การประมาณค่าของทรูพุทของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายในสภาวะสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม

EVALUATION OF THROUGHPUT OF CSMA/CA WIRELESS LAN IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล
CHAILERT AUTRANSAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-749-1

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประมาณค่าของทรูพุทของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายในสภาวะสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม

EVALUATION OF THROUGHPUT OF CSMA/CA WIRELESS LAN IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล

CHAILERT AUTRANSAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-749-1

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 48390
วัน, เดือน, ปี 12 ต.ค. 2546

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

EVALUATION OF THROUGHPUT OF CSMA/CA WIRELESS LAN IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

CHAILERT AUTRANSAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEER IN ELEECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-749-1

COPYRIGHT 2003
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณค่าของทรูพุทของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายในสภาวะสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม

EVALUATION OF THROUGHPUT OF CSMA/CA WIRELESS LAN IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

ชื่อนักศึกษา นายชัยเลิศ เอาทารย์สกุล

รหัสประจำตัว 43061077

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวิพล สิทธิชีวภาค

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาคีพงษ์	
รศ.ณรงค์	เหมกรณ์	
รศ.นิภา	ลีลารุจิ	
ผศ.เกรียงไกร	วงศ์โรจนภรณ์	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 1 สิงหาคม 2546 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....25.....**เดือน**.....สิงหาคม.....**พ.ศ**.....2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าของทรูพุทของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สาย ในสภาวะสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม
นักศึกษา	นาย ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล
รหัสประจำตัว	43061077
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอความสามารถในการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA ในสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมคือวิธีที่จะศึกษาและผลของการใช้ แค็ปเจอร์เอ็ฟเฟ็ก (Capture effect) โดยที่ค่าของแค็ปเจอร์เอ็ฟเฟ็ก จะเกี่ยวข้องกับวิธีการมอดูเลตสัญญาณ, ความยาวของแพ็กเกตและสัญญาณข้อมูลที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise)และช่องสัญญาณการจางหายที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม ผลจากการวิเคราะห์เราจะเห็นได้ว่าระบบ CSMA/CA เป็นระบบที่ประสิทธิภาพและเมื่อเราใช้แค็ปเจอร์เอ็ฟเฟ็กจะทำให้ค่าของ Throughput ของการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA นั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้น.

Thesis Title	Evaluation of throughput of CSMA/CA wireless LAN in industrial environment
Student	Mr. Chailert Autransakul
Student ID.	43061077
Degree	Master of Engineering (Electrical Engineering)
Programme	Electrical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suvepon Sittichevapak

ABSTRACT

This thesis presents the ability of carrier sense multiple access/collision-avoidance random access in factory environment and uses capture effect. The effect relates to the modulation method, length packet, signal to noise ratio of received signal and fading channels in factory environment. The analyzed results show that CSMA/CA protocol has efficiency performance and capture effect increases the average throughput of CSMA/CA random access.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จเป็นอย่างดีในครั้งนี้นั้น ด้วยคำแนะนำและการให้คำที่ปรึกษาเกี่ยวกับการทำงานวิจัยจนมาเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณอย่างจริงใจ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาคและผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ควบคุมงานวิจัยของกระผมที่กรุณาให้แนวความคิดและให้คำที่ปรึกษาและการแนะแนวทางในการทำงานวิจัยตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยของกระผม

ขอขอบคุณ บิดา-มารดา ของกระผม ที่ให้การช่วยเหลือในระหว่างการศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อนๆและรุ่นน้องๆที่ให้การช่วยเหลือกระผมในระหว่างการศึกษามาโดยตลอด

ประโยชน์และคุณค่าที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น กระผมขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาตั้งแต่ตอนต้นและหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ทำงานวิจัยในด้านนี้ต่อไป

ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญรูป.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 กล่าวนำ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....1

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....2

บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....3

2.1 กล่าวนำ.....3

2.2 โครงข่ายท้องถิ่น.....4

2.3 มาตรฐานของโครงข่ายแบบไร้สาย.....5

2.3.1 สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11.....7

2.3.2 มาตรฐานของ IEEE 802.11 ในชั้น MAC.....9

2.3.3 มาตรฐานของ IEEE 802.11 ในชั้นฟิสิกส์คอล.....14

2.4 โครงข่ายแบบไร้สายเปรียบเทียบกับแบบใช้สาย.....15

บทที่ 3 วิธีการเข้าถึงแบบสุ่ม.....17

3.1 วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของอะโลฮาแบบต่างๆ.....17

3.2 การเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD.....18

3.3 การเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA.....21

บทที่ 4 การสื่อสารดิจิตอลบนช่องสัญญาณการจางหายในสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม.....30

4.1 สิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม.....30

4.2 ระบบการเข้าถึงแบบหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA).....34

4.2.1 หลักการของไดเร็คซีเควนซ์ดีเอ็มเอ.....35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 หลักการของฟรีเควนซีฮอปซีดีเอ็มเอ.....38

บทที่ 5 การวิเคราะห์วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มแบบCSMA/CAในสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม..41

5.1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์.....41

5.2 การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์.....41

บทที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงเลข.....50

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของแพ็กเกตผิดพลาดกับ Eb/No.....49

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของวิสัยสามารถ (Throughput) กับโหลด(offer load).....56

บทที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์.....65

บรรณานุกรม.....67

ภาคผนวก.....68

ประวัติผู้เขียน.....69

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 มาตรฐานของ IEEE 802 เปรียบเทียบกับมาตรฐานของ OSI.....6

2.2 มาตรฐานเฟรมของ IEEE 802.....6

2.3 สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11.....7

2.4 สถาปัตยกรรมของระเบียบวิธีการสื่อสาร IEEE 802.11.....11

2.5 บล็อกไดอะแกรมของชั้น MAC.....12

2.6 ช่วงของเวลาของชั้น MAC ตามมาตรฐาน IEEE 802.11.....13

3.1 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของสล็อตอะโลฮา.....18

3.2 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA.....19

3.3 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD.....21

3.4 ไดอะแกรมสถานะของระบบ CSMA/CA.....22

4.1 แบบจำลองระบบโครงข่ายแบบไร้สายในโรงงานอุตสาหกรรม.....30

4.2 รูปแบบของระบบซีดีเอ็มเอ.....35

4.3 ภาคส่งของไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ.....36

4.4 ภาครับของไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ.....36

4.5 แถบความถี่ของสัญญาณข้อมูล.....37

4.6 ภาคส่งของระบบฟรีเควรซีฮอปซีดีเอ็มเอ.....38

4.7 ภาครับของระบบฟรีเควรซีฮอปซีดีเอ็มเอ.....39

4.8 รูปแบบการกระโดดความถี่ของฟรีเควนซีฮอปซีดีเอ็มเอ.....40

5.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณ.....41

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล 5000/แพ็กเกต บนช่องสัญญาณล็อกนอร์มอล.....50

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล 5000/แพ็กเกต บนช่องสัญญาณเรลี่.....51

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล5000/แพ็กเกต บนช่องสัญญาณไรเชียน.....52

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณล็อกนอร์มอล.....53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณเรลี่.....54

6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณไรเชียน.....55

6.7 รูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบเรย์ลี่ทีที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต.....57

6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบเรย์ลี่ ที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต.....58

6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบไรเซียนที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต.....59

6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบไรเซียนที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต.....60

6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบล็อกนอร์มอลที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต.....61

6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบล็อกนอร์มอลที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต.....62

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 ค่าความแปรปรวนที่ได้จากการวัดในโรงงาน อุตสาหกรรม.....50

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายนั้นได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากทั้งในด้านโทรศัพท์ และด้านคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันและการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันสามารถที่จะทำได้สะดวกและทำได้เกือบทุกสถานที่กว่าแต่ก่อนมาก ถ้าเรากล่าวถึงในด้านคอมพิวเตอร์แล้วเราจะเห็นได้ว่า ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขึ้นมาเพื่อทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกันได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้นและสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆได้เฉพาะภายในบริเวณโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (wireless LAN) นั้นๆหรือภายในบริเวณโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในโครงข่ายอื่นๆ ซึ่งโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้สามารถที่จะสร้างภายในโรงงานอุตสาหกรรม ภายในมหาวิทยาลัย หรือภายในอาคารต่างๆได้ ซึ่งการสื่อสารภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้นั้นจะเป็นไปตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

โดยที่การออกแบบและการวิเคราะห์โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ณ ที่ชั้นMAC ระเบียบวิธีการสื่อสาร (medium access control protocol) นั้นคือสิ่งสำคัญสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ใช้ระเบียบวิธีการสื่อสาร (protocol) แบบ CSMA/CA ที่ชั้นMAC ระเบียบวิธีการสื่อสาร ในการวิเคราะห์สมรรถนะ (performance) ของระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและมีการนำเอาปรากฏการระงับ (capture effect) เข้ามาวิเคราะห์สมรรถนะของระบบด้วย

ซึ่งการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบนั้นเราวิเคราะห์โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมและวิเคราะห์ถึงผลกระทบของจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่มีผลต่อค่าความน่าจะเป็นของแพ็กเกตผิดพลาด

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อที่จะศึกษาวิจัยการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA ที่ใช้ในชั้น MAC ระเบียบวิธีการสื่อสารในระบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
2) เพื่อที่จะศึกษาวิจัยปรากฏการระงับ (Capture effect)
3) เพื่อที่จะศึกษาวิจัยช่องสัญญาณต่างๆที่อยู่ภายในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม

4) เพื่อที่จะศึกษาวิจัยการหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของระบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

5) เพื่อที่จะศึกษาวิจัยผลกระทบของบิตข้อมูลในแพ็กเกตที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตข้อมูล

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN) ณ ที่ชั้น MAC ระเบียบวิธีการสื่อสาร (MAC Protocol) ตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นได้มีการนำเอาปรากฏการระงับ (Capture effect) เข้ามาวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของระบบด้วย ซึ่งปรากฏการระงับนี้ก็คือโอกาสเป็นไปได้ที่สามารถจะรับแพ็กเกตข้อมูลนั้นได้เมื่อแพ็กเกตข้อมูลนั้นเกิดการชนกันกับแพ็กเกตข้อมูลอื่นๆ หรือว่าแพ็กเกตข้อมูลนั้นซ้อนทับกันกับแพ็กเกตข้อมูลอื่นๆมากกว่าหนึ่งแพ็กเกตเป็นต้นไป ณ ที่ช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งถ้าไม่นำปรากฏการระงับ (Capture effect) เข้ามาวิเคราะห์แล้ว แพ็กเกตข้อมูลนั้นที่เกิดการชนกันกับแพ็กเกตข้อมูลอื่นๆที่ด้านภาครับก็จะไม่สามารถรับแพ็กเกตข้อมูลนั้นได้ทั้งหมดซึ่งก็จะทำให้มีผลต่อค่าของวิสัยสามารถของระบบ และจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตก็จะมีผลต่อค่าของวิสัยสามารถของระบบและก็มีผลต่อความผิดพลาดของแพ็กเกตด้วยเช่นกัน

บทที่ 2
ความรู้ทั่วไปของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมากและจำนวนของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ได้เพื่อจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดปริมาณของข้อมูลมากขึ้น การติดต่อสื่อสารข้อมูลมากขึ้นและการประมวลผลของข้อมูลข่าวสารต่างๆก็เพิ่มมากขึ้นไปด้วย ซึ่งข้อมูลบางอย่างของผู้ใช้คนหนึ่งอาจจะเป็นที่ต้องการของผู้ใช้คนอื่นๆ ด้วยก็ได้หรือว่าข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้คนหนึ่งอาจจะเหมือนกับข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้อีกคนหนึ่งก็ได้ จึงทำให้เกิดมีการสร้างโครงข่ายการสื่อสารขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถทำให้มีการใช้ข้อมูลร่วมกัน และสามารถที่จะใช้อุปกรณ์บางอย่างร่วมกันด้วยก็ได้ยกตัวอย่างเช่น เครื่องพิมพ์ (printer) เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ยกตัวอย่างขึ้นมานี้สามารถที่จะใช้ร่วมกันได้ ซึ่งระบบโครงข่ายได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ ถ้าเกิดว่าโครงข่ายมีขนาดที่เล็กก็จะเรียกว่า โครงข่ายท้องถิ่น (LAN) แต่ถ้าเกิดว่ามีขนาดที่ใหญ่ขึ้นมาก็จะเรียกว่าโครงข่ายแบบในเขตเมือง (MAN) ซึ่งโครงข่ายท้องถิ่น (LAN) นี้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปเป็นแบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากและยังมีการพัฒนาไปอย่างสม่ำเสมอจนถึงปัจจุบันนี้

ซึ่งการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้นั้นในปัจจุบันกำลังเริ่มเป็นที่นิยมอย่างมากโดยที่เราดูจากผู้คนที่เริ่มมาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊คเป็นจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งกลุ่มคนที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊คส่วนมากแล้วจะเป็นกลุ่มคนที่มีการเดินทางไปมายังสถานที่ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย โรงแรม หรือสถานีรถไฟ หรือ สถานีไฟฟ้า ซึ่งเราจะเห็นได้ว่ากลุ่มผู้คนเหล่านี้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้การสื่อสารแบบไร้สายเพื่อที่จะติดต่อสื่อสารระหว่างกันหรือว่าต้องการค้นหาข้อมูลของตนเอง ซึ่งการสื่อสารแบบไร้สายนี้นั้นมีความสะดวกและสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้เกือบทุกสถานที่หรือเกือบทุกโอกาสและทำให้กลุ่มคนเหล่านี้สามารถที่จะทำงานได้ตลอดเวลาและรับรู้ข้อมูลข่าวสารปัจจุบันได้ทันถ่วงที และสามารถที่จะส่งข้อมูลข่าวสารใหม่ๆไปยังผู้ใช้คนอื่นๆได้อย่างรวดเร็วไม่จำเป็นที่จะต้องกลับยังที่ทำงานก่อนแล้วจึงค่อยส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้คนอื่นๆซึ่งทำให้เกิดการเสียเวลาอย่างมากถ้าเกิดว่าที่ทำงานอยู่ไกลมากๆ แต่การสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้นั้นก็ยังมีข้อด้อยในเรื่องการส่งถ่ายข้อมูล นั้นก็คือการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้นั้นจะมีการส่งถ่ายข้อมูลที่ช้ากว่าการสื่อสารที่ใช้สายในการส่งถ่ายข้อมูล ซึ่งในปัจจุบันนี้ก็กำลังพัฒนาให้การสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้นั้นมีการส่งถ่ายข้อมูลให้มีความรวดเร็วมากขึ้น

2.2 โครงข่ายท้องถิ่น

โครงข่ายท้องถิ่นแบบนี้หมายถึง โครงข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เป็นของกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็กๆกลุ่มหนึ่ง ปกติจะเป็นโครงข่ายที่มีขอบเขตอยู่ภายในอาคารเดียวกัน หรือกลุ่มอาคารที่อยู่ติดกัน มีระยะทางไม่เกิน 2-3 กิโลเมตร เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ส่วน บุคคลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กของพนักงานในองค์กรเข้าด้วยกันโดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการใช้อุปกรณ์ส่วนกลางร่วมกัน (เช่นเครื่องพิมพ์) การใช้โปรแกรมและข้อมูลร่วมกัน และการรับส่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างกัน โครงข่ายท้องถิ่นมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากระบบอื่นๆ 3 ประการคือ 1) ขนาด 2) เทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล และ 3) รูปแบบการจัดโครงสร้างของระบบ

โครงข่ายท้องถิ่นถูกจำกัดด้วยขนาด ซึ่งหมายถึงจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ระบบที่มีการวางแผนอย่างดีนั้น เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลนั้นสามารถคำนวณได้ร่วงหน้า ซึ่งจะใกล้เคียงกับความจริงมาก ความสามารถที่ใช้ในการคำนวนได้อย่างร่วงหน้านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบงานให้มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังทำให้การบริหารโครงข่ายง่ายขึ้นด้วย ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลบนโครงข่ายนั้นโดยปกติจะเป็นเพียงสายเคเบิ้ลเส้นเดียวซึ่งจะเชื่อมต่อทั้งระบบเข้าด้วยกัน ซึ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ 10 Mbps หรือ 100 Mbps มีระยะเวลาในการรอคอยเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งข้อมูลไม่เกิน 100 usec และมีโอกาสที่จะผิดพลาดน้อยมาก ซึ่งรูปแบบการจัดโครงสร้างสำหรับระบบโครงข่ายนั้นมีหลายรูปแบบและมีที่นิยมใช้อยู่สองแบบคือ 1) แบบบัส และ 2) แบบวงแหวน โครงสร้างแบบบัสนั้นยอมให้ผู้ใช้ส่งข้อมูลได้คราวละ 1 คนเท่านั้นผู้ใช้คนอื่นๆที่ต้องงการส่งข้อมูลจะต้องรอจนกว่าสายเคเบิ้ลจะว่างหรือว่าไม่มีการส่งข้อมูลคือไม่มีการสัญญาณเกิดขึ้นจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ ในกรณีที่ผู้ใช้สองคนขึ้นไปทำการส่งข้อมูลพร้อมๆกัน เรียกว่าการชนกันของข้อมูล สัญาณในสายเคเบิ้ลจะเกิดการรบกวนกันเองจนใช้งานไม่ได้ เมื่อผู้ส่งข้อมูลทั้งสองคนขึ้นไปตรวจพบความผิดปกตินี้ก็จะหยุดส่งข้อมูลแล้วรอเป็นระยะเวลาต่างๆ กันจากนั้นจึงจะเริ่มพยายามส่งข้อมูลนั้นใหม่ การกำหนดระยะเวลาในการรอคอยนั้นสำหรับในกรณีเช่นนี้นั้นจะใช้วิธีแบบการรวมศูนย์หรือแบบกระจายก็ได้ ตามมาตรฐานของ IEEE 802.3 ซึ่งมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Ethernet นั้นมีการจัดโครงสร้างแบบบัสซึ่งจะยอมให้ผู้ใช้ทุกคนส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา เมื่อเกิดการชนกันของข้อมูลผู้ส่งข้อมูลทุกคนจะต้องหยุดการส่งข้อมูลทันทีแล้วให้รอสักพักหนึ่งจึงจะสามารถเริ่มต้นส่งข้อมูลใหม่ได้ ระยะเวลาที่แต่ละคนรอนั้นก็ไม่เท่ากันสามารถกำหนดได้จากการสุ่ม (random) ตัวเลขขึ้นมาจากระยะเวลาช่วงหนึ่งซึ่งได้มีการกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว วิธีนี้สามารถรับประกันได้ว่าจะไม่มีการเกิดการชนกันของข้อมูลจากผู้ส่งชุดเดิมอีกอย่างแน่นอน

2.3 มาตรฐานของโครงข่ายแบบไร้สาย

สถาปัตยกรรมของ IEEE 802

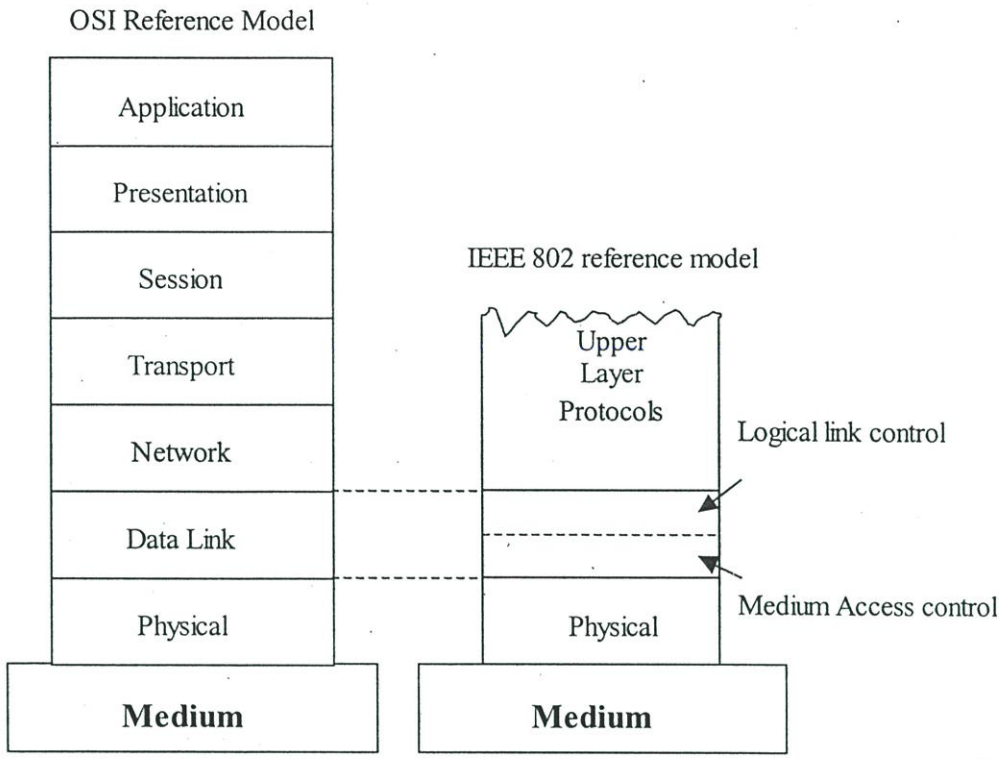
สถาปัตยกรรมของโครงข่ายคอมพิวเตอร์คือสามารถอธิบายได้เป็นอย่างดีในรูปแบบของเลเยอร์ของ protocols ซึ่งในส่วนนี้จะอธิบายถึงมาตรฐานของสถาปัตยกรรมของระเบียบวิธีการสื่อสารสำหรับโครงข่ายที่ประกอบด้วย physical layer, medium access control และ logical link control layer

สถาปัตยกรรมของระเบียบวิธีการสื่อสาร

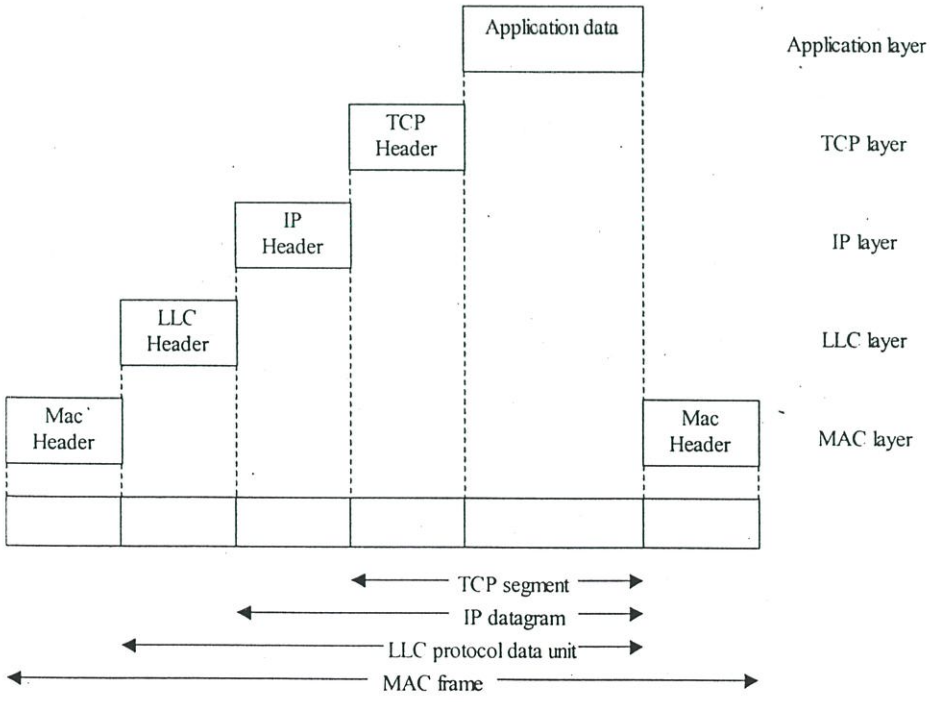
ระเบียบวิธีการสื่อสารของสถาปัตยกรรมนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระเบียบวิธีการสื่อสารในรูปแบบของ OSI เปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการสื่อสารในรูปแบบของ IEEE 802 ซึ่งสถาปัตยกรรมนี้ถูกออกแบบโดยคณะกรรมการของ IEEE 802 และได้มีการปรับปรุงรูปแบบของระเบียบวิธีการสื่อสารเพื่อให้มีความก้าวหน้ามาโดยตลอด ซึ่งเลเยอร์ที่อยู่ด้านล่างสุดนั้นก็คือ physical layer และหน้าที่ของเลเยอร์ physical นี้ก็คือ การเข้ารหัสและการถอดรหัสของสัญญาณ, การซิงค์โคไนซ์ของสัญญาณและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือการส่งและรับบิตข้อมูล ซึ่งที่ระดับ physical layer นี้สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือการเลือกตัวการ
ที่จะใช้สำหรับในการส่งข้อมูลก็คือสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ณ ที่ระดับของ physical layer ส่วนเลเยอร์ที่อยู่เหนือระดับนี้ขึ้นไปอีกระดับหนึ่งนั้นก็จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ medium access control และ logical link control (สำหรับระเบียบวิธีการสื่อสารของมาตรฐาน 802) ซึ่ง ณ ที่เลเยอร์นี้มีหน้าที่ดังต่อไปนี้คือ

- การนำเอาบิตข้อมูลรวมกันเป็นเฟรม 1 เฟรมและเพิ่มที่อยู่ปลายทางและตรวจจับข้อผิดพลาดของบิตข้อมูล
- การแยกเอาบิตข้อมูลออกจากเฟรมข้อมูลและการจำแนกที่อยู่ปลายทางของผู้รับและการตรวจสอบข้อผิดพลาดข้อบิตข้อมูล
- ควบคุมการส่งข้อมูลเข้าสู่ตัวการ
- และการเชื่อมต่อกันระหว่างเลเยอร์ที่ต่ำกว่ากับเลเยอร์ที่สูงกว่า

ซึ่งหน้าที่ที่กล่าวถึงนี้เหมือนกับเลเยอร์ชั้นที่ 2 ของระเบียบวิธีการสื่อสารแบบ OSI ส่วนรูปที่ 2.2 นั้นแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเลเยอร์ต่างๆตั้งแต่เลเยอร์ที่อยู่ระดับบนจนลงมาถึงเลเยอร์ชั้นของ MAC เลเยอร์ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าจะมีการเพิ่มบิตข้อมูลที่ตรงส่วนตอนต้นของเฟรมข้อมูลลงมาเลยๆ จนถึงระดับของ MAC เลเยอร์ที่มีการเพิ่มบิตข้อมูลที่ตรงส่วนตอนต้นของเฟรมข้อมูลและมีการเพิ่มบิตข้อมูลที่ตรงส่วนตอนท้ายของเฟรมข้อมูลด้วย



