

การประมาณค่าประสิทธิภาพในโครงข่าย GPRS แบบหลายช่องสัญญาณ  
บนกราฟฟิกเสียงและข้อมูล

EFFICIENTLY EVALUATION IN MULTI-CHANNEL GPRS NETWORK  
OVER VOICE AND DATA TRAFFIC



รักขพล งามทวี  
RUKSAPHOL NGAMTAWEE

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60974  
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ก.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1739-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11550104  
B.....  
I.....

**EFFICIENTLY EVALUATION IN MULTI-CHANNEL GPRS NETWORK  
OVER VOICE AND DATA TRAFFIC**



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

**2005**

**ISBN 974-15-1793-9**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าประสิทธิภาพในโครงข่าย GPRS แบบหลายช่องสัญญาณบนกราฟฟิกเสียงและข้อมูล
นักศึกษา	นายรัชพล งามทวี
รหัสนักศึกษา	46061234
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิมล สิริชีวะภาค

### บทคัดย่อ

ในระบบ GSM ที่รองรับ GPRS จะมีการจัดแบ่งแบนวิธได้ตลอดเวลาตามปริมาณของกราฟฟิกที่เข้ามาใช้งาน ซึ่งผู้ใช้จะได้รับการจัดสรร ช่องสัญญาณก็ต่อเมื่อต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลแล้ว ระบบสามารถนำช่องสัญญาณนี้ไปให้ผู้อื่นใช้งานได้ ทำให้การรับส่งข้อมูลในช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต่างจากระบบ GSM แบบดั้งเดิมซึ่งเป็นวงจรสวิตซ์ ซึ่งจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ตลอดเวลาแม้ว่าจะไม่มีข้อมูลที่จะส่งแล้วก็ตาม จนกว่าจะยกเลิกการเชื่อมต่อ โดยทั่วไปการสื่อสารแบบเป็นแพคเกจมีลักษณะข้อมูลที่เป็นกลุ่มยาวและมีช่วงเวลาเชื่อมต่อยาวนาน เมื่อนำระบบ GPRS มาใช้กับการส่งข้อมูล จะทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบแพคเกจมีประสิทธิภาพ และลดความสิ้นเปลืองลง การจำลองในบทความนี้เป็นโครงข่าย GPRS แบบหลายช่องสัญญาณ โดยมีทั้งกราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบเดียวกัน ซึ่งคล้ายคลึงกับระบบจริงมากขึ้น เพื่อประมาณค่าทรูพุท, ดีเลย์ และ อัตราการครอบ โดยที่มีปริมาณกราฟฟิกและขนาดของบัฟเฟอร์เป็นตัวแปร โดยกำหนดให้อัตราการเข้ามาจะเป็น กราฟฟิกเสียง 50% และอีก 50% ที่เหลือจะเป็นกราฟฟิกข้อมูล

<b>Thesis Title</b>	Efficiently Evaluation in Multi-channel GPRS network over Voice and Data Traffic
<b>Student</b>	Mr.Ruksaphol Ngamtawee
<b>Student ID.</b>	46061234
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Suvepon Sittichivapak

### ABSTRACT

The GSM network that supported General Packet Radio Service (GPRS) allows the dynamic allocation of bandwidth resources, users will be allowed to use the channels if there are packets to transmit is available, when the all of packets are transmitted the network allows the other user use the channels. But the conventional circuit-switched GSM allows the users continue using the channels, even they have no packet data to transmit, until the connection has been canceled. Wireless channels are allocated to a mobile terminal based on its traffic demands. Thus results in better resource utilization compared to the circuit-based data services. In general, packet-based communication has more busy traffic and longer connection time compared to its circuit-based counterpart. When apply GPRS to packet data transmission, the better efficiency and reduce cost. This paper will shows the evaluation of throughput delay and dropping-rate on various users and various buffers in multi-channels GPRS network over voice and data traffic. Our simulation will be on the assumption of two traffics model, 50% of the session arrivals are voice traffic and the other 50% are data traffic.

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิพล สิริชิวภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ควบคุมงานวิจัย ท่านได้กรุณาให้แนวความคิด คำปรึกษา และแนะแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

กระผมขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และญาติมิตรของกระผม ที่คอยให้ความรัก ความเมตตา ตลอดจนให้กำลังใจ คอยสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในการศึกษาตลอดมาเป็นอย่างดี

ในส่วนของรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณนักวางดี แก้วมณี เป็นอย่างสูง ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือจนแล้วเสร็จ

ขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้องทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ

ประโยชน์และคุณค่าดังที่ได้กล่าวไว้ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กระผมขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประโยชน์แก่ผู้ทำงานวิจัยในด้านนี้ต่อไป หากมีความผิดพลาดประการใดในวิทยานิพนธ์นี้ข้าพเจ้าขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

รักษพล งามทวี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญภาพ .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.5 โครงร่างในวิทยานิพนธ์ .....	2
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับ GPRS .....	3
2.1 กล่าวนำ .....	3
2.2 สถาปัตยกรรมระบบ GSM ( GSM System Architecture ) .....	4
2.2.1 ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบ GSM .....	6
2.2.1.1 การบริหารความถี่ .....	6
2.2.1.2 ช่องสัญญาณเซตอัพ .....	7
2.2.1.3 ประเภทของช่องสัญญาณ .....	8
2.2.1.3.1 ช่องสัญญาณซิกแนลลิง .....	8
2.2.1.3.2 ช่องสัญญาณทราฟฟิก .....	9
2.2.2 โครงสร้างของเบรสต์ในระบบ GSM .....	11
2.2.2.1 เบรสต์ปกติ .....	11
2.2.2.2 เบรสต์ปรับความถี่ .....	11
2.2.2.3 เบรสต์ซิงโครไนซ์ .....	11
2.2.2.4 เบรสต์แอกเซส .....	12
2.2.2.5 เบรสต์ดัมมี่ .....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 โครงสร้างของเฟรมในระบบ GSM .....	12
2.2.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง .....	13
2.3 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS .....	14
2.3.1 Bearer Services และ Supplementary Services .....	16
2.3.2 คุณภาพของการบริการ (Quality of Service) .....	17
2.3.3 การใช้งานในเวลาเดียวกันของแพคเกจสวิตช์ และเซอร์กิตสวิตช์ .....	17
2.3.4 กระบวนการตั้งค่าและการยกเลิกบริการ .....	17
2.3.5 การจัดการช่วงบริการ และ PDP Context .....	18
2.3.6 Routing การจัดวางเส้นทาง .....	19
2.3.7 การจัดการตำแหน่งที่ตั้ง ( Location Management) .....	20
2.3.8 Physical Layer Multiple Access และการจัดการทรัพยากรระบบ .....	20
2.3.9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) .....	23
2.4 สรุปเนื้อหาของ GPRS .....	24
บทที่ 3 รูปแบบการจำลองระบบ .....	25
3.1 รูปแบบของกราฟฟิก .....	25
3.2 รูปแบบคล้ายคลึงตัวเอง .....	27
3.2.1 การขึ้นกับเวลายาวๆ .....	27
3.2.2 การกระจายแบบพาราโด้ .....	28
3.2.3 การเข้าถึงแบบกลุ่ม .....	29
3.3 กราฟฟิกเสียง .....	30
3.4 กราฟฟิกข้อมูล .....	31
3.5 แบบจำลองการใช้งานโครงข่าย .....	32
3.5.1 การเข้าใช้งานของกราฟฟิกเสียง .....	33
3.5.2 การเข้าใช้งานของกราฟฟิกข้อมูล .....	34
3.6 โพลีชาร์ต ของโปรแกรมจำลอง .....	34

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ .....	44
4.1 พารามิเตอร์ของโครงข่าย .....	44
4.2 พารามิเตอร์ของกราฟฟิก .....	45
4.3 ผลการจำลองหาค่าเฉลี่ยในการเข้าถึงเฉลี่ย .....	48
4.4 ผลการจำลองหาค่าอัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของกราฟฟิกเสียง .....	50
4.5 ผลการจำลองหาค่าอัตราการครอปของแพคเกจ .....	51
4.6 ผลการจำลองหาค่าทรูพุท .....	52
4.7 ผลการจำลองหาค่าการใช้ประโยชน์ .....	55
4.8 ผลการจำลองหาค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล .....	57
4.9 การวิเคราะห์บัฟเฟอร์ .....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	61
เอกสารอ้างอิง .....	63
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	64
ประวัติผู้เขียน .....	65

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ช่วงความถี่กลุ่มต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน .....	6
2.2 อัตราบิตของช่องสัญญาณข้อมูลชนิดต่าง ๆ .....	10
2.3 Coding parameters .....	23
4.1 พารามิเตอร์ของโครงข่าย .....	44
4.2 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกเสียงล้วนของผู้ใช้แต่ละคน .....	45
4.3 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกข้อมูลล้วนของผู้ใช้แต่ละคน .....	45
4.4 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกผสมของผู้ใช้แต่ละคน .....	46



# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย GSM .....	4
2.2 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS .....	14
2.3 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS และตัวอย่างการจัดเส้นทาง .....	15
2.4 PDP Context Activation .....	18
2.5 IP Tunnel ในแกนหลักระบบ GPRS .....	19
2.6 ความถี่พาห้, Duplexing และ TDMA Frames ของ GSM .....	21
2.7 โครงสร้าง GPRS 12 radio-block Multi-Frame .....	21
3.1 รูปแบบจำลองสถานะของเครื่องลูกข่าย .....	26
3.2 แบบจำลองของการเข้ามาถึงของเซลล์แบบกลุ่มก้อน .....	29
3.3 แบบจำลองพฤติกรรมเสียง .....	30
3.4 รูปแบบจำลองสถานะของการส่งผ่านข้อมูล .....	31
3.5 รูปแบบจำลองการใช้งานโครงข่าย .....	33
3.6 การเข้าใช้บริการสนทนาของผู้ใช้หนึ่งคน .....	33
3.7 การเข้าใช้บริการทางข้อมูลของผู้ใช้หนึ่งคน .....	34
3.8 โพลล์ชาร์ต การวนลูปของโปรแกรม .....	36
3.9 โพลล์ชาร์ต การวนลูปเพื่อเปลี่ยนสถานะ .....	37
3.10 โพลล์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Standby .....	38
3.11 โพลล์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Voice .....	39
3.12 โพลล์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Data .....	40
3.13 โพลล์ชาร์ต ในการหาและกำหนดจำนวนไทม์สล롯 ให้กับเครื่องลูกข่าย .....	41
3.14 โพลล์ชาร์ต ในการหาและกำหนดจำนวนไทม์สลอต ให้กับเครื่องลูกข่าย .....	42
3.15 โพลล์ชาร์ต การหา PDCH ให้กับทรานฟฟิกที่รออยู่ในบัฟเฟอร์ .....	43
4.1 ดิเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย เมื่อสัดส่วนของทรานฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0:100 .....	49
4.2 ดิเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย เมื่อสัดส่วนของทรานฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	49
4.3 อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อฯ เมื่อสัดส่วนของทรานฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 100:0 .....	50
4.4 อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อฯ เมื่อสัดส่วนของทรานฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	50
4.5 อัตราการครอบงำของแพคเกจ เมื่อสัดส่วนของทรานฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0:100 .....	51

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

	หน้า
4.6 อัตราการครอบของแพคเกจ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	52
4.7 ค่าทรูพุท เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 100:0 .....	52
4.8 ค่าทรูพุท เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 0:100 .....	53
4.9 ค่าทรูพุท ของกราฟฟิคเสียง เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	53
4.10 ค่าทรูพุท ของกราฟฟิคข้อมูล เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	54
4.11 ค่าทรูพุทรวม เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	54
4.12 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 100:0 .....	55
4.13 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100 .....	56
4.14 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	56
4.15 ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 0:100 .....	57
4.16 ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิคเสียงต่อข้อมูลเป็น 50:50 .....	58
4.17 อัตราการครอบของแพคเกจ ที่ช่องสัญญาณ 12 ช่อง .....	59
4.18 อัตราการครอบของแพคเกจ ที่ช่องสัญญาณ 16 ช่อง .....	59
4.19 คีเล่ย์การเข้าถึงเฉลี่ย ที่ช่องสัญญาณ 12 ช่อง .....	60
4.20 คีเล่ย์การเข้าถึงเฉลี่ย ที่ช่องสัญญาณ 16 ช่อง .....	60

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคโลกาภิวัตน์ซึ่งมีหลายสิ่งหลายอย่างที่เกิดขึ้นใหม่และเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์อย่างรวดเร็ว ส่วนหนึ่งมาจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมของโลก ซึ่งก่อให้เกิดความคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือสื่อสารเพื่อให้มีความทันสมัยและความรวดเร็ว โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีของระบบโครงข่าย GSM แบบไร้สาย ซึ่งได้มีการพัฒนาและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน

โดยองค์ประกอบสำคัญซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการเติบโตของการสื่อสารข้อมูลไร้สายคือ ความไร้ประสิทธิภาพของระบบวงจรสวิตช์ในการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็คเกจที่มีพฤติกรรมแบบเปิด/ปิด (ON/OFF) ตลอดระยะเวลาการสื่อสารแต่ละครั้งจะเกิดช่วงที่มีกลุ่มแพ็คเกจและช่วงที่ไม่มีแพ็คเกจเข้ามาสลับกันไปตลอดระยะเวลาการสื่อสาร เมื่อนำระบบสวิตช์มาใช้ในการส่งข้อมูลแบบเปิด/ปิดแล้ว แบนวิคซ์ของระบบจะเกิดความสูญเปล่าในช่วงปิด (OFF) แต่ผู้ใช้กลับต้องจ่ายค่าเชื่อมต่อเต็มเวลาแม้ว่าจะใช้ประโยชน์เพียงช่วงเปิดก็ตาม ทำให้การสื่อสารมีค่าใช้จ่ายสูง (ON คือช่วงที่กำลังส่งไฟล์ ส่วน OFF คือ ช่วงที่ยังเชื่อมต่ออยู่แต่ไม่ได้ส่งไฟล์)

ระบบ GSM ที่รองรับ GPRS จะมีการจัดแบ่งแบนวิคซ์ได้ตลอดเวลาตามปริมาณของทราฟฟิกที่เข้ามาใช้งาน ซึ่งผู้ใช้จะได้รับการจัดสรร ช่องสัญญาณก็ต่อเมื่อต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลแล้ว ระบบสามารถนำช่องสัญญาณนี้ไปให้ผู้อื่นใช้งานได้ ทำให้การรับส่งข้อมูลในช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต่างจากระบบ GSM แบบดั้งเดิมซึ่งเป็นวงจรสวิตช์ ซึ่งจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ตลอดเวลาแม้ว่าจะไม่มีข้อมูลที่จะส่งแล้วก็ตาม จนกว่าจะยกเลิกการเชื่อมต่อ โดยทั่วไปการสื่อสารแบบเป็นแพ็คเกจมีลักษณะข้อมูลที่เป็นกลุ่มยาวและมีช่วงเวลาเชื่อมต่อนาน เมื่อนำระบบ GPRS มาใช้กับการส่งข้อมูล จะทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบแพ็คเกจมีประสิทธิภาพ และลดความสิ้นเปลืองลง การจำลองแบบนี้เป็นโครงข่าย GPRS แบบหลายช่องสัญญาณ โดยมีทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบเดียวกัน ซึ่งคล้ายคลึงกับระบบจริงมากขึ้น การวัดค่าสมรรถนะในการจำลองนี้ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยการเข้าถึงเฉลี่ย, อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของทราฟฟิกเสียง, อัตราการครอบงำของแพ็คเกจ, ค่าทรูพุกเสียง, ค่าทรูพุกข้อมูล, ทรูพุกรวม, ค่าการใช้ประโยชน์ และ ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล โดยมีปริมาณทราฟฟิกจำนวนช่องสัญญาณ และขนาดของบัฟเฟอร์เป็นตัวแปร ซึ่งในทราฟฟิกผสม เรากำหนดให้อัตราการเข้ามาจะเป็น ทราฟฟิกเสียง 50% และอีก 50% ที่เหลือจะเป็นทราฟฟิกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาระบบพื้นฐานของ GSM/GPRS
2. เพื่อศึกษาการจำลองกราฟฟิกเสียง และกราฟฟิกข้อมูลในระบบ GPRS
3. เพื่อหาค่าประสิทธิภาพจากระบบที่ทำการจำลอง

## 1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้อยู่บนทฤษฎีของระบบ GSM/GPRS และพื้นฐานแบบจำลองกราฟฟิก โดย ออกแบบระบบและใช้การเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองตัวระบบและจำลองกราฟฟิกแบบ ต่างๆเข้ามาในระบบ

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจำลองระบบสื่อสารระบบ GPRS หลาย ช่องสัญญาณ โดยมีกราฟฟิกเสียงและข้อมูล เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบ

## 1.5 โครงร่างในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ประกอบไปด้วย

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎีของ GSM และ GPRS

บทที่ 3 วิธีการจำลองแบบของกราฟฟิกและของโครงข่ายที่ใช้ในระบบ

บทที่ 4 ผลการจำลอง และอธิบายผลที่ได้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับ GPRS

### 2.1 กล่าวนำ

การเติบโตอย่างน่าทึ่งของทั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่และความต้องการสื่อสารข้อมูล ก่อให้เกิดนวัตกรรมการส่งข้อมูลไร้สายระบบเซลลูลาร์ ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้าความต้องการส่งข้อมูลไร้สายจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ผู้ใช้จึงต้องการสมรรถนะที่ดีขึ้นในการส่งผ่านข้อมูลไร้สาย บริการส่งข้อมูลไร้สายในตอนนี้ยังตอบสนองผู้ใช้และผู้ให้บริการได้อย่างเพียงพอ ในมุมมองของผู้ใช้อัตราส่งผ่านข้อมูลช้าเกินไปและการติดต่อแต่ละครั้งก็ใช้เวลานาน ยิ่งไปกว่านั้นค่าบริการยังแพงมากสำหรับคนทั่วไป ในมุมมองทางเทคนิคมองว่าระบบการส่งผ่านด้วยวงจรสวิตช์คือสาเหตุ ในส่วนอินเทอร์เน็ตเฟสช่องสัญญาณทราฟฟิกจะอนุญาตให้ผู้ใช้คนใดคนหนึ่งเข้าใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ตลอดระยะเวลาการใช้งานแม้ว่าจะไม่รับส่งข้อมูลใดๆก็ตาม ในกรณีส่งผ่านทราฟฟิกที่เป็นกลุ่ม Bursty traffic (เช่น อินเทอร์เน็ต) จะทำให้การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรโครงข่ายไร้ประสิทธิภาพเป็นอย่างยิ่ง เป็นที่แน่นอนว่าการให้ใช้ช่องสัญญาณเฉพาะตอนที่มีการส่งผ่านข้อมูลจะช่วยให้การใช้ประโยชน์ดีขึ้นอย่างมาก ด้วยวิธีการนี้ผู้ใช้หลายคนสามารถแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณช่องเดียวได้

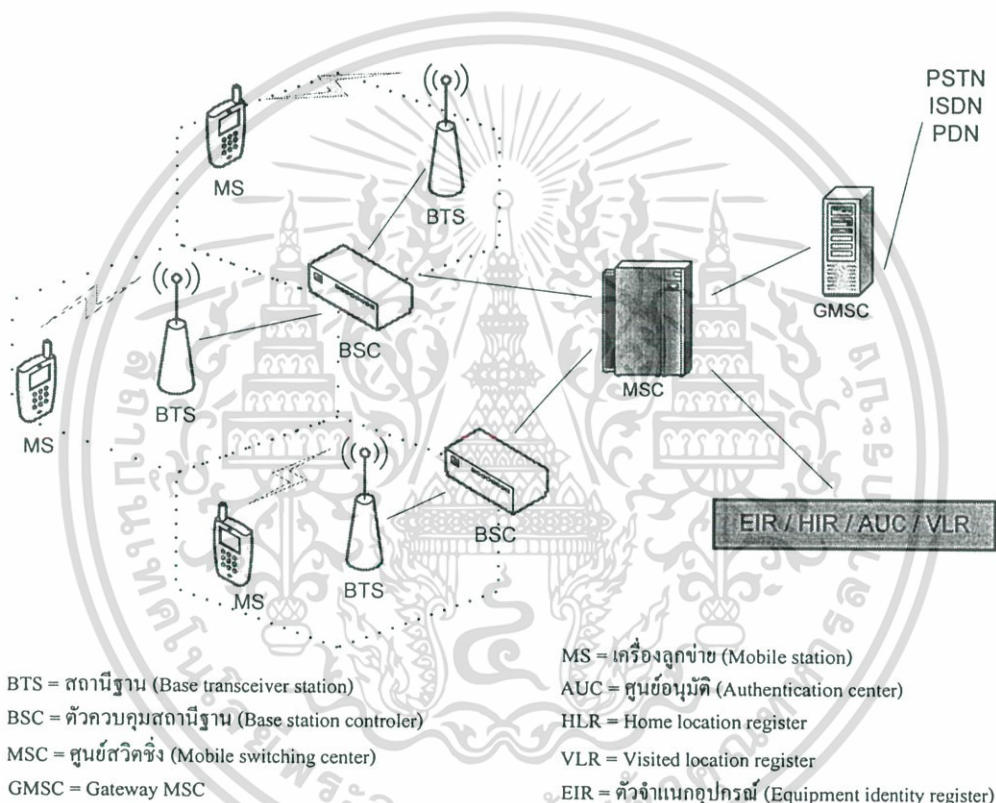
เพื่อจัดการกับความไร้ประสิทธิภาพเหล่านี้ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของแพ็คเกจข้อมูลไร้สาย 2 อย่างคือ High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) และ General Packet Radio Service (GPRS) GPRS คือ bearer service แบบใหม่ของ GSM ซึ่งปรับปรุงประสิทธิภาพและช่วยให้การเข้าถึงโครงข่ายข้อมูลง่ายขึ้น มันได้นำพื้นฐานแพ็คเกจมาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลแพ็คเกจข้อมูลของผู้ใช้ระหว่างเครื่องลูกข่าย GSM และโครงข่ายข้อมูลภายนอก แพ็คเกจเหล่านั้นสามารถถูกวางเส้นทางจากเครื่องลูกข่ายไปยังโครงข่ายแพ็คเกจสวิตช์ GPRS ได้รองรับเวอร์ชันล่าสุดของโครงข่าย Internet Protocol (IP) และโครงข่าย X.25 แล้ว

ผู้ใช้ GPRS ได้รับประโยชน์จากเวลาเข้าถึงที่สั้นลงและอัตราส่งผ่านข้อมูลที่สูงขึ้น ในระบบ GSM แบบเดิม การเข้าถึงใช้เวลาหลายวินาทีและอัตราส่งผ่านข้อมูลจำกัดอยู่ที่ 9.6 kbit/sec ส่วน GPRS นั้นในทางปฏิบัติแล้วระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงจะต่ำกว่า 1 วินาที และมีอัตราส่งผ่านข้อมูลหลายสิบลบ kbit/sec นอกจากนี้บริการส่งแพ็คเกจแบบ GPRS มีราคาที่เหมาะสมกว่าราคาของบริการแบบวงจรสวิตช์ ในบริการวงจรสวิตช์ผู้ใช้จะต้องจ่ายตามระยะเวลาตั้งแต่เริ่มใช้งาน จนกระทั่งเลิกใช้งาน แม้ว่าจะเป็นช่วงว่าง (Idle Periods) ที่ไม่มีแพ็คเกจจะส่งก็ตาม ต่างจาก GPRS ซึ่ง

ค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่าน จึงได้เปรียบตรงที่ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ แต่ก็ไม่ได้เสียเงินในช่วงที่ไม่ได้รับ-ส่งข้อมูล

สรุปคือ GPRS เพิ่มการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรเครือข่าย คิดราคาตามปริมาณที่ใช้งาน มีอัตราการส่งผ่านสูงกว่า มีการเข้าถึงที่สั้นกว่า และเข้าถึงโครงข่ายข้อมูลได้ง่ายขึ้น GPRS ได้ถูกกำหนดมาตรฐานโดย ESTI (The European Telecommunications Standards Institute) ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้ให้บริการ โครงข่าย GSM เป็นอย่างดี

## 2.2 สถาปัตยกรรมระบบ GSM (GSM System Architecture )



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรม โครงข่าย GSM

รูปที่ 2.1 เป็นสถาปัตยกรรมระบบ GSM ของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดิน (GSM public land mobile network :PLMN ) เครื่องลูกข่ายแทนด้วย MS เซลล์หนึ่งเซลล์พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของสถานีเบส (Base transceiver station :BTS) สถานีควบคุม (Base station controller :BSC) หนึ่งสถานีสามารถควบคุมได้หลาย BTS ทั้ง BTS และ BSC ต่างก็มาจากสถานีระบบย่อย (Base station subsystem :BSS) ทราฟฟิกผสมของเครื่องลูกข่ายในเซลล์ที่อาศัยอยู่จะถูกกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางผ่านสวิทช์ตัวหนึ่งคือ Mobile switching center (MSC) การเริ่มหรือสิ้นสุดการเชื่อมต่อใน Fix Network ทำโดย Gateway mobile switching center (GMSC) โครงข่าย GSM ถูกวางโครงสร้างแบบลำดับชั้น คืออย่างน้อยต้องมีส่วนบริหาร (Administrative region) หนึ่งส่วน ซึ่งถูกกำหนดค่าไปยัง MSC แต่ละส่วนบริหารจะควบคุมดูแลอย่างน้อยหนึ่งพื้นที่ แต่ละพื้นที่จะมีได้หลายกลุ่มเซลล์ แต่ละกลุ่มเซลล์จะถูกกำหนดค่าไปยัง BSC

ฐานข้อมูลหลายๆ อัน จะมีประโยชน์ในการควบคุมการเรียกเข้าและจัดการ โครงข่าย Home location register (HLR), Visited location register (VLR), Authentication center (AUC), และ Equipment identity register (EIR).

