

การบริหารช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็มแบบ  
ปรับรูปแบบช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดของกราฟฟิค

GSM CHANNEL MANAGEMENT USING CELL LOAD TRAFFIC DEPENDENT  
ALGORITHM ON AIR-INTERFACE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1957-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบริหารช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็มแบบ  
ปรับรูปแบบช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดของทราฟฟิก

GSM CHANNEL MANAGEMENT USING CELL LOAD TRAFFIC DEPENDENT  
ALGORITHM ON AIR-INTERFACE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1357-7

เลขหมู่.....

58578

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี 26 ส.ค 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
b.....  
i.....

**GSM CHANNEL MANAGEMENT USING CELL LOAD TRAFFIC DEPENDENT  
ALGORITHM ON AIR-INTERFACE**



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

**2005**

**ISBN 974-15-1357-7**

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	การบริหารช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็มแบบ ปรับรูปแบบช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดของ ทราฟฟิก
นักศึกษา	นายพลพล ไทยบรรเทิง
รหัสนักศึกษา	43061045
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

### บทคัดย่อ

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการจัดการช่องสัญญาณของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ใน รูปแบบใหม่ โดยการจัดให้มีความสามารถที่จะเปลี่ยนชนิดช่องสัญญาณเสียงตามปริมาณ โหลดของทราฟฟิก ระหว่างช่องสัญญาณแบบเต็มช่องสัญญาณ (full rate traffic channel) และแบบครึ่งช่องสัญญาณ (half rate traffic channel) ในช่วงเวลาที่มีปริมาณการใช้ช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น และจะทำงานควบคู่ไปกับการปรับอัตราการเข้ารหัสข้อมูล ให้เปลี่ยนไปตามคุณภาพของสัญญาณที่ทำการวัดได้ในขณะนั้น เพื่อให้ เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการเครือข่าย ซึ่งวิธีการใหม่นี้จะช่วยแก้ปัญหาในกรณี ที่ช่องสัญญาณที่มีอยู่ในขณะนั้น ไม่เพียงพอต่อความต้องการในช่วงเวลาที่มีการใช้ช่องสัญญาณทาง อากาศอย่างหนาแน่น และยังสามารถช่วยรักษาระดับคุณภาพของช่องสัญญาณที่ไม่ดีในช่วงเวลาที่มีการ ใช้กรรมวิธีการเปลี่ยนรูปแบบของช่องสัญญาณให้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ อีกทั้งยังไม่จำเป็นต้องมีการ เพิ่มต้นทุน แต่ยังสามารถเพิ่มรายได้และความน่าเชื่อถือของเครือข่ายให้แก่ระบบเครือข่ายอีกด้วย

<b>Thesis Title</b>	GSM channel management using Cell Load Traffic Dependent algorithm on Air-Interface
<b>Student</b>	Mr. Palapol Thaibunternng
<b>Student ID.</b>	43061045
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Dr. Suthichai Noppanakepong

### ABSTRACT

This research introduces the new method of timeslots management on Air-Interface. That can switch two types of traffic channel automatically, between full rate and half rate channel, when BTS needs a lot of timeslots to assign every mobile stations or congest situation. While BSC gets some measurement parameters from itself and from mobile stations to analyze and decide to upgrade or downgrade speech quality by increasing or decreasing speech coding bit rate for the best efficiency. By this method, congestion of mobile stations and low burst signaling quality problem on Air-Interface will be solved. Moreover, it can decrease the cost and increase the benefit for service provider, only a few measurement parameters are added to database in BSC and calculated.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ. ดร. สุทธิชัย นพาคีพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสและคำปรึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้ความรัก ความเข้าใจ ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่าง ๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่ครูณี พี่ก้อง พี่เปา พี่รุจ พี่ดา พี่อ้อ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ ที่เป็นผลมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบพระคุณแด่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
<b>บทที่ 1</b> บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.3 โครงร่างของวิทยานิพนธ์.....	2
<b>บทที่ 2</b> ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็ม.....	3
2.1 การบริหารความถี่.....	3
2.2 ช่องสัญญาณเซตออฟ.....	4
2.3 ประเภทของช่องสัญญาณ.....	5
2.3.1 ช่องสัญญาณซิกแนลถึง.....	5
2.3.1.1 สัญญาณ BCCH.....	5
2.3.1.2 สัญญาณ CCCH.....	5
2.3.1.3 สัญญาณ DCCH.....	6
2.3.2 ช่องสัญญาณทราฟฟิก.....	6
2.4 โครงสร้างของเบิร์ตและเฟรมในระบบจีเอสเอ็ม.....	7
2.4.1 ชนิดของเบิร์ต.....	7
2.4.1.1 เบิร์ตปกติ.....	7
2.4.1.2 เบิร์ตปรับความถี่.....	8
2.4.1.3 เบิร์ตซิงโครไนซ์.....	8
2.4.1.4 เบิร์ตแอกเซส.....	8
2.4.1.5 เบิร์ตคัมมี.....	8
2.4.2 โครงสร้างของเฟรมในระบบจีเอสเอ็ม.....	9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง.....	11
2.5.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Waveform coder.....	12
2.5.1.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM.....	12
2.5.1.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM.....	13
2.5.1.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ SBC.....	13
2.5.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Parametric coder.....	14
2.5.2.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ LPC.....	14
2.5.2.2 การหาค่าชุดสัมประสิทธิ์ LPC.....	15
2.5.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Hybrid coder.....	16
2.5.3.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ MPE-LPC.....	16
2.5.3.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ CELP.....	17
2.5.3.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ RELP.....	17
2.5.3.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ REP-LTP.....	17
2.6 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ.....	18
<b>บทที่ 3 การบริหารช่องสัญญาณและการเกิดบล็อกของระบบจีเอสเอ็ม.....</b>	<b>22</b>
3.1 อีควอไลเซชัน.....	22
3.2 ทราฟฟิกและการเกิดบล็อก.....	25
3.3 การบริหารทราฟฟิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ.....	26
3.3.1 การขยายความจุของระบบ.....	26
3.3.1.1 การแบ่งเซลล์ออกเป็นระยะ.....	27
3.3.1.2 การแบ่งเซกเตอร์ของเซลล์.....	27
3.3.2 การทำแฮนด์โอเวอร์.....	28
3.3.3 การใช้ช่องสัญญาณแบบครึ่งช่อง.....	30
3.4 อแคปทีฟมัลติเรต.....	30
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณตามปริมาณ โหลดของทราฟฟิก.....</b>	<b>33</b>
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่แตกต่างกัน.....	34
4.1.1 จำนวนช่องสัญญาณที่มีในสภาวะปกติ.....	34
4.1.2 จำนวนช่องสัญญาณที่มีเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายในกรณีที่แตกต่างกัน.....	36
4.2.1 การรองรับคู่สายในสภาวะปกติ.....	36
4.2.2 การรองรับคู่สายในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ.....	37
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของคู่สายที่ขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์.....	37
4.3.1 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์ในสภาวะที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ....	37
4.3.2 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์หลังจากการแก้ปัญหา ด้วยวิธีการปัจจุบัน.....	38
4.3.3 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์เมื่อใช้หลักการบริหาร ช่องสัญญาณ.....	39
4.4 การวิเคราะห์การเกิดบล็อกในกรณีที่แตกต่างกัน.....	40
4.4.1 การเกิดบล็อกในขณะที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ.....	40
4.4.2 การเกิดบล็อกในกรณีที่มีการแก้ปัญหาในแบบปกติ.....	41
4.4.3 การเกิดบล็อกในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ.....	42
<b>บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์.....</b>	<b>43</b>
5.1 การกำหนดปริมาณของภาระขาเข้าของผู้ใช้บริการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในทาง คณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง.....	43
5.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายในทางคณิตศาสตร์.....	44
5.3 ผลการวิเคราะห์การเกิดบล็อกในทางคณิตศาสตร์.....	48
5.4 การบริหารช่องสัญญาณอันเกิดจากสัญญาณรบกวน.....	52
<b>บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์.....</b>	<b>59</b>
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>61</b>

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	69



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ช่วงความถี่กลุ่มต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน.....	3
2.2 อัตราบิตของช่องสัญญาณคาตาชนิดต่าง ๆ.....	7
4.1 ช่องสัญญาณซิกแนลลิงทางอากาศที่มีการกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ ETSI.....	34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้.....	36
5.1 เออร์แลงบีที่ใช้ในการหาค่าความเข้มทราฟฟิกของเซลล์ใดๆ.....	44

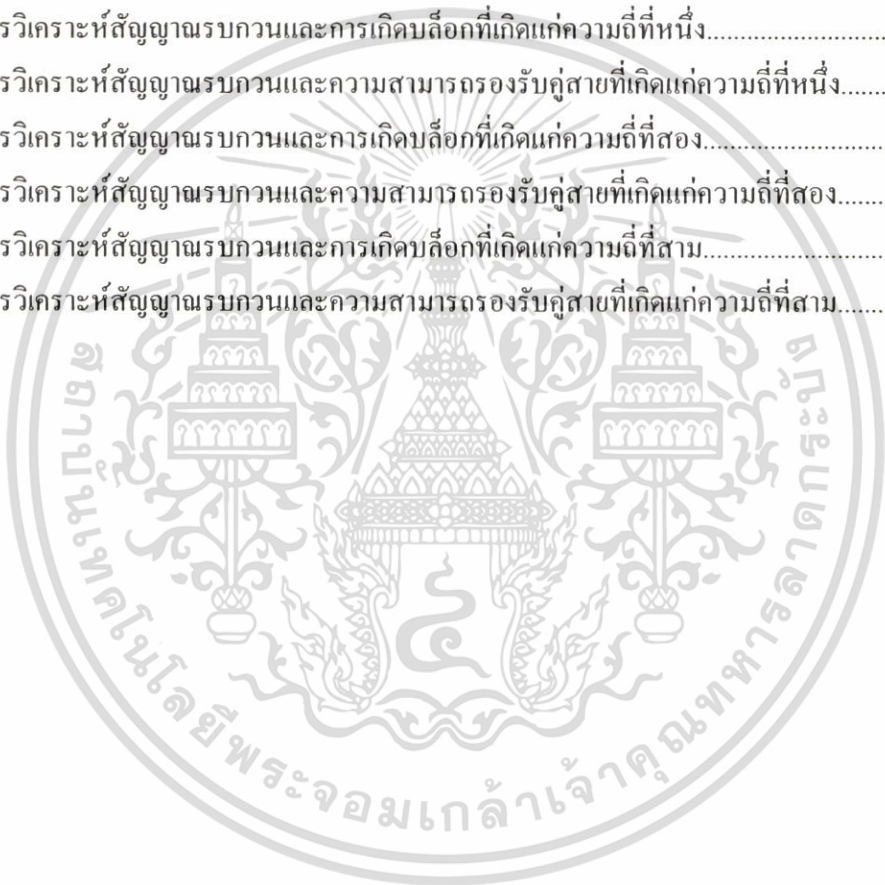


# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเบิร์ตชนิดต่าง ๆ.....	8
2.2 โครงสร้างของกราฟฟิคมัลติเฟรม.....	9
2.3 โครงสร้างของซิกแนลลิงมัลติเฟรม.....	10
2.4 โครงสร้างของไฮเปอร์เฟรม.....	11
2.5 โครงสร้างของวงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM.....	13
2.6 กระบวนการแปลงสัญญาณเสียงขึ้นต้น.....	18
2.7 การแปลงเป็นสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	18
2.8 กระบวนการลดอัตราบิตของสัญญาณเสียง.....	19
2.9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ.....	20
2.10 การทำอินเวอร์สฟของสัญญาณเสียง.....	21
3.1 การแบ่งพื้นที่ของเซลล์เป็นระยะ.....	27
3.2 การแบ่งทิศทางของเซลล์.....	28
3.3 ลักษณะการแฮนด์โอเวอร์ในกรณีต่าง ๆ.....	29
3.4 การแบ่งภาระความหนาแน่นของกราฟฟิค ไปยังเซลล์ข้างเคียง.....	29
3.5 ช่องสัญญาณกราฟฟิคเต็มช่องและครึ่งช่องแบบอแคบที่พัลติเรต.....	31
3.6 การเปลี่ยนระดับการเข้ารหัสของช่องสัญญาณกราฟฟิค.....	31
3.7 ความสามารถในการให้คุณภาพของสัญญาณเสียงของการเข้ารหัสช่องสัญญาณในระดับต่าง ๆ.....	32
4.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD.....	33
4.2 ระดับในการตัดสินใจของหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD.....	35
4.3 กระบวนการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณกราฟฟิคแบบปกติ.....	38
4.4 หลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD.....	39
4.5 การเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่าย.....	41
4.6 ช่วงเวลาที่สูญเสียกราฟฟิคไปในขณะที่ทำการแก้ไขปัญหาการเกิดบล็อก.....	41
5.1 ข้อมูลและรายละเอียดของสถานีฐานที่ทำการวิเคราะห์.....	46
5.2 แบบจำลองเพื่อหาความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่ทำการพิจารณา.....	46
5.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่ทำการพิจารณา.....	47
5.4 ความสามารถในการรองรับคู่สายเมื่อระยะเวลาการใช้สายมีค่า 2, 3 และ 4 นาที.....	48
5.5 แบบจำลองเพื่อหาโอกาสในการเกิดบล็อก.....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ปริมาณผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่ายที่สถานะโหนดต่างกัน.....	49
5.7 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของวิธีการแก้ไขในปัจจุบัน.....	50
5.8 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของวิธีการแก้ไขแบบใหม่.....	51
5.9 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของวิธีการแก้ไขแบบเก่าและแบบใหม่.....	51
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาฉบับรวมทวนต่อคุณภาพของสัญญาเสียงแบบ full rate.....	52
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาฉบับรวมทวนต่อคุณภาพของสัญญาเสียงแบบ half rate.....	53
5.12 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและการเกิดบล็อกที่เกิดแก่ความถี่ที่หนึ่ง.....	54
5.13 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดแก่ความถี่ที่หนึ่ง.....	55
5.14 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและการเกิดบล็อกที่เกิดแก่ความถี่ที่สอง.....	56
5.15 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดแก่ความถี่ที่สอง.....	56
5.16 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและการเกิดบล็อกที่เกิดแก่ความถี่สาม.....	57
5.17 การวิเคราะห์สัญญาฉบับรวมทวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดแก่ความถี่สาม.....	57



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารเคลื่อนที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของเรามากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกสบายในการติดต่อสื่อสารในทุกที่ทุกเวลา และปัจจุบันผู้คนได้มีความสนใจในการใช้งานการติดต่อสื่อสารด้วยวิธีการนี้เพิ่มมากขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจสังเกตได้จากปริมาณผู้สมัครขอเข้าใช้เครือข่ายที่มีการจดทะเบียน หรืออาจสังเกตได้จากปริมาณการเข้าใช้เครือข่ายในแต่ละแห่งที่มีปริมาณการเข้าใช้เครือข่ายสูงขึ้นเรื่อย ๆ นับจากอดีตมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งระบบการสื่อสารเคลื่อนที่นั้นมีการพัฒนาก้าวหน้ามาอย่างต่อเนื่อง นับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยที่การสื่อสารเคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ในอดีตหรือยุคที่ 1 นั้น จะเป็นแบบอนาล็อกตัวอย่างเช่นระบบ Advanced Mobile Telephone System (AMPS) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายอย่างด้วยกัน ทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2 ขึ้นมา เป็นระบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบและบริการใหม่ ๆ หลายอย่างด้วยกัน ที่สำคัญได้แก่ ระบบ Global System for Mobile Communications (GSM) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งช่วงเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) ระบบ GSM นี้จะมีความจุของระบบเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบเก่ามาก เนื่องจากภายในแต่ละช่องความถี่นั้นจะมีการแบ่งออกเป็นช่วงเวลาอีก 8 ช่วงเวลา ดังนั้นความจุของระบบจึงมากกว่าระบบอนาล็อกแบบเก่าถึง 8 เท่าตัว เมื่อนำมาใช้ร่วมกับหลักการของการใช้ความถี่เดิมกลับมาใช้ใหม่ ก็จะสามารถใช้ช่วงความถี่ที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และจากการที่มีผู้ใช้บริการเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วทุกวันนี้เอง ทำให้ในบางเวลาที่ผู้ใช้บริการมีการเข้าใช้ช่องสัญญาณเป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน จนเกินกว่าความสามารถที่ระบบเครือข่ายจะสามารถรองรับได้ไม่ว่าด้วยวิธีการใด ๆ ก็ตาม ก็จะเป็นผลให้ผู้ใช้บริการส่วนหนึ่งไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่ได้เลย ถึงแม้ว่าจะได้มีการคาดการณ์และเตรียมการขยายความจุของระบบเครือข่ายไว้แล้วก็ตาม สิ่งที่เป็นผลตามมาก็คือความน่าเชื่อถือของระบบที่มีต่อผู้ใช้บริการจะลดลงไป รวมถึงการสูญเสียรายได้ของผู้ให้บริการด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้มีผู้ให้บริการด้านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่หลายกลุ่มด้วยกัน เป็นเหตุให้มีการแข่งขันกันทั้งในด้านของคุณภาพของเครือข่ายและการให้บริการด้านต่าง ๆ แก่ลูกค้า อย่างไรก็ตามในเชิงธุรกิจแล้ว การเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบเครือข่าย โดยที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการน้อยที่สุดย่อมก่อให้เกิดผลดีแก่ทั้งผู้ใช้บริการและเจ้าของเครือข่ายเองด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็ม แบบปรับรูปแบบช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดของ ทราฟฟิค โดยมีความมุ่งหมายที่จะทำ

ระบบเครือข่าย จีเอสเอ็ม นั้น มีความสามารถในการรองรับปริมาณของผู้ใช้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่ายในบริเวณเดียวกันมีการขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณอย่างหนาแน่น และในช่วงเวลาที่มีสัญญาณรบกวนสูงๆ การเพิ่มความสามารถในการรองรับผู้ใช้นั้น จะใช้หลักการเปลี่ยนช่องสัญญาณจากแบบเต็มช่องสัญญาณไปสู่แบบครึ่งช่องสัญญาณ ซึ่งด้วยวิธีการนี้จะสามารถเพิ่มความจุของเครือข่ายได้โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่ายในสภาวะปกติ และสภาวะที่มีการใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณทางอากาศของ ระบบจีเอสเอ็ม แบบปรับรูปแบบช่องสัญญาณตามปริมาณ โหลดของ ทราฟฟิก ซึ่งได้จากการทดลองและคำนวณจากสมการโดยตรง เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบเครือข่ายต่อไป

### 1.3 โครงร่างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย
- บทที่ 2 ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็ม กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของระบบเซลลูลาร์จีเอสเอ็ม รวมถึงหลักในการจัดสรรและการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทางอากาศ ของระบบเซลลูลาร์ จีเอสเอ็ม
- บทที่ 3 ประสิทธิภาพของสัญญาณและการเกิดบล็อกของระบบจีเอสเอ็ม กล่าวถึงการหาและการออกแบบความจุของระบบเครือข่าย และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดบล็อกของระบบเครือข่าย
- บทที่ 4 การวิเคราะห์ หลักการบริหารช่องสัญญาณ ตามปริมาณโหลดของทราฟฟิก กล่าวถึงหลักการทำงานของการทำงานของการบริหารช่องสัญญาณตามปริมาณ โหลดของทราฟฟิก และการเกิดบล็อกเมื่อทำการติดตั้งลงในระบบเครือข่ายในช่วงเวลาที่มีการเข้าใช้งานเครือข่ายอย่างหนาแน่น
- บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ กล่าวถึงผลการวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณตามปริมาณ โหลดของทราฟฟิก รวมถึงผลการวิเคราะห์ความจุของระบบเครือข่าย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และผลจากสัญญาณรบกวน ที่มีผลต่อความจุของระบบ และอัตราการเกิดบล็อก
- บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์

## บทที่ 2

### ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบจีเอสเอ็ม

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการเข้าถึงหลายทางของ ระบบจีเอสเอ็ม ซึ่งปัจจุบันเป็นระบบการสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย รวมถึงลักษณะเซลล์ของระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ จีเอสเอ็ม และทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสรร และการใช้ช่องสัญญาณทางอากาศของระบบเซลลูลาร์ จีเอสเอ็มด้วย

#### 2.1 การบริหารความถี่

การบริหารความถี่ และการจัดสรรช่องสัญญาณทางอากาศของระบบเซลลูลาร์ จีเอสเอ็ม นั้นมีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากสองสิ่งนี้จะต้องมีการจัดการและกำหนดลงไปไว้ในระบบเครือข่าย เพื่อให้ระบบเครือข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การบริหารความถี่จะกล่าวถึงการกำหนดแต่งตั้งช่องสัญญาณเซ็ทออฟ และช่องสัญญาณเสียง กำหนดจำนวนของช่องสัญญาณ และจัดกลุ่มช่องสัญญาณเสียงออกเป็นกลุ่ม ๆ ส่วนการจัดสรรช่องสัญญาณนั้น จะกล่าวถึงการจัดการหรือกำหนดช่องสัญญาณชนิดต่าง ๆ ให้แก่เซลล์ไซต์ และเครื่องลูกข่าย ย่านความถี่ที่นำมาใช้งานกับระบบเซลลูลาร์จีเอสเอ็ม ในประเทศไทยจนถึงปัจจุบันนี้คือความถี่ช่วง 890-960 MHz โดยในช่วงความถี่ดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับสถานีฐาน ส่งไปยังเครื่องลูกข่าย และช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่กลุ่มต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

กลุ่มความถี่	ความถี่ขาขึ้น (MHz)	ความถี่ขาลง (MHz)	การจัดตัวเลข ARFCN (ความถี่ขาขึ้น)	
GSM 900	890-915	935-960	$Fl(n) = 890 + 0.2 \cdot n$	$1 \leq n \leq 124$
GSM 1800	1710-1785	1805-1880	$Fl(n) = 1710.2 + 0.2 \cdot (n - 512)$	$512 \leq n \leq 885$
GSM 1900	1850-1910	1930-1990	$Fl(n) = 1850 + 0.2 \cdot (n - 512)$	$512 \leq n \leq 810$

จะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยออกเป็นสองย่านความถี่ย่อย ๆ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณทั้งขาไปและขากลับระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย จากย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้เอง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งความถี่ออกเป็นช่องความถี่ให้มีจำนวนที่เพียงพอและมีประสิทธิภาพควบคู่กันไป เพื่อให้การใช้งานความถี่ที่จำกัดมีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้มีการใช้เทคนิคการนำความถี่ที่กำหนดใช้งานไปแล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งความถี่เดียวกันใด ๆ ก็ตาม ที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้น จะต้องมึระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้เกิดการรบกวนกันเอง การใช้ช่องสัญญาณให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดนั้น สามารถทำได้หลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่น เพิ่มช่องความถี่ให้มากขึ้นด้วยการลดแบนด์วิธของช่องความถี่แต่ละช่องความถี่ให้น้อยลง ลดระยะทางในการนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มความจุของระบบ หรือการค้นหาวิธีการบริหารช่องความถี่ และช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ

## 2.2 ช่องสัญญาณเซตอัพ

ช่องสัญญาณเซตอัพ หรือสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าช่องสัญญาณควบคุม ได้ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการเซตอัพ การเรียกคู่สายปลายทาง ในความเป็นจริงแล้ว การที่จะทำการเรียกไปยังคู่สายปลายทางใด ๆ ไม่จำเป็นต้องใช้ช่องสัญญาณเซตอัพเสมอไป ระบบเครือข่ายนั้น จะยังคงให้บริการเรียกไปยังคู่สายปลายทางได้โดยที่ไม่มีช่องสัญญาณเซตอัพ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องลูกข่ายจะต้องทำการสแกนช่องความถี่ทั้งหมดตลอดเวลาเพื่อที่จะค้นหาสัญญาณการเรียกเข้าตัวมันเอง และเมื่อใดก็ตามที่ต้องการจะทำการเรียกออกไปยังคู่สายใด ๆ เครื่องลูกข่ายจะต้องสแกนช่องสัญญาณที่ยังว่างอยู่เพื่อใช้งานต่อไป จะเห็นได้ว่าหากเป็นเช่นนี้ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกเข้าหรือเรียกออกจากเครื่องลูกข่ายก็ตาม จะต้องเสียเวลาไปชั่วขณะหนึ่งเพื่อค้นหาสัญญาณเรียกเข้า หรือช่องสัญญาณที่ว่างเพื่อทำการเรียกออก

ในระบบเซลลูลาร์ เราได้มีการนำเทคนิคของการนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ในลักษณะนี้เอง ช่องสัญญาณเซตอัพ จะถูกใช้งานเป็นช่องสัญญาณควบคุม ซึ่งมีช่องสัญญาณควบคุมทั้งสิ้น 21 ช่องสัญญาณจากจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด โดยได้มาจากการใช้หลักการของนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่แบบ 7 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะแบ่งออกเป็น 3 เซลเตอร์ มีขนาด  $120^\circ$  ต่อเซลล์ รวมทั้งหมดจะได้ 21 เซลเตอร์ พอดีกับจำนวนช่องสัญญาณควบคุม

ช่องสัญญาณควบคุมแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ ช่องสัญญาณแอกเซส และช่องสัญญาณเพจจิ่ง ช่องสัญญาณแอกเซส มีไว้ใช้สำหรับให้เครื่องลูกข่ายทำการเรียกออกไปยังปลายทางหรือเรียกว่า Mobile Originating calls (MOC) ส่วนช่องสัญญาณแบบเพจจิ่ง มีไว้สำหรับการเรียกเข้ามาหาเครื่องลูกข่ายหรือเรียกว่า Mobile terminating calls (MTC) ในระบบเครือข่ายที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ไม่หนาแน่นนัก ทั้งช่องสัญญาณแอกเซสและช่องสัญญาณเพจจิ่งอาจใช้เป็นช่องสัญญาณเดียวกันก็ได้ บางครั้งช่องสัญญาณนี้จึงถูกเรียกว่าช่องสัญญาณแอกเซส และบางครั้งอาจถูกเรียกว่าช่องสัญญาณเพจจิ่ง ช่องสัญญาณแบบสองทิศทางจะมีแบนด์วิธขนาด 30 kHz สองชุด ซึ่งโดยปกติแล้วหนึ่งช่องสัญญาณควบคุมหรือช่องสัญญาณเซตอัพนั้นจะถูกกำหนดเป็นสองทิศทางคือ ช่องสัญญาณขาไป และช่องสัญญาณขากลับ ช่องสัญญาณขาไปมักจะใช้ความถี่สูงกว่าช่องสัญญาณขากลับ ในระบบเครือข่ายส่วนมากมักจะใช้งานช่องสัญญาณควบคุมหนึ่งช่อง ทำหน้าที่เป็นทั้งช่องสัญญาณแอกเซส และช่องสัญญาณเพจจิ่ง อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณชนิดนี้จะถูกบรรจุไว้ด้วยข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ เท่านั้น จะไม่รวมถึงการบรรจุข้อมูลเสียง ในปัจจุบันนี้ช่องสัญญาณที่มีการใช้งานในระบบเซลลูลาร์จีเอสเอ็มนั้น หากจะพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะมีอยู่หลายประเภทด้วยกันดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ประเภทของช่องสัญญาณ

หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึง ประเภทของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานอยู่ในระบบจีเอสเอ็มในปัจจุบัน เรา จะแบ่งช่องสัญญาณเหล่านี้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามหน้าที่ของช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณที่มีไว้ สำหรับรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงของระบบเครือข่าย และประเภทที่สองคือช่องสัญญาณทราฟฟิคมี่ไว้ สำหรับรับส่งข้อมูลและสัญญาณเสียง สำหรับรายละเอียดของช่องสัญญาณชนิดต่าง ๆ จะได้กล่าวถึง ต่อไป

### 2.3.1 ช่องสัญญาณซิกแนลลิง

ช่องสัญญาณซิกแนลลิง (Signaling Channel) คือ ช่องสัญญาณที่มีไว้เพื่อใช้ในการ รับส่งสัญญาณ ซิกแนลลิงระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย เพื่อให้ระบบเครือข่ายและเครื่องลูกข่ายมีทำงานที่ ถูกต้องสอดคล้องกันตลอดเวลา ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยได้ดังนี้คือ Broadcast Control Channel (BCCH), Common Control Channel (CCCH) และ Dedicated Control Channel (DCCH)

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

เป็นสัญญาณที่มีการส่งในทิศทางเดียวคือ ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย (Down link) ซึ่งจะทำ การส่งข้อมูลไปที่เครื่องลูกข่ายเป็นระยะตลอดเวลา เพื่อให้เครื่องลูกข่ายรับรู้ถึงข้อมูลของเซลล์ที่เครื่องลูก ข่ายประจำอยู่ รวมถึงข้อมูลของเซลล์ที่อยู่รอบข้างด้วย ช่องสัญญาณชนิดนี้จะมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

1. Broadcast Control Channel (BCCH) ใช้สำหรับให้สถานีฐานกระจายข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ เช่น หมายเลขประจำตัวของเครือข่าย หมายเลขประจำตัวของเซลล์นั้น ๆ รายละเอียดของช่องสัญญาณที่มี การใช้งาน
2. Frequency Correction Channel (FCCH) เป็นสัญญาณช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถปรับ ความถี่คลื่นพาห์ของตนเองให้ตรงกับความถี่ที่สถานีฐานใช้
3. Synchronization Channel (SCH) ใช้สำหรับช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถซิงโครไนซ์ หมายเลขตำแหน่งของเฟรมให้ถูกต้อง

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

เป็นกลุ่มของสัญญาณซิกแนลลิงที่มีการส่งแบบ 2 ทิศทาง แบ่งออกได้เป็นสัญญาณ 3 ชนิดดังนี้

1. Paging Channel (PCH) ใช้ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายที่อยู่ภายในเซลล์ เพื่อทำการ เรียกหาเครื่องลูกข่ายที่ต้องการติดต่อด้วย
2. Random Access Channel (RACH) เป็นสัญญาณที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานเพื่อทำ การตอบรับสถานีฐานหลังจากที่เครื่องลูกข่ายได้รับสัญญาณค้นหา Paging Channel หรืออาจใช้แสดง ความต้องการที่จะทำการขอใช้ช่องสัญญาณเพื่อเรียกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Access Grant Channel (AGCH) เป็นสัญญาณที่สถานีฐานส่งกลับมายังเครื่องลูกข่าย เพื่อตอบรับสัญญาณจาก Random Access Channel ที่เครื่องลูกข่ายส่งมา โดยมีข้อมูลของสัญญาณ SDCCCH ที่ใช้ในกระบวนการติดต่อดังกล่าว

สัญญาณเหล่านี้จะใช้ในการติดต่อกันครั้งแรกระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย ก่อนที่จะทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณเสียงต่อไป

### 2.3.1.3 สัญญาณ Dedicated Control Channel (DCCH)

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

1. Stand alone Dedicated Control Channel (SDCCCH) สัญญาณชนิดนี้จะใช้ในการรับส่งสัญญาณซิงแนลลิงในช่วงก่อนที่การรับส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลของเครื่องลูกข่ายจะเกิดขึ้น

2. Slow Associated Control Channel (SACCH) เป็นสัญญาณที่จะควบคู่กับสัญญาณเสียงเสมอ สัญญาณนี้จะถูกส่งออกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะตลอดเวลา ซึ่งมีหน้าที่หลายอย่างเช่น ใช้ส่งสัญญาณบอกถึงระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายรับได้ ใช้ช่วยในช่วงเวลาที่จะทำการแฮนด์โอเวอร์ ใช้ปรับจังหวะการส่งสัญญาณของเครื่องลูกข่ายให้ถูกต้อง รวมถึงใช้ควบคุมระดับของกำลังส่งของสัญญาณให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

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

### 2.3.2 ช่องสัญญาณทราฟฟิก

ช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic channel) เป็นช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับให้บริการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณเสียงของเครื่องลูกข่าย การรับส่งข้อมูลแต่ละประเภทอาจเป็นแบบเต็มช่องสัญญาณ (Full rate channel) คือบรรจุข้อมูลลงในหนึ่งช่องสัญญาณของทุก ๆ เฟรม หรืออาจเป็นแบบครึ่งช่องสัญญาณ (Half rate channel) คือบรรจุข้อมูลหนึ่งครึ่งต่อสองเฟรมก็ได้ สังเกตได้ว่าการส่งแบบครึ่งช่องสัญญาณจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว แต่ยอมทำให้จำนวนบิตข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายแต่ละรายส่งได้จะลดลงไปครึ่งหนึ่งด้วย ตามข้อกำหนดของการสื่อสารระบบจีเอสเอ็มนั้น ได้แบ่งประเภทของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 7 แบบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งลักษณะสัญญาณทั้ง 7 ประเภทนี้ระบบเครือข่ายจะต้องจัดสรรช่องสัญญาณหนึ่งช่องไว้เฉพาะ สำหรับความต้องการดังกล่าวตลอดช่วงเวลาการใช้งาน และการรับส่งสัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ทิศทางคือทั้งขาไปและขากลับ

สำหรับการรับส่งสัญญาณเสียงนั้นมีอยู่ 2 แบบคือช่องสัญญาณแบบเต็มช่อง (TCH/F) และช่องสัญญาณแบบครึ่งช่อง (TCH/H) ในกรณีของช่องสัญญาณแบบเต็มช่อง สัญญาณเสียงที่ได้รับการ

แปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอัตราบิตเท่ากับ 13 kbps จะนำไปผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ เพื่อให้การรับส่งสัญญาณมีความถูกต้องมากขึ้น ผลที่ได้คือข้อมูลที่ใช้ในการส่งสุดท้ายจะมีอัตราบิตเท่ากับ 22.8 kbps ส่วนช่องสัญญาณแบบครึ่งช่องจะมีอัตราบิตลดลงครึ่งหนึ่ง ส่วนการรับส่งสัญญาณ ข้อมูลประเภทค่า จะมึรูปแบบการส่งอยู่ 5 แบบด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราบิตของช่องสัญญาณค่าชนิดต่าง ๆ

สัญญาณค่า	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/H 4.8	4.8	11.4
TCH/H 2.4	2.4	11.4

## 2.4 โครงสร้างของเบิรสต์และเฟรมในระบบจีเอสเอ็ม

ระบบเซลลูลาร์จีเอสเอ็ม ได้มีการกำหนดช่วงความถี่สำหรับใช้งานไว้ทั้งหมด 50 MHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ 890-915 MHz และ 935-960 MHz โดยที่ในช่วงความถี่ต่ำจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน (Uplink) ส่วนช่วงความถี่สูงจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากสถานีฐานกลับมายังเครื่องลูกข่าย (Downlink) ดังนั้น ในแต่ละช่วงความถี่จะมีความกว้างแบนด์วิธเท่ากับ 25 MHz ซึ่งได้ถูกแบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาห้ไว้ทั้งหมด 124 ช่อง โดยแต่ละช่องมีแบนด์วิธเท่ากับ 200 kHz ลักษณะการแบ่งช่องความถี่นี้เองจึงเรียกว่า Frequency Division Multiple Access (FDMA) และในแต่ละคลื่นพาห้จะมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 8 ช่องเวลาเรียกว่า Time Division Multiple Access (TDMA) ดังนั้นจะเห็นว่าระบบจีเอสเอ็ม จะใช้ทั้งวิธีการ FDMA และ TDMA ภายในหนึ่งช่องเวลาของแต่ละความถี่หรือ 1 TDMA เฟรมจะถูกเรียกว่าเบิรสต์

### 2.4.1 ชนิดของเบิรสต์

เบิรสต์ที่มีใช้งานอยู่ในระบบเครือข่ายจีเอสเอ็มนั้นมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิดดังนี้

#### 2.4.1.1 เบิรสต์ปกติ

เบิรสต์ปกติ (Normal Burst) เป็นเบิรสต์ที่มีไว้สำหรับรองรับสัญญาณ ประเภทสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่น ๆ ยกเว้นสัญญาณ RACH SCH และ FCCH ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะมีโครงสร้างของบิตข้อมูลที่แตกต่างออกไป

### 2.4.1.2 เบิสต์ปรับความถี่

เบิสต์ปรับความถี่ (Frequency Correction Burst) มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ FCCH โดยเฉพาะเพื่อช่วยให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำการซิงโครไนซ์ความถี่ของคลื่นพาห้ได้อย่างถูกต้อง

### 2.4.1.3 เบิสต์ซิงโครไนซ์

เบิสต์ซิงโครไนซ์ (Synchronization Burst) เป็นเบิสต์ที่มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ SCH ซึ่งช่วยในการซิงโครไนซ์จังหวะเวลาการรับส่งของเครื่องลูกข่าย โดยจะมีข้อมูลต่าง ๆ เช่น หมายเลขเฟรมของ TDMA และ BSIC (Base Station Identity Code) ในส่วนของหมายเลขเฟรม ตามข้อกำหนดของระบบจีเอสเอ็ม ได้กำหนดให้ในแต่ละเฟรม มีหมายเลขกำหนดอยู่ โดยจะใช้ทั้งหมด 2,715,648 หมายเลข และจะเริ่มหมายเลขเดิมใหม่เมื่อครบหนึ่งรอบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ไฮเปอร์เฟรม หรือประมาณทุก ๆ 3 ชั่วโมงครึ่ง ในส่วนของค่า BSIC นั้นจะช่วยให้เครื่องลูกข่ายทราบได้ว่าสัญญาณที่รับได้นั้นมาจากสถานีฐานใด เพื่อให้ไม่สับสนกับสัญญาณจากแหล่งอื่นที่ใช้ความถี่เดียวกัน

### 2.4.1.4 เบิสต์แอกเซส

เบิสต์แอกเซส (Access Burst) จะมีลักษณะพิเศษกว่าเบิสต์แบบอื่น ๆ คือ จะมีขนาดของ Guard period ยาวกว่าเบิสต์ชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะเบิสต์ชนิดนี้จะมีไว้ใช้ในการส่งสัญญาณครั้งแรกของการติดต่อสำหรับเครื่องลูกข่าย ซึ่งเครื่องลูกข่ายนั้น ๆ จะยังไม่ทราบถึงจังหวะเวลาการส่งสัญญาณที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเผื่อเวลา Guard period ให้กว้างเพียงพอ โดยเฉพาะในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่ห่างไกลจากสถานีฐานมาก ๆ ทั้งนี้เพราะสัญญาณจะต้องใช้เวลาในการเดินทาง เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจจะยาวนานจนทำให้ส่วนปลายของสัญญาณ ไปทับซ้อนกับส่วนต้นของสัญญาณในช่วงเวลา (Time Slot) ถัดไปของเครื่องลูกข่ายอีกเครื่องหนึ่งที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานมากกว่า

### 2.4.1.5 เบิสต์ดัมมี่

เบิสต์ดัมมี่ (Dummy Burst) จะถูกส่งจากสถานีฐานในบางโอกาสเท่านั้น โครงสร้างของเบิสต์ชนิดนี้จะมีลักษณะเหมือนกับเบิสต์แบบปกติทุกอย่าง ยกเว้นส่วนของข้อมูลที่บรรจุลงไปจะเป็นรูปแบบข้อมูลที่ตายตัวเสมอ จากเบิสต์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเบิสต์แต่ละชนิดนั้นจะมีจำนวนและหลักการจัดวางบิตข้อมูลชุดต่าง ๆ แตกต่างกันไป

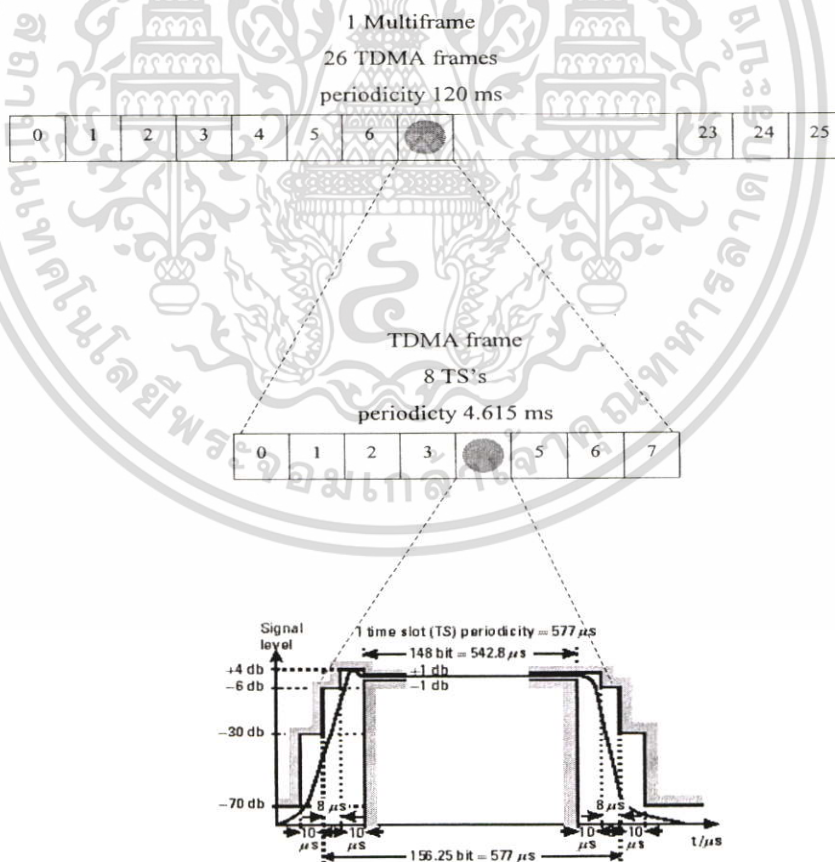
Normal burst							
3 bits TB	57 bits Encrypted	1S	26 bits Training sequence	1S	57 bits Encrypted	3 bits TB	8.25 GP
Frequency correction burst							
3 bits TB	Fixed bits				3 bits TB	8.25 GP	
Synchronization burst							
3 bits TB	39 bits information	64 bits Training sequence		39 bits information	3 bits TB	8.25 GP	
Access burst							
8 bits TB	41 bits Training sequence	36 bits information	3 bits TB	68.25 GP			
Dummy burst							
3 bits TB	58 mixed bits	26 bits Training sequence	58 mixed bits	3 bits TB	8.25 GP		

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเบิสต์ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 โครงสร้างของเฟรมในระบบจีเอสเอ็ม

สำหรับคลื่นพาห่หนึ่งความถี่ซึ่งมีขนาดแบนด์วิธเท่ากับ 200 kHz นั้น ในระบบเครือข่ายจีเอสเอ็มได้นำมาใช้ส่งข้อมูลดิจิทัลในอัตราบิตเท่ากับ 270.797 kbps โดยได้ทำการจัดข้อมูลออกเป็นลักษณะของเฟรม (frame) ซึ่งใน 1 เฟรมจะมีความยาวเท่ากับ 4.615 ms และในแต่ละเฟรมจะประกอบด้วยช่องสัญญาณ (Time Slot) ทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ โดยแต่ละช่องสัญญาณจะมีความยาวเท่ากับ 577  $\mu$ s ซึ่งมีไว้สำหรับรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน เมื่อทำการนำเฟรมจำนวน 26 เฟรมมาประกอบเข้าด้วยกันแล้วเราจะได้เป็นหนึ่งมัลติเฟรม (multi frame) ที่มีความยาวเท่ากับ 120 ms ภายใน 1 มัลติเฟรมนั้นจะมีการใช้งานเพียง 24 เฟรมเท่านั้น ซึ่งจะมีการสงวนเฟรมในตำแหน่งที่ 12 และ 25 ไว้ซึ่งตำแหน่งเฟรมที่ 12 จะมีไว้สำหรับส่งสัญญาณซิงแนลลิง SACCH และตำแหน่งเฟรมที่ 25 จะมีไว้สำหรับเป็น idle หรือ SACCH อย่างไม่อย่างหนึ่ง จากโครงสร้างของบิตสตรีมที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจะแยกตัวอย่างของบิตสตรีมแบบปกติซึ่งประกอบด้วย 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 ลักษณะของกราฟฟิคมัลติเฟรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

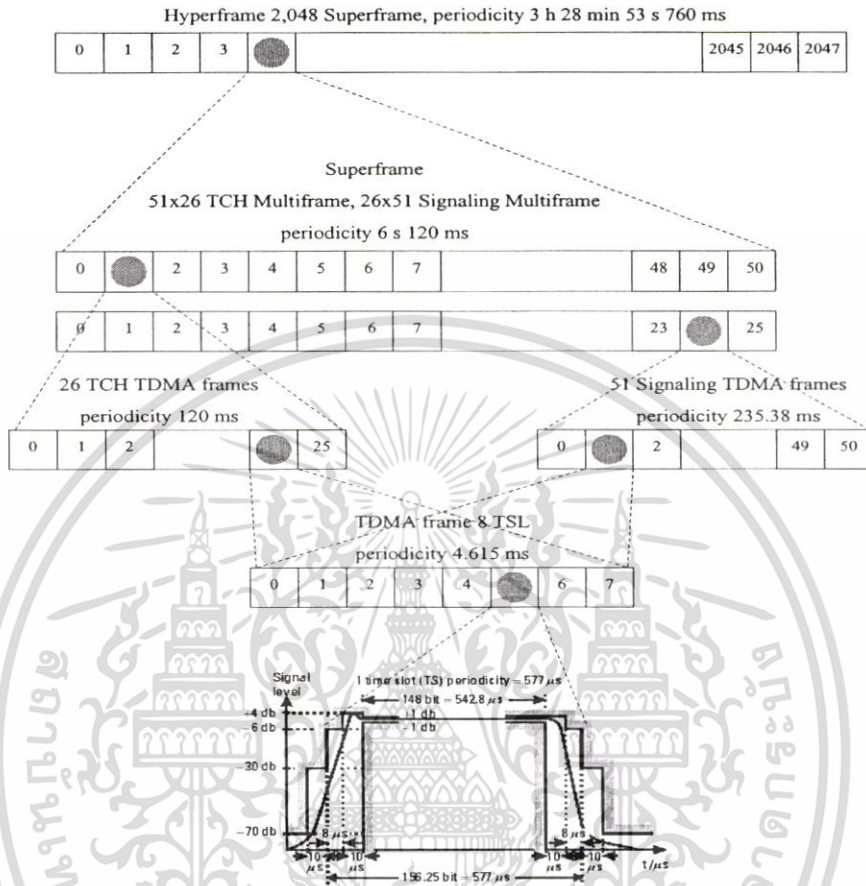


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกราฟฟิคมัลติเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 ไฮเปอร์เฟรมจะมีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง 28 นาที 53 วินาที 760 มิลลิวินาที โครงสร้างของเฟรมทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไฮเปอร์เฟรม

## 2.5 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง

การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Speech coding) เป็นกระบวนการแปลงเสียงซึ่งเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล จากนั้น สัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสารและเมื่อสัญญาณนี้เดินทางไปถึงจุดหมาย ก็จะถูกแปลงกลับคืนมาเป็นสัญญาณเสียงอีกครั้งหนึ่ง ในการออกแบบวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงจำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

1. คุณภาพของเสียงที่แปลงกลับคืนมาควรมีคุณภาพใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงที่ต้นทาง
2. อัตราบิตที่จะต้องใช้ในการเข้ารหัส ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแบนด์วิธของช่องสัญญาณที่ใช้ส่ง
3. ความซับซ้อนของวงจรเข้ารหัส
4. ไทม์รีเลย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในความเป็นจริงแล้วคุณภาพของเสียงจะขึ้นอยู่กับอัตราบิตที่ใช้ในการเข้ารหัส นั่นคือ การใช้อัตราบิตสูงขึ้นเท่าใดคุณภาพของสัญญาณเสียงจะดีตามไปด้วย และในทางกลับกันการลดอัตราบิตลงมากเท่าใดคุณภาพของสัญญาณเสียงก็จะลดลงตามไปด้วยเช่นกัน เราสามารถแบ่งวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

### 2.5.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Waveform coder

การเข้ารหัสแบบนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบบไทม์โดเมน (Time domain) และแบบฟ्रीควเอนซีโดเมน (Frequency domain)

#### 2.5.1.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM

วิธีการเข้ารหัสแบบ DPCM หรือ Differential Pulse Code Modulation เป็นวิธีการที่ปรับปรุงมาจากวิธีการเข้ารหัสแบบ PCM ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน หลักการของวิธีการ DPCM จะอาศัยคุณสมบัติเฉพาะ ชนิดหนึ่งของสัญญาณเสียงตรง ที่ระดับของสัญญาณเสียงโดยทั่วไปแล้ว จะมีความต่อเนื่อง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันบ่อย ดังนั้นแทนที่เราจะควอนไทซ์ระดับของสัญญาณจริง โดยตรงตามแบบที่วิธีการ PCM ใช้อยู่ ก็จะนำเฉพาะผลต่างของสัญญาณในปัจจุบันไปเปรียบเทียบกับสัญญาณก่อนหน้านั้น มาทำการควอนไทซ์แทน ซึ่งโดยปกติแล้วช่วงของความแตกต่างจะมีขนาดเล็กกว่าช่วงระดับของสัญญาณจริง ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถเข้ารหัสสัญญาณเสียงด้วยจำนวนบิตที่น้อยลงกว่าวิธีการ PCM เช่นเมื่อเรากำหนดให้สัญญาณที่จะทำการเข้ารหัสคือ

$$x(t) = A \sin(2\pi \cdot 800t) \quad (2.1)$$

กรณีที่ใช้การเข้ารหัสแบบ PCM ระดับของสัญญาณจะอยู่ระหว่าง  $A$  และ  $-A$  ส่วนกรณีของ DPCM ช่วงระดับของสัญญาณจะสามารถหาได้จากกรดิฟเฟอเรนเชียล  $x(t)$  เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดดังนี้

$$\frac{dx(t)}{dt} = A \cdot 2\pi \cdot 800 \cdot \cos(2\pi \cdot 800t) \quad (2.2)$$

