

การวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายที่มีทราฟฟิก  
แบบคล้ายคลึงตัวเองโดยจำลองแบบของระบบอินฟราเรด

PERFORMANCE ANALYSIS OF CSMA/CA WIRELESS LAN VIA  
SELF-SIMILAR TRAFFIC BY SIMULATION METHOD OF  
INFRARED SYSTEM



ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก  
KRAIRONG KRONKREWSOMNUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1157-4

‘บการใชงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไป  
หัดดัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุ

PERFORMANCE ANALYSIS OF CSMA/CA WIRELESS LAN VIA  
SELF-SIMILAR TRAFFIC BY SIMULATION METHOD OF  
INFRARED SYSTEM



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

2004

ISBN 974-15-1157-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สาย ที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยจำลองแบบของระบบ อินฟราเรด
นักศึกษา	นาย ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก
รหัสนักศึกษา	45061076
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุวิพล สิริทธิชีวกภาค

### บทคัดย่อ

หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลการจำลองระบบของสมรรถนะของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายระบบอินฟราเรด มีรูปแบบการทำงานจะใช้แพ็กเก็ต RTS/CTS ในการตรวจสอบช่องสัญญาณว่างที่ภาครับก่อนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล สถานีภาคส่งจะส่งแพ็กเก็ต RTS และคอยแพ็กเก็ต CTS จากสถานีภาครับ จากนั้นจึงทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านระบบอินฟราเรด ข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองนี้ใช้ทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตนเอง (Self-Similar Traffic) ทราฟฟิกนี้มีการกระจายแบบพาราเรโต้ (Pareto Distribution) ซึ่งมีคุณสมบัติขึ้นกับช่วงเวลาที่ยาวๆ (Long-Range Dependent) การจำลองนี้ทำการวิเคราะห์หาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ค่าความหน่วง (Delay) และ ค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization) ผลจากการจำลองพบว่า เมื่อจำนวนสถานีและขนาดแพ็กเก็ตของระบบมีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อสมรรถนะของโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าวิสัยสามารถและค่าการใช้ประโยชน์ของระบบมากขึ้นเมื่ออัตราการมาถึงของข้อมูลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Performance Analysis of CSMA/CA Wireless LAN via Self-Similar traffic by Simulation Method of Infrared System
Student	Mr. Krairong Kronkrewsomnuk
Student ID	45061076
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Suvepon Sittichivapak

### ABSTRACT

This thesis presents the simulation system performance of CSMA/CA wireless LAN for infrared system. This system use RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) packet, checks slot before sending data packet. The transmitter sends RTS packet and waits CTS packet from a receiver. Then, a transmitter sends data packet by infrared system. The input-data model is self-similar traffic by using Pareto distribution with long-range dependent. This thesis analyzes the throughput, delay and utilization. The simulation results, show the number of packet length and stations are changed under self-similar traffic, then the system performance are varied significantly by throughput and utilization of system are increase when arrival rate of data increase

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยคำแนะนำจากเพื่อน ๆ และ คำปรึกษาจากอาจารย์เกี่ยวกับการทำงานวิจัยจนมาเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กระผมกราบ ขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร. สุวิพล สิริชิวภาค และผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติเกรียง วงศ์โรจน์ภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ควบคุมงานวิจัยของกระผมที่กรุณาให้แนวความคิดและให้ คำปรึกษาและการแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ งานวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยของกระผม

ขอขอบคุณบิดา-มารดา ของกระผมที่ได้ให้การช่วยเหลือค่าใช้จ่ายและกำลังใจในการทำงานวิจัย ในระหว่างการศึกษาโดยตลอด กระผมขอขอบคุณ คุณกฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี ที่ได้ช่วยแนะนำ แนวทางการหาข้อมูลในงานวิจัยจนสำเร็จ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และรุ่นน้องทุก ๆ คนในภาคที่ให้การช่วยเหลือแนะนำและวิจารณ์ผลงานของ กระผมจนได้รูปเล่มที่สมบูรณ์

ประโยชน์และคุณค่าที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น กระผมขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุก ท่านที่กล่าวมาตั้งแต่ตอนต้นและหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ทำงานวิจัยในด้าน นี้ต่อไป

ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.6 โครงร่างวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้อินฟราเรด.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.1.1 การเปรียบเทียบระหว่างอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ.....	3
2.2 การออกแบบการสื่อสารอินฟราเรด.....	6
2.3 ระบบการสื่อสารอินฟราเรดในปัจจุบัน.....	6
2.4 โพรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารทางอินฟราเรด.....	12
2.4.1 โพรโตคอล IrDA SIR (IrDA SIR Protocol).....	12
2.4.1.1 ชั้นฟิสิกส์ของ IrDA .....	13
2.4.1.2 ชั้น IrLAP (IrLAP Layer).....	14
2.4.2 โพรโตคอล Air (Advanced Infrared Protocol).....	15
2.4.2.1 ชั้นทางฟิสิกส์ของ Air.....	15
2.4.2.2 ชั้น MAC ของ Air .....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเอง.....	17
3.1 กล่าวนำ.....	17
3.2 ความคล้ายคลึงตัวเอง (Self-Similarity).....	17
3.3 Self – Similar Data Traffic.....	20
3.4 การกำหนดความต่อเนื่องทางเวลา(Continuous – Time Definition).....	21
3.5 Long-range dependence.....	22
3.6 การกระจายแบบยาวๆ (Heavy-Tailed Distributions).....	23
3.7 การสเกลเวลา.....	25
3.8 การกำเนิดช่วงเวลาการเข้ามาถึงของเซลล์.....	26
บทที่ 4 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์ระบบ.....	27
4.1 กล่าวนำ.....	27
4.2 โมเดลการทำงานของ Air-MAC.....	28
4.3 การวิเคราะห์โมเดล (Analytical Model).....	31
4.4 โมเดลการคำนวณช่องที่ใช้งาน (Channel Utilization).....	32
4.5 การจำลองระบบเมื่อมีการส่งข้อมูลในรูปแบบต่างๆ.....	33
4.6 ทราฟฟิกแบบปัวซอง.....	38
4.6.1 การวิเคราะห์โมเดล(Analytical Model).....	38
4.6.2 ความน่าจะเป็นในการส่ง RTS.....	38
4.6.3 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ.....	41
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์และจำลองแบบ.....	43
5.1 กล่าวนำ.....	43
5.2 ผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีและกำหนดความยาวแพ็กเก็ตคงที่.....	44
5.3 ผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตและกำหนดจำนวนสถานีแพ็กเก็ตคงที่.....	47
5.4 ผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการ รับ-ส่ง ข้อมูล.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 ภาพผลการทดลองจากการจำลองระบบโดยใช้กราฟฟิกแบบป๊วซองและกราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง.....	53
บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	59
ประวัติผู้เขียน.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เปรียบเทียบระหว่างระบบคลื่นวิทยุและระบบ IM/DD ในอินฟราเรดสำหรับการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคาร.....	4
2.2 ตารางการเปรียบเทียบการใช้หลอด LED's และหลอด LD's ในระบบอินฟราเรด.....	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพแสดงตัวอย่างการสื่อสารทางอินฟราเรดในรูปแบบการส่งและรับชนิด Line-of-Sigth และ Non-Line-of-Sigth .....	5
2.2	แสดงชนิดของการสื่อสารระบบอินฟราเรด.....	9
2.3	แบบจำลองโปรโตคอล IrDA.....	13
2.4	โครงสร้างเฟรม IrLAP.....	14
2.5	ภาพโครงสร้างโปรโตคอล <i>Air</i> .....	15
2.6	เฟรม <i>Air</i> .....	16
3.1	ภาพลำดับเวลาของกราฟฟิกลายคลึงตัวเอง.....	18
3.2	แสดงกลุ่มของเส้นเวลาที่ถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ.....	19
3.3	ภาพเปรียบเทียบผลข้อมูลที่ผ่านมาในระบบเมื่อทำการขยายสเกลระหว่างกราฟฟิกข้อมูลที่ เป็น Self-Similar และกราฟฟิกข้อมูลที่เป็น Non-Self-Similar.....	21
3.4	ภาพเปรียบเทียบกราฟฟิกของอินเทอร์เน็ตที่เกิดขึ้นจริงและกราฟฟิกที่สังเคราะห์ขึ้น	25
4.1	โครงสร้างเฟรม <i>Air</i> .....	27
4.2	รูปแบบโครงข่าย <i>Air</i> แบบ broadcast.....	28
4.3	ภาพการจองช่องสัญญาณและการส่งข้อมูล.....	28
4.4	โหมดการส่งข้อมูลของการเข้าช่องสัญญาณกลางของ <i>Air</i> ( <i>Air</i> MAC).....	29
4.5	ภาพโพลวชาร์ตแสดงการจำลองแบบ CSMA/CA.....	31
4.6	โพลวชาร์ตแสดงการจำลองแบบ CSMA/CA เมื่อมีรูปแบบการรับ – ส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ตามรูปแบบ 4.4a,4.4b และ 4.4c.....	34
4.7	แบบจำลองรูปแบบการ รับ – ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4a.....	35
4.8	โพลวชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลเมื่อมีการตรวจสอบการส่งข้อมูลที่ส่งด้วยแพ็กเก็ต ACK ดั้งชั้นตอนของรูปที่ 4.4a.....	35
4.9	แบบจำลองรูปแบบการ รับ – ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4b.....	36
4.10	โพลวชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลทั้งหมดโดยมีการตรวจสอบข้อมูลเพียงครั้งเดียวด้วยการรอแพ็กเก็ต EOBC ในชั้นตอนสุดท้ายดังรูปที่ 4.4b.....	36
4.11	แบบจำลองรูปแบบการ รับ – ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4c.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ไฟล์ชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลทั้งหมดโดยมีการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลด้วยการส่งแพ็กเกต SPOLL ดังแสดงในรูปที่ 4.4c .....	37
5.1	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 500 บิต และเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี.....	44
5.2	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 500 บิต และ เปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี.....	45
5.3	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 500 บิต และเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี.....	46
5.4	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี โดยเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเกตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต.....	47
5.5	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี โดยเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเกตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต.....	48
5.6	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี โดยเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเกตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต.....	49
5.7	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อกำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี และความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 1500 บิต.....	50
5.8	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อกำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 1500 บิต.....	51
5.9	ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อกำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 1500 บิต.....	52
5.10	จำลองระบบที่มีทราฟฟิกแบบปัวซองโดยกำหนดความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 1000 บิต	53
5.11	จำลองระบบที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยกำหนดความยาวแพ็กเกตคงที่ที่ 1000 บิต.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายนั้นได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการการเข้าถึงข้อมูลที่รวดเร็วเที่ยงตรงและแม่นยำ การพัฒนารูปแบบการสื่อสารแบบไร้สายจึงมีอย่างต่อเนื่องเช่น โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูล เมื่อพิจารณาการ รับ-ส่ง ข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์พบว่าโครงข่ายท้องถิ่น (Internet) กำลังได้รับความนิยม และในการสื่อสารแบบไร้สายนิยมใช้แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นพาห์ ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งระบบนี้มีราคาถูก การออกแบบง่ายและเหมาะสำหรับที่จะใช้ภายในอาคารที่มีพื้นที่จำกัด ไม่ต้องการให้ข้อมูลรั่วไหลเนื่องจากแสงอินฟราเรดไม่สามารถผ่านทะลุกำแพง หรือวัตถุทึบแสงได้ นอกจากนี้ยังสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้รวดเร็ว [1]

ระบบอินฟราเรดมีโครงข่าย โปรโตคอลแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ซึ่งโปรโตคอลนี้จะมีการทำงานในลักษณะส่งแพ็กเก็ต RTS (Request to Send) จากสถานีภาคส่งไปยังสถานีภาครับ ออกไปก่อนเพื่อติดต่อขอส่งข้อมูล และจะรอรับแพ็กเก็ต CTS (Clear to Send) เมื่อได้รับแพ็กเก็ต CTS แล้วการส่งข้อมูลจึงเกิดขึ้น ในบางระบบจะตรวจสอบเฟรม ACK (Acknowledgment) ที่สถานีภาคส่งเพื่อยืนยันการรับข้อมูลที่สำเร็จจากสถานีภาครับแล้ว และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลสถานีส่งจะส่งแพ็กเก็ต EOB (End-Of-Burst) และรอรับแพ็กเก็ต EOBC(End-Of-Burst-Confirm) จากสถานีภาครับ

### 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการส่งข้อมูลโดยใช้ทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยทำการจำลอง (Simulation) ระบบโดยมีการส่งข้อมูลผ่านระบบอินฟราเรดซึ่งระบบเดิมจะเป็นการใช้ทราฟฟิกแบบบิวของ ซึ่งทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเองจะมีรูปแบบสัญญาณที่คล้ายกันทุกช่วงเวลา ทราฟฟิกลักษณะนี้พบมากเมื่อมองเป็นจุดๆ ในโครงข่ายที่เป็นกลุ่ม โดยทราฟฟิกแบบบิวของจะมีลักษณะเป็นช่วงสั้นๆ (ที่สเกลเวลาเล็กๆ) แต่ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเองจะเป็นลักษณะช่วงยาว เราสามารถออกแบบระบบที่จุดบริการและการจัดคิวในบัฟเฟอร์ที่คาดหมายได้ว่าจะให้ราบเรียบในช่วงยาว ๆ โดยรูปแบบข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายการส่งข้อมูลในอินเทอร์เน็ตแบบใช้สายที่ใช้ในการส่งข้อมูล และเมื่อมีการส่งข้อมูลออกทางอากาศทราฟฟิกในรูปแบบเดิมจะเป็นแบบบิวของ โดยใช้การจัดลำดับคิวในการส่งข้อมูล วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง

เอกสารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลผ่านระบบอินฟราเรดนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาพื้นฐานของระบบอินฟราเรด ที่มีการใช้โครงข่ายโปรโตคอล CSMA/CA
- 2) เพื่อศึกษาพื้นฐานของทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง
- 3) ศึกษาสมรรถนะของระบบทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองเมื่อมีการ รับ-ส่งข้อมูลแบบต่าง ๆ

### 1.4 หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์

เซลล์ที่เข้าไปในบัพเฟอร์มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองซึ่งเป็นทราฟฟิกอีกแบบหนึ่งที่น่าสนใจเพราะรูปแบบของอินเทอร์เนตจะมีลักษณะรูปแบบคล้ายคลึงตนเองและการส่งแบบไร้สายในรูปแบบเก่าเป็นทราฟฟิกแบบบิวของ การใช้ทราฟฟิกการแบบคล้ายคลึงตนเองจะช่วยเพิ่มสมรรถนะให้การทำงานของระบบดีขึ้น โดยนำทราฟฟิกชนิดนี้ไปใช้กับระบบอินฟราเรดที่มีโครงข่าย CSMA/CA ในการส่งข้อมูลรูปแบบต่างๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบ

### 1.5 ขอบเขตการศึกษา

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาสมรรถนะของระบบโดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีและความยาวแพ็กเก็ตเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ ค่าวิสัยสามารถ ค่าการใช้ประโยชน์ และความหน่วงของระบบ ส่วนที่สองจะการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเมื่อมีการส่ง-รับ ที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบกับระบบที่มีทราฟฟิกแบบบิวของ

### 1.6 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ระบบอินฟราเรด

บทที่ 3 ทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง

บทที่ 4 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์ระบบ

บทที่ 5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และจำลองแบบ

บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้อินฟราเรด

### 2.1 กล่าวนำ

เมื่อต้องการอุปกรณ์สื่อสารที่เคลื่อนที่ได้ขณะทำงานและอยู่ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และต้องการความรวดเร็วในการสื่อสาร จึงมีการใช้ระบบดิจิทัลและโครงข่ายท้องถิ่น (LAN) ในการสื่อสาร จุดที่มีการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ได้ควรจะมีการเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดจากจุดให้บริการ และโครงข่ายของระบบควรจะมีความเร็วสูงในการรับ-ส่งข้อมูลโดยไม่ใช้สาย อุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายต้องมีขนาดและน้ำหนักพอเหมาะสำหรับผู้บริโภค ราคาไม่แพง มีความเร็วสูงเป็นที่พอใจเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานแม้ว่าจะมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์การสื่อสาร ปัจจุบันได้มีการใช้การสื่อสารไร้สายระบบอินฟราเรด [2]

#### 2.1.1 การเปรียบเทียบระหว่างอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ

คลื่นอินฟราเรดเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะทางสั้น สื่อสารภายในอาคารและคลื่นรังสีอินฟราเรดมีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าคลื่นวิทยุ ในส่วนของอิมิตเตอร์ (Emitters) และดีเทกเตอร์ (Detectors) สามารถใช้ในการปฏิบัติการความเร็วสูง หาได้ง่ายและมีราคาถูก แถบสเปกตรัม (Spectral) มีสภาพเหมือนไม่จำกัดแบนด์วิดท์ (Bandwidth) สิ่งเหล่านี้ไม่ได้ถูกวางระเบียบในโลก (Unregulated Worldwide) อินฟราเรด และส่วนที่มองเห็นแสงจะมีคลื่นอินฟราเรดติดไปด้วยกันกับความยาวคลื่น โดยมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือสามารถถูกดูดซับด้วยวัตถุทึบแสง มีการแพร่และการสะท้อนด้วยวัตถุที่มีสีตามสีของแสง และมีทิศทางสะท้อนจากพื้นผิวที่สว่าง หรือพื้นผิวของแก้วที่แสงทะลุผ่าน แต่ไม่สามารถผ่านกำแพงหรือประตูกันที่ทึบแสงได้ ดังนั้นการใช้อินฟราเรดในการสื่อสาร มีขอบเขตเฉพาะในห้อง คลื่นอินฟราเรดนี้ถูกจำกัดขอบเขตทำให้ง่ายในการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารและป้องกันการดักฟังขณะสื่อสารได้ สามารถป้องกันการแทรกสอดระหว่างสัญญาณขณะมีการปฏิบัติงานในห้องที่ต่างกัน ดังนั้นการสื่อสารระบบอินฟราเรดในโครงข่าย (LAN) สามารถเก็บความจุสูงและง่ายในการออกแบบอินฟราเรดที่ใช้การสื่อสารเป็นแบบ IM/DD (Intensity Modulation with Direct Detection) มีความยาวคลื่นในการถือข้อมูลสั้น และขนาดพื้นที่ใหญ่ กฎหมายของเครื่องจับสัญญาณกว้างทำให้มีแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารระยะทางสั้น นั่นคือการป้องกันการเกิดมัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading) เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณวิทยุ ที่มีการแกว่งขนาดใหญ่ในการรับสัญญาณในส่วนแอมพลิจูด (Magnitude) และเฟส (Phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณกลางอินฟราเรดไม่เป็นอุปสรรคเมื่อใช้พื้นที่ภายนอก อย่างไรก็ตามเพราะคลื่นอินฟราเรดไม่สามารถผ่านทะลุผ่านกำแพง การสื่อสารจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องต้องมีการติดตั้งจุดที่จะเข้าถึงอินฟราเรดเป็นจุดเชื่อมต่อโดยรวมผ่านสายแบ็กโบน (Backbone) สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในอาคารจะมีสัญญาณรบกวนคลื่นอินฟราเรดเกิดขึ้น เช่น แสงอาทิตย์ หลอดไฟฟ้าที่มีหลอดภายในและแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวนคลื่นอินฟราเรดในส่วนของภาครับ ในความเป็นจริงการสื่อสารจะได้ระยะทางสั้นเหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคารสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ IM/DD เป็นเทคนิคการส่งที่เหมาะสมค่า เเรโซของ SNR (Signal-to-Noise) ของไดเรกต์ดีเทคชัน (Direct- Detection) ที่ภาครับเป็นสัดส่วนของพลังงานภาครับ ซึ่งหมายความว่าเทคนิคการติดต่อ IM/DD มีลักษณะกว้างเมื่อเทียบกับข้อจำกัดของทางที่ทำให้สูญเสีย มีบ่อยครั้งที่การสื่อสารอินฟราเรดต้องใช้ในการส่งที่ชั้นพลังงานสูง และส่วนของปฏิบัติการจะเปรียบเทียบกับส่วนระยะทาง ส่วนของชั้นพลังงานในการส่งสามารถเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการแทรกสอดจากผู้ใช้งานต่างๆ พลังงานในการส่งข้อมูลอาจจะมีการจำกัดเนื่องจากความปลอดภัยทางสายตาของผู้บริโภคและการรักษาดวงตา ซึ่งรายละเอียดการใช้งานจะอยู่ที่การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะสื่อสาร การเปรียบเทียบการติดต่อระหว่างคลื่นวิทยุและอินฟราเรดภายในอาคารในการสื่อสารแบบไร้สายสามารถแสดงในตารางที่ 2.1

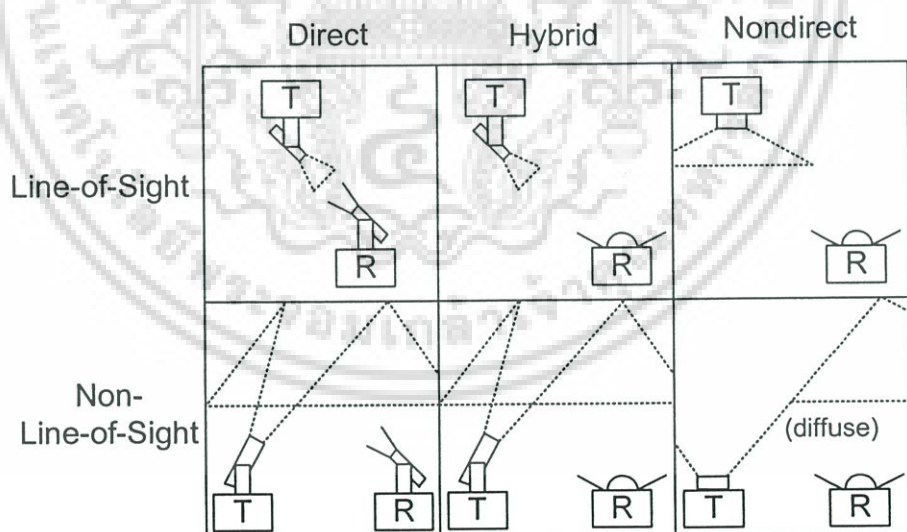
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างระบบคลื่นวิทยุและระบบ IM/DD ในอินฟราเรด สำหรับการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคาร

คุณสมบัติของช่องสัญญาณกลาง	คลื่นวิทยุ (Radio)	IM/DD ของคลื่นอินฟราเรด	อธิบายเหตุผลของอินฟราเรด
มีข้อกำหนดของแบนด์วิธที่ใหม่ ?	มี	ไม่มี	เป็นการรับรองที่ไม่กำหนดการใช้แบนด์วิธของคนทั่วโลกที่ใช้ติดต่อ
มีการทะลุผ่านหรือลอดไปหลังกำแพงได้ไหม?	สามารถทำได้	ไม่สามารถทำได้	ง่ายในการรักษาความปลอดภัยทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารภายในห้อง
มี Multipath Fading หรือไม่ ?	มี	ไม่มี	ทำให้ง่ายในออกแบบการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มี Multipath Distortion หรือไม่?	มี	มี	-
มีการสูญเสียระหว่างทาง ขณะส่งหรือไม่?	มีสูง	มีสูง	-
สัญญาณรบกวน	เกิดกับผู้ใช้ที่อยู่ไกล จำนวนมาก	ขึ้นกับแสงที่เป็นพื้นหลัง	จะได้ระยะทางจำกัด
การแทน $X(t)$ เป็นค่า อินพุท	คิดค่าแอมพลิจูด เป็นสำคัญ	คิดค่าพลังงานเป็น สำคัญ	ทำให้เกิดความยากในการสื่อสารภายนอกอาคาร
สัดส่วนของ SNR	$\int  X(t) ^2 dt$	$\int  X(t) ^2 dt$	มีความต้องการส่งที่ใช้พลังงานสูง
สัดส่วนพลังงานเฉลี่ย	$\int  X(t) ^2 dt$	$\int X(t) dt$	เลือกรูปแบบ $X(t)$ ด้วยค่าเรโซ Peak - to - Average สูง