ผู้ใช้ทุกคนที่ลงทะเบียนกับตัวจัดการเครือข่าย ข้อมูลถาวร และข้อมูลชั่วคราวจะถูกเก็บไว้ใน HLR ในกรณีที่มีการเรียกเข้าไปยังผู้ใช้ HLR จะถามหาตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ก่อนเป็นอันดับแรก VLR จะตอบตำแหน่งพื้นที่และข้อมูลของผู้ใช้ที่เก็บไว้ รวมทั้งส่วนของข้อมูลถาวรที่จะส่งจาก HLR ไปยัง VLR เพื่อให้มีการเข้าถึงเร็วขึ้น แต่ VLR อาจจะต้องกำหนดค่าและเก็บข้อมูลท้องถิ่น เช่นการจำแนกข้อมูลแบบชั่วคราว AUC จะสร้างและเก็บข้อมูลในส่วนของความปลอดภัยในการอนุญาตและการเข้ารหัส โดยที่ EIR จะระบุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการใช้

GSM การเตรียมและการจำแนก GSM จะจำแนกผู้ใช้และอุปกรณ์ไว้ และติดต่อสื่อสารแยกจากกัน เทียบกับเบอร์โทรและข้อมูลจำแนกของอุปกรณ์ ตัวจำแนกอื่นๆ อีกหลายตัวจะถูกระบุถึงความจำเป็นในการจัดการเคลื่อนที่ในการเตรียมพร้อมสำหรับผู้ใช้ในโครงข่ายที่เหลือ

The International Mobile Station Equipment Identity (IMEI) จะระบุลักษณะที่แตกต่างกันของเครื่องลูกข่าย เป็นชนิดหนึ่งของ Serial number IMEI จะถูกจัดวางโดยกลุ่มของอุปกรณ์ และลงทะเบียนผ่านผู้จัดการเครือข่าย ซึ่งจะเก็บไว้ใน EIR แต่ละผู้ใช้จะถูกกำหนดค่าที่ไม่ซ้ำกันโดย International mobile subscriber identity (IMSI) มันจะถูกเก็บไว้ใน Subscriber identity module (SIM) ดูในรูปที่ 2.1 เครื่องลูกข่ายได้รับบริการก็ต่อเมื่อ SIM ในเครื่องมี IMSI ที่ถูกต้องและใส่อยู่ในอุปกรณ์ เบอร์โทรที่แท้จริงของเครื่องลูกข่าย คือ Mobile subscriber ISDN number (MSISDN) จะถูกกำหนดค่าให้ Subscriber (SIM ของผู้ใช้) ดังนั้นเครื่องลูกข่ายสามารถมีหลายๆ MSISDN ขึ้นอยู่กับ SIM ของผู้ใช้

VLR ตอบสนองในการบอกตำแหน่งปัจจุบันของ Subscriber สามารถกำหนดค่า Temporary mobile subscriber identity (TMSI) ที่มีเพียงข้อมูลส่วนสำคัญในพื้นที่นั้นๆ ข้อมูลที่จะถูกเก็บไว้ในโครงข่ายจะอยู่ที่ VLR เท่านั้น จะไม่ส่งต่อไปยัง HLR

### 2.2.1 ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบ GSM

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการเข้าถึงหลายทางของระบบ GSM ปัจจุบันเป็นระบบการสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย รวมถึงลักษณะเซลล์ของระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ GSM และทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสรร และการใช้ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบเซลลูลาร์ GSM ด้วย

#### 2.2.1.1 การบริหารความถี่

การบริหารความถี่ และการจัดสรรช่องสัญญาณทางอากาศของระบบเซลลูลาร์ GSM นั้น มีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากสองสิ่งนี้จะต้องมีการจัดการและกำหนดลงไว้ในระบบเครือข่าย เพื่อให้ระบบเครือข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การบริหารความถี่จะกล่าวถึงการกำหนดแต่งตั้งช่องสัญญาณเซ็ทอัพ และช่องสัญญาณเสียง กำหนดจำนวนของช่องสัญญาณ และจัดกลุ่มช่องสัญญาณเสียงออกเป็นกลุ่มๆ ส่วนการจัดสรรช่องสัญญาณนั้น จะกล่าวถึงการจัดการหรือกำหนดช่องสัญญาณชนิดต่างๆ ให้แก่เซลล์ไซต์ และเครื่องลูกข่าย ย่านความถี่ที่นำมาใช้งานกับระบบเซลลูลาร์ GSM ในประเทศไทยจนถึงปัจจุบันนี้คือ ความถี่ช่วง 890-960 MHz โดยในช่วงความถี่ดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับสถานีฐาน ส่งไปยังเครื่องลูกข่าย และช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่กลุ่มต่างๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

กลุ่มความถี่	ความถี่ขาขึ้น (MHz)	ความถี่ขาลง (MHz)	การจัดตัวเลข ARFCN (ความถี่ขาขึ้น)
GSM 900	890-915	935-960	$FI(n) = 890 + 0.2 \cdot n$
GSM 1800	1710-1785	1805-1880	$FI(n) = 1710.2 + 0.2 \cdot (n - 512X)$
GSM 1900	1850-1910	1930-1990	$FI(n) = 1850 + 0.2 \cdot (n - 512)$

จะเห็นว่าในช่วงความถี่ทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยออกเป็นสองย่านความถี่ย่อยๆ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณทั้งขาไปและขากลับระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย จากย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแบ่งความถี่ออกเป็นช่องความถี่ให้มีจำนวนที่เพียงพอและมีประสิทธิภาพควบคู่กันไป เพื่อให้การใช้งานความถี่ที่จำกัดมีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้มีการใช้เทคนิคการนำความถี่ที่กำหนดใช้งานไปแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยความถี่เดียวกันใดๆ ก็ตามที่นำ

กลับมาใช้ใหม่นั้นจะต้องมีระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันเอง การใช้ช่องสัญญาณให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดนั้น สามารถทำได้หลายวิธีการ ตัวอย่างเช่น เพิ่มช่องความถี่ให้มากขึ้นด้วยการลดแบนด์วิธของช่องความถี่แต่ละช่องความถี่ให้น้อยลง ลดระยะทางในการนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มความจุของระบบ หรือการค้นหาวิธีการบริหารช่องความถี่ และช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ

### 2.2.1.2 ช่องสัญญาณเซตออฟ

สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ช่องสัญญาณควบคุม ได้ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการเซตออฟ การเรียกคู่สายปลายทาง ในความเป็นจริงแล้ว การที่จะทำการเรียกไปยังคู่สายปลายทางใดๆ ไม่จำเป็นต้องใช้ช่องสัญญาณเซตออฟเสมอไป ระบบเครือข่ายนั้น จะยังคงให้บริการเรียกไปยังคู่สายปลายทางได้โดยที่ไม่มีช่องสัญญาณเซตออฟ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องลูกข่ายจะต้องทำการสแกนช่องความถี่ทั้งหมดตลอดเวลาเพื่อที่จะค้นหาสัญญาณการเรียกเข้าตัวมันเอง และเมื่อใดก็ตามที่ต้องการจะทำการเรียกออกไปยังคู่สายใดๆ เครื่องลูกข่ายจะต้องสแกนช่องสัญญาณที่ยังว่างอยู่เพื่อใช้งานต่อไป จะเห็นได้ว่าหากเป็นเช่นนี้ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกเข้าหรือเรียกออกจากเครื่องลูกข่ายก็ตาม จะต้องเสียเวลาไปชั่วขณะหนึ่งเพื่อค้นหาสัญญาณเรียกเข้า หรือช่องสัญญาณที่ว่างเพื่อทำการเรียกออก

ในระบบเซลลูลาร์ เราได้มีการนำเทคนิคของการนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ในลักษณะนี้เอง ช่องสัญญาณเซตออฟ จะถูกใช้งานเป็นช่องสัญญาณควบคุม ซึ่งมีช่องสัญญาณควบคุมทั้งสิ้น 21 ช่องสัญญาณจากจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด โดยได้มาจากการใช้หลักการของการนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่แบบ 7 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะแบ่งออกเป็น 3 เซกเตอร์ มีขนาด  $120^\circ$  ต่อเซกเตอร์ รวมทั้งหมดจะได้ 21 เซกเตอร์ พอดีกับจำนวนช่องสัญญาณควบคุม

ช่องสัญญาณควบคุมแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ ช่องสัญญาณแอกเซส และช่องสัญญาณเพจจิง ช่องสัญญาณแอกเซส มีไว้ใช้สำหรับให้เครื่องลูกข่ายทำการเรียกออกไปยังปลายทางหรือเรียกว่า Mobile Originating calls (MOC) ส่วนช่องสัญญาณแบบเพจจิง มีไว้สำหรับการเรียกเข้ามาหาเครื่องลูกข่ายหรือเรียกว่า Mobile terminating calls (MTC) ในระบบเครือข่ายที่มีปริมาณการใช้งานทราฟฟิกไม่หนาแน่นนัก ทั้งช่องสัญญาณแอกเซสและช่องสัญญาณเพจจิงอาจใช้เป็นช่องสัญญาณเดียวกันก็ได้ บางครั้งช่องสัญญาณนี้จึงถูกเรียกว่าช่องสัญญาณแอกเซส และบางครั้งอาจถูกเรียกว่าช่องสัญญาณเพจจิง ช่องสัญญาณแบบสองทิศทางจะมีแบนด์วิธขนาด 30 kHz สองชุด ซึ่งโดยปกติแล้วหนึ่งช่องสัญญาณควบคุมหรือช่องสัญญาณเซตออฟนั้นจะถูกกำหนดเป็นสองทิศทางคือ ช่องสัญญาณขาไป และช่องสัญญาณขากลับ ช่องสัญญาณขาไปมักจะใช้ความถี่สูงกว่าช่องสัญญาณขากลับ ในระบบเครือข่ายส่วนมากมักจะใช้งานช่องสัญญาณควบคุมหนึ่งช่อง

ทำหน้าที่เป็นทั้งช่องสัญญาณแอสซิงโครนัส และช่องสัญญาณเฟสล็อก อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณชนิดนี้จะถูกรับรู้ไว้ด้วยข้อมูลข่าวสารต่างๆ เท่านั้น จะไม่รวมถึงการรับรู้ข้อมูลเสียง ในปัจจุบันนี้ช่องสัญญาณที่มีการใช้งานในระบบเซลลูลาร์ GSM นั้น หากจะพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะมีอยู่หลายประเภทด้วย

### 2.2.1.3 ประเภทของช่องสัญญาณ

ประเภทนี้จะเป็นช่องสัญญาณที่มีการใช้งานอยู่ในระบบ GSM ในปัจจุบัน โดยจะแบ่งช่องสัญญาณเหล่านี้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามหน้าที่ของช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับรับส่งสัญญาณซิงโครนัสของระบบเครือข่าย และประเภทที่สองคือช่องสัญญาณ ทราฟฟิคมี่ไว้สำหรับรับส่งข้อมูลและสัญญาณเสียง สำหรับรายละเอียดของช่องสัญญาณชนิดต่างๆ จะได้กล่าวต่อไป

#### 2.2.1.3.1 ช่องสัญญาณซิงโครนัส

ช่องสัญญาณซิงโครนัส (Signaling Channel) คือ ช่องสัญญาณที่มีไว้เพื่อใช้ในการ รับส่งสัญญาณซิงโครนัสระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย เพื่อให้ระบบเครือข่ายและเครื่องลูกข่ายมีการทำงานที่ถูกต้องสอดคล้องกันตลอดเวลา ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยได้ดังนี้คือ Broadcast Control Channel (BCCG), และ Dedicated Control Channel (DCCG)

##### - สัญญาณ Broadcast Control Channel (BCCH)

เป็นสัญญาณที่มีการส่งในทิศทางเดียว คือ ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย (Down link) ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลไปที่เครื่องลูกข่ายเป็นระยะตลอดเวลา เพื่อให้เครื่องลูกข่ายรับรู้ถึงข้อมูลของเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายประจำอยู่ รวมถึงข้อมูลช่องเซลล์ที่อยู่รอบข้างด้วย ช่องสัญญาณชนิดนี้จะมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

1. Broadcast Control Channel (BCCH) ใช้สำหรับให้สถานีฐานกระจายข้อมูลข่าวสารต่างๆ เช่น หมายเลขประจำตัวของเครือข่าย หมายเลขประจำตัวของเซลล์นั้นๆ รายละเอียดของช่องสัญญาณที่มีการใช้งาน

2. Frequency Correction Channel (FCCH) เป็นสัญญาณช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถปรับความถี่คลื่นพาห်ของตนเองให้ตรงกับความถี่ที่สถานีฐานใช้

3. Synchronization Channel (SCH) ใช้สำหรับช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถซิงโครไนซ์หมายเลขตำแหน่งของเฟรมให้ถูกต้อง

##### - สัญญาณ Common Control Channel (CCCH)

เป็นกลุ่มของสัญญาณซิกแนลลิงที่มีการส่งแบบ 2 ทิศทาง แบ่งออกได้เป็นสัญญาณ 3 ชนิด ดังนี้

1. Paging Channel (PCH) ใช้ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายที่อยู่ภายในเซลล์ เพื่อทำการเรียกหาเครื่องลูกข่ายที่ต้องการติดต่อด้วย

2. Random Access Channel (RACH) เป็นสัญญาณที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน เพื่อทำการตอบรับสถานีฐานหลังจากที่เครื่องลูกข่ายได้รับสัญญาณค้นหา Paging Channel หรืออาจใช้แสดงความต้องการที่จะทำการขอใช้ช่องสัญญาณเพื่อเรียกออก

3. Access Grant Channel (AGCH) เป็นสัญญาณที่สถานีฐานส่งกลับมายังเครื่องลูกข่าย เพื่อตอบรับสัญญาณจาก Random Access Channel ที่เครื่องลูกข่ายส่งมา โดยมีข้อมูลของสัญญาณ SDCCH ที่จะใช้ในกระบวนการติดต่อดำเนินการต่อไป

สัญญาณนี้จะใช้ในการติดต่อกันครั้งแรกระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย ก่อนที่จะทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณเสียงต่อไป

- สัญญาณ Dedicated Control Channel (DCCH)

เป็นกลุ่มของสัญญาณที่คล้ายกันกับช่องสัญญาณเสียง คือมีลักษณะการรับส่งสัญญาณเป็นแบบ point-to-point และมีการรับส่งได้สองทิศทาง สัญญาณในกลุ่มนี้ประกอบด้วย 3 สัญญาณ ได้แก่

1. Stand alone Dedicated Control Channel (SDCCH) สัญญาณชนิดนี้จะใช้ในการรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงในช่วงก่อนที่การรับส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลของเครื่องลูกข่ายจะเกิดขึ้น

2. Slow Associated Control Channel (SACCH) เป็นสัญญาณที่จะควบคุมกับสัญญาณเสียงเสมอ สัญญาณนี้จะถูกส่งออกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะตลอดเวลา ซึ่งมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ใช้ส่งสัญญาณบอกถึงระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายรับได้ ใช้ช่วยในช่วงเวลาที่จะทำการแฮนด์โอเวอร์ ใช้ปรับจังหวะการส่งสัญญาณของเครื่องลูกข่ายให้ถูกต้อง รวมถึงใช้ควบคุมระดับของกำลังส่งของสัญญาณให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

3. Fast Associated Control Channel (FACCH) เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการรับส่งสัญญาณเสียงของเครื่องลูกข่ายที่ผ่านทางช่องสัญญาณเสียง (Traffic channel) ซึ่งโดยปกติแล้วไม่มีความจำเป็นที่จะใช้สัญญาณชนิดนี้ นอกจากในกรณีที่ ระบบเครือข่ายต้องการที่จะส่งสัญญาณซิกแนลลิงในปริมาณมากเกินกว่าที่ช่องสัญญาณ SACCH เพียงช่องเดียวจะตอบสนองได้

### 2.2.1.3.2 ช่องสัญญาณทราฟฟิก

ช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic channel) เป็นช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับให้บริการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณเสียงของเครื่องลูกข่าย การรับส่งข้อมูลแต่ละประเภทอาจเป็นแบบเต็ม

ช่องสัญญาณ (Full rate channel) คือบรรจุข้อมูลลงในหนึ่งช่องสัญญาณของทุกๆ เฟรม หรืออาจเป็นแบบครึ่งช่องสัญญาณ (Half rate channel) คือบรรจุข้อมูลหนึ่งครั้งต่อสองเฟรมก็ได้ สังเกตได้ว่าการส่งแบบครึ่งช่องสัญญาณจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว แต่ยอมทำให้จำนวนบิตข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายแต่ละรายส่งได้จะลดลงไปครึ่งหนึ่งด้วย ตามข้อกำหนดของการสื่อสารระบบ GSM นั้น ได้แบ่งประเภทของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 7 แบบ ซึ่งลักษณะสัญญาณทั้ง 7 ประเภทนั้น ระบบเครือข่ายจะต้องจัดสรรช่องสัญญาณหนึ่งช่องไว้เฉพาะ สำหรับความต้องการในตลอดช่วงเวลาการใช้งาน และการรับส่งสัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้น 2 ทิศทางคือ ขาไปและขากลับ

สำหรับการรับส่งสัญญาณเสียงนั้นมีอยู่ 2 แบบคือช่องสัญญาณแบบเต็มช่อง (TCH/F) และช่องสัญญาณแบบครึ่งช่อง (TCH/H) ในกรณีของช่องสัญญาณแบบเต็มช่อง สัญญาณเสียงที่ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอัตราบิตเท่ากับ 1 Kbps จะนำไปผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณเพื่อให้การรับส่งสัญญาณมีความถูกต้องมากขึ้น ผลที่ได้คือข้อมูลที่ใช้ในการส่งสุดท้ายจะมีอัตราบิตเท่ากับ 22.8 kbps ส่วนช่องสัญญาณแบบครึ่งช่องจะมีอัตราบิตลดลงครึ่งหนึ่ง ส่วนการรับส่งสัญญาณข้อมูลประเภทข้อมูล จะมีรูปแบบการส่งอยู่ 5 แบบด้วยกันตามที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราบิตของช่องสัญญาณข้อมูลชนิดต่างๆ

สัญญาณข้อมูล	อัตราบิตข้อมูล (kbps)	อัตราบิตในการส่ง (kbps)
TCH/F 9.6	9.6	22.8
TCH/F 4.8	4.8	22.8
TCH/F 2.4	2.4	22.8
TCH/F 4.8	4.8	11.4
TCH/F 2.4	2.4	11.4

## 2.2.2 โครงสร้างของเบิร์ตในระบบ GSM

ระบบเซลล์ลาร์ GSM ได้มีการกำหนดช่วงความถี่สำหรับใช้งานไว้ทั้งหมด 50 MHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ 890-915 MHz และ 935-960 MHz โดยที่ในช่วงความถี่ต่ำจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน (Uplink) ส่วนช่วงความถี่สูงจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากสถานีฐานกลับมายังเครื่องลูกข่าย (Downlink) ดังนั้น ในแต่ละช่วงความถี่จะมีความกว้างแบนด์วิธเท่ากับ 25 MHz ซึ่งได้ถูกแบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาห์ไว้ทั้งหมด 124 ช่อง โดยแต่ละช่องมีแบนด์วิธเท่ากับ 200 KHz ลักษณะการแบ่งช่องความถี่นี้เองจึงเรียกว่า Frequency Division Multiple Access (FDMA) และในแต่ละคลื่นพาห์จะมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 8 ช่องเวลาเรียกว่า Time Division Multiple Access (TDMA) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าระบบ GSM จะใช้ทั้งวิธีการ FDMA และ TDMA ภายในหนึ่งช่องเวลาของแต่ละความถี่หรือ 1 TDMA เฟรมจะถูกเรียกว่าเบิร์ต เบิร์ตที่มีใช้งานอยู่ในระบบเครือข่าย GSM นั้นมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิดดังนี้

### 2.2.2.1 เบิร์ตปกติ

เบิร์ตปกติ (Normal Burst) เป็นเบิร์ตที่มีไว้สำหรับรองรับสัญญาณ ประเภทสัญญาณเสียง และสัญญาณอื่นๆ ยกเว้นสัญญาณ RACH SCH และ FCCH ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะมีโครงสร้างของบิตข้อมูลที่แตกต่างกันไป

### 2.2.2.2 เบิร์ตปรับความถี่

เบิร์ตปรับความถี่ (Frequency Correction Burst) มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ FCCH โดยเฉพาะเพื่อช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำการซิงโครไนซ์ความถี่ของคลื่นพาห์ได้อย่างถูกต้อง

### 2.2.2.3 เบิร์ตซิงโครไนซ์

เบิร์ตซิงโครไนซ์ (Synchronization Burst) เป็นเบิร์ตที่มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ SCH ซึ่งช่วยในการซิงโครไนซ์จังหวะเวลาการรับส่งของเครื่องลูกข่าย โดยจะมีข้อมูลต่างๆ เช่น หมายเลขเฟรมของ TDMA และ BSIC (Base Station Identity Code) ในส่วนของหมายเลขเฟรม ตามข้อกำหนดของระบบ GSM ได้กำหนดให้ในแต่ละเฟรม มีหมายเลขกำหนดอยู่ โดยจะใช้ทั้งหมด 2,715,648 หมายเลข และจะเริ่มหมายเลขเดิมใหม่เมื่อครบหนึ่งรอบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ไฮเปอร์เฟรมหรือประมาณทุกๆ 3 ชั่วโมงครึ่ง ในส่วนของค่า BSIC นั้นจะช่วยให้เครื่องลูกข่ายทราบได้ว่าสัญญาณที่รับได้นั้นมาจากสถานีฐานใด เพื่อไม่ให้สับสนกับสัญญาณจากแหล่งอื่นที่ใช้ความถี่เดียวกัน

#### 2.2.2.4 เบิร์สต์แอกเซส

เบิร์สต์แอกเซส (Access Burst) จะมีลักษณะพิเศษกว่าแบบอื่นๆ คือ จะมีขนาดของ Guard period ยาวกว่าเบิร์สต์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเบิร์สต์ชนิดนี้จะมีไว้ใช้ในการส่งสัญญาณครั้งแรกของการติดต่อสำหรับเครื่องลูกข่าย ซึ่งเครื่องลูกข่ายนั้นๆ จะยังไม่ทราบถึงจังหวัดเวลาการส่งสัญญาณที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเผื่อเวลา Guard period ให้กว้างเพียงพอ โดยเฉพาะในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่ห่างไกลจากสถานีฐานมากๆ ทั้งนี้เพื่อสัญญาณจะต้องใช้เวลาในการเดินทาง เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจจะยาวนานทำให้ส่วนปลายของสัญญาณไปทับซ้อนกับส่วนต้นของสัญญาณ ในช่องเวลา (Time Slot) ถัดไปของเครื่องลูกข่ายอีกเครื่องหนึ่งที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานมากกว่า

#### 2.2.2.5 เบิร์สต์ดัมมี่

เบิร์สต์ดัมมี่ (Dummy Burst) จะถูกส่งจากสถานีฐานในบางโอกาสเท่านั้น โครงสร้างของเบิร์สต์ชนิดนี้จะมีลักษณะเหมือนกับเบิร์สต์แบบปกติทุกอย่าง ยกเว้นส่วนของข้อมูลที่จะบรรจุลงไปจะเป็นรูปแบบข้อมูลที่ตายตัวเสมอ จากเบิร์สต์ชนิดต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าเบิร์สต์แต่ละชนิดนั้นจะมีจำนวนและหลักการจัดวางบิตข้อมูลชุดต่างๆ แตกต่างกันไป

### 2.2.3 โครงสร้างของเฟรมในระบบ GSM

สำหรับคลื่นพาห์หนึ่งความถี่มีขนาดแบนด์วิธเท่ากับ 200 kHz นั้น ในระบบเครือข่าย GSM ได้นำมาใช้ส่งข้อมูลดิจิทัลในอัตราบิตเท่ากับ 270.797 kbps โดยได้ทำการจัดข้อมูลออกเป็นลักษณะของเฟรม (Frame) ซึ่งใน 1 เฟรมจะมีความยาวเท่ากับ 4.615 ms และในแต่ละเฟรมจะประกอบด้วยช่องสัญญาณ (Time Slot) ทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ โดยแต่ละช่องสัญญาณจะมีความยาวเท่ากับ  $577 \mu s$  ซึ่งมีไว้สำหรับรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน เมื่อทำการนำเฟรมจำนวน 26 เฟรมมาประกอบเข้าด้วยกันแล้วเราจะได้เป็นหนึ่งมัดติเฟรม (Multi frame) ที่มีความยาวเท่ากับ 120 ms ภายใน 1 มัดติเฟรมนั้นจะมีการใช้งานเพียง 24 เฟรมเท่านั้น ซึ่งจะมีการสงวนเฟรมในตำแหน่งที่ 12 และ 25 ไว้ซึ่งตำแหน่งเฟรมที่ 12 จะมีไว้สำหรับส่งสัญญาณซิกแนลลิง SACCH และตำแหน่งเฟรมที่ 25 จะมีไว้สำหรับเป็น Idle หรือ SACCH อย่างไม่อย่างหนึ่ง จากโครงสร้างของเบิร์สต์ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจะได้ยกตัวอย่างของเบิร์สต์แบบปกติซึ่งประกอบด้วย Tail bits จำนวน 6 บิต, Encrypted bits รวมกับ Stealing flag ทั้งหมด 116 บิต, Training sequence จำนวน 26 บิต และ Guard bits จำนวน 8.25 บิต รวมทั้งสิ้นเป็นจำนวน 156.25 บิต

โครงสร้างมัดติเฟรมที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีความเหมาะสมกับการใช้งานในการรับส่งข้อมูลและสัญญาณเสียงของเครื่องลูกข่ายเป็นหลัก มัดติเฟรมชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า ทราฟฟิคมัดติเฟรม (Traffic multiframe) นอกเหนือจากข้อมูลและสัญญาณเสียงจากเครื่องลูกข่ายแล้ว ระบบ

เครือข่ายยังจำเป็นต้องรับส่งสัญญาณประเภทซิกแนลลิงด้วย ซึ่งการรับส่งสัญญาณประเภทซิกแนลลิงนี้จำเป็นต้องส่งในมัลติเฟรมอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ซิกแนลลิงมัลติเฟรม (Signaling multi frame) ซึ่งมัลติเฟรมชนิดนี้จะประกอบไปด้วยจำนวนเฟรมทั้งหมด 51 เฟรม ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 235.38 ms

นอกจากมัลติเฟรมทั้งสองชนิดดังกล่าว ในระบบเครือข่าย GSM ยังประกอบด้วยเฟรมชนิดอื่นๆอีก นั่นคือ ซูเปอร์เฟรมและไฮเปอร์เฟรม ในส่วนของซูเปอร์เฟรมนั้นสามารถสร้างขึ้นได้ 2 วิธี คือ สร้างจากมัลติเฟรมที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณเสียงของเครื่องลูกข่ายทั้งหมด 51 ชุด หรือสร้างมาจากมัลติเฟรมที่ใช้สำหรับรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงทั้งหมด 26 ชุด ดังนั้นคาบเวลาของซูเปอร์เฟรมจะมีค่าเท่ากับ 6.21s โครงสร้างของเฟรมที่ใหญ่ที่สุด ในระบบเครือข่าย GSM คือ ไฮเปอร์เฟรม (Hyper frame) ซึ่งจะประกอบขึ้นด้วยซูเปอร์เฟรมทั้งหมด 2,048 ชุด ดังนั้นคาบเวลาของ 1 ไฮเปอร์เฟรมจะมีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง 28 นาที 53 วินาที 760 มิลลิวินาที โครงสร้างของเฟรมทั้งหมดที่กล่าวมา สรุปได้ดังรูป 2.6

