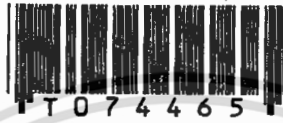


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีการแรนดอมโพลลิ่งที่มีการส่งแบบหลายช่องสัญญาณ
ในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

MULTICHANNEL RANDOM POLLING SCHEME IN WIRELESS LANs



ปริมปรัชญ์ ช่วยกุล
PURIMPRACH CHOUYKOOL

ภพ.
216727
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **74465**
วัน,เดือน,ปี..... **1 ต.ค. 2550**

b. 118 24347
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อพ.ศ.2550 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTICHANNEL RANDOM POLLING SCHEME IN WIRELESS LANs



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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการแรนคอมโพลิ่งที่มีการส่งแบบหลายช่องสัญญาณใน โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย
นักศึกษา	นางสาวปริมปรัชญ์ ช่วยกุล
รหัสนักศึกษา	46064121
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิทธีชีวะภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอลการเลือก (Polling Protocol) สำหรับการส่งข้อมูลในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบหลายช่องทาง โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการตรวจสอบสถานีที่มีข้อมูลรอส่ง และจะทำการเลือกสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่งเป็นแบบลำดับสุ่ม (Random Scheme) การทำงานภายในระบบจะกำหนดให้ทุกๆสถานีภายในโครงข่ายได้รับสิทธิ์ในการถูกเลือกมีค่าเท่าๆกัน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบโดยการศึกษาหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput), ค่าหน่วงเวลา (Delay) เมื่อค่าช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูลและจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการของระบบมีการเปลี่ยนแปลง จากผลการจำลองระบบการทำงานพบว่าเมื่อค่าช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูล และจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการของระบบมีการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายในระบบจะดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Thesis Title	Multichannel Random Polling Scheme in Wireless LANs
Student	Miss. Purimprach Chouykool
Student ID.	46064121
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

This thesis proposes random polling schemes for scheduling and maintain the polling list of data communication in point co-ordination (PCF) of wireless network over multichannel system. In these schemes, the central controller checks a station that has a backlog data with random a poll station to occupy the idle channel. This system gives the same chances for every station to be polled and we consider two conditions of multichannel random polling network : 1) one user/one channel 2) one user/ multichannel. The conducted study based on simulation has shown that the proposed schemes are able to improve performance of this system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ควบคุมงานวิจัย รศ. ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค ท่านได้กรุณาให้แนวความคิด คำปรึกษา และแนะแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบคุณ บิดา มารดาและทุกๆ ในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในการศึกษาตลอดมาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณ เวิร์ด จูน จอ จีบ หน้อย แพท พี่นุ้ย ป้าโจ้ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ

ประโยชน์และคุณค่าดังที่ได้กล่าวไว้ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ทำงานวิจัยในด้านนี้ต่อไป

นุริมปรัชญ์ ชั่วกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 รูปแบบและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย.....	4
2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย.....	6
2.3.1 Peer-to-peer (ad hoc mode).....	6
2.3.2 Client/server (Infrastructure mode).....	7
2.3.3 Multiple access points and roaming	7
2.3.4 Use of an Extension Point	8
2.3.5 The Use of Directional Antennas	8
2.4 มาตรฐาน Wireless LANs.....	9
2.4.1 มาตรฐาน IEEE 802.11.....	11
2.4.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b.....	11
2.4.3 มาตรฐาน IEEE802.11a.....	13
2.4.4 มาตรฐาน IEEE 802.11g.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.5 สถาปัตยกรรมทั่วไปของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย IEEE802.11.....	15
2.4.5.1 ระดับชั้นฟิสิกัล (Physical Layer).....	16
2.4.5.2 ระดับชั้น MAC (Medium Access Control).....	19
2.5 โครงสร้างการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย.....	22
2.6 ความปลอดภัยระบบเครือข่าย (Wireless LANs Security).....	23
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานพธ์.....	25
3.1 ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง (Multiple Access System).....	25
3.1.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งความถี่ (FDMA).....	25
3.1.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งเวลา (TDMA).....	26
3.1.3 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบการแบ่งรหัส (CDMA).....	27
3.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Modulation: SS Modulation).....	29
3.2.1 การจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS).....	30
3.2.1.1 คุณสมบัติของระบบ DS – CDMA.....	32
3.2.2 วิธีการกระโดดของความถี่ (Frequency Hopping: FH).....	33
3.2.2.1 คุณสมบัติของระบบ FH-CDMA.....	35
3.2.3 วิธีการกระโดดของเวลา (Time Hopping: TH).....	36
3.2.3.1 คุณสมบัติของระบบ TH-CDMA.....	37
3.3 การจำลองแบบระบบคิว.....	38
3.3.1 ทฤษฎีระบบคิว.....	38
3.3.2 โครงสร้างระบบพื้นฐานของระบบคิว.....	38
3.3.3 รูปแบบการเข้ามาถึงของระบบ.....	39
3.3.4 การให้บริการและความสามารถในการบริการที่รองรับได้.....	39
3.3.5 กฎการสับหลัก.....	40
3.3.6 ขบวนการของคิวของ.....	40
3.3.7 รูปแบบสัญลักษณ์สำหรับระบบคิว.....	43
3.3.8 การวัดค่าทางสถิติของแบบจำลอง.....	45
3.3.9 โครงสร้างของแถวรอ.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ระบบโครงข่ายการเลือก.....	49
4.1 บทนำ.....	49
4.2 วิธีการดำเนินการของระบบโครงข่ายการเลือก.....	51
4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ.....	58
4.3.1 ค่าเฉลี่ยของรอบเวลาการบริการ.....	58
4.3.2 การวิเคราะห์ค่าหน่วงเวลาของระบบ.....	60
4.3.3 จำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รอรับการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์สถานี.....	62
4.4 สมรรถนะของระบบโครงข่ายการเลือก.....	63
บทที่ 5 แบบจำลองและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ.....	69
5.1 บทนำ.....	69
5.2 รูปแบบการทำงาน Multichannel Random Polling Schemes.....	69
5.2.1 การวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากการมอดูเลตแบบ สเปกตรัมแผ่แบบวิธีการกระโดดทางความถี่.....	70
5.2.2 One user / one channel.....	72
5.2.2.1 อัลกอริทึมการทำงานของกรจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์.....	72
5.2.2.2 การทำงานของโปรแกรมการจำลองแบบที่กำหนดรูปแบบ การทำงานของระบบแบบวิธี One user / one channel.....	73
5.2.3 One user / multichannel.....	75
5.2.3.1 อัลกอริทึมการทำงานของกรจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์.....	75
5.2.3.2 การทำงานของโปรแกรมการจำลองแบบที่กำหนดรูปแบบ การทำงานของระบบแบบวิธี One user / multichannel.....	77
5.3 การวิเคราะห์การจำลองแบบ.....	78
5.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีจำลองแบบ.....	79
5.4.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user/one channel.....	80
5.4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user/multichannel.....	81
5.4.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user / one channel เทียบกับวิธี One user/multichannel.....	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	90
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	105



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g	10
2.2 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะ ของ IEEE 802.11b	12
2.3 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a	14
2.4 เปรียบเทียบระยะเวลาการส่ง อัตราการส่งและความถี่ที่ใช้ระหว่าง WLAN แบบต่างๆ.....	16
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	79



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทำงานแบบ Ac hoc mode	6
2.2 การทำงานแบบ access point.....	7
2.3 การทำงานแบบ Multiple access point and roaming.....	8
2.4 การทำงาน แบบการใช้ Extension Point.....	8
2.5 การทำงานแบบการใช้ Directional Antennas.....	9
2.6 การเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่าง มาตรฐาน 802.11a และ802.11b.....	14
2.7 สถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....	16
2.8 กระบวนการเข้าถึง (Access) แบบพื้นฐานที่ใช้ CSMA/CA ตามมาตรฐาน IEEE 802.11.....	19
2.9 ช่วงเวลา Contention-free period และ Contention period.....	21
3.1 หลักการเข้าถึงหลายทางของระบบที่มีการแผ่สเปกตรัม.....	28
3.2 การลดผลของการแทรกสอดของระบบ CDMA.....	29
3.3 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA.....	30
3.4 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA ที่ดัดแปลงแล้ว.....	31
3.5 ลักษณะของสัญญาณในระบบ DS-CDMA.....	31
3.6 เครื่องรับแบบ DS-CDMA.....	32
3.7 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา/ความถี่ ของระบบ DS และ FH.....	34
3.8 รูปเครื่องส่งแบบ FH-CDMA.....	34
3.9 รูปเครื่องรับของระบบ FH-CDMA.....	34
3.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง-รับ ของระบบTH-CDMA.....	36
3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA.....	37
3.12 โครงสร้างพื้นฐานของระบบคิวิ.....	39
3.13 การแบ่งช่วง (O,T) ออกเป็นช่วงย่อยทั้งหมด m ช่วง.....	40
3.15 ระบบคิวิที่มีผู้ให้บริการคนเดียว.....	44
3.16 ตัวอย่างผลของการจำลองระบบคิวิแบบ M/M/1.....	45
4.1 รูปแบบทั่วไปของการทำงานในระบบโครงข่ายการเลือก.....	49
4.2 (a) โครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบบัส (bus).....	51
4.2 (b) โครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบวงแหวน ring).....	51
4.3 วิธีการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือก.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 รูปแบบของแพคเกจข้อมูล.....	53
4.5 (a) การทำงานของตัวฟังก์ชัน monitor ของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub.....	54
4.5 (b) รูปแบบการทำงานของระบบมัลติดรอป (multidrop).....	55
4.6 โครงสร้างของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub และ roll-call สำหรับการติดต่อสื่อสารทุก รูปแบบ โครงสร้างของระบบ.....	56
4.7 แสดงโครงสร้างทั่วไปของจำนวนแพคเกจข้อมูลที่รออยู่ในสถานีเปรียบเทียบในรูปของ ช่วงเวลาการทำงานของ 2 สถานี ที่สถานะคงที่.....	57
4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าหนึ่งเวลาการรอคอย.....	60
4.9 รูปแบบการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกใน 1 รอบการบริการ.....	61
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง \hat{T} และ $M\hat{w}$ ที่ค่า S ต่างๆกัน.....	66
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง \hat{T} และ $\hat{T}_c/2$ ที่ค่า S ต่างๆกัน.....	67
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่ทำการรออยู่ในสถานี กับค่าวิสัยสามารถ ของระบบที่ค่า M และ \hat{w} แตกต่างกัน.....	68
5.1 การติดต่อสื่อสารแบบ Infrastructure mode (Client/server).....	70
5.2 ไดอะแกรมการทำงานของระบบสเปกตรัมความถี่ที่มีการเข้ารหัสแบบ GFSK.....	70
5.3 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลเมื่อทำการสเปกตรัมความถี่ที่มีการเข้ารหัสแบบ GFSK บนช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบ AWGN.....	71
5.4 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ.....	72
5.5 โพลีชาร์ตแสดงการจำลองระบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี One user / one channel.....	74
5.6 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ.....	75
5.7 โพลีชาร์ตแสดงการจำลองระบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี One user / multichannel.....	76
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบ กับอัตราการเข้ามาของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ.....	80
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหนึ่งเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบ กับอัตราการเข้ามาของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ.....	80

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณเทียบกับอัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ.....81	
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณเทียบกับอัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ.....82	
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 2.....83	
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 10.....83	
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 2.....84	
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณเทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการใช้ของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 10....84	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายเข้ามาอยู่ในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์พกพา แชนด์เซต และอุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายไร้สายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างไร้ขีดจำกัด ก่อให้เกิดการคิดค้นพัฒนาและเตรียมการรองรับการบริการข้อมูลแบบไร้สายแบบใหม่ๆ ที่ได้ถือกำเนิดมากขึ้น อีกทั้งความก้าวหน้าของกลวิธีการปรับช่องทางทำให้ช่องสัญญาณการสื่อสารได้ถูกเพิ่มขึ้น การส่งข้อมูลมัลติมีเดียแบบเรียลไทม์ในระบบเครือข่ายไร้สายไม่เป็นเรื่องยากอีกต่อไป และเพื่อเป็นการสนับสนุนการบริการในแบบนี้จึงได้มีการนำเอาระบบการประกันคุณภาพมาเป็นตัวรับรองความถูกต้องของข้อมูล

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งในสถานที่พักอาศัย องค์กร และการบริการอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย хотดสปอต (Hot Spot) ซึ่งในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้จะสามารถจัดกลุ่มโปรโตคอลในการเข้าถึงตัวกลาง (MAC Protocol) ได้ 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีวิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการชนกันของข้อมูล (Contention-based) ส่วนอีกกลุ่มคือกลุ่มที่การเข้าถึงตัวกลางแบบการเลือก (Polling-based) เพื่อเป็นการคำนึงถึงการรับประกันคุณภาพของข้อมูลที่ส่งออกไป (Quality of Service: QoS) โปรโตคอลในรูปแบบหลังจึงถูกนำมาใช้ในบทความนี้

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 รูปแบบในการเข้าถึงแบบการเลือก (Polling Scheme) จะอยู่ในส่วนการดำเนินการที่เรียกว่า Point Coordination Function (PCF) โดยจะไม่ได้ทำการระบุไปอย่างแน่ชัดถึงลำดับของการเลือก และขั้นตอนก่อน-หลังของการดำเนินการกับสถานีที่ถูกเลือก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า รูปแบบของลำดับในการเลือกที่นิยมนำมาใช้งานมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ Non-preemptive, Round-Robin และ First-In First-Out สำหรับการนำเสนอรูปแบบที่แตกต่าง ออกไป ในบทความนี้จึงนำเอารูปแบบการเลือกแบบลำดับสุ่มสำหรับการส่งข้อมูลออกไปแบบหลายช่องทาง (Multichannel Random Polling Scheme) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PCF Mode โดยทำการตรวจสอบหาสถานีที่มีข้อมูลรอส่ง เพื่อเป็นการลดการสูญเสียแบนด์วิดท์ และค่าดีเลย์ที่มีค่าสูงเกินความจำเป็นอันเนื่องมาจากสถานีอื่นๆ ที่จะต้องรอในการส่งข้อมูลออกไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบการทำงานพื้นฐานของระบบโครงข่ายการเลือก
- 2) เพื่อศึกษาผลของจำนวนช่องสัญญาณที่มีต่อระบบโครงข่ายการเลือก
- 3) เพื่อทำการศึกษาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลในระบบไร้สาย
- 4) เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ว่ามีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบมากน้อยเพียงใด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 รูปแบบในการเข้าถึงแบบการเลือก(Polling Scheme)จะอยู่ในส่วนการดำเนินการที่เรียกว่า Point Coordination Function (PCF) โดยจะไม่ได้ทำการระบุลงไปอย่างแน่ชัดถึงลำดับของการเลือก และขั้นตอนก่อน-หลังของการดำเนินการกับสถานีที่ถูกเลือก และเนื่องจากการทำงานของระบบที่มีการเข้าถึงแบบการเลือกนี้ สถานีจะทำการส่งข้อมูลที่ทำการรออยู่ในบัฟเฟอร์ออกไปจนกว่าจะหมด ดังนั้นสิทธิในการส่งข้อมูลจึงอยู่เพียงไม่กี่สถานี จึงนำเอารูปแบบการเลือกแบบลำดับสุ่มสำหรับการส่งข้อมูลออกไปแบบหลายช่องทาง(Multichannel Random Polling Scheme)ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PCF Mode โดยทำการตรวจสอบหาสถานีที่มีข้อมูลรอส่ง เพื่อเป็นการลดการสูญเสียแบนด์วิดท์และค่าเฉลี่ยที่มีค่าสูงเกินความจำเป็นอันเนื่องมาจากสถานีอื่นๆ ที่จะต้องรอในการส่งข้อมูลออกไป

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอลการเลือก (Polling Protocol) สำหรับการส่งข้อมูลในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบหลายช่องทาง ที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแยกความแตกต่างทางรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการตรวจสอบสถานีที่มีข้อมูลรอส่ง และจะทำการเลือกสถานีที่ได้รับสิทธิในการส่งเป็นแบบลำดับสุ่ม (Random Scheme) พิจารณาในส่วนการส่งออกข้อมูลแบบหลายช่องทาง (Multichannel) เป็น 2 วิธี คือ One user / one channel นั่นคือในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล และ One user / multichannel นั่นคือในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล โดยการออกแบบระบบและใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษางานระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ในส่วนของโปรโตคอลกลุ่มที่การเข้าถึงตัวกลางแบบการเลือก (Polling-based) โดยทำการศึกษาในส่วนของจำนวนช่องสัญญาณการส่งข้อมูล และการเข้ามาในระบบของแพคเกจข้อมูลที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ และทำการวิเคราะห์การทำงานของระบบออกมาในรูปของค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าความหน่วงทางเวลา (Average Delay)

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงการระบบการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 และ รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client/server (Infrastructure mode) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบ

บทที่ 3 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ในบทนี้กล่าวถึง ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง (Multiple Access System) การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Modulation: SS Modulation) การจำลองแบบระบบคิว

บทที่ 4 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานของการระบบโครงข่ายการเลือก ได้แก่ วิธีการดำเนินการของระบบโครงข่ายการเลือก การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ สมรรถนะของระบบโครงข่ายการเลือก

บทที่ 5 แบบจำลองและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ

บทที่ 6 บทสรุปและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

บทที่ 2

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันนี้การใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ในองค์กรหรือหน่วยงานต่างๆ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีชื่ออยู่กันเป็นที่แพร่หลายมีอยู่สองประเภทใหญ่ๆ คือระบบเครือข่ายบริเวณเฉพาะที่ (Local Area Network หรือ LAN) และ ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network หรือ WAN) ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สายเคเบิลแบบ UPSCATS (Unshielded Twisted Pair Category 5) ในการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน แต่แนวโน้มในการพัฒนาเทคโนโลยี ทางด้านเครือข่ายเป็นไปอย่างรวดเร็วและไม่หยุดยั้ง และในปัจจุบันได้มีสื่อใหม่ที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันโดยไม่ใช้สายเคเบิล หรือที่เรียกกันว่า ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมและเป็นเป้าหมายที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก ในยุคนี้

โดยทั่วไปเทคโนโลยีไร้สาย (Wireless Technology) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

- 1) เครือข่ายไร้สายระยะใกล้หรือเครือข่ายส่วนบุคคล (Short- Range Wireless Network or Personal Area Networks)
- 2) เครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ (Wireless LAN)
- 3) ระบบไร้สายแบบเข้าถึงประจำที่ (Fixed-Access Wireless System)
- 4) เครือข่ายไร้สายบริเวณกว้าง (Wireless WAN)

2.2 รูปแบบและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย

ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LANs) เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1971 บนเกาะฮาวาย โดยโปรเจกต์ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า "ALOHNET" ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-directional ส่งไป-กลับง่ายๆ ผ่านคลื่นวิทยุ สื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะๆหนึ่ง ที่ชื่อว่า Oahu

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนใช้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดย

ปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย

ที่สำคัญก็คือ การที่มันไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันนี้ โลกของเราเป็นยุคแห่งการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวัน ความต้องการข้อมูลและการบริการต่างๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้น มีมากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค เครื่องปาร์ม ได้นำมาใช้เป็นอย่างมากและ ผู้ที่นำจะได้ประโยชน์จากการใช้ ระบบเครือข่ายไร้สาย มีมากมายไม่ว่าจะเป็น

- หมอหรือพยาบาลในโรงพยาบาล เพราะสามารถดึงข้อมูลมารักษาผู้ป่วยได้จาก เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค ที่เชื่อมต่อกับ ระบบเครือข่ายไร้สายได้ทันที

- นักศึกษาในมหาวิทยาลัยก็สามารถใช้งานโน้ตบุ๊คเพื่อค้นคว้าข้อมูลในห้องสมุดของมหาวิทยาลัย หรือใช้อินเตอร์เน็ต จากสนามหญ้าในมหาลัยได้

- นักธุรกิจที่มีความจำเป็นต้องใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์นอกสถานที่ที่ทำงานปกติ ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนองานยังบริษัทลูกค้า หรือการนำเครื่องคอมพิวเตอร์ติดตัวไปงานประชุมสัมมนาต่างๆ บุคคลเหล่านี้มีความจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะ เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรซึ่งอยู่ห่างออกไปหรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์สาธารณะ เช่น เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายจึงน่าจะอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลเหล่านี้ได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเปิดให้บริการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ตามสนามบินใหญ่ทั่วโลก และนำมาใช้งานแพร่หลายในห้างสรรพสินค้า และโรงแรมต่างๆแล้ว

ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย

- 1) mobility improves productivity & service มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลาตราบใดที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล
- 2) installation speed and simplicity สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล และไม่รกรุงรัง
- 3) installation flexibility สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแคมี พืซึการ์มาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊ค หรือพีซี ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที
- 4) reduced cost- of-ownership ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วยความสะดวกในการติดตั้ง

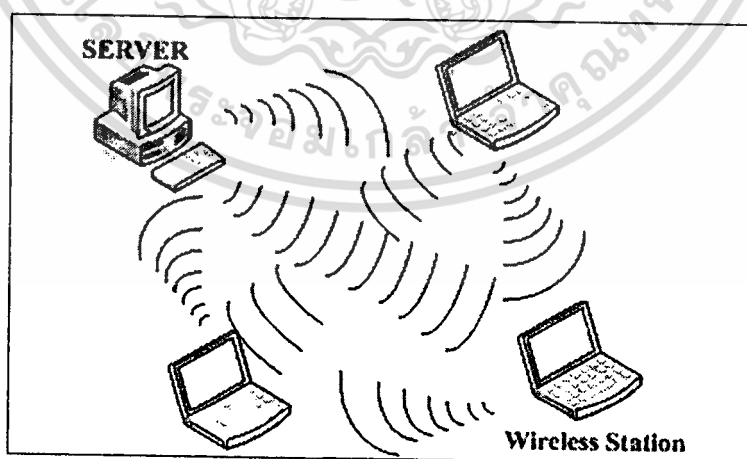
- 5) scalability เครือข่ายไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยากเพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก

2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนักและมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่าย

2.3.1 Peer-to-peer (ad hoc mode)

รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นลักษณะ การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 เครื่องหรือมากกว่านั้น เป็นการใช้งานร่วมกันของ wireless adapter cards โดยไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบใช้สายเลย โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความเท่าเทียมกัน สามารถทำงานของตนเองได้และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วหรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ยกตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม หรือการประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่

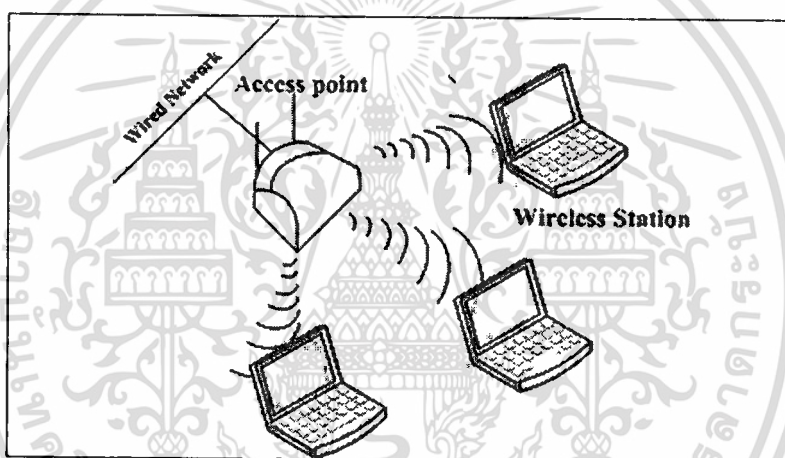


รูปที่ 2.1 การทำงานแบบ Ac hoc mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Client/server (Infrastructure mode)

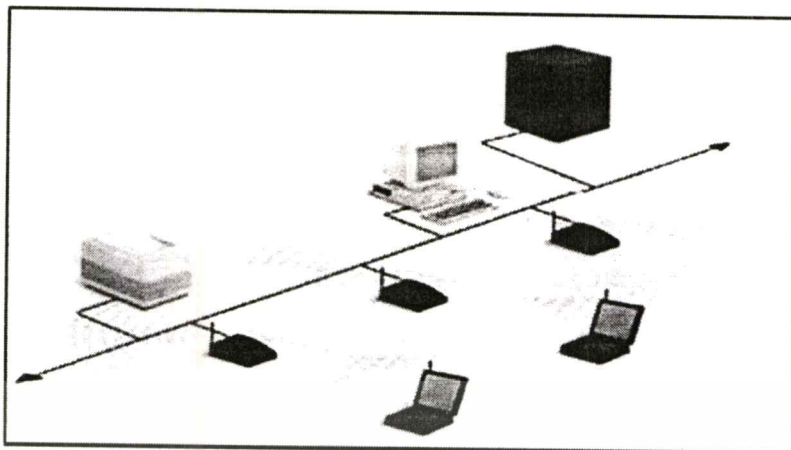
ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / server หรือ Infrastructure mode เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็นเครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น ซึ่ง AP 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ ของเครื่องลูกข่าย เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในออฟฟิศ, ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น



รูปที่ 2.2 การทำงานแบบ access point

2.3.3 Multiple access points and roaming

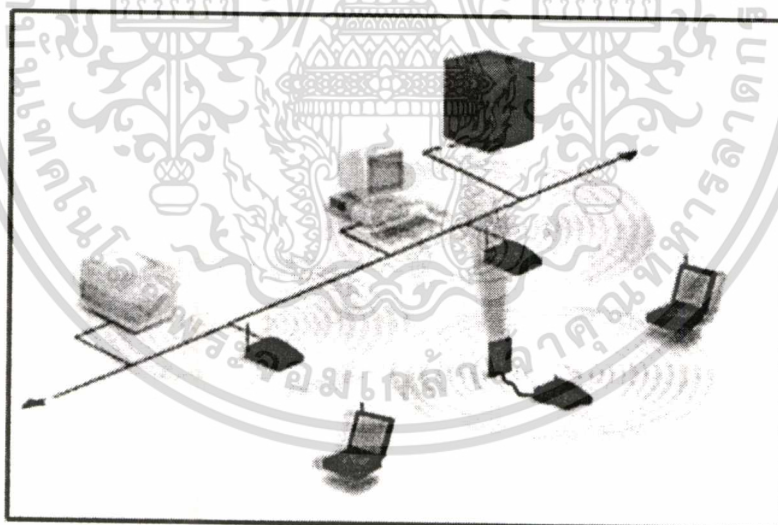
โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุต ภายในอาคาร และ 1000 ฟุต ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง มากๆ เช่น คลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้ง AP ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง



รูปที่ 2.3 การทำงานแบบ Multiple access point and roaming

2.3.4 Use of an Extension Point

กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายแบบไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบอาจจะใช้ Extension Points ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

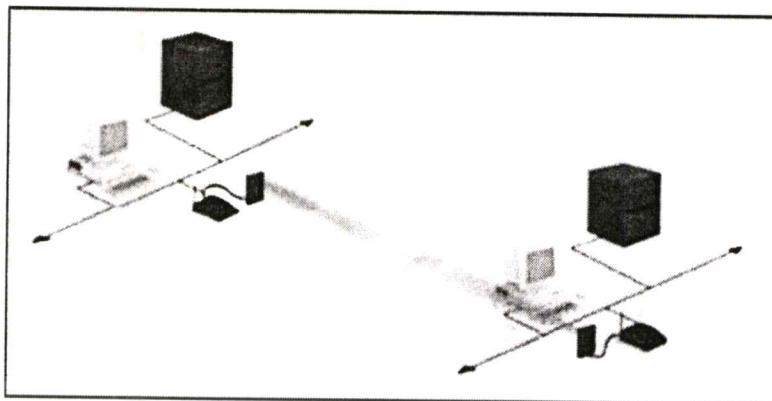


รูปที่ 2.4 การทำงาน แบบการใช้ Extension Point

2.3.5 The Use of Directional Antennas

ระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การทำงานแบบการใช้ Directional Antennas

2.4 มาตรฐาน Wireless LANs

มาตรฐานหลักของระบบเครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ถูกกำหนดขึ้นโดย Institute of Electrical and Electronic Engineers ซึ่งเป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของมาตรฐาน IEEE 802.XX นั้นจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเครือข่าย เช่น IEEE 802.3 ก็คือมาตรฐานของเครือข่ายแบบ Ethernet โดยในส่วนของ IEEE 802.11 ก็จะเป็นการสื่อสารกับเครือข่าย แต่เป็นแบบ ไร้สายนั่นเอง

มาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นเริ่มประกาศใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 มาตรฐานที่เกิดขึ้นนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยี ซึ่งกำหนดระบบการส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 2 Mbps และได้มีการพัฒนาเรื่อยมา โดยมีส่วนย่อยอยู่ด้วยกันถึง 9 ส่วน คือ a, b, c, d, e, f, g, h และ I โดยแต่ละชนิดนั้นก็จะมีลักษณะหรือมาตรฐานของรายละเอียดต่างกันไป ซึ่งหลังจาก 9 กลุ่มย่อยนี้ พัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11 ในด้านต่างๆ จนเสร็จสิ้นแล้ว จึงได้มีการนำเอามาตรฐานที่พัฒนาเสร็จแล้วมานำเสนอ และผลิตออกเป็นผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่าย โดยผลิตภัณฑ์แรกๆ ที่ออกวางจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยกลุ่มย่อย b จึงทำให้เกิดมาตรฐาน IEEE 802.11b ในปี ค.ศ.1999 ย่านความถี่ที่เริ่มใช้เบื้องต้น คือ 2.4 GHz โดยมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 11 Mbps ได้วางตลาดก่อนผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่น จึงเป็นกลุ่มที่มาตรฐานได้รับการยอมรับและเป็นที่รู้จัก มากที่สุดในช่วงนี้ จากนั้นจึงตามด้วยกลุ่ม a ที่ออกความถี่สูงสุดถึง 5 GHz และมีความเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ใน ทั้งนี้ ไม่เกี่ยวกับว่า a จะเก่ากว่า b และ c จะออกมาใหม่ในอนาคตตามตัวอักษร แต่จะขึ้นอยู่กับว่ามาตรฐานของกลุ่มใดทำเสร็จก่อนก็จะออกเปิดตัวก่อนโดยไม่เรียงลำดับตามตัวอักษร

ตารางที่ 2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Standard Approved เริ่มประกาศใช้	July 1997 กรกฎาคม 2540	September 1999 กันยายน 2542	September 1999 กันยายน 2542	Draft stage. Completion Expected in 2002.
Available Bandwidth แถบความถี่ที่สามารถใช้ได้	83.5MHz	300 MHz	83.5MHz	83.5MHz
Unlicensed Frequencies of Operation ช่วงความถี่ที่สามารถใช้ได้	2.4-2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	2.4-2.4835 GHz, DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
Modulation type	DQPSK	BPSK (6, 9 Mbps)	DQPSK/CCK	OFDM/CCK(6,9,12,18, 24,36,48,54)
Data Rate per Channel	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Number of Non-Overlapping Channels จำนวนช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน	3 Indoor/ Outdoor	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) มาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g

ชนิดของการ มอดคูเลชัน	(2 Mbps DSSS) DBPSK(1 Mbps DSSS) 4GFSK (2MbpsFHSS) 2GFSK (1MbpsFHSS)	QPSK (12, 18 Mbps) 16-QAM (24, 36 Mbps) 64-QAM (48, 54 Mbps)	(11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6,9,12,18,24,36,48,54) DQPSK/CCK(22, 33, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)
Compatibility ความเข้ากันได้	802.11	Wiii-Fi5	Wi-Fi	Wi-Fi at 11Mbps And below

2.4.1 มาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 เหมือนกับมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งใช้กับเครือข่าย LAN แบบใช้สาย และ IEEE 802.5 สำหรับเครือข่าย Token Ring ตรงที่ มาตรฐาน IEEE 802.11 จะมุ่งความสนใจไปที่ระดับล่างสุดสองระดับของ ISO model (คือ physical layer และ data link layer) ซึ่งจะทำให้ application, network OS, protocol, รวมทั้ง TCP/IP ใดๆก็ตามสามารถใช้งานบน 802.11 compliant WLANs ได้ง่ายเช่นเดียวกับใช้งานบน Ethernet โดยทั่วไป

มาตรฐาน 802.11 นี้ใช้การส่งสัญญาณแบบคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical) band สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็ว ค่อนข้างต่ำ คือ 1 และ 2 Mbps เท่านั้น โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณหลักอยู่ 2 รูปแบบ คือ DSSS (Direct Sequent Spread Spectrum) และ FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ซึ่งถูกคิดค้นมาจากหน่วยงานทหาร การส่งสัญญาณทั้ง 2 รูปแบบจะใช้ความกว้างของช่องสัญญาณ (bandwidth) ที่มากกว่า การส่งสัญญาณแบบ narrow band แต่ทำให้สัญญาณมีความแรงมากกว่าซึ่งง่ายต่อการตรวจจับมากกว่า แบบ narrow band หน่วยงานทหารใช้วิธีการเหล่านี้ในการปิดกั้นการใช้งานจากอุปกรณ์อื่นๆที่จะมาทำให้ระบบเกิดปัญหา โดยการส่งสัญญาณแบบ FHSS สัญญาณจะกระโดดจากความถี่หนึ่งไปยังอีกความถี่หนึ่งในอัตราที่ได้กำหนดไว้แล้ว ซึ่งจะรู้กันเฉพาะตัวรับกับตัวส่งเท่านั้น ส่วนการส่งสัญญาณแบบ DSSS จะมีการส่ง chipping code ไปกับสัญญาณแต่ละครั้งด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะตัวรับกับตัวส่งเท่านั้นที่จะรู้ลำดับของ chip สำหรับการใช้งานระบบเครือข่ายแบบไร้สายทุกวันนี้ DSSS มีคุณสมบัติที่โคเด้นและให้ throughput ที่มากกว่า เมื่อเร็วๆนี้เองที่ได้มีการพัฒนาจนได้อัตราการส่งข้อมูล 11 Mbps ผ่านการส่งแบบ DSSS และเป็นมาตรฐานที่โคเด้นของ WLAN ผลิตภัณฑ์ซึ่งรองรับมาตรฐาน 802.11b (อัตราส่งถ่ายข้อมูลสูง 11 Mbps) นี้สามารถทำงานร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ซึ่งทำงานกับมาตรฐาน DSSS แบบเก่า 802.11 (อัตราส่งถ่ายข้อมูล 1 และ 2 Mbps) ได้ แต่ ระบบ FHSS จะถูกใช้กับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งต่ำ เป็น application ที่ใช้งานในย่านต่ำๆ เช่น โทรศัพท์ไร้สายความถี่ 2.4 GHz แต่จะใช้งานร่วมกับผลิตภัณฑ์ DSSS ไม่ได้

2.4.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b

มาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในโลกเพราะมีการเปิดตัวก่อนมาตรฐานอื่นและมีผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่ายแล้วมากและแพร่หลายที่สุด

มาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นล่าสุดได้รับการตั้งชื่อใหม่ว่า Wi-Fi โดยได้รับการรับรองมาตรฐานและกำหนดรายละเอียดโดยกลุ่ม WECA หรือ wireless Ethernet Compatibility Alliance ที่ประกอบด้วยสมาชิกจาก ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ชื่อดังอย่าง 3com, Cisco Systems, Intersil, Agere Systems, Nokia และ Symbol Technologies ซึ่งปัจจุบันก็ยังมีสมาชิกจากบริษัทต่างๆ อีกกว่า 110 บริษัทเข้าร่วมอยู่ในมาตรฐานนี้

ตารางที่ 2.2 อัตราการส่งข้อมูลเฉพาะ ของ IEEE 802.11b

Data Rate(Mbps) อัตราการส่งข้อมูล	Code Length ความยาวขอรหัส	Modulation ชนิดของการ มอดดูเลต	Symbol Rate (Mbps) อัตรา Symbol	Bits/Symbol
1	11(Barker Sequence) ลำดับของบาร์เกอร์	BPSK	1	1
2	11(Barker Sequence) ลำดับของบาร์เกอร์	QPSK	1	2
5.5	8 (CCK)	QPSK	1.375	4
11	8 (CCK)	QPSK	1.375	8

สำหรับรายละเอียดด้านคุณสมบัติ ของ IEEE 802.11b จะสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps โดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ 2.4 GHz ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ DSSS โดยย่านความถี่ที่ใช้เป็น ISM(Industrial, Scientific and Medical) band จากกระดัดความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ คือทำได้เพียง 11 Mbps เท่านั้น เมื่อเทียบกับ ระบบ LAN แบบมีสาย ที่มาตรฐานปัจจุบัน อยู่ที่ระดับ 100 Mbps และล่าสุดมาตรฐานความเร็ว 1Gbps กำลังเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะเห็นว่า IEEE 802.11b นั้นค่อนข้างช้ากว่ามาก ไม่เพียงเท่านั้น คลื่นความถี่วิทยุที่ 2.4 GHz ที่ IEEE 802.11b ใช้อยู่ยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมใช้งานอยู่ด้วยหลายชนิด เช่น เตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟ หรือ โทรศัพท์มือถือ ซึ่งหากมีอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานอยู่ใกล้ๆกับเครือข่าย IEEE 802.11b ก็จะทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลช้าลง แต่จุดเด่นก็คือการใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ค่อนข้างต่ำ เพียง 2.4 GHz นั้นทำให้ IEEE 802.11b มีระยะทางในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ค่อนข้างไกล ทำให้ชุดเครือข่ายไร้สายแบบ IEEE 802.11b ไม่จำเป็นต้องมีจุด รับส่งสัญญาณ หรือที่เรียกกันว่า Access Point หรือ นะ Hot Spot มากนัก ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดี

2.4.3 มาตรฐาน IEEE 802.11a

มาตรฐาน IEEE 802.11a นั้นเกิดขึ้นหลังการวางตลาดของมาตรฐาน IEEE 802.11b โดยผลิตภัณฑ์ IEEE 802.11a มีจุดเด่นที่เหนือกว่า IEEE 802.11b ตรงที่ความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะเร็วกว่า คือ ทำได้สูงสุดถึง 54 Mbps และเร็วกว่า IEEE 802.11b ในทุกระยะทาง (ความเร็วของเครือข่ายไร้สายทุกมาตรฐานจะลดลงเมื่อระยะทางมากขึ้น) โดยมีความถี่คลื่นวิทยุอยู่ที่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่วิทยุ ของ Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) band มีความกว้างของความถี่ทั้งหมด 300 MHz โดยแบ่งเป็น 3 ระดับระดับละ 100 MHz คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งแต่ละระดับมีระดับมีการสามารถใช้งานและกำลังส่งแตกต่างกัน

- ย่านความถี่ระดับต่ำ (low band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.15 ถึง 5.25 GHz กำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 50 mW
- ย่านความถี่ระดับปานกลาง (middle band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.25 ถึง 5.35 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 250 mW
- ย่านความถี่ระดับสูง (high band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.725 ถึง 5.825 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุดเท่ากับ 1000 mW

