

การศึกษาระบบมัลติเซนเนลสำหรับเครือข่ายไร้สาย IEEE802.11

THE STUDIES OF MULTICHANNEL SYSTEM IN IEEE 802.11 WIRELESS
NETWORK

สมเกียรติ รัตนกุล
SOMKIAT RATTANAKOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2640-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาระบบมัลติแชนเนลสำหรับเครือข่ายไร้สาย IEEE802.11

THE STUDIES OF MULTICHANNEL SYSTEM IN IEEE 802.11 WIRELESS
NETWORK

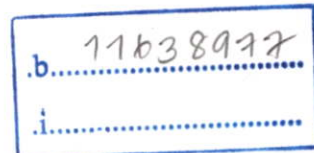


สมเกียรติ รัตนกุล

SOMKIAT RATTANAKOON

อพ.
ศ 232 ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63633
วัน,เดือน,ปี 3 0 ส.ค. 2549



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2640-7

**THE STUDIES OF MULTICHANNEL SYSTEM IN IEEE 802.11 WIRELESS
NETWORK**

SOMKIAT RATTANAKOON

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

2006

ISBN 974-15-2640-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาระบบมัลติเซนเนลสำหรับเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11
นักศึกษา	นายสมเกียรติ รัตนกุล
รหัสนักศึกษา	46061219
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวกภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบมัลติเซนเนลสำหรับเครือข่ายไร้สายที่ทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายที่ทำงานภายใต้มาตรฐานนี้ให้สามารถรองรับภาระงานได้สูงขึ้นและสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้มีอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำเสนอรูปแบบเครือข่าย 4 รูปแบบคือ แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งและด้านรับแบบคงที่ (Fixed Transmitter-Fixed Receiver: FT-FR) แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งคงที่ด้านรับปรับค่าได้ (Fixed Transmitter-Tunable Receiver: TT-FR) แบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับคงที่ (Tunable Transmitter-Fixed Receiver: TT-FR) และแบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับปรับได้ (Tunable Transmitter-Tunable Receiver: TT-TR) โดยการศึกษาค่าสมรรถนะของเครือข่ายมัลติเซนเนลที่มีโครงสร้างแบบต่างๆเปรียบเทียบกัน ประกอบด้วยการศึกษาค่าเวลาห้วงค่าวิสัยสามารถ และประสิทธิภาพของการใช้งานช่องสัญญาณของแต่ละโครงสร้างเมื่อเครือข่ายมีภาระงานสูงสุด และแสดงค่าสมรรถนะของเครือข่ายตามค่าตัวแปรต่างๆที่เปลี่ยนไป ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นว่า เครือข่ายมัลติเซนเนลนั้นสามารถรองรับการใช้งานได้ดีกว่าระบบช่องสัญญาณเดี่ยวทั้งในด้านของค่าวิสัยสามารถ ค่าเวลาห้วง และประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ

Thesis Title	The Studies of Multichannel System in IEEE 802.11 Wireless Network
Student	Mr. Somkiat Rattanakoon
Student ID.	46061219
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

In this thesis, the IEEE 802.11 MAC-based Multichannel Wireless Network Models are introduced to improve the network performances in the saturated condition. These four Multichannel Wireless Network Models are Fixed Transmitter-Fixed Receiver (FT-FR), Fixed Transmitter-Tunable Receiver (FT-TR), Tunable Transmitter Fixed Receiver (TT-FR) and Tunable Transmitter-Tunable Receiver (TT-TR). The Analytical model also has been given to evaluate the system throughput and delay time according to varying IEEE 802.11 DCF parameters. The Analytical test shows that the proposed models yield better throughput, channel efficiency, and delay performance compared to single channel system when the network is fully loaded.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยการให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดียิ่งจากรศ.ดร. สุวิพล สิริชิวภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าในหลักสูตรนี้ รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมเกียรติ รัตนกุล

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.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 มาตรฐาน IEEE 802.11	5
2.1 มาตรฐาน 802.11.....	5
2.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11	5
2.2.1 IEEE 802.11b.....	6
2.2.2 IEEE 802.11a.....	6
2.2.3 IEEE 802.11g.....	6
2.2.4 IEEE 802.11e.....	7
2.2.5 IEEE 802.11i.....	7
2.3 การเชื่อมต่อเครือข่าย 802.11.....	8
2.3.1 โหมด Infrastructure.....	8
2.3.2 โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer.....	9
2.4 การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ.....	9
2.4.1 CSMA with Random Back-Off.....	10
2.4.2 CSMA/CD.....	11

สารบัญ(ต่อ)

2.4.3 CSMA/CA with Acknowledgement	11
2.5 IEEE 802.11 Frame Format.....	14
บทที่ 3 ระบบเครือข่ายมัลติเซินเนล.....	16
3.1 เครือข่ายมัลติเซินเนลทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11.....	16
3.2 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Fixed Transmitter - Fixed Receiver (FT-FR).....	17
3.2.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ FT-FR.....	17
3.2.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ FT-FR.....	18
3.3 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Fixed Transmitter - Tunable Receiver (FT-TR).....	20
3.3.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ FT-TR.....	20
3.3.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ FT-TR.....	20
3.4 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Tunable Transmitter - Fixed Receiver (TT-FR).....	23
3.4.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ TT-FR.....	23
3.4.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ FT-TR.....	23
3.5 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Tunable Transmitter - Tunable Receiver (TT-TR).....	25
3.5.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ TT-TR.....	25
3.5.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ TT-TR.....	25
บทที่ 4 การหาค่าสมรรถนะของระบบ.....	28
4.1 ฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณ	28
4.1.1 Contention Windows.....	28
4.1.2 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ.....	29
4.2 ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	33
4.3 ค่าเวลาหน่วง.....	35
บทที่ 5 สมรรถนะของเครือข่าย.....	38
5.1 ความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ	38
5.1.1 เครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียว.....	38
5.1.2 เครือข่ายมัลติเซินเนล.....	42

สารบัญ(ต่อ)

5.2 สมรรถนะของเครือข่าย.....	48
5.2.1 ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	48
5.2.2 ประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ (Channel Efficiency).....	54
5.2.3 ค่าเวลาหน่วง	56
บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....	60
6.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	60
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ IEEE 802.11b.....	15

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 IEEE 802.11 Protocol stack.....	7
2.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Infrastructure Mode.....	8
2.3 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Ad hoc หรือ Peer-to-Peer Mode.....	9
2.4 โครงสร้างของ IEEE 802.11 MAC.....	10
2.5 ขนาดของ Contention Windows (CW).....	11
2.6 แสดงการเกิด Hidden Node Problem.....	12
2.7 ฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการ DCF.....	13
2.8 กลไกควบคุมการใช้ช่องสัญญาณแบบ RTS/CTS.....	13
2.9 เปรียบมาตรฐานของ IEEE 802.11	14
2.10 รายละเอียดของ Frame Control Field.....	14
2.11 Control Frames.....	14
3.1 RTS/CTS Access Mechanism.....	16
3.2 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Fixed Transmitter - Fixed Receiver.....	17
3.3 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Fixed Transmitter - Tunable Receiver	20
3.4 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Tunable Transmitter - Fixed Receiver.....	23
3.5 เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ Tunable Transmitter - Tunable Receiver	25
4.1 ฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการ back-off.....	29
4.2 การเกิดเวลาหน่วง.....	35
5.1 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ	38
และค่า CWmin (W) และ ค่า Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50, M = 1$	
5.2 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณไม่สำเร็จ p_f	39
กับค่า CWmin (W) และ Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50, M = 1$	
5.3 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s และ.....	40
ค่า CWmin(W) และ ค่า Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50, M = 1$	
5.4 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s และ.....	41
ค่า CWmin และจำนวนสถานีในระบบ เมื่อ $m = 5, M = 1$	
5.5 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่จะมีเพียงสถานีเดียวส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_1	41
และค่า CWmin (W) เมื่อ $m = 5, M = 1$	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ และ.....	42
จำนวนสถานีของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5$	
5.7 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ	43
และจำนวนสถานีในเครือข่าย ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5$	
5.8 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ	44
และจำนวนสถานีในเครือข่าย ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR FT-FR TT-FR และ FT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, M = 3$	
5.9 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s	45
และจำนวนสถานีในเครือข่าย เมื่อ $CW \min = 32, m = 5$	
5.10 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s	46
กับค่า $CW \min$ และ Back-off stage ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR เมื่อ $N = 50, M = 2$	
5.11 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s	47
และจำนวนสถานีของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR FT-FR TT-FR และ FT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, M = 2$	
5.12 ค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR,TT-FR,TT-TR	48
เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, Packet Size = 8192bits$	
5.13 ค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณ S_{ch} ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR,.....	49
TT-FR,TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, Packet Size = 8192bits$	
5.14 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} และความยาวของเพกเก็ตของ.....	50
เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, N = 50$	
5.15 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR.....	51
และ $CW \min$ และ Back-off stages เมื่อ $Packet Size = 8192bits, M = 2, N = 50$	
5.16 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} และค่า $CW \min$ ของเครือข่ายมัลติเซินเนล.....	52
แบบ TT-FR, FT-TR, TT-TR เมื่อ $M = 2, m = 5, Packet Size = 8192bits$	
5.17 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR.....	53
และ $CW \min$ และ Back-off stages เมื่อ $Packet Size = 8192bits, M = 2, N = 50$	
5.18 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} กับค่า $CW \min$ และ Back-off stage.....	53
ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-FR เมื่อ $M = 2, N = 50, Packet Size = 8192bits$	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19 ค่าประสิทธิภาพใช้งานช่องสัญญาณ η ของเครือข่ายมัลติเซินเนล.....	54
เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, Packet \ Size = 8192bits$	
5.20 ค่าประสิทธิภาพใช้งานช่องสัญญาณ η ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ.....	55
FT-FR, FT-TR, TT-FR, TT-TR เมื่อ $M = 2, W = 32, m = 5$	
5.21 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพใช้งานช่องสัญญาณ η และขนาดความยาวข้อมูล.....	55
เมื่อ $N = 50, CW \min = 32, m = 5$	
5.22 ความสัมพันธ์ค่าเวลาหน่วง T_d กับจำนวนสถานีในเครือข่าย.....	56
เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, Packet \ Size = 8192bits$	
5.23 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วง T_d กับจำนวนสถานีในเครือข่าย	57
เมื่อ $M = 2, CW \min = 32, m = 5, Packet \ Size = 8192bits$ ของเครือข่ายมัลติเซินเนล	
5.24 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับค่า $CW \min$	58
เมื่อ $N = 50, Packet \ Size = 8192bits, M = 2$	
5.25 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับค่า $CW \min$ และค่า Back-off Stage ของเครือข่าย.....	59
มัลติเซินเนลแบบ TT-FR เมื่อ $N = 50, Packet \ Size = 8192bits, M = 2$	
5.26 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับขนาดความยาวข้อมูล ของเครือข่ายแบบ TT-TR	59
เมื่อ $N = 50, m = 5, CW \min = 32$	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นระบบเครือข่ายภายในสำนักงาน หรือการให้บริการในพื้นที่สาธารณะเช่น บริเวณศูนย์การค้า สนามบิน ร้านกาแฟ หรือแม้แต่กระทั่งระบบเครือข่ายภายในบ้าน (Home Network) ระบบเครือข่ายแบบไร้สายได้กลายเป็นตัวเลือกที่สามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างดี ทั้งในด้านของผู้ให้บริการและผู้บริโภค เพราะมีความสะดวก ประหยัด สามารถเข้าถึงผู้ใช้บริการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย(Wireless Local Area Network :WLAN)ในปัจจุบัน โดยบรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์ได้ผลิตอุปกรณ์ออกมาสนับสนุนไม่ว่าจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เครื่องพีดีเอ (PDA) หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือ ก็สนับสนุนการทำงานบนมาตรฐานนี้

ระบบ WLAN ทำงานที่ย่านความถี่ 2.4GHz ซึ่งประกอบด้วยช่องสัญญาณจำนวน 12 ช่องสัญญาณซึ่งจะมีช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานได้พร้อมๆกันได้โดยไม่เกิดกันรบกวนกันถึง 3 หรือ 4 ช่องสัญญาณขึ้นอยู่กับข้อกำหนดการใช้ความถี่ของแต่ละประเทศ อุปกรณ์เครือข่ายที่ทำงานภายใต้มาตรฐานนี้ โดยปกติจะถูกกำหนดให้ทำงานที่ช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้ถึงแม้ว่าช่องสัญญาณนั้นมีการใช้งานอย่างคับคั่งก็ตาม ดังนั้นในกรณีที่จำนวนสถานีในเครือข่ายมีมากขึ้น หรือกรณีที่ปริมาณข้อมูลของเครือข่ายมีความหนาแน่นก็จะเกิดปัญหาเวลาหน่วงของข้อมูลสูง จนกระทั่งในบางครั้งไม่สามารถใช้งานได้ อันเนื่องมาจากการแย่งชิงการใช้ช่องสัญญาณและเกิดการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายมากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดต่ำลง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบเครือข่ายไร้สายแบบมัลติเซินเนลที่สามารถทำงานได้บนหลายช่องสัญญาณเพื่อเป็นการเพิ่มค่าสมรรถนะของเครือข่ายในสภาวะที่มีจำนวนสถานีในเครือข่ายจำนวนมากหรือมีปริมาณข้อมูลหนาแน่น โดยการพิจารณารูปแบบของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบต่างๆ โดยนำมาตรฐาน IEEE 802.11 มาอ้างอิงในการทำงานของระบบ และศึกษาถึงค่าสมรรถนะในด้านค่าเวลาหน่วง ค่าวิสัยสามารถ และประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณของเครือข่ายแต่ละแบบเปรียบเทียบกัน และแสดงถึงค่าตัวแปรต่างๆมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วยเครือข่ายมัลติเซินเนล 4 แบบคือ

1.แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งและด้านรับแบบคงที่

(Fixed Transmitter-Fixed Receiver: FT-FR)

2.แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งคงที่ด้านรับปรับค่าได้

(Fixed Transmitter-Tunable Receiver: TT-FR)

3.แบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับคงที่

(Tunable Transmitter-Fixed Receiver: TT-FR)

4.แบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับปรับได้

(Tunable Transmitter-Tunable Receiver: TT-TR)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เพื่อเป็นการศึกษาสมรรถนะระบบในสถานะที่มีปริมาณข้อมูลหนาแน่น กำหนดให้แต่ละสถานีมีข้อมูลสำหรับการส่งตลอดเวลาหลังจากการส่งข้อมูลสำเร็จจะมีข้อมูลสำหรับใหม่สำหรับการส่งทันที และกำหนดให้กระบวนการควบคุมเป็นไปอย่างสมบูรณ์ แต่ละสถานีสามารถทราบถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่านกระบวนการควบคุม และไม่พิจารณาผลจากคุณสมบัติของช่องสัญญาณ แต่ละสถานีมีเครื่องรับส่ง(Transceiver) แบบ half-duplex สำหรับส่งข้อมูล สถานีละ 1 ชุด สามารถรับหรือส่งข้อมูลระหว่างสถานีได้ครั้งละ 1 คู่ไม่สามารถรับหรือส่งพร้อมกันได้มากกว่า 1 สถานี ยกเว้นในกรณีของเครือข่ายแบบ Fixed Transmitter –Fixed Receiver สถานีมีเครื่องรับส่งแบบ half-duplex เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งาน และสามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมกัน

มาตรฐาน IEEE 802.11 กำหนดให้ช่องสัญญาณมีความกว้างเท่ากับ 22MHz โดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่ 11Mbps ในวิทยานิพนธ์นี้เรากำหนดให้แบ่งช่องสัญญาณที่มีความกว้าง 22MHz ออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆจำนวน M ช่อง โดยแต่ละช่องสัญญาณมีความกว้างเท่ากับ 22/M MHz และมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 11/M Mbps สำหรับใช้เป็นช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลและอาศัยกระบวนการควบคุมตามมาตรฐาน IEEE802.11 MAC ในการทำงาน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เครือข่าย IEEE 802.11 นั้นเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมีมากขึ้นปัญหาที่ตามมาคือเกิดความคับคั่งในเครือข่าย เกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง เนื่องจากช่องสัญญาณไม่ได้ถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูลเต็มที่ เพราะต้องเสียไปเนื่องจากเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาระบบเครือข่ายมัลติเซชันเนลโดยการนำมาตรฐาน IEEE 802.11 MAC มาใช้ในกระบวนการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่ายไร้สายให้สามารถรองรับการใช้งานที่หนาแน่นได้ โดยการเพิ่ม

โอกาสให้สถานีในเครือข่ายสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณได้มากขึ้น อาศัยการทำให้เครือข่ายสามารถทำงานได้บนหลายช่องสัญญาณ แต่ละสถานีในเครือข่ายสามารถเลือกใช้ช่องสัญญาณได้ ซึ่งจะช่วยลดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณได้ ทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายสูงขึ้น ค่าเวลาหน่วงต่ำลง และประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

IEEE 802.11 MAC เป็นมาตรฐานสำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายซึ่งสถานีในระบบทำงานที่ช่องสัญญาณเดียวตลอดเวลา ดังนั้นในกรณีที่มีการใช้งานอย่างหนาแน่นก็จะเกิดการล่าช้าของข้อมูลเนื่องจากเกิดจากการชนกันจึงต้องมีการส่งข้อมูลซ้ำ จากการศึกษากระบวนการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้น เมื่อพิจารณาระบบที่มีปริมาณการใช้งานอย่างหนาแน่น เราทราบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณนั้นคือการชนกันในช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากจำนวนสถานีในระบบเป็นหลัก ดังนั้นหากสามารถลดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณได้ จะทำให้โอกาสที่สถานีจะสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จสูงขึ้น ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นแต่ละสถานีในเครือข่ายจะใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน โดยช่องสัญญาณมีความกว้าง 22MHz เพียงช่องเดียวจึงไม่สามารถลดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณได้ ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณที่มีขนาดเล็กลง แต่เพิ่มจำนวนช่องสัญญาณให้มากขึ้น ทำให้สามารถลดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณและสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะของระบบให้สูงขึ้นได้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะของระบบ ประกอบด้วยค่าวิสัยสามารถ ค่าเวลาหน่วง และประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณเมื่อระบบมีการะงานสูงสุด โดยการแบ่งรูปแบบเครือข่ายออกเป็น 4 แบบคือ แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งและด้านรับแบบคงที่ (Fixed Transmitter-Fixed Receiver: FT-FR) แบบกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งคงที่ด้านรับปรับค่าได้ (Fixed Transmitter-Tunable Receiver: TT-FR) แบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับคงที่ (Tunable Transmitter-Fixed Receiver: TT-FR) และแบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับได้ด้านรับปรับได้ (Tunable Transmitter-Tunable Receiver: TT-TR) โดยแสดงสมรรถนะของระบบเมื่อกำหนดการทำงานด้วยมาตรฐาน IEEE 802.11 และใช้วิธีการควบคุมแบบ DCF (Distributed Coordination Function) พร้อมกับกระบวนการ RTS/CTS handshaking ในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยการวิเคราะห์สมรรถนะของเครือข่ายแต่ละแบบเปรียบเทียบกัน

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.11 วิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณ รูปแบบของเฟรม และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมาตรฐาน 802.11

บทที่ 3 กล่าวถึงรูปแบบของเครือข่ายมัลติเซินเนล และประสิทธิภาพของเครือข่าย

บทที่ 4 กล่าวถึงการหาค่าสมรรถนะของระบบ

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

มาตรฐาน IEEE 802.11

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของมาตรฐาน IEEE 802.11 การทำงานพื้นฐานและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและการประเมินค่าสมรรถนะของเครือข่าย

2.1 มาตรฐาน 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 [1] ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย(Wireless Local Area Network : WLAN) ซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับเป็นข้อกำหนดของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่ย่าน 2.4 GHz และ 5 GHz, และ แสงอินฟราเรด (Infrared) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกการทำงานโดยอาศัยโปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งการทำงานมีความใกล้เคียงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งใช้กับเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE802.11 ยังมีข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ด้วยการใช้กลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) เรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย ซึ่งภาพรวมของมาตรฐาน IEEE 802.11 แสดงดังรูปที่ 2.1

2.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

หลังจากที่มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานนี้สามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่อ อินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกนั้นมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่จำเป็นสำหรับการทำงานในบางประเภท อีกทั้งในส่วนของการรักษาความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายนั้นยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการ

ปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานเป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

2.2.1 IEEE 802.11b

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์เพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz (เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่น ๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

2.2.2 IEEE 802.11a

คณะทำงานชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดเล็กกว่า (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN

2.2.3 IEEE 802.11g

คณะทำงานชุด IEEE 802.11g ได้ใช้นาเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วย

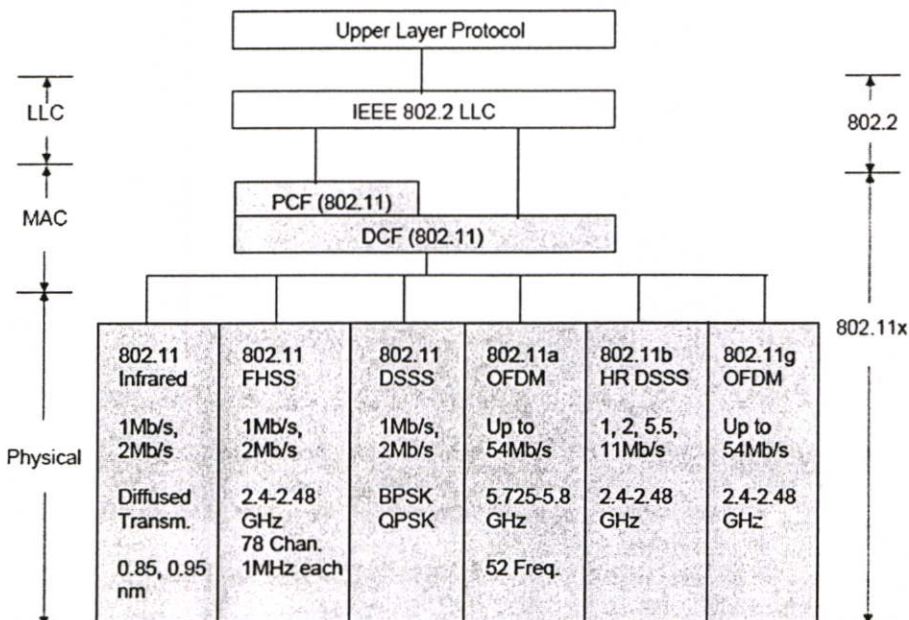
ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้

2.2.4 IEEE 802.11e

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับการใช้งานที่เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้

2.2.5 IEEE 802.11i

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้



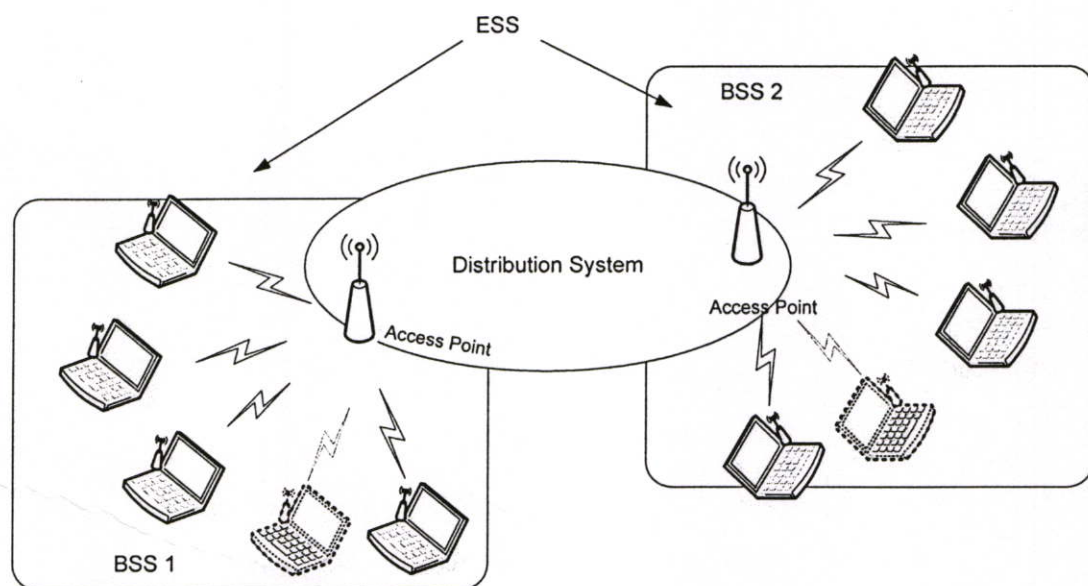
รูปที่ 2.1 IEEE 802.11 Protocol stack

2.3 การเชื่อมต่อเครือข่าย 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือ โหมด Infrastructure และ โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

2.3.1 โหมด Infrastructure

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่างๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีใช้นั้นๆ ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้ การเชื่อมต่อใน Infrastructure mode ประกอบด้วย Basic Service Set (BSS) ซึ่งหมาย



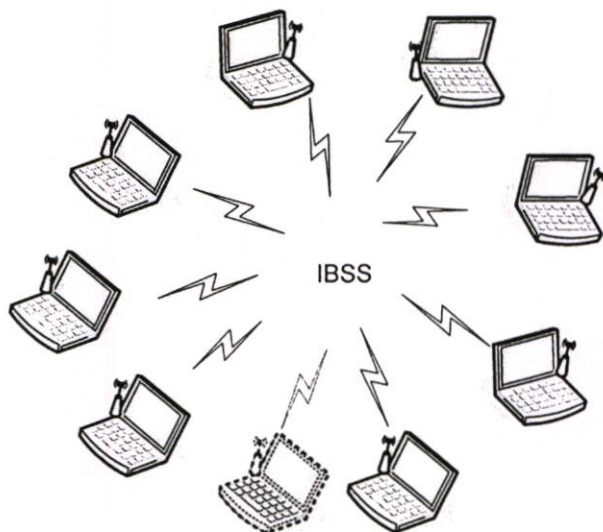
รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Infrastructure Mode

ถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้ภายในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายนี้เท่านั้น และ Extended Service Set (ESS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่ประกอบด้วย BSS

มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้โดย BSS เหล่านี้จะทำการ Roaming หรือติดต่อสื่อสารกันเพื่อทำการโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้อย่างกล่าว

2.3.2 โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายปิดคือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มี การเชื่อมต่อ กับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นๆได้

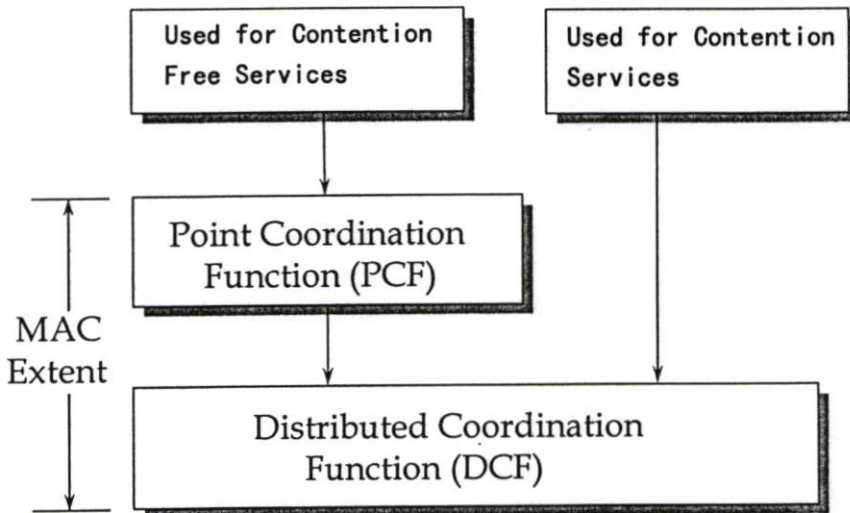


รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Ad hoc หรือ Peer-to-Peer Mode

