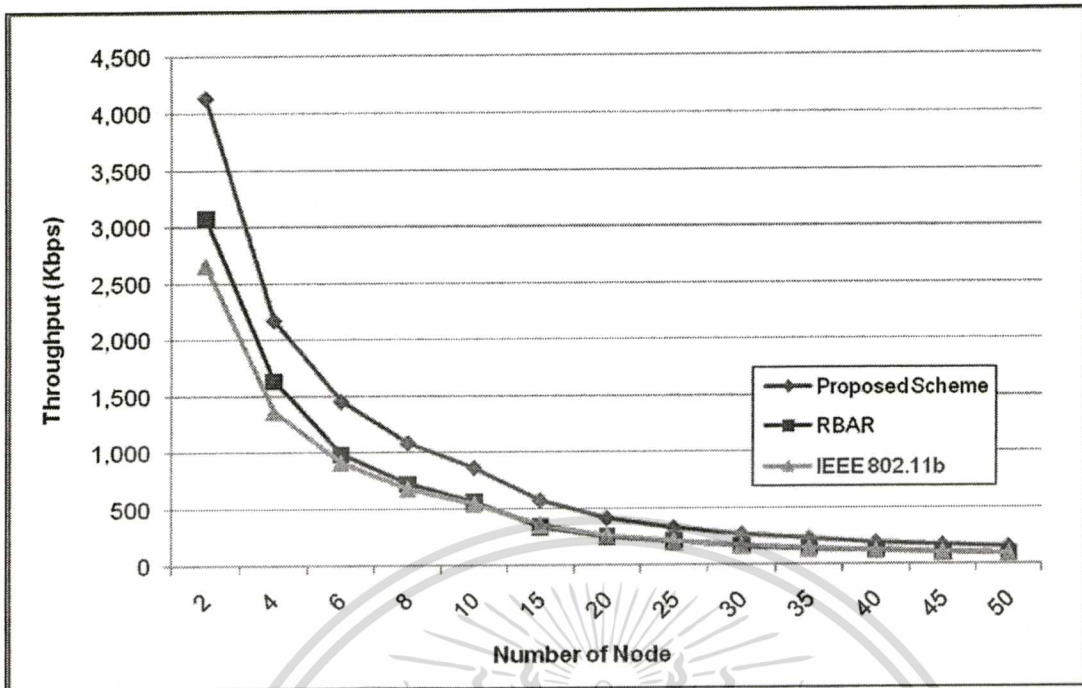
รูปที่ 5.11 อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่

รูป 5.11 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ จะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ ยังสามารถลดอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตลงได้กว่า 4.5% และ 3.5% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 ค่าทราฟฟิค เมื่อมีจำนวนสถานีในเครือข่าย 10 สถานี และมีการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ทราฟฟิคที่วัดได้ในแต่ละสถานี เมื่อสถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13 เมื่อเปรียบเทียบค่าทราฟฟิคที่วัดได้ในแต่ละสถานี ระหว่างวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีค่าทราฟฟิคเพิ่มขึ้น 57% และ 43% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ให้สูงขึ้นได้ ทั้งในสถานะที่สถานีในเครือข่ายหยุดนิ่ง และเคลื่อนที่

บทที่ 6

บทสรุปและแนวทางการพัฒนาต่อ

6.1 สรุป

เนื่องจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจตามมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถปรับอัตราการส่งข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น และลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากสัญญาณรบกวน หรือสิ่งกีดขวางในบริเวณตำแหน่งของผู้ส่งข้อมูล แต่การปรับอัตราการส่งข้อมูลโดยใช้ข้อมูลคุณภาพของช่องสัญญาณที่ฝั่งผู้ส่งอย่างเดียว อาจทำให้ค่าอัตราการส่งข้อมูลที่ได้อาจไม่เหมาะสมกับคุณภาพของช่องสัญญาณตลอดเส้นทางการส่งข้อมูลจริงๆ ดังนั้น การปรับกระบวนการวัดคุณภาพของช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะช่วยลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดจากการเสียหายของบิต และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายได้

นอกจากนี้ การที่เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจไม่สามารถตรวจสอบการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปได้ ในสถานะที่เครือข่ายมีการใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่นอาจทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในปริมาณมาก และหากมีการใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สูง การชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล จะทำให้ระบบสูญเสียทรูพุทเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการปรับช่วงเวลาหยุดรอให้มีความสอดคล้องกับความต้องการในการเข้าใช้งานเครือข่าย จะช่วยลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในเครือข่ายลงได้ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย ในสถานะที่มีความต้องการเข้าใช้งานอย่างหนาแน่นได้

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยใช้การปรับอัตราการส่งข้อมูลตามคุณภาพของช่องสัญญาณที่วัดได้ที่ฝั่งผู้รับ ในขั้นตอนการรับส่ง RTS/CTS ร่วมกับการทำงานของกระบวนการขยายช่วงเวลาหยุดรอ ในสถานะที่มีความต้องการเข้าใช้งานเครือข่ายอย่างหนาแน่น เพื่อลดอัตราการชนกันของข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ ได้มีการจำลองระบบ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR โดยแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 3 ส่วน คือ ทรูพุท (Throughput), อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ต (Loss Rate) และค่าเวลาหน่วง (Delay)

ผลจากการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่ เมื่อเปรียบเทียบค่า Delay ในการส่งแพ็กเก็ตของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีค่า Delay ในการส่งแพ็กเก็ตน้อยกว่า 40% และ 20% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่าวิธีการที่นำเสนอ สามารถลดอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตลง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ 4.25% และ 2% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบทรูพุทที่วัดได้ในวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่า ทรูพุทของวิธีการที่นำเสนอมีค่าเพิ่มขึ้น 55% และ 16% ตามลำดับ