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงตัวอย่างการสื่อสารทางอินฟราเรดในรูปแบบการส่งและรับชนิด

Line-of-Sight และ Non-Line-of-Sight

คลื่นวิทยุ และอินฟราเรดมีส่วนประกอบในการส่งสัญญาณเข้าช่องกลางที่สมบูรณ์ และ  
 เอกสรูปแบบการส่งที่มีความแตกต่าง ทำให้เกิดประโยชน์กับผู้ใช้ที่เข้าช่องสัญญาณกลางที่ต่างกันโดย  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นวิทยุมีประโยชน์เมื่อผู้ใช้ต้องมีการเคลื่อนไหวมาก หรือการส่งที่ต้องผ่านทะลุกำแพงหรือระยะทางที่ไกล ซึ่งจะเป็นที่ต้องการและอาจจะเป็นประโยชน์ในสถานการณ์เช่นนี้โดยพลังงานการส่งไปยังผู้รับต้องมีค่ามาก ส่วนคลื่นอินฟราเรดมีประโยชน์สำหรับระยะทางที่สั้น ในที่ซึ่งค่า Per Link Bit Rate และการเก็บประจุของระบบต้องมีค่าสูง ราคาต้องถูก การสื่อสารที่เข้ากันได้ในรูปแบบเป็นสากลและเป็นต้องที่ต้องการของตลาด หรือการรับสัญญาณที่ซับซ้อนต้องน้อย

## 2.2 การออกแบบการสื่อสารอินฟราเรด

การสื่อสารทางอินฟราเรดอาจจะใช้การออกแบบในรูปแบบต่างๆ และได้แบ่งเกณฑ์ออกเป็นสองประเภทดังแสดงในภาพที่ 2.1 เกณฑ์แรกนี้เป็นรูปแบบการส่งและรับทางตรง การส่งและรับแบบตรงนี้ต้องมีทิศทางมุ่งไปยังสถานีที่ต้องการติดต่อ และที่ซึ่งการติดต่อไม่เป็นทางตรงจะใช้การส่งและรับที่มีมุมกว้าง ซึ่งกระทำเป็นจุดๆ การออกแบบการสื่อสารทางตรงจะใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพสูง โดยมีสาเหตุคือสัญญาณที่ส่งขณะสื่อสารเกิดการสูญเสียพลังงานน้อยได้และขณะรับสัญญาณเมื่อผ่านสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแสงที่ผ่านอากาศมา (Ambient Light Noise) มีการรบกวนสัญญาณน้อย ในการสื่อสารรูปแบบอื่นๆ เช่นการสื่อสารที่ไม่เป็นทางตรงอาจไม่สะดวกในการสื่อสาร เมื่อไม่ต้องการให้การส่งและรับมุ่งตรงอย่างเดียว มีความเป็นไปได้ที่จะใช้การติดต่อแบบ ไฮบริด (Hybrid Links) ซึ่งเป็นการส่งและรับมีทิศทางที่แตกต่างกัน ในแบบที่สองเกี่ยวข้องกับการสื่อสารกับแนวรับคงที่ ที่ไม่ถูกรบกวนแบบ Line-of-Sight (LOS) ผ่านการสื่อสารระหว่างส่งและรับ การสื่อสาร LOS อาศัยการติดข้างบน ส่วนการติดต่อแบบ Non-LOS โดยส่วนใหญ่อาศัยการสะท้อนแสงจากข้างบนเพดานหรือการแพร่ที่มีการสะท้อนผิวกลม การออกแบบการสื่อสาร LOS ใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากและเกิดการลดทอนแบบมัลติพาท (Multipath) น้อย การออกแบบ Non-LOS เหมาะกับการสื่อสารที่มากขึ้น คงทนและใช้งานง่าย การสื่อสารเกิดขึ้นใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ โดยเกิดระหว่างบุคคลหรือในห้องที่มีฉากกั้นระหว่างผู้ส่งและผู้รับ ซึ่งระบบมีความทนทานมากและง่ายในการใช้ ที่เป็นการออกแบบ Nondirected-Non-LOS

## 2.3 ระบบการสื่อสารอินฟราเรดในปัจจุบัน

ในปัจจุบันการสื่อสารอินฟราเรดจำนวนมากเป็นการออกแบบ Directed-LOS หรือ Hybrid-LOS การออกแบบเส้นทางที่มีการสูญเสียน้อย คือการส่งที่มีความต้องการใช้พลังงานมาก และมีการอนุญาตให้มีการใช้งานและส่วนภาครับมีราคาถูก เช่น ภาดส่งใช้ Light-Emitting Diode (LED) ซึ่งมีการแพร่กำลังเฉลี่ยถึง 10 ซีฟเวอร์ (Sever) โดยมีมุมภายใน  $15^\circ - 30^\circ$  LED มีความยาวคลื่น (Wavelength) อยู่ช่วง 850–950 nm โดยความยาวคลื่นนี้แทนจุดสูงสุดของ Photodiode

เป็นแบบ Silicon Positive-Intrinsic-Negative (p-i-n) ในการออกแบบการสื่อสาร Hybrid-LOS เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบ Photodiode บ่อยมากที่สุด ในแคปซูล ซึ่งอยู่ใน เลนส์พลาสติก Plano Cylindrical หรือ Hemispherical ที่เซฟเวอร์รวมอยู่ในส่วนของแสงที่รับ การสื่อสารแบบ Directed-LOS ถูกใช้เป็นส่วนรวมแสงใน FOV (Field of View) โดยปกติการเตรียมการจัดชั้นที่สูงกว่าของการรวมแสงที่ Directed-LOS และ การสื่อสารแบบ Hybrid-LOS เป็นการจัดวางที่เป็นอิสระจากการลดทอนจากมลติพาท บางครั้งอัตราบิตสูงถึง 100 Mb/s การออกแบบการสื่อสารในห้องเป็นแบบ จุดต่อจุด (Point-to-Point) และเป็นแบบจุดต่อหลายจุด แต่ถ้าไม่ใช่ในห้องจะใช้ โครงข่ายที่มีการเข้าหลายทาง (Multiple Access Networks) ซึ่งจะมีความยากในการสร้างจุดเชื่อมต่อที่มีสองทิศทาง ระหว่างเครื่องรับส่งทั้ง 2 ตัว

การติดต่อแบบ Directed-LOS และ Hybrid-LOS มีการใช้มาแล้วหลายปีในรูปของการ ความคมทางรีโมตและทางอื่นที่ไม่เป็นทางตรง ใช้ในอัตราบิตที่ต่ำโดยใช้มากกว่า 3 ปีสมาคม IrDA (Infrared Data Association) มีความจำเป็นต้องสร้างมาตรฐานสำหรับระยะทางสั้น การสื่อสารแบบ Half-Duplex ในแบบ LOS ที่มีอัตราส่งมากกว่า 4 Mb/s [3] ลักษณะเด่น 2 ส่วนของ เครื่องรับส่ง IrDA คือ มีราคาถูก และใช้พลังงานน้อยในการใช้งานน้อยกว่า 1 W เมื่อมีการส่ง และ น้อยกว่า 100 mW เมื่ออยู่ช่องสัญญาณว่างหรือรับสัญญาณ ในปัจจุบันมีบริษัทมากกว่า 130 แห่ง ในโลกเป็นสมาชิกของสมาคม IrDA

ส่วนประกอบของมาตรฐาน IrDA [3] *IrDA Serial Infrared Physical Layer* กำหนด มาตรฐานการติดต่อแบบ Half-Duplex ที่อัตราการส่งมากถึง 4 Mb/s การสื่อสารที่ 4 Mb/s ใช้มอดูเลตที่ 4-PPM (Four-Pulse-Position) ที่การสื่อสาร 1.152 Mb/s ใช้ใน OOK (On-Off Keying) เมื่อพัลส์ RZ (Return-to-Zero) มี Duty Cycle 0.25 ปฏิบัติการสื่อสารที่อัตราส่งบิต 155.2 kb/s และใช้งานต่ำกว่าพัลส์ OOK และ RZ ซึ่งมี Duty Cycle 0.1875 (พัลส์ที่สั้นกว่าเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ เป็นบางกรณี) IrDA อนุญาตให้มีการส่งต้องแพร่ที่ความยาวคลื่น 850 และ 900 nm ในมุม  $15^\circ - 30^\circ$  (ที่ Half-Power) ที่ภาครับอนุญาตต้องมี FOV (มุมเล็กที่เห็นเป็นครึ่งหนึ่งของพื้นที่แสง) น้อยกว่า  $15^\circ$  ซึ่งภาครับส่วนใหญ่ของ IrDA มีขนาดใหญ่กว่า FOV ดังนั้น การสื่อสาร IrDA ส่วนมากเป็นชนิด Hybrid-LOS การสื่อสารของ IrDA มีค่า BER (Bit Error Rate) ไม่เกิน  $10^{-9}$  (การสื่อสารที่อัตรา 4 Mb/s มี BER ไม่เกิน  $10^{-8}$ ) ที่ระยะทางน้อยกว่า 1m แต่ได้ระยะทาง ยาวสุด 3 m

IrLAP (IrDA Infrared Link Access Protocol) เกิดจากการมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) โพรโตคอล HDLC (High-Level Data-Link Control) IrLAP ได้มีการใช้เฟรมมาตรฐานซึ่งกำหนดโดย HDLC การสื่อสารแบบ IrDA อาจเป็นแบบ จุดต่อจุด (Point-to-Point) หรือ จุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) ลักษณะของ IrDA คือ เมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารขณะอยู่หนึ่งมีโครงสร้างที่กำหนดจุดที่หนึ่งจะเป็นจุดเดิม และจุดอื่นๆ ถือเป็นจุดที่สอง การส่งทั้งหมดที่มีการสื่อสารต้องถึงกันจากจุดเดิม

IrDA กำหนดระเบียบสำหรับการติดต่อสื่อสารรูปแบบเดิม กลไกระบบจะค้นพบที่อยู่เพื่อเริ่มการเชื่อมต่อ แลกเปลี่ยนข้อมูล ยกเลิกการติดต่อ ติดต่อปิดระบบ

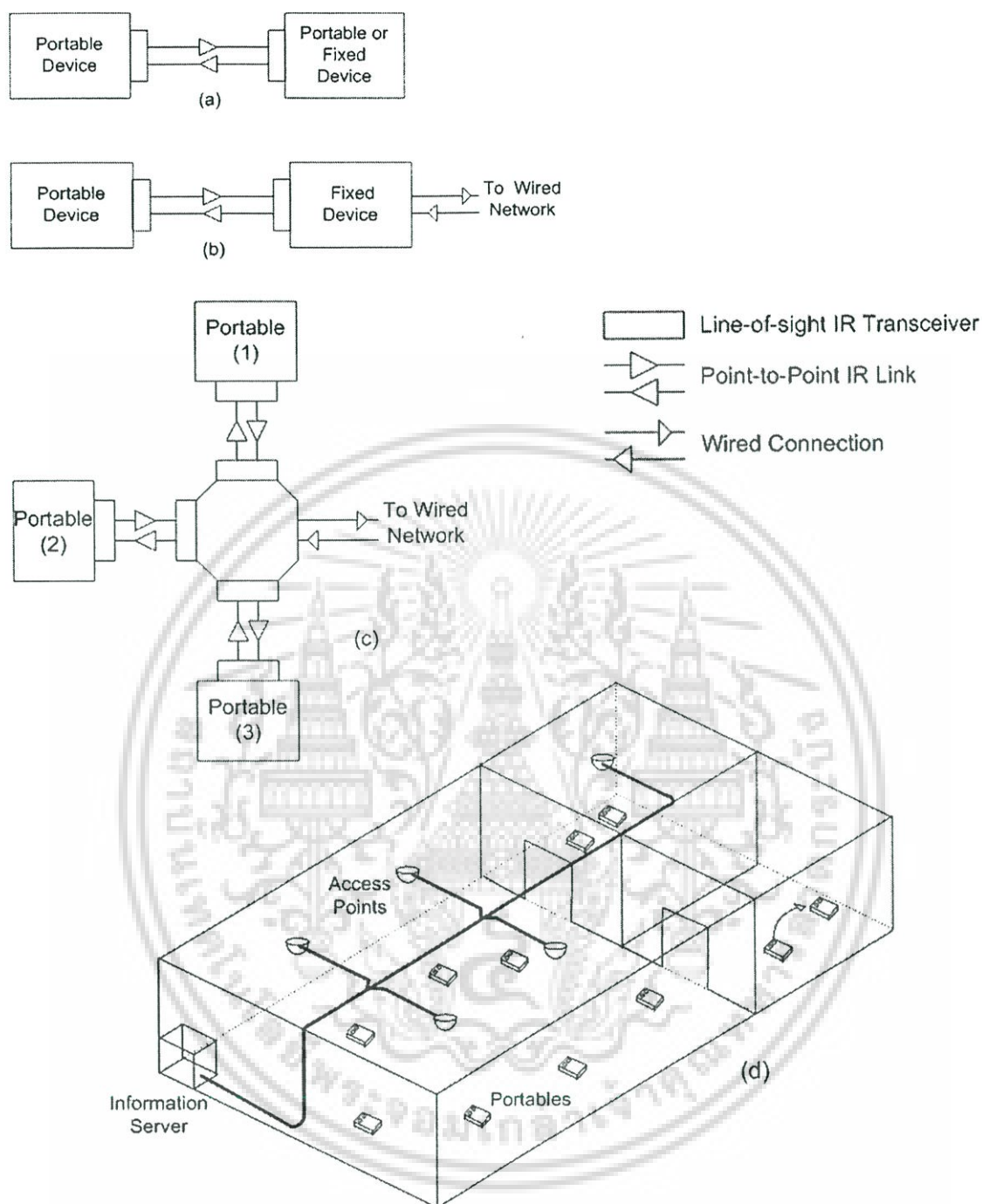
การจัดการในส่วนของโปรโตคอลการติดต่อทางอินฟราเรดของ IrDA (*IrDA Infrared Link Management Protocol*) เป็นการเตรียมการจัดหัวเรื่องเพื่อนำไปใช้กับโปรแกรมที่เล่นในระบบปฏิบัติการที่เป็นอิสระและพร้อมกับการแบ่งสัญญาณที่ติดต่อสื่อสารโดย IrLAP ระหว่างจุดแรกและจุดอื่นๆ ที่เป็นจุดที่สอง สิ่งเหล่านี้นำไปสู่ขั้นตอนปฏิบัติที่ 3 ในการเชื่อมต่อกับระบบบริการการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันสามารถทำได้ง่าย การมัลติเพล็กซ์ของการบริการการสื่อสารอยู่บนสัญญาณเดียวและจัดการติดต่อเพื่อเพิ่มการใช้งานเมื่อมีความต้องการใช้งานสูง ยกเว้นจะมีการติดต่อการใช้เอง

มาตรฐานเครื่องรับส่ง IrDA มีลักษณะเด่นมากมายเช่น เคลื่อนย้ายได้ และสื่อสารอยู่กับที่ คอมพิวเตอร์ เช่นคอมพิวเตอร์แบบ แล็ปท็อป พรีนตเตอร์ และโครงข่ายแบบมีสายไปจนถึงโครงข่ายแบบไร้สายมันเป็นได้ทั้งเครื่องรับ-ส่ง ซึ่งรวมเข้ากับระบบเซลลูลาร์ โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือดิจิตอล โมบาย โทรศัพท์ชุมชน พนักงานใช้เครื่องจักรเก็บเงิน และเครื่องมืออุตสาหกรรม ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสื่อสารไร้สายที่ระยะทางสั้น

จากภาพ ตัวอย่างที่ a-c ได้อธิบายรูปแบบ 3 แนวทางของมาตรฐาน IrDA (หรือคล้ายกัน) ซึ่งสามารถใช้ติดต่อถึงกันได้ (โมเดลการใช้ทั้ง 3 รูปแบบไม่เป็นรูปแบบตายตัว) ในภาพที่ 2.2(a) คือเครื่องมือที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (ได้แก่คอมพิวเตอร์ Laptop) อุปกรณ์ที่มีการสื่อสารระบบอินฟราเรดสามารถเคลื่อนย้ายได้หรือกำหนดให้อุปกรณ์อยู่กับที่ เมื่อนำไปใช้กับพรีนเตอร์ไฟล์ (File) ระบบการซิงโครไนเซชัน (Synchronization) ในธุรกิจแลกเปลี่ยนเงิน "Business Cash" จะแสดงในภาพที่ 2.2(b)

อุปกรณ์เคลื่อนย้ายจะมีการเชื่อมต่อกับระบบอินฟราเรดเพื่อเข้าถึงจุดที่มีการเชื่อมโยงโครงข่ายที่ต่อสาย (ตัวอย่างได้แก่ คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ หรือการเข้าถึงจุดที่มีอินฟราเรดโดยทันที) ปัจจุบันระบบนี้ได้มีการดำเนินต่อไปและทางบริษัท Hewlett-Packard ได้ทำการวิจัยเพื่อเข้าแต่ละจุดและเชื่อมการติดต่อระหว่าง IrDA และ Ethernet LAN's การเข้าถึงแต่ละจุดทำให้ได้ระยะทางกว้างโครงข่ายถูกนำไปใช้ในพื้นที่ที่ว่างเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนย้ายได้ ในอนาคตการเข้าถึงของอินฟราเรดแต่จะจุดในชุมชนที่มีการใช้โทรศัพท์ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่จะมีการการเข้าถึงแบบไร้สายไปจนถึงการใช้อินเทอร์เน็ต ระหว่างที่มีการใช้อินฟราเรดติดต่อกับเครื่องเก็บเงินอัตโนมัติอาจจะมีการอนุญาตให้มีการดาวโหลด "Digital Cash"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของการสื่อสารระบบอินฟราเรด a) การสื่อสารแบบ Point-to-Point ในรูปแบบ LOS (หรือเป็นแบบ Point-to-Multipoint) b) การสื่อสารอินฟราเรดแบบ Point-to-Point โดยผ่าน Fixed Device จะทำการเชื่อมต่อกับโครงข่าย c) การติดต่อระหว่างผู้ใช้หลายคนพร้อมกันด้วยอุปกรณ์ Hub ซึ่งการเชื่อมต่อเป็นแบบ Point-to-Point และ อีกด้านเป็นการเชื่อมต่อกับโครงข่ายที่ใช้สาย d) คือรูปแบบของ LAN ที่มีการเข้าแบบหลายทางเพื่อติดต่อกับผู้ใช้หลายคนผ่านโครงข่ายแบบมีสาย, การติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ

Devices อยู่ในแบบ Peer-to-Peer ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อก่อนมีการกล่าวถึงการติดต่อที่มีใช้แบบทางตรงหรือ การส่งแบบ LOS ในขณะนั้นการติดต่อของ IrDA ไม่สะดวกที่จะมีการติดต่อมากกว่า 2 จุด ทำให้ไม่สามารถที่จะเข้าถึงโครงข่ายแบบ Multiple-Access อย่างไรก็ตามมันอาจมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ ฮับ (Hub) กำหนดการเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point เพื่อให้เกิดการสื่อสารพร้อมกันกับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนย้ายได้โดยอธิบายในภาพที่ 2.2(c) โดยฮับสามารถที่จะใช้กับโครงข่ายแบบมีสวิตช์ภายในได้แก่ บัฟเฟอร์และควบคุมวงจรเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ในการเข้าถึงโครงข่าย LAN แบบหลายทาง ในบางเวลาฮับสามารถที่จะบริการการเชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบมีสาย ตัวอย่างเช่น ฮับสามารถที่จะใช้เพื่อการนำเสนอในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ให้บริการเคลื่อนที่ในห้องประชุม เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการใช้ ฮับในช่องสัญญาณ การอ้างอิงระหว่างการส่งไปยังปลายทางหลังจากที่การส่งมาถึงซึ่งต่างจากการส่งแบบทางตรง อาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการแบ่งช่องสัญญาณการใช้ในมุมการรับที่แตกต่าง เมื่อมีการอ้างอิงถึงการออกแบบการติดต่อของอินฟราเรดที่การแพร่แบบ Nondirected-Non-LOS Links ซึ่งง่ายมากในการใช้และมีประสิทธิภาพ มันจะไม่พุ่งไปที่การส่งหรือรับกับตัวที่ต้องการ และไม่ผ่านแบบ LOS ระหว่างผู้ส่งและผู้รับ อย่างไรก็ตามการสื่อสารแบบนี้ผ่านเส้นทางที่มีการสูญเสียเกิดขึ้นสูงกว่าเมื่อเทียบกับ LOS ที่มีความต้องการพลังงานการส่งที่สูงกว่าและภาครับที่ต้องมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ที่รวมแสง (Light-Collection Area) การส่งมีการใช้ความยาวคลื่น 850-900 nm ของหลอด LED ซึ่งบางครั้งความสว่างของแสงก็มีความแตกต่างกับทางตรงซึ่งความแตกต่างนี้ขึ้นกับทางที่ผ่าน เมื่อการส่งเกิดการฉายแสงจะมีพลังงานเฉลี่ย 100-500 mW การใช้พลังงานที่สูงกว่าการส่งของ IrDA การแพร่ที่ภาครับจะมีการใช้เครื่องรับสัญญาณแคปซูล ซิลิกอน  $p-i-n$  ในแบบครึ่งซีก หรือ เลนส์ Plano-Cylindrical ซึ่งมีการใช้แสงที่เข้มข้นขณะเดียวกันต้องรักษาความกว้างของ FOV (Field of View)

เมื่อเกิดการแพร่สัญญาณจากเครื่องส่งเป็นการตั้งโน้ตที่ใกล้กับจุดรับอื่นๆ โดยธรรมชาติจะมีรูปแบบการแบ่งบัส (Shared Bus Topology) ทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารในรูปแบบที่เหมาะสมแบบการเข้าแบบหลายทิศทาง (Multiple-Access) ในโครงข่าย LAN อย่างไรก็ตาม การเกิด "Hidden Nodes" อาจมีขึ้นได้ เช่นการรับสัญญาณไม่สามารถรับได้ เมื่อมีการบดบังเกิดการสุ่มโปรโตคอลควบคุมการเข้าช่องสัญญาณกลาง (MAC) ระบบจะทำการหลีกเลี่ยงการชนหรือการตรวจสอบขึ้น ดังเช่น CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) หรือ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) โครงข่ายไร้สายที่มีการใช้อินฟราเรดมีรูปแบบการส่ง-รับ ที่ต่างกัน 2 ทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 2(d)

เทคนิคแรก การใช้อินฟราเรดติดต่อมีการเข้าถึงบนเลนแบบมีสาย มีการอนุญาตการสื่อสารไปยังจุดที่มีการเคลื่อนย้ายผ่านสาย backbone โครงข่ายเลนไร้สายจะใช้สถานที่