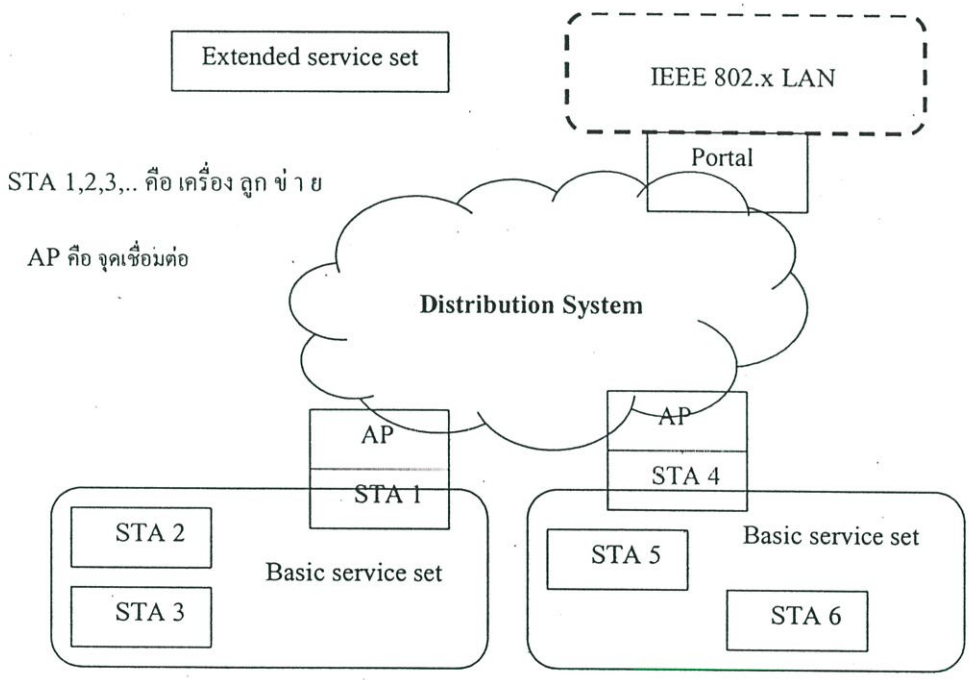
รูปที่ 2.1 มาตรฐานของ IEEE 802 เปรียบเทียบกับมาตรฐานของ OSI



รูปที่ 2.2 มาตรฐานเฟรมของ IEEE 802

2.3.1 สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นรูปแบบของการสื่อสารที่ใช้มาตรฐานของ IEEE 802.11 รูปบล็อกสี่เหลี่ยมเล็กๆ นั้นก็คือการสื่อสารในโครงข่ายแบบไร้สายที่เรียกว่า กลุ่มการให้บริการพื้นฐาน (BSS) ที่ประกอบด้วยเครื่องลูกข่ายจำนวนหนึ่งที่กำลังแข่งขันเพื่อที่จะแย่งชิงช่องสัญญาณกัน กลุ่มการให้บริการพื้นฐาน (BSS) 1 กลุ่ม อาจจะไม่ได้เชื่อมต่อกับโครงข่ายหลัก (backbone distribution system DS) หรืออาจจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักก็ได้ซึ่งถ้าเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักก็จะเชื่อมต่อกับจุดเชื่อมต่อ (Access point) ซึ่งจุดเชื่อมต่อนี้ก็ทำหน้าที่เสมือนกับ บริดท์ตัวหนึ่งนั้นเอง ซึ่งเราอาจะมองกลุ่มการให้บริการพื้นฐาน (BSS) เหมือนกับเซลล์ 1 เซลล์ก็ได้ ซึ่งรูปแบบของโครงสร้างนี้แสดงดังได้รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11

ดังรูปจะเห็นได้ว่าเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องจะเกี่ยวข้องกับ BSS ของแต่ละเซลล์ นั้นก็คือว่าเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องจะอยู่ภายในย่านของ BSS ของตัวเองซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าจะมีการรบกวนกันระหว่าง BSS ที่อยู่ข้างเคียงกันได้ ดังนั้นเครื่องลูกข่ายอาจะสับสนก็ได้ว่าเครื่องของตนเองนั้นจะใช้บริการของ BSS ตัวใด ส่วนของ ESS (Extended Service Set) นั้นจะประกอบไปด้วย BSS ที่มากกว่าหนึ่งเซลล์ที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายหลัก (Distribution system) จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าจุดเชื่อมต่อ (Access point) นั้นก็อาจจะเป็นเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งก็ได้ ซึ่งจุดเชื่อมต่อนี้จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อเครื่องลูกข่ายที่จะติดต่อกับโครงข่ายหลักซึ่งการรวมเอาสถาปัตยกรรมของ

มาตรฐาน 802.11 กับโครงข่ายที่ใช้สายนั้นนั้นจะใช้ portal เป็นจุดเชื่อมต่อซึ่ง portal นี้ก็อาจจะเป็นเราเตอร์หรือบริดจ์ก็ได้ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายที่ใช้สายกับโครงข่ายหลัก

การให้บริการของ IEEE 802.11

IEEE 802.11 ได้กำหนดการให้บริการทั้งหมดที่เตรียมไว้สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายทั้งหมด 9 บริการซึ่งเราสามารถจำแนกออกเป็นข้อหลักได้ 2 ข้อคือ

1. ผู้ให้บริการสามารถให้บริการในแต่ละเครื่องลูกข่ายได้หรือแต่ละ DS (distribution System) ก็ได้ ซึ่งการให้บริการแก่เครื่องลูกข่ายนั้นก็คือเป็นวิธีการหนึ่งที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายทุกๆเครื่องของมาตรฐาน IEEE 802.11 ในที่นี้ร่วมไปถึงจุดเชื่อมต่อ (AP) ด้วย ส่วนการให้บริการ Distribution นั้นก็คือเป็นการให้บริการระหว่างกลุ่มการให้บริการขั้นพื้นฐาน (BSS) ซึ่งการให้บริการนี้ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่อยู่ในจุดเชื่อมต่อ (AP) หรือในเครื่องมืออื่นๆที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายหลัก

2. การให้บริการ 3 บริการใช้สำหรับในการควบคุมการ access ของโครงข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 การให้บริการอีก 6 บริการใช้สำหรับการส่งเฟรมข้อมูล MSDUs ระหว่างเครื่องลูกข่าย ซึ่งเฟรมข้อมูล MSDU นั้นก็คือบล็อกของข้อมูลที่ส่งลงมาจาก MAC user ไปสู่ชั้น MAC ซึ่งถ้า MSDU มีขนาดที่ใหญ่มันอาจจะมีการแบ่งการส่งซึ่งการแบ่งเฟรมนี้ได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

Distribution ของข้อมูลที่อยู่ภายใน DS

การให้บริการอย่างน้อย 2 บริการที่เกี่ยวข้องกับ distribution ของข้อมูลที่อยู่ภายใน DS นั้นก็คือ distribution และ integration ซึ่ง distribution นั้นก็คือการให้บริการขั้นพื้นฐานที่ใช้สำหรับเครื่องลูกข่ายหลายๆเครื่องลูกข่ายในการแลกเปลี่ยนเฟรม MAC ข้อมูลเมื่อเฟรม MAC ข้อมูลนั้นต้องการที่จะส่งผ่าน DS ที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งในเซลล์ เซลล์หนึ่งไปสู่เครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งในเซลล์อื่นๆ ยกตัวอย่างเช่นสมมุติว่ามีเฟรมข้อมูลเฟรมหนึ่งต้องการที่จะส่งจากเครื่องลูกข่ายที่ 2 ไปสู่เครื่องลูกข่ายที่ 6 ดังในรูปที่ 2.3 เฟรมข้อมูลเฟรมนั้นก็จะส่งออกจากเครื่องลูกข่ายที่ 2 ไปสู่เครื่องลูกข่ายที่หนึ่งซึ่งเครื่องลูกข่ายที่หนึ่งนั้นก็คือจุดเชื่อมต่อสำหรับ BSS ในเซลล์นี้ ซึ่งจุดเชื่อมต่อนี้ก็จะส่งเฟรมข้อมูลนั้น ออกไปที่ DS ซึ่ง DS นั้นก็จะส่งเฟรมข้อมูลนั้นไปยังจุดเชื่อมต่อของเซลล์อีกเซลล์ที่ต้องการเฟรมข้อมูลเฟรมนั้นๆซึ่งก็คือเครื่องลูกข่ายเครื่องลูกข่ายที่ 4 หลังจากที่เครื่องลูกข่ายเครื่องที่ 4 ได้รับเฟรมข้อมูลแล้วก็จะส่งเฟรมข้อมูลนั้นไปยังเครื่องลูกข่ายที่ 6 ถ้าเกิดว่าเครื่องลูกข่าย 2 เครื่องที่กำลังติดต่อสื่อสารกันอยู่ อยู่ภายในเซลล์เดียวกันดังนั้นเฟรมข้อมูลเฟรมนั้นก็จะส่งผ่านทางจุดเชื่อมต่อที่อยู่ภายในเซลล์ เซลล์นั้น ส่วนการให้บริการแบบ integration นั้นสามารถที่จะส่งเฟรมข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งที่อยู่บนมาตรฐานของ IEEE 802.11 ของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายไปยังเครื่องลูกข่ายที่อยู่บนมาตรฐานของ IEEE 802.x อื่นๆ ได้

การบริการที่สัมพันธ์กับ association

วัตถุประสงค์หลักของชั้น MAC นั้นคือการย้าย MSDUs ระหว่างชั้น MAC ทั้งหมดซึ่งวัตถุประสงค์นี้ได้ทำเสร็จสมบูรณ์ที่การให้บริการของ distribution service สำหรับการให้บริการที่ส่วนนี้นั้นมันต้องการข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ภายใน ESS ก่อนที่การให้บริการ distribution service สามารถที่จะส่งข้อมูลออกไปหรือจะส่งข้อมูลตอบรับจากเครื่องลูกข่ายนั้นๆเครื่องลูกข่ายนั้นควรที่จะสร้างสัมพันธ์ก่อน (associated) ก่อนที่เราจะกล่าวถึงการสร้างสัมพันธ์กันนั้นเราจะอธิบายถึงการเคลื่อนที่กันก่อน ซึ่งการเคลื่อนที่หรือการย้ายนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

- ไม่มีการนำส่ง คือ เครื่องลูกข่ายของรูปแบบนี้คือ การเคลื่อนย้ายหรือการเคลื่อนที่นั้นจะอยู่เพียงภายในย่านการสื่อสาร โดยตรงของเครื่องลูกข่ายที่กำลังติดต่อสื่อสารกันอยู่ของ BSS ที่อยู่
- การนำส่ง BSS คือ เครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งที่ต้องการย้ายจาก BSS หนึ่งไปยัง BSS อื่นๆ ที่อยู่ภายใน ESS เดียวกัน
- การนำส่ง ESS คือเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งที่ต้องการย้ายจาก BSS หนึ่งที่อยู่ใน ESS นั้นไปสู่ BSS นั้นๆที่อยู่ภายใน ESS อื่นๆ

ซึ่งการส่งข้อมูลหนึ่งที่อยู่ภายใน DS เดียวกันนั้น การให้บริการ distribution นั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ว่าเครื่องปลายทางนั้นอยู่ ณ ที่จุดไหน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง DS นั้นจะต้องรู้หมายเลขของจุดเชื่อมต่อที่ต้องส่งข้อมูลข่าวสารนั้นออกไปเพื่อที่จะส่งถึงเครื่องลูกข่ายหลายทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งที่ความต้องการตรงจุดนี้เครื่องลูกข่ายจะต้องรักษาความสัมพันธ์กับจุดเชื่อมต่อเอาไว้ (AP) ณ ที่ BSS ปัจจุบันซึ่งก็มีการให้บริการ 3 บริการที่สัมพันธ์กับความต้องการ ณ ที่จุดนี้คือ

- Association ก็คือการสร้างความสัมพันธ์เริ่มต้นระหว่างเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งกับจุดเชื่อมต่อ ซึ่งก่อนที่เครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งจะส่งหรือว่ารับเฟรมข้อมูลที่อยู่บนโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้นจะต้องรู้ที่อยู่ของผู้รับเสียก่อน ซึ่งวัตถุประสงค์ก็คือเครื่องลูกข่ายนั้นควรที่สร้างความสัมพันธ์กับจุดเชื่อมต่อเสียก่อนที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ให้บริการเดียวกัน
- Reassociation ก็คือ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างจุดเชื่อมต่อ (AP) ที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการคนละส่วนกันเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้
- Disassociation ก็คือ เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องหรือว่าจุดเชื่อมต่อแต่ละจุดที่ต้องการจะยกเลิกสร้างความสัมพันธ์กัน ซึ่งเครื่องลูกข่ายควรที่จะแจ้งการยกเลิกการสร้างความสัมพันธ์ก่อนที่จะออกจาก ESS หรือว่าเปิดเครื่อง

2.3.2 มาตรฐานของ IEEE 802.11 ในชั้น MAC

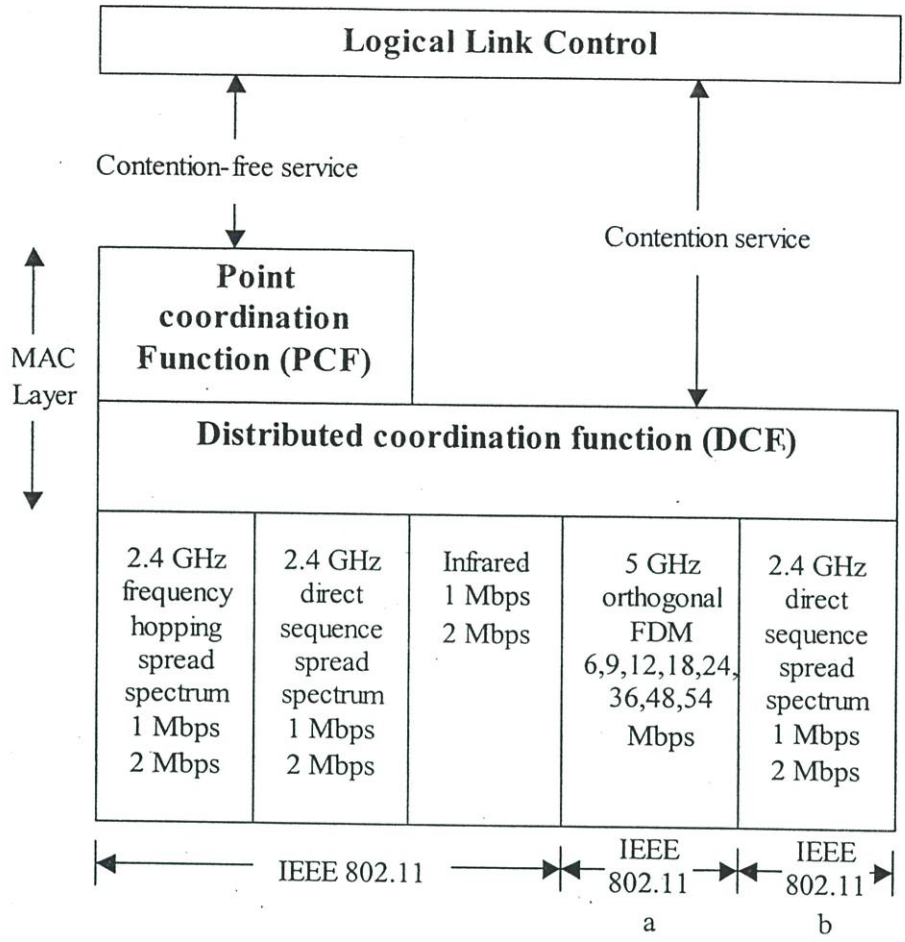
มาตรฐานของ IEEE 802.11 นั้นชั้นของ MAC นั้นจะครอบคลุมถึงเรื่อง การส่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้, การควบคุมการส่งและการรักษาความปลอดภัย

การส่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้

การสื่อสารในโครงข่ายแบบไร้สายนั้นโดยการใช้มาตรฐานของ IEEE 802.11 นั้นทั้งในชั้น physical และชั้น MAC นั้นคือวัตถุประสงค์ที่สำคัญในการพิจารณาในหัวข้อนี้ ซึ่งเฟรมของข้อมูลนั้นจะถูกรบกวนด้วยตัวรบกวนหรือการสอดแทรกหรือผลของการแพร่กระจายต่างๆที่เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียเฟรมข้อมูลต่างๆนั้นได้ ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้สามารถที่จะจัดการได้ โดยการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาเหล่าที่ชั้นที่สูงขึ้นไป อย่างไรก็ตามเวลาที่ต้องสูญเสียไปกับการที่ต้องส่งเฟรมข้อมูลใหม่นั้นก็ยังอยู่ในหน่วยของวินาที ถ้าเราต้องการให้มันมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการจัดการกับความผิดพลาดนี้ที่ชั้นของ MAC ซึ่งตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 นั้นได้มีการกำหนดเฟรมที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลขึ้นมา ยกตัวอย่างเช่นถ้าเกิดว่าเครื่องลูกข่ายใดๆได้รับเฟรมข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นๆแล้วนั้นมันก็จะส่งเฟรมตอบกลับ (ACK Frame) กลับไปยังเครื่องลูกข่ายที่ส่งข้อมูลมาให้ ถ้าเกิดว่าเครื่องลูกข่ายที่ส่งข้อมูลนั้นไม่ได้รับเฟรมตอบกลับ (ACK Frame) ในระยะเวลาหนึ่งนั้นจะเป็นเพราะด้วยสาเหตุใดก็ตามเครื่องลูกข่ายที่ส่งข้อมูลนั้นก็จะส่งเฟรมข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นวิธีการในการส่งเฟรมข้อมูลในมาตรฐานของ IEEE 802.11 จะเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนเฟรมข้อมูล 2 เฟรมซึ่งในอนาคตนั้นอาจจะเป็นไปได้ที่จะมีการเพิ่มเฟรมข้อมูลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนกันเป็น 4 เฟรม ซึ่งในรูปแบบนี้นั้นเครื่องที่ต้องการจะส่งข้อมูลนั้นจะส่งเฟรม RTS (Request to sent) ไปยังเครื่องผู้รับปลายทางก่อนและหลังจากเครื่องผู้รับปลายทางได้รับเฟรม RTS แล้วเครื่องผู้รับปลายทางก็จะส่งเฟรมข้อมูล CTS กลับไปยังเครื่องลูกข่ายที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับเฟรมข้อมูล CTS แล้วนั้นมันก็จะส่งเฟรมข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่ายปลายทาง เมื่อเครื่องปลายทางได้รับเฟรมข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะส่งเฟรมตอบกลับ (ACK Frame) ไปยังเครื่องลูกข่ายที่ส่งข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง เมื่อมีการส่งเฟรมข้อมูล RTS นั้นเครื่องลูกข่ายทั้งหมดที่อยู่ในย่านของการส่งข้อมูลนั้นก็จะหยุดการส่งเฟรมข้อมูลใดๆ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของเฟรมข้อมูล

การควบคุมการเข้าถึง (Access Control)

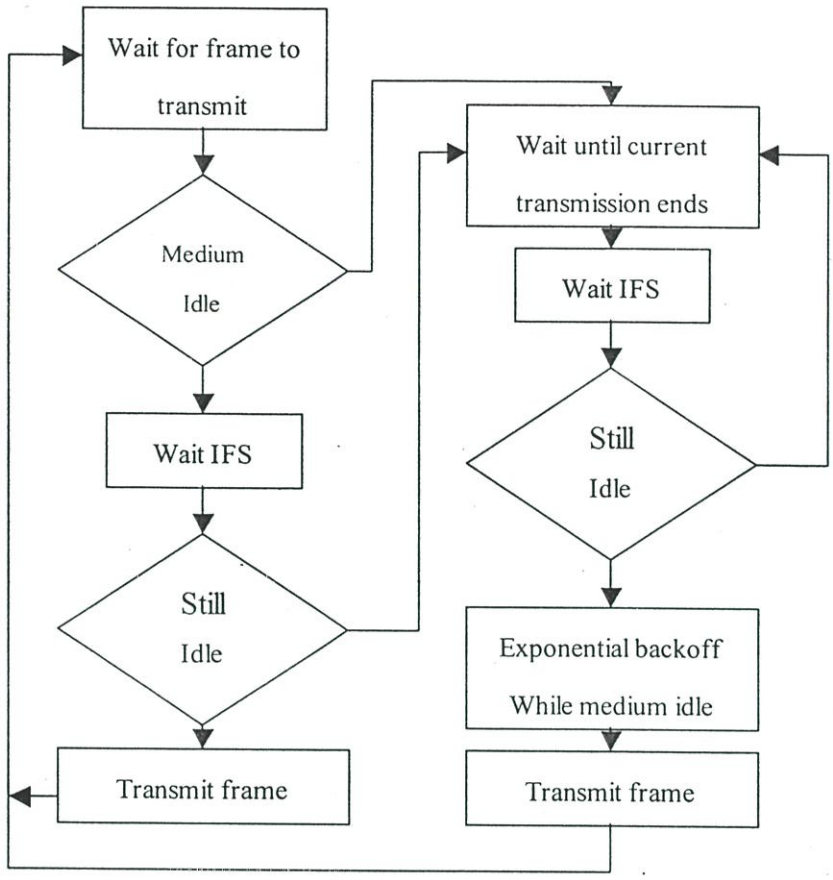
ตามาตรฐานของ IEEE 802.11 นั้นวิธีการควบคุมการเข้าถึงนั้นจะอยู่ที่ชั้น MAC ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ ระเบียบวิธีการสื่อสารการเข้าถึงแบบกระจาย (distributed access protocols) และระเบียบวิธีการสื่อสารการเข้าถึงศูนย์กลาง (centralized access protocols) ซึ่งระเบียบวิธีการสื่อสารการเข้าถึงแบบกระจายนั้นจะใช้วิธีในการฟังช่องสัญญาณว่าว่างหรือเปล่าถ้าว่างจึงทำการส่งข้อมูลออกไปส่วนระเบียบวิธีการสื่อสารแบบการเข้าถึงศูนย์กลางนั้นจะใช้ลำดับความสำคัญก่อนหลังของข้อมูลนั้นในการพิจารณาซึ่งสถาปัตยกรรมของระเบียบวิธีการสื่อสารแบบนี้นั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของระเบียบวิธีการสื่อสาร IEEE 802.11

หน้าที่ของ DCF (Distribution coordination function)

เลเยอร์ของ DCF นี้จะใช้วิธีการเข้าถึงโดยการฟังคลื่นสัญญาณพาหะ (CSMA Carrier sense multiple access) ถ้าเครื่องลูกข่ายมี MAC เฟรมที่ต้องการจะส่งนั้นมันจะคอยฟังช่องสัญญาณถ้าเกิดว่าช่องสัญญาณว่างเครื่องลูกข่ายที่ต้องการส่งข้อมูลก็จะส่งข้อมูลนั้นออกไปหรือว่าเครื่องลูกข่ายเครื่องนั้นอาจจะรอการส่งในรอบต่อไปอีกครั้งก็ได้ ซึ่งในระเบียบวิธีการสื่อสารชั้นนี้นั้นไม่การตรวจสอบการชนกันของสัญญาณ (เช่น CSMA/CD) การที่จะหลีกเลี่ยงการชนกันนี้นั้น เลเยอร์ย่อย DCF ได้มีการปรับการหน่วงเวลาที่เขาเรียกว่า IFS (interframe space) โดยที่ IFS นี้ก็ได้มีการแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อยอีก 3 ช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งกรรมวิธีในการในการส่งข้อมูลนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และวิธีการดังต่อไปนี้คือ

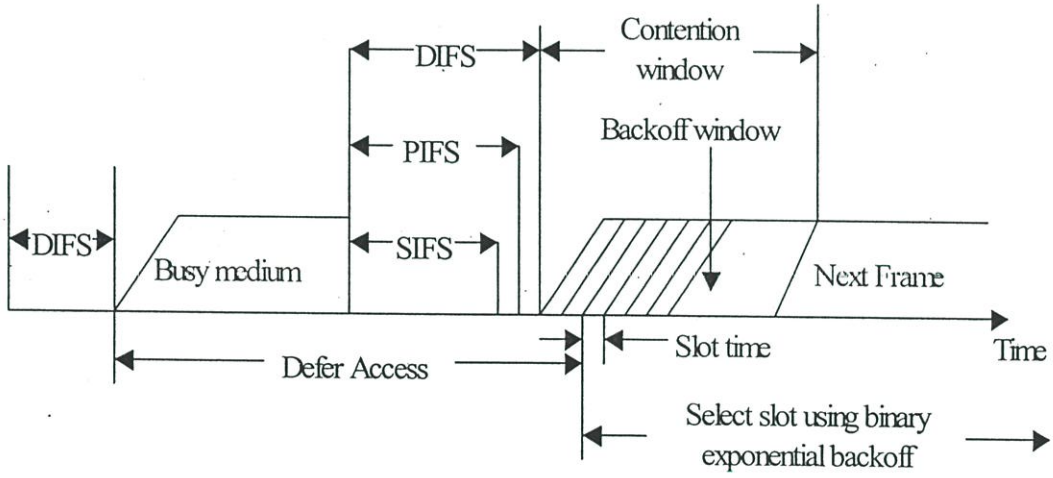


รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของชั้น MAC

1. เครื่องลูกข่ายที่ต้องการจะส่งเฟรมข้อมูลจะคอยฟังช่องสัญญาณถ้าช่องสัญญาณว่างมันก็จะยังคงฟังต่อไปแต่ถ้าช่องสัญญาณยังคงว่างอยู่อีกซึ่งเท่ากับช่วงเวลาของ IFS เครื่องลูกข่ายเครื่องนั้นก็จะส่งเฟรมข้อมูลทันที
2. ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่างเครื่องลูกข่ายจะหน่วงเวลาในการส่งออกไปและคอยตรวจสอบช่องสัญญาณอย่างต่อเนื่องว่าช่องสัญญาณนั้นว่างหรือเปล่าจนกระทั่งช่องสัญญาณนั้นว่างแล้วก็จึงส่งเฟรมข้อมูลออกไป
3. ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่างเครื่องลูกข่ายจะหน่วงเวลา IFS อื่นๆ และถ้าช่องสัญญาณว่างที่คาบเวลานี้นั้นเครื่องลูกข่ายก็จะใช้กระบวนการ back off ในการสุ่มหาเวลาและฟังช่องสัญญาณใหม่อีกครั้งหนึ่งและถ้าช่องสัญญาณยังคงว่างอยู่อีกเครื่องลูกข่ายนั้นก็อาจจะส่งเฟรมข้อมูลนั้นออกไปในระหว่างกระบวนการ back off นั้นถ้าถ้าเกิดว่าช่องสัญญาณไม่ว่างกระบวนการ back off ก็จะหยุดและจะเริ่มใหม่อีกครั้งในกรณีที่ช่องสัญญาณว่าง

ซึ่งกระบวนการ back off นี้นั้นจะใช้วิธีการที่เรียกว่า binary exponential back off ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก ถ้าเกิดว่าไม่มีการใช้กระบวนการ back off แล้วนั้นเครื่องลูกข่ายที่มากกว่าหนึ่งเครื่องที่ต้องการจะส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันนั้นก็จะทำให้เกิดการชนกันข้อมูลขึ้น และเครื่องลูกข่ายนั้นก็จะต้องพยายามที่จะต้องเฟรมข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้ง และเป็นสาเหตุให้เกิดการชนกันใหม่อีกครั้งหนึ่ง ส่วนรูปที่ 2.6 นั้นจะอธิบายถึงช่วงเวลาของ IFS (inter frame space) ต่างๆที่พอจะสรุปได้ดังนี้