2.4 การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

บทบาทหนึ่งของ MAC Layer ในมาตรฐาน IEEE 802.11 คือการจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งแต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS จะต้องแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดมาสำหรับใช้งานร่วมกัน มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้ใช้กลไกการเข้าใช้ช่องสัญญาณไว้สองแบบคือแบบกระจายเรียกว่า Distributed Coordination Function(DCF) และแบบรวมศูนย์เรียกว่า Point Coordination Function (PCF) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการ DCF เป็นหลักซึ่งกระบวนการนี้อาศัยการทำงานของโปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ในการจัดการเพื่อใช้ช่องสัญญาณร่วมกันด้วยกระบวนการ DCF แต่ละสถานีจะคอยช่วงชิงการใช้ช่องสัญญาณเมื่อไม่มีสถานีใดใช้งาน

ช่องสัญญาณแล้ว หากตรวจสอบได้ว่ามีสถานีใดใช้ช่องสัญญาณอยู่ก็จะรอคอยต่อไปจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง และในส่วนของ PCF นั้นจะใช้วิธีการ Polling เป็นกลไกในการเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งเหมาะสำหรับลักษณะการใช้งานที่ต้องการค่าเวลาหน่วงที่คงที่ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เราจะพิจารณาเฉพาะการทำงานที่ใช้การควบคุมแบบ DCF



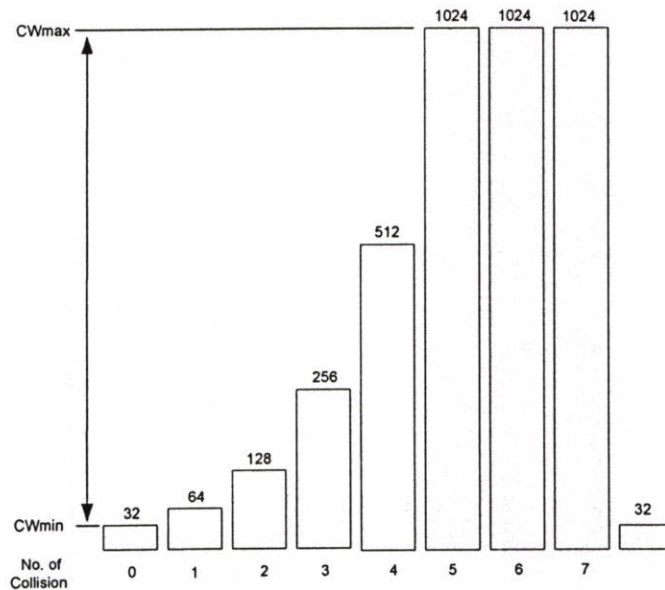
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ IEEE 802.11 MAC

2.4.1 CSMA with Random Back-Off

กลไก CSMA (Carrier Sense Multiple Access) with Random Back-Off เป็นเทคนิคอย่างง่ายสำหรับจัดการการเข้าใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานี กลไกนี้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN หลักการทำงานของกลไก CSMA คือ เมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณ สถานีดังกล่าวจะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่นทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่และรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างแล้วสถานีที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะต้องรอต่อไปอีกระยะหนึ่ง (Random Back-off) ซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าหลังจากเสร็จการใช้ช่องสัญญาณครั้งก่อน สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อน แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีกลไกดังกล่าวอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลในเวลาพร้อมๆ กันซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณได้ ซึ่งหากเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณขึ้นจะต้องมีการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งด้วยกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งกำหนดให้การสุ่มค่าเวลา Back-off Timer ภายในค่า Contention Windows (CW) ตั้งแต่ 32-1024 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยที่เมื่อสถานีตรวจสอบได้ว่าเกิดการชนกันในช่องสัญญาณค่า Contention

Window ก็จะถูกปรับให้มากขึ้นตามจำนวนครั้งของการชนกัน จนถึงค่า CW_{max} ก็จะคงค่านี้ไว้ จนกว่าการส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จจึงจะกลับมาที่ค่า CW_{min} อีกครั้งเมื่อมีการส่งข้อมูล ครั้งต่อไป



รูปที่ 2.5 ขนาดของ Contention Windows (CW)

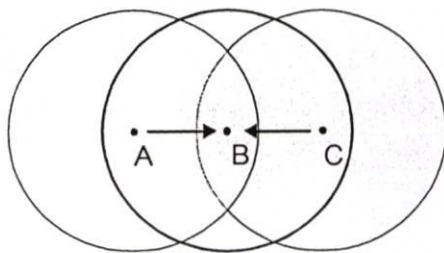
2.4.2 CSMA/CD

กลไก CSMA/CD (Collision Detection) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีซึ่งถูกนำมาใช้ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN ซึ่งการทำงานกลไก CSMA/CD โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจสอบว่าเกิดการชนกันของสัญญาณหรือไม่ ในกรณีนี้สถานีที่กำลังทำการส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องคอยตรวจสอบด้วยว่ามีการชนกันของสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่ โดยใช้วิธีการตรวจวัดระดับแรงดัน (voltage) ของสัญญาณในสายสัญญาณว่ามีค่าสูงกว่าปกติหรือไม่ ซึ่งหากระดับแรงดันของสัญญาณในสายสัญญาณมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่าเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้น ในกรณีดังกล่าวสถานีที่กำลังส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องยกเลิกการส่งสัญญาณทันทีและปฏิบัติตามกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งต่อไป

2.4.3 CSMA/CA with Acknowledgement

เทคนิค CSMA/CD ไม่สามารถนำมาใช้กับ WLAN ซึ่งใช้การสื่อสารแบบไร้สายได้ สาเหตุหลักๆ ก็คือการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณจะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็น Full Duplex ที่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้ ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้

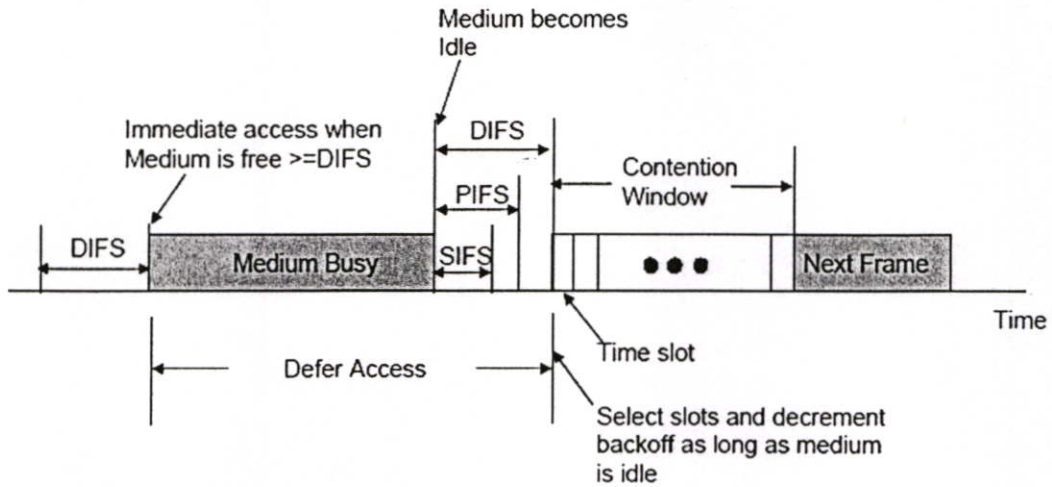
แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นทุกสถานีหรือปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node Problem ดังในรูปที่ 2.6 สถานี A ได้ยินสัญญาณจากสถานี B แต่ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี C และในทางกลับกันสถานี C ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี A แต่ได้ยินสัญญาณจาก B ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นสถานการณ์เกิดขึ้นใน WLAN โดยทั่วไป ดังนั้นการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณโดยตรงเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปได้เลย มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้กำหนดให้ใช้เทคนิค CSMA/CA with Acknowledgement สำหรับการจัดการการเข้าใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานีเพื่อแก้ไขปัญหาล่าช้า ซึ่งการทำงานของกลไก CSMA/CA โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-Off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณและเทคนิคสำหรับการตรวจสอบว่าเกิดการชนของสัญญาณหรือไม่นั้น สถานีผู้ส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องรอรับ Acknowledgement จากสถานีที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ Acknowledgement กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนของสัญญาณขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป



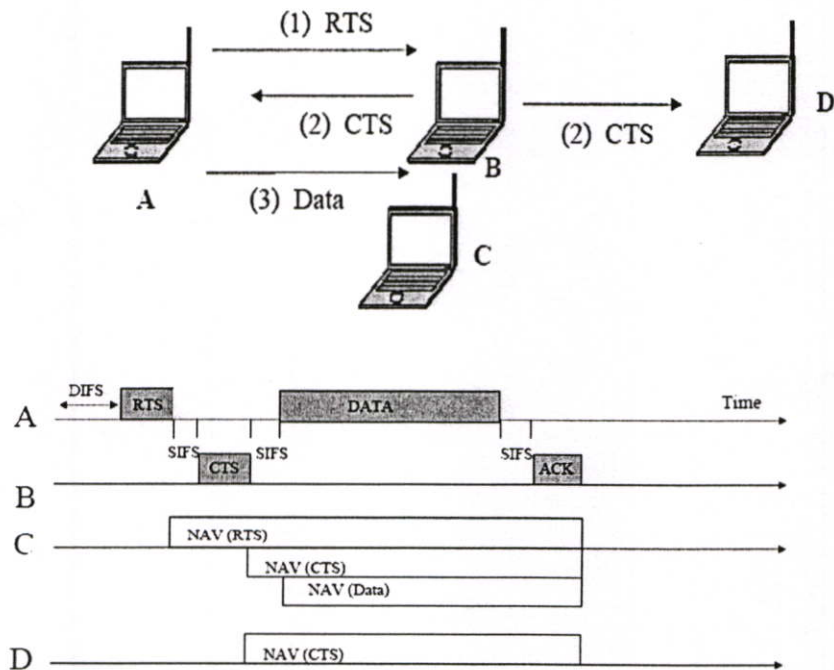
รูปที่ 2.6 แสดงการเกิด Hidden Node Problem

สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้น มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาล่าช้าที่แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นบางสถานี (Hidden Node Problem) กลไกดังกล่าวมีการทำงานดังนี้ เมื่อสถานีที่ต้องการจะส่งเฟรมข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้วจะทำการส่งเฟรม RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งเฟรมข้อมูลจริง ซึ่งเฟรม RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึง Address ของสถานีผู้ส่งและผู้รับ เมื่อสถานีผู้รับได้ยินสัญญาณ RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งสัญญาณ CTS (Clear To Send) ซึ่งจะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าสถานีที่กำลังจะทำการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุกสถานีใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้ยินสัญญาณ RTS หรือไม่ว่า CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS ทุกสถานีจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่ระบุไว้ใน Duration ID ซึ่งช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกสถานี

ที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ทุกๆสถานีจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริงๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่



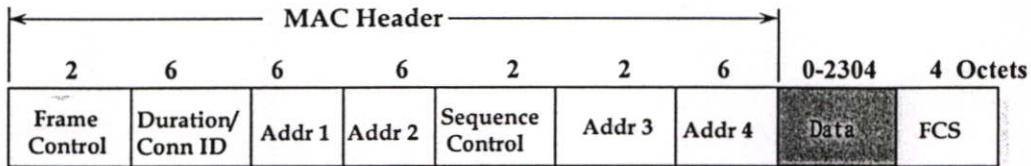
รูปที่ 2.7 ผังการทำงานของกระบวนการ DCF



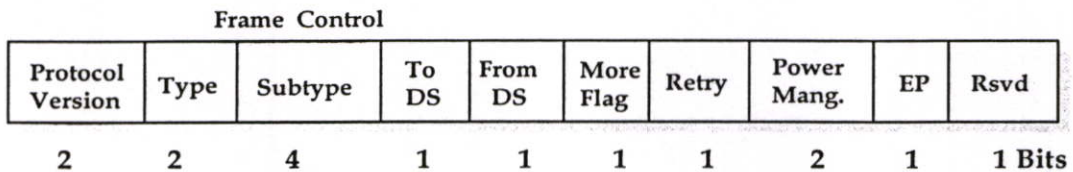
รูปที่ 2.8 กลไกควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ RTS/CTS

2.5 IEEE 802.11 Frame Format

กระบวนการควบคุมตามมาตรฐาน IEEE 802.11 อาศัยการส่งเฟรมต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย Control Frame Data Frame และ Management Frame ซึ่งชนิดต่างๆของเฟรมจะถูกกำหนดใน ส่วนของ Frame Control Field ดังรูปที่ 2.9 เป็นเฟรมมาตรฐานของ IEEE 802.11 MAC ซึ่ง ประกอบด้วยส่วนหัวของเฟรม (MAC Header) ส่วนของข้อมูล (Data) และส่วนตรวจสอบ ความถูกต้องของเฟรม (Frame Check Sequence :FCS)

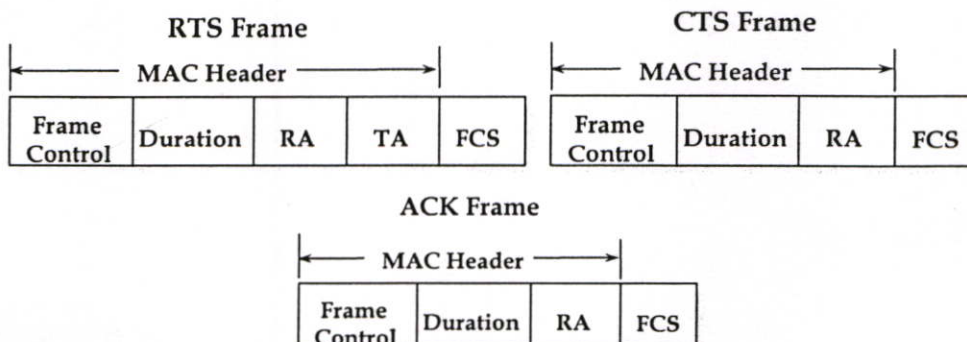


รูปที่ 2.9 เฟรมมาตรฐานของ IEEE 802.11



รูปที่ 2.10 รายละเอียดของ Frame Control Field

Frame Control Field เป็นฟิลด์ที่บ่งบอกชนิดของเฟรมว่าเป็นเฟรมชนิดใด ได้แก่ เฟรมข้อมูล (Data Frame) เฟรมควบคุม (Control Frame) และ เฟรมบริหาร (Management Frame) ซึ่งจะบอก ด้วยฟิลด์ Type และ Subtype ประเภทคือ Control Frame ได้แก่ เฟรม RTS (Request to Sent) เฟรม CTS (Clear to Send) เฟรม ACK (Acknowledge) ดังรูปที่ 2.11 แต่ละเฟรมประกอบด้วย



รูปที่ 2.11 Control Frames

ส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ MAC Header และ FCS โดยภายในเฟรมควบคุมจะประกอบด้วยฟิลด์ RA ซึ่งจะบอกถึงสถานีด้านรับ TA คือสถานีด้านส่ง และ Duration ซึ่งจะบอกระยะเวลาที่สถานีที่ต้องใช้สำหรับการส่งข้อมูล หรือเป็นตัวบอกระยะเวลาที่ช่องสัญญาณจะถูกใช้งาน โดยแต่ละสถานีจะตั้งเวลาค่านี้ไว้และคอยตรวจสอบช่องสัญญาณเมื่อหมดเวลาที่กำหนด ซึ่งค่าเวลาต่างๆ สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้ได้สรุปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ IEEE 802.11b

Parameters	Default	Parameters	Default
Channel Rate	11 Mbps	CTS	14 Octets+PHY
PHY Header	192 bits	SIFS	10 μ sec
MAC header	34 Octets	DIFS	50 μ sec
ACK	14 Octets+PHY	Slot time (δ)	20 μ sec
RTS	20 Octets+PHY	CW	32-1024

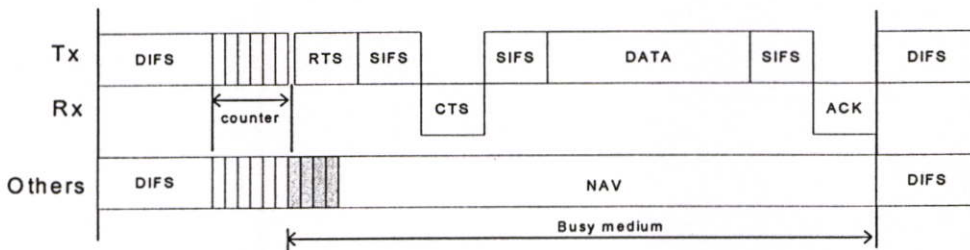
บทที่ 3

เครือข่ายมัลติเซินเนล

ในบทนี้เป็นการอธิบายการทำงานของเครือข่ายมัลติเซินเนล โดยกล่าวถึงรูปแบบและการทำงานของเครือข่าย การหาค่าประสิทธิภาพของเครือข่ายแต่ละรูปแบบเมื่อทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 MAC

3.1 เครือข่ายมัลติเซินเนลทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11

กระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณตาม IEEE 802.11 MAC กำหนดให้ สถานีต้นทางเมื่อมีข้อมูลที่ต้องการส่งจะต้องเข้าสู่กระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control: MAC) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 RTS/CTS Access Mechanism

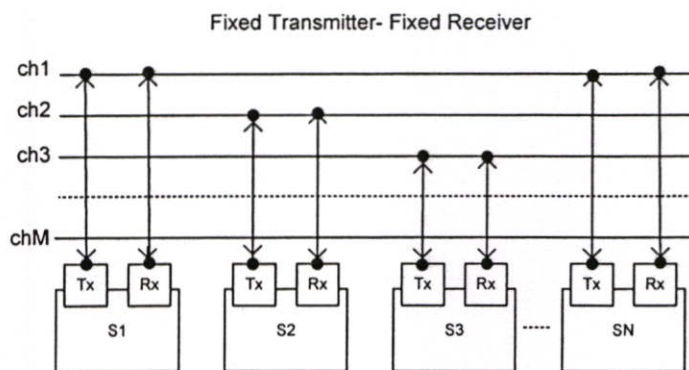
ด้านส่ง (TX) หลังจากที่ได้ตรวจพบว่าช่องสัญญาณว่างเป็นระยะเวลาเท่ากับ DIFS แล้วจะเริ่มทำการลดค่าเวลา Back off Timer ที่มีอยู่ในขณะเดียวกันก็จะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณไปด้วย หากพบว่าช่องสัญญาณไม่ว่างสถานีจะตั้งเวลาค่ารอคอยช่องสัญญาณว่าง NAV (Network Allocation Vector) เพื่อการเริ่มนับใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งค่าเวลา Back off Timer เป็นศูนย์ ด้านส่งจะทำการส่งเฟรม RTS เพื่อทำการจองช่องสัญญาณและรอคอยเฟรม CTS จากด้านรับ หากด้านส่งไม่ได้รับเฟรม CTS หรือ ACK ในระยะเวลาที่กำหนด SIFS ก็จะถือว่าการเข้าใช้ช่องสัญญาณไม่สำเร็จซึ่งอาจเกิดจากการชนกันของข้อมูลทำให้ด้านรับไม่สามารถรับสัญญาณได้ สถานีส่งจะเริ่มกระบวนการส่งใหม่อีกครั้งจนกว่าการส่งจะสำเร็จ เรานำหลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยกระบวนการ RTS/CTS (RTS/CTS Mechanism) มาใช้งานกับเครือข่ายไร้สายแบบหลายช่องสัญญาณ (Multi-channel System) เพื่อขยายขีดความสามารถในการรองรับการใช้งานของเครือข่ายให้สูงขึ้น โดยพิจารณาเครือข่ายมัลติเซินเนลที่ตามรูปแบบการทำงานเป็น 4 รูปแบบคือ

1. โครงสร้างแบบ ช่องสัญญาณด้านส่งคงที่ ช่องสัญญาณด้านรับคงที่
(Fixed Transmitter-Fixed Receiver: FT-FR)

2. โครงสร้างแบบช่องสัญญาณด้านส่งคงที่ ช่องสัญญาณด้านรับปรับค่าได้
(Fixed Transmitter-Tunable Receiver: FT-TR)
3. โครงสร้างช่องสัญญาณด้านส่งแบบปรับค่าได้ ช่องสัญญาณด้านรับคงที่
(Tunable Transmitter-Fixed Receiver: TT-FR)
4. โครงสร้างแบบช่องสัญญาณด้านส่งปรับค่าได้ ช่องสัญญาณด้านรับปรับค่าได้
(Tunable Transmitter-Tunable Receiver: TT-TR)

โดยกำหนดให้แต่ละสถานีใช้วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งใช้กระบวนการควบคุม DCF (Distributed Coordination Function) โดยแต่ละสถานีจะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณที่ต้องใช้สำหรับการส่งข้อมูลตามกระบวนการ DCF ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 โดยในที่นี้เราจะพิจารณาสมรรถนะของเครือข่ายในกรณีที่มีปริมาณการใช้งานอย่างหนาแน่นเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการรองรับการใช้งานของเครือข่ายแบบมัลติเซนเนลเมื่อเทียบกับระบบเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว (Single Channel) โดยกำหนดให้แต่ละสถานีเมื่อส่งข้อมูลสำเร็จแล้วจะมีข้อมูลใหม่สำหรับการส่งตลอดเวลา และสมมุติให้กระบวนการควบคุมเป็นไปอย่างสมบูรณ์แต่ละสถานีสามารถทราบถึงช่องสัญญาณที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลไปยังสถานีต่างๆ ทุกสถานี และแต่ละช่องสัญญาณมีคุณสมบัติเหมือนกัน โอกาสที่ช่องสัญญาณจะถูกใช้งานมีค่าเท่าๆกัน โดยกำหนดให้จำนวนสถานีในเครือข่ายเท่ากับ N สถานี และจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ M ช่อง และ $N > M$

3.2 เครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ Fixed Transmitter - Fixed Receiver (FT-FR)



รูปที่ 3.2 เครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ Fixed Transmitter - Fixed Receiver

3.2.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ FT-FR

ตามรูปที่ 3.1 เครือข่ายมัลติเซนเนลที่มีโครงสร้างแบบ FT-FR แต่ละสถานีจะถูกกำหนดช่องสัญญาณสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีไว้แบบคงที่ โดยสถานีต้นทางจะเลือกใช้

ช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลที่กำหนดไว้สำหรับการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อให้แต่ละสถานีสามารถสื่อสารกับสถานีอื่นๆ ได้แต่ละสถานีต้องมีจำนวนเครื่องรับส่ง (Transceiver) เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งาน ซึ่งทำให้แต่ละสถานีสามารถรับส่งข้อมูลได้พร้อมกันมากกว่าหนึ่งสถานีได้ ทำให้สามารถรองรับการปริมาณการใช้งานได้สูงขึ้นได้

3.2.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ FT-FR

พิจารณาระบบที่มี N สถานี และ M ช่องสัญญาณ โดยสมมติให้แต่ละช่องสัญญาณถูกใช้งานเท่าๆกัน N/M สถานีต่อช่องสัญญาณ ซึ่งในเบื้องต้นนี้เราจะพิจารณา การชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ ซึ่งเมื่อเราให้แต่ละช่องสัญญาณมีจำนวนสถานีใช้งานเท่ากับ n สถานีเราจะได้ว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ p_h มีค่าเท่ากับ

$$p_h = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (3.1)$$

โดยที่ $n = N/M$ เป็นจำนวนสถานีที่ใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณ และ τ เป็นความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ และเมื่อให้ p_{ir} แทนความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$p_{ir} = 1 - (1 - \tau)^N \quad (3.2)$$

เมื่อให้ $S(c, n, m)$ แทนฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ จะมีสถานีจำนวน c สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ จากการเข้าใช้ช่องสัญญาณพร้อมกัน n สถานี โดยที่ระบบมีจำนวนสถานีเท่ากับ M จาก [6] ได้แสดงไว้ดังนี้

$$S(c, n, M) = \frac{(-1)^c M! n!}{c! M^n} \sum_{k=c}^{\min(n, M)} \frac{(-1)^{n-k} (M-k)^{n-k}}{(k-c)!(M-k)!(n-k)!} \quad (3.3)$$

$$(0 \leq c \leq \min(n, M), 0 \leq n \leq N)$$

และ $B(N, i, \tau)$ แทนความน่าจะเป็นที่ i สถานีจาก N สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณเมื่อแต่ละสถานีมีความน่าจะเป็นที่จะเข้าใช้ช่องสัญญาณเท่ากับ τ มีค่าเท่ากับ

$$B(N, i, \tau) = \binom{N}{i} \tau^i (1 - \tau)^{N-i} \quad (3.4)$$

ดังนั้นเมื่อ $p_{ir} = 1 - (1 - \tau)^N$ เป็นความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จ p_{sc} จากการเข้าใช้ช่องสัญญาณคือ

$$p_{sc} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^{\min(n, M)} B(N, i, r) S(c, n, M)}{P_{ir}} \quad (3.5)$$

เมื่อให้ $p_{s_{FTFR}}$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ สำหรับเครือข่ายแบบ FT-FR แต่ละสถานีสามารถรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดไว้โดยตรง ดังนั้นหากไม่พิจารณาคุณสมบัติของช่องสัญญาณแล้ว การเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ หมายถึงการรับส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จด้วยดังนั้นจะได้ว่า

$$p_{s_{FTFR}} = p_{sc} \quad (3.6)$$

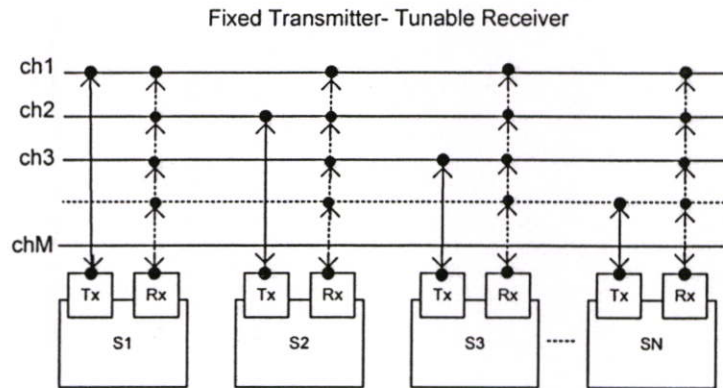
และความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะไม่สำเร็จ $p_{f_{FTFR}}$ คือ

$$p_{f_{FTFR}} = p_h \quad (3.7)$$

เมื่อให้ S_{sys} และ S_{ch} แทนค่าวิสัยสามารถของระบบ (System Throughput) และค่าวิสัยสามารถต่อช่องสัญญาณ (Channel Throughput) ตามลำดับ เราจะได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเท่ากับ ค่าวิสัยสามารถรวมของแต่ละช่องสัญญาณคือ

$$S_{sys} = MS_{ch} \quad (3.8)$$

3.3 เครือข่ายมัลติเซินแนลแบบ Fixed Transmitter - Tunable Receiver (FT-TR)