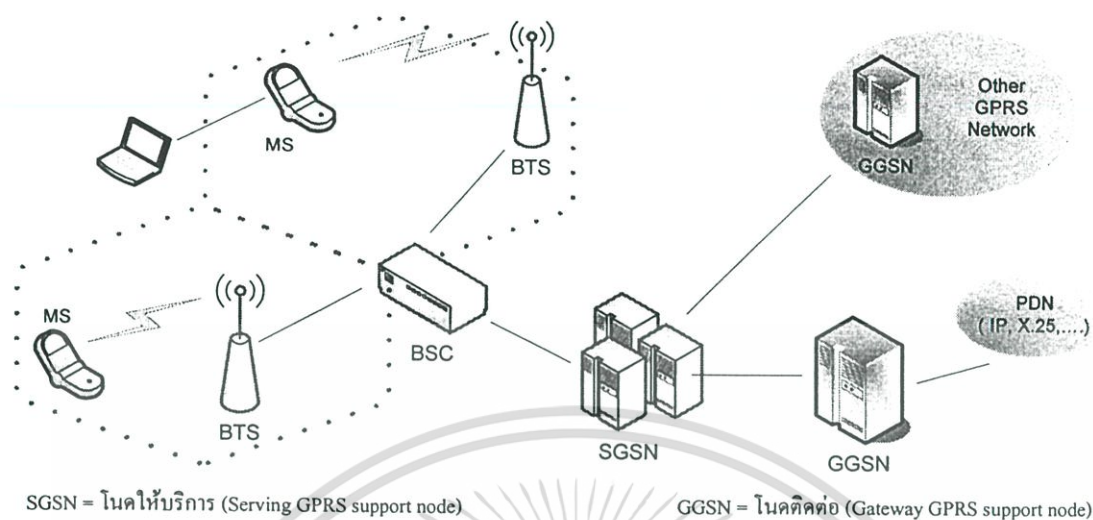
#### 2.2.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง

การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Speech coding) เป็นกระบวนการแปลงเสียงซึ่งเป็นสัญญาณแบบอนาล็อก ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสาร และเมื่อสัญญาณนี้เดินทางไปถึงจุดหมายก็จะถูกแปลงกลับคืนมาเป็นสัญญาณเสียงอีกครั้ง ในการออกแบบวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงจำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่สำคัญ คือ

1. คุณภาพของเสียงที่แปลงกลับคืนมามีคุณภาพใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงที่ต้นทาง
2. อัตราบิตที่จะต้องใช้ในการเข้ารหัส ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแบนด์วิธของสัญญาณที่ใช้ส่ง
3. ความซับซ้อนของวงจรเข้ารหัส
4. ไทม์รีเลย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเข้ารหัส

โดยในความเป็นจริงแล้วคุณภาพของเสียงจะขึ้นอยู่กับอัตราบิตที่ใช้ในการเข้ารหัส นั่นคือการใช้อัตราบิตสูงขึ้นเท่าใดคุณภาพของสัญญาณเสียงจะดีตามไปด้วย และในทางกลับกันการลดอัตราบิตลงมากเท่าใดคุณภาพของสัญญาณเสียงก็จะลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

## 2.3 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS

ในการใช้ GPRS เข้าไปในสถาปัตยกรรม GSM เดิม โหนดโครงข่ายแบบใหม่ที่เรียกว่า GPRS support nodes (GSN) ได้ถูกนำมาใช้ GSN จะทำหน้าที่ในการส่งและวางเส้นทางของแพ็คเกจข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและโครงข่ายแพ็คเกจข้อมูลภายนอก (External packet data networks : PDN) รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของระบบ GPRS

Serving GPRS support node (SGSN) ทำหน้าที่ส่งและดึงแพ็คเกจข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายในพื้นที่บริการ รวมทั้งวางเส้นทางและโอนถ่ายจัดการการเคลื่อนที่, จัดการลิงก์, การอนุญาต และคำนวณฟังก์ชันค่าบริการ SGSN จะเก็บข้อมูลท้องถิ่นและข้อมูลผู้ใช้ของเครื่องลูกข่ายทุกเครื่องที่มาลงทะเบียนกับมัน

Gateway GPRS support node (GGSN) ทำหน้าที่คล้ายกับตัวเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายหลักของ GPRS กับโครงข่ายข้อมูลแพ็คเกจภายนอก มันจะเปลี่ยนแพ็คเกจ GPRS ที่มาจาก SGSN ให้เป็นรูปแบบโปรโตคอล packet data protocol (PDP) ชนิดเดียวกับโครงข่ายที่ติดต่อด้วย (เช่น IP หรือ X.25) และส่งแพ็คเกจเหล่านั้นออกไปยังโครงข่ายนั้นๆ ในทางกลับกัน PDP ของแพ็คเกจข้อมูลเข้ามาจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแบบเดียวกับ GSM ของผู้ใช้ปลายทาง แพ็คเกจที่ถูกแปลงกลับจะถูกส่งไปยัง SGSN จากแนวทางดังกล่าว GGSN จะเก็บค่า SGSN ในปัจจุบันไว้ใน register ท้องถิ่น GGSN ยังทำหน้าที่รับรองคุณสมบัติและเป็นฟังก์ชันคำนวณค่าบริการ

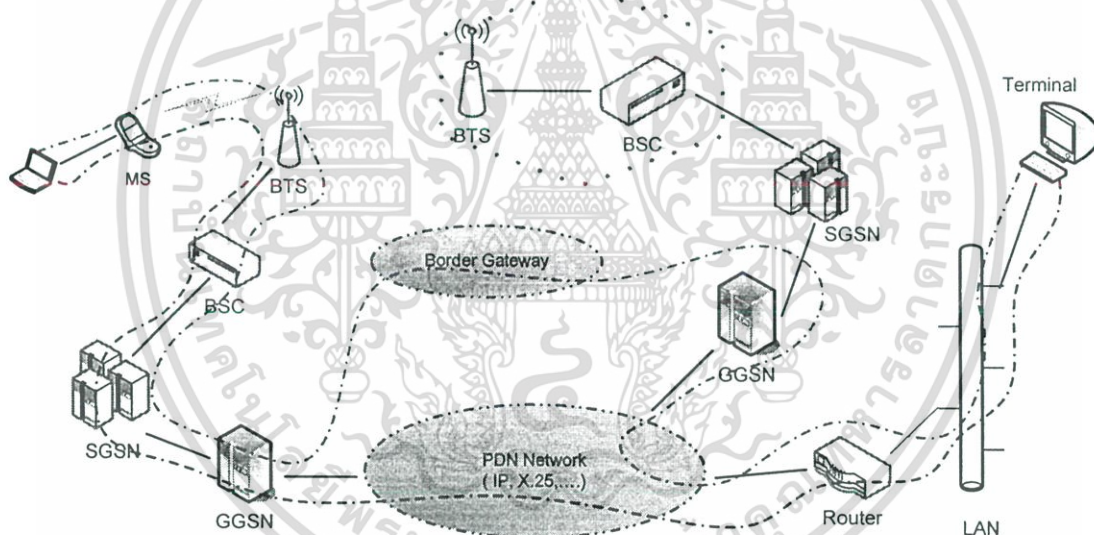
โดยทั่วไป SGSN และ GGSN หลายๆ โหนดมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก GGSN จะเป็นตัวติดต่อโครงข่ายข้อมูลภายนอกให้กับหลายๆ SGSN ซึ่ง SGSN โหนดหนึ่งสามารถวางเส้นทางแพ็คเกจ

เกตบน GGSN หลายๆ โหนด เพื่อไปถึงโครงข่ายข้อมูลแพ็คเกจหลายๆ โครงข่าย รูปที่ 2.3 ยังแสดงส่วนติดต่อระหว่างโหนดโครงข่ายใหม่กับโครงข่าย GSM

Gb Interface ต่อเชื่อมกับ BSC ด้วย SGSN ทางด้าน Gn และ Gp Interface ข้อมูลผู้ใช้และข้อมูลสัญญาณจะถูกส่งผ่านภายใน GSN หลายๆ โหนด Gn Interface จะนำมาใช้ถ้า SGSN กับ GGSN อยู่ในโครงข่าย PLMN เดียวกัน โดย Gp Interface จะใช้งานเมื่อ SGSN และ GGSN อยู่ต่างโครงข่ายกัน GSN ทั้งหมดจะต่อเข้าด้วยกันผ่าน IP-based GPRS backbone network GSN จะจัดเก็บแพ็คเกจ PDN และส่งมันไปโดยใช้ (PRS Tunneling Protocol GTP) มี GPRS backbones 2 ชนิด คือ

Intra-PLMN backbone networks ต่อเข้ากับ GSN หลายๆ โหนด ที่อยู่ในโครงข่าย PLMN เดียวกัน และเป็น private IP-based network ของผู้ให้บริการโครงข่าย GPRS

Inter-PLMN backbone networks ติดต่อกับ GSN หลายๆ โหนดที่อยู่ในโครงข่าย PLMN ต่างโครงข่ายกัน การตกลงยินยอมระหว่างผู้ให้บริการโครงข่าย GPRS มีความจำเป็นในการติดตั้ง backbone นี้



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมระบบ GPRS และตัวอย่างการจัดเส้นทาง

รูปที่ 2.3 แสดง Intra-PLMN backbone networks 2 โครงข่าย ที่อยู่คนละ PLMN กัน ต่อเข้ากับ Inter-PLMN backbone ช่องทางระหว่าง PLMN และ Inter-PLMN backbone ภายนอก จะถูกเรียกว่า Border gateway นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นฟังก์ชันความปลอดภัยเพื่อป้องกัน Inter-PLMN backbone จากผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาตและการโจมตีต่างๆ ตัวอย่างของการจัดวางเส้นทางจะขยายความในภายหลัง

Gn และ Gp Interfaces จะถูกกำหนดระหว่าง SGSN 2 โหนด ซึ่งจะเป็นการให้ SGSN แลกเปลี่ยนข้อมูลผู้ใช้เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จาก SGSN พื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง ทางด้าน Gf Interface SGSN จะถามถึง IMEI ของเครื่องลูกข่ายที่พยายามรีจิสเตอร์กับโครงข่าย Gi Interface ต่อกับ PLMN โดบ PDN โหนดเดียวกับมันหรือโนดภายนอก เช่น โครงข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ อินทราเน็ต มีการรองรับการอินเทอร์เน็ตไปยัง IP (IPv4 and IPv6) and X.25 แล้ว

HLR เก็บข้อมูลผู้ใช้, ตำแหน่ง SGSN ปัจจุบัน และตำแหน่ง PDP ของแต่ละผู้ใช้ ใน PLMN-Gr Interface จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้ระหว่าง HLR กับ SGSN ตัวอย่างเช่น SGSN แจ้งให้ HLR ทราบถึงตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายรีจิสเตอร์กับโครงข่าย SGSN โหนดใหม่ HLR จะส่งข้อมูลผู้ใช้ไปยัง GSM โหนดใหม่นั้น สัญญาณระหว่าง GGSN และ HLR (Gc Interface) อาจจะถูกใช้โดย GGSN ในการถามตำแหน่งและประวัติผู้ใช้ที่เปลี่ยนสถานที่ไป

นอกเหนือจากนี้ MSC/VLR จะถูกเพิ่มเติมฟังก์ชันที่จะวางพิกัดระหว่าง Packet switched (GPRS) และ Circuit switched (GSM แบบเดิม) ยิ่งกว่านั้นการเรียกของการโทรด้วย GSM แบบวงจรสวิตช์ สามารถทำผ่าน SGSN ในการทำเช่นนี้ต้องให้ Gs Interface ต่อเข้ากับฐานข้อมูลของ SGSN และ MSC/VLR

ในการแลกเปลี่ยนข้อความของ Short message service (SMS) ผ่านทาง GPRS จะต้องจัดตั้ง Gd Interface ขึ้นมา ซึ่งมันจะต่อเข้ากับ SMS gateway MSC (SMS-GMSC) ด้วย SGSN.

### 2.3.1 Bearer Services และ Supplementary Services

Bearer services of GPRS ทำหน้าที่ส่งข้อมูลแพคเกจสวิตช์ โดยมี 2 แบบ คือ point-to-point (PTP) service และ point-to-multi point (PTM) service

PTP service รองรับบริการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ 2 คน มารองรับทั้งใน Connectionless mode (PTP connectionless network service (PTP-CLNS), e.g., for IP) และ Connection-oriented mode (PTP connection-oriented network service (PTP-CONS), e.g., for X.25)

PTM service รองรับบริการส่งข้อมูลจากผู้ใช้คนหนึ่งไปยังผู้ใช้หลายคน มี 2 แบบคือ

1. ใช้ multicast service PTM-M แพคเกจข้อมูลจะกระจายไปยังพื้นที่ภูมิประเทศที่กำหนด กลุ่มของตัวจำแนกจะระบุเองว่าแพคเกจไหนควรจะส่งไปหาผู้ใช้ทุกคนหรือกลุ่มผู้ใช้

2. ใช้ group call service PTM-G แพคเกจข้อมูลจะถูกจัดเตรียมไว้ให้กับกลุ่มผู้ใช้ (PTM group) และจะส่งออกไปในพื้นที่ที่กลุ่มของผู้ใช้อาศัยอยู่

เป็นไปได้ว่าการส่ง SMS บน GPRS มีความเป็นไปได้ว่าจะส่ง SMS บน GPRS แล้วยังสามารถให้บริการอื่นเข้าไปได้ด้วย เช่น การโอนสายและฝากข้อความ

### 2.3.2 คุณภาพของการบริการ (Quality of Service)

ความต้องการ Quality of Service (QoS) ของงานด้านการส่งข้อมูลไร้สายมีความแตกต่างหลากหลายอย่างมาก (เช่น เร็ว หน่วง ล้มเหลว, การท่อนงเว็บ และการส่งอีเมล) การรองรับ QoS ในระดับต่างกันจะสามารถกำหนดคสเปคของแต่ละงานสื่อสารได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประกอบที่สำคัญ

GPRS อนุญาตให้กำหนดลักษณะ QoS ที่ใช้บริการระดับสูงกว่า มีความยืดหยุ่นมากกว่า มีดีเลย์ต่ำกว่า และทรูพุตต่ำกว่า

บริการระดับสูงกว่ามีสิทธิที่จะได้รับบริการอื่นๆ ในระดับรองลงมา บริการมี 3 ระดับ ความสำคัญคือ ระดับสูง กลาง และต่ำ

ความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูล มีความจำเป็นในแต่ละแอปพลิเคชัน ความเชื่อถือได้มี 3 ระดับ ตามความน่าจะเป็นของการสูญเสียสูงสุดที่ยอมรับได้ การช้า, การผิดพลาด, การผิดพลาดในการตรวจความถูกต้องของแพคเกจ

ค่าดีเลย์เฉลี่ยที่กำหนดไว้สูงสุด จะกำหนดจากเวลาตั้งแต่เริ่มส่งแพคเกจจนถึงเวลาที่แพคเกจไปถึงระหว่างเครื่องลูกข่ายสองเครื่อง หรือระหว่างเครื่องลูกข่ายและ Gi Interface ไปยังโครงข่ายแพคเกจข้อมูลภายนอก รวมทั้งดีเลย์ทั้งหมดภายในโครงข่าย GPRS

การแบ่งระดับ QoS สามารถตกลงกันระหว่างผู้ใช้และ โครงข่ายของแต่ละการใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการ QoS และทรัพยากรที่ยังเหลืออยู่ในระบบในขณะนั้น ค่าใช้จ่ายของบริการจะขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านชนิดของบริการและลักษณะของ QoS

### 2.3.3 การใช้งานในเวลาเดียวกันของแพคเกจสวิตซ์ และเซอร์กิตสวิตซ์

ในโครงข่าย GSM/GPRS บริการเซอร์กิตสวิตซ์แบบเก่า (เสียง ข้อมูล และ SMS) และบริการ GPRS สามารถใช้งานขนานกันได้ มี 3 ระดับ คือ

ระดับ A เครื่องลูกข่ายจะรองรับการทำงานของ GPRS และ GSM เดิมได้ในเวลาเดียวกัน

ระดับ B เครื่องลูกข่ายเป็นไปได้ที่จะรีจิสเตอร์เข้าไปในโครงข่าย GPRS และ GSM เดิม ในเวลาเดียวกัน จะต่างจากระดับ A ตรงที่มันสามารถใช้บริการเพียงบริการหนึ่งในเวลาเดียว

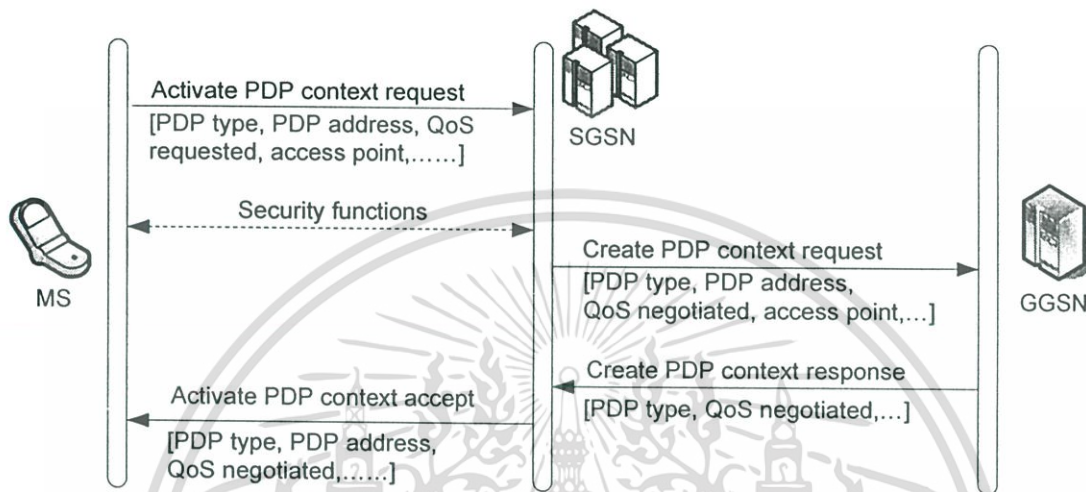
ระดับ C เครื่องลูกข่ายจะยึดติดกับ GPRS หรือไม่ก็ GSM เดิม ในการรีจิสเตอร์พร้อมกันจะทำได้ เว้นแต่บริการส่ง SMS เท่านั้นที่จะรับส่งในเวลาใดก็ได้

### 2.3.4 กระบวนการตั้งค่าและการยกเลิกบริการ (Attachment and Detachment Procedure)

ก่อนที่เครื่องลูกข่ายจะใช้บริการ GPRS ได้ จะต้องรีจิสเตอร์กับ SGSN ของโครงข่าย GPRS โครงข่ายจะตรวจว่าถ้าผู้ใช้ได้รับอนุญาตแล้ว จะคัดลอกข้อมูลจาก HLR ไปยัง SGSN และตั้งค่า packet temporary mobile subscriber identity (P-TMSI) ให้กับผู้ใช้ กระบวนการนี้

เรียกว่าการตั้งค่า (Attach) สำหรับเครื่องลูกข่ายที่ใช้ทั้งเซอร์กิตสวิตช์และแพคเกจสวิตช์อาจจะต้องใช้กระบวนการผสม GPRS/IMSI การยกเลิกจากโครงข่าย GPRS เรียกว่า GPRS detach ซึ่งเริ่มจากเครื่องลูกข่ายหรือโครงข่ายก็ได้

2.3.5 การจัดการช่วงบริการ และ PDP Context

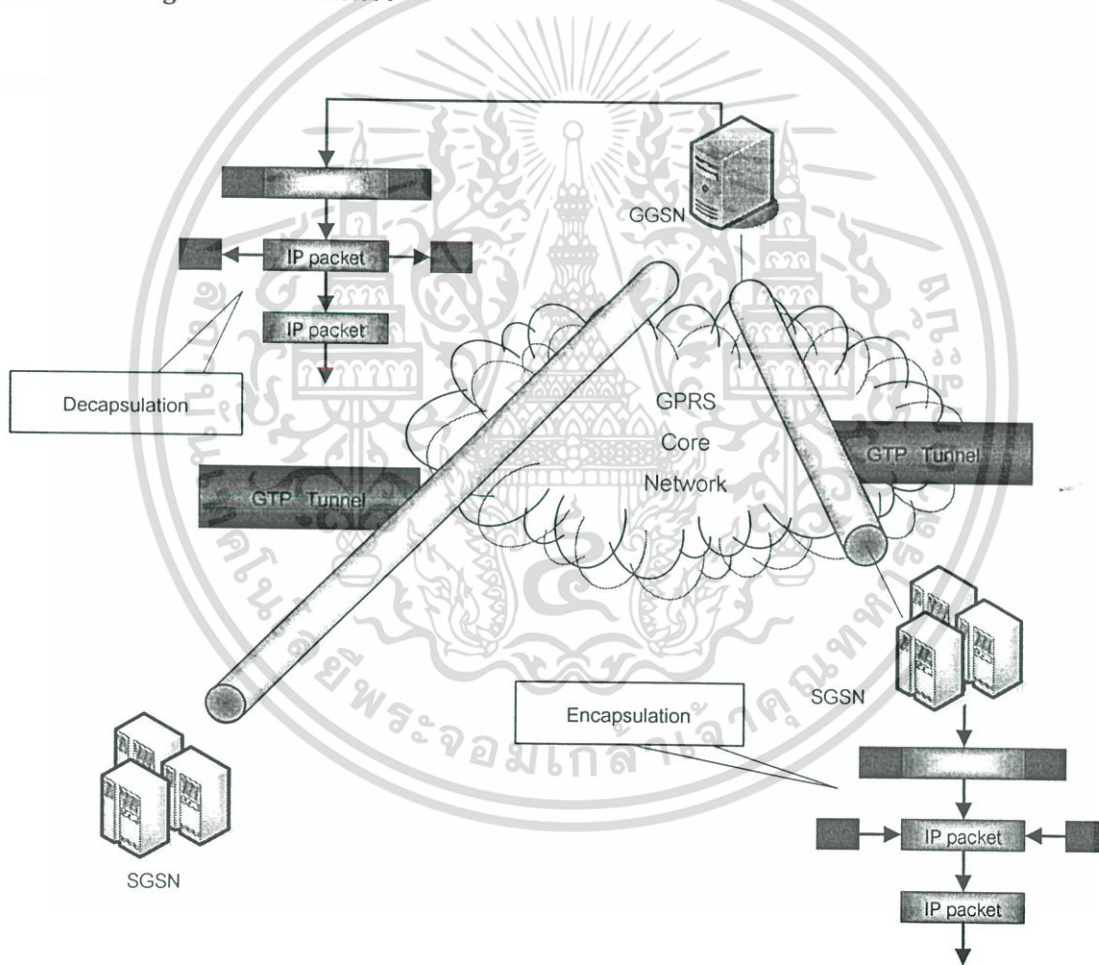


รูปที่ 2.4 PDP Context Activation

ในการแลกเปลี่ยนแพคเกจข้อมูลด้วย PDN ภายนอกหลังจากการตั้งค่าเสร็จแล้ว เครื่องลูกข่ายจะต้องใช้หนึ่งหรือหลายแอดเดรสใน PDN ตัวอย่างเช่น IP address ในกรณีที่ PDN เป็นโครงข่าย IP address นี้เรียกว่า PDP address แต่ละช่วงบริการจะมีการเรียกให้สร้าง PDP context ขึ้นซึ่งจะอธิบายคุณลักษณะของช่วงบริการ ประกอบด้วยชนิดของ PDP (เช่น IPv4), PDP address ที่ได้มอบให้เครื่องลูกข่าย (เช่น 129.187.222.10), QoS ที่ร้องขอและแอดเดรสของ GGSN ที่เข้าไปต่อกับ PDN สิ่งเหล่านี้ได้ถูกเก็บไว้ในเครื่องลูกข่าย, GGSN และ SGSN เมื่อให้ PDP context ทำงาน PDN ภายนอกจะมองเห็น เครื่องลูกข่ายและสามารถรับส่งแพคเกจข้อมูลได้ การเมพ ระหว่าง PDP และ IMSI จะเปิดใช้งาน GGSN ในการส่งถ่ายแพคเกจข้อมูลระหว่าง PDN และเครื่องลูกข่ายผู้ใช้คนหนึ่งจะมี PDP context ทำงานในเวลาเดียวกันได้ การอนุญาตให้ PDP address สามารถเป็นแบบตายตัวหรือปรับเปลี่ยนค่าได้ ในกรณีแรก Network operator ของ PLMN ของผู้ใช้ จะมอบ PDP address อย่างถาวรให้กับผู้ใช้ ในกรณีที่สอง Network operator ของ PLMN ของผู้ใช้ หรือ network operator ของโครงข่ายที่เข้ามาติดต่อยจะตัดสินใจว่าจะให้ใช้แอดเดรสดี และตัดสินใจว่าจะเปลี่ยนแอดเดรสหรือยกเลิกแอดเดรสเมื่อใด

รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการเรียกใช้งาน PDP context โดยใช้ข้อความ "Activate PDP context request" เครื่องลูกข่ายจะมอบข้อมูลของ PDP context ที่ต้องการให้กับ SGSN ถ้าต้องการไดนามิก PDP address พารามิเตอร์ PDP address จะกลายเป็นว่างเปล่าทันที ต่อจากนั้น ฟังก์ชันความปลอดภัยจะทำงาน ถ้าการเข้าติดต่อได้รับการอนุญาต SGSN จะส่งข้อความ "create PDP context request" ให้กับ GGSN โหนดใดโหนดหนึ่ง ภายหลังจะสร้างทางเข้าลงในตาราง PDP context ซึ่งจะเปิดใช้งาน GGSN ให้กำหนดเส้นทางแพคเกจข้อมูลระหว่าง SGSN และ PDN ภายหลังจากนั้น GGSN จะยืนยันกลับไปด้วยข้อความ "Create PDP context response" ให้กับ SGSN ที่มี PDP address ในกรณีที่ PDP address ได้รับการร้องขอ SGSN Address ตาราง PDP context และยืนยันการสั่งใช้งาน PDP context อันใหม่ให้กับเครื่องลูกข่าย ("Activate PDP context accept")

2.3.6 Routing การจัดวางเส้นทาง



รูป 2.5 IP Tunnel ในแกนหลักระบบ GPRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ให้ตัวอย่างของการจัดวางแพ็คเกจใน GPRS เราสมมติให้โครงข่ายข้อมูลแพ็คเกจเป็นโครงข่าย IP เครื่องลูกข่าย GPRS ตั้งอยู่ใน PLMN1 ส่งแพ็คเกจ IP ไปยังโฮสต์ที่ต่อกับโครงข่าย IP (เช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์) SGSN ที่เครื่องลูกข่ายเข้าปรีจีสเตอร์ จะมองหา PDP context และวางแผนเส้นทางไปยัง Intra-PLMN GPRS backbone เพื่อเตรียม GGSN ไว้ให้ GGSN จะแยกแพ็คเกจและส่งออกไปยังโครงข่าย IP โดยที่กลไกการวางแผนเส้นทางของ IP จะใช้ในทางส่งแพ็คเกจไปยัง Access router ของโครงข่ายปลายทาง ในภายหลังจะส่งแพ็คเกจ IP ไปยังโฮสต์