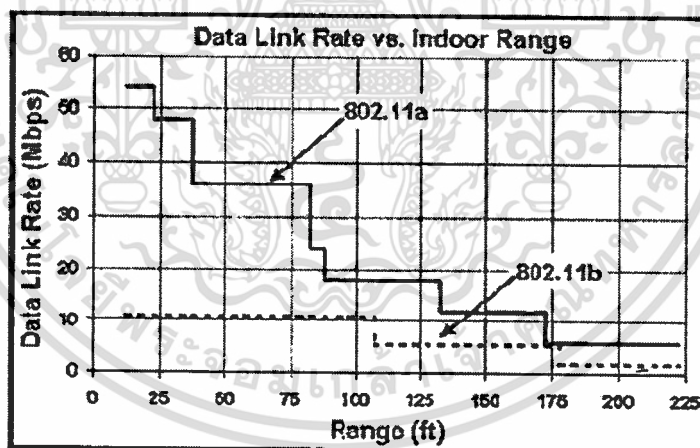
โดยกำลังส่งที่สูงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณของระบบเครือข่ายไร้สายและช่วงความถี่ 5.8 GHz จะทำให้สามารถส่งสัญญาณติดต่อกัน ระหว่างอาคารหนึ่ง กับอีกอาคารหนึ่งได้ ส่วนการใช้งานภายในอาคารจะใช้งาน ในย่านความถี่ระดับปานกลางและต่ำ ซึ่งในอเมริกาสามารถใช้งานได้ทั้ง 3 ย่านความถี่ แต่ปัญหาเรื่องของกฎหมายเกี่ยวกับคลื่นความถี่ระดับ 5 GHz ที่ในแถบยุโรปและประเทศญี่ปุ่นมีข้อกำหนด ค่อนข้างเคร่งครัด คือ ในยุโรปกำลังทำข้อตกลงร่วมกันระหว่าง IEEE และ European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ส่วนในประเทศญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะ ย่านความถี่ต่ำเท่านั้น

ดังนั้นการใช้งานในย่านความถี่ปานกลางและต่ำ จึงมีความกว้างของสัญญาณรวมกันเท่ากับ 200 MHz สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ได้สำเร็จ โดยใช้หลักการ ส่งสัญญาณความถี่ย่อยโดยอัตราเร็วต่ำๆ พร้อมๆกัน เมื่อนำทั้งหมดมารวมกัน ก็จะสามารถสร้างช่องสัญญาณที่มีอัตราเร็วสูงขึ้นไป ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ช่วงความถี่ดังกล่าว สามารถแบ่งการใช้งานได้ ถึง 8 ช่องสัญญาณ โดยไม่ทับซ้อนกัน แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้าง เท่ากับ 20 MHz ใช้

การมอดูเลชันแบบ OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplex) ในการส่งสัญญาณ ซึ่งเป็นเทคนิคการส่งสัญญาณแบบแยกส่งเป็นความถี่ย่อย ๆ (Narrow-band subcarriers) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่ความถี่ย่อยจะมีความกว้างเท่ากับ 300 KHz จำนวน 52 ช่องสัญญาณความถี่ย่อย สัญญาณความถี่ย่อยจะทำการรับและส่งข้อมูลโดยส่งไปแบบขนาน ด้านรับสัญญาณจะได้รับข้อมูลทั้งหมดพร้อมกัน ซึ่งนั่นก็หมายความว่าข้อมูลที่ส่งจะมีขนาดใหญ่ และต้องการความต่อเนื่องในการส่งสัญญาณ เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกัน การสูญหายของข้อมูล (data loss feature) จึงเพิ่ม Forward Error Correction (FEC) เข้าไปใน 802.11a ด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะใน 802.11a เท่านั้น (ไม่พบใน 802.11b)

อัตราการส่งข้อมูลและระยะทางในการส่งข้อมูล

มาตรฐาน 802.11a รองรับอัตราความเร็วของการส่งข้อมูล เท่ากับ 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 และ 54 Mbps อัตราความเร็วจะลดลงเองอย่างอัตโนมัติขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง Access point กับ เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย โดยที่ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps นั้นใช้การมอดูเลชันสัญญาณความถี่ย่อย แบบ 64-level Quadrature Amplitude Modulation (64 QAM) คล้ายกันกับ 802.11b ที่ เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน 802.11a จะมีอัตราเร็วลดลงเหมือนระยะทางจาก Access Point มากขึ้น แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว 802.11a ยังมีความเร็วที่เหนือกว่าในทุกระยะทาง



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่าง มาตรฐาน 802.11a และ 802.11b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a

อัตราการส่งข้อมูล (Mbps)	อัตราการส่งรหัส (R)	Modulation	จำนวนบิตรหัสของต่อ Subcarrier (NBPSK)	จำนวนบิตของรหัสต่อ OFDM Symbol(NCBPS)	จำนวนบิตของข้อมูลต่อOFDM symbol(NDBPS)
6	1/2	BPSK	1	48	24
9	3/4	BPSK	1	48	36
12	1/2	QPSK	2	96	48
18	3/4	QPSK	2	96	72
24	1/2	16-QAM	4	192	96
36	3/4	16-QAM	4	192	144
48	2/3	16-QAM	6	288	192
54	3/4	16-QAM	6	288	216

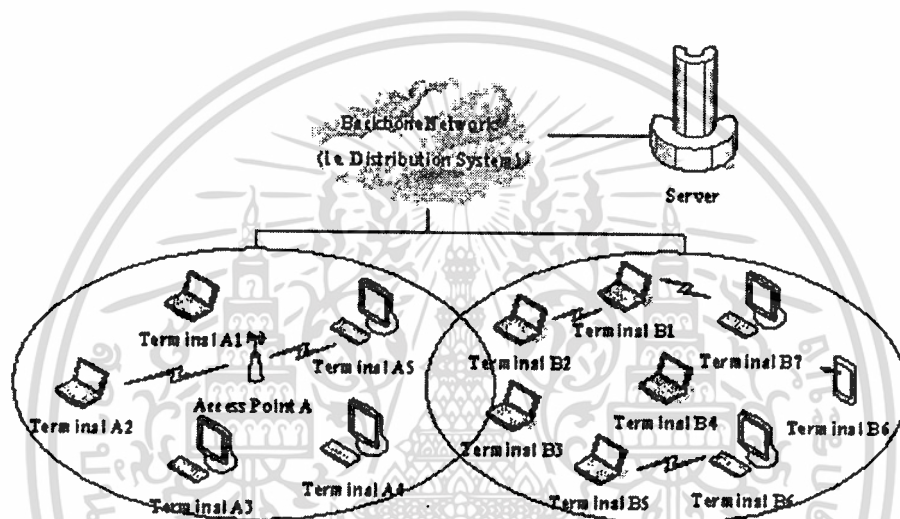
2.4.4 มาตรฐาน IEEE 802.11g

เป็นมาตรฐานที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาและคาดว่าจะสามารถวางตลาดได้ในช่วงปลายปี 2002 จุดเด่นของ IEEE 802.11g ก็คือการใช้คลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz ซึ่งเป็นคลื่นสาธารณะที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานได้โดยไม่ผิดกฎหมาย เหมือนมาตรฐาน IEEE802.11b แต่ใช้เทคโนโลยีแบบ OFDM ในการส่งสัญญาณ ทำให้มีความเร็วสูงสุดมากกว่า 20 Mbps เหมือนมาตรฐาน IEEE 802.11a จุดเด่นที่สำคัญของ 802.11g ก็คือสามารถใช้งานร่วมกับ 802.11b ที่มีอยู่แล้วได้ [1]

2.4.5 สถาปัตยกรรมทั่วไปของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย IEEE 802.11

ลักษณะโครงข่ายและสถาปัตยกรรมทั่วไปของมาตรฐาน IEEE 802.11 แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 จากรูปจะเห็นว่าโครงข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 จะมี 2 แบบด้วยกันคือ ระบบโครงข่ายที่เครื่องลูกข่ายสามารถติดต่อกับโครงข่ายหลัก (Backbone Network) ได้โดยตรง โดยผ่านทาง AP (Access Point) ซึ่งส่วนนี้ใน IEEE 802.11 เรียกว่า “ระบบโครงข่ายแบบกระจาย” (Distribution System) ส่วนโครงข่ายอีกประเภทหนึ่งคือ โครงข่ายของกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่สามารถติดต่อกันได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องผ่านสถานีฐาน (Base Station) ใดๆเลย โครงข่ายแบบนี้เรียกว่า “โครงข่ายแบบ Ad Hoc” โครงข่ายแบบแรกนั้นใช้สำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ออกแบบมาให้สามารถครอบคลุมบริเวณทั้งหมด ภายในตึกหรือภายในสถานที่ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้อง

ใช้ AP ป็นจำนวนมาก เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด รวมถึงการออกแบบเซลล์แต่ละเซลล์จะต้องให้มีการซ้อนทับกันเล็กน้อย เพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างสมบูรณ์ ในมาตรฐาน IEEE 802.11 เครื่องลูกข่ายที่สามารถติดต่อกับ AP หนึ่งๆ ได้จะเรียกว่า “BSS” (Basic Service Set) โดยที่เครื่องลูกข่ายนี้อาจจะเป็นสมาชิก (member) ของเซลล์มากกว่าหนึ่งเซลล์ก็ได้ สำหรับโครงข่ายแบบที่สองนั้นจะใช้สำหรับโครงข่ายแบบ Ad Hoc ซึ่งจะใช้งานในบางประเภท เช่น ใช้ในการประชุมกันภายในห้องประชุม เป็นต้น โพรโตคอลสำหรับระดับชั้น MAC นั้นมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ระบุไว้ว่าโครงข่ายทั้งสองแบบจะใช้โปรโตคอลแบบเดียวกัน



รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

2.4.5.1 ระดับชั้นฟิสิกัล (Physical Layer)

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 จะมีการใช้ระดับชั้นฟิสิกัลอยู่ 4 แบบด้วยกัน [2-3] คือ

- 2.4 GHz ISM แบนด์ ซึ่งใช้ FH-SS ในการส่งสัญญาณ
- 2.4 GHz ISM แบนด์ ซึ่งใช้ DS-SS ในการส่งสัญญาณ
- แสงอินฟราเรด ซึ่งใช้สัญญาณแสงอินฟราเรดในการส่งสัญญาณ
- 5 GHz ISM แบนด์ ซึ่งใช้การส่งสัญญาณแบบ OFDM

(ขณะนี้ได้กำลังมีการกำหนดมาตรฐานใหม่ขึ้นมา เพื่อให้อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐาน IEEE 802.11b สามารถที่ใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ได้ ซึ่งมาตรฐานใหม่ก็คือ มาตรฐาน IEEE 802.11g) ระดับชั้นฟิสิกัลทั้ง 4 แบบ แสดงเปรียบเทียบกันในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระยะการส่ง อัตราการส่งและความถี่ที่ใช้ระหว่าง WLAN แบบต่างๆ

Technology	Standard	Maximum Range (Meters)	File Transfer Speed (Mbps)	Frequency Band (GHz)
DS-SS	IEEE 802.11b	91	11	2.4
FH-SS	IEEE 802.11b	91	2	2.4
Infrared	IEEE 802.11b		10	
OFDM	IEEE 802.11a	91	54	5

คณะกรรมการของ IEEE 802.11 อนุญาตให้มีการใช้ฟิลิคัลได้หลายแบบ เพราะว่าแต่ละสมาชิกของคณะกรรมการนี้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์ ได้มีการค้นคว้าและวิจัยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันไปก่อนหน้านี้แล้ว ประโยชน์ที่เกิดขึ้นคือ ข้อดีของฟิลิคัลแต่ละแบบ จะได้รับการตรวจสอบและพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จากบริษัทผู้ผลิตที่ใช้เทคโนโลยีนั้นๆ ส่วนข้อเสียที่เกิดขึ้นคือ ผู้ใช้ 2 คน ที่ต้องการใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายร่วมกัน จะต้องมีการกำหนดอัตราการส่งข้อมูลระหว่างกันที่ชัดเจน [4]

ในระบบที่ใช้ระดับฟิลิคัลแบบ FH ความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะเปลี่ยนแปลงไปตามชุดของความถี่ที่ใช้กัน (ตัวอย่างเช่น ความถี่ที่ใช้ใน US/European ของมาตรฐาน 802.11 คือ 79 ความถี่ และ 23 ความถี่ในการใช้ญี่ปุ่น) เครื่องส่งจะส่งข้อมูล ณ ที่ความถี่ที่กำหนดให้เป็นเวลาใดก็ตามที่กำหนดไว้ (เรียกว่า "Dwell time" ใน 802.11) หลังจากครบช่วงเวลาที่กำหนดแล้ว มันจะเปลี่ยนความถี่ที่ส่งไปเป็นอีกความถี่หนึ่งและส่งข้อมูล ณ ความถี่นี้เป็นเวลาใดก็ตามที่กำหนด หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนไปอีกเรื่อยๆ ความถี่ที่เปลี่ยนไประหว่างการส่งข้อมูลนั้นที่เครื่องรับจะต้องทราบด้วย เพื่อจะได้สามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง นอกจากนี้แล้วที่เครื่องรับจะต้องมีเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) เพื่อจะใช้ในการตีเทค (Detect) ข้อมูลที่ต้องการ ณ ที่ความถี่นั้นๆ ออกมาได้ ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ใช้ FH ในมาตรฐาน 802.11 จะใช้การกระโดดความถี่แบบช้า (Slow Frequency Hopping) ซึ่งก็คือ จะมีการกระโดดจากความถี่หนึ่งไปยังอีกความถี่หนึ่ง หลังจากการส่งสัญญาณข้อมูลไปแล้วหลายๆสัญลักษณ์ ในระบบ FH นั้นเซลล์ที่ติดๆกันหรือเซลล์ที่เกิดจากการซ้อนทับกัน จะใช้ชุดของความถี่ที่แตกต่างกัน ชุดของความถี่ที่ใช้แต่ละชุดจะประกอบด้วยความถี่ต่างๆ มากมายและเซลล์ที่อยู่ติดกัน (Adjacent Cell) จะต้องไม่ใช่ความถี่เดียวกัน ณ เวลาเดียวกัน

ในระบบที่ใช้ระดับชั้นฟิลิคัลแบบ DS ข้อมูลก่อนที่จะทำการส่ง จะต้องนำไปมอดูเลต (Modulate) กับสัญญาณแบนด์กว้างก่อน ซึ่งสัญญาณแบนด์กว้างที่ใช้ในการมอดูเลตนี้จะต้องบอกให้ที่เครื่องรับทราบด้วย เพื่อที่จะได้สามารถทำการตรวจรับข้อมูลที่ส่งมาได้ สังเกตว่ามาตรฐาน 802.11 ที่ใช้ DS นั้นจะแตกต่างจากระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ตรงที่แต่ละ

เซลล์นั้น จะใช้ชุดของสัญญาณแบนด์กว้างเพียงชุดเดียวเท่านั้น ค่าแฟกเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการบอก ว่าสัญญาณถูกกระจายไปมาก-น้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับสัญญาณเดิมคือ อัตราการกระจาย (Processing Gain) ของระบบ DS ซึ่งในมาตรฐาน 802.11 ระบุไว้ว่าให้มีค่า 11 (10.4 dB) เพื่อให้ ทนทานต่อสัญญาณรบกวน (Noise) ได้ และให้แบ่งช่วงความถี่ทั้งหมด 83 MHz ออกเป็น ช่องสัญญาณย่อยๆ (สำหรับใน US)

ส่วนในระบบที่ใช้ฟีลิตัลแบบ OFDM ที่ใช้ความถี่ 5 GHz นั้น เป็นมาตรฐานใหม่ที่ถูก กำหนดขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายให้สามารถส่งข้อมูลที ความเร็วสูงขึ้น โดยที่ความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีความซับซ้อนมากขึ้นเท่าไรนัก โดยในการ ส่งข้อมูลนั้นจะส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณย่อยๆ หลายๆ ช่องสัญญาณ (Subchannel) โดยใช้ หลักการทำงานร่วมกันของ S/P (Serial-to-Parallel Converter) และ P/S (Parallel-to-Serial Converter) ช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณนั้นในมาตรฐาน 802.11a ได้ระบุไว้ว่าใช้ 64 ช่องสัญญาณ โดยที่เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูล 48 ช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่ง สัญลักษณ์ชี้นำ (Pilot Symbol) 4 ช่องสัญญาณ ส่วนช่องสัญญาณที่เหลือจะไม่ใช้ อัตราการส่งข้อมูล สูงสุดที่ส่งได้คือ 54 Mbps ในการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลนั้นจะใช้กระบวนการ IFFT [5] ในการ มอดูเลตเพื่อลดความซับซ้อนของมอดูเลเตอร์

ในส่วนของระดับชั้นฟีลิตัลที่ใช้การส่งสัญญาณโดยใช้อินฟราเรดนั้น จะใช้อยู่ในช่วงความ ยาวคลื่น 850-950 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ไม่ได้มีการควบคุม (ใช้เลเซอร์ไดโอดแทน LED) ในมาตรฐานระบุไว้ว่า ในการส่งสัญญาณไม่จำเป็นต้องเป็นแบบ LOS ระหว่างเครื่องรับและ เครื่องส่ง แต่แสงอินฟราเรดควรเป็นแบบ diffuse การส่งโดยใช้แสงอินฟราเรดแบบนี้จะใช้สำหรับการ สื่อสารแบบจุดไปยังหลายๆจุด (Point-to-Multipoint Communication) ระยะทางไกลที่สุดที่ สามารถใช้งานได้คือ ประมาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์ และไม่ เกิดปัญหาการรบกวนเนื่องจากความร้อนที่แหล่งกำเนิดแสง โดยทั่วไปการส่งสัญญาณโดยใช้แสง อินฟราเรดตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นี้จะใช้กับระบบเครือข่ายภายในอาคาร เช่น ภายในห้องเรียน หรือห้องประชุม เป็นต้น กระบวนการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่นั้นนั้น (Frequency Reuse) สามารถ ทำได้ง่ายมาก เนื่องจากสัญญาณอินฟราเรดตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นจะถูกกำหนดให้ไม่ สามารถส่งผ่านผนังได้ ทำให้การแบ่งเซลล์สามารถกำหนดขอบเขตได้ง่าย

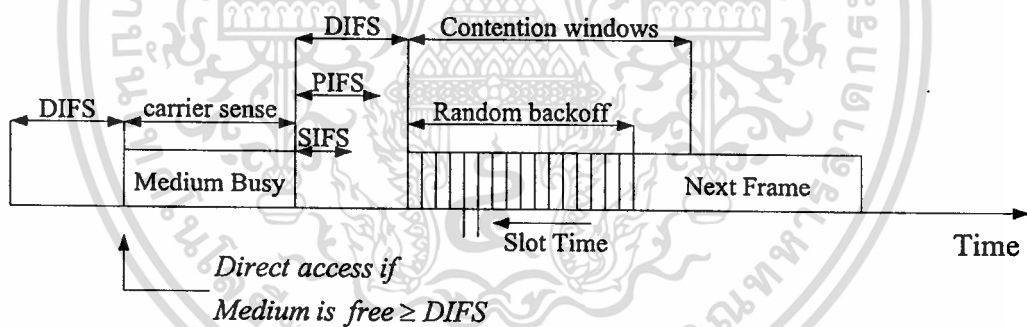
กล่าวโดยสรุปก็คือ ในระบบ FH นั้นจะใช้จำนวนของช่องความถี่ที่มีจำนวนมากกว่าระบบ DS และ OFDM ในบริเวณที่มีเซลล์ต่างๆ มากๆ หรือมีการซ้อนทับกันของเซลล์มากๆนั้น สามารถใช้ ระบบ FH ได้ดีกว่าระบบอื่น นอกจากนี้แล้ว DS และ FH ยังมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ในระบบ FH นั้นจะเกิดการรบกวนเฉพาะช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ขณะที่ระบบ DS นั้นการ รบกวน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง จะมีผลต่อช่วงเวลาการส่งสัญญาณทั้งหมด ดังนั้นระบบ FH จะมี ประสิทธิภาพในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า ในกรณีถ้าบริเวณนั้นมีสัญญาณรบกวน

มากๆ ส่วนระบบ DS นั้นเหมาะสำหรับใช้ในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนน้อยๆ ส่วนในระบบ OFDM นั้นจะทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีเช่นกัน นอกจากนี้แล้วยังจะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการเฟดดิ้ง (Fading) ได้เป็นอย่างดีระบบทั้ง 3 ระบบนี้จะใช้กำลังในการส่งประมาณ 100 mW ซึ่งสามารถจะส่งสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่รัศมีไม่เกิน 100 m ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของข้อมูลที่ส่ง[6-7]

2.4.5.2 ระดับชั้น MAC (Medium Access Control)

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้มีการกำหนดโปรโตคอลที่ใช้สำหรับระดับชั้นฟิสิคัลทั้ง 4 แบบไว้โปรโตคอลเดียวกัน โปรโตคอลที่กำหนดขึ้นนี้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้ผู้ผลิตแต่ละรายสามารถที่จะผลิตได้เป็นจำนวนมากๆ โดยที่ราคาไม่สูงมากนัก โปรโตคอลที่สามารถใช้ในระบยเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้นั้น จะต้องมึคุณสมบัติที่สำคัญคือ

- สามารถรองรับโครงข่ายได้ทั้งแบบทั่ว ไปและแบบ Ad Hoc ดังรูปที่ 2.7
- สามารถทำงานได้ทั้งแบบอะซิงโครนัสและแบบ time-critical traffic (เรียกว่า “การบริการแบบกำหนดขอบเขตเวลา” [Time-Bounded Service])
- มีคุณสมบัติในการจัดการกำลังงานที่ใช้ในการส่งสัญญาณได้



รูปที่ 2.8 กระบวนการเข้าถึง (Access) แบบพื้นฐานที่ใช้ CSMA/CA ตามมาตรฐาน IEEE 802.11

วิธีการเข้าถึงพื้นฐานที่ใช้กันตามมาตรฐาน 802.11 คือ Distributed Coordination Function ซึ่งจะใช้การเข้าถึงที่เรียกว่า “CSMA/CA” (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของ CSMA และมีลักษณะคล้ายกันกับ CSMA/CD ที่ใช้ในมาตรฐาน 802.3 การเข้าถึงแบบ CSMA/CA นี้จะมีการสุ่ม (Random) ของช่วงเวลา เพื่อลดการชนกันของข้อมูล การชนกันของข้อมูลมักจะเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูลของสถานีหนึ่ง แต่สถานีอื่นๆ ตรวจไม่พบการส่งข้อมูลนั้นแล้วทำการส่งข้อมูลออกมา กระบวนการเข้าถึงแบบ CSMA/CA ในมาตรฐานของ IEEE 802.11 นี้ จะใช้การสุ่มของช่วงเวลาที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform

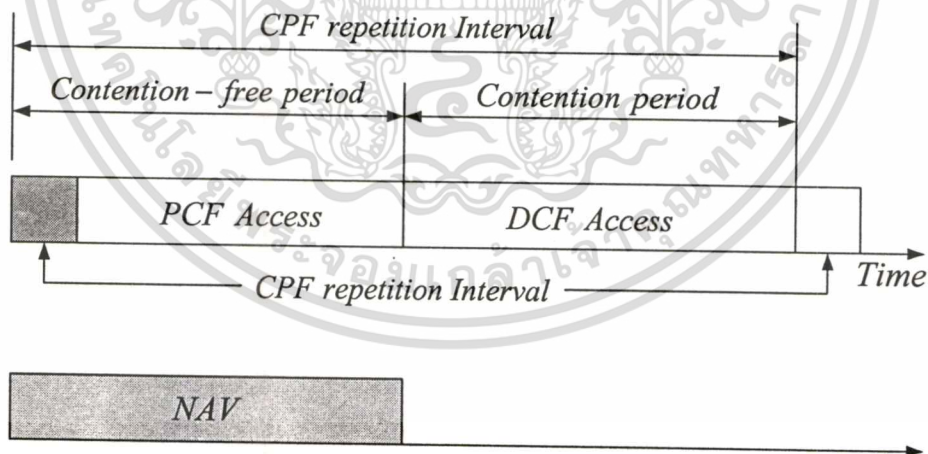
Distribution) (ในลักษณะของสล็อตของเวลา [slot time]) ซึ่งค่ามากที่สุดของช่วงเวลาที่สุ่มได้นั้น เรียกว่า “Contention Windows” (CW) พารามิเตอร์ CW นี้คือ ขอบเขตของช่วงเวลาที่ได้จากการสุ่ม ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของคาบเวลาของเฟรมข้อมูลที่ส่งไปไม่สำเร็จ โดยพิจารณาจากการสูญหายไปของเฟรม ACK (Acknowledgement) กระบวนการเอ็กซ์โพเนนเชียลแบ็คออฟ (Exponential Backoff) นี้จะช่วยลดการชนกันของเฟรมข้อมูลได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แล้วจากรูปที่ 2.8 จะพบว่าค่า IFS (Initial Interframe Space) จะมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ 3 ค่า ตามแต่ความสำคัญ (Priority) ของการส่งสัญญาณเฟรมนั้นๆ เฟรมที่มีความสำคัญมากๆ จะถูกส่งโดยใช้ IFS ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ Short IFS (SIFS) ตัวอย่างเช่น สัญญาณของ ACK ที่ถูกส่งกลับมาจากสถานีรับ เพื่อยืนยันการรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สาเหตุที่ต้องใช้ IFS ที่มีค่าน้อยที่สุด ก็เพื่อเป็นการรับประกันว่าจะไม่มีสถานีอื่นส่งสัญญาณ ก่อนที่สัญญาณ ACK นี้จะถูกส่ง IFS ต่อมาคือ PIFS (Point Coordination Function IFS) ซึ่งถูกใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งเฟรมแบบ time-critical เพื่อให้เฟรมแบบนี้สามารถที่ถูส่งได้ก่อนอะซิงโครนัสเฟรมข้อมูลทั่วไป ซึ่งอะซิงโครนัสเฟรมข้อมูลทั่วไปจะใช้ IFS ที่มีค่ามากที่สุดคือ DIFS (Distributed Coordination Function IFS)

ในระบบการสื่อสารที่ใช้หลักการติดต่อสื่อสาร โดยอาศัยการตรวจจับการส่งสัญญาณวิทยุ นั้น (Carrier Sensing) ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ “โหนดที่มองไม่เห็น” (Hidden Node) ซึ่งเกิดจากการที่สถานีหนึ่ง สามารถตรวจจับสัญญาณวิทยุที่ส่งมาสถานีอื่นๆ ได้ ขณะที่สถานีอื่นๆ นั้นไม่สามารถตรวจจับสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากสถานีนี้ได้ เพราะฉะนั้นเมื่อสถานีอื่นๆ ทำการส่งเฟรมข้อมูลออกมา อาจจะทำให้เกิดการชนกันของเฟรมข้อมูลได้ (เนื่องจากขณะนั้น สถานีที่เป็น “โหนดที่มองไม่เห็น” อาจกำลังส่งสัญญาณข้อมูลอยู่ก็ได้) ปัญหาของโหนดที่มองไม่เห็นนี้ จะเป็นสาเหตุให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น กระบวนการเข้าถึงในชั้น MAC ของมาตรฐาน 802.11 ได้กำหนดวิธีการแก้ปัญหาไว้ด้วย โดยการใช้เฟรมควบคุม (Control Frame) 2 ชนิดคือ

- เฟรม RTS (Request to Send) ซึ่งส่งจากสถานีส่งไปยังสถานีปลายทางที่เป็นสถานีรับ
- เฟรม CTS (Clear to Send) ซึ่งส่งจากสถานีรับไปยังสถานีส่ง เมื่อสถานีรับสามารถรับสัญญาณของเฟรม RTS ที่ส่งมาได้

เฟรม CTS จะถูกส่งจากสถานีที่เป็นด้านรับ กลับมายังสถานีที่ต้องการส่งเฟรมข้อมูลนั้น เพื่อยืนยันการมีตัวตน ขณะเดียวกันก็จะเป็นการแจ้งสถานีอื่นๆ (ที่อยู่ในขอบเขตของสัญญาณวิทยุ นั้น หรือในขอบเขตของเซลล์นั้น) ไปพร้อมๆ กันด้วยว่า ขณะนี้มีสถานีที่กำลังส่งสัญญาณออกมา เพราะฉะนั้นสถานีอื่นๆ อย่าเพิ่งทำการส่งสัญญาณออกมา ภายในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ช่วงเวลานี้จะเรียกว่า “ช่วงเวลา NAV” (Net Allocation Vector) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 การส่งเฟรม RTS/CTS จะไม่ใช้ในการส่งสัญญาณของเฟรมข้อมูลที่สั้นๆ เนื่องจากความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะชนกันจะมีค่าน้อยกว่า และนอกจากนี้แล้วการใช้วิธีนี้มากๆ จะทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลงได้ด้วย

ในกรณีที่เป็นกรส่งข้อมูลแบบจำกัดขอบเขตเวลานั้น (Time-Bounded Service) มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ระบุถึงการนำ PCF มาใช้ที่สถานีที่เรียกว่า “Point Coordinator” (หรือสถานี PCF [PCF Station] โดยทั่วไปแล้วสถานี PCF จะเป็น AP นั่นเอง เพราะฉะนั้นการบริการส่งข้อมูลแบบจำกัดขอบเขตเวลานี้จะใช้กับโครงข่ายแบบธรรมดาเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับโครงข่ายแบบ Ad Hoc ได้) ซึ่งจะมีความสามารถในการควบคุมการส่งสัญญาณเฟรมข้อมูลได้ นั่นคือเมื่อมีการใช้งานในโหมด PCF สถานีที่เป็นสถานี PCF อนุญาตให้มีเพียงสถานีเดียวเท่านั้นในแต่ละเซลล์ ที่จะสามารถส่งสัญญาณเฟรมข้อมูลออกมาได้ในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ในการควบคุมนั้นจะใช้ PIFS และเฟรม Beacon ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะใช้ในการแจ้งบอกสถานีอื่นๆ ทั้งหมดในเซลล์นั้น เพื่อไม่ให้สถานีใดๆ มีการส่งสัญญาณออกมาภายในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่า “CFP” (Contention-free period) เมื่อสถานีทั้งหมดในเซลล์ไม่มีการส่งสัญญาณข้อมูลออกมาแล้ว สถานี PCF จะแจ้งบอกให้สถานีที่กำหนดให้สามารถส่งสัญญาณได้ เริ่มการส่งสัญญาณเฟรมข้อมูลออกมา ซึ่งในการส่งสัญญาณเฟรมข้อมูลนั้นจะส่งโดยอาศัยเฟรมโพลลิง (Polling Frame) ที่ส่งมาจากสถานี PCF สังเกตว่า CFP สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงความยาวได้ในแต่ละครั้งของการใช้งานของระบบ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดยทั่วไปในการติดตั้งจะกำหนดให้เซลล์ที่อยู่ติดกันจะใช้ช่องสัญญาณที่ต่างกัน เพื่อป้องกันไม่ให้สถานี PCF 2 สถานีใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน ขณะที่ในช่วงเวลา CFP แต่ในกรณีที่เป็นโครงข่ายแบบ AD Hoc ที่มีการใช้งานเฉพาะแบบ DCF นั้นจะยอมให้มีการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันได้



รูปที่ 2.9 ช่วงเวลา Contention-free period และ Contention period

อุปกรณ์ส่วนใหญ่โดยทั่วไปที่ใช้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้น โดยมากแล้วจะเป็นแบบจำกัดกำลังงาน (Power Limitation) เพราะฉะนั้นฟังก์ชันในการควบคุมกำลังงานนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องถูกรวมอยู่ด้วย ในกระบวนการเข้าถึงของระดับชั้น MAC เมื่อสถานีใดก็ตามอยู่ในโหมดของการประหยัดพลังงาน (Power Saving Mode) สถานีนั้นๆจะไม่ส่งหรือรับสัญญาณเฟรมข้อมูลใดๆ ได้เลย แต่มันจะยังคงมีช่วงเวลาที่สามารถทำงานได้อยู่เช่นกัน (คือ ช่วงเวลาที่สามารถส่งและรับสัญญาณเฟรมข้อมูลได้) ในมาตรฐานของ IEEE 802.11 ได้กำหนดกระบวนการในการควบคุมกำลังงานของสถานีต่างๆไว้ ทั้งที่อยู่ในแบบโครงข่ายธรรมดาและในโครงข่ายแบบ Ad Hoc ในกรณีที่เป็นโครงข่ายแบบธรรมดา สถานีต่างๆจะอยู่ในโหมดประหยัดพลังงานและในโหมดทำงานสลับกันไปเรื่อยๆ โดยการตรวจจับสัญญาณ Beacon ที่ส่งมาจาก AP ถ้าสถานีตรวจจับสัญญาณของเฟรมควบคุมที่ส่งมาจาก AP และระบุว่าถึงคิวของตัวเองแล้วที่จะสามารถส่งข้อมูลได้ มันจะส่งเฟรมโพลแบบพิเศษ (Special Poll Frame) กลับไปที่ AP เพื่อบอก AP ว่ามันจะส่งข้อมูลหรือไม่ ในกรณีที่ไม่ใช่โครงข่ายแบบธรรมดา (โครงข่ายแบบ Ad Hoc) สถานีที่อยู่ในโหมดประหยัดพลังงานจะเปลี่ยนมาอยู่ในโหมดการทำงาน (Wake Up) ภายในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ที่ได้มีการกำหนดค่าไว้ก่อนแล้ว เพื่อให้สามารถรับสัญญาณของเฟรมข้อมูลที่ส่งมาหามันได้ ในกรณีที่สถานีเหล่านั้นยังคงเหลือข้อมูลที่ต้องการรับอยู่

สิ่งสำคัญสุดท้าย ในมาตรฐานระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายคือ ระบบรักษาความปลอดภัยที่สามารถรับประกันได้ถึงความเป็นส่วนตัวของข้อมูลที่ส่งไป นอกจากนั้นยังต้องมีการความมีตัวตนจริงของสถานีหรือผู้ใช้ นั่นๆด้วย ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ระบุ (เป็นฟังก์ชันเพิ่มเติม) ถึงวิธีการในการเข้ารหัสลับของข้อมูล ที่เรียกว่า “WEP” (Wired Equivalency Privacy Algorithm) อัลกอริทึม WEP นี้มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึม RC4 PRNG ซึ่งถูกพัฒนาโดยองค์กร RSA Data Security Inc มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดวิธีการในการตรวจสอบความเป็นตัวตนจริงอยู่ 2 วิธี แต่อย่างไรก็ตามขณะนี้ได้มีการกำหนดวิธีการออกมาเพียงวิธีการเดียวคือ “วิธีการ Share Key” ซึ่งมีหลักการอยู่ว่า ผู้ใช้แต่ละคนจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้จะต้องรู้รหัสลับของอีกฝ่ายหนึ่งด้วยเสมอ รหัสลับนั้นคือ “Share Key” นั่นเอง

2.5 โครงสร้างการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย

ในระบบเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 นั้นจะแบ่งระดับชั้นของเทคโนโลยีออกเป็น 4 ระดับ นั่นคือ PHY (Physical Layer หรือ ชั้นกายภาพ) MAC (Media Access Controller หรือตัวควบคุมการเข้าถึงสื่อ) OS (ระบบปฏิบัติการ) และ Application (แอปพลิเคชัน) โดย PHY หรือชั้นกายภาพนั้นก็คือส่วนของฮาร์ดแวร์ที่แบ่งมาตรฐานออกเป็น a, b และ g โดยหากเลือกต่างชนิดกันก็ไม่สามารถสื่อสารกันได้รู้เรื่องเพราะเป็นความถี่ที่ต่างกันจะติดต่อรับส่งข้อมูลกันไม่ได้ โดยปัจจุบันในส่วนของ PHY นี้มีอยู่ทั้งสิ้น 4 มาตรฐาน คือ a, b, g และ IR (อินฟราเรด)

ส่วนต่อมาก็คือ MAC นั้น เป็นส่วนของการทำงานเกี่ยวกับระบบรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย การจัดการ โครงสร้างหรือรูปแบบของข้อมูล การแปลงข้อมูล ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11

นั้นใช้มาตรฐาน MAC เดียวกันทั้งหมด คือ ได้กำหนดทางเลือกของการเข้ารหัสไว้ก่อนทำการส่งข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบ 40 บิต ซึ่งรู้จักกันในชื่อ RC4 นอกจากนั้นผู้ผลิตบางรายก็ยังเสนอให้มีการตรวจสอบก่อนใช้งานโครงข่ายด้วยวิธีการที่เรียกว่า Wired Equivalent Privacy (WEP) shared-key อันเดียวกันจะใช้ในการตรวจสอบก่อนที่จะทำการเข้ารหัสหรือถอดรหัสข้อมูลซึ่งจะมีเพียงผู้ใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะมี shared-key ที่ถูกต้องในการถอดรหัสข้อมูลออกมาได้เนื่องด้วยเทคโนโลยีไร้สายถูกคิดค้นขึ้นมาจากหน่วยงานทางทหาร ฉะนั้นเรื่องความปลอดภัยจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากเรื่องความน่าเชื่อถือกับเรื่องความปลอดภัยแล้ว มาตรฐาน 802.11 ในส่วน MAC นี้ ยังมีโหมดสนับสนุนการจัดการพลังงานอีก 2 รูปแบบ คือ Continuous Aware Mode และ Power Saving Polling Mode โดยโหมดแรกสัญญาณวิพยุจะส่งอยู่ตลอดและทำให้สูญเสียบattery ในขณะที่โหมดต่อมาสัญญาณวิพยุจะอยู่ในภาวนอนหลับหรือ sleep เพื่อที่จะถนอมพลังงาน ส่วนของ OS และ Application นั้นก็คือระบบปฏิบัติการภายในเครื่องและแอปพลิเคชันควบคุมการสื่อสาร ซึ่งตรงนี้ก็ใช้งานเหมือนอย่างที่ใช้กันอยู่กับเครือข่ายแบบมีสายในปัจจุบัน

2.6 ความปลอดภัยระบบเครือข่าย (Wireless LANs Security)

การเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย เราต้องพิจารณาถึงเรื่องการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลซึ่งถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งกว่าในกรณีของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายต่อทั่วไป เนื่องจากการเปิดกว้างของเครือข่ายซึ่งผู้ใดก็ตามที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ NIC ต่างก็มีโอกาสเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้เท่าเทียมกัน ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายที่ตั้งใจเปิดให้บริการกับสาธารณะไปจนถึงเครือข่ายเฉพาะองค์กร เครือข่าย LAN ทั่วไปที่ใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อจะมีความปลอดภัยมากกว่าเนื่องจากผู้ดูแลระบบสามารถควบคุมพอร์ตเชื่อมต่อได้ตามความต้องการ ดังนั้นจึงมีการวางข้อกำหนดต่างๆ ขึ้นสำหรับเครือข่ายไร้สาย โดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการลักลอบจารกรรมข้อมูลภายในเครือข่ายส่วนบุคคล แนวทางในการรักษาความปลอดภัยที่สามารถเลือกใช้ได้มีอยู่หลายประการด้วยกัน

ใช้ขีดความสามารถของมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยจำกัดการติดต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ทั้งนี้พิจารณาจากเลขหมาย SSID (Service Set Identifier) ร่วมกับแอดเดรส MAC (Media Access Control) นอกจากนั้นยังสามารถใช้คุณสมบัติ WEP (Wired Equivalent Privacy) รายละเอียดโดยคร่าวๆ ของการรักษาความปลอดภัยในลักษณะนี้ก็คือการกำหนดระดับการรักษาความปลอดภัยให้กับอุปกรณ์ AP (Access Point) แต่ละชุดโดยอ้างอิงแอดเดรส MAC ซึ่งเป็นหมายเลขเฉพาะที่ถูกกำหนดตายตัวให้กับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ บนเครือข่าย LAN โดยผู้ผลิตอุปกรณ์ วิธีการ คือ