รูปที่ 3.3 เครือข่ายมัลติเซินแนลแบบ Fixed Transmitter - Tunable Receiver

3.3.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ FT-TR

เครือข่ายมัลติเซินแนลแบบ FT-TR สถานีด้านส่งจะกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้ส่งไว้แน่นอน และด้านรับต้องปรับช่องสัญญาณให้ตรงกับสถานีด้านส่งเพื่อรับข้อมูล ซึ่งด้านรับสามารถทราบถึงช่องสัญญาณผ่านกระบวนการควบคุม ซึ่งความสำเร็จในการส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบ FT-TR นั้นขึ้นอยู่กับ การชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ ความสามารถในการรับข้อมูลเมื่อมีสถานีด้านส่งมากกว่า 1 สถานีส่งข้อมูลไปยังสถานีด้านรับเดียวกัน และความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับเป็นสถานีที่กำลังใช้งานช่องสัญญาณอยู่ ซึ่งในที่นี้เรากำหนดให้สถานีใดๆ สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้เพียงหนึ่งคู่สถานีเท่านั้น ไม่สามารถรับส่งข้อมูลพร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งสถานี ซึ่งในกรณีนี้หากไม่รวมกระบวนการควบคุมแล้วแต่ละสถานีจะสามารถใช้เครื่องรับส่งเพียงเครื่องเดียวสำหรับการรับส่งข้อมูลได้

3.3.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ FT-TR

เมื่อให้ p_h แทนความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ p_r แทนความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณ และ p_{sc} แทนความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ และ τ คือความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถหาค่า p_h, p_{sc}, p_r สำหรับเครือข่ายแบบ FT-TR ได้เช่นเดียวกับ (3.1)-(3.4) คือ

$$p_h = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (3.9)$$

$$p_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (3.10)$$

โดยที่ $n = N/M$ และเมื่อ p_1 คือความน่าจะเป็นที่มีเพียงสถานีเดียวเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จ p_{sc} คือ

$$p_1 = n\tau(1-\tau)^{n-1} \quad (3.11)$$

$$p_{sc} = \frac{p_1}{P_r} \quad (3.12)$$

เมื่อให้ $p_{s_{FTFR}}$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จนอกจากจะขึ้นอยู่กับความสำเร็จของการเข้าใช้ช่องสัญญาณ p_{sc} ยังขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จเนื่องจากมีสถานีด้านส่งมากกว่า 1 สถานีส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางเดียวกันและความน่าจะเป็นที่สถานีด้านกำลังรับพร้อมที่จะรับข้อมูล จาก [2] เป็นความน่าจะเป็นที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จเนื่องจากมีสถานีด้านส่งมากกว่า 1 สถานีเท่ากับ

$$F(s, c, r) = \binom{s}{r} \sum_{i=0}^r (-1)^i \binom{r}{i} \left(\frac{r-i}{s}\right)^c \quad (3.13)$$

โดยที่ s = จำนวนสถานีด้านรับทั้งหมด

c = จำนวนสถานีด้านส่งที่ส่งข้อมูลออกมาพร้อมกัน

r = จำนวนสถานีด้านรับที่สามารถรับข้อมูลได้สำเร็จ

ดังนั้นเมื่อเราให้สถานีในระบบเท่ากับ N สถานีและ สถานีด้านส่งเท่ากับ i สถานีโดยที่ $0 \leq i \leq M$ ดังนั้นสถานีด้านรับที่สามารถเป็นไปได้อีกคือ $N-i$ สถานี และ j คือจำนวนสถานีที่สามารถรับข้อมูลได้สำเร็จ $0 \leq j \leq i$ ดังนั้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีที่จะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จคือ

$$E[F_i] = \sum_{j=1}^i jF(N-i, i, j) \quad (3.14)$$

$$(0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq i)$$

เมื่อให้ \bar{p}_{sr} แทนความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้เมื่อมีสถานีส่งส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางเดียวกันพร้อมกันมีค่าเท่ากับ
ดังนั้น

$$\bar{p}_{sr} = \frac{2 \sum_{i=1}^M E[F_i]}{M(M+1)} \quad (3.15)$$

และเมื่อ p_{ac} เป็นความน่าจะเป็นที่สถานีปลายทางจะเป็นสถานีที่กำลังใช้งานช่องสัญญาณ ซึ่งจะไม่สามารถรับข้อมูลได้ โดยหากเราให้ $p_{s_{FTTR}}$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณนั้นที่จะมีเพียงสถานีเดียวเท่านั้นที่จะสามารถส่งข้อมูลได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับจะเป็นสถานีที่กำลังส่งข้อมูลคือ $p_{s_{FTTR}} (M-1)/n$ ดังนั้น ซึ่ง ดังนั้นหากไม่พิจารณาคุณสมบัติของช่องสัญญาณแล้ว ความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จคือ

$$p_{s_{FTTR}} = p_{sc} \bar{p}_{sr} (1 - p_{ac}) \quad (3.15)$$

โดยที่

$$p_{ac} = p_{s_{FTTR}} (M-1)/n \quad (3.16)$$

ดังนั้น

$$p_{s_{FTTR}} = \frac{np_{sc} \bar{p}_{sr}}{n + p_{sc} \bar{p}_{sr} (M-1)} \quad (3.17)$$

และเมื่อ p_h, p_{ac} เป็นอิสระต่อกันดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะไม่สำเร็จ $p_{f_{FTTR}}$ คือ

$$p_{f_{FTTR}} = 1 - (1 - p_h) \left(1 - \frac{(M-1)p_{s_{FTTR}}}{n}\right) (1 - \bar{p}_{sr}) \quad (3.18)$$

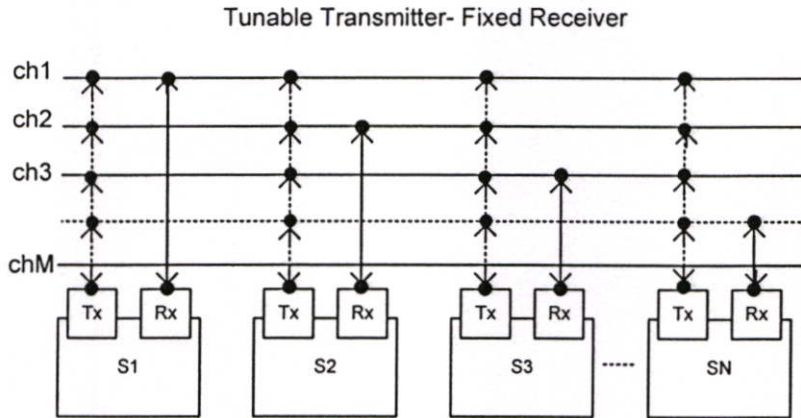
เมื่อให้ S_{sys} และ S_{ch} แทนค่าวิสัยสามารถของระบบและค่าวิสัยสามารถต่อช่องสัญญาณตามลำดับ เราจะได้ว่าสำหรับเครือข่ายมัลติเซกชันแบบ FT-TR ค่าวิสัยสามารถของระบบคือ

$$S_{sys} = E[M] S_{ch} \quad (3.19)$$

โดยที่ $E[M]$ คือค่าเฉลี่ยของช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานพร้อมกันเท่ากับ

$$E[M] = \sum_{i=1}^M i \binom{M}{i} p_{ir}^i (1 - p_{ir})^{M-i} \quad (3.20)$$

3.4 เครื่องข่ายมัลติเซเนเนลแบบ Tunable Transmitter - Fixed Receiver (TT-FR)



รูปที่ 3.4 เครื่องข่ายมัลติเซเนเนลแบบ Tunable Transmitter - Fixed Receiver

3.4.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ TT-FR

เครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-FR สถานีด้านรับจะกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้สำหรับรับข้อมูลไว้แน่นอน และสถานีด้านส่งต้องปรับช่องสัญญาณให้ตรงกับสถานีด้านรับเพื่อการส่งข้อมูล ซึ่งด้านส่งสามารถทราบถึงช่องสัญญาณผ่านกระบวนการควบคุม ซึ่งความสำเร็จในการส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบ TT-FR นั้นขึ้นอยู่กับ การชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณเนื่องจากมีสถานีด้านส่งมากกว่า 1 สถานีส่งข้อมูลไปยังสถานีด้านรับเดียวกัน และความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับเป็นสถานีที่กำลังใช้งานช่องสัญญาณอยู่ ซึ่งในที่นี้เรากำหนดให้สถานีใดๆสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้เพียงหนึ่งคู่สถานีเท่านั้นไม่สามารถรับส่งข้อมูลพร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งสถานี

3.4.2 ประสิทธิภาพของเครือข่ายแบบ FT-TR

เมื่อให้ p_h แทนความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ p_r แทนความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณ และ p_{sc} แทนความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ และ τ คือความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถหาค่า p_h, p_{sc}, p_r สำหรับเครือข่ายแบบ FT-TR ได้เช่นเดียวกับ (3.1)-(3.4) คือ

$$p_h = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (3.21)$$

$$p_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (3.22)$$

โดยที่ $n = N/M$ และเมื่อ p_1 คือความน่าจะเป็นที่มีเพียงสถานีเดียวเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การใช้ช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จ p_{sc} คือ

$$p_1 = n\tau(1-\tau)^{n-1} \quad (3.23)$$

$$p_{sc} = \frac{p_1}{P_{lr}} \quad (3.24)$$

สำหรับเครือข่ายแบบ TT-FR สถานีส่งจะปรับช่องสัญญาณไปยังช่องสัญญาณของด้านรับ โดยตรงดังนั้น ความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ $p_{s_{TFR}}$ จะขึ้นอยู่กับ p_{ac} และ p_{sc} โดยที่ p_{ac} และ p_{sc} เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น $p_{s_{TFR}}$ สามารถหาได้จาก

$$p_{s_{TFR}} = p_{sc}(1-p_{ac}) \quad (3.25)$$

$$p_{s_{TFR}} = \frac{np_{sc}}{n+(M-1)p_{sc}} \quad (3.26)$$

โดยที่ p_{ac} และ p_h เป็นอิสระต่อกันดังนั้นเราสามารถหาความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะไม่สำเร็จ $p_{f_{TFR}}$ ได้คือ

$$p_{f_{TFR}} = 1 - (1-p_h)\left(1 - \frac{(M-1)p_{s_{TFR}}}{n}\right) \quad (3.27)$$

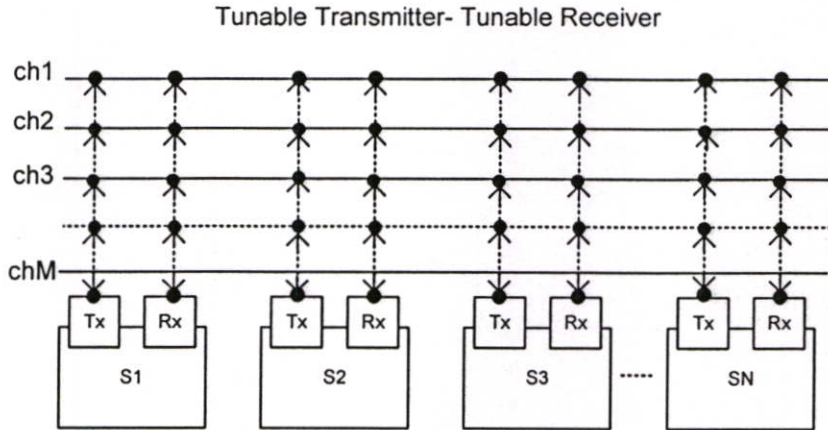
และเมื่อให้ S_{sys} และ S_{ch} แทนค่าวิสัยสามารถของระบบและค่าวิสัยสามารถต่อช่องสัญญาณ ตามลำดับเราจะได้ว่า

$$S_{sys} = E[M]S_{ch} \quad (3.28)$$

โดยที่ $E[M]$ คือค่าเฉลี่ยของช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานพร้อมกันเท่ากับ

$$E[M] = \sum_{i=1}^M i \binom{M}{i} p_{lr}^i (1-p_{lr})^{M-i} \quad (3.29)$$

3.5 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Tunable Transmitter - Tunable Receiver (TT-TR)



รูปที่ 3.5 เครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ Tunable Transmitter - Tunable Receiver

3.5.1 การทำงานของเครือข่ายแบบ TT-TR

เครือข่ายมัลติเซนเนลที่มีโครงสร้างแบบ TT-TR สถานีด้านรับและด้านส่งไม่ได้มีการกำหนดไว้แน่นอนสามารถรับได้ทั้งสองด้าน โดยในที่นี้เรากำหนดให้สถานีด้านส่งเลือกใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่ม (Random) และเข้าสู่กระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากนั้นจะส่งข้อมูลช่องสัญญาณไปยังด้านรับผ่านกระบวนการควบคุม แล้วด้านรับสามารถปรับช่องสัญญาณไปยังช่องสัญญาณที่กำหนดโดยด้านส่งเพื่อทำการรับส่งข้อมูล ความสำเร็จในการรับส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบ TT-TR นั้นขึ้นอยู่กับ การชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ ความน่าจะเป็นที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้เนื่องจากมีด้านส่งมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลไปยังปลายทางเดียวกัน และความน่าจะเป็นที่ด้านรับจะพร้อมรับข้อมูล

3.5.2 ประสิทธิภาพของเครือข่าย แบบ TT-TR

เมื่อให้ $S(c, n, m)$ แทนฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ จะมีสถานีจำนวน c สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ จากการเข้าใช้ช่องสัญญาณพร้อมกัน n สถานี โดยที่ระบบมีจำนวนสถานีเท่ากับ M จาก [6] ได้แสดงไว้ดังนี้

$$S(c, n, M) = \frac{(-1)^c M! n!}{c! M^n} \sum_{k=c}^{\min(n, M)} \frac{(-1)^{n-k} (M-k)^{n-k}}{(k-c)!(M-k)!(n-k)!} \quad (3.30)$$

$$(0 \leq c \leq \min(n, M), 0 \leq n \leq N)$$

และ $B(N, i, \tau)$ แทนความน่าจะเป็นที่ i สถานีจาก N สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณเมื่อแต่ละสถานีมีความน่าจะเป็นที่จะเข้าใช้ช่องสัญญาณเท่ากับ τ มีค่าเท่ากับ

$$B(N, i, \tau) = \binom{N}{i} \tau^i (1-\tau)^{N-i} \quad (3.31)$$

ดังนั้นเมื่อ $p_{ir} = 1 - (1-\tau)^N$ เป็นความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การใช้ช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จ p_{sc} คือ

$$p_{sc} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^{\min(n, M)} B(N, i, \tau) S(c, n, M)}{p_{ir}} \quad (3.32)$$

เมื่อให้ $p_{s_{TTTT}}$ แทนความน่าจะเป็นที่สถานีจะส่งข้อมูลได้สำเร็จ \bar{p}_{sr} แทนความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้เนื่องจากมีการส่งข้อมูลจากสถานีต้นทางเดียวกันมากกว่าหนึ่งสถานีจาก (3.15) ได้แสดงไว้คือ

$$\bar{p}_{sr} = \frac{2 \sum_{i=1}^M E[F_i]}{M(M+1)} \quad (3.33)$$

และ p_{ac} แทนความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับเป็นสถานีที่กำลังใช้งานช่องสัญญาณอยู่ ซึ่งจำนวนสถานีที่เป็นไปได้จากจำนวน N ที่จะสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้นอกจากสถานีที่เราสังเกตคือ $(M-1)$ สถานี และโดยที่ $p_{s_{TTTT}}$ เป็นความน่าจะเป็นที่การรับส่งข้อมูลในช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จดังนั้นเราสามารถเป็นสมการของ เขียน p_{ac} ได้คือ

$$p_{ac} = \frac{(M-1)p_{s_{TTTT}}}{N} \quad (3.34)$$

โดยที่ \bar{p}_{sr} และ p_{ac} เป็นอิสระต่อกันดังนั้นเราสามารถสมการของ $p_{s_{TTTT}}$ เขียนได้ดังนี้

$$p_{s_{TTTT}} = \bar{p}_{sr} p_{sc} (1 - p_{ac}) \quad (3.35)$$

$$p_{s_{TTTT}} = \frac{\bar{p}_{sr} p_{sc} N}{N + (M-1)\bar{p}_{sr} p_{sc}} \quad (3.36)$$

และเมื่อ p_{ac} , p_h เป็นอิสระต่อกันแล้วดังนั้นเราสามารถหาความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะไม่สำเร็จ p_{fTTR} ได้คือ

$$p_{fTTR} = 1 - (1 - p_h) \left(1 - \frac{(M-1)p_{sTTR}}{N} \right) (1 - \bar{p}_{sr}) \quad (3.37)$$

และเมื่อให้ S_{sys} และ S_{ch} แทนค่าวิสัยสามารถของระบบและค่าวิสัยสามารถต่อช่องสัญญาณตามลำดับเราจะได้ว่า

$$S_{sys} = E[M]S_{ch} \quad (3.38)$$

โดยที่ $E[M]$ คือค่าเฉลี่ยของช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานพร้อมกันเท่ากับ

$$E[M] = \sum_{i=1}^M i \binom{M}{i} p_{tr}^i (1 - p_{tr})^{M-i} \quad (3.39)$$

โดยในส่วนของการวิเคราะห์การประเมินค่า τ, S_{ch}, S_{sys} รวมถึงค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายแบบต่างๆจะได้กล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การหาค่าสมรรถนะของระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของเครือข่ายมัลติเซินแนลโดยการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ ค่าเวลาหน่วง และค่าประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซินแนลแต่ละแบบ

4.1 ผังการทำงานของกระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

ก่อนที่แต่ละสถานีจะทำการส่งข้อมูล ทุกๆสถานีต้องผ่านกระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อนเสมอ โดยที่แต่ละสถานีจะทำการสุ่มค่าเวลารอคอย(Back-off Timer) และต้องตรวจสอบช่องสัญญาณที่จะใช้ในการส่งข้อมูลว่างหรือไม่ หากช่องสัญญาณว่างก็จะทำการปรับค่าเวลารอคอยของสถานีลงครึ่งละ 1 ของทุกๆช่วงเวลา (Slot time) ในขณะที่เดียวกันก็จะคอยตรวจสอบช่องสัญญาณไปด้วย หากตรวจสอบได้ว่าช่องสัญญาณไม่ว่างก็จะหยุดนับและคงค้างค่าเวลาไว้จนกระทั่งช่องสัญญาณว่างอีกครั้งจึงจะเริ่มลดค่าเวลาต่อไป จนกระทั่งค่าเวลารอคอยของสถานีเป็นศูนย์สถานีนั้นก็จะเริ่มต้นการเข้าใช้ช่องสัญญาณเพื่อส่งข้อมูล

4.1.1 Contention Windows

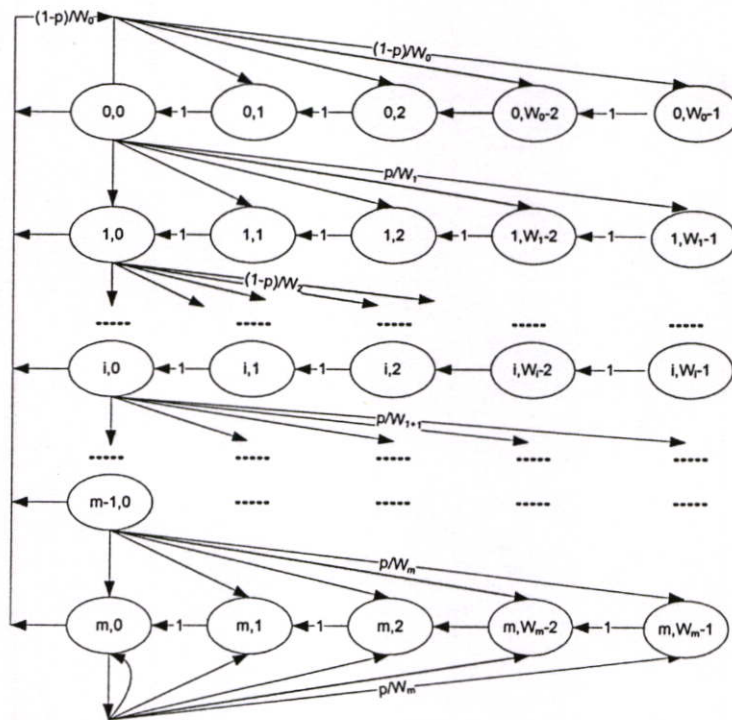
สถานีจะทำการสุ่มค่าเวลารอคอยโดยจะสุ่มค่าเวลาภายในช่วง $(0, W_i - 1)$ โดยที่ค่า W_i นี้เรียกว่า Contention Window (CW) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจะจำนวนครั้งของการเกิดการชนกันของข้อมูลโดยที่ตามมาตราฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดให้ค่า Contention Window ที่น้อยที่สุดคือ $CW_{min} = 32$ และค่า $CW_{max} = 1024$ เท่ากับ โดยที่เมื่อค่า W ของสถานีมีค่าเท่ากับ CW_{max} และยังเกิดการชนกันของข้อมูลอีกค่า W นี้ก็จะคงที่ต่อไปจนกระทั่งการส่งข้อมูลทำได้สำเร็จแต่สถานีก็จะทำการปรับค่า W มาที่ค่า CW_{min} ดังได้แสดงในรูปที่ 2.5 โดยการสุ่มค่าเวลารอคอยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Backoff time} &= \text{INT}(\text{Rand}(0, W_i - 1)) \\ W_i &= 2^i CW_{min} \end{aligned} \tag{4.1}$$

โดยที่ i คือจำนวนครั้งของการชนกันของข้อมูลมีค่าเท่ากับ $0 \leq i \leq m$

4.1.2 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ (Transmission Probability)

เมื่อพิจารณาการทำงานของแต่ละสถานีในเครือข่ายเราสามารถเขียนเขียนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 4.1 เมื่อเราให้ $b_{i,k}$ แทนสถานะของสถานีที่อยู่ในระบบ โดยที่ i คือค่า back off state แทนจำนวนครั้งของการส่งข้อมูลที่ล้มเหลวมีค่าตั้งแต่ $(0-m)$ และ k เป็นค่าเวลา back off มีค่าตั้งแต่ $(0, W_i - 1)$ โดยที่ $W_i = 2^i CW_{\min}$ เมื่อสถานีต้องการส่งข้อมูลจะต้องเข้าสู่กระบวนการ back-off โดยทำการสุ่มค่าเวลา k ในช่วง $(0, W_i - 1)$ โดยที่ค่า k จะลดลงครั้งละหนึ่งทีทุกๆ ช่วงเวลา(slot time) เมื่อช่องสัญญาณว่าง และสถานีจะทำการส่งข้อมูลที่สถานะ $b_{i,0}$ หากการส่งข้อมูลไม่สำเร็จสถานีจะทำการสุ่มค่าเวลา k ใหม่ในช่วง $(0, W_{i+1} - 1)$ โดยที่ i จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 โดยที่ $0 \leq i \leq m$



รูปที่ 4.1 ผังการทำงานของกระบวนการ back-off

จากรูปเมื่อให้ p เป็นความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลไม่สำเร็จเราเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{i,k} &= \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + b_{i,k+1} \\
 &= \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + b_{i,k+2} \\
 &= \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + \frac{1}{W_i} p b_{i-1,0} + b_{i,k+3}
 \end{aligned}$$

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} p b_{i-1,0} \quad (4.2)$$

โดยที่

$$1 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} \quad (4.3)$$

และเมื่อพิจารณาที่ $k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} b_{i,0} &= p b_{i-1,0} \\ &= p(p b_{i-2,0}) \\ &= p(p(p b_{i-3,0})) \\ &= p(p(p \dots (p b_{0,0}) \dots)) \\ b_{i,0} &= p^i b_{0,0} \end{aligned} \quad (4.4)$$

และเมื่อพิจารณาที่ $i = m, k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} b_{m,0} &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + b_{m,1} \\ &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + b_{m,2} \\ &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + \dots + b_{m,W_m-1} \\ b_{m,0} &= \left\{ \frac{p b_{m-1,0}}{W_m} + \frac{p b_{m,0}}{W_m} \right\} W_m \\ b_{m,0} &= \frac{p b_{m-1,0}}{1-p} \\ b_{m,0} &= \frac{p^m b_{0,0}}{1-p}, \quad i = m \end{aligned} \quad (4.5)$$

และ เมื่อพิจารณาที่ $i = 0, k = 0$

$$\begin{aligned} b_{0,0} &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + b_{0,1} \\ &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \dots + b_{0,W_0-1} \\ &= (1-p) \sum_{i=0}^m b_{i,0} \end{aligned}$$

หรือจะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} \quad (4.6)$$

จาก (4.2) (4.4) (4.5) เราสามารถสรุปได้คือ

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & , i = 0 \\ pb_{i-1,0} & , 0 < i < m \\ p(b_{m-1,0} + b_{m,0}) & , i = m \end{cases} \quad (4.7)$$

จากรูปที่ 4.1 แต่ละสถานีจะเข้าใช้ช่องสัญญาณเมื่ออยู่ที่สถานะ $b_{i,0}$ ดังนั้นเราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่สถานีสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณเพื่อส่งข้อมูล τ ดังนี้

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \quad (4.8)$$

$$\tau = \frac{b_{0,0}}{1-p} \quad (4.9)$$

และจาก (4.3) เราสามารถจัดรูปสมการใหม่เพื่อหาค่า τ ดังนี้

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} \\ &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} \\ &= \sum_{i=0}^m \frac{b_{i,0}}{W_i} \left(\sum_{k=0}^{W_i-1} W_i - \sum_{k=0}^{W_i-1} k \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(W \sum_{i=0}^m b_{i,0} 2^i + \sum_{i=0}^m b_{i,0} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(W \sum_{i=0}^m (2p)^i b_{0,0} + \frac{b_{0,0}}{1-p} \right) \\ 1 &= \frac{b_{0,0}}{2} \left(W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right) \end{aligned} \quad (4.10)$$

โดยการแทนค่า $b_{0,0}$ จาก (4.9) ใน (4.10) ทำให้เราสามารถหาค่า τ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{2}{b_{0,0}} &= W \left(\frac{1-(2p)^m}{1-2p} + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \\
\frac{2}{\tau(1-p)} &= \left(\frac{W(1-p)(1-(2p)^m) + W(1-2p)(2p)^m + (1-2p)}{(1-2p)(1-p)} \right) \\
\frac{1}{\tau} &= \frac{W - pW - W(2p)^m + pW(2p)^m + W(2p)^m - 2pW(2p)^m + 1 - 2p}{2(1-2p)} \\
\tau &= \frac{2(1-2p)}{W - pW - pW(2p)^m + 1 - 2p} \\
\tau &= \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \tag{4.11}
\end{aligned}$$