- SIFS (short IFS) คือช่วงเวลาสั้นๆของ IFS ที่ใช้สำหรับในการตอบสนองอย่างทันทีทันใดเช่น เฟรมตอบกลับ (ACK frame) เป็นต้น
- PIFS (point coordination function IFS) คือช่วงเวลาขนาดกลางของ IFS ที่จะใช้โดยระเบียบวิธีการสื่อสารของ PCF ที่กำหนดความสำคัญก่อนและหลัง
- DIFS (distribution coordination function IFS) คือช่วงเวลาที่ยาวที่สุดของ IFS ที่ใช้สำหรับในการหน่วงการแข่งขันในการส่งเฟรมแบบไม่เข้าจังหวะ



(a) Basic access method

รูปที่ 2.6 ช่วงของเวลาของชั้น MAC ตามมาตรฐาน IEEE 802.11

เราจะเห็นได้ว่าช่วงของเวลา SIFS นั้นเครื่องลูกข่ายจะใช้สำหรับกำหนดโอกาสเป็นไปได้ของการส่งเฟรมข้อมูลซึ่งเราสามารถใช้ช่วงเวลานี้กับเฟรมต่างๆได้ดังนี้คือ

- เฟรมตอบกลับ (ACK Frame) เมื่อเครื่องลูกข่ายใดๆที่ได้รับเฟรมข้อมูลแล้วก็จะมีการส่งเฟรมตอบ กลับ (ACK Frame) ไปยังเครื่องลูกข่ายต้นกำเนิดเพื่อเป็นการยืนยันว่าได้รับเฟรมข้อมูลได้ถูกต้องแล้ว
- เฟรมเคลียร์ทูเซนต์ (Clear to send CTS) เครื่องลูกข่ายที่พร้อมที่จะรับข้อมูลนั้นเมื่อมันได้รับ

เฟรม RTS จากเครื่องลูกข่ายที่ต้องการส่งข้อมูลแล้วนั้นมันจะส่งเฟรม CTS เพื่อเป็นการยืนยันว่าเครื่องลูกข่ายเครื่องนั้นพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

หน้าที่ของ Point Coordination

PCF คือวิธีการหนึ่งที่อยู่ในชั้นของ MAC ที่อยู่เหนือของชั้น DCF ขึ้นไปโดยที่หน้าที่ของ PCF นั้นจะทำหน้าที่ในการสำรวจความเห็น (polling) โดยที่จะมีคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางในการควบคุมโดยที่ถ้าเครื่องลูกข่ายเครื่องใดที่ได้รับสัญญาณ (polled) นี้แล้วก็อาจจะส่งเฟรมตอบกลับไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพื่อที่จะพร้อมในการส่งข้อมูลต่อไป

2.3.3 มาตรฐานของ IEEE 802.11 ในชั้นฟิสิกส์คอล (Physical Layer)

มาตรฐานของ IEEE 802.11 นั้นที่ชั้นนี้จะมีการใช้วิธีในการส่งข้อมูลนั้นทั้งหมด 3 ยุคคือ IEEE802.11, IEEE802.11 a, IEEE802.11 b โดยที่เราจะชี้แจ้งรายละเอียดดังนี้คือ

มาตรฐานของ IEEE 802.11

จะมีวิธีในการส่งข้อมูลทั้งหมด 3 วิธีคือ

1. การแผ่กระจายแบบไดเรกซีเควนที่จะใช้ความถี่ในการส่งประมาณ 2.4 GHz และที่อัตราในการส่งข้อมูลประมาณ 1 Mbps และที่ 2 Mbps
2. การแผ่กระจายแบบฟรีเควนซีฮอปปิงที่จะใช้ความถี่ในการส่งประมาณ 2.4 GHz และที่อัตราในการส่งข้อมูลประมาณ 1 Mbps และที่ 2 Mbps
3. การส่งแบบอินฟราเรดที่อัตราในการส่งข้อมูลประมาณ 1 Mbps และที่ 2 Mbps และใช้ความยาวคลื่นที่ 850 nm และที่ 950 nm

มาตรฐานของ IEEE 802.11 a

ซึ่งที่มาตรฐานนี้นั้นจะใช้ความถี่ในการส่งที่ 5 GHz และจะใช้วิธีในการส่งแบบ OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) ส่วนอัตราในการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ที่ 6,9,12,18,24,36,48 และที่ 54 Mbps ส่วนวิธีที่ใช้สำหรับมอดูเลตสัญญาณนั้นจะใช้วิธีแบบ BPSK, QPSK, 16-QAM หรือ ว่า 64 QAM

มาตรฐานของ IEEE 802.11 b

ส่วนมาตรฐานของ IEEE 802.11 b นี้จะใช้วิธีในการส่งแบบ DS-CDMA แต่ว่าจะส่งที่อัตราในการส่งข้อมูลที่ 5.5 หรือ ที่ 11 Mbps ซึ่งจะเร็วกว่าแบบเก่า

2.4 โครงข่ายแบบไร้สายเปรียบเทียบกับแบบใช้สาย

ข้อดีของระบบแลนแบบไร้สายมีดังนี้

- ความยืดหยุ่นในการใช้งาน (Flexibility) : ภายในระยะการครอบคลุมของเซล, โหนด (Node) หรือผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยปราศจากข้อจำกัดใดๆ คลื่นหรือสัญญาณวิทยุสามารถที่จะส่งสัญญาณผ่านผนังหรือกำแพงต่างๆได้ ผู้ส่งข้อมูลและผู้รับข้อมูลสามารถติดต่อกันได้ถึงแม้จะไม่สามารถมองเห็นกันได้ก็ตาม (LOS :Line-of Sight) นอกจากนี้แล้ว ระบบแลนแบบไร้สายยังสามารถที่จะใช้งานได้ในบางบริเวณที่อาจจะยากแก่การเดินสายเคเบิล
- ง่ายแก่การวางแผน (Planning) : เฉพาะโครงข่าย AD Hoc แบบไร้สายเท่านั้นที่สามารถจะสร้างโดยไม่จำเป็นจะต้องวางแผนล่วงหน้า เพราะว่าในระบบแบบใช้สายนั้นจะต้องมีการเดินสายเคเบิลไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะมีการใช้งานเสมอ ในปัจจุบันได้กำลังมีการกำหนดมาตรฐานที่จะใช้ในระบบแลนแบบไร้สายขึ้นมา เพื่อให้อุปกรณ์ต่างที่ผลิตจากผู้ผลิตหลายๆบริษัทสามารถใช้งานร่วมกันได้ สำหรับในระบบแบบใช้สายนั้น นอกจากความจำเป็นในการเดินสายเคเบิลแล้วยังจำเป็นที่จะต้องมีการเชื่อมต่ออย่างถูกต้องระบบผู้ใช้แต่ละคนกับโครงข่ายจึงจะสามารถใช้งานได้
- ง่ายในการออกแบบ (Design) : โครงข่ายของระบบแลนแบบไร้สายสามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ไม่ใช่ PC ได้ เช่น Pocket PC, PDA หรือ Notebook เป็นต้น ทำให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายได้โดยไม่จำเป็นต้องเดินสายเคเบิล ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเพราะว่าอุปกรณ์ขนาดเล็กเหล่านี้ ส่วนมากแล้วในการใช้งานจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา
- มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Robustness) : โครงข่ายของระบบแลนแบบไร้สายจะมีความคนทนถาวรมากกว่าระบบที่ต้องมีการเดินสาย เช่นในสภาวะที่เกิดแผ่นดินไหวอาจจะทำให้เกิดการขาดของสายเคเบิลได้ทำให้ระบบโดยรวมอาจจะเกิดขัดข้องได้ แต่ในกรณีที่เป็นระบบแลนแบบไร้สายนั้นยังคงสามารถที่จะทำงานได้

ข้อเสียของระบบแลนแบบไร้สายมีดังนี้

- คุณภาพของการบริการ (Quality of Service): โดยทั่วไปแล้วระบบแลนแบบไร้สายจะมีคุณภาพของการบริการที่ต่ำกว่าระบบแลนแบบมีสาย เหตุผลที่สำคัญก็คือ ความกว้างแถบที่มีขนาดไม่มากนักเนื่องจากข้อกำหนดของการส่งสัญญาณวิทยุ (ความเร็วโดยประมาณคือ 1-10 Mbips.) นอกจากนี้แล้วยังมีอัตราความผิดพลาดในการส่งข้อมูลสูงกว่าแบบมีสาย เพราะว่ามีสัญญาณรบกวน (Interference) มากกว่า (ประมาณ 10^{-4} เมื่อเทียบ 10^{-10} ในเส้นใยนำแสง) อีกทั้งยังมีการหน่วงข้อมูลที่สูงกว่า

- ราคาแพง (Cost) : ขณะที่อะแดปเตอร์ของระบบอีเทอร์เนตความเร็วสูง (High-Speed Ethernet Adapter) จะอยู่ที่ประมาณ10 ปอนด์ (Pound) แต่สำหรับในอะแดปเตอร์ของระบบแลนแบบไร้สายนั้น เช่น PC-Card จะมีราคาอยู่ที่100 ปอนด์
- การพัฒนาที่ไม่ร่วมกัน (Proprietary Solutions) : เนื่องจากความล่าช้าของการกำหนดมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากการที่บริษัทผู้ผลิตต่างๆที่มีการจดสิทธิบัตรในการพัฒนาเทคโนโลยต่างๆ ในระบบนี้ได้เสนอวิธีการต่างๆในการกำหนดมาตรฐานตามเทคโนโลยีที่ตนเองพัฒนาขึ้น ซึ่งโดยมากแล้วจะมีคุณลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ทำให้ในการใช้งานจะต้องใช้งานใช้อุปกรณ์ที่ผลิตมาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน จึงจะสามารถทำงานร่วมกันได้
- ข้อจำกัดของแต่ละประเทศ (Restrictions) : อุปกรณ์ต่างในระบบไร้สายโดยมากแล้ว จะถูกจำกัดด้วยข้อกำหนดต่างๆของแต่ละประเทศนั้น เนื่องจากในแต่ละประเทศจะได้มีการกำหนดความถี่ใช้งานในด้านต่างๆไว้ เพื่อให้ในการใช้งานความถี่จะไม่เกิดการรบกวนกันหรือให้เกิดการรบกวนกันที่น้อยที่สุด ในปัจจุบันได้มีการกำหนดมาตรฐานระดับโลกในการใช้ความถี่ขึ้นมา เช่น IMT-2000 เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ระบบแลนแบบไร้สายนั้นจะถูกจำกัดให้มีกำลังส่งต่ำๆและจะใช้ช่วงความถี่ที่ไม่ได้กำหนดให้มีการใช้งาน (Unlicense Band หรือ ISM Band นั่นเอง)
- ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว (Safety and Security) : การใช้คลื่นหรือสัญญาณวิทยุในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะไปรบกวนเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดได้ การทำงานที่ผิดพลาดนี้อาจจะมีความสำคัญมากๆก็ได้ ดังเช่น ภายในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นสถานที่ที่ต้องมีการควบคุมปัญหานี้เป็นอย่างมาก เป็นต้น นอกจากนี้แล้วการสื่อสารกันโดยใช้สัญญาณวิทยุนั้นมักจะถูกดักฟังได้ง่ายกว่าแบบมีสาย ซึ่งก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่3
วิธีการเข้าถึงแบบสุ่ม

3.1 วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของอะโลฮาแบบต่างๆ (ALOHA)

การเข้าถึงแบบสุ่มของอะโลฮานั้นเป็นวิธีการเข้าถึงแบบสุ่มที่ใช้กันมากในยุคแรกซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งวิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของอะโลฮ่าได้เป็น 2 แบบหลัก

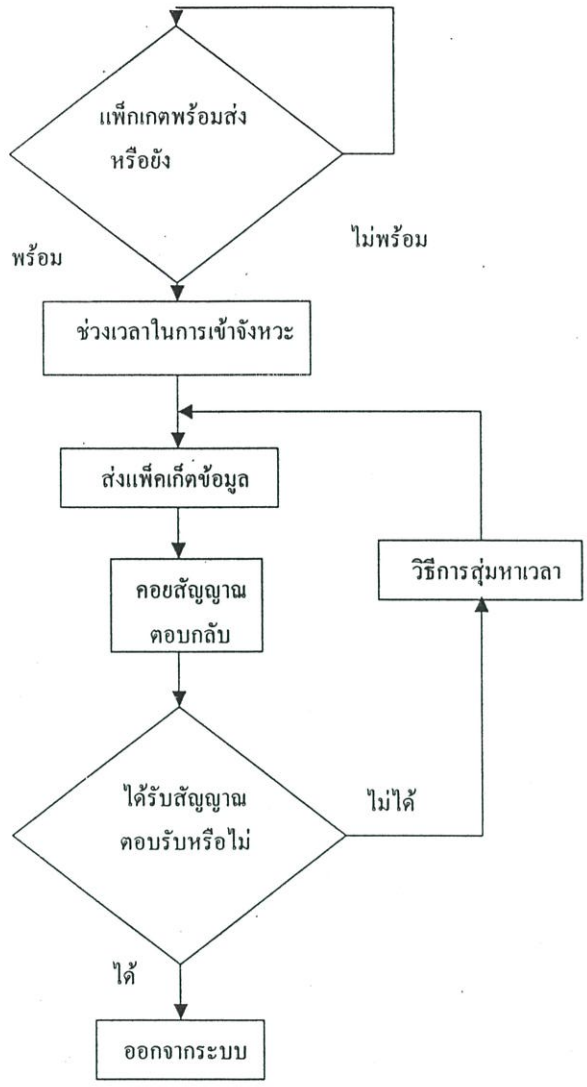
- **Pure Aloha**

การเข้าถึงแบบสุ่มของ Pure Aloha เป็นการเข้าถึงแบบสุ่มแบบแรกที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งหลักการของ Pure Aloha นั้นคือเมื่อมีผู้ใช้คนหนึ่งมี packet ข้อมูลที่พร้อมจะส่งก็จะส่ง packet ข้อมูลนั้นออกมาและหลังจากนั้นก็จะรอสัญญาณตอบกลับจากผู้รับซึ่งถ้าผู้รับสามารถรับ packet ข้อมูลนั้นได้ถูกต้องก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยังผู้ส่ง แต่ว่าในกรณีที่เกิดมีผู้ส่งที่มากกว่าหนึ่งคนขึ้นไปต้องการส่งข้อมูลพร้อมๆกันและในเวลาเดียวกัน การชนกันของข้อมูลก็จะเกิดขึ้นและ packet ข้อมูลที่ชนกันนั้นก็จำเป็นที่จะต้องส่งกลับมาใหม่

- **สล็อตอะโลฮา (Slotted Aloha)**

การเข้าถึงแบบสุ่มของสล็อตอะโลฮ่าเป็นระบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากการเข้าถึงแบบสุ่มของPure Aloha แต่จะแตกต่างกันตรงที่จะมีการแบ่งช่องสัญญาณ (channel) ออกเป็นช่วงๆในทางเวลาโดยที่แต่ละช่องมีขนาดความยาวเท่ากับขนาดของ packet ข้อมูล (ในที่นี้เราสมมุติว่าขนาดความยาวของแต่ละ packet ข้อมูล มีขนาดที่เท่าๆกัน) ส่วนแบบ Pure Aloha นั้นจะไม่มีการแบ่งช่องสัญญาณ ซึ่งหลักการในการทำงานก็จะคล้ายๆ กับ Pure Aloha แต่ว่าผู้ส่งจะต้องส่ง packet ข้อมูลให้ตรงกับช่วงเวลาของตนเองเพื่อที่จะลดปัญหาในการชนกันของ packet ข้อมูล แต่ว่าเมื่อมีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น ผู้ส่งจะมีกระบวนการในการสุ่ม (Back off) หาเวลาเพื่อที่จะส่งข้อมูลใหม่ ซึ่งกระบวนการในการสุ่มเพื่อหาเวลาในการส่งใหม่นั้น ผู้ส่งแต่ละคนจะมีการสุ่มเพื่อหาเวลาในการส่งใหม่นั้นไม่เหมือนกันเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของ packet ข้อมูลอีกครั้ง

48390



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของสล็อตอะโลฮา

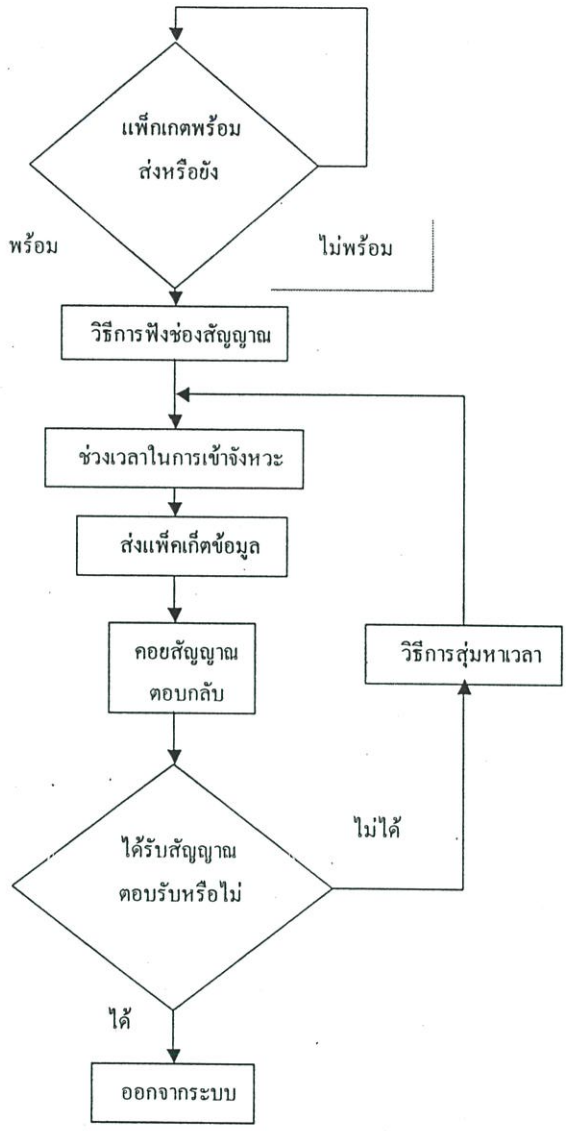
3.2 การเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD

กระบวนการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA นั้นได้มีการพัฒนามาจากกระบวนการเข้าถึงแบบสุ่มของ Aloha โดยที่กระบวนการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA นั้นจะมีการฟังช่องสัญญาณก่อนที่จะส่งแพ็กเกตข้อมูลออกไปซึ่งกระบวนการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA นั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลักๆ คือ

1. การเข้าถึงแบบสุ่มของ Non Persistent CSMA
2. การเข้าถึงแบบสุ่มของ Persistent CSMA

ซึ่งการถึงเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA นั้นจะมีการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนหรือที่เขาเรียกว่าฟังช่องสัญญาณก่อนที่เราจะส่งแพ็กเกตข้อมูลออกไป ถ้าเกิดว่าช่องสัญญาณนั้นว่างคือไม่มีแพ็กเกตข้อมูล

ใดๆอยู่ในช่องสัญญาณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในโครงข่ายนั้นก็จะส่งข้อมูลออกไปซึ่งเราสามารถอธิบายระบบการเข้าถึงแบบนี้ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA

- การเข้าถึงแบบสุ่มของ Non Persistent CSMA

วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของ Non Persistent CSMA นั้นสามารถพิจารณาได้ดังนี้คือในกรณีที่ช่องสัญญาณว่าง packet ข้อมูลก็จะถูกส่งออกไปแต่ถ้าในกรณีที่ช่องสัญญาณไม่ว่างผู้ใช้ก็จะใช้กระบวน Back off Algorithm (กระบวนการ Back off เป็นกระบวนการที่ใช้ในการสุ่มหาเวลาเพื่อที่จะส่ง packet ข้อมูลโดยที่ผู้ใช้แต่ละคนจะมีการสุ่มหาเวลาในการส่งไม่ตรงกัน) เพื่อส่ง packet ข้อมูลในเวลาถัดไป

- การเข้าถึงแบบสุ่มของ Persistent CSMA

วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของ Persistent CSMA นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1-Persistent CSMA

ซึ่งหลักการของ 1-Persistent นั้นคือเมื่อช่องสัญญาณว่างก็จะส่ง packet ข้อมูลออกไปพร้อมกับค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 (p =1) และถ้าในกรณีที่ช่องสัญญาณไม่ว่างผู้ใช้ก็จะคอยตรวจสอบช่องสัญญาณอย่างต่อเนื่องโดยที่ไม่ได้ใช้กระบวนการ Back off Algorithm เหมือนกับในกรณีของ Non persistent

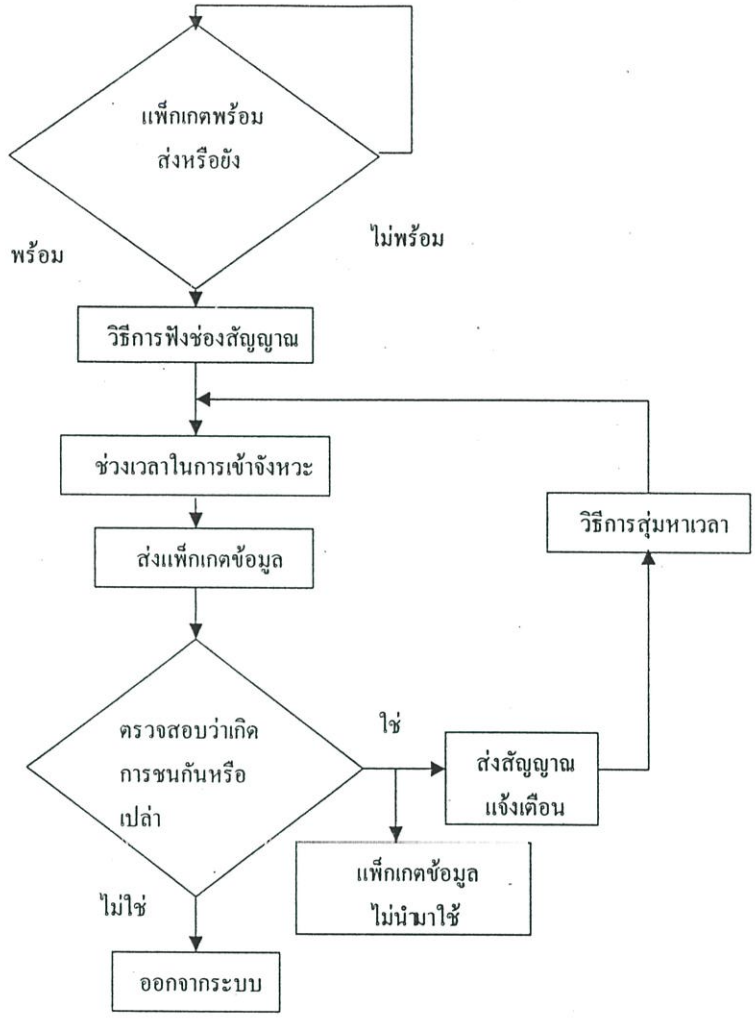
P- Persistent CSMA

ซึ่งหลักการของ P-Persistent นั้นคือเมื่อช่องสัญญาณว่างก็จะส่ง packet ข้อมูลออกไปพร้อมกับค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ p (p อยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ 1) หรืออาจจะหน่วงเวลาในการส่ง packet ข้อมูลออกไปพร้อมกับค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1- p ซึ่งกระบวนการจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าเฟรมของข้อมูลจะถูกส่งออกไปและถ้าในกรณีที่ช่องสัญญาณไม่ว่างผู้ใช้ก็จะคอยตรวจสอบช่องสัญญาณอย่างต่อเนื่องโดยที่ไม่ได้ใช้กระบวนการ Back off Algorithm เหมือนกับในกรณีของ 1-Persistent

กระบวนการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD นั้นเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการส่งภายในสายสัญญาณโดยที่วิธีการนี้คือการใช้รูปแบบในการเข้าถึงแบบเดียวกันกับ CSMA กล่าวถึงตั้งแต่ตอนต้นว่าใช้วิธีไหนในการส่งแพ็กเกตข้อมูลเข้าส่งช่องสัญญาณซึ่งสามารถใช้แบบใดแบบตามที่เรากล่าวมาตั้งแต่ตอนต้น แต่ว่าวิธีการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD นั้นจะมีขีดความสามารถในการตรวจสอบหาแพ็กเกตที่เกิดการชนกันหรือว่าซ้อนกันในช่วงเวลาเดียวกันหรือว่าเวลาที่ใกล้เคียงกันได้ ซึ่งการตรวจหาสัญญาณซ้อนกันในขณะที่ทำการส่งสัญญาณนั้นทำให้เราสามารถที่จะช่วยลดเวลาที่ต้องสูญเสียไปในขณะที่มีปัญหาสัญญาณซ้อนกันเกิดขึ้นและทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งในระบบเดิมนั้นทุกสถานีที่เกี่ยวข้องจะดำเนินการส่งสัญญาณต่อไปจนจบเฟรมแล้วจึงค่อยจัดการแก้ปัญหาด้วยวิธีการต่างๆ กัน

ถ้าเราสมมุติว่าในโครงข่ายหนึ่งเกิดการชนกันของแพ็กเกตหรือว่าแพ็กเกตเกิดการซ้อนกันเกิดขึ้นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถตรวจสอบสัญญาณในการชนกันหรือว่าแพ็กเกตที่ซ้อนกันได้ก่อนนั้นก็จะส่งสัญญาณไปแจ้งเตือนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆที่อยู่ภายในโครงข่ายนั้นทุกเครื่องว่าตอนนี้ที่สายสัญญาณมีแพ็กเกตที่เกิดการชนกันเกิดขึ้นหรือว่ามีแพ็กเกตที่ซ้อนกันเกิดขึ้น ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆที่ได้รับสัญญาณแจ้งเตือนแล้วก็จะหยุดการส่งแพ็กเกตใดๆหรือว่าสัญญาณใดๆ และหลังจากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใดที่เป็นเจ้าของแพ็กเกตที่เกิดการชนกันหรือว่าแพ็กเกตซ้อนกันนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการสุ่มหาเวลา (Backoff Algorithm) เพื่อที่จะต้องทำการส่งแพ็กเกตนั้นใหม่อีก

ครั้งหนึ่งซึ่งแพ็กเกตที่เกิดการชนกันหรือว่าแพ็กเกตที่ซ้อนทับกันนั้นก็จะไม่สามารถที่จะใช้ได้อีกซึ่งเราสามารถที่จะอธิบายได้ดังรูปภาพที่ 3.3