เหมาะสมเพื่อใช้สื่อสารข้อมูลภายในออฟฟิศ โรงพยาบาล โรงเรียน โรงงาน โรงอาหาร ศูนย์กลาง  
 เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซื้อขายตลาดเงิน หรือใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีด การติดตั้ง backbone มีราคาถูกและการเข้าถึงจุดที่ไร้สายซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ ได้แก่โครงข่ายไร้สายชนิด *SpectrixLite™* ซึ่งผลิตโดยบริษัท สเปกตริก (Spectrix) ระบบนี้มีการใช้สถานีเบสเพื่อเชื่อมต่อการเข้าถึงจุดโครงข่ายไร้สาย 16 จุด โครงสร้างของโครงข่าย LAN มีความจุทั้งหมด 4 Mb/s สถานีเบสเชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบมีสาย (รูปแบบ Ethernet หรือ Token Ring) จุดที่เคลื่อนย้ายได้มีการอินเตอร์เฟส (Interfaces) เชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายเพื่อที่จะเข้าถึงจุดที่ความเร็ว 4 Mb/s ใช้การสื่อสารแบบ OOK ด้วยพัลส์ RZ การสื่อสารมีค่า BER =  $10^{-6}$  ที่ระยะทาง 15 m การส่งในโครงข่ายไร้สายเป็นการควบคุมที่จุดศูนย์กลางโดยโปรโตคอล CODIAC การใช้แบนด์วิดท์ต้องการ Uplink ข้อมูล และ downlink ข้อมูลมีการใช้ความยาวคลื่นของสัญญาณ และมัลติเพล็กซ์ แบ่งเวลาไปด้วยกันภายในระยะ Sup Frame การส่งทั้งหมดเกิดขึ้นที่ในตารางเวลาที่กำหนดโดยโปรโตคอล CODIAC ได้มีการอนุญาตให้เครื่องส่งและรับที่เคลื่อนที่ "Sleep" ที่ช่วงเวลาอื่นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

ในเทคนิคที่สอง การสื่อสารอินฟราเรดเป็นการใช้ทางตรง หรือการสื่อสารแบบ Peer-to-Peer ระหว่างเครื่องหรือกำหนดจุดให้คงที่ สิ่งนี้คือการเชื่อมต่อแบบ Ad Hoc ซึ่งเป็นสิ่งใหม่เป็นการทำงานเป็นกลุ่มแบบชั่วคราว สำหรับการสื่อสารขณะมีการเดินทางหรือการติดต่อสื่อสารนอกห้อง อาจติดตั้งโครงข่าย LAN ภายในบ้านหรือภายในสำนักงานซึ่งจุดทั้งหมดเป็นที่ตั้งภายในห้องเดียว บริษัท IBM ได้ผลิตอินฟราเรดโครงข่าย LAN แบบ Ad Hoc ที่มีการปฏิบัติการทำงานที่ความเร็ว 1 Mb/s โดยใช้ 16-PPM โดยจะครอบคลุมพื้นที่  $10m \times 10m$  เครื่องส่ง-รับระบบอินฟราเรดไม่สามารถรับสัญญาณได้ไกล ขณะทำการส่งข้อมูลระบบไม่มีคุณสมบัติในการตรวจสอบหาการชน ในโครงข่าย LAN ได้มีการใช้โปรโตคอล CSMA/CA เป็นรูปแบบการหลีกเลี่ยงการชนก่อนที่จะเริ่มมีการส่งข้อมูลจริง เครื่องส่งจะมีการตรวจสอบสัญญาณที่ได้รับการติดต่อการขอส่งข้อมูลจากภาครับก่อนแล้วจึงตรวจสอบช่องสัญญาณกลาง ถ้าช่องสัญญาณว่างภาคส่งจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลไปยังช่องสัญญาณภาครับ แล้วคอยเวลาระยะหนึ่งเพื่อรอสัญญาณตอบรับจากสถานีภาครับ ว่าได้รับสัญญาณข้อมูลที่ส่งไปแล้ว จึงส่งแพ็คเกจข้อมูล (Payload Packet) ออกไปอีก ถ้าพบว่าแพ็คเกจที่ส่งไปเกิดความสูญเสีย (อาจมีการชนเกิดขึ้น) แพ็คเกจที่สูญเสียจะถูกส่งอีกครั้ง หากจุดปลายทางที่ภาครับถูกบดบัง สภาวะการหลีกเลี่ยงการชนของระบบจะหยุดลงโดยสาเหตุคือโปรโตคอล CSMA/CA เกิดความสูญเสียในกรณีนี้โครงข่าย LAN ของ IBM จะทำการปรับเปลี่ยนส่วนของโปรโตคอลและในส่วนของแบนด์วิดท์จะถูกจองเพื่อจัดให้ระบบเสถียร ซึ่งจะได้ควาวิสัยสามารถลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอลของ CSMA/CA ที่ไม่ถูกบดบัง

เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ในปัจจุบัน มันเป็นไปได้ที่จะนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพระบบอินฟราเรดแบบไร้สาย ที่การส่ง 10 Mb/s ใช้ปฏิบัติการใช้การสื่อสารแบบ LOS ซึ่งมีราคาถูกที่ การส่งข้อมูล 10 Mb/s นี้สามารถที่จะเป็นไปได้การแข่งขันการส่งข้อมูลที่อัตราบิตสูงกว่านี้จะเป็นที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการและจะถูกนำมาใช้ในอนาคต เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีงานวิจัยในการใช้เทคโนโลยีใหม่ ใช้ปฏิบัติการอินฟราเรดที่อัตราส่ง 100 Mb/s ซึ่งมีแนวโน้มจะประสบความสำเร็จ

ตารางที่ 2.2 ตารางการเปรียบเทียบการใช้หลอด LED's และหลอด LD's ในระบบอินฟราเรด

รายการ	LED's	LD's
ความกว้างของสเปกตรัม	25-100 nm	$10^{-5}$ -5 nm
แบนวิดท์ที่ใช้ในการมอดูเลต	10 KHZ ถึง 10 Mhz	10 KHZ ถึง 10 GHZ
ประสิทธิภาพการแปลง สัญญาณ E/O การถนอมสายตา	10% - 20%	30% - 70%
ราคา	โดยทั่วไปจะคำนึง ความปลอดภัยของ ดวงตา ถูก	การถนอมสายตาจะต้องใช้หลอด LD's ที่มี $\lambda < 1400$ nm ปานกลาง ถึง สูง

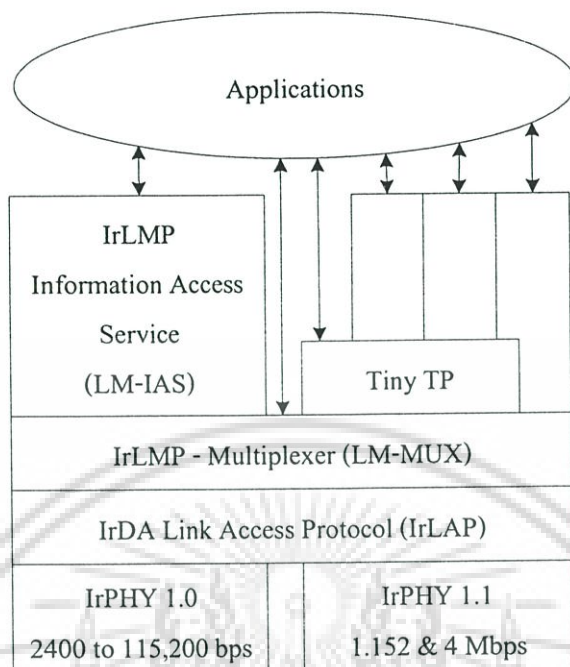
## 2.4 โพรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารทางอินฟราเรด (Infrared Communications Protocols)

โพรโตคอลที่สำคัญที่ใช้ในการสื่อสารทางอินฟราเรดมี 2 ตัว โดยทั้ง 2 ตัวจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบโมเด็มระบบ คือ โพรโตคอล IrDA SIR และ โพรโตคอล Air

### 2.4.1 โพรโตคอล IrDA SIR (The IrDA SIR protocol)

โพรโตคอล IrDA 1.1 แสดงแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีชั้น layer 3 ชั้น ที่อยู่ในโพรโตคอล คือ ชั้นทางฟิสิกส์ (Physical Layer) , ชั้น IrLAP (IrLAP Layer) และ ชั้น IrLMP (IrLMP = Infrared Link Management Protocol Layer) ในส่วนหลังประกอบด้วย LM-MUX (Link Management Multiplexer) ซึ่งจัดเป็นช่องสัญญาณหลายทางเพื่อใช้ในการติดต่อ และ LM-IAS ซึ่งจัดที่ส่วนของฐานข้อมูล (Database) ซึ่งสนับสนุนการบริการซึ่งสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือช่วยการติดต่อ ส่วนของ Tiny TP เป็นส่วนประกอบที่เพิ่มซึ่งเป็นฐานการควบคุม โพรโตคอล IrCOMM คือส่วนที่จะใช้สายเคเบิล (Cable)เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร โครงข่าย IrLAN ก็จัดเป็นส่วนประกอบหนึ่ง และ IrOBEX เป็นส่วนประกอบที่ใช้การแลกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์บางส่วนหรือสงวนไว้เพื่อการสื่อสารเฉพาะที่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แบบจำลองโพรโตคอล IrDA

#### 2.4.1.1 ชั้นฟิสิกส์ของ IrDA

ชั้นทางฟิสิกส์ของ IrDA เป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) มีความสำคัญในการส่งข้อมูลออกทางสายออปติก (Optical) การดีเทค การมอดูเลตสัญญาณและเข้ารหัส CRC ซึ่งก็เป็นชั้นทางฟิสิกส์ ถึงแม้ว่าจะมีซอฟต์แวร์เป็นส่วนประกอบด้วย ในส่วนรายละเอียดการติดต่อสื่อสารจะใช้ระยะทางน้อยกว่า 1 เมตร ด้วยการส่งทำมุม 15° ถึง 30° พลังงานที่ออกมาจะมีข้อจำกัดโดยกำหนดพลังงานที่ออกมาไม่เกิน 500 mW/Sr เพื่อถนอมสายตาแต่ ชนิดนี้ให้ค่า 10 mW อุปกรณ์ที่ใช้เวอร์ชัน 1.0 ชั้นฟิสิกส์มีอัตราการส่ง 115.2 Kbps ตลอดต่อเนื่อง ซึ่งเป็นมาตรฐานของอุปกรณ์การมอดูเลตจะใช้ RZ ด้วยด้วยพัลส์ 3/16 และใช้ CRC 16 บิต ในเวอร์ชัน 1.1 สามารถขยายอัตราส่งข้อมูล 1.152 Mbps & 4 Mbps การสื่อสารที่ใช้ 4 Mbps จะใช้ 4 PPM ในการมอดูเลตด้วย CRC 32 บิต

ส่วนสำคัญของการสื่อสาร IrDA ต้องใช้การสื่อสารแบบ Half-Duplex และสถานีไม่สามารถส่งและรับในเวลาเดียวกันได้

### 2.4.1.2 ชั้น IrLAP (The IrLAP layer)

ฟังก์ชันของชั้น IrLAP จะเพิ่มเครื่องมือการค้นหาสถานที่ที่มีการสื่อสาร ปฏิบัติการควบคุม แลกเปลี่ยนข้อมูล และกู้ข้อมูลที่ผิดพลาด

BOF	Address + C/R	Control	Data	CRC	EOF
8	8	8	$\leq 16384$	16/32	8

BOF , CRC , EOF = Physical layer framer

Address + C/R , Control , Data = IrLAP packet

### รูปที่ 2.4 โครงสร้างเฟรม IrLAP

โครงสร้างเฟรม IrLAP แสดงได้ในรูปที่ 2.4 ซึ่งมีเฟรม 3 ชนิดที่ IrLAP ใช้ คือ U-Frames (Unnumbered Frames), S-Frames (Supervisory Frames) และ I-Frames (Information Frames) โดย U-Frames เป็นการสื่อสารระหว่างสถานี และแลกเปลี่ยนข้อมูลจากภายนอกสถานีเพื่อติดต่อสื่อสาร และจะไม่มีการบรรจุข้อความ, S-Frames ใช้เป็นการควบคุมเฟรมในการติดต่อระหว่างสถานีและบรรจุข้อมูลในสนาม Nr (Received Sequenced Number) ภายในจะมีสนามควบคุม I-Frames จะตรวจจับผู้ใช้ข้อมูลภายในสนามการสื่อสาร และเก็บข้อมูลระหว่างสนาม Nr และ Ns (Send Sequence Number) ในส่วนของสนาม Nr และ Ns มีขนาด 3 บิต ดังนั้นจึงสามารถแทนค่าข้อมูลได้ตั้งแต่ 0 ถึง 7 เฟรมดังนั้นการส่งข้อมูลมากที่สุดจะใช้หน้าต่าง 7 เฟรม แต่ต้องไม่เกิน “ช่วงเวลาการมาถึงมากที่สุด” ซึ่งจะทำให้การกำหนดความยาวที่ 500 ms เฟรมทั้งหมดจะถูกบรรจุที่ P/F (Poll / Final) บิต ในการควบคุมสนามไปจนถึงสถานี

ก่อนที่จะมีการติดต่อสื่อสาร เครื่องมือต้อง “ค้นหา” อุปกรณ์อื่นที่มีค่าตรงกันเครื่องมืออันดับแรกภายในระยะการสื่อสาร พารามิเตอร์ในการสื่อสารมีทราฟฟิกที่ถือสัญญาณ 9600 bps ส่วนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อได้แก่ อัตราการส่งข้อมูล ช่วงเวลาย้อนกลับที่น้อยที่สุด ช่วงเวลาย้อนกลับที่มากที่สุด ขนาดหน้าต่างที่มากที่สุด และขนาดความยาวแพ็คเกจข้อมูล ค่าน้อยที่สุดที่ย้อนกลับมาใช้เวลาเพื่อย้อนกลับมารับ คือช่วง 10 ms ถึง 0.01 ms ส่วนเวลาที่มากที่สุดในการใช้เวลาย้อนกลับ เป็นคาบที่มากที่สุดที่สถานีสามารถที่จะถือในการส่ง คือ 500ms ในการติดต่อกับเครื่องมือจะเป็นตัวกำหนดสถานีแรก และสถานีที่สอง ด้วยการรู้จักกับเครื่องมือก่อนที่จะมีการติดต่อ

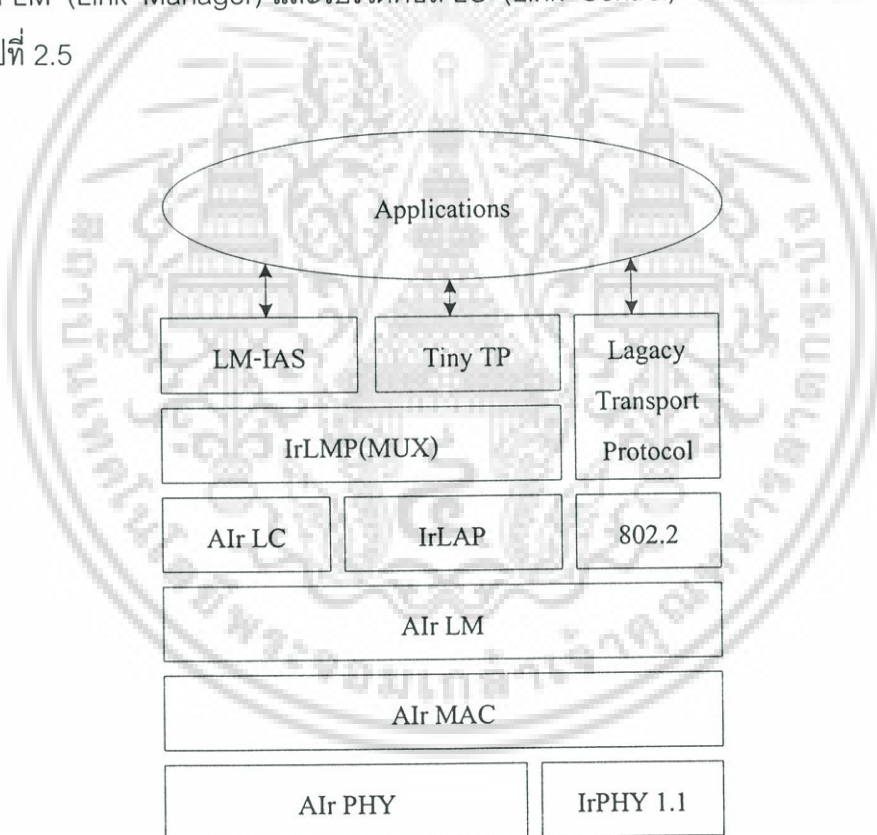
เมื่อเกิดความผิดพลาดระหว่างการรับข้อมูลสถานีจะติดต่อกับส่วนภายนอกด้วย HDLC โดยใช้สนาม Ns และ Nr สถานีส่งจะทำการส่งตัวแปร Vs ซึ่งจะคัดลอกมาจากสนาม Ns เพื่อส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของหน่วยงานราชการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยหรือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน I-Frame ย้อนกลับมาแสดงสถานะที่มีการรับ I-Frame ที่ประสบความสำเร็จ ด้วยค่า  $N_s$  ถึง  $(N_r-1)$  ดังนั้นค่า  $N_r$  จะเปรียบเทียบกับค่า  $V_s$  โดยส่งจากสถานี ถ้าไม่เท่ากันเฟรมจะมีการสูญเสีย และจะถูกส่งมาอีกครั้งที่  $N_r$  [12]

#### 2.4.2 โพรโตคอล *Alr* (The Advanced Infrared protocol)

โพรโตคอลของระบบ *Alr* มีความจำเป็นต้องจัดหา 'Broadcast' ที่ช่องสัญญาณกลางโดยชั้นทางฟิสิกส์ที่บังคับของ IrDA และ จัดหา 'Broad' การส่งและการรับสำหรับสถานีส่ง การเปลี่ยนแปลงมอดูเลตซ้ำ มีแบบแผนดังนี้ ใช้เวลาหาระยะสำหรับช่องสัญญาณกลาง Broadcast จะหาช่องการเข้าถึงโพรโตคอล MAC ที่เหมาะสมเข้าไปในชั้นบนทางฟิสิกส์ ในส่วนของโพรโตคอล *Alr* ที่ส่วนของชั้น IrLAP ของโพรโตคอล IrDA เป็นส่วนที่แบ่งจากโพรโตคอล MAC ซึ่งจะมีโพรโตคอล LM (Link Manager) และโพรโตคอล LC (Link Control) โพรโตคอล *Alr* มีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพโครงสร้างโพรโตคอล *Alr*

##### 2.4.2.1 ชั้นทางฟิสิกส์ของ *Alr* (The Alr Physical layer)

ชั้นฟิสิกส์ของ *Alr* จัดระเบียบเข้าโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทำเข้ารหัส 4 PPM ด้วยอัตราเร็วฐานข้อมูล 4 Mbps หลักในการจัดเตรียม trade-off ระหว่าง อัตราเร็วข้อมูลและชนิดการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคือการใช้อัตราการทำซ้ำ (RR) อัตราเร็วข้อมูลที่มีการรับข้อมูลจาก 4 Mbps ถึง 1 Mbps ซึ่งสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ในเอกสารอ้างอิงที่ [13]

#### 2.4.2.2 ชั้น MAC ของ Ir

ชั้น Ir MAC เป็น CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) โปรโตคอลที่เข้าช่องสัญญาณกลางใช้แทนด้วยการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS/CTS โครงสร้างเฟรม Ir MAC แสดงในภาพที่ 2.6

Preamble	Sync	Robust Header	Main Body	CRC
256	160	32 RR = 16	$\leq 16416 \text{ var RR}$	32 var RR

รูปที่ 2.6 เฟรม Ir

- สนาม Preamble เป็นส่วนที่ถือข้อความเพื่อส่ง
- สนาม Sync มีข้อจำกัดในการตรวจจับและแสดงจุดเริ่มต้นที่ถูกต้องของเฟรม
- สนาม Robust Header แสดงชนิดของเฟรมและบรรจุข้อแนะนำสำหรับการควบคุมการสื่อสาร ส่วนหัวจะมีความแข็งแรงประกอบด้วย 32 บิต แต่เข้ารหัสด้วยค่ามากที่สุด 16 RR
- Main Body บรรจุข้อมูลผู้ใช้และที่อยู่และป้องกัน CRC ที่ไม่นำเสนอในเฟรม และสามารถเปลี่ยนแปลงค่า RR

เมื่อชั้น MAC มีแพ็กเก็ตข้อมูลส่งมา ระบบจะรอและสุ่มตัวเลขเพื่อกำหนดความยาวสลัดในการหลีกเลี่ยงการชน (CAS) ก่อน จากนั้นจะส่งเฟรม RTS (Request To Send) ถ้าระหว่างคาบนี้ การถือของเฟรมจากสถานีหนึ่งตรวจพบ เวลาการหลีกเลี่ยงการชนเป็นพัลส์และสถานีก็จะคอยจนกระทั่งการจ้องประสบความสำเร็จ ซึ่งก่อนนี้จะพยายามจ้องแบบต่อเนื่อง ถ้าเฟรม RTS ประสบความสำเร็จในการส่งไปยังสถานีภาครับ สถานีภาครับจะส่งเฟรม CTS (Clear to Send) ตอบกลับไปยังสถานีภาคส่ง ถ้าภาคส่งไม่สามารถรับเฟรม CTS ได้ภายในคาบที่กำหนด (ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนสถานีที่รับ-ส่งข้อมูล 2 สถานีหรือมากกว่า เลือกรหัสในช่วงของค่า CAS และแพ็กเก็ต RTS จะมีการชนเกิดขึ้น) ความพยายามในการจ้องเพื่อบรรจุลงในหน้าต่างใหม่นั้นสถานีที่มีการจ้องจะส่ง เบริสต์ (burst) ของแพ็กเก็ตข้อมูลภายในคาบการจ้องมากที่สุดคือ 500 ms ในส่วนของการสื่อสารระหว่างสถานีของ IrDA สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในเอกสารอ้างอิงที่ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเอง

### 3.1 กล่าวนำ

ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเองหรือ Self – Similar Traffic ในบทนี้เราจะกล่าวถึงทราฟฟิกข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงตัวเองโดยมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากทราฟฟิกแบบบิวของ และ จำลอง ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเองและประมาณค่าพารามิเตอร์ในการพิจารณาความสำคัญของ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณา เช่น พารามิเตอร์ Hurst [4]

### 3.2 ความคล้ายคลึงตัวเอง (Self-Similarity)

ถ้าเรากำหนดเฟรม 1 Mbps โดยเปลี่ยนค่าในแถวและกำหนดความยาวของเฟรมคงที่ที่ 4000 บิตก่อนการส่ง เวลาในการส่ง 4 ms เราจะพบว่าเวลาที่มาถึงที่ภาครับมีดังนี้

0 8 24 32 72 80 96 104 216 224 240 248 288 296 312 320 648 656  
672 680 720 728 744 752 864 872 888 896 936 944 960 968

โดยเฟรมแรกที่มาถึงที่เวลา  $t = 0$  ms และเฟรมที่เวลาถัดไปคือ  $t = 8$  ms

เป็นรูปแบบที่ยากในการมองโดยมีรูปแบบทราฟฟิกดูเหมือน bursty เราสามารถคาดเดา ทราฟฟิกข้อมูลได้ ซึ่งเวลาที่มาถึงจะเป็นกลุ่มและมีช่องว่าง(gaps) ในบางครั้ง โดยช่องว่างที่ใหญ่ ที่สุดคือ 328 ms(มาจาก 648-320 = 328) แต่ช่องว่างที่เล็กกว่านี้จะเป็นสิ่งที่ดีกว่า โดยช่องว่าง ส่วนมากจะมีค่าตั้งแต่ 40 ms หรือมากกว่า ซึ่งเวลาของเฟรมเท่ากันตั้งแต่ 10 เฟรมเวลาขึ้นไป ถ้า เราสรุปทราฟฟิกนี้และพิจารณากลุ่มของเฟรมซึ่งไม่มีช่องว่างที่ใหญ่กว่า 5 เฟรมเวลา (หรือ 20 ms) เราสามารถบันทึกกลุ่มเวลาได้ดังนี้