ตาม(4.11) ค่า τ นั้นขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการส่งข้อมูลจะไม่สำเร็จ p ค่า $CW_{\min}(W)$ และค่า back-off stages (m) ซึ่งค่า W และ m นั้นเป็นค่าคงที่ ส่วน p นั้นเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่า τ ด้วยดัง (3.1) หากไม่พิจารณาผลจากช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่ายที่มีช่องสัญญาณเดียว p จะขึ้นอยู่กับ การชนกันของข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่สำหรับระบบมัลติเซสแนลนั้น การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จหรือไม่ นั้นนอกจากจะเกิดจากการชนกันของข้อมูลแล้วยังขึ้นรูปแบบการทำงานของเครือข่ายแต่ละแบบ และโอกาสที่สถานีปลายทางจะสามารถรับข้อมูลได้ ดังแสดงใน (3.6)(3.18)(3.27)(3.37) และ (4.11) เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะส่งได้เข้าใช้ช่องสัญญาณได้ซึ่งในที่นี้เราใช้วิธีเชิงตัวเลขในการประมาณค่า p, τ ของเครือข่ายมัลติเซสแนลแต่ละรูปแบบได้คือ

$$p = \begin{cases} 1 - (1 - \tau)^{n-1} & , FTFR \\ 1 - (1 - p_h)(1 - p_{s_{FT}})(1 - \bar{p}_{s_T}) & , FTTR \\ 1 - (1 - p_h) \left(1 - \frac{P_{s_{TTFR}}}{n} \right) & , TTFR \\ 1 - (1 - p_h) \left(1 - \frac{P_{s_{TTTR}}}{n} \right) & , TTTR \end{cases} \tag{4.12}$$

$$\tau = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \tag{4.13}$$

4.2 ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ค่าวิสัยสามารถ ของเครือข่ายหมายถึงปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลคั้งนั้นหากเราพิจารณาที่แต่ละช่องสัญญาณเราสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$S_{ch} = \frac{p_{tr} p_s E[L]}{(1 - p_{tr})\delta + p_{tr} p_f T_c + p_{tr} p_s T_s} \quad (4.14)$$

เมื่อ $E[L]$ คือค่าเฉลี่ยความยาวของแพคเกจข้อมูล

T_s คือค่าเวลาที่ต้องใช้เมื่อการส่งข้อมูลทำได้สำเร็จ

T_c คือค่าเวลาที่ต้องใช้เมื่อการส่งข้อมูลทำไม่สำเร็จหรือเกิดการชนกันของข้อมูล

δ คือค่าช่วงเวลา (Slot time) เท่ากับ $20 \mu S$

p_s คือค่าความน่าจะเป็นการส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ ตาม (3.5)(3.17)(3.26)(3.36)

p_f คือค่าความน่าจะเป็นการส่งข้อมูลจะไม่ประสบความสำเร็จ ตาม (4.12)

และ

$$T_s = T_{RTS} + \delta + T_{SIFS} + T_{CTS} + \delta + T_{DATA} + T_{SIFS} + \delta + T_{ACK} + T_{DIFS} + \delta \quad (4.15)$$

$$T_c = T_{RTS} + T_{DIFS} + \delta \quad (4.16)$$

โดยที่

T_{RTS} คือค่าเวลาที่ใช้สำหรับการส่ง Frame RTS

T_{CTS} คือค่าเวลาที่ใช้สำหรับการส่ง Frame CTS

T_{ACK} คือค่าเวลาที่ใช้สำหรับการส่ง Frame ACK

T_{DIFS} คือค่าเวลา DIFS ตามมาตรฐาน IEEE 802.11

T_{SIFS} คือค่าเวลา SIFS ตามมาตรฐาน IEEE 802.11

T_{DATA} คือค่าเวลาที่ใช้ในการส่ง Frame ข้อมูล

ซึ่งค่าเวลาต่างๆสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} T_{DATA} &= M \frac{MAC_{header} + E[L]}{R} \\ &= M \frac{272bits + E[L]}{11 \times 10^6} \\ &= 24.727M + 0.0909E[L]M \quad \mu sec \end{aligned}$$

$$T_{ACK} = M \frac{112 \text{ bits}}{11 \times 10^6}$$

$$= 10.182M \text{ } \mu\text{sec}$$

$$T_{CTS} = M \frac{112 \text{ bits}}{11 \times 10^6}$$

$$= 10.182M \text{ } \mu\text{sec}$$

โดยที่ R คือความเร็วในการส่งข้อมูลของระบบที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวมีค่าเท่ากับ 11Mbps และ M เป็นจำนวนช่องสัญญาณของระบบมัลติเซเนเนลซึ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูลต่อช่องเท่ากับ R/M Mbps ซึ่งหากเราพิจารณาระบบทั้งสองที่ความยาวข้อมูลเท่ากันคือ 8192 bits ดังนั้นเราจะได้ค่า T_s และ T_c ได้คือ

$$T_s = 928 + 59.636M + 0.0909E[L]M \text{ } \mu\text{sec}$$

$$T_c = 262 + 14.545M \text{ } \mu\text{sec}$$

และค่าวิสัยสามารถรวมของระบบสามารถหาได้จากผลรวมของค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณ ซึ่งได้แสดงใน (3.7)(3.14) ของเครือข่ายแต่ละแบบ คือ

$$S_{sys} = E[M]S_{ch} \quad (4.17)$$

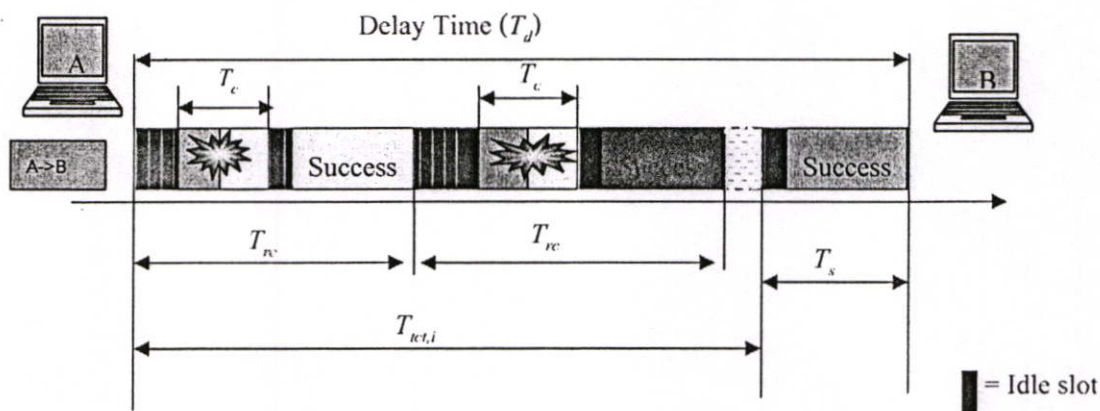
จากนั้นเราสามารถหาประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ η ได้จาก

$$\eta = \frac{MS_{ch}}{R} \quad (4.18)$$

โดยที่ R คืออัตราการส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวเท่ากับ 11Mbps และ M คือจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ในเครือข่าย

4.3 ค่าเวลาหน่วง (Delay Time)

เมื่อพิจารณาการส่งข้อมูลข้อแต่ละสถานีจะเห็นว่าก่อนที่การส่งข้อมูลจะสำเร็จนั้นได้เกิดเหตุการณ์ต่างๆขึ้นในช่องสัญญาณคือ การชนกันของข้อมูล(Collision) การส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Transmission) หรือช่องสัญญาณว่าง (Idle) ซึ่งเกิดจากสถานีต่างๆในเครือข่ายหรือจากสถานีที่เราสังเกตดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเกิดเวลาหน่วง

เมื่อให้ T_d แทนค่าเวลาหน่วงของการส่งข้อมูล

T_{rc} แทนค่าเวลาเฉลี่ย Recycle Time

$T_{ct,i}$ แทนค่าเวลาเฉลี่ยที่ต้องใช้เนื่องจากการส่งข้อมูลซ้ำครั้งที่ i

โดยที่ T_d คือค่าเวลาหน่วงของการส่งข้อมูลเริ่มนับตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการ Back-off จนกระทั่งด้านรับสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จ T_{rc} เป็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ต้องใช้สำหรับการส่งข้อมูลสำเร็จหนึ่งครั้งซึ่งประกอบเวลาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชนกันของข้อมูล การเกิดช่องสัญญาณว่าง และการส่งข้อมูลสำเร็จซึ่งสามารถหาได้จาก

$$T_{rc} = n_{ide}\delta + p_{1s}T_s + (1 - p_{1s})T_c \quad (4.19)$$

ซึ่งค่า n_{ide} คือค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงเวลาที่ว่าง (Idle Slot) ที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่ไม่ว่าง (Busy Slot) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$n_{ide} = \frac{(1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^{n-1}} \quad (4.20)$$

และ p_{1s} คือความน่าจะเป็นที่จะมีสถานี 1 สถานีจากจำนวน $n-1$ สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จคือ

$$p_{1s} = \frac{(n-1)\tau(1-\tau)^{n-2}}{1-(1-\tau)^{n-1}} \quad (4.22)$$

$T_{ict,i}$ เป็นค่าเวลาเฉลี่ยเวลาที่ต้องใช้ยื่นเนื่องมาจากการส่งข้อมูลซ้ำเป็นจำนวน i ครั้ง ก่อนที่สถานีที่เราสังเกตสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ

$$\begin{aligned} T_{ict,i} &= \sum_{k=0}^i \frac{W_k - 1}{2} p_1 T_{rc} + iT_c \\ &= \frac{p_1 T_{rc}}{2} \sum_{k=0}^i W_k - (i+1) \frac{p_1 T_{rc}}{2} + iT_c \\ &= iT_c + \frac{p_1 T_{rc}}{2} W \begin{cases} 2^{i+1} - 1 & , 0 \leq i \leq m-1 \\ 2^{m+1} - 1 + 2^m (i-m) & , m \leq i \leq \infty \end{cases} \end{aligned} \quad (4.23)$$

ดังนั้นตาม [2] เราสามารถหาค่าเวลาหน่วง T_d ได้คือ

$$T_d = \sum_{i=0}^{\infty} (1-p) \cdot p^i (T_{ict,i} + T_s) \quad (4.24)$$

เมื่อให้

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=0}^{\infty} (1-p) \cdot p^i iT_c \\ &= T_c \frac{p}{(1-p)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= -\sum_{i=0}^{\infty} (1-p) p^i (i+1) \frac{pT_{rc}}{2} \\ &= -\frac{pT_{rc}}{2} \left(\frac{1}{1-p} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=0}^{m-1} (1-p) \cdot p^i \frac{p_1 T_{rc}}{2} W (2^{i+1} - 1) \\ &= \frac{pT_{rc}}{2} W \left\{ \frac{(2p)^m (2p-2) + 1 + p^m (1-2p)}{1-2p} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \sum_{i=m}^{\infty} (1-p) \cdot p^i \frac{p_1 T_{rc}}{2} W(2^{m+1} - 1 + 2^m(i-m)) \\
 &= \frac{p_1 T_{rc}}{2} W \left(\frac{(2p)^m(2-p) + p^m(p-1)}{1-p} \right)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า T_d สามารถหาได้ดังนี้

$$T_d = T_s + A + B + C + D$$

$$= T_s + T_c \frac{p}{(1-p)} - \frac{p T_{rc}}{2} \left(\frac{1}{1-p} \right) + \frac{p T_{rc}}{2} W \left\{ \frac{(2p)^m(2p-2) + 1 + p^m(1-2p)}{1-2p} + \frac{(2p)^m(2-p) + p^m(p-1)}{1-p} \right\}$$

$$= T_s + T_c \frac{p}{(1-p)} - \frac{p T_{rc}}{2} \left(\frac{1}{1-p} \right) + \frac{p T_{rc}}{2} W \left\{ \frac{1-p-p(2p)^m}{(1-2p)(1-p)} \right\}$$

$$T_d = T_s + \left(T_c p - \frac{T_{rc} p}{2} \right) \frac{1}{1-p} + \frac{T_{rc} p W (1-p-p(2p)^m)}{2(1-p)(1-2p)} \quad (4.25)$$

บทที่ 5

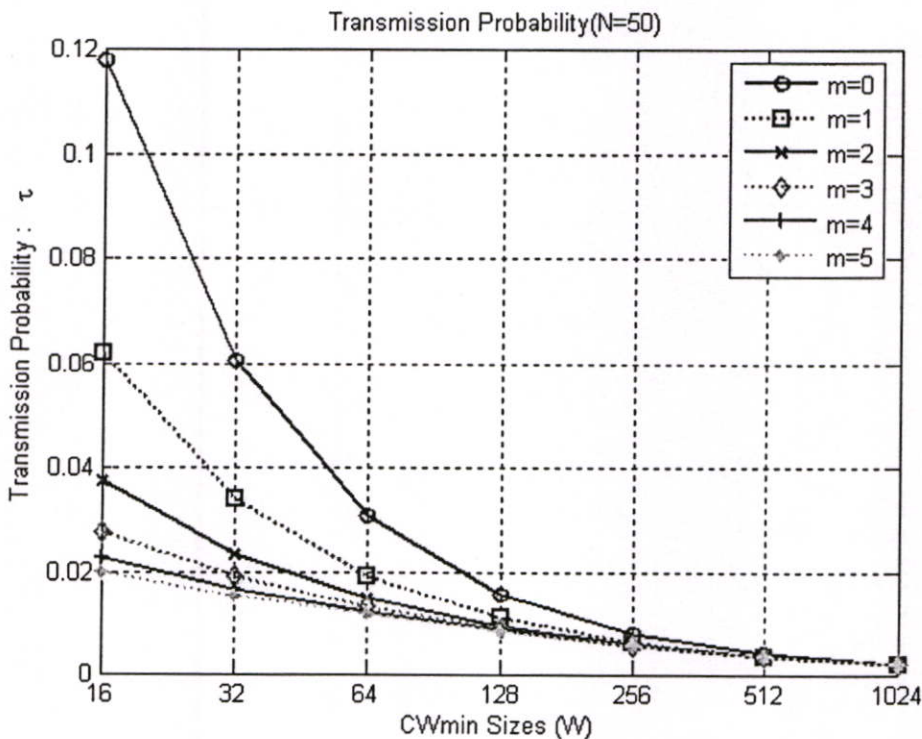
สมรรถนะของเครือข่าย

บทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ตัวเลขของเครือข่ายมัลติเซนต์ทั้ง 4 รูปแบบเปรียบเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว โดยการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Minimum Contention Window ค่า Back-off stage และจำนวนสถานีที่มีผลต่อค่าสมรรถนะต่างๆของเครือข่าย ได้แก่ ค่าวิสัยสามารถ ค่าเวลาหน่วง และประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ

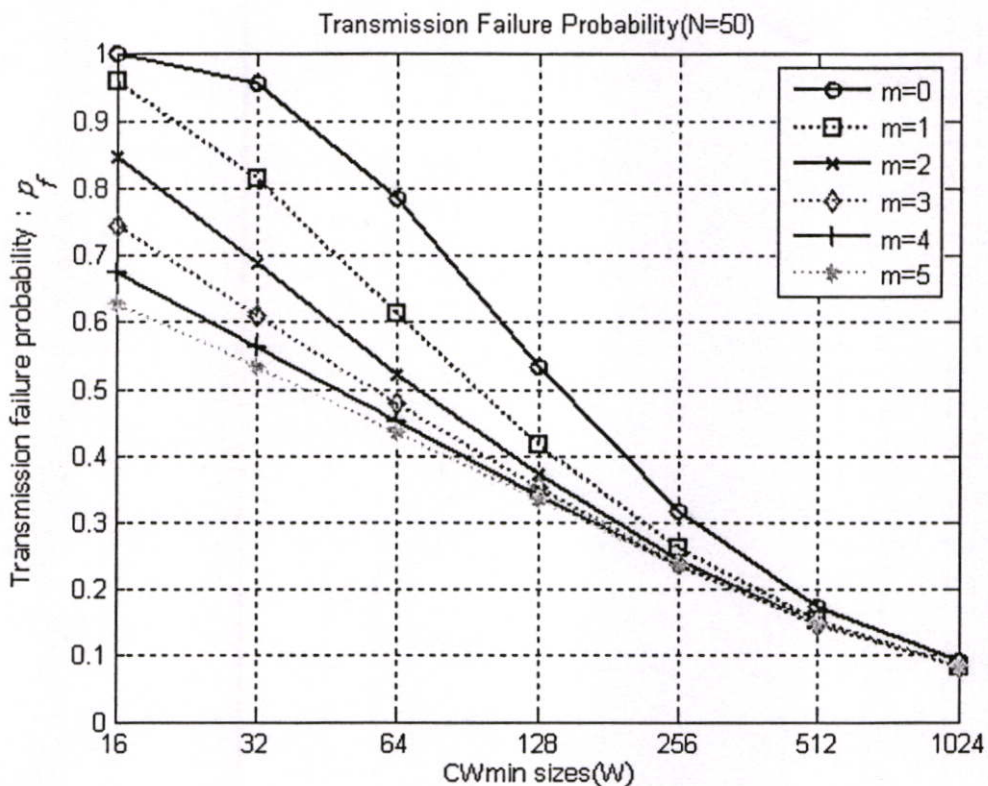
5.1 ความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ

5.1.1 เครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว

จากสมการที่ (4.11) ความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ ของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวที่มีผลมาจากจำนวนสถานีในเครือข่าย (N) ค่า Contention Window (W) ค่า Back-off stages (m) ดังรูปที่ 5.1 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ τ ที่มีผลมาจากค่า W และ m โดยจะเห็นว่าค่า τ นั้นจะลดลงเมื่อขนาดของ W มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อขนาดของ Contention Window มีค่ามากทำให้มีโอกาสที่สถานีจะสุ่มค่า back-off time ได้ค่าสูงจนต้องใช้เวลารอคอยมากขึ้นทำให้โอกาสที่จะเข้าใช้ช่องสัญญาณลดลง



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ และค่า CWmin (W) และ ค่า Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50$, $M = 1$

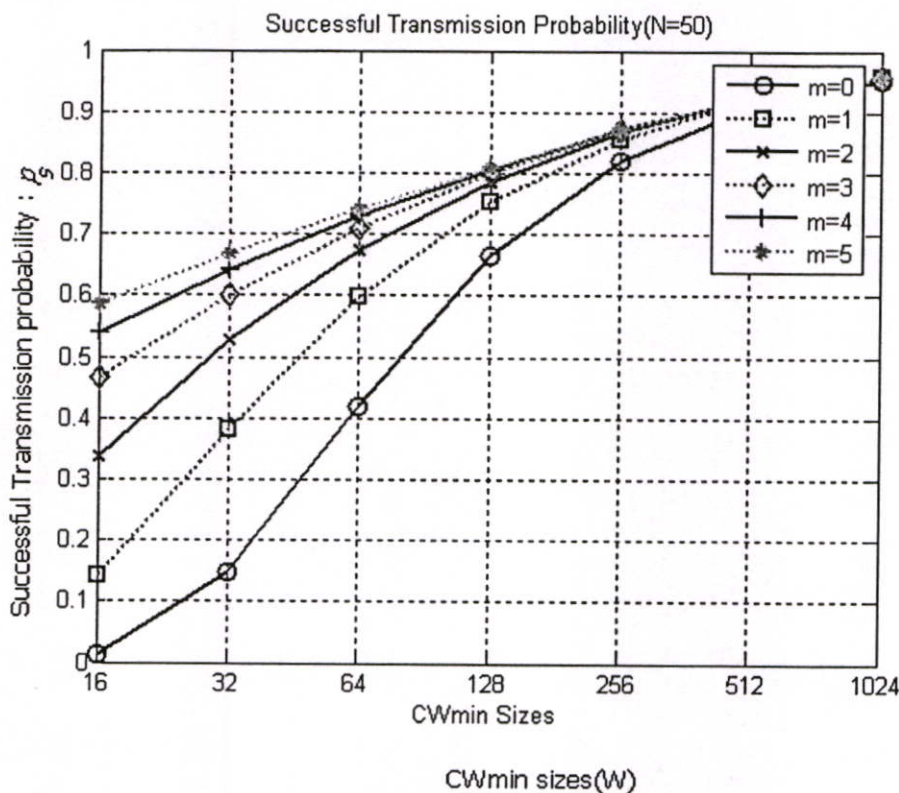


รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณไม่สำเร็จ p_f กับค่า CWmin (W) และ Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50, M=1$

และเมื่อพิจารณาค่า m ด้วย จะเห็นว่าเมื่อค่า m มีค่าน้อยนั้นโอกาสที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณก็มีมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากค่า m ที่มากขึ้นนั้นทำให้ Contention Window มีค่ามากขึ้นด้วยและเมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณจะไม่ประสบความสำเร็จ p_f ของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวกันพบว่าที่ค่า m และ W น้อยนั้นให้ค่าโอกาสที่สถานีจะส่งข้อมูลแล้วไม่สำเร็จนั้นมีมากกว่ากรณีที่ค่า m และ W มีค่ามาก ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าขนาดของ Minimum Contention Window ($CW_{min} : W$) น้อยๆ จะให้ค่า p_f ที่สูงขึ้นซึ่งไม่เป็นผลดีต่อเครือข่าย สำหรับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวกัน p_f มีค่าเท่ากับ p_h ซึ่งเป็นการเกิดจากการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ เนื่องจาก Contention Window มีขนาดเล็กทำให้โอกาสที่สถานีต่างๆ ในเครือข่ายจะสุ่มเลือกค่าเวลา Back-off เข้ากับสถานีอื่นๆ มีมากขึ้น นอกจากนี้หากสถานีในเครือข่าย (N) มีมากขึ้น การเกิดการชนกันของข้อมูลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาค่า back-off stages (m) จะเห็นว่าที่ m มีค่าน้อยทำให้โอกาสที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จน้อยลงไปด้วยเหตุผลเดียวกัน

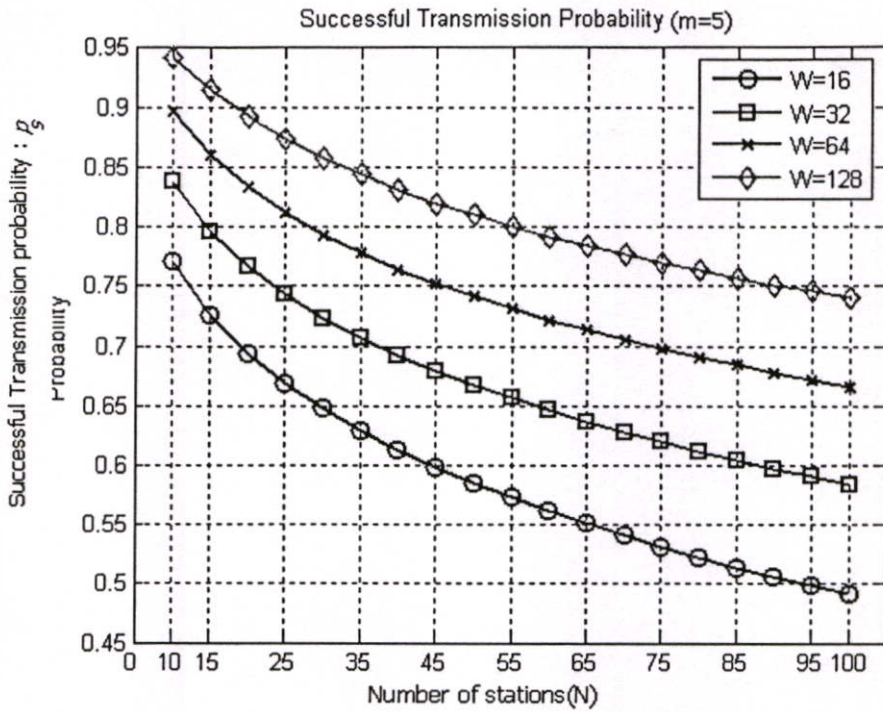
รูปที่ 5.3 เป็นการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s จากสมการที่ (3.6) ของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวที่มีผลจากค่า m และค่า W เมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายเท่ากับ 50 สถานี จะเห็นว่าที่ m และ W มีค่าน้อยๆ นั้น ค่า p_s มีค่าน้อยด้วยโดย

เมื่อค่า m มากขึ้นค่า p_s ก็มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อค่า W มากกว่า 128 นั้นค่า p_s จะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีที่ $m = 0$ ยังคงให้ค่า p_s ที่ต่ำกว่ากรณี $m > 0$ ทั้งนี้เนื่องจากที่ $m = 0$ นั้นขนาดของ Contention Window มีค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับการชนกันของข้อมูล และที่ $m > 0$ ขนาดของ Contention Window มีการเพิ่มขึ้นตามจำนวนค่า m โดยที่ $W_i = 2^i CW_{\min}$, $(0 \leq i \leq m)$ ทำให้สามารถลดการชนกันของข้อมูลได้

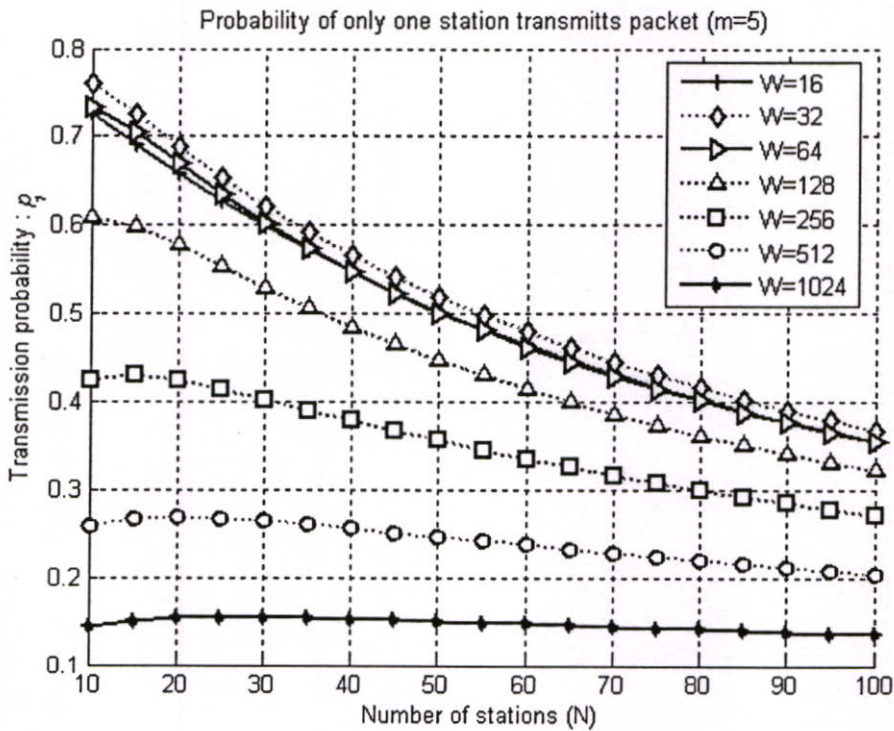


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s และ ค่า $CW_{\min}(W)$ และ ค่า Back-off stages (m) เมื่อ $N = 50$, $M=1$

รูปที่ 5.4 เราพิจารณาผลจากจำนวนสถานีในเครือข่ายและค่า $CW_{\min}(W)$ จะเห็นว่าโอกาสที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จนั้นลดลงเมื่อจำนวนสถานีเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเราเพิ่มขนาดของค่า W ให้สูงขึ้นสามารถเพิ่มค่า p_s ให้สูงขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามหากเราพิจารณาผลคูณของค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งข้อมูลทั้งหมดกับค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะสำเร็จ $p_s p_r$ ซึ่งจะเป็นค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลของเครือข่ายจะประสบความสำเร็จ หรือมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นมีเพียง 1 สถานีที่ได้ส่งข้อมูลส่งข้อมูล $p_1 = n\tau(1-\tau)^{n-1}$ ซึ่งหมายถึงการส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จเพราะไม่มีการชนกันของข้อมูล ซึ่งพบว่าสำหรับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเคียวนั้นที่ $W = 32$ และที่ $m = 5$ นั้นให้ค่าความน่าจะเป็นที่เครือข่ายจะประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.5