1. ต้องทำการ Authentication process ในการติดต่อกันบน WLAN โดยสร้างแบบแผนการรับรองยืนยันบนพื้นฐานของ EAP (Extensible Authentication Protocol) ให้การรับรองยืนยันซึ่งกันและกันระหว่างการ์ด client และ server RADIUS (Remote Authentication Dial-in user Service)

2. การออกนโยบายการรับรองยืนยัน โดยป้องกันการแทรก packet ที่เข้าไปในระบบเครือข่าย LAN ขององค์กร โดยใช้มาตรฐาน IEEE802.11 WEP ป้องกันการแทรก packet ไปใน traffic ใน Network ขององค์กร จุดไหนที่มี traffic ควรจะมีตัวตรวจจับตรวจสอบเช่น IDS (Intrusion Detection System) ไว้ตรวจจับความไม่ชอบมาพากล ของ packet อีกทางด้วย ซึ่งส่วนนี้ควรมี ทั้ง NIDS และ HIDS NetworkIDS และ HostIDS ตามลำดับ

3. การ Encryption ในการส่งข้อมูล ควรมีการเข้ารหัสไว้ ไม่ควรส่งผ่านข้อมูลผ่าน wireless เป็นชนิด plaintext เนื่องจากอาจโดนดักจับข้อมูล โดยการใช้ sniffer ได้ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายไร้สายหรือไม่ไร้สายก็ตาม



บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

3.1 ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง (Multiple Access System)

ระบบสื่อสารอาจแบ่งได้เป็นระบบสื่อสารอะนาล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัลเมื่อระบบสื่อสารอะนาล็อกเริ่มเกิดปัญหาเกี่ยวกับความจุช่องสัญญาณที่ไม่พอทำให้การติดต่อผ่านเครือข่ายระบบสื่อสารอะนาล็อกเกิดปัญหาและหยุดชะงัก ดังนั้นจึงเริ่มมีการพัฒนาระบบสื่อสารดิจิทัลขึ้นเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณให้มากขึ้น สามารถแบ่งวิธีการเข้าถึงระบบเครือข่ายช่องสัญญาณดังนี้

- 1) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนกันใช้งานที่ความถี่ไม่ตรงกัน
- 2) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งช่วงเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนกันใช้แบนด์วิดท์ที่มีช่วงคาบเวลา (Time sharing)
- 3) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแยกความแตกต่างของรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะใช้แบนด์วิดท์เดียวกันและใช้เวลาเดียวกันก็ได้และแต่ละช่องสัญญาณจะมีรหัสแตกต่างกัน
- 4) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยโพลาไรเซชัน (Polarization Division Multiple Access: PDMA) แต่ละช่องสัญญาณใช้โพลาไรเซชันต่างกัน ซึ่งวิธีนี้ไม่ถูกนำมาใช้กับระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 5) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแยกด้วยสเปซ (Space Division Multiple Access: SDMA) วิธีนี้ถูกกำหนดเพื่อนำมาใช้กับดาวเทียมที่มีสายอากาศต่างกัน สามารถใช้ความถี่เดียวกันได้

3.1.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งความถี่ (FDMA)

FDMA เป็นระบบการเข้าถึงข้อมูลที่ใช้ในระบบอะนาล็อกแบบแบ่งความถี่และใช้กันอย่างกว้างขวาง ในระบบดาวเทียมสื่อสารทั่วโลกหลายระบบด้วยกันรวมทั้งระบบอินเทลแซต โดยใช้การทำงานของโครงข่ายไมโครเวฟ ภาคพื้นดินแม้ว่าประสิทธิภาพการใช้วงจรถูกจำกัดตามจากการเข้าถึงหลายทางในระบบดาวเทียมอินเทลแซต IV-A ปรากฏว่าประสิทธิภาพการใช้งานความถี่ของระบบการเข้าหลายทางแบบแบ่งความถี่ผันแปรตามขนาดของคลื่นพาห์เช่น 9.6 ช่อง / MHz สำหรับตัวพาห์คลื่นเดียวที่มีความกว้างแถบ 2.5 MHz และ 31.7 ช่อง / MHz ที่มีความกว้างแถบ 25 MHz ปัจจุบันระบบอินเทลแซต ใช้ระบบคลื่นพหุปลายทาง (multi-destination carrier) ซึ่งสัญญาณเบสแบนด์หลายๆ สัญญาณที่จะส่งไปตามสถานีโทรคมนาคมภาคพื้นดินจำนวนหนึ่งจะมอดูเลต

คลื่นพาร่วมกัน (common carrier) แล้วส่งไปโดยวิธีการของระบบนี้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้วงจรจะลดลงถ้าจำนวนสถานีโทรคมนาคมภาคพื้นดินเพิ่มขึ้น ในกรณีของการสื่อสารที่ต้องการความจุต่ำ (low capacity traffic) เรานิยมใช้ระบบ FDMA ชนิด SCPC ที่ใช้การกำหนดล่วงหน้าหรือ สเปค (SPADE) ที่ใช้กำหนดตามคำขอเป็นเทคนิคการเข้าถึงแบบหลายทางที่นับได้ว่าเป็นมาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอะนาล็อก เทคนิค FDMA กำหนดให้ผู้ให้บริการรายหนึ่งครอบครองช่องสื่อสารวิทยุช่องหนึ่งไปตลอดเวลาที่มีการใช้

3.1.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งเวลา (TDMA)

ระบบ TDMA เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้ระบบ FDMA ในระบบนี้สัญญาณดิจิทัลที่เกิดจากการมัลติเพล็กซ์ โดยการแบ่งทางเวลาจะมอดูเลตตั้งคลื่นพาร่วมกันเดี่ยวส่งและรับ โดยสถานีโทรคมนาคมภาคพื้นดินจำนวนหนึ่ง โดยผ่านทางทรานสพอนเดอร์ของดาวเทียมสื่อสารร่วมกันแม้ว่าระบบจะต้องการเทคนิคการซิงโครไนซ์ และความกว้างแถบที่ใช้ความถี่กำหนดมาสามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงได้เนื่องจากสามารถใช้เทคนิค DSI (Digital Speech Interpolation) ได้ดีกว่า ระบบนี้ให้ความคล่องตัวในการปฏิบัติการสื่อสารเทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA เป็นระบบ IS-54 การแบ่งช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องของเทคนิค TDMA กำหนดให้มีแบนด์วิดท์ช่องละ 30 kHz แต่ละจุดเด่นที่ระบบ IS-54 เหนือกว่าระบบ FDMA ก็คือในหนึ่งช่องสื่อสารวิทยุจะมีการแบ่งช่วงเวลากันในการใช้งานออกเป็น 3 ช่วงสลับกันไป ทำให้สามารถผู้ให้บริการได้ถึง 3 รายการต่อหนึ่งช่องความถี่ การใช้งานของผู้ให้บริการแต่ละรายจะเป็นไปตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ เรียกว่าช่วงเวลา (time slot) หากพิจารณาให้ละเอียดจะพบว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งใช้เทคนิค TDMA ทุกระบบต่างก็ใช้เทคนิคของ FDMA เป็นพื้นฐาน เพราะยังมีการแบ่งช่องสื่อสารวิทยุออกเป็นช่องๆ ตามช่องความถี่ แล้วจึงนำแต่ละช่องมาแบ่งตามช่วงเวลา

ภายในช่องสื่อสารวิทยุของระบบ IS-54 ซึ่งได้ประกอบไปด้วยเวลา 3 ช่องจะมีการแบ่งแต่ละช่องเวลาให้ผู้ให้บริการแต่ละรายที่กำหนดโทรศัพท์ผู้ใช้แต่ละคนจะสามารถรับหรือส่งข้อความได้เฉพาะช่วงเวลาของตนได้รับสิทธิเท่านั้น ช่วงเวลาอื่นๆจะให้บริการ โดยผู้ใช้รายอื่น แต่เนื่องจากช่วงเวลาแต่ละช่องกินระยะเวลาสั้นมากจนประสาทของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะได้ว่ามีการแบ่งเวลาออกเป็นช่วงให้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์สามารถใช้โทรศัพท์พูดคุยได้ตลอดเวลาไม่มีการติดขัดแต่อย่างใด

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เป็นอีกระบบหนึ่งที่ใช้เทคนิค TDMA เพียงแต่แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณวิทยุแต่ละช่องมีขนาดเป็น 200 kHz และมีการแบ่งช่องสื่อสารวิทยุออกเป็น 8 ช่องเวลา เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าระบบ GSM ก็มีได้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ย่านความถี่ให้เหนือระบบอะนาล็อกแต่ประการใดทั้งนี้เนื่องจากย่านการใช้ความถี่ ความถี่กว้าง 200 kHz สำหรับ

รองรับผู้ใช้บริการ 8 ราย ซึ่งก็เป็นตัวเลขเดียวกับระบบบอเนนาลอกซึ่งผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้ช่องสื่อสารวิทยุขนาด 25 kHz รวม 8 ราย ก็ยังคงใช้แบนด์วิดท์ขนาด 200 kHz อยู่เช่นเดียวกัน

3.1.3 การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบการแบ่งรหัส (CDMA)

ระบบ CDMA เป็นระบบที่มีคุณสมบัติของการเข้าถึงหลายทางโดยการเข้ารหัส (coding) โดยแต่ละผู้ใช้งานจะมีรหัสเฉพาะที่แตกต่างกันในแต่ละผู้ใช้งาน เพื่อใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยที่เครื่องรับจะรู้รหัสของผู้ใช้งานและจะทำการถอดรหัสหลังจากรับสัญญาณได้และนำไปแปลงเพื่อให้ได้สัญญาณเดิมกลับมา เมื่อแบนด์วิดท์ของสัญญาณรหัสมากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งการเข้ารหัสจะเป็นการแผ่สเปกตรัมของสัญญาณและเรียกว่าการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum modulation)

ข้อกำหนดในการบ่งบอกว่าเป็นการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่มี 2 ข้อ คือ

- 1) แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกไปต้องมากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูลที่ยังไม่เข้ารหัสสเปกตรัมแผ่
- 2) แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกไปไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ขังไม่เข้ารหัสสเปกตรัมแผ่

นั่นคือการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่จะแปลงสัญญาณข้อมูลข่าวสาร ไปเป็นสัญญาณส่งออกอากาศที่มีแบนด์วิดท์มากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูล โดยรหัสสัญญาณนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูล และมีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่าสัญญาณข้อมูลและจะกระจายกำลังของสัญญาณตลอดช่วงแบนด์วิดท์กว้างทำให้ มีความหนาแน่นกำลังที่ต่ำ อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ที่ทำการส่งกับแบนด์วิดท์ของข้อมูลเรียกว่า อัตราขยายประมวลผล (Processing Gain: G_p) ของระบบสเปกตรัมแผ่

$$G_p = \frac{B_r}{B_i} \quad (3.1)$$

โดย B_r คือแบนด์วิดท์ที่ทำการส่งหลังการเข้ารหัส

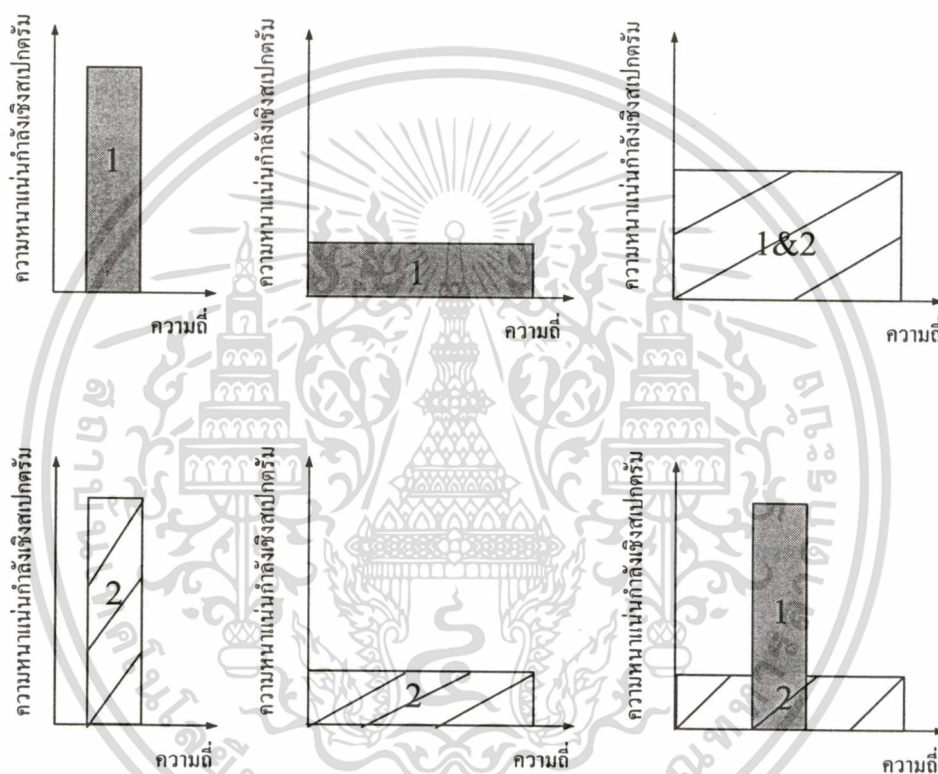
B_i คือแบนด์วิดท์ของข้อมูลก่อนการเข้ารหัส

ที่เครื่องรับจะเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรหัสเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมก่อนการเข้ารหัสออกมานั้นคือเครื่องรับจะต้องรู้รหัสที่ใช้ในการมอดูเลตก่อน สัญญาณสเปกตรัมแผ่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากสัญญาณแถบแคบนี้

- 1) ความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง

ถ้ามีการส่งสัญญาณที่มีการแผ่สเปกตรัม เมื่อมีผู้ใช้งานหลายคนในเวลาเดียวกัน ทางเครื่องก็สามารถแยกผู้ใช้งานแต่ละรายได้โดยใช้รหัสที่แตกต่างกันของแต่ละผู้ใช้งานซึ่งการหัสดังกล่าวต้องมีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่ต่ำพอ การหาค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณที่รับได้

ด้วยรหัสสเปกตรัมแต่ละคิสเปกตรัมสัญญาณผู้ใช้นั้นแต่ละทำการแผ่สเปกตรัมของสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นแทน นั่นคือกำลังของสัญญาณในแบนด์วิดท์ของข้อมูลจะมากกว่ากำลังของสัญญาณการแทรกสอดซึ่งทำให้สามารถแยกสัญญาณที่ต้องการได้ โดยความสามารถของการเข้าถึงหลายทางแสดงในรูปที่ 3.1 โดยรูปที่ 3.1 (ก) แสดงผู้ใช้งาน 2 ผู้ใช้งานสร้างสัญญาณที่มีการแผ่สเปกตรัมจากสัญญาณข้อมูลแถบแคบ ในรูปที่ 3.1 (ข) ผู้ใช้งานทั้ง 2 ส่งสัญญาณที่มีการแผ่สเปกตรัมในเวลาเดียวกัน แต่สัญญาณจาก 1 เท่านั้นที่จะถูกคิสเปกกลับมาที่เครื่องรับ



รูปที่ 3.1 หลักการเข้าถึงหลายทางของระบบที่มีการแผ่สเปกตรัม

2) การป้องกันการแทรกสอดแบบหลายวิถี

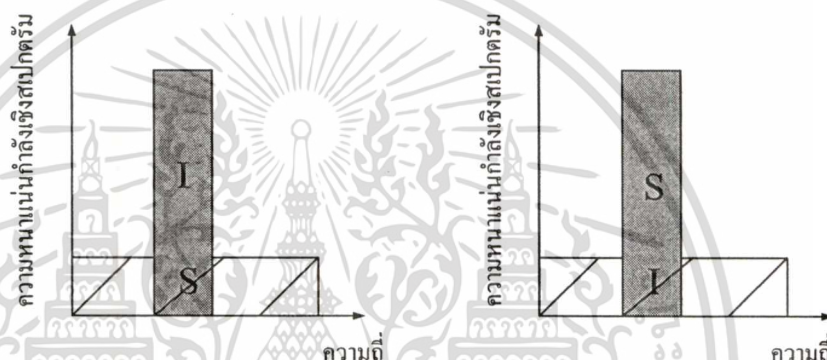
ในช่องสัญญาณวิทยุสัญญาณระหว่างเครื่องรับ – ส่ง จะมีจำนวนเส้นทางมากกว่า 1 วิธีอันเนื่องมาจากการสะท้อนและการหักเห ซึ่งสัญญาณในวิถีต่างๆ คือสัญญาณที่ถูกส่งมาต่างกันที่ขนาดแอมพลิจูดและเฟสเมื่อรวมสัญญาณดังกล่าวที่เครื่องรับก็จะเกิดการเสริมกันบางความถี่และหักล้างกันบางความถี่ ซึ่งการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยขึ้นกับชนิดของวิธีการมอดูเลตที่ใช้

3) เป็นระบบส่วนบุคคล

นั่นคือเครื่องรับจะตีสเปสได้ต้องรู้รหัสของสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น

4) ลดผลจากการแทรกสอด

สหสัมพันธ์ข้ามของสัญญาณรหัสดับสัญญาณแถบแคบจะเป็นการกระจายกำลังงานของสัญญาณแถบแคบนั้นคือ ไปลดกำลังของสัญญาณแทรกสอดในแบนด์วิดท์ของข้อมูล ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยสัญญาณที่มีการแผ่กระจายสเปกตรัม (S) กับสัญญาณการแทรกสอดแถบแคบ (I) ที่เครื่องรับ สัญญาณที่มีการแผ่สเปกตรัมจะตีสเปสในขณะที่สัญญาณแทรกสอดจะแผ่สเปกตรัมกลายเป็นสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ตีสเปส



รูปที่ 3.2 การลดผลของการแทรกสอดของระบบ CDMA

5) ความสามารถในการป้องกันการแทรกแซงจากผู้ใช้อื่น (anti-jamming capability)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแทรกแซงแบบแคบ (Narrowband Jamming) คุณสมบัตินี้คล้ายกับการกำจัดสัญญาณแทรกสอด เพียงแต่สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น เป็นไปโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้จากระบบ จากคุณสมบัตินี้ทำให้การมอดูเลตแบบการแผ่สเปกตรัมเป็นที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์การใช้งานทางด้านทางทหาร

6) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ (Low probability of intercept : LPI)

เนื่องจากสัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่นของกำลังงานที่ต่ำเป็นผลให้สัญญาณตรวจจับยาก

3.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Modulation: SS Modulation)

ระบบ CDMA ใช้หลักการแบบสเปกตรัมแผ่ทำให้ข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการสื่อสารถูกแผ่กระจายไปบนแบนความถี่ทำให้มีแบนด์วิดท์กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลที่ต้องการจะส่งมาก ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS) โดยสัญญาณข้อมูลจะถูกคูณโดยตรงกับรหัสข้อมูลที่มีความเร็วสูง

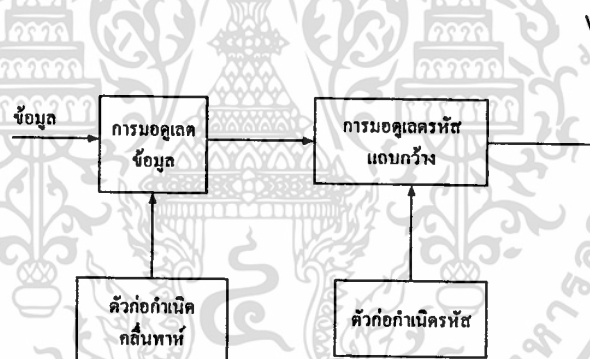
3.2.2 การกระโดดทางความถี่ (Frequency Hopping: FH) โดยความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณข้อมูลที่ถูส่งไปจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากรหัสข้อมูล

3.2.3 การกระโดดทางเวลา (Time Hopping: TH) สัญญาณข้อมูลไม่ได้ส่งอย่างต่อเนื่องแต่จะส่งเป็นเบรสต์สั้นๆ โดยเวลาที่ส่งจะเป็นไปตามรหัสข้อมูล

3.2.4 วิธีการมอดูเลตแบบไฮบริดเป็นการรวมเอาเทคนิค 2 หรือมากกว่าของเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้น ใช้ด้วยกันเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแต่ละวิธี [8]

3.2.1 การจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS)

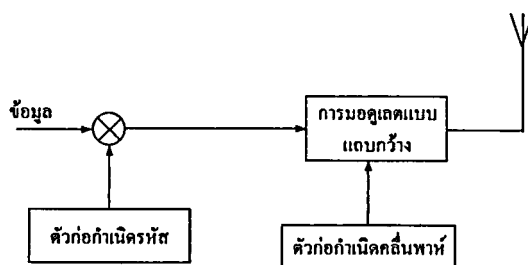
ใน DS - CDMA สัญญาณข้อมูลจะถูกมอดูเลตโดยตรงกับสัญญาณรหัสดิจิตอล โดยสัญญาณข้อมูลอาจจะเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณอะนาลอกก็ได้ สัญญาณข้อมูลจะถูกคูณกับสัญญาณรหัสและได้สัญญาณที่ถูกมอดูเลตเป็นคลื่นพาห์แบบแถบกว้างซึ่งเป็นเหตุผลที่เรียกวิธีนี้ว่า DS - CDMA



รูปที่ 3.3 เครื่องส่งแบบ DS-SS

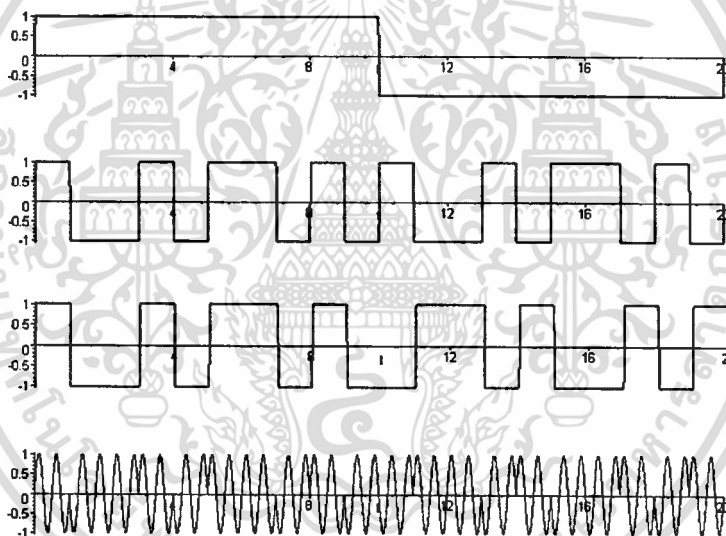
ในรูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของเครื่องส่ง DS - SS โดยข้อมูลฐานสองจะมอดูเลตกับเครื่องพาห์ RF แล้วจึงนำไปมอดูเลตกับสัญญาณรหัสดิจิตอลซึ่งรหัสสัญญาณจะประกอบไปด้วยบิตรหัส หรือ ชิป (Chips) ที่เป็น + 1 หรือ - 1 เพื่อให้เกิดการแผ่สเปกตรัมสำหรับส่วนของการมอดูเลตรหัส มีการนำเทคนิคมอดูเลตหลายอย่างมา เช่น BPSK, DBPSK, QPSK, หรือ MPSK

เมื่อไม่สนใจส่วนของการมอดูเลตข้อมูลและใช้เทคนิค BPSK สำหรับการมอดูเลตรหัส แสดงดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.4



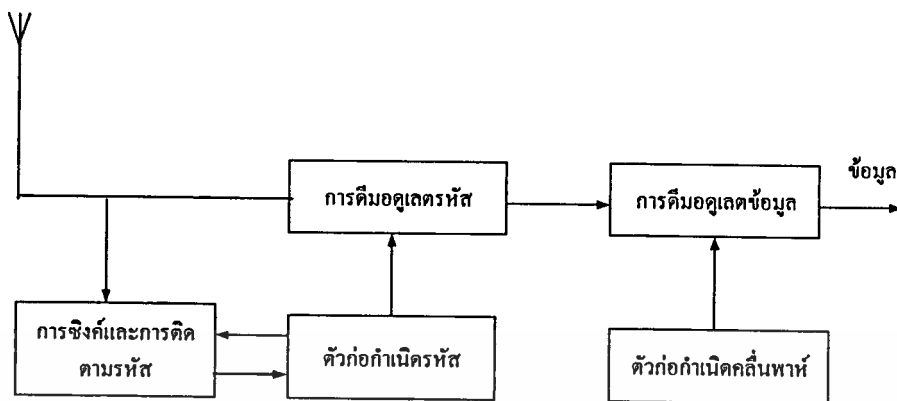
รูปที่ 3.4 เครื่องส่งแบบ DS-SS ที่ดัดแปลงแล้ว

สัญญาณ DS – SS ที่ได้จากเครื่องส่งดังกล่าว แสดงในรูปที่ 3.5 โดยใช้รหัสข้อมูล 10 บิต ต่อสัญญาณข้อมูล 1 บิต ซึ่งมีอัตราขยายการประมวลผลจะมากกว่านี้มาก (ระหว่าง 10^2 ถึง 10^3)



รูปที่ 3.5 ลักษณะของสัญญาณในระบบ DS-SS

ที่เครื่องรับดังรูปที่ 3.6 ได้ใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัย (Coherent) เพื่อดีสเปสสัญญาณสเปกตรัมแม่โดยใช้ตัวกำหนดลำดับรหัส ซึ่งกระบวนการดีสเปสทางเครื่องรับนอกจากนี้ต้องรู้รหัสแล้วรหัสที่ได้จากสัญญาณที่รับได้และที่สร้างใหม่ต้องซิงโครไนซ์ตลอดจนกว่าจะได้รับสัญญาณทั้งหมด ซึ่งส่วนของการซิงโครไนซ์และการติดตามของรหัส (synchronize / tracking code) จะทำหน้าที่ดังกล่าว หลังจากผ่านส่วนของดีสเปสและดีมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 3.6 เครื่องรับแบบ DS-CDMA

3.2.1.1 คุณสมบัติของระบบ DS - CDMA

1) การเข้าช่องสัญญาณหลายทาง

เมื่อมีผู้ใช้งานหลายคนใช้งานช่องสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกัน สัญญาณ DS จะเกิดการซ้อนทับกันในเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับแบบร่วมนัยที่ถูกใช้ในการดีมอดูเลตส่วนของรหัสออกไป เมื่อพิจารณากำลังงานของผู้ใช้งานที่ต้องการในแบนด์วิดท์ของข้อมูล ถ้าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสของผู้ใช้งานที่ต้องการกับรหัสของสัญญาณแทรกสอดมีค่าน้อย การตีเทคแบบร่วมนัยจะทำให้เกิดกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดในแบนด์วิดท์ของข้อมูลในขนาดที่ต่ำ

2) การแทรกสอดหลายวิถี

ถ้ารหัสลำดับมีคุณสมบัติสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) เป็นแบบอุดมคติ ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 เมื่ออยู่นอก $[-T_c, T_c]$ โดย T_c คือค่าความกว้างของชิปนั่นเอง คือถ้าสัญญาณที่ต้องการมีค่าประวิงเวลามากกว่า $2T_c$ การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยจะทำให้สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณการแทรกสอด ซึ่งทำให้กำลังงานในแบนด์วิดท์ของข้อมูลมีขนาดที่ต่ำ

3) การแทรกสอดแบบแถบแคบ

การตีเทคแบบร่วมนัยที่เครื่องรับรวมถึงการคูณสัญญาณที่ได้รับได้กับลำดับของรหัสที่สร้างขึ้นใหม่โดยแหล่งกำเนิดรหัส อย่างไรก็ตามที่เครื่องส่งการคูณสัญญาณแถบแคบด้วยรหัสแถบกว้างจะทำการแผ่สัญญาณสเปกตรัมแถบแคบ ดังนั้นกำลังงานในแบนด์วิดท์ของข้อมูลจะลดลงโดยตัวประกอบที่มีค่าเท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถสรุปถึง ข้อดี และข้อเสียของ DS – CDMA ได้ดังนี้

ข้อดีของระบบ DS – CDMA

- 1) สัญญาณรหัสสร้างได้ง่ายโดยการคูณธรรมดา
- 2) ใช้ความถี่คลื่นพาห้เพียงความถี่เดียวทำให้การสังเคราะห์ความถี่ทำได้ง่ายสร้างได้ง่าย
- 3) สามารถใช้การคิมอูเลตแบบร่วมนัยได้

ข้อเสียของระบบ DS – CDMA

- 1) การค้นเป้า (Acquire) และการรักษาสภาพซิงโครไนซ์ (Synchronize) ของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณรหัสทำได้ยาก เนื่องจากต้องทำในขนาดความกว้างซิปซึ่งมีขนาดเล็ก
- 2) เนื่องจากการซิงโครไนซ์ของสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรหัสที่สร้างใหม่ทำได้ยากและให้แบนด์วิดท์ทั้งหมดที่กระจายถูกจำกัดอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 MHz
- 3) กำลังงานที่รับได้จาก ผู้ใช้งานที่ใกล้สถานีฐาน (base station) มีค่ามากกว่าที่รับได้จากที่ไกลกว่าทำให้ผู้ใช้งานที่ใกล้สถานีฐานจะสร้างสัญญาณแทรกสอดให้กับผู้ใช้งานที่อยู่ไกลออกไปทำให้รับสัญญาณได้ยากขึ้นซึ่งผลของความใกล้-ไกล (near-far effect) แก้ได้โดยการควบคุมกำลังงาน เพื่อให้ทุกสัญญาณจากทุกผู้ใช้งานมีกำลังงานเฉลี่ยที่เท่ากันที่สถานีฐาน แต่อย่างไรก็ดีการควบคุมดังกล่าวทำได้ยาก

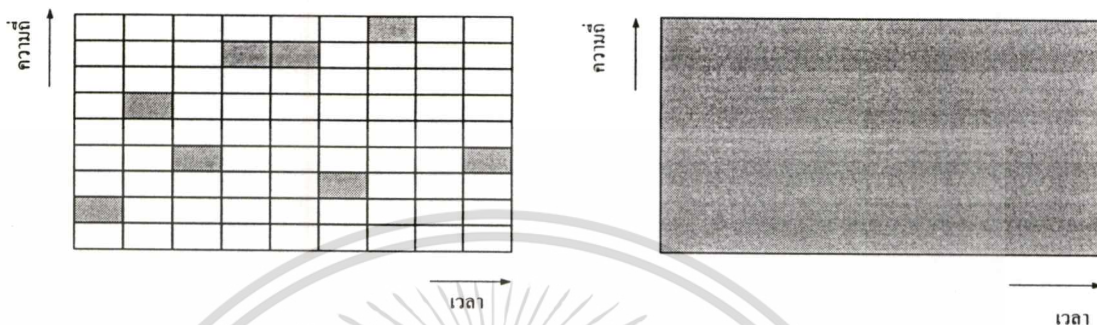
3.2.2 วิธีการกระโดดของความถี่ (Frequency Hopping: FH)

ในวิธีการนี้ความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณข่าวสารที่ถูกมอดูเลตจะไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่มีคาบในช่วงเวลา T ความถี่คลื่นพาห้จะคงที่แต่จะเปลี่ยนไปในแต่ละช่วง ซึ่งรูปแบบการกระโดดนี้จะเป็นไปตามสัญญาณรหัสซึ่งเซตของความถี่ที่เป็นไปได้จะเรียกว่าเซตของการกระโดด (Hop-Set) ซึ่งการครอบครองความถี่จะแตกต่างกันกรณีของวิธีการจัดลำดับโดยตรง โดยวิธีดังกล่าวจะใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมด เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลในขณะที่วิธีการกระโดดความถี่จะใช้แบนด์วิดท์เพียงส่วนเล็กๆ เพื่อใช้ในการส่งแต่ความถี่จะเปลี่ยนไปในเวลาที่ต่างกัน

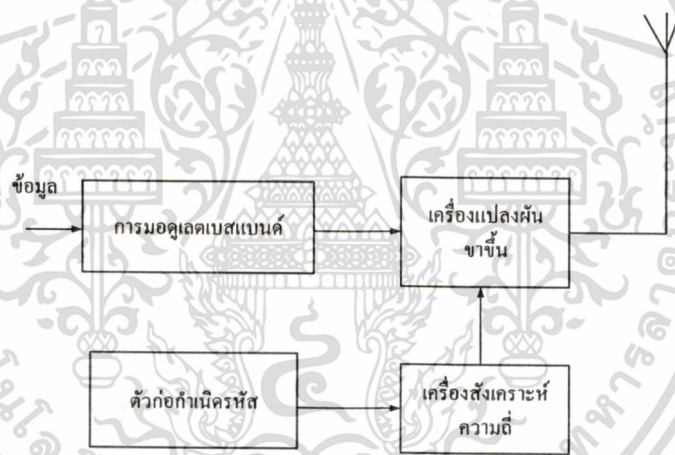
สมมติว่าวิธีการกระโดดความถี่ส่งในความถี่ที่ 2 ในช่วงคาบเวลาแรกดังรูปที่ 3.7 ระบบ DS จะส่งในช่วงเวลาเดียวกันตลอดช่วงความถี่ ดังนั้นค่ากำลังงานที่ส่งในช่วงความถี่ 1 จะน้อยกว่าในระบบ FH อย่างไรก็ตามวิธีระบบ DS ส่งความถี่ 1 ตลอดช่วงเวลา ในขณะที่ระบบ FH จะส่งในช่วงความถี่นี้เฉพาะในช่วงเวลาเท่านั้น ในระบบทั้งสองจะมีค่ากำลังงานในช่วงความถี่เท่ากัน ความแตกต่างของการใช้ความถี่ในระบบ FH และ DS แสดงดังรูปที่ 3.7

สัญญาณข้อมูลจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห้ซึ่งนิยมใช้วิธีมอดูเลตแบบ FM กับสัญญาณอะนาลอกและ GSK ในการมอดูเลตแบบดิจิตอลและการใช้การสังเคราะห์ความถี่ที่ความเร็วสูงที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณรหัสและความถี่คลื่นพาห้จะถูกแปลงความถี่ขึ้นกลายเป็นความถี่ที่ใช้ในการส่งที่เครื่องรับ โดยใช้แหล่งกำเนิดระดับสัญญาณที่รับได้จะถูกแปลงความถี่ขึ้นเป็นสัญญาณเบสแบนด์

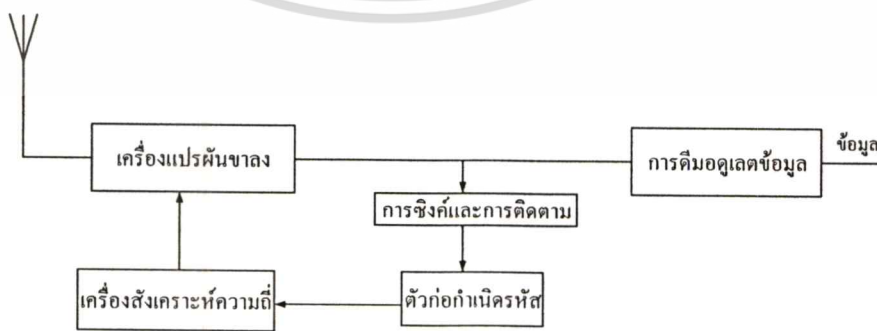
ที่ถูกลมอดูเลตกับคลื่นพาห์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจึงได้กลับมาหลังจากการดีมอดูเลต ส่วนของวงจรซิงโครไนซ์ / ติดตาม (Synchronize / Tracking) ทำให้แน่ใจว่าการกระโดดที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นพาห์จะซิงโครไนซ์กับรูปแบบการกระโดดของคลื่นพาห์ที่รับได้เพื่อให้เกิดการดีสเปสที่ถูกต้อง



รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา/ความถี่ ของระบบ DS และ FH



รูปที่ 3.8 รูปเครื่องส่งแบบ FH-CDMA



รูปที่ 3.9 รูปเครื่องรับของระบบ FH-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบกระโดดความถี่ของ CDMA ยังสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ถ้าจำนวนของการกระโดดมากกว่าอัตราข้อมูล กล่าวได้ว่าเป็นการกระโดดแบบเร็ว (Fast Frequency Hop CDMA : F-FH CDMA) ในกรณีนี้ความถี่คลื่นพาห้จะเปลี่ยนหลายครั้งตลอดการส่ง 1 บิต นั่นคือข้อมูล 1 บิต จะถูกส่งในความถี่ที่แตกต่างกัน ถ้าจำนวนการกระโดดน้อยกว่าอัตราข้อมูลกล่าวได้ว่าเป็นการกระโดดแบบช้า (Slow Frequency Hop CDMA : S-FH CDMA) ในกรณีนี้เป็นข้อมูลหลายบิตจะถูกส่งที่ความถี่เดียวกับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลและรูปร่างของสัญญาณการกระโดด (Hopping signal) และความถี่การกระโดด (Hopping Frequency) ถ้ากรณีของการกระโดดแบบช้า แบนด์วิดท์ของสัญญาณจะเป็นตัววัดตัวแปรสำคัญในการกำหนดขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน ถ้ากรณีการกระโดดแบบเร็วรูปร่างของสัญญาณการกระโดด (Hopping signal) จะเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้งานในการกระโดดแต่ละครั้ง

3.2.2.1 คุณสมบัติของระบบ FH-CDMA

1) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง

ในกรณีของการกระโดดแบบเร็วข้อมูลจำนวน 1 บิตจะถูกส่งในความถี่ที่แตกต่างกันหลายความถี่ ถ้าแถบความถี่ส่วนใหญ่ถูกใช้งานโดยผู้ใช้เดียวกำลังงานของสัญญาณที่รับได้จะมากกว่ากำลังงานของสัญญาณแทรกสอดและจะรับสัญญาณได้ถูกต้อง

ในกรณีของการกระโดดแบบช้าข้อมูลหลายบิตจะถูกส่งในความถี่เดียวกันที่ต่ำพอสัญญาณของผู้ใช้งานที่ต้องการจะรับได้อย่างถูกต้องหากเกิดมีสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้งานที่ส่งในเวลาดังกล่าว การใช้รหัสแก้ไขความผิดพลาด (Error-correcting code) จะให้ได้ข้อมูลที่ต้องการกลับคืนมา

2) การแทรกสอดแบบหลายวิถี

ในกรณีการกระโดดแบบเร็ว ความถี่คลื่นพาห้จะเปลี่ยนหลายครั้งในช่วง 1 บิต ดังนั้นสัญญาณจะถูกมอดูเลตและถูกส่งไปบนความถี่คลื่นพาห้หลายความถี่ ผลของการแทรกสอดหลายวิถีจะแตกต่างกันในความถี่ที่ต่างกัน นั่นคือสัญญาณจะถูกขยายที่ความถี่หนึ่งแต่จะถูกลดทอนที่อีกความถี่หนึ่ง ที่เครื่องรับผลตอบสนองที่ความถี่ที่แตกต่างกันจะถูกเฉลี่ยทำให้ลดผลของการแทรกสอดหลายวิถี ซึ่งในระบบ DS-CDMA จะลดส่วนการแทรกสอดหลายวิถีได้ดีกว่า

3) สัญญาณการแทรกสอดแบบแถบแคบ

สมมติให้เกิดการแทรกสอดแบบแถบแคบที่ความถี่หนึ่งของความถี่ก้าวกระโดด ถ้าให้ G_p คือ ความถี่ของการกระโดด (G_p คือ อัตราขยายการประมวลผล) ผู้ใช้งานที่ต้องการส่งจะใช้ความถี่การกระโดด โดยการแทรกสอดจะมีโอกาสเกิด $1/G_p$ ที่เวลาใดๆ ซึ่งการแทรกสอดดังกล่าว จะลดลงด้วยตัวประกอบ G_p