0 216 648 864

ในกรณีนี้มีช่องว่างดังนี้ 216-0= 216, 648-216=432, 864-648=216 (หรือ216, 432, 216) พบว่าในรูปแบบช่องว่าง 2 กลุ่มจะมีช่องว่างขนาดใหญ่อยู่ระหว่างกลาง เมื่อมองย้อนกลับไป พบว่ามี 8 กลุ่ม ที่เราจะเห็นรูปแบบที่ซ้ำๆ ซึ่งรูปแบบการมาถึงของเวลาจะมีอยู่ 4 รูปแบบ (คือ

ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่สั้น ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่ยาว ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่สั้น ข้อมูลมาถึง) การ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้  
อ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาถึงของช่วงเวลาทั้ง 4 เมื่อมองย้อนกลับไปที่ข้อมูลโดยทั่วไป กำหนดการมาถึงของข้อมูลที่ 32 เราพบว่ารูปแบบมีการซ้ำที่เวลาที่ 8 ดังนั้นโดยสรุปเรามีรูปแบบที่ปรากฏในแถวข้อมูลและความแตกต่างของชั้น จากเวลาที่ปรากฏนี้เป็นรูปแบบที่ไม่คำนึงถึงชั้นที่มีการลดทอน สิ่งนี้เป็นปัจจัยของ Self-Similarity

Self-Similarity มีแนวคิดที่สำคัญที่เป็นที่น่าประหลาดใจเมื่อมีการศึกษาการวิเคราะห์กราฟฟิการสื่อสารข้อมูลพบว่า Self-Similarity มีความสำคัญในการแสดงสิ่งที่ผ่านมา



a) ลำดับเวลาที่ข้อมูลที่มาถึง



b) ลำดับเวลาข้อมูลที่อยู่รวมกัน

รูปที่ 3.1 ภาพลำดับเวลาของกราฟฟิการคล้ายคลึงตัวเอง

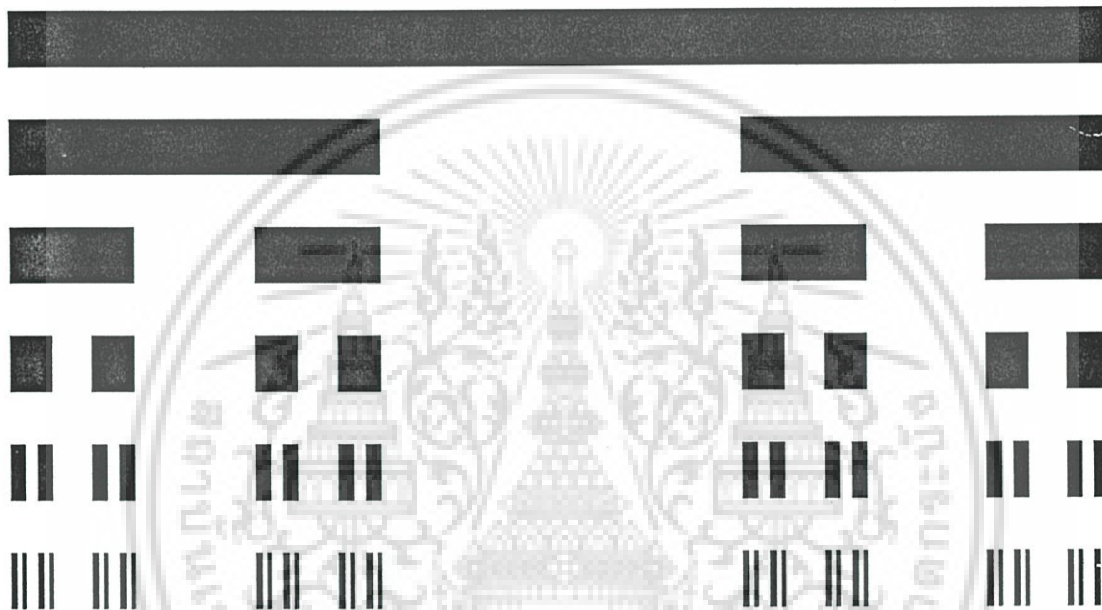
จากภาพเป็นรูปแบบความคล้ายคลึงตัวเอง (Self-Similar) ที่เมื่อดูแล้วเหมือนกันหรือมีพฤติกรรมที่เหมือนกันเมื่อมองความแตกต่างระดับชั้นโดยการขยาย หรือ ความต่างของสเกลบนมิติ ซึ่งมิตินี้จะดูระยะห่าง (ความกว้าง, ความยาว) หรือเวลา ซึ่งเกี่ยวข้องกับลำดับเวลาและการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ เป็นการแสดงกราฟฟิการคล้ายคลึงตัวเองซึ่งเกี่ยวข้องกับเวลา

รูปแบบพิจารณาดังแสดงในภาพที่ 3.1a) คือลำดับเวลาที่เฟรมมาถึงคิดที่แนวเส้นตรงหนึ่งเส้นแทน 1 เฟรม มีความกว้างเท่ากับ 4 ms แสดงเวลาที่ภาครับเฟรมทั้งหมด จากบิตแรกถึงบิตสุดท้ายภาพที่ 3.1b) แสดงข้อมูลที่มีการรวมกันเป็น 4 กลุ่มขนาดใหญ่ ความสูงและความกว้างของเส้นที่ตั้งตรงในเวลาที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนของสเกลเวลา ภาพนี้มีรูปแบบอย่างง่ายในการมองความแตกต่างที่มีการกระจายของข้อมูล (คือ ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่สั้น ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่ยาว ข้อมูลมาถึง ช่องว่างที่สั้น ข้อมูลมาถึง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลนี้ทำขึ้นโดยใช้แบบอย่างจากการกำหนดกลุ่มที่มีรูปแบบเหมือนไม่มีความเป็นระเบียบ, แฟร็กทัล (fractals) และความไม่เป็นเส้นตรงของไดนามิกส์ซึ่งได้อธิบายในภาพที่ 3.2 เป็นโครงสร้างที่เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายเป็นกฎได้ดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยแถบช่วงเวลาที่เป็นที่อธิบายเป็นเส้นตรงระหว่าง [0,1]
2. แบ่งเส้นออกเป็น 3 ส่วน และลบเส้นช่วงตรงกลางออก
3. นำเส้นที่เหลือมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน และลบเส้นช่วงกลางออก ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 3.2 แสดงกลุ่มของเส้นเวลาที่ถูกแบบออกเป็น 5 ระดับ

เมื่อกำหนด  $S_i$  แทนกลุ่มที่ระดับ  $i$  จะมีผลลัพธ์ดังนี้

$$S_0 = [0, 1] \tag{3.1}$$

$$S_1 = [0, 1/3] \cup [2/3, 1] \tag{3.2}$$

$$S_3 = [0, 1/9] \cup [2/9, 1/3] \cup [2/3, 7/9] \cup [8/9, 1] \tag{3.3}$$

จากภาพที่ 3.2 จะเห็นรูปแบบกลุ่มของเส้นเวลา จะมีรูปแบบคล้ายคลึงตัวเองซึ่งมีรูปแบบที่จำลองแบบมาจากกลุ่มข้อมูลก่อนหน้านี้โดยปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ดังนี้

1. ที่โครงสร้างสเกลเล็กๆ ถ้าเราขยายส่วนจะพบการทำซ้ำ ๆ เราจะพบรูปแบบที่จุดแยกออกมาโดยช่วงว่าง ขนาดของค่าต่างๆ คล้ายกับมีการแทรกที่รอยต่อในรูปแบบ "ล้อภายในล้อ" มี

โครงสร้างที่เหมือนกับไม่มีจุดสิ้นสุด เมื่อเรามองเห็นความเรียบที่ต่อเนื่องภายใต้การขยายที่ซ้ำๆ การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างที่เป็นรูปแบบที่ซ้ำ เป็นโครงสร้างความคล้ายคลึงตัวเองที่มีแบบจำลองตัวเองที่เล็กกว่าที่สเกลทั้งหมด จากตัวอย่างดังกล่าว พบว่าลำดับทุกลำดับ กลุ่มของส่วนทางซ้าย และทางขวามีการกระทำซ้ำที่เด่นชัด

มันเป็นคุณสมบัติที่ไม่มีข้อกำหนดเมื่อเป็นปรากฏการณ์ที่น่าประหลาดใจ จุดบางจุดภายใต้การขยายโครงสร้างและความคล้ายกันเมื่อระบบเกิดความล้มเหลว แต่สเกลระยะทางที่มีขนาดใหญ่ทำให้เห็นปรากฏการณ์ที่น่าประหลาดใจที่มีความคล้ายกัน

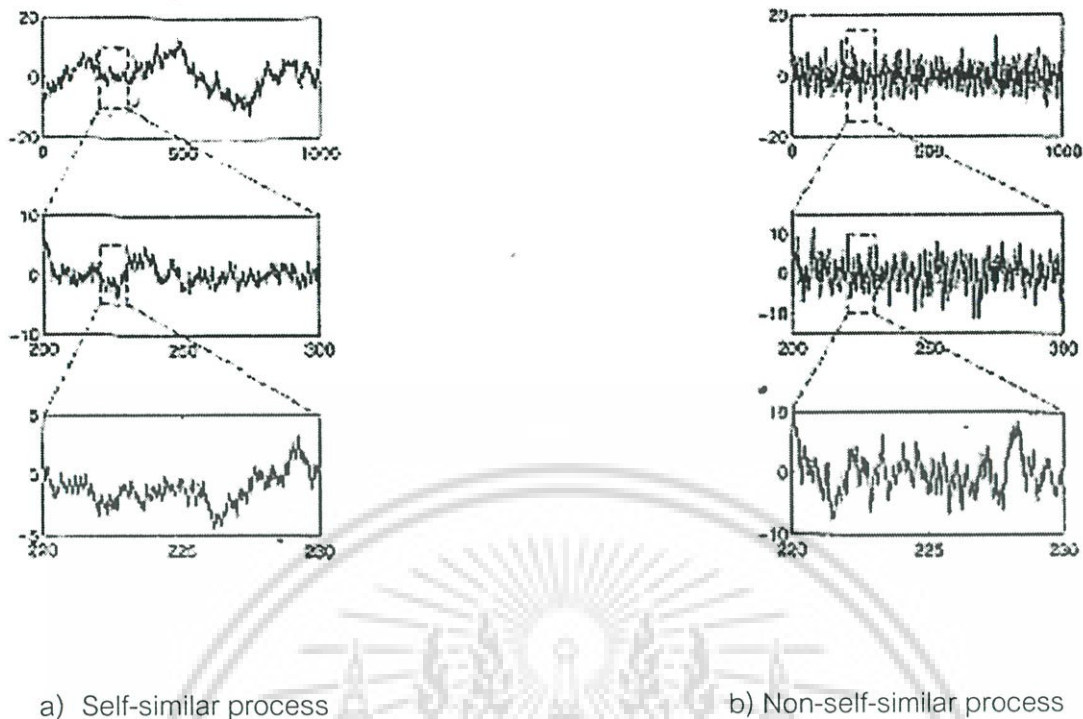
ถึงแม้ว่าจะได้มีการทำตัวอย่าง เพื่อให้เกิดความเข้าใจทราฟฟิกข้อมูลคล้ายคลึงตัวเอง ลักษณะนี้พบมากเมื่อมองเป็นจุดๆ ในโครงข่ายที่เป็นกลุ่มเมื่อเป็นลักษณะทราฟฟิกแบบบิวของ กลุ่มลักษณะนี้จะมีช่วงสั้นๆ (ที่สเกลเวลาเล็กๆ) แต่ทราฟฟิกคล้ายคลึงตัวเองจะเป็นลักษณะช่วงยาว เราสามารถออกแบบระบบที่เซอร์เวอร์และการจัดคิวในบัฟเฟอร์ที่คาดหมายได้ว่าจะให้ราบเรียบในช่วงยาวๆ

### 3.3 Self-Similar Data Traffic

ความคล้ายคลึงตัวเองมีโครงสร้างเป็นมิติเวลา ทราฟฟิกที่ดีจะอยู่ในรูปสถิติและเราสามารถจะกล่าวถึงสถิติความคล้ายคลึงตัวเองได้ มิติสัญญาณคาบมีลักษณะที่เหมือนกันโดยเวลาการส่งซ้ำ ๆ ที่ไม่เปลี่ยนแปลง สัญญาณจะเหมือนกันถ้าส่งในเวลาเดียวกันบนคาบของสัญญาณ ฟังก์ชันคาบมิติแทน  $g(t)$  คาบสัญญาณแทนด้วย  $T$

$$g(t) = g(t + aT) \quad a = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.4)$$

จากสถิติที่ได้จากการสังเกต กระบวนการนี้ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่มีการส่ง เวลาที่เป็นอิสระและฟังก์ชันออโต้คอร์เรลชันจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเวลา สัญญาณที่คล้ายคลึงตัวเองเป็นสัญญาณที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อสเกลเปลี่ยน ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่าในทางสถิติจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเมื่อสเกลเวลาเปลี่ยนระหว่างคุณภาพของสัญญาณต่อสัญญาณ ผลผลิตของสเกลไม่เหมือน จะมีคุณสมบัติของผลผลิตเฉลี่ยในช่วงสั้นๆ ซึ่งมีความคล้ายกับช่วงยาวๆ ความคล้ายคลึงตัวเองเป็นสิ่งที่ไม่สามารถวัดได้ในธรรมชาติและในปรากฏการณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น มันเป็นธรรมชาติที่อยู่ใน แผ่นดินไหว คลื่นทะเล การไหลที่แปรปรวน การเปลี่ยนแปลงจำนวนสินค้าในตลาด และรูปแบบความผิดพลาดนี้เป็นรูปแบบทราฟฟิกข้อมูลการสื่อสารในช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ภาพเปรียบเทียบผลข้อมูลที่ผ่านมาเข้ามาในระบบเมื่อทำการขยายสเกลระหว่างกราฟฟิก ข้อมูลที่เป็น Self-similar และกราฟฟิกข้อมูลที่เป็น Non-self-similar

จากรูปที่ 3.3a) เป็นตัวอย่างทางสถิติของผลผลิตจากความคล้ายคลึงตัวเอง ฟังก์ชันที่มีการบันทึกจะแสดงความไม่แน่นอนที่สเกลเวลาที่แตกต่าง แต่คลื่นที่สเกลเวลาที่แตกต่างกันจะมีความคล้ายคลึงกับส่วนอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 3.3b) ซึ่งเป็นภาพที่แสดงตัวอย่างการผลิตในทางสถิติ ในกรณีนี้เราจะเห็นว่าเมื่อสเกลเวลาย่อยๆ ลงหรือเมื่อมีการขยายฟังก์ชันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ภาพที่ 3.3a) เป็นภาพการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีความสม่ำเสมอ ตรงกันข้ามกับภาพที่ 3.3b) เมื่อเรามองที่สเกลเวลาระยะยาว สัญญาณที่เห็นแสดงฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงที่น้อยกว่า และมีความเป็นระเบียบมากกว่า

### 3.4 การกำหนดความต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-Time Definition)

การกำหนดผลผลิตจากความคล้ายคลึงตัวเองทางสถิติ อยู่บนพื้นฐานของสเกลทางตรง บนความต่อเนื่องทางเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลง พบว่าในทางสถิติแล้วผลผลิต  $x(t)$  คือสถิติความคล้ายคลึงตัวเองที่ค่าพารามิเตอร์  $H(0.5 \leq H \leq 1)$  ถ้า  $a > 0$  จะผลผลิต  $a^{-H} x(at)$  มีสถิติที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ  $x(t)$  ซึ่งความเกี่ยวข้องสามารถแสดงได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1. \quad E|x(t)| = \frac{E|x(at)|}{a^H} \quad \text{Mean} \quad (3.5)$$

$$2. \quad \text{Var}|x(t)| = \frac{\text{Var}|x(at)|}{a^{2H}} \quad \text{Variance} \quad (3.6)$$

$$3. \quad R_x(t,s) = \frac{R_x(at,as)}{a^{2H}} \quad \text{Autocorrelation} \quad (3.7)$$

พารามิเตอร์  $H$  หรือ พารามิเตอร์เฮิร์สต์ (Hurst) หรือพารามิเตอร์ความคล้ายคลึงตัวเองเป็นเครื่องวัดความคล้ายคลึงตัวเองที่แน่นอน  $H$  เป็นเครื่องมือวัดที่แน่นอนทางสถิติในปรากฏการณ์ต่าง ๆ และเป็นเครื่องวัดความยาวของระยะทางที่ยาว (Long-range) ที่ขึ้นอยู่กับผลผลิตทางสถิติ ค่า  $H = 0.5$  แสดงความไม่คล้ายคลึงตัวเอง ซึ่งค่า  $H$  มีค่าไม่เกิน 1

เมื่อพิจารณาผลผลิต FBM (Fraction Brownian Motion) เนื่องจากผลของ FBM เป็นความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์กราฟฟิสิกข้อมูลคล้ายคลึงตัวเอง ผลของ FBM แทนค่าด้วย  $B_H(t)$

$$B_H(t) = Xt^H \quad (t > 0; 0.5 \leq H < 1) \quad (3.8)$$

### 3.5 Long-Range Dependence

คุณสมบัติหนึ่งที่แสดงผลจากความคล้ายคลึงตัวเองขึ้นกับระยะทางที่ยาว (Long-range Dependence) คุณสมบัตินี้แสดงในรูปของโควาเลี่ยน (Autocovariance) แทนค่าด้วย  $C(\tau)$  ซึ่งทำให้ค่า  $\tau$  เพิ่มขึ้น

ผลผลิตส่วนมากมีค่าความหน่วงของออโต้โควาเลี่ยนที่รวดเร็วเนื่องจากค่า  $\tau$  จากผลผลิตของบิวของเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า  $\tau$  และค่า  $L$  เพิ่มขึ้น

$$C(\tau) = R(\tau) - \lambda^2 = \lambda^2 - \lambda^2 = 0 \quad (3.9)$$

โดยทั่วไปผลผลิตที่ขึ้นกับระยะทางที่สั้น (Short-range Dependent) มีสภาพของความหน่วงออโต้โควาเลี่ยนที่น้อยซึ่งเร็วในรูปแบบ เอ็กโปเนนเชียล (Exponentially)

$$C(k) \sim a^{|k|} \quad \text{ซึ่ง} \quad |k| \rightarrow \infty \quad 0 < a < 1 \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า  $\sim$  แสดงอยู่บนขนาดสองส่วนที่เป็นสัดส่วนของ Asyptotically ไปยังค่าอื่นๆ ชนิดของโมเดลกราฟฟิกเป็นชนิดที่พิจารณาในการใช้ขึ้นกับผลผลิตระยะทางที่สั้น

$$\sum_{k=0}^x x^k = \frac{1}{1-x} \quad |x| < 1 \quad (3.11)$$

เมื่อมีการทดลองพบว่าค่า  $\sum_k C(k)$  มีขอบเขตจำกัด

เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ขึ้นกับระยะทางที่ยาว จะมีความหน่วงออกได้ไควาเลียนเป็นไฮเปอร์โบลิก (Hyperbolically)

$$C(k) \sim |k|^{-\beta} \quad \text{ซึ่ง} \quad |k| \rightarrow \infty \quad \text{โดย} \quad 0 < \beta < 1$$

$\beta$  คือพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงต้นและเกี่ยวข้องกับ Hurst Parameter ซึ่ง

$$H = 1 - \frac{\beta}{2} \quad \text{ในกรณีที่} \quad C(k) = \infty \quad (3.12)$$

การขึ้นกับระยะทางที่ยาวเกิดขึ้นเป็นปรากฏการณ์ในผลผลิตความคล้ายคลึงตัวเอง ค่า คลัสเตอร์ (Cluster) และ Bursty อยู่ที่สเกลของเวลา

### 3.6 การกระจายแบบยาว ๆ (Heavy-Tailed Distributions)

สิ่งสำคัญของกราฟฟิกข้อมูลแบบคล้ายคลึงตนเองมี 3 แบบ คือ 1). เทอมของลำดับเวลารวมทั้งหมด 2.) ขึ้นกับช่วงเวลายาว (Long-Range Dependence) 3.) กำลังสเปกตรัม (Power Spectra) ต้องจัดเตรียมให้เท่ากันตามข้อกำหนด สัญลักษณ์ที่แตกต่างในบางอย่างในเทอมของการกระจายแบบยาว ๆ เป็นจุดสำคัญ มีความเป็นไปได้ที่จะกำหนดโครงสร้างสถิติด้วยการกระจาย แม้ว่าชั้นของโครงสร้างที่กำหนดเป็นมีส่วนประกอบที่มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด การกระจายแบบยาว ๆ สามารถที่จะใช้สัญลักษณ์ความน่าจะเป็นอธิบาย โครงสร้างของกราฟฟิกช่วงเวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตและความยาว burst

การกระจายเมื่อมีการสุ่มให้เป็นค่า  $X$  ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยาวถ้า

$$1 - F(x) = \Pr[X > x] \quad (3.13)$$

โดย 
$$1 - F(x) \approx \frac{1}{x^\alpha} \quad (3.14)$$

ซึ่ง  $x \rightarrow \infty$  และ  $0 < \alpha$

โดยทั่วไปแล้วการสุ่มตัวแปรที่มีการกระจายแบบยาว เป็นสิ่งแสดงตัวแปรที่ไม่มีที่สิ้นสุด โดยการกระจายที่ยาวจะเป็นการกระจายแบบพारेโต (Pareto Distribution) ด้วยพารามิเตอร์  $k$  และพารามิเตอร์  $\alpha$  ซึ่ง  $(k, \alpha > 0)$  ด้วยการอธิบายฟังก์ชัน

$$f(x) = F(x) \quad (3.15)$$

โดย  $F(x) = 0$  ซึ่ง  $(x \leq k)$

และ 
$$f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha+1} \quad (3.16)$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad (3.17)$$