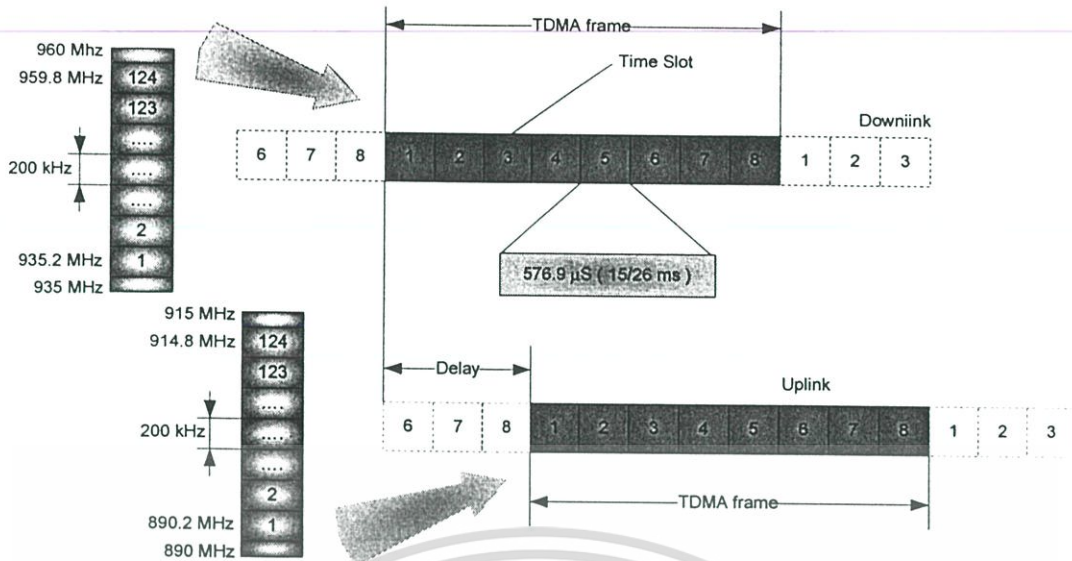
สมมติให้ home-PLMN ของเครื่องลูกข่ายเป็น PLMN2 IP address จะถูกมอบให้เครื่องลูกข่ายโดย SGSN ของ PLMN2 ดังนั้น IP address ของเครื่องลูกข่ายที่มี Network prefix เหมือนกับ IP address ของ GGSN ใน PLMN2 โฮสต์ตัวใหม่จะส่งแพ็คเกจ IP ไปยังเครื่องลูกข่าย แพ็คเกจเหล่านี้ส่งออกไปยังโครงข่าย IP และถูกวางแผนเส้นทางไปยัง GGSN ของ PLMN2 (Home-GGSN ของเครื่องลูกข่าย) หลังจากนั้นจะถาม HLR และข้อมูลที่บรรจุอยู่ในตอนที่เครื่องลูกข่ายยังอยู่ที่ PLMN1 มันจะบรรจุแพ็คเกจ IP และส่งรอดผ่าน Inter-PLMN GPRS backbone เพื่อจัดเตรียม SGSN ใน PLMN1 SGSN จะแยกแพ็คเกจและส่งต่อไปยังเครื่องลูกข่าย

### 2.3.7 การจัดการตำแหน่งที่ตั้ง (Location Management)

การจัดการตำแหน่งที่ตั้ง หน้าที่หลักของมันคือ เก็บบันทึกตำแหน่งผู้ใช้ในปัจจุบัน ดังนั้นแพ็คเกจที่เข้ามาจะถูกจัดเส้นทางไปยังเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้ เพื่อการนี้เครื่องลูกข่ายจะต้องส่งข้อมูล ตำแหน่งที่ตั้งสมมติเพื่อส่งไปยัง SGSN ที่มันใช้งานอยู่ ถ้าเครื่องลูกข่ายส่งข้อมูลค่อนข้างบ่อยครั้ง จะไม่มีใครรู้ตำแหน่งปัจจุบันของมันอย่างถูกต้อง และการเรียกที่สำคัญๆ ก็จะมีการผิดพลาด ทำให้เกิดคิเล็คชั่นบ่อยครั้ง ในทางกลับกันถ้ามันอัปเดตข้อมูลบ่อยครั้ง ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องลูกข่ายจะได้รับรู้อย่างถูกต้อง และข้อมูลแพ็คเกจสามารถส่งโดยไม่ต้องมีคิเล็คชั่นเพิ่มจากการเรียก อย่างไรก็ตามมันจะทำให้ใช้ทรัพยากรอพลิงก์และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มากขึ้น ดังนั้นวิธีการจัดการตำแหน่งที่ตั้งจะต้องหาจุดลงตัวระหว่างสองวิธีดังกล่าว

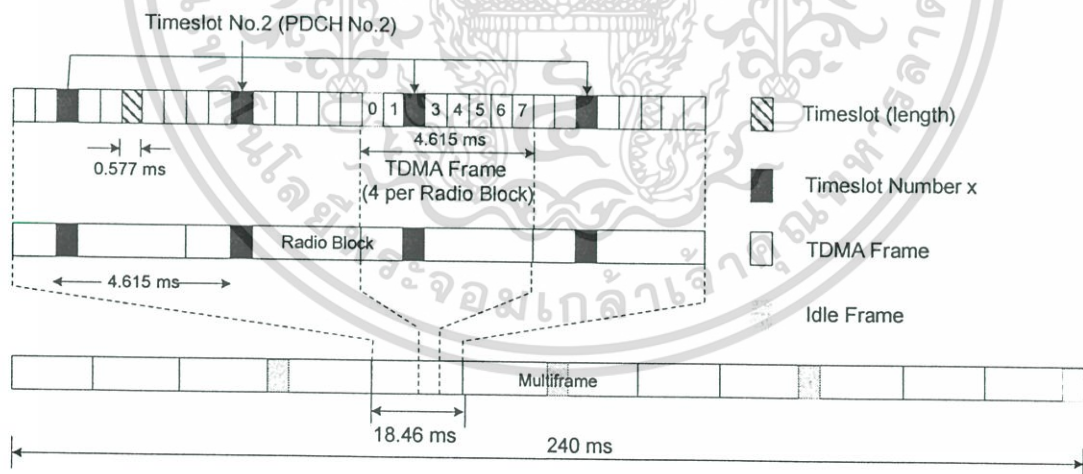
### 2.3.8 Air Interface - Physical Layer Multiple Access และการจัดการทรัพยากรระบบ

บน Physical layer ระบบ GSM ได้ใช้การเข้าถึงหลายทางทั้ง 2 แบบผสมกันคือ FDMA และ TDMA ได้ GSM ใช้ย่านความถี่สองย่าน โดยที่ย่าน 890 – 915 MHz ใช้สำหรับการส่งที่มาจากเครื่องลูกข่าย และย่าน 935-960 MHz ใช้สำหรับการส่งที่มาจาก BTS ทุกๆความกว้าง 25 MHz ของแต่ละย่านจะแบ่งเป็น 124 คลื่นพาหะที่มีความกว้าง 200 kHz จำนวนของช่องสัญญาณความถี่เรียกว่า เซล จะถูกจัดวางโดย BTS



รูปที่ 2.6 ความถี่พาห้, Duplexing และ TDMA Frames ของ GSM

ช่องสัญญาณทุกๆช่วงความถี่ 200 kHz จะประกอบด้วย ช่องสัญญาณ TDMA 8 ช่องโดยแบ่งออกเป็น 8 ไทม์สล็อต รวมเรียกว่า TDMA เฟรม แต่ละไทม์สล็อตของ TDMA เฟรม จะมีระยะเวลา  $15/26 \text{ ms} = 576.9 \mu\text{s}$  ดังนั้นแต่ละเฟรมจะกินเวลา 4.613 ms ไทม์สล็อตสล็อตหนึ่งที่มีหมุนเวียนเกิดขึ้นในทุกๆเฟรมนับเป็นหนึ่ง Physical channel เครื่องลูกข่าย GSM จะใช้ไทม์สล็อตเดียวกันในการส่งอัปลิงก์และดาวลิงก์



รูปที่ 2.7 โครงสร้าง GPRS 12 radio-block Multi-Frame

สำหรับโครงข่าย GSM ที่รองรับ GPRS ช่องสัญญาณลจิกช่องหนึ่งหรือมากกว่า สามารถจัดสรรให้กับการส่งถ่ายกราฟฟิกข้อมูลอย่างถาวรหรือยืดหยุ่นก็ได้ เราเรียกช่องสัญญาณลจิกนี้ว่า

ช่องสัญญาณข้อมูลแพ็คเกจ (Packet Data Channels ; PDCHs) หน่วยพื้นฐานของการส่งผ่านใน PDCH คือ เรดิโอบล็อก (radio block) เรดิโอบล็อกหนึ่งประกอบด้วย 4 เฟรมติดๆกันและสามารถใช้บรรจุบล็อก RLC ได้ 1 บล็อก เฟรมของแต่ละ PDCH จะถูกจัดกลุ่มเป็น 12 radio-block multi-frames แต่ละมัดติเฟรมประกอบด้วยเรดิโอบล็อก 12 บล็อกกับไทม์สล็อตที่ไม่ได้ใช้งาน อีก 4 ไทม์สล็อต ในรูปที่ 2.8 เป็นโครงสร้างของ GPRS 12 radio-block multi-frame

การยินยอมให้ใช้ช่องสัญญาณใน GPRS มีรูปแบบที่ต่างจาก GSM เนื่องจาก GPRS ยอมให้เครื่องลูกข่ายหนึ่งเครื่องส่งข้อมูลไปบนหลายๆไทม์สล็อตใน TDMA เฟรมเดียวกัน (Multi slot operation) เป็นผลทำให้การใช้ช่องสัญญาณมีความยืดหยุ่นอย่างมาก 1 ไทม์สล็อตใน TDMA เฟรมสามารถให้เครื่องลูกข่ายใช้ได้เพียงหนึ่งเครื่อง อพลิงก์และดาวลิงก์สามารถจัดวางแยกจากกันได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรองรับทราฟฟิกข้อมูลที่ไม่สมมาตรกัน (เช่น การท่องเว็บ)

ในระบบ GSM เดิม ช่องสัญญาณหนึ่งช่องจะถูกจัดสรรให้กับเครื่องลูกข่ายเครื่องใดเครื่องหนึ่งอย่างถาวรตลอดช่วงเวลาในการบริการโดยไม่สนใจว่าจะมีการส่งข้อมูลหรือไม่ต่างจาก GPRS ที่จะจัดสรรช่องสัญญาณเฉพาะตอนที่มีการรับหรือส่งแพ็คเกจข้อมูลและขึ้นอยู่กับระดับของการบริการ สำหรับทราฟฟิกที่เป็นกลุ่มแล้วจะให้ผลต่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพของทรัพยากรระบบ ทำให้ผู้ใช้หลายคนสามารถแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องได้

เซลล์ที่รองรับ GPRS อาจจัดสรรช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิก GPRS เช่น ช่องสัญญาณที่เป็นช่องสัญญาณของ packet data channel (PDCH) จะถูกนำไปจากช่องสัญญาณที่ยังเหลืออยู่ในเซลล์ ดังนั้น ทรัพยากรระบบของแต่ละเซลล์จะถูกใช้ร่วมกันทั้งเครื่องลูกข่ายที่เป็น GPRS และไม่ใช้ GPRS ที่อยู่ในพื้นที่เซลล์นี้ การแมพของช่องสัญญาณให้เป็นแพ็คเกจสวิตซ์ (GPRS) หรือ เซอร์กิตสวิตซ์ (GSM เดิม) สามารถทำงานได้โดยไม่ตายตัว (Capacity on demand principle) ขึ้นอยู่กับลักษณะของ ทราฟฟิกในปัจจุบัน, ระดับความสำคัญของบริการและระดับมัดติสล็อต กระบวนการตรวจตราจะมองทราฟฟิกของ PDCH ในเซลล์เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในขณะนั้น จำนวนของช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับ GPRS (จำนวนของ PDCH) สามารถเปลี่ยนแปลงได้เสมอ ช่องสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้โดย GSM เดิม สามารถจัดสรรเป็น PDCH เพื่อเพิ่มคุณภาพการบริการของ GPRS เมื่อมีความต้องการบริการที่มีความสำคัญสูงขึ้น ในทางกลับกัน PDCH สามารถจะถูกยกเลิกได้

### 2.3.9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding)

ตารางที่ 2.3 Coding parameters

	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Code rate	1/2	2/3	3/4	1
GPRS net data rate [Kbit/s]	9.05	13.4	15.6	21.4
RLC data block size [bit]	176	263	307	423
MAC header size [ex. USF] [bit]	5	5	5	5
RLC/MAC block size (ex. USF) [bit]	181	268	312	428
USF [bit]	3	3	3	3
BCS [bit]	40	16	16	16
Precoded USF [bit]	3	6	6	12
Tail bits	4	4	4	0
Radio block [bit] (before conv. Coding)	228	294	338	456
Convolutional code rate	1/2	1/2	1/2	1
Coded radio block size [bit]	456	588	676	456
Puncturing [bit]	0	132	220	0
Radio block size (bit)	456	456	456	456

การเข้ารหัสถูกนำมาใช้ในการปกป้องแพ็คเกจข้อมูลจากความผิดพลาด เทคนิคการเข้ารหัสช่องสัญญาณใน GPRS ก่อนข้างเหมือนกับเทคนิคหนึ่งใน GSM เดิม มีการทำ Block coding ภายนอก, การทำ Convolutional coding ภายใน และการทำ Interleaving วิธีการเข้ารหัสมี 4 วิธี เพื่อเข้ารหัสของช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic channel : PDTCH) และได้เลือกวิธีหนึ่งในสี่วิธี ขึ้นอยู่กับคุณภาพของช่องสัญญาณ บนสถานะช่องสัญญาณที่แย่สุดๆ เราอาจจะต้องใช้ CS -1 มีอัตราส่งผ่านข้อมูลเพียง 9.05 kbit/s per ต่อ 1 ไทม์สล็อต แต่จะได้การเข้ารหัสที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่สถานะช่องสัญญาณดีมาก เราสามารถส่งได้โดยไม่ต้องมี Convolutional coding ซึ่งจะได้อัตราการส่งผ่าน 21.4 kbit/s per ต่อ 1 ไทม์สล็อต ถ้าเราใช้ทั้ง 8 ไทม์สล็อตพร้อมกัน เราจะได้ส่งผ่านข้อมูลสูงสุดถึง 171.2 kbit/s ในทางปฏิบัติแล้ว ผู้ใช้หลายคนแบ่งกันใช้ไทม์สล็อต ดังนั้น อัตราการส่งผ่าน

จะต่ำกว่าผู้ใช้เพียงคนเดียว ตัวอย่างเช่น อัตราส่งผ่าน 40 kbit/s per ต่อ 1 ผู้ใช้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ถ้าผู้ใช้สามคนแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่มีการเข้าโค้ดแบบ CS-3, CS -1 จะถูกนำมาใช้สำหรับเข้ารหัสของ Signaling channels

หลังจากเข้ารหัสแล้ว Codewords จะถูกใส่ในขั้นตอน Block interleaving ในขั้นที่ 4 จากนั้น Codewords จะถูก De -interleaving ที่ด้านเครื่องรับ

## 2.4 สรุปเนื้อหาของ GPRS

General Packet Radio Service (GPRS) เป็นก้าวสำคัญในวิวัฒนาการยุคที่ 3 ของโครงข่ายไร้สาย เทคโนโลยีการส่งผ่านแพคเกจ ซึ่งเพิ่มขีดความสามารถของมาตรฐาน GSM ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ข้อมูลที่เป็นแพคเกจสามารถส่งผ่านเครือข่ายไร้สายได้ โดย GPRS ยอมให้มีการแบ่งสัดส่วนแบนวิธได้ตลอดเวลาตามจำนวนเครื่องที่ใช้งาน ไม่มีช่องสัญญาณใดถูกจัดให้กับผู้ใช้ในระยะเวลาสื่อสารตลอดเวลา ผู้ใช้จะได้รับแบนวิธก็ต่อเมื่อมีแพคเกจพร้อมที่จะส่งเท่านั้น ทำให้ผู้ใช้คนอื่นเข้ามาใช้ช่องสัญญาณได้ จึงส่งผลให้การใช้ประโยชน์ดีขึ้นและราคาค่าต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# รูปแบบการจำลองระบบ

### 3.1 รูปแบบของทราฟฟิก

เครื่องลูกข่ายในโปรแกรมจำลองของเรามี 3 สถานะ คือ สถานะส่งผ่านเสียง, ส่งผ่านข้อมูล และไม่มีการส่งผ่าน (Standby) ซึ่งแบบจำลองหลักของบทความนี้แสดงในรูปที่ 3

การเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะส่งผ่านเสียงและสถานะ Standby จะเหมือนกับกระบวนการมาคอฟแบบ 2 สถานะ โดยในกระบวนการนี้ของ ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะที่  $n^{\text{th}}$  ที่เวลา  $t$  โดยมีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย  $\lambda$  คือ

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t) \quad (3.1)$$

ในการจำลองของเรา กำหนดให้  $V_1$  คือความน่าจะเป็นที่จะมีการโทรอย่างน้อย 1 ครั้งในช่วงเวลา  $t$

$$V_1 = 1 - P_0(t) \quad (3.2)$$

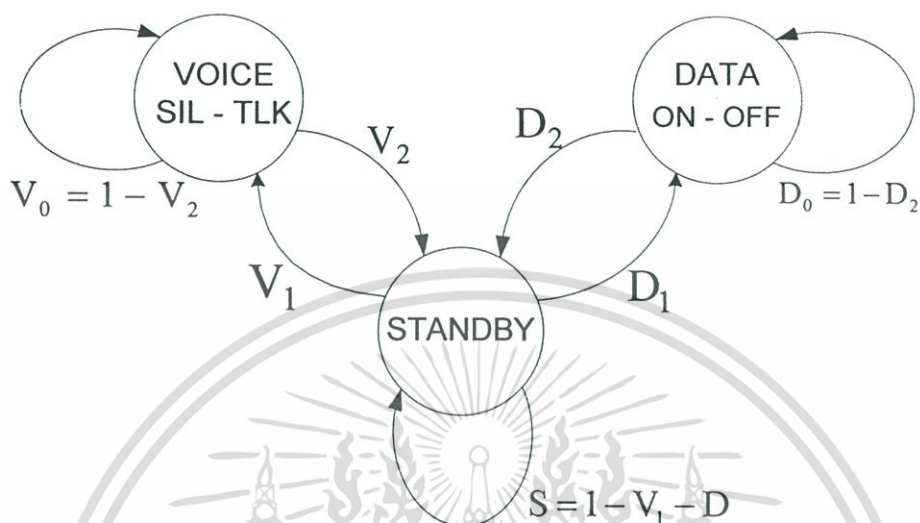
ดังนั้น ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก Standby เป็นสถานะส่งผ่านเสียงคือ

$$V_1 = 1 - \exp(-\tau \lambda_v) \quad (3.3)$$

โดยที่  $\tau$  คือระยะเวลาในหนึ่งไทม์สล็อต  $\lambda_v$  คือ อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของการส่งผ่านเสียง (ในบทความนี้คือปริมาณเฉลี่ยของการโทรในช่วงเวลา  $\tau$ ) และความน่าจะเป็นที่การส่งผ่านเสียงที่มีระยะเวลาเฉลี่ย  $t_v$  จะสิ้นสุดในช่วงไทม์สล็อต  $\tau$  คือ

$$V_2 = 1 - \exp\left(\frac{-\tau}{t_v}\right) \quad (3.4)$$

ในระหว่างที่เครื่องลูกข่ายอยู่ในสถานะส่งผ่านเสียง จะมีอีก 2 สถานะย่อยที่เกิดจากพฤติกรรมในการพูดคุย คือ ช่วงพูด (talkspurt) และช่วงเงียบ (silence gap) ซึ่งเราจะบรรยายถึงพฤติกรรม และสถานะย่อย ในหัวข้อรูปแบบจำลองเสียง



รูปที่ 3.1 รูปแบบจำลองสถานะของเครื่องลูกข่าย

การเปลี่ยนสถานะระหว่าง ส่งผ่านข้อมูลกับ Standby นั้นมีความแตกต่างจากการเปลี่ยนสถานะระหว่าง ส่งผ่านเสียงกับ Standby ในด้านความยาวนานเฉลี่ยในการเกิดกราฟฟิก การเปลี่ยนสถานะจาก Standby เป็นสถานะส่งผ่านข้อมูล เป็นกระบวนการ ปัวซอง โดยมีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย  $\lambda_D$  (จำนวนครั้งเฉลี่ยของการส่งผ่านไฟล์ในช่วงเวลา  $\tau$ )

$$D_1 = 1 - \exp(-\tau\lambda_D) \quad (3.5)$$

หลังจากที่เครื่องลูกข่ายได้เป็นสถานะเป็นส่งผ่านข้อมูล โปรแกรมเราจะจำลองไฟล์โดยมีขนาดแบบสุ่ม จากนั้นไฟล์จะถูกแบบเป็นส่วนๆ ให้พอดีกับบล็อกรหัสของ GPRS และชิ้นส่วนของไฟล์เหล่านั้นจะถูกส่ง (ตราบไคที่บล็อก GPRS ยังว่างอยู่) จนกระทั่งไฟล์ถูกส่งจนหมด และมีการยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnect) เครื่องลูกข่ายจะกลับมาอยู่ในสถานะ Standby อีกครั้ง ความน่าจะเป็นในการยกเลิกการเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลคือ

$$D_2 = 1 - \exp\left(\frac{-\tau}{t_d}\right) \quad (3.6)$$

โดยที่  $\tau$  คือ ระยะเวลาของโหนดสล็อต และ  $t_d$  คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้บริการการสื่อสารข้อมูล

### 3.2 รูปแบบคล้ายคลึงตัวเอง

อาจกล่าวได้ว่ากราฟฟิสิกที่มีความคล้ายคลึงตัวเองนี้เมื่อถูกสเกลด้วย เช่น 1 ms, 10 ms, 100 Sec แล้ว กราฟฟิสิกจะยังคงมีรูปร่างหน้าตาคล้ายคลึงกันอยู่เช่นเดิมเมื่อถูกสเกลด้วยเวลาต่างๆ โดยกราฟฟิสิกแบบคล้ายคลึงตัวเองจะมีคุณสมบัติทางสถิติอยู่ 2 รูปแบบที่สำคัญ คือการขึ้นกับเวลาที่ยาวๆ (Long-Range Dependent) ค่าความแปรปรวนจะมีการลดลงอย่างช้าๆ ของกฎของพลังงาน (Slowly Decaying Variance) และกราฟฟิสิกแบบคล้ายคลึงตัวเองนี้จะมีตัวแปรที่สำคัญคือ Hurst Parameter หรือ H Parameter) โดยที่ตัวแปร H หรือ Hurst parameter เป็นตัววัดหรือตรวจสอบระบบของความคล้ายคลึงตัวเองของกราฟฟิสิกของลำดับเวลา ดังนั้นถ้าสเกลเวลาแล้วกราฟฟิสิกยังแสดงตัวคล้ายคลึงตัวเองอยู่แล้ว ค่า H จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1 ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 3.2.1 การขึ้นกับเวลายาวๆ

การขึ้นกับเวลาที่ยาวๆ (Long - range dependent) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของกราฟฟิสิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง โดยที่ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตัวเองจะลดลงอย่างช้าๆ

$$\rho(\tau) \sim \tau^{-\beta} \quad \text{ที่ } \tau \rightarrow \infty \text{ และ } 0 < \beta < 1 \quad (3.7)$$

ที่  $\tau \rightarrow \infty$  ค่าสหสัมพันธ์ตัวเองจะยังคงมีค่าไม่เป็น 0 และ  $\sum_r \rho(\tau) = \infty$  ส่วนฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตัวเองของการขึ้นกับเวลาที่สั้นๆ (Short-range dependent) มีค่าดังสมการ

$$p(\tau) \sim c^\tau \quad \text{ที่ } \tau \rightarrow \infty \text{ และ } 0 < \tau < 1 \quad (3.8)$$

ที่ค่า  $\tau \rightarrow \infty$  จะมีค่าเป็น 0 และ  $\sum_r p(\tau)$  จะมีค่าที่จำกัด

### 3.2.2 การกระจายแบบพาราเรโต้

การกระจายแบบนี้จะเป็น heavy-tailed ถ้า

$$\Pr\{X > x\} = F(x) \approx \frac{1}{x^\alpha} \quad (3.9)$$

ที่  $x \rightarrow \infty$  โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้ Shape parameter ( $\alpha$ ) จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 และการกระจายแบบพาราเรโต้สามารถกำหนดได้เป็น

$$\Pr\{X > x\} = \left(\frac{\delta}{x}\right)^\alpha \quad (3.10)$$

จะมีฟังก์ชันการกระจายสะสม (cdf) ดังสมการที่ (3.11)

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\delta}{x}\right)^\alpha \quad (3.11)$$

ที่  $\delta$  คือ Location parameter ซึ่งเป็นเวลาการเข้ามาถึงที่น้อยที่สุดระหว่างแพกเกต (โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่ามากกว่า 0.75 ระบบจึงจะมีเสถียรภาพแต่จะไม่เกิน 1) และการกระจายแบบพาราเรโต้ นี้จะมีฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็น (pdf) ดังนี้

$$f(x) = \frac{\alpha}{\delta} \left(\frac{\delta}{x}\right)^{\alpha+1} \quad (3.12)$$

ค่าเฉลี่ยของการกระจายแบบพาราเรโต้ คือ

$$E[x] = \delta \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1} \quad (3.13)$$

และค่าความแปรปรวนมีค่าดังนี้

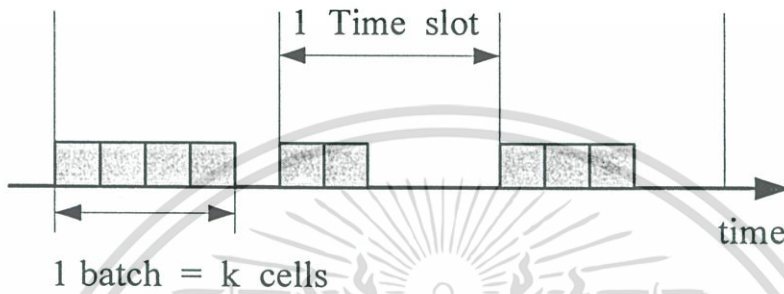
$$\text{Var}[x] = \frac{\alpha\delta^2}{(\alpha - 1)^2(\alpha - 2)} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการกระจายแบบพาราไดน์ แถว (tail) จะมีความน่าจะเป็นที่จะเสื่อมลงตามากของพลังงานนั้น ซ้ำกว่าการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล

### 3.2.3 การเข้าถึงแบบกลุ่ม

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบที่อินพุตกราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเองนี้จะมีการเข้ามาถึงของเซลล์แบบกลุ่มก้อน (Batch Arrival) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของการเข้ามาถึงของเซลล์แบบกลุ่มก้อน

ในช่วงเวลาหนึ่งไทม์สล็อต จะมีเซลล์เข้ามาเป็นกลุ่มก้อน (Batch) และจะมีจำนวน  $k$  เซลล์ โดยที่เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการกระจายที่ใช้ ในที่นี่จะทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่มีเซลล์มากกว่า  $x$  เซลล์ในแต่ละช่วงเวลา ( $P[X > x]$ ) ของการเข้ามาถึงของเซลล์ที่มีฟังก์ชันการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล (นิวส์ของกราฟฟิก) และการกระจายแบบพาราไดน์ (กราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง)