4) ความน่าจะเป็นของการถูกดักจับของสัญญาณที่ต่ำ (LPI)

ความยากในการรับสัญญาณของระบบ FH ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการมีกำลังส่งที่ต่ำเหมือนในระบบ DS-CDMA แต่อาศัยความถี่ที่สัญญาณทำการส่งซึ่งต้องรู้ล่วงหน้าและช่วงเวลาในการส่งแต่ละความถี่มีค่าน้อย

จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของ FH-CDMA ได้ดังนี้

ข้อดีของระบบ FH-CDMA

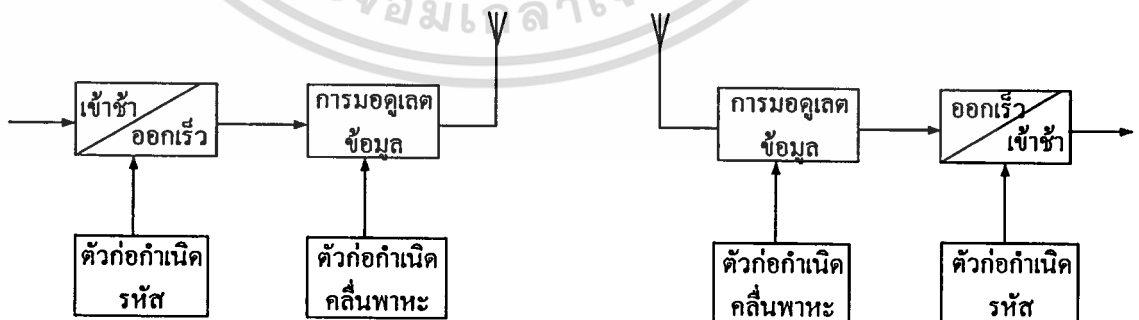
- 1) การชิงโครไนซ์ในระบบ FH-CDMA จะง่ายกว่าในระบบ DS-CDMA เนื่องจากในระบบ FH-CDMA การชิงโครไนซ์จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการกระโดดที่ความถี่สูงแต่ขึ้นอยู่กับเซตของการกระโดดที่มาก ซึ่งช่วงเวลาการกระโดดจะมีค่ามากกว่าช่วงเวลาของชิปของระบบ DS-CDMA ดังนั้นระบบ FH-CDMA จึงยอมให้มีความผิดพลาดของการชิงโครไนซ์ได้มากกว่า
- 2) เนื่องจาก FH-CDMA มีความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้งานต่างกันจะใช้ช่วงความถี่เดียวกันมีค่าต่ำ นั่นคือถ้าผู้ใช้งานที่ไกลจากสถานีฐานส่งข้อมูลมาและที่สถานีฐานได้นับพร้อมกันสัญญาณของผู้ใช้งานที่ใกล้สถานีฐานส่งมา แต่โอกาสที่จะเกิดในช่วงความถี่เดียวกันและในเวลาเดียวกันต่ำ นั่นคือจะลดผลของความใกล้-ไกล (near-far effect) ได้

ข้อเสียของระบบ FH-CDMA

- 1) ต้องใช้การสังเคราะห์ความถี่ที่มีความซับซ้อนสูง
- 2) การใช้การมอดูเลตแบบโคฮีเรนท์ทำได้ยาก เนื่องจากมีปัญหาที่ต้องรักษาความสัมพันธ์ของเฟสในช่วงการกระโดด

3.2.3 วิธีการกระโดดของเวลา (Time Hopping: TH)

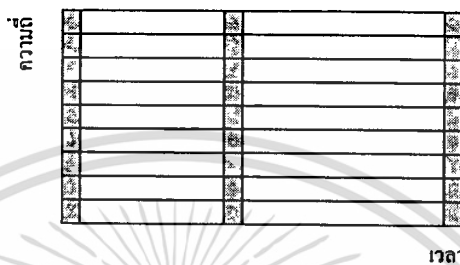
ในระบบ TH-CDMA สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งในช่วงเวลาที่กำหนดโดยรหัสของผู้ใช้งานแต่ละคน



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง-รับ ของระบบTH-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนของเวลาจะถูกแบ่งเป็นเฟรมและแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น M ไทม์สล็อต ผู้ใช้งานแต่ละคนจะส่งเฟรมในไทม์สล็อตใดใน M จะขึ้นอยู่กับรหัสที่กำหนดให้ในแต่ละผู้ใช้งานเมื่อผู้ใช้งานสามารถส่งข้อมูลทั้งหมดได้ใน 1 ไทม์สล็อต ความถี่ที่ใช้ในการส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยตัวประกอบ M โดยรูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ TH-CDMA



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA

รูปที่ 3.11 แสดงกราฟในแกนของเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA ทำการเปรียบเทียบรูปที่ 3.11 กับรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าในระบบ TH-CDMA จะใช้สเปกตรัมแถบกว้างในช่วงเวลาสั้นๆแทนที่จะใช้ทุกช่วงเวลา

3.2.3.1 คุณสมบัติของระบบ TH-CDMA

1) การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง

โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการส่งในช่วงเวลาเดียวกันของผู้ใช้งานมีค่าต่ำ โดยการกำหนดรหัสที่มีค่าแตกต่างกันในแต่ละผู้ใช้งาน หากเกิดการส่งพร้อมกันเกิดขึ้นการใช้รหัสแก้ความผิดพลาด (Error-detecting and feedback) จะทำให้ได้สัญญาณเดิมกลับคืนมา

2) การแทรกสอดแบบแถบแคบ

สัญญาณ TH-CDMA จะถูกส่งโดยเวลาที่น้อยลง ซึ่งจะลดลงเท่ากับ $1/G_p$ โดย G_p คือ อัตราขยายการประมวลผล ที่เครื่องรับจะรับสัญญาณการแทรกสอด ในช่วงที่สัญญาณที่ต้องการเท่านั้นดังนั้นจะรับสัญญาณการแทรกสอดในช่วงเวลาที่เป็น $1/G_p$ เปรอ์เซนต์ของเวลาซึ่งลดกำลังของการแทรกสอดด้วยตัวแปรเสริม G_p

3) ความน่าจะเป็นของการถูกดักจับของสัญญาณมีค่าต่ำ (LPI)

ในระบบ TH-CDMA ความถี่ของแต่ละผู้ใช้งานที่ใช้ส่งจะคงที่ แต่จะแตกต่างกันที่เวลาและช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งก็จะสั้นและเมื่อมีผู้ใช้งานหลายคนส่งจะทำให้เครื่องรับยากในการหาช่วงเริ่มต้นและช่วงสิ้นสุดของการส่งและยากที่จะรู้ว่าผู้ใช้งานไหนส่งมา

จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถแสดงข้อดีและข้อเสียของระบบ TH-CDMA ได้

ข้อดีของระบบ TH-CDMA

- 1) ง่ายในการสร้างมากกว่าระบบ FH-CDMA
- 2) มีประโยชน์เมื่อข้อมูลส่งในกำลังเฉลี่ยแบบจำกัดแต่ไม่จำกัดกำลังค่าสูงสุด (peak power) เมื่อข้อมูลถูกส่งแบบเบิรสต์สั้นๆที่กำลังสูงๆ
- 3) ระบบ TH-CDMA ก็ลดผลของความใกล้-ไกล (near-far effect) เช่นเดียวกับระบบ FH-CDMA เนื่องจากความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน จะใช้ช่วงเวลาเดียวกันมีค่าค่านั้นคือผู้ใช้งานที่ใกล้กับสถานีฐานและไกลสถานีฐานจะมีรูปแบบของการกระโดดทางเวลาที่แตกต่างกัน จึงลดผลของความใกล้-ไกล (near-far effect) ได้

ข้อเสียของระบบ TH-CDMA

- 1) หากมีการส่งพร้อมกันเกิดขึ้นจะเกิดการสูญเสียข้อมูลมากจึงต้องใช้รหัสแก้ไขความผิดพลาดและการวางสลับ (Interleave) ที่ดี

3.3 การจำลองแบบระบบคิว

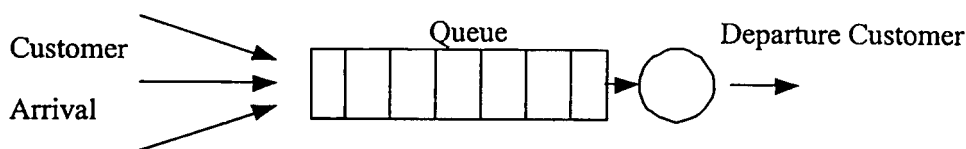
3.3.1 ทฤษฎีระบบคิว

ทฤษฎีระบบคิวเป็นสาขาหนึ่งของทฤษฎีความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ที่ศึกษาระบบคิว ในชีวิตประจำวันมักพบเหตุการณ์รอในคิวเสมอเช่นรถที่จอดรอไฟสัญญาณจราจร ชื่อตัวชมภาพยนตร์ ลูกค้ายที่รอรับบริการในธนาคารเป็นต้น ซึ่งคิวเกิดจากเหตุการณ์ที่อัตราการเข้ารับบริการมีค่าสูงกว่าอัตราการให้บริการ ในการจำลองแบบต่างๆ มักเริ่มต้นจากการศึกษาระบบคิวเนื่องด้วย ระบบที่ซับซ้อนจำนวนมากที่มีระบบย่อยเป็นส่วนประกอบก็คือคิว คิวเป็นระบบง่ายๆ โดยที่การจำลองแบบสามารถเห็นพฤติกรรมได้ชัดเจน ระบบคิวบางระบบมีแบบแผนการวิเคราะห์ค่าคำตอบซึ่งสามารถนำมาประเมินความแม่นยำของการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ได้ เมื่อพิจารณาการรองรับของผู้ให้บริการ ถ้าผู้ให้บริการว่างมากเกินไปการให้บริการนั้นจะไม่มีค่าทางเศรษฐกิจแต่อย่างไร และอาจเกิดการซ้ำซ้อนในระบบ สุดท้ายก็คือค่าเฉลี่ยความยาวของคิวสามารถนำมาออกแบบสถานที่รองรับลูกค้าได้อย่างเพียงพอ และต้องพิจารณาว่าคุ่มค่าต่อทางเศรษฐกิจหรือไม่ และการที่มีคิวยาวมากเกินไปก็จะไม่เป็นผลดี ซึ่งการที่ลูกค้าออกไปจากคิวแสดงให้เห็นว่าคุณค่าของการรอรับบริการนั้นไม่คุ้มค่าแก่การรอ

3.3.2 โครงสร้างระบบพื้นฐานของระบบคิว

โครงสร้างระบบพื้นฐานของระบบคิวแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 โดยที่หน่วยอินพุตของระบบเรียกว่าลูกค้า (Customer) หรืองาน (Jobs) ในที่นี้จะใช้คำว่าลูกค้าสำหรับอธิบาย ซึ่งลูกค้าต้องเรียง

กันเข้ามารับการบริการ ณ จุดให้บริการ (Server) เมื่อลูกค้าเดินทางจนมาถึงจุดบริการ ถ้าขณะนั้น ผู้ให้บริการว่าง ลูกค้าก็จะเข้ารับบริการและออกจากคิวเมื่อรับบริการเสร็จแล้ว ถ้าผู้ให้บริการไม่ว่าง



รูปที่ 3.12 โครงสร้างพื้นฐานของระบบคิว

ลูกค้าต้องเข้ารอคิวเพื่อรอรับการให้บริการในเวลาถัดไปตามกฎของการให้บริการ (Service discipline) พฤติกรรมของระบบคิวมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับข้อสมมติขององค์ประกอบหลัก คือรูปแบบการเข้ามาถึงของลูกค้า (Arrival pattern) กลไกการให้บริการ (Service mechanism) และกฎของคิวเอง (Queue pattern) ดังที่จะกล่าวในข้อต่อๆ ไป

3.3.3 รูปแบบการเข้ามาถึงของระบบ

ลูกค้ามาจากประชากรหรือแหล่งอินพุตของระบบ คุณลักษณะอย่างหนึ่งของลูกค้าคือขนาด (Size) อาจจะเป็นแบบขนาดจำกัด (Finite size) หรือไม่จำกัด (Infinite size) ก็ได้ และคุณลักษณะอีกอย่างที่สำคัญ คือแบบแผนของลูกค้าที่เข้ามาถึงเมื่อเทียบกับเวลา การเข้ามาถึงแบบพื้นฐานคือการเข้ามาถึงแบบปรกติ (Regular arrivals) หมายถึงลูกค้าเข้ามาในระบบคิวในระยะเวลาที่เท่าๆ กัน กำหนดสัญลักษณ์ได้เป็น τ และในที่นี้อัตราการเข้ามาถึงคือ $\lambda = 1/\tau$ ต่อหน่วยเวลา แต่ในแง่ของความเป็นจริงแล้ว การเข้ามาถึงแบบนี้เป็นไปได้น้อยมากแต่ข้อสมมุติทางคณิตศาสตร์ทำได้ง่ายโดยทั่วไปแล้วการเข้ามาถึงที่นิยม คือจะเป็นแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely random process) โดยการศึกษาอ้างอิงถึงการเข้ามาถึงแบบปัวซอง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อๆ ไป

3.3.4 การให้บริการและความสามารถในการบริการที่รองรับได้

องค์ประกอบอีกอย่างของระบบคิวคือลักษณะการให้บริการแก่ลูกค้าแต่ละคนมักเรียกว่า ความต้องการบริการ (Service demand) หรืองาน (Work) หน่วยของการบริการขึ้นอยู่กับลักษณะของผู้ให้บริการและลูกค้า เช่นถ้าผู้ให้บริการคือซีพียู และลูกค้าคือ โปรแกรม หน่วยที่เหมาะสมก็คือ คำสั่ง หรือถ้าผู้ให้บริการคือ Transaction Line และผู้รับบริการคือเมสเสจหรือข้อความ หน่วยที่เหมาะสมก็คือบิตหรือไบต์ เป็นต้น ในการคิดโดยทั่วไปจะกำหนดให้ลูกค้าเป็นประเภทเดียวกัน นั่นคือความต้องการในการรับบริการเป็นการกระจายแบบปรกติ หรือเรียกว่า Service distribution

แต่กรณีระบบที่ซับซ้อนลูกค้าที่เข้ามาจะมีหลากหลายรูปแบบ และแต่ละแบบก็ต้องการการกระจายการบริการที่แตกต่างกัน

ลักษณะการเข้ามาถึงและการให้บริการ ซึ่งสององค์ประกอบนี้ยังไม่เพียงพอในการกำหนดคุณลักษณะของระบบคิว ซึ่งต้องมีการกำหนดความสามารถของผู้ให้บริการด้วย ว่ามีศักยภาพในการให้บริการเร็วเพียงใดในงานที่เราพิจารณา สมมติให้ C (Service capacity) แทนด้วยความสามารถของการบริการ กำหนดให้ S (Service Unit) แทนด้วยจำนวนความต้องการของลูกค้า ดังนั้นอัตราส่วนของ S / C เรียกว่า (Service time) ส่วนค่าคาดหวังของ \bar{S} / C เรียกว่าเวลาการให้บริการเฉลี่ย (Average service time) และกลับเศษส่วน จะได้ว่าอัตราบริการ (Service rate) จะได้ $\mu = C / \bar{S}$ โดยที่ C คือค่าคงที่ [9]

3.3.5 กฎการสับหลัก

กฎการสับหลัก (Scheduling) จะพิจารณาที่ลูกค้าเข้ามาใช้บริการ โดยที่การสับหลักที่เห็นได้ง่ายๆ คือการที่ลูกค้าเข้ามาก่อนก็จะได้รับบริการก่อน (FCFS : First-come first-served) แต่ในสถานการณ์บางอย่างมักมีระดับความสำคัญบางอย่างมักมีความสำคัญมาร่วมด้วย จึงต้องจัดการสับหลักระดับความสำคัญ (Priority scheduling) เรียกระบบคิวประเภทนี้ว่าคิวแบบมีระดับความสำคัญ (Priority queue) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งระบบคิวที่มีระดับความสำคัญอยู่สองประเภท คือแบบแซงคิวไปทันที (Preemptive) เมื่อคนที่สำคัญกว่าเข้ามาถึงจุดบริการ และแบบแซงคิวไม่ได้ทันที (Non-preemptive) จนกว่าลูกค้าที่รับบริการอยู่จะเสร็จธุระแล้ว แต่ในบทความนี้สนใจการทำงานแบบเข้ามาก่อนจะได้รับบริการก่อน

3.3.6 ขบวนการของปีวของ



รูปที่ 3.13 การแบ่งช่วง $(0, T)$ ออกเป็นช่วงย่อยทั้งหมด m ช่วง

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่มียกจำกัด $(0, T)$ และหาค่าการกระจายความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เข้ามาถึงในช่วงเวลา ในการคำนวณจะแบ่งช่วงเวลาคือเป็นช่วงย่อยๆ จำนวน m ช่วง โดยที่ความถี่ที่ได้คือ $h = T / m$ ดังรูปที่ 3.13 ถ้ากำหนดให้ λ เป็นค่าเฉลี่ยอัตราการเข้ามาถึงของลูกค้า สำหรับในแต่ละช่วงย่อยแล้วความน่าจะเป็นที่ลูกค้าคนใดคนหนึ่งเข้ามาถึงคือ $\lambda h + o(h)$ นั่นคือจำนวนลูกค้าที่มากกว่าสองคนหรือมากกว่าสองคนที่เข้ามาถึงคือ $o(h)$ ดังนั้นจะได้ว่า เวลาที่ลูกค้า

ไม่ได้มาถึงคือ $1 - (\lambda h + o(h))$ โดยที่ $o(h)$ แทนจำนวนใดๆ ก็ได้ที่เข้าใกล้ค่า 0 ก่อนค่า h เมื่อ $h \rightarrow 0$ นั่นคือ $o(h)/h \rightarrow 0$

เมื่อกล่าวว่าการกระบวนการเข้ามาถึงแบบสุ่มโดยสมบูรณ์หรือปัวส์ซอง จะมีความหมายดังต่อไปนี้ ถ้าสังเกตช่วงย่อยใดๆ ให้เหตุการณ์เป็นอิสระต่อกันและไม่ทับซ้อนกัน ถ้ากำหนดให้การมาถึงแบบสำเร็จของการทดลองเบอร์โนลี (Bernoulli trial) แล้ว รูปแบบการเข้ามาถึงของช่วงเวลา T คือ $T = m / h$ ความน่าจะเป็นที่ลูกค้าคนที่ i เข้ามาถึงที่ช่วงย่อย m จะสามารถประมาณค่าได้จากกรกระจายแบบทวินาม (Binomial distribution) ดังนี้ [10]

$$\binom{m}{i} [\lambda h + o(h)]^i [1 - (\lambda h + o(h))]^{m-i} \quad (3.2)$$

เมื่อกล่าวถึงลิมิตโดย $h \rightarrow 0$ และ $m \rightarrow \infty$ ที่ $mh = T$ กำหนดให้เป็นค่าคงที่ จะพบว่า $n(T)$ เป็นจำนวนลูกค้าเข้ามาถึงในช่วงเวลา T มีความน่าจะเป็นคือ

$$P[n(T) = i] = \frac{(\lambda T)^i}{i!} \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{m!}{m^i (m-i)!} \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda T}{m}\right)^{m-i} \quad (3.3)$$

$$= \frac{(\lambda T)^i}{i!} e^{-\lambda T} \quad (3.4)$$

ซึ่งก็คือการกระจายแบบปัวส์ซอง (Poisson distribution) จะสังเกตได้ว่าสมการที่ (3.4) มี λT เป็นตัวแปรการกระจาย ค่าเฉลี่ย และตัวแปรค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม $n(T)$ มีค่าเท่ากับ λT ค่าเฉลี่ยสามารถอนุมานได้ว่า $E[n(T)/T]$ และ ค่าความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ $\lambda T \rightarrow 0$ ที่ $T \rightarrow 0$ ดังนั้นค่า $n(T)/T$ จะลู่เข้าสู่ λ

คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของขบวนการปัวส์ซอง คือการกระจายของช่วงที่อยู่ระหว่างเวลาการเข้ามาถึงของแต่ละค่า ให้ X เป็นช่วงเวลาจากเริ่มต้นใดๆ ถึงช่วงเวลอันแรกสุด จะได้ว่าค่าการกระจายของ X ที่ไม่มีค่าใดๆ และไม่มีมารมาถึงเกิดขึ้นในช่วง $(0, x)$ ถ้ากำหนดให้ $X > x$ เท่านั้น

$$P[X > x] = P[n(x) = 0] \quad (3.5)$$

โดยที่ $n(x)$ แทนจำนวนของการมาถึงระหว่างเวลา x หน่วย จากสมการที่ (3.5) ทราบว่า $P[n(x) = 0] = e^{-\lambda x}$

$$o(h) = 2h^2, o(h) = \frac{h^2}{2!} + \frac{h^3}{3!} + \dots \quad (3.6)$$

กำหนดให้ $F_x(x)$ เป็นฟังก์ชันการกระจายของ X และ $f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็น จะได้ว่า

$$F_x(x) = 1 - e^{-\lambda x}, x \geq 0 \quad (3.7)$$

และ

$$f_x(x) = F'_x(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0 \quad (3.8)$$

ดังนั้นสำหรับกระบวนการการเข้ามาถึงแบบปัวซองของ ช่วง X ระหว่างค่าคงที่ใดๆ และเวลาของช่วงแรกเป็นการกระจายแบบเอกซ์โปเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1/\lambda$ และฟังก์ชันการกระจายในสมการที่ (3.8) สามารถหาได้อีกวิธีโดยการกำหนดตัวแปรดังนี้ เลือเวลาเริ่มต้น ณ ค่าที่ใดๆ และกำหนดให้ $P_0(x)$ แทนความน่าจะเป็นที่ไม่มีลูกค้ามาถึงในช่วงเวลา $(0, x)$ จะได้ $P_0(x) = P[n(x) = 0]$ ดังนั้น

$$P_0(x + dx) = P[\text{No customers arrive during } (0, x) \text{ nor during } (x, x + dx)] \quad (3.9)$$

$$= P_0(x) \{1 - \lambda dx + o(dx)\}$$

ดังนั้นถ้าใช้คุณสมบัติการเป็นอิสระทางสถิติของการเข้ามาถึงแบบปัวซองและอาศัยกฎการคูณของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่มีเงื่อนไข ได้ว่า

$$\{P_0(x + dx) - P_0(x)\} / dx = P_0(x) \{-\lambda + o(dx)\} \quad (3.10)$$

เมื่อลิมิต $dx \rightarrow 0$ จะพบว่า

$$P'_0(x) = -\lambda P_0(x) \quad (3.11)$$

เมื่อนำสมการที่ (3.9) มาทำการ Differential จะได้ดังนี้

$$P_0'(x) = -\alpha e^{-\alpha x} \quad (3.12)$$

โดยที่ α คือค่าคงที่ เพราะค่า $P_0(0) = 1$ โดยนิยามเมื่อพิจารณาที่ค่า $\alpha - 1$ ได้ว่า

$$P_0(x) = e^{-\alpha x} \quad (3.13)$$

3.3.7 รูปแบบสัญลักษณ์สำหรับระบบคิว

รูปแบบสัญลักษณ์สำหรับระบบคิวจะมีรูปแบบคือ A/S/c/k/m โดยที่

A แทน การกระจายเวลาการเข้ามาถึงของลูกค้า (Inter-arrival time distribution)

S แทน การกระจายของเวลาการบริการ (Service time distribution)

c แทน จำนวนผู้ให้บริการ (Servers)

k แทน จำนวนสูงสุดของลูกค้าที่ยอมให้มีในคิว (Total customers)

m แทน จำนวนของลูกค้าที่สามารถมีได้ (Customer Available at source)

ในการนิยามหรืออธิบายระบบคิวนิยมใช้สัญลักษณ์ คือ

D แทน ค่าคงตัวของการมาถึง หรือ เวลาให้บริการ

M แทน การกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล

Ek แทน K-Erlang Distribution

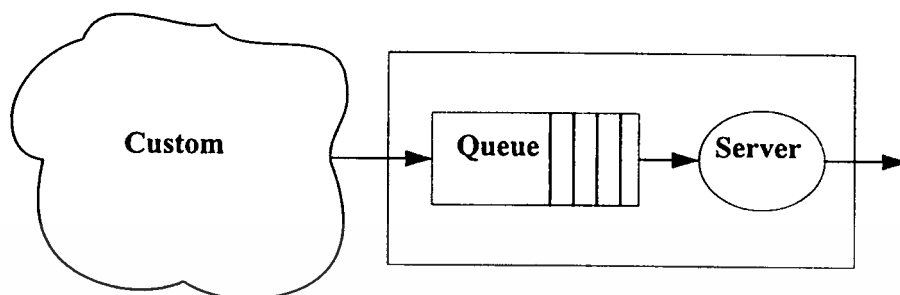
Hk แทน k-stage Hyperexponential distribution

G แทน การกระจายแบบปกติได้ (General distribution)

ถ้าขนาดลูกค้าเป็นแบบไม่จำกัด มักจะไม่เอาค่า m มาคำนวณในแบบจำลองในทำนองเดียวกันถ้าความจุของระบบไม่จำกัดก็จะไม่เอาค่า k มาคำนวณกันสมมุติให้กฎควบคุมคิวเป็นแบบมาก่อนได้รับการก่อน (FIFO: First-in First-out) เมื่อพิจารณาตามคุณสมบัติข้างต้นจะได้ว่าระบบคิวที่มีรูปแบบการเข้ามาถึงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล เวลาการให้บริการแบบคงที่ และมีผู้ให้บริการคนเดียว สามารถแทนได้คือระบบคิว M/D/1 หรือระบบที่มีการเข้ามาถึงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล เวลาในการบริการเป็นแบบปกติ จำนวนผู้ให้บริการสองคน และสามารถจุลูกค้าได้จำนวน k คน สามารถเขียนแทนด้วย M/G/2/k เป็นต้น

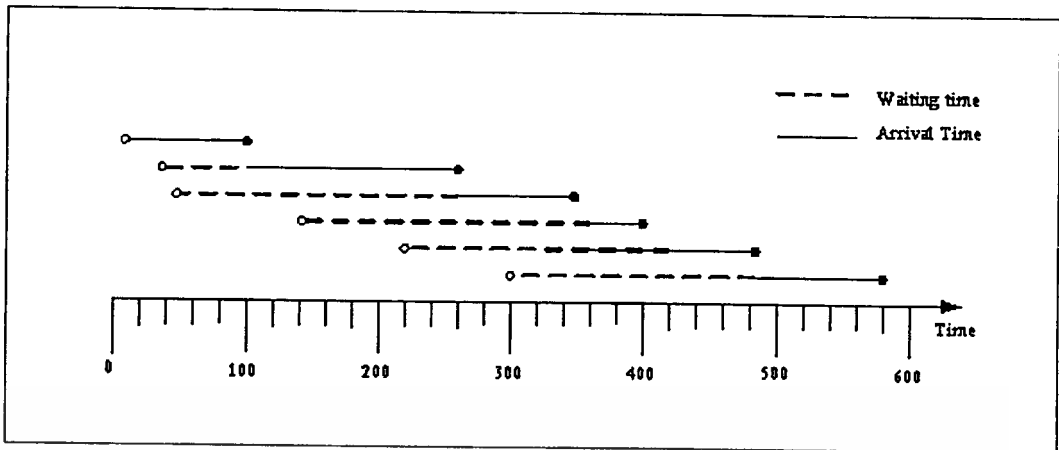
สมมุติให้ระบบมีผู้ให้บริการคนเดียว ดังรูปที่ 2.15 งานของระบบจะมาจากประชากรที่ไม่จำกัด การเข้ามาถึงของประชากรเป็นการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล ด้วยค่าเฉลี่ย T_a เมื่อประชากรเข้ามาถึง ถ้าผู้ให้บริการว่างก็สามารถเข้ารับบริการได้ แต่ถ้าผู้ให้บริการไม่ว่างก็ต้องรอเข้าคิวในที่นี้กำหนดให้ขนาดความจุของคิวเป็นแบบไม่จำกัด มีกฎการสับหลักแบบเข้ามาก่อนได้รับ

บริการก่อนและเวลาการบริการเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ด้วยค่าเฉลี่ย T_s สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนโมเดลได้คือ M/M/1



รูปที่ 3.15 ระบบคิวที่มีผู้ให้บริการคนเดียว

ในที่นี้สมมติให้ $T_a = 200$ หน่วยเวลา, $T_s = 100$ หน่วยเวลา, เวลาในการล้น (Run) ของการจำลองแบบ = 200,000 หน่วยเวลา (คาดว่ามีการเข้ามาถึงของลูกค้าประมาณ 1000 ครั้ง), Time แทนเวลาในการจำลองแบบ, n แทนจำนวนลูกค้าในระบบ ณ จุดเวลาใดๆ มีเหตุการณ์ 2 อยู่เหตุการณ์คือ แบบที่ 1 แทนภาวะการเข้ามาถึง แบบที่ 2 แทนภาวะการรับบริการ โดย เหตุการณ์จะสัมพันธ์กับเวลา t_1 และ t_2 ซึ่งจะเป็นเวลาออกเหตุการณ์ถัดไปที่จะเกิดขึ้น กำหนดให้ t_1 เป็นเวลาของการเข้ามาถึงเวลาถัดไป (Next arrival) และ t_2 เป็นเวลาของช่วงรับบริการช่วงถัดไป (Next Completion) การพิจารณาว่าเหตุการณ์ถัดไปว่าจะเป็นอะไรจะพิจารณาได้จากการนำเวลา t_1 และ t_2 มาเปรียบเทียบกัน ถ้าเกิดว่า $t_1 < t_2$ แล้ว เหตุการณ์ถัดไปคือการเข้ามาถึง และเวลา (Time) จะถูกเซตให้เป็นเวลาของการเข้ามาถึง มีการเพิ่มจำนวนประชากร (n) ในระบบจากนั้นจะคำนวณเวลาสำหรับเหตุการณ์ถัดไปที่จะเกิดขึ้น ถ้าผู้ให้บริการว่างขณะที่ลูกค้าเข้ามาถึง เวลาที่เป็นของการให้บริการจะถูกคำนวณค่าใหม่ ถ้า $t_1 > t_2$ แล้ว เหตุการณ์ถัดไปคือการให้บริการ ตัวแปรเวลาจะถูกเพิ่มให้เป็นของเวลาให้บริการ จำนวนประชากรจะถูกลดลง ถ้ายังมีประชากรอยู่ในระบบหลังจากที่ให้บริการเสร็จแล้วผู้ให้บริการก็จะให้บริการต่อไป จึงจำเป็นต้องคำนวณเวลาให้เป็นของการให้บริการ ถ้าเวลาปัจจุบันของการให้บริการยังมีอยู่แต่ไม่มีลูกค้าเข้ามา เวลา t_2 จะถูกเซตใหม่เพื่อบังคับให้เหตุการณ์ถัดไปต้องเป็นการเข้ามาถึงคล้ายกับเป็นเหตุการณ์ครั้งแรกสุด



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างผลของการจำลองระบบคิวแบบ M/M/1

3.3.8 การวัดค่าทางสถิติของแบบจำลอง

สมมติให้เวลาของระบบทั้งหมด คือ T จำนวนลูกค้าที่เข้ามาถึงทั้งหมดคือ A และจำนวนที่ได้บริการเสร็จแล้วคือ C จะได้ว่า อัตราการเข้ามาถึง (Arrival Rate)

$$\lambda = \frac{A}{T} \tag{3.14}$$

และงานที่ได้หรือค่าวิสัยสามารถ (Throughput Rate)

$$X = \frac{C}{T} \tag{3.15}$$

ในการพิจารณาระบบจริงอาจจะมีลูกค้ารับบริการอยู่ทั้งเวลาจุดเริ่มต้นและเวลาจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่วัด อย่างไรก็ตามถ้าสมมติว่าเวลานั้นยาวนานพอ จะพบว่าจำนวนลูกค้าที่เข้ามาควรใกล้เคียงกับจำนวนลูกค้าที่ได้รับบริการ นั่นก็คือสมมติให้ $\lambda = X$ ข้อสมมุตินี้เรียกว่า Flow Valance จากข้อสมมุตินั้นจำเป็นต้องนับจำนวนของการเข้ามาถึงหรือจำนวนที่ได้รับบริการอย่างใดอย่างหนึ่ง และในการวัดสนใจค่าเฉลี่ยของเวลาให้บริการ (Server Busy Time) B จะได้ว่าการใช้ประโยชน์ของผู้ให้บริการ (Server Utilization) เป็น

$$U = \frac{B}{T} \tag{3.16}$$

และค่าเฉลี่ยเวลาให้บริการลูกค้า (Mean Service Time/Customer)

$$T_s = \frac{B}{C} \quad (3.17)$$

เมื่อพิจารณา Utilization Law นำสมการที่ (3.15) (3.16) และ (3.17) มารวมกันจะได้ดังนี้

$$U = \frac{B}{T} = \frac{B}{(C/X)} = \frac{BX}{C} = XT_s \quad (3.18)$$

หรือถ้าสมมุติตาม Flow Balance

$$U = \lambda T_s \quad (3.19)$$

จะสามารถอธิบายได้ว่า Utilization ของผู้ให้บริการคือผลคูณของค่าวิสัยสามารด (Throughput Rate) กับเวลาการบริการเฉลี่ย (T_s)

พิจารณา Little's Law กำหนดให้ L แทนค่าเฉลี่ยของจำนวนลูกค้าในระบบในช่วงเวลาที่วัด และ W คือเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในระบบ กำหนดให้ w_i เป็นเวลาที่ใช้ในระบบโดยลูกค้าคนที่ i th จะได้ว่า $W = \sum w_i / C$ จากรูปที่ 3.16 จะได้ว่าจำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยในระบบเท่ากับ ค่าเฉลี่ยความสูงของกราฟ หรือค่าของพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยช่วงเวลาทั้งหมด ลูกค้าแต่ละคนจะสร้างพื้นที่ขนาด $1 \times w_i$ ผลรวมของพื้นที่ก็คือ $\sum w_i$ ของจำนวนลูกค้าทั้งหมดที่รับบริการในช่วงเวลาการจำลองแบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ WC จำนวนลูกค้าเฉลี่ยคือพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยเวลาทั้งคือ $L = WC / T$ ดังนั้นจาก $C / T = X$ จะได้

$$L = \frac{X}{W} \quad (3.20)$$

กำหนดให้ Fow Balance

$$L = \lambda W \quad (3.21)$$

สามารถอธิบายได้ว่าจำนวนเฉลี่ยของลูกค้าในระบบคือผลคูณของ System's Throughput Rate และ เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในระบบ ถ้ากำหนดให้ Lq ค่าเฉลี่ยของจำนวนลูกค้าที่เข้าคิวในระบบ (ยังไม่ได้รับบริการ) และให้ Wq เวลาเฉลี่ยที่รอในคิวสามารถประยุกต์ใช้ Little' Law ได้ว่า

$$Lq = \lambda Wq \quad (3.22)$$

เนื่องจาก $L = Lq + U$ และ $W = Wq + Ts$ ซึ่งสามารถพิจารณา Utilization Law จาก Little Law โดยให้ U แทนค่าเฉลี่ยจำนวนลูกค้าที่กำลังรับบริการอยู่ ซึ่งตัวอย่างนี้วัดค่าต่างๆ ได้ดังนี้ มีจำนวน Completion = 6, เวลาที่วัด = 600 หน่วย และค่าอื่นๆ ตามรูปจะได้

$$\text{Throughput: } X = 6 / 600 = 0.01$$

$$\text{Total Busy Time: } B = (100 - 20) + (250 - 100) + (340 - 250) + (400 - 340) + (480 - 400) + (570 - 480) = 550$$

$$\text{Mean Service Time: } Ts = 550 / 6 = 91.7$$

$$\text{Utilization: } U = 550 / 600 = 0.917 \text{ หรือ } U = 0.01 \times 91.7 = 0.917$$

$$\text{Residence Time Sum: } \sum wi = (100 - 20) + (250 - 50) + (340 - 75) + (400 - 140) + (480 - 220) + (570 - 330) = 1335$$

$$\text{Mean Residence Time: } W = 1335 / 6 = 222.5$$

$$\text{Mean queueing Time: } Wq = 222.5 - 91.7 = 130.8$$

$$\text{Mean Number in System: } L = 1335 / 600 = 2.225$$

$$\text{Mean Number in System: } Lq = 2.225 - 0.917 = 1.308$$

3.3.9 โครงสร้างของแถวรอ

ลูกค้าที่มารับบริการอาจจะเข้าแถวเดียวหรือแบบหลายแถวหรือเป็นแบบผสมทั้ง 2 แบบก็ได้ ซึ่งการเลือกรูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณลูกค้าที่มารับบริการและลำดับการให้บริการที่ต้องการ

1. ช่องให้บริการแบบช่องเดียวและระดับการให้บริการแบบระดับเดียว (Single channel , single phase) ลักษณะนี้เป็นโครงสร้างของระบบคิวที่ง่ายที่สุด และการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาเมื่อการกระจายตัวของรูปแบบการเข้ามาและการให้บริการเป็นแบบพื้นฐานทั่วไป จะเป็นสมการที่รูปแบบตรงที่สุด แต่ถ้การกระจายเป็นแบบไม่เป็นพื้นฐานแล้ว การแก้ปัญหาจะง่ายขึ้นเมื่อใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของโครงสร้างแบบนี้ ได้แก่ พนักงานตัดผม 1 คนในร้านตัดผม
2. ช่องให้บริการแบบช่องเดียวและระดับการให้บริการหลายระดับ (Single channel , multiphase) ตัวอย่างเช่น การบริการล้างรถซึ่งมีการให้บริการดังนี้ การดูดฝุ่น การล้างด้วยน้ำสะอาด การล้างด้วยน้ำยาล้างรถ การล้างด้วยน้ำสะอาดครั้งที่สอง การทำให้แห้ง การทำความสะอาดกระจก และการนำรถไปจอด ซึ่งการให้บริการนี้จะเป็นลำดับที่มีรูปแบบเดิมทุกครั้ง