โดย  $(x > k; \alpha > 0)$

และโดยหลักใหญ่แล้ว

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha - 1} k \quad (3.18)$$

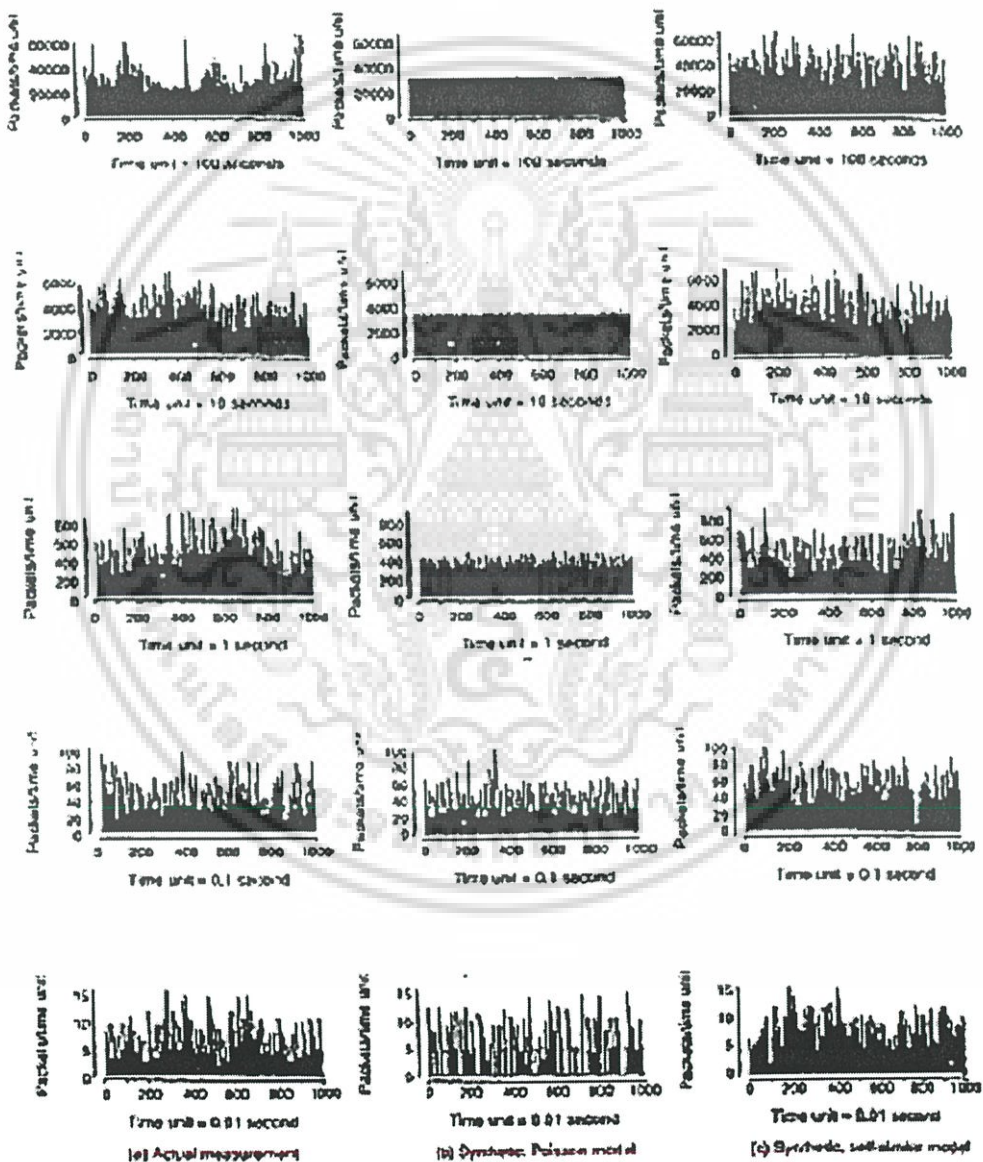
โดย  $(\alpha > 1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์  $k$  มีลักษณะที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อมีการสุ่มค่า พารามิเตอร์  $\alpha$  จะเป็นตัวแปรหลักที่กำหนดค่าการสุ่มถ้า  $\alpha \leq 2$  การกระจายจะได้ตัวแปรไม่สิ้นสุด

### 3.7 การสเกลเวลา

เมื่อมีข้อมูลเข้ามาในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รูปแบบการเข้ามาของข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายกราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยแสดงได้ดังภาพ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพเปรียบเทียบกราฟฟิกของอินเทอร์เน็ตที่เกิดขึ้นจริงและกราฟฟิกที่สังเคราะห์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เป็นภาพมาจากการเก็บข้อมูลของ Leland [4] ระหว่างปี 1989 และปี 1992 เก็บกราฟฟิกระยะเวลาเป็น 20 และ 40 ชั่วโมง ได้ผลรวมข้อมูลมากกว่า 100 ล้านแพ็กเก็ต จากโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่เบลคอลล (Bellcore) ภาพดังกล่าวแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใช้กราฟฟิกระยะเวลาแบบคล้ายคลึงตัวเองและกราฟฟิกระยะเวลาแบบยาวของที่สังเคราะห์ขึ้น จากภาพพบว่าการสังเคราะห์กราฟฟิกระยะเวลาแบบยาวของที่ High Resolution (Unit time=0.1 วินาที) กราฟฟิกระยะเวลาแบบยาวจะมีความแตกต่างกับกราฟฟิกระยะเวลาจริงเมื่อเพิ่ม Time scale ให้ยาวขึ้นรูปแบบกราฟฟิกระยะเวลาแบบยาวจะราบเรียบ แต่กราฟฟิกระยะเวลาแบบคล้ายคลึงตัวเองจะไม่ราบเรียบซึ่งกราฟฟิกระยะเวลาแบบคล้ายคลึงตัวเองจะมีความคล้ายคลึงกับกราฟฟิกระยะเวลาจริงมากกว่าแบบยาวของที่ time scale ต่างๆ การสังเคราะห์กราฟฟิกระยะเวลาแบบ Self-Similar จะมีความคล้ายคลึงตัวเองคล้าย กับกราฟฟิกระยะเวลาจริง ดังนั้น "Time Scaling" จัดเป็นคุณสมบัติหนึ่งของกราฟฟิกระยะเวลาแบบคล้ายคลึงตัวเอง

สาเหตุที่รูปแบบกราฟฟิกระยะเวลาแบบยาวของมีลักษณะราบเรียบเมื่อสเกลมากขึ้นเนื่องมาจากไม่สามารถแยกสัญญาณรบกวนขาว (White Noise) ได้ โดยรูปแบบของกราฟฟิกระยะเวลาแบบคล้ายคลึงตัวเองจะคล้ายกับกราฟฟิกระยะเวลาจริงมากกว่า

### 3.8 การกำเนิดช่วงเวลากการเข้ามาถึงของเซลล์

เราสามารถสร้างการกำเนิดช่วงเวลาระหว่างการเข้ามาถึงของเซลล์ที่ใช้การกระจายแบบพาเรโตได้ได้โดยการแปลงผกผันกลับของฟังก์ชันการกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Random number) โดยให้เท่ากับ  $x$  โดยอยู่ในช่วง  $0.001 < r < 0.999$  และการแปลงผกผันกลับของฟังก์ชันการกระจายสะสมแบบสุ่มของตัวแปร  $x$  ด้วย  $F(x)$  จะได้ว่า  $F(x) = x$  การแปลงผกผันกลับของฟังก์ชันการกระจายแบบสะสมคือ  $x = F^{-1}(r)$  และจากสมการที่ (3.17) จะได้การแปลงผกผันกลับของฟังก์ชันการกระจายแบบสะสมดังสมการที่ (3.19)

$$x = \frac{k}{(1-r)^{1/\alpha}} \quad (3.19)$$

## บทที่ 4

# แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์ระบบ

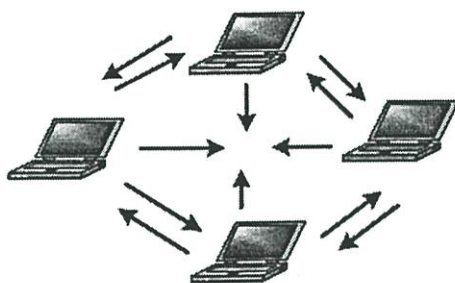
### 4.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และพัฒนาความเร็วในการส่งข้อมูลให้ได้ปริมาณและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การใช้ระบบอินฟราเรดเป็นคลื่นพาสส์ กำลังได้รับความนิยมอันเนื่องมาจาก การออกแบบในการติดตั้งกับอุปกรณ์ทำได้ง่าย ราคาถูก สามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ติดตั้งระบบอินฟราเรดได้ง่าย เหมาะกับการสื่อสารภายในอาคาร หรือสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด สามารถป้องกันการถูกดักฟังขณะสื่อสารระหว่างกัน เนื่องจากคลื่นอินฟราเรดไม่สามารถผ่านทะลุกำแพง หรือวัตถุทึบแสงได้ ทำให้การถ่ายต่อออกแบบสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร [6]

มาตรฐานของอินฟราเรดถูกพัฒนาโดยสมาคม IrDA (The Infrared Data Association) โดยกำหนดมาตรฐานโปรโตคอลเข้าช่องสัญญาณกลาง Air (MAC-Air) เพื่อใช้ในการสื่อสารทางอินฟราเรดแบบ Nondirected Multiple Access โดยโครงข่ายโปรโตคอล MAC (Media Access Control) เป็นแบบ CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) ที่มีการใช้ช่องสัญญาณโดยใช้แพ็กเก็ตสื่อสารแบบ RTS /CTS (Request to Send / Clear to Send) ในการติดต่อเพื่อเตรียมส่งเฟรมแพ็กเก็ตข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งโครงสร้างเฟรมแสดงในรูปที่ 4.1 โดยการจำลองแบบการสื่อสารด้วยคลื่นอินฟราเรดในนี้นำเสนอในรูปแบบโครงข่าย broadcast [7] ดังแสดงในรูปที่ 4.2

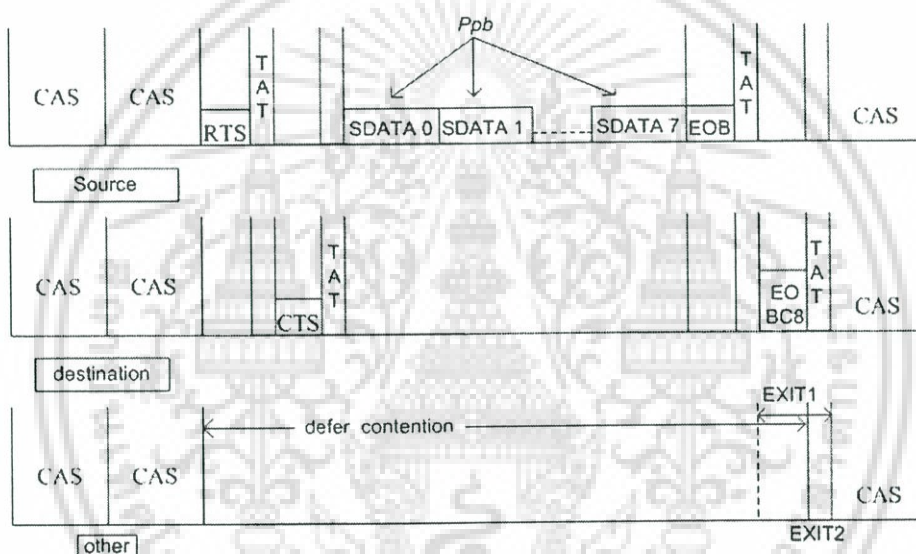
Pream	Sync	Rooust header	Main body	CRC
256 bits	160 bits	32 bits	Variable length, not always present	
RR = 1	RR=1	RR=16	Variable RR, not always present	

รูปที่ 4.1 โครงสร้างเฟรม Air



รูปที่ 4.2 รูปแบบโครงข่าย Air แบบ Broadcast

## 4.2 โมเดลการทำงานของ Air-MAC



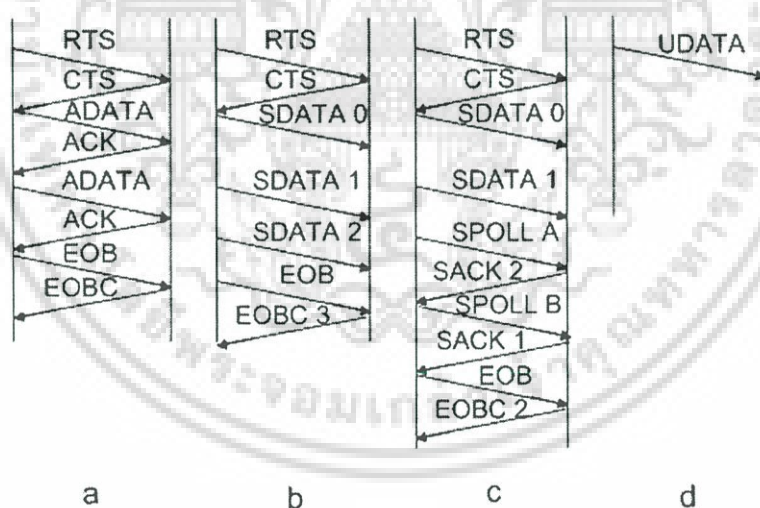
รูปที่ 4.3 ภาพการจองช่องสัญญาณและการส่งข้อมูล

IrDA MAC (IrDA proposed the Advanced Infrared Media Access Control) คือการจัดการข้อมูลที่มีการส่ง และจัดเก็บเข้าช่องกลาง โมเดลในการส่งและจัดเก็บข้อมูลแสดงในภาพที่ 4.3 ข้อมูลของผู้ใช้ที่สถานีคนแรกจะอยู่ช่องสัญญาณกลาง คาบของระบบอยู่ในรูปสลิต สถานีภาคส่งและภาครับจะยอมให้ข้อมูลมายังช่อง CAS (CAS = Collision Avoidance Slot) สถานีภาคส่งจะทำการเลือกตัวเลข Back off ของ CAS เพื่อไปห้วงในชั้นที่มีความน่าจะเป็นในการชนน้อยที่สุด ระยะห่างของ Back off จะเป็นการกำหนดช่วงเวลาของ CAS ที่ CW (CW=Contention window) ขนาดความกว้างขึ้นกับจำนวนการจองที่ประสบความสำเร็จและผ่านการชนโดยสถานีภาคส่ง ถ้าในระหว่างการห้วงคาบอีกคาบเพื่อส่ง จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา CAS จะหยุดและเริ่มต้นใหม่เมื่อการจองสิ้นสุดลงและการช่วงชิงคาบถัดไปเริ่มต้นขึ้น เมื่อช่วงเวลา CAS เข้าถึงที่ศูนย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีภาคส่งจะพยายามจองช่องสัญญาณและส่งแพ็กเก็ต RTS. เวลาที่ใช้จองเราเรียกว่า RT (RT=Reservation Time) สถานีภาครับจะคอย TAT (TAT = Turn Around Time) ที่น้อยที่สุด เพื่อยอมให้สถานีภาครับทำการส่งข้อมูลเพื่อกู้ข้อมูลและตอบกลับด้วยแพ็กเก็ต CTS คาบในการจองเป็นสัญญาณสะท้อนในสนาม RT ของแพ็กเก็ต CTS ดังนั้นสถานีภาครับจะสามารถรับแพ็กเก็ต RTS อย่างเดียวหรือส่งแพ็กเก็ต CTS อย่างเดียว

หลังจากประสบความสำเร็จในการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ต RTS / CTS ภาคส่งจะคอยการหน่วง (Delay) จาก TAT การส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจึงเกิดขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลภาคส่งจะส่งแพ็กเก็ต End-of-Burst (EOB) และรอรับแพ็กเก็ต End-of-Burst-Confirm (EOBC) จากภาครับ ซึ่งเป็นการจองช่องสัญญาณเป็นขั้นตอนสุดท้าย

ขั้นการจัดการการส่งของ Air (LM= Link Manager) Air เป็นการจองเพื่อเพิ่มขนาด CW การเลือกค่า CW ควรเลือกค่า CW ให้เหมาะสมกับขนาดโครงข่ายปัจจุบันและภาวะโครงข่ายบนฐาน การจองสถานีจะเป็นความสำเร็จหรือไม่ขึ้นกับขนาดของ CW หากค่า CW เล็กๆ จะให้ผลในความน่าจะเป็นในการชนสูงและเมื่อค่า CW มีขนาดใหญ่จะทำให้จำนวนที่ว่างในช่องการหลีกเลี่ยงการชนหรือ CAS มีขนาดใหญ่ โดยคำอธิบายสามารถศึกษาได้เอกสารอ้างอิง [8]



รูปที่ 4.4 โหมดการส่งข้อมูลของการเข้าช่องสัญญาณกลางของ Air (Air MAC)

จากภาพ 4.4a สถานีส่งทำการส่งเฟรม RTS เพื่อแสดงความต้องการที่จะส่งข้อมูล ไปยังสถานีรับ และเมื่อสถานีภาครับรับเฟรมจากสถานีส่งแล้วจะส่งเฟรม CTS ตอบกลับเพื่อแสดงความหมายว่าช่องสัญญาณว่างและพร้อมที่จะรับข้อมูล สถานีส่งจึงทำการส่งเฟรมข้อมูล ADATA (Acknowledgment Data Frames) และเมื่อสถานีภาครับรับข้อมูลถูกต้องจะตอบกลับด้วยเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACK (Acknowledgment) และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลสถานีส่งจะส่งเฟรม EOB และเมื่อสถานีรับข้อมูลได้แล้วจะตอบกลับมาด้วยเฟรม EOBC โดยในที่นี้การส่งและรับเฟรมกระทำครั้งละเฟรม จากภาพ 4.4b สถานีส่งสามารถส่งข้อมูลในรูปแบบ SDATA (Sequenced Data Frames) โดยไม่ต้องรอการตอบรับจากสถานีภาครับครั้งละเฟรมแบบภาพ 4.4a การส่งจะส่งเฟรมข้อมูลไปทั้งหมดและปิดท้ายด้วยการส่ง เฟรมข้อมูล EOB เพื่อยุติการส่ง เมื่อสถานีรับสามารถรับข้อมูลได้ทั้งหมดแล้วจะส่งเฟรม EOBC3 กลับมาเพียงครั้งเดียวหมายถึงสามารถรับเฟรมข้อมูลมาได้ทั้งหมดและตอบรับการหยุดการส่งเฟรมข้อมูล

จากภาพ 4.4c มีการส่งข้อมูล SDATA มา 2 เฟรมและต้องการการตอบรับการเก็บเฟรมข้อมูล จากสถานีภาครับจึงส่งเฟรมข้อมูลชนิด SPOLL A (Sequenced Polling) ไปยังสถานีภาครับ สถานีภาครับจะตอบรับการเก็บ เฟรมข้อมูลด้วยสัญญาณ SACK 2 (Sequenced Acknowledgment) คือการตอบรับเก็บเฟรมข้อมูลครั้งสุดท้ายที่ส่งมา เมื่อมีการส่งเฟรมข้อมูล SPOLL B จากสถานีส่ง สถานีภาครับจะส่งเฟรม SACK1 หมายถึงสามารถรับเฟรมข้อมูลที่ส่งมาในครั้งแรกเมื่อต้องการยกเลิกการส่งเฟรมข้อมูล สถานีภาคส่งจะทำการส่งเฟรมข้อมูล EOB และสถานีรับจะส่งเฟรมข้อมูล EOBC 2 หมายถึงการตอบรับการยกเลิกการส่งเฟรมข้อมูลแล้ว

จากภาพ 4.4d คือไม่มีการจองในช่องสัญญาณ แต่การหลีกเลี่ยงการชนยังมีอยู่สถานีส่งจะส่งเฟรมข้อมูล UDATA ไปยังสถานีภาครับ เพื่อให้ชั้น layers ที่สูงกว่าในโปรโตคอลให้มีการส่งการจองช่องสัญญาณอีกครั้งถ้าเฟรมมีการสูญเสียจากการชนหรือการส่งที่ผิดพลาด

ความแตกต่างระหว่างระหว่างโปรโตคอล Air และ โปรโตคอล W-LAN 802.11 โดยสรุป คือ [9]

- โปรโตคอล MAC 802.11 สนับสนุนชั้นทางฟิสิกส์ซึ่งเพิ่มมาจากอินฟราเรด ส่วนโปรโตคอล Air เป็นการออกแบบเป็นพิเศษสำหรับการใช้อินฟราเรด
- อัตราการส่งข้อมูลของโปรโตคอล 802.11 อยู่ที่ 2 Mbit/s ส่วนของโปรโตคอล Air มีอัตราการส่งข้อมูล 4 Mbit/s
- การส่งของ MAC 802.11 ส่งที่ 1 แพ็กเก็ตข้อมูลต่อการจองช่องในหนึ่งคาบ แต่ Air MAC สามารถส่งช่วง burst ของแพ็กเก็ตที่มีการจองในช่วงเวลาที่มากกว่า 500 ms
- MAC 802.11 ใช้การบรรจุลงช่องหน้าต่างที่เกิดการ Back-off แบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential) ส่วน Air MAC ใช้การบรรจุเป็นลักษณะ Linear เข้าในสล็อต CAS
- MAC 802.11 ใช้การกระจายที่ช่องว่าง ระหว่างเฟรม (DIFS) เป็นตัวกำหนดถ้าช่องไม่ว่างก่อนที่จะมีการใส่แพ็กเก็ต ส่วนของโปรโตคอล Air MAC จะกระทำที่สถานีก่อนที่จะมีการบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การออกแบบโปรแกรมจะจำลองโครงข่าย CSMA/CA แบบ Nonpersistent ใช้ภาษาซีในการจำลองระบบ โดยกำหนด

- อัตราการส่งแพ็กเก็ตอยู่ที่ 4 Mbps
- โดยกำหนดให้ความยาวของแพ็กเก็ตคือ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต
- สถานีที่ต้องการส่งแพ็กเก็ต 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี

เพื่อศึกษาค่าการหน่วงเวลา (Delay) ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization)

จากภาพไฟลวซาร์ตในรูปที่ 4.5 เริ่มต้นโดยมีข้อมูลเข้ามาในระบบ ระบบจะทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์และสุ่มเลือกตัวเลข ข้อมูลที่เข้ามาในระบบ จากนั้นระบบจะเพิ่มขนาดคิว หากขนาดคิวว่างเฟรมข้อมูลจะถูกส่งมายังช่องสัญญาณกลาง หากช่องสัญญาณกลางว่างข้อมูลจะถูกพักและรอหน่วงในระยะเวลา IFS (Interframe Space) หากช่องสัญญาณการส่งว่างการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นที่ หากช่องสัญญาณกลางและช่องสัญญาณการส่งไม่ว่างข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อรอการส่งข้อมูลครั้งต่อไป การรอการส่งมีช่วงการหน่วงเวลาเท่ากับ IFS รอจนช่องสัญญาณการส่งว่าง การส่งในรูปแบบเอกซ์โปเนนเชียลจึงเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูล ระบบจะทำการลดขนาดของคิวลง การคำนวณค่าความหน่วงจึงเกิดขึ้น หากมีแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งข้อมูลอีก ระบบจะเริ่มทำงานอีกครั้งจนกว่าการส่งเฟรมข้อมูลจะหมดและการคำนวณผลจากระบบจึงเกิดขึ้น เป็นการสิ้นสุดการจำลองระบบ

#### 4.4 โมเดลการคำนวณช่องที่ใช้งาน (Channel Utilization) [10]

โดยประสิทธิภาพของระบบแทนค่า  $U$

$$U = \frac{S}{R} \quad (4.1)$$

$S$  = คือค่าวิสัยสามารถที่แสดงจำนวนผู้ใช้ ที่อยู่ใน LAN (บิต / วินาที)

$R$  = อัตราการส่ง (บิต/วินาที)

และกำหนด

$$S = \frac{P_L}{(P_L / R) + P} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$P_L / R =$  เวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (วินาที) โดย  $P_L =$  ความยาวแพ็กเก็ต (บิต)

$P =$  ค่าความหน่วงของสัญญาณ

$$\text{ดังนั้น} \quad U = \frac{P_L}{P_L + RP} \quad (4.3)$$

$$\text{และกำหนดค่าเรโซ (Ratio)} \quad \alpha = \frac{RP}{P_L} \quad (4.4)$$

ซึ่ง  $RP =$  ความยาวของข้อมูลที่ผ่านมา ดังนั้น  $U = \frac{1}{1 + \alpha}$  ซึ่งค่า  $\alpha$  จะมีค่าอยู่ช่วง 0.01 ถึง 0.1