ผลจากการจำลองระบบ ในสถานะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ 0-10 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองระบบของวิธีการที่นำเสนอ มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองระบบในวิธีการตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีค่า Delay ในการส่งแพ็กเก็ตน้อยกว่า 32% และ 38% ตามลำดับ มีอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตน้อยกว่า 4.5% และ 3.5% ตามลำดับ และมีทรูพุทเพิ่มขึ้น 57% และ 43% ตามลำดับ

ผลจากการจำลองระบบทั้งในสถานะที่สถานีในเครือข่ายหยุดนิ่ง และมีการเคลื่อนที่แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ ทั้งในสถานะที่มีปริมาณการเข้าใช้งานเครือข่ายเบาบาง และหนาแน่น และในสถานะที่สถานีในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ กระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูล และการขยายช่วง Backoff Time ในวิธีการที่นำเสนอ ก็ยังสามารถทำงานได้ดี และช่วยลดอัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตในเครือข่าย ที่เกิดจากการเสียหายของบิต (Bit Error) และการชนกันของแพ็กเก็ต (Collision) ให้มีค่าลดลงได้มากกว่าในมาตรฐาน IEEE 802.11b และวิธีการ RBAR อีกด้วย

6.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ก็ยังมีเทคนิคหรือวิธีการอื่นที่น่าสนใจที่สามารถนำมาปรับใช้กับวิธีการที่นำเสนอ เช่น การนำวิธีการปรับขนาดของแพ็กเก็ต มาใช้งานควบคู่กับการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ เนื่องจากแพ็กเก็ตที่มีขนาดเล็กกว่า จะมีความทนทานต่ออัตราการเสียหายของบิตข้อมูลที่สูงกว่า ดังนั้นการปรับขนาดของแพ็กเก็ตให้มีขนาดเล็กลง ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีคุณภาพที่ไม่ดี และปรับขนาดของแพ็กเก็ตให้ยาวขึ้น ในสถานะที่คุณภาพของช่องสัญญาณดี จะช่วยลดอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตและเพิ่มทรูพุทของระบบได้

บรรณานุกรม

- [1] Andrew S. Tannenbaum, **Computer Networks**, 4th Edition., Prentice Hall, 2003, pp. 33-41, 242-249.
- [2] **ANSI/IEEE. 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**. IEEE, 1999.
- [3] **IEEE standard for wireless LAN-medium access control and physical layer specification**, part 11, IEEE Press, New York, NY, 1999
- [4] D. Prakash Agrawal and Q. Zeng, **Introduction to Wireless and Mobile Systems**, Thomson Learning, 2003, pp. 132-134.
- [5] M. Natkanice and A. Pach, **An Analysis of the Backoff Mechanism used in IEEE 802.11 Networks**, Proceedings of ISSC'00, July, 2000.
- [6] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, **A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multihop Wireless Networks**, Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile and Networking (MOBICOMM'01), Rome, Italy, July, 2001.
- [7] W.H. Yuen, H. Lee and T.D. Anderson, **A Simple and Effective Cross Layer Networking System for Mobile Ad Hoc Networks**, Proceeding of the 13th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Lisbon, Portugal, Sep, 2002, pp. 1952 – 1956.
- [8] N. Yang, R. Sanker and J. Lee, **Improving Ad Hoc Network Performance Using Cross-Layer Information Processing**, Proceedings of The 2005 IEEE International Conference on Communications, May, 2005, pp. 2764 – 2768.
- [9] A. Balador, A. Movaghar and S. Jabbehdari, **History Based Contention Window Control in IEEE 82.11 MAC Protocol in Error Prone Channel**, Journal of Computer Science 6 (2), 2010, pp. 205 – 209.
- [10] The Network Simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/*

The actual 802.11 MAC class.

== */

```

class Mac802_11 : public Mac {
    friend class DeferTimer;

// change wrt Mike's code
    friend class BeaconTimer;

    friend class BackoffTimer;
    friend class IFTimer;
    friend class NavTimer;
    friend class RxTimer;
    friend class TxTimer;

public:
    // change wrt Mike's code
    Mac802_11();
    //    Mac802_11(PHY_MIB* p, MAC_MIB *m);
    void        recv(Packet *p, Handler *h);
    inline int   hdr_dst(char* hdr, int dst = -2);
    inline int   hdr_src(char* hdr, int src = -2);
    inline int   hdr_type(char* hdr, u_int16_t type = 0);

    // change wrt Mike's code
    inline int bss_id() { return bss_id_; }

    // Added by Sushmita to support event tracing
    void trace_event(char *, Packet *);
    EventTrace *et ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

protected:

```
void backoffHandler(void);
```

```
void deferHandler(void);
```

// change wrt Mike's code

```
void beaconHandler(void);
```

```
void navHandler(void);
```

```
void recvHandler(void);
```

```
void sendHandler(void);
```

```
void txHandler(void);
```

private:

```
int command(int argc, const char*const* argv);
```

```
/*
```

```
* Called by the timers.
```

```
*/
```

```
void recv_timer(void);
```

```
void send_timer(void);
```

```
int check_pktCTRL();
```

```
int check_pktRTS();
```

```
int check_pktTx();
```

```
/*
```

```
* Packet Transmission Functions.
```

```
*/
```

```
void send(Packet *p, Handler *h);
```

```
void sendRTS(int dst);
```

```
void sendCTS(int dst, double duration);
```

```
void sendACK(int dst);
```

```
void sendData(Packet *p);
```

```
void RetransmitRTS();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void    RetransmitDATA();