3. ช่องให้บริการหลายช่องทางและระดับการให้บริการแบบระดับเดียว (Multichannel , single phase) ตัวอย่างเช่นช่องให้บริการที่ธนาคารที่มีหลายช่อง หรือ ช่องรับชำระเงินที่ห้างสรรพสินค้าใหญ่ ความยุ่งยากของรูปแบบนี้อยู่ที่ลูกค้าแต่ละคนจะใช้เวลาในการบริการแต่ละช่องบริการไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลในแง่ความรู้สึกของลูกค้าซึ่งมาก่อนแต่ได้รับบริการที่หลังเป็นอย่างมาก ในการให้บริการที่มีความหลากหลายของโครงสร้างเช่นนี้ มักจะให้บริการลูกค้าที่เข้ามาตามลำดับก่อนหลังนี้เป็นแถวแบบเดียว และจากนั้นจึงกระจายลูกค้าจากแถวเดียวไปตามช่องบริการจำนวนมากนั้น ปัญหาหลักของโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ การควบคุมแถวที่แน่นอนเพื่อรักษาลำดับก่อนหลังนี้ไว้และการทำให้ลูกค้ามุ่งตรงไปยังช่องบริการได้ในระยะเวลาสั้น ซึ่งอาจจะใช้การให้บัตรหมายเลขแก่ลูกค้าเพื่อแสดงลำดับก็ได้
4. ช่องให้บริการหลายช่องทางและระดับการให้บริการแบบหลายระดับ(Multichannel , multiphase) โครงสร้างแบบนี้คล้ายกับแบบที่ 3 แต่ขั้นตอนการให้บริการจะมีตั้งแต่ 2 ขั้นตอนขึ้นไป ตัวอย่าง โครงสร้างแบบนี้ เช่น การรับคนไข้เข้าพักในโรงพยาบาล เนื่องจากการให้บริการเป็นขั้นตอนดังนี้ การติดต่อที่โต๊ะรับคนไข้ที่ต้องการจะเข้าพัก การกรอกข้อมูลคนไข้ การประมาณราคาห้องพัก การจัดหาห้องพักให้แก่คนไข้ การส่งคนไข้เข้าสู่ห้องพัก ฯลฯ และช่องบริการที่ให้บริการในแต่ละขั้นตอนนี้มีมากกว่า 1 ช่องบริการ คือ คนไข้มากกว่า 1 คนสามารถเข้ารับบริการได้ในเวลาเดียวกัน
5. แบบผสม (Mixed) ในการพิจารณาโครงสร้างแถวที่รอ เราจะพิจารณาโครงสร้าง 2 ประเภทคือ โครงสร้างแบบที่มีช่องให้บริการเดียวและแบบหลายช่องทาง หรือเป็นแบบที่มีเส้นทางเลือก ในโครงสร้างแบบแรกเราจะหาแถวที่จะใช้ในการให้บริการแบบระดับเดียวและแบบหลายระดับ เช่น สายงานที่ประกอบที่ป้อนชิ้นงานส่งให้กับสายงานหลัก เป็นต้น ในโครงสร้างแบบที่สองจะมีโครงสร้างที่มีทิศทางไหลของแถวต่างกัน คือ กรณีแรกจะมีลักษณะคล้ายกับแบบช่องให้บริการหลายช่องทางและระดับการให้บริการแบบหลายระดับ ซึ่งในกรณีนี้จะไม่รวมถึงการสลับสับเปลี่ยนช่องบริการหลังจากที่การให้บริการแรกจบลงแล้วส่งต่อมา และกรณีที่สองจำนวนช่องบริการและระดับการให้บริการมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่การให้บริการแรกจบลงแล้วส่งต่อมา

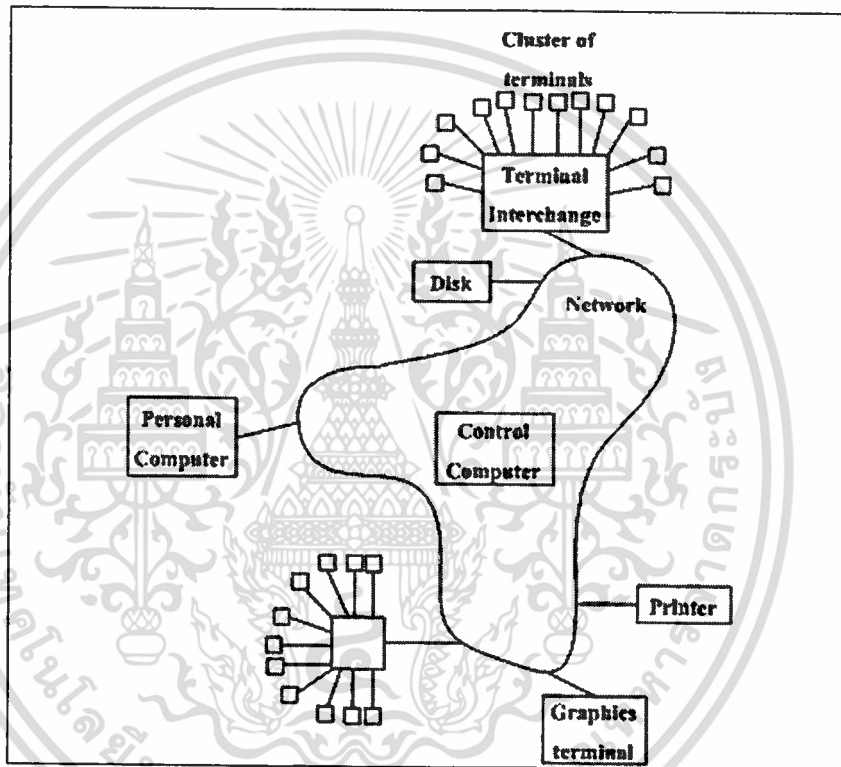
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบโครงข่ายการเลือก

4.1 บทนำ

ระบบโครงข่ายการเลือกเป็นเสมือนตัวแทนของวิธีในการใช้โครงข่ายร่วมกันที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง โดยการทำงานจะมีตัวคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางในการควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละสถานี



รูปที่ 4.1 รูปแบบทั่วไปของการทำงานในระบบโครงข่ายการเลือก

รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบทั่วไปของการทำงานในระบบโครงข่ายการเลือก ซึ่งในระบบจะถูกออกแบบไว้สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างกันของแต่ละตัวอุปกรณ์ โดยหลักการ คือ ตัวอุปกรณ์ที่ถูกเชื่อมต่อกันโดยระบบการเลือกนี้ จะสามารถเชื่อมต่อกันในระยะทางจากสถานี (terminal) หรือสถานีย่อย (terminal clusters) ผ่านทางสถานีแลกเปลี่ยน (terminal interchange) ไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น เช่น printer, storage disks, graphics terminal และ even mainframe

ลักษณะการทำงานทั่วไปของระบบการเลือก คือ คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางสามารถเลือกแต่ละตำแหน่ง หรือแต่ละสถานีในระบบโดยการกำหนดไว้ล่วงหน้าถึงลำดับก่อน-หลังในการ

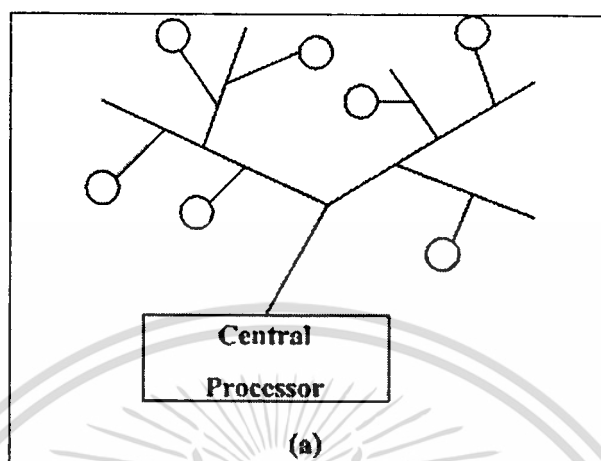
เข้าถึงช่องสัญญาณ ณ ตำแหน่งของตัวสถานีที่ถูกเลือก (ตัวอุปกรณ์ที่ถูกเชื่อมต่อ) ถ้ามีข้อมูลรอส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไป ซึ่งการใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลนั้นจะใช้อัตราสูงสุดที่ช่องสัญญาณรองรับ ในระหว่างการให้บริการอยู่นั้น ถ้ามีข้อมูลเข้ามาในสถานี ณ ช่วงเวลาที่ทำการโพลอยู่นั้นจะให้ข้อมูลที่เข้ามาใหม่นั้นทำการรออยู่ในบัฟเฟอร์ก่อนเพื่อทำการรอรับบริการในรอบต่อไป ในส่วนข้อมูลเก่านั้นจะทำการบริการจนกว่าจะแล้วเสร็จ การติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีนั้นจะทำการส่งผ่านข้อมูลโดยผ่านทางตัวคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ซึ่งมีหน้าที่รับแพ็คเกจข้อมูลที่ผ่านเข้ามา และทำการส่งไปยังสถานีที่เหมาะสม ในการส่งข้อมูลทั้งจากสถานีที่ถูกโพลไปยังสถานีฐาน และจากสถานีฐานไปยังสถานีปลายทางนั้นสามารถส่งออกไปได้ทั้งแบบทางเดียวแต่สลับทิศได้ (half duplex) และแบบสองทางในเวลาเดียวกัน (full duplex)

ระบบโครงข่ายการเลือกสามารถแบ่งรูปแบบการดำเนินการได้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call และระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub โดยทั้ง 2 รูปแบบถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทั้งสิ้น รูปแบบในการส่งข้อมูลของโครงข่ายนั้นตามรูปแบบมาตรฐานจะทำการวนจากสถานีเริ่มต้นไปยังสถานีถัดไปตามลำดับจนกว่าจะครบรอบ จากนั้นจะทำการเริ่มต้นใหม่ตามรูปแบบวัฏจักรเดิม สำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call นั้นคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการส่ง polling message เพื่อทำการแจ้งบอกสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่งข้อมูล หลังจากได้รับ polling message แล้วนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่สะสมไว้ออกไป และจะทำการแจ้งให้คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทราบถึงการสิ้นสุดกระบวนการส่ง โดยการแจ้งไปพร้อมกับส่วนท้ายของแพ็คเกจสุดท้ายในการส่ง เมื่อคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางได้รับการแจ้งแล้วนั้น จะทำการเลือกที่รับสิทธิ์ในการส่งสถานีถัดไปตามลำดับที่ได้ถูกกำหนดไว้แล้ว

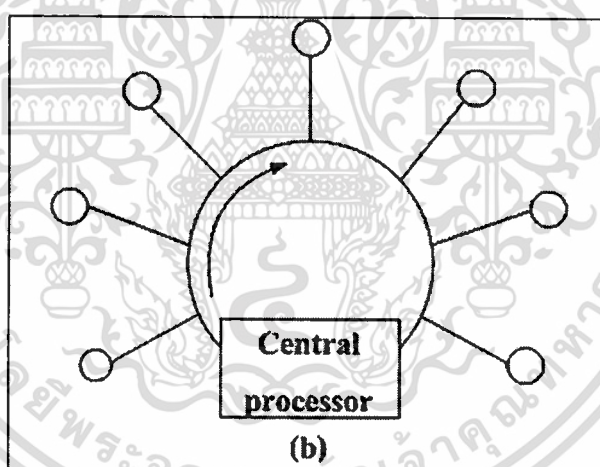
สำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub หลังจากสถานีที่ได้รับบริการทำการส่งข้อมูลจนสำเร็จแล้วนั้น สถานีลำดับต่อไปที่ได้รับเลือกจะทำการอ่านแพ็คเกจ go-ahead เมื่อสัมพันธ์กับตำแหน่งที่อยู่ของตัวเอง (address) ก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปทันที การทำงานในระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub จะมีฟังก์ชันที่เรียกว่า monitor ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยย่นระยะเวลาในการทำงานของระบบ นั่นคือ แทนที่เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลแล้วต้องทำการส่ง go-ahead ไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง ฟังก์ชัน monitor จะช่วยย่นระยะเวลาในส่วนของการการส่ง go-ahead ไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง ให้เหลือแค่เพียงการส่ง go-ahead จากสถานีที่กำลังจะสิ้นสุดการบริการไปยังสถานีถัดไปเท่านั้น

ระบบโครงข่ายการเลือกสามารถที่จะรองรับการทำงานจากระบบโครงข่ายที่มีรูปแบบการจัดโครงสร้าง (topology) เป็นแบบวงแหวน (ring) แบบบัส(bus) แบบดาว (star) และแบบต้นไม้ (tree) รูปที่ 4.2 (a) แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบบัส(bus) และรูปที่ 4.2 (b) แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบวงแหวน(ring) โดยระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call นั้นจะสามารถรองรับการทำงานของทุกรูปแบบโครงสร้าง

ที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งสิ้น แต่ในส่วนระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub จะรองรับได้แค่บางโครงสร้างเท่านั้น



รูปที่ 4.2(a) โครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบบัส(bus)



รูปที่ 4.2(b) โครงสร้างการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกเป็นแบบวงแหวน (ring)

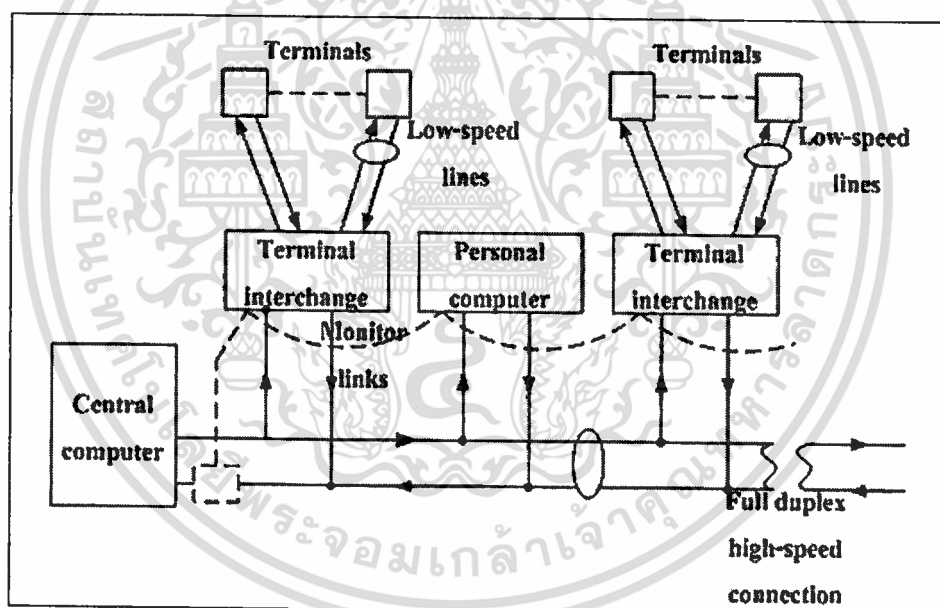
4.2 วิธีการดำเนินการของระบบโครงข่ายการเลือก

วิธีการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือก ซึ่งพิจารณาจากระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call ที่มีรูปแบบอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และมีรูปแบบของแพ็คเกจข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.4 ขั้นตอนของการดำเนินการของระบบจะเป็นดังต่อไปนี้

- 1) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการส่งแพ็คเกจ polling ไปยังสถานี i ที่ได้รับสิทธิ์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) สถานี i จะทำการซิงโครไนซ์บิต และ คาแรกเตอร์
- 3) สถานี i ทำการอ่านและตรวจสอบตำแหน่งที่อยู่ของตัวเองและตรวจสอบ go-ahead ที่มาพร้อมกับแพคเกจ polling (พิจารณาจากรูปที่ 3.4 a)
- 4) สถานี i จะทำการส่งข้อมูลที่สะสมไว้ไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เพื่อทำการส่งต่อไปยังสถานีปลายทางอื่นๆ
- 5) สถานี i จะทำการระบุตำแหน่งที่อยู่และ go-ahead ของสถานีลำดับต่อไปไว้ในแพคเกจสุดท้ายของการส่ง
- 6) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการซิงโครไนซ์บิต และ คาแรกเตอร์
- 7) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการอ่านและตรวจสอบแพคเกจที่ทำการระบุตำแหน่งที่อยู่ และ go-ahead เพื่อทำการหาสถานีที่ได้รับสิทธิ์ลำดับต่อไป
- 8) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการส่งสิทธิ์ในการเลือกลำดับต่อไปยังสถานีลำดับที่ $(i+1)$



รูปที่ 4.3 วิธีการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือก

กระบวนการทั้ง 8 ขั้นตอนจะถูกรวนซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าทุกๆสถานีภายในระบบจะได้รับการบริการจนครบ จากนั้นขั้นตอนการทำงานของระบบจะเริ่มดำเนินการใหม่โดยเริ่มต้นจากสถานีลำดับที่ i อีกครั้ง

Bits sync	Character sync	Go-ahead	Station address	Check characters	End of packet
-----------	----------------	----------	-----------------	------------------	---------------

(a)

Bits sync	Character sync	Station address	Terminal Address (if required)	Information content	Check characters	End of packet
-----------	----------------	-----------------	--------------------------------	---------------------	------------------	---------------

(b)

Go-ahead	Next Station address
----------	----------------------

(c)

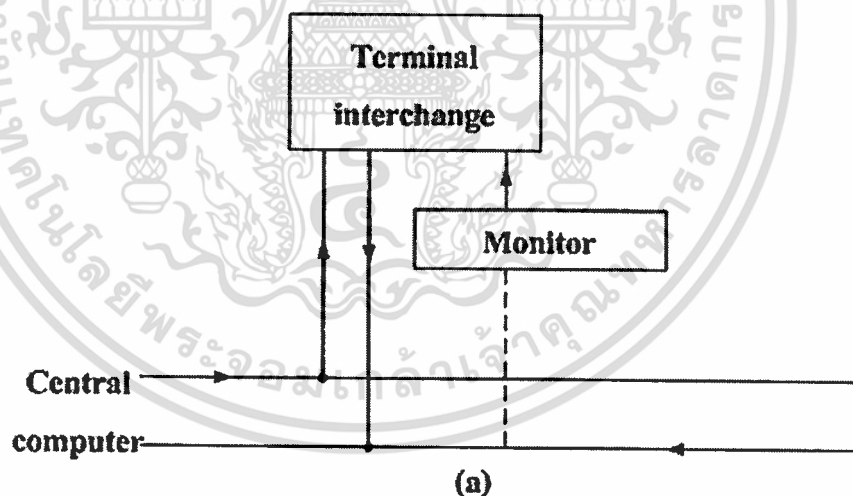
รูปที่ 4.4 รูปแบบของแพ็คเกจข้อมูล

สำหรับการส่งข้อมูลแบบความเร็วสูงแบบสองทางในเวลาเดียวกัน (full duplex) นั้น ตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีต่างๆผ่านทางช่องสัญญาณขาออก (outgoing) ในขณะที่สถานีต่างๆทำการส่งข้อมูลกลับไปหาตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางผ่านทางช่องสัญญาณขาเข้า (incoming) ดังนั้นในช่วงเวลาเดียวกันนั้นตัวเทอร์มินัลสามารถที่จะนำเอาข้อมูลไปเก็บไว้ส่วนของสถานีแลกเปลี่ยน (terminal interchange) ในขณะที่สถานีแลกเปลี่ยนกำลังติดต่อสื่อสารอยู่กับคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง การดำเนินการภายในระบบนั้นจะมีวิธีการส่งข้อมูลแบบไม่ใช้สัญญาณนาฬิกาาร่วมกัน (asynchronous) ทั้งสองทิศทาง หรือไม่คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการส่งข้อมูลแบบใช้สัญญาณนาฬิกาาร่วมกัน (synchronous) บนช่องสัญญาณขาออกในขณะที่บนช่องสัญญาณขาเข้ามีวิธีการส่งข้อมูลแบบไม่ใช้สัญญาณนาฬิกาาร่วมกัน (asynchronous) (ถ้าการดำเนินการเป็นแบบซิงโครไนท์บนช่องสัญญาณขาออกจากตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง ดังนั้นลำดับการทำงานที่ 2 จากทั้ง 8 กระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะไม่จำเป็น) สำหรับสถานีที่ไม่มีข้อมูลที่จะทำการส่งจะทำการส่งแพ็คเกจ polling กลับหรือไม่ส่งกลับแต่ตำแหน่งที่อยู่และ go-ahead ของสถานีลำดับต่อไปออกไป

สำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub การสื่อสารในส่วนของฟังก์ชัน monitor บนเส้นประ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะถูกนำมาใช้งาน และสถานีทุกๆสถานีที่อยู่ในระบบจะทำการระบุตำแหน่งที่อยู่ของต่อจาก go-ahead ในส่วนท้ายของแพ็คเกจสุดท้ายทุกครั้ง สำหรับการ

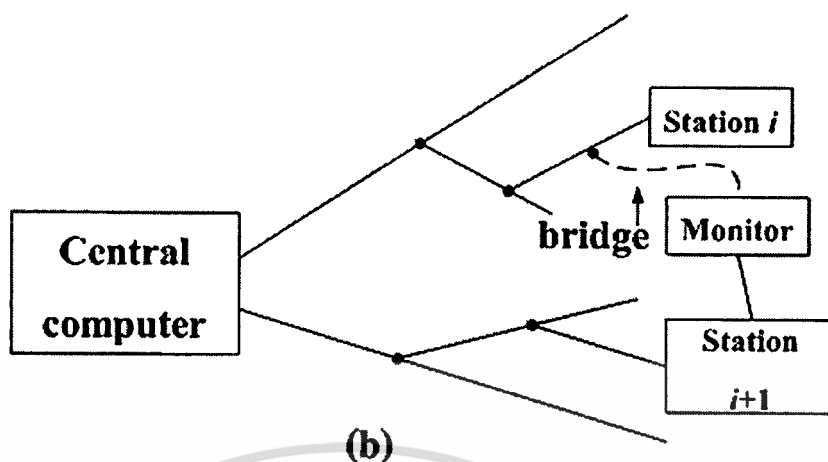
แลกเปลี่ยนข้อมูลนี้ตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางที่อยู่ภายในระบบต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ไกลจนเกินไปสำหรับแต่ละสถานี เพื่อที่ว่าแต่ละสถานีสามารถที่จะทำการส่งข้อมูลทางช่องสัญญาณขาเข้าไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางได้อย่างต่อเนื่องโดยผ่านทางฟังก์ชัน monitor (แสดงดังเส้นประของรูปที่ 4.3) และจะทำการตอบสนองต่อ go-ahead เมื่อ recognize กับตำแหน่งที่อยู่ของตัวเอง

รายละเอียดโครงสร้างของแพคเกจ polling และแพคเกจข้อมูลของระบบแสดงดังรูปที่ 4.4 ในส่วนหัวของโครงสร้างแพคเกจทั้งสองแบบจะประกอบไปด้วยส่วนของ bits synchronization และ character synchronization ในขณะที่ส่วนท้ายจะเว้นพื้นที่ไว้สำหรับ CRC และ end-of packet. สำหรับแพคเกจ polling ที่ถูกใช้โดยตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางสำหรับส่งไปสถานีที่ถูกเลือกในระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call นั้นถัดจากส่วนหัวแล้วจะประกอบไปด้วยส่วนของ go-ahead และส่วนของแพคเกจข้อมูล สำหรับโครงสร้างแพคเกจในรูปที่ 4.4(c) นั้น เป็นแพคเกจที่ไว้ส่งหลังแพคเกจข้อมูลสุดท้ายของสถานีสำหรับการแจ้งให้ทราบการสิ้นสุดการส่ง โดยในส่วนของ go-ahead นั้นจำเป็นสำหรับระบบโครงข่ายการเลือกทั้งสองแบบ แต่ในส่วนของที่อยู่นอกของสถานีที่ได้รับสิทธิ์สถานีถัดไปนั้นสำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub นั้นจำเป็นต้องมี ในขณะที่แบบ roll-call นั้นจะมีหรือไม่ก็ได้



รูปที่ 4.5 (a) การทำงานของตัวฟังก์ชัน monitor ของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

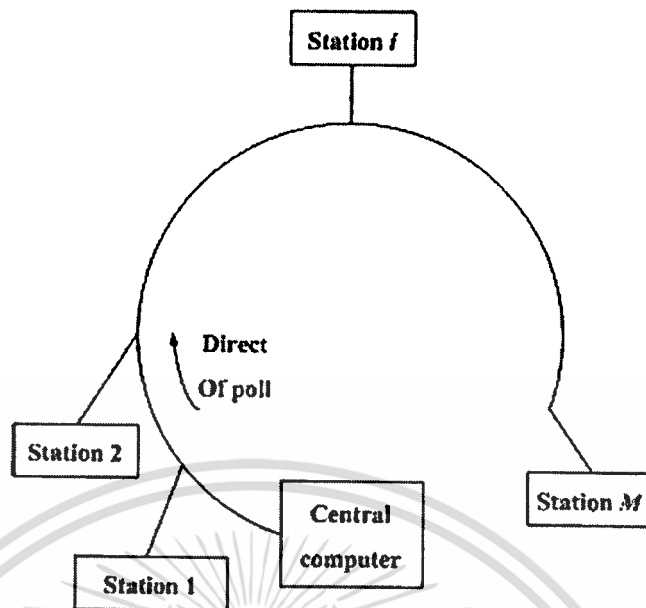


รูปที่ 4.5 (b) รูปแบบการทำงานของระบบมัลติดรอป (multidrop)

รูปที่ 4.5 แสดงไดอะแกรมที่ใช้อธิบาย 2 สถานะของตัวฟังก์ชัน monitor ที่แตกต่างกันของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub พิจารณารูปแบบการทำงานอย่างง่ายของฟังก์ชัน monitor ดังเส้นประในรูปที่ 4.5 (a) ซึ่งมีการจัดโครงสร้างแบบบัสโดยการดำเนินการจะอยู่ในขีดจำกัด นั่นคือเมื่อทำการพิจารณาถึงรูปแบบทางกายภาพของโครงสร้าง พบว่าสถานีที่อยู่ใกล้กับตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางมากที่สุดจะได้สิทธิ์ในการถูกเลือกก่อน จากนั้นลำดับการเลือกจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น นั่นคือวิธีนี้แต่ละสถานีจะสามารถรับตัว monitor ทางช่องสัญญาณขาเข้าในทิศทางตรง และวิธีนี้ก็จะถูกนำไปใช้กับระบบที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน ดังในรูปที่ 4.5 (b) เช่นเดียวกัน

สถานะที่ 2 ของตัวฟังก์ชัน monitor ที่จะกล่าวถึงจะเป็นรูปแบบการทำงานที่มีลักษณะพิเศษของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub ที่มีความซับซ้อนของการติดต่อสื่อสารและจะมีส่วนการทำงานไว้เชื่อมต่อข้อมูลที่เรียกว่า บริดจ์ (bridge) เพิ่มขึ้นมาจากตัวอย่างรูปที่ 4.5 (b) แสดงรูปแบบการทำงานของระบบมัลติดรอป (multidrop) ซึ่งมีลำดับการเลือกจาก i ไปยังสถานีที่ $(i+1)$

คุณสมบัติของระบบโครงข่ายการเลือกอย่างทีกล่าวไว้แล้วในรูปที่ 4.3 นั้น จะถูกรวมอยู่ในแผนผังไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากรูปจะเป็นโครงสร้างของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub และ roll-call สำหรับการติดต่อสื่อสารทุกรูปแบบโครงสร้างของระบบ ซึ่งโครงข่ายรูปแบบนี้จะเป็นโครงข่ายที่สมเหตุสมผลต่อการทำงานในระบบการเลือกที่ดีที่สุด และจะถูกนำไปใช้ในการอธิบายการทำงานในระบบที่จะกล่าวถึงต่อไปทั้งหมด รวมทั้งสมมติฐานที่ว่าทุกๆทรานซิกจากสถานีที่ส่งไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub และ roll-call สำหรับการติดต่อสื่อสารทุกรูปแบบ โครงสร้างของระบบ

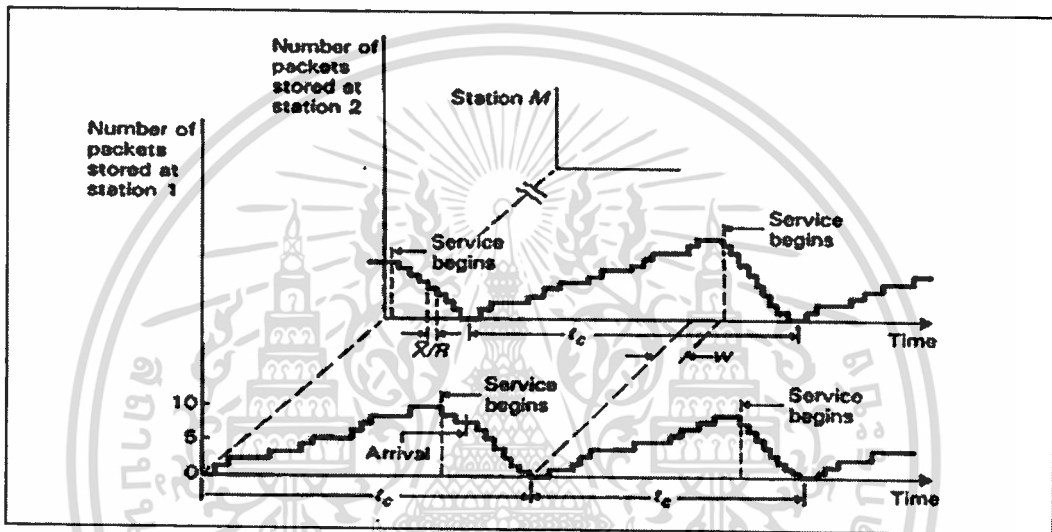
ข่าวสาร(messages) ที่มาถึงแบบลำดับสุ่ม (random) ในแต่ละสถานีและจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ (buffer) จนกว่าจะถูกเลือก เมื่อสถานีถูกเลือกก็จะทำการใช้ความจุทั้งหมดของช่องสัญญาณทำการส่งข้อมูลทั้งหมดที่รออยู่ในบัฟเฟอร์ส่งไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เมื่อบัฟเฟอร์ของสถานีว่างแล้วก็จะทำการส่ง go-ahead พร้อมกับตำแหน่งที่อยู่ของสถานีที่ได้รับสิทธิ์ลำดับต่อไป โดยลำดับของสถานีที่จะถูกเลือกลำดับต่อไปนั้นจะถูกแจ้งออกมาอย่างชัดเจนโดยตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางสำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call แต่สำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub นั้นจะถูกทำการตรวจสอบเองจากตัวฟังก์ชัน monitor

ช่วงเวลาที่เรียกว่า walk time (w) จะเป็นเวลาที่ถูกรอกแบบมาให้จำเป็นสำหรับการส่งการเลือกจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งและสำหรับการกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้ตรงกันของแต่ละสถานีสำหรับการส่งไปหาตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง w นั้นจะประกอบไปด้วยทุกๆ เวลาที่ถูกใช้งานของทุกๆ ฟังก์ชันที่จำเป็นต่อการส่งการเลือก นั่นคือจะประกอบไปด้วย ระยะเวลาเดินทางย้อนกลับของสัญญาณบนช่องสัญญาณ (channel propagation delay) เวลาในการเลือก(time of polling) เวลาในการตอบกลับ(response packet) ซึ่งพารามิเตอร์นี้สำหรับระบบโครงข่ายการเลือกแบบ hub นั้นจะมีค่าน้อยกว่าระบบโครงข่ายการเลือกแบบ roll-call

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานของระบบเริ่มต้นตั้งแต่สถานีแรกถูกเลือกจนเวียนกลับมาครบรอบอีกครั้งที่สถานีเดิมนั้น เรียกว่า เวลาในการทำงานของระบบ 1 รอบ (Cycle time, t_c) ซึ่งจะมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ถูกส่งมาจากแต่ละสถานีนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวน

ข้อมูลที่สะสมตั้งแต่การถูกเลือกครั้งสุดท้าย เวลาเฉลี่ยในการทำงานของระบบ 1 รอบ (average cycle time, T_c) จะเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการนำมาใช้ในการพิจารณาระบบ ค่าตัวแปรอื่นๆที่สำคัญอื่นๆที่นำมาใช้ในการคำนวณหาการทำงานของระบบ มีดังนี้

- จำนวนแพคเกจที่ทำการรออยู่ในแต่ละสถานี (N) หน่วยเป็นแพคเกจ
- เวลาเฉลี่ยที่จำนวนแพคเกจรอคอยอยู่ในบัฟเฟอร์จนได้รับบริการ
- ค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยในการส่ง (T) เป็นเวลาดังแต่แพคเกจข้อมูลเข้ามารอในบัฟเฟอร์จนได้รับบริการ



รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างทั่วไปของจำนวนแพคเกจข้อมูลที่รออยู่ในสถานีเปรียบเทียบในรูปของช่วงเวลาการทำงานของ 2 สถานี ที่สถานะคงที่

โดยกำหนดให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลบนช่องสัญญาณเท่ากับ R และให้แพคเกจข้อมูลในระบบมีค่าคงที่ \bar{X} ดังนั้นอัตราการส่งผ่านข้อมูลบนช่องสัญญาณจึงมีค่าเป็น $\frac{\bar{X}}{R}$ วินาที จากรูปที่ 4.7 ทำการพิจารณาที่สถานีที่ 1 จำนวนแพคเกจที่ทำการรออยู่ในบัฟเฟอร์จะเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่สถานีทำการรอใช้ช่องสัญญาณ เมื่อสถานีได้รับบริการ ทำการพิจารณา ณ จุด service begins ก็จะทำการส่งแพคเกจข้อมูลที่รอคอยอยู่ออกไปด้วยอัตราเร็ว $\frac{\bar{X}}{R}$ และในส่วนของแพคเกจที่ยังคงเข้ามาที่สถานี ณ เวลาที่ทำการส่งข้อมูลออกไปนั้นก็ทำการรออยู่ในบัฟเฟอร์ เมื่อสถานีที่ 1 รับการบริการจนแล้วเสร็จ สิทธิในการรับบริการก็จะส่งต่อไปยังสถานีที่ 2 โดยจะใช้เวลาในการย้ายสถานีเท่ากับ w ภายหลังจากเวลานี้ สถานีที่ 2 จะเริ่มต้นทำการส่งข้อมูลและกระบวนการของระบบยังคงดำเนินต่อไป

4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

ในการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายการเลือกนั้นจะประมาณได้จากค่าเวลาเฉลี่ยของ 1 รอบการบริการ แต่เนื่องจากค่าที่ได้มักจะไม่น่าแม่นยำนัก ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าที่จะนำไปใช้งานจริงๆ นั้นจะทำการพิจารณาจากเวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลและจำนวนเฉลี่ยของแพคเกจข้อมูลที่ทำกรรออยู่ในบัฟเฟอร์ของสถานี

จากการศึกษาการทำงานในระบบที่มีการเข้าถึงแบบการเลือก พบว่าสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบจะประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ

- อัตราการเข้ามาของข้อมูลในแต่ละสถานีมีค่าคงที่ และมีอัตราการเข้ามาเป็นแบบป โดยกำหนดให้มีอัตราเฉลี่ยการเข้ามาเท่ากับ λ แพคเกจ/วินาที

- ค่า walk time ระหว่างสถานีกำหนดให้มีค่าคงที่

- ค่า channel propagation time ระหว่างแต่ละสถานีมีค่าคงที่ และกำหนดให้รวมอยู่ในค่า walk time

- ช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูล t_a มีค่าเป็นส่วนกลับของอัตราการเข้ามาของข้อมูล

$$t_a = 1/\lambda$$

- แพคเกจข้อมูลของแต่ละสถานีมีการกระจายแบบสุ่มและกำหนดมีค่าคงที่เท่ากันทุกสถานี [11]

และค่าพารามิเตอร์อื่นๆของระบบดังนี้ จำนวนสถานีในระบบ (M) จำนวนช่องสัญญาณ (N) อัตราการส่งผ่านข้อมูลบนช่องสัญญาณ = R บิตต่อวินาที กำหนดให้แพคเกจของสถานีที่ถูกเลือกมีจำนวนข้อมูล เท่ากับ \bar{X} บิต ขณะที่ poll แพคเกจมาถึง ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบสามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$S = \frac{X_s}{X_r} \quad (4.1)$$

กำหนดให้ X_s คือ จำนวนแพคเกจข้อมูลทั้งหมดที่ทำการส่งสำเร็จ และ

X_r คือ จำนวนแพคเกจข้อมูลทั้งหมดที่เข้ามาในระบบ

เมื่อ a คือ ค่า Normalized propagation delay และในการจำลองแบบนี้จะทำการกำหนดให้ $a = 0$ ดังนั้นค่า normalized walk time (\hat{w}) ของระบบจะหาได้จากสมการที่ (2)

$$\hat{w} = wR/\bar{X} \quad (4.2)$$

4.3.1 ค่าเฉลี่ยของรอบเวลาการบริการ

กำหนดให้ N_m คือ ค่าเฉลี่ยของแพคเกจข้อมูลต่างๆ ที่มีความยาวเฉลี่ย \bar{X} บิต ที่ทำการรอรับบริการอยู่ในบัฟเฟอร์ของแต่ละสถานีและทำการส่งข้อมูลไปบช่องสัญญาณที่มีความจุ R ดังนั้น

เวลาในการส่งข้อมูลออกไปจนหมดบัฟเฟอร์จึงมีค่าเท่ากับ $N_m \bar{X} / R$ วินาที แต่ถ้าต้องการผลที่แน่นอนจริงๆ N_m จะหมายถึง เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเกจข้อมูลจนหมดนั่นคือจะหมายรวมถึงแพ็คเกจที่เข้ามาใหม่ในขณะที่สถานีนั้นกำลังทำการบริการอยู่ด้วย

ภายหลังจากสถานีที่ได้รับบริการนั้นทำการส่งข้อมูลออกไปจนหมด(บัฟเฟอร์ว่าง) สิทธิในการใช้ช่องสัญญาณจะทำการส่งต่อไปยังสถานีถัดไป โดยจะใช้เวลาในการเดินทางระหว่างสถานีมีค่าเท่ากับ w ดังนั้นความยาวของ 1 รอบบริการเฉลี่ยจะแสดงได้ดังสมการ 4.3

$$T_c = M[N_m \bar{X} / R + w] \quad (4.3)$$

เมื่อ M คือ จำนวนสถานีที่รอรับบริการ

ดังนั้นจำนวนแพ็คเกจเฉลี่ยที่จะถูกส่งออกไปจนบัฟเฟอร์ว่างที่สภาวะปกติ โดยมีอัตราการเข้ามาของข้อมูลเฉลี่ยเป็น λ แพ็คเกจต่อวินาที และเวลาเฉลี่ยรอบการบริการเป็น T_c ดังนั้น

$$N_m = \lambda T_c \quad (4.4)$$

จากสมการที่ 4.4 ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 4.3 จะได้

$$T_c = \frac{Mw}{1 - M\lambda \bar{X} / R} \quad \text{วินาที} \quad (4.5)$$

จากการพิจารณาปริมาณของ $M\lambda \bar{X} / R$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนทั้งหมดของอัตราการเข้ามาเฉลี่ยของข้อมูลในระบบ ต่อความจุของระบบ (หน่วยเป็นแพ็คเกจต่อวินาที) หรือที่เรียกว่าค่าวิสัยความสามารถของระบบ (S) นั่นคือ

$$S = M\lambda \bar{X} / R \quad (4.6)$$

ดังนั้น

$$T_c = \frac{Mw}{1 - S} \quad \text{วินาที} \quad (4.7)$$

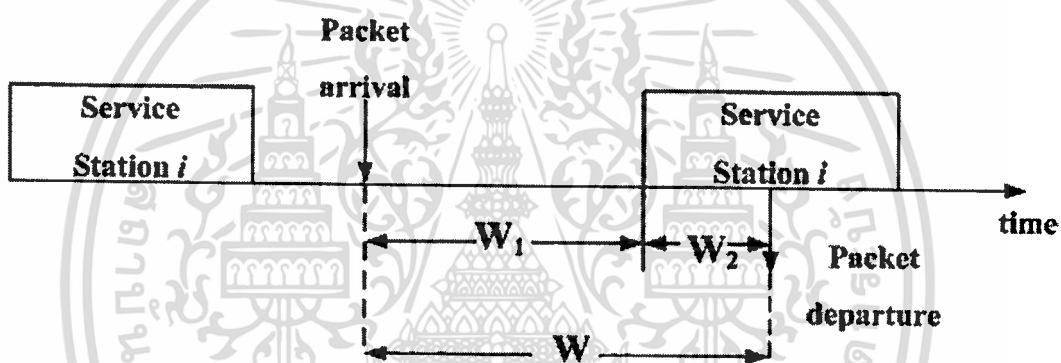
จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 เมื่อทำการพิจารณาระบบที่สภาวะปกติ พบว่าค่าพารามิเตอร์ $M\lambda$ จะมีค่าน้อยกว่า R/\bar{X} เสมอ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยความสามารถของระบบจะมีค่าน้อยกว่า 1