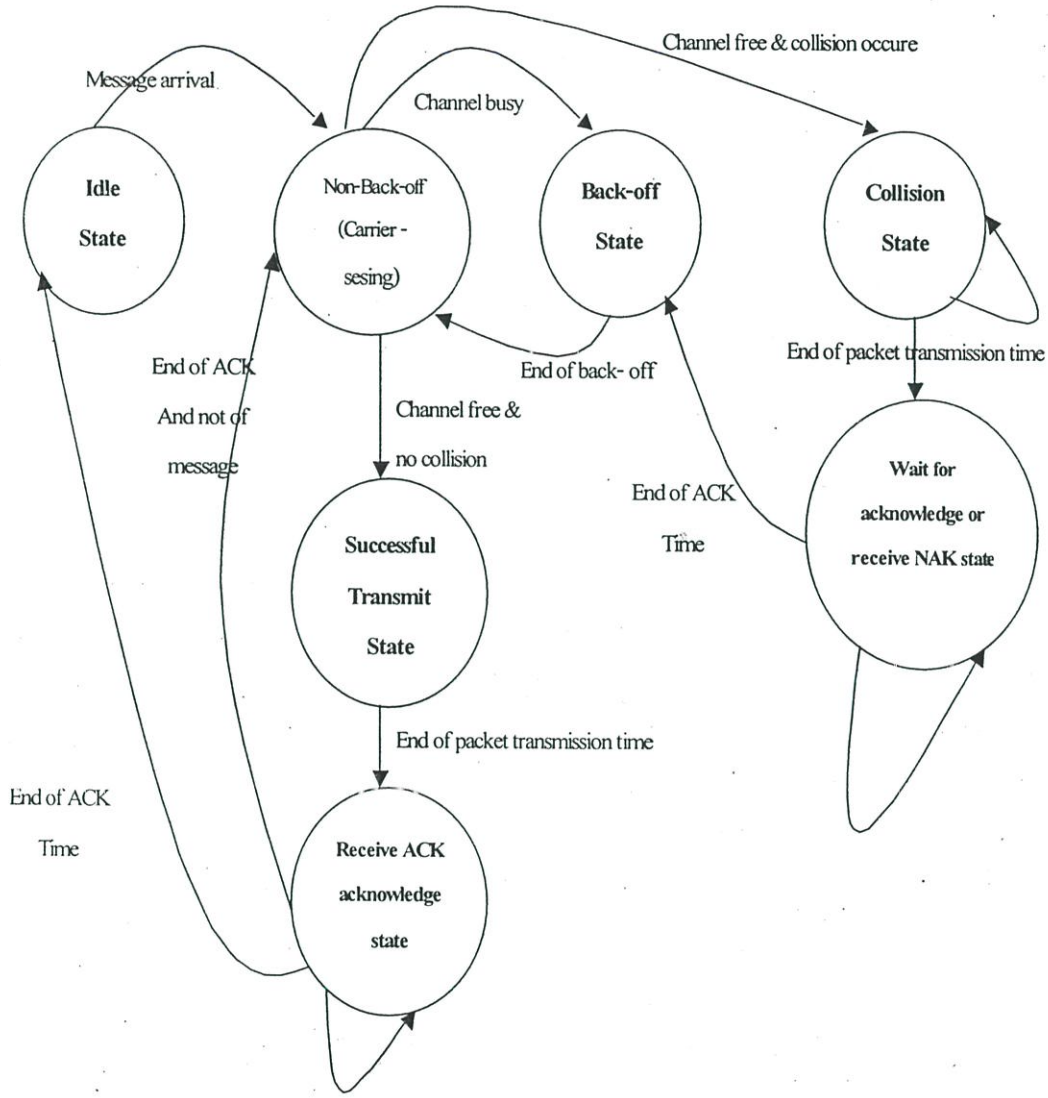


รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CD

3.3 การเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA

การเข้าถึงแบบสุ่มของ CSMA/CA นั้นเป็นการเข้าถึงแบบสุ่มที่ใช้กับระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN) และเป็นไปตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 ที่มีการระบุว่าได้มีการใช้วิธีการนี้ในชั้นของ MAC เลเยอร์ซึ่งการเข้าถึงแบบสุ่มแบบนี้เราสามารถที่จะแสดงในลักษณะของรูปสถานะต่างๆของระบบ CSMA/CA ได้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงสถานะต่างๆของระบบ CSMA/CA แบบคราวๆ

เราสามารถที่จะอธิบายการถึงแบบสุ่มของระบบ CSMA/CA ได้ดังนี้คือเราสมมุติในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้นประกอบด้วยเครื่องลูกข่ายหลายๆเครื่อง กระจายกันอยู่ภายในบริเวณของโครงข่ายหนึ่งที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เฉพาะภายในโครงข่ายนั้น



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมสถานะของระบบ CSMA/CA

และเราสมมุติว่าเกิดมีเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่ายอีกเครื่องหนึ่ง ในที่นี้เราสมมุติว่าเครื่องลูกข่าย A ต้องการส่งข้อมูลให้กับเครื่องลูกข่าย B ดังนั้นก่อนที่เครื่องลูกข่าย A จะส่งข้อมูลนั้นเครื่องลูกข่าย A ก็จะต้องส่งเฟรมข้อมูล RTS ไปยังเครื่องลูกข่าย B ก่อน ซึ่งเมื่อเครื่องลูกข่าย B ได้รับเฟรมข้อมูล RTS จากเครื่องลูกข่าย A แล้วนั้นก็จะส่งเฟรมข้อมูลตอบกลับไปให้กับเครื่องลูกข่าย A ซึ่งเฟรมข้อมูลตอบกลับนี้ก็คือ เฟรม CTS เมื่อเครื่องลูกข่าย A ได้รับเฟรมข้อมูล CTS แล้วเครื่องลูกข่าย A ก็จะส่งเฟรมข้อมูล (Data frame) ไปยังเครื่องลูกข่าย B และจากนั้นเมื่อเครื่องลูกข่าย B

ได้รับเฟรมข้อมูลของเครื่องลูกข่าย A แล้วเครื่องลูกข่าย B ก็จะทำการส่งเฟรม ACK กลับไปยังเครื่องลูกข่าย A อีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการยืนยันว่าได้รับเฟรมข้อมูลของเครื่องลูกข่าย A เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นเมื่อเครื่องลูกข่าย A มีการส่งเฟรม RTS ไปยังเครื่องลูกข่าย B นั้นเครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นๆที่อยู่ภายในโครงข่ายท้องถิ่นก็จะสามารถรับรู้ว่าได้มีการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน ระหว่างเครื่องลูกข่าย A กับเครื่องลูกข่าย B ซึ่งเครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นๆ ที่ต้องการส่งเฟรมข้อมูลให้กับเครื่องลูกข่าย B นั้นก็จะต้องรอไปซักระยะหนึ่งเพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่าย A ได้ทำการส่งเฟรมข้อมูลเสร็จเรียบร้อยก่อนจากนั้นเครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นๆ จึงจะสามารถติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่าย B ได้

ซึ่งปัญหาที่ทำให้เกิดการชนกันของเฟรมข้อมูลหรือว่าเกิดปัญหาการซ้อนกันของเฟรมข้อมูลนั้นอาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เมื่อมีเครื่องลูกข่ายเครื่องหนึ่งได้มีการเคลื่อนย้ายจากโครงข่ายท้องถิ่นอื่นๆเข้ามายังโครงข่ายท้องถิ่นที่กำลังมีการติดต่อสื่อสารระหว่างกันอยู่ นั้นก็คือระหว่างเครื่องลูกข่าย A กับ เครื่องลูกข่าย B ดังนั้นถ้าเกิดว่าเครื่องลูกข่ายที่กำลังเคลื่อนย้ายเข้ามานั้นได้มีการส่งเฟรมข้อมูล RTS ไปยังเครื่องลูกข่าย B นั้นเวลาเดียวกันกับเครื่องลูกข่าย A แล้วก็จะทำให้เกิดปัญหาการชนกันของเฟรมข้อมูล เมื่อมีการชนกันของเฟรมข้อมูลแล้วเครื่องลูกข่าย A และเครื่องลูกข่ายที่กำลังเคลื่อนย้ายเข้ามาในโครงข่ายท้องถิ่นนี้นั้นก็จะต้องสุ่มเพื่อหาเวลาในการส่งเฟรมข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้งหนึ่งซึ่งในที่นี้เรียกกระบวนสุ่มเพื่อหาเวลาในการส่งใหม่ว่ากระบวนการ Back off ซึ่งเมื่อเกิดการชนกันของเฟรมข้อมูลที่เครื่องลูกข่าย B ฉะนั้นเครื่องลูกข่าย B ก็จะไม่มีการส่งเฟรมตอบกลับ (CTS Frame) ไปยังทั้งเครื่องลูกข่าย A และเครื่องลูกข่ายที่กำลังเคลื่อนย้ายเข้ามายังภายในโครงข่ายท้องถิ่นนั้น

- แคปเจอร์เอ็ฟเฟ็ก (capture effect)

การชนกันของแพ็กเกตหนึ่งจะปรากฏขึ้นเมื่อมีแพ็กเกตมากกว่าหนึ่งแพ็กเกตปรากฏ ณ ที่ช่วงเวลาเดียวกันหรือว่าเวลาที่ใกล้เคียงกัน การชนกันของแพ็กเกตหลายๆแพ็กเกตนั้นอาจจะเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลได้ดังนั้นในระบบโครงข่ายแบบไร้สายนั้นแคปเจอร์เอ็ฟเฟ็ก (capture effect) ที่กล่าวถึงนั้นจะเปรียบเสมือนกับว่าเป็นความสามารถของจุดเชื่อมต่อ (access point) ที่สามารถที่จะรับเอาแพ็กเกตที่ต้องการนั้นๆ ออกมาจากแพ็กเกตอื่นๆได้ (กล่าวคือไม่ต้องทิ้งแพ็กเกตทั้งหมดที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น) ซึ่งโอกาสเป็นไปได้ของแค็ปเจอร์ (Capture probability) $P_{cap}(N)$ นั้นคือโอกาสเป็นไปได้ที่จะมีแพ็กเกตหนึ่งแพ็กเกตที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันกับแพ็กเกตอื่นๆอีกหลายๆแพ็กเกตสามารถที่จะรับได้ที่ทางด้านภาครับ การที่เราจะเข้าใจแคปเจอร์เอ็ฟเฟ็กนั้นสามารถที่จะช่วยลดโอกาสเป็นไปได้ของการชนกันและสามารถที่จะช่วยทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นได้ด้วยแคปเจอร์ (capture) ได้สำเร็จนั้นขึ้นอยู่กับระดับของกำลังงานที่รับได้ ชนิดของการมอดูเลตชัน (modulation) และคุณสมบัติของช่องสัญญาณ ซึ่งในที่นี้ถ้าเราสมมุติว่ากำลังงานของเครื่องส่งแต่ละเครื่องมีกำลังในการส่งที่เท่ากันแต่ว่าระยะทางของเครื่องส่งที่อยู่ห่างจากจุดเชื่อมต่อนั้นมีระยะทางที่ไม่เท่ากันดังนั้นแพ็กเกตที่เดินทางมาถึงที่จุเชื่อมต่อนั้นก็จะมีกำลังงานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งก็มีวิธีที่ใช้สำหรับ

ประมาณค่าแคปเจอร์เอ็ฟเฟ็ก (capture effect) หลายวิธีที่ใช้ ซึ่งวิธีการที่ใช้นั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าอยู่ที่ชั้นกายภาพ (physical layer) หรือว่าที่ชั้นดาต้าลิงค์ (data link layer) ของระบบซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบหลักคือ

- รูปแบบที่ 1 พิจารณาที่ชั้นกายภาพ (physical layer) ซึ่งรูปแบบนี้นั้นจะพิจารณาที่ capture ratio และไม่พิจารณาโอกาสเป็นไปได้ของบิตผิดพลาดของสัญญาณซึ่งวิธีการนี้จะดูระดับของกำลังงานของสัญญาณที่รับได้เป็นกฎเกณฑ์ในการ capture
- รูปแบบที่ 2 พิจารณาที่ชั้น MAC (MAC Layer) รูปแบบนี้จะพิจารณาบนพื้นฐานการสมมุติที่ว่าเครื่องรับมีการเข้าจังหวะ (synchronization) ที่สมบูรณ์แบบ ดังนั้นเครื่องรับสามารถที่จะระงับ (capture) ได้เพียงแค่หนึ่งสัญญาณที่เครื่องนั้นต้องการส่วนสัญญาณที่ไม่ระงับ (not capture) ก็คือสัญญาณของแพ็กเกตสอดแทรก

- โอกาสเป็นไปได้ของแค็ปเจอร์ (Capture Probability)

ในส่วนนี้เราจะอธิบายถึงคุณสมบัติของวิธีการที่แตกต่างกันของการคำนวนโอกาสเป็นไปได้ของแค็ปเจอร์ซึ่งเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีคือ

<u>วิธีที่ 1</u>

วิธีนี้เราจะสมมุติว่า แพ็กเกตข้อมูลจะรับได้อย่างประสบความสำเร็จโดยที่ปราศจากบิตข้อมูลที่ผิดพลาด กำลังงานของแพ็กเกตที่เราต้องการนั้นจะต้องมากกว่าแพ็กเกตสอดแทรกทั้งหมดหรือว่าอย่างน้อยก็ต้องมากกว่าอัตราส่วนแค็ปเจอร์ (capture ratio) ในที่นี้เราสมมุติให้กำลังงานของแพ็กเกตที่เราต้องการเป็น ρ_0 และอัตราส่วนแค็ปเจอร์ (capture ratio) เป็น z โดยที่พารามิเตอร์ z นั้นอาจจะพิจารณาเหมือนกับอัตราส่วนอย่างน้อยของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณสอดแทรก ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้การรับแพ็กเกตนั้นได้ประสบความสำเร็จ ซึ่งในช่วงเวลาของคาบระงับ (capture period) นั้นเราพิจารณาว่ากำลังงานที่รับได้นั้นคงที่และจากเงื่อนไขของแค็ปเจอร์ (condition capture) คือ [6]

$$\rho_0 > z\left(\sum_{i=1}^{n}\rho_i + \eta\right) = zx \qquad \textbf{(3.1)}$$

โดยที่ η คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวนแบบขาว และ x คือ แทนค่าที่อยู่ภายในวงเล็บ และค่าของ z คือ อัตราส่วนแค็ปเจอร์ (capture ratio) ซึ่งในที่นี้ไม่มีการอธิบายในชั้นกายภาพว่า ถ้าเกิดว่าค่าของ z นั้นมีค่ามากจะทำให้โอกาสเป็นไปได้ที่จะรับแพ็กเกตที่ต้องการนั้นได้มากกว่าค่าของ z ที่มีค่าน้อย จากสมการที่ 3.1 ถ้าเกิดว่าเราไม่นำค่าของ η มาคิดเราจะได้

$$\rho_0 > z\left(\sum_{i=1}^{n}\rho_i\right) \tag{3.2}$$

ดังนั้นโอกาสเป็นไปได้ที่จะรับ แพ็กเกตข้อมูลได้ประสบความสำเร็จคือ

$$\Pr(r_o / n) = \Pr\left\{p_0 > z\sum_{i=1}^{n} p_i\right\} \tag{3.3}$$

และโอกาสเป็นไปได้ของแค็ปเจอร์ คือ

$$Pcap = (n+1)\int_0^{\infty} f_p(p_0)\Pr\left\{p_0 > z\sum_{i=1}^{n} p_i\right\}dp_0 \tag{3.4}$$

$$= (n+1)\int_0^{\infty} f_p(p_0)\left[Fp_x\left(\frac{p_0}{z}\right)\right]dp_0 \tag{3.5}$$

โดยที่ $f_{p(p_0)}$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (pdf) ของกำลังงานที่รับได้ p_0 จากเครื่องที่ต้องการและ $f_{px(p_x)}$ ก็คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (pdf) ของผลรวมของสัญญาณสอดแทรกทั้งหมดและ $F_{px}(p_x)$ ก็คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น (cdf) ของการประสาน (convolution) ของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (pdf) ของ η ซึ่งในที่นี้ค่าของ $f_{p(p_i)}$ และ $f_{px(p_x)}$ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของช่องสัญญาณและสามารถที่จะแทนได้ ดังนี้คือสำหรับช่องสัญญาณการจางหายแบบเรย์ลี่ (Rayleigh fading channel)

$$fp(p_i) = \frac{1}{\bar{p}_i}\exp\left(-\frac{1}{\bar{p}_i}p_i\right) \tag{3.6}$$

$$fpx(p_x) = \frac{1}{(n-1)!\,\bar{p}^{n}_{i}}p_i^{n-1}\exp\left(-\frac{1}{\bar{p}_i}p_i\right) \tag{3.7}$$

และฟังก์ชันความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นก็สามารถที่จะแทนได้ด้วยฟังก์ชันการถ่ายโอนของลาปาซ (Laplace transformation) หรือว่าเราอาจจะแทนได้ด้วยการจางหายแบบไรเซียนก็ได้ (Rician fading channel)

โดยปกติแล้วพื้นที่ ที่เครื่องคอมพิวเตอร์อยู่นั้นไม่สามารถที่จะระบุได้ว่ามีลักษณะการจางหายแบบใด ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับจุดเชื่อมต่อ (access point) จะเป็นในลักษณะที่ไม่คงที่ก็คือมีระยะห่างที่ไม่เท่ากันตลอดจึงเป็นผลทำให้กำลังที่รับได้ที่จุดเชื่อมต่อนั้นมีกำลังที่ไม่เท่ากันตลอด ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะพิจารณาเป็นในลักษณะปัญหาของผลกระทบ เนียร์-ฟาร์ (near-far effect) ซึ่งในกรณีนี้นั้นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของกำลังงานเฉลี่ยคือจะสัมพันธ์กับการกระจายเชิงอวกาศ (spatial distribution) การลดทอนของกำลังงานและระยะทางดังนั้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการกระจายเชิงอวกาศได้ดังนี้

$$fp(p_i) = \int_0^{\infty} f_R(r) \frac{1}{\bar{p}_i} \exp\left(-\frac{1}{\bar{p}_i} p_i\right) dr \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$fpx(p_x) = \int_0^{\infty} f_R(r) \frac{1}{(n-1)! \bar{p}^n{}_i} p_i^{n-1} \exp\left(-\frac{1}{\bar{p}_i} p_i\right) dr \qquad \textbf{(3.9)}$$

โดยที่ $f_R(r)$ ก็คือการกระจายเชิงอวกาศของระยะห่าง R ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับจุดเชื่อมต่อและสำหรับกรณีพิเศษของการกระจายเชิงอวกาศที่อยู่ภายในวงกลมหนึ่งหน่วยที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดเชื่อมต่อและมีระยะทางคือ

$$f_R(r) = \begin{cases} 2r & 0 \le r \le 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad \textbf{(3.10)}$$

ดังนั้น

$$f_p(p_i) = \int_0^{\infty} 2r_i r_i^{\beta} \exp(-p_i r_i^{\beta}) dr_i$$

$$= \int_0^{\infty} 2r_i^{\beta+1} \exp(-p_i r_i^{\beta}) dr_i \qquad \textbf{(3.11)}$$

โดยที่เรามีการสมมุติที่ว่า $\bar{P}_i = r_i^{-\beta}$

วิธีที่ 2

วิธีนี้แค็ปเจอร์ (capture) จะเกิดขึ้นเมื่อกำลังงานของแพ็กเกตที่ต้องการนั้นมากกว่ากำลังงานของแต่ละแพ็กเกตสอดแทรกทั้งหมดโดยการกำหนดเป็นตัวแปร z ซึ่งสามารถแสดงเป็นเงื่อนไขได้ดังนี้คือ

$$p_0 > z \max(p_1 \ldots p_i \ldots p_N) \tag{3.12}$$

ดังนั้นจึงแสดงได้ว่า

$$\begin{aligned} P_r(r_0 \mid N) &= P_r\left\{ p_1 < \frac{p_0}{z}, \ldots, p_N < \frac{p_0}{z} \right\} \\ &= \int_0^{\infty} f_p(p_0) \left[\int_0^{p_0/z} f_p(p_1) dp_1 \right]^N dp_0 \end{aligned} \tag{3.13}$$

ดังนั้นโอกาสเป็นไปได้ที่จะแค็ปเจอร์ ที่ไม่ได้คิดเงื่อนไขคือ (uncondition capture probability)

$$P_{cap}(n) = (n+1) \int_0^1 2 r_0 P_r(r_0 \mid N) dr_0 \tag{3.14}$$

วิธีที่ 3

รูปแบบนี้จะพิจารณาที่ชั้น MAC (MAC layer) วิธีนี้จะกล่าวถึงกระบวนการตัดสินใจบิตผิดพลาดที่อยู่ภายใต้สัญญาณที่สอดแทรกและสัญญาณรบกวนและเกี่ยวข้องกับวิธีการมอดูเลตชันด้วย

วิธีการนี้จะสมมุติว่าเครื่องรับจะเลือกเพียงหนึ่งแพ็กเกตจากแพ็กเกตทั้งหมด ในกรณีนี้แค็ปเจอร์ (capture) จะเกิดขึ้นเมื่อจุดเชื่อมต่อ (access point) รับแพ็กเกตทดสอบได้และสามารถตรวจสอบบิตข้อมูลที่เป็นบิตสำหรับแค็ปเจอร์ (capture) ที่อยู่ในแพ็กเกตนั้นได้ ดังนั้นเงื่อนไขโอกาสเป็นไปได้ของแค็ปเจอร์ (capture probability condition) ก็คือ

$$P_r(r_0) = \left[1 - P_b\right]^L \tag{3.15}$$

โดยที่ L ก็คือจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตและ P_b ก็คือความน่าจะเป็นของบิตผิดพลาด การใช้วิธีการนี้นั้นมีสิ่งหนึ่งที่น่านำไปพิจารณาก็คือการถอดรหัสที่ภาครับนั้นเอง ในที่นี้เราสมมุติว่าโอกาสผิดพลาดของบิตข้อมูลที่เป็นไปได้ ณ ที่เครื่องรับสามารถที่จะรับสัญญาณที่ต้องการนั้นกำหนดได้ดังนี้คือ

$$P_b = P_r\left\{\sum_{i=1}^{N} p_i k_i + n_0 > p_0\right\}$$
$$= \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{p_0 T_b}{N_0 + \bar{p}_x T_b}}\right) \quad \textbf{(3.16)}$$

โดยที่ T_b ก็คือคาบเวลาบิตข้อมูล N_0 ก็คือความหนาแน่นแถบความถี่สัญญาณรบกวนข้างเดียว (single-side noise spectral density) และ $\bar{p}_x$ ก็คือกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณสอดแทรกร่วมกัน ดังนั้นโอกาสเป็นไปได้แค็ปเจอร์ (probability capture) ก็คือ

$$P_r(r_0) = \int_0^\infty f_{\bar{p}_x}(\bar{p}_x) \int_0^\infty f_{p_0}(p_0)\left[1 - P_b(p_0)\right]^L dp_0 d\,\bar{p}_x \quad \textbf{(3.17)}$$

โดยที่ L แทนที่จำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตและ $f_{\bar{p}_x}(\bar{p}_x)$ ก็คือ การร่วนัยของสัญญาณสอดแทรกทั้งหมด N ตัว ในที่นี้การกระจายเชิงอวกาศ (spatial distribution) จะพิจารณาเหมือนกับการกระจายอย่างคล้ายแบบเดียวกัน (quasi-uniform distribution) แสดงได้ดังนี้

$$f_R(r) = 2r\exp(-\frac{\pi}{4}r^4) \quad \textbf{(3.18)}$$

$$f_R(r) = \frac{n}{2}\bar{p}_x^{-3/2}\exp(-\frac{\pi n^2}{4\,\bar{p}_x}) \quad \textbf{(3.19)}$$

ซึ่งเราสามารถที่จะเขียนสมการโอกาสเป็นไปได้แค็ปเจอร์ใหม่ได้ดังนี้คือ

$$P_r(r \mid N) = \int_0^1 \frac{2^N}{(2N-1)!} r_x^{\,2N-1} \int_0^\infty r_0^{\,\beta} \exp(-r_0^{\,\beta} p_0) dp_0 \left[1 - \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{p_0 T_b}{N_0 + r_x^{\,-\beta} T_b}} \right) \right]^L dr_x \qquad \textbf{(3.20)}$$

<u>วิธีที่ 4</u>

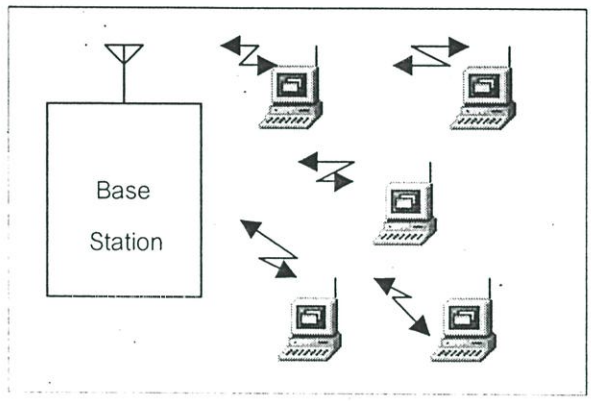
วิธีการนี้จะพิจารณาที่ทั้งชั้นกายภาพ (physical layer) และที่ชั้น MAC (MAC layer) วิธีการนี้จะเป็นการรวมเอาวิธีการทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้นมารวมกัน และปรากฏแค็ปเจอร์ (capture effect) จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องรับ (AP access point) สามารถรับคลื่นพาหะของสัญญาณแพ็กเกตที่ต้องการได้และสามารถตรวจสอบบิตผิดพลาดที่เป็นบิตใช้สำหรับแค็ปเจอร์ (capture) ได้อย่างถูกต้อง นั้นก็แสดงว่าแค็ปเจอร์ (capture) ประสบความสำเร็จซึ่งกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณสอดแทรกและสัญญาณรบกวนแบบขาว (AWGN)

$$\begin{aligned} P_{cap} &= (n+1)\Pr\{success \mid lock\}\Pr\{lock\} \\ &= (n+1)(1-P_b)^L P_r\left\{ p_0 > z\left(\sum_{i=1}^{N} p_i + N_0 \right) \right\} \\ &= (n+1)\int_0^\infty f_p(p_0)\left[F_{px}(p_x)\right](1-P_b)^L dp_0 \end{aligned} \qquad \textbf{(3.21)}$$

โดยที่ L ก็คือ จำนวนของบิตข้อมูลที่อยู่ภายในแพ็กเกต P_b ก็คือโอกาสเป็นไปได้ของบิตผิดพลาดซึ่งในที่นี้อาจจะเป็น BPSK, BFSK หรืออื่นๆก็ได้ และ $f(p_0)$ ก็คือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของกำลังงานของสัญญาณที่ต้องการ p_0 และ $F_{px}(p_x)$ ก็คือฟังก์ชันความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น (cdf) ของการประสาน (convolution) ของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (pdf) ของ n

บทที่ 4
การสื่อสารดิจิตอลบนช่องสัญญาณการจางหายในสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม

4.1 สิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.1 แบบจำลองระบบโครงข่ายแบบไร้สายในโรงงานอุตสาหกรรม

แบบจำลองของโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแบบจำลองนี้เราจะวิเคราะห์เฉพาะระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในหนึ่งวงเท่านั้นและเป็นการติดต่อแบบทางเดียว (one way) ซึ่งในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์หนึ่งวงนั้นก็จะประกอบไปด้วยเครื่องแม่ข่ายหนึ่งเครื่องซึ่งเป็นตัวที่ใช้สำหรับจัดการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายต่างๆที่อยู่ภายในของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์วงเดียวกันจากรูปที่หนึ่งเราจะเห็นได้ว่าถ้าเกิดว่าเครื่องลูกข่ายที่จะติดต่อกันนั้น เครื่องลูกข่ายก็จะต้องส่งข้อมูลที่เป็นแพ็กเกต (packet) ซึ่งในแพ็กเกตนั้นก็จะมีที่อยู่ของเครื่องปลายทางไปยังเครื่องแม่ข่ายก่อนจากนั้นเครื่องแม่ข่ายก็จะตรวจสอบที่อยู่ปลายทางของผู้รับจากนั้นก็จะส่งแพ็กเกตนั้นไปยังปลายทางของผู้รับตามที่ผู้ส่งต้องการ และการวัด wide band multipath ที่ความถี่ 1300 MHz ที่ทำในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถที่จะใช้แทนแบบจำลองการกระจายทางสถิติในสภาวะแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามก็มีแบบจำลองที่ได้จากการทดลองที่แตกต่างกันที่มีการนำเสนอในเอกสารต่างๆก่อนหน้านี้ที่อธิบายถึงการกระจายตัวทางสถิติของการจางหาย multipath ที่อยู่ภายในตัวอาคารและที่ภายนอกตัวอาคาร อย่างไรก็ตามจนกระทั่งปัจจุบันนี้สิ่งเหล่านี้ก็เป็นแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ไม่