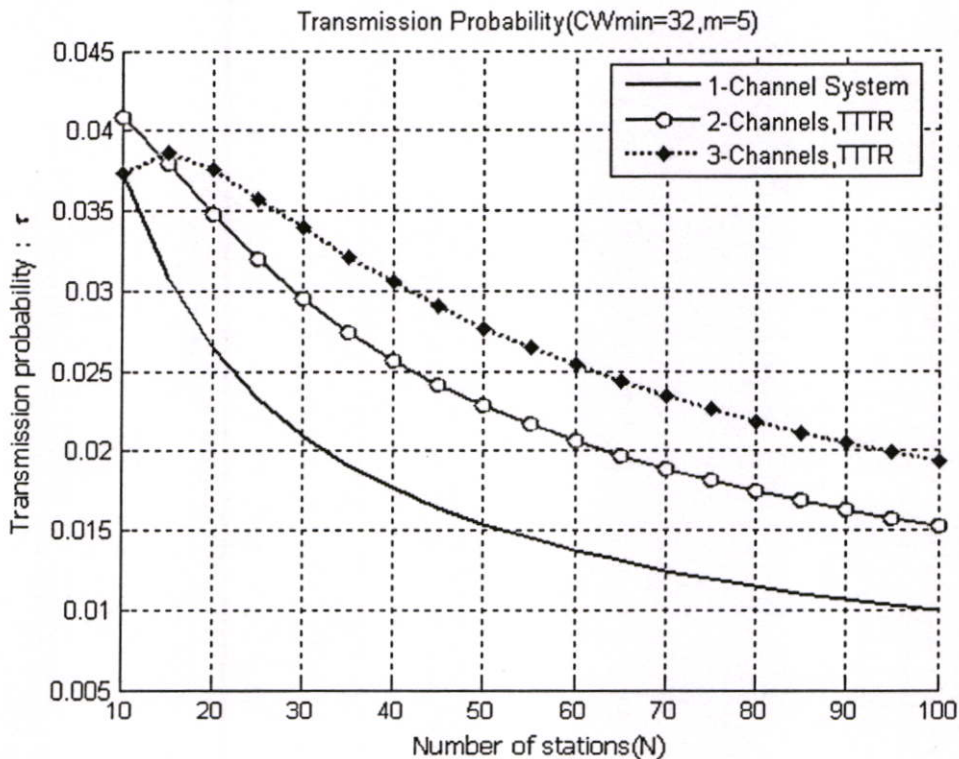
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s และค่า CWmin และจำนวนสถานีในระบบ เมื่อ $m = 5, M=1$



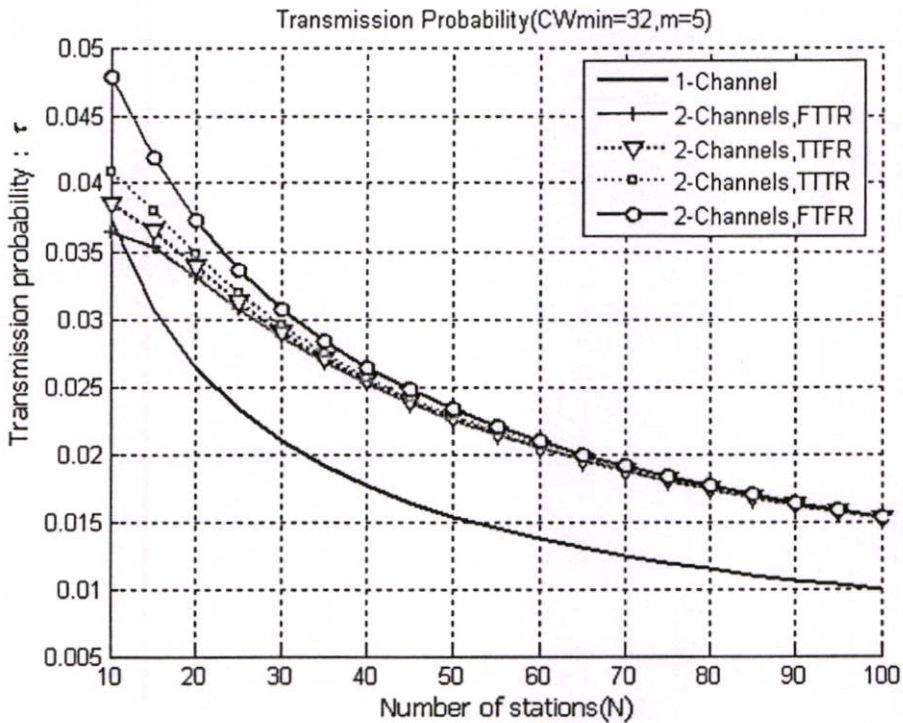
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่จะมีเพียงสถานีเดียวส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_1 และค่า CWmin (W) เมื่อ $m = 5, M=1$

5.1.2 เครือข่ายมัลติเซเนเนล

ค่าความน่าจะเป็นที่สถานีได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลนั้นนอกจากมีผลมาจากค่า Contention Window (W) ค่า Back-off stages (m) และการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ p_h แล้วยังมีผลมาจากจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานและรูปแบบการทำงานของเครือข่าย โดยเครือข่ายมัลติเซเนเนลแต่ละแบบจะมีค่าความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จเนื่องจากการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางเดียวกันมากกว่าหนึ่งสถานี \bar{p}_{sr} และค่าความน่าจะเป็นที่สถานีด้านรับกำลังใช้งานช่องสัญญาณ p_{ac} ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ค่า τ ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR เมื่อ $M=3$ นั้น มีค่าน้อยกว่า τ ของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวในเมื่อ $N < 10$ ซึ่งเกิดจากผลของค่า p_{ac} และเมื่อเปรียบเทียบเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FT TT-FR และ FT-TR ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 แล้วจะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-TR นั้นเมื่อ $M=2$ จะให้ค่า τ ต่ำที่สุดและต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวเมื่อ $N < 12$ ซึ่งเราสามารถนำผลที่ได้นี้ไปพิจารณารูปแบบเครือข่ายที่เหมาะสมตามจำนวนสถานีที่อยู่ในเครือข่ายได้ และจะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FR นั้นให้ค่า τ สูงที่สุด

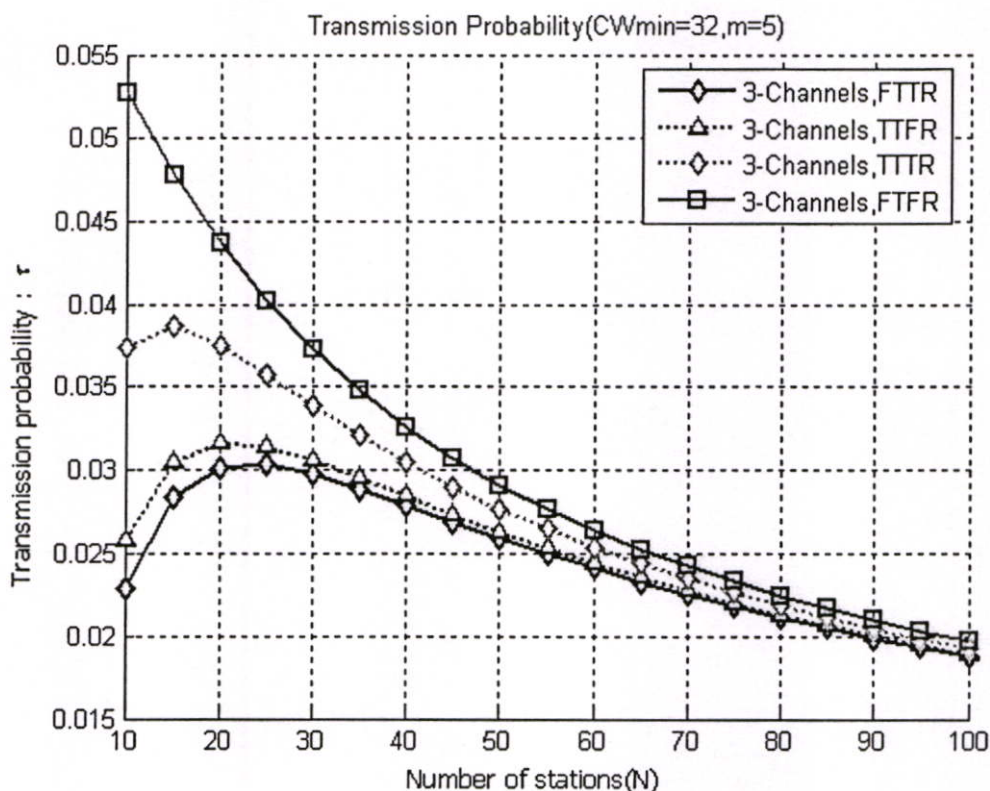


รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้อำนาจใช้ช่องสัญญาณ τ และจำนวนสถานีของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5$



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ กับจำนวนสถานีในเครือข่าย ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR FT-FR TT-FR และ FT-FR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, M = 2$

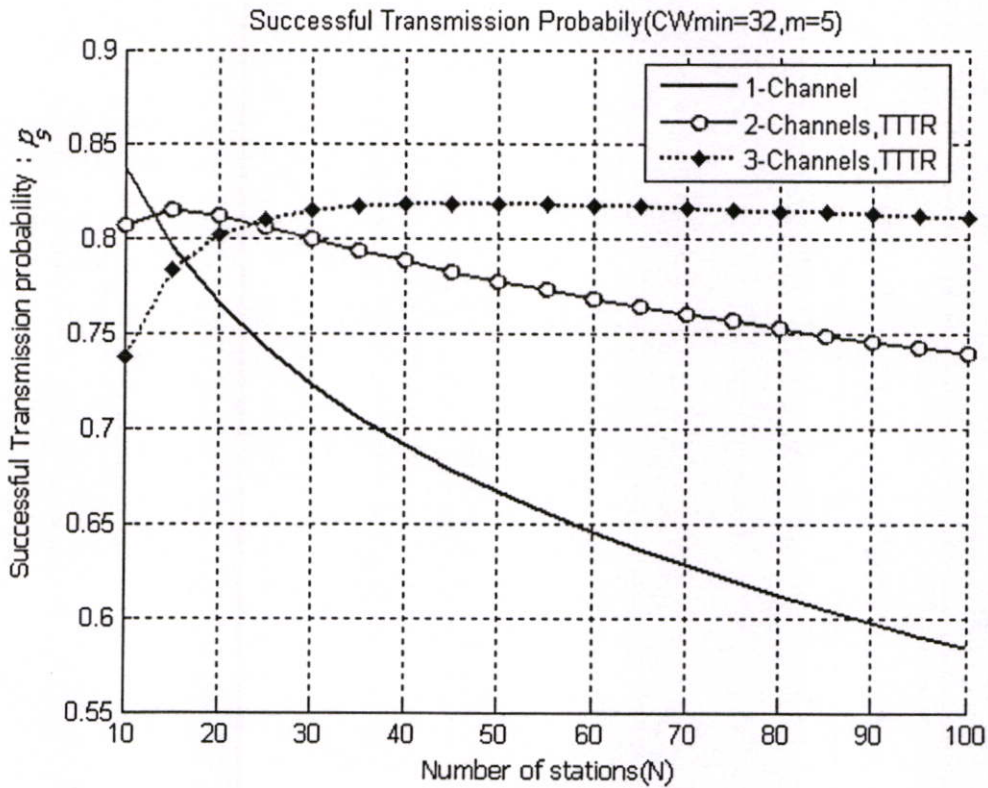
เนื่องจากเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FR นั้น แต่ละสถานีมีการกำหนดช่องสัญญาณไว้แน่นอนทั้งทางด้านรับและด้านส่ง ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นแต่ละสถานีจำเป็นต้องมีเครื่องรับส่งเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถส่งรับส่งข้อมูลพร้อมกันได้ซึ่ง จะทำให้โอกาสที่การส่งข้อมูลจะสำเร็จมีค่ามากขึ้นเนื่องจากไม่มีผลจาก \bar{p}_{sr} และ p_{oc} แต่ในทางปฏิบัตินั้นการใช้เครื่องรับส่งหลายชุดนั้นจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองเมื่อเทียบกับเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบอื่นๆ ที่สามารถทำงานได้โดยใช้เครื่องรับส่งเพียง 2 ชุดคือ ชุดสำหรับส่งข้อมูล และ ชุดสำหรับส่งสัญญาณควบคุมการใช้ช่องสัญญาณ หรือเมื่อใช้กระบวนการควบคุมดังแสดงใน [5] นั้นสถานีสามารถทำงานได้ด้วยเครื่องรับส่งเพียงชุดเดียวเท่านั้น รูปที่ 5.8 แสดงค่า τ ของเครือข่ายแบบมัลติเซเนเนลทั้ง 4 แบบเมื่อจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 3 และ $W=32, m=5$ ซึ่งจะเห็นว่าเครือข่ายแบบ FT-FR นั้นให้ค่า τ สูงที่สุด รองลงมาคือ เครือข่ายแบบ TT-TR เครือข่ายแบบ TT-FR และ เครือข่ายแบบ FT-FR ตามลำดับ รูปที่ 5.9 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลของสถานีจะประสบความสำเร็จ p_s ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR แบบ 2 และ 3 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้เข้าใช้ช่องสัญญาณ τ กับจำนวนสถานีในเครือข่าย ของเครือข่ายมัลติเซินแนลแบบ TT-TR FT-FR TT-FR และ FT-TR เมื่อ $CW_{min} = 32, m = 5, M = 3$

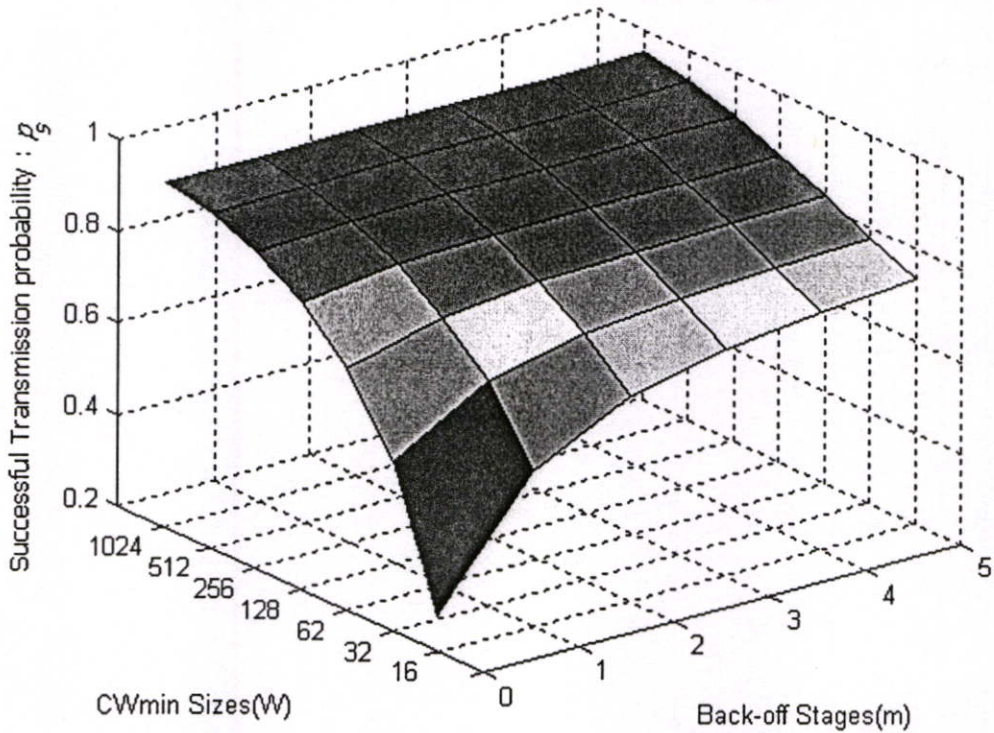
เปรียบเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว เมื่อ $CW_{min} = 32, m = 5$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมีมากขึ้น โอกาสที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จของเครือข่ายมัลติเซินแนลมีสูงกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากผลค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ p_c ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของสถานีเป็นหลัก ซึ่งการชนกันของข้อมูลสามารถลดลงได้เมื่อแบ่งจำนวนสถานีออกเป็นกลุ่มตามจำนวนช่องสัญญาณ ทำให้สามารถเพิ่มโอกาสที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จได้ แต่เมื่อพิจารณาในช่วงที่จำนวนสถานีในเครือข่ายน้อยกว่า 13 หรือ 16 สถานีสำหรับเครือข่ายที่มี 2 และ 3 ช่องสัญญาณตามลำดับ จะเห็นว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวยังคงให้ค่า p_c สูงกว่าเครือข่ายมัลติเซินแนล ทั้งนี้เนื่องจากเราพิจารณากรณีที่แต่ละสถานีมีภาระงานตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมีจำนวน

น้อยทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะสามารถส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ τ มีค่าสูงขึ้น และทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้ใช้ช่องสัญญาณ p_{ac} มีค่าสูงขึ้นด้วย และจะมีผลต่อค่า p_s ดังสมการ (3.6)(3.17)(3.26)(3.36) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (3.36) สำหรับเครือข่ายมัลติเซกเมนต์แบบ TT-TR นั้นได้แสดงดังรูปที่ 5.9 เมื่อ $W = 32$ และ $m = 5$



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s และจำนวนสถานีในเครือข่าย เมื่อ $CW \min = 32, m = 5$

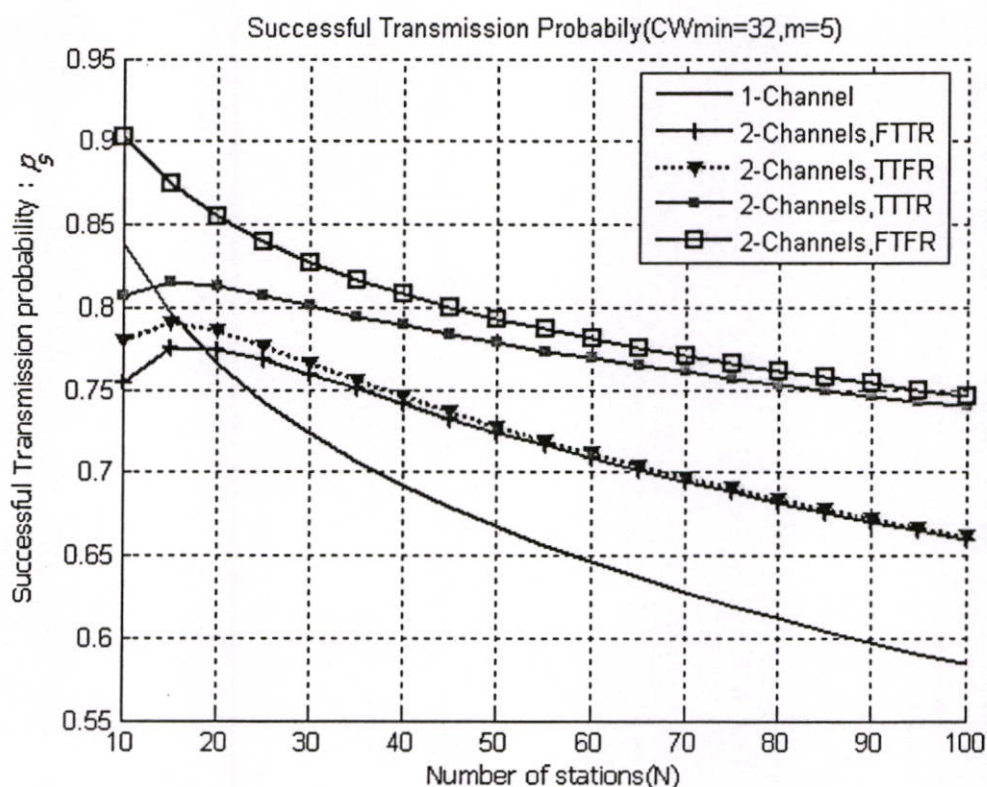
TT-TR Model Successful Transmission Probabiliy (N=50,Channel=2)



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s กับค่า CWmin และ Back-off stage ของเครือข่ายมัลติเซเนลแบบ TT-TR เมื่อ $N = 50, M = 2$

รูปที่ 5.10 เป็นการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_s ของเครือข่ายมัลติเซเนลแบบ TT-TR แบบ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายเท่ากับ 50 สถานี โดยพิจารณาผลของค่า CWmin (W) และค่า Back-off stage (m) ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อค่า m และ W ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า p_s เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากค่า m และ W นั้นมีผลต่อขนาดของ Contention Window ซึ่งเมื่อเมื่อค่า m และ W ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ขนาดของ Contention Window เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนครั้งที่เกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณคือ $W_i = 2^i CW_{min}$, ($0 \leq i \leq m$) ซึ่งทำให้โอกาสที่แต่ละสถานีจะสุ่มค่า Back-off time ที่ซ้ำกันลดน้อยลง มีผลให้การชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณลดลงทำให้ค่า p_s เพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบค่า p_s ของเครือข่ายมัลติเซเนลแต่ละแบบดังแสดงในรูปที่ 5.11 จะเห็นว่าเครือข่ายแบบ FT-FR นั้นให้ค่า p_s สูงที่สุด อย่างไรก็ตามก็เมื่อเทียบค่า p_s กับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวที่ $N < 13$ เครือข่ายมัลติเซเนลแบบ TT-TR ให้ค่า p_s ต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียว และที่ $N < 16$, $N < 18$

เครือข่ายมัลติเซเนล แบบ TT-FR และ FT-TR ให้ค่า p_s ต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว เช่นกัน ซึ่งจะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซเนลมีความเหมาะสมกว่าเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมากขึ้น

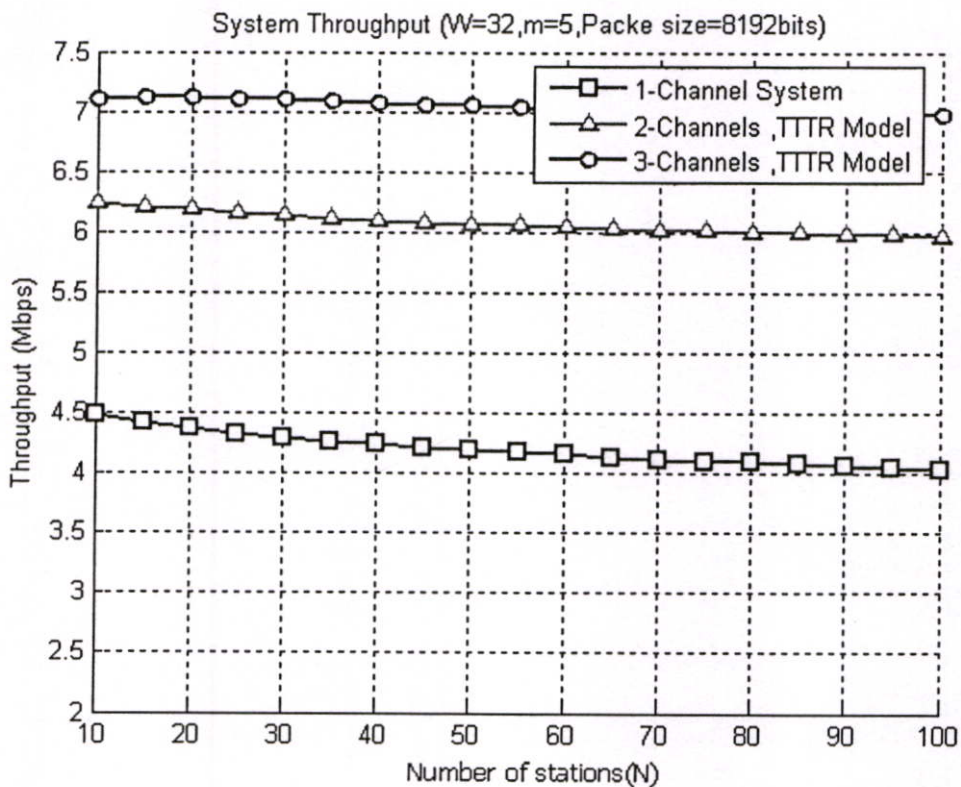


รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะส่งข้อมูลได้สำเร็จ p_s และจำนวนสถานีของเครือข่ายมัลติเซเนลแบบ TT-TR FT-FR TT-FR และ FT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, M = 2$

5.2 สมรรถนะของเครือข่าย

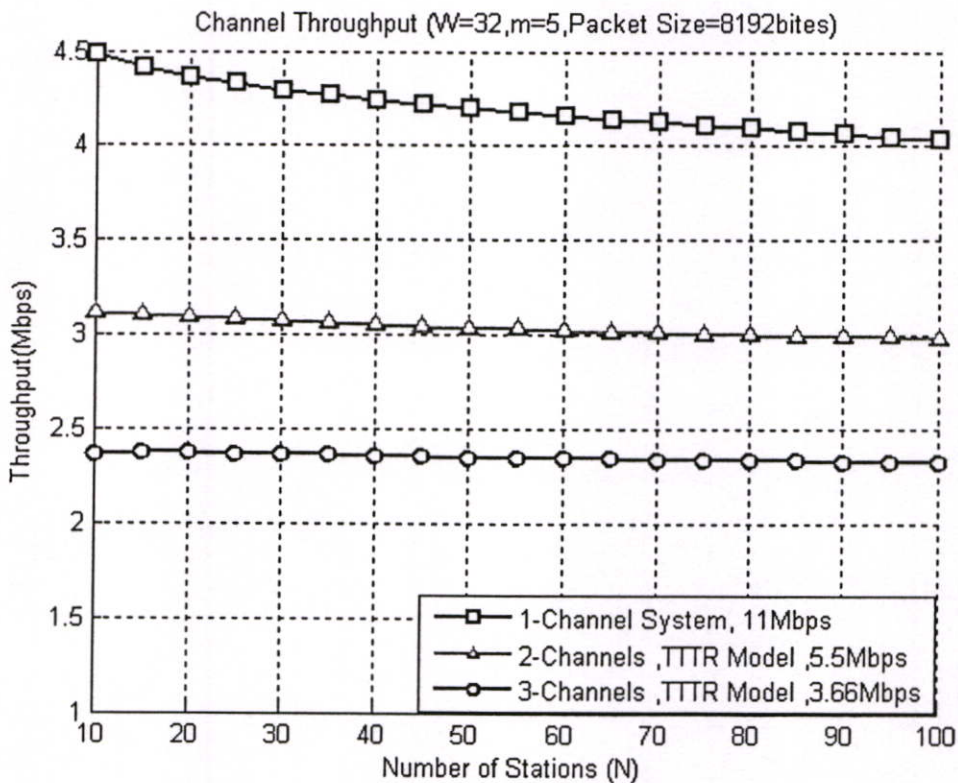
5.2.1 ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ค่าวิสัยสามารถเป็นค่าปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้ต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยการแสดงผลเปรียบเทียบกับระบบเครือข่ายช่องสัญญาณเดี่ยวและเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบต่างๆ ทั้ง 4 แบบ คือ FT-FR, FT-TR, TT-FR, TT-TR โดยแสดงค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายที่สัมพันธ์กับค่า CW_{min} (W) ค่า Back-off stages (m) และ ความยาวของแพ็คเกจข้อมูล (Packet size) โดยที่เครือข่ายแบบ FT-TR และ TT-FR ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดในช่วงค่า W เท่ากับ 64-256 ดังแสดงในรูปที่ 5.16 โดยที่เครือข่ายแบบ TT-TR และ FT-FR นั้นยังคงให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายรวมที่สูงกว่าแบบ FT-TR และ TT-FR ด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.12 รูปที่ 5.13 แสดงค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณเมื่อสถานีทำงานภายใต้ IEEE 802.11 MAC ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซนเนลนั้นมีค่าวิสัยสามารถต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว แต่ผลรวมค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายนั้นสูงกว่าเครือข่ายมัลติเซนเนลอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมีมากขึ้น