4.3.2 การวิเคราะห์ค่านั่งเวลาของระบบ

สำหรับการหาค่าสมรรถนะพื้นฐานของระบบโครงข่ายการเลือก จะทำการวัดจากค่าเวลาเฉลี่ย (W) นั่นคือเวลาที่แพคเกจข้อมูลที่มาถึงสถานีและทำการรอคอยการรับบริการจนกระทั่งแพคเกจทำการพิจารณาอยู่นี้มาถึง ณ ตำแหน่งหน้าสุดของคิวบริการที่ทำการรอคอยอยู่ในบัฟเฟอร์ของสถานีนั้นๆ ค่าเฉลี่ยของค่านั่งเวลาการรอคอยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนดังนี้ คือ

1) ค่านั่งเวลาการรอคอยที่ 1 (W_1) พิจารณาในบัฟเฟอร์ของสถานีนั้นๆ ในขณะที่สถานีอื่นๆกำลังรับการบริการอยู่ (นั่นคือช่วงเวลาที่สถานีที่ทำการพิจารณาข้างยังไม่ได้รับบริการ และกำลังรอคอยการถูกเลือก)

2) ค่านั่งเวลาการรอคอยที่ 2 (W_2) พิจารณาในบัฟเฟอร์ของสถานีนั้นๆ ในขณะที่บางส่วนของสถานีกำลังรับการบริการอยู่



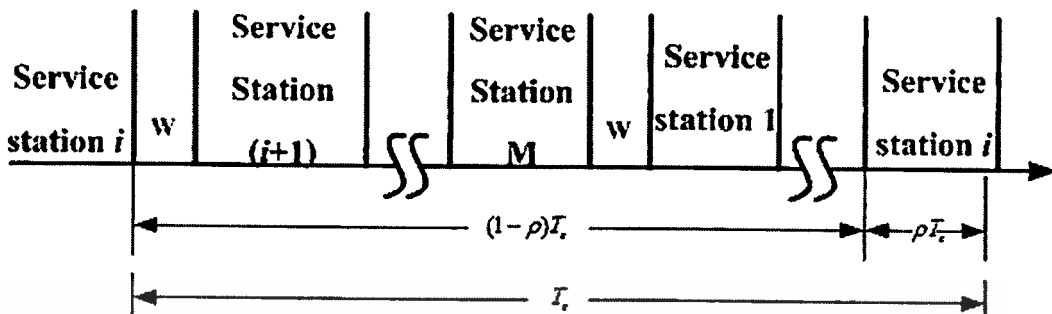
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่านั่งเวลาการรอคอย

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่านั่งเวลาการรอคอยทั้ง 2 รูปแบบ และค่านั่งเวลาการรอคอย แสดงได้ดังสมการ

$$W = W_1 + W_2 \quad (4.8)$$

ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าที่แสดงในสมการที่ 4.8 นั้นจะเป็นค่าตัวแปรสุ่มทั้งสิ้น และในส่วนของ W_1 และ W_2 จะไม่เป็นตัวแปรอิสระต่อกัน

รูปแบบการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกใน 1 รอบการบริการที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปของค่าเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.9 เมื่อทำการพิจารณาระบบจากสถานี i ภายใน 1 รอบการบริการนั้นจะประกอบไปด้วย เวลาที่สถานี i นั้นกำลังรับการบริการอยู่ และเวลาที่เหลือ คือเวลาที่สถานี i รอคอยสำหรับการรับบริการรอบต่อไป



รูปที่ 4.9 รูปแบบการทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกใน 1 รอบการบริการ

ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจที่จะถูกส่งออกไปบนช่องสัญญาณ ในขณะที่สถานีนี้กำลังรับ การบริการอยู่นั้น พิจารณาได้จากสมการที่ 4.4 $N_m = \lambda T_c$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของเวลาสำหรับการ บริการในการส่งแพคเกจ N_m ออกไปบนช่องสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ $\lambda T_c \bar{X} / R$ ซึ่งกำหนดให้ ρ มี ค่าดังสมการ

$$\rho = \lambda \bar{X} / R \tag{4.9}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยสำหรับการบริการต่อ 1 สถานีจะมีค่าเป็น ρT_c แสดงดังรูปที่ 4.9 นั่นคือค่าเวลาเฉลี่ย ในการรอคอยการบริการรอบต่อไปจึงมีค่าเท่ากับ $(1 - \rho) T_c$

ในช่วงเวลาที่สถานีรอคอยการบริการอยู่นั้น เมื่อทำการพิจารณาในส่วนของแพคเกจ ข้อมูล จะพบว่า การเข้ามาของแพคเกจข้อมูลในระบบนั้นจะเป็นแบบสุ่มที่มีอัตราการเข้ามาเป็น แบบปัวซอง เมื่อจำนวนของแพคเกจข้อมูลมีขนาดใหญ่ ค่าหน่วยเวลาการรอคอยที่ 1 จะมีค่าดังนี้

$$W_1 = \frac{(1 - \rho) T_c}{2} \quad \text{วินาที} \tag{4.10}$$

จากสมการที่ 4.5 และ 4.9 จะได้ว่า

$$W_1 = \frac{Mw(1 - \rho)}{2(1 - M\rho)} \tag{4.11}$$

พิจารณาค่าหน่วยเวลาการรอคอยที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$$W_2 = \frac{(M\lambda)\bar{X}^2 / R^2}{2(1 - M\rho)} \quad (4.12)$$

จากสมการที่ 4.12 ทำการพิจารณาในรูปของค่าวิสัยสามารถจะได้ว่า

$$W_2 = \frac{S\bar{X}^2}{2\bar{X}R(1 - S)} \quad (4.13)$$

ค่าหน่วยเวลาของระบบทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ

$$W = \frac{Mw(1 - S/M)}{2(1 - S)} + \frac{S\bar{X}^2}{2\bar{X}R(1 - S)} \quad (4.14)$$

และเนื่องจากค่าหน่วยเวลาการรอคอยของระบบสามารถทำการพิจารณาได้ 2 รูปแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับความยาวของแพคเกจข้อมูลว่าเป็นไปในลักษณะใด

- เมื่อความยาวของแพคเกจข้อมูลเป็นค่าคงที่ จะพบว่า

$$W = \frac{Mw(1 - S/M)}{2(1 - S)} + \frac{S\bar{X}}{2R(1 - S)} \quad (4.15)$$

- เมื่อความยาวของแพคเกจข้อมูลเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล จะได้

$$W = \frac{Mw(1 - S/M)}{2(1 - S)} + \frac{S\bar{X}}{R(1 - S)} \quad (4.16)$$

4.3.3 จำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รอรับการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์สถานี

จากค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของแพคเกจข้อมูลของแต่ละสถานีดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้า นี้ จะถูกนำมาใช้ในการหาจำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รอรับการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์ของแต่ละสถานี N ได้ง่ายขึ้น โดยใช้กฎของลิตเติล จะได้ว่า

$$N = \frac{Mw\lambda(1 - S/M)}{2(1 - S)} + \frac{S\lambda\bar{X}^2}{2\bar{X}R(1 - S)} \quad (4.17)$$

และเนื่องจากจำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รอรับการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์ของแต่ละสถานีนั้นคำนวณได้จากค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของแพคเกจข้อมูลจึงส่งผลให้จำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รอรับการบริการอยู่ใน

บัฟเฟอร์ของแต่ละสถานีสามารถทำการพิจารณาได้ 2 รูปแบบเช่นเดียวกัน ขึ้นอยู่กับความยาวของแพคเกจข้อมูลว่าเป็นไปในลักษณะใด

- เมื่อความยาวของแพคเกจข้อมูลเป็นค่าคงที่ จะพบว่า

$$N = \frac{S^2 / M}{2(1-S)} + \frac{Mw\lambda(1-S/M)}{2(1-S)} \quad (4.18)$$

- เมื่อความยาวของแพคเกจข้อมูลเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล จะได้

$$N = \frac{S^2 / M}{(1-S)} + \frac{Mw\lambda(1-S/M)}{2(1-S)} \quad (4.19)$$

4.4 สมรรถนะของระบบโครงข่ายการเลือก

สมการพื้นฐานที่ถูกพัฒนาในหัวข้อที่ 4.3 สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาออกแบบแนวโน้มระบบการเลือก ในการวิเคราะห์หาค่าวิสัยความสามารถของระบบจะทำการพิจารณาอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยต่างๆ ได้แก่ เวลาในการรอกคอยเฉลี่ย จำนวนแพคเกจข้อมูลเฉลี่ยที่อยู่ในสถานี ค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูล โดยการตัวแปรที่ใช้ในการหาค่าวิสัยความสามารถของระบบ คือ ค่า walk time และจำนวนสถานีที่อยู่ภายในระบบ

อันดับแรกจะทำการพิจารณาหาค่าหน่วยเวลาของระบบ โดยเริ่มต้นจากค่าหน่วยเวลาการรอกคอยดังสมการที่ 4.15 นำมาใช้ในการหาค่าหน่วยเวลาในการส่งข้อมูลเฉลี่ย T นั่นคือ เวลาเฉลี่ยทั้งหมดตั้งแต่แพคเกจข้อมูลมาถึงสถานีและถูกนำส่งออกไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางดังสมการ

$$T = \bar{X} / R + \tau_{ave} + W \quad \text{วินาที} \quad (4.20)$$

จากสมการตัวแปร \bar{X} / R คือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพคเกจข้อมูลไปบนช่องสัญญาณ และ τ_{ave} คือ ค่าหน่วยเวลา propagation เฉลี่ยจากสถานีไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เมื่อทำการพิจารณาตัวแปร τ_{ave} พบว่าบ่อยครั้งที่จะทำการคิดค่า τ_{ave} เท่ากับ $\tau/2$ เมื่อ τ คือ ค่าหน่วยเวลา propagation แบบ end-to-end ของระบบโครงข่ายแบบบัส หรือ ไม่คือ ค่าหน่วยเวลาสูงสุดจากแต่ละสถานีไปยังตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางในระบบโครงข่ายแบบต้นไม้ (tree) หรือค่าหน่วยเวลา propagation โดยรอบวงแหวนของระบบโครงข่ายแบบวงแหวน (ring) เมื่อนำเอาค่า W จากสมการที่ 4.15 มาแทนค่าลงในสมการที่ 4.20 จะได้

$$T = \bar{X}/R + \tau_{ave} + \frac{Mw(1-S/M)}{2(1-S)} + \frac{S\bar{X}}{2R(1-S)} \text{ วินาที} \quad (4.21)$$

เพื่อถ่ายทอดการนำไปใช้จึงมักจะทำการศึกษาพิจารณาในรูปของค่า normalized ดังสมการ

$$\hat{T} = T/(\bar{X}/R) = 1 + \frac{R\tau_{ave}}{\bar{X}} + \frac{wRM(1-S/M)}{2\bar{X}(1-S)} + \frac{S}{2(1-S)} \quad (4.22)$$

จากค่า normalized propagation delay (a) มีค่าเท่ากับ

$$a = \tau R / \bar{X} \quad (4.23)$$

และค่า normalized walk time (\hat{w}) มีค่าเท่ากับ

$$\hat{w} = wR / \bar{X} \quad (4.24)$$

และ τ_{ave} เท่ากับ $\tau/2$ เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 4.22 จะได้

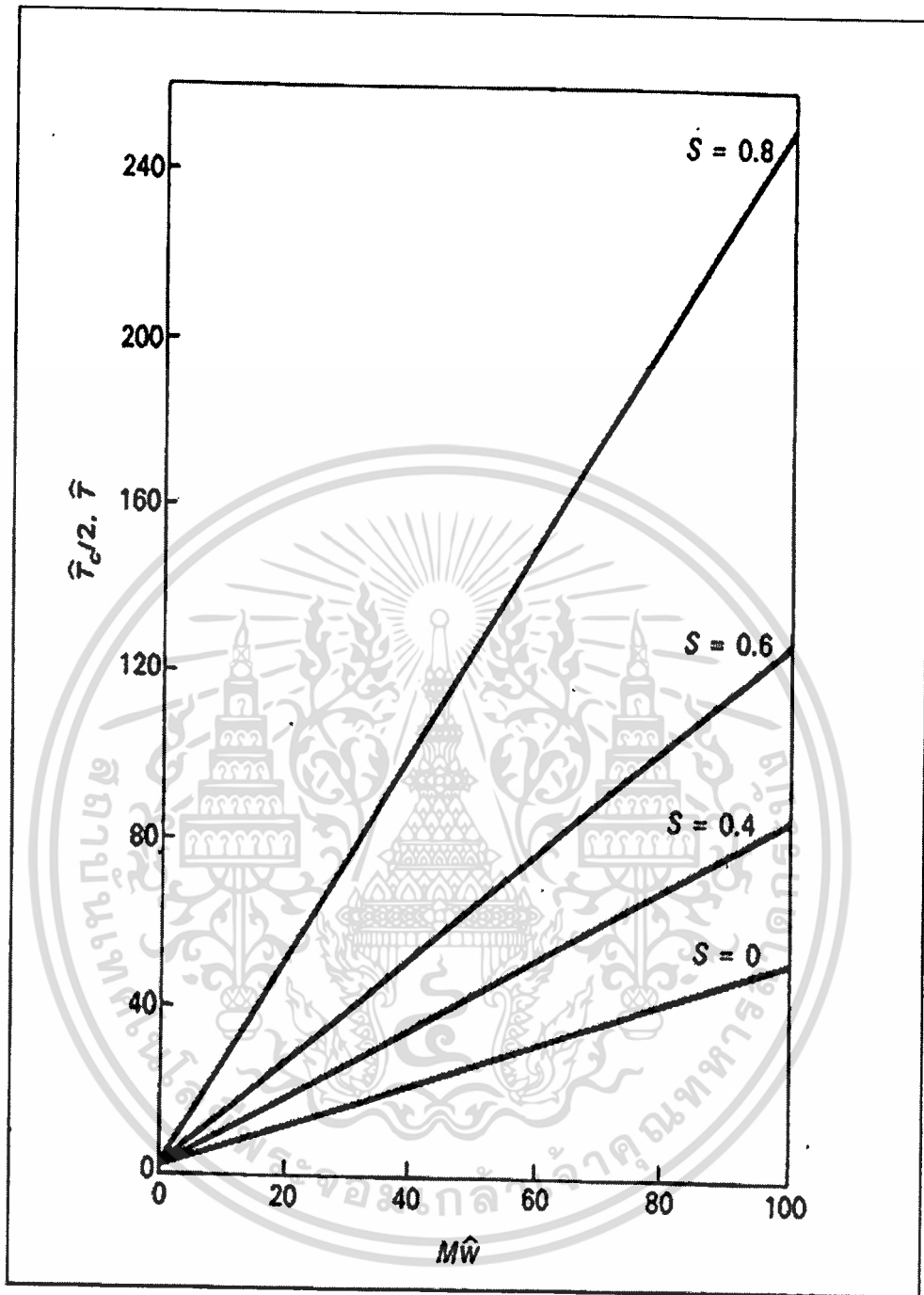
$$\hat{T} = 1 + a/2 + \frac{M\hat{w}(1-S/M)}{2(1-S)} + \frac{S}{2(1-S)} \quad (4.25)$$

ตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาต่อไป คือ จำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่รออยู่ในสถานี จากสมการที่ 4.18 นำมาพิจารณาในรูปของ normalized จะได้

$$N = \frac{S^2/M}{2(1-S)} + \frac{S\hat{w}}{2(1-S)} \quad (4.26)$$

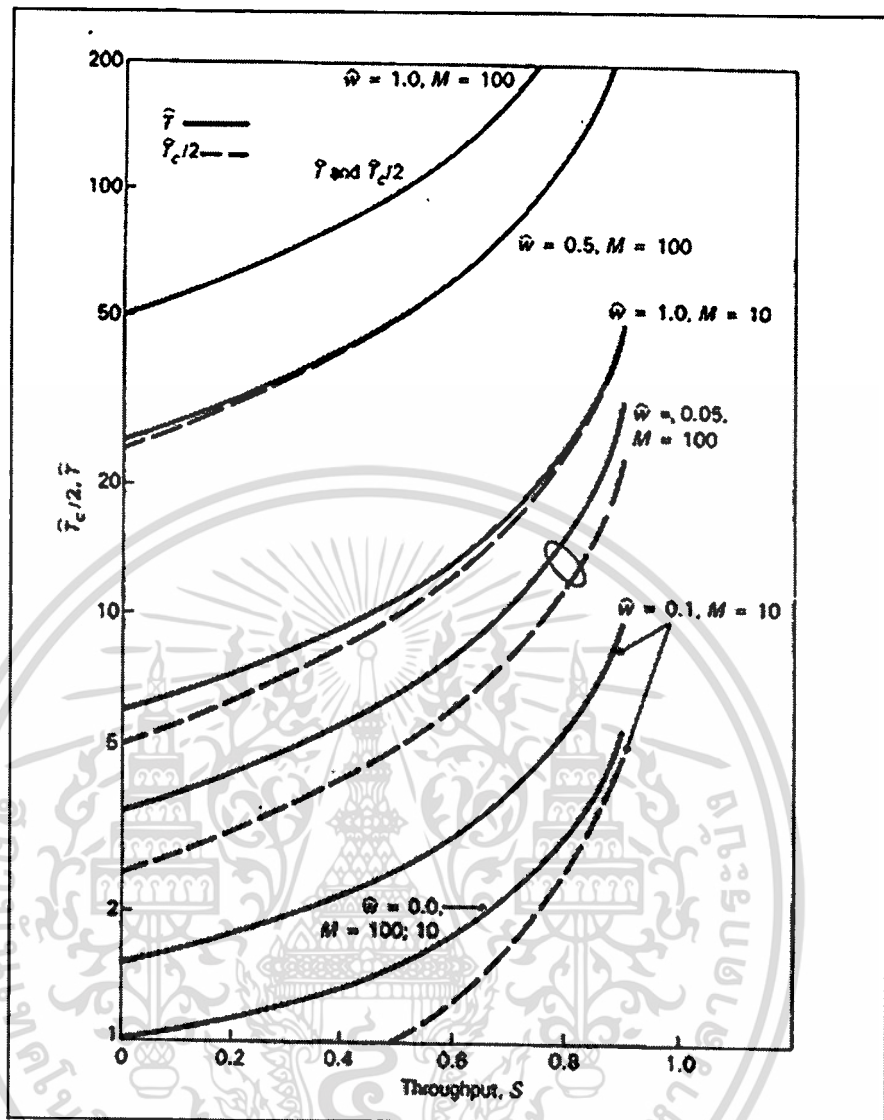
ดังนั้นทำการพิจารณาเวลาเฉลี่ยของระบบเมื่อทำงานครบรอบจากสมการที่ 4.7 ในรูปของ normalized จะได้

$$\hat{T}_c = \frac{M\hat{w}}{1-S} \quad (4.27)$$



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง T และ M ที่ค่า S ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

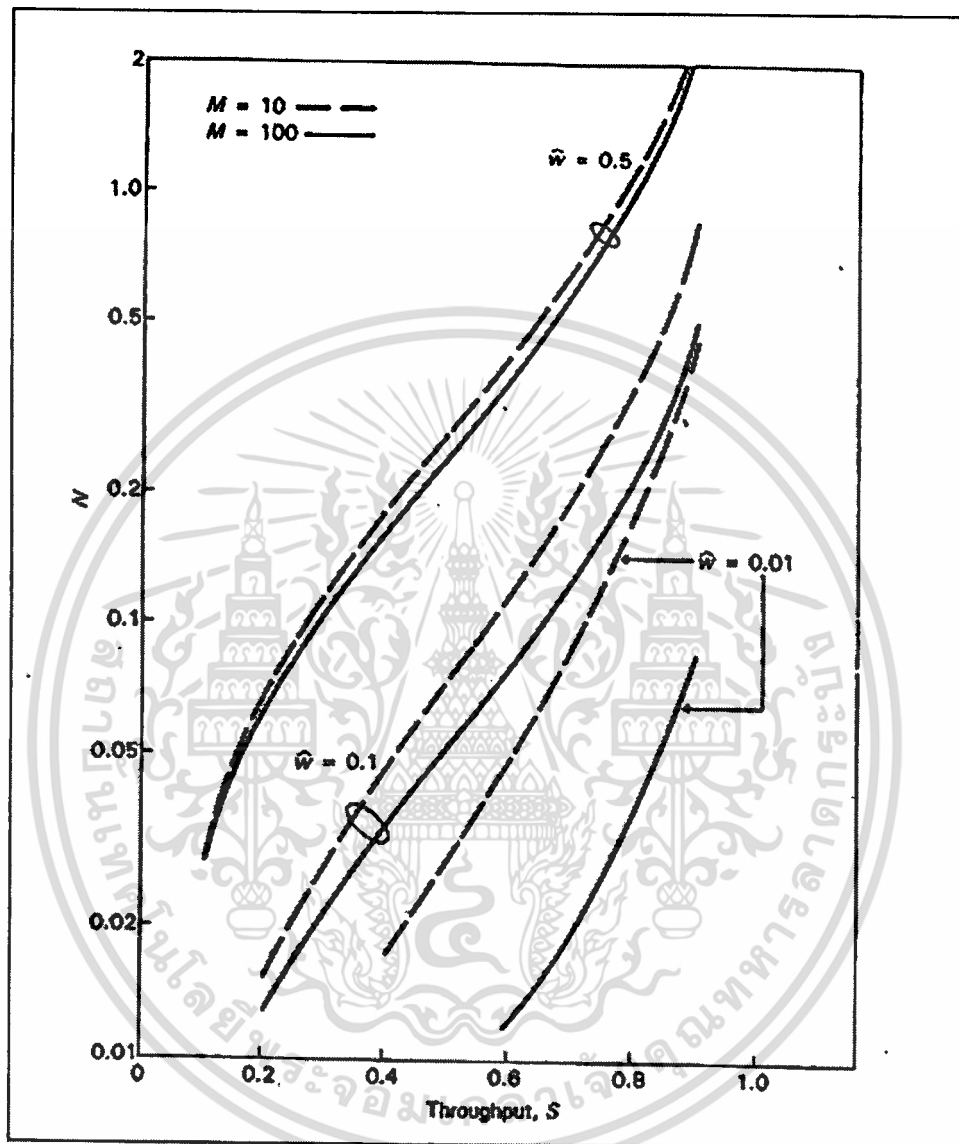


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง \hat{T} และ $\hat{T}_c/2$ ที่ค่า S ต่างๆกัน

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง \hat{T} และ $\hat{T}_c/2$ ที่ค่า S ต่างๆกัน ในระบบที่มี 10 และ 100 สถานี ที่ค่า walk time ต่างๆกันเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าที่สถานะเริ่มต้นของระบบ ค่าวิสัยสามารถของ $\hat{T}_c/2$ จะมีค่าต่ำกว่า \hat{T} แต่เมื่อค่า $M\hat{\omega}$ มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าวิสัยสามารถของทั้งคู่จะมีค่าใกล้เคียงกัน

ในการออกแบบระบบโครงข่ายการเลือกคั้งที่ผ่านๆมา ในสถานะที่เหมาะสมต่อการทำงาน ของระบบต้องทำการกำหนดให้ค่า \hat{T} และ N มีค่าน้อยมากที่สุดที่ระบบรองรับได้ ซึ่งในขณะที่ค่า

$M\hat{w}$ ต้องมีค่าสูงๆไว้ นั่นคือเมื่อ M มีค่าสูง \hat{w} ต้องมีค่าน้อย หรือ ถ้า M มีค่าต่ำ \hat{w} จะต้องมีค่าสูง



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่ทำการรออยู่ในสถานี กับค่าวิสัยสามารถของระบบที่ค่า M และ \hat{w} แตกต่างกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบโครงข่ายการเลือกพบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลสำคัญต่อระบบนั้น จะประกอบไปด้วย 2 ค่า คือ \hat{T} และ N นั่นคือ เมื่อ \hat{T} และ N เพิ่มสูงขึ้นนั้นจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้น ในขณะที่ค่าหน่วงเวลาของระบบจะลดลง ทำให้สถานีที่อยู่ในระบบสามารถที่จะรองรับแพคเกจข้อมูลได้มากขึ้น [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

แบบจำลองและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ

5.1 บทนำ

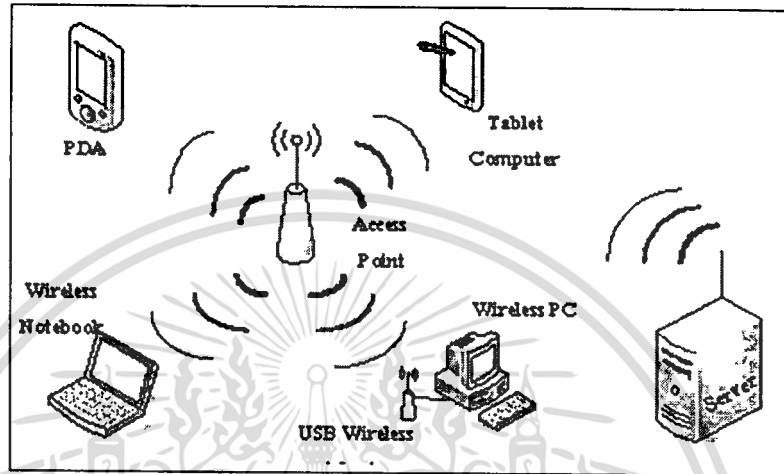
จากการวิเคราะห์หาสมรรถนะในส่วนของ DCF จะมีขอบเขตการทำงานในส่วนของ ปริมาณของทราฟฟิกข้อมูลที่มีปริมาณมาก ทำให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า สมรรถนะของระบบลดลง ในสภาวะเดียวกันนี้เมื่อมาทำการพิจารณาในส่วนการทำงานของ PCF พบว่ามีข้อได้เปรียบทางด้านสมรรถนะของระบบอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามในส่วน การทำงานของ PCF ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เองก็ยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจากในการทำงานที่มีการ เข้าถึงแบบการเลือกนี้จะมีปัญหาในส่วนการทำงานของ PC (Point Coordinator) เนื่องจากโดย ธรรมชาติแล้ว PC ไม่มีกลไกที่จะรู้ถึงสถานะของลำดับที่อยู่ในบัฟเฟอร์อื่นเนื่องมาจากสาเหตุ เหล่านี้ คือ ประการแรก PC นั้นยากที่จะตัดสินใจต่อลำดับการเลือก การปราศจากรายละเอียด เกี่ยวกับลำดับนี้ จึงส่งผลให้ PC จะทำการให้โอกาสในการส่งข้อมูลของทุกๆ สถานะมีค่าเท่ากัน ประการต่อมา คือ เป็นการยากสำหรับ PC ที่จะตัดสินใจว่าแต่ละสถานะที่ถูกเลือกจะใช้เวลาเท่าไร ในการส่งข้อมูล เพราะโดยธรรมชาติแล้วนั้น PC จะให้สิทธิ์แก่สถานะนั้นทำการส่งข้อมูลจนกว่าจะ หมด ซึ่งส่งผลให้สถานะอื่นไม่มีโอกาสที่จะถูกเลือก [13-14] เพื่อเป็นการแก้ปัญหที่เกิดขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการทำงานที่เป็นการเลือกแบบลำดับสุ่มมาใช้

5.2 รูปแบบการทำงาน Multichannel Random Polling Schemes

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการทำงานของระบบ โครงข่ายการเลือกที่มีการ ติดต่อสื่อสารเป็นระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / Server หรือ Infrastructure mode ดังแสดงใน รูปที่ 5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของทำงานของระบบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE802.11 คือ การเข้าถึง ช่องสัญญาณหลายทางแบบแยกความแตกต่างของรหัส (CDMA) โดยการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ แบบวิธีการกระโดดทางความถี่(Frequency Hopping Spread Spectrum) การมอดูเลตรหัสแบบ GFSK อัตราการส่งข้อมูล 2 Mbps แถบความถี่ที่ใช้คือ 2.4 GHz ความถี่คลื่นพาห้จำนวน 64 ความถี่ ความกว้างของแถบความถี่คือ 83.5 MHz ใช้กำลังงาน 0.1 mw ในการส่งออกอากาศ การส่ง สัญญาณข่าวสารจะทำการพิจารณาในสภาวะที่มีการรบกวนบนช่องสัญญาณตามธรรมชาติ (AWGN) การจำลองรูปแบบการทำงานของระบบจะทำการพิจารณาการติดต่อสื่อสารอยู่ใน ขอบเขตของ 1 “BSS” (Basic Service Set) นั่นคือจะเป็นการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหนึ่ง Access Point หรือหนึ่งคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางกับสถานีลูกข่ายที่สามารถรองรับการบริการได้ถึง

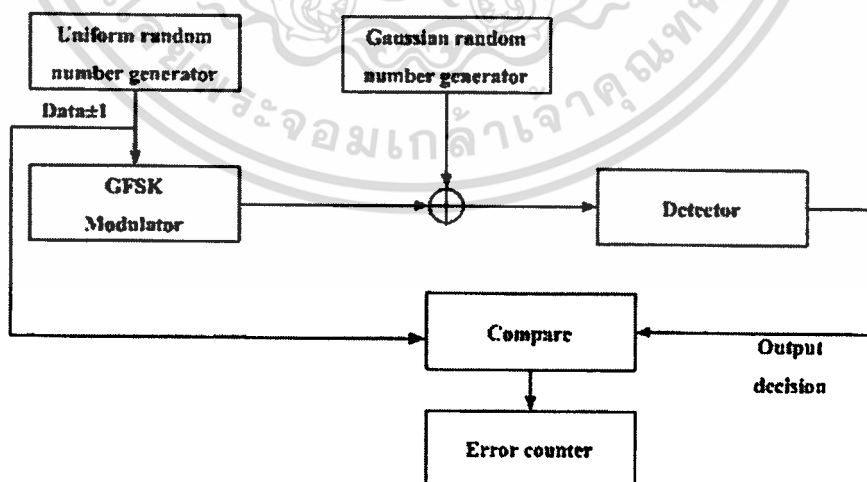
15-50 สถานีด้วยกัน โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการกำหนดสิทธิ์และการเข้าครอบครองช่องสัญญาณโดยวิธีการเลือก ซึ่งจะแบ่งวิธีการพิจารณาออกเป็น 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. One user / one channel
2. One user / multichannel



รูปที่ 5.1 การติดต่อสื่อสารแบบ Infrastructure mode (Client/server)

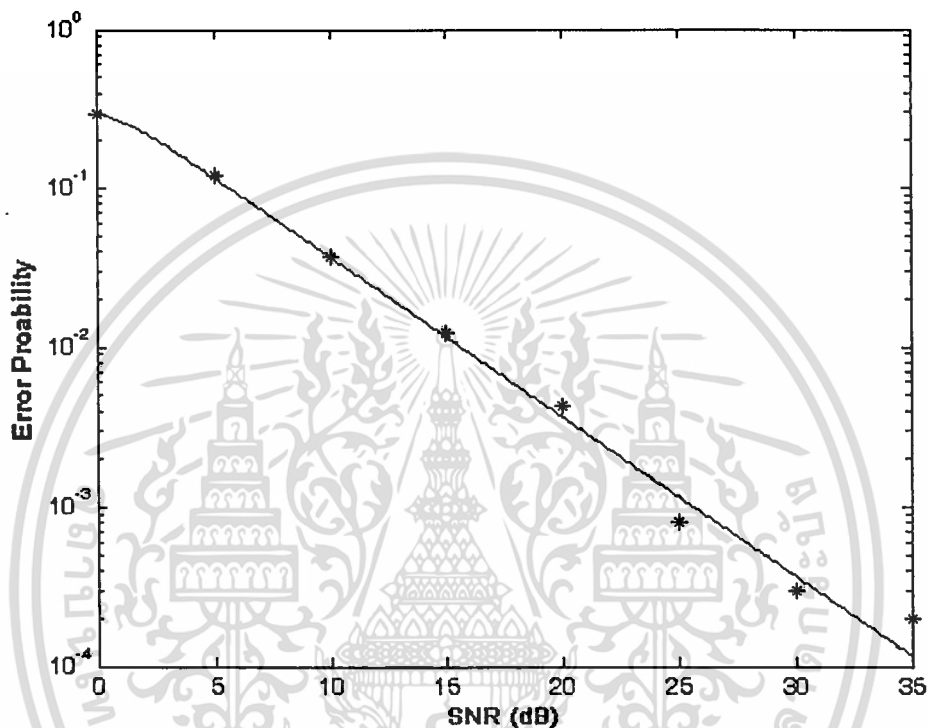
5.2.1 การวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่แบบวิธีการกระโดดทางความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum)



รูปที่ 5.2 ไคอะแกรมการทำงานของระบบสเปกตรัมแผ่ความถี่ที่มีการเข้ารหัสแบบ GFSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 ผังการทำงานระบบที่มีการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่โดยวิธีการกระโดดทางความถี่ ที่ทำการกำหนดรูปแบบเซตการกระโดด (Hop Set) แบบลำดับสุ่ม และการมอดูเลตรหัสแบบ GFSK ในส่วนการส่งข่าวสารพิจารณาภาวะที่ผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนตามธรรมชาติ และให้มีรูปแบบการรบกวนแบบสุ่ม [15]

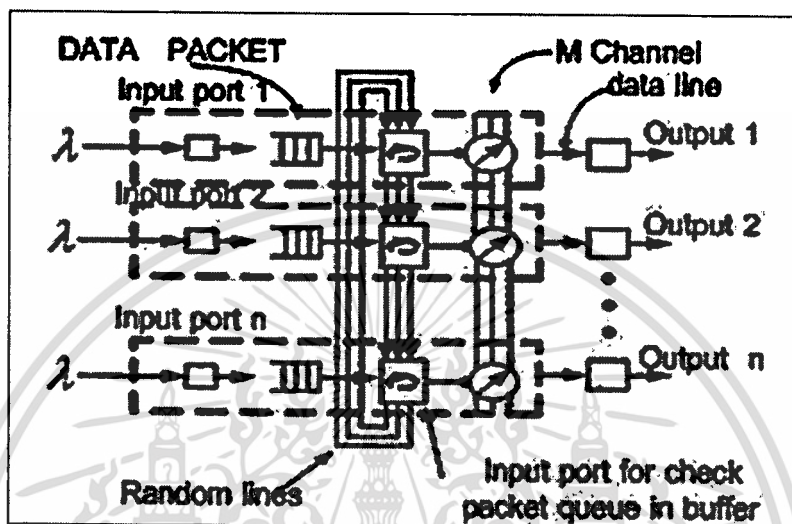


รูปที่ 5.3 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลเมื่อทำการสเปกตรัมทางความถี่ที่มีการเข้ารหัสแบบ GFSK บนช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบ AWGN

อธิบายได้ว่าเมื่อระบบข้างต้นทำการสร้างชุดข้อมูลแล้วทำการส่งข่าวสารแล้วทำการมอดูเลตชุดข้อมูลแบบสเปกตรัมแผ่โดยวิธีการกระโดดทางความถี่ ที่กำหนดการมอดูเลตรหัสแบบ GFSK จากนั้นทำการส่งข่าวสารออกไปในสภาวะที่มีการรบกวนตามความรุนแรงตามที่กำหนด โดยกำหนดให้มีการรบกวนจาก 0 dB ถึง 35 dB สังเกตผลจากกราฟเปรียบเทียบกับข่าวสารต้นแบบได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.3 เมื่อทำการศึกษาพบว่าค่าความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่รุนแรงที่สุดที่ระบบการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE802.11 ขอมรับได้อยู่ที่ระดับ 10^{-3} [16] ดังนั้นในแบบจำลองการทำงานนี้จึงทำการเลือกนี้มาใช้จำลองระบบ

5.2.2 การจำลองรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี One user / one channel

การทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกที่มีการติดต่อสื่อสารเป็นระบบเครือข่ายไร้สาย ทำการพิจารณาแบบมีเงื่อนไขโดยกำหนดให้ ในเวลาเดียวกันนั้นหนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.4 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ

5.2.2.1 อัลกอริทึมการทำงานของจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์

เงื่อนไขแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1) ทำการกำหนดระยะเวลาในการจำลองแบบของโปรแกรม สร้างตัวแปรเก็บค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นและกำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรม
- 2) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของระบบทั้งหมด ทั้งการตรวจสอบช่องสัญญาณ คัดเลือกสถานีที่มีสิทธิ์ครอบครองช่องสัญญาณ
- 3) การคัดเลือกสถานีที่มีสิทธิ์ครอบครองช่องสัญญาณ ณ ช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ทำการคัดเลือกจากสถานีที่ไม่มีการบริการเท่านั้น
- 4) จำนวนช่องสัญญาณในระบบจะมีค่าแปรผันเป็นจำนวน 2,3,5,7,10 ช่องสัญญาณโดยสถานะแรกเริ่มต้นด้วยให้ช่องสัญญาณว่างทั้งหมด โดยที่อัตราการใช้บริการทางด้านเวลามีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล
- 5) ถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณเกิดขึ้นใหม่ ถือว่าได้มีการให้บริการสำเร็จ
- 6) การเรียกเข้าเป็นไปตามการกระจายแบบปัวซอง และระยะเวลาถือครองช่องสัญญาณเป็นไปตามการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) การเรียกเข้าเป็นไปตามการกระจายแบบปัวซองที่มีการไม่ต่อเนื่องทางแกนเวลาดังนั้น จะละเลยกระบวนการในช่วง “Process time”

8) วิธีการเกิดของการเรียกเป็นการเรียกแบบแรนดอมและความน่าจะเป็นของการเกิดไม่สัมพันธ์กับเวลา แต่จะมีค่าคงที่

9) จัดสรรช่องสัญญาณเป็นแบบแรนดอม

10) ในการพิจารณาความหน่วงทางเวลาในการรับส่งข่าวสารจะละเลยความหน่วงทางเวลาที่เป็นผลมาจากความหน่วงทางเวลาการแพร่กระจาย (Propagation delay)

5.2.2.2 การทำงานของโปรแกรมการจำลองแบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบ

แบบวิธี One user / one channel

จากโฟลวชาร์ตรูปที่ 5.3 แสดงขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) กำหนดระยะเวลาในการจำลองแบบของโปรแกรมและสร้างตัวแปรเก็บค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้น กำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรมดังนี้

Simulation time	=	100,000 sec
User	=	35
Time service	=	20 ms
Number of Channel	=	2,3,5,7,10
Channel rate	=	2 Mbps
Packet length	=	8132 bits
Arrival rate	=	$0.01 - 0.1 (\times 10^4 \text{ packet/second})$
Walk time	=	$6.75 \mu\text{s}$
BER	=	10^{-3}

2) สร้างแพคเกจสำหรับแต่ละผู้ใช้บริการ ซึ่งช่วงเวลาที่เกิดขึ้นของแต่ละแพคเกจ ของอัตราการเข้ามาในระบบคิวแบบปัวซองและมีระยะเวลาถือครองช่องสัญญาณเป็นไปตามการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล