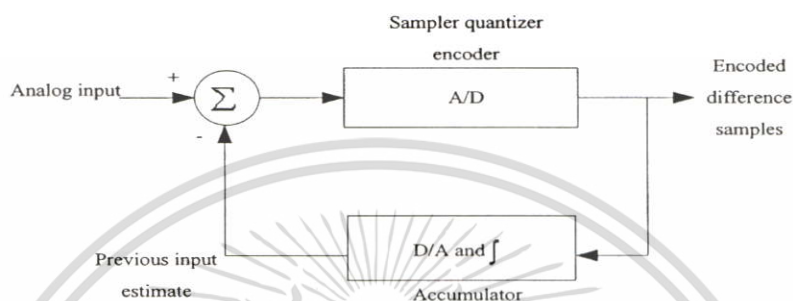
จะได้ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดเท่ากับ

$$|\Delta x(t)|_{\max} = A \cdot 2\pi \cdot 800 \cdot \frac{1}{8000} = 0.628A \quad (2.3)$$

เพื่อให้ได้คุณภาพเสียงที่เทียบเท่ากันเราจึงกำหนดให้ระดับของการควอนไทซ์ของทั้ง 2 วิธีมีค่าเท่ากัน จากเงื่อนไขนี้เราจะสามารถคำนวณต่อไปได้ว่า จำนวนบิตที่ต้องใช้ของวิธีการ DPCM จะมีจำนวนน้อยกว่าวิธีการ PCM เท่ากับ

$$\log_2\left(\frac{1}{0.628}\right) = 0.67 \text{ บิต} \quad (2.4)$$

ในระบบ DPCM นั้นเราสามารถลดจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเสียงได้ถึง 1 บิต ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของสัญญาณเสียงโดยทั่วไป จะไม่รวดเร็วเท่ากับ การเปลี่ยนของสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ 800 Hz สำหรับโครงสร้างของวงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM แสดงดังรูปที่ 2.5 สังเกตว่าวงจรนี้จำเป็นต้องมีส่วนของการป้อนกลับ เพื่อที่จะได้ไม่มีปัญหาการสะสมของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำควอนไทซ์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของวงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM

### 2.5.1.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM

การเข้ารหัสแบบ ADPCM หรือ Adaptive Differential PCM นั้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเข้ารหัสแบบ DPCM โดยการเพิ่มวงจรทำนายขนาดของสัญญาณล่วงหน้า นั่นคือแทนที่จะส่งค่าระดับความแตกต่างของสัญญาณที่เวลา  $t$  กับที่เวลา  $t-1$  ก็จะใช้ค่าของสัญญาณที่เวลา  $t-1, t-2, \dots, t-n$  มาใช้ในการทำนายว่าค่าของสัญญาณที่เวลา  $t$  มีขนาดเป็นเท่าใด โดยค่าของ  $n$  นั้นขึ้นอยู่กับอันดับ (Order) ของวงจรทำนายที่ใช้ ถ้า  $n$  มีค่ามากก็หมายความว่ามีการนำค่าในอดีตหลายค่ากลับมาทำนาย ในทางตรงกันข้ามหากค่า  $n$  มีค่าน้อย ๆ ก็หมายความว่ามีการนำค่าที่ผ่านไปแล้วกลับมาทำนายเพียงไม่กี่ค่าเท่านั้น แต่หากค่า  $n$  มีค่าเป็น 1 นั้นหมายความว่ามีการนำค่าที่แล้วเพียง 1 ค่ามาทำการทำนายนั่นก็คือวิธีการแบบ DPCM นั่นเอง

### 2.5.1.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ SBC

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ SBC หรือ Subband Coding เป็นการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบฟรีแควนซีโดเมน (Frequency domain) ซึ่งจะทำการแบ่งสเปกตรัมของสัญญาณเสียงออกเป็นแถบความถี่จำนวน 4 หรือ 8 ช่วง โดยอาศัยวงจรกรองความถี่จำนวน 4 หรือ 8 ชุดตามลำดับ ขนาดความกว้างของแถบความถี่แต่ละช่วง อาจจะกำหนดให้มีขนาดเท่ากันทั้งหมดหรือไม่ก็ได้ จากนั้นนำสัญญาณเสียงในแต่ละแถบความถี่เหล่านี้ไปแซมเปิลด้วยอัตราไนควิสต์ (Nyquist rate) สังเกตว่าอัตราการแซมเปิลของแต่ละแถบความถี่ที่ต้องใช้โดยปกติ จะมีขนาดต่ำกว่าอัตราที่ต้องใช้ ในกรณีที่ไม่ได้ทำการแบ่งสเปกตรัมความถี่

ของสัญญาณเสียงออกเป็นช่วง ๆ เลข จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการแซมเปิลของแต่ละแถบความถี่มาทำการควอนไทซ์ ทั้งนี้ระดับความละเอียดในการทำควอนไทซ์ของแต่ละช่วงไม่จำเป็นต้องเท่ากัน วิธีการกำหนดระดับความละเอียดนั้น ให้พิจารณาจากความไวของหูคนฟัง ที่มีต่อระดับความผิดเพี้ยนของเสียงที่เกิดขึ้นจากการทำควอนไทซ์ สำหรับแถบความถี่นั้น ๆ ซึ่งโดยปกติ ความไวเนื่องจากความผิดเพี้ยนที่เกิดจากความผิดพลาด ของการทำควอนไทซ์ของหูมนุษย์ จะลดลงอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อค่าความถี่ของสัญญาณมีขนาดสูงขึ้น ดังนั้นในช่วงความถี่สูง จำนวนระดับของการทำควอนไทซ์ก็มักจะกำหนดให้มีความละเอียดที่น้อยลง อัตราบิตที่ต้องใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ SBC โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 9.6-32 kbps และคุณภาพของเสียงที่ได้ก็ใกล้เคียงกับการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM เมื่อกำหนดให้อัตราบิตที่ค่าเท่ากัน

### 2.5.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Parametric Coder

Parametric coder หรือรู้จักกันในชื่อ Vocoder เป็นวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่อาศัยการจำลองกลไกและกระบวนการสร้างสัญญาณเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง ดังนั้นวิธีการนี้จะไม่คำนึงถึงรูปร่างของสัญญาณเสียงเลย หากแต่จะพยายามเน้นวิธีการสังเคราะห์สัญญาณเสียงให้ใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงจากต้นกำเนิดให้มากที่สุด ในการจำลองแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงมีอยู่หลายวิธีด้วยกันเช่น channel vocoder, format vocoder และวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ linear predictive coder (LPC) ซึ่งจะได้อธิบายถึงต่อไป

#### 2.5.2.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ LPC

Linear Predictive Coder (LPC) เป็นวิธีการเข้ารหัสประเภทหนึ่ง ของการเข้ารหัสแบบ Vocoder ที่ได้รับความนิยมเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถจำลองการทำงานของแหล่งกำเนิดเสียงได้อย่างมีคุณภาพดีกว่าการเข้ารหัส Vocoder ประเภทอื่น ๆ หลักการของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ LPC คือจะทำการแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นช่วงสั้น ๆ ช่วงละประมาณ 5-30 ms แล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อหาองค์ประกอบและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสัญญาณเสียงในช่วงเวลานั้น ๆ เช่น

1. ชนิดของเอกซ์ไซเทชัน (excitation) ว่าเป็นประเภท voiced หรือ unvoiced
2. ในกรณีที่ประเภท voiced ต้องมีการหาขนาดความยาวคาบของพิทช์ด้วย (pitch period)
3. ค่าอัตราขยายสัญญาณ (gain)
4. ค่าสัมประสิทธิ์ของ LPC

องค์ประกอบหรือค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสารไปภาครับเพื่อทำการสังเคราะห์สัญญาณเสียงกลับคืนมา ค่าพารามิเตอร์ตัวแรกก็คือชนิดของ เอกซ์ไซเทชัน ซึ่งใช้สำหรับบ่งบอกว่าสัญญาณเสียงในช่วงนี้เป็นประเภท voiced หรือ unvoiced เพื่อที่ภาคสร้างสัญญาณเสียงจะได้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง และหากเป็นสัญญาณแบบ voiced ก็จะต้องทำการส่งคาบของพิทช์ไปด้วยเพื่อใช้ในการควบคุมความยาวคาบของสัญญาณเอกซ์ไซเทชัน ค่าพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งก็คือค่าอัตราขยาย

(gain) ซึ่งใช้สำหรับควบคุมพลังงานของสัญญาณเอกซ์ไซเทชัน จากนั้นสัญญาณนี้ก็จะถูกส่งเข้าวงจรที่ใช้สำหรับจำลองการทำงานของช่องกำเนิดสัญญาณเสียงหรือที่เรียกว่า voiced tract ซึ่งในการจำลองนั้นจะใช้จำนวนสัมประสิทธิ์ของ LPC ทั้งหมดประมาณ 10-15 ตัว ซึ่งแบบจำลองโดยวิธี LPC นี้สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y(n) = \sum_{k=1}^p a_k y(n-k) + Gx(n) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $y(n)$  = สัญญาณขาออกที่เวลา  $n$   
 $a_k$  = สัมประสิทธิ์ LPC ตัวที่  $k$   
 $G$  = อัตราขยาย  
 $x(n)$  = สัญญาณขาเข้าที่เวลา  $n$   
 $p$  = จำนวนของสัมประสิทธิ์ LPC ที่ใช้

สังเกตว่าสัญญาณที่ขาออกจะขึ้นอยู่กับค่าของสัญญาณในอดีต คุณ อยู่กับสัมประสิทธิ์ LPC โดยปกติแล้วคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ได้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนสัมประสิทธิ์และจำนวนค่าของสัญญาณในอดีตที่นำมาใช้ การเข้ารหัสแบบนี้มีคุณลักษณะที่สามารถปรับตัวได้ตรงที่ภาควงจรเข้ารหัสจะมีการหาค่าสัมประสิทธิ์ชุดใหม่ทุก ๆ ช่วงเวลาแล้วทำการส่งออกไป

### 2.5.2.2 การหาค่าชุดสัมประสิทธิ์ LPC

ในกระบวนการทำนายค่าของสัญญาณ  $s(n)$  นั้น มีจุดมุ่งหมายหลักก็คือพยายามที่จะทำให้ค่าที่ทำนายนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด นั่นคือทำให้  $e(n)$  มีค่าน้อยที่สุด

$$e(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (2.6)$$

สำหรับข้อมูลสัญญาณเสียงในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ละช่วงที่จะทำการหาค่าชุดสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม เรามักจะพยายามให้พลังงานเฉลี่ยของ  $e(n)$  มีค่าน้อยที่สุดสำหรับช่วงเวลานั้น ๆ คือ

$$E = \sum_{n=1}^N e^2(n) = \sum_{n=1}^N \left( \sum_{k=0}^p a_k s(n-k) \right)^2 \quad (2.7)$$

โดยที่  $a_0 = -1$

ปกติแล้วช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่าประมาณ 10 ms ซึ่งเทียบได้เท่ากับค่า  $N = 80$  เพื่อให้ได้ค่าของ  $E$  น้อยที่สุด เราจะต้องทำการดิฟเฟอเรนเชียล  $E$  ด้วยค่า  $a_m$  ที่  $m = 1, 2, \dots, p$  และให้ค่าที่ได้ในแต่ละกรณีเหล่านี้เท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial E}{\partial a_m} = \sum_{n=1}^N 2s(n-m) \sum_{k=0}^p a_k s(n-k) = 0 \quad (2.8)$$

$$= \sum_{k=0}^p \sum_{n=1}^N s(n-m)s(n-k)a_k = 0 \quad (2.9)$$

สังเกตว่าส่วนที่อยู่ตรงกลางก็คือ correlation coefficient ( $C_{mk}$ ) ดังนั้นสมการสามารถเขียนได้เป็น

$$\sum_{k=0}^p C_{mk} a_k = 0 \quad (2.10)$$

เมื่อเราหาค่า correlation coefficient ได้แล้ว เราก็สามารถจะแก้สมการที่ (2.10) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ LPC ทั้งหมดได้ โดยทั่วไปการแก้สมการเหล่านี้จะอาศัยวิธีการทางเมทริกซ์มาช่วย โดยปกติแล้วชุดสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้นี้ จะมีได้นำไปใช้ในการส่งออกทันที เนื่องจากว่าในการเข้ารหัสของสัมประสิทธิ์แต่ละค่าเหล่านี้จะต้องใช้จำนวนบิตมากถึง 8-10 บิต จึงจะได้ค่าที่ถูกต้องและละเอียดพอ ด้วยเหตุนี้จึงมักจะทำการแปลงค่าเหล่านี้ให้เป็นชุดสัมประสิทธิ์ชุดใหม่ที่เรียกว่า reflection coefficients ก่อนแล้วจึงทำการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ชุดใหม่นี้แทน ซึ่งการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ชุดใหม่นี้จะใช้จำนวนบิตที่น้อยกว่า คือประมาณ 6 บิต หรือน้อยกว่า

ปัญหาหลักของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือ การใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันเพียง 2 รูปแบบ คือ สัญญาณพัลส์ ที่มีคาบคงที่ตลอดช่วงเวลาสั้น ๆ และแบบที่เป็นสัญญาณรบกวน สำหรับแทนสัญญาณประเภท voiced และ unvoiced ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่สังเคราะห์ขึ้นที่ภาครับมีลักษณะที่ไม่เป็นธรรมชาติ อีกทั้งการที่จะประมาณหาค่าความยาวของคาบสัญญาณพัลส์ ก็กระทำได้ยากในความเป็นจริง ดังนั้น จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันรูปแบบอื่นเพื่อที่จะทำให้ได้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีขึ้นต่อไป

### 2.5.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ Hybrid Coder

Hybrid coder เป็นวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่รวมเอาเทคนิควิธีการเข้ารหัสเสียง 2 แบบคือ waveform coder และ parametric coder เข้าด้วยกัน นั่นคือมีการทำ LPC เหมือนกับวิธี parametric coder และก็มีการใช้วิธีจาก waveform coder มาช่วยในการเข้ารหัสสัญญาณส่วนที่เหลือ วงจรที่ใช้การเข้ารหัสชนิดนี้ยกตัวอย่างเช่น MPE-LPC, CELP, RELP และที่สำคัญที่ใช้ในระบบเครือข่ายจีเอสเอ็มก็คือการเข้ารหัสแบบ RPE-LPC

#### 2.5.3.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ MPE-LPC

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันที่มีเพียงหนึ่งพัลส์ในทุก ๆ คาบของหนึ่งพิทช์จะไม่สามารถจำลองแหล่งกำเนิดเสียงได้อย่างมีคุณภาพ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นให้มีการใช้พัลส์มากกว่าหนึ่งพัลส์ในแต่ละคาบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่า 8 พัลส์ต่อหนึ่งคาบ จากนั้นก็จะทำการ

เลือกขนาด และปรับตำแหน่งที่เหมาะสมของพัลส์เหล่านั้นเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด วิธีการนี้เรียกว่า Multi pulse excited LPC หรือ MPE-LPC วิธีการนี้มีข้อดีคือไม่ต้องมีการคำนวณหาค่าช่วงเวลาพัลส์และสัญญาณเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสก็มีคุณภาพดีกว่าการเข้ารหัสแบบ LPC อีกด้วย

**2.5.3.2 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ CELP**

สำหรับวิธีการเข้ารหัสแบบ CELP หรือ Code-book Excited Linear Prediction นี้จะประกอบด้วยชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันที่มีรูปแบบตายตัวจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า code book โดยที่สัญญาณเอกซ์ไซเทชันเหล่านี้จะมีคุณลักษณะการกระจายเป็นแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ที่ภาคเข้ารหัสสัญญาณจะทำการค้นหาและเลือกสัญญาณเอกซ์ไซเทชัน ชุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสัญญาณเสียงในแต่ละช่วงเวลา คือให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีที่สุด จากนั้นภาคส่ง ก็จะทำการส่งดัชนี ที่บ่งบอกถึงชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันไปพร้อม ๆ กัน กับชุดสัมประสิทธิ์ LPC ที่ภาครับก็จะทำการเลือกชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันที่ภาคส่งระบุมา จากนั้นจะส่งผ่านเข้าวงจรฟิลเตอร์ LPC สำหรับทำการสังเคราะห์เสียงต่อไป การเข้ารหัสในลักษณะนี้จะใช้อัตราบิตในการเข้ารหัสไม่สูงนัก เพียงประมาณ 4.8 kbps เท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าทำการแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นบล็อก ๆ มีขนาดบล็อกละ 5 ms มาทำการเข้ารหัส โดยใช้อัตราความถี่ของการสุ่มสัญญาณที่ 8 kHz ในช่วงเวลาหนึ่งบล็อกจะได้แซมเปิลทั้งหมด 40 แซมเปิล หากเราใช้อัตราบิตสำหรับเข้ารหัสในส่วนของเอกซ์ไซเทชันเท่ากับ 1 บิต ต่อ 4 แซมเปิล นั่นหมายความว่าเราสามารถนำบิตจำนวน 10 บิต มาใช้เป็นดัชนีของชุดเอกซ์ไซเทชันที่แตกต่างกันได้ทั้งหมด  $2^{10} = 1,024$  ชุด เพราะฉะนั้นอัตราบิตที่ใช้เป็นดัชนีของชุดเอกซ์ไซเทชันมีค่าเท่ากับ 2 kbps

ปัญหาที่สำคัญสำหรับวิธีการเข้ารหัสแบบนี้คือ ความซับซ้อนและระยะเวลาในการค้นหาชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันที่เหมาะสมจาก code book เนื่องจากคุณภาพของเสียงที่ได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันที่มีไว้ให้เลือกใช้ ดังนั้นเมื่อมีชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันมากขึ้น ก็จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการค้นหานานขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้การพัฒนาในช่วงต่อมาจึงเป็นการคิดค้นแนวทางในการหาวิธีที่สามารถค้นหาชุดสัญญาณเอกซ์ไซเทชันได้รวดเร็วขึ้น

**2.5.3.3 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ RELP**

วิธีการเข้ารหัสแบบ RELP หรือ Residual Excited LPC จะใช้วิธี LPC เป็นองค์ประกอบหลัก นั่นคือจะมีการหาค่าสัมประสิทธิ์ LPC และชนิดของเอกซ์ไซเทชันเหมือนวิธีการเข้ารหัสแบบ LPC ทุกประการ จากนั้น ที่วงจรเข้ารหัสจะทำการสังเคราะห์เสียงตามค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ แล้วนำไปลบกับสัญญาณเสียงจริงเพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างสองสัญญาณ ส่วนแตกต่างนี้มีชื่อเรียกว่า residual signal ค่าของความแตกต่างนี้จะนำมาทำการควอนไทซ์และส่งออกไปพร้อม ๆ กับพารามิเตอร์ LPC

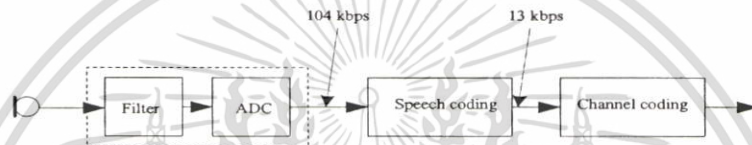
**2.5.3.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ RPE-LTP**

วิธีที่ใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบจีเอสเอ็มนี้มีชื่อเรียกว่า Regular pulse excited long term prediction (RPE-LPC) ซึ่งเป็นการรวมเอาข้อดีของ 2 วิธีเข้าด้วยกันคือ RELP ซึ่งมีข้อดีคือให้เสียงที่

มีคุณภาพดีโดยที่วงจรเข้ารหัสไม่ซับซ้อนมากนัก แต่อาจจะมีสัญญาณรบกวนหากบิตข้อมูลมีความผิดพลาด และ MPE-LTP ซึ่งมีข้อดีคือให้คุณภาพเสียงที่ดีมาก และยังคงทำงานได้ดีถึงแม้จะเกิดมีบิตข้อมูลผิดพลาดไประหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณ แต่วงจรเข้ารหัสจะมีความซับซ้อนมาก ผลที่ได้จากการรวมทั้ง 2 วิธีเข้าด้วยกันจะได้รหัสสัญญาณเสียงที่มีขนาด 13 kbps

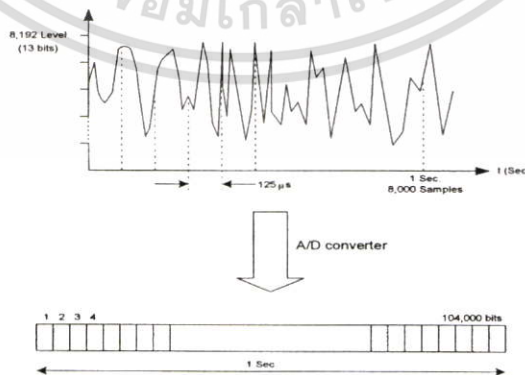
**2.6 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ**

ข้อมูลสัญญาณเสียง ซึ่งเป็น สัญญาณอนาล็อก จะถูกแปลงให้เป็น สัญญาณดิจิทัล ด้วยอัตราการสุ่มเท่ากับ 8,000 sample/s โดยใช้ 13 bits/sample จากนั้นจะนำไปเข้ารหัสด้วยวิธีการ RPE-LTP ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ซึ่งจะได้ข้อมูลออกมาในอัตราบิตเป็น 13 kbps ข้อมูลนี้จะต้องถูกนำไปเข้ารหัสช่องสัญญาณก่อน เพื่อป้องกันการผิดพลาดของสัญญาณในระหว่างการส่งผ่านจากต้นทางไปยังปลายทาง รูปที่ 2.6 แสดงถึงกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียงเบื้องต้น



รูปที่ 2.6 กระบวนการแปลงสัญญาณเสียงขั้นต้น

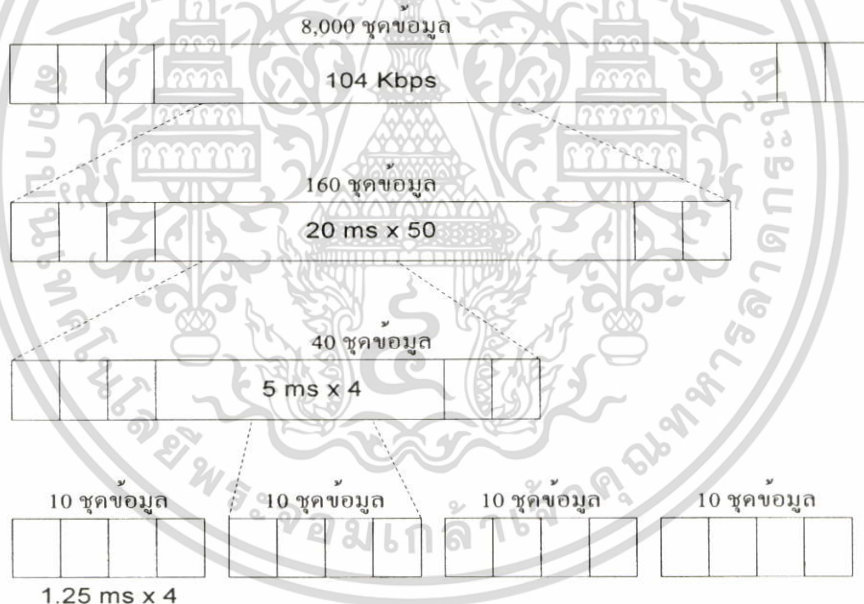
เสียงพูดของคนเราจะมีความถี่อยู่ในช่วง 300-3,400 Hz หรือโดยประมาณคือ 4 kHz ดังนั้นค่าที่จะนำมาทำการแซมปิงจะต้องมีขนาดมากกว่า 2 เท่า นั่นคือ 8 kHz การสุ่ม 1 ครั้งจะได้ข้อมูล 13 บิต ดังนั้นในการสุ่ม 8,000 ครั้งจะได้ข้อมูลออกมา 104 kbps แต่อัตราบิตที่ได้นี้สูงเกินกว่าที่จะนำมาบรรจุลงในช่องสัญญาณเพื่อที่จะส่งไปยังปลายทางได้ เนื่องจากจะทำให้แบนด์วิธมีค่ากว้างมากเกินไป ดังนั้นจึงต้องทำการลดอัตราบิตลงมาให้เหมาะสมที่จะส่งผ่านช่องสัญญาณได้ รูปที่ 2.7 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณเสียงเป็นแบบอนาล็อกเมื่อได้รับการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.7 การสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นข้อมูลที่มีขนาด 104 kbps หรือ 8000 ชุดข้อมูลเบื้องต้นจะถูกนำมาแบ่งออกเป็นช่วง ๆ โดยแต่ละช่วงมีความยาว 20 ms ซึ่งต่อไปเราจะพิจารณาชุดข้อมูลช่วงนี้เป็นหลัก หลังจากได้ข้อมูลช่วงเวลา 20 ms ซึ่งมีขนาด 2,080 บิต หรือ 160 ชุดข้อมูลออกมาแล้วจะมีการแบ่งข้อมูลชุดนี้ออกเป็นชุดข้อมูลย่อย ๆ 4 ชุด ซึ่งจะมีจำนวนบิตชุดละ 520 บิต หรือ 40 ชุดข้อมูล และสุดท้ายจะต้องทำการแบ่งข้อมูล 520 บิตนี้ออกเป็น 4 ส่วนจะได้ส่วนละ 130 บิต หรือ 10 ชุดข้อมูล จากนั้นข้อมูล 4 ส่วนนี้ จะต้องนำข้อมูลแต่ละส่วนมาทำการแทนค่าเป็นพลังงานเสียงพูด ซึ่งจะเลือกเอาเฉพาะสัญญาณส่วนที่เมื่อแทนค่าแล้วให้ค่าพลังงานสูงสุด ดังนั้นจาก 4 ส่วนใหญ่เมื่อทำการแทนค่าด้วยพลังงานเสียงพูดและคัดเลือกแล้วก็จะเหลือข้อมูลเพียงชุดเดียว ดังนั้นที่ช่วงเวลา 20 ms เดิมจะมีข้อมูล 160 ชุด หรือ 2,080 บิต ก็จะลดลงเหลือข้อมูลเพียง 40 ชุด หรือ 520 บิต ซึ่งจากเดิมอัตราข้อมูลเสียงหลังจากแปลงเป็นดิจิทัล 104 kbps ก็จะลดลงเหลือเพียงแค่ 26 kbps เท่านั้น นั่นคือลดลงมาเหลือเพียง 1 ใน 4 จากนั้นจะส่งไปทำการเข้ารหัสสัญญาณเสียง โดยจะทำการย้อนกลับ ไปหาข้อมูลในอดีต ที่มีความคล้ายคลึงกัน มาทำการหาค่าความแตกต่าง ของสัญญาณและตัวแปรอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับกลุ่มใด ซึ่งหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเก่าจะมีขนาด 15 ms หรือ 30 ชุดข้อมูล ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน รูปที่ 2.8 แสดงถึงลักษณะของการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นส่วนต่าง ๆ ในกระบวนการลดอัตราบิตของสัญญาณเสียงที่เป็นดิจิทัล