โดยที่ความน่าจะเป็นที่มีเซลล์มากกว่า  $x$  เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาแบบเอกซ์โพเนนเชียล ที่มีอัตราการเข้ามาถึง  $\lambda$  จะมีค่าดังนี้

$$P[X > x] = e^{-\lambda x} \quad (3.15)$$

และจากสมการที่ (15) จะสามารถหาฟังก์ชันการกระจายสะสม (cdf) ได้ดังนี้

$$F(x=1-p)[X > x] = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.16)$$

ส่วนความน่าจะเป็นที่มีเซลล์มากกว่า  $x$  เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาแบบพาราไดน์จะมีค่าดังสมการที่ (3.16)

จะขอยกตัวอย่างให้เข้าใจมากขึ้น โดยจะกำหนดให้  $E[x] = 2$  และ  $x = 10$  พิจารณาความน่าจะเป็นที่มีเซลล์มากกว่า  $x$  เซลล์ในแต่ละช่วงเวลา แบบเอกซ์โพเนนเชียล

$$P[X > x] = e^{-\lambda x} = e^{-10/2} = 0.0067 \quad (3.17)$$

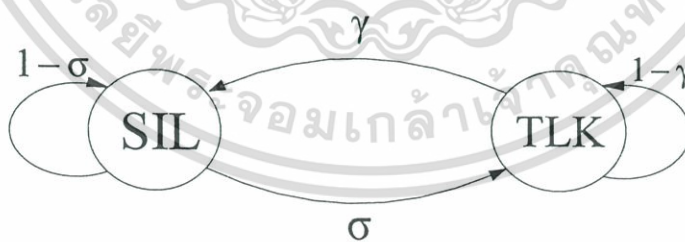
และจะพิจารณาความน่าจะเป็นที่มีเซลล์มากกว่า  $x$  เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาแบบพาวเรโต้ โดยจะกำหนดให้  $\delta = 1$  โดยที่  $E[x] = 1 \cdot \frac{a}{a-1} = 2$  เมื่อแก้สมการหาค่า  $a$  จะเท่ากับ 2 นำ  $a$  ที่ได้มาแทนลงสมการ

$$P[X > x] \left(\frac{1}{x}\right)^2 = 0.01 \quad (3.18)$$

### 3.3 ทราฟฟิกเสียง

การสนทนาแต่ละครั้งก่อให้เกิดช่วงพูดและช่วงหยุดสลับกันไป ซึ่งตรวจพบได้โดยวงจรตรวจจับพฤติกรรมเสียง (Speech activity detector) มีช่วงพูดและช่วงเงียบแบบทั่วไปซึ่งสัมพันธ์กับการพูด, การหยุด และการฟังสลับกันไป นอกจากนี้ยังมีช่วงพูดสั้นๆ และช่วงเงียบสั้นๆ เนื่องจากมีช่วงเปล่งเสียงและหยุดสั้นๆ ในระหว่างคำ ในการจำลองของเราจะใช้เฉพาะวงจรตรวจจับพฤติกรรมเสียงแบบซ้ำ ซึ่งจะตอบสนองเฉพาะช่วงพูดและเงียบแบบทั่วไปเท่านั้น

ทั้งช่วงพูดและเงียบ มีการกระจายของช่วงเวลาเป็นแบบเอกโปเนนเชียล ระยะเวลาเฉลี่ยของช่วงพูดคือ  $t_1$  วินาที ระยะเวลาเฉลี่ยของช่วงหยุดคือ  $t_2$  วินาที [3]



รูปที่ 3.3 แบบจำลองพฤติกรรมเสียง

พฤติกรรมเสียงเป็นแบบกระบวนการมาคอฟ 2 สถานะ (รูปที่ 3.3) ความน่าจะเป็นที่ช่วงพูดที่มีระยะเวลาเฉลี่ย  $t_1$  วินาที จะสิ้นสุดลงในช่วงเวลาของไทม์สล็อต  $T$  วินาที คือ

$$\gamma = 1 - \exp(-\tau/t_1) \quad (3.19)$$

กล่าวคือสมการที่ได้นี้คือความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากพูดเป็นเงียบ ส่วนความน่าจะเป็นในช่วงเงียบที่มีระยะเวลาเฉลี่ย  $t_2$  วินาที จะสิ้นสุดในช่วงความกว้างของไทม์สล็อต  $\tau$  วินาทีคือ

$$\sigma = 1 - \exp(-\tau/t_2) \quad (3.20)$$

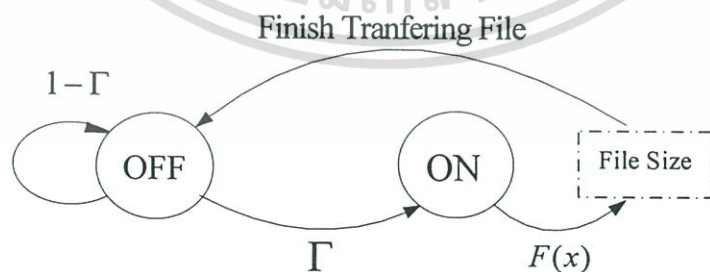
ซึ่งสมการดังกล่าวนี้คือความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากเงียบเป็นพูด

### 3.4 ทราฟฟิกข้อมูล

กระบวนการปัวซอง และกระบวนการปัวซองที่รวมกับมาคอฟ (Markov Modulated Poisson Process; MMPP) ได้ถูกนำมาใช้จำลองทราฟฟิกข้อมูลแบบแพกเกจมาแล้วในการวิจัยก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองเหล่านี้ก็ไม่สามารถรองรับคุณลักษณะสำคัญบางประการของทราฟฟิกข้อมูลแบบแพกเกจได้ ตัวอย่างเช่น ความเวลาในการ ON/OFF มีการกระจายแบบ heavy-tail ซึ่งไม่แสดงคุณสมบัติไร้ความจำ (Memoryless) ของการกระจายแบบเอกโปเนนเชียล

การกระจายแบบ Heavy-tail ของคาบเวลา ON/OFF ก่อให้เกิดพฤติกรรมแบบเสมือนตัวเอง (Self-similar) ของทราฟฟิกที่มารวมกัน ความเสมือนตัวเองทำให้มีบทความทางด้านโครงข่ายข้อมูลแบบแพกเกจมากมาย ในการที่จะทำนายรูปแบบการเข้ามาของทราฟฟิก และจัดหาทรัพยากรเครือข่ายอย่างถูกต้องจะต้องจำลองทราฟฟิกที่รองรับคุณลักษณะของทราฟฟิกข้อมูลแพกเกจด้วย

เรากำหนดให้การเข้ามาใช้งานเป็นกระบวนการปัวซองและระยะเวลาในการใช้งานมีการกระจายแบบเอกโปเนนเชียล



รูปที่ 3.4 รูปแบบจำลองสถานะของการส่งผ่านข้อมูล

รูปแบบจำลองสถานะของการส่งผ่านข้อมูลสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบสลับไปมา ระหว่าง ON กับ OFF คาบเวลา ON แสดงถึงเวลาที่มีการส่งผ่านไฟล์ ส่วนคาบเวลา OFF คือช่วงที่ไม่มีมีการส่งผ่านไฟล์ ช่วงเวลา ON คือฟังก์ชันของขนาดไฟล์และแบนวิธที่มีเหลืออยู่ ให้  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบ iid (Independent and identically distributed) ซึ่งบอกถึงขนาดของไฟล์ ขนาดไฟล์นั้นเป็นไปตามการกระจายแบบพารโอด (Pareto distribution) ด้วยฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นดังนี้

$$F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad (3.21)$$

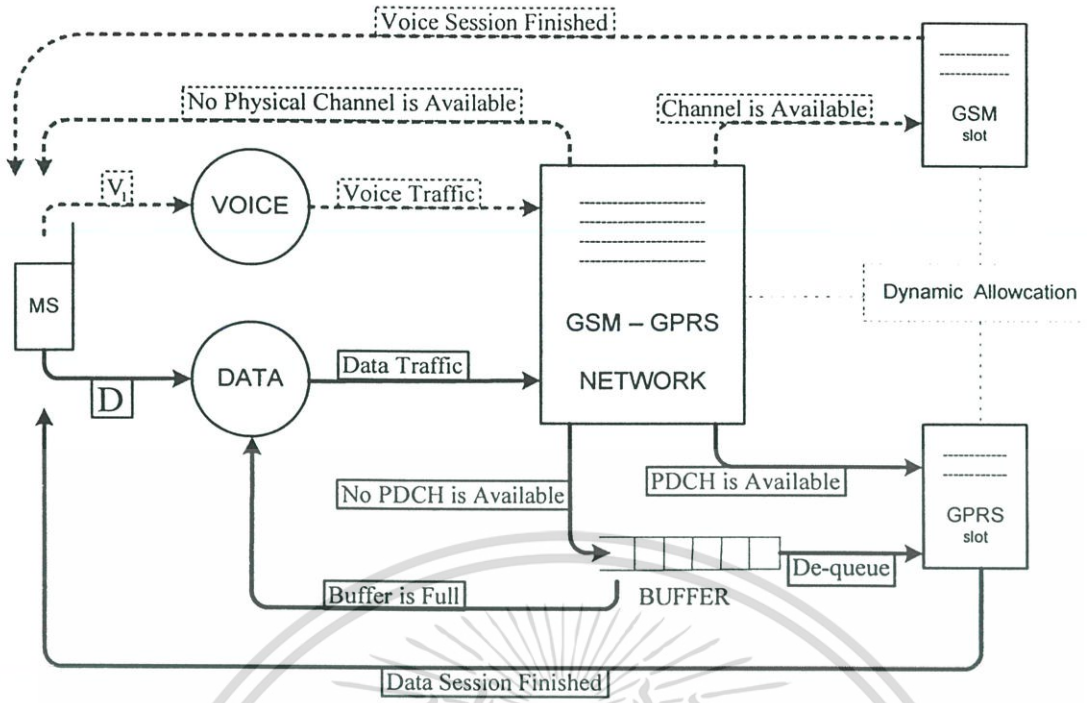
โดยที่ขนาดของไฟล์ต่ำสุดคือ  $k = 3000$  ไบท์ หรือใหญ่กว่า และ heavy-tailedness คือ  $\alpha = 1.1 - 1.5$  เราสมมติให้คาบเวลา OFF มีค่า  $t$  แปรตามการกระจายแบบพารโอด ด้วยฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นคือ

$$\Gamma(t) = 1 - \left(\frac{k}{t}\right)^\alpha \quad (3.22)$$

จากการกระจายแบบพารโอด  $k$  คือระยะเวลาต่ำสุดของคาบเวลา OFF ซึ่ง  $k$  จะสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมแบบ heavy-tail ของคาบเวลา OFF โดยในแบบจำลองของเรา  $k = 5$  วินาที และ  $\alpha = 1.1 - 1.5$

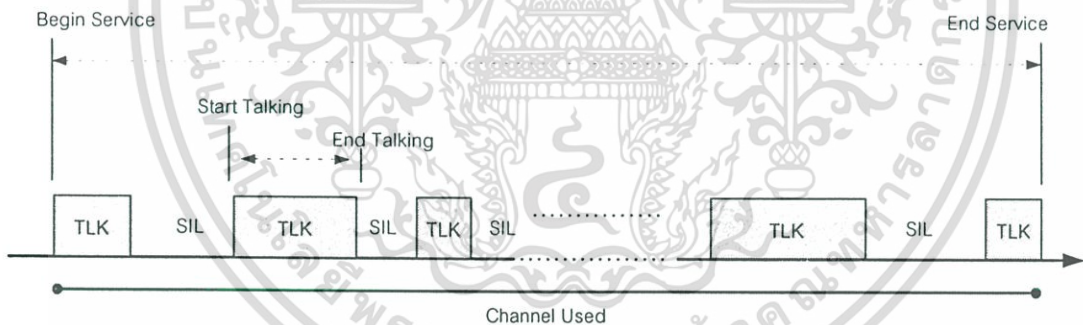
### 3.5 แบบจำลองการใช้งานโครงข่าย

แผนผังในรูปที่ 3.5 เป็นแบบจำลองหลักของทั้งระบบที่นำมาวิจัย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของเครื่องลูกข่ายกับสถานะของโครงข่าย เป็นการนำเอาแบบจำลองของทราฟฟิก (ทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูล) มาต่อเข้ากับแบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณสามารถอธิบายได้เป็นสองส่วนหลักๆ คือ



รูปที่ 3.5 รูปแบบจำลองการใช้งานโครงข่าย

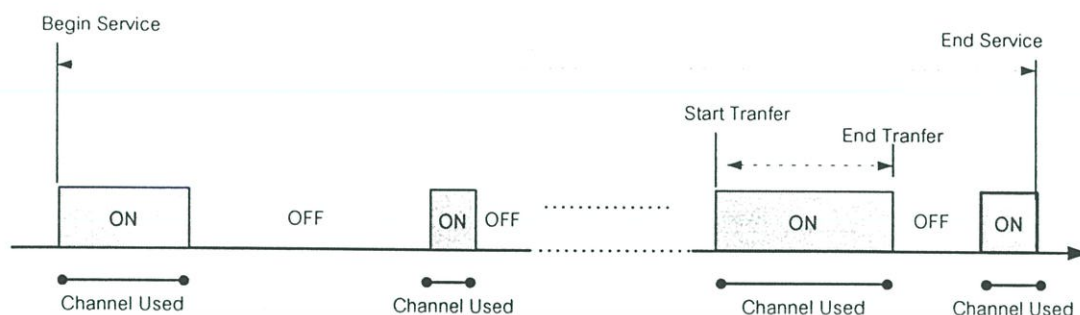
3.5.1 การเข้าใช้งานของทรานซ์มิชชั่น



รูปที่ 3.6 การเข้าใช้บริการสนทนาของผู้ใช้หนึ่งคน

เครื่องลูกข่ายที่สแตนด์บายอยู่มีโอกาสที่จะขอเข้าใช้บริการเพื่อสนทนา (Voice Service) ด้วยความน่าจะเป็น  $V_1$  ถ้าไม่มีช่องสัญญาณใดๆว่างก็จะดรอปการโทรทันที สถานะของเครื่องก็จะกลับมาเป็นสแตนด์บาย แต่ถ้ามีช่องสัญญาณว่าง โครงข่ายจะอนุญาตให้เข้าใช้ได้ทันทีและจัดสรรช่องสัญญาณหนึ่งช่องให้กับเครื่องลูกข่ายไปตลอดเวลาที่ยังใช้บริการอยู่ ในระหว่างที่ให้บริการเครื่องลูกข่ายดังกล่าวมีโอกาสที่จะวางสายด้วยความน่าจะเป็น  $V_2$  เมื่อวางสายแล้วสถานะของเครื่องจะกลับมาเป็นสแตนด์บายอีกครั้งและช่องสัญญาณได้รับจัดสรรก็จะถูกยกเลิก

### 3.5.2 การเข้าใช้งานของทรานสฟิกรข้อมูล



รูปที่ 3.7 การเข้าใช้บริการทางข้อมูลของผู้ใช้หนึ่งคน

การขอเข้าใช้บริการเพื่อส่งผ่านข้อมูล (Data Service) ของเครื่องลูกข่ายมีความน่าจะเป็น  $D$  หากช่องสัญญาณว่างและไม่มีข้อมูลรออยู่ในบัฟเฟอร์ โคร่งข่ายจะอนุญาตให้ใช้งานทันทีและจัดสรรช่องสัญญาณให้จนกว่าจะส่งข้อมูลชิ้นนั้นหมด หากช่องสัญญาณไม่ว่างแต่บัฟเฟอร์ยังไม่เต็ม ข้อมูลดังกล่าวจะเข้ามารออยู่ในบัฟเฟอร์ก่อน เมื่อถึงคิวก็จะได้รับช่องสัญญาณ แต่ในกรณีที่บัฟเฟอร์เต็ม ข้อมูลชิ้นนั้นจะถูกครอบออกไป เครื่องลูกข่ายจะพยายามขอส่งข้อมูลอีกเรื่อยๆ จนกว่าบัฟเฟอร์จะว่าง หรือจนกว่าจะเลิกใช้บริการ

เมื่อเสร็จสิ้นการส่งข้อมูลชิ้นหนึ่งๆแล้ว โคร่งข่ายจะยกเลิกการจัดสรรช่องสัญญาณนั้น แม้ว่าจะยังไม่เสร็จสิ้นการบริการก็ตาม เพื่อให้เครื่องลูกข่ายอื่นๆสามารถใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลได้ หากต้องการส่งผ่านข้อมูลอีกครั้งก็ต้องร้องขอช่องสัญญาณใหม่ (ไม่จำเป็นต้องเป็นช่องเดิม)

### 3.6 โพลีชาร์ต ของโปรแกรมจำลอง

ในโพลีชาร์ตแรก การทำงานคร่าวๆของโพลีชาร์ตนี้จะเริ่มจากการให้บริการทรานสฟิกรที่อยู่ในบัฟเฟอร์ก่อน จากนั้นจึงเข้าสู่โพลีชาร์ตย่อย "01" ซึ่งทำหน้าที่สุ่มสถานะของเครื่องลูกข่ายแล้ววนลูปเข้าไปเรื่อยๆ โดยจำนวนรอบการวนลูปจะสัมพันธ์กับระยะเวลาในการจำลองที่เรากำหนดไว้

โพลีชาร์ต "01" จะเป็นการสุ่มว่าสถานะของเครื่องลูกข่ายจะเปลี่ยนไปจากเดิมหรือไม่ ซึ่งจะสัมพันธ์กับแผนผังการเปลี่ยนสถานะในตอนต้นของบทนี้ โดยจะมีการวนลูปจนครบตามจำนวนของเครื่องลูกข่าย ภายในโพลีชาร์ตนี้มีโพลีชาร์ตย่อย 3 อันคือ "A", "B" และ "C" ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น "A", "B" และ "C" ตามลำดับ

โหมดชาร์ต "A" นี้จะทำงานเมื่อสถานะปัจจุบันของเครื่องเป็น Standby เริ่มแรกจะดูก่อนว่าสถานะต่อไปของเครื่องลูกข่ายจะยังคงเป็น Standby อยู่หรือไม่ ถ้ายังเป็น Standby อยู่ ก็จะสุ่มสถานะใหม่และจบการทำงานในโหมดชาร์ตนี้เพื่อรอตรวจสอบในรอบต่อไป แต่ถ้าสถานะถัดไปไม่เป็น Standby แล้ว ก็จะมีโหมดชาร์ตย่อย "02" หรือ "03" เข้ามาทำหน้าที่ในกรณีที่สถานะต่อไปเป็น Voice และ Data ตามลำดับ

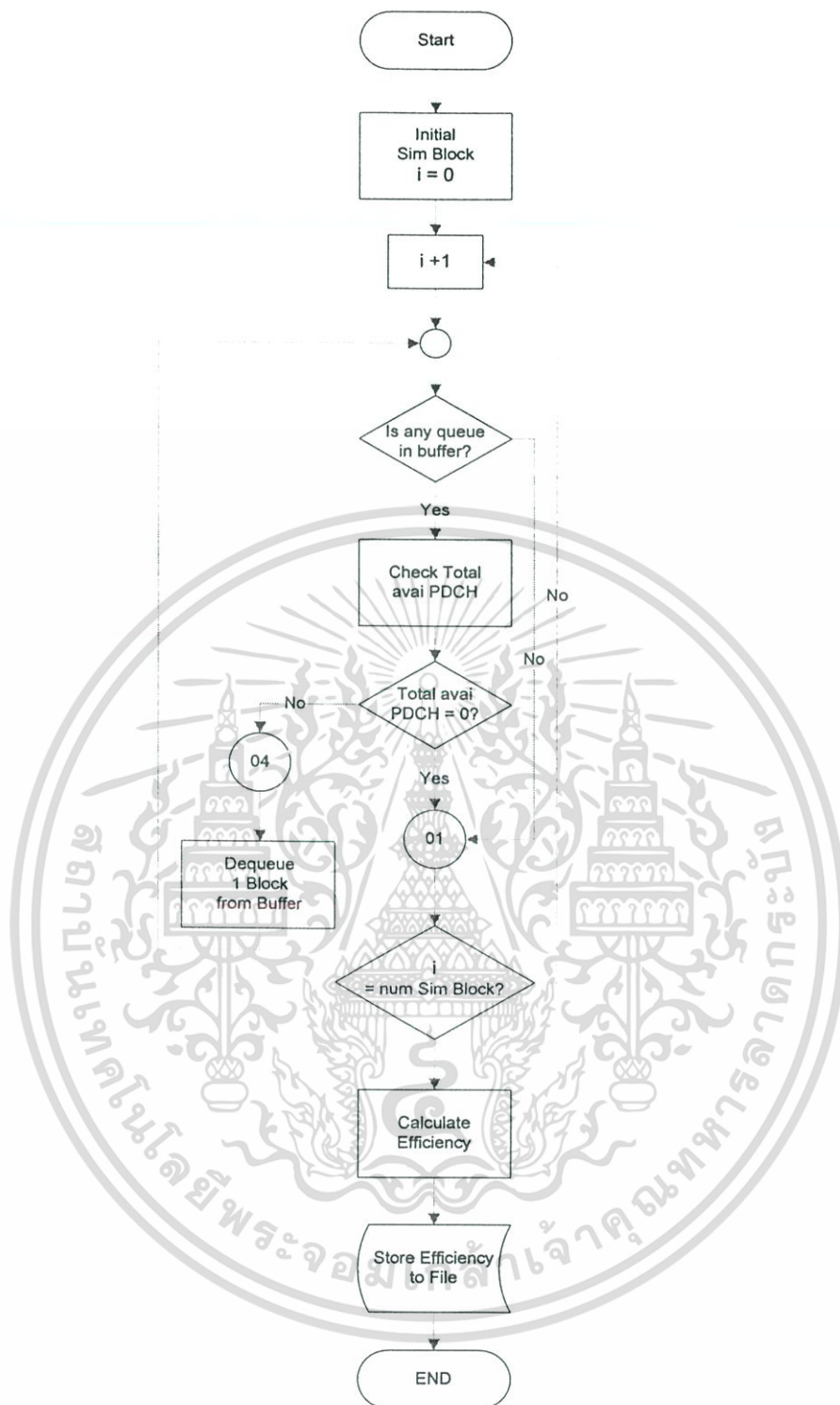
โหมดชาร์ต "B" จะทำงานเมื่อสถานะปัจจุบันของเครื่องเป็น Voice โดยเบื้องต้นจะตรวจสอบดูว่าสถานะเป็น Silence หรือ Talk ซึ่งไม่ว่าจะเป็นอะไรก็จะมีขั้นตอนคล้ายกันคือ สุ่มและตรวจสอบสถานะถัดไป จากนั้นจึงเปลี่ยนสถานะ (หากสถานะไม่เหมือนเดิม) และถ้าสถานะเปลี่ยนเป็น Standby ก็จะทำกรยกเลิกช่องสัญญาณที่ใช้อยู่

โหมดชาร์ต "C" จะใช้งานเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Data การทำงานจะเริ่มจากตรวจสอบดูว่าสถานะเป็น ON หรือ OFF จากนั้นจึงดูว่าผู้ใช้เลิกใช้งานหรือไม่ ถ้าเลิกใช้ก็จะกลับไปสู่สถานะ Standby จากนั้นจึงดูว่าช่วง ON หรือ OFF สิ้นสุดหรือยัง ถ้าสิ้นสุดแล้วก็จะเปลี่ยนไปสู่อีกสถานะหนึ่ง และทำการตรวจสอบช่องสัญญาณและจัดสรรให้ หากช่องสัญญาณเต็มก็จะส่งไปยังบัฟเฟอร์ แต่ต้องมีบัฟเฟอร์ว่างด้วย โหมดชาร์ตย่อย "03" ทำหน้าที่ค้นหาและกำหนดจำนวน PDCH ให้กับเครื่องลูกข่าย

โหมดชาร์ต "02" ใช้เพื่อหา Time slot ให้กับเครื่องลูกข่าย โหมดชาร์ตนี้ใช้ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายเข้ามาขอใช้บริการ Voice Service

โหมดชาร์ต "03" ใช้เพื่อหาและกำหนดจำนวน PDCH ที่จะจัดสรรให้กับเครื่องลูกข่าย หากโครงข่ายมี PDCH เหลืออยู่น้อยกว่า 25% จะจัดสรร PDCH ให้กับเครื่องลูกข่ายได้เพียงเครื่องละ 1 ช่อง เท่านั้น แต่ถ้ามีมากกว่า 25% จะสามารถจัดสรร PDCH ได้สูงสุดที่ 8 ช่อง ในกรณีที่ไม่มี PDCH เหลืออยู่เลย ทราฟฟิกจะถูกส่งไปต่อคิวในบัฟเฟอร์

โหมดชาร์ต "04" ใช้เพื่อหา PDCH ให้กับทราฟฟิกที่รออยู่ในบัฟเฟอร์เท่านั้น โดยจัดสรร PDCH ให้กับเครื่องลูกข่ายเพียงเครื่องละ 1 ช่อง



avai = Available

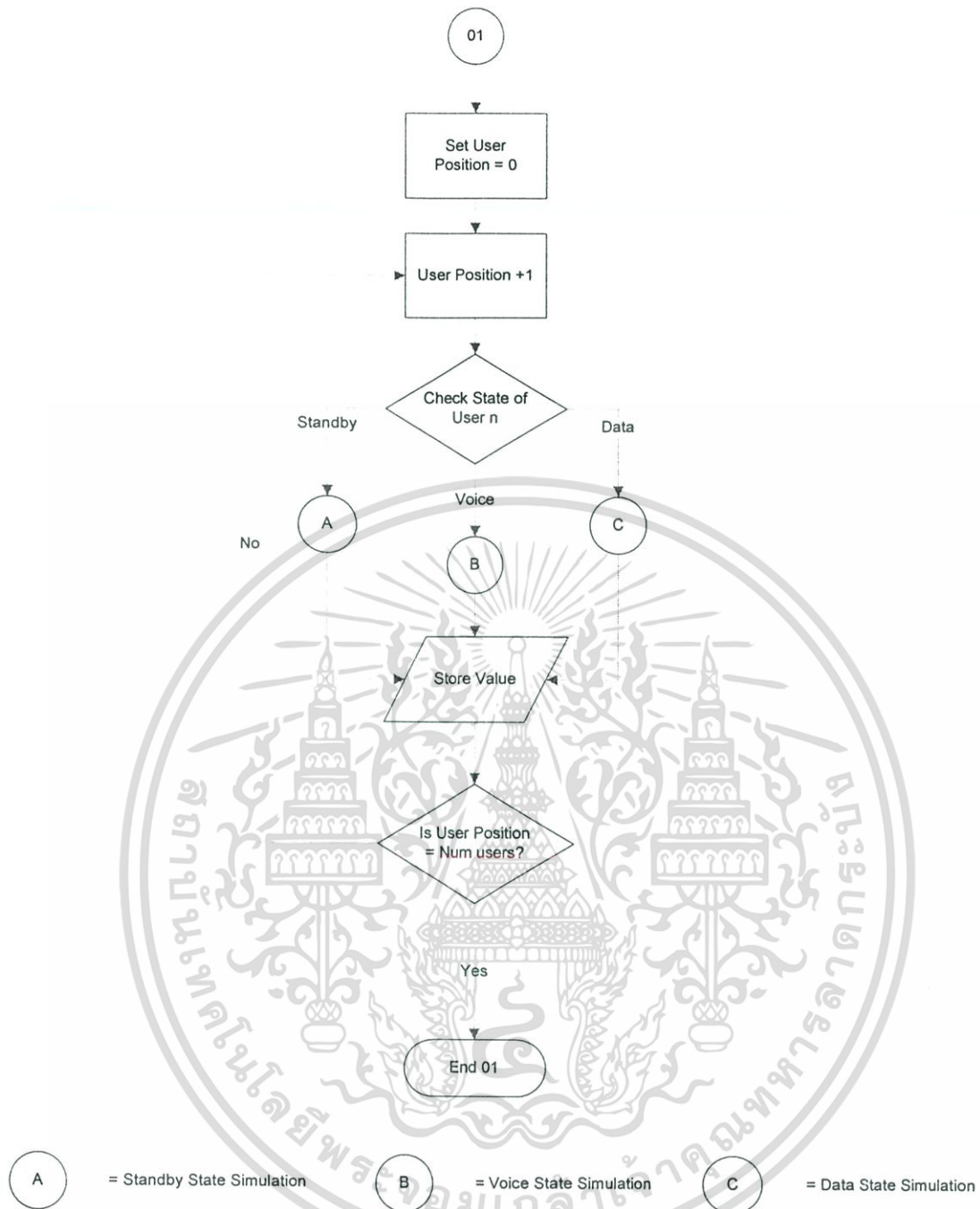
num Sim Block = number of blocks that will be simulated , it's mean observe duration.