รูปที่ 5.12 ค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} ของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ FT-TR, TT-FR, TT-TR เมื่อ $CW_{min} = 32, m = 5, \text{Packet Size} = 8192\text{bits}$

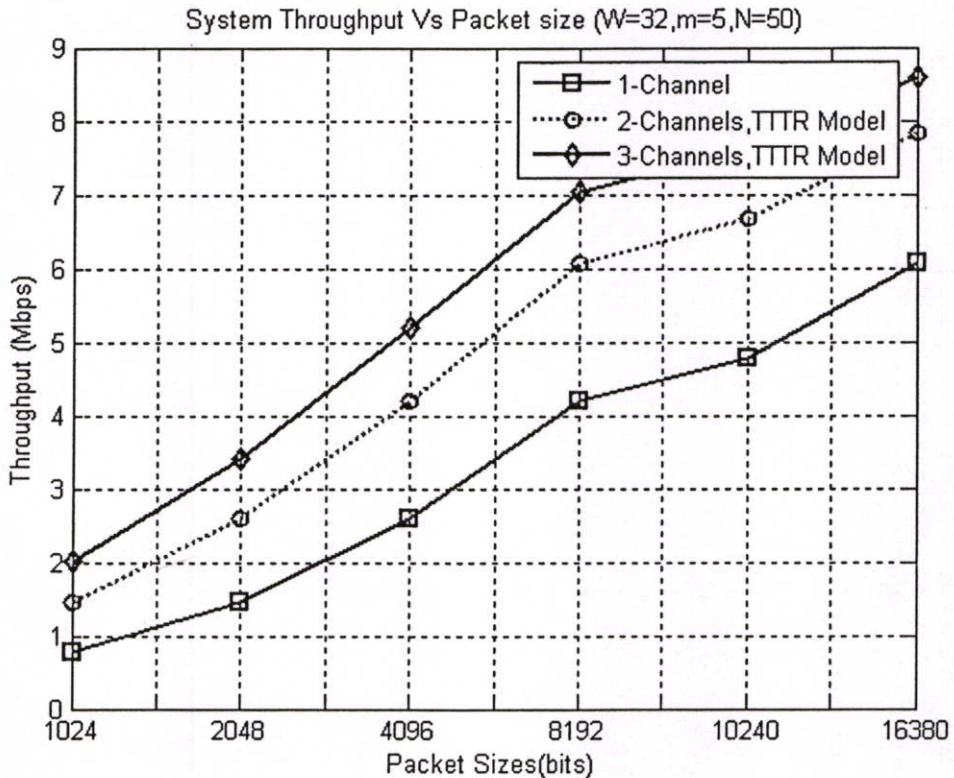
รูปที่ 5.12 แสดงค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายมัลติเซนเนลเปรียบเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว จะพบว่าที่ Packet size = 8192 bits นั้น เครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวให้ค่าวิสัยสามารถอยู่ที่ประมาณ 4Mbps-4.5Mbps เท่านั้น ถึงแม้ว่าอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณสูงถึง 11Mbps เมื่อเทียบกับเครือข่ายมัลติเซนเนล 2 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณเท่ากับ 5.5Mbps จะให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายสูงถึง 6Mbps - 6.25Mbps และ 7Mbps - 7.2Mbps สำหรับเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ 3 ช่องสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณเท่ากับ 3.66Mbps ซึ่งคิดเป็นค่าวิสัยสามารถที่เพิ่มขึ้นประมาณ 38% สำหรับเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ 2 ช่องสัญญาณ และประมาณ 60% เมื่อเทียบกับเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ 3 ช่องสัญญาณ



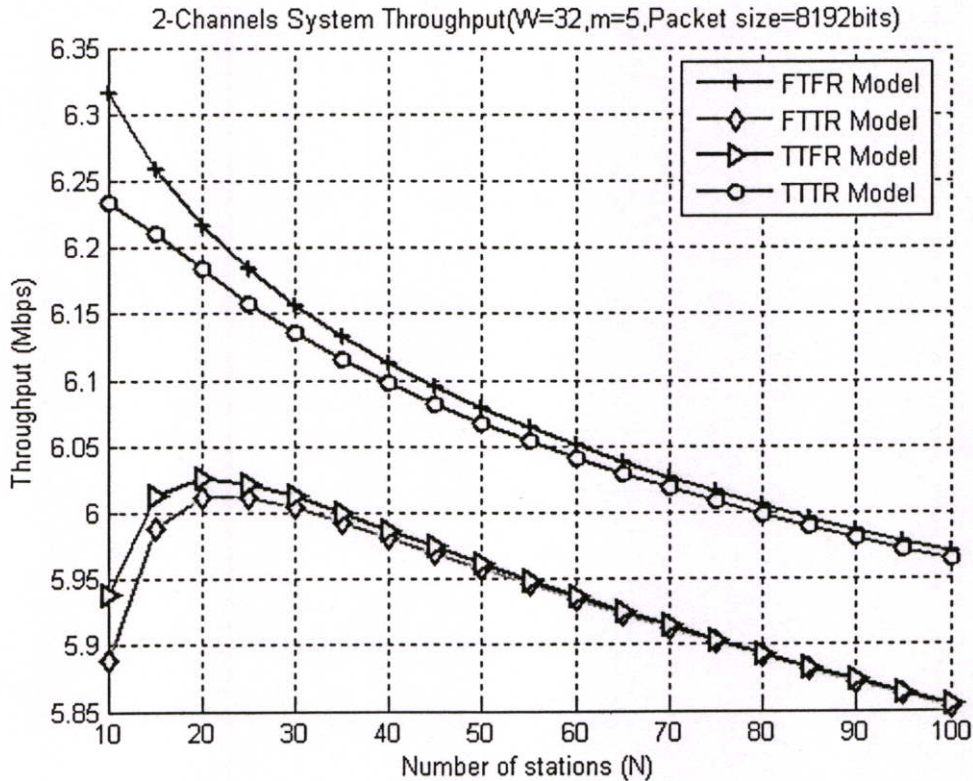
รูปที่ 5.13 ค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณ S_{ch} ของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ FT-TR, TT-FR, TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, \text{Packet Size} = 8192\text{bits}$

รูปที่ 5.13 แสดงค่าวิสัยสามารถของแต่ละช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ TT-TR สำหรับเครือข่ายมัลติเซนเนลนั้นเรากำหนดให้ความกว้างของช่องสัญญาณลดลงเป็นจำนวนเท่าของตามจำนวนช่องสัญญาณ และมีอัตราการส่งข้อมูลลดลงด้วยเช่นกัน จะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ 2 ช่องสัญญาณและ 3 ช่องสัญญาณนั้นมีค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 3.1Mbps และ 2.4Mbps ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับอัตราการส่งข้อมูล

ของช่องสัญญาณแล้วพบว่าต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียว แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้งานช่องสัญญาณของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวจะอยู่ประมาณ 40% เท่านั้น ในขณะที่เครือข่ายแบบ 2 ช่องสัญญาณและ 3 ช่องสัญญาณนั้นให้ประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณถึง 56% และ 65% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการลดลงของการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ และรูปที่ 5.14 เป็นการพิจารณาผลของขนาดความยาวข้อมูลที่มีผลต่อค่าวิสัยสามารถของเครือข่าย ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อขนาดของข้อมูลสูงขึ้นทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (4.14) ขนาดของข้อมูลนั้นมีผลทำให้ค่าเวลาที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูล T_s มีค่าสูงขึ้นแต่ไม่ทำให้ค่าเวลาการชนกันของข้อมูล T_c เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการ RTS/CTS นั้นสามารถตรวจสอบการชนกันของข้อมูลได้ก่อนที่จะมีการส่งข้อมูลเข้าไปในช่องสัญญาณจึงไม่กระทบต่อค่าวิสัยสามารถมากนัก และตามสมการที่ (4.11) นั้นค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้ส่งข้อมูลนั้นไม่มีผลจากความยาวข้อมูล



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} และความยาวของแพ็คเกจเกิดของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ TT-TR เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, N = 50$

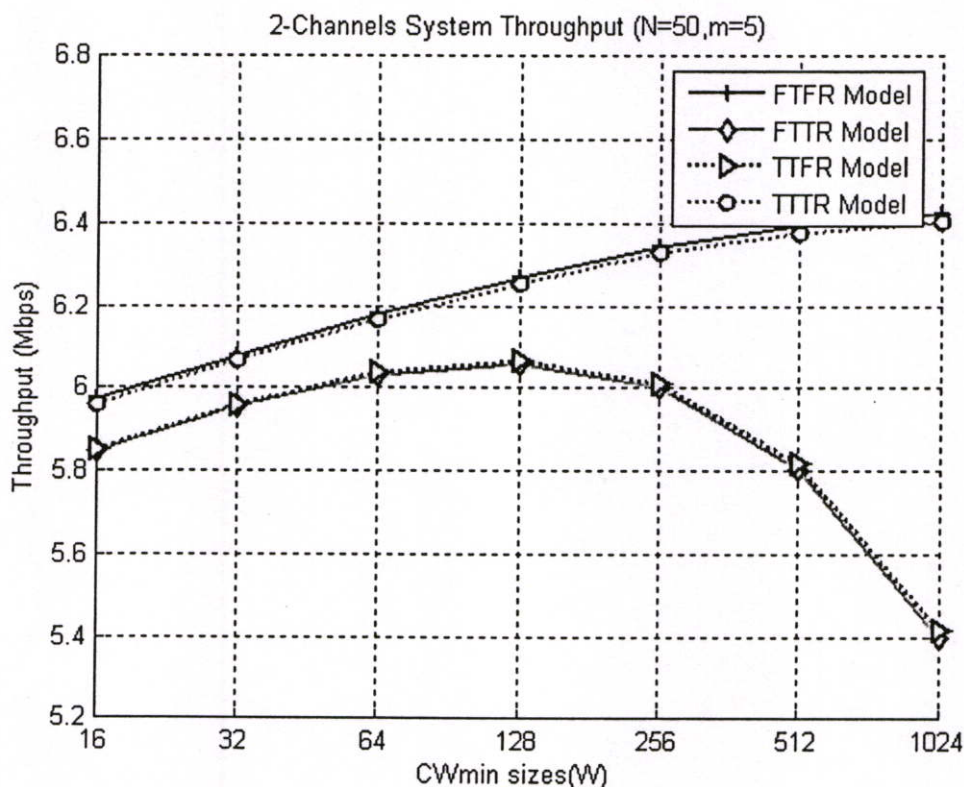


รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} ของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ FT-TR และ CWmin และ Back-off stages เมื่อ $\text{Packet Size} = 8192\text{bits}, M = 2, N = 50$

รูปที่ 5.15 เป็นการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายทั้งสี่รูปแบบ เมื่อ $M=2, m=5, W=32$ Packet size=8192bits ซึ่งจะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ TT-FR และ FT-TR นั้นให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายประมาณ 20 สถานีและจะลดลงเมื่อจำนวนสถานีเพิ่มขึ้นโดยที่ในช่วง $N < 20$ นั้น จะเห็นว่าค่า p_{ac} และ \bar{p}_{sr} มีค่าสูงขึ้นมีผลให้ค่า p_s ต่ำลงตามสมการที่ (3.6)(3.17)(3.26)(3.36) ในขณะที่เครือข่ายแบบ TT-TR และ FT-FR นั้นให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าเครือข่ายแบบ TT-FR และ FT-TR ตลอดช่วงจำนวนสถานี

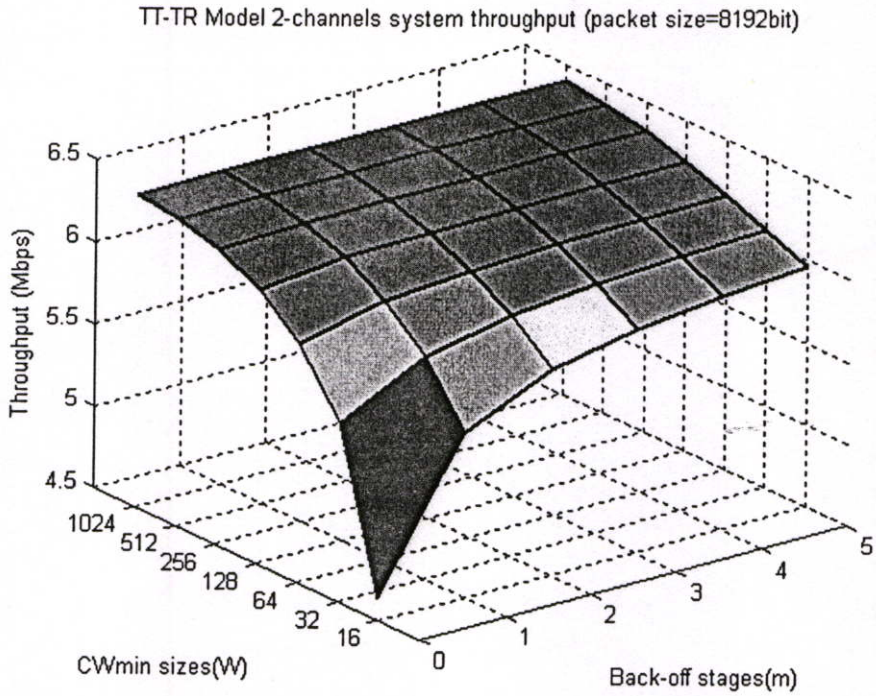
รูปที่ 5.16 แสดงค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายที่สัมพันธ์กับที่ค่า CWmin (W) เมื่อ $N=50$ $m = 5$ และความยาวข้อมูลเท่า 8192 bits ซึ่งพบว่าเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ FT-TR และ TT-FR นั้นให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดในช่วงค่า W เท่ากับ 64 ถึง 256 เท่านั้น แต่เครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ FT-FR และ แบบ TT-TR นั้นให้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้นเมื่อค่า W สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่า τ มีค่าน้อยลงเนื่องจากเมื่อค่า W และ m มีค่ามากทำให้ค่า Contention Window มีค่ามากทำให้เกิดการรอคอยมากขึ้นโอกาสที่สถานีจะได้ส่งข้อมูลจึงลดลง ในขณะที่เดียวกันการชนกันของข้อมูลก็

ลดลงด้วย แต่ในกรณีของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FR นั้นค่า p_s ไม่มีผลของค่า \bar{p}_{sr} และ p_{ac} จึงทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายยังคงมีค่าสูง ส่วนเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR ผลจากการจัดช่องสัญญาณแบบไม่ตายตัว (Dynamic) ทั้งด้านรับด้านส่งทำให้การส่งข้อมูลมีโอกาสสำเร็จสูงขึ้นทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายมีค่าสูงขึ้นใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบ FT-TR

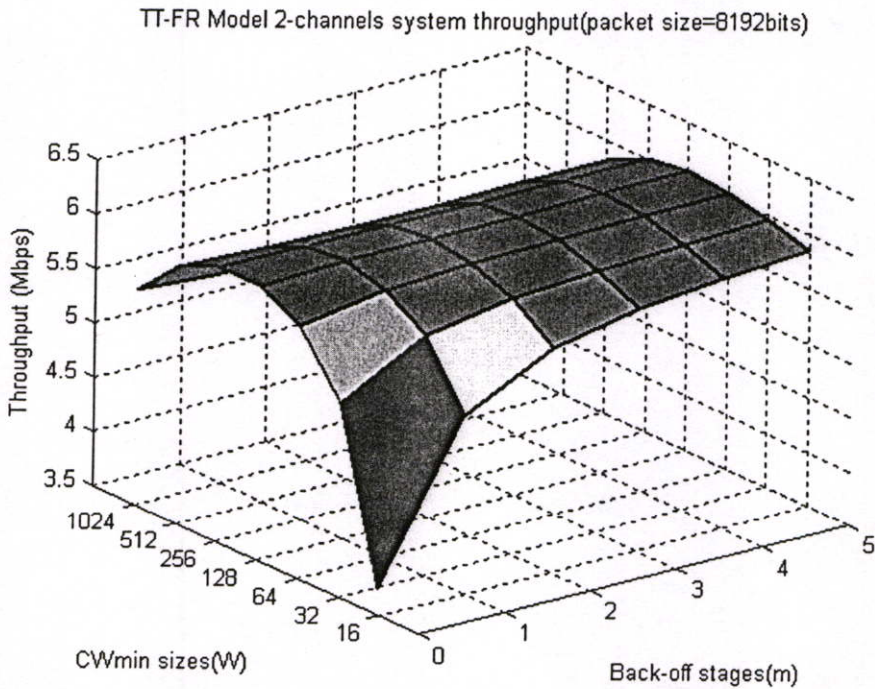


รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} และค่า CWmin ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-FR, FT-TR, TT-TR เมื่อ $M = 2, m = 5, Packet Size = 8192bits$

รูปที่ 5.17 และ รูปที่ 5.18 แสดงผลของค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายเมื่อพิจารณาร่วมกับค่า CWmin (W) และค่า Back-off stage (m) ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR และ TT-FR ตามลำดับ เมื่อ $M = 2, N = 50, Packet Size = 8192bits$ จะพบว่าเมื่อค่า m มีค่าสูงขึ้นทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายทั้งแบบ TT-TR และ TT-FR มีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ W นั้นสำหรับเครือข่ายแบบ TT-TR ให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายสูงสุดในช่วง 64 ถึง 256 เท่านั้น ดังรูปที่ 5.18 โดยเมื่อ $m > 128$ นั้นเครือข่ายให้ค่าวิสัยสามารถค่อนข้างคงที่ตลอดค่า m



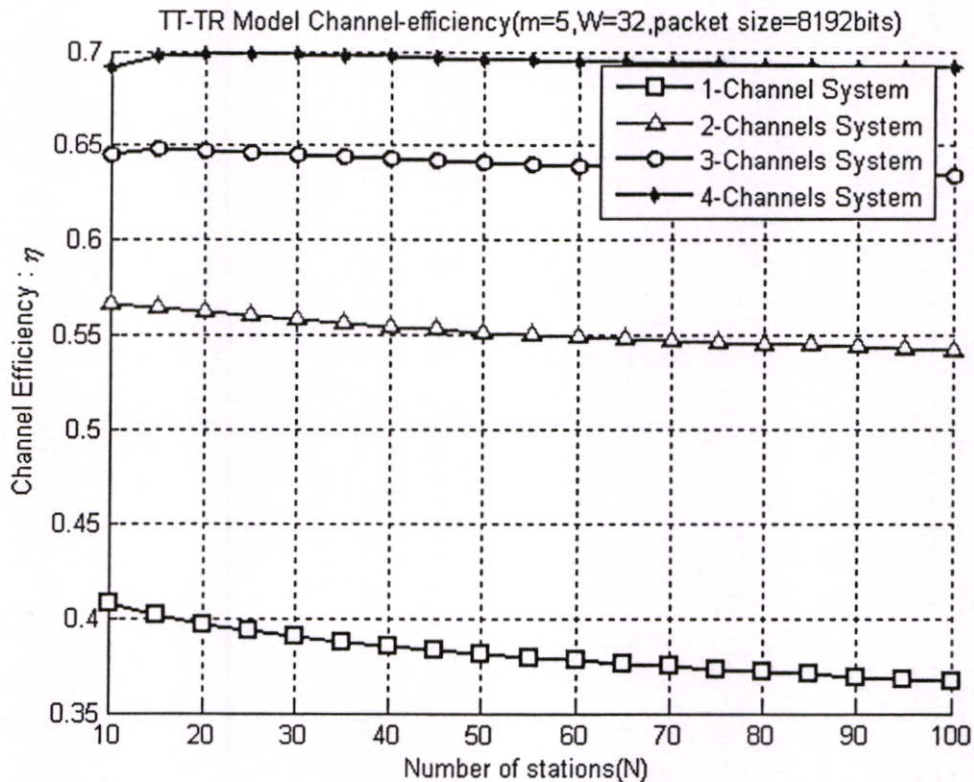
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} กับค่า CWmin และ Back-off stage ของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ TT-TR เมื่อ $M = 2, N = 50, Packet Size = 8192bits$



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถรวม S_{sys} กับค่า CWmin และ Back-off stage ของเครือข่ายมัลติเซนเนลแบบ TT-FR เมื่อ $M = 2, N = 50, Packet Size = 8192bits$

5.2.1 ประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ (Channel Efficiency)

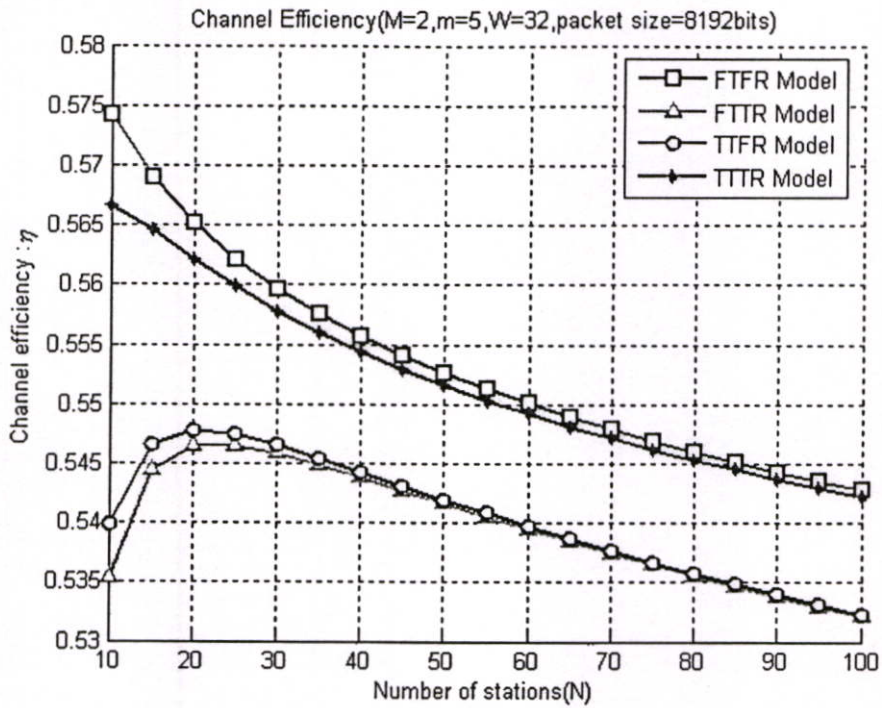
ประสิทธิภาพของการใช้งานช่องสัญญาณเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากมีข้อจำกัดทั้งในด้านของช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานได้ และต้นทุนที่ต้องใช้ในการสร้างเครือข่าย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้เครือข่ายสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมตามสภาพแวดล้อมนั้น เช่น จำนวนของสถานีในเครือข่าย ค่า CWmin หรือค่า Back-off stage ที่ต้องกำหนด



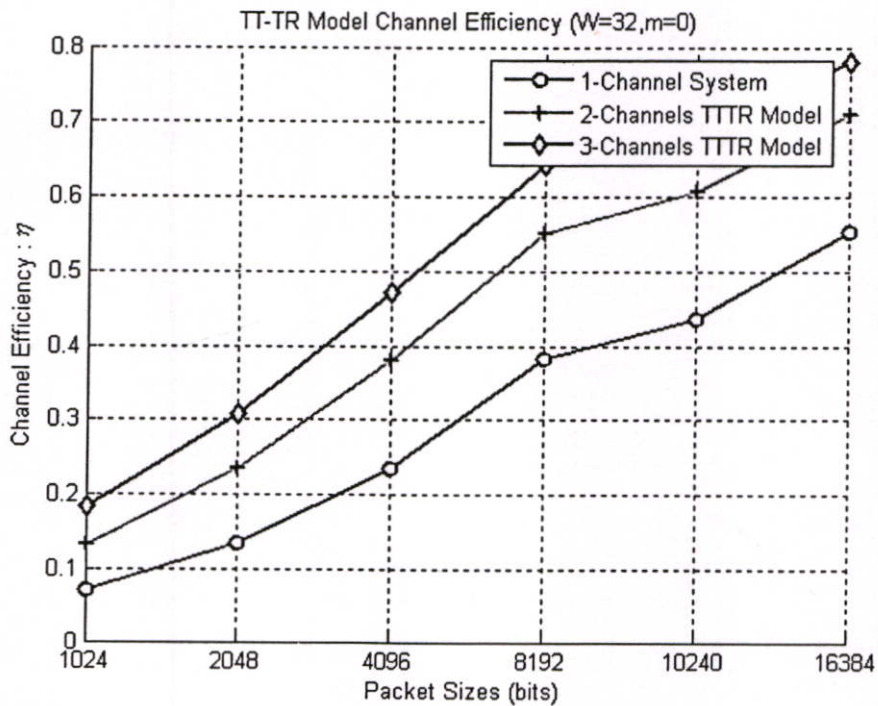
รูปที่ 5.19 ค่าประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ η ของเครือข่ายมัลติเซินเนล

เมื่อ $CW \min = 32, m = 5, \text{Packet Size} = 8192\text{bits}$

รูปที่ 5.19 ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพของการใช้งานช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ TT-TR ตามสมการที่ (4.18) เมื่อเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวนั้นมีค่าประมาณ 0.4 เท่านั้น ในขณะที่เครือข่ายแบบมัลติเซินเนลให้ค่าประสิทธิภาพที่ประมาณ 0.56 และ 0.65 สำหรับเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ 2 ช่องสัญญาณและ 3 ช่องสัญญาณตามลำดับเมื่อ $N=20$ ซึ่งจะเห็นว่าระบบมัลติเซินเนลให้ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 40% สำหรับเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ 2 ช่องสัญญาณและ 62% สำหรับเครือข่ายแบบ 3 ช่องสัญญาณตามลำดับ



รูปที่ 5.20 ค่าประสิทธิภาพใช้งานช่องสัญญาณ η ของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-FR, FT-TR, TT-FR, TT-TR เมื่อ $M = 2, W = 32, m = 5$

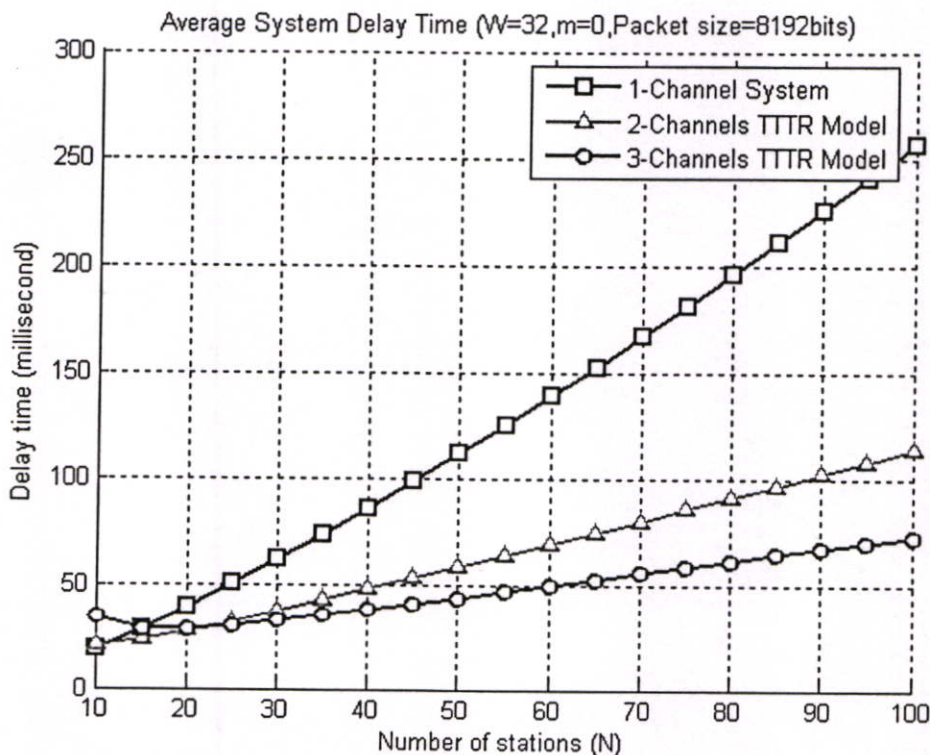


รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพใช้งานช่องสัญญาณ η และขนาดความยาวข้อมูล เมื่อ $N = 50, CW \text{ min} = 32, m = 5$