3) จัดเรียงแพคเกจใหม่โดยให้เรียงจากน้อยไปมากของเวลาที่เกิด

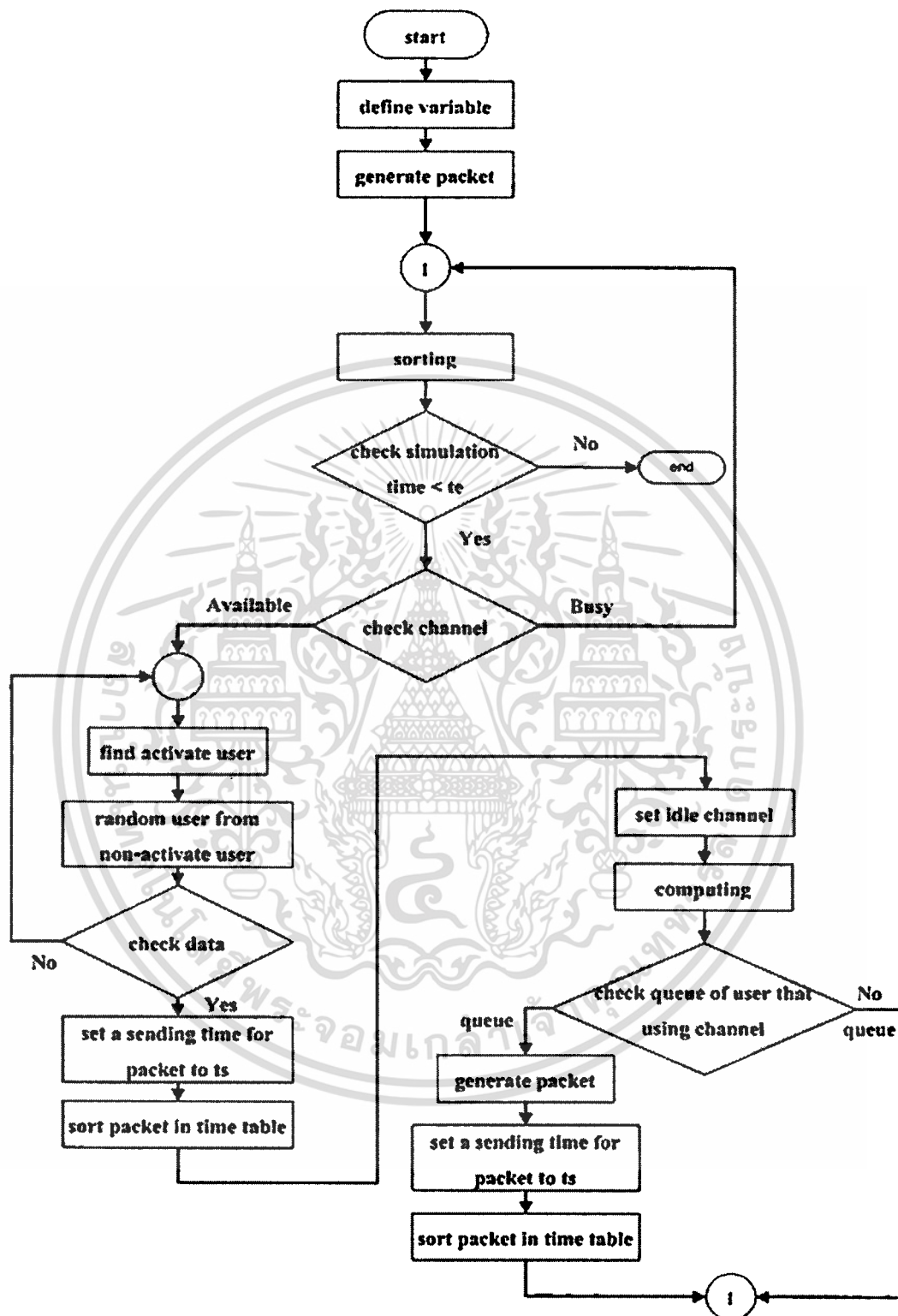
4) ตรวจสอบเวลาในการชิมมุเลชั่น

5) ตรวจสอบช่องสัญญาณ โดยสถานะแรกเราเริ่มต้นด้วยให้ช่องสัญญาณว่างทั้งหมด

6) ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่างระบบจะกลับไปสู่กระบวนการจัดเรียงแพคเกจใหม่

7) ถ้าช่องสัญญาณว่างทำการหาสถานีที่กำลังทำการบริการอยู่ จากนั้นจะทำการสุ่มหาสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการครองครองช่องสัญญาณที่ว่างอยู่นั้นจากสถานีทั้งหมดที่ไม่มีการบริการ

8) ตรวจสอบข้อมูลรอสั่งของสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการครอบครองช่องสัญญาณ



รูปที่ 5.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการจำลองระบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี

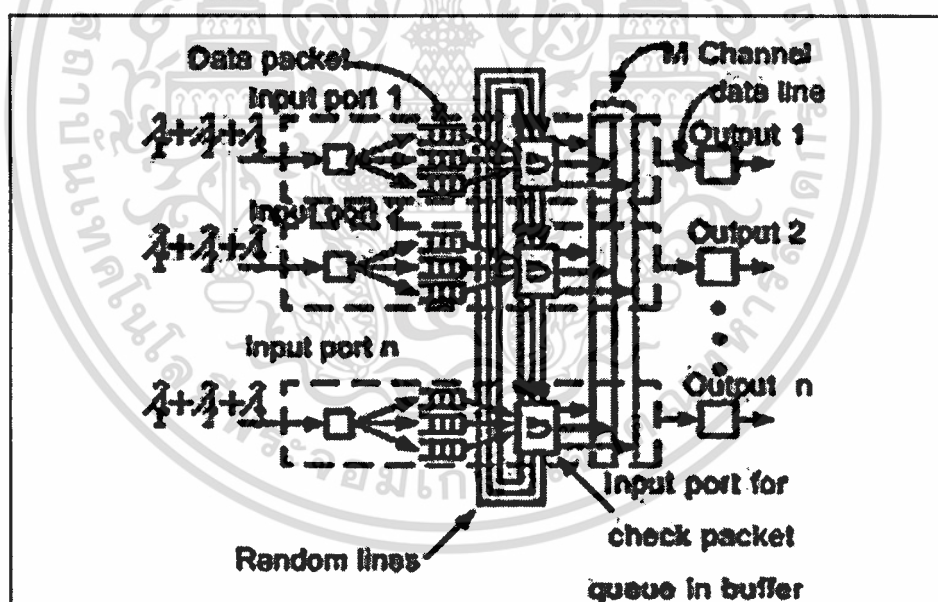
One user / one channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) สถานีที่ได้รับสิทธิในการครอบครองช่องสัญญาณมีข้อมูลรอส่ง จะทำการส่งข้อมูลออกไป แต่ถ้าไม่มีข้อมูลรอส่งจะกลับไปในกระบวนการตรวจสอบหาสถานีอีกครั้ง
- 10) เขตช่องสัญญาณให้ว่าง ถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณเกิดขึ้นใหม่ เราจะถือว่ามีการให้บริการสำเร็จ
- 11) ทำการคำนวณค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay)
- 12) ทำการตรวจสอบคิวของ user ที่กำลังใช้ช่องสัญญาณว่ามีข้อมูลรอการส่งหรือไม่ ถ้ามีข้อมูลรอการส่งจะทำการส่งจนสำเร็จ
- 13) ถ้าไม่มีข้อมูลรอการส่งจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณที่ว่างแบบลำดับสุ่มให้กับสถานีที่ไม่มีการบริการ

5.2.3 การจำลองรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี One user / multichannel

การทำงานของระบบโครงข่ายการเลือกที่มีการติดต่อสื่อสารเป็นระบบเครือข่ายไร้สาย ทำการพิจารณาแบบมีเงื่อนไขโดยกำหนดให้ ในเวลาเดียวกันนั้นหนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.4



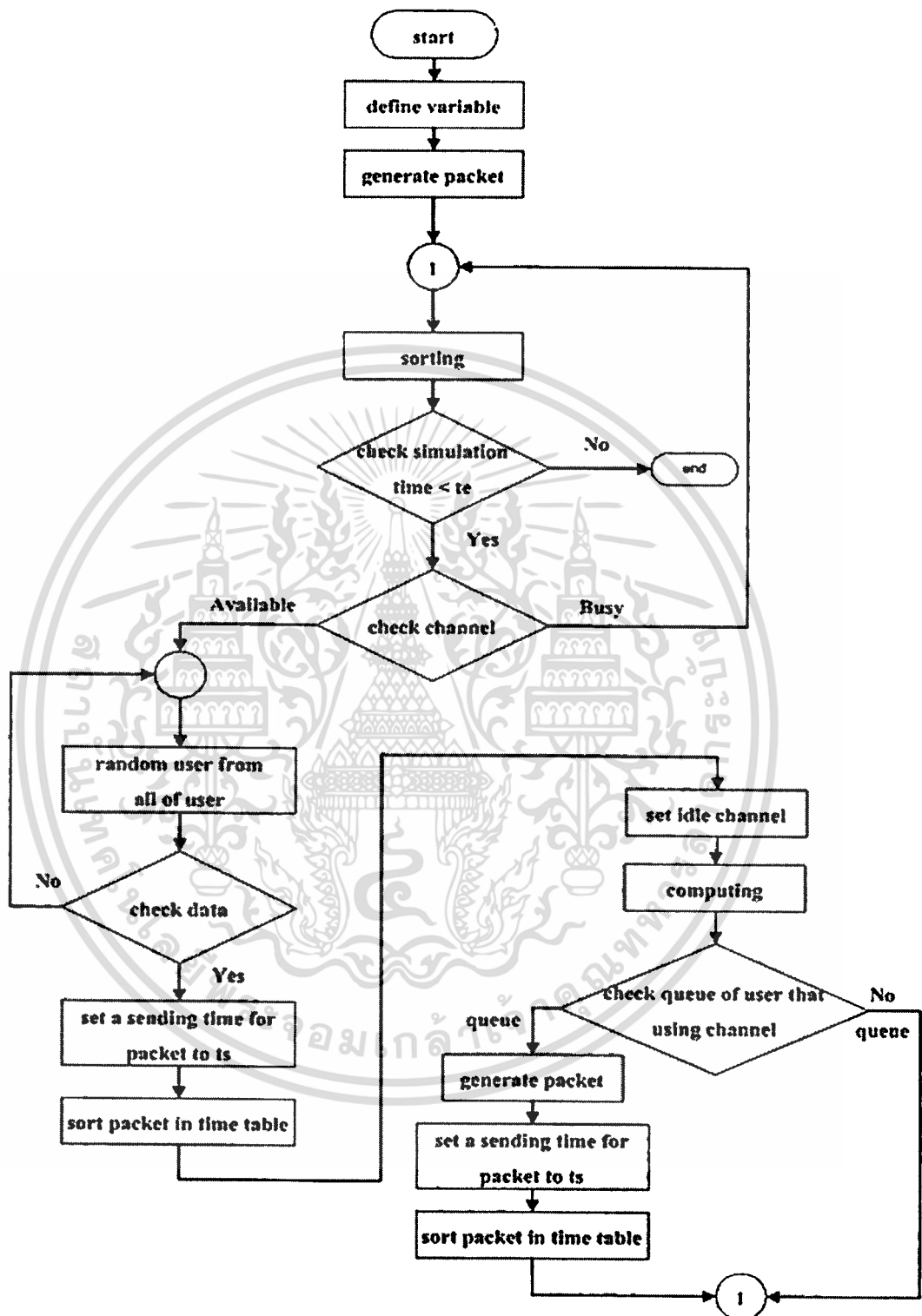
รูปที่ 5.6 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ

5.2.3.1 อัลกอริธึมการทำงานของ การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์

เงื่อนไขแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1) ทำการกำหนดระยะเวลาในการจำลองแบบของโปรแกรม สร้างตัวแปรเก็บค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและกำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการจำลองระบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี

One user / multichannel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของระบบทั้งหมด ทั้งการตรวจสอบช่องสัญญาณ คัดเลือกสถานีที่มีสิทธิ์ครอบครองช่องสัญญาณ
- 3) การคัดเลือกสถานีที่มีสิทธิ์ครอบครองช่องสัญญาณ ณ ช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ทำการคัดเลือกจากทุกๆสถานีในระบบ
- 4) จำนวนช่องสัญญาณในระบบจะมีค่าแปรผันเป็นจำนวน 2,3,5,7,10 ช่องสัญญาณ โดยสถานะแรกเริ่มต้นด้วยให้ช่องสัญญาณว่างทั้งหมด โดยที่อัตราการให้บริการทางด้านเวลามีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล
- 5) ถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณเกิดขึ้นใหม่ ถือว่า ได้มีการให้บริการสำเร็จ
- 6) การเรียกเข้าเป็นไปตามการกระจายแบบปัวซอง และระยะเวลาถือครองช่องสัญญาณเป็นไปตามการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล
- 7) การเรียกเข้าเป็นไปตามการกระจายแบบปัวซองที่มีการไม่ต่อเนื่องทางแกนเวลา ดังนั้นจะละเลยกระบวนการในช่วง "Process time"
- 8) วิธีการเกิดของการเรียกเป็นการเรียกแบบแรนดอมและความน่าจะเป็นของการเกิดไม่สัมพันธ์กับเวลา แต่จะมีค่าคงที่
- 9) จัดสรรช่องสัญญาณเป็นแบบแรนดอม
- 10) ในการพิจารณาความหน่วงทางเวลาในการรับส่งข่าวสารจะละเลยความหน่วงทางเวลาที่เป็นผลมาจากความหน่วงทางเวลาการแพร่กระจาย (Propagation delay)

5.2.3.2 การทำงานของโปรแกรมการจำลองแบบที่กำหนดรูปแบบการทำงานของระบบแบบวิธี One user / multichannel

จากฟลวชาร์ตรูปที่ 5.5 แสดงขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) กำหนดระยะเวลาในการจำลองแบบของ โปรแกรมและสร้างตัวแปรเก็บค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้น กำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรมดังนี้

Simulation time	=	100,000 sec
User	=	35
Number of Channel	=	2,3,5,7,10
Channel rate	=	2 Mbps
Packet length	=	8132 bits
Time service	=	20 ms
Arrival rate	=	$0.01 - 0.1 (\times 10^4 \text{ packet/second})$
BER	=	10^{-3}
Walk time	=	$6.75 \mu\text{s}$

2) สร้างแพ็คเกจสำหรับแต่ละผู้ใช้บริการ ซึ่งช่วงเวลาที่เกิดขึ้นของแต่ละแพ็คเกจ ของอัตราการใช้งานในระบบคิวแบบปิวของและมีระยะเวลาถือครองช่องสัญญาณเป็นไปตามการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล

3) จัดเรียงแพ็คเกจใหม่โดยให้เรียงจากน้อยไปมากของเวลาที่เกิด

4) ตรวจสอบเวลาในการซิมมูลേഷัน

5) ตรวจสอบช่องสัญญาณ โดยสภาวะแรกเราเริ่มต้นด้วยให้ช่องสัญญาณว่างทั้งหมด

6) ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่างระบบจะกลับไปสู่กระบวนการจัดเรียงแพ็คเกจใหม่

7) ถ้าช่องสัญญาณว่างทำการหาสถานีที่กำลังทำการบริการอยู่ จากนั้นจะทำการสุ่มหาสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการครอบครองช่องสัญญาณที่ว่างอยู่นั้นจากสถานีทั้งหมดในระบบ

8) ตรวจสอบข้อมูลรอส่งของสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการครอบครองช่องสัญญาณ

9) สถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการครอบครองช่องสัญญาณมีข้อมูลรอส่ง จะทำการส่งข้อมูลออกไป แต่ถ้าไม่มีข้อมูลรอส่งจะกลับไปในกระบวนการตรวจหาสถานีอีกครั้ง

10) เซตช่องสัญญาณให้ว่าง ถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณเกิดขึ้นใหม่ เราจะถือว่ามีการให้บริการสำเร็จ

11) ทำการคำนวณค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay)

12) ทำการตรวจสอบคิวของ user ที่กำลังใช้ช่องสัญญาณว่ามีข้อมูลรอการส่งหรือไม่ ถ้ามีข้อมูลรอการส่งจะทำการส่งจนสำเร็จ

13) ถ้าไม่มีข้อมูลรอการส่งจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณที่ว่างแบบลำดับสุ่มให้กับสถานีทั้งหมดในระบบ

5.3 การวิเคราะห์การจำลองแบบ

รูปแบบจำลองการทำงานของการเลือกแบบลำดับสุ่มที่มีการส่งข้อมูลแบบหลายช่องทาง และมีการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแยกความแตกต่างของรหัส (CDMA) โดยกำหนดอัตราการเข้ามาในระบบคิวแบบปิวของและมีระยะเวลาถือครองช่องสัญญาณเป็นไปตามการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล และทุกๆสถานีมีระยะห่างจากตัวคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางแบบยูนิฟอร์มที่มีระยะเท่ากับ 150 เมตร ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจำลองแบบจะอ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.11 แสดงดังตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาค่าสมรรถนะของระบบจะแปรผันตามอัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูล ได้ทำการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบโครงข่ายการเลือกแบบไร้สายในลักษณะต่างๆ กัน ซึ่งได้พิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณใน 2 วิธี ดังนี้

1) One user / one channel

2) One user / multichannel

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

<i>parameter</i>	<i>value</i>	<i>parameter</i>	<i>value</i>
Channel rate	2 Mbps	Slot time	20 μ s
Packet length	8132 bits	SIFS	10 μ s
PHY header	192 bits	PIFS	30 μ s
MAC header	272 bits	CFP_Max_Duration	20 ms
ACK	112 bits	Superframe	25 ms
Beacon	280 bits	Walk time	6.75 μ s
FHSS preamble	144 bits	FHSS header	48 bits

ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบในรูปของ ค่าวิสัยสามารรถ (Throughput) และค่า
 หน่วงเวลาเฉลี่ย (Average Delay) ดังนี้

$$\text{Throughput} = \frac{\bar{X}_s}{\bar{X}_i} \quad (5.1)$$

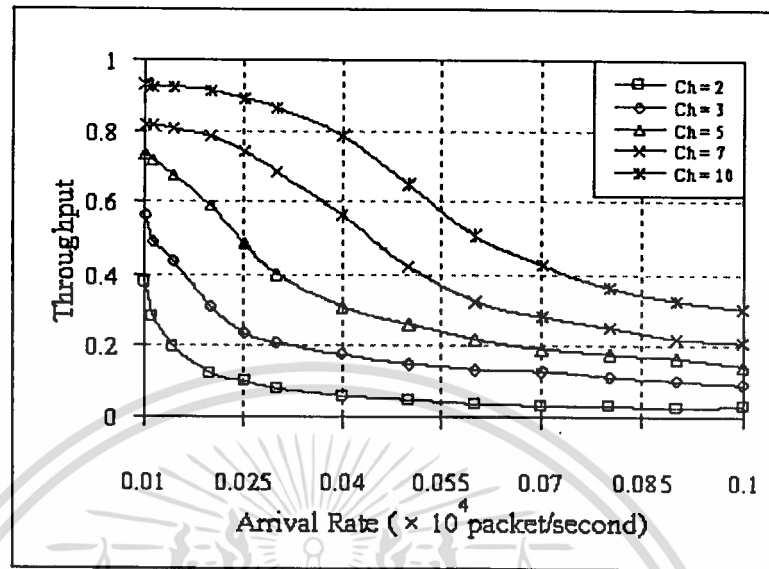
กำหนดให้ \bar{X}_s คือ จำนวนแพคเกจข้อมูลทั้งหมดที่ทำการส่งสำเร็จ และ
 \bar{X}_i คือ จำนวนแพคเกจข้อมูลทั้งหมดที่รอรับบริการ

ค่าหน่วงเวลาเฉลี่ยในการส่ง (Average Delay) = เวลาเฉลี่ยของแพคเกจข้อมูลที่เข้ามา
 รอในบัฟเฟอร์จนได้รับบริการ

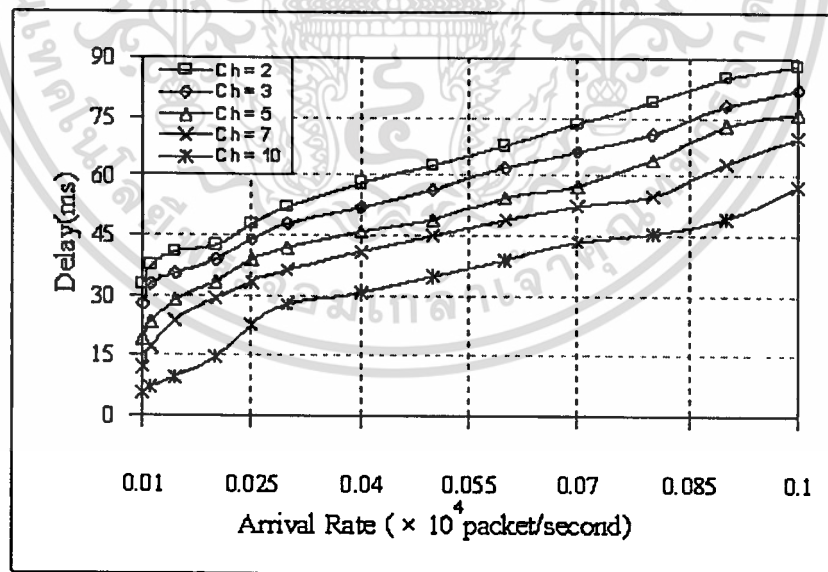
5.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะทำการศึกษาผลของช่วงเวลากการเข้าถึงของกราฟฟิกข้อมูล และ
 จำนวนช่องสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบในทั้งการจัดสรรช่องสัญญาณ
 ทั้ง 2 วิธี คือ วิธีแบบ One user / one channel และ วิธีแบบ One user / multichannel

5.4.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user / one channel



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับอัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ



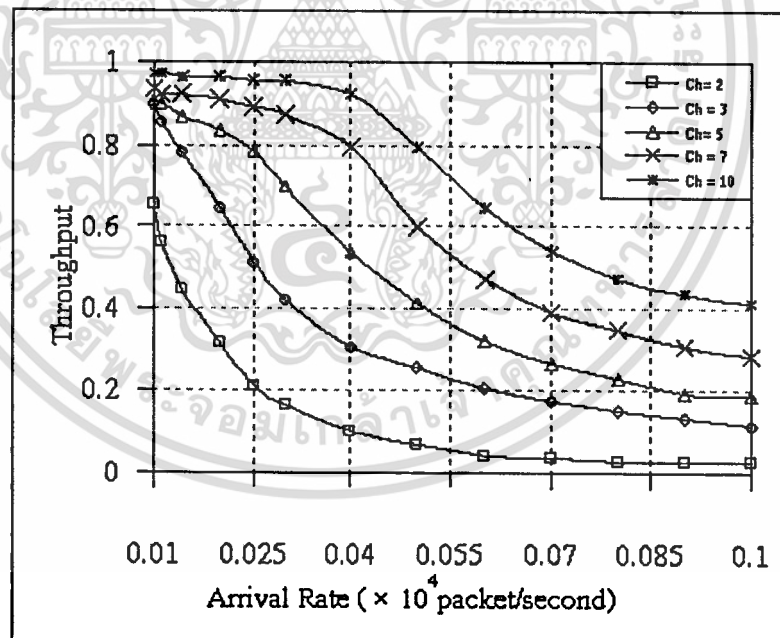
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วงเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับอัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

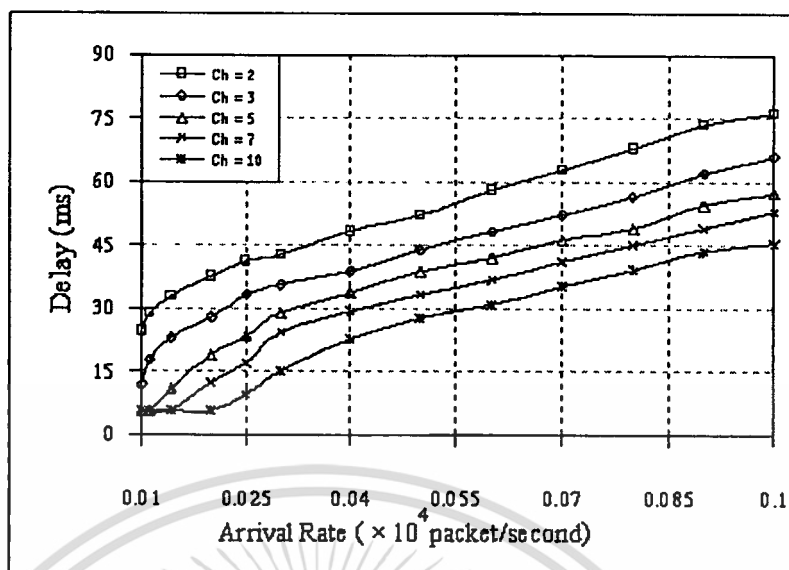
จากกราฟรูปที่ 5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีการส่งแบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ พบว่าในช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่ามาก (อัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าต่ำ) ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าสูง แต่เมื่อช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าน้อยลง แสดงถึงปริมาณกราฟฟิคที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าลดลงด้วย และเมื่อทำการพิจารณาในช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจมีค่าคงที่ พบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

กราฟที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าหน่วยเวลาของระบบที่มีการส่งแบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ โดยมีช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลเป็นตัวแปร จากรูปแสดงได้ว่า ในช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่ามาก ค่าหน่วยเวลาของระบบจะมีค่าต่ำ แต่เมื่อช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าน้อยลง แสดงถึงปริมาณกราฟฟิคที่มีค่าลดลง ค่าหน่วยเวลาของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อทำการพิจารณาในช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจมีค่าคงที่ พบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าหน่วยเวลาของระบบมีค่าลดลง

5.4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user/multichannel



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เทียบกับอัตราการเข้ามาของกราฟฟิคข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ

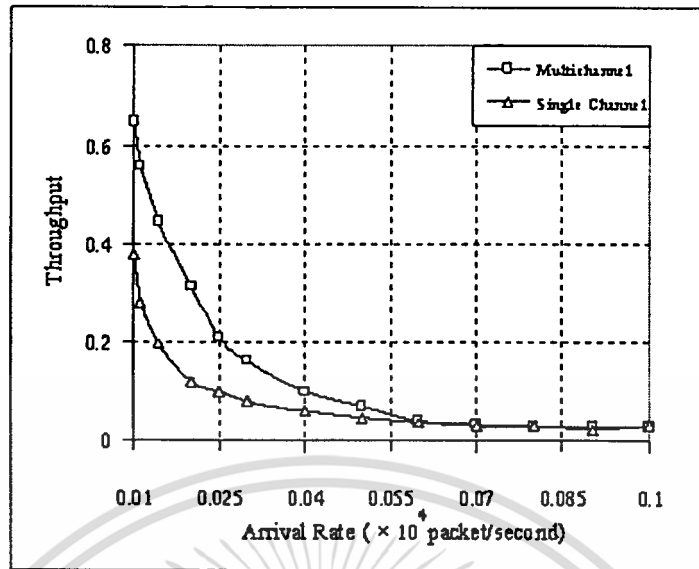


รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วงเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เทียบกับอัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณ

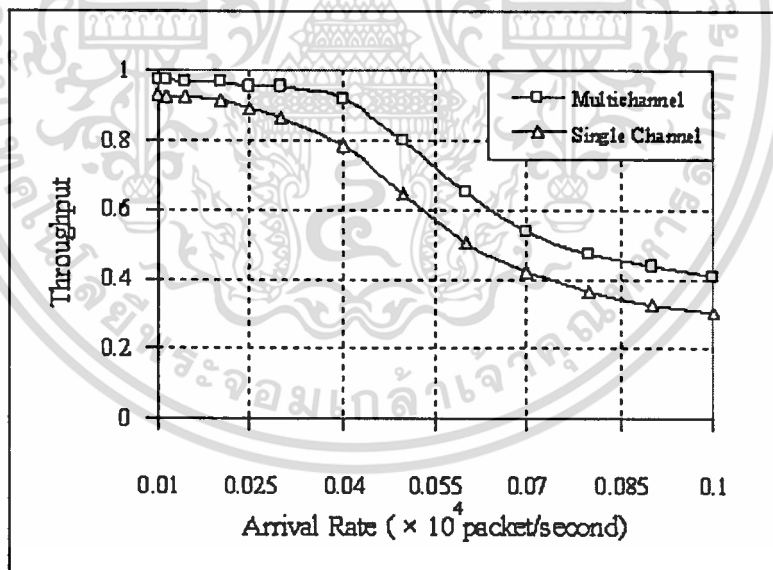
กราฟรูปที่ 5.8 และ 5.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าวิสัยสามารถ และค่าหน่วงเวลาของระบบที่มีการส่งข้อมูลแบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณพบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบจะเป็นไปในทางเดียวกันกับกราฟรูปที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ และเมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบการจำลองแบบทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธีหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณนั้นจะสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ดีกว่าวิธีหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณอีกด้วย

5.4.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบของวิธี One user / one channel เทียบกับวิธี One user/multichannel

จากรูปที่ 5.10 และ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในรูปของค่าวิสัยสามารถของ 2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณ พบว่าวิธีที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / multichannel นั้นจะให้ค่าประสิทธิภาพของระบบในรูปของค่าวิสัยสามารถ ที่ดีกว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / one channel นั้นและเมื่อทำการวิเคราะห์ผลของจำนวนช่องสัญญาณต่อค่าวิสัยสามารถของระบบโดยการพิจารณาที่อัตราการเข้ามาของกราฟฟิกของมุลมีค่าคงที่ที่ $0.04 (\times 10^4)$ แพกเกตต่อวินาที พบว่าระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่เท่ากับ 2 ค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / multichannel สูงกว่า ที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / one channel เท่ากับ 0.057 ในขณะที่จำนวนช่องสัญญาณคงที่ที่ 10 จะมีค่าถึง 0.220 หน่วย

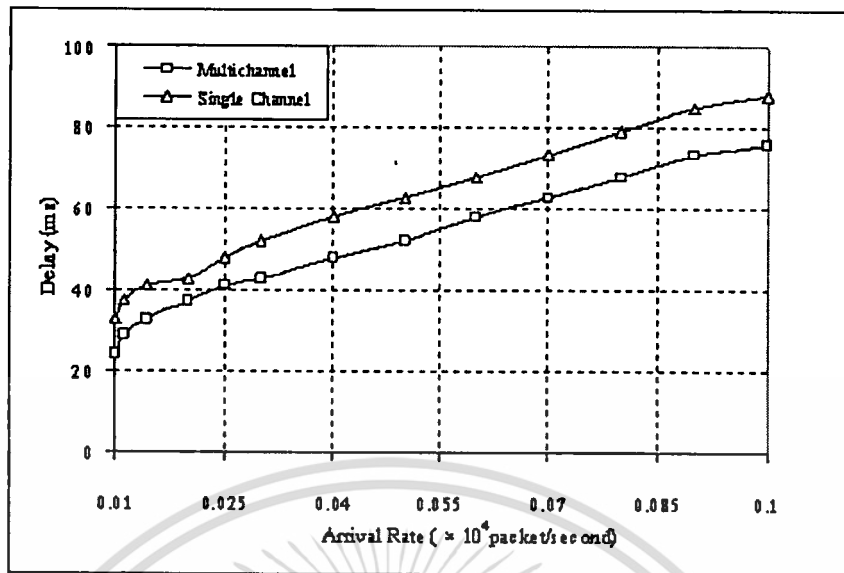


รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 2

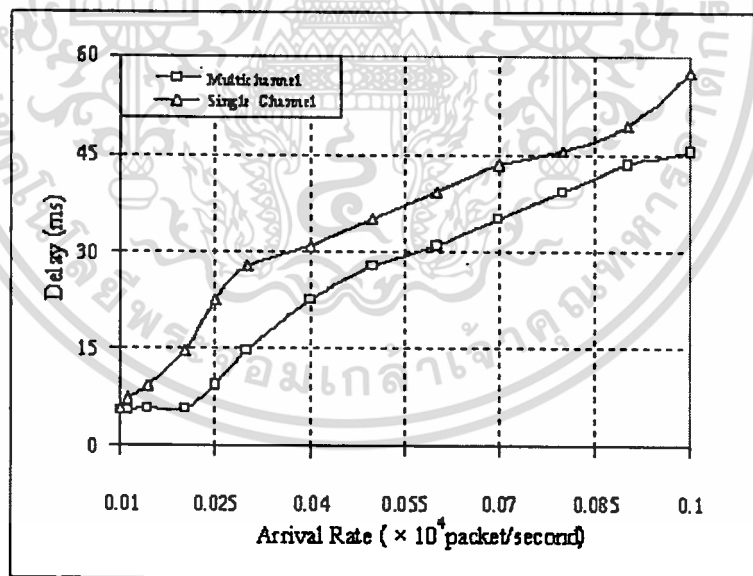


รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 2



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เทียบกับค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ใช้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 10

จากรูปที่ 5.12 และ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในรูปของค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของ 2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณ พบว่าวิธีที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / multichannel นั้นจะให้ค่าประสิทธิภาพของระบบในรูปของค่าหน่วยเวลาเฉลี่ย ที่ดีกว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / one channel นั้นและเมื่อทำการวิเคราะห์ผลของจำนวนช่องสัญญาณต่อค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบโดยการพิจารณาที่อัตราการใช้ของทรัพยากรที่มีค่าคงที่ที่ $0.04 (\times 10^4)$ แพกเกตต่อวินาที พบว่าระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่เท่ากับ 2 ค่าหน่วยเวลาเฉลี่ยของระบบที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / multichannel ต่ำกว่า ที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ One user / one channel เท่ากับ 10 ms ในขณะที่จำนวนช่องสัญญาณคงที่ที่ 10 จะลดลงเหลือ 8.37 ms



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายเข้ามาอยู่ในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์พกพา แชนด์เซต และอุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายไร้สายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ชีตจำกัด ก่อให้เกิดการคิดค้นพัฒนาและเตรียมการรองรับการบริการข้อมูลแบบไร้สายแบบใหม่ๆ การรับประกันคุณภาพของข้อมูลที่ส่งออกไปจึงเป็นส่วนสำคัญ ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้ จะสามารถจัดกลุ่มโปรโตคอลในการเข้าถึงตัวกลาง (MAC Protocol) ได้ 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีวิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการชนกันของข้อมูล (Contention-based) ส่วนอีกกลุ่มคือกลุ่มที่การเข้าถึงตัวกลางแบบการเลือก (Polling-based) ซึ่งโปรโตคอลในกลุ่มหลังนี้จะเป็นการทำงานที่คำนึงถึงคุณภาพของข้อมูลที่ทำการส่งออกไป จากการศึกษาพบว่าการทำงานในส่วนโปรโตคอลการเลือกนี้ยังมีข้อจำกัดการทำงานในส่วนที่ไม่ได้ทำการระบุลงไปอย่างแน่ชัดถึงลำดับของการเลือก และขั้นตอนก่อน-หลังของการดำเนินการกับสถานีที่ถูกเลือก วิทยานิพนธ์จึงได้นำเสนอวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณที่มีรูปแบบการเลือกแบบลำดับสุ่ม สำหรับการส่งข้อมูลออกไปแบบหลายช่องทาง โดยวิธีการจำลองแบบที่มีวิธีการส่งออกของข้อมูลเป็น 2 ลักษณะ คือในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล และในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ในหาสมรรถนะของระบบนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหนดในระบบเพื่อเป็นการวิเคราะห์ ระบบในรูปของค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และ ค่าความหน่วงทางเวลา (Average delay)

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ช่วงเวลาการเข้าถึงของแพ็คเกจข้อมูลและจำนวนช่องสัญญาณที่รองรับการทำงานของระบบ มีผลต่อสมรรถนะของระบบ คือ เมื่อช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความหน่วงทางเวลาจะลดน้อยลง ทำการพิจารณาที่ช่วงเวลาการเข้าถึงของแพ็คเกจข้อมูลพบว่า เมื่อช่วงเวลาการเข้าถึงของแพ็คเกจข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นซึ่งหมายถึงอัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าลดน้อยลง จะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความหน่วงทางเวลาจะลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

เมื่อทำการพิจารณาค่าวิสัยสามารถของระบบจากผลการจำลองแบบ โดยทำการเปรียบเทียบจาก 2 วิธีของการส่งข้อมูลแบบหลายช่องทางนั้น พบว่าที่จำนวนช่องสัญญาณของระบบมีค่าคงที่นั้น ค่าวิสัยสามารถในระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล นั้นจะมีค่าสูงกว่าระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล เนื่องจากในระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล แพ็คเกจข้อมูลของผู้ให้บริการสามารถกระจายการส่งไปยังทุกๆ

ช่องสัญญาณที่ยังว่างอยู่ ในขณะที่ระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ทำการยึดครองการส่งข้อมูลได้แค่ช่องทางเดียว และเมื่อทำการพิจารณาระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเพิ่มสูงขึ้น การกระจายแพ็คเกจข้อมูลในระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ก็จะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ค่าความหน่วงทางเวลาของการส่งข้อมูลแบบหลายช่องทาง พบว่าในระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล นั้นจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล เนื่องจากการกระจายแพ็คเกจการส่งข้อมูลที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นค่าความหน่วงทางเวลาของระบบก็จะมีค่าลดลง เช่นเดียวกันถ้าจำนวนช่องสัญญาณการบริการการส่งข้อมูลในระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น

จากการพิจารณาระบบดังที่ได้กล่าวมาทั้งสิ้นสรุปได้ว่าในระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลนั้นสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ดีกว่าเมื่อทำการเทียบกับ ระบบที่กำหนดให้หนึ่งผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นนั้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเพิ่มสมรรถนะของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE, “**Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between System – Specific Requirement: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) a Physical Layer (PHY) specification**”, IEEE std 802.11, 1997.
- [2] IEEE 802.11 ,**Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification**, Piscataway, NJ: IEEE Standard Dept., June 1997.
- [3] IEEE 802.11a ,**Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification : High Speed Physical Layer in the 5 GHz. Band**, Piscataway, NJ: IEEE Standard Dept., June 1999.
- [4] L.Goldberg, “ **Wireless LANs: Mobile Computer’s Second Wave** ”, Elect. Design, vol. 43, pp.55-72, June 26, 1995.
- [5] A.V.Oppenheim and R.W.Shafer, **Discrete-Time Signal Processing**, 2nd Ed., New Jersey, Prentice-Hall, 1999.
- [6] L.J. Cimini, Jr., “**Analysis and Simulation of a Digital Mobile Channel using Orthogonal Frquency Division Multiplexing**,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-33., pp.665-675, July
- [7] R.V. Nee and R. Prasad, **OFDM for Wireless Media Communication**, Boston-London, Artech House, 2000.
- [8] S.Glisic and B. Vucetio, **Spread spectrum CDMA Systems for Wireless Communications**, London: Artech House, 1997.
- [9] L.Kleinrock, **Queuing system**, John Wiley & son, New York, 2001
- [10] V. Paxson and S. Floyd, “**Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling** ”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 3, No. 3, pp.226-244, 1995.
- [11] S.C. Lo, G. Lee and W.T. Chen, “**An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs**”, IEEE Transactions on Computers, Vol. 52, pp.764-778, 2003.
- [12] J.L. Hammond and P.J.P. O’Reilly, **Performance analysis of Local Computer Network**, USA, Publishing Company Inc., 1986.