รูปที่ 2.8 กระบวนการลดอัตราบิตของสัญญาณเสียง

เมื่อเราได้ข้อมูลขนาด 260 บิต ในช่วงเวลา 20 ms แล้ว จากนั้นจะต้องนำข้อมูลแต่ละชุดมาทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยขั้นตอนแรกคือต้องทำการแบ่งข้อมูลดังกล่าวออกเป็นกลุ่ม (Class) จำนวน 3 กลุ่ม โดยแบ่งตามระดับความสำคัญของข้อมูล โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 50+132+78 บิตตามลำดับ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลกลุ่มแรกเรียกว่า Class Ia ข้อมูลในกลุ่มนี้จะมีขนาด 50 บิต ข้อมูลกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญสูงสุด จะมีการเพิ่มบิตเข้าไปอีกจำนวน 3 บิต เพื่อใช้ในการเข้ารหัสแบบ CRC เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่คิดว่ามีความผิดพลาดหรือไม่ ชุดของโพลิโนเมียลที่ใช้คือ

$$X^3 + X + 1 \quad (2.11)$$

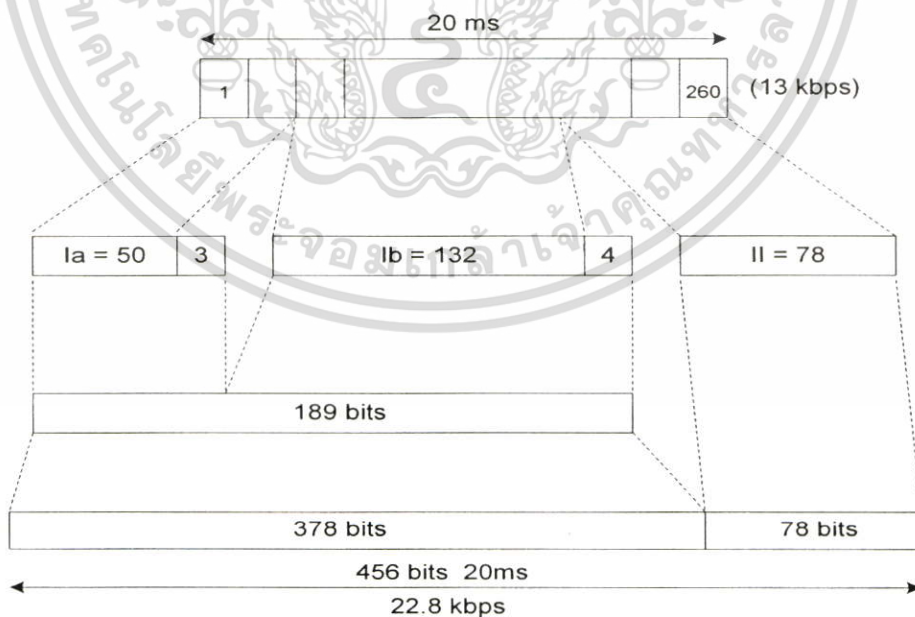
ในกรณีที่พบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นข้อมูลทั้งกลุ่มจะถูกทิ้งไปและอาศัยวิธีการที่เรียกว่า interpolation มาแทนที่

กลุ่มที่สองเรียกว่า Class Ib มีจำนวนบิตทั้งหมด 132 บิตจะนำไปรวมกับข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วของกลุ่มที่หนึ่งและเพิ่มขึ้นอีก 4 บิตต่อท้าย จากนั้นก็จะนำข้อมูลทั้ง 189 บิตนี้ไปทำการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ 1/2 โดยมี constraint length เท่ากับ 5 และชุดโพลิโนเมียลที่ใช้คือ

$$X^4 + X^3 + 1 \quad (2.12)$$

$$X^4 + X^3 + X + 1 \quad (2.13)$$

ผลที่ได้คือข้อมูลจำนวนเท่ากับ 378 บิต และในขั้นตอนสุดท้ายก็จะนำกลุ่มที่สามนั่นคือ Class II มาต่อท้ายโดยไม่มีการเข้ารหัสใด ๆ จำนวน 78 บิต ผลที่ได้จากการเข้ารหัสช่องสัญญาณคือจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้นจากเดิม 260 บิต เป็น 456 บิตในทุก ๆ 20 ms นั้นหมายความว่าอัตราบิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 22.8 kbps ดังแสดงในรูปที่ 2.9

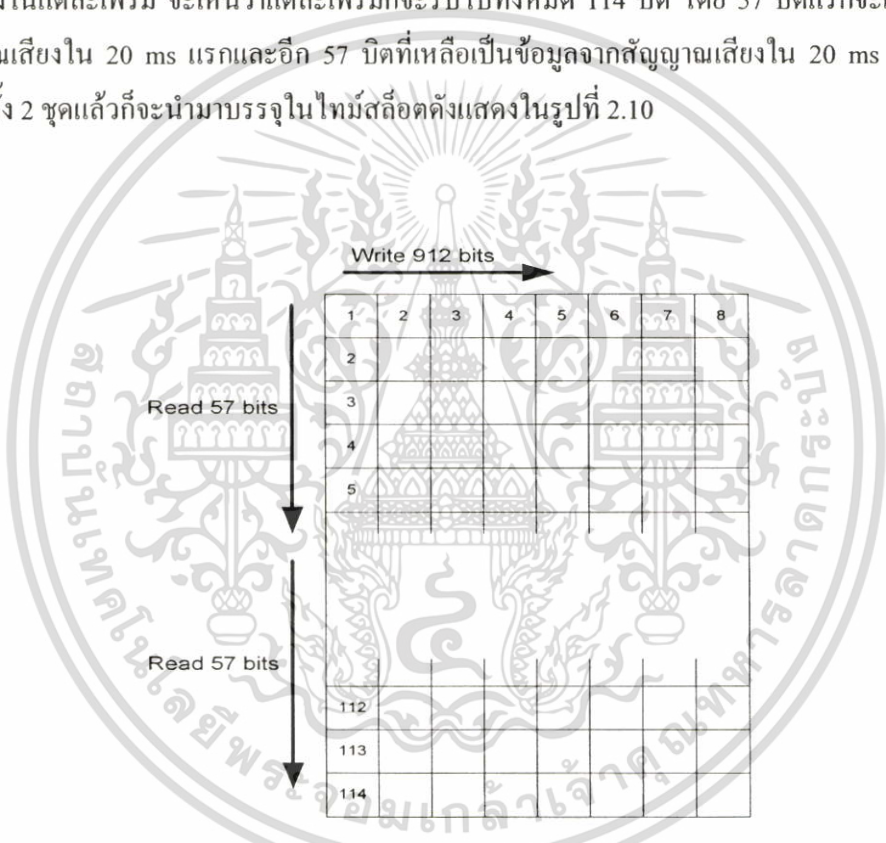


รูปที่ 2.9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้นำไปบรรจุลงในเทปแม่เหล็กโดยตรงทันที หากแต่จะถูกนำไปผ่านกระบวนการอินเทอร์ลีฟก่อน เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณรบกวนที่จะทำให้ข้อมูลที่ส่งไปนั้นเกิดความผิดพลาดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเรื่องค่อนข้างยากที่จะหาวิธีการเข้ารหัสที่สามารถรับมือกับสัญญาณรบกวนแบบนี้โดยตรงได้ ดังนั้นการทำอินเทอร์ลีฟจึงมีประโยชน์อย่างมากเพราะช่วยทำให้การผิดพลาดของข้อมูลมีการกระจายกันออกไปในหลายๆ เฟรม

ในการทำอินเทอร์ลีฟนั้นจะต้องรองรับข้อมูลจากวงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงจนครบ 912 บิตหรือทุก ๆ 40 ms เสียก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้ง 912 บิต มาแยกจัดการกระจายลงไปในเฟรมจำนวน 8 เฟรมที่ติดต่อกันโดยวิธีการนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 เริ่มโดยการเขียนข้อมูลทั้ง 912 บิต นี้ลงในเมทริกซ์ในแนวนอนทีละแถว แถวละ 8 บิต จนครบ 114 แถว จากนั้นก็อ่านข้อมูลเหล่านี้่ออกในแนวตั้งแล้วนำไปบรรจุลงในแต่ละเฟรม จะเห็นว่าแต่ละเฟรมก็จะรับไปทั้งหมด 114 บิต โดย 57 บิตแรกจะเป็นข้อมูลจากสัญญาณเสียงใน 20 ms แรกและอีก 57 บิตที่เหลือเป็นข้อมูลจากสัญญาณเสียงใน 20 ms ถัดมา เมื่อได้ข้อมูลทั้ง 2 ชุดแล้วก็จะนำมาบรรจุในเทปแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทำอินเทอร์ลีฟของสัญญาณเสียง

## บทที่ 3

# การบริหารช่องสัญญาณและการเกิดบล็อกของระบบจีเอสเอ็ม

บทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ และคุณภาพของช่องสัญญาณที่มีการส่งผ่านระหว่างต้นทางและปลายทางหรือระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐาน

### 3.1 อีควอลไลเซอร์

การส่งผ่านสัญญาณในระบบสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ แบบดิจิทัล มักมีปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เรียกว่า Intersymbol Interference (ISI) ซึ่งเกิดจากผลกระทบของมัลติพาทที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณที่สัญญาณส่งผ่าน ผลกระทบของ ISI จะทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีรูปร่างผิดเพี้ยนไป และมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่รับได้ที่ภาครับหลังจากผ่านกระบวนการคิงสัญญาณกลับมา วิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการกับปัญหา ISI นี้ได้ก็คือการใช้วงจรที่เรียกว่าอีควอลไลเซอร์ (Equalizer) ไปติดตั้งที่ภาครับสัญญาณ — วงจรอีควอลไลเซอร์มีหน้าที่ในการปรับแก้รูปสัญญาณให้มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น เพื่อให้การคิงสัญญาณเดิมกลับคืนมามีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่งโดยปกติแล้ววงจรอีควอลไลเซอร์ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะต้องสามารถปรับตัวได้ นั่นคือคุณสมบัติหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรจะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของช่องสัญญาณที่มักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นจึงเรียกวงจรดังกล่าวว่า วงจรอีควอลไลเซอร์แบบปรับตัวได้ (Adaptive Equalizer)

หลักการทำงานของวงจรอีควอลไลเซอร์แบบปรับตัวได้ จะแบ่งการส่งสัญญาณออกเป็นสองช่วงสลับกันไปตลอด ในช่วงแรก ภาครับจะส่งชุดบิตที่เรียกว่า Training sequence ไปให้ภาครับ ซึ่งรูปแบบของชุดบิตที่ว่านี้ภาครับจะทราบค่าอยู่ล่วงหน้าแล้ว ชุดบิตเหล่านี้อาจจะมึรูปแบบตายตัวหรืออาจจะเป็นแบบ Random binary ก็ได้ ในช่วงที่ภาครับได้รับชุดบิตดังกล่าวภาครับก็จะทำการคำนวณและปรับค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ในวงจรอีควอลไลเซอร์ที่เหมาะสม สำหรับจัดการกับสภาพของช่องสัญญาณในขณะนั้น เมื่อภาครับส่งสิ้นสุดการส่งชุด Training sequence ก็จะเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งเป็นช่วงที่ภาครับจะทำการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ตามไป ในช่วงนี้ ภาครับจะใช้วงจรอีควอลไลเซอร์ ที่ได้มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไว้มาใช้ในการคิงข้อมูลกลับมา เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด จะเห็นว่าคุณลักษณะของวงจรอีควอลไลเซอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพช่องสัญญาณ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จากกลไกการทำงานของอีควอลไลเซอร์ในลักษณะนี้ จึงเป็นวิธีที่มีประโยชน์อย่างมากในระบบ TDMA ซึ่งมีการจัดแบ่งเวลาในการส่งสัญญาณออกเป็นบิตที่ชัดเจน โดยระบบจะส่งชุด Training sequence สลับกับการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ วงจรอีควอลไลเซอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ช่วงเวลาจำนวน  $N$  ชุด วงจรคูณสัญญาณจำนวน  $N + 1$  ชุด และวงจรวกสัญญาณ วงจรอีควอลไลเซอร์จะทำการการปรับค่าสัมประสิทธิ์การคูณ (weights) ที่ขาเข้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจะมีสัญญาณ  $y_k$  ค่าใหม่เข้ามาทุก ๆ ช่วงเวลา ค่าของ  $y_k$  นี้มีขนาดที่ไม่แน่นอน เพราะมีการแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของช่องสัญญาณ และปริมาณ ของสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณในขณะนั้น ๆ ดังนั้น จึงกล่าวว่า  $y_k$  เป็นกระบวนการเร้นดอม โครงสร้างของวงจรที่ต่อเชื่อมในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า Transversal filter ค่าสัมประสิทธิ์ของการคูณสัญญาณ  $w$  แต่ละตัวจะมีตัวแปรเวลา  $k$  ห้อยอยู่ด้วย เพื่อบ่งบอกว่าค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้แปรเปลี่ยนตามเวลาในช่วงที่ระบบกำลังหาค่าที่เหมาะสม ค่า  $w$  เหล่านี้ อาจจะมีการปรับเปลี่ยนในทุก ๆ ครั้งที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $k$  หรืออาจจะเปลี่ยนหลังจากที่มีข้อมูลขาเข้าจำนวนหนึ่งบิตออก กรรมวิธีหรืออัลกอริทึมในการปรับค่าสัมประสิทธิ์จะขึ้นอยู่กับค่า  $e_k$  เป็นสำคัญ โดย  $e_k$  คือผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่า  $d_k$  กับค่า  $\hat{d}_k$  ซึ่งโดยทั่วไปอัลกอริทึมที่ใช้ก็จะพยายามปรับสัมประสิทธิ์การคูณในทิศทางที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) ที่สนใจมีขนาดลดต่ำลงเรื่อย ๆ ค่าฟังก์ชันต้นทุนที่นิยมใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์แบบหนึ่งก็คือค่า mean square error (MSE) ระหว่างค่าของสัญญาณที่ต้องการกับค่าของสัญญาณที่ได้จากวงจรคือวอลเซอร์ สำหรับตัวอย่างของอัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณและปรับค่าสัมประสิทธิ์คือวิธีการ Least Mean Squares (LMS) โดยในการและปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมจะอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\text{New weights} = \text{Previous weights} + (\text{constant})(\text{Previous error})(\text{Current input}) \quad (3.1)$$

โดยที่

$$\text{Previous error} = \text{Previous desired output} - \text{Previous actual output} \quad (3.2)$$

สำหรับค่าคงที่ที่ใช้ในนั้น สามารถปรับเปลี่ยนไปได้ในการคำนวณแต่ละรอบ เพื่อควบคุมอัตราการเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์ให้เหมาะสม การคำนวณปรับค่าสัมประสิทธิ์ของการคูณ จะกระทำซ้ำไปเรื่อย ๆ หลายรอบจนกระทั่งค่าสัมประสิทธิ์เริ่มอยู่ตัวและเข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด เมื่อเราได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว กระบวนการปรับค่าสัมประสิทธิ์จะหยุดลง ช่วงเวลาถัดมาก็จะใช้ในการรับส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ ในช่วงเวลานี้จะใช้ชุดสัมประสิทธิ์ที่หาได้ไปจนกระทั่งมีความจำเป็นที่จะต้องปรับค่าสัมประสิทธิ์ใหม่อีกครั้ง

เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรอีควอลไลเซอร์ที่เหมาะสมได้โดยกำหนดให้เวกเตอร์  $y_k$  แทนสัญญาณขาเข้าของวงจรอีควอลไลเซอร์

$$y_k = [y_k \quad y_{k-1} \quad y_{k-2} \quad \dots \quad y_{k-N}]^T \quad (3.3)$$

และให้เวกเตอร์  $w_k$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การคูณของวงจรอีควอลไลเซอร์

$$w_k = [w_{0k} \quad w_{1k} \quad w_{2k} \quad \dots \quad w_{Nk}]^T \quad (3.4)$$

เราจะสามารถแสดงสัญญาณที่ขาออกซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\hat{d}_k = \sum_{n=0}^N w_{nk} y_{k-n}$  ในรูปของเวกเตอร์ได้เป็น

$$\hat{d}_k = y_k^T w_k = w_k^T y_k \quad (3.5)$$

ในช่วงที่วงจรทราบค่าของชุดข้อมูลที่แท้จริงอยู่แล้ว ค่าของ  $d_k$  จะกำหนดให้เท่ากับ  $x_k$  เพราะฉะนั้นค่าความแตกต่างหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็น

$$e_k = d_k - \hat{d}_k = x_k - \hat{d}_k \quad (3.6)$$

จากสมการ (3.6) จะได้ว่า

$$e_k = x_k - y_k^T w_k = x_k - w_k^T y_k \quad (3.7)$$

$$|e_k|^2 = x_k^2 + w_k^T y_k y_k^T w_k - 2x_k y_k^T w_k \quad (3.8)$$

$$E[|e_k|^2] = E[x_k^2] + w_k^T E[y_k y_k^T] w_k - 2E[x_k y_k^T] w_k \quad (3.9)$$

การคำนวณค่า  $E[|e_k|^2]$  ในความเป็นจริงจะใช้การหาค่าเฉลี่ยทางเวลาแทน และสังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์การคูณ  $w_k$  มิได้ถูกนำไปใช้ในการหาค่าเฉลี่ยด้วย เพราะจะสมมติว่าค่า  $w_k$  ที่ใช้อยู่เป็นค่าที่ได้รับการปรับจนเหมาะสมแล้วและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

กำหนดให้เวกเตอร์  $p$  แทนสหสัมพันธ์ไขว้ (Cross correlation) ระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณที่ขาเข้า

$$p = E[x_k y_k] = E[x_k y_k \quad x_k y_{k-1} \quad x_k y_{k-2} \quad \dots \quad x_k y_{k-N}]^T \quad (3.10)$$

และกำหนดให้เมทริกซ์  $R$  แทนเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของขาเข้า (Input correlation matrix) ที่มีขนาดเท่ากับ  $(N+1) \times (N+1)$  หรือบางทีจะเรียกว่า โคเวเรียนซ์เมทริกซ์ของขาเข้า (Input covariance matrix)

$$R = E[y_k y_k^T] = E \begin{bmatrix} y_k^2 & y_k y_{k-1} & y_k y_{k-2} & \dots & y_k y_{k-N} \\ y_{k-1} y_k & y_{k-1}^2 & y_{k-1} y_{k-2} & \dots & y_{k-1} y_{k-N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k-N} y_k & y_{k-N} y_{k-1} & y_{k-N} y_{k-2} & \dots & y_{k-N}^2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

ถ้าหาก  $x_k$  และ  $y_k$  มีคุณลักษณะที่เป็นสเตชันนารี (stationary) จะได้ค่าเทอมต่าง ๆ ใน  $p$  และ  $R$  ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากสมการข้างต้นจะได้ค่า

$$\text{Mean Square Error (MSE)} = \xi = E[x_k^2] + w^T R w - 2p^T w \quad (3.12)$$

จากสมการนี้ เราสามารถหาค่าเวกเตอร์  $w$  ที่ทำให้ค่า MSE มีขนาดต่ำที่สุดได้ โดยการหาค่าเกรเดียนต์ของ  $\xi$  ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla = \frac{\partial \xi}{\partial w} = \left[ \frac{\partial \xi}{\partial w_0} \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_N} \right]^T \quad (3.13)$$

เมื่อคิฟเฟอเรนเชียลแต่ละเทอมโดยเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การคูณแต่ละค่าจนครบก็จะได้

$$\nabla = 2Rw - 2p \quad (3.14)$$

กำหนดให้  $\nabla = 0$  เพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดของ MSE ผลลัพธ์ที่ได้คือชุดสัมประสิทธิ์  $\hat{w}$  ที่เหมาะสม

$$\hat{w} = R^{-1} p \quad (3.15)$$

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ไปแทนลงในสมการ (3.12) จะได้

$$\text{MMSE} = \xi_{\min} = E[x_k^2] - p^T R^{-1} p = E[x_k^2] - p^T \hat{w} \quad (3.16)$$

### 3.2 ทราฟฟิกและการเกิดบล็อก

เมื่อเราต้องมีพื้นที่และปริมาณความต้องการอยู่จำนวนหนึ่งแล้ว ผู้ออกแบบระบบจะต้องทำการคำนวณจำนวนช่องสัญญาณ ที่จะทำการนำมาใช้กำหนดลงในแต่ละเซลล์ของเครือข่าย ค่าของ GOS หรือ Grade of Service จะเป็นค่าที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากเป็นสิ่งแรก ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องลูกข่ายในการเข้าใช้งานระบบเครือข่ายในช่วงที่มีการใช้งานอย่างสูงสุด ซึ่งควรจะมีค่าอยู่ที่ 0.02 หรือดีกว่านี้ ซึ่งหมายความว่า จะมีเครื่องลูกข่ายจำนวน 2 เครื่องที่ไม่สามารถเข้าใช้งานระบบเครือข่ายได้ ในช่วงที่มีการใช้งานสูงสุด จากจำนวนเครื่องลูกข่ายทั้งหมด 100 เครื่อง โดยสมการที่ใช้ในการหาค่าความหนาแน่นของทราฟฟิกคือ

$$A = \frac{Q_i \cdot T}{60} \quad (3.17)$$

เมื่อ  $Q_i$  = ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งในการใช้สายต่อหนึ่งหน่วยเวลา

$T$  = ระยะเวลาเฉลี่ยของการสนทนาในแต่ละครั้ง

ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าความหนาแน่นของทราฟฟิกเฉลี่ยต่อหนึ่งผู้ใช้งานระบบเครือข่ายนั้น หากว่าภายในบริเวณนั้นมีผู้ใช้งานเครือข่ายในลักษณะเดียวกันเป็นจะนวน  $U$  คน เราจะสามารถหาความหนาแน่นของทราฟฟิกรวมได้ดังสมการต่อไปนี้

$$A_{sum} = U \cdot A \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหากเราต้องการจะหาความหนาแน่นทราฟฟิกเฉลี่ยต่อหนึ่งช่องสัญญาณ โดยให้  $C$  เป็นจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ในขณะนั้น จะสามารถหาได้จากสมการ

$$A_c = \frac{U \cdot A}{C} \quad (3.19)$$

ประการต่อมาคือความต้องการของปริมาณทราฟฟิกต่อเซลล์ ซึ่งโดยปกติแล้วจะวัดค่าออกมาเป็นเออร์แลง (Erlang) โดยการคูณค่าของจำนวนเครื่องลูกข่ายภายในเซลล์นั้น ๆ กับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการสนทนาในแต่ละครั้งและคูณกับค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งในการโทรต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ในการศึกษาถึงความน่าจะเป็นในการเกิดบล็อกนั้น เราจะต้องมีการตั้งสมมติฐานเพื่อให้การวิเคราะห์สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

1. มีผู้ใช้งานระบบเครือข่ายในปริมาณมาก
2. ผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถจะทำการโทรเข้าออกได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน
3. จำนวนการโทรมีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซง
4. ระยะเวลาในการสนทนาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบลบ
5. จำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด

จากสมมติฐานเหล่านี้ เมื่อเราทราบปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่จะรองรับ และจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ เราจะสามารถหาความน่าจะเป็นในการเกิดบล็อกได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{A^C}{C!} \frac{C!}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} \quad (3.17)$$

เมื่อ  $\Pr[\text{blocking}] =$  ความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อก

$A =$  ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ภายในเซลล์หนึ่ง ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา

$C =$  จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีอยู่ภายในเซลล์

### 3.3 การบริหารทราฟฟิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

#### 3.3.1 การขยายความจุของระบบ

โดยปกติแล้ว เมื่อใดที่ปริมาณการใช้โทรศัพท์เพิ่มขึ้นอย่างมาก ในบริเวณเซลล์หนึ่ง จำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ไม่อาจจะรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเพียงพอ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความจุของระบบ ในการเพิ่มความจุของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

### 3.3.1.1 การแบ่งเซลล์ออกเป็นระยะ

การแบ่งเซลล์ออกเป็นระยะ เป็นวิธีการเพิ่มความจุของระบบ โดยอาศัยการแบ่งเซลล์เดิมออกเป็นสองระยะทาง คือส่วนที่อยู่ใกล้สถานีฐานและส่วนที่อยู่ห่างจากสถานีฐานออกไป โดยพื้นที่ใหม่ที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นจะต้องมีการติดตั้งสถานีฐาน และสายอากาศเพิ่มเติม ภายในพื้นที่แต่ละส่วนสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ตามแต่ผู้ออกแบบเครือข่ายจะกำหนด ดังนั้น หากต้องการให้ขนาดความจุของระบบในบริเวณนั้นเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มหรือแบ่งช่องสัญญาณ ให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการ อย่างเหมาะสม การแบ่งพื้นที่ของเซลล์เป็นระยะแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



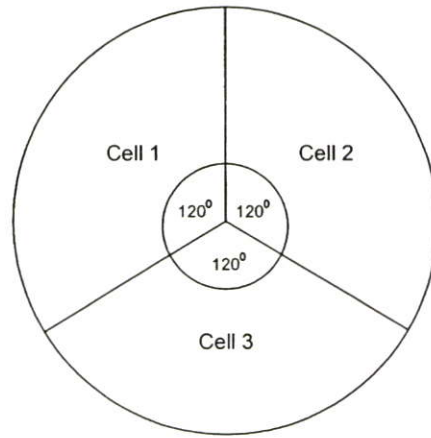
รูปที่ 3.1 การแบ่งพื้นที่ของเซลล์เป็นระยะ

จากการที่รัศมีของเซลล์ใหม่มีขนาดเล็กลง ถ้าหากกำลังส่งมีขนาดเท่าเดิม สัญญาณที่บริเวณขอบเซลล์จะมีขนาดสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า Co-channel Interference ของเซลล์รอบข้างมีขนาดสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดกำลังส่งของสัญญาณลง เพื่อที่จะทำให้ค่าของ Co-channel Interference มีขนาดคงเดิม สังเกตว่าการแบ่งเซลล์ให้เล็กลงนอกจากจะเพิ่มความจุของระบบแล้ว ยังเป็นการช่วยประหยัดกำลังงานในการส่งสัญญาณด้วย

### 3.3.1.2 การแบ่งเซกเตอร์ของเซลล์ (Sectoring)

การแบ่งเซกเตอร์ของเซลล์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มความจุของระบบได้ โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนขนาดรัศมีของเซลล์ให้เล็กลง หลักการแบ่งเซกเตอร์นั้นอาศัยการใช้สายอากาศประเภทที่ควบคุมการแพร่กระจายสัญญาณ ให้กระจายออกในทิศทางและขนาดของมุมที่ต้องการ (Directional antenna) แทนการใช้สายอากาศแบบปกติที่การกระจายของคลื่นมีปริมาณเท่ากันในทุกทิศทาง ภายในหนึ่งเซลล์จะมีการใช้สายอากาศแบบ Directional antenna จำนวนหลายชุด โดยที่สายอากาศแต่ละชุดจะครอบคลุมบริเวณภายในหนึ่งเซลล์เท่า ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



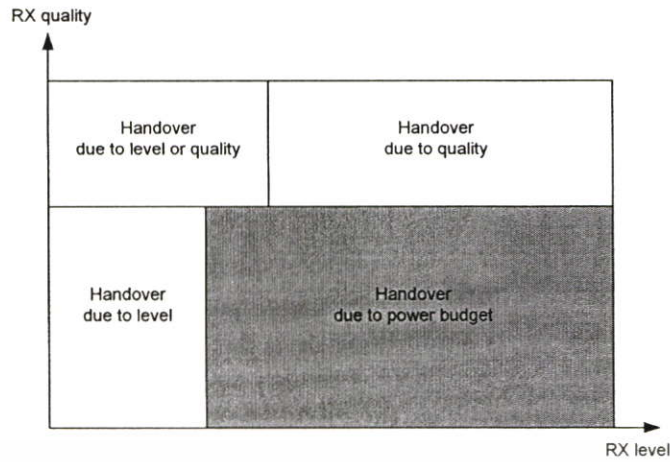
รูปที่ 3.2 การแบ่งทิศทางของเซลล์

สังเกตว่าลักษณะการแบ่งเซลล์ออกเป็นส่วน ๆ มีผลทำให้สัญญาณรบกวน Co-channel จากเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันรอบ ๆ มีปริมาณลดลง เนื่องจากการที่มุมของการแพร่กระจายคลื่นแคบลง ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่จำนวนเซลล์ในกลุ่มเซลล์เป็น 7 จากเดิมที่จำนวนของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแบบ Co-channel มีจำนวนทั้งสิ้นเท่ากับ 6 เมื่อทำการแบ่งเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์แบบ  $120^\circ$  ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จะพบว่าจำนวนแหล่งของสัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบจริงก็จะเหลือเพียงแค่ 2 แหล่งเท่านั้น ข้อเสียของการแบ่งเซกเตอร์ก็คือต้องใช้สายอากาศจำนวนมากขึ้น และประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณความถี่ก็ลดลงด้วยเพราะต้องมีการจัดแบ่งความถี่ออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ในแต่ละเซกเตอร์ นอกจากนี้ความถี่ในการทำแชนโอเวอร์ก็เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากแต่ละเซกเตอร์ครอบคลุมบริเวณที่เล็กลง ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้ MSC อีกทางหนึ่งด้วยเช่นกัน

### 3.3.2 การทำแชนด์โอเวอร์ (Handover)

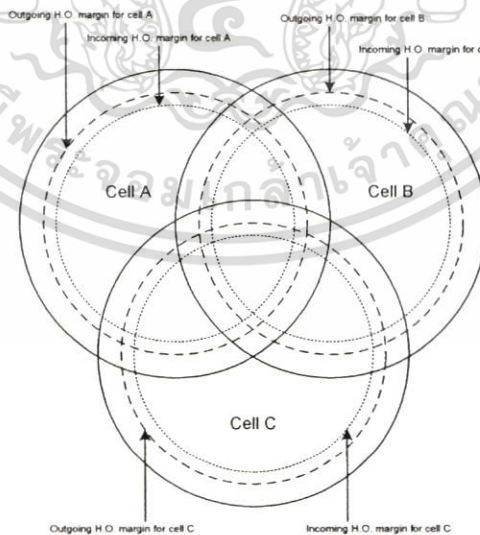
นอกจากวิธีการในการจัดการแบ่งเซลล์ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นยังมีวิธีการในการบริหารช่องสัญญาณอีกวิธีหนึ่งนั่นคือการทำแชนด์โอเวอร์ โดยปกติแล้วการแชนด์โอเวอร์ของเครื่องลูกข่ายจะเกิดขึ้นในกรณีที่เครื่องลูกข่าย มีการเปลี่ยนตำแหน่งจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเอง หรือเกิดจากคุณภาพของช่องสัญญาณไม่ดีพอที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสาร จึงจำเป็นต้องทำการหาช่องสัญญาณใหม่ที่ดีกว่าแทน สาเหตุทั้งสองกรณีดังกล่าวอาจเกิดขึ้นพร้อมกันหรือเกิดเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งก็เป็นได้ เพราะโดยปกติแล้วเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ห่างออกไปจากสถานีฐานย่อมทำให้ค่ากำลังงานที่เครื่องลูกข่ายรับได้จากสถานีฐานนั้นต่ำลง ซึ่งการที่ค่ากำลังงานที่รับได้มีค่าต่ำลงแล้วย่อมทำให้โอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวนสูงขึ้นเช่นกัน สัญญาณรบกวนเหล่านี้เองจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ โดยปกติคุณภาพของสัญญาณอาจวัดจากค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการ ต่อสัญญาณรบกวนหรือวัดจากอัตราความผิดพลาดบิตก็ได้ ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณและคุณภาพสัญญาณที่รับได้จากสถานีฐาน ที่มีผลต่อการทำแชนด์โอเวอร์ของเครื่องลูกข่ายแสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะการแฮนด์โอเวอร์ในกรณีต่างๆ

ส่วนการเพิ่มความสามารถในการรองรับเครื่องลูกข่ายโดยวิธีการทำแฮนด์โอเวอร์ วิธีนี้จะใช้หลักการในการลดปริมาณความเข้มของทราฟฟิกจากบริเวณที่มีความหนาแน่นทราฟฟิกหนาแน่นมายังบริเวณที่มีความหนาแน่นทราฟฟิกน้อยกว่าโดยการทำแฮนด์โอเวอร์ เพื่อให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับทราฟฟิกได้สูงขึ้น เราเรียกรวมวิธีการแฮนด์โอเวอร์ชนิดนี้ว่า การแฮนด์โอเวอร์จากการบริหารทางช่องสัญญาณ (Channel resource management handover) แม้ว่าด้วยหลักการดังกล่าวจะไม่ได้มีการเพิ่มความจุให้กับระบบเครือข่ายโดยตรงก็ตาม หลักการดังกล่าวจะสามารถช่วยกระจายความหนาแน่นของ ทราฟฟิกจากบริเวณที่มีความหนาแน่นกว่าไปยังพื้นที่ที่มีความหนาแน่นทราฟฟิกเบาบางกว่า ทั้งนี้เพื่อช่วยให้เซลล์ที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิกสูง ยังสามารถรองรับเครื่องลูกข่ายที่มีความจำเป็นกว่าได้อีกในระดับหนึ่ง รูปที่ 3.4 แสดงถึงลักษณะของเซลล์ที่จะทำการกระจายความหนาแน่นของทราฟฟิก



รูปที่ 3.4 การแบ่งภาระความหนาแน่นของทราฟฟิกไปยังเซลล์ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการคือในขณะที่เซลล์ A มีความหนาแน่นของทราฟฟิคสูง ส่วนในขณะที่เซลล์ B และ C มีความหนาแน่นทราฟฟิคต่ำกว่า ดังนั้นเซลล์ A ก็จะพยายามย้ายเครื่องลูกข่ายของตนที่อยู่ใกล้เคียงกับเซลล์ข้างเคียงที่สุดให้ไปใช้งานเซลล์ข้างเคียงนั้น ๆ แทน ซึ่งในแต่ละเซลล์จะมีการกำหนดค่าเทรคโฮลของการทำแฮนด์โอเวอร์ทั้งขาเข้า (Incoming handover margin) และขาออก (Outgoing handover margin) เอาไว้ ดังนั้นหากเราทำการลดค่า handover margin ทั้งสองค่าภายในเซลล์เดียวกันลงอย่างสอดคล้องกันแล้ว จะส่งผลให้เครื่องลูกข่ายทำการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์ของตนไปยังเซลล์ข้างเคียง การที่ต้องทำการกำหนดแฮนด์โอเวอร์มาร์จินก็เพื่อจะป้องกันการเกิดปิงปองแฮนด์โอเวอร์ (Ping Pong handover) หรือการแฮนด์โอเวอร์ไป ๆ มา ๆ ระหว่างเซลล์ทั้งสองเซลล์ที่อยู่ติดกัน และเป็นการแจ้งให้เครื่องลูกข่ายทราบว่าควรจะทำการแฮนด์โอเวอร์ไปยังเซลล์ใด ๆ ที่มีความพร้อมของสัญญาณที่ดีกว่า

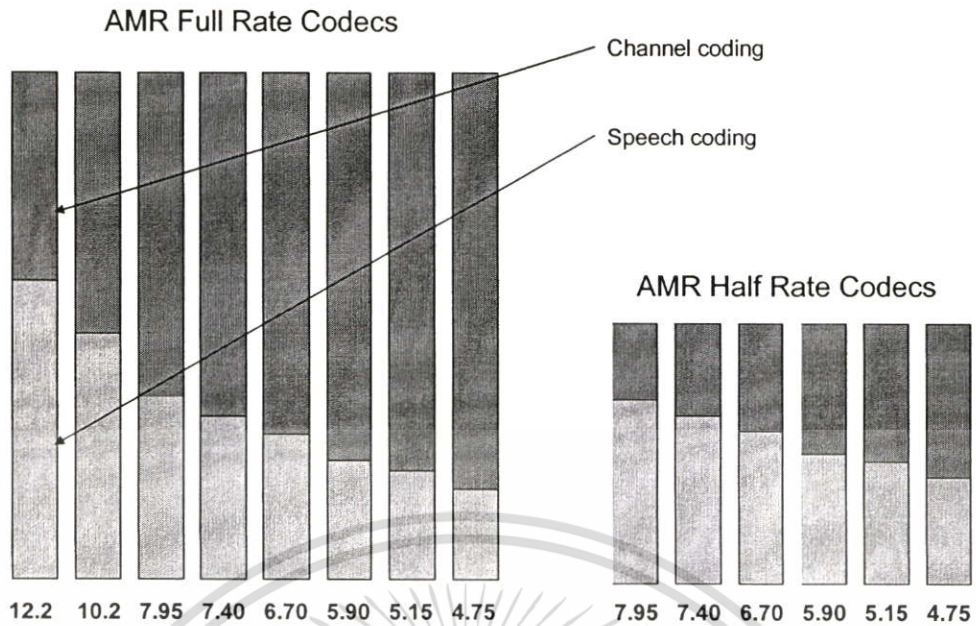
### 3.3.3 การใช้ช่องสัญญาณแบบครึ่งช่อง (Half rate channel)

ช่องสัญญาณแบบ half rate นั้นเป็นช่องสัญญาณสื่อสารข้อมูลทางอากาศชนิดหนึ่งที่มีคุณลักษณะพิเศษที่ภายใน 1 ช่องสัญญาณนั้นสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้ 2 คนต่อหนึ่งช่องสัญญาณ นั้นหมายความว่าเราสามารถเพิ่มความจุของระบบได้เป็นสองเท่า หากกำหนดให้ภายในเครื่องข่าย มีการใช้เฉพาะช่องสัญญาณแบบ half rate ทั้งหมดนั่นเอง แต่ช่องสัญญาณประเภทนี้จะมีความสามารถในการบรรจุข้อมูลได้น้อย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดในการส่งสัญญาณเสียงให้มีคุณภาพสูงได้

จากหลักการที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจะพบว่า ไม่ว่าวิธีการใดก็ตามจะต้องมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการปรับปรุงระบบเครือข่ายเสมอ เช่นหากใช้วิธีการในการแบ่งเซลล์ออกเป็นทิศทางย่อย ๆ ย่อมต้องมีการติดตั้งสายอากาศ ประเภททิศทางเพิ่มเติม หรือวิธีการควบคุมค่าของกำลังงานที่ส่งออก และค่าแฮนด์โอเวอร์มาร์จินก็ตาม ซึ่งไม่ได้เป็นการเพิ่มความจุให้แก่ระบบเครือข่ายโดยตรง เพียงแต่ช่วยในการกระจายความหนาแน่นของทราฟฟิคไปสู่เซลล์ที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิคเบาบางกว่า แต่หากเซลล์รอบข้างต่างมีความหนาแน่นทราฟฟิคที่หนาแน่นเท่า ๆ กัน นั่นอาจเป็นการสร้างผลกระทบต่อเซลล์ข้างเคียงนั้น ๆ ต่อไปด้วย หรือแม้แต่การใช้ช่องสัญญาณแบบ half rate ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านคุณภาพของสัญญาณ

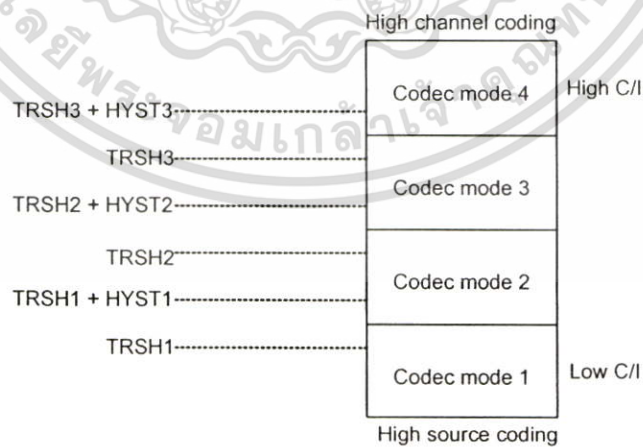
### 3.4 อแดปทีฟมัลติเรต

อแดปทีฟมัลติเรต เป็นเทคนิคในการปรับคุณภาพ ของสัญญาณเสียงที่ถูกบรรจุไว้ ภายในช่องสัญญาณทราฟฟิค เนื่องจาก ช่องสัญญาณทราฟฟิค ชนิดครึ่งช่องสัญญาณนั้น จะมีอัตราการเข้ารหัสข้อมูลเสียงและรหัสช่องสัญญาณที่น้อยกว่า ช่องสัญญาณทราฟฟิคแบบเต็มช่อง ด้วยเทคนิคอแดปทีฟมัลติเรตนี้ สถานิฐานสามารถปรับอัตราส่วน ระหว่างการเข้ารหัสข้อมูลทั้งสองชนิดนี้ ให้มีความเหมาะสมตามสภาพแวดล้อมในขณะนั้นได้ อแดปทีฟมัลติเรตนั้นสามารถนำมาใช้ได้ทั้งกับช่องสัญญาณทราฟฟิคแบบเต็มช่องและครึ่งช่องสัญญาณแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 ช่องสัญญาณโทราฟิคเต็มช่องและครึ่งช่องแบบอแดปทีฟัลติเรต

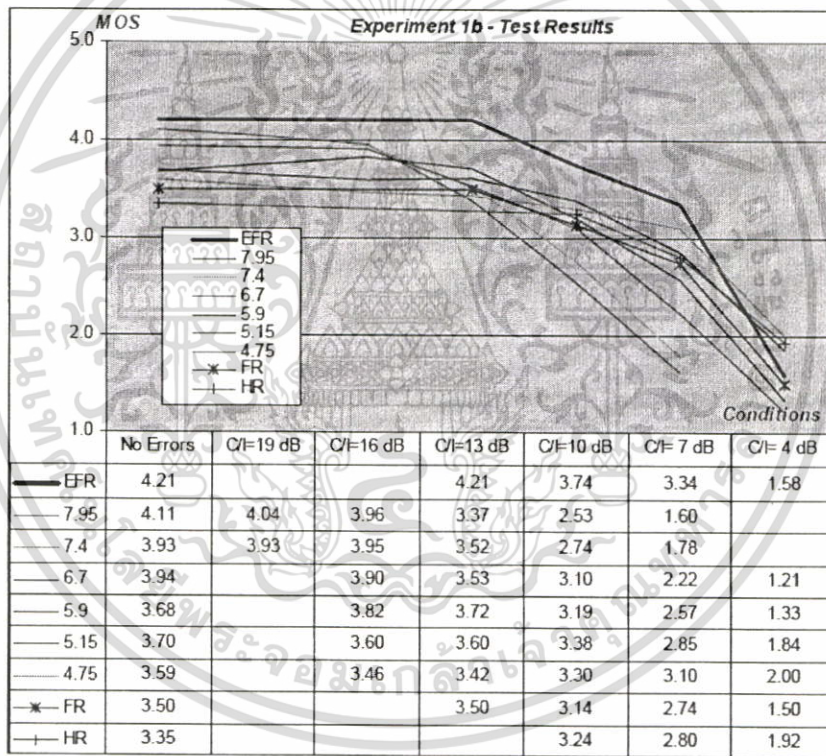
การทำงานของ อแดปทีฟัลติเรต นั้นจำเป็นต้องกำหนดกลุ่มของการเข้ารหัส จากแต่ละประเภท ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้เฉพาะ อแดปทีฟัลติเรต แบบครึ่งช่องสัญญาณ หรือกล่าวอีกนัยว่า อแดปทีฟัลติเรต จะมีการใช้งานก็คือเมื่อมีการทำงานของหลักการบริหารช่องสัญญาณตามปริมาณของ โทราฟิคโหลดเท่านั้น ทั้งเพื่อช่วยในการรักษาหรือควบคุมคุณภาพของสัญญาณเสียงในช่วงเวลาที่มีการ ใช้งานช่องสัญญาณโทราฟิคแบบครึ่งช่องนั่นเอง หลักการทำงานในการเปลี่ยนระดับการเข้ารหัส สัญญาณแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนระดับการเข้ารหัสของช่องสัญญาณโทราฟิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณสูง จะสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า เนื่องจากมีจำนวนบิต ที่ใช้ในการป้องกันและตรวจสอบสัญญาณมากกว่า ในขณะที่ช่องสัญญาณที่มีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงสูงจะให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีกว่า แต่จะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ง่ายกว่าหากว่าช่องสัญญาณดังกล่าว ต้องเดินทางผ่านตัวกลางที่มีสัญญาณรบกวนสูง ดังนั้นในการเลือกใช้ระดับในการเข้ารหัสสัญญาณ จึงควรมีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมด้วย เช่น ในขณะที่มีการใช้งานช่องสัญญาณโทรศัพท์แบบครึ่งช่อง ของผู้ใช้บริการรายหนึ่ง ซึ่งระยะทางห่างจากสถานีฐานไมโครโฟน และระดับของค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูง ลักษณะนี้สถานีฐาน สามารถกำหนดให้ใช้ช่องสัญญาณ อแคบที่พัลลิตเรตแบบครึ่งช่อง ที่มีอัตราการเข้ารหัสสัญญาณเสียงสูงกว่าอัตราการเข้ารหัสช่องสัญญาณได้ เพื่อให้คุณภาพของเสียงดีที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้เป็นต้น ทั้งนี้ความสามารถในการให้คุณภาพของสัญญาณเสียงของการเข้ารหัสช่องสัญญาณในระดับต่าง ๆ แสดงดังรูปต่อไปนี้



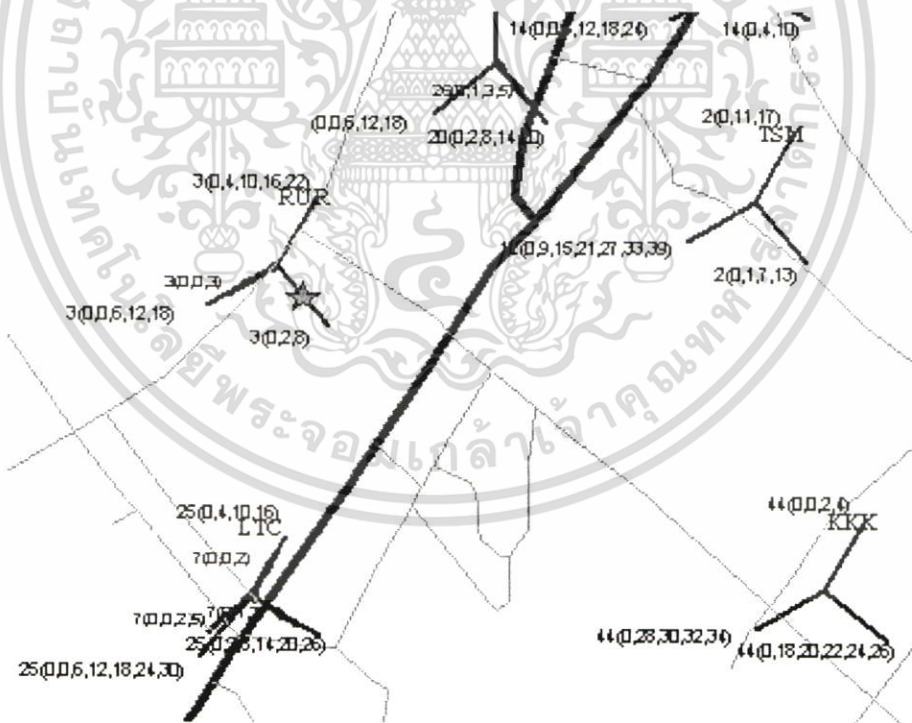
รูปที่ 3.7 ความสามารถในการให้คุณภาพของสัญญาณเสียงของการเข้ารหัสช่องสัญญาณในระดับต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณตามปริมาณโหลด ของกราฟฟิค

ในการวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD ในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อใหญ่ ๆ ได้แก่ ปริมาณช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้น, ความสามารถในการรองรับคู่สายในกรณีที่แตกต่างกัน, ปริมาณของคู่สายที่ขอเข้าใช้ช่องสัญญาณกราฟฟิคที่สมบูรณ์ และการเกิดบล็อกในกรณีที่แตกต่างกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD นี้ คือสถานที่ ๆ จะใช้ในการวิเคราะห์และทดลองการทำงานเบื้องต้น สถานที่หรือสถานีฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นควรมีปริมาณการใช้งานกราฟฟิคที่ไม่กระจายนัก ยกตัวอย่างเช่นสถานที่ราชการ หรือ โรงเรียน อันเนื่องมาจากปริมาณของกราฟฟิคจะมีลักษณะใกล้เคียงกันในแต่ละวัน ทำให้ผลที่จะนำมาทำการเปรียบเทียบนั้นถูกต้องยิ่งขึ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โรงเรียนแห่งหนึ่งในการวิเคราะห์ ซึ่งปริมาณความหนาแน่นของกราฟฟิคจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาซ้ำ ๆ กันของแต่ละวันคือ 15.00 จนถึง 17.00 โดยประมาณ



รูปที่ 4.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองเพื่อเก็บผลจากเครือข่ายนั้น จะแบ่งออกเป็น 3 ครั้งด้วยกันคือ เก็บผลจากสภาวะของทราฟฟิก ในกรณีที่เกิดการหนาแน่นในการใช้งานเครือข่ายอย่างเต็มที่ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเกิดบล็อกและปริมาณของคู่สายที่ขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นจะทำการทดลองแก้ไขปัญหการเกิดสภาวะหนาแน่นของทราฟฟิกด้วยวิธีการปกติที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สุดท้ายจะได้ทำการนำเอาหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่เข้ามาใช้แล้วทำการเก็บผลจากเครือข่าย แล้วนำผลที่ได้จากการวัดของ BSC ทั้ง 3 ครั้งมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่าง ข้อดีและข้อเสียของการแก้ปัญหาในแบบเก่าและแบบใหม่

#### 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นในกรณีที่แตกต่างกัน

##### 4.1.1 จำนวนช่องสัญญาณที่มีในสภาวะปกติ

โดยปกติแล้วภายในเซลล์หนึ่ง ๆ จะต้องมีช่องสัญญาณซิกแนลลิง (Signaling channel) อย่างน้อยหนึ่งช่องสัญญาณนั้นคือ BCCH เพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องลูกข่าย กระจายข้อมูลข่าวสาร หรือแม้แต่การทำ Call setup ของเครื่องลูกข่าย ช่องสัญญาณซิกแนลลิงทางอากาศที่มีการกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ ETSI (European Telecommunications Standards Institute) มีดังนี้

ตารางที่ 4.1 ช่องสัญญาณซิกแนลลิงทางอากาศที่มีการกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ ETSI

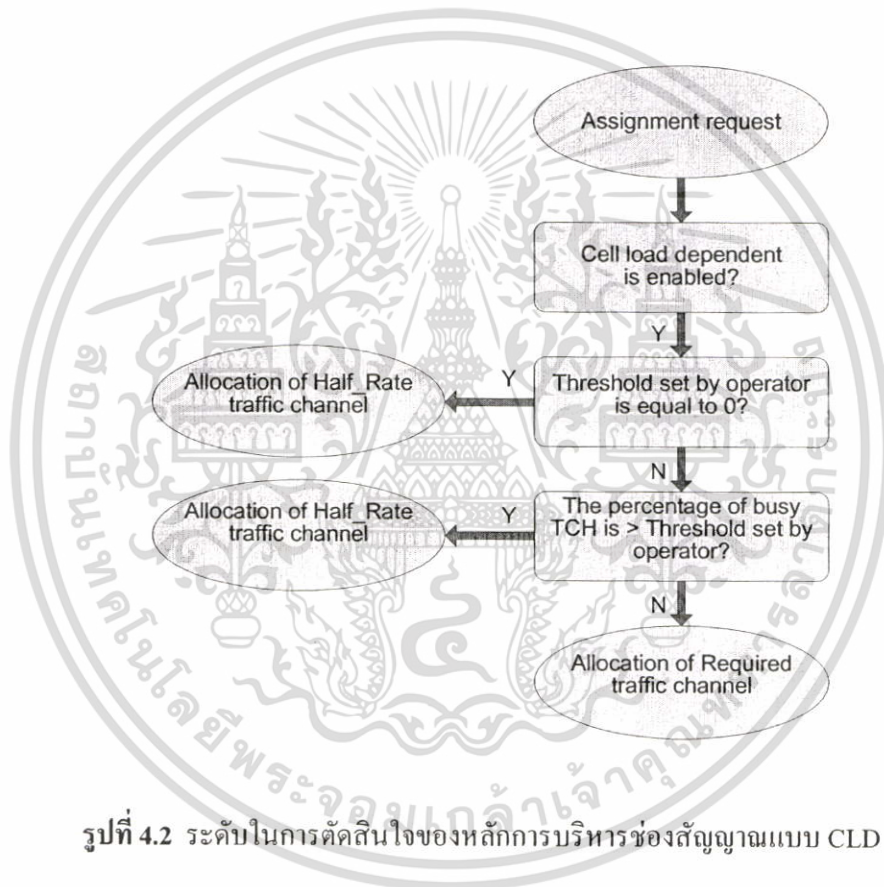
ประเภทช่องสัญญาณ	ชนิดของช่องสัญญาณที่บรรจุไว้
MBCCH	FCCH+SCH+BCCH+CCCH+SDCCH/4+SACCH/4
SDCCH	SDCCH/8+SACCH/8
BCCH	FCCH+SCH+BCCH+CCCH+SDCCH/4+SACCH/4+CBCH
TCH/F	TCH/F+FACCH/F+SACCH/F
TCH/H	TCH/H+FACCH/H+SACCH/H
MAIN BCCH	FCCH+SCH+BCCH+CCCH
CCCH	BCCH+CCCH
SCBCH	SDCCH/8+SACCH/8+CBCH

เซลล์ที่เราพิจารณานั้นประกอบด้วยชุดอุปกรณ์รับส่งทั้งหมด 3 ชุด โดยในแต่ละชุดรับส่งนั้นจะสามารถรองรับช่องสัญญาณได้ 8 ช่องสัญญาณตามมาตรฐานของ GSM นั้นเอง และเนื่องจากบริเวณที่ทำการทดลองนั้น จัดอยู่ในบริเวณที่มีการใช้งานทราฟฟิกค่อนข้างสูง ดังนั้น ในการจัดสรรชนิดของช่องสัญญาณจึงต้องมีความรัดกุม และมั่นใจว่าช่องสัญญาณ ซิกแนลลิง ที่มีอยู่นั้น จะเพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นเซลล์ที่เราพิจารณานั้นจึงมีการกำหนดช่องสัญญาณแบบซิกแนลลิงทั้งหมด 3 ช่องสัญญาณ ได้แก่ MAIN BCCH, SCBCH และ SDCCH ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อความต้องการแม้จะเกิดสภาวะหนาแน่น

ของทราฟฟิกขึ้นก็ตาม ดังนั้นช่องสัญญาณทราฟฟิกแบบเต็มช่องที่มีใช้ภายในเซลล์นี้คือ 21 ช่องสัญญาณนั่นเอง

#### 4.1.2 จำนวนช่องสัญญาณที่มีเพิ่มขึ้นในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ

จำนวนของช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนั้น ในความเป็นจริงแล้วจะสามารถเพิ่มขึ้นได้แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความรุนแรงของสภาวะความหนาแน่นของทราฟฟิก ซึ่งขั้นตอนในการตัดสินใจนั้นจะเริ่มจากเมื่อมีการร้องขอ เข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกมา และเครือข่ายตั้งการทำงานของการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD ไว้ BSC จะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณที่มีอยู่ เทียบกับค่าเทรคโสดที่ผู้ให้บริการเครือข่ายตั้งไว้ เมื่อเปรียบเทียบค่าทั้งสองแล้วจะได้ผลระดับความรุนแรงในการบริหารช่องสัญญาณเพื่อทำการเปลี่ยนชนิดของช่องสัญญาณต่อไป



รูปที่ 4.2 ระดับในการตัดสินใจของหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD

ในกรณีที่ความรุนแรง ของความหนาแน่น ของการเข้าใช้ช่องสัญญาณ มีปริมาณสูงมาก ๆ หรือผู้ให้บริการได้กำหนดค่าเทรคโสดไว้เป็นศูนย์จะมีผลทำให้เมื่อใดก็ตามที่มีการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิก เครือข่ายจะทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณทั้งหมดที่สามารถเปลี่ยนได้ ไปเป็นช่องสัญญาณแบบครึ่งช่องทันที นั่นหมายความว่าช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีใช้ภายในเซลล์นั้น ๆ มีการเพิ่มช่องสัญญาณทราฟฟิกสูงสุดในที่นี้คือ 31 ช่องสัญญาณนั่นเอง ผลต่างของช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อวิเคราะห์ความได้เปรียบของหลักการใหม่ต่อไป

## 4.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายในกรณีที่แตกต่างกัน

### 4.2.1 การรองรับคู่สายในสถานะปกติ

ความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ใด ๆ นั้น ปัจจัยสำคัญที่จะมีผลทำให้ปริมาณการรองรับคู่สายได้มากหรือน้อยคือจำนวน ช่องสัญญาณจิกแนลลิง และจำนวนของ ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีอยู่ภายในเซลล์นั้น ๆ ในสถานะปกติแล้ว ความสามารถในการรองรับคู่สาย อาจจะยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์นั้น ๆ ด้วย เนื่องจากในบางครั้งที่เซลล์หนึ่ง ๆ มีความสามารถในการรองรับคู่สายได้จำนวนหนึ่ง หากเราทำการเพิ่มรัศมีพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์นั้นแล้วอาจส่งผลให้ความสามารถในการรองรับคู่สายต่ำลงเมื่อเทียบกับปริมาณผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้น

ลักษณะนิสัยของผู้ใช้บริการมักจะเปลี่ยนไปตามการคิดค่าบริการของผู้ให้บริการและผลประโยชน์ที่ผู้ใช้บริการจะได้รับจากการใช้บริการ หากกำหนดให้  $Q_i$  เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งในการใช้สายต่อหนึ่งหน่วยเวลาและ  $T$  เป็นระยะเวลาเฉลี่ยของการสนทนาในแต่ละครั้งของผู้ใช้บริการแต่ละราย เราจะสามารถหาค่าความหนาแน่นของทราฟฟิกของผู้ใช้บริการเฉลี่ยต่อผู้ใช้บริการหนึ่งรายได้ดังนี้

$$A_U = \frac{Q_i \cdot T}{60} \quad (4.1)$$

ดังนั้นค่าปริมาณความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ใด ๆ สามารถหาได้จาก

$$U = \frac{A}{A_U} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $A$  = ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ภายในเซลล์หนึ่ง ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา

$U$  = ปริมาณความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ใด ๆ

ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ภายในเซลล์หนึ่ง ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลาสามารถหาได้จาก การนำจำนวนช่องสัญญาณที่มีภายในเซลล์หนึ่ง ๆ และค่าความน่าจะเป็นหรือเปอร์เซ็นต์ในการเกิดบล็อกไปเปรียบเทียบกับตารางเออร์แลงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้

C	1.0% GOS	1.5% GOS	2.0% GOS	3.0% GOS	5.0% GOS
20	12	12.7	13.2	14	15.2
21	12.8	13.5	14	14.9	16.2
22	13.7	14.3	14.9	15.8	17.1
23	14.5	15.2	15.8	16.7	18.1
24	15.3	16	16.6	17.6	19.0
25	16.1	16.9	17.5	18.5	20.0
26	17	17.8	18.4	19.4	20.9

**ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณโทรฟิสิกกับปริมาณโทรฟิสิกที่สามารถรองรับได้ (ต่อ)**

27	17.8	18.6	19.3	20.3	21.9
28	18.6	19.5	20.2	21.2	22.9
29	19.5	20.4	21	22.1	23.8
30	20.3	21.2	21.9	23.1	24.8
31	21.2	22.1	22.8	24	25.8
32	22	23	23.7	24.9	26.7
33	22.9	23.9	24.6	25.8	27.7
34	23.8	24.8	25.5	26.8	28.7

**4.2.2 การรองรับคู่สายในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ**

เมื่อมีการใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD อย่างเต็มที่แล้วจะพบว่า ช่องสัญญาณโทรฟิสิกที่เคยมีอยู่จำนวนหนึ่งในสภาวะปกติจะมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการที่เครือข่ายตรวจสอบพบว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือใช้งานอยู่ในเซลล์นั้น ๆ ลดลงจนถึงค่าที่ผู้ให้บริการกำหนดไว้ BSC จึงทำการเปลี่ยนชนิดของช่องสัญญาณจากแบบเต็มช่องสัญญาณไปเป็นแบบครึ่งช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ภายในหนึ่งช่องสัญญาณสามารถรองรับผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นได้อีกหนึ่งราย เป็นสองราย เมื่อเราสังเกตจากตารางที่ 4.2 แล้วจะเห็นได้ว่า เมื่อใดก็ตามที่มีจำนวนช่องสัญญาณโทรฟิสิกเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ความสามารถในการรองรับโทรฟิสิกสูงขึ้นตามไปด้วย หากเราสังเกตสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{A}{A_U} \quad (4.3)$$

จากสมการที่ (4.3) เราจะเห็นได้ว่า เมื่อลักษณะนิสัยของผู้ใช้บริการยังคงเหมือนเดิม หรือกล่าวอีกนัยคือค่าของ  $A_U$  มีค่าคงที่นั่นเอง และด้วยหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่นี้สามารถจะทำให้ความสามารถในการรองรับโทรฟิสิกสูงขึ้น หรือค่าของ  $A$  มีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้ความสามารถในการรองรับคู่สายต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการทั้งสองแบบจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาข้อได้เปรียบและเสียเปรียบต่อไปภายหลัง

**4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของคู่สายที่ขอเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรฟิสิกที่สมบูรณ์**

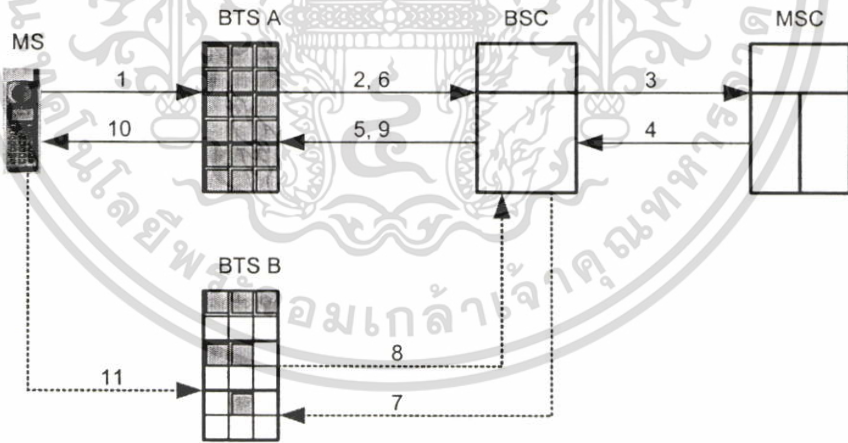
**4.3.1 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรฟิสิกที่สมบูรณ์ในสภาวะที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ**

ในสถานการณ์ที่เกิดการหนาแน่นของโทรฟิสิกสูงเกินกว่าที่เครือข่ายจะรองรับได้ จะส่งผลให้เครื่องถูกขยับจำนวนหนึ่ง ไม่สามารถเข้าใช้งาน ช่องสัญญาณโทรฟิสิกได้ ตัวแปรที่บ่งบอกถึงปริมาณของผู้ใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้ ช่องสัญญาณโทรฟิสิกได้สำเร็จ จะถูกเก็บไว้ภายในตัว BSC อย่างสม่ำเสมอในการเก็บผล ของการขอเข้าใช้ ช่องสัญญาณโทรฟิสิก ที่สมบูรณ์ ในสภาวะที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ

ในหัวข้อนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตพฤติกรรมของโทรศัพท์ในช่วงเวลาที่เกิดการหนาแน่นของโทรศัพท์ขึ้น และนำผลที่วัดได้ดังกล่าวไปใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ เพื่อให้เห็นผลอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

### 4.3.2 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่สมบูรณ์หลังจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการปัจจุบัน

หลังจากที่เราได้รู้ถึงปริมาณของการเข้าใช้ ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เกิดการหนาแน่นของโทรศัพท์แล้ว ต่อไปเราจะต้องทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยวิธีการปกติที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการแก้ปัญหาคงการเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณการเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่สมบูรณ์นั้นจะมีองค์ประกอบหลายสิ่งที่มีผลต่อค่าที่วัดได้ เช่นจำนวนช่องสัญญาณของเครือข่าย ปริมาณของเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในบริเวณเดียวกันที่มีความต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณเช่นกัน หรือปัจจัยที่ไม่อาจคาดเดาได้ เช่นความไวในการเข้าถึงช่องสัญญาณแอกเซสของเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ผลจากสัญญาณรบกวน หรือแม้แต่ความไวในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายในขณะนั้น เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จึงจะใช้วิธีการทดลองจากเครือข่ายที่กำหนดขึ้นมา เมื่อเกิดสภาวะความหนาแน่นของโทรศัพท์ขึ้น ทางผู้ให้บริการจะต้องทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการปกติ จากนั้นเมื่อสามารถแก้ไขปัญหได้แล้วจึงนำผลการวัดที่เก็บไว้ภายใน BSC มาแปลงให้อยู่ในรูปของกราฟแสดงผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีการใหม่ต่อไป ขั้นตอนในการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์แบบปกติแสดงดังรูปต่อไปนี้



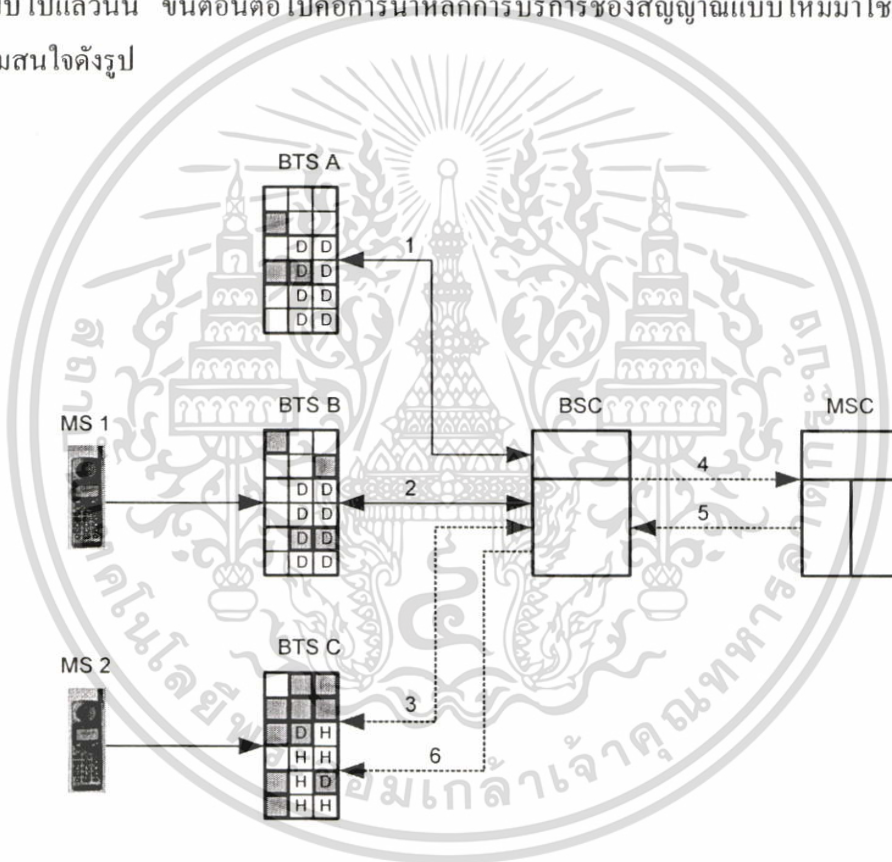
รูปที่ 4.3 กระบวนการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์แบบปกติ

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ภายใต้การดูแลของเซลล์ A แล้ว ต้องการจะเข้าใช้ช่องสัญญาณโทรศัพท์ในเซลล์ของตนเอง ในขณะที่เซลล์ A นั้นไม่มีช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ว่างเหลืออยู่แล้ว

ดังนั้น เพื่อรักษาการติดต่อของเครื่องลูกข่ายนี้ไว้ เซลล์ A จำเป็นต้องแจ้งให้ BSC หาช่องสัญญาณทรานฟิสิกที่ยังว่างอยู่จากเซลล์ข้างเคียง เพื่อให้บริการแก่เครื่องลูกข่ายที่ร้องขอ แต่วิธีแก้ปัญหาคือการทำแฮนด์โอเวอร์ลักษณะนี้ มักจะพบปัญหาตามมา ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ที่อยู่ข้างเคียงในบริเวณนั้นก็ไม่มีช่องสัญญาณที่ว่างเช่นเดียวกัน หรืออาจยังมีช่องสัญญาณทรานฟิสิกว่างอยู่ซึ่งสามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ไปใช้งานได้แต่ไม่มีความเหมาะสมทางด้านระยะทาง หรือสัญญาณรบกวนเป็นต้น จึงเป็นสาเหตุให้บางครั้งในระหว่างการทำแฮนด์โอเวอร์ลักษณะนี้ เครื่องลูกข่ายจะไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จและถูกตัดการติดต่อไปโดยปริยาย

#### 4.3.3 การขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทรานฟิสิกที่สมบูรณ์เมื่อใช้หลักการบริการช่องสัญญาณ

หลังจากได้ทำการศึกษาปริมาณการเข้าใช้ช่องสัญญาณทรานฟิสิกที่สมบูรณ์จากลักษณะเหตุการณ์ทั้งสองแบบไปแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการนำหลักการบริการช่องสัญญาณแบบใหม่มาใช้กับเซลล์ที่เราให้ความสนใจดังรูป



รูปที่ 4.4 หลักการบริการช่องสัญญาณแบบ CLD

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเซลล์ B จะมีการใช้ช่องสัญญาณแบบเต็มช่องทั้งหมดแม้ว่าเครื่องลูกข่าย MS1 จะร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณ เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่ว่างยังมีปริมาณมากพอ แต่เมื่อสังเกตเซลล์ C จะพบว่า มีช่องสัญญาณทรานฟิสิกบางส่วน ถูกเปลี่ยนชนิดช่องสัญญาณ จากแบบเต็มช่องไปเป็นแบบครึ่งช่องแล้ว เนื่องจากเมื่อเครื่องลูกข่าย MS2 ทำการร้องขอช่องสัญญาณ BSC ตรวจสอบพบว่าปริมาณ

ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่ว่างอยู่ มีจำนวนน้อยลง จนมีความจำเป็น ต้องตัดสินใจใช้กระบวนการบริหารช่องสัญญาณ ผลที่ตามมาคือ เซลล์ C จะมีความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่เครื่องลูกข่ายจะขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกอย่างสมบูรณ์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

ในการทดสอบและศึกษาพฤติกรรมของทราฟฟิกทั้ง 3 กรณีที่กล่าวไปแล้วนั้น จะไม่มีการอนุญาตให้ทำการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์ที่พิจารณาไปยังเซลล์ข้างเคียง แต่ขยับยอมให้มีการทำแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์ข้างเคียงเข้ามายังเซลล์ที่ทำการทดสอบได้ ทั้งนี้ เพื่อที่จะพยายามให้เซลล์ที่ทำการทดสอบ ได้มีโอกาสในการรองรับปริมาณของผู้ใช้บริการได้สูงขึ้น แม้ว่าในทางปฏิบัติอาจมีผลต่อค่า Drop call บ้างก็ตามซึ่งค่าของ Drop call ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ในครั้งนี้นี้ หลังจากทำการเก็บผลการวัดค่าต่าง ๆ จาก BSC ได้ครบทั้ง 3 กรณีแล้ว ต่อไปคือการนำเอาข้อมูลดิบดังกล่าวนี้มาทำการประมวลผลให้เป็นกราฟรูปภาพด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเพื่อง่ายแก่ความเข้าใจ ซึ่งจะ ได้แสดงในบทต่อไป

#### 4.4 การวิเคราะห์การเกิดบล็อกในกรณีที่แตกต่างกัน

##### 4.4.1 การเกิดบล็อกในขณะที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ

ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการโดยตรง และส่งผลเสียหายแก่ผู้ให้บริการเครือข่ายมากที่สุดคือ ปัญหาการเกิดบล็อก ทั้งนี้เนื่องจากปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการอย่างทันทีทันใด เมื่อมีการเกิดการบล็อกขึ้นผู้ใช้บริการจะถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทันที หลังจากผู้ใช้บริการส่งสัญญาณร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกไป ผลเสียที่ตามมาคือความไม่มั่นใจในระบบเครือข่ายของผู้ใช้บริการ หากเกิดเหตุการณ์ในลักษณะนี้ขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีก สมการที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์การเกิดบล็อกแสดงได้ดังต่อไปนี้