เหมาะสมสำหรับในการอธิบายช่องสัญญาณที่อยู่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม พื้นฐานของการวัดช่องสัญญาณ wide band ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากเราค้นพบได้ว่าแบบจำลองของ Poisson ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับจำนวนของสัญญาณที่มาถึงเป็นแบบจำลองที่ไม่เหมาะสมสำหรับกรณีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเราสังเกตุได้ว่าการกระจายตัวของจำนวนของสัญญาณจะอ่อนมากที่จุดศูนย์กลางซึ่งแบบจำลองของ Poisson จึงไม่เหมาะสมสำหรับในกรณีนี้ แบบจำลองของช่องสัญญาณในโรงงานอุตสาหกรรมเช่น line-of-sight (LOS) และ obstruct (OBS) คือสิ่งที่เราพิจารณาซึ่งแบบจำลองเหล่านี้รวมไปถึงคุณสมบัติการกระจายทางสถิติของ multipath สำหรับในกรณีของภาวะที่ยุ่งเหยิงมากหรือน้อยในโรงงานอุตสาหกรรม. สำหรับช่องสัญญาณ line-of-sight ซึ่งช่องสัญญาณแบบนี้จะมีเส้นทางของสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่งโดยตรงไปยังเครื่องรับในขณะที่ช่องสัญญาณ obstruct เส้นทางของสัญญาณโดยที่ส่งมาจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะมีสิ่งกีดขวางขวางทางเดินของสัญญาณอยู่.สำหรับช่องสัญญาณของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะมีการจางหายของช่องสัญญาณ (fading channel) อยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ [4]

การจางหายแบบไรเชียน (Rice Fading) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$f_g(r) = \frac{r}{\sigma^2}\exp[-(r^2 + A^2)/2\sigma^2]I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right) \qquad (4.1)$$

โดยที่

- r คือ amplitude สัญญาณ
- A คือ amplitude ส่วนของสัญญาณ Line-of-sight (LOS)
- σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ
- I_0 คือ ฟังก์ชันของ Bessel ที่มีอันดับที่ 0

ถ้าเกิดว่าสัญญาณไม่ปรากฏส่วนของสัญญาณ Line-of-sight นั้นการกระจายตัวจะเป็นแบบเรลี่ (Rayleigh fading) หรือว่าส่วนของสัญญาณ line-of-sight นั้นถูกบังจากสิ่งกีดขวางต่างๆ ดังนั้นการกระจายตัวจะเป็นแบบ ล็อกนอร์มอล (Lognormal fading) ซึ่งมีสมการแสดงตามลำดับดังต่อไปนี้

การจางหายแบบเรลี่ (Rayleigh fading) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$f_g(r) = \frac{r}{\sigma^2}\exp\left(-r^2/2\sigma^2\right) \qquad (4.2)$$

โดยที่

r คือ amplitude สัญญาณ

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ

การจางหายแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal fading) ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$f_g(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left[-(\ln r - u)^2 / 2\sigma^2\right] \qquad \textbf{(4.3)}$$

โดยที่

r คือ amplitude สัญญาณ

u คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณการจางหาย (dB)

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ (dB)

วิธีการวัด wide band multipath ที่ความถี่ 1300 MHz ตามเอกสารอ้างอิง มีทำในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งรูปแบบของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละที่สามารถแบ่งได้ตามนี้

1.เส้นทาง Line-of-sight และประกอบกับบริเวณที่ใช้ในการวัดมีสิ่งของไม่มากนัก ดังนั้นเส้นทางคลื่นวิทยุจะปรากฏตามทางเดินเป็นส่วนที่สำคัญ ซึ่งรอบๆทางเดินนั้นมีไม่มีการเก็บสิ่งของไว้หรือว่ามีสิ่งของเก็บไว้เพียงเล็กน้อย

2.เส้นทาง Line-of-sight และประกอบกับพื้นที่เต็มไปด้วยสิ่งของต่างๆ ที่ใช้ในการวัด เป็นเส้นทางจะพบได้ตามที่เก็บของหรือว่าที่โกดังสินค้า หรือว่าพื้นที่ที่เครื่องจักรทำงาน

3.เส้นทาง Obstruct (OBS) และประกอบกับบริเวณที่ใช้ในการวัดมีสิ่งของไม่มากนัก ดังนั้นเส้นทางหลายๆเส้นทางที่ปรากฏที่เครื่องรับจะไม่สัญญาณ line-of-sight

4.เส้นทาง Obstruct และประกอบกับพื้นที่บริเวณรอบๆที่ใช้ในการวัดเต็มไปด้วยสิ่งของต่างๆ ดังนั้นเส้นทางหลายๆเส้นทางที่ปรากฏที่ในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมจะมี shadow อย่างรุนแรง

ซึ่งการวัด wide band multipath ที่ความถี่ 1300 MHz มีการทำในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถที่จะใช้แทนแบบจำลองการกระจายทางสถิติในสภาวะแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามก็มีแบบจำลองที่ได้จากการทดลองที่แตกต่างกันที่มีการนำเสนอในก่อนหน้านี้ที่อธิบายถึงการกระจายตัวทางสถิติของการจางหาย multipath ที่อยู่ภายในตัวอาคารและที่ภายนอกตัวอาคาร อย่างไรก็ตามจนกระทั้งปัจจุบันนี้สิ่งเหล่านี้ก็เป็นแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ไม่เหมาะสมสำหรับในการอธิบายช่องสัญญาณที่อยู่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม พื้นฐาน

ของการวัดช่องสัญญาณ wide band ในโรงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากเราค้นพบได้ว่าแบบจำลองของ Poisson ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับจำนวนของสัญญาณที่มาถึงเป็นแบบจำลองที่ไม่เหมาะสมสำหรับกรณีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเราสังเกตุได้ว่าการกระจายตัวของจำนวนของสัญญาณจะอ่อนมากที่จุดศูนย์กลางซึ่งแบบจำลองของ Poisson จึงไม่เหมาะสมสำหรับในกรณีนี้ แบบจำลองของช่องสัญญาณในโรงงานอุตสาหกรรมเช่น line-of-sight (LOS) และ obstruct (OBS) คือสิ่งที่เราพิจารณาซึ่งแบบจำลองเหล่านี้รวมไปถึงคุณสมบัติการกระจายทางสถิติของ multipath สำหรับในกรณีของภาวะที่ยุ่งเหยิงมากหรือน้อยในโรงงานอุตสาหกรรม. สำหรับช่องสัญญาณ line-of-sight ซึ่งช่องสัญญาณแบบนี้จะมีเส้นทางของสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่งโดยตรงไปยังเครื่องรับในขณะที่ช่องสัญญาณ obstruct จะไม่มีเส้นทางของสัญญาณโดยที่ส่งมาจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ. ตัวแปรของช่องสัญญาณยกตัวอย่างเช่น ตัวประกอบของอัตราขยาย (gain coefficients),เวลาระยะห่างของสัญญาณ (interarrival time)หรือจำนวนของสัญญาณเป็นจำนวนมากที่กำลังมาถึง (arriving time) คือสิ่งที่พิจารณาในกรณีนี้. ตัวแปรเหล่านี้เป็นผลที่ได้จากการวัดในโรงงานอุตสาหกรรม

การแสดงถึงของทั้งความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องอาจจะใช้สำหรับแบบจำลองของช่องสัญญาณโดยที่ช่องสัญญาณที่มีในเอกสารอ้างอิงทั่วๆไปจะเป็นลักษณะดังต่อไปนี้

1.แบบจำลองที่ต่อเนื่อง

2.แบบจำลองที่ไม่ต่อเนื่อง

สำหรับแบบจำลองที่ต่อเนื่องในกรณีของสภาวะแวดล้อมการส่งผ่าน multipath ที่สอดคล้องต่อความเหมาะสมใน impulse response ($h(\tau, t)$) คือแบบจำลองของกระบวนการเกาส์เซียนซึ่งขนาดของช่องสัญญาณที่คงที่เวลาใดๆก็คือการกระจายตัวแบบเรลี่ (Rayleigh) ซึ่งช่องสัญญาณแบบนี้ที่รู้จักดีก็คือการจางหายของช่องสัญญาณแบบเรลี่ (Rayleigh) โดยที่ผลการตอบสนองของ impulse ของช่องสัญญาณแบบต่อเนื่องจะประกอบด้วยส่วนของส่วนประกอบต่างๆที่ไม่สามารถแยกออกจากกันได้เป็นจำนวนมากที่ปรากฏอยู่บนช่วงระยะห่างที่มีการกระจายแบบหน่วง (delay spread interval) ซึ่งในกรณีกระบวนการเกาส์เซียนคือเหมาะสมและเกี่ยวพันกับทฤษฎีการเข้าสู่ศูนย์กลาง (central limit theorem) ที่อยู่ภายใต้การสมมุติที่ว่าสิ่งเหล่าคือคลื่นเป็นจำนวนมากที่สนับสนุนต่อการตอบสนองที่เวลาใดๆและในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นมีส่วนประกอบของสัญญาณโดยตรงที่ส่งมาจากเครื่องไปสู่เครื่องรับดังนั้นในการตอบสนองของแบบจำลองการกระจายตัวแบบไรเซียนคือมีความเหมาะสมถ้าเกิดว่าคลื่นทั้งหมดเป็นแบบฉบับของตนเองคือแบบจำลองแบบที่ไม่ต่อเนื่องเราจึงทราบว่าแบบจำลองเป็นแบบที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณที่เป็นแบบโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งแบบจำลองที่ไม่ต่อเนื่องนี้ประกอบกับความสัมพันธ์ของคลื่นซึ่งคลื่นแต่ละคลื่นก็คือการกระจายตัวแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal distribution) ซึ่งเป็นแบบจำลองของ

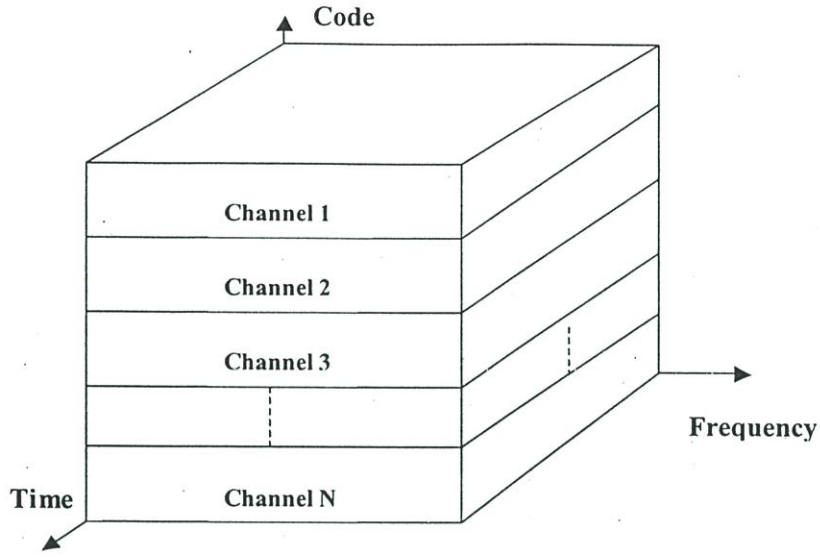
สภาวะแวดล้อมในเมืองแต่ว่าอย่างไรก็ตามตัวแปรต่างของช่องสัญญาณที่ใช้ในเมืองนั้นก็มีความแตกต่างกับสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม

4.2 ระบบการเข้าถึงแบบหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA)

ในระบบการเข้าถึงแบบแบ่งรหัส (CDMA) นั้นสัญญาณข้อมูลแบนด์แคบ (narrowband message signal) นั้นจะถูกคูณด้วยสัญญาณที่มีแบนวิดกว้างมากๆที่เราเรียกว่าสัญญาณการกระจาย (spreading signal) ซึ่งสัญญาณการกระจาย นั้นก็คือลำดับรหัสสัญญาณรบกวนเทียม (pseudo-noise code sequence) ที่อัตราในการชิพทางเวลามากกว่าสัญญาณข้อมูล ซึ่งผู้ใช้ทั้งหมดที่ใช้ระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) จะมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะใช้ความถี่เดียวกันหรือว่าอาจจะใช้เวลาในการส่งเดียวกันก็ได้แต่ว่าผู้ใช้แต่ละคนจะมีรหัสการสุ่มเทียม (pseudorandom codeword) ที่ไม่เหมือนกันในการส่ง โดยที่เราสมมุติว่ารหัสการสุ่มเทียมนั้นตั้งฉากกันทุกๆรหัส ซึ่งสามารถแสดงรูปภาพของซีดีเอ็มเอ (CDMA) ได้ดังรูปที่ 4.2 สำหรับการดีเทกสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนกลับคืนมาที่ทางด้านภาครับนั้น ทางด้านภาครับจำเป็นที่จะต้องรู้รหัสการสุ่มเทียมของแต่ละผู้ใช้เพื่อที่จะดีเทกสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนกลับคืนมาได้โดยที่ผู้ใช้แต่ละคนจะปฏิบัติการเป็นอิสระจากกัน

ในระบบของซีดีเอ็มเอ (CDMA) นั้นกำลังงานของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นที่ทางด้านภาครับจะกำหนดสัญญาณรบกวนหลังจากการดีเทกต์สหสัมพันธ์ (correlation detection) ถ้าเกิดว่ากำลังงานของผู้ใช้แต่ละคนที่อยู่ภายในเซลล์ไม่มีการควบคุม ดังนั้นกำลังงานของผู้ใช้ที่มาถึงทางด้านภาครับก็จะมีกำลังงานที่ไม่เท่ากันซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบของ เนียร์-ฟาซ์ (near-far effect) ได้

ซึ่งปัญหาผลกระทบของ เนียร์-ฟาซ์ นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้เป็นจำนวนมากมีการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณของผู้ใช้ที่รับได้ที่มีกำลังงานแรงนั้นจะสามารถดีมอดูเลต(demodulate) ที่ทางด้านภาครับได้ ซึ่งในระบบของซีดีเอ็มเอนั้นกำลังงานที่แรงที่รับได้นั้นจะเป็นการเพิ่มระดับของสัญญาณรบกวนที่ตัวดีมอดูเลตเตอร์ที่ด้านภาครับสำหรับกำลังงานของสัญญาณที่อ่อน ดังนั้นจึงมีโอกาสเป็นได้ที่จะรับสัญญาณที่อ่อนลงไปได้และการต่อสู้กับปัญหาผลกระทบของ เนียร์-ฟาซ์ นั้นจะใช้วิธีการควบคุมกำลังงาน (power control) ซึ่งวิธีการควบคุมกำลังงานคือจะอยู่ที่เครื่องที่ภาครับในแต่ละเซลล์เพื่อที่จะคอยควบคุมให้ผู้ใช้แต่ละคนที่อยู่ภายในเซลล์นั้นมีกำลังงานในการส่งไปยังเครื่องรับนั้นมีกำลังที่เท่ากันทุกเครื่องที่อยู่ภายในเซลล์เราสามารถที่จะสรุปหลักการของระบบซีดีเอ็มเอได้ดังนี้คือ



รูปที่ 4.2 รูปแบบของระบบซีดีเอ็มเอ

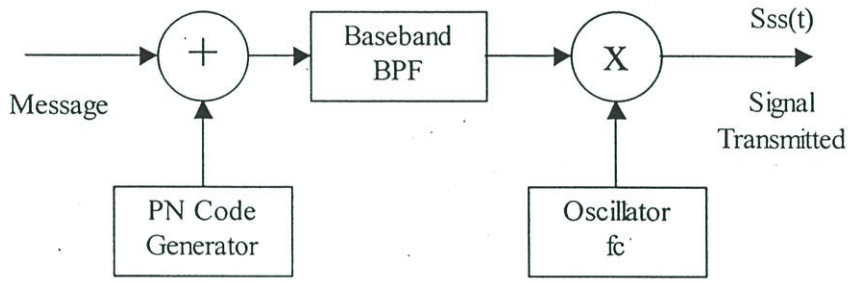
- ผู้ใช้แต่ละคนของระบบ ซีดีเอ็มเอ (CDMA) นั้นจะใช้ความถี่เดียวกันก็ได้
- ปัญหาของผล เนียร์-ฟาร์ (near-far effect) จะเกิดขึ้นถ้าเกิดกำลังงานของผู้ใช้ที่เราไม่ต้องการที่รับได้ที่ทางด้านภาครับมีกำลังงานที่แรงกว่ากำลังของผู้ใช้ที่เราต้องการ
- การเพิ่มจำนวนของผู้ใช้ในระบบซีดีเอ็มเอนั้นจะเป็นการเพิ่มระดับของสัญญาณรบกวนจะเป็นผลทำให้สมถรรนะของระบบลดลงในทางตรงกันข้ามกันถ้าเกิดว่าจำนวนของผู้ใช้ในระบบลดลงนั้นก็จะทำให้สมถรรนะของระบบดีขึ้น

4.2.1 หลักการของไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ

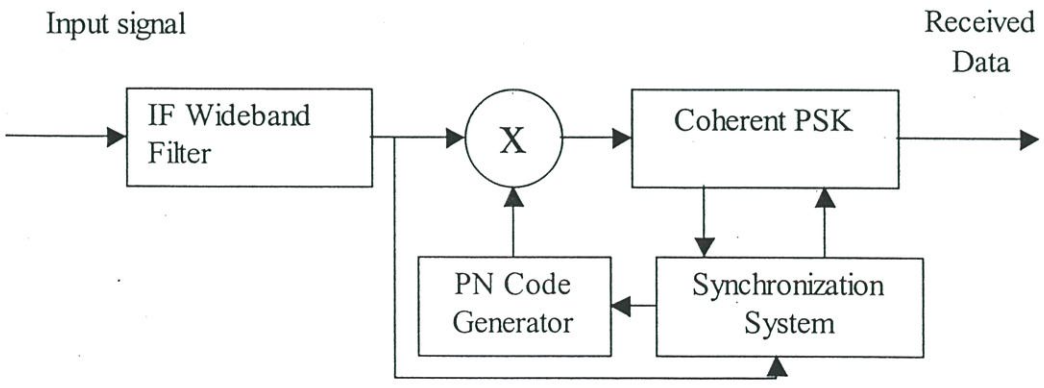
ระบบไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ นั้นจะเป็นการแผ่กระจายสัญญาณเบสแบนด์ข้อมูล โดยการนำเอาสัญญาณข้อมูลคูณกับลำดับสัญญาณรบกวนเทียม (pseudo-noise sequence) ซึ่งลำดับสัญญาณรบกวนเทียมนั้นถูกสร้างจากตัวสร้างรหัสสัญญาณรบกวนเทียม (pseudo-noise code) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงให้เห็นถึงบล็อกไดอะแกรมของระบบไดเร็คซีเควนประกอบกับการมอดูเลตเชิงเฟสแบบไบนารี (BPSK) ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งวิธีการที่ใช้ทางด้านภาครับนั้นอาจจะใช้วิธีการดีมอดูเลตเชิงเฟสแบบไบนารีร่วมนัย (BPSK coherent) หรือดีมอดูเลตเชิงเฟสแบบไบนารีไม่ร่วมนัย (BPSK non coherent) โดยที่สัญญาณแผ่กระจายที่รับได้คือ [2]

$$S_{ss}(t) = \sqrt{\frac{2Es}{Ts}} m(t) p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) \qquad (4.4)$$

โดยที่ m(t) คือสัญญาณข้อมูลและ p(t) คือ ลำดับการแผ่กระจายของสัญญาณรบกวนเทียม (pseudo noise spreading sequence) และ fc คือ ความถี่คลื่นพาหะ โดยที่สัญญาณข้อมูลก็คือเป็นรูปคลื่นพัลซ์สี่เหลี่ยมในทางเวลาที่ไม่มีการซ้อนทับกันและ amplitude ของสัญญาณข้อมูลสมมุติว่าเท่ากับ +1 หรือ –1 สัญลักษณ์ m(t) จะแทนด้วยสัญลักษณ์ข้อมูลที่มีช่วงเวลาเท่ากับ Ts ส่วนสัญลักษณ์ p(t) นั้นก็จะแทนด้วยสัญญาณรบกวนเทียมที่มี amplitude เท่ากับ +1 หรือ –1 เหมือนกัน แต่ว่าจะมีช่วงของเวลาเท่ากับ Tc ซึ่งจะแคบกว่าสัญลักษณ์ข้อมูล ซึ่งถ้าเรากำหนดให้ Wss คือ bandwidth ของ Sss(t) และ B คือ bandwidth ของ m(t) cos(2πfct) ซึ่งการแผ่กระจายของสัญญาณข้อมูลนั้นเนื่องจาก p(t) กำหนดว่า Wss มากกว่า B มากๆ ส่วนรูปที่ 4.4 นั้นแสดงให้เห็นถึงภาครับของระบบไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ เราจะเห็น



รูปที่ 4.3 ภาคส่งของไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ



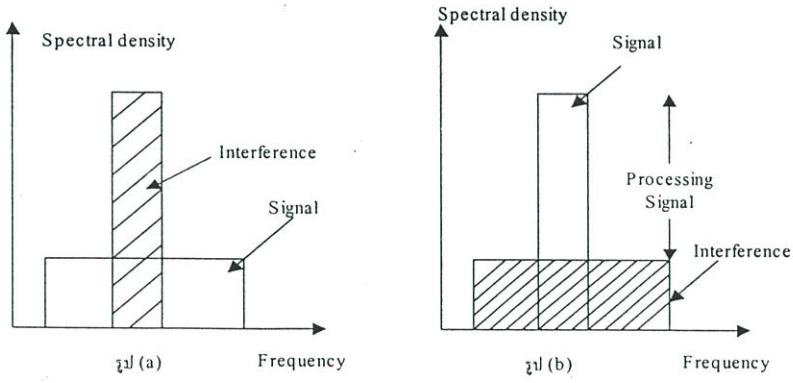
รูปที่ 4.4 ภาครับของไดเร็คซีเควนซีดีเอ็มเอ

ได้ว่าเมื่อสัญญาณที่เรารับได้จะผ่านตัวกรองสัญญาณแบบแบนกว้างและหลังจากนั้นก็จะถูกคูณด้วยรหัสสัญญาณรบกวนเทียมที่ตรงกับรหัสสัญญาณเทียมทางด้านส่ง ถ้าเกิดว่า p(t) = +1 หรือว่า –1 ดังนั้น $p^2(t) = 1$ และผลลัพธ์ของสมการที่เกิดขึ้นหลังจากที่คูณด้วยรหัสสัญญาณรบกวนเทียมนั้นจะได้

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2Es}{Ts}} m(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \qquad \textbf{(4.5)}$$

เนื่องจาก S_1 (t) มีรูปแบบของสัญญาณ BPSK ดังนั้นสัญญาณ S_1 (t) ก็จะถูกดีมอดูเลตแบบ BPSK เพื่อที่จะได้สัญญาณข้อมูลกลับมาอีกครั้งหนึ่ง และรูปที่4.5 แสดงให้เห็นถึงแถบความถี่ของสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวน ณ ที่ตำแหน่งของเอาท์พุทของตัวกรองสัญญาณแบบกว้าง การคูณด้วยรหัสสัญญาณรบกวนเทียมนั้นจะแสดงให้เห็นถึงแถบความถี่ได้ดังรูปที่ 4.5(b) ส่วนก่อนที่จะคูณด้วยรหัสสัญญาณรบกวนเทียมนั้นจะแสดงดังรูปที่ 4.5 (a) จากรูปที่ 4.5 (b) จะเห็นว่าแบนวิดของสัญญาณคือจะถูกลดลงในขณะที่ พลังงานของสัญญาณแทรกสอดคือจะถูกกระจายบนแบนวิดจะเกินค่าของ Wss และตัวกรองสัญญาณที่อยู่ทางด้านรับก็จะกรองเอาแถบความถี่ของสัญญาณแทรกสอดที่ไม่ได้ทับซ้อนกับสัญญาณข้อมูลออกไปดังนั้นพลังงานของสัญญาณแทรกสอดส่วนมากก็จะถูกกำจัดออกไปซึ่งจะไม่มีผลกระทบที่ทางด้านภาครับมากนัก ซึ่งวิธีการวัดโดยประมาณของความสามารถในการกำจัดพลังงานแทรกสอดออกไปนั้นกำหนดด้วยอัตราส่วนของ Wss/B นั้นก็คือจะเท่ากับ processing gain ซึ่งกำหนดได้ดังนี้

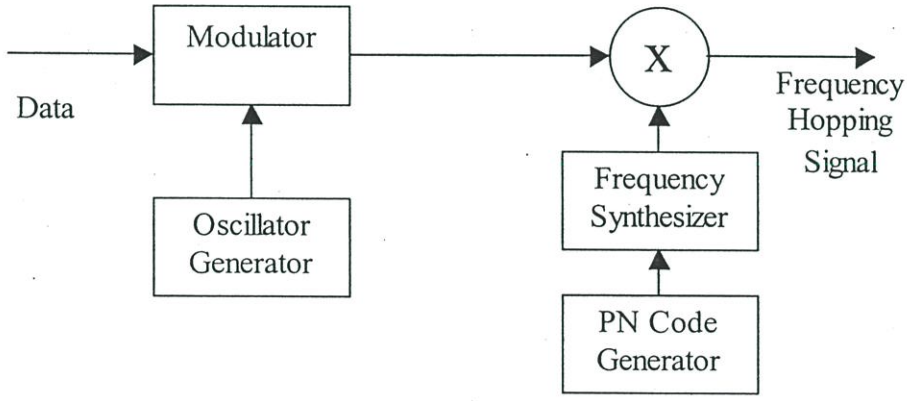
$$PG = \frac{Ts}{Tc} = \frac{Rc}{Rs} = \frac{Wss}{2Rs} \qquad \textbf{(4.6)}$$