/*
 * Packet Reception Functions.
 */

void    recvRTS(Packet *p);
void    recvCTS(Packet *p);
void    recvACK(Packet *p);
void    recvDATA(Packet *p);

void    capture(Packet *p);
void    collision(Packet *p);
void    discard(Packet *p, const char* why);
void    rx_resume(void);
void    tx_resume(void);

inline int    is_idle(void);

/*
 * Debugging Functions.
 */

void    trace_pkt(Packet *p);
void    dump(char* fname);

inline int initialized() {

// change wrt Mike's code
//    return (phymib_ && macmib_ && cache_ && logtarget_ &&
//            Mac::initialized());

return (cache_ && logtarget_

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

// change wrt Mike's code
/*
void mac_log(Packet *p) {
    logtarget_ ->recv(p, (Handler*) 0);
}*/

inline void mac_log(Packet *p) {
    logtarget_ ->recv(p, (Handler*) 0);
}

double txtime(Packet *p);
double txtime(double psz, double drt);
double txtime(int bytes) { /* clobber inherited txtime() */ abort(); }

// change wrt Mike's code
inline void transmit(Packet *p, double timeout);
inline void checkBackoffTimer(void);
inline void postBackoff(int pri);
inline void setRxState(MacState newState);
inline void setTxState(MacState newState);

inline void inc_cw() {
    cw_ = (cw_ << 1) + 1;
// change wrt Mike's code
//    if(cw_ > phymib_ ->CWMax)
//        cw_ = phymib_ ->CWMax;
if(cw_ > phymib_.getCWMax())
    cw_ = phymib_.getCWMax();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// change wrt Mike's code
// inline void rst_cw() { cw_ = phymib_->CWMin; }
inline void rst_cw() { cw_ = phymib_.getCWMin(); }

inline double sec(double t) { return(t *= 1.0e-6); }
inline u_int16_t usec(double t) {
    u_int16_t us = (u_int16_t)floor((t *= 1e6) + 0.5);
    /* u_int16_t us = (u_int16_t)rint(t *= 1e6); */
    return us;
}

inline void set_nav(u_int16_t us) {
    double now = Scheduler::instance().clock();
    double t = us * 1e-6;

    if((now + t) > nav_) {
        nav_ = now + t;
        if(mhNav_.busy())
            mhNav_.stop();
        mhNav_.start(t);
    }
}
}
```

protected:

```
// change wrt Mike's code
```

```
/*
    PHY_MIB          *phymib_;
    MAC_MIB          *macmib_;
*/
```

```
PHY_MIB    phymib_;
```

```
MAC_MIB    macmib_;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* the macaddr of my AP in BSS mode; for IBSS mode
 * this is set to a reserved value IBSS_ID - the
 * MAC_BROADCAST reserved value can be used for this
 * purpose
 */
int bss_id;
enum {IBSS_ID=MAC_BROADCAST};

```

private:

```

double basicRate_;
double dataRate_;
double RXThresh_; // lmz receive power threshold (W)
int mode_; //lmz mode = 1 means RBAR
int count_send_data;
int count_receive_data;

/*
 * Mac Timers
 */
IFTimer mhIF_; // interface timer
NavTimer mhNav_; // NAV timer
RxTimer mhRecv_; // incoming packets
TxTimer mhSend_; // outgoing packets

DeferTimer mhDefer_; // defer timer
BackoffTimer mhBackoff_; // backoff timer

// change wrt Mike's code
BeaconTimer mhBeacon_; // to generate beacons

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* =====
Internal MAC State
=====

*/

double      nav_;          // Network Allocation Vector

MacState    rx_state_;    // incoming state (MAC_RECV or MAC_IDLE)
MacState    tx_state_;    // outgoing state
int         tx_active_;   // transmitter is ACTIVE

// change wrt Mike's code
Packet      *eotPacket_;  // copy for eot callback

Packet      *pktRTS_;     // outgoing RTS packet
Packet      *pktCTRL_;   // outgoing non-RTS packet

u_int32_t   cw_;         // Contention Window
u_int32_t   ssrc_;      // STA Short Retry Count
u_int32_t   slrc_;     // STA Long Retry Count

// change wrt Mike's code

// double    sifs_;      // Short Interface Space
// double    pifs_;      // PCF Interframe Space
double      difs_;      // DCF Interframe Space
double      eifs_;      // Extended Interframe Space

// double    tx_sifs_;
// double    tx_pifs_;
// double    tx_difs_;

int         min_frame_len_;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 NsObject* logtarget;
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// change wrt Mike's code
NsObject*   EOTtarget_; // given a copy of packet at TX end
```

```
/* =====
Duplicate Detection state
===== */
```

```
*/
u_int16_t   sta_seqno_; // next seqno that I'll use
int         cache_node_count_;
Host       *cache_;
};
```

```
void
```

```
Mac802_11::sendDATA(Packet *p)
```

```
{
```

```
    count_send_data++;
    hdr_cmn* ch = HDR_CMN(p);
    struct hdr_mac802_11* dh = HDR_MAC802_11(p);
```