01 = State Simulation

04 = find any PDCH

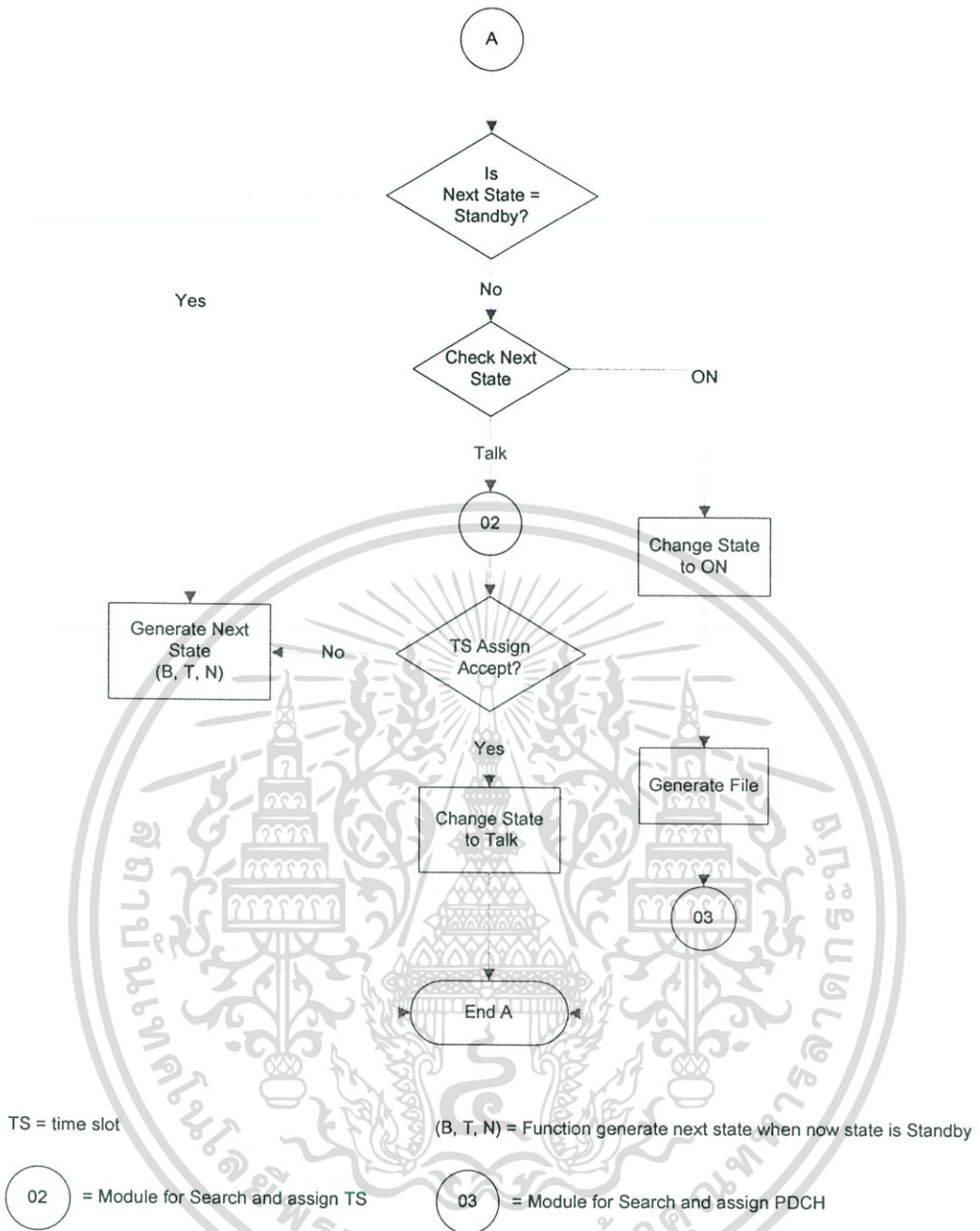
### รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ต การวนลูปของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



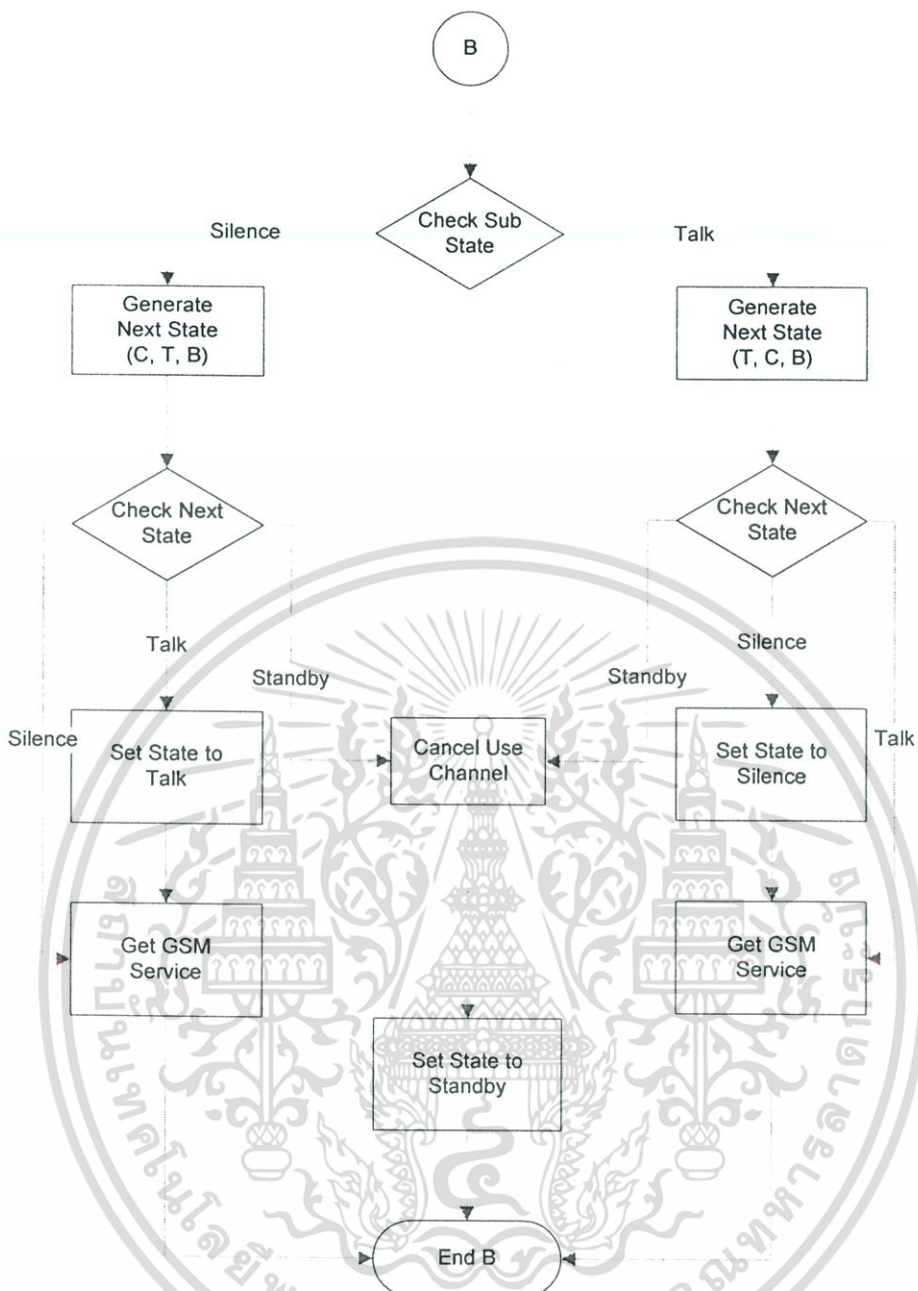
รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ต การวนลูปเพื่อเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Standby

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

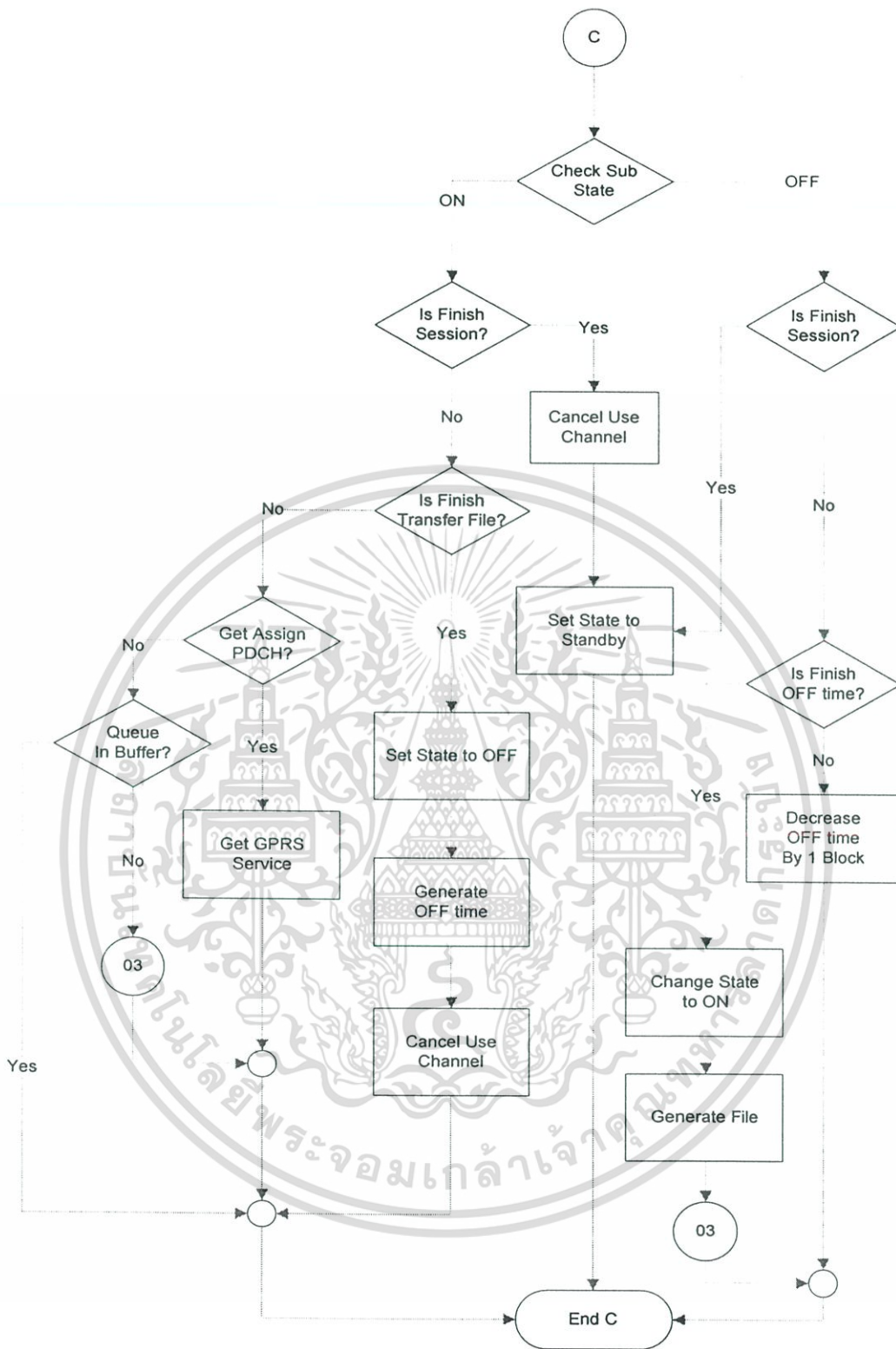


(C, T, B) = Function generate next state when now state is Silence

(T, C, B) = Function generate next state when now state is Talk

รูปที่ 3.11 โฟลว์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Voice

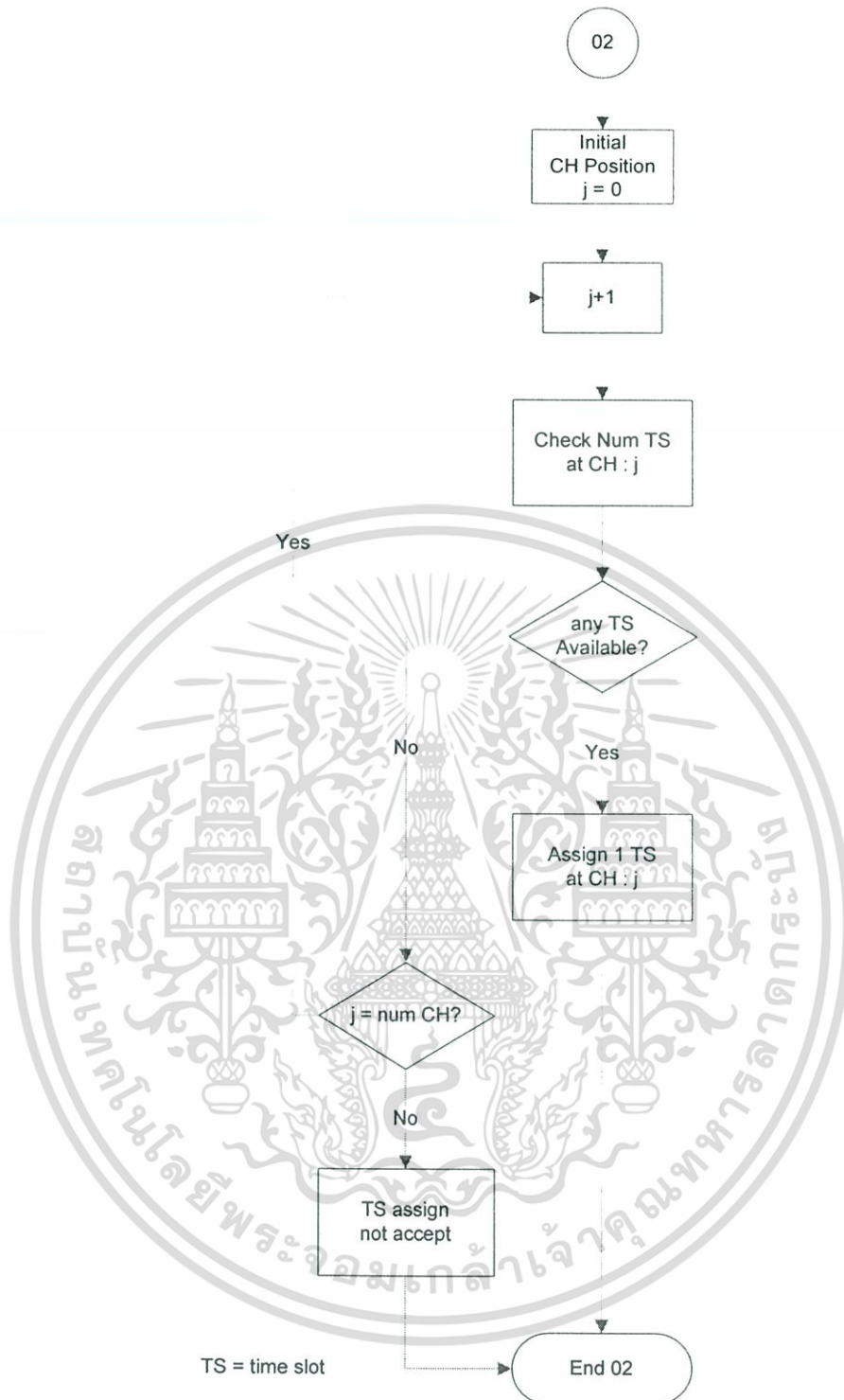
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



03 = Module for Search and assign PDCH

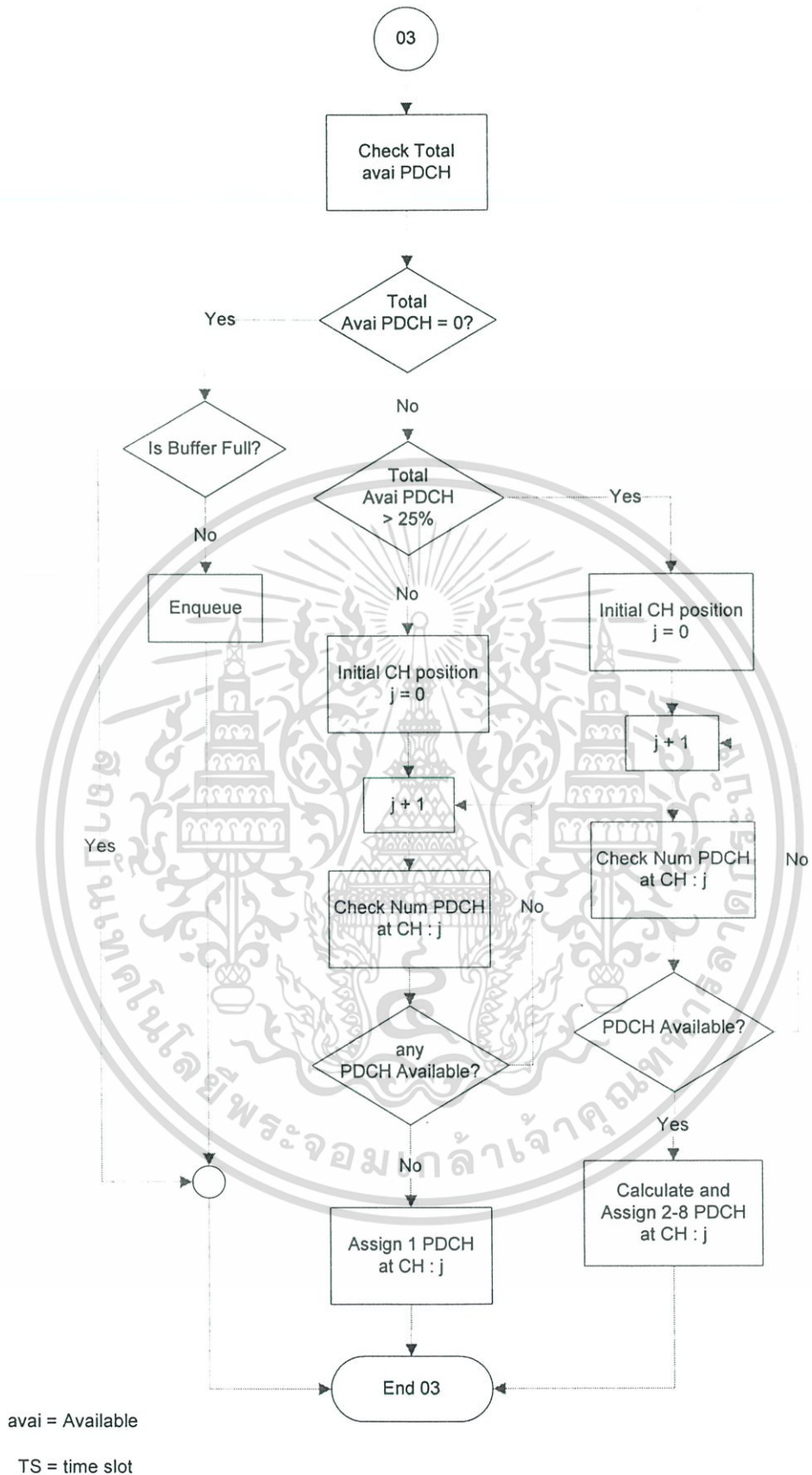
รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ต การเปลี่ยนสถานะเมื่อสถานะปัจจุบันเป็น Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



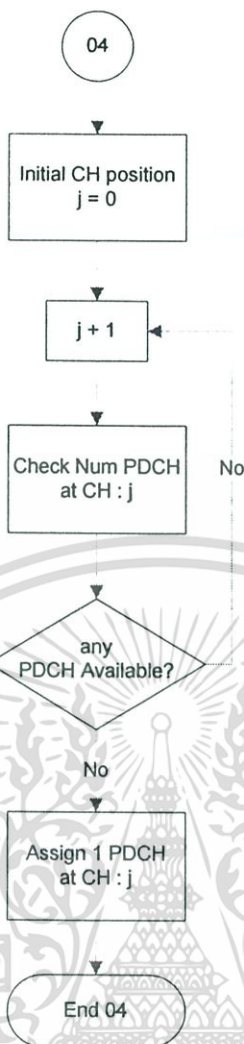
รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ต ในการหาและกำหนดจำนวนไทม์สล็อต ให้กับเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ต ในการหาและกำหนดจำนวนไทม์สล็อต ให้กับเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ต การหา PDCH ให้กับทรานฟิสิกที่รออยู่ในบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในการวิเคราะห์นี้ เราได้แสดงค่าประสิทธิภาพในหลายๆด้านของโครงข่าย GPRS บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการกระจายแบบเอกโปเนนเชียลและโทรศัพท์ข้อมูลแบบพาเรโต้ โดยมีจำนวนผู้ใช้, จำนวนช่องสัญญาณ และขนาดของบัฟเฟอร์เป็นตัวแปร เราได้พิจารณาเปรียบเทียบโทรศัพท์ 3 แบบ คือ โทรศัพท์เสียงล้วน, โทรศัพท์ข้อมูลล้วน และโทรศัพท์ผสมที่มีสัดส่วนระหว่างเสียงกับข้อมูลอย่างละ 50% ตารางที่ 1, 2 และ 3 แสดงพารามิเตอร์ของเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง

การวัดค่าสมรรถนะในการจำลองนี้ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยการเข้าถึงเฉลี่ย, อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของโทรศัพท์เสียง, อัตราการครอปของแพคเกจ, ค่าทรูพุทเสียง, ค่าทรูพุทข้อมูล, ทรูพุทรวม, ค่าการใช้ประโยชน์ และ ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล

#### 4.1 พารามิเตอร์ของโครงข่าย

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของโครงข่าย

จำนวนช่องสัญญาณ	4, 8, 12, 16
การรองรับโทรศัพท์เสียง	GSM
การรองรับโทรศัพท์ข้อมูล	GPRS
PDCH สูงสุด/ 1 ผู้ใช้	8
การเข้ารหัส	CS-3
ขนาดบัฟเฟอร์	2 MB

## 4.2 พารามิเตอร์ของกราฟฟิก

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกเสียงล้วนของผู้ใช้แต่ละคน

อัตราการเข้ามาของกราฟฟิกเสียง	กระจายแบบปัวซอง มีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย 0.666 ต่อชั่วโมง
ระยะเวลาการสนทนา	กระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 5 นาที
ช่วงเวลาเปล่งเสียง	กระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 1 วินาที
ช่วงเวลาเงียบ	กระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 1.35 วินาที

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกข้อมูลล้วนของผู้ใช้แต่ละคน

อัตราการเข้ามาของกราฟฟิกข้อมูล	กระจายแบบปัวซอง มีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย 0.666 ต่อชั่วโมง
ระยะเวลาสื่อสารข้อมูล	กระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 15 นาที
ขนาดของไฟล์ (ON)	พारेโต โดยมี $k = 3000$ , $\alpha = 1.15$
ช่วงเวลา Idle (OFF)	พारेโต โดยมี $k = 5$ วินาที, $\alpha = 1.25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ของกราฟฟิกผสมของผู้ใช้แต่ละคน

อัตราการเข้ามาของ กราฟฟิกเสียง	กระจายแบบปัวซอง มีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย 0.333 ต่อ ชั่วโมง
อัตราการเข้ามาของ กราฟฟิกข้อมูล	กระจายแบบปัวซอง มีอัตราการเข้ามาเฉลี่ย 0.333 ต่อ ชั่วโมง
ระยะเวลาการสนทนา	กระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 5 นาที
ระยะเวลาสื่อสารข้อมูล	กระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 15 นาที
ช่วงเวลาเปล่งเสียง	กระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 1 วินาที
ช่วงเวลาเงียบ	กระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ย 1.35 วินาที
ขนาดของไฟล์ (ON)	พारेโต โดยมี $k = 2000$ byte , $\alpha = 1.2$
ช่วงเวลา Idle (OFF)	พारेโต โดยมี $k = 5$ วินาที , $\alpha = 1.4$

ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นความล่าช้าจากสองสาเหตุคือ การรอคอยในบัฟเฟอร์ และการครอบเนื่องจากแพคเกจหลุดออกจากบัฟเฟอร์ทำให้ต้องส่งซ้ำ

เนื่องจากการจำลองนี้เราให้กราฟฟิกเสียงยกเลิกการเชื่อมต่อทันที ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่าง จึงทำให้กราฟฟิกเสียง ไม่มีคิเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยในที่นี้จึงมีแต่กราฟฟิกข้อมูลเท่านั้น ซึ่งหาได้จากเวลาที่รอคอยทั้งหมดหารด้วยจำนวนครั้งในการเข้าถึงของกราฟฟิกข้อมูล ดังที่แสดงไว้ในสมการข้างล่างนี้

$$\text{Average access delay} = \frac{\text{Total waiting time}}{\text{Numbers of data service access}} \quad (4.1)$$

เมื่อมีกราฟฟิกเสียงเข้ามาในโครงข่าย แต่ไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ การเชื่อมต่อจะถูกยกเลิกไปทันที จึงเกิดเป็นอัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของกราฟฟิกเสียง ซึ่งในระบบจำลองที่มีกราฟฟิกข้อมูลอย่างเดียวจะไม่มีค่านี

อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของกราฟฟิกเสียงหาได้จาก จำนวนครั้งที่ยกเลิกการติดต่อของกราฟฟิกเสียงหารด้วยจำนวนครั้งที่มีการติดต่อ ตามสมการข้างล่างนี้

$$\text{Voice connection fail} = \frac{\text{Numbers of cancel voice connection}}{\text{Numbers of all voice connection}} \quad (4.2)$$

เมื่อกราฟฟิกข้อมูลไม่มีแพคเกจที่จะส่งแล้ว ช่องสัญญาณที่เคยใช้อยู่ก็จะถูกยกเลิก แม้ว่าจะไม่วางสายก็ตาม เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้อื่นเข้ามาใช้งาน และถ้าหากมีแพคเกจใหม่ที่จะส่ง ก็จะร้องขอช่องสัญญาณใหม่ แต่ถ้าช่องสัญญาณเต็ม ก็จะส่งไปยังบัฟเฟอร์ ถ้าบัฟเฟอร์เต็มอีก แพคเกจนั้นก็จะครอบ และเครื่องลูกข่ายนั้นก็จะร้องขอช่องสัญญาณในบล็อกลัดไป อัตราการครอบของแพคเกจหาได้จาก จำนวนแพคเกจที่ถูกครอบหารด้วยจำนวนแพคเกจทั้งหมดที่ต้องการส่ง

$$\text{Packet drop rate} = \frac{\text{Numbers of dropped packet}}{\text{Numbers of all packet}} \quad (4.3)$$

ค่าทรูพุทในการจำลองนี้แบ่งออกเป็น ทรูพุทของกราฟฟิกเสียงและทรูพุทของกราฟฟิกข้อมูล โดยทั่วไปแล้วทรูพุทของข้อมูลคือ อัตราการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายในหนึ่งวินาที (byte/sec) แต่ในกราฟฟิกเสียงไม่ได้รับ GPRS ทำให้เปรียบเทียบกับกราฟฟิกข้อมูลโดยตรงไม่ได้ เราจึงปรับให้ใช้หน่วยเดียวกัน คือ ไทม์สล็อต ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่สุดของการให้บริการทั้งเสียงและข้อมูล (PDCH ก็ประกอบด้วยไทม์สล็อต) ดังนั้นค่าทรูพุทจึงเท่ากับ ไทม์สล็อตที่มีการใช้งานของทุกบล็อกรวมกันหารด้วยระยะเวลาในการจำลอง (วินาที) สมการด้านล่างนี้เป็นค่าทรูพุทของกราฟฟิกเสียง โดยที่  $N_{TS}$  คือจำนวนไทม์สล็อตที่ให้บริการเสียงในขณะพูด (Talk) ของทุกบล็อกรวมกัน

$$\text{Voice Throughput} = \frac{N_{TS}}{\text{Simulation time}} \quad (4.4)$$

สมการด้านล่างนี้เป็นค่าทรูพุทของกราฟฟิกเสียง โดยที่  $N_{PDCH}$  คือจำนวนไทม์สล็อตที่ให้บริการข้อมูลของทุกบล็อกรวมกัน

$$\text{Data Throughput} = \frac{N_{PDCH}}{\text{Simulation time}} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทรูพุทรวมหาได้จากโทม์สล็อตทุกสล็อตที่มีการใช้งาน หาคด้วยเวลาที่ใช้ในการจำลอง เขียนได้ดังสมการ

$$\text{Combine Throughput} = \frac{N_{\text{PDCH}} + N_{\text{TS}}}{\text{Simulation time}} \quad (4.6)$$

บนการจำลองที่เป็นกราฟฟิกเสียงล้วนหรือกราฟฟิกข้อมูลล้วน เราจะได้ค่าทรูพุทเพียงอันเดียวคือ ทรูพุทเสียงหรือทรูพุทข้อมูล ตามลำดับ

ค่าการใช้ประโยชน์ เป็นสัดส่วนของทรัพยากรระบบที่ถูกใช้งาน ต่อปริมาณทรัพยากรทั้งหมด ดังนั้นสำหรับการจำลองนี้ ค่าการใช้ประโยชน์คือ โทม์สล็อตที่ได้ใช้งานของทุกๆ สล็อต หาคด้วยโทม์สล็อตทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่เราจำลอง ตามที่แสดงสมการด้านล่างนี้

$$\text{Utilization} = \frac{N_{\text{PDCH}} + N_{\text{TS}}}{\text{Total time slots}} \quad (4.7)$$

ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล ในที่นี้หมายถึงความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่ายหนึ่งเครื่อง ซึ่งหาได้จากจำนวนแพคเกจที่มีการส่ง หาคด้วยจำนวนครั้งที่มีการให้บริการข้อมูล

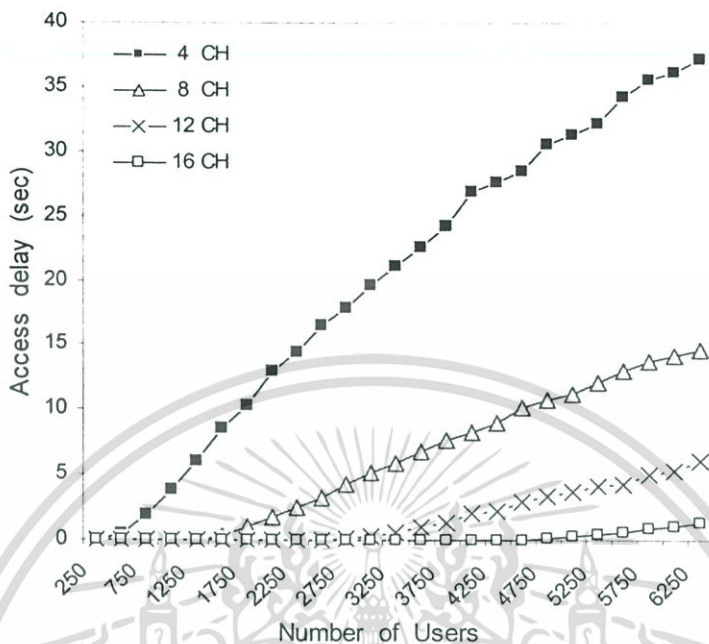
$$\text{Average transmission speed} = \frac{\text{Data packets sent}}{\text{Numbers of data service}} \quad (4.8)$$

### 4.3 ผลการจำลองหาค่าเฉลี่ยในการเข้าถึงเฉลี่ย

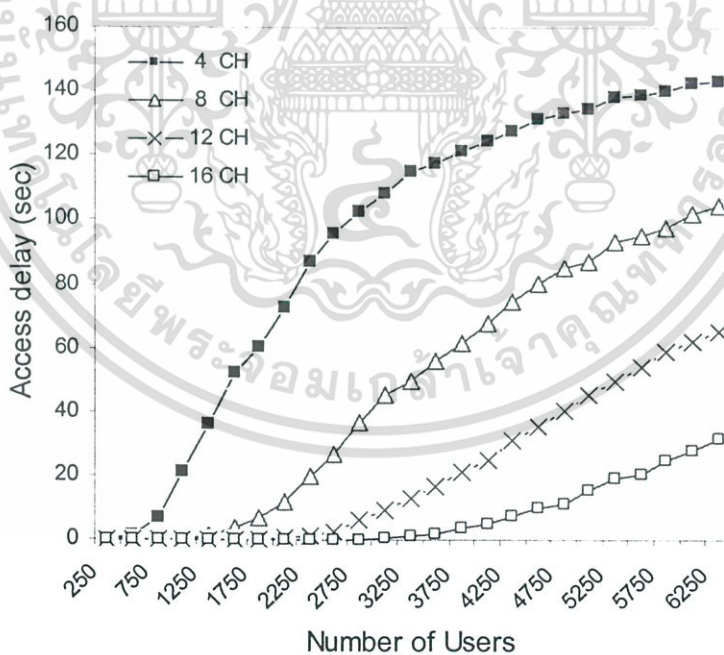
จากผลการจำลองในรูปที่ 4.1 (กราฟฟิกข้อมูลล้วน) และ 4.2 (กราฟฟิกผสม) เมื่อกราฟฟิกที่เข้ามาเป็นกราฟฟิกข้อมูลทั้งหมด การให้บริการก็จะจะเป็นแบบ GPRS ทั้งหมดด้วย โครงข่ายจะมีการแบ่ง PDCH อย่างมีประสิทธิภาพตามปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่งผ่าน เมื่อช่วง ON สิ้นสุด ก็จะยกเลิก PDCH ที่เคยใช้อยู่และเปิดโอกาสให้เครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นเข้ามาใช้งาน เป็นผลให้ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยมีค่าไม่สูงมาก

ในกรณีที่กราฟฟิกที่เข้ามามีกราฟฟิกเสียงรวมอยู่ด้วย ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยจะสูงขึ้นมาก เนื่องจากการให้บริการแก่กราฟฟิกเสียงจะไม่มีกรยกเลิกโทม์สล็อตจนกว่าจะวางสาย ทำให้เครื่องลูกข่าย

อื่นๆต้องรอนาน อย่างไรก็ตามในการจำลองนี้ได้กำหนดค่าดีเลย์สูงสุดไว้ที่ 180 วินาที หากเครื่องลูกข่ายใดคอยนานเกินไป ก็จะยกเลิกการติดต่อทันที



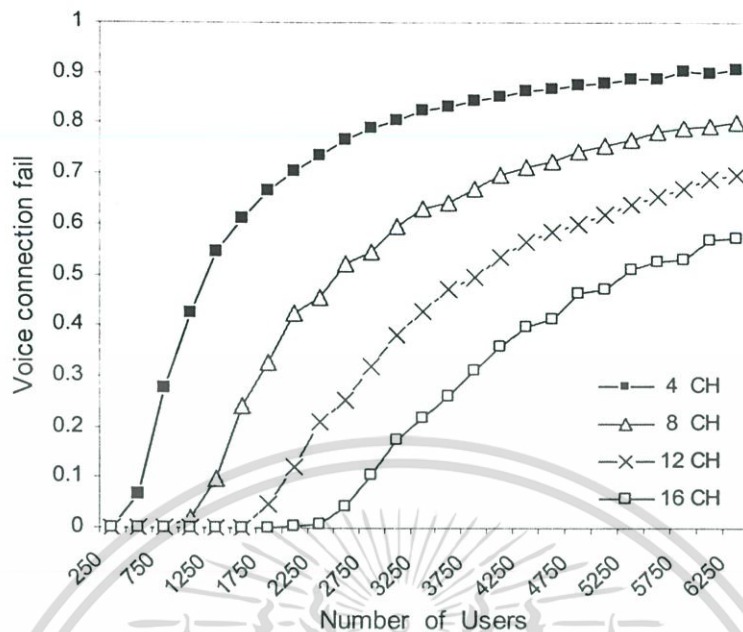
รูปที่ 4.1 ดีเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100



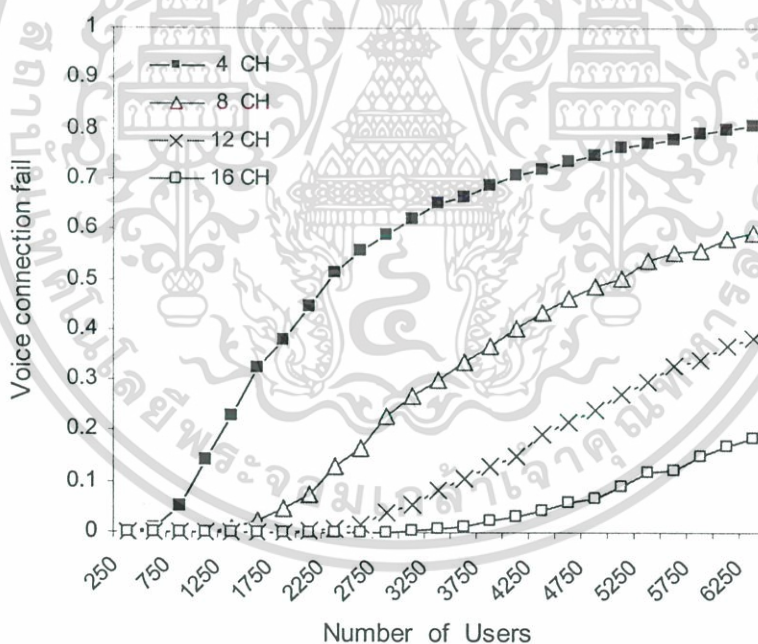
รูปที่ 4.2 ดีเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการจำลองหาค่าอัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของกราฟฟิกเสียง



รูปที่ 4.3 อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อฯ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 100 : 0



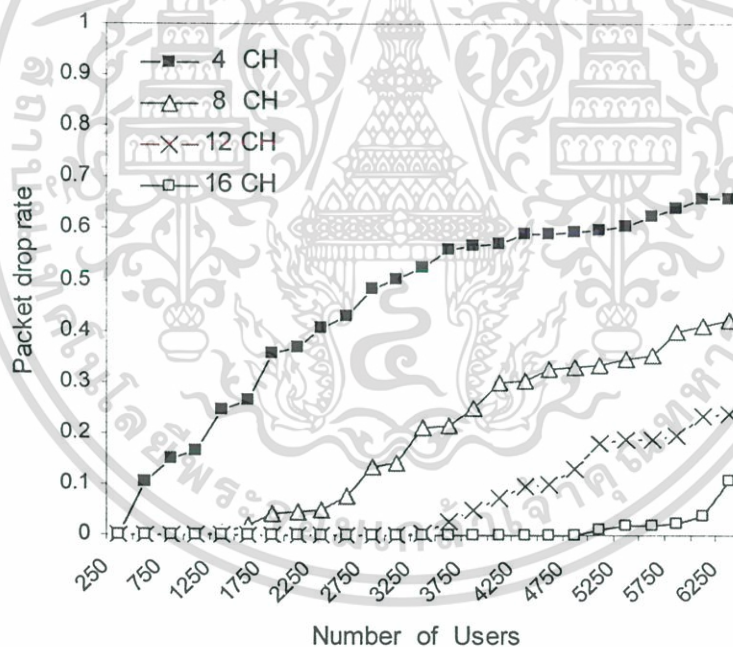
รูปที่ 4.4 อัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อฯ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

เมื่อจำนวนช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นค่าอัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อไม่เพียงต่ำกว่า แต่ยังเพิ่มขึ้นด้วยความชันที่น้อยกว่าด้วย ความล้มเหลวในการเชื่อมต่อเกิดขึ้นเมื่อช่องสัญญาณใน

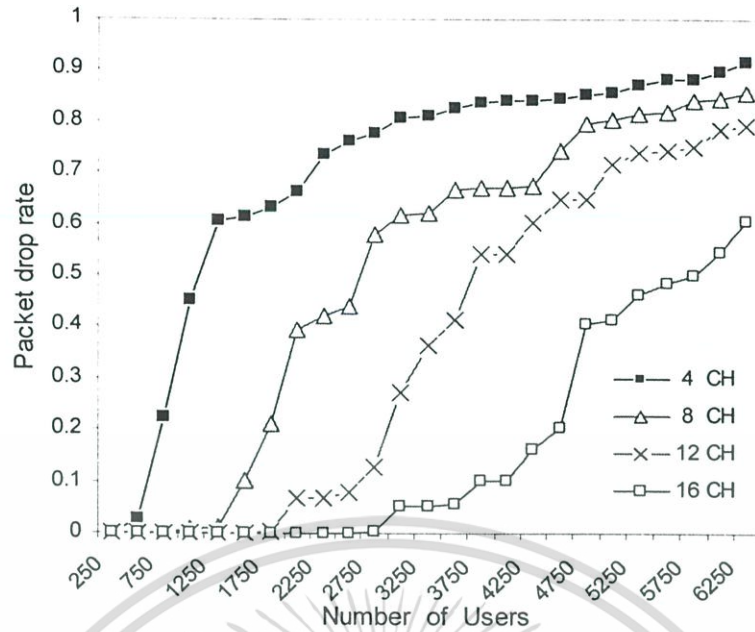
โครงข่ายเต็ม ทราฟฟิกที่เข้ามาเพิ่มจะถูกปฏิเสธการให้บริการ เมื่อเปรียบเทียบกราฟในรูปที่ 4.3 (ทราฟฟิกเสียงล้วน) และ 4.4 (ทราฟฟิกผสม) แล้ว พบว่าบนทราฟฟิกผสมมีอัตราล้มเหลวที่เพิ่มขึ้น เพราะทราฟฟิกข้อมูลมีการใช้ช่องสัญญาณเฉพาะช่วง ON ช่วยให้มีแบนวิธเหลือให้กับทราฟฟิกเสียงอย่างมาก

#### 4.5 ผลการจำลองหาค่าอัตราการครอปของแพคเกจ

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการครอปในรูปที่ 4.5 (ข้อมูลล้วน) กับรูปที่ 4.6 (ผสม) แล้ว พบว่าอัตราการครอปบนทราฟฟิกผสมในรูปที่ 4.6 เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เร็วกว่าในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นทราฟฟิกข้อมูลเพียงอย่างเดียว และถ้าเราขยับไปเทียบกับอัตราล้มเหลวในการเชื่อมต่อของทราฟฟิกเสียงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 แล้ว จะพบว่ามีความสอดคล้องกัน คือบนทราฟฟิกผสม อัตราการล้มเหลวในการเชื่อมต่อของทราฟฟิกเสียงในรูปที่ 4.4 (ทราฟฟิกเสียงล้วน) จะดีกว่าอัตราล้มเหลวในรูปที่ 4.3 (ทราฟฟิกผสม) แต่อัตราการครอปของแพคเกจข้อมูล ในรูปที่ 4.6 (ทราฟฟิกผสม) จะแย่กว่าในรูปที่ 4.5 (ทราฟฟิกข้อมูลล้วน)

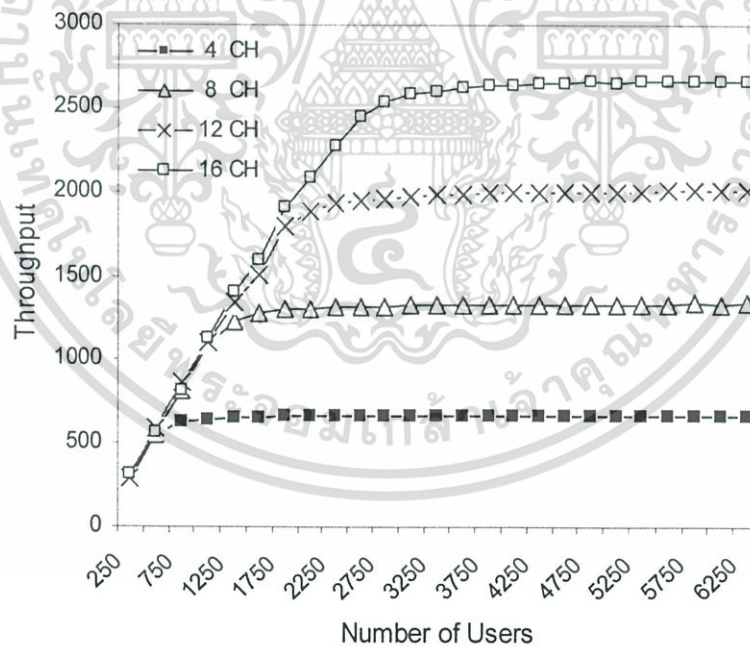


รูปที่ 4.5 อัตราการครอปของแพคเกจ เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100



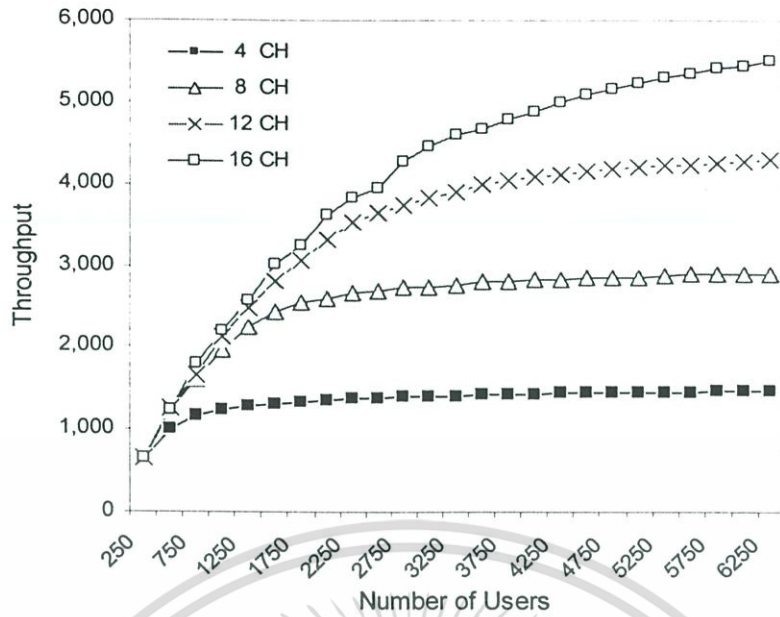
รูปที่ 4.6 อัตราการดรอปของแพคเกจ เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

#### 4.6 ผลการจำลองหาค่าทรูท



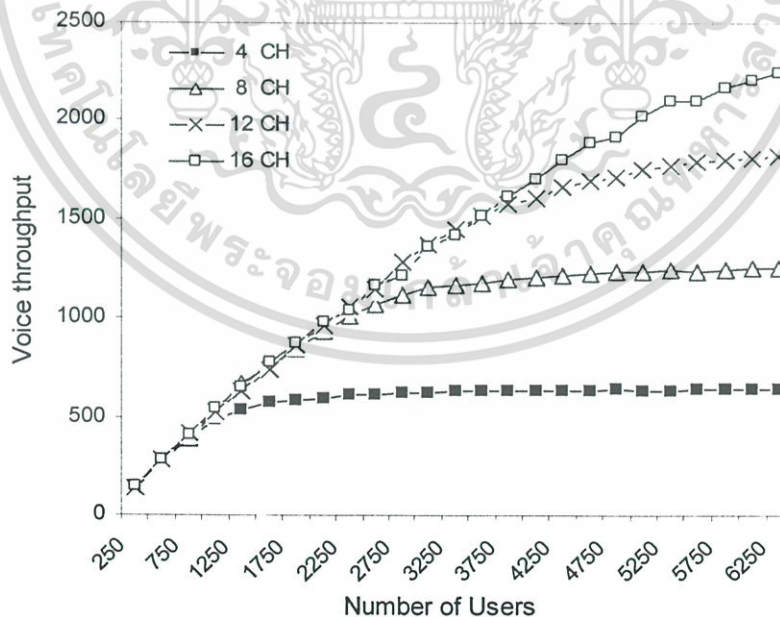
รูปที่ 4.7 ค่าทรูท เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 100 : 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



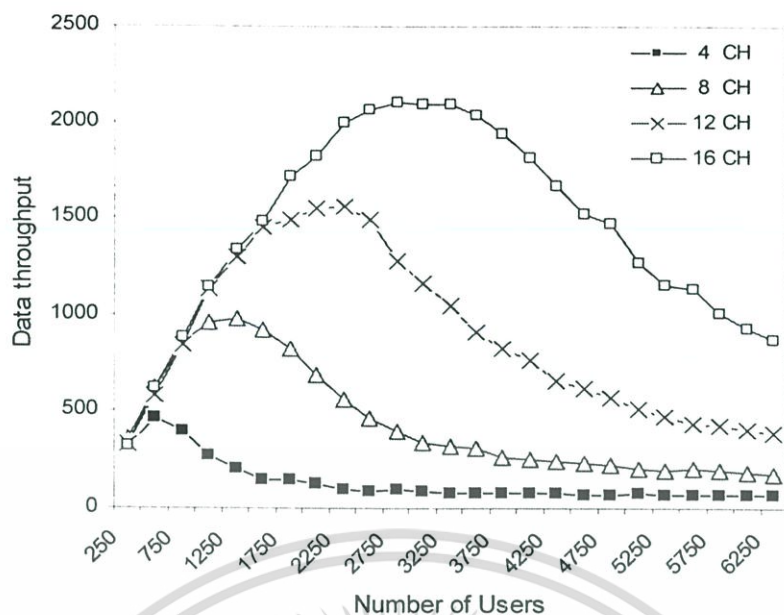
รูปที่ 4.8 ค่าทรูพุท เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100

จากการเปรียบเทียบกราฟทรูพุทของทราฟฟิกแยกในรูปที่ 4.7 (เสียงล้วน) และ 4.8 (ข้อมูลล้วน) พบว่าค่าทรูพุทของ ทราฟฟิกข้อมูลมีค่าสูงกว่าของทราฟฟิกเสียงอย่างชัดเจน เพราะทราฟฟิกระบบ GPRS ที่ใช้รองรับทราฟฟิกข้อมูล มีการจัดสรรช่องสัญญาณเท่าที่จำเป็นต้องใช้ จึงช่วยให้รองรับทราฟฟิก ได้มาก

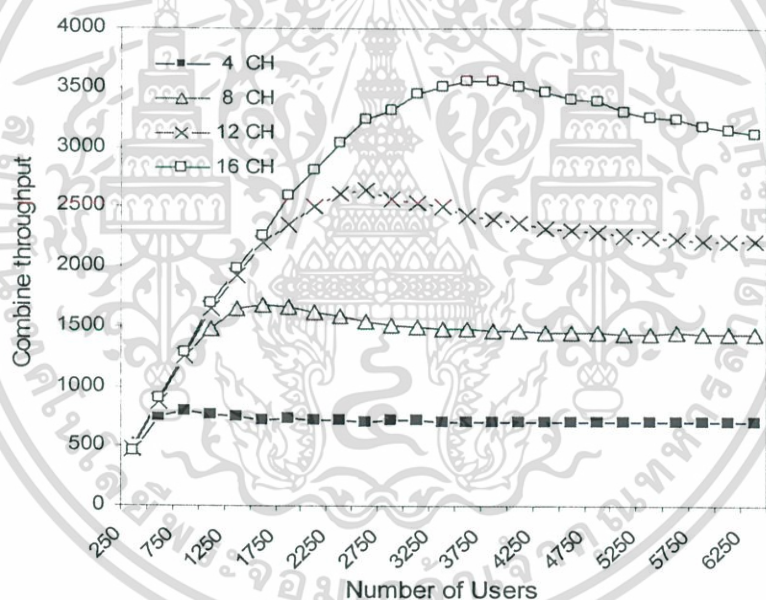


รูปที่ 4.9 ค่าทรูพุท ของทราฟฟิกเสียง เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าทราฟฟิคของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50