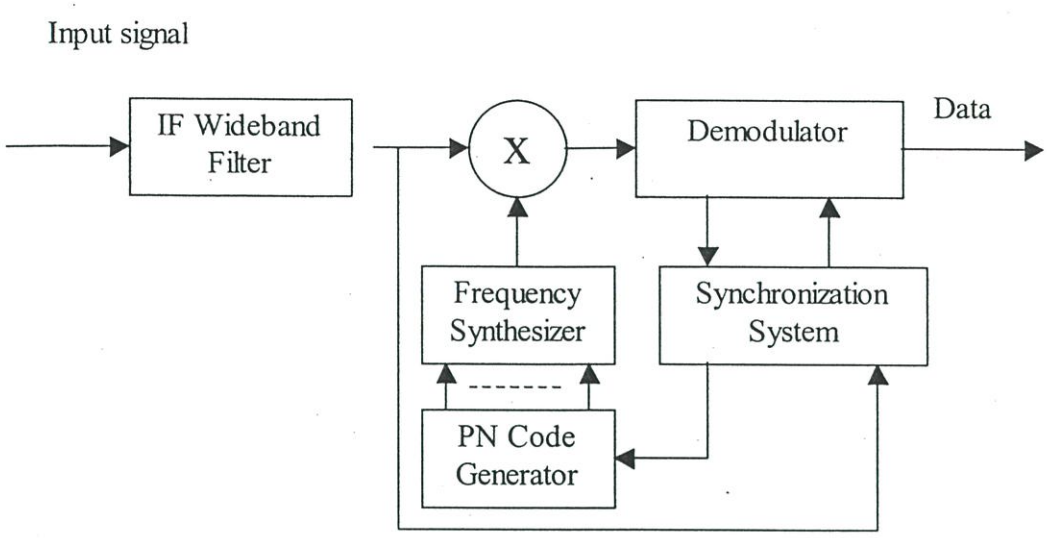
รูปที่ 4.5 แถบความถี่ของสัญญาณข้อมูล

4.2.2 หลักการของฟรีเควนซีฮอปซีดีเอ็มเอ

วิธีการของฟรีเควนซีฮอปปิงนั้นจะใช้การเปลี่ยนของความถี่ในการส่งเป็นครั้งคราวไป สัญญาณของความถี่ในการกระโดด อาจจะพิจารณาเหมือนกับเป็นการแยกสัญญาณที่ถูกมอดูเลตไปแล้วประกอบกับมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเวลา ซึ่งกลุ่มของความถี่พาหะที่กระโดดไปนั้นจะเรียกว่า hopset ซึ่งการกระโดดของความถี่นั้นจะอยู่ภายในย่านความถี่ของช่องสัญญาณ ซึ่งช่องสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณนั้นจะมีการกำหนดย่านของความถี่ประกอบกับความถี่ศูนย์กลางใน hopset นั้นๆ และเมื่อเรากำหนดว่าแบนวิดของช่องสัญญาณที่ใช้ใน hopset นั้นๆ เรียกว่า แบนวิดขณะหนึ่ง (instantaneous bandwidth) และแบนวิดของแถบความถี่การกระโดดนั้นเรียกว่า แบนวิดการกระโดดสูงสุด (total hopping bandwidth) ซึ่งสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปทางช่องสัญญาณนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ไปจนถึงทางด้านภาครับ ถ้าเกิดว่าความถี่ของคลื่นพาหะเพียงความถี่เดียวที่มีการใช้ในแต่ละการ hop นั้นวิธีการมอดูเลตสัญญาณจะเรียกว่า การมอดูเลตช่องสัญญาณเดียว (single channel modulation) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งช่วงเวลาระหว่างการกระโดดนั้นจะเรียกว่า ระยะเวลาการกระโดดและกำหนดเป็นสัญลักษณ์ Th ดังนั้น processing gain ของระบบจะหาได้โดยแบนวิดการกระโดดสูงสุด (Wss) และแบนวิดขณะหนึ่ง (B) คือ Wss/Bซึ่งที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงภาคส่งของระบบฟรีเควรซีฮอปซีดีเอ็มเอ (Frequency Hopping CDMA Transmitter) และรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงภาครับของ ระบบฟรีเควรซี
ฮอปซีดีเอ็มเอ (Frequency Hopping CDMA Receiver)



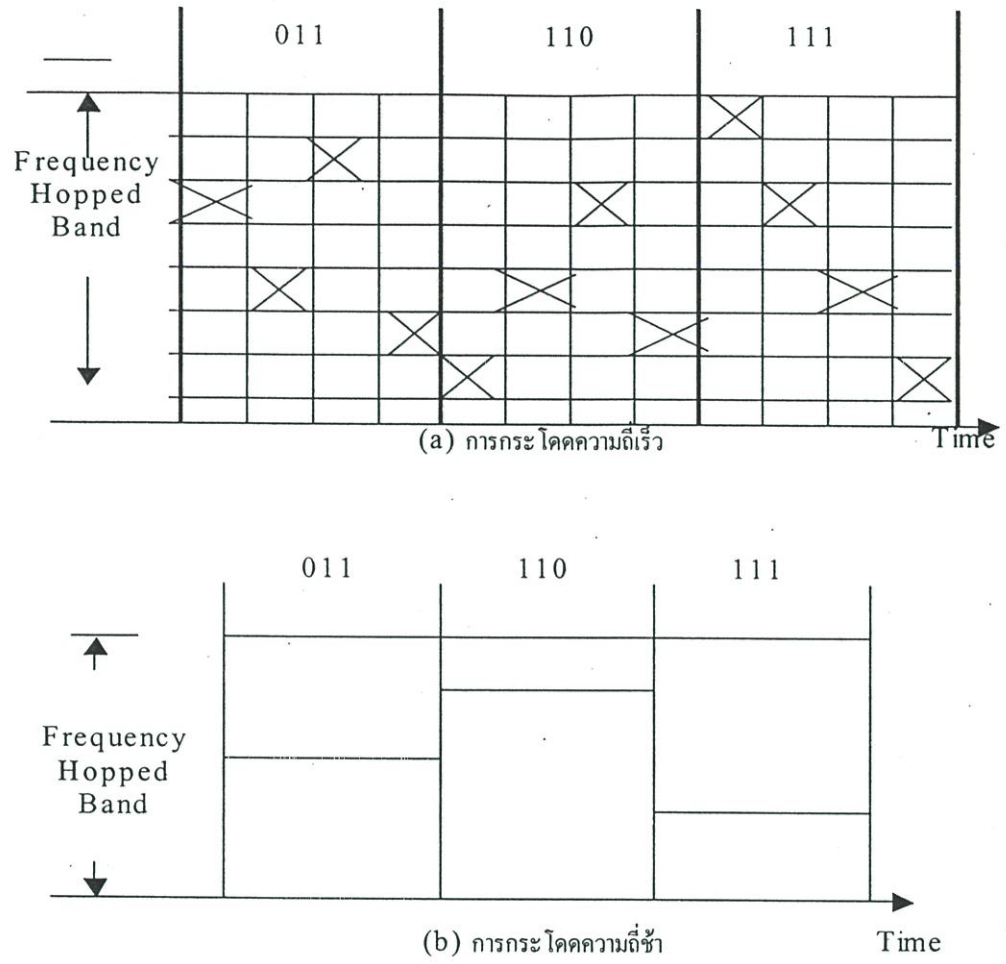
รูปที่ 4.6 ภาคส่งของระบบฟรีเควรซีฮอปซีดีเอ็มเอ



รูปที่ 4.7 ภาครับของระบบฟรีเควรซีฮอปซีดีเอ็มเอ

จากรูปที่ 4.7 ที่ด้านภาครับ เมื่อสัญญาณที่ผ่านการเอาความถี่กระโดดออกไปแล้วนั้นจะเรียกว่า ดีฮอป (dehopped) และสัญญาณที่ผ่านการดีฮอปมาแล้วนั้นสัญญาณนั้นก็จะมีความถี่ที่คงที่และแตกต่างกันออกไป และเมื่อไรก็ตามที่สัญญาณที่ไม่ต้องการนั้นไปอยู่ในช่องสัญญาณที่มีการกระโดดความถี่เดียวกันกับสัญญาณที่ต้องการแล้วก็อาจจะเป็นไปได้ที่จะเกิดการรบกวนกันที่ทางด้านภาครับ

ซึ่งการกระโดดทางความถี่นั้นอาจจะแบ่งได้เป็นการกระโดดความถี่เร็ว (fast frequency hopping) หรือการกระโดดความถี่ช้า (slow frequency hopping) เราสามารถที่จะแบ่งได้ว่าเป็นการกระโดดความถี่ช้าหรือว่าเป็นการกระโดดความถี่เร็วนั้นก็ดูจาก ถ้าเกิดมีการกระโดดความถี่หนึ่งครั้งในหนึ่งสัญลักษณ์ (one symbol) หรือว่ามากกว่าหนึ่งสัญลักษณ์จะเรียกว่าเป็นการกระโดดแบบช้าแต่ในทางตรงกันข้ามถ้าเกิดมีการกระโดดความถี่มากกว่าหนึ่งครั้งในหนึ่งสัญลักษณ์จะเรียกว่าเป็น การกระโดดความถี่เร็วดังแสดงดังรูปที่ 4.8

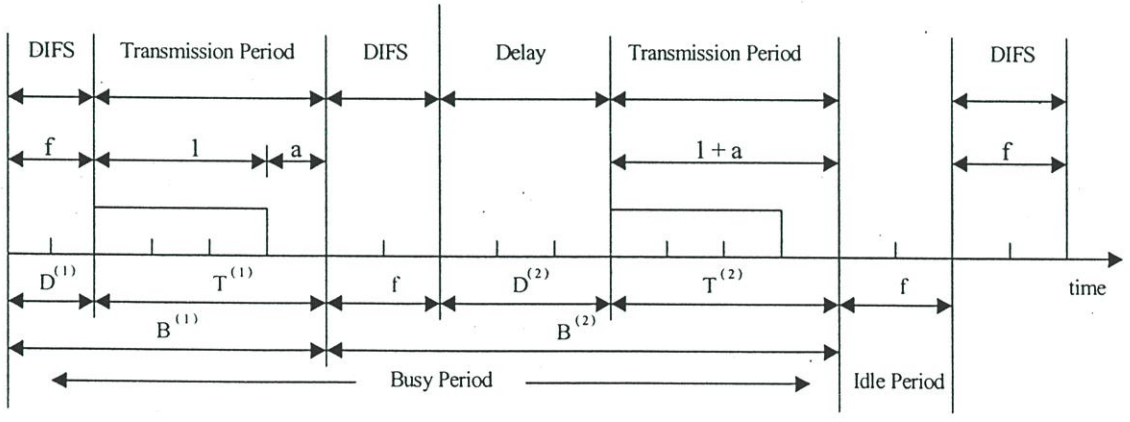


รูปที่ 4.8 รูปแบบการกระโดดความถี่ของฟรีเควนซีฮอปซีดีเอ็มเอ

บทที่ 5
การวิเคราะห์วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มแบบ CSMA/CA ในสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม

5.1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

โครงสร้างของการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้นคือแสดงดังรูปที่ 4.1 จากรูปเราจะเห็นได้ว่าประกอบด้วยเครื่องลูกข่ายหลายๆเครื่อง ที่เปรียบเสมือนกับว่าเป็นเครื่องลูกข่ายภายในโครงข่ายท้องถิ่น นั้นๆ และเครื่องลูกข่ายนั้นๆก็จะสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับจุดเชื่อมต่อ (AP access point) เพื่อที่จะติดต่อสื่อสารกันภายในโครงข่ายท้องถิ่นได้หรือว่าต้องการติดต่อสื่อสารกับโครงข่ายท้องถิ่นอื่นๆได้ และส่วนของช่องสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นก็จะแสดงดังรูปที่ 5.1 จากรูปเราจะมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วงหลักคือ ช่วงเวลาที่ไม่ว่างกับช่วงเวลาที่ว่าง ส่วนช่วงเวลาที่ไม่ว่างนั้นก็จะมีการแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาอีกเช่นกันคือ ช่วงเวลาที่ตรวจเช็คช่องสัญญาณแล้วว่าว่างก็จะส่งแพ็กเกตข้อมูลเลยแทนด้วยสัญญลักษณ์ ($B^{(1)}$) และช่วงเวลาที่ตรวจเช็คช่องสัญญาณแล้วว่าว่างแต่ยังไม่ส่งแพ็กเกตข้อมูลแต่มีการหน่วงเวลาในการส่งออกไปช่วงเวลาหนึ่งและหลังจากนั้นจึ่งมีการส่งแพ็กเกตข้อมูลแทนด้วยสัญญลักษณ์ ($B^{(2)}$)



รูปที่ 5.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณ

5.2 การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์ ความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูลเฉลี่ย (average error probability) เราสามารถหาได้ดังนี้ โดยที่เราเฉลี่ยค่าของ $P_e\ (r)$ ตลอดช่วงของฟังชันก์ความน่าจะเป็นของ r นั้นคือ [3]

$$P_e = \int_0^{\infty} P_e(r) f_g(r) dr \qquad (5.1)$$

โดยที่ P_e คือความ น่าจะเป็นความผิดพลาดของการมอดูเลตแบบ M-ary Frequency Shift Keying (M-FSK) ดังแสดงในสมการที่ 5.2

$$P_e(r) = \sum_{K=1}^{fm-1} \left[\frac{(-1)^{K+1}}{K+1} \right] \left[\begin{matrix} fm-1 \\ K \end{matrix} \right] \exp\left(-\frac{Kr}{K+1} \right) \qquad (5.2)$$

โดยที่

fm คือ จำนวนของความถี่คลื่นพาหะที่เลื่อนไป

$f_g(r)$ คือ ฟังชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของล็อกนอร์มอล (Lognormal)

ดังนั้นความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูล (P_e) ของสัญญาณที่ผ่านการจางหายของช่องสัญญาณแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) จะได้ [10]

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{2} \left(\frac{fm}{fm-1} \right) \sum_{K=1}^{fm-1} \left[\frac{(-1)^{K+1}}{K+1} \right] \left(\begin{matrix} fm-1 \\ K \end{matrix} \right) \sum_{n=1}^{N_P} H_n \times \exp\left(-\frac{K}{K+1} \exp\left(x_n \sqrt{2}\sigma + u \right) \right) \qquad (5.3)$$

โดยที่

$$x_n = \frac{\ln(r) - u}{\sqrt{2}\sigma}$$

H_{xn} คือตัวประกอบของสมการโพลีโนเมียลแบบ Hermite ในorder ที่ N_P

N_p คือ order ของสมการโพลีโนเมียล

ส่วนในการหาความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่ผ่านการจางหายของช่องสัญญาณแบบเรย์ลี่และแบบไรเชียนนั้นให้แทนค่าของ $f_g(r)$ สมการที่ (4.2), (4.1) ลงในสมการที่ (5.1) ตามลำดับ

ดังนั้นความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตผิดพลาด (P_e) ของสัญญาณที่ผ่านการจางหายของช่องสัญญาณแบบเรย์ลี่จะได้

$$P_e = \frac{1}{2}\left(\frac{fm}{fm-1}\right)\sum_{k=1}^{fm-1}(-1)^{k+1}\binom{fm-1}{k}\frac{1}{1+k(1+r)} \qquad \textbf{(5.4)}$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตผิดพลาด (P_e) ของสัญญาณที่ผ่านการจางหายของช่องสัญญาณแบบไรเชียนจะได้

$$P_e = \frac{1}{2}\left(\frac{fm}{fm-1}\right)\sum_{k=1}^{fm-1}(-1)^{k+1}\binom{fm-1}{k}\frac{1+A}{1+A+k(1+A+r)} \exp\left(-\frac{Akr}{1+A+k(1+A+r)}\right) \qquad \textbf{(5.5)}$$

โดยที่

A คือ amplitude ส่วนของสัญญาณ Line-of-sight (LOS)

และสำหรับการพิจารณาความน่าจะเป็นความผิดพลาดของแพ็คเก็ต (packet error) ที่ผ่านการจางหายของช่องสัญญาณแบบล็อกนอร์มอล ,แบบเรย์ลี่, แบบไรเชียนให้นำสมการความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูลเฉลี่ย (P_e) ที่ (5.3),(5.4),(5.5) แทนลงในสมการที่ (5.6) ตามลำดับ [3]

$$P_{packet} = \sum_{K=1}^{n}\binom{n}{K}P_e^{K}\left(1-P_e\right)^{(n-K)} \qquad \textbf{(5.6)}$$

โดยที่

K คือ จำนวนบิตผิดพลาดที่สามารถผิดพลาดได้ในหนึ่งแพ็คเก็ต

n คือ จำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็คเก็ต

P_e คือ ความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูล

ส่วนการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของวิสัยสามารถ (throughput) ของระบบที่จะใช้โพโตคอล (protocol) แบบ CSMA/CA นั้นเราจะพิจารณาช่องสัญญาณตามรูปที่ 5.1 จากรูปเราจะเห็นได้ว่าเรามีการแบ่งช่วงเวลาของช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลาที่ไม่ว่าง (Busy time $B^{(j)}$) และช่วงเวลาที่ว่าง (Idle time I) ซึ่งช่วงเวลาที่ไม่ว่างนั้นก็จะแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อยๆที่ไม่ว่างหลายๆช่วงเวลา ซึ่งช่วงเวลาที่ไม่ว่างย่อยๆ นี้ก็จะประกอบด้วย ช่วงเวลาที่มีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล (transmission time $T^{(j)}$) และช่วงเวลาที่มีการหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล (transmission delay $D^{(j)}$)

ในช่วงเวลาย่อยๆที่ไม่ว่างช่วงเวลาแรก (Busy period $B^{(1)}$) จะประกอบด้วยช่วงเวลาที่มีการหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล ($D^{(1)}$) และช่วงเวลาที่มีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล ($T^{(1)}$) ซึ่งเวลาที่มีการหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล ($D^{(1)}$) นี้ก็คือการหน่วง DISF (DISF delay) ซึ่งเราสมมุติว่ามีจำนวนของสล็อตเท่ากับ l ดังนั้นขนาดของ DISF จึงเท่ากับ $f = l \mathbf{x} a$ โดยที่เราแทนค่าของขนาด DISF ด้วยตัวแปร f ส่วนช่วงเวลาที่มีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล ($T^{(1)}$) เราสมมุติว่ามีค่าเท่ากับ $1+a$ ทั้งช่วงเวลาการส่งข้อมูลที่ประสบความสำเร็จและช่วงเวลาการส่งข้อมูลที่ไม่ประสบความสำเร็จ ส่วนจำนวนของช่วงเวลาที่ไม่ว่างนั้นเราจะแทนด้วยตัวแปร J ดังนั้นถ้าเราต้องการหาจำนวนช่วงเวลาที่ไม่ว่าง (B) ทั้งหมดและจำนวนช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จทั้งหมดได้ (U) ดังนี้ [5]

$$B = \sum_{j=1}^{J} B^{(j)} \quad U = \sum_{j=1}^{J} U^{(j)} \tag{5.7}$$

ในระบบ CSMA/CA นั้นเครื่องลูกข่ายจะส่งแพ็คเก็ตข้อมูลก็ต่อเมื่อมันตรวจสอบช่องสัญญาณแล้วว่าเป็นช่วงเวลาว่างที่เท่ากับหรือว่ามากกว่า DIFS จึงจะส่งแพ็คเก็ตข้อมูล ฉะนั้นถ้าเรากำหนดให้ตัวแปร TP คือผลรวมของช่วงเวลาที่มีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลกับช่วงเวลาการหน่วงการส่งข้อมูล (DISF) ดังนั้น TP จะเท่ากับ $1+a+f$ และถ้าเราสมมุติว่าจำนวนของช่วงเวลาที่ไม่ว่าง (J) มีการกระจายแบบเรขาคณิต (geometrical distribution) ที่มีสมการแสดงดังต่อไปนี้และค่าเฉลี่ยของจำนวนของช่วงเวลาที่ไม่ว่างด้วย ($\overline{J}$)

$$\Pr[J = j] = \left[1 - (1-g)^{(TP/a)M}\right]^{j-1} (1-g)^{(TP/a)M}$$

$$\overline{J} = \frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}} \qquad j = 1,2,... \tag{5.8}$$

ในที่นี้เราสมมุติว่าช่วงเวลาไม่ว่าง $B^{(1)}$ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่าหนึ่งแพ็คเก็ตหรือหนึ่งแพ็คเก็ตปรากฏ ณ ที่ช่วงเวลาท้ายสุดของช่วงเวลาที่ว่าง (Idle period) และช่วงเวลาที่ไม่ว่าง $B^{(2)}$ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่าหนึ่งแพ็คเก็ตหรือหนึ่งแพ็คเก็ตปรากฏ ณ ที่ช่วงเวลาการส่งข้อมูล ($T^{(1)}$) ซึ่งช่วงเวลาที่ไม่ว่าง ($B^{(j)}$) ณ ที่ $j>2$ นั้นจะไม่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาที่ไม่ว่างของ $B^{(1)}$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ ($B^{(j)}$) ณ ที่ $j>2$ ก็คือ $\left(\overline{J}-1\right)E\left[B^{(2)}\right]$ และในทำนองเดียวกันค่าของช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จ ($U^{(j)}$) ณ ที่ $j>2$ ก็คือ $\left(\overline{J}-1\right)E\left[U^{(2)}\right]$ ดังนั้นค่าของ $\overline{B}$ และ $\overline{U}$ สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\overline{B}=E\left[B^{(1)}\right]+\left(\overline{J}-1\right)E\left[B^{(2)}\right]$$

$$\overline{U}=E\left[U^{(1)}\right]+\left(\overline{J}-1\right)E\left[U^{(2)}\right] \qquad \textbf{(5.9)}$$

สำหรับช่วงเวลาที่ว่าง (idle period I) นั้นเราสมมุติว่ามีการกระจายแบบเรขาคณิต (geometrical distribution) ดังนั้นสมการของค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ว่าง $\left(\overline{I}\right)$ และสมการของช่วงเวลาที่ว่าง (I) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\Pr\left[I=ka\right]=\left(1-g\right)^{M(k-1)}\left[1-\left(1-g\right)^{M}\right]$$

$$\overline{I}=\frac{a}{\left[1-\left(1-g\right)^{M}\right]} \qquad k=1,2,... \qquad \textbf{(5.10)}$$

ก่อนที่เราจะหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาหน่วง DIFS $\left(E\left[D^{(j)}\right]\right)$ และค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จ $\left(E\left[U^{(j)}\right]\right)$ เราจะต้องสมมุติว่าโอกาสเป็นไปได้ที่ n แพ็คเก็ตของผู้ใช้ทั้งหมด M คนปรากฏที่สล็อตเวลา X เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$P_n\left(x\right)=\frac{\binom{M}{n}\left[1-\left(1-g\right)^{X/a}\right]^{n}\left(1-g\right)^{X(M-n)/a}}{1-\left(1-g\right)^{XM/a}} \qquad n=1,2,...,M \qquad \textbf{(5.11)}$$

นอกจากนี้เรากำหนดให้ $N_0^{(j)}$ คือ จำนวนของแพ็คเก็ตทั้งหมดที่สะสมอยู่ในช่วงเวลาการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ ดังนั้นเราสมมุติให้การกระจายตัวของ $N_0^{(j)}$ เท่ากับ

$$\Pr\left[N_0^{(j)} = n\right] = P_n(TP) \qquad j = 2,3,... \tag{5.12}$$

และหาค่าการกระจายตัวของช่วงเวลาหน่วง DIFS ($\boldsymbol{D}^{(j)}$) เมื่อ $N_0^{(j)} = n$ ณ ที่ค่าของ *j>2* เราสมมุติให้ตัวแปร k แทนจำนวนสล็อตขอบเขตซึ่งค่า $k = 0,1,2,...$ ฉะนั้น $\boldsymbol{D}^{(j)}$ จะมากกว่าหรือว่าเท่ากับค่า k ในกรณีที่ ถ้าเราให้ n แทนเครื่องลูกข่ายที่พร้อมจะส่งแพ็คเก็ตข้อมูลและไม่ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลและเราให้ $M - n$ แทนเครื่องลูกข่ายที่ไม่มีการสร้างแพ็คเก็ตข้อมูลในช่วงเวลา k สล็อต ฉะนั้นเราจะได้สมการโอกาสเป็นไปได้ของช่วงเวลาหน่วง DIFS ($\boldsymbol{D}^{(j)}$) ณ ที่ค่าของ *j>2* และอยู่ภายใต้เงื่อนไขของ $N_0^{(j)} = n$ คือ

$$\Pr\left[D^{(j)} \geq ka \mid N_0^{(j)} = n\right] = (1-p)^{kn}(1-g)^{k(M-n)} \tag{5.13}$$

ดังนั้นเราสามารถที่จะหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาหน่วง DIFS ($E\left[D^{(j)}\right]$) ณ ที่ค่าของ *j>2* ที่ไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของ $N_0^{(j)} = n$ ได้คือ

$$\begin{aligned} E\left[D^{(j)}\right] &= f\left[1-(1-g)^M\right] && j=1 \\ &= \frac{a}{1-(1-g)^{(TP/a)M}}\Big(\sum_{k=1}^{\infty}\{(1-p)^k - (1-g)^{(TP/a)}[(1-p)^k - (1-g)^k]\}^M \\ &\quad - (1-g)^{(TP/a)M}\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{kM}\Big) && j=2,3,... \end{aligned} \tag{5.14}$$

ถ้าเราต้องการหาสมการผลรวมของค่าช่วงเวลาเฉลี่ยที่ไม่ว่าง ($\overline{B}$) กับช่วงเวลาเฉลี่ยที่ว่าง ($\overline{I}$) เราต้องใช้สมการที่ (5.9), (5.10), (5.14) จะแสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \overline{B} + \overline{I} &= f\left[1-(1-g)^M\right] + 1 + a + \frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}} \\ &\quad \Big((f+1+a)\left[1-(1-g)^{(TP/a)M}\right] + a\sum_{k=1}^{\infty}\{(1-p)^k - (1-g)^{(TP/a)} \\ &\quad [(1-p)^k - (1-g)^k]\}^M - a(1-g)^{(TP/a)M}\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{kM}\Big) \end{aligned}$$

$$+\frac{a}{1-(1-g)^{M}} \tag{5.15}$$

และการหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จ ($E[U^{(j)}]$) เราจะต้องพิจารณาที่เงื่อนไขเมื่อ $N_0^{(j)} = n$ และที่ $D^{(j)} \geq ka$ ดังนั้นเราก็จะได้สมการค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จ ($E[U^{(j)}]$) ก็คือ

$$\begin{aligned}
&E\left[U^{(j)} \mid D^{(j)} \geq ka, N_0^{(j)} = n\right] \\
&= \sum_{i=1}^{n} \binom{n}{i} p^{i}(1-p)^{(n-i)} q(i \mid z) && k = 0 \\
&= \sum_{i=1}^{n} \binom{n}{i} p^{i}(1-p)^{(n-i)} \sum_{l=1}^{n} \binom{M-n}{l} g^{l}(1-g)^{(M-n-l)} q(i \mid z) && k > 0
\end{aligned} \tag{5.16}$$

โดยที่ i คือจำนวนของเครื่องลูกข่ายที่ต้องส่งแพ็คเก็ตข้อมูลใหม่ประกอบกับการส่งโอกาสเป็นไปได้เท่ากับ p และ 1 ก็คือเครื่องลูกข่ายที่สร้างแพ็คเก็ตประกอบโอกาสเป็นไปได้เท่ากับ g ส่วนค่าของ $q(i \mid z)$ คือ โอกาสเป็นไปได้การระงับ (capture probability) ซึ่งโอกาสเป็นไปได้การระงับ มีสมการดังนี้คือ [7]

$$q(i \mid z) = \int_{z_0}^{\infty} P_c(N \mid \bar{\gamma}) f_n(\bar{\gamma}) \tag{5.17}$$

โดยที่ค่า z_0 ก็คือค่า Threshold และ $f_n(\bar{\gamma})$ ก็คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของแพ็คเก็ตสอดแทรก n แพ็คเก็ตซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$f_n(\bar{\gamma}) = \frac{1}{nP_0} \exp\left(\frac{-\bar{\gamma}}{nP_0}\right) \tag{5.18}$$