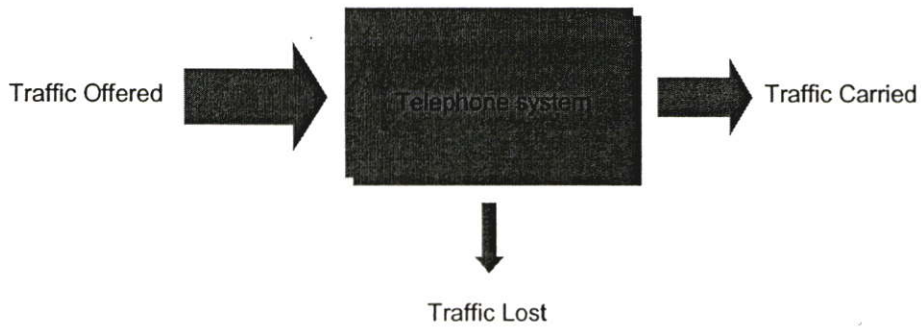
$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} \quad (4.4)$$

เมื่อ  $\Pr[\text{blocking}] =$  ความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อก

$A =$  ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ภายในเซลล์หนึ่ง ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา

$C =$  จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีอยู่ภายในเซลล์

จากสมการ (4.4) จะเห็นได้ถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่าย นั่นคือ จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีอยู่ และปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ภายในเซลล์นั้น ๆ ซึ่งจุดประสงค์ในการวิจัย ก็เพื่อต้องการลดปริมาณเครื่องลูกข่าย ที่จะถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้ ช่องสัญญาณทราฟฟิก ดังรูปต่อไปนี้

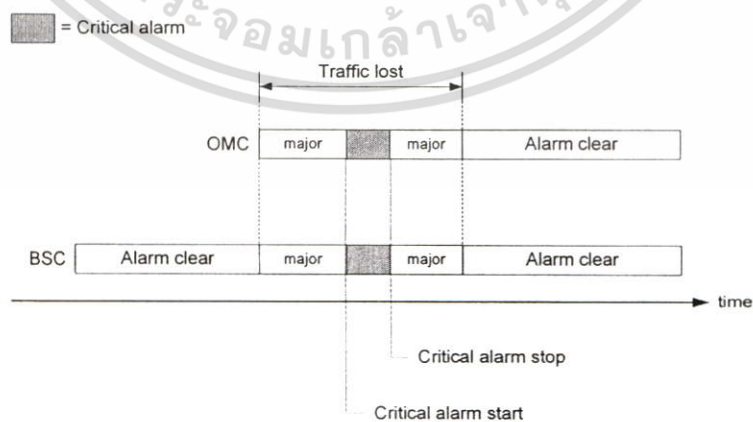


รูปที่ 4.5 การเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่าย

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างการแก้ไขปัญหาการเกิดบล็อกด้วยวิธีการเก่าและวิธีการใหม่นั้น จำเป็นจะต้องทำการสังเกตพฤติกรรมของการเกิดบล็อกที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาที่เราให้ความสนใจ เพื่อใช้ผลที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับหลักการใหม่ วิธีในการสังเกตพฤติกรรมของการเกิดบล็อกในหัวข้อนี้จะใช้วิธีการเก็บข้อมูลการวัดค่าของ BSC ในช่วงเวลาดังกล่าวขึ้นมาเก็บไว้เปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการปกติและเมื่อนำหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่มาใช้ต่อไป

#### 4.4.2 การเกิดบล็อกในกรณีที่มีการแก้ไขปัญหาแบบปกติ

การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการปัจจุบันเมื่อเกิดการบล็อกขึ้น คือ การใช้วิธีการสังเกตสัญญาณเตือนที่ส่งมาจาก BSC เมื่อมีการตรวจสอบพบว่าปริมาณในการเกิดบล็อกมีค่าสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ จากนั้นผู้ดูแลระบบเครือข่ายจะต้องทำการแก้ไขปัญหาทันทีไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม เช่น การแก้ไขด้วยการลดค่าแบนด์โอเวอร์มาร์จิน เพื่อให้เครื่องลูกข่ายบางส่วนทำการแบนด์โอเวอร์ไปยังเซลล์ข้างเคียง หรือการเปลี่ยนช่องสัญญาณจากแบบเต็มช่องสัญญาณไปเป็นแบบครึ่งช่องสัญญาณ แต่ข้อเสียที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ ช่วงเวลาที่สูญเสียไปในช่วงที่รอให้ BSC ส่งสัญญาณเตือนไปจนถึงผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไขปัญหาได้เสร็จสมบูรณ์ แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 ช่วงเวลาที่สูญเสียทราฟฟิกไปในขณะที่ทำการแก้ไขปัญหาการเกิดบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาก็เกิดบล็อกนั้น มีความสำคัญอย่างมาก เพราะยิ่งเราใช้เวลาในการแก้ไขปัญหานั้นเท่าไร ย่อมส่งผลให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรฟีดมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

#### 4.4.3 การเกิดบล็อกในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณ

วัตถุประสงค์ในการใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณวิธีใหม่นี้ เพื่อลดช่วงเวลาการสูญเสียทรัพยากรฟีด ในขณะที่ทำการแก้ไขให้ลดลงน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ในการวิเคราะห์การเกิดบล็อก ในกรณีที่ใช้หลักการบริหารช่องสัญญาณของข้อนี้จะทำการทดลองจากเซลล์ที่เราพิจารณา โดยใช้วันและช่วงเวลาเดียวกันในสัปดาห์ต่อมา เพื่อให้ได้ผลที่มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์การเกิดบล็อกในหัวข้อนี้ จะอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ช่วยในการประเมินผลการวิเคราะห์ เนื่องจากในการหาผลสรุปข้อดีและข้อเสียของทั้งสองวิธีการนั้น จะมีความถูกต้องได้ก็ต่อเมื่อผลจากการทดลองบนเครือข่ายมีความสอดคล้องใกล้เคียงหรือเป็นไปได้ในทางเดียวกับที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์

ในบทนี้ จะนำเสนอผลการทดลอง และวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณเสียง ตามปริมาณโหลดของทราฟฟิก โดยผลของการทดลองจะได้อะไรจากการวัดค่าต่าง ๆ ของ BSC จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาทำการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของกราฟแสดงผล เพื่อง่ายแก่ความเข้าใจ และทำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อนำผลการวิเคราะห์ของหลักการปัจจุบันและหลักการใหม่มาทำการเปรียบเทียบผลด้วย การทดลองและวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

#### 5.1 การกำหนดปริมาณของภาระขาเข้าของผู้ใช้บริการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง

#### 5.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายในทางคณิตศาสตร์

#### 5.3 ผลการวิเคราะห์การเกิดบล็อกในทางคณิตศาสตร์

#### 5.4 การบริหารช่องสัญญาณอันเกิดจากสัญญาณรบกวน

#### 5.1 การกำหนดปริมาณของภาระขาเข้าของผู้ใช้บริการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง

เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้องและยอมรับได้ เราจำเป็นต้องกำหนดสภาวะแวดล้อมในการวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณทั้งแบบเก่าและแบบใหม่ให้มีค่าเท่ากันเสมอ ไม่เช่นนั้นแล้ว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสมการไม่เท่ากัน ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะหมายถึงพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์ของเครื่องลูกข่ายและปริมาณของเครื่องลูกข่ายที่เข้ามาใช้งานเครื่องข่ายนั่นเอง ข้อกำหนดภาระขาเข้าของการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

1. ไม่มีการสูญเสียอันเกิดจากสัญญาณรบกวนต่างๆ
2. ผู้ใช้แต่ละคนสามารถใช้งานโทรออกได้เป็นอิสระต่อกัน
3. ผู้ใช้แต่ละคนสามารถใช้ช่องสัญญาณแบบใดก็ได้ขึ้นอยู่กับการจัดการของเครื่องข่าย
4. ผู้ใช้แต่ละคนจะมีระยะเวลาในการใช้สายเฉลี่ยครั้งละ 2 นาที 50 วินาที ( $T$ )

เราจะสามารถหาค่าความเข้มทราฟฟิกของเซลล์ที่พิจารณาได้ดังนี้

$$A = \frac{Q_i \cdot T}{60} \quad (5.1)$$

เมื่อทำการแทนค่าสมการตามข้อกำหนดในการวิเคราะห์

$$A = \frac{Q_i \cdot (2.5)}{60} = (0.0416)Q_i \text{ Erlang} \quad (5.2)$$

นั่นคืออินพุตของการวิเคราะห์การบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่จะแทนด้วยปริมาณของเครื่องลูกข่าย  $Q_i$  ที่เข้ามาใช้งานในระบบ จากนั้นจะได้ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรจำนวนผู้เข้าใช้ช่องสัญญาณทางอากาศ ( $Q_i$ ) ให้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อวิเคราะห์ผลของการเกิดบล็อกและทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่พิจารณาด้วยการเพิ่มจำนวนของช่องสัญญาณทราฟฟิกซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

## 5.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายในทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สาย ( $Q_i$ ) ของเซลล์ที่เรากำลังทำการพิจารณา ซึ่งเซลล์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการรองรับมากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้ สิ่งแรกคือ ปริมาณทราฟฟิกสูงสุดที่สามารถรองรับได้ภายในเงื่อนไขที่กำหนดของเซลล์ที่กำลังทำการพิจารณา และระยะเวลาในการใช้ช่องสัญญาณเฉลี่ยของผู้ใช้บริการภายในหนึ่งชั่วโมง ดังสมการที่ 5.1 ซึ่งในการหาค่าปริมาณทราฟฟิกสูงสุดที่สามารถรองรับได้ ( $A$ ) ของเซลล์ใดๆนั้น จำเป็นจะต้องรู้ข้อมูลเบื้องต้น 2 ค่า นั่นคือ จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีทั้งหมดภายในเซลล์นั้นๆ และเปอร์เซ็นต์ของการเกิดบล็อกที่คาดหวัง ดังนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์เราจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลทั้งสองสิ่งก่อนดังนี้

1. ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีใช้ในสถานะปกติมีค่าเท่ากับ 21 ช่องสัญญาณ
2. ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีใช้เมื่อหลักการใหม่ทำงานมีค่าเท่ากับ 31 ช่องสัญญาณ
3. ค่าเปอร์เซ็นต์ในการเกิดบล็อกกำหนดเท่ากับ 2%

หลังจากนั้นเราจะต้องนำเงื่อนไขทั้งหมดที่ได้กำหนดไว้แล้ว มาทำการเปรียบเทียบค่ากับตารางเออร์แลง ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางเออร์แลงบีที่ใช้ในการหาค่าความเข้มทราฟฟิกของเซลล์ใดๆ

n	Loss probability (E)							
	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2
1	0.00806	0.00908	0.0101	0.02041	0.03093	0.05263	0.11111	0.25
2	0.13532	0.14416	0.15259	0.22347	0.28155	0.38132	0.59543	1
3	0.41757	0.43711	0.45549	0.60221	0.71513	0.8994	1.2708	1.9299
4	0.81029	0.84085	0.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452
5	1.281	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104
6	1.8093	1.861	1.909	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086
7	2.382	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302
8	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.543	5.5971	7.3692
9	3.6274	3.708	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217
10	4.2889	4.3784	4.4612	5.084	5.5294	6.2157	7.5106	9.685
11	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.328	7.0764	8.4871	10.857
12	5.6708	5.7774	5.876	6.6147	7.141	7.9501	9.474	12.036
13	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.47	13.222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

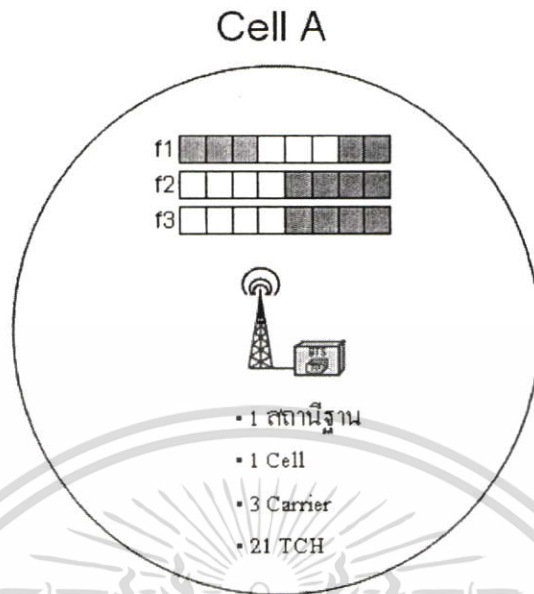
ตารางที่ 5.1 ตารางเออร์แลงบีที่ใช้ในการหาค่าความเข้มโทรศัพท์ของเซลล์ใดๆ (ต่อ)

14	7.1155	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413
15	7.8568	7.9874	8.108	9.0096	9.65	10.633	12.484	15.608
16	8.6092	8.7474	8.875	9.8284	10.505	11.544	13.5	16.807
17	9.3714	9.5171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.01
18	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216
19	10.922	11.082	11.23	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424
20	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635
21	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848
22	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064
23	14.11	14.297	14.47	15.761	16.675	18.08	20.737	25.281
24	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499
25	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.72
26	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941
27	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164
28	18.218	18.438	18.64	20.15	21.221	22.867	25.995	31.388
29	19.053	19.279	19.487	21.039	22.14	23.833	27.053	32.614
30	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.84
31	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067
32	21.58	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295
33	22.429	22.678	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524
34	23.281	23.536	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754
35	24.136	24.397	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985
36	24.994	25.261	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216
37	25.854	26.127	26.378	28.254	29.585	31.64	35.572	42.448
38	26.718	26.996	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.68
39	27.583	27.867	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913
40	28.451	28.741	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147
41	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381
42	30.194	30.494	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616
43	31.069	31.374	31.656	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851
44	31.946	32.256	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086
45	32.824	33.14	33.432	35.607	37.155	39.55	44.165	52.322
46	33.705	34.026	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559
47	34.587	34.913	35.215	37.462	39.062	41.54	46.322	54.796
48	35.471	35.803	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033
49	36.357	36.694	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.27
50	37.245	37.586	37.901	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508

ในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่เรากำลังพิจารณานั้น จะใช้วิธีการสร้างโมเดลจำลองขึ้นมา ซึ่งโมเดลดังกล่าวจะบรรจุคุณลักษณะของระบบเครือข่ายที่เรากำลังทำการวิเคราะห์ จากนั้นจะได้ทำการกำหนดอินพุต ซึ่งในที่นี้ก็คือจำนวนช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่สามารถนำมาใช้ได้ภายในเซลล์และปริมาณเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการนั่นเอง ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป ลักษณะของเซลล์ที่เราจะใช้ในการวิเคราะห์จะใช้เพียง 1 เซลล์ดังรูปที่ 5.1 โดยภายในเซลล์นี้จะประกอบไปด้วยชุดรับส่งจำนวน 3 ชุด หรือกล่าวคือ 3 ความถี่นั่นเอง ซึ่งในแต่ละความถี่จะประกอบด้วย

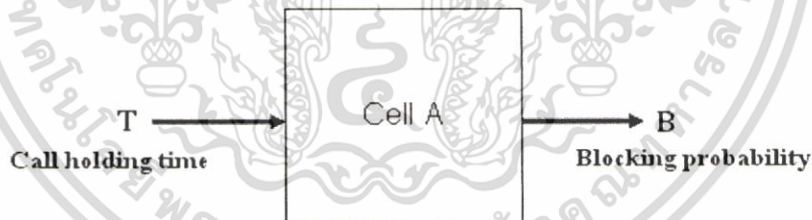
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณ 8 ช่องสัญญาณ และจะถูกแบ่งเป็นช่องสัญญาณซิกแนลถึงจำนวน 3 ช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำให้เซลล์ดังกล่าวมีช่องสัญญาณเหลือเพื่อใช้ในการสื่อสารของผู้ใช้บริการทั้งสิ้น 21 ช่องสัญญาณ



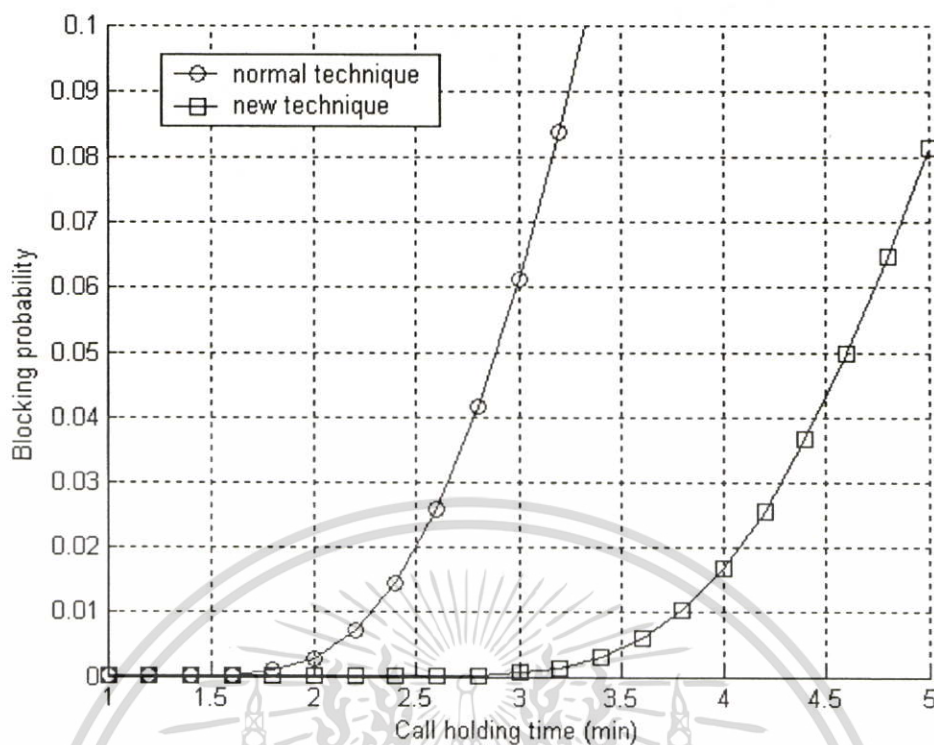
รูปที่ 5.1 ข้อมูลและรายละเอียดของสถานีฐานที่ทำการวิเคราะห์

เมื่อเรารู้คุณลักษณะของระบบแล้ว เราต้องทำการจำลองสถานการณ์ของปริมาณช่องสัญญาณที่มีใช้ในในระบบซึ่งสามารถมีได้ตั้งแต่ 21 ไปจนถึง 31 ช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อใดก็ตามที่ระบบมีการปรับช่องสัญญาณอย่างเต็มที่แล้วจะสามารถให้บริการช่องสัญญาณสื่อสารได้ทั้งหมด 31 ช่องสัญญาณ โดยลักษณะของแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ดังนี้



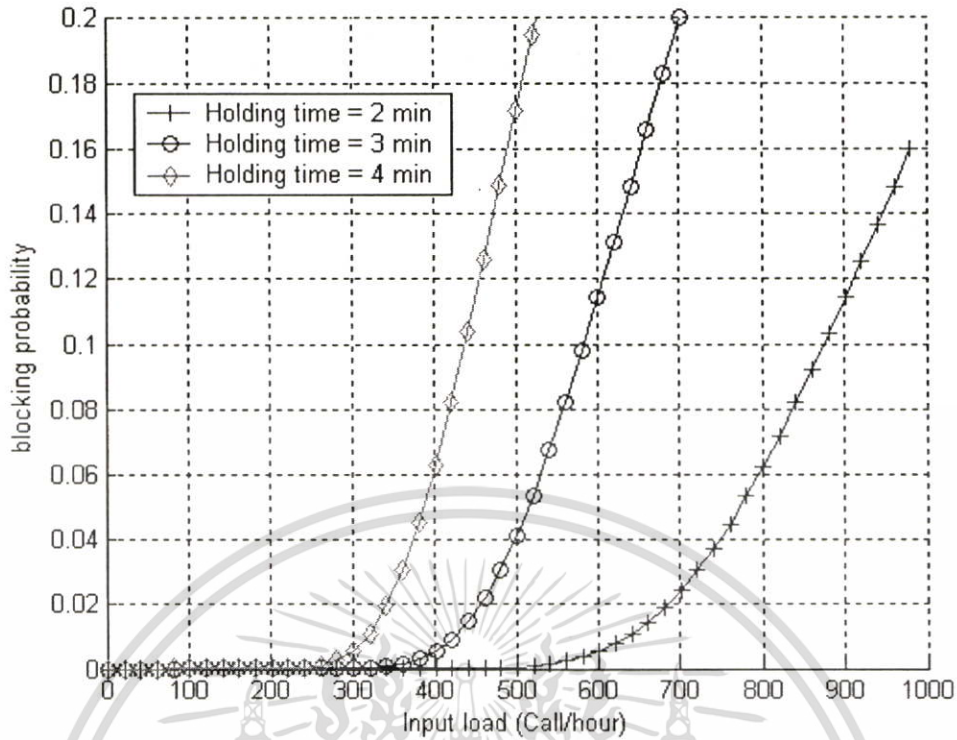
รูปที่ 5.2 แบบจำลองเพื่อหาความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่ทำการพิจารณา

เมื่อเราทำการกำหนดปริมาณอินพุทของโมเดลให้มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 จนถึง 5 นาที ผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อมีการใช้หลักการแบบใหม่นั้น ระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องลูกข่ายในแต่ละครั้งนั้น มีระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการใช้สายแต่ละครั้งที่ระบบสามารถรองรับได้นั้น จะสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์หรือโอกาสในการเกิดบล็อกดังรูป ซึ่งไม่ควรมีค่ามากกว่า 0.02 หรือ 2% ด้วย



รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับคู่สายของเซลล์ที่ทำการพิจารณา

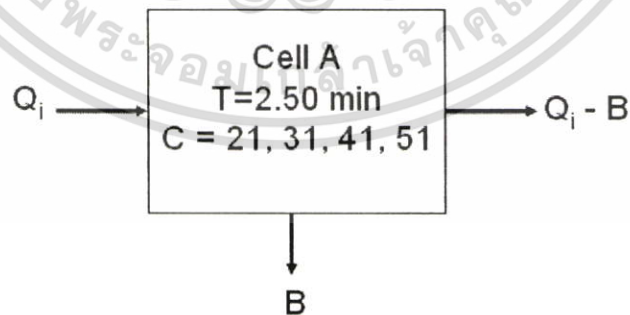
ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าโอกาสในการเกิดบล็อกจะให้ผลความสามารถในการรองรับคู่สายมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.4 จะพบว่าเมื่อระยะเวลาในการใช้สายมีค่าเพิ่มขึ้น บ่อส่งผลให้ความสามารถในการรองรับคู่สายลดลงด้วย



รูปที่ 5.4 ความสามารถในการรองรับคู่สายเมื่อระยะเวลาการใช้สายมีค่า 2, 3 และ 4 นาที

### 5.3 ผลการวิเคราะห์การเกิดบล็อกในทางคณิตศาสตร์

สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ได้ถึงประโยชน์ของการบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่ก็คือ โอกาสในการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่าย โดยตามสมมติฐานแล้ว เมื่อมีการนำหลักการใหม่มาให้บริการช่องสัญญาณนั้น โอกาสในการเกิดบล็อกควรจะน้อยกว่าหลักการเก่าเมื่อปริมาณทราฟฟิกขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่การบริหารช่องสัญญาณแบบเก่าไม่สามารถรองรับได้ตามข้อกำหนด



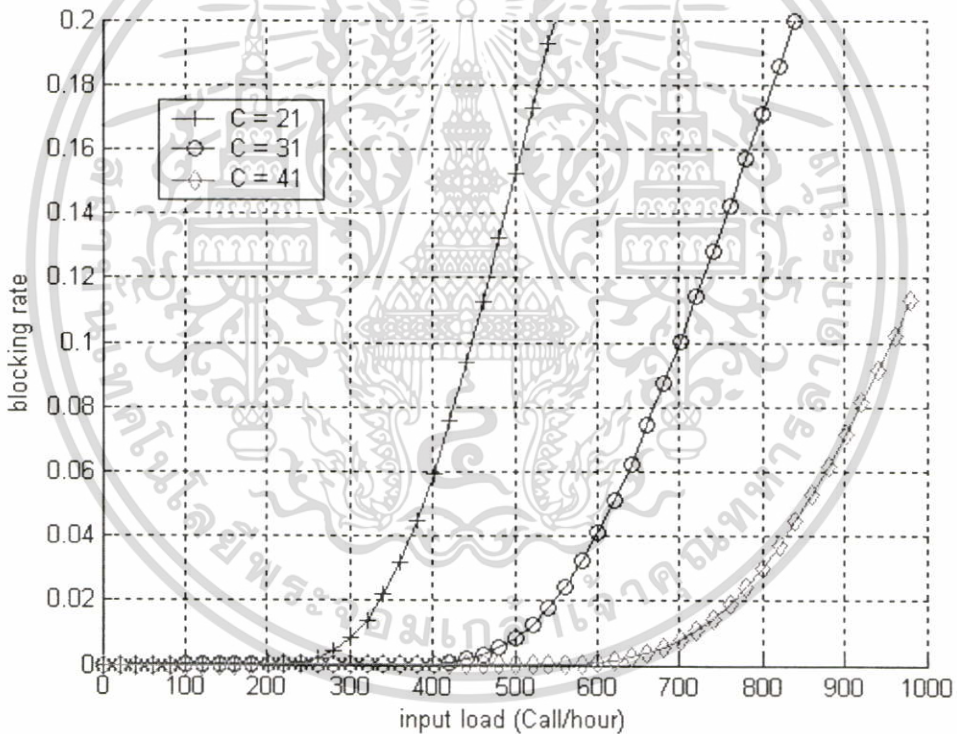
รูปที่ 5.5 แบบจำลองเพื่อหาโอกาสในการเกิดบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองนั้น จะประกอบไปด้วยสมการที่ใช้หาความสามารถในการรองรับคู่สายดังสมการที่ 5.1 และสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่าย ซึ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเกิดบล็อกคือจำนวนของช่องสัญญาณทราฟฟิกและความเข้มทราฟฟิกรวมของเซลล์ที่ทำการพิจารณา