```
    assert(pktTx_ == 0);
```

```
/*
```

```
 * Update the MAC header
```

```
*/
```

```
// change wrt Mike's code
```

```
//ch->size() += ETHER_HDR_LEN11;
```

```
ch->size() += phymib_.getHdrLen11());
```

```
dh->dh_fc.fc_protocol_version = MAC_ProtocolVersion;
```

```
dh->dh_fc.fc_type = MAC_Type_Data;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dh->dh_fc.fc_subtype = MAC_Subtype_Data;
//printf(".....p = %x, mac-subtype-%d\n",p,dh->dh_fc.fc_subtype);

dh->dh_fc.fc_to_ds = 0;
dh->dh_fc.fc_from_ds = 0;
dh->dh_fc.fc_more_frag = 0;
dh->dh_fc.fc_retry = 0;
dh->dh_fc.fc_pwr_mgt = 0;
dh->dh_fc.fc_more_data = 0;
dh->dh_fc.fc_wep = 0;
dh->dh_fc.fc_order = 0;

ch->bandwidth_ = dataRate_; // lmz not necessary;
/* store data tx time */
ch->txtime() = txtime(ch->size(), dataRate_);

// change wrt Mike's code
// if((u_int32_t)ETHER_ADDR(dh->dh_da) != MAC_BROADCAST) {

if((u_int32_t)ETHER_ADDR(dh->dh_ra) != MAC_BROADCAST) {
    /* store data tx time for unicast packets */
    ch->txtime() = txtime(ch->size(), dataRate_);

    //dh->dh_duration = DATA_DURATION();

    // chnage wrt Mike's code
    //dh->dh_duration = usec(txtime(ETHER_ACK_LEN, basicRate_)
        //+ sifs_);
    dh->dh_duration = usec(txtime(phymib_.getACKlen(), basicRate_)
        + phymib_.getSIFS());
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 } else {
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* store data tx time for broadcast packets (see 9.6) */
ch->txtime() = txtime(ch->size(), basicRate_);

dh->dh_duration = 0;
}
pktTx_ = p;
}

void
Mac802_11::RetransmitDATA()
{
    count_send_data++;
    struct hdr_cmn *ch;
    struct hdr_mac802_11 *mh;
// change wrt Mike's code
// u_int32_t *rcount, *thresh;
u_int32_t *rcount, thresh;
assert(mhBackoff_busy() == 0);

assert(pktTx_);
assert(pktRTS_ == 0);

ch = HDR_CMN(pktTx_);
mh = HDR_MAC802_11(pktTx_);

/*
 * Broadcast packets don't get ACKed and therefore
 * are never retransmitted.
 */

// change wrt Mike's code
// if((u_int32_t)ETHER_ADDR(mh->dh_da) == MAC_BROADCAST) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
if((u_int32_t)ETHER_ADDR(mh->dh_ra) == MAC_BROADCAST) {
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Packet::free(pktTx_); pktTx_ = 0;

/*
 * Backoff at end of TX.
 */
rst_cw();
mhBackoff_.start(cw_, is_idle());

return;
}

// change wrt Mike's code
// macmib_ ->ACKFailureCount++;
macmib_.ACKFailureCount++;

// chnage wrt Mike's code
/*
if((u_int32_t) ch->size() <= macmib_ ->RTSThreshold) {
    rcount = &ssrc_;
    thresh = &macmib_ ->ShortRetryLimit;
}
else {
    rcount = &slrc_;
    thresh = &macmib_ ->LongRetryLimit;
}*/

if((u_int32_t) ch->size() <= macmib_.getRTSThreshold()) {
    rcount = &ssrc_;
    thresh = macmib_.getShortRetryLimit();
}
else {
    rcount = &slrc_;
    thresh = macmib_.getLongRetryLimit();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

```

```
(*rcount)++;

```

```
// change wrt Mike's code

```

```
//if(*rcount > *thresh) {

```

```
//    macmib_ ->FailedCount++;

```

```
if(*rcount >= thresh) {

```

```
    /* IEEE Spec section 9.2.3.5 says this should be greater than
       or equal */

```

```
    macmib_ .FailedCount++;

```

```
    /* tell the callback the send operation failed
       before discarding the packet */

```

```
    hdr_cmn *ch = HDR_CMN(pktTx_);

```

```
    if(ch->xmit_failure_) {

```

```
        // change wrt Mike's code

```

```
        //ch->size() -= ETHER_HDR_LEN11;

```

```
        ch->size() -= phymib_.getHdrLen11();

```

```
        ch->xmit_reason_ = XMIT_REASON_ACK;

```

```
        ch->xmit_failure_(pktTx_ ->copy(),

```

```
            ch->xmit_failure_data_);

```

```
    }

```

```
    discard(pktTx_, DROP_MAC_RETRY_COUNT_EXCEEDED); pktTx_ = 0;

```

```
    //printf("(%d)DATA discarded: count exceeded\n",index_);

```

```
    *rcount = 0;

```

```
    rst_cw();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

struct hdr_mac802_11 *dh;
dh = HDR_MAC802_11(pktTx_);
dh->dh_fc.fc_retry = 1;

// change wrt Mike's code
//sendRTS(ETHER_ADDR(mh->dh_da));
sendRTS(ETHER_ADDR(mh->dh_ra));
//printf("(%d)retxing data:%x..sendRTS..\n",index_,pktTx_);
inc_cw();
mhBackoff_.start(cw_, is_idle());
}
}

void
Mac802_11::recvACK(Packet *p)
{
    count_receive_data++;
    struct hdr_cmh *ch = HDR_CMH(p);

    if(tx_state_ != MAC_SEND) {
        discard(p, DROP_MAC_INVALID_STATE);
        return;
    }

    //printf("(%d).....recving ACK:%x\n",index_,p);
    assert(pktTx_);
    //Packet::free(pktTx_); pktTx_ = 0;

    mhSend_.stop();