รูปที่ 5.20 แสดงค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซเนเนลทั้ง 4 แบบ เมื่อจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 2 ช่อง ซึ่งเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FR ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณสูงสุด รองลงมาคือเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ดีสำหรับเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-FR นั้นแต่ละสถานีต้องมีเครื่องรับส่งเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ ดังนั้นเมื่อจำนวนช่องสัญญาณมีมากขึ้นแต่ละสถานีต้องเพิ่มจำนวนเครื่องรับส่งให้เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ ทำให้มีต้นทุนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบอื่นๆ รูปที่ 5.21 แสดงค่าประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณเมื่อขนาดความยาวข้อมูลโดยเฉลี่ยเปลี่ยนไป จะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซเนเนลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่สูงขึ้นจากเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียวมากกว่า 40% เมื่อ $M=2, N=50, W=32, m=5$ และ packet size = 10240 bits

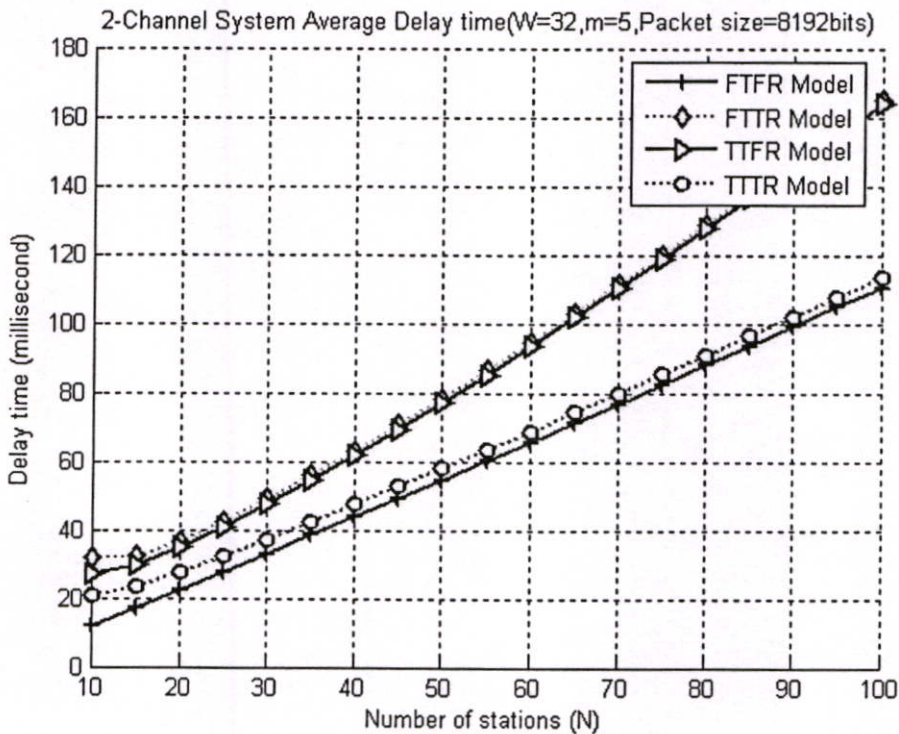
5.2.1 ค่าเวลาหน่วง

เครือข่ายมัลติเซเนเนลให้ค่าเวลาหน่วงที่ดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดียว ซึ่งค่าเวลาหน่วงนี้จะขึ้นอยู่กับค่า CW_{min} (W) ค่า Back-off stage (m) และจำนวนสถานีในเครือข่าย (N) สำหรับเครือข่ายแบบ FT-TR และ TT-TR นั้นให้ค่าเวลาหน่วงที่ดีที่สุดในช่วงที่ค่า W เท่ากับ 32 ถึง 128 เมื่อ $m=5, M=2, N=50$ ดังแสดงในรูปที่ 5.24 - 5.25



รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ค่าเวลาหน่วง T_d กับจำนวนสถานีในเครือข่าย
เมื่อ $CW_{min} = 32, m = 5, \text{Packet Size} = 8192\text{bits}$

รูปที่ 5.22 แสดงค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย T_d ของสถานีที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลตามสมการที่ (4.25) ของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR เมื่อเปรียบเทียบกับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว $CW \min = 32, m = 5, Packet \ Size = 8192bits$ จะเห็นว่าเมื่อจำนวนสถานีในระบบมากขึ้น เครือข่ายมัลติเซเนเนลนั้นให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณจะต่ำกว่าอัตราการส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว โดยเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายเท่ากับ 50 สถานีนั้น เครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-TR ให้ค่าเวลาหน่วงต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวถึง 50ms หรือมากกว่า 45% และสำหรับเครือข่ายแบบ 3 ช่องสัญญาณ ซึ่งให้ค่าเวลาหน่วงต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวประมาณ 59%

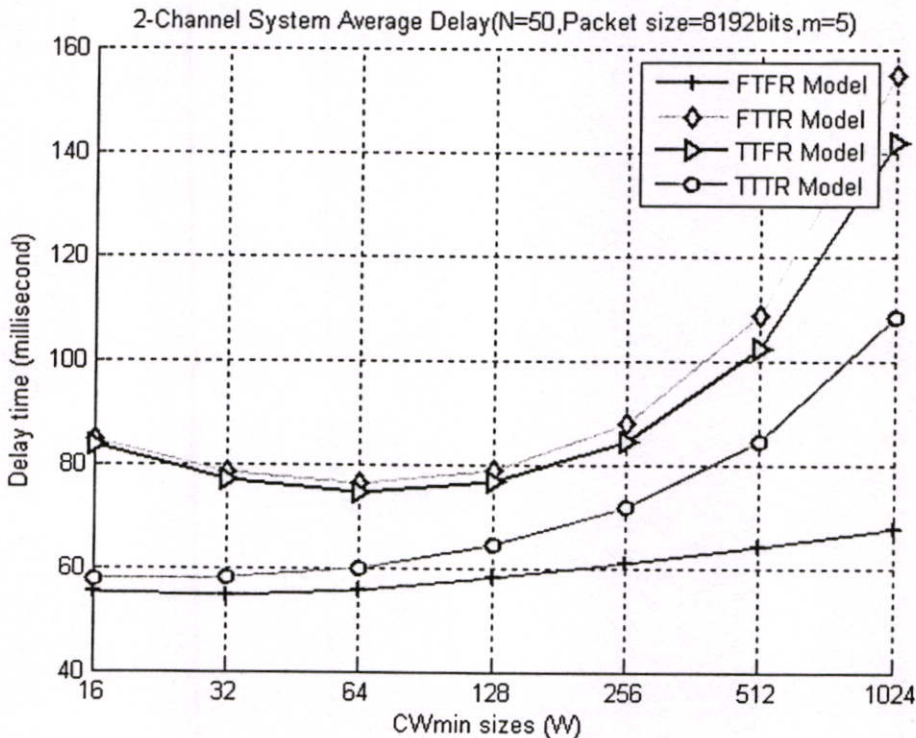


รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วง T_d กับจำนวนสถานีในเครือข่าย เมื่อ

$M = 2, CW \min = 32, m = 5, Packet \ Size = 8192bits$
ของเครือข่ายมัลติเซเนเนล

รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายมัลติเซเนเนลทั้งสี่แบบ เมื่อ $M = 2, W = 32, m = 5$ และ $Packet \ size = 8192bits$ ซึ่งพบว่าเครือข่ายแบบ FT-FR นั้นให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำที่สุดใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบ TT-TR และเครือข่ายแบบ FT-TR ให้ค่าเวลาหน่วงที่ใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบ TT-FR และหากพิจารณาค่าเวลาหน่วงที่สัมพันธ์กับค่า Back-off stages และค่า W ดังรูปที่ 5.24 จะเห็นว่าสำหรับเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-FR และ FT-TR นั้นให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำที่สุดในช่วง W เท่ากับ 32 ถึง 128 เมื่อ $N = 50, M = 2, W = 32, m = 5$ และ $Packet \ size =$

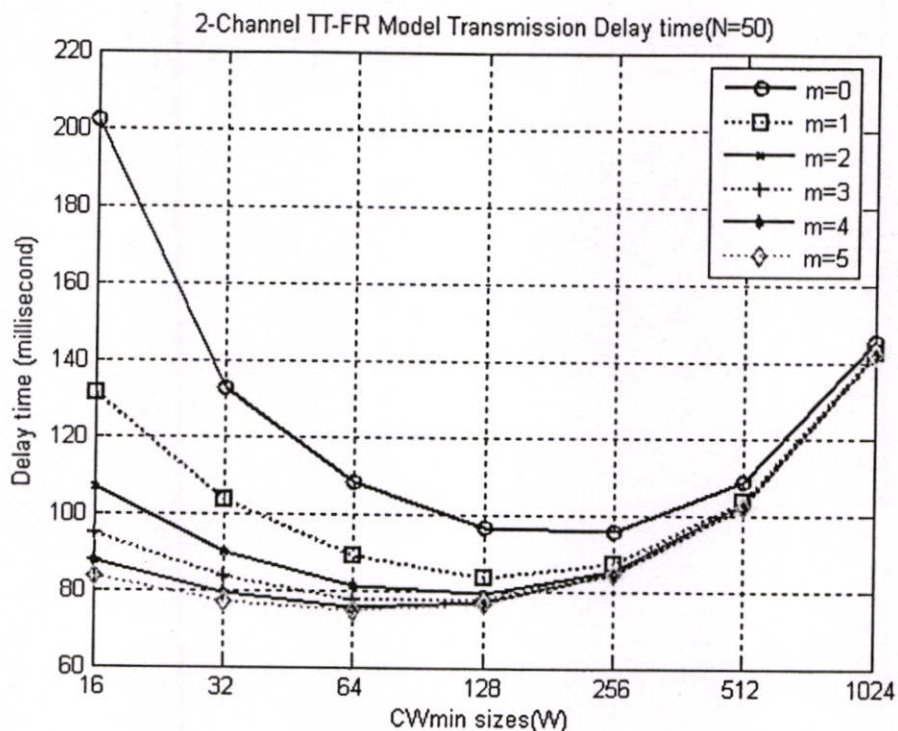
8192bits โดยที่เมื่อ $W > 128$ นั้นทำให้ Contention Window มีขนาดใหญ่ทำให้สถานีต้องรอนานขึ้นเป็นผลให้ค่าเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น และที่ $W < 32$ ทำให้การชนกันของข้อมูลมีมากขึ้นทำให้สถานีต้องมีการส่งข้อมูลซ้ำมีผลให้ค่าเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อเราทดลองลดค่า $W = 16$ พบว่าสำหรับเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ FT-TR และ TT-TR ยังคงให้ค่าเวลาหน่วงที่ลดลงอีกด้วย ซึ่งค่า W ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดให้ W เป็นค่าคงที่เท่ากับ 32 ซึ่งค่า W ที่เหมาะสมนั้นควรขึ้นอยู่กับรูปแบบการทำงานของเครือข่ายและควรให้สามารถปรับได้ตามลักษณะการใช้งานของเครือข่ายเพื่อให้เครือข่ายสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุด



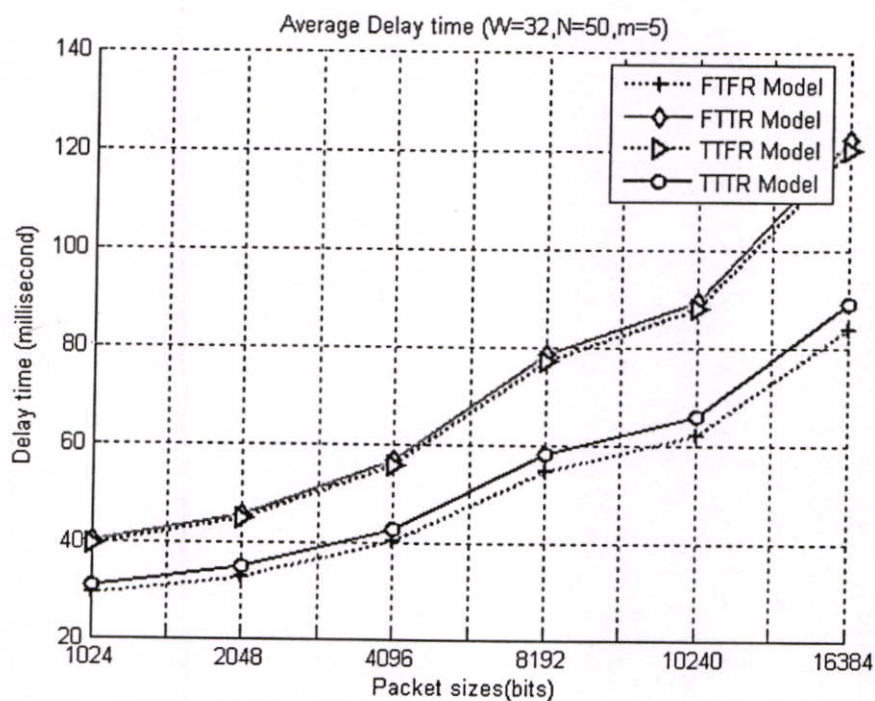
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับค่า CWmin เมื่อ

$$N = 50, \text{Packet Size} = 8192\text{bits}, M = 2$$

รูปที่ 5.25 แสดงค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-FR ที่มีผลจากค่า W และ m เมื่อ $N=50, M=2$ และขนาดข้อมูลเท่ากับ 8192 bits จะเห็นว่าที่ $m = 0$ นั้นเครือข่ายให้ค่าเวลาหน่วงสูง เนื่องจากผลจากการชนกันของข้อมูลและมีการส่งข้อมูลซ้ำทำให้เกิดเวลาหน่วงสูงขึ้น และเมื่อ $m = 5$ เครือข่ายมัลติเซเนเนลแบบ TT-FR ให้ค่าเวลาหน่วงต่ำที่สุดที่ $W = 64$ และรูปที่ 5.26 แสดงค่าเวลาหน่วงที่มีผลจากขนาดความยาวของข้อมูล ซึ่งจะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซเนเนลนั้นถึงแม้ว่าช่องสัญญาณจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว แต่สามารถให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาทั้งหมดที่สถานีใช้ในกระบวนการส่งข้อมูลนั้น เวลาส่วนใหญ่เป็นเวลาที่สถานีต้องใช้ในกระบวนการแย่งชิงช่องสัญญาณมากกว่า ระยะเวลาในการส่งส่วนของข้อมูลจริง



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับค่า CWmin และค่า Back-off Stage ของเครือข่ายมัลติเซเนลแบบ TT-FR เมื่อ $N = 50$, Packet Size = 8192bits, $M = 2$



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับขนาดความยาวข้อมูล ของเครือข่ายแบบ TT-TR เมื่อ $N = 50$, $m = 5$, CW min = 32

บทที่ 6

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าเครือข่ายมัลติเซินเนลสามารถรองรับการใช้งานในกรณีที่เครือข่ายมีผู้ใช้งานจำนวนมากได้โดยให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ ค่าวิสัยสามารถ และค่าเวลาหน่วงที่ต่ำกว่าเครือข่ายที่ใช้ช่องสัญญาณเดี่ยวอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายมีมากขึ้น เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR และ TT-FR ให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกันเมื่อทำงานในสถานะที่ภาระงานสูงสุด เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-FR และ TT-TR นั้นให้ค่าสมรรถนะที่สูงกว่าเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR และ TT-FR ถึงแม้ว่าอัตราการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณของเครือข่ายมัลติเซินเนลจะต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว แต่ก็ให้ค่าวิสัยสามารถรวมของเครือข่ายที่สูงกว่า เนื่องจากแต่ละสถานีสามารถเลือกช่องสัญญาณที่ใช้งานได้ ทำให้การชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณมีน้อยลง แต่อย่างไรก็ดี พบว่าในช่วงที่สถานีในเครือข่ายไม่มาก $N < 20$ นั้น เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-TR และ TT-FR แบบ 2 ช่องสัญญาณนั้นให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยว เครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ 2 ช่องสัญญาณสามารถให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงขึ้นจากเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวกว่า 30% และมากกว่า 60% เมื่อใช้เครือข่ายแบบ 3 ช่องสัญญาณ รวมถึงยังให้ค่าเวลาหน่วงและประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่กว่าด้วย

ค่าเวลาหน่วงของการรับส่งข้อมูลในเครือข่ายนั้นส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณได้แก่ การชนกันในช่องสัญญาณ และการรอคอยเนื่องจากค่า Back-off Timer เป็นหลัก เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นมีผลต่อค่าเวลาหน่วงไม่มากนัก ดังจะเห็นได้จากเครือข่ายแบบมัลติเซินเนลซึ่งใช้ช่องสัญญาณที่แคบลงมีอัตราการส่งข้อมูลลดลง แต่ยังสามารถให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำกว่าเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวซึ่งใช้ช่องสัญญาณกว้างกว่าและมีอัตราการส่งข้อมูลสูงกว่า ดังนั้นปัญหาของค่าเวลาหน่วงในระบบที่เกิดขึ้นคือการชนกันของข้อมูล ซึ่งการใช้เครือข่ายมัลติเซินเนลนั้นสามารถลดการชนกันของข้อมูลได้ ทำให้ค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายลดต่ำลง นอกจากนี้แล้วมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดค่า Minimum Contention Window (CW_{min}) แบบคงที่สำหรับเครือข่ายแบบช่องสัญญาณเดี่ยวที่ $W=32$ และ $m=5$ แต่ในกรณีของเครือข่ายมัลติเซินเนลนั้นค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายแบบ TT-FR และ FT-TR มีค่าสูงสุดในช่วง W เท่ากับ 64 ถึง 256 และให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำสุดเมื่อ $W=128$ แต่กรณีของเครือข่ายมัลติเซินเนลแบบ FT-FR และ TT-TR นั้นสามารถให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงขึ้นเมื่อ CW_{min} สูงขึ้น และยังให้ค่าเวลาหน่วงที่ต่ำลงเมื่อ $W=16$ ดังนั้นค่าของ CW_{min} และ m นั้นควรให้สามารถปรับได้ตามสภาพ

การใช้งานและชนิดของเครือข่าย เพื่อให้เครือข่ายสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์เครือข่าย เพื่อให้เครือข่ายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้เครือข่ายมัลติเซกเมนตนั้น ต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เครือข่ายมัลติเซกเมนตแบบ FT-FR สามารถให้ค่าสมรรถนะเหนือกว่าเครือข่ายแบบอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าวิสัยสามารถ ค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ หรือค่าเวลาหน่วง แต่เครือข่ายแบบ FT-FR นั้นแต่ละสถานีจำเป็นต้องมีเครื่องรับส่งเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนสูง และไม่มีสะดวกในการขยายเครือข่าย เครือข่ายมัลติเซกเมนตแบบ TT-TR นั้นให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบ FT-FR แต่สามารถทำงานได้โดยแต่ละสถานีสามารถใช้เครื่องรับส่งเพียง 2 ชุด ทำให้มีความสะดวกในการทำงานหรือขยายเครือข่ายและมีต้นทุนที่ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ดีเครือข่ายแบบ TT-TR นั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการในการจัดสรรช่องสัญญาณที่ดี เพื่อให้แต่ละสถานีสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครือข่ายแบบ FT-TR นั้นช่องสัญญาณสำหรับการส่งถูกกำหนดไว้แบบแน่นอน ส่วนด้านรับสามารถเลือกการรับได้ ซึ่งยังคงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการรับส่งสัญญาณควบคุมออกมาอีกหนึ่งช่อง จึงทำให้เป็นการเปลืองช่องสัญญาณอยู่ และสำหรับเครือข่ายมัลติเซกเมนตแบบ TT-FR นั้นแต่ละสถานีจะกำหนดช่องสัญญาณด้านรับแบบคงที่ ด้านส่งสามารถเลือกส่งข้อมูลไปยังช่องสัญญาณของสถานีปลายทางได้โดยตรง ทำให้สามารถลดจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องใช้ได้ ดัง [5] ซึ่งใช้กระบวนการ RTS/CTS/RES ในการควบคุมการทำงานทำให้สถานีในเครือข่ายสามารถทำงานได้โดยใช้เครื่องรับส่งเพียงชุดเดียวได้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้แสดงการวิเคราะห์สมรรถนะของเครือข่ายมัลติเซกเมนตรูปแบบต่างๆ ซึ่งพิจารณาเฉพาะส่วนของการเชื่อมต่อแบบ Ad hoc หรือ Peer to Peer เท่านั้น ซึ่งในส่วนของการใช้จริงนั้น การใช้งานเครือข่ายจะประกอบด้วยการใช้งานแบบประเภท Peer to Peer และ แบบ Client/Server เช่นการเชื่อมต่อกับ Database Server หรือ การใช้งาน Internet ซึ่งรูปแบบเครือข่ายมัลติเซกเมนตแต่ละแบบนี้จะมีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งในส่วนนี้สามารถศึกษาต่อไปได้

บรรณานุกรม

- [1] IEEE Std 802.11, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1997.
- [2] F. Xue, Z. Ding, and S.J. Ben Yoo, "Performance analysis of Optical CDMA networks with random Access Schemes", IEEE Globe Communications Conference (GLOBECOM), 2004.
- [3] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE JSAC, vol.18, NO.3, 2000.
- [4] N. Jain and S. Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks," in IC3N, October, 2001.
- [5] T. Kobayashi, "TCP Performance over IEEE 802.11 Based multichannel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", IEICE Trans Commun, VOL.E38-B, APRIL, 2003.
- [6] W. Yue, Y. Matsumoto, "Performance Analysis of Multi-channel and Multi-Traffic on Wireless Communication Networks", Kluwer academic publishers, pp.51, 2002.
- [7] Zoran Hadzi-Velkov, Boris Spasenovski, "Saturation Throughput-Delay Analysis of IEEE802.11 DCF in Fading Channel", IEEE, 2003.

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. สมเกียรติ รัตนกุล, สุวิพล สิริชิวภาค, เกียรติไกร วงศ์โรจน์ภรณ์, "สมรรถนะของระบบเครือข่าย ไร้สายมัลติเซินแนลแบบ FT-TR และ TT-FR ทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 MAC", การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44, เล่มที่ 5, หน้า 52-59, 30 มกราคม -2 กุมภาพันธ์, 2549



เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ ๔๔ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ The Proceedings of 44th Kasetsart University Annual Conference

เล่มที่ 5

สาขาวิศวกรรมศาสตร์ (Subject: Engineering)

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ (Subject: Architecture)

สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

(Subject: Natural Resources and Environmental Management)

๓๐ มกราคม - ๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๙

ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน



“ เกษตรศาสตร์เพื่อพลังงานชีวภาพตามแนวพระราชดำริ ”

“ Agricultural Science : Carrying Forward the Royal Bio - Energy Initiative ”



สมรรถนะของระบบเครือข่ายไร้สายมัลติเชนเนลแบบ FT-TR และ TT-FR

ทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 MAC

Performances of IEEE 802.11 MAC based FT-TR and TT-FR Models

Multichannel Wireless Network

สมเกียรติ รัตนกุล

สุวิพล สิทธีชีวภาค

เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์

Somkiat Rattanakoon

Suvepon Sittichivapak

Kriengkrai Vonglodjanaporn

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็น การนำเสนอรูปแบบเครือข่ายไร้สายมัลติเชนเนล (Multichannel) ที่ทำงานด้วยโปรโตคอลตามมาตรฐาน IEEE 802.11 MAC เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครือข่ายให้สามารถรองรับภาระงานได้มากขึ้น โดยกา นำเสนอรูปแบบเครือข่ายชนิด Fixed Transmitter-Tunable Receiver (FT-TR) และ Tunable Transmitter Fixed Receiver (TT-FR) โดยได้แสดงการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay) ของเครือข่ายทั้งสองโมเดลเมื่อเครือข่ายทำงานที่ภาระงานสูงสุด (Saturated) ผลการวิเคราะห์ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของเครือข่ายกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ IEEE 802.11 DCF ซึ่งจะเห็นว่าสมรรถนะของระบบที่เสนอให้ค่าวิสัยสามารถ ค่าเวลาหน่วง และประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับระบบเครือข่ายที่ใช้ช่องสัญญาณเดียว

ABSTRACT

In this paper, the IEEE 802.11 MAC-based Multichannel Wireless Network Models are introduced to improve the network performances in the saturated condition. These two Multichannel Wireless Network Models are Fixed Transmitter-Tunable Receiver (FT-TR) and Tunable Transmitter Fixed Receiver (TT-FR). The Analytical model also has been given to evaluate the system throughput and delay time according to varying IEEE 802.11 DCF parameters. The Analytical test shows that the proposed models yield better throughput, channel efficiency, and delay performance compared to single channel system when the network is fully loaded.