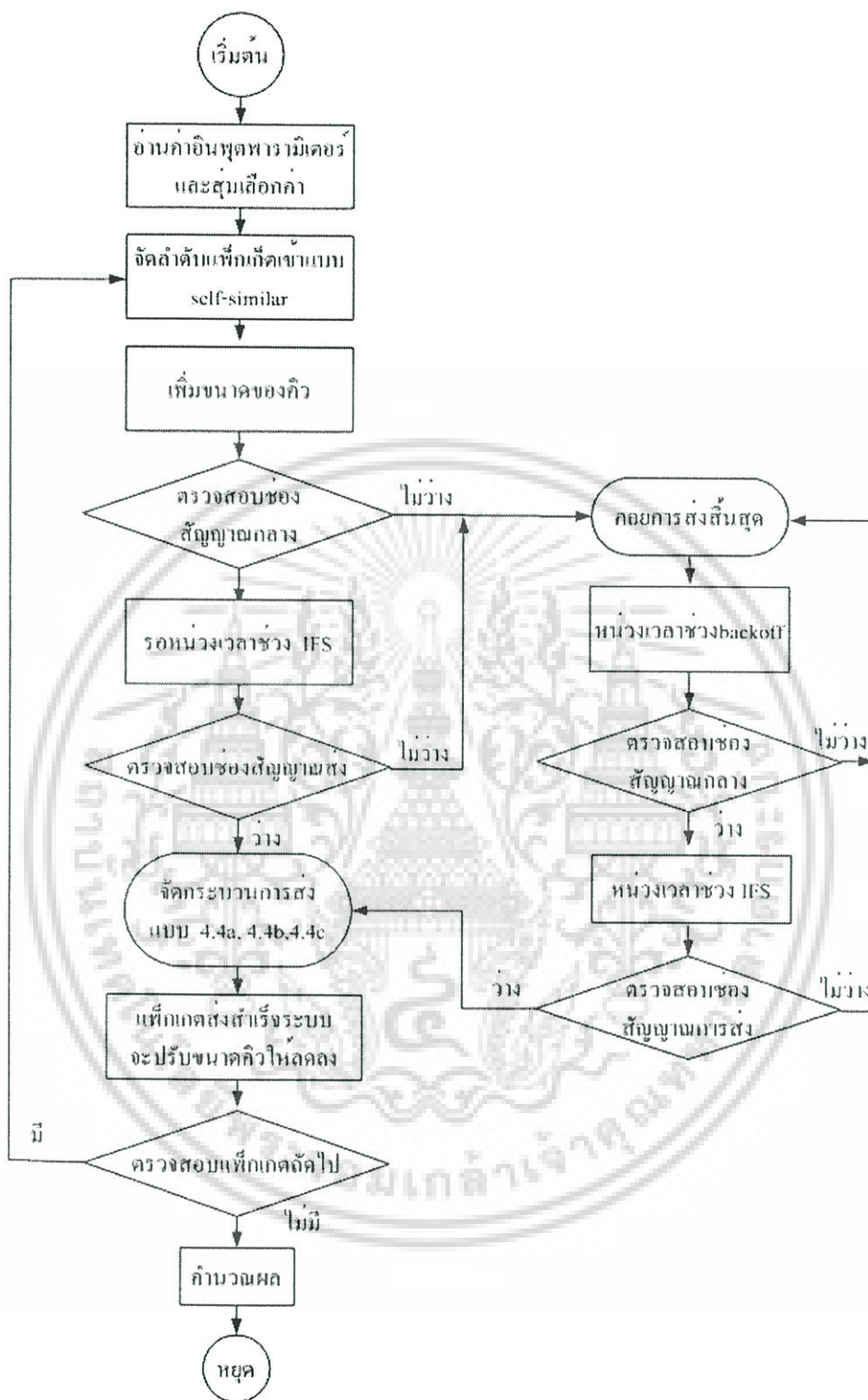
#### 4.5 การจำลองระบบเมื่อมีการส่งข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ

การส่งข้อมูลโดยผ่านระบบอินฟราเรดใช้โปรโตคอล CSMA/CA แบบ Nonpersistent ในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดง ในภาพ 4.4 จำลองระบบโดยใช้ภาษาซีในการจำลองระบบ โดยพิจารณาภาพจำลองการส่งและรับข้อมูล และกำหนดค่าที่ใช้ในการจำลองระบบดังนี้

- ความยาวแพ็กเก็ต 1500 บิต
- อัตราการส่งแพ็กเก็ต 4 Mbps
- PHY header = 128 bits
- ACK = 112 bits + PHY header = 240 bits
- RTS = 160 bits + PHY header = 288 bits
- CTS = 112 bits + PHY header = 240 bits
- TAT = 29  $\mu\text{s}$
- EOB = 288 bits
- EOBC = 240 bits
- SPOLL = 300 bits
- ช่วงเวลา CAS = 800  $\mu\text{s}$
- ช่วงเวลาการชน = 417  $\mu\text{s}$

จากข้อมูลเหล่านี้ได้นำมาจำลองระบบแสดงการรับส่งข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.4 เพื่อดูประสิทธิภาพของแต่ละระบบเมื่อนำมาใช้งาน โดยรูปแบบการเข้าและออกข้อมูลเหมือนกัน แต่ส่วนที่แตกต่างกันคือ การรับส่งข้อมูลของแต่ละแบบ

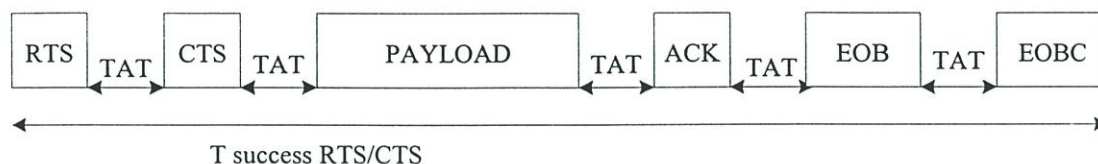
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



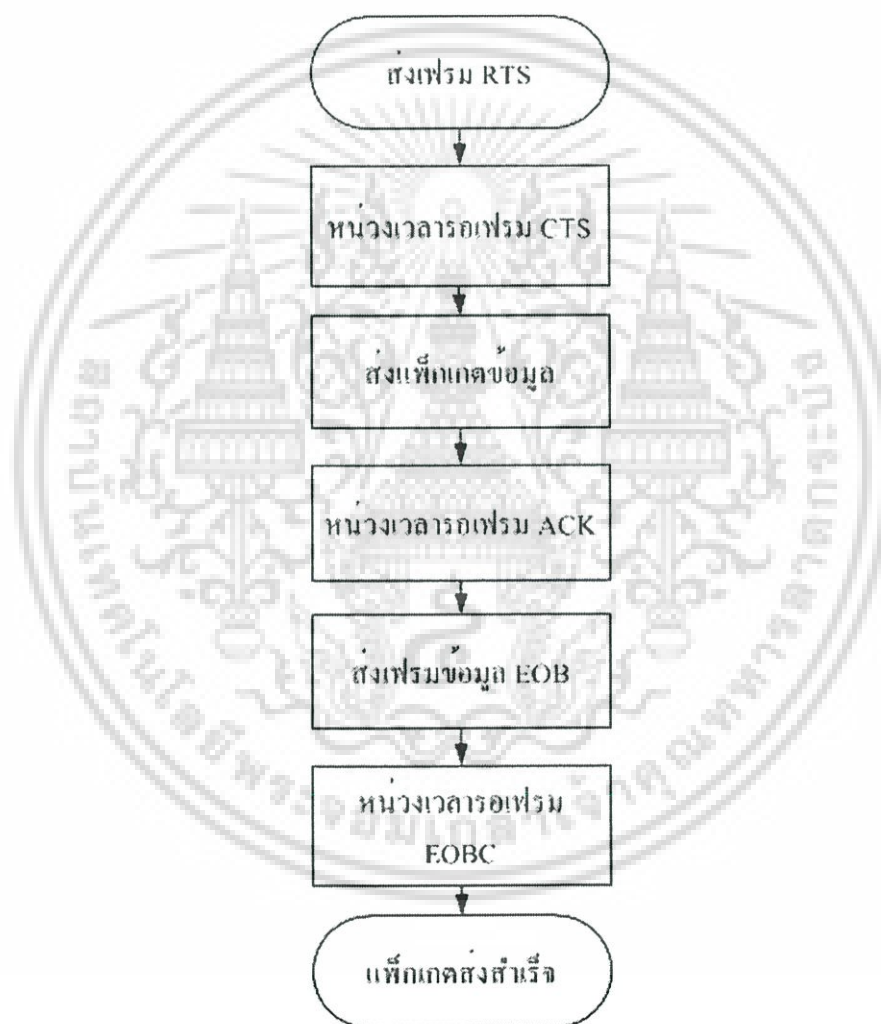
รูปที่ 4.6 โฟลวชาร์ตแสดงการจำลองแบบ CSMA/CA เมื่อมีรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ตามรูปแบบ 4.4a, 4.4b และ 4.4c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบ 4.4a เมื่อเขียนแบบจำลองทั้งหมดเพื่อให้เข้าใจง่ายดูได้ดังรูปที่ 4.7



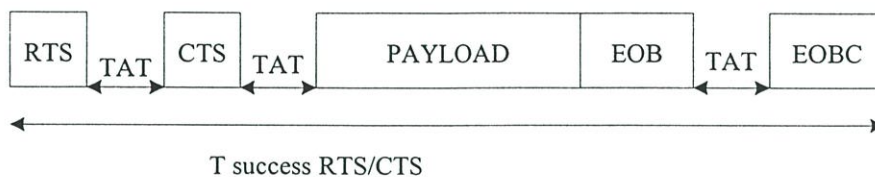
รูปที่ 4.7 แบบจำลองรูปแบบการรับ-ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4a



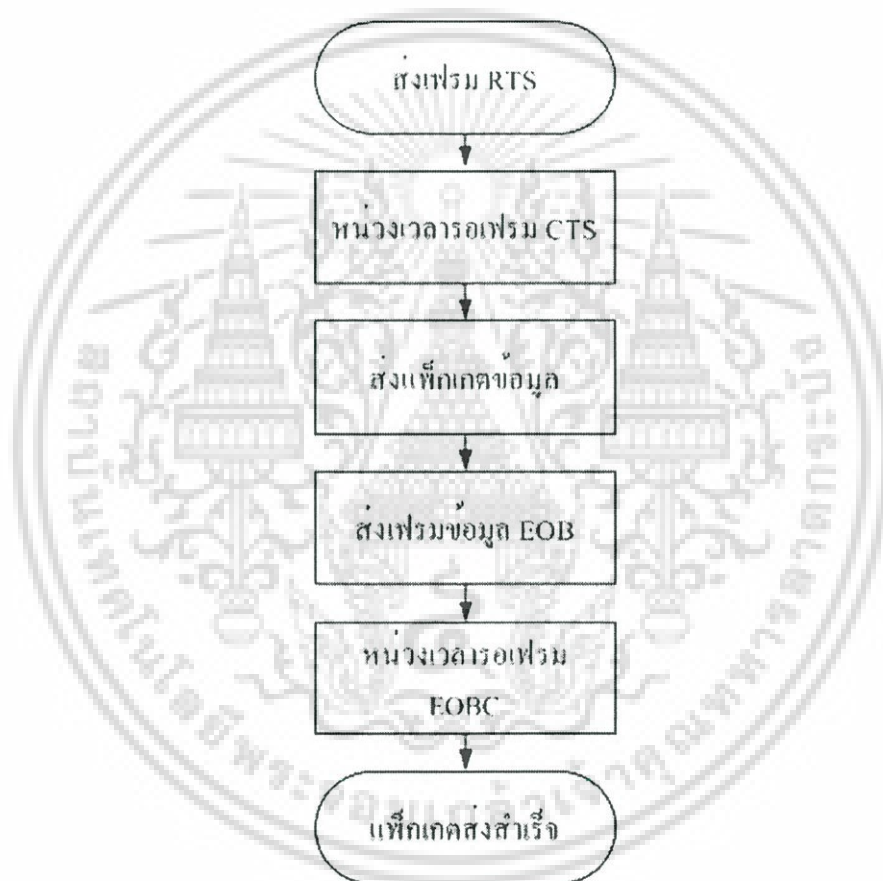
รูปที่ 4.8 โฟลว์ชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลเมื่อมีการตรวจสอบการส่งข้อมูลที่ส่งด้วยแพ็กเก็ต ACK ดังขั้นตอนของรูปที่ 4.4a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบ 4.4b เมื่อเขียนแบบจำลองทั้งหมดเพื่อให้เข้าใจง่ายดูได้ดังรูปที่ 4.9



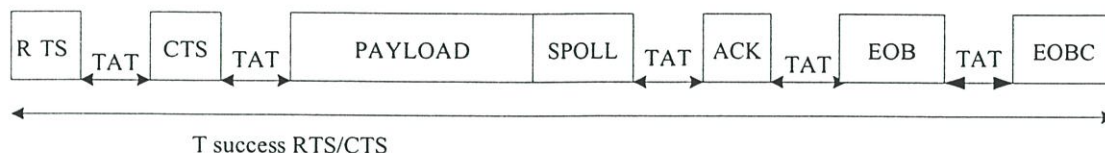
รูปที่ 4.9 แบบจำลองรูปแบบการรับ-ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4b



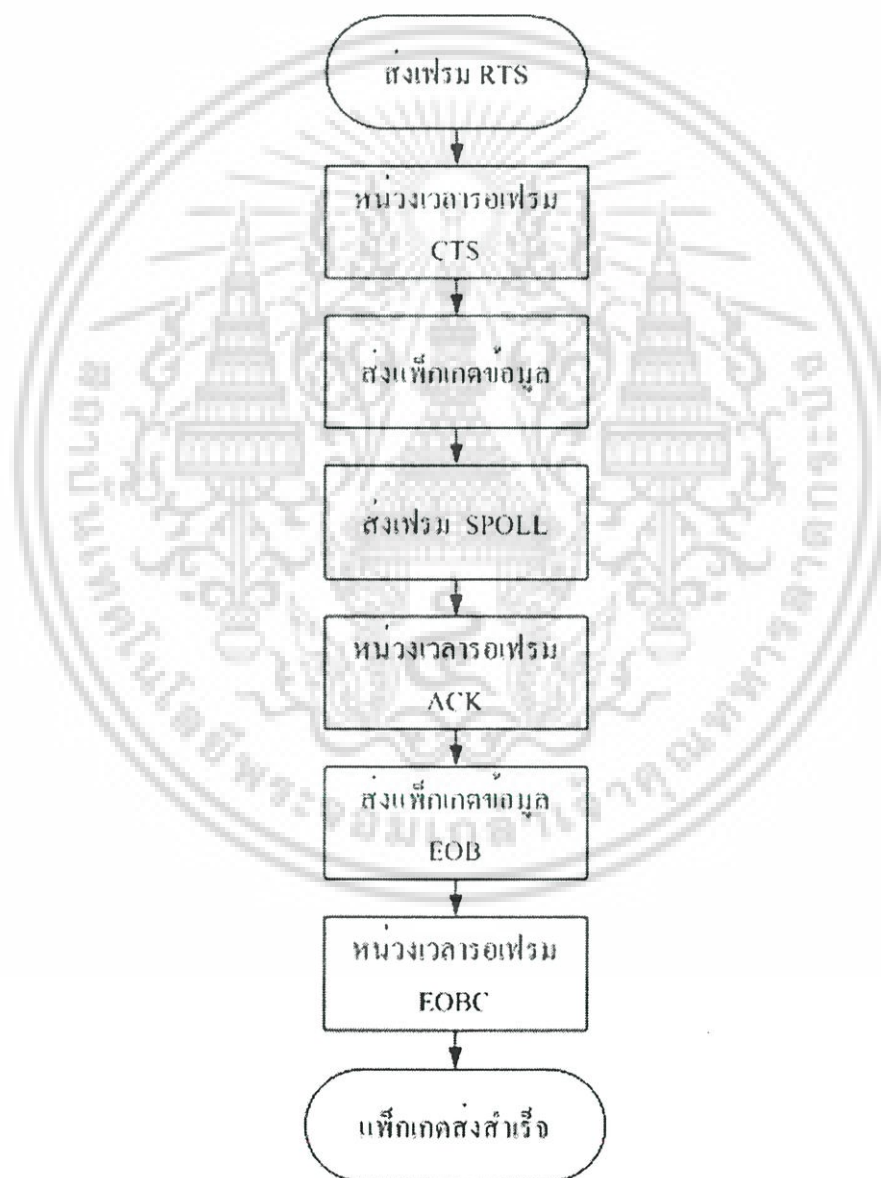
รูปที่ 4.10 โฟลว์ชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลทั้งหมดโดยมีการตรวจสอบข้อมูลเพียงครั้งเดียว ด้วยการรอแพ็กเก็ต EOBC ในขั้นตอนสุดท้ายดังรูปที่ 4.4b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบ 4.4c เมื่อเขียนแบบจำลองทั้งหมดเพื่อให้เข้าใจง่ายดูได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แบบจำลองรูปแบบการรับ-ส่ง ข้อมูล ตามรูปที่ 4.4c



รูปที่ 4.12 โฟลว์ชาร์ตการ รับ-ส่ง ข้อมูลทั้งหมดโดยมีการตรวจสอบข้อมูลเพียงทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลด้วยการส่งแพ็กเก็ต SPOLL ดังแสดงในรูปที่ 4.4c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 ทราฟฟิกแบบปัวซอง

ในส่วนของ Air MAC เมื่อคิดแบบปัวซองจะต้องกำหนดช่วงระยะเวลา ( $\sigma$ ) ของ CAS ที่มากกว่าเวลาในการส่งของแพ็กเก็ต RTS ที่เพิ่มเข้ามา TAT เพิ่ม จำนวนเท่ากับเมื่อความต้องการของเวลาในการตรวจสอบก่อนที่จะย้อนกลับยังแพ็กเก็ต CTS

### 4.6.1 การวิเคราะห์โมเดล (Analytical Model)

การวิเคราะห์ควาสัยสามารถจะกำหนดจำนวนสถานี  $n$  ให้มีการเปลี่ยนแปลงการวิเคราะห์โมเดลสามารถทำได้ง่าย โดยกำหนดระบบที่ประสบความสำเร็จในการส่งด้วยอัตรา  $p_{pb}$  แพ็กเก็ตต่อครั้ง กำหนดภาระจ่ายไหลขนาด  $L$  บิตที่อัตราส่งข้อมูล  $C$  บิตต่อวินาที

หลักคือการสมมุติการใช้ในโมเดลนี้เป็นการส่งสมาเสมอแบบ RTS ด้วยการชนที่ความน่าจะเป็น  $p$  การวิเคราะห์โมเดลนี้จะสมมุติอัตราการชน  $m$  เพื่อจะหาความน่าจะเป็นในการชน  $p$  และความน่าจะเป็นที่คงที่  $\tau$

### 4.6.2 ความน่าจะเป็นในการส่ง RTS

การคำนวณค่าเบ็กออฟ (Back off) สำหรับการส่ง-รับข้อมูลไปยังสถานีปลายทางขึ้นอยู่กับ การชนและความสำเร็จจากความพยายามส่งโดย ผลคือการดำเนินของ  $b(t)$  เราจึงกำหนด  $W = CW_{\min}$  และ  $CW_{\max} = w + 4m$  โดยค่า  $m$  แทนค่า 'Maximun Back off Stage' ดังนั้นสามารถกำหนดค่า  $W$  ดังแบบสมการที่ (4.5)

$$W_i = W + 4i, \quad i \in (0, m) \quad (4.5)$$

เมื่อค่า  $i$  ถูกกำหนดเป็น 'Back off Stage' โดย  $CW_{\min} = 8$  และกำหนด  $CW_{\max} = 256$  ในการจำลองและ  $m = 62$  นำค่า  $s(t)$  แทนสถานะ  $(0, \dots, m)$  ของสถานีที่เวลา  $t$  การประมาณค่าในโมเดลนี้แพ็กเก็ตการส่งที่มีการชนมีค่าความน่าจะเป็น  $p$  ของขนาด  $CW$  ใช้สำหรับในการส่งเราสมมุติ  $p$  เป็นค่าคงที่ขนาด 2 มิติ ที่  $\{s(t), b(t)\}$  โมเดลนี้มาจากความไม่ต่อเนื่องทางเวลาตามความสัมพันธ์แบบมาคอบ (Markov chain)

$$P\{i_1, k_1 | i_0, k_0\} = P\{s(t+1) = i_1, b(t+1) = k_1 | s(t) = i_0, b(t) = k_0\} \quad (4.6)$$

ความน่าจะเป็นในการส่ง One-Step

$$\left\{ \begin{array}{lll} P\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in (0, W_i - 2) & i \in (0, m) \\ P\{i, k | i+1, 0\} = (1-p)/W_i & k \in (0, W_i - 1) & i \in (0, m-1) \\ \\ P\{i+1, k | i, 0\} = p/W_{i+1} & k \in (0, W_{i+1} - 1) & i \in (0, m-1) \\ P\{0, k | 0, 0\} = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) & \\ \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m & k \in (0, W_m - 1) & \end{array} \right. \quad (4.7)$$

เมื่อค่า  $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}, i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1)$

การกระจายแบบคงที่มีกฎเกณฑ์ดังนี้

$$b_{i0} = (p/(1-p))^i b_{00}, i \in (0, m)$$

$$b_{ik} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i0}, i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1) \quad (4.8)$$

จากสมการที่ (4.7) และสมการที่ (4.8) เป็นการแสดงค่าทั้งหมดของ  $b_{i,k}$  ค่าฟังก์ชันของ  $b_{00}$  และค่าความน่าจะเป็น  $p$  การหา  $b_{00}$  มาจากการสภาพโดยปกติสามารถประยุกต์ได้คือ

$$1 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{ik} \sum_{i=0}^m b_{i0} \frac{W_i + 1}{2} = \frac{b_{00}}{2} \sum_{i=0}^m \left( \frac{p}{1-p} \right)^i (W_i + 1) \quad (4.9)$$

และเมื่อแทนค่า  $W_i$  จากสมการที่ (4.5) จะได้สมการพีชคณิตดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 = \frac{b_{00}}{2} \left[ (W+1) \frac{(1-p)^{m+1} - p^{m+1}}{(1-2p)(1-p)^m} + \frac{4p(1-p)}{(1-2p)^2} \left( 1 - \frac{p^m(1+m) - p^{m+1}(2m+1)}{(1-p)^{m+1}} \right) \right] \quad (4.10)$$

จากสมการที่ (4.10) แสดงค่า  $b_{00}$  เป็นฟังก์ชันของสภาพความน่าจะเป็นในการชนและ  $p$  คือ เครื่องมือในการกำหนดค่าที่น้อยที่สุดของขนาดหน้าต่าง  $W$  และตัวเลขสถานะเวลาของ Back off คือ  $m$  การวิเคราะห์ที่ความน่าจะเป็น  $\tau$  ที่สถานีส่งเพื่อเลือกกลุ่มสล็อตเวลา สามารถหาค่าสถานีส่งเมื่อเวลา Back off เป็นค่าศูนย์

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i0} = b_{00} \sum_{i=0}^m \frac{p^i}{(1-p)^i} = b_{00} \frac{(1-p)^{m+1} - p^{m+1}}{(1-2p)(1-p)^m} \quad (4.11)$$

เมื่อนำค่า  $b_{00}$  จากสมการที่ (6) และสมการที่ (7) จะได้ค่า  $\tau$  คือ

$$\tau(p): \tau = \frac{2}{W+1 + \frac{4p(1-p)^{m+1} + (2m+1)p^{m+1} - (m-1)p^m}{((1-p)^{m+1} - p^{m+1})(1-2p)}} \quad (4.12)$$