    /*

```

* The successful reception of this ACK packet implies
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 * that our DATA transmission was successful. Hence,
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

* we can reset the Short/Long Retry Count and the CW.
*
* need to check the size of the packet we sent that's being
* ACK'd, not the size of the ACK packet.
*/
if((u_int32_t) HDR_CMN(pktTx_)->size() <= macmib_.getRTSThreshold())
    ssrc_ = 0;
else
    slrc_ = 0;

rst_cw();
Packet::free(pktTx_); pktTx_ = 0;

/*
* Backoff before sending again.
*/
//rst_cw();
assert(mhBackoff_.busy() == 0);
mhBackoff_.start(cw_, is_idle());

tx_resume();

mac_log(p);
}

```

```
inline int
```

```
Mac802_11::is_idle()
```

```
{
```

```
    // change wrt Mike's code
```

```
#ifdef INTERLEAVING
```

```
#define INTERLEAVING_TIME 0.030
```

```
    Scheduler &s = Scheduler::instance();
```

```
    double st = s.clock();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int cw_x = Random::random() % cw_;
int myscheme_cw=0;
double Pc = count_receive_data/count_send_data;
if(Pc <=0.1)
    myscheme_cw = cw_x;
else if(Pc < 0.2)
    myscheme_cw = cw_x+1;
else if(Pc <=0.3)
    myscheme_cw = cw_x+2;
else myscheme_cw = cw_x+3;

double nextCycle = floor(st / (INTERLEAVING_TIME*2) + 1)
    * INTERLEAVING_TIME*2;
double nextSwitch = nextCycle - INTERLEAVING_TIME
    - phymib_.getDIFS()
    - phymib_.getSIFS()
    + txtime(phymib_.getCTSlen(), basicRate_)
    - txtime(phymib_.getCTSlen(), basicRate_) * 2
    - (myscheme_cw) * phymib_.getSlotTime();
if ((st >= nextSwitch) && (st < nextCycle)) {
    if (nextCycle > nav_) {
        nav_ = nextCycle;
        if (mhNav_.busy()) {
            mhNav_.stop();
        }
        mhNav_.start(nextCycle - st);
    }
}
return(0);
}

```

#endif

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 // change ends
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(rx_state_ != MAC_IDLE)
    return 0;

if(tx_state_ != MAC_IDLE)
    return 0;

if(nav_ > Scheduler::instance().clock())
    return 0;

return 1;
}

void
Mac802_11::recvRTS(Packet *p)
{
    struct rts_frame *rf = (struct rts_frame*)p->access(hdr_mac::offset_);

    if(tx_state_ != MAC_IDLE) {
        discard(p, DROP_MAC_BUSY);
        return;
    }