ส่วน $P_c(N \mid \bar{\gamma})$ เท่ากับ $\int_0^{\infty} f_g(\gamma \mid \bar{\gamma}) P_c(N \mid \gamma) d\gamma$ ซึ่ง $f_g(\gamma \mid \bar{\gamma})$ ก็คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการจางหายแบบไรเชียน (Rician) หรือแบบเรลี่ (Rayleigh) หรือ

แบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 4.1,4.2,4.3 ตามลำดับ ส่วน $P_c\left(N \mid \overline{\gamma}\right)$ คือ โอกาสเป็นไปได้ที่จะไม่เกิดบิตข้อมูลผิดพลาดซึ่งมีสมการดังนี้

$$P_c\left(N|\gamma\right)=\left(1-P_{be}\left(N|\gamma\right)\right)^L \tag{5.19}$$

ซึ่งค่า L แสดงให้เห็นถึงค่าของจำนวนบิตข้อมูลภายในแพ็คเก็ตหนึ่งแพ็คเก็ต ส่วน $P_{be}\left(N \mid \gamma\right)$ ก็คือโอกาสเป็นไปได้ของบิตข้อมูลผิดพลาดซึ่งแสดงดังสมการดังต่อไปนี้

$$P_{be}\left(\gamma\right)=\frac{1}{2}\exp\left(\frac{-\gamma}{2}\right) \tag{5.20}$$

ดังนั้นเราสามารถที่จะหาช่วงเวลาที่ส่งแล้วประสบผลสำเร็จได้ดังนี้โดยที่ไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของ $D^{(j)} \geq ka$ และ $N_0^{(j)} = n$

$$\overline{U} = E\left[U^{(1)}\right]+\left(\overline{J}-1\right)E\left[U^{(2)}\right]$$

$$=\frac{1}{1-\left(1-g\right)^M}\sum_{i=1}^{M}\binom{M-n}{l}\left[1-\left(1-g\right)^i\right]\left(1-g\right)^{(M-i)}q\left(i \mid z\right)+\left(\frac{1}{\left(1-g\right)^{(TP/a)M}}\right)$$

$$\sum_{n=1}^{M}[\{\sum_{i=1}^{n}\binom{n}{i}p^i\left(1-p\right)^{(n-i)}\sum_{l=1}^{n}\binom{M-n}{l}g^l\left(1-g\right)^{(M-n-l)}q\left(i \mid z\right)\}$$

$$\left(\frac{\left(1-p\right)^n\left(1-g\right)^{(M-n)}}{1-\left(1-p\right)^n\left(1-g\right)^{(M-n)}}\right)+\sum_{i=1}^{n}\binom{n}{i}p^i\left(1-p\right)^{(n-i)}q\left(i \mid z\right)]$$

$$\left\{\frac{\binom{M}{n}\left[1-\left(1-g\right)^{(TP/a)}\right]^n\left(1-g\right)^{(TP/a)(M-n)}}{1-\left(1-g\right)^{(TP/a)M}}\right\} \tag{5.21}$$

ฉะนั้นถ้าเราต้องการที่จะหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) เราก็นำเอาสมการที่ 5.21หาร ด้วย สมการที่ 5.15 ก็จะทำให้เราได้ค่าวิสัยสามารถของระบบเราได้ดังแสดงในสมการที่ 5.22

$$S = \frac{\overline{U}}{\overline{B} + \overline{I}} \qquad \textbf{(5.22)}$$

บทที่ 6
ผลการวิเคราะห์เชิงเลข

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของแพ็กเกตผิดพลาดกับ E_b/N_o

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อที่ให้ได้มาซึ่งรูปที่ 6.1- 6.6 นั้น หาได้จากสมการที่ 5.6 โดยที่ค่าของ n นั้นเท่ากับ 5000 บิต และค่าของ K เท่ากับ 1 ส่วนค่าของ P_e นั้นเป็นค่าของโอกาสเป็นไปได้ความผิดพลาดของบิตข้อมูลซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ 5.3, 5.4, 5.5 ซึ่งค่าของ fm นั้นจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ค่าเท่ากับ 2,4,8,16,32,64,128,256 ตามลำดับส่วนค่าของ γ นั้นคือค่าของ Eb/No ส่วนค่าของ σ^2 นั้นมีค่าเท่ากับ 0.77 dB [4]

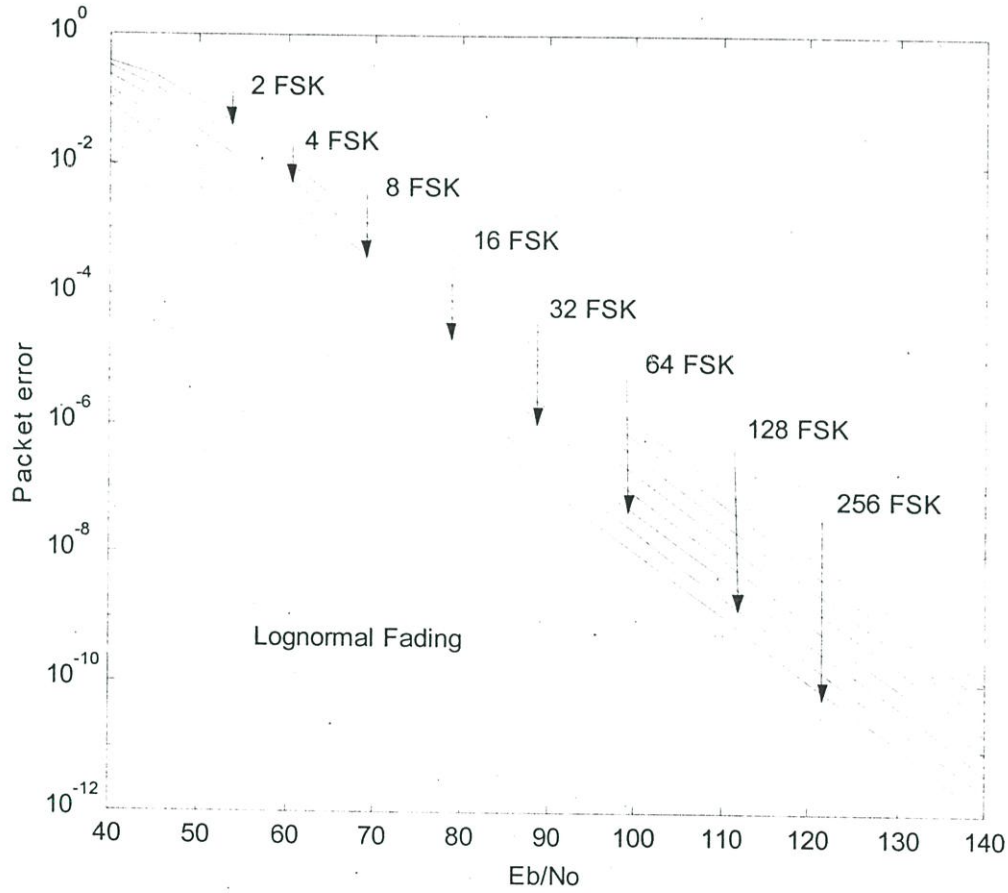
ตารางที่ 6.1 ตารางค่าความแปรปรวนที่ได้จากการวัดในโรงงานอุตสาหกรรม

	μ [dB]				σ^2			
	LOS		OBS		LOS		OBS	
Site	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy	Light
B	-1.5	-2.2	-1.5	-2.2	0.45	0.32	0.77	0.32
C	-1.6	-1.9	-1.5	-1.6	0.37	0.42	0.35	0.33
D	-1.55	-1.4	-1.4	-1.3	0.23	0.50	0.40	0.35
E	-1.80	-	-1.5	-	0.22	-	0.31	-
F	-1.82	-	-1.3	-	0.25	-	0.21	-
ALL	-1.66	-2	-1.5	-1.5	0.32	0.4	0.36	0.5

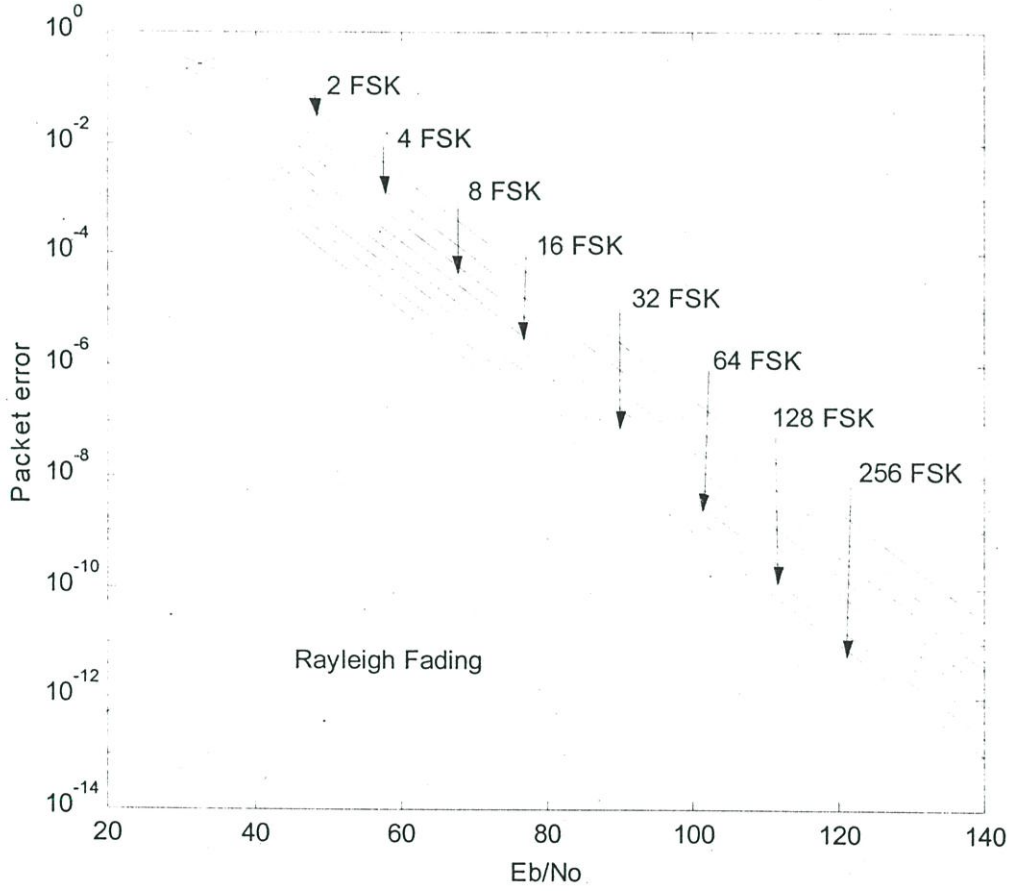
ส่วนสำหรับการวิเคราะห์เพื่อที่ให้ได้มาซึ่งรูปที่ 6.7- 6.12 นั้น หาได้จากสมการที่ 5.22 ซึ่งค่าของ g นั้นเท่ากับ aG ส่วนค่าของ a เท่ากับ 0.05 และค่าของ G มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0-100 และค่าของ M ก็คือค่าของผู้ใช้ที่มีค่าตั้งแต่ 10-100 คนส่วนค่าของ p เท่ากับ 0.03 และค่าของ f เท่ากับ 0.06 ส่วนค่าของ z_o มีค่าเท่ากับ 1 dB

จากรูปผลการทดลองที่ 6.1,6.2 และ 6.3 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของความผิดพลาดของแพ็กเกต (P_{packet}) กับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) โดยที่รูปที่ 6.1 เป็นรูปที่มีจำนวนบิตข้อมูล 5000 บิตในหนึ่งแพ็กเกตและผ่านช่องสัญญาณ

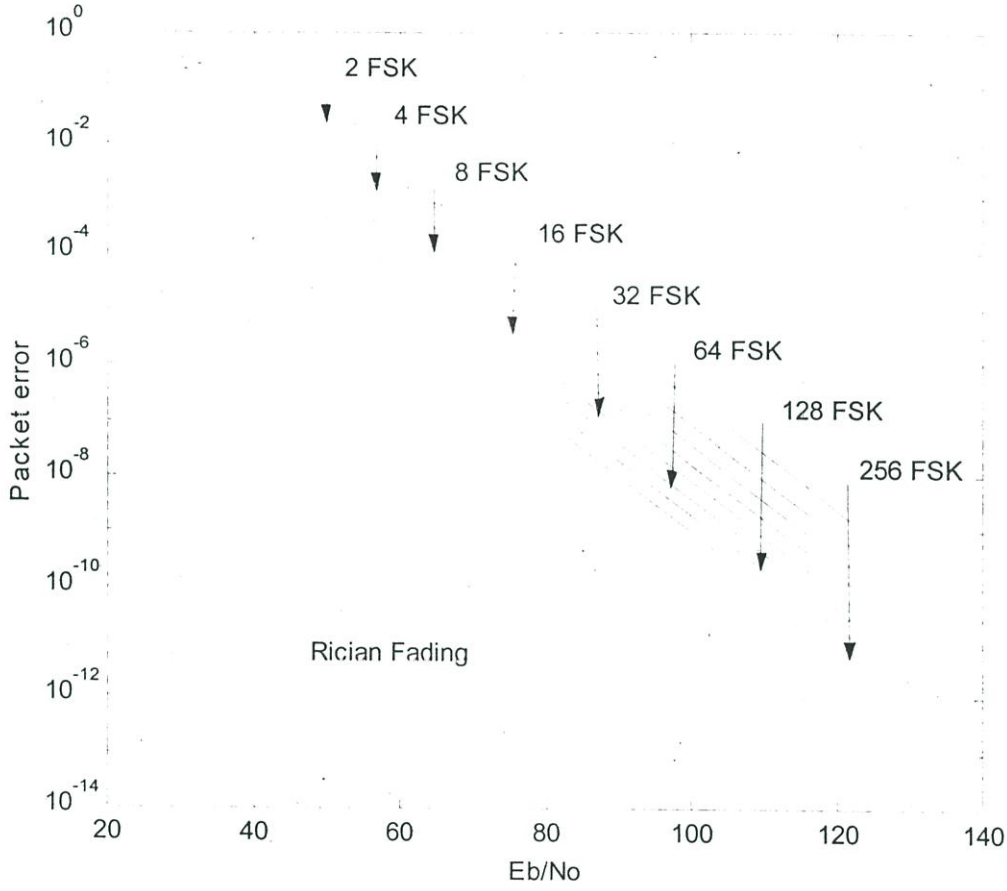
แบบล็อกนอร์มอล ส่วนรูปที่ 6.2 เป็นรูปที่มีจำนวนบิตข้อมูล 5000 บิตในหนึ่งแพ็กเกตและผ่านช่องสัญญาณแบบเรย์ลี่ ส่วนรูปที่ 6.3 เป็นรูปที่มีจำนวนบิตข้อมูล 5000 บิตในหนึ่งแพ็กเกตและผ่านช่องสัญญาณแบบไรเชียน โดยที่รูปทั้งสามรูปนี้ใช้การมอดูเลตแบบ frequency shift keying ในค่าของ fm ที่แตกต่างกันไปตั้งแต่ค่าของ fm = 2,4,8,16,32,64,128 และ 256 และข้อมูลใน หนึ่งแพ็กเกตนั้นสามารถที่จะผิดพลาดได้ 1 บิตโดยที่สามารถที่จะผิดพลาดตรงส่วนใดของแพ็กเกตก็ได้ ซึ่งในที่นี้เราไม่ได้เจาะจงลงไป ซึ่งจากรูปเราจะเห็นได้ว่าถ้าค่าของ fm ยิ่งมีค่ามากเท่าไรก็จะทำให้ความเป็นไปได้ที่จะทำให้อัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตยิ่งมีค่าน้อยลงไปด้วยซึ่งจากรูปถ้าเราต้องการค่าความผิดพลาดของแพ็กเกตที่ 10^{-6} เราจะเห็นได้ว่าถ้าเราใช้ค่าของ fm ที่น้อยก็จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องใช้ค่าของพลังงานบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่มีค่ามากเพื่อที่จะรักษาระดับความเป็นไปได้ค่าผิดพลาดของแพ็กเกตให้อยู่ที่ระดับ 10^{-6} แต่ว่าถ้าเราใช้ค่าของ fm ที่มีค่าที่มากแล้วเราสามารถใช้ค่าของพลังงานบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่มีค่าน้อยได้แต่ก็ยังคงรักษาระดับความเป็นไปได้ค่าผิดพลาดของแพ็กเกตให้อยู่ที่ระดับ 10^{-6} ได้ ซึ่งจำนวนของบิตข้อมูลที่สามารถผิดพลาดได้ในหนึ่งแพ็กเกตนั้นก็มีผลต่อความเป็นไปได้ค่าผิดพลาดของแพ็กเกต ซึ่งถ้าจำนวนของบิตข้อมูลที่สามารถผิดพลาดในหนึ่งแพ็กเกตนั้นมีจำนวนบิตที่สามารถผิดพลาดได้มากก็จะทำให้ค่าของความเป็นไปได้ค่าผิดพลาดของแพ็กเกตลดลงด้วยแต่ว่าจำนวนของบิตข้อมูลที่สามารถผิดพลาดในหนึ่งแพ็กเกตก็มีขีดจำกัดอยู่ในระดับหนึ่ง และจากรูปที่ 6.4 ,6.5 และ 6.6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกต ซึ่งจากรูปเราจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มจำนวนของบิตข้อมูลในแพ็กเกต มากขึ้นก็จะทำให้ความผิดพลาดของแพ็กเกตเพิ่มมากขึ้นด้วยซึ่งจากรูปเราสามารถแก้ปัญหานี้ด้วยการใช้ค่า fm ที่มากพอเพื่อให้ได้ระดับอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตที่ต้องการหรือเราอาจใช้วิธีการเพิ่มพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนให้มากขึ้นก็ได้



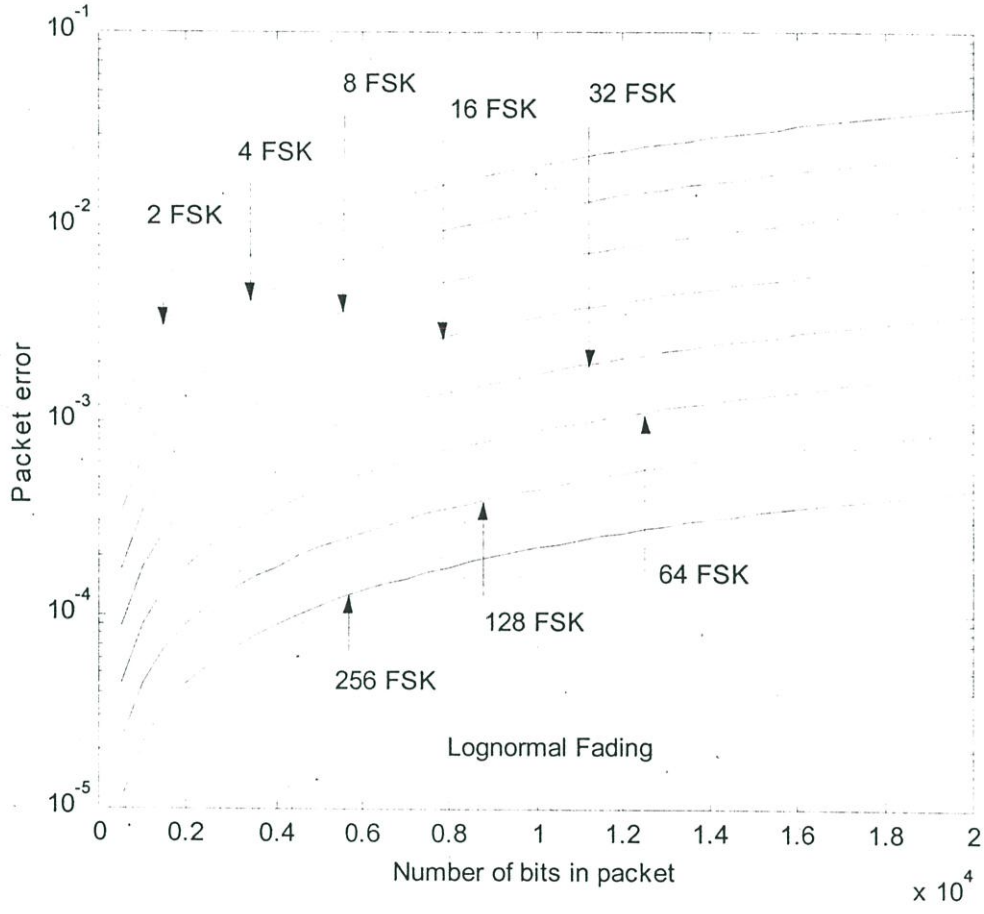
รูปที่6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล 5000/แพ็กเกต บนช่องสัญญาณล็อกนอร์มอล(สมการที่ 5.6)



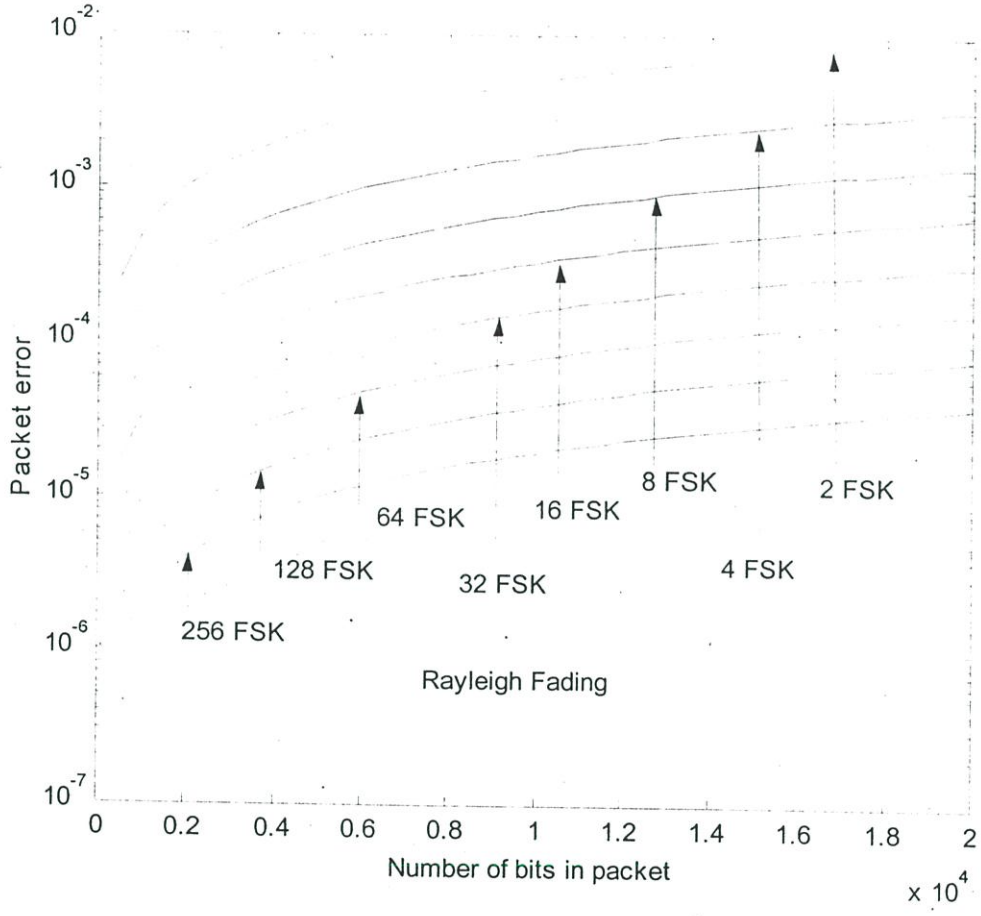
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล 5000/ แพ็กเกต บนช่องสัญญาณเรลี่ (สมการที่ 5.6)



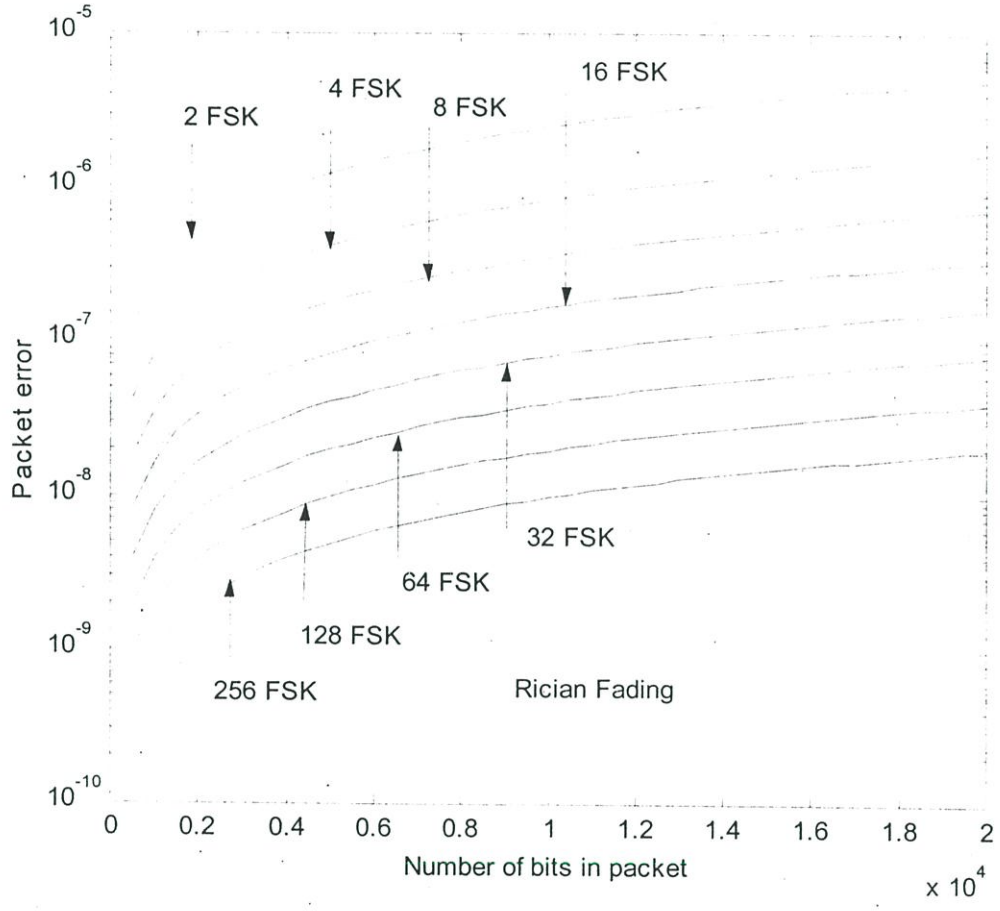
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับพลังงานของบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวนที่จำนวนบิตข้อมูล 5000/ แพ็กเกต บนช่องสัญญาณไรเชียน (สมการที่ 5.6)



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณล็อกนอร์มอล (สมการที่ 5.6)