Keywords: Multichannel WLAN, CSMA/CA, TT-FR Model, FT-TR Model, IEEE 802.11 DCF

Email :s6061219@kmitl.ac.th

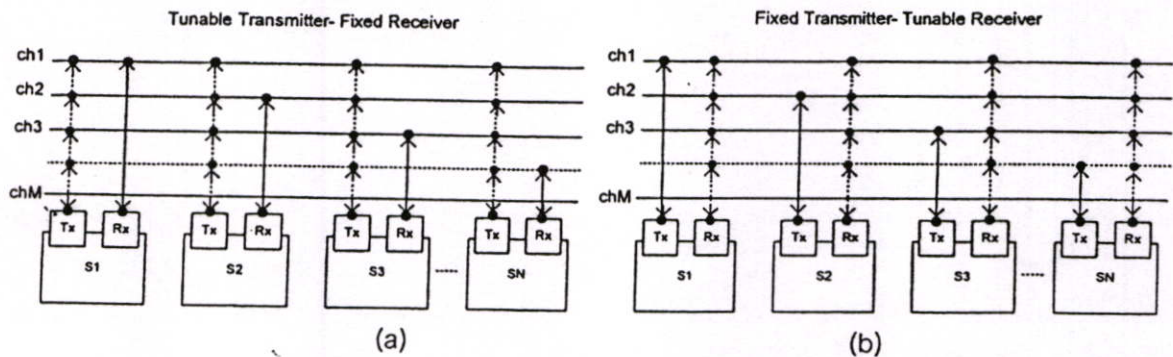


บทนำ

เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless LAN) ทำงานที่ย่านความถี่ 2.4GHz ประกอบด้วยช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานได้พร้อมกันโดยไม่รบกวนกันถึง 3 ช่องสัญญาณ ซึ่งปกตินั้นในเครือข่ายเดี่ยวแต่ละสถานีจะใช้ช่องสัญญาณเดียวกันในการรับส่งข้อมูล ดังนั้นในภาวะที่มีความหนาแน่นของข้อมูลจึงทำให้เกิดความล่าช้าเนื่องจากต้องมีการรอคอยและเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ บทความนี้ได้นำเสนอรูปแบบเครือข่ายแบบมัลติเชนเนล (Multichannel) ที่สามารถทำงานในหลายช่องสัญญาณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายให้สามารถรองรับภาระงานที่มากขึ้นได้ โดยกำหนดโครงสร้างการทำงานแบบการกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งคงที่-ช่องสัญญาณด้านรับปรับได้ (Fixed Transmitter-Tunable Receiver : FT-TR) และ แบบการกำหนดช่องสัญญาณด้านส่งปรับค่าได้-ช่องสัญญาณด้านรับคงที่ (Tunable Transmitter-Fixed Receiver : TT-FR) พร้อมทั้งได้แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเมื่อระบบทำงานบนพื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.11 MAC ด้วยกระบวนการควบคุมแบบกระจายเรียกว่า Distribution Coordination Function (DCF) RTS-CTS Mechanism โดยการวิเคราะห์เพื่อหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง(Delay) ของทั้งสองโมเดล

อุปกรณ์และวิธีการ

1. โครงสร้างของเครือข่ายและการทำงาน



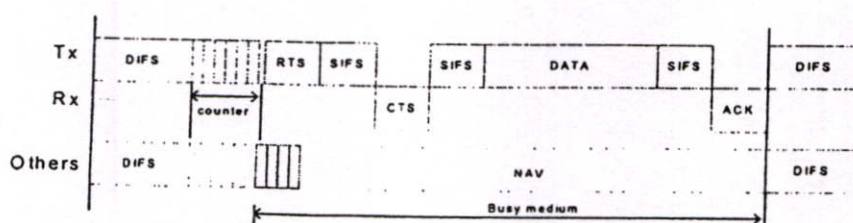
รูปที่ 1. โมเดลเครือข่ายมัลติเชนเนลแบบ TT-FR และ FT-TR

รูปที่ 1(a) เครือข่ายมัลติเชนเนลโครงสร้างแบบ Tunable Transmitter -Fixed Receiver (TT-FR) ประกอบด้วยสถานีจำนวน N สถานี แต่ละสถานีใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกันทั้งหมด M ช่อง ($N > M$) แต่ละสถานีจะกำหนดช่องสัญญาณสำหรับรับข้อมูลไว้แน่นอน สถานีด้านส่งต้องปรับช่องสัญญาณให้ตรงกับสถานีด้านรับเพื่อทำการรับส่งข้อมูล รูปที่ 1(b) เครือข่ายมัลติเชนเนลโครงสร้างแบบ Fixed Transmitter - Tunable Receiver (FT-TR) แต่ละสถานีจะกำหนดช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลไว้แน่นอน สถานีด้านรับต้องปรับช่องสัญญาณให้ตรงกับด้านส่งเพื่อทำการรับส่งข้อมูล ซึ่งสถานีด้านรับจะทราบถึงข้อมูลการปรับช่องสัญญาณผ่านกระบวนการควบคุม ซึ่งในที่นี้เราสมมุติให้กระบวนการควบคุมนี้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสมมุติแต่ละช่องสัญญาณมีจำนวนสถานีเท่าๆกัน และใช้ IEEE 802.11 MAC ในกระบวนการควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

2. IEEE 802.11 MAC

IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานสำหรับกับการควบคุมการใช้งานช่องสัญญาณ (Medium Access Control protocol) สำหรับระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น ประกอบด้วยกระบวนการควบคุมแบบจากส่วนกลางเรียกว่า Point

Coordination Function (PCF) ซึ่งใช้วิธีการ polling และการควบคุมแบบกระจายเรียกว่า Distribution Coordination Function (DCF) ซึ่งใช้กระบวนการ Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) ในการตรวจสอบและการแย่งชิงเพื่อใช้ช่องสัญญาณ ดังรูปที่ 2 สถานีต้นทางจะทำการส่งเฟรม RTS เมื่อค่าเวลานับถอยหลังลดลงเป็นศูนย์ และรอคอยการตอบ CTS จากปลายทาง หากไม่ได้รับ CTS ในระยะเวลา SIFS หรือไม่ได้รับ ACK ก็จะต้องเกิดการเกิดการชนกันของข้อมูลในช่องสัญญาณ สถานีก็จะเริ่มกระบวนการ backoff ใหม่จนการส่งข้อมูลทำได้สำเร็จ ฝั่งการทำงานของกระบวนการ backoff แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งในที่นี่เราจะพิจารณาระบบที่ใช้กระบวนการควบคุมแบบ DCF และ ใช้เทคนิค RTS/CTS handshaking และใช้ช่องสัญญาณกายภาพแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS PHY) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 2. RTS-CTS Access Mechanism

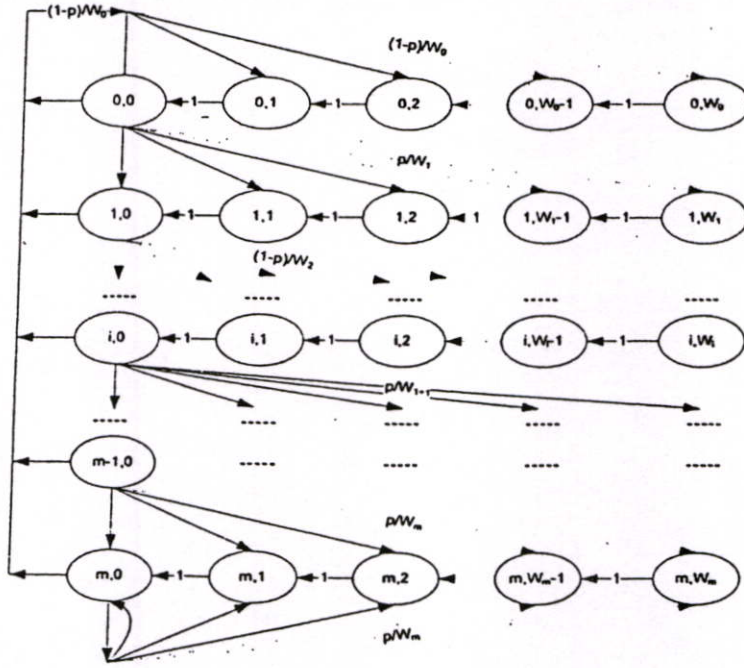
Parameters	Default	Parameters	Default
Channel Rate	11 Mbps	CTS	14 Octets+PHY
PHY Header	192 bits	SIFS	10 μ sec
MAC header	34 Octets	DIFS	50 μ sec
ACK	14 Octets+PHY	Slot time (δ)	20 μ sec
RTS	20 Octets+PHY	CW	32-1024

ตารางที่ 1. IEEE 802.11b DSS PHY parameters

3. การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

3.1 ความน่าจะเป็นของการได้ส่งข้อมูล

เราใช้วิธีการของ Bianchi(2000) ในการวิเคราะห์ระบบ โดยการพิจารณาแต่ละช่องสัญญาณเมื่อระบบมีภาระสูงสุดในสภาวะคงตัว ซึ่งทุกสถานีจะมีข้อมูลสำหรับส่งตลอดเวลา แต่ละสถานีเมื่อการส่งข้อมูลสำเร็จแล้วจะมีข้อมูลใหม่สำหรับส่งต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อให้ $b_{i,k}$ เป็นความน่าจะเป็นที่สถานีจะอยู่ที่สถานะ i, k โดยที่ i คือค่า backoff stage มีค่าตั้งแต่ $(0, m)$ และ k เป็นค่าเวลา backoff มีค่าตั้งแต่ $(0, W_i - 1)$ โดยที่ $W_i = 2^i CW_{\min}$ (Minimum Contention Window) สถานีทำการสุ่มค่าเวลา k ในช่วง $(0, W_i - 1)$ โดยที่ค่า k จะลดลงครั้งละหนึ่งทีทุก slot time และสถานีจะทำการส่งข้อมูลที่สถานะ $b_{i,0}$ หากการส่งข้อมูลไม่สำเร็จสถานีจะทำการสุ่มค่าเวลา k ใหม่ในช่วง $(0, W_{i+1} - 1)$ โดยที่ i จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 โดยที่ $0 \leq i \leq m$ เมื่อ m เป็นจำนวน backoff stage และ p คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่สถานีจะได้ส่งข้อมูล τ สามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 3. ผัง Markov ของกระบวนการ backoff

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & , i = 0 \\ pb_{i-1,0} & , 0 < i < m \\ p(b_{m-1,0} + b_{m,0}) & , i = m \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ $\sum_{i=0}^m b_{i,0} = \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p}$ ดังนั้นเราสามารถเขียน (1) ใหม่ได้ดังนี้

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1) \quad (2)$$

โอกาสที่สถานีจะสามารถส่งข้อมูลได้คือเมื่อสถานีอยู่ที่สถานะ $b_{i,0}$ ซึ่งเราจะได้ว่า

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} \quad (3)$$

โดยที่เราต้องทราบ $b_{0,0}$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า $b_{0,0}$ ได้จาก

$$1 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right] \quad (4)$$

จาก (3)(4) เราสามารถหาค่า τ ได้ดังนี้

$$\tau = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (5)$$

สำหรับระบบช่องสัญญาณเดียวนั้นหากไม่พิจารณาผลจากคุณสมบัติของช่องสัญญาณ ค่า τ ของระบบจะขึ้นอยู่กับ การชนกันของข้อมูลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่สำหรับระบบมัลติเซสแนลนั้นความสำเร็จของการรับส่งข้อมูลนั้นนอกจากจะขึ้นกับการชนกันของข้อมูลแล้วยังขึ้นอยู่กับความพร้อมที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้ และความสำเร็จของการรับข้อมูลหากมีการส่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งสถานีไปยังปลายทางเดียวกันพร้อมกัน

เมื่อเราให้แต่ละช่องสัญญาณมีจำนวนสถานีเท่าๆกัน $n = N/M$ สถานี เราสามารถหาค่า p สำหรับแต่ละโมเดลได้ดังต่อไปนี้

TT-FR Model : สถานีด้านส่งจะตรวจสอบช่องสัญญาณของด้านรับและส่งข้อมูลไปยังด้านรับโดยตรง ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะสำเร็จ p_{sr} ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ p_{sc} และความน่าจะเป็นที่สถานีปลายทางกำลังใช้ในช่องสัญญาณ p_{sac} เมื่อพิจารณาที่แต่ละช่องสัญญาณ ความน่าจะเป็นที่จะมีสถานีอย่างน้อยหนึ่งสถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณคือ $p_r = 1 - (1 - \tau)^n$ และความน่าจะเป็นที่จะมีเพียงสถานีเดียวเข้าใช้ช่องสัญญาณคือ $p_1 = n\tau(1 - \tau)^{n-1}$ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเข้าใช้ช่องสัญญาณจะสำเร็จ p_{sc} คือ

$$p_{sc} = \frac{p_1}{p_r} \quad (6)$$

และ $p_{sac} = p_{sr} / n$ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลของสถานีจะสำเร็จคือ

$$p_{sr} = p_{sc}(1 - p_{ac}) \longrightarrow p_{sr} = \frac{np_{sc}}{n + p_{sc}} \quad (7)$$

เมื่อให้ p_h เป็นความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลช่องสัญญาณ $p_h = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$ และ p_{sac} เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะล้มเหลวคือ

$$p_{frr} = 1 - (1 - p_h)(1 - \frac{p_{sr}}{n}) \quad (8)$$

ดังนั้นจาก (5) และ (8) เราสามารถหาค่า τ และ p ได้โดยการใช้วิธีเชิงตัวเลขเมื่อให้ $p = p_{frr}$

FT-TR Model: สถานีด้านส่งจะส่งข้อมูลในช่องสัญญาณหลักของตนเอง ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะสำเร็จ p_{sr} จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่ด้านส่งจะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ p_{sc} ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่ด้านรับจะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จ \bar{p}_{sr} เนื่องจากการที่มีสถานีส่งมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางเดียวกัน และความน่าจะเป็นที่สถานีปลายทางกำลังใช้ช่องสัญญาณ p_{sac} กำหนดให้ $F(s, c, r)$ เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่สถานีปลายทางจะสามารถรับข้อมูลได้สำเร็จ r สถานี เมื่อสถานีต้นทางส่งข้อมูลออกมาพร้อมกัน c สถานีจาก M ช่องสัญญาณและมีสถานีด้านรับ s สถานี ดัง Xue(2004) แสดงไว้คือ

$$F(s, c, r) = \binom{s}{r} \sum_{i=0}^r (-1)^i \binom{r}{i} \left(\frac{r-i}{s}\right)^c \quad (9)$$

โดยที่ $0 \leq c \leq M$ และ $0 \leq r \leq c$ ดังนั้นจาก (9) ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย \bar{p}_{sr} ที่การรับส่งข้อมูลจะสำเร็จเมื่อระบบมีจำนวนสถานีเท่ากับ N จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ M ช่องคือ

$$E[F_i] = \sum_{j=1}^i jF(N-i, i, j) \longrightarrow \bar{p}_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^M E[F_i]}{\sum_{i=1}^M i} \quad (10)$$

เมื่อ i คือจำนวนสถานีที่ส่งข้อมูลพร้อมกันและ $N-i$ เป็นจำนวนสถานีที่มีโอกาสจะได้รับข้อมูล \bar{p}_{sr} คือความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การรับข้อมูลจะประสบความสำเร็จ และความน่าจะเป็นที่สถานีปลายทางกำลังใช้ช่องสัญญาณ $p_{ac} = p_{srr} / n$ และดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จ p_{srr} คือ

$$p_{srr} = p_{sc}\bar{p}_{sr}(1 - p_{ac}) \longrightarrow p_{srr} = \frac{np_{sc}\bar{p}_{sr}}{n + p_{sc}\bar{p}_{sr}} \quad (11)$$



เมื่อ p_h , p_{sc} และ \bar{p}_{sr} เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะล้มเหลวคือ

$$p_{f_{rT}} = 1 - (1 - p_h)(1 - p_{sc})(1 - \bar{p}_{sr}) \tag{12}$$

ดังนั้นจาก (5) และ (12) เราสามารถหาค่า τ และ ρ ได้โดยใช้วิธีเชิงตัวเลข เมื่อ $p = p_{f_{rT}}$

3.2 ค่าวิสัยสามารถ

เมื่อให้ค่าวิสัยสามารถ S เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยจำนวนบิตข้อมูลที่ส่งได้สำเร็จต่อเวลาเฉลี่ยการส่งข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นเราสามารถหาค่าวิสัยสามารถของระบบได้คือ

$$S = \frac{E[M]E[L]p_s}{p_r p_s T_s + (1 - p_r)\delta + p_r p_f T_c} \tag{13}$$

$$\eta = \frac{S}{RM} \tag{14}$$

โดยที่ $E[L]$ เป็นค่าเฉลี่ยความยาวของแพ็กเก็ตข้อมูล T_s เป็นค่าเวลาที่ต้องใช้เมื่อการส่งมุลทำได้สำเร็จ T_c คือค่าเวลาที่ต้องใช้หากการส่งข้อมูลไม่สำเร็จ δ คือค่า slot time η คือค่า Normalized throughput R คือความเร็วของช่องสัญญาณ และ $E[M]$ คือค่าเฉลี่ยจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานซึ่งเราสามารถหาได้คือ

$$E[M] = \sum_{i=1}^M \binom{M}{i} p_r^i (1 - p_r)^{M-i} \tag{15}$$

โดยที่ $T_s = T_{RTS} + T_{CTS} + T_{DATA} + 2T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS} + 4\delta$ (16)

$$T_c = T_{RTS} + T_{DIFS} + \delta \tag{17}$$

$$p_s = \begin{cases} p_{s_{rT}} & , TT - FR \text{ Model} \\ p_{s_{fT}} & , FT - TR \text{ Model} \end{cases} \quad \text{และ} \quad p_f = \begin{cases} p_{f_{rT}} & , TT - FR \text{ Model} \\ p_{f_{fT}} & , FT - TR \text{ Model} \end{cases}$$

3.3 ค่าเวลาหน่วง

เราสามารถหาเวลาหน่วงเฉลี่ย T_d ของการส่งข้อมูลได้สำเร็จหนึ่งครั้งคือ

$$T_d = T_s + (T_c p - \frac{T_{rc} p}{2}) \frac{1}{1-p} + \frac{T_{rc} p W}{2} \frac{(1-p-p(2p)^m)}{(1-p)(1-2p)} \tag{18}$$

เมื่อ T_{rc} คือช่วงเวลาระหว่างการส่งข้อมูลการส่งที่สำเร็จครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง สามารถหาได้จาก

$$T_{rc} = n_{ide} \delta + p_{1s} T_s + (1 - p_{1s}) T_c \tag{19}$$

เมื่อ n_{ide} คือจำนวน slot ว่าง และ p_{1s} คือความน่าจะเป็นที่สถานีที่เหลือนในแต่ละช่องสัญญาณจะประสบความสำเร็จในการส่งคือ

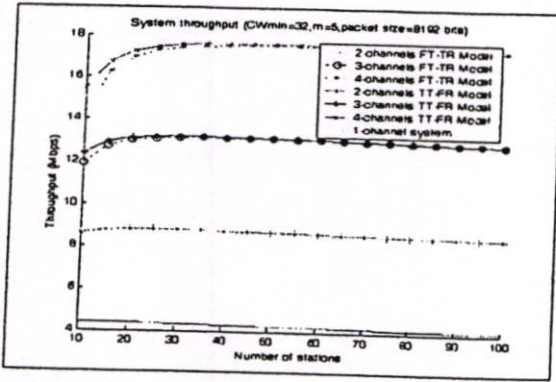
$$p_{1s} = \frac{(n-1)\tau(1-\tau)^{n-2}}{1-(1-\tau)^{n-1}} \quad \text{และ} \quad n_{ide} = \frac{(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^{n-1}}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

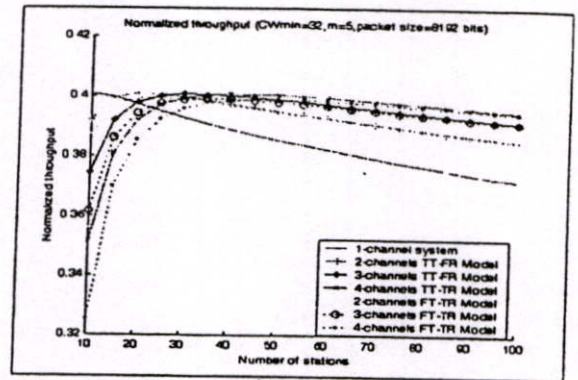
ค่าวิสัยสามารถรวมของเครือข่ายมัลติเซเนเนลโครงสร้างแบบ FT-TR และ TT-FR แสดงในรูปที่ 4 และในรูปที่ 5 แสดงค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อทำการออร์มอลไรซ์ด้วยจำนวนช่องสัญญาณและความเร็วของช่องสัญญาณ ดัง (14) จะเห็นว่าประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณของระบบมัลติเซเนเนลมีค่าสูงกว่าระบบช่องสัญญาณเดี่ยวอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนสถานีระบบเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีที่มีจำนวนสถานีในระบบน้อยๆ คือ 10-15 สถานี ระบบช่องสัญญาณเดี่ยวยังคงให้ค่าประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณที่สูงกว่าระบบมัลติเซเนเนลทั้งสองโมเดลที่มี 2 ช่องสัญญาณ รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของค่า CWmin(W) และจำนวน backoff stage



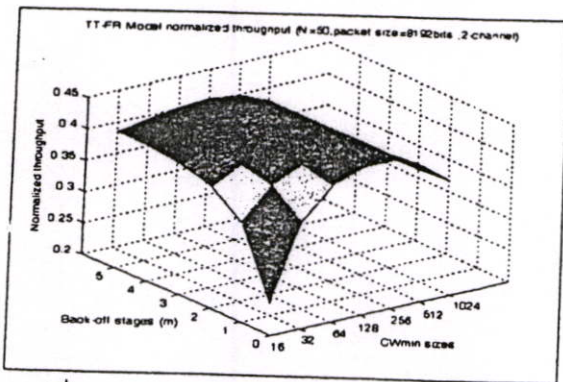
(m) ต่อค่าวิสัยสามารถนอร์มอลไรซ์ จะเห็นว่าเมื่อค่า m มากขึ้นจะให้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้น แต่สำหรับค่า ν เพิ่มขึ้นนั้นจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงสุดในช่วงหนึ่งเท่านั้นดังรูปเมื่อ $N=50$ และ $M=2$ ระบบมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดเมื่อ $W \in (128, 256)$ รูปที่ 7 แสดงค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยในการส่งข้อมูลของทั้งสองโมเดล ซึ่งให้ค่าเวลาที่ต่ำกว่าระบบช่องสัญญาณเดียวอย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาค่าเวลาหน่วงกับค่า m และ W ดังรูปที่ 8-9 เห็นว่าเมื่อ m มีค่าน้อยจะทำให้ค่าเวลาหน่วงสูงขึ้น เนื่องจากที่จำนวน backoff stage น้อยทำให้ค่า Content Window จะถูกจำกัดในช่วงแคบๆ ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลซ้ำซ้อนมีมากขึ้น และในทางกลับเมื่อค่า W มีค่าสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากเมื่อ Contention Window มีค่ามากขึ้นโอกาสที่เกิด slot ว่างก็มีสูงขึ้นเช่นกัน ดังในรูปที่ 9 เมื่อ $N = 50$ $M = 2$ และ $E[L] = 8192$ บิต ซึ่งให้ค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย



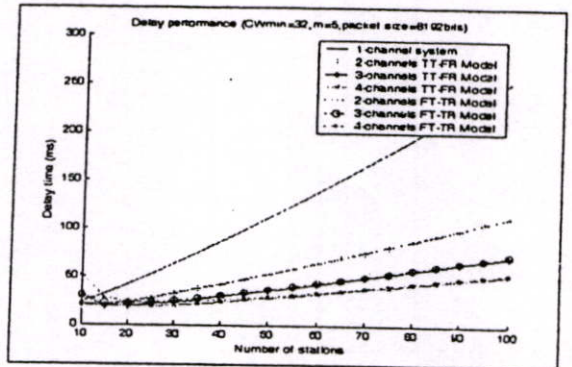
รูปที่ 4. ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบ



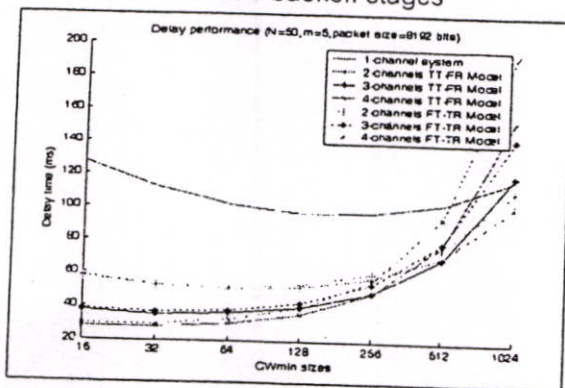
รูปที่ 5. ค่าวิสัยสามารถนอร์มอลไรซ์ของช่องสัญญาณ



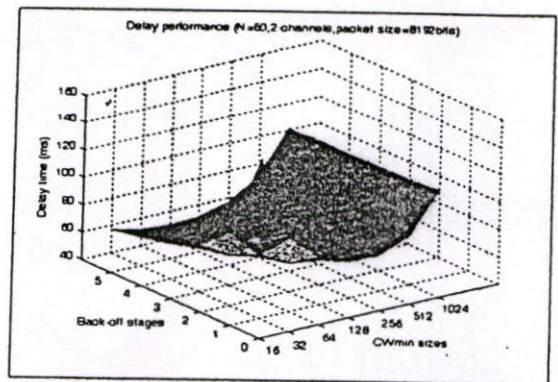
รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเทียบกับ CWmin และ backoff stages



รูปที่ 7. ค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยของการส่งเพิกเกิด



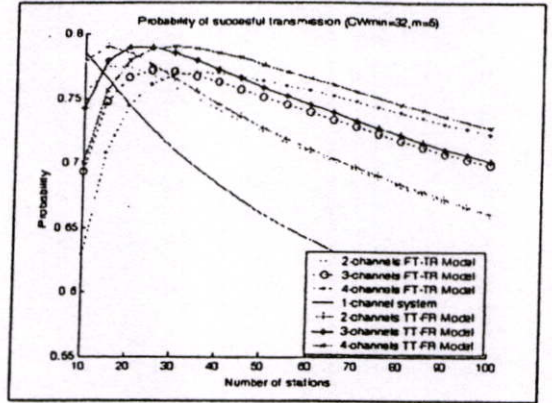
รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงและ CWmin



รูปที่ 9. ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงกับ CWmin และ backoff stages



ค่าที่ทดสอบคล้องกับคำวิสัยสามารถของระบบดังในรูปที่ 6 คือ เมื่อ $W \in (128, 256)$ และในรูปที่ 10 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นจะประสบความสำเร็จ $p_{s_{TT}}$ ของโมเดล TT-FR และ $p_{s_{FT}}$ ของโมเดล FT-TR ซึ่งจะเห็นว่า $p_{s_{TT}} > p_{s_{FT}}$ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าของ \bar{p}_{sr} ดัง(10) แต่อย่างไรก็ดีในกรณีที่มีจำนวนสถานีในระบบมีจำนวนไม่มากจะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลจะประสบความสำเร็จของระบบช่องสัญญาณเดียวมีค่าสูงกว่าระบบมัลติเซเนเนล ทั้งนี้เนื่องจากเราพิจารณาระบบในสภาวะที่มีระบบมีการงานสูงสุด แต่ละสถานีจะมีข้อมูลสำหรับส่งตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อจำนวนสถานีในระบบมีน้อย ทำให้ p_{sac} มีค่าสูงซึ่งทำให้ค่า $p_{s_{FT}}$ และ $p_{s_{TT}}$ ของระบบน้อยลงดัง (7) และ (11)



รูปที่ 10. ความน่าจะเป็นของความสำเร็จในการส่งข้อมูลของ TT-FR และ FT-TR

สรุป

เครือข่ายมัลติเซเนเนลโครงสร้างแบบ TT-FR และ FT-TR ให้ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณสูงกว่าแบบช่องสัญญาณเดียวอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนสถานีในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับกรณีที่จำนวนสถานีในเครือข่ายมีน้อย ประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณของระบบช่องสัญญาณเดียวมีค่าสูงกว่าเครือข่ายมัลติเซเนเนล ดังนั้นระบบมัลติเซเนเนลจึงเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนสถานีระบบมาก และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโครงสร้างทั้งสองแบบจะเห็นว่าโครงสร้างแบบ TT-FR ให้ค่าสมรรถนะโดยรวมสูงกว่าโครงสร้างแบบ FT-TR ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงค่าสมรรถนะของระบบที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามมาตรฐาน IEEE802.11 เพื่อให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับแต่ละระบบได้

เอกสารอ้างอิง

IEEE standard 802.11b.1999. Standard for Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specification.

A. Nasipuri and S. R. Das. 2000. Multichannel CSMA with Signal Power-based Channel Selection for Multihop Wireless Networks. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC).

F. Xue, Z. Ding, and S.J. Ben Yoo. 2004. Performance analysis of Optical CDMA networks with Random Access Schemes. IEEE Globe Communications Conference (GLOBECOM) 2004.

G. Bianchi. 2000. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function IEEE JSAC ,vol.18 NO.3.

N. Jain and S. Das. 2001.A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks. IC3N.

S.L Wu, C.Y. Lin, Y.C. Tseng and J.-P. Sheu.2000. A New Multi-channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multihop Mobile Ad Hoc Networks. (I-SPAN).

T. Kobayashi. 2003.TCP Performance over IEEE 802.11 Based mulichannel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IEICE Trans Commun, vol.E38-B.

ประวัติผู้เขียน

นายสมเกียรติ รัตนกุล เกิดเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ.2516 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546 ด้วยทุนของ บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกร บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)