    /*
     * If I'm responding to someone else, discard this RTS.
     */

    if(pktCTRL_) {
        discard(p, DROP_MAC_BUSY);
        return;
    }

    sendCTS(ETHER_ADDR(rf->rf_ta), rf->rf_duration);

```

//lmz
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 double temp_rate = dataRate_;
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// right now pktRx_ is received RTS packet
double recv_power = 10*log10(1000 * (pktRx_ ->txinfo_.RxPr));
// hack for now...need automated value here
double recv_threshold = 10*log10(p->txinfo_.RXThresh * 1000 ); //(W -> mW)
double difference = recv_power - recv_threshold;

/*
if (mode_ == 1 ) { // Multirate RBAR

    if (difference > 0 && difference < 3)
        temp_rate = 1000000.00;
    else if (difference >= 3 && difference < 7 )
        temp_rate = 2000000.00;
    else if (difference >= 7 && difference < 12 )
        temp_rate = 5500000.00;
    else if (difference >= 12)
        temp_rate = 11000000.00;
}
*/
if(recv_power < 0.4)
{
    temp_rate = 2000000.00;
} else if(recv_power < 0.6)
    temp_rate = 5500000.00;
else
    temp_rate = 11000000.00;

// debug by lmz
fprintf(stdout, "%f, %d, %f, %f, %fn", Scheduler::instance().clock(), index_,
temp_rate, recv_threshold, recv_power);

// pktCTRL_ is CTS
HDR_CMN(pktCTRL_) -> bandwidth_ = temp_rate;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 // !-lmz
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*  
 * Stop deferring - will be reset in tx_resume().  
 */  
if(mhDefer_.busy()) mhDefer_.stop();  
  
tx_resume();  
  
mac_log(p);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ประทีป ปรงประเสริฐ, ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์ภูรัตน์, “การเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจด้วยเทคนิคการปรับอัตราการส่งข้อมูลแบบพลวัต”, PSU-Engineering Conference (PEC8), pp. 243-246, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ประเทศไทย, เมษายน 22-23, 2553.

การเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจด้วยเทคนิคการปรับอัตราการส่ง ข้อมูลแบบพลวัต

Performance Improvement for Ad-Hoc Network using Adaptive Rate

ประทีป ปรงประเสริฐ¹ ตักศิชัย ทิพย์จักษ์สุรัตน์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: s8060702@kmitl.ac.th

Prateep Prungprasert¹

Sakchai Thipchaksurat²

^{1,2}Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: s8060702@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้เราได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลของเครือข่ายโดยขึ้นกับการประมาณค่าคุณภาพของช่องสัญญาณที่ได้รับข้อมูลจากผู้รับข้อมูล และ มีการนำข้อมูลการเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมาพิจารณาถึงการปรับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลด้วย โดยวิธีการของเราที่นำเสนอนี้เราได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานโดยอาศัยข้อมูลช่องสัญญาณ จากชั้นกายภาพ และ ข้อมูลการเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งจาก ชั้นควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลและช่วงเวลาให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานของเครือข่าย โดยเราได้ทำการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม NS-2 เพื่อวัดประสิทธิภาพ ซึ่งจากผลการจำลองการทำงานพบว่าวิธีการของเราที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายได้มากกว่าวิธีการมาตรฐานเดิม

คำหลัก: เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ, การปรับอัตราเร็วของการส่งข้อมูล, การจัดการด้วยข้อมูลการชนกัน

Abstract

In this paper, we propose the scheme for performance improvement of Ad-Hoc Network using rate adaptive. In this scheme, we consider channel quality estimation base on receiver information and average packet collision used to consider time interval to send data packet. Our proposed scheme use channel quality from physical layer (PHY) and collision rate from medium access control layer (MAC) to adjust transmission data rate and backoff period follow the network condition. We evaluate the performance using

simulation by NS-2. The result show that our scheme provide the higher throughput and low loss

Keywords: Wireless Ad Hoc, Rate Adaptive, Collision Base

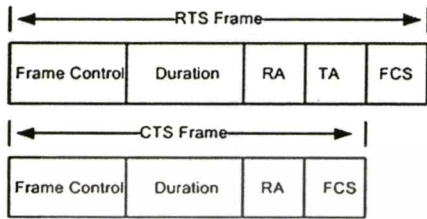
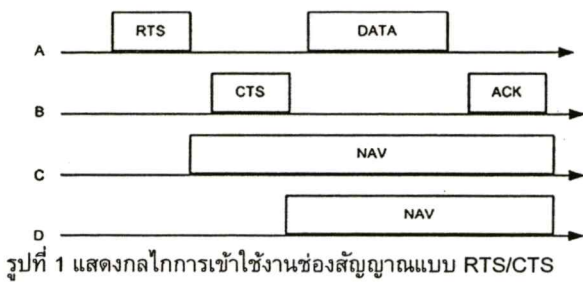
1. บทนำ

ในปัจจุบันเครือข่ายไร้สายได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน และความสามารถในการสร้างเครือข่ายเพื่อใช้งานได้แม้ในช่วงที่เกิดภัยธรรมชาติ เช่น ซึนามิ, ช่วงที่เกิดภัย เป็นต้น

ในการส่งข้อมูลของเครือข่ายไร้สายแบบ CSMA/CA ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 [5] กำหนดให้ก่อนที่ผู้ส่งจะมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไปยังผู้รับปลายทาง ผู้ส่งจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ต Request To Send (RTS) ก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังผู้รับ ปลายทางเพื่อเป็นการแจ้งความประสงค์ที่จะทำการส่งข้อมูล ซึ่งเมื่อผู้รับปลายทางพร้อมที่จะทำการรับข้อมูลจะทำการส่งแพ็กเก็ต Clear To Send (CTS) ตอบไปยังผู้ส่ง โดยที่โหนดอื่นที่อยู่ในพื้นที่บริการเมื่อได้รับแพ็กเก็ต RTS หรือ CTS จะทำการเซตช่วงเวลาหยุดรอ (NAV) เพื่อให้การส่งข้อมูลเสร็จสิ้นก่อนทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไป โดยแสดงลักษณะของเฟรมข้อมูล และ การทำงานดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 ตามลำดับ