รูปที่ 4.11 ค่าทราฟฟิครวม เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

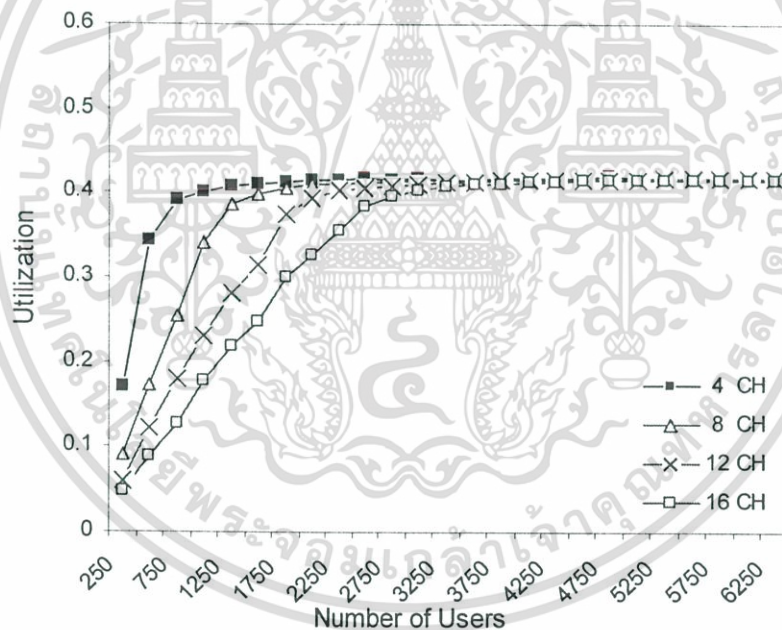
กราฟรูปที่ 4.9 และ 4.10 เป็นค่าทราฟฟิคของกราฟฟิกผสม โดยกราฟแรกเป็นทราฟฟิคของกราฟฟิกเสียงและกราฟต่อมาเป็นทราฟฟิคข้อมูล เราพบว่าค่าทราฟฟิคเสียงมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณผู้ใช้ ต่างจากกราฟทราฟฟิคข้อมูลที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งขึ้นและจากนั้นก็ค่อยๆ โนม้มลง เราสามารถอธิบายกระบวนการดังกล่าวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกปริมาณการใช้งานยังน้อยอยู่ทำให้การส่งผ่านสัญญาณเสียงและแพคเกจข้อมูลมีน้อย ค่าทรูพุทของกราฟฟิกทั้งสองจึงยังน้อย ต่อมาจึงค่อยๆเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ จากนั้นค่าทรูพุทของกราฟฟิกข้อมูลก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ทรูพุทเสียงยังคงเพิ่มขึ้นต่อไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะ เมื่อเครื่องลูกข่ายที่เป็นกราฟฟิกข้อมูลเริ่มเข้าสู่สภาวะ OFF จะเลิกใช้ช่องสัญญาณ และหากมีผู้ใช้นานาแน่น เครื่องลูกข่ายอื่นก็จะเข้าใช้งานแทนซึ่งอาจเป็นกราฟฟิกเสียงหรือข้อมูลก็ได้ ทำให้กราฟฟิกข้อมูลถูกแย่งช่องสัญญาณไปมากจนทรูพุทลดลง ในทางกลับกัน กราฟฟิกเสียงไม่มีการยกเลิกช่องสัญญาณ เมื่อผู้ใช้นานาแน่นขึ้นก็จะไปแย่งช่องสัญญาณจากกราฟฟิกข้อมูล ทำให้ทรูพุทยังคงสูงขึ้นเรื่อยๆ

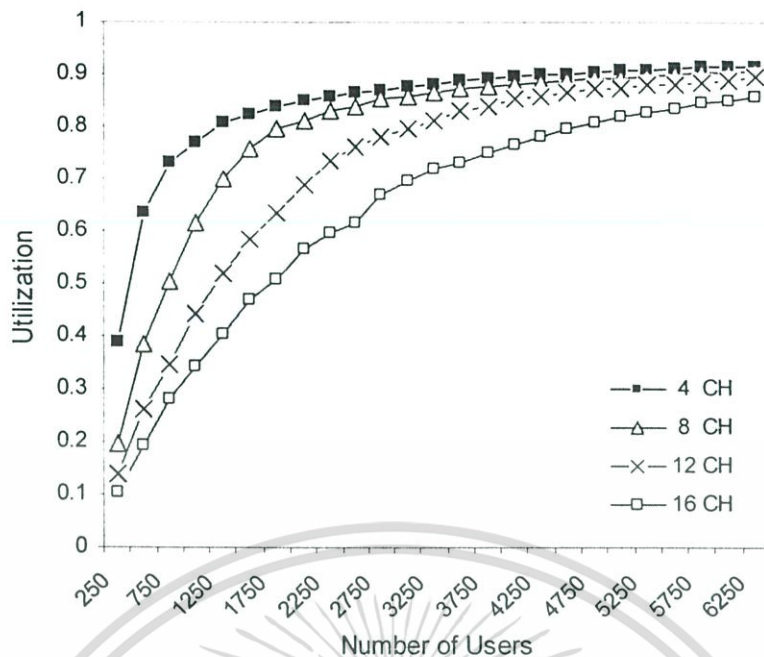
ค่าทรูพุทรวมในรูปที่ 4.11 เป็นกราฟที่สอดคล้องกับค่าทรูพุทในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ในตอนแรกค่าทรูพุทจะเพิ่มขึ้นก่อน จนกระทั่งผู้ใช้เริ่มหนาแน่น ค่าทรูพุทจึงเริ่มลดลงเนื่องจากมีกราฟฟิกเสียงเข้ามาแย่งช่องสัญญาณมากขึ้น

#### 4.7 ผลการจำลองหาค่าการใช้ประโยชน์

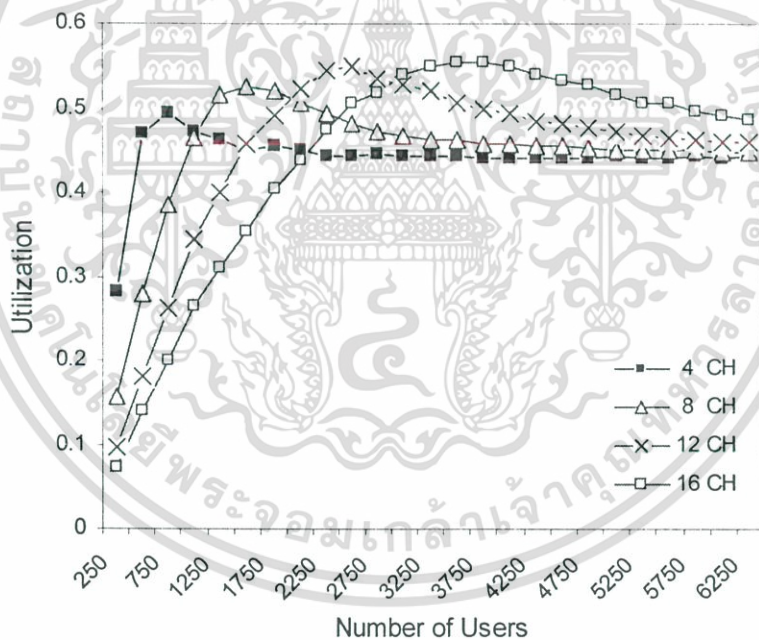


รูปที่ 4.12 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 100 : 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100



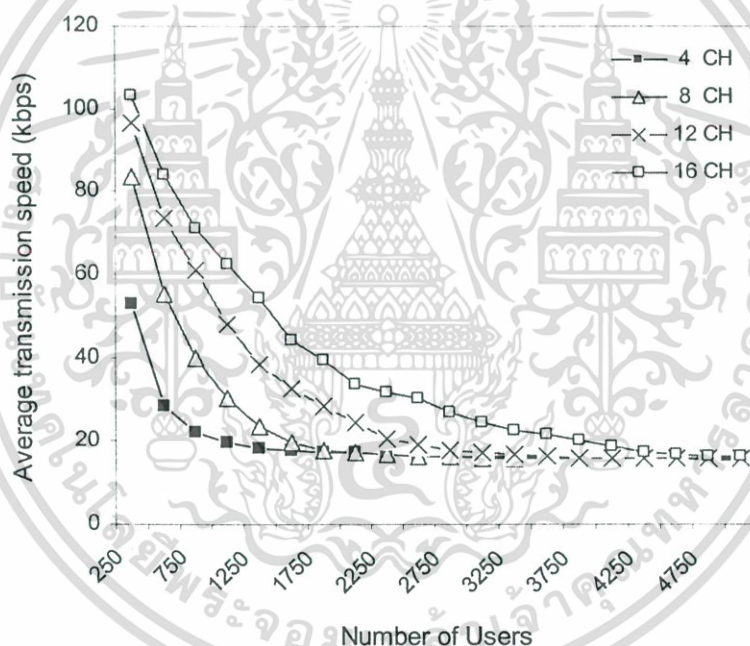
รูปที่ 4.14 ค่าการใช้ประโยชน์ เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

จากผลการจำลองในรูปที่ 4.12 (เสียงล้วน) และ 4.13 (ข้อมูลล้วน) ซึ่งเป็นกราฟฟิกแยก พบว่าการให้บริการแก่กราฟฟิกเสียงโดยระบบ GSM เดิมมีค่าการใช้ประโยชน์ต่ำมากโดยมีจุดอิ่มตัวอยู่ที่ 0.4 เท่านั้น ในขณะที่การรองรับกราฟฟิกข้อมูลด้วยระบบ GPRS มีค่าการใช้ประโยชน์

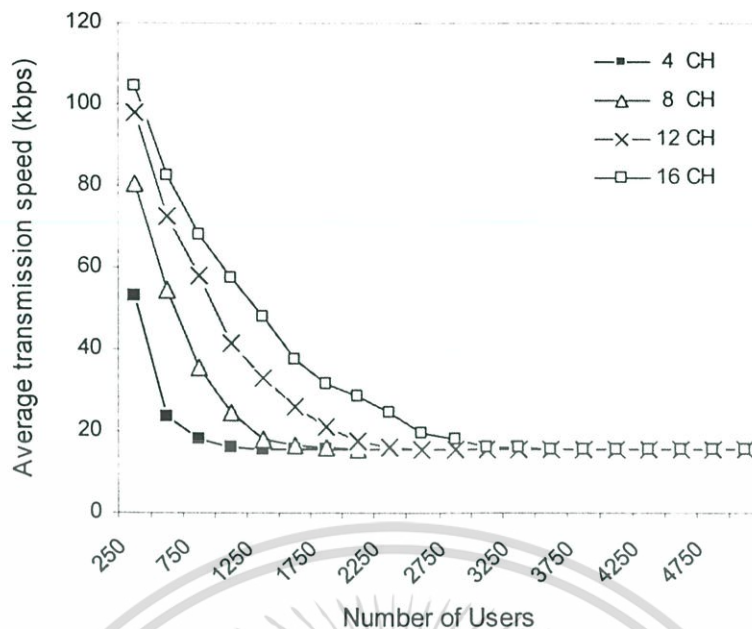
สูงขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณผู้ใช้ โดยช่องสัญญาณที่มากค่าการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้ากว่า ในการจำลองนี้เราได้ค่าการใช้ประโยชน์สูงสุดที่ 0.9

กราฟในรูปที่ 4.14 เป็นค่าการใช้ประโยชน์ของกราฟฟิกแบบผสมซึ่งเราพบว่าเมื่อผู้ใช้เริ่มหนาแน่น ค่าการใช้ประโยชน์เริ่มลดลง นอกจากนี้เรายังพบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่มากกว่า เส้นกราฟการใช้ประโยชน์สามารถเพิ่มขึ้นจนสูงกว่า เส้นกราฟช่องสัญญาณที่น้อยกว่า ไม่ว่าเราจะมองที่จุดสูงสุดของกราฟ หรือจุดอื่นๆหลังจากนั้นก็ตาม ซึ่งในกราฟของกราฟฟิกแยกทั้งสองกราฟ ไม่มีลักษณะเช่นนี้เลย (โดยทั่วไปจำนวนช่องสัญญาณมากกว่า จะมีการใช้ประโยชน์ต่ำกว่า) จึงสรุปได้ว่า จำนวนช่องสัญญาณที่มากกว่า จะมีความเหมาะสมกว่าในการรองรับกราฟฟิกผสมระหว่างเสียงและข้อมูล

#### 4.8 ผลการจำลองหาค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล



รูปที่ 4.15 ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล เมื่อสัดส่วนของกราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 0 : 100



รูปที่ 4.16 ค่าความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล เมื่อสัดส่วนของทราฟฟิกเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

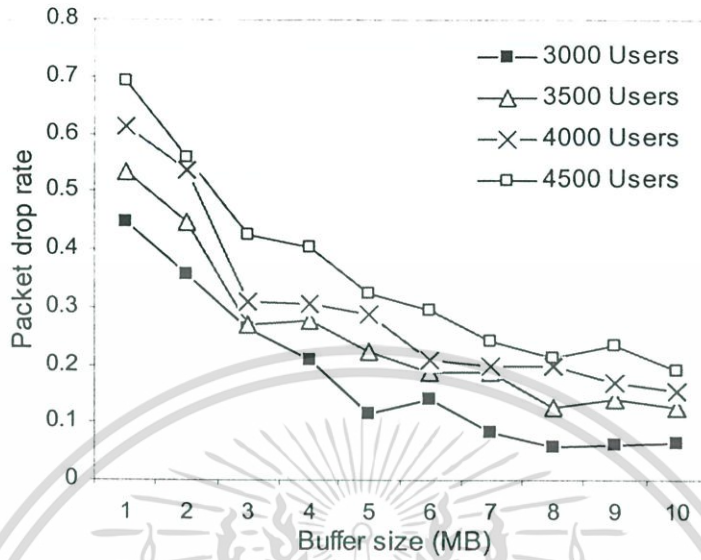
รูปที่ 4.15 (ข้อมูลล้วน) และ 4.16 (ผสม) เป็นความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคน เนื่องจากเรากำหนดให้มีการเข้ารหัสแบบ CS-3 ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดที่ 15.6 kbps (1 PDCH) และสูงสุดที่ 124.8 kbps (8 PDCHs) เมื่อจำนวนผู้ใช้เบาบาง โครงข่ายสามารถจัดสรร PDCH ให้ผู้ใช้แต่ละคนได้มาก จึงทำให้มีความเร็วสูงในการส่งข้อมูล แต่เมื่อผู้ใช้นานขึ้น โครงข่ายก็จัดสรร PDCH ได้น้อยลง ความเร็วจึงลดลงเรื่อยๆจนเกือบถึงระดับต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทราฟฟิกข้อมูลล้วนในรูปที่ 4.15 กับทราฟฟิกผสมในรูปที่ 4.16 พบว่ากราฟของทราฟฟิกผสมลดลงในอัตราที่เร็วกว่า

#### 4.9 การวิเคราะห์บัฟเฟอร์

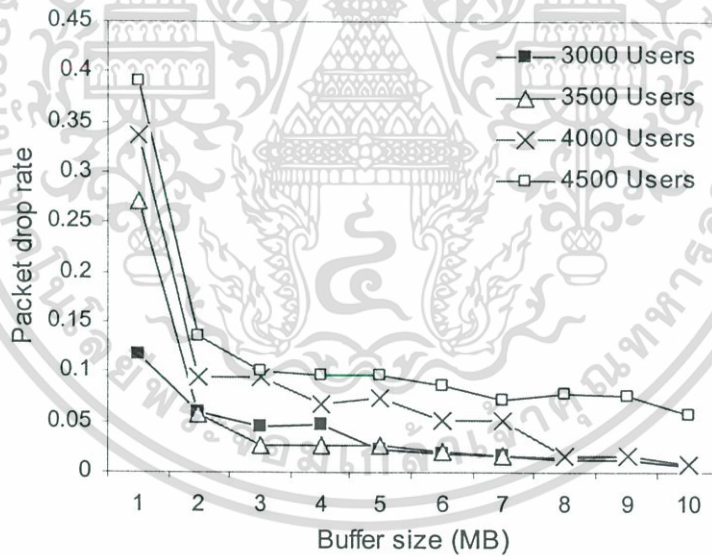
ในการวิเคราะห์บัฟเฟอร์ เพื่อดูแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ ซึ่งเรายังคงใช้พารามิเตอร์โครงข่ายเดิม ตามตารางในตอนต้นของบทนี้ เพียงแต่เปลี่ยนแกน x จากเดิมที่เป็นจำนวนผู้ใช้ มาเป็นขนาดของบัฟเฟอร์แทน ส่วนด้านทราฟฟิกเราใช้พารามิเตอร์ของทราฟฟิกแบบผสม โดยมีสัดส่วนเสียงต่อข้อมูลเป็น 50 : 50

จากกราฟอัตราการครอบงำของในรูปที่ 4.17 และ 4.18 การเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์สามารถลดอัตราการครอบงำของแพคเกจได้ เพราะเมื่อช่องสัญญาณเต็ม แพคเกจข้อมูลสามารถเข้าไปรอในบัฟเฟอร์ได้มากขึ้น จึงไม่ถูกรอ โดยในรูปที่ 4.17 (12 ช่อง) นั้นการเพิ่มบัฟเฟอร์ช่วยลดอัตราการ

ครอบได้อย่างต่อเนื่อง แต่ในรูปที่ 4.18 (16 ช่อง) กลับมีผลในตอนแรกๆเท่านั้น หลังจากนั้นจะส่งผลน้อยมาก

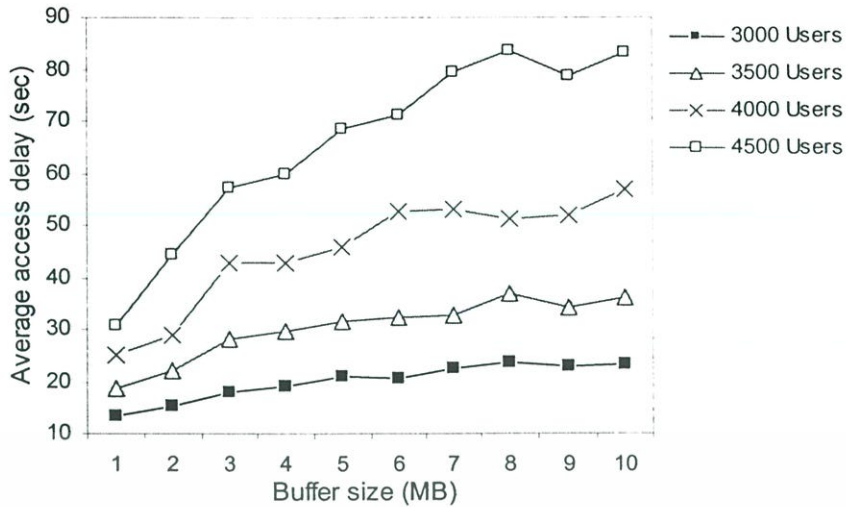


รูปที่ 4.17 อัตราการครอบของแพคเกจ ที่ช่องสัญญาณ 12 ช่อง

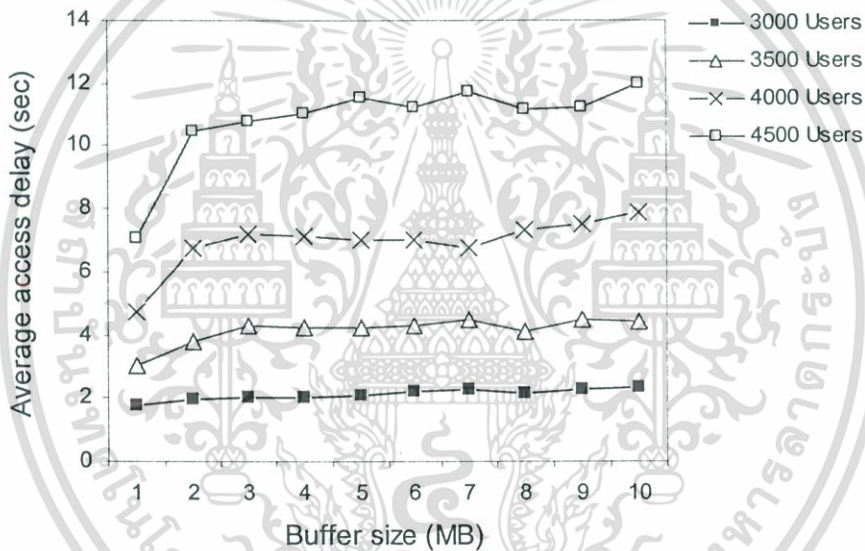


รูปที่ 4.18 อัตราการครอบของแพคเกจ ที่ช่องสัญญาณ 16 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ดีเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย ที่ช่องสัญญาณ 12 ช่อง



รูปที่ 4.20 ดีเลย์การเข้าถึงเฉลี่ย ที่ช่องสัญญาณ 16 ช่อง

เนื่องจากการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ช่วยให้แพคเกจเข้าไปรอในบัฟเฟอร์ อัตราการรอของแพคเกจจึงลดลง แต่ในขณะเดียวกันอัตราการให้บริการยังคงเดิม จึงทำให้แพคเกจต้องรออยู่ในบัฟเฟอร์นานขึ้นด้วย ค่าดีเลย์จึงสูงขึ้น โดยในรูปที่ 4.19 (12 ช่อง) มีค่าดีเลย์ที่สูงมาก ไม่ว่าจะเป็ค่าเริ่มต้นหรืออัตราการเพิ่มขึ้นของดีเลย์ (ความชันของกราฟ) เมื่อเทียบกับกราฟรูปที่ 4.20 (16 ช่อง) พบว่าค่าดีเลย์มีค่าต่ำกว่า และการเปลี่ยนแปลงก็น้อยกว่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาค่าประสิทธิภาพในหลายๆด้านของโครงข่าย GPRS โดยมีปริมาณของทราฟฟิก จำนวนช่องสัญญาณ และขนาดของบัฟเฟอร์เป็นตัวแปร บนทราฟฟิกเสียงทั้งหมด ข้อมูลทั้งหมด และทราฟฟิกผสม ผลปรากฏว่า

เมื่อทราฟฟิกที่เข้ามาเป็นทราฟฟิกข้อมูลทั้งหมด ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยมีค่าไม่สูงมาก แต่ถ้ามีทราฟฟิกเสียงรวมอยู่ด้วย ค่าเฉลี่ยเฉลี่ยจะสูงขึ้นมาก เนื่องจากการให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงจะไม่มีการยกเลิกโทรมส์ลิตจนกว่าจะวางสาย ทำให้เครื่องลูกข่ายอื่นๆต้องรอนาน

บนทราฟฟิกผสมมีอัตราล้มเหลวที่เพิ่มขึ้นมาก เมื่อเทียบกับทราฟฟิกเสียงล้วน เพราะทราฟฟิกข้อมูลมีการใช้ช่องสัญญาณเฉพาะช่วง ON ช่วยให้มีแบนด์วิดท์เหลือให้กับทราฟฟิกเสียง

อัตราการครอปของแพคเกจบนทราฟฟิกผสม เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เร็วกว่าในทราฟฟิกข้อมูลเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลมาจากการถูกทราฟฟิกเสียงแย่งใช้ช่องสัญญาณ

ค่าทรูพุทของทราฟฟิกข้อมูลล้วนมีค่าสูงกว่าของทราฟฟิกเสียงล้วนอย่างชัดเจน เพราะระบบ GPRS ที่ใช้รองรับทราฟฟิกข้อมูล มีการจัดสรรช่องสัญญาณเท่าที่จำเป็นต้องใช้ ช่วยให้รองรับทราฟฟิกได้มาก

ค่าทรูพุทเสียงของทราฟฟิกผสมมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณผู้ใช้ ต่างจากกราฟทรูพุทข้อมูลของทราฟฟิกผสมที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งขึ้นและจากนั้นก็ค่อยๆ โน้มลง เพราะเมื่อเครื่องลูกข่ายที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลเริ่มเข้าสู่สถานะ OFF จะเลิกใช้ช่องสัญญาณ ทราฟฟิกเสียงอาจเข้ามาใช้งานแทนได้

การให้บริการแก่ทราฟฟิกเสียงล้วน โดยระบบ GSM เดิม มีค่าการใช้ประโยชน์ต่ำมาก การใช้ประโยชน์สูงสุดอยู่ที่ 0.4 เท่านั้น ในขณะที่การรองรับทราฟฟิกข้อมูลด้วยระบบ GPRS มีค่าการใช้ประโยชน์สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าการใช้ประโยชน์สูงสุดที่ 0.9

บนโครงข่ายที่มีช่องสัญญาณมากกว่า ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแบบผสมจะสูงกว่าบนช่องสัญญาณน้อยๆ ทั้งๆที่โดยทั่วไปแล้วเมื่อช่องสัญญาณมากขึ้น จะมีค่าการใช้ประโยชน์น้อยลง

เมื่อจำนวนผู้ใช้เบาบางความเร็วในการส่งข้อมูลยังคงสูงอยู่ แต่เมื่อผู้ใช้นานแน่นขึ้นโครงข่ายก็จัดสรร PDCH ให้แต่ละเครื่องได้น้อยลงความเร็วจึงลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทราฟฟิกข้อมูลล้วน กับทราฟฟิกผสม พบว่ากราฟของทราฟฟิกผสมลดลงในอัตราที่เร็วกว่า

การเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ในโครงข่ายที่มีช่องสัญญาณ 12 ช่องนั้น สามารถลดอัตราการครอบของแพคเกจได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับช่องสัญญาณ 16 ช่อง ซึ่งช่วยลดอัตราการครอบได้ในช่วงแรกๆเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ที่ช่องสัญญาณ 12 ช่องมีค่าเฉลี่ยมากกว่าที่ 16 ช่อง และเมื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ให้มากขึ้น ค่าเฉลี่ยก็จะสูงขึ้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Joseph Ho, Yixin Zhu, Seshu Madhavapeddy, Throughput and Buffer Analysis for GSM General Packet Radio Service (GPRS), *IEEE WCNC*, Vol 3, 1999, 1427-1431.
- [2] Carles Ferrer, Miquel, Overview and Capacity of the GPRS (General Packet Radio Service), *IEEE NIS*. Vol 1, 1998, 106-110
- [3] Hong Y.Chung, David J. Goodman, "Transmission of speech and data using packet reservation multiple access" *IEEE ICC*. Vol 3, 1991, 99-103
- [4] H. Heffes and D. M. Lucantoni, A Markov Modulated characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance, *IEEE JSAC*. Vol. SAC-4. No.6, 1986, 856-868.
- [5] V. Paxson and S. Floyd, Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling, *IEEE/ACM Tran on Networking*. Vol 3. No. 3, 1995.
- [6] M. S. Taqqu. W. Willinger. and R. Sherman, Proof of a Fundamental Result in Self-Similar Traffic Modeling, *Proc ACM SIGCOMM*. Vol. 27 No. 2, 1997.
- [7] J M Pitts, J A Schormans, *Introduction to IP and ATM design and Performance* (New York, John Wiley & Sons, LTD, 2002).

## ภาคผนวก

### ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] **Ruksaphol Ngamtawee, Suvepon Sittichevapak and Kriengkrai Vonglodjanaporn** “Efficiency Evaluation for Multi-Channel GPRS Network over Combined Voice/Data Traffic” The 2nd ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2005), Pattaya, Thailand, May 12-13, 2005.
- [2] **รักษพล งามทวี , สุวิพล สิทธีชีวะภาค และเกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์** “การประมาณค่าประสิทธิภาพในโครงข่าย GPRS แบบหลายช่องสัญญาณบนกราฟฟิกเสียงและข้อมูล Efficiency Evaluation in Multi-channel GPRS Network over Combined Voice/Data Traffic” วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 ปีที่ 13 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นาย รัชพล งามทวี
วันเดือนปีเกิด	17 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	อ. เมือง จ. ขอนแก่น
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา ไฟฟ้า-โทรคมนาคม
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (คลอง 6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้