ความน่าจะเป็น  $\tau$  ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการชน  $p$  โดยความน่าจะเป็น  $p$  มีความพยายามในการชนเท่ากับความน่าจะเป็นที่น้อยกว่าหนึ่ง โดยสภาวะค้างการส่งที่  $n-1$  ในช่วงเวลาบางสล็อต เราสมมุติสถานีทั้งหมดที่เห็นเป็น เวลาที่ไม่ต่อเนื่องแบบมาคอบ (Discrete - Time Markov Chain) ในสภาวะการส่งที่ความน่าจะเป็น  $\tau$  ในการสุ่มหาค่า  $p$  ได้สมการที่ (4.13)

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (4.13)$$

จากสมการที่ (4.12) และสมการที่ (4.13) เป็นแบบฟอร์มจากระบบไม่เป็นเส้นตรง (Non linear) ในส่วนที่ไม่รู้จักคือ  $\tau$  และ  $p$  ระบบสามารถหาค่าตัวเลข  $\tau$  และ  $p$  ได้จากค่าที่แน่นอนของ  $W$  และ  $m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.6.3 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ

สถานีมีการส่งข้อมูลที่มีความน่าจะเป็น  $\tau$  เมื่อมีการส่งแพ็กเก็ต RTS และมีความน่าจะเป็นในการชน  $p$  การคำนวณประสิทธิภาพของค่าวิสัยสามารถสามารถคำนวณหาค่าได้จากค่า  $P_{tr}$  โดยค่า  $P_{tr}$  คือความน่าจะเป็นที่น้อยกว่าหนึ่งที่เกิดขึ้นในสล็อตเวลา สำหรับโครงข่ายที่สถานี  $n$  การส่งที่มีความน่าจะเป็น  $\tau$  และ  $P_{tr}$  ดังนี้

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \quad (4.14)$$

ความน่าจะเป็นค่า  $P_s$  เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งแพ็กเก็ต RTS คือความสำเร็จที่แสดงในความน่าจะเป็นหนึ่งสถานีการส่ง และสภาวะค้าง  $n-1$  สภาวะค้างสามารถหาค่าได้จากการส่งน้อยกว่าหนึ่งในช่องสัญญาณ

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n} \quad (4.15)$$

ความสำเร็จจากการส่ง ในการสุ่มเลือกสล็อตที่เกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น  $P_{tr}P_s$  และเวลาที่ใช้ในการส่งเพื่อจ่ายให้โหลดแสดงโดย  $P_{tr}P_s/p_{pb}/C$  ค่าเฉลี่ยระหว่างสล็อตสามารถคำนวณโดยการพิจารณาความน่าจะเป็น  $1-P_{tr}$  เป็นสล็อตว่าง ด้วยความน่าจะเป็น  $P_{tr}P_s$  สล็อตที่บรรจุการส่งที่ประสบความสำเร็จและมีความน่าจะเป็น  $P_{tr}(1-P_s)$  เป็นสล็อตที่บรรจุมีการชน ดังนั้นประสิทธิภาพค่าวิสัยสามารถ  $S$  สามารถคำนวณโดยการหารค่าทางเวลา การส่งจ่ายไปยังโหลดในสล็อตเวลามีค่าเฉลี่ยตลอดสล็อต

$$S = \frac{P_{tr}P_s/p_{pb}/C}{(1-P_{tr})\sigma + P_{tr}P_sT_s + P_{tr}(1-P_s)\sigma} \quad (4.16)$$

เมื่อ  $T_s$  เป็นสล็อตตลอดความสำเร็จในการส่งที่เกิดขึ้น และ  $\sigma$  เป็นช่วงเวลา CAS การคำนวณในสมการที่ (4.16) สามารถทำเป็นสมการอย่างง่ายคือ

$$S = \frac{P_{tr}P_s/p_{pb}/C}{P_{tr}P_sT_s + \sigma - P_{tr}P_s\sigma} \quad (4.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหมดการถ่ายค่าข้อมูลด้วยสมการดังนี้

$$T_s = D + P_{pb}(F_s + I/C) \quad (4.18)$$

$D$  = ค่าที่เก็บรักษาส่วนบนซึ่งเป็นส่วนประกอบเวลาการส่ง ประกอบด้วย

$$\begin{aligned} D = & RTS(\text{packets}) + CTS(\text{packets}) + EOB(\text{packets}) \\ & + EOBC(\text{packets}) + TAT(\text{delay}) \end{aligned} \quad (4.19)$$

โดย TAT พบที่แพ็กเก็ตและ  $F_s$  เป็นช่วงเวลาในการส่งของแพ็กเก็ตส่วนบนของ SDATA ดังนั้นมีรายละเอียดคือ  $D=1.74$  msec,  $F_s=0.25$  msec และ  $\sigma=0.8$  sec



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# ผลการวิเคราะห์และจำลองแบบ

### 5.1 กล่าวนำ

ผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการจำลองระบบเชิงเปรียบเทียบเพื่อดูสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนสถานี ความยาวแพ็กเก็ต มีการเปลี่ยนแปลง และส่วนที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเมื่อมีการส่งข้อมูลในแบบต่าง ๆ และส่วนที่ 3 เป็นผลการทดลองที่เกิดจากการใช้ทราฟฟิกแบบปัวซอง

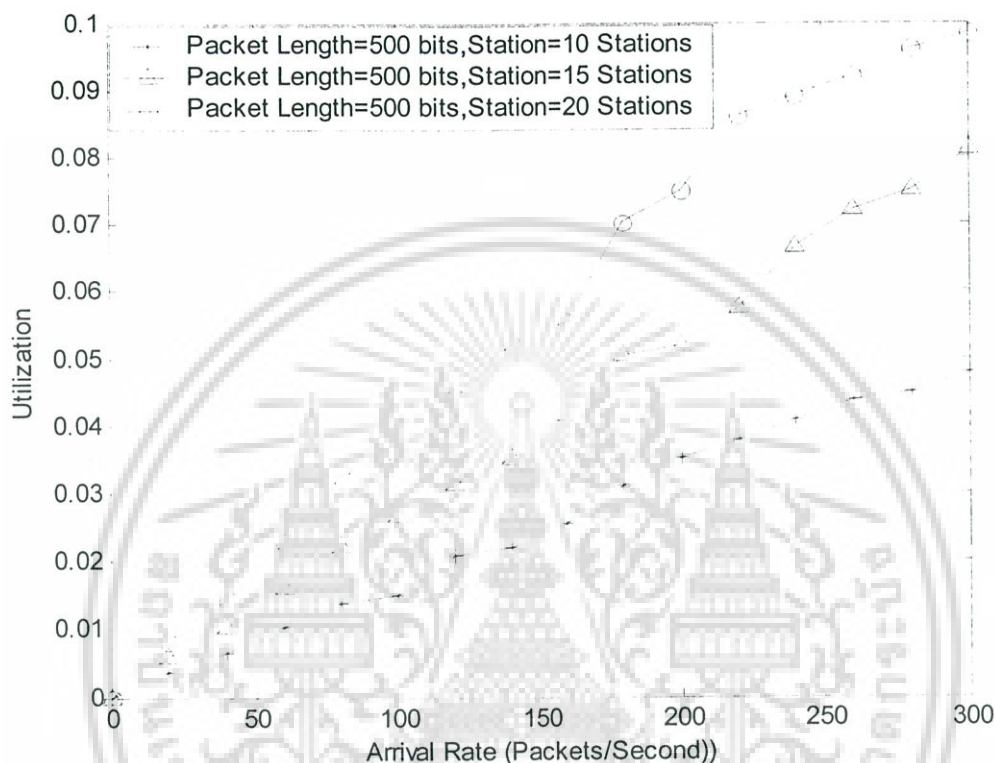
ส่วนที่หนึ่งเป็นการจำลองการออกแบบจะใช้โครงข่าย CSMA/CA แบบ Nonpersistent ซึ่งการส่งข้อมูลเลือกใช้ เครือข่ายอินฟราเรดโดยกำหนดอัตราการส่งแพ็กเก็ตอยู่ที่ 4 Mbps การจำลองแบบของระบบใช้ภาษาซี โดยกำหนดให้ความยาวของแพ็กเก็ตคือ 500 บิต, 1000 บิต และ 1500 บิต และกำหนดสถานีที่ต้องการส่งแพ็กเก็ต 10 สถานี, 15 สถานี และ 20 สถานี โดยแกนในแนวนอนคือ อัตราการเข้ามาถึงของแพ็กเก็ต (Packet / sec) จะเริ่มค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 200 โดยเริ่มอัตราการมาถึงครั้งละ 20 จากภาพผลการทดลองที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 โดยกำหนดค่าความยาวของแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิต และจำนวนสถานีเปลี่ยนแปลง

คือภาพการทดลองที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 จะเป็นการกำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี และให้ความยาวแพ็กเก็ตเปลี่ยนแปลง โดยการจำลองระบบทั้งหมดเพื่อศึกษาค่าการหน่วงเวลา (Delay) ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization)

ส่วนที่สองเป็นการออกแบบจะใช้โครงข่าย CSMA/CA แบบ Nonpersistent ใช้เครือข่ายอินฟราเรดโดยกำหนดอัตราการส่งแพ็กเก็ตอยู่ที่ 4 Mbps เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเมื่อระบบมีการส่งและรับข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ดังภาพจำลองการรับ-ส่งข้อมูลที่ 4.7, 4.9 และ 4.11 การเปรียบเทียบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าการหน่วงเวลา (Delay), ค่าวิสัยสามารถ (Throughput), และค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization) ของระบบ

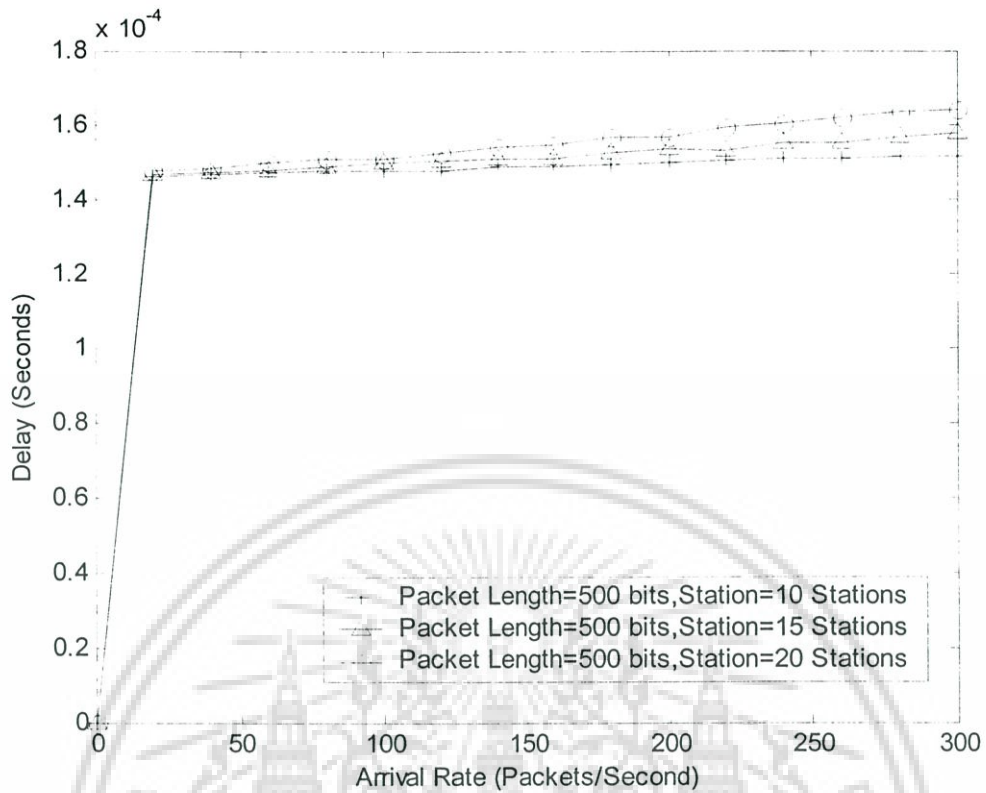
ส่วนที่สามเป็นแบบจำลองเมื่อใช้ทราฟฟิกแบบปัวซองและทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง แกน x แทนจำนวนสถานีที่เปลี่ยนแปลง แกน y แทนค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของระบบ โดยทราฟฟิกแบบปัวซองจะใช้การวิเคราะห์โดยกำหนดให้ค่า Back off ของระบบเท่ากับ 62 ค่า  $W=8$  ความยาวแพ็กเก็ต=1000 บิต โดยเปรียบเทียบการส่งครั้งละ 1 แพ็กเก็ต 2 แพ็กเก็ต และ 3 แพ็กเก็ต

## 5.2 ผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานี และกำหนดความยาวแพ็กเก็ตคงที่



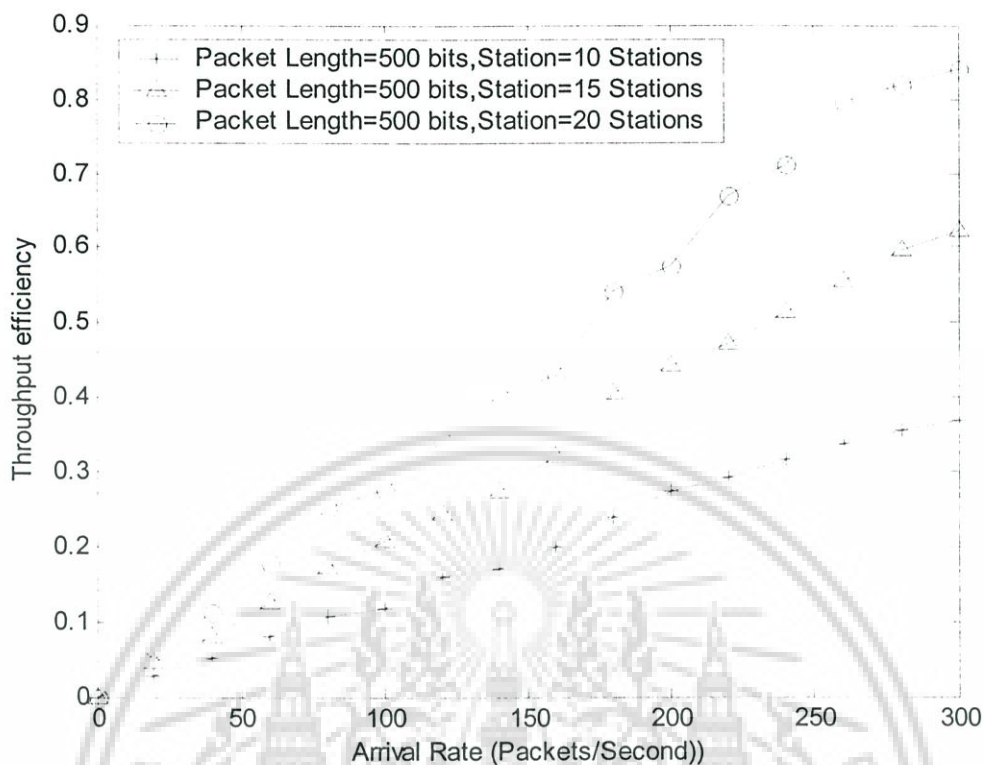
รูปที่ 5.1 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิต และเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี

จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิตและให้จำนวนสถานีมีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี พบว่าค่าการใช้ประโยชน์มีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้จำนวนสถานีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.2 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อ ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิต และเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี

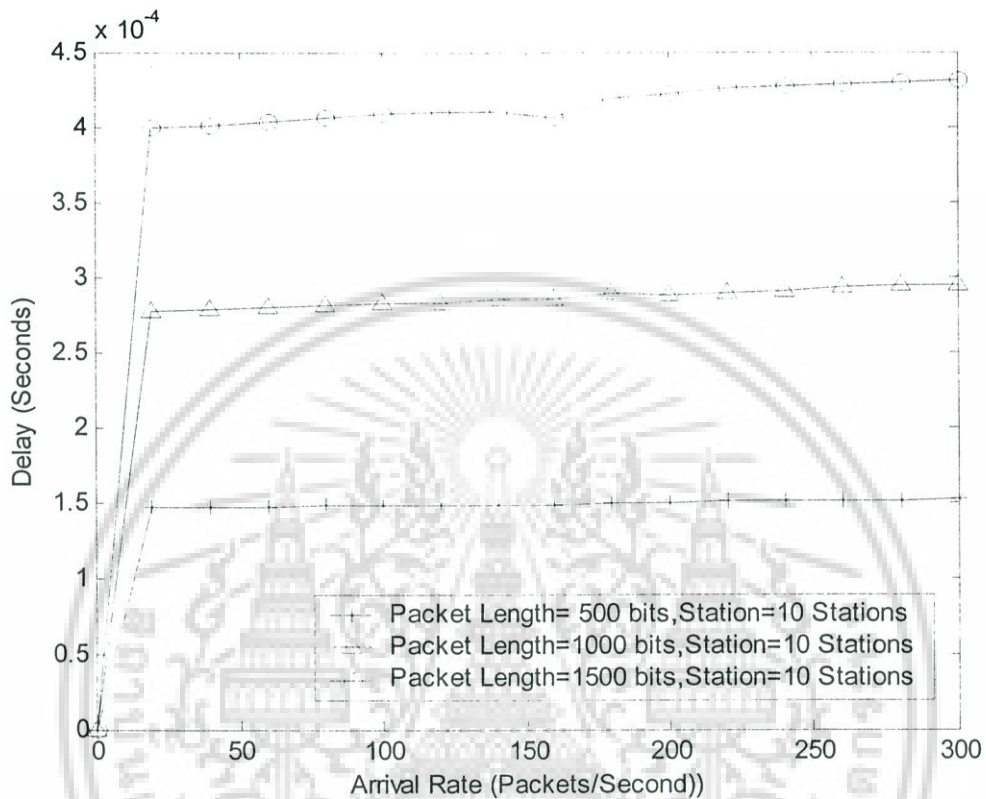
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิตและให้จำนวนสถานีมีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี พบว่าค่าความหน่วง มีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้จำนวนสถานีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.3 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อ ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิต และ เปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี

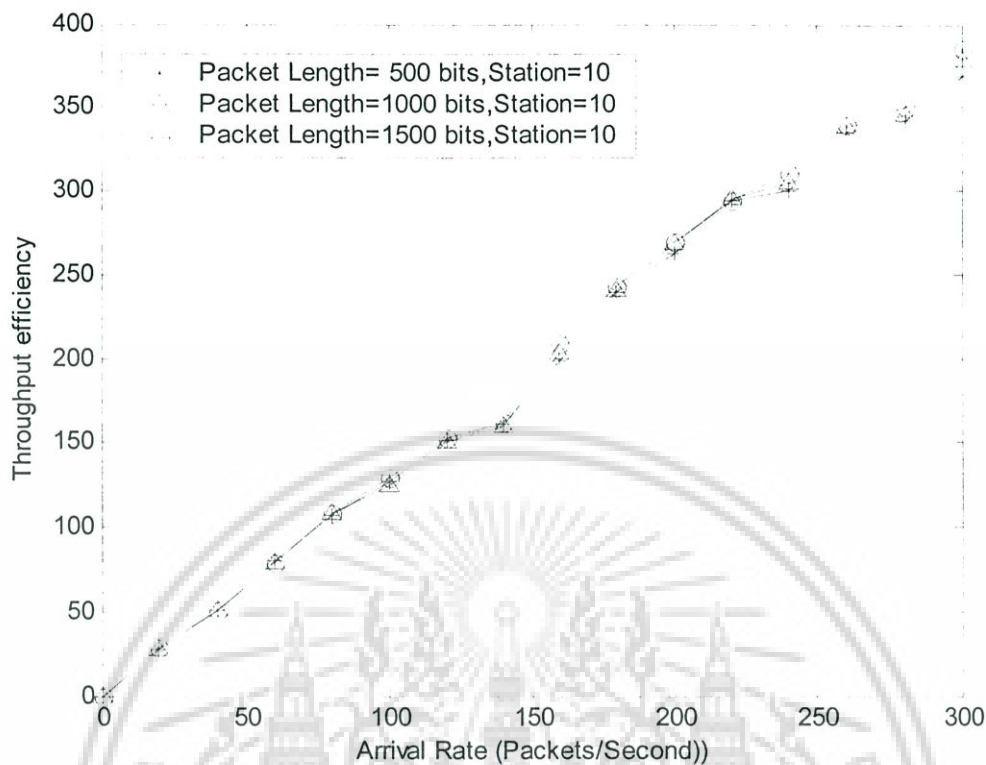
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 500 บิตและให้จำนวนสถานี มีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นที่ 10 สถานี 15 สถานี และ 20 สถานี พบว่าค่าวิสัยสามารถมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้จำนวนสถานีเพิ่มขึ้น

### 5.3 ภาพผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตและกำหนดจำนวนสถานีคงที่



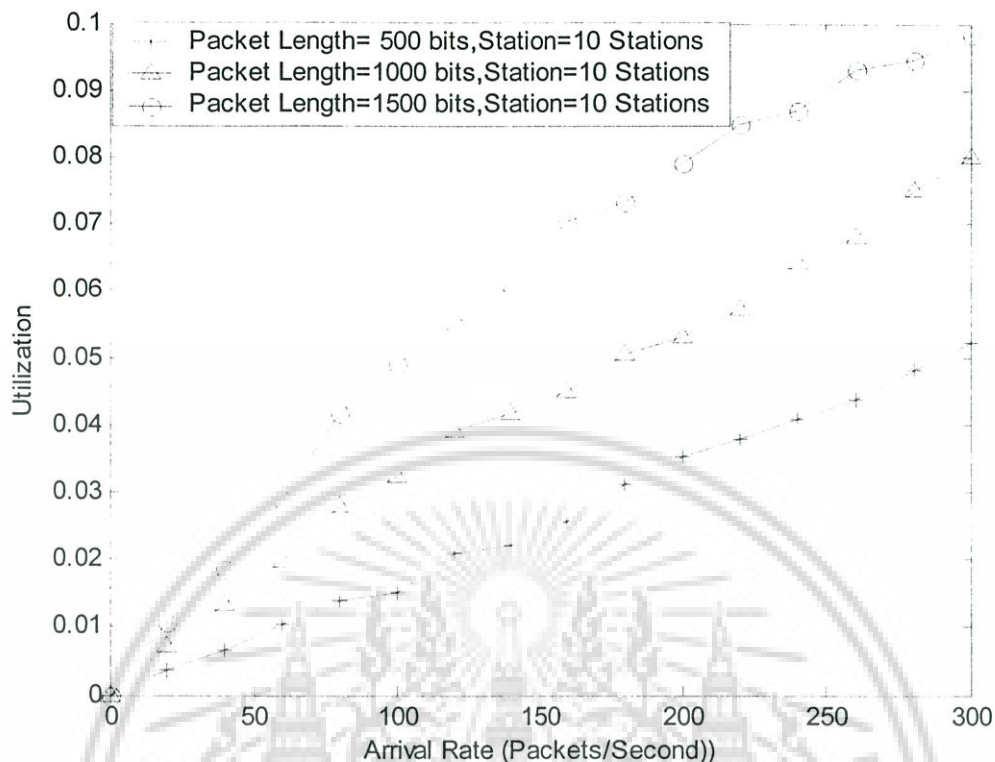
รูปที่ 5.4 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อ จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี โดยเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต

จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตมีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต พบว่าที่ความยาวแพ็กเก็ต 1500 บิต มีค่าความหน่วง สูงกว่าความยาวแพ็กเก็ตที่ 1000 บิตและ 500 บิต ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อจำนวนสถานีคงที่ 10 ที่สถานีโดยเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต

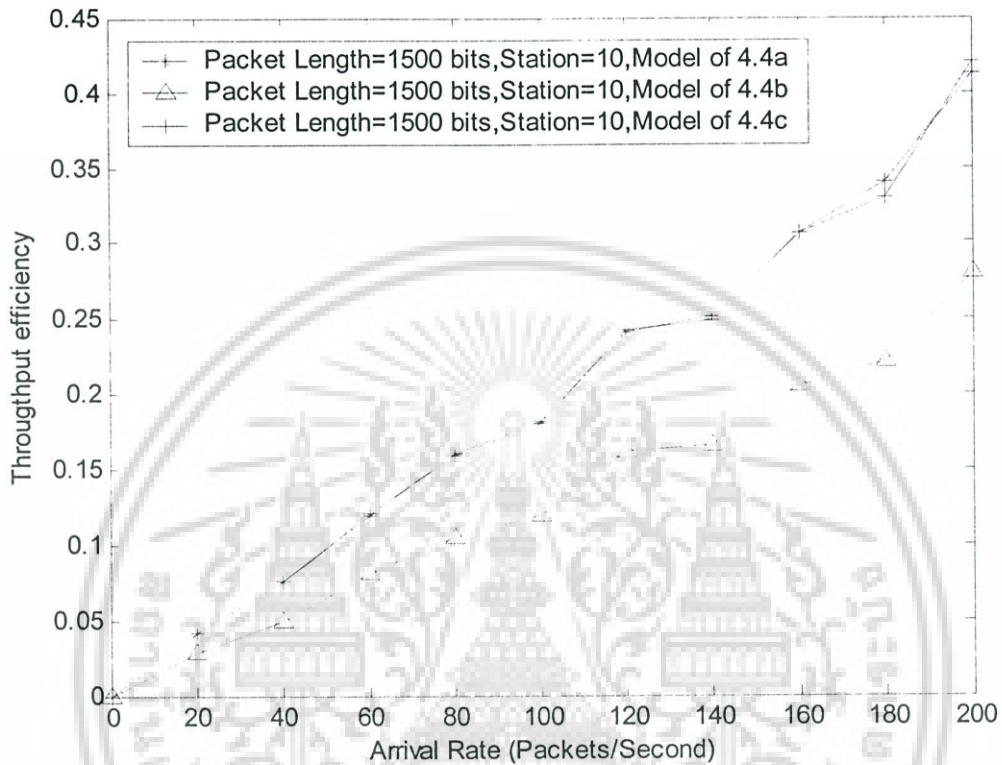
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตมีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต พบว่าค่าวิสัยสามารถ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ภาพนี้กล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตที่เพิ่มขึ้นได้ค่าวิสัยสามารถของระบบไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.6 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อ จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี โดยเปลี่ยนแปลง ความยาวแพ็กเก็ตที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต

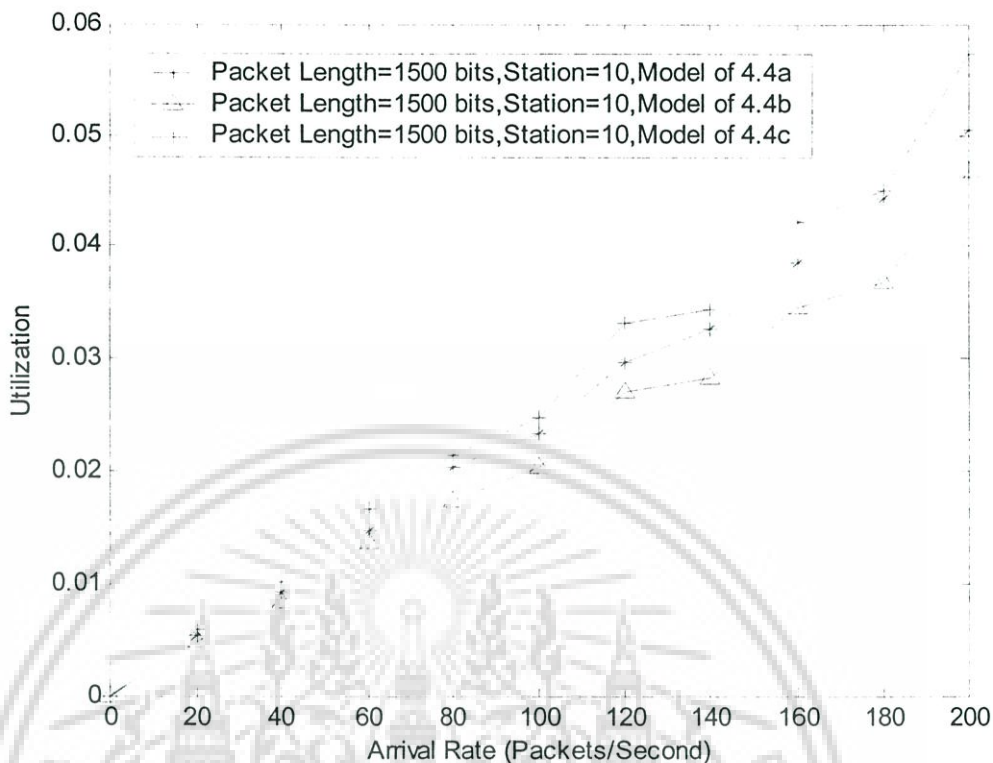
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตมีเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ที่ 500 บิต 1000 บิต และ 1500 บิต พบว่าค่าการใช้ประโยชน์มีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ความยาวแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น

## 5.4 ภาพผลการทดลองจากการจำลองระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการรับ-ส่งข้อมูล



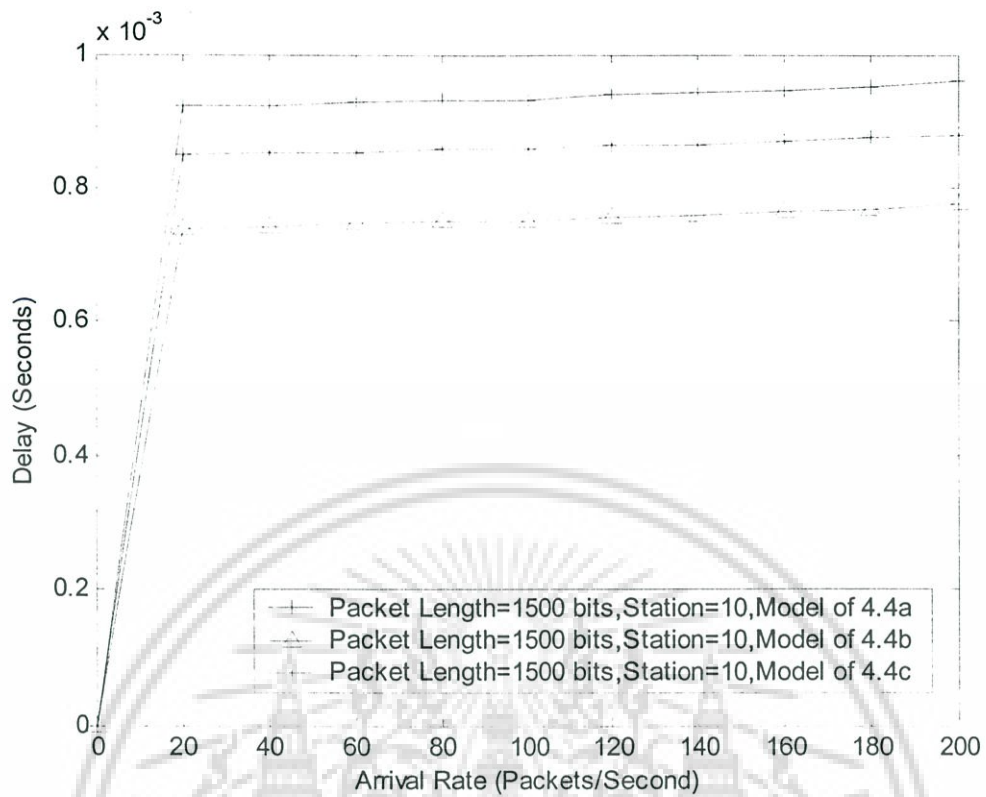
รูปที่ 5.7 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อ กำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี และ ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1500 บิต

จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ 1500 บิต พบว่าการรับ-ส่งข้อมูลที่โมเดล 4.4a และโมเดล 4.4c มีค่าวิสัยสามารถมีความคล้ายคลึงกัน ส่วนโมเดลที่ 4.4b จะได้กราฟค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 5.8 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Utilization เมื่อ กำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี และ ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1500 บิต

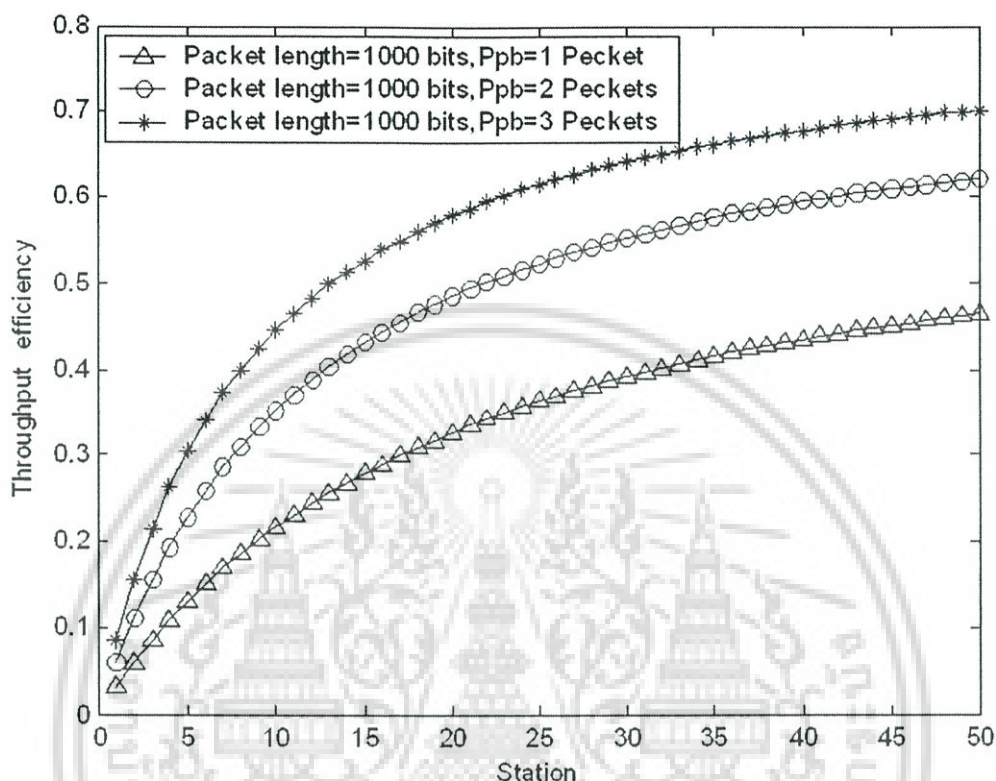
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ 1500 บิต พบว่าการรับ-ส่งข้อมูล ที่โมเดล 4.4c มีค่าการใช้ประโยชน์มากที่สุดโมเดล 4.4a และ 4.4b มีค่าการใช้ประโยชน์ลดลงตามลำดับ



รูปที่ 5.9 ภาพการเปลี่ยนแปลงค่า Delay เมื่อกำหนดจำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานี และความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1500 บิต

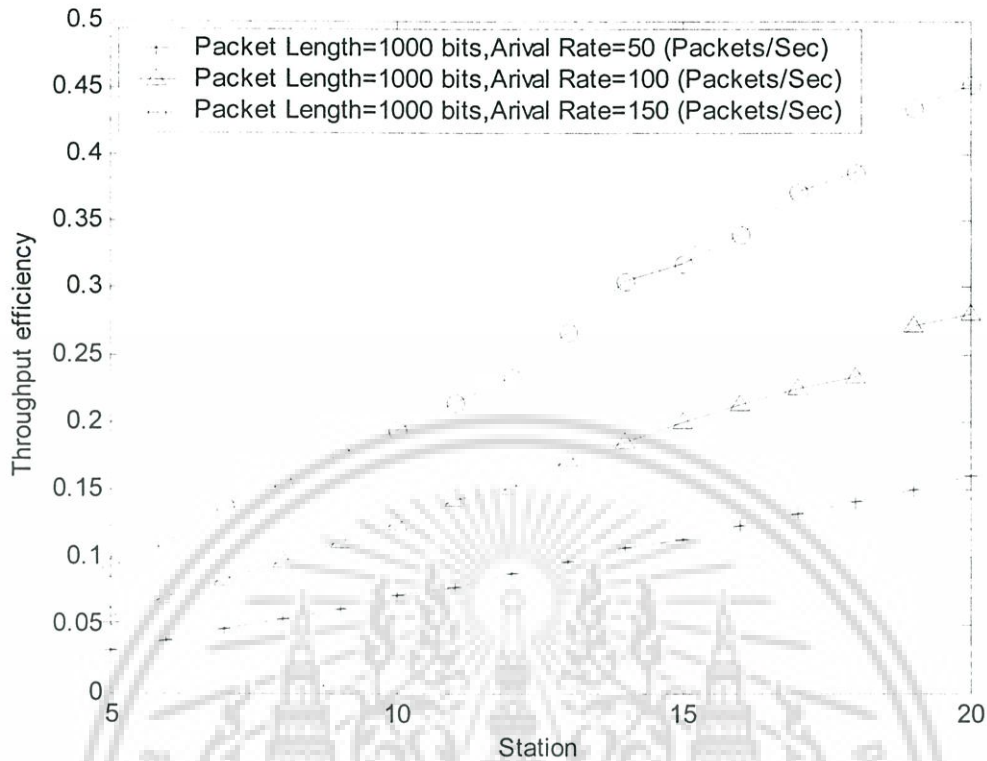
จากภาพการทดลองเมื่อกำหนดให้จำนวนสถานีคงที่ที่ 10 สถานีและให้ความยาวแพ็กเก็ตคงที่ 1500 บิต พบว่าโมเดลการรับ-ส่งที่โมเดล 4.4c มีค่าความหน่วงมากที่สุดโมเดล 4.4a และโมเดล 4.4b มีค่าความหน่วงลดน้อยลงตามลำดับ

## 5.5 ภาพผลการทดลองจากการจำลองระบบโดยใช้กราฟฟิกแบบบัวซอง และกราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง



รูปที่ 5.10 จำลองระบบที่มีกราฟฟิกแบบบัวซองโดยความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1000 บิต

รูปที่ 5.10 เป็นรูปที่ใช้กราฟฟิกแบบบัวซองโดยการวิเคราะห์จากสมการที่ 4.17 เพื่อหาค่าวิสัยสามารถของระบบโดยกำหนดความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1000 บิตและเปลี่ยนแปลงรูปแบบการส่งข้อมูลโดยส่งครั้งละ 1 แพ็กเก็ต, 2 แพ็กเก็ต และ 3 แพ็กเก็ต โดยแกน  $x$  คือจำนวนสถานีที่เปลี่ยนแปลง แกน  $y$  คือค่าวิสัยสามารถของระบบที่เปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อการส่งจำนวนแพ็กเก็ตในแต่ละครั้งมากขึ้นเพื่อไปยังสถานีที่เพิ่มขึ้นพบว่าค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.11 จำลองระบบที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยความยาวแพ็กเก็ตคงที่ที่ 1000 บิต

จากภาพผลการทดลองรูปที่ 5.11 โดยแกน x เป็นจำนวนสถานีแกน y เป็นค่าวิสัยสามารถ การจำลองระบบนี้ใช้อัตราการมาถึงของข้อมูล 50 Packets/Second 100 Packets/Second และ 150 Packets/Second พบว่าจำนวนอัตราการมาถึงที่มีมากจะให้ค่าวิสัยสามารถที่ได้มากขึ้น เมื่อจำนวนสถานีเพิ่มขึ้น

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาโครงข่าย CSMA/CA ในอินฟราเรดแบบที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง (Self - Similar Traffic) โดยการจำลองแบบ (Simulation) ด้วยภาษาซี การจำลองแบบนี้ใช้อัตราการส่งข้อมูลคงที่ ที่ความเร็ว 4 Mbps ตามมาตรฐานโปรโตคอล IrDA 1.1 มีอัตราการส่งข้อมูลที่ 4 Mbps ในการเข้าถึงช่องสัญญาณกลางของ Air ซึ่งกำหนดความยาวของแพ็กเก็ตข้อมูลมากที่สุดไม่เกิน 16384 บิต

จากการทดลองและจำลองระบบพบว่าเมื่อให้จำนวนสถานีที่ส่งเพิ่มขึ้นและความยาวแพ็กเก็ตคงที่พบว่า ค่าวิสัยสามารถ (Throughput), ค่าความหน่วง (Delay) และ ค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization) ของระบบเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวแพ็กเก็ตในระบบและให้จำนวนสถานีคงที่พบว่า ค่าความหน่วง และ ค่าการใช้ประโยชน์ ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ค่าวิสัยสามารถ ของระบบไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าความยาวของแพ็กเก็ตจะเพิ่มขึ้น

เมื่อทดลองการจำลองการส่งข้อมูลแบบ 4.4a, 4.4b และ 4.4c พบว่า แบบ 4.4c และ 4.4a จะให้ค่าวิสัยสามารถที่ใกล้เคียงกัน และแบบจำลอง 4.4b จะได้ค่าวิสัยสามารถน้อยกว่า สาเหตุเกิดจากแบบจำลอง 4.4a มีการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางทุกครั้งด้วยการที่สถานีส่งจะหน่วงเวลาเพื่อรอรับแพ็กเก็ต ACK จากสถานีปลายทางและในส่วนแบบจำลอง 4.4c จะทำการตรวจสอบการรับข้อมูลที่ถูกส่งออกไปด้วยการส่งแพ็กเก็ต SPOLL และหน่วงเวลาเพื่อรอรับแพ็กเก็ต ACK สิ่งเหล่านี้ทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization) พบว่าแบบจำลองไปในทิศทางเดียวกันโดยแบบจำลอง 4.4c มีค่าการใช้ประโยชน์สูงกว่าแบบจำลอง 4.4a เพียงเล็กน้อยและการส่งข้อมูลแบบ 4.4a จะมีการใช้ประโยชน์สูงกว่าแบบจำลอง 4.4b เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการรับและส่งแพ็กเก็ตของระบบโดยรวมแล้วแบบจำลอง 4.4c จะมีใช้การงานของจำนวนบิตในระบบที่สูงกว่าระบบโมเดล 4.4a เพียงเล็กน้อย และ 4.4b มีการใช้งานจำนวนบิตโดยรวมน้อยที่สุด และค่าความหน่วง (Delay) ของแบบจำลอง 4.4c มีมากกว่าแบบจำลอง 4.4a และ แบบจำลอง 4.4b ตามลำดับ

การใช้งานในการรับส่งข้อมูลมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันแบบจำลอง 4.4a เหมาะสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องการรับข้อมูลทุกครั้งที่สถานีปลายทางก่อนที่จะมีส่งข้อมูลถัดไป ทำให้ใช้เวลาในการเดินทางมากกว่าโมเดลแบบอื่นแบบจำลอง 4.4b เป็นการส่งข้อมูลทั้งหมดเพียงครั้งเดียวและตรวจสอบการรับข้อมูลทั้งหมดในขั้นตอนสุดท้ายทำให้ใช้เวลาน้อยที่สุดในการเดินทาง และโมเดล 4.4c จะเป็นโมเดลที่อยู่ในรูปแบบที่ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปทั้งหมดและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ็กเก็ต SPOLL เพื่อตรวจสอบการรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งไป ทำให้ค่าวิสัยสามารถไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับโมเดล 4.4a

รูปแบบของแบบจำลองระบบกราฟฟิกแบบปัวซองและกราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองเมื่อมีการส่งเฟรมข้อมูลมากขึ้นไปยังสถานีที่มากขึ้นจะทำให้ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้น

แบบจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จัดเป็นแนวทางเลือกแนวทางหนึ่งในการพิจารณา การเลือกใช้กราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง เพื่อนำมาใช้กับระบบที่มีการรับส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารที่ใช้คลื่นอินฟราเรดเป็นคลื่นพาหุโดยจำนวนสถานี และความยาวแพ็กเก็ตมีผลต่อประสิทธิภาพในระบบ การเลือกวิธีการส่งข้อมูลที่เหมาะสมยอมทำให้สมรรถนะการใช้งานและการตรวจสอบความถูกต้องของระบบเพิ่มขึ้น ก่อนที่จะนำกราฟฟิกนี้ไปใช้งานจริงเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการปฏิบัติงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B.Carruthers, "Wireless Infrared Communication," Wiley Encyclopedia of Telecommunications, (preprint),(6), pp.1-7, 2002.
- [2] J.M. Kahn, and J.R. Barry, "Wireless infrared communications," Proc.IEEE, pp.85, 1997.
- [3] IrDA Standards at [Http://irda.org](http://irda.org).
- [4] W. Stallings, "High-Speed Networks TCP/IP and ATM Design Principles," International Edition, pp.181-204, 2000.
- [5] K. Park and W. Willinger, "Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation," John Wiley & Sons, 2000.
- [6] P. Barker, A. Boucouvalas, "A simulation model of the Advanced infrared ( Air ) MAC protocol using OPNETTM," Second International Symposium on Communications Networks and Digital Signal processing (CSNDSP 2000), Bournemouth University, UK, pp. 153-156, 18-20 July 2000.
- [7] S. Williams, "IrDA: past, present, present and future," IEEE Personal Communications, vol 7, no.1, pp. 11-19, February 2000.
- [8] K. Park and W. Willinger, "Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation," John Wiley & Sons, 2000.
- [9] N.O. Matthew and M. Ilyas, "Simulation of Local Area Networks," pp. 11-14, 2000.
- [10] Infrared Data Association, "Serial infrared physical layer link Specification - Version 1.1," 1995.
- [11] P. Barker, A.C. Boucouvalas, " Modeling of the IrDA and Wireless Infrared Communication Protocols," School of Design, Engineering & Computing, 1<sup>st</sup> Annual PostGraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications Networking and Broadcasting (PGNET 2000) Liverpool John Moores University, UK, pp 137-142, 19-20 June 2000.
- [12] Infrared Data Association, "Serial Infrared Link Access Protocol (IrLAP) - Version 1.1," IrDA,1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Infrared Data Association, "Advanced Infrared Physical layer specification - Version 1.0," 1998.
- [14] S.Williams, "IrDA; past, present and future" ,IEEE Personal Communication, vol 7, no.1, pp 11-19 Feb 2000.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก, ชัยเลิศ เอาทาร์ย์สกุล, สุวิพล ลิทธิชีวภาค และเกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ CSMA/CA สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายในสภาวะแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม," การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 23-25 พฤศจิกายน 2545.
2. ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก, กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี, สุวิพล ลิทธิชีวภาค และเกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ "การวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่าย CSMA/CA แบบไร้สายที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยจำลองแบบของระบบอินฟราเรด," การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 42, 3-6 กุมภาพันธ์ 2547.
3. ไกรรงค์ กรแก้วสมนึก, วีรพันธ์ กรโยธิน, สุวิพล ลิทธิชีวภาค และเกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์ "การวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่าย CSMA/CA ในระบบอินฟราเรดแบบไร้สายที่มีทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองโดยใช้วิธีการจำลองระบบ," การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 11-12 พฤศจิกายน 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายไกรรงค์ กรแก้วสมนึก เกิดเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ.2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาประถมศึกษาจากโรงเรียนปัญจทรัพย์ สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัยนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร สถาบันราชภัฏจันทรเกษม เมื่อปี พ.ศ.2539 และจบปริญญาตรีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เมื่อปี พ.ศ.2543 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้