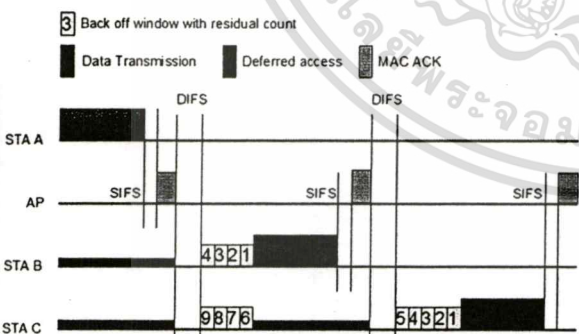
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงเฟรม RTS และ CTS

นอกจากนี้ ในการส่งข้อมูลของเครือข่ายไร้สาย 802.11b จะมีกระบวนการ Distributed Coordination Function (DCF) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งาน Backoff mechanism ก่อนที่จะมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไปเพื่อช่วยลดอัตราการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยเมื่อผู้ส่ง มีแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะส่ง มันจะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนเป็นอันดับแรก ถ้าช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานอยู่ มันจะเริ่มหยุดการทำงานกระบวนการ Backoff หลังจากนั้น หากมันตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างในช่วงเวลาเท่ากับ DCF Interframe Spacing (DIFS) สถานะนี้จะทำการสุ่มเวลา (Random Time) ซึ่งเรียกว่าช่วงเวลาคงหยุด (Backoff period) เพื่อที่จะมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไปถ้าช่องสัญญาณยังคงว่าง หลังจากที่ผ่านมาพ้นช่วง Backoff period กระบวนการทำงานของ DCF สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการทำงานของ DCF

แต่เนื่องจากเครือข่ายไร้สายจะใช้การสุ่มเลือกช่วงเวลาในการส่งข้อมูล และ ในบางครั้งแพ็กเก็ตข้อมูลอาจมีการสูญหายระหว่างทาง หรือไม่รับทราบโดยทั่วกัน (Hidden Station Problem) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีการส่ง แพ็กเก็ตข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน เป็นผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล (Collision) ขึ้นได้ จึงมีการนำเสนอวิธีการต่าง ๆ เพื่อลดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นได้ในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในงานวิจัยฉบับนี้เราได้จัดหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนที่ 2 เราจะอธิบายถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการที่เรานำเสนอจะอธิบายรายละเอียดในส่วนที่ 3 สำหรับส่วนที่ 4 และส่วนที่ 5 จะกล่าวถึงการจำลองการทำงานของระบบ และ ผลการทดลองเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ตามลำดับ และ เราสรุปรงานวิจัยนี้ใน ส่วนที่ 6

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานเครือข่าย โดยการปรับอัตราการส่งข้อมูล ใน [1] ได้นำเสนอวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลสำหรับการเครือข่ายไร้สายแบบ multi-hop ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประมาณคุณภาพของช่องสัญญาณที่มีการแปรผันมาก ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ใน [2] ได้นำเสนอวิธีการทำงานข้ามชั้น (Cross Layer) ซึ่งการทำงานร่วมกันหลายชั้นอาจเป็นผลทำให้เกิดความยุ่งยากในการที่จะนำไปใช้งานจริง ใน [3] ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ข้อมูลความคับคั่งที่สังเกตได้จากโหนด (Local information) เพื่อใช้ในการเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการทำงานแต่ละชั้น ใน [4] ได้นำเสนอวิธีการ ทำงานข้ามชั้น โดยได้มีการปรับแก้เฟรม RTS/CTS เพื่อใช้แสดงถึงอัตราการส่งข้อมูลและความเร็วในการส่งข้อมูลซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้คำนวณ และจะพบว่าวิธีการนี้จะเป็นการใช้งานช่องสัญญาณไม่เต็มประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3. วิธีการที่นำเสนอ : Receiver Base Rate Adaptive (RBRA)

วิธีการของเราที่นำเสนอที่เราจะเรียกว่า Receiver Base Rate Adaptive (RBRA) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ เมื่อผู้ส่ง (Sender) ต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังผู้รับปลายทาง (Receiver) ผู้ส่งจะทำการส่งแพ็กเก็ต RTS ไปยังผู้รับปลายทาง ซึ่งเมื่อผู้รับได้รับแพ็กเก็ต RTS จะทำการคำนวณค่า Power received indication (Pr) : ที่ได้จากแพ็กเก็ต RTS ที่ได้รับเพื่อหาค่าอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม (Data rate) แล้วจึง ส่งค่าอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมตอบกลับไปยังผู้ส่งผ่านทางแพ็กเก็ต CTS เพื่อให้ผู้ส่งใช้อัตราการส่งข้อมูลนี้ในการส่งข้อมูลมายังผู้รับ โดยอัตราการส่งข้อมูลจะแปรผันตามค่า Pr ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราการส่งข้อมูลที่แปรผันตามค่า Pr

Power received indication (Pr)	Data rate (MB)
0 – 0.4	2
0.41 – 0.60	5.5
0.61 – 1.00	11

ผู้ส่งและผู้รับจะมีการเก็บค่าเฉลี่ยของการเกิดการชนกัน (Collision) ของแพ็กเก็ตข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที ในแต่ละโหนดที่ส่งไปรวมถึงค่าเฉลี่ย ของอัตราการส่งข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

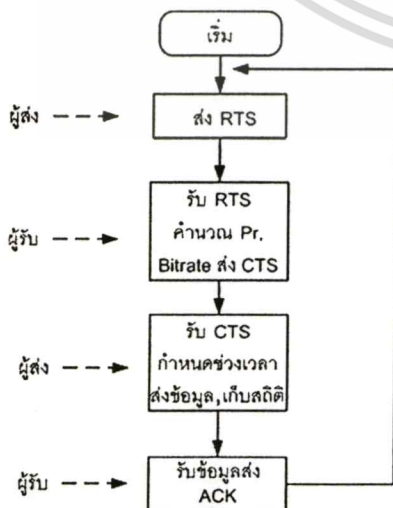
และควบคุมช่วงเวลาในการส่งข้อมูล ซึ่งหากโหนดใดพบว่าการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในเครือข่ายเกิดขึ้นจำนวนมากในช่วงเวลานั้นระบบจะทำการขยายช่วงเวลาการหยุดรอ ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลออกไป เพื่อเป็นการช่วยลดความคับคั่ง (Congestion) ของข้อมูลในระบบ และ ลดความสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลที่อาจเกิดขึ้น โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของการเกิดการชนกันของข้อมูล สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_{cl} = 1 - \frac{ACK_{received}}{PKT_{sent} + PKT_{retransmit}} \quad (1)$$