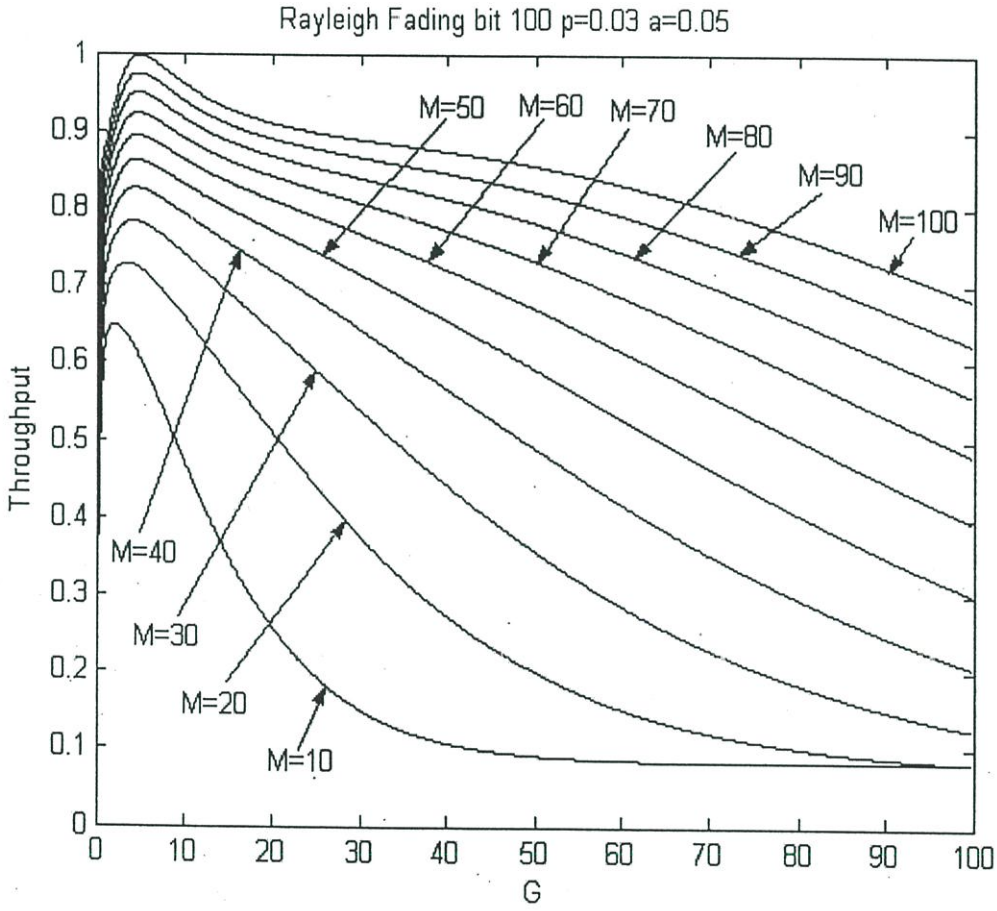
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณเรลี่ (สมการที่ 5.6)



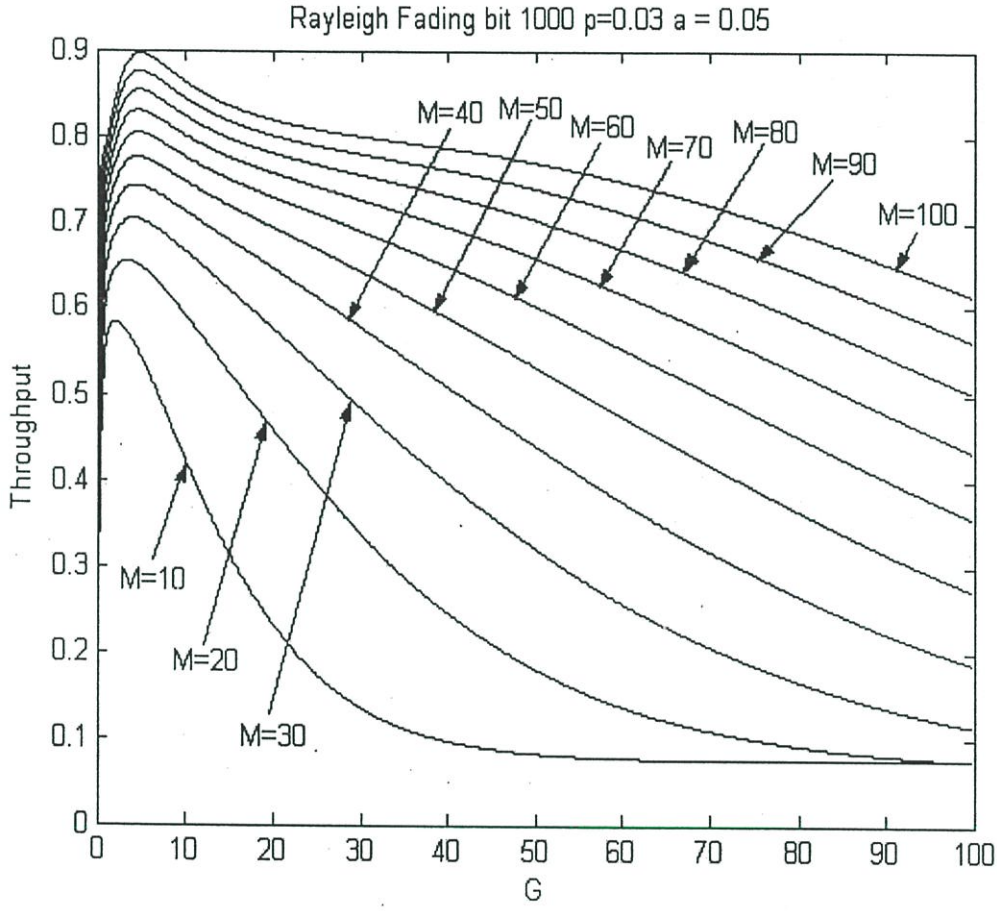
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดของแพ็กเกตกับจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่ค่า E_b/N_o ที่ 60 dB บนช่องสัญญาณไรเชียน (สมการที่ 5.6)

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของวิสัยสามารถ (Throughput) กับโหลด (offer load)

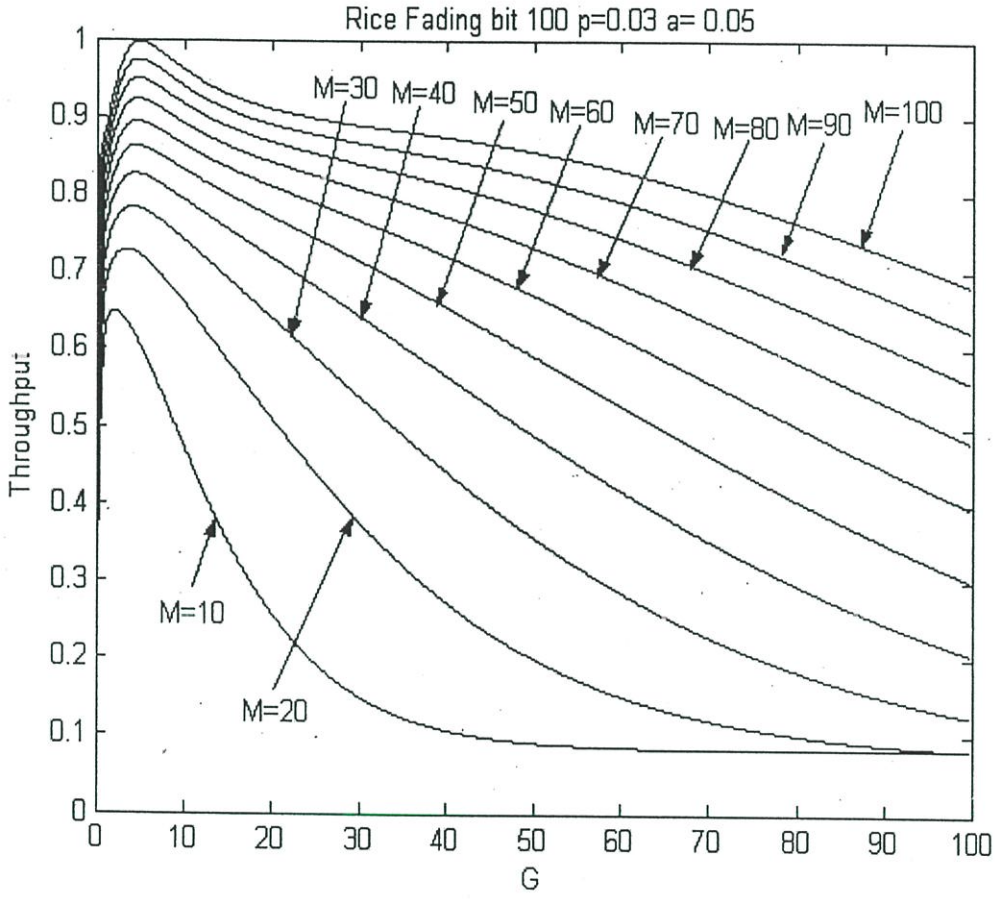
จากรูปผลการทดลองที่ 6.7 ถึง 6.12 เป็นรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) เทียบกับโหลดของระเบียบวิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA (CSMA/CA Protocol) ซึ่งมีการนำเอาโอกาสเป็นไปได้ของปรากฏการระงับ (Capture Probability) เข้ามาวิเคราะห์ในระบบด้วย ซึ่งใช้การมอดูเลตแบบการมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่แบบไบนารี (BFSK) โดยผ่านสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีช่องสัญญาณการจางหายแบบเรลี่ (Rayleigh Fading Channel) ช่องสัญญาณการจางหายแบบไรเชียน (Rice Fading Channel) และช่องสัญญาณการจางหายแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal Fading Channel) ตามลำดับซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงผู้ใช้ตั้งแต่ 10 คนไปจนถึง 100 คน (M = 10 ถึง M = 100) และมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนบิตข้อมูลในแพ็กเกต คือจำนวนบิตข้อมูล 100 บิตต่อหนึ่งแพ็กเกต กับจำนวนบิตข้อมูล 1000 บิตต่อหนึ่งแพ็กเกตซึ่งจากรูปทั้งหมดสามาถวิเคราะห์ได้ว่าถ้าเกิดว่าจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตมีจำนวนที่มากแล้วนั้นก็จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าที่น้อยกว่าจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่มีจำนวนที่น้อยกว่า ในกรณีที่ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าที่สูงก็จะแสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบดีกว่าค่าวิสัยสามารถที่มีค่าที่ต่ำกว่า และเราจะเห็นได้จากรูปที่ 6.7 ถึง 6.10 ว่าถ้าในกรณีที่แพ็กเกตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบเรลี่และแบบไรเชียนนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้งสองช่องสัญญาณทั้งรูปที่มีจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตเท่ากับ 100 บิต และในรูปที่มีจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตเท่ากับ 1000 บิตแต่จะแตกต่างกับในกรณีที่แพ็กเกตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบล็อกนอร์มอลซึ่งค่าวิสัยสามารถระบบจะมีค่าที่น้อยกว่าในกรณีที่แพ็กเกตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบไรเชียนและแบบเรลี่ ดังนั้นเราจะวิเคราะห์ได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบเรลี่และแบบไรเชียนนั้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบล็อกนอร์มอล และจากรูปทุกรูปแสดงให้เห็นได้ว่าถ้าจำนวนของผู้ใช้มีจำนวนที่มากขึ้นก็จะให้ประสิทธิภาพของระบบดีกว่าในกรณีที่จำนวนของผู้ใช้ที่มีจำนวนที่น้อยกว่า ซึ่งถ้าหากว่าทราฟฟิกโหลดมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นไปช่วงระยะหนึ่งก็จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าที่ลดต่ำลงด้วย



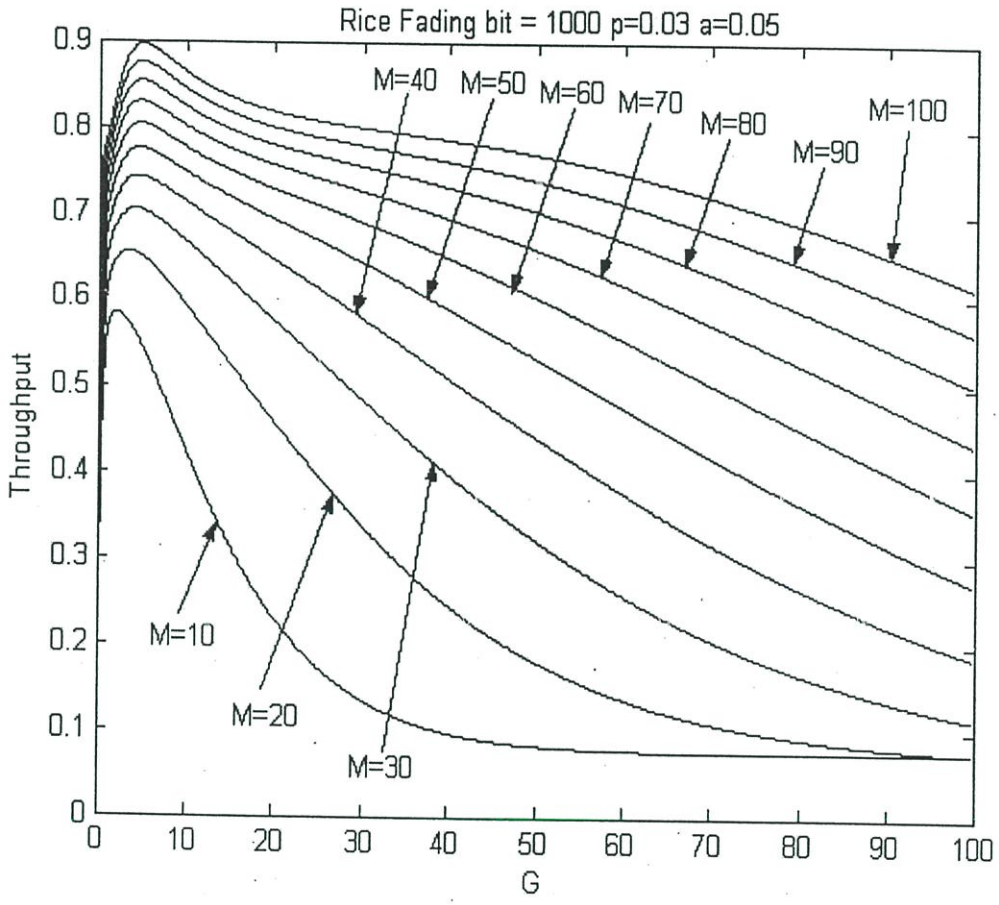
รูปที่ 6.7 รูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบเรย์ลี่ทีที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)



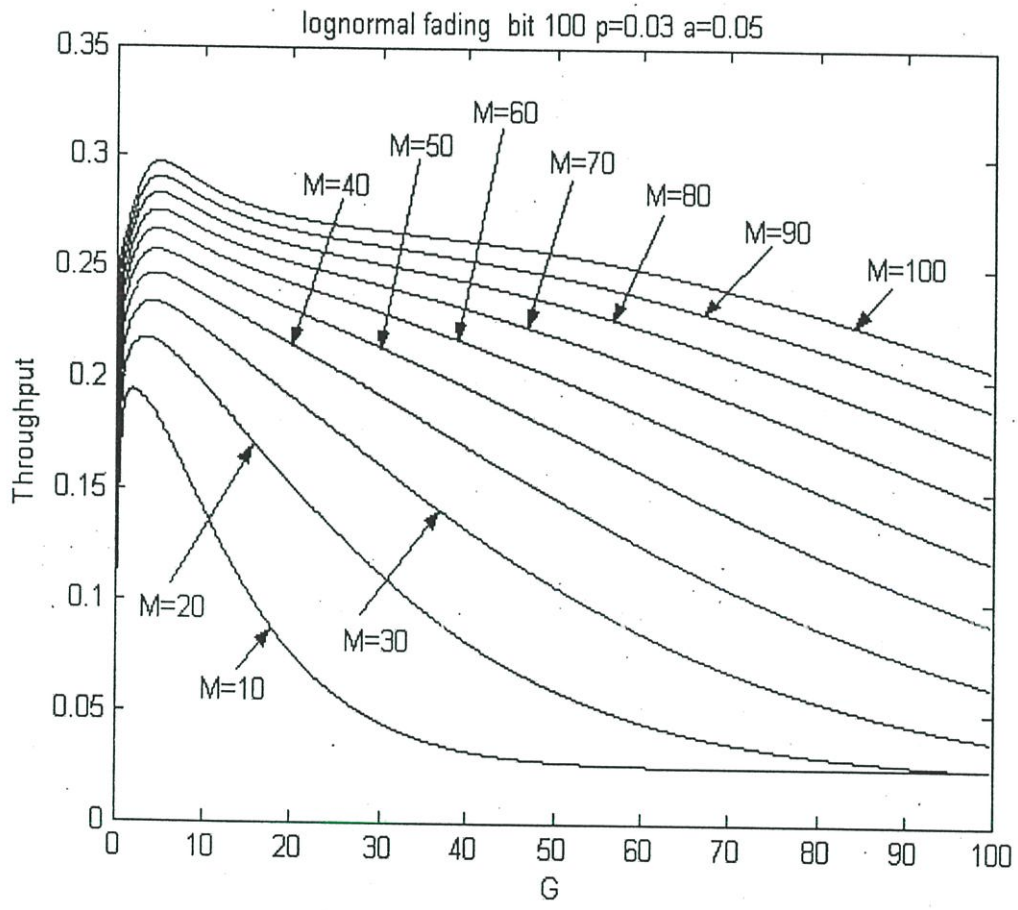
รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบเรย์ลี่ ที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)



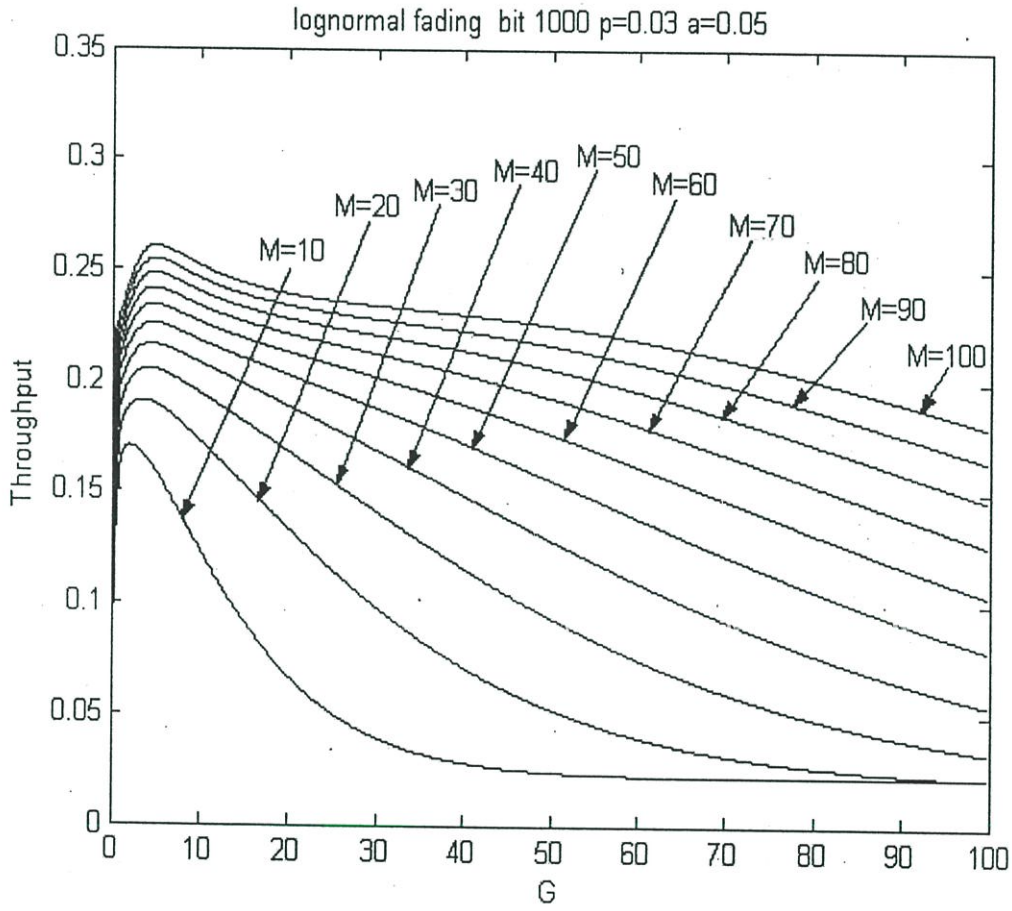
รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบไรเซียนที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบไรเซียน ที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบล็อกที่จำนวนบิตข้อมูล 100 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดกับทรูพุทแบบล็อกนอล มีอลที่จำนวนบิตข้อมูล 1000 ต่อ แพ็กเกต (สมการที่ 5.22)

บทที่ 7
สรุปผลการวิเคราะห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ค่าความผิดพลาดของแพ็กเกตในระบบและค่าวิสัยสามารถของระบบการสื่อสารโครงข่ายแบบไร้สายที่ใช้วิธีการเข้าถึงหลายทางแบบ Frequency Hopping Code Division Multiple Access (FH-CDMA) และใช้วิธีการมอดูเลตแบบ Noncohenent M-ary Frequency Shift Keying (M-FSK) ผ่านสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมบนการจางหายของช่องสัญญาณแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal Fading Channel) แบบไรเชียน (Rice Fading Channel) และแบบเรลี่ (Rayleigh Fading Channel) โดยที่อ้างอิงตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานของการสื่อสารของระบบโครงข่ายแบบไร้สายที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดของแพ็กเกตจะเห็นได้จากรูปที่ 6.1 ถึง 6.6 ซึ่งจากผลการทดลองเราจะเห็นได้ว่าถ้าจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่มีจำนวนมากนั้นก็จะทำให้ความเป็นไปได้ของค่าความผิดพลาดของแพ็กเกตมีค่าที่มากเมื่อเรามีการเปรียบเทียบกับจำนวนของบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่น้อยกว่า และถ้าจำนวนของความถี่ที่เลื่อนไป (M) มีจำนวนที่มากก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ค่าความผิดพลาดของแพ็กเกตมีค่าที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของความถี่ที่เลื่อนไปมีจำนวนที่น้อยกว่า ซึ่งจากผลการทดลองส่วนที่สองนี้เราสามารถที่จะแก้ไขในเรื่องของจำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่มีจำนวนมากได้โดยเราจะใช้จำนวนของความถี่ที่เลื่อนไป (M) มีจำนวนที่มากกับในกรณีที่จำนวนบิตข้อมูลในหนึ่งแพ็กเกตที่มีจำนวนมากก็สามารถที่จะให้ค่าของความเป็นไปได้ความผิดพลาดของแพ็กเกตน้อยลงได้ และในผลการทดลองนี้เราพิจารณาในกรณีที่จำนวนบิตข้อมูลที่สามารถผิดพลาดในหนึ่งแพ็กเกตนั้นเท่ากับ 1 บิต ซึ่งถ้าจำนวนบิตข้อมูลที่สามารถผิดพลาดในหนึ่งแพ็กเกตมีจำนวนที่มากก็สามารถที่จะทำให้ค่าของความเป็นไปได้ความผิดพลาดของแพ็กเกตน้อยลงได้

ส่วนรูปที่ 6.7 ถึง 6.12 นั้นก็เป็นการวิเคราะห์ค่าของวิสัยสามารถของระบบโครงข่ายแบบไร้สายที่ใช้วิธีการแบบ CSMA/CA ณ ที่ชั้น MAC (MAC Layer) และใช้การมอดูเลตแบบ BFSK ผ่านสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมบนการจางหายของช่องสัญญาณแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal Fading Channel) แบบไรเชียน (Rice Fading Channel) และแบบเรลี่ (Rayleigh Fading Channel) ซึ่งจากผลการทดลองเราจะเห็นได้ว่าแพ็กเกตข้อมูลที่ผ่านช่องสัญญาณการจางแบบเรลี่กับผ่านช่องสัญญาณการจางแบบไรเชียนนั้นมีผลการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนั้นซึ่งถ้าหากเป็นแพ็กเกตข้อมูลที่ผ่านช่องสัญญาณการ

จางหายแบบล็อกนอร์มอลแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าวิสัยสามารถที่ต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของแพ็กเกตข้อมูลที่ผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบไรเชียนกับแบบเรลี่ ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ว่าระบบที่มีการส่งแพ็กเกตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบไรเชียนกับช่องสัญญาณการจางหายแบบเรลี่ นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบที่มีการส่งแพ็กเกตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณการจางหายแบบล็อกนอร์มอลและจำนวนของบิตข้อมูลในแพ็กเกตก็จะมีผลต่อค่าวิสัยสามารถของระบบด้วย ซึ่งถ้าจำนวนของบิตข้อมูลในแพ็กเกตมีจำนวนที่มากก็จะทำให้โอกาสเป็นไปที่ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าลดต่ำลง และในทำนองเดียวกันถ้าปริมาณของโหลดในระบบมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นในระดับหนึ่งก็จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าที่ลดลงไปด้วย ซึ่ ง ถ้าเรามองในด้านของผู้ใช้แล้ว เราจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าถ้าจำนวนของผู้ใช้มีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นในระดับหนึ่ง ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีกว่าในกรณีที่จำนวนของผู้ใช้ในระบบมีจำนวนที่น้อยกว่า

บรรณานุกรม

[1] J.Geier, "Wireless Lans Implementing Interoperable Networks", USA:Macmillan Technical Publishing

[2] Theodore S.Rappaport, "Wireless Communications Principle and Pratice", Prentice Hall PTR

[3] J.G Proakis, "Digital Communication" Singapore:McGraw-Hill 1995

[4] P.Yegani, C.D. McGillem , " A Statistical Model for the Factory Radio Channel", IEEE Transactions On Communications Vol. 39,No. 10, pp.1445-1454,October 1991

[5] Jae Hyun Kim,Jong Kyu Lee ," Capture Effect of Wireless CSMA/CA Protocols in Rayleigh and Shadow Fading Channels", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 48,No. 4,pp.1277-1286,July 1999

[6] Julie Y.H. Zhao,Okechukwu C. Ugweje, "Analysis of Capture Probability Performance Technique for Wireless LAN", Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002.IEEE 55th , Volume: 3, pp.1190-1194,2002

[7] Jens C. Arnbak, Wim van Blitterswijk, " Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Faidng Channels", IEEE Journal on selected areas in Communications, Vol. SAC-5, No.2, pp.261-269,February 1987

[8] Ker Zhang, Kaveh Pahlavan, "Relation Between Transmission and Throughput of Slotted ALOHA Local Packet Radio Networks, Vol.40, No.3, pp.577-583, March 1992

[9] Joseph L.Hammond, Peter J.P. O'Reilly, "Performance Analysis of Local Computer Networks" Addison-Wesley Publish Company

[10] M.K.Simon, M-S.Alouini, "Digital Communication over Fading Channels", New York:J.Wiley, c2000

ภาคผนวก

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล, สุวิพล สิทธิชีวภาค และ เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ "การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารฟรีเควนซีฮอปปิงซีดีเอ็มเอสำหรับการระบบเครือข่ายแบบไร้สายในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม" วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 4 ประจำเดือน ธันวาคม 2544
2. ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก,ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล,สุวิพล สิทธิชีวภาคและ เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ CSMA/CA สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม" การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 23-25 พฤศจิกายน 2545

ประวัติผู้เขียน

นาย ชัยเลิศ เอาทารย์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2518 ที่ ตำบล มหาชัย อำเภอ เมือง จังหวัด สมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541