- [13] S.C. Lo, G. Lee and W.T. Chen, “**An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs**”, IEEE Transactions on Computers, Vol. 52, pp.764-778, 2003.
- [14] T. Kim, C.Y. Kwon and C.Y. Yang, “**Enhanced Polling Scheme with IEEE 802.11A WLAN**”, Canadian Conference Electrical and Computer Engineering, Vol.1, pp.217-220, 2004.
- [15] J. G. Proakis and M. Salehi, **Contemporary Communication Systems Using Matlab**, Boston: PWS Publishing Company, 1998.
- [16] B.P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim and P.T. Sakai “**IEEE 802.11 Wireless Local Area Network**” IEEE Communication Magazine, pp.116-126, September 1997





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. **Purimprach Chouykool, Suvepon Sittichevapak and Kriengkrai Vonglodjanaporn**
 “Multichannel Random Polling Scheme in Wireless LANs” The 3rd ECTI International Conference (ECTI-CON 2006), Ubon ratchathani, Thailand, May 10-13, 2006.
2. **ปรีมปรีชญ์ ช่วยกุล, สุวิพล สิทธีชีวกภาค และเกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์** “วิธีการแรมคอมโพลิ่งที่มีการส่งแบบหลายช่องสัญญาณในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย” การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550, หน้า 276-283.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2006

THE 2006 ECTI INTERNATIONAL CONFERENCE



ECTI
Association

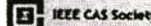
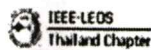


Enter to the Proceeding

Proceedings of the 2006 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference

May 10-13, 2006

Ubonburi Hotel, Ubon Ratchathani, THAILAND



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multichannel Random Polling Scheme in Wireless LANs

Purimprach Chouykool, Suvepon Sittichivapak and Kriengkai Vonglodjanaporn

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand 10520 Tel +66-2737-2500 Ext.5028
Email: i_taan@hotmail.com

ABSTRACT

In this paper, we propose random polling schemes for scheduling. We maintain the polling list of data communication in point co-ordination (PCF) of wireless network over multichannel system. In these schemes, the central controller checks a station that has a backlog data and random a poll station to occupy the idle channel. This system gives the same chances for every station to be polled. The conducted study based on simulation has shown that the proposed schemes are able to improve performance of this system.

Keywords: Multichannel, random polling, PCF, WLANs

1. Introduction

The IEEE 802.11 includes two major classes of MAC protocols for WLANs are contention-based scheme called Distributed Coordination Function (DCF) mode and polling-based scheme called Point Coordination Function (PCF) mode. Contention-based scheme is the fundamental access protocol, and thus contention-based scheme is usually used for best-effort services. Polling-based scheme has some advantages over contention-based scheme in that it is possible to guarantee various QoS requirements to real-time applications. But polling-based scheme has inherent overhead in polling each terminal. Even if a terminal does not have a packet to transmit, it should be polled. This is the major drawback in polling MAC protocols [1].



Fig.1: The communication in infrastructure mode

From another research, there are also many studies for method of how to schedule and maintain the polling lists, such as Non-preemptive, Round-robin, FIFO. However, the three methods as above-mentioned does not fair for the back part of the station in buffer queue. In

this paper, we study a communication in the infrastructure mode (Client/server) is shown in figure 1. For all of station to be comparable, we proposed a random polling scheme and transmit a data packet in multichannel for improved a performance evaluation of system.

2. Related work

2.1 PCF

Point Coordination Function (PCF) is a centralized, polling-based access mechanism which requires the presence of an AP that acts as Point Coordinator (PC). In the PCF mode, time is divided into superframes. Each superframe consists of a contention period where DCF is used and a contention-free period (CFP) where PCF is used. The CFP started a beacon frame is sent by the PC using DCF. The CFP may vary from superframe to superframe, as the base station has to contend for the medium. Once the CFP starts, the PC polls each station in its polling list when they can access the medium. To ensure that no DCF stations are able to interrupt this mode of operation, the inter frame space between PCF data frames (PIFS). To prevent starvation of stations that are not allowed to send during the CFP, there must always be room for at least one maximum length frame to be sent during the contention period.

The PC polls the stations follows to schedule and maintain the polling list. A polled station always responds to a poll. If there is no pending transmission, the response is a null frame containing no payload. If the CFP terminates before all stations have been polled, the polling list is resumed at the next station in the following CFP cycle. A typical medium access sequence during PCF is shown in Figure 2. A station being polled is allowed to transmit a data frame. In case of an unsuccessful transmission, the station retransmits the frame after being repolled or during the next contention period [2].

In the following we explain three popular polling schemes with PCF, differentiated by how to schedule and maintain the polling list.

Non-preemptive polling scheme: In this scheme, the PC first finds the lowest address of station in its polling list and then, sees if there is any data aimed to the address in buffer queue. It piggybacks the data if any

with CF-Poll and CF-ACK if the PC needs to acknowledge for the previously sent data frame. Unless the PC receives the null frame or data frame with more field set to 0, it keeps polling the same station.

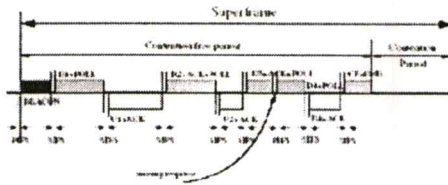


Fig.2: Structure of superframe

Round-Robin polling scheme: PC polls a station in the order in which it is placed in the polling list. It decides what type of frame to transmit and then, sends it to the station. This time, however, the PC immediately turns into the next station in the polling list after receiving the appropriate feedback from the polled station.

FIFO polling scheme: PC follows the order of data frames in the buffer queue. It first checks if there is a packet in the queue. If any it sees the index of the packet and then polls the station accordingly. Therefore, this scheme follows the order of frames in the PC buffer and always piggybacks. When the queue is empty, it follows RR polling scheme[4].

2.2 Polling networks

The basic feature of a polling network is the action of the central computer in polling each location, or station, on the network in some predetermined order to provide access to the channel. As each location is polled, the connecting channel to transmit its backlog to the central computer. In between polls, the connected devices accumulate messages, but do not transmit until polled. Transmissions between stations take place through the central computer, which receives all incoming packets and transmits them to the appropriate locations.

Polling networks can operate in either of two modes, identified as roll-call and hub polling. In both modes the network is controlled by the central computer, and the opportunity to transmit is systematically rotated from one station to another. For roll-call polling, the central computer initiates the polling sequence by sending a polling message to a chosen station. After this station has transmitted its backlog of messages, it so notifies the central computer with a suffix to its last packet. After receiving this suffixed packet, the central computer sends a poll to the next station in the polling sequence, and the process is continued.

For hub polling, the central computer sends out the polling message to the initial station in the same manner as for roll-call polling. When this station has completed

its transmission, it suffixes a go-ahead to the end of its transmission as before, but for hub polling a next-station address is also required. (Such an address is optional for roll-call polling.) This address and the equipment that enable all station to monitor incoming traffic to the central computer constitute additional features required for hub polling. In this paper, we choose a roll-call polling mode to analyses performance of system [3].

2.3 Performance of Polling Networks

A straightforward analysis of a polling network can be required for a rigorous determination of average transfer time and average number of packets stored in the station buffers. The following conditions are assumed in determining the desired quantities.

- The arrival processes to each station are statistically equivalent Exponential processes with equal average arrival rates, λ packets/second
- The walk time, w , between station is constant and is the same for every consecutive station pair ;
- The channel propagation times between stations are equal and are included in the walk time ;
- The packet length distribution, for random length packets, are the same for packets arriving at each station.
- The arrival time, t_a , is interval time of packets are generated in system and $t_a = 1/\lambda$

And other network parameter are the number of station, M , the number of channel, N , and the channel bit rate, R in bits/second [3].

Let be the number of channel and the number of packet with average length \bar{X} bits stored at a typical station when the go-ahead poll arrives at this station. Throughput for the distributed queue, or for the network in the present application, is given by

$$S = \frac{N_s}{N_i} \quad (1)$$

N_s , a total number of station is successful service and N_i , a total number of station is generated in system.

When a is normalized propagation delay and for this condition given $a = 0$, and normalized walk time, \hat{w} as

$$\hat{w} = wR / \bar{X} \quad (2)$$

3. Multichannel Random Polling Schemes

DCF has very restricted performance limit when the traffic load is heavy and the contention is high. In this situation, the PCF can achieve higher throughput than the DCF. However, the PCF in IEEE 802.11 standard has an inherent problem. In fact PC has no mechanism to know the queue status of the associated station buffer. This may cause a lot of troubles. First of all, the PC has difficulty in deciding a polling order. Without

information about the queue status at each station the PC may give equal transmission opportunities to each station according to a predetermined polling order. Although this seems to guarantee the fairness, the PC can not support QoS services of various classes of traffic. Secondly, it is hard for the PC to determine the transmission opportunity time given to a polled station. The PC may keep polling a station to maximize the throughput until there is no data to transmit, whereas in some cases stations would hardly get an opportunity to be polled, which causes bandwidth starvation [4]. This problem can be partly solved by multichannel random polling schemes: In this scheme, the PC first finds the station from polling list. It decides what type of frame to transmit and then, sends it to the station. This time, however, the PC immediately random the next station in the polling list after receiving the appropriate feedback from the polled station.

We consider two conditions of multichannel random polling network: (1) at the same time, one user can use one of channel that is shown in figure 3. (2) at the same time, one user can use several of channel (multichannel) which is shown in figure 4.

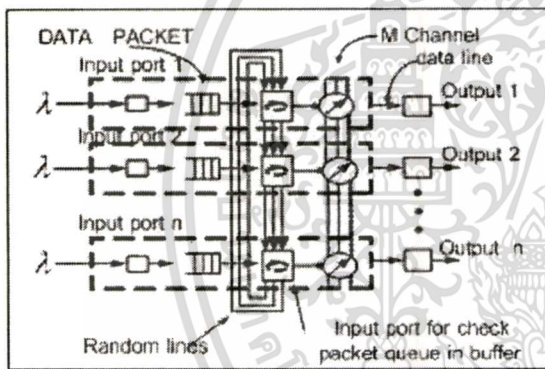


Fig.3: Method of one user/one channel.

4. Simulation

This section deals with simulation model of multichannel random polling scheme. We assume that all stations are uniformly distributed in the coverage area of a central controller with a diameter of 150 meters. The parameter used in this simulation study is chosen based on the IEEE 802.11 standard is shown in table 1[5]. The performance of simulation varies depending on the arrival rate of packet.

Table 1: System parameter.

parameter	value	parameter	value
Channel rate	11Mbps	Slot time	20 μ s
Packet length	10^4 bits	SIFS	10 μ s
PHY header	192 bits	PIFS	30 μ s
MAC header	272 bits	CFP Max Duration	20 ms
ACK	112 bits	Superframe	25 ms
Beacon	280 bits	Walk time	6.75 μ s

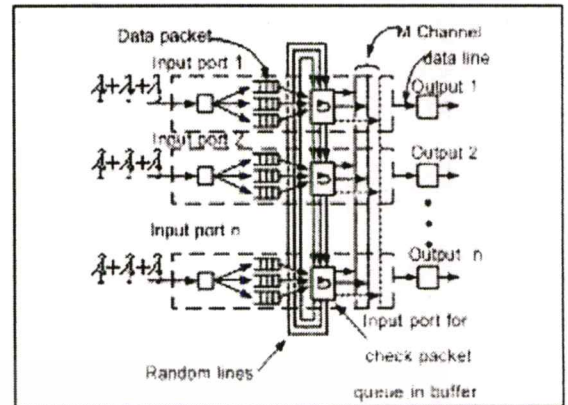


Fig.4: Method of one user/multichannel.

The simulator performs the following methods:

Method 1 : one user / one channel

- The central controller acknowledge a idle channel then;
- The central controller checks transmitting station and select other station and permit one station to use a channel randomly;
- The central controller broadcasts a polling packet, which fixes the decides address to every station;
- The polled station which has data to transmit, it sends out data with ACK packet;
- On the contrary, the polled station sends back a NULL packet in order to enable the central controller to poll the next station.

Method 2 : one user / multichannel

- The central controller acknowledge a idle channel then;
- The central controller select a station randomly and permit to use the channel;
- The central controller broadcasts a polling packet, which fixes the decides address to every station;
- The polled station which has data to transmit, it sends out data with ACK packet;
- On the contrary, the polled station sends back a NULL packet in order to enable the central controller to poll the next station.

5. Simulation Results

For simulation results, we presented the simulation results on computation of throughput versus arrival rate with various number of channels = 2,3,5,7 and 10. Figure 5 is shown simulation results under transmission method of one user/one channel. The results, arrival rate increases while the throughput decreases. As the number of channel increase, throughput is better. For example, at arrival rate 0.05 with number of channel = 2, there is throughput increases to 0.66 when compare with the case of number of channel = 10.

Figure 6 is shown the delay of simulation under transmission method of one user/one channel. From the results, the delay of system decreases while arrival rate increases. As the number of channel increase, the delay decrease. For example, at arrival rate 0.05 with number of channel = 2, there is delay loss of 27.57 ms when compare with the case of number of channel = 10

Figure 7, 8 show the simulation results under transmission method of one user/multichannel for throughput and delay, respectively. The results of this method are similar to the previous method and this method can be improved the performance of system.

6. Conclusion

In this paper, we develop a random polling scheme of supporting data communication in PCF in wireless network. The methods give the same chances for every station to be polled and multichannel used for improved the performance of system. From the simulation results, when the arrival rate increases, throughput of system increases and delay of system decreases. We observe that one user/multichannel method has improved performance compared with one user/one channel method and assured the support a number of channels have a good impact with the performance of system.

7. References

- [1] S.C. Lo, G. Lee and W.T. Chen, "An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs", *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 52, pp.764-778, 2003.
- [2] M.A. Youssef, A. Vasan and R.E. Miller, "Specification and Analysis of the PCF Protocols in the 802.11 Standard Using Systems of Communicating Machines", *Proceeding of the 10th International Conference on Network protocols (ICNP'02)*, pp.132-144, 2002.
- [3] J.L. Hammond and P.J.P. O'Reilly, *Performance analysis of Local Computer Network*, USA, Publishing Company Inc., 1986.
- [4] T. Kim, C.Y. Kwon and C.Y. Yang, "Enhanced Polling Scheme with IEEE 802.11A WLAN", *Canadian Conference Electrical and Computer Engineering*, Vol.1, pp.217-220, 2004.
- [5] IEEE, "Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between System – Specific Requirement: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) a Physical Layer (PHY) specification", *IEEE std 802.11*, 1997.

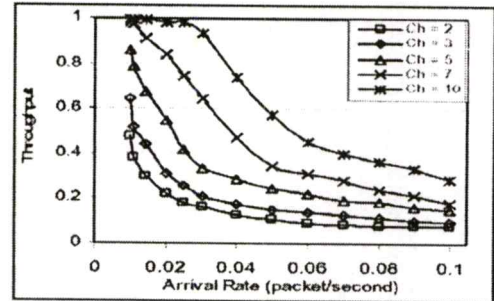


Fig.5: Throughput vs. arrival rate with various number of channels in one user/one channel.

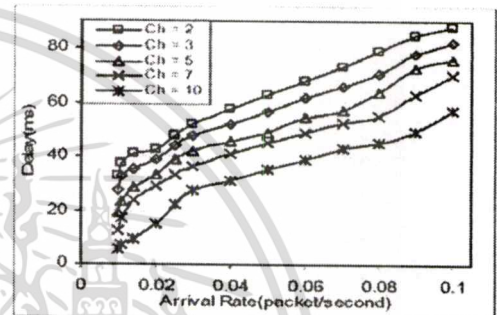


Fig.6: delay vs. arrival rate with various number of channels in one user/one channel.

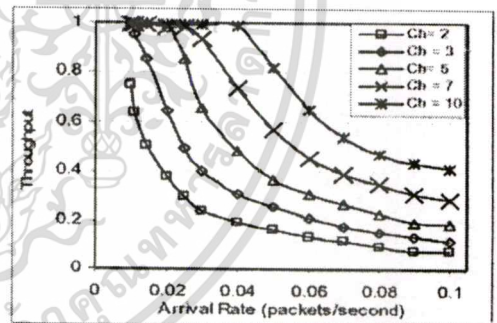


Fig.7: Throughput vs. arrival rate with various number of channels in one user/multichannel.

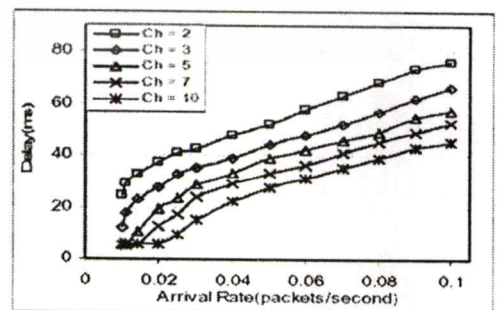


Fig.8: Delay vs. arrival rate with various number of channels in one user/multichannel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแรนดอมโพลลิ่งที่มีการส่งแบบหลายช่องสัญญาณในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Multichannel Random Polling Scheme in Wireless LANs

ปริมปรัชญ์ ช่วยกุล¹ สุวิพล สิทธีชีวภาค¹ และ เกริญไกร วงศ์โรจนภรณ์¹
 Purimprat Chouykool¹ Suvipon Sittichivapak¹ and Kriengkrai Vonglodjanaporn¹

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอลการเลือก (Polling Protocol) สำหรับการส่งข้อมูลในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบหลายช่องทาง โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการตรวจสอบสถานีที่มีข้อมูลรอส่ง และจะทำการเลือกสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่งเป็นแบบลำดับสุ่ม (Random Scheme) การทำงานภายในระบบจะกำหนดให้ทุกๆสถานีภายในโครงข่ายได้รับสิทธิ์ ในการถูกเลือกมีค่าเท่าๆกัน ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบโดยการศึกษาหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput), ค่าหน่วงเวลา(Delay) เมื่อค่าช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูลและจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการของระบบมีการเปลี่ยนแปลง จากผลการจำลองระบบการทำงานพบว่าเมื่อค่าช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูล และจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการของระบบมีการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายในระบบจะดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ABSTRACT

In this paper, we propose random polling schemes for scheduling. We maintain the polling list of data communication in point co-ordination (PCF) of wireless network over multichannel systems. In these schemes, the central controller checks a station that has a backlog data and random a poll station to occupy the idle channel. This system gives the same chances for every station to be polled. The conducted study based on simulation has shown that the proposed schemes are able to improve performance of this system.

Keyword: Multichannel, random polling, PCF, WLANs

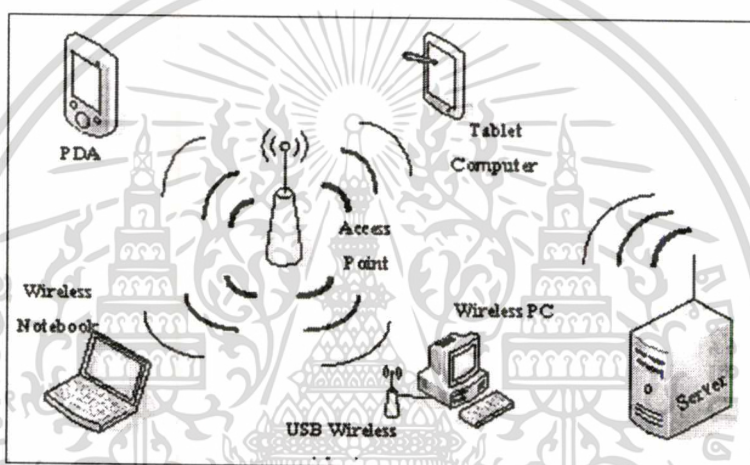
E-mail address: i_taan@hotmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

คำนำ

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 รูปแบบในการเข้าถึงแบบการเลือก (Polling Scheme) จะอยู่ในส่วนการดำเนินการที่เรียกว่า Point Coordination Function (PCF) โดยจะไม่ได้ทำการระบุลงไปยังแน่ชัดถึงลำดับของการเลือก และขั้นตอนก่อน-หลังของการดำเนินการกับสถานีที่ถูกเลือก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า รูปแบบของลำดับในการเลือกที่นิยมนำมาใช้งานมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ Non-preemptive, Round-Robin และ First-In First-Out [1]. ในบทความนี้เป็นการศึกษาาระบบเครือข่ายไร้สายแบบ infrastructure mode (Client/server) ดังภาพที่ 1 สำหรับการนำเสนอรูปแบบที่แตกต่างออกไปจึงนำเอารูปแบบการเลือกแบบลำดับสุ่มสำหรับการส่งข้อมูลออกไปแบบหลายช่องทาง(Multichannel Random Polling Scheme)ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PCF Mode โดยวิธีการตรวจหาเทอร์มินอลที่มีข้อมูลรอส่ง เพื่อเป็นการลดการสูญเสียแบนด์วิดท์และค่าดีเลย์ที่มีค่าสูงเกินความจำเป็นอันเนื่องมาจากเทอร์มินอลอื่นๆ ที่จะต้องรอในการส่งข้อมูลออกไป.



รูปที่ 1 การติดต่อสื่อสารแบบ Infrastructure mode (Client/server)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

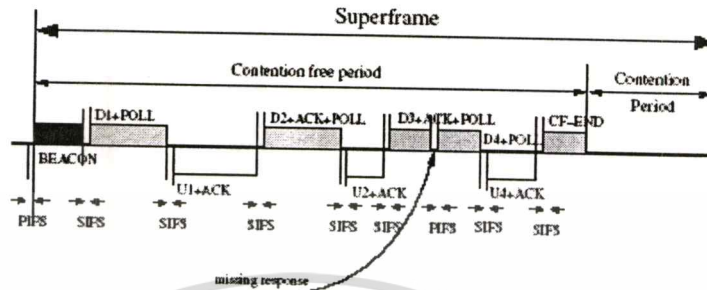
PCF (Point Coordination Function)

PCF (Point Coordination Function) เป็นวิธีการควบคุมการเข้าถึงในระดับชั้น MAC (Medium Access Control) ที่มีวิธีการเข้าถึงแบบศูนย์กลาง (Centralized Access Protocol) โดยจะทำหน้าที่ในการตัดสินใจหรือเลือกสถานีที่จะทำการส่งข้อมูล โดยจะมีคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางในการควบคุม เมื่อสถานีใดที่ได้รับสัญญาณให้ทำการส่งข้อมูลนี้แล้วก็จะส่งเฟรม ACK กลับไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพื่อแจ้งความพร้อม จากนั้นจึงทำการส่งข้อมูลต่อไป ในทางตรงกันข้ามถ้าสถานีที่ได้รับสัญญาณไม่มีข้อมูลที่จะรอส่ง จะทำการส่งเฟรม NULL ตอบกลับไปที่แจ้งให้ทราบ คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการเลือกสถานีถัดไป [2],[3].

จากการทำงานของระดับชั้นทั้ง 2 รูปแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะแบ่งการทำงานกันตามช่วงเวลา ภายในโครงสร้างเวลาที่เรียกว่าซูเปอร์เฟรม (Superframe) โดยแต่ละซูเปอร์เฟรมจะประกอบไปด้วย 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีการชนกันของข้อมูล (Contention Period) ซึ่งจะถูกใช้ในระดัชั้น DCF (Distributed Coordination Function) โดยในระดับชั้นนี้จะเป็นวิธีการควบคุมการเข้าถึงในระดับชั้น MAC เช่นเดียวกันแต่จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเข้าแบบกระจาย หรือที่เรียกกันว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) และช่วงเวลาที่ไม่มีการชนกันของข้อมูล (Contention-Free Period) โดยช่วงเวลานี้จะถูกใช้ใน ระดับชั้น PCF แสดงดังรูปที่ 2 [4]



รูปที่ 2 โครงสร้างซูเปอร์เฟรม

สมรรถนะของระบบ Polling

จากการศึกษาการทำงานในระบบที่มีการเข้าถึงแบบการเลือก พบว่าสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบจะประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ

- อัตราการเข้ามาของข้อมูลในแต่ละสถานีมีค่าคงที่ และมีอัตราการเข้ามาเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยกำหนดให้มีอัตราเฉลี่ยการเข้ามาเท่ากับ λ แพ็คเกต/วินาที
- ค่า walk time, w , ระหว่างสถานีกำหนดให้มีค่าคงที่
- ค่า channel propagation time ระหว่างแต่ละสถานีมีค่าคงที่ และกำหนดให้รวมอยู่ในค่า walk time
- ช่วงเวลาการเข้ามาของข้อมูล, t_a , มีค่าเป็นส่วนกลับของอัตราการเข้ามาของข้อมูล, $t_a = 1/\lambda$
- แพ็คเกตข้อมูลของแต่ละสถานีมีการกระจายแบบสุ่มและกำหนดมีค่าคงที่เท่ากันทุกสถานี และค่าพารามิเตอร์อื่นๆของระบบดังนี้ จำนวนสถานีในระบบ(M), จำนวนช่องสัญญาณ (N), อัตราการส่งผ่านข้อมูลบนช่องสัญญาณ = R บิตต่อวินาที กำหนดให้แพ็คเกตของสถานีที่ถูกเลือกมีจำนวนข้อมูล เท่ากับ \bar{X} บิต ขณะที่ poll แพ็คเกตมาถึง ดังนั้นค่าวิสัยความสามารถของระบบสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$S = \frac{M_s}{M_i} \tag{1}$$

กำหนดให้ M_s คือ จำนวนสถานีทั้งหมดที่ทำการส่งสำเร็จ และ

M_i คือ จำนวนสถานีทั้งหมดที่เข้ามาในระบบ

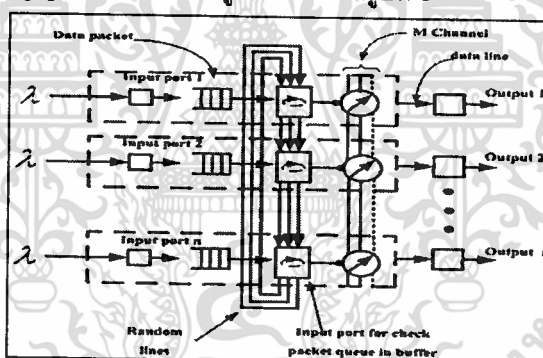
เมื่อ a คือ ค่า normalized propagation delay และในการจำลองแบบนี้จะทำการกำหนดให้ $a = 0$ ดังนั้นค่า normalized walk time, \hat{w} , ของระบบจะหาได้จากสมการที่ (2) [5],[6]

$$\hat{w} = wR / \bar{X} \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

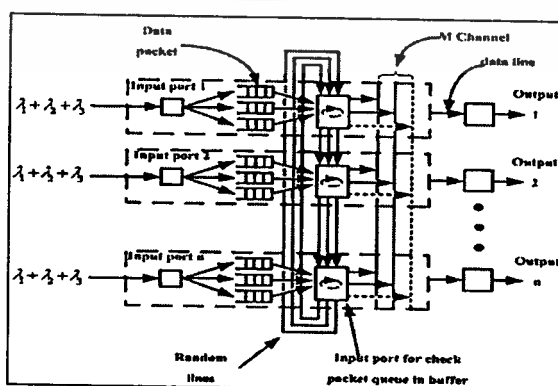
Multichannel Random Polling Schemes

จากการวิเคราะห์หาสมรรถนะในส่วนของ DCF จะมีขอบเขตการทำงานในส่วนของคุณภาพของทราฟฟิกข้อมูลที่มีปริมาณมาก ทำให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสมรรถนะของระบบลดลง ในสภาวะเดียวกันนี้เมื่อมาทำการพิจารณาในส่วนการทำงานของ PCF พบว่ามีข้อได้เปรียบทางด้านสมรรถนะของระบบอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามในส่วนการทำงานของ PCF ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เองก็ยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจากในการทำงานที่มีการเข้าถึงแบบการเลือกนี้จะมีปัญหาในส่วนการทำงานของ PC (Point Coordinator) เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว PC ไม่มีกลไกที่จะรู้ถึงสถานะของลำดับที่อยู่ในบัฟเฟอร์อื่นเนื่องมาจากสาเหตุเหล่านี้คือ ประการแรก PC นั้นยากที่จะตัดสินใจต่อลำดับการเลือก การปราศจากรายละเอียดเกี่ยวกับลำดับนี้ จึงส่งผลให้ PC จะทำการให้ออกาสในการส่งข้อมูลของทุกๆ สถานีมีค่าเท่ากัน ประการต่อมา คือ เป็นการยากสำหรับ PC ที่จะตัดสินใจว่าแต่ละสถานีที่ถูกเลือกจะใช้เวลาเท่าไรในการส่งข้อมูล เพราะโดยธรรมชาติแล้วนั้น PC จะให้สิทธิ์แก่สถานีนั้นทำการส่งข้อมูลจนกว่าจะหมด ซึ่งส่งผลให้สถานีอื่นไม่มีโอกาสที่จะถูกเลือก [7] ซึ่งเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้นำเสนอการทำงานที่เป็นการเลือกแบบลำดับสุ่มมาใช้ นั่นคือ ในการทำงานของระบบจะเป็นการติดต่อสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางกับสถานีลูกข่าย โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางจะทำการโพลไปถามทุกๆ สถานีลูกข่ายแบบบรอดคาสต์เพื่อทำการตรวจสอบสถานีลูกข่ายที่รอการส่งอยู่ ซึ่งจะแบ่งวิธีการพิจารณาออกเป็น 2 วิธี ดังนี้ 1. One user / one channel, ในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หนึ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ

2. One user / multichannel, ในเวลาเดียวกัน หนึ่งผู้ให้บริการมีสิทธิ์ใช้หลายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองรูปแบบการทำงานของระบบ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรูปแบบจำลองการทำงานของทางเลือกแบบลำดับสุ่มที่มีการส่งข้อมูลแบบหลายช่องทาง โดยการกำหนดให้ทุกสถานีมีระยะห่างจากตัวคอมพิวเตอร์ศูนย์แบบยูนิฟอร์มที่มีระยะเท่ากับ 150 เมตรและค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจำลองแบบจะอ้างอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.11 แสดงดังตารางที่ 1 [8] และค่าสมรรถนะของระบบจะแปรผันตามอัตราการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูล

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

parameter	value	parameter	value
Channel rate	11Mbps	Slot time	20 μ s
Packet length	10 ⁴ bits	SIFS	10 μ s
PHY header	192 bits	PIFS	30 μ s
MAC header	272 bits	CFP_Max_Duration	20 ms
ACK	112 bits	Superframe	25 ms
Beacon	280 bits	Walk time	6.75 μ s

รูปแบบการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. วิธีที่ 1 One user / one channel

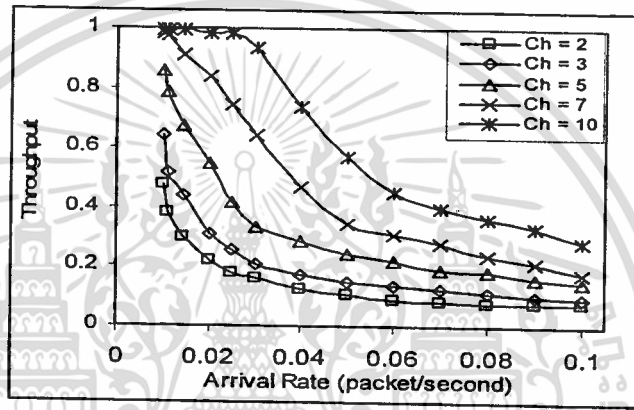
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางรับทราบช่องสัญญาณว่าง จากนั้น
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการตรวจสอบหาสถานีที่กำลังรับบริการอยู่ และทำการเลือกสถานีที่ไม่มีการบริการแล้วทำการเลือกสถานีเหล่านั้นโดยวิธีการสุ่ม
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการกระจายแพ็คเก็ตการเลือกที่ทำการระบุที่อยู่ของสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่งออกไปยังทุกๆสถานีพร้อมๆกัน
- สถานีที่ถูกเลือกที่มีข้อมูลพร้อมรอส่งจะทำการส่งข้อมูลออกไปพร้อมกับ ACK แพ็คเก็ต
- ในทางตรงข้ามกัน, ถ้าสถานีที่ถูกเลือกไม่มีข้อมูลรอส่ง ก็จะทำการส่ง NULL แพ็คเก็ตตอบกลับไป จากนั้นระบบจะทำการเริ่มต้นค้นหาสถานีที่รับสิทธิ์ใหม่

2. วิธีที่ 2 One user / multichannel

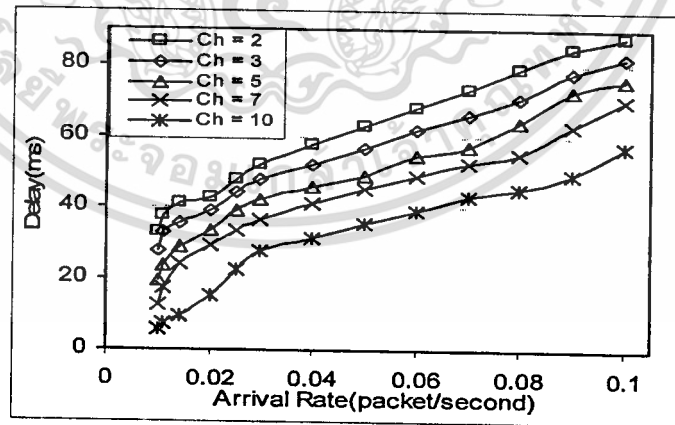
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางรับทราบช่องสัญญาณว่าง จากนั้น
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการเลือกสถานีที่ได้รับสิทธิ์จากทุกๆสถานีที่อยู่ในระบบโดยวิธีการสุ่ม
- คอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลางทำการกระจายแพ็คเก็ตการเลือกที่ทำการระบุที่อยู่ของสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่งออกไปยังทุกๆสถานีพร้อมๆกัน
- สถานีที่ถูกเลือกที่มีข้อมูลพร้อมรอส่งจะทำการส่งข้อมูลออกไปพร้อมกับ ACK แพ็คเก็ต
- ในทางตรงข้ามกัน, ถ้าสถานีที่ถูกเลือกไม่มีข้อมูลรอส่ง ก็จะทำการส่ง NULL แพ็คเก็ตตอบกลับไป จากนั้นระบบจะทำการเริ่มต้นค้นหาสถานีที่รับสิทธิ์ใหม่

ผลการจำลองแบบ

การวิเคราะห์สมรรถนะจะกระทำโดยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดอัตราการส่งแพ็คเกจที่ 11 Mbps และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณคงที่ที่ 2,3,5,7 และ 10 เมื่อช่วงเวลาการเข้ามาของทราฟฟิกข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบในรูปของ ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าหน่วงเวลาเฉลี่ย (Average Delay) จากกราฟรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีการส่งแบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ พบว่าในช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่ามาก (อัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าต่ำ) ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าสูง แต่เมื่อช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูลมีค่าน้อยลง แสดงถึงปริมาณทราฟฟิกที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าลดลงด้วย และเมื่อทำการพิจารณาที่ช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเกจมีค่าคงที่ พบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย



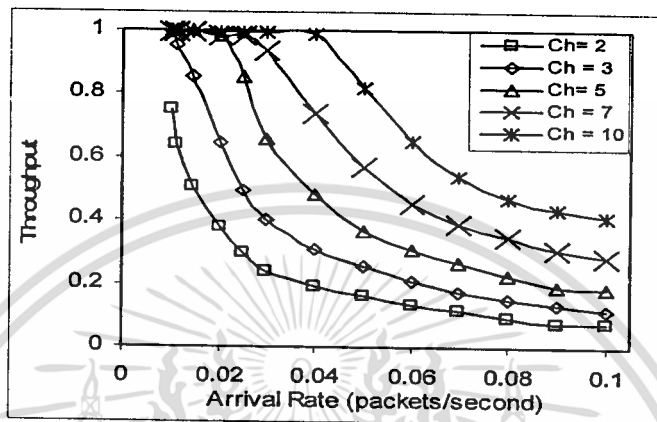
รูปที่ 5 ค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูล



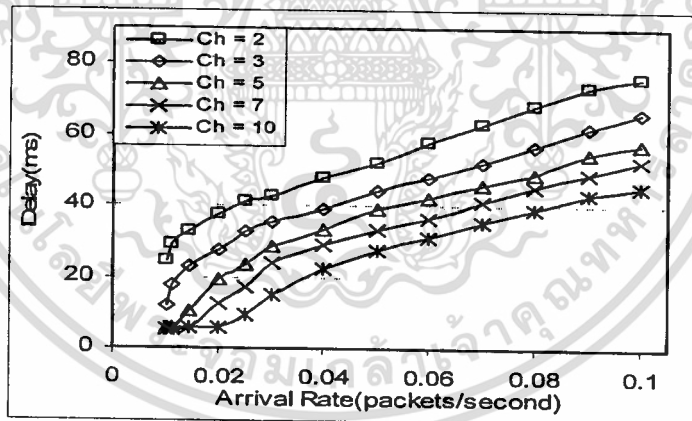
รูปที่ 6 ค่าหน่วงเวลาของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเข้ามาของแพ็คเกจข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่านองเวลาของระบบที่มีการส่งแบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ โดยมีช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูลเป็นตัวแปร จากรูปแสดงได้ว่า ที่ช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูลมีค่ามาก ค่านองเวลาของระบบจะมีค่าต่ำ แต่เมื่อช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูลมีค่าลดน้อยลง แสดงถึงปริมาณกราฟฟิคที่มีค่าลดลง ค่านองเวลาของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อทำการพิจารณาที่ช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตมีค่าคงที่ พบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่านองเวลาของระบบมีค่าลดลง



รูปที่ 7 ค่าวิสัยสามารถของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูล



รูปที่ 8 ค่านองเวลาของระบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูล

กราฟรูปที่ 7 และ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าวิสัยสามารถ และค่านองเวลาของระบบ ที่มีการส่งข้อมูลแบบหนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณพบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบจะเป็นไปในทางเดียวกันกับกราฟรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ และเมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบการจำลองแบบทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธีหนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณนั้นจะสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ดีกว่าวิธีหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณอีกด้วย

สรุป

บทความนี้ได้พัฒนาวิธีการเลือกแบบลำดับสุ่มสำหรับการส่งข้อมูลในระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยกำหนดให้โอกาสในการส่งของทุกๆสถานีมีค่าเท่ากัน และ การส่งข้อมูลออกไปเป็นแบบหลายช่องทาง จากผลการจำลองแบบพบว่า ค่าวิสัยสามารถของระบบจะแปรผันตรงกับช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูล ในขณะที่ค่านองเวลาของระบบจะมีค่าแปรผกผันกับช่วงเวลาการเข้ามาของแพ็คเก็ตข้อมูล จากการพิจารณาวิธีที่ให้บริการ พบว่าวิธีที่กำหนดให้หนึ่งผู้ให้บริการต่อหลายช่องสัญญาณ สามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ดีกว่าเมื่อทำการเทียบกับวิธีหนึ่งผู้ให้บริการต่อหนึ่งช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นนั้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเพิ่มสมรรถนะของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Kim, C.Y. Kwon and C.Y. Yang, "Enhanced Polling Scheme with IEEE 802.11A WLAN", Canadian Conference Electrical and Computer Engineering, Volume1, 2004 pp.217-220.
- [2] B.P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim and P.T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", IEEE Communications Magazine, Volume 35, Issue 9, September 1997 pp.116-126.
- [3] O.Sharon and E.Altman, "An Efficient MAC for Wireless LANs", IEEE/ACM Transactions on Network, Volume 9, Issue 4, August 2001 pp 439-451.
- [4] M.A. Youssef, A.Vasan and R.E.Miller, "Specification and Analysis of the DCF and PCF Protocol in the 802.11 Standard Using Systems of Communicating Machines", Proceeding of the 10th IEEE International Conference on Network Protocol, 12-15 Nov.2002 pp 132-142.
- [5] J.L. Hammond and P.J.P. O'Reilly, "Performance analysis of Local Computer Network", USA, Publishing Company Inc., 1986.
- [6] B.Sinclair "Polling Network Analysis", [online], Available: <http://cnx.rice.edu/m10818/latest,2005>
- [7] S.C. LO, G. Lee and W.T. Chen, "An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs", IEEE Transactions on Computer, Volume 52, Issue 6, June 2003 pp764-778.
- [8] IEEE, "Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between System – Specific Requirement: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) a Physical Layer (PHY) specification", IEEE Std 802.11-1997

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวปริมปรัชญ์ ช่วยกุล
วัน เดือน ปีเกิด	9 ตุลาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์
สถานที่ที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2544
ศึกษาระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาโทรคมนาคม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง เข้าศึกษาต่อในปีการศึกษา 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้