โดยที่ P_{cl} คือค่าเฉลี่ยของการเกิดการชนกันของข้อมูล $ACK_{received}$ คือจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกไปแล้วได้รับ ACK ตอบกลับ PKT_{sent} คือจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไป $PKT_{retransmit}$ คือจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ทำการส่งซ้ำ หลังจากนั้นจะนำค่า P_{cl} ที่คำนวณได้มาหาอัตราขยายช่วงเวลาการหยุดรอ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (2)

$$\begin{aligned} \text{if } (P_{cl} \leq 0.1) \\ & Backoff_{new} = Backoff_{current} \\ \text{elseif } (P_{cl} \leq 0.2) \\ & Backoff_{new} = Backoff_{current} + 1 \\ \text{elseif } (P_{cl} \leq 0.3) \\ & Backoff_{new} = Backoff_{current} + 2 \\ \text{else} \\ & Backoff_{new} = Backoff_{current} + 3 \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ $Backoff_{current}$ คือช่วงเวลาการหยุดรอที่ผู้ส่งสามารถ $Backoff_{new}$ คือช่วงเวลาการหยุดรอที่คำนวณได้จาก P_{cl} วิธีการทำงานของ RBRA นั้นแสดงการทำงานดังโฟลชาร์ต ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงโฟลชาร์ตการทำงานของระบบ

4. การจำลองการทำงานของระบบ

การจำลองการทำงานของระบบในงานวิจัยฉบับนี้เราได้ใช้โปรแกรม Network Simulator version 2 (NS-2) [6] โดยมีกำหนดสถานะในการจำลองการทำงานของระบบซึ่งมีพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 และมีสภาพแวดล้อมในการจำลองการทำงานของระบบดังรูปที่ 5

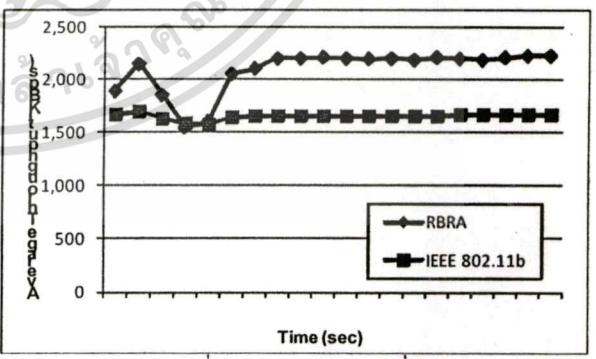
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบ

พารามิเตอร์	ค่า
พื้นที่ที่ใช้ในการจำลองระบบ	1000 x 1000 เมตร
จำนวนโหนด	10 โหนด
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ	100 วินาที
วิธีการส่งข้อมูล	Constant bit rate (CBR)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1 เมกะบิตต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล	1000 ไบต์



รูปที่ 5 แสดงสภาพแวดล้อมการจำลองการทำงานของระบบ

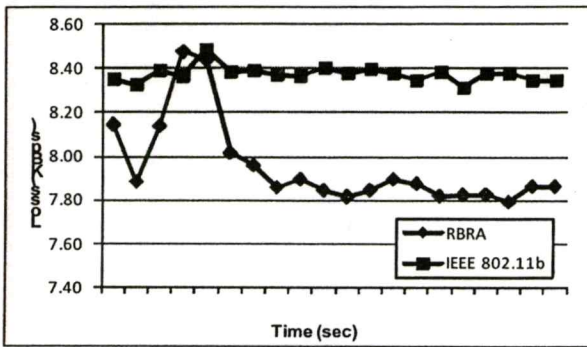
5. ผลการจำลองการทำงานของระบบ



รูปที่ 6 แสดงค่าทราฟฟิคเฉลี่ย

จากผลการจำลองการทำงานของระบบพบว่าวิธีการที่นำเสนอ RBRA ให้ค่า ทราฟฟิคที่สูงกว่าวิธีการมาตรฐานที่เมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่แปรผันตามค่า Pr สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดงอัตราการสูญเสียข้อมูล

จากผลการจำลองการทำงานของระบบพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้อัตราการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลที่น้อยกว่าวิธีการมาตรฐาน IEEE 802.11b ดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการขยายช่วงเวลากการหยุดรอให้มีระยะเวลามากขึ้น จะช่วยลดการชนกันของข้อมูล และทำให้อัตราการสูญเสียข้อมูลลดลง

6. สรุป

งานวิจัยที่เรานำเสนอ ได้แสดงวิธีการปรับปรุงการทำงานของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข้อมูล และ ช่วยลดปัญหาการเกิดความคับคั่งของข้อมูล ด้วยวิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมตามแต่ละสถานะของเครือข่าย โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าคุณภาพของช่องสัญญาณของแต่ละโหนดที่ได้จากแพ็กเก็ต RTS และ ผู้รับทำการส่งค่าการประมาณอัตราการส่งข้อมูลตอบกลับไปยังผู้ส่งผ่านทางแพ็กเก็ต CTS ซึ่งจากการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม NS-2 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงาน ของระบบ และมีกระบวนการทำงานที่ง่าย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Holland, G., Vaidya, N. and Bahl, P. 2001. A rate-adaptive MAC protocol for multihop wireless networks. Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile and Networking (MOBICOM'01), Rome, Italy, Jul. 2001
- [2] Yuen, W.H., Lee, H. and Andersen, T.D. 2002. A Simple and effective cross layer networking system for mobile ad hoc networks. Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Lisbon, Portugal, Sep. 2002: 1952 - 1956
- [3] Yih-Chun Hu and David B. Johnson. 2004. Exploiting congestion information in network and higher layer protocols in multihop wireless ad hoc networks. Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'04), Mar. 24 -

26, 2004: 301-310

- [4] Yang, N., Sanker, R. and Lee J. 2005. Improving Ad Hoc Network Performance Using Cross-Layer Information Processing. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Communications, May. 16 - 20, 2005: 2764 - 2768
- [5] ISO/IEC 8802-11; ANSI/IEEE Std. 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE, 1999.
- [6] The Monarch Project of Carnegie Mellon University, <http://monarch.cs.cmu.edu/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายประทีป ปรงประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดพะเยา สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากภาควิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นในปี พ.ศ. 2545 ได้เข้าทำงาน ในบริษัท IEC Technology ในตำแหน่งโปรแกรมเมอร์ และปี 2546 ได้ เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ (RIHES) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จนถึงปี พ.ศ. 2548 จากนั้น จึงเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 โดยในปี พ.ศ. 2550 ได้เข้า ทำงานในตำแหน่งวิศวกรเครือข่าย ที่บริษัทซีเอสอีอ็อกอินโฟจำกัด มหาชน จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้