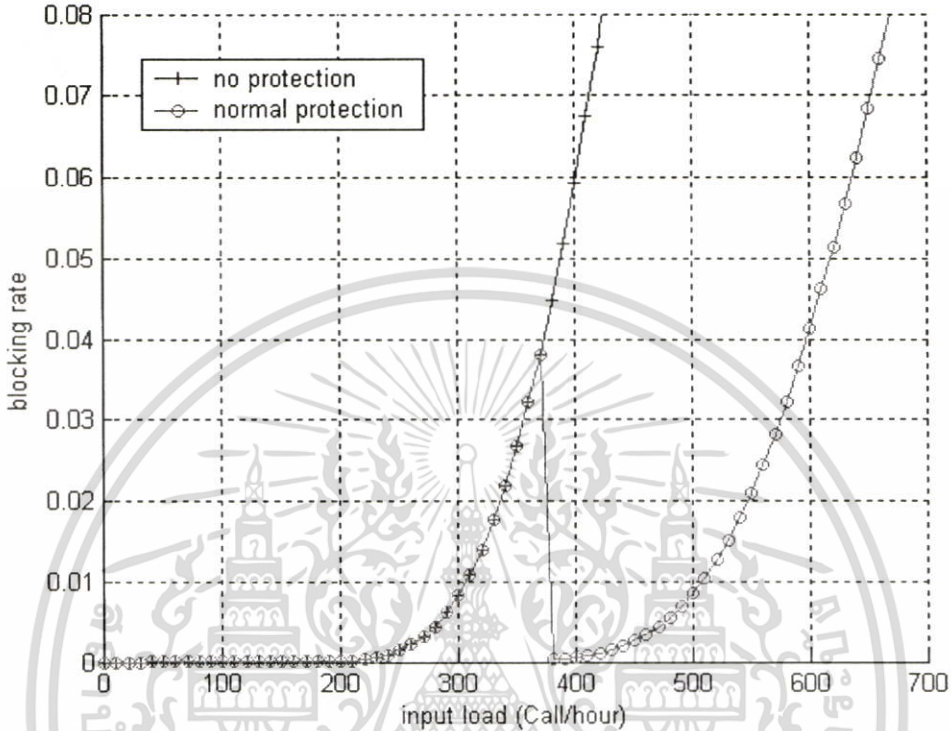
$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} \quad (5.3)$$

หลังจากนั้น จะต้องทำการกำหนดค่าตัวแปรอินพุตที่เข้าของแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ได้ ออกมาทางด้านเอาท์พุต ซึ่งในที่นี้เราจะทำการวิเคราะห์การเกิดบล็อกของระบบเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 5.6 เมื่อกำหนดปริมาณคู่สายที่เข้าตั้งแต่ 1 จนถึง 1000 คู่สาย และกำหนดให้ช่องสัญญาณที่มีใช้มีค่า 21, 31 และ 41 ช่องสัญญาณ



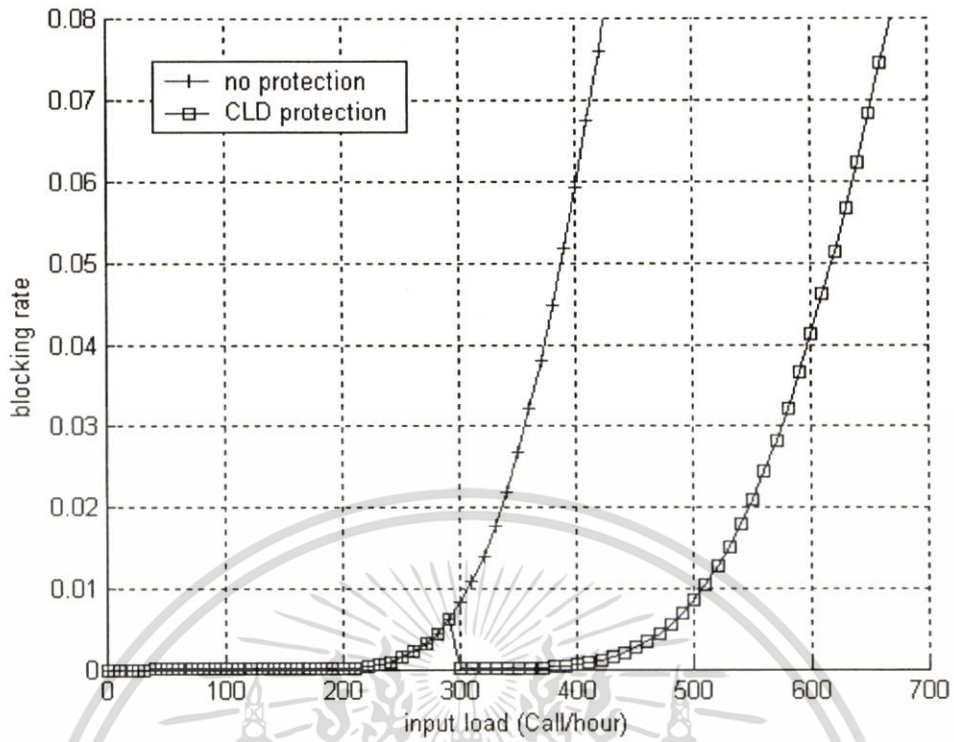
รูปที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของเครื่องลูกข่ายที่สถานะโหลดต่างกัน

รูปที่ 5.7 แสดงถึงผลการวิเคราะห์เมื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการปัจจุบัน อันเนื่องมาจากผลของระยะเวลาในการส่งสัญญาณเตือนจากเครือข่ายและความล่าช้าในการเข้าแก้ไขปัญหาคงของผู้ดูแลระบบเครือข่าย จึงยังคงมีผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่งอาจถูกปฏิเสธการเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ซึ่งยังถือเป็นข้อเสียของการแก้ไขปัญหานั้นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

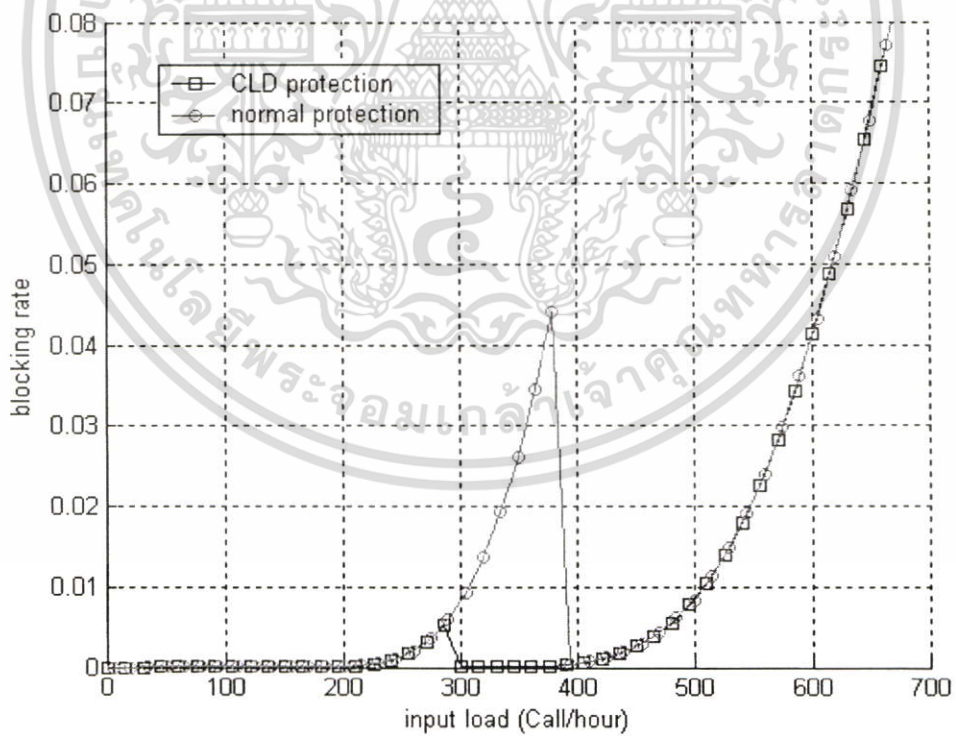


รูปที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดบล็อกของวิธีการแก้ไขในปัจจุบัน

รูปที่ 5.8 แสดงถึงผลการวิเคราะห์เมื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการใหม่ จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อระบบเครือข่ายตรวจวัดค่าของปริมาณเครื่องลูกข่ายที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากจนถึงปริมาณหนึ่งแล้ว ระบบเครือข่ายจะทำการปรับช่องสัญญาณ เพื่อให้มีความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้น ก่อนที่จะส่งผลให้เครื่องลูกข่ายเกิดโอกาสในการบล็อกมากกว่า 2%



รูปที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดล้นของวิธีการแก้ไขแบบใหม่



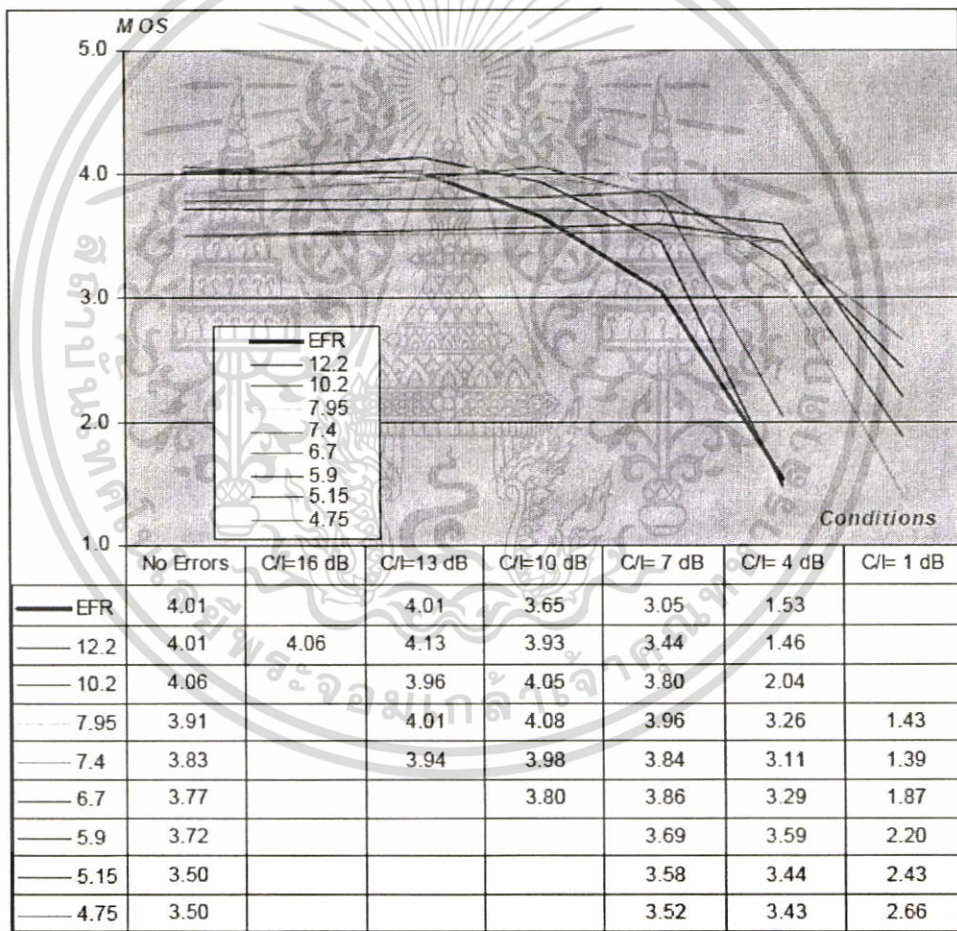
รูปที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดล้นของวิธีการแก้ไขแบบเก่าและแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

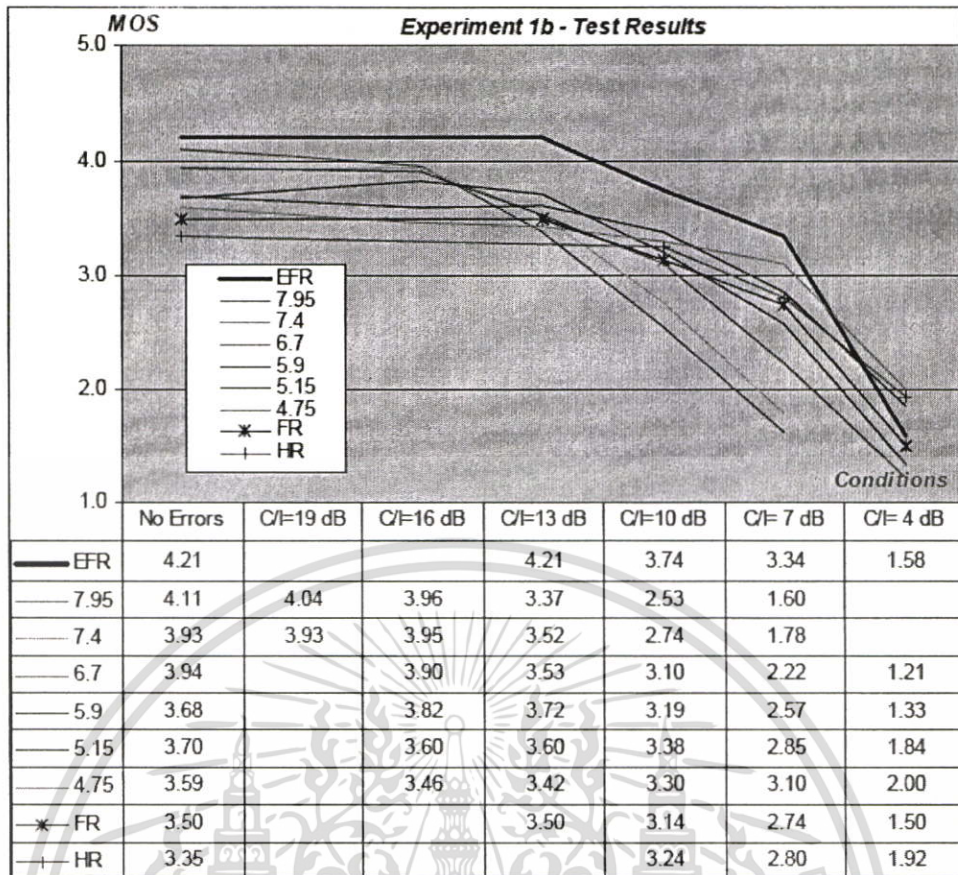
รูปที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการแบบเก่าและแบบใหม่ จะพบว่า ตามเงื่อนไขที่เราได้กำหนดไว้ในตอนต้นว่า โอกาสในการเกิดบล็อกที่ยอมรับได้คือ 2% นั้น เมื่อเราใช้หลักการใหม่ในการแก้ไขปัญหาลแล้วจะพบว่าที่ปริมาณอินพุตโหลดเท่ากันนั้น วิธีการแก้ไขปัญห แบบใหม่จะให้ค่าอัตราการเกิดบล็อกที่ต่ำกว่า

### 5.4 การบริหารช่องสัญญาณอันเกิดจากสัญญาณรบกวน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกรณีที่มีการเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นต่อชุดอุปกรณ์รับส่งแต่ละชุด และทำการ กำหนดค่าเทรตโฮลเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณจากแบบ full rate ไปเป็นแบบ half rate เพื่อช่วยรักษาคุณภาพในการให้บริการให้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ โดยการพิจารณาหาความ เหมาะสมของสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อคุณภาพของช่องสัญญาณเสียงทางอากาศนั้น จะอาศัยกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนต่อคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ได้แสดงดังรูปต่อไปนี้



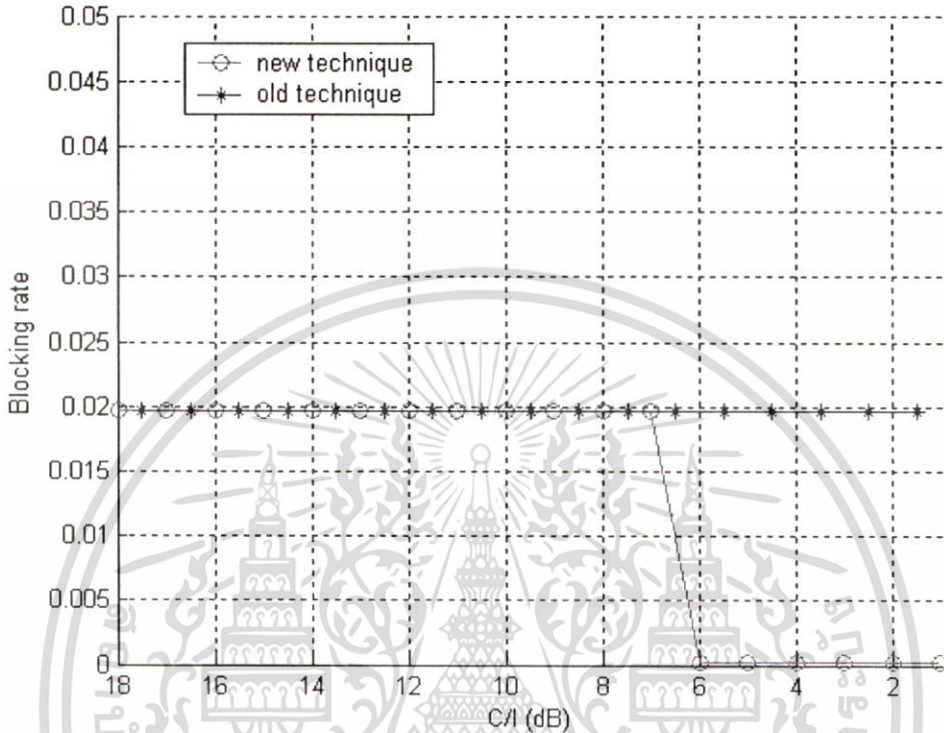
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนต่อคุณภาพของสัญญาณเสียงแบบ full rate



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนต่อคุณภาพของสัญญาณเสียงแบบ half rate

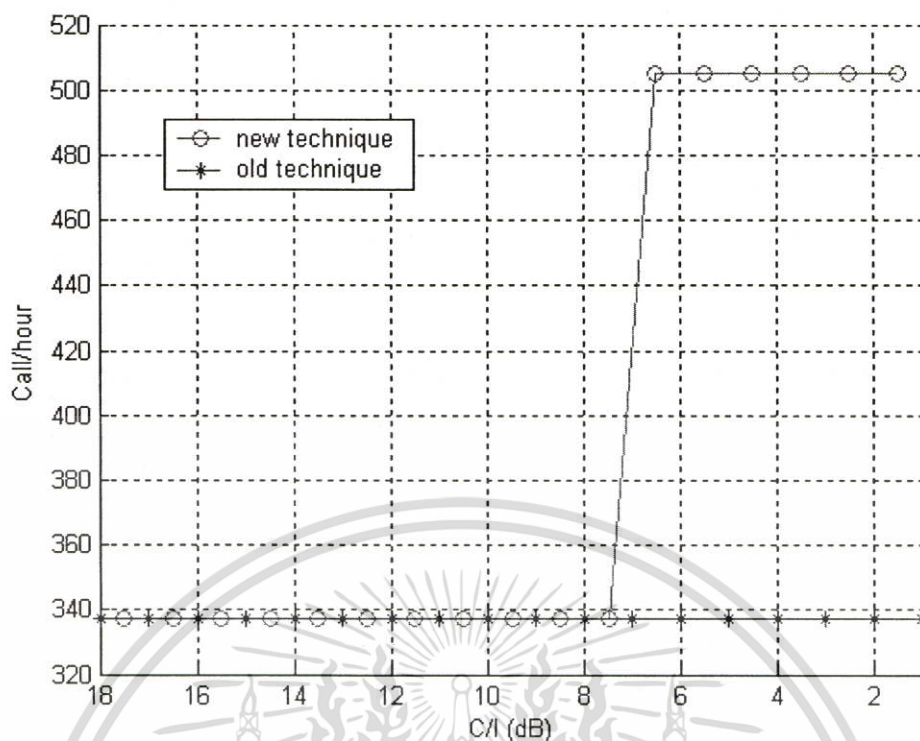
ในสภาวะปกติแล้วสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและยอมรับได้นั้นจะถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานทั่วโลก สำหรับระบบเครือข่ายไว้ที่ 18 dB สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอะนาล็อก และ 16 dB สำหรับ โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล อันเนื่องมาจากในระบบดิจิทัลจะมีการเข้ารหัสเสียงและเข้ารหัส ช่องสัญญาณรวมเข้าด้วยกันทั้ง 2 วิธีเพื่อรักษาคุณสมบัติของสัญญาณเสียงให้ดีในยามที่มีสัญญาณรบกวน ในระดับหนึ่ง การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนที่มีผลสัมพันธ์กับหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ ใหม่นั้นจะได้กล่าวถึงต่อไปภายหลัง

รูปที่ 5.12 แสดงถึงอัตราการเกิดบล็อกที่ลดลง เนื่องจากค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในความถี่แรก มีค่าสูงจนถึง 7 dB ซึ่งส่งผลให้ค่า MOS ลดลงเหลือเพียง 3 จากเงื่อนไขดังกล่าวจะส่งผลให้ช่องสัญญาณบางส่วนถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นช่องสัญญาณแบบ half rate ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเกิดบล็อกดังแสดงในรูป



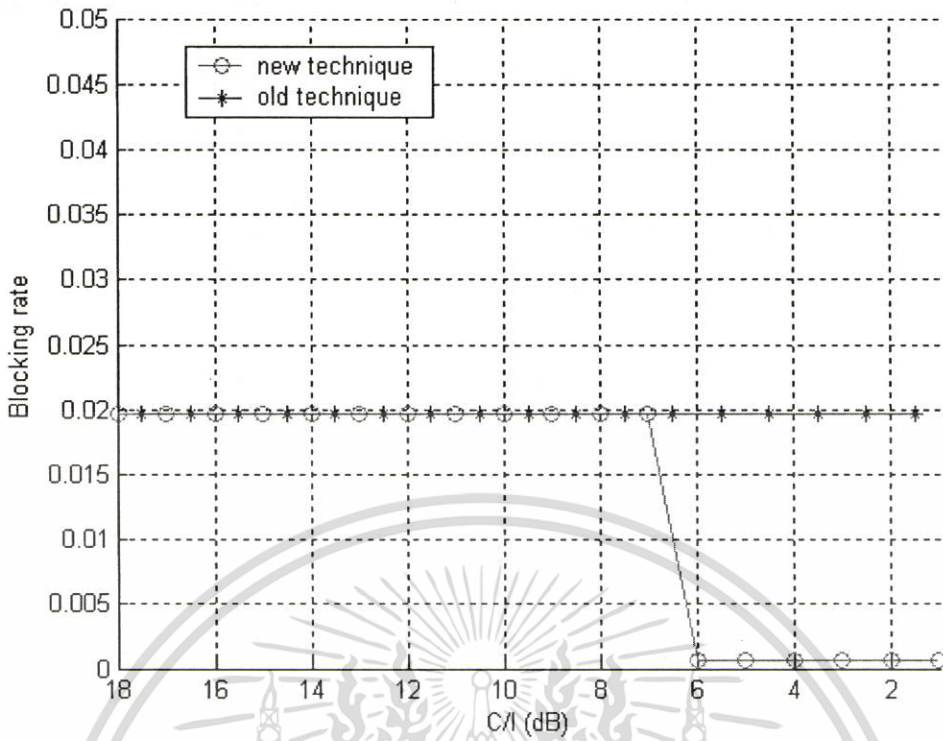
รูปที่ 5.12 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและการเกิดบล็อกที่เกิดจากความถี่หนึ่ง

รูปที่ 5.13 แสดงถึงความสามารถในการรองรับคู่สายที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับรูปแบบช่องสัญญาณดังที่ได้กล่าวไปแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการเกิดบล็อกมีค่าลดลง เมื่อค่าสัญญาณรบกวนมีมากขึ้นแล้ว ผลพลอยได้ก็ตามมาจากหลักการใหม่คือ สามารถทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มมากขึ้นอีกจำนวนหนึ่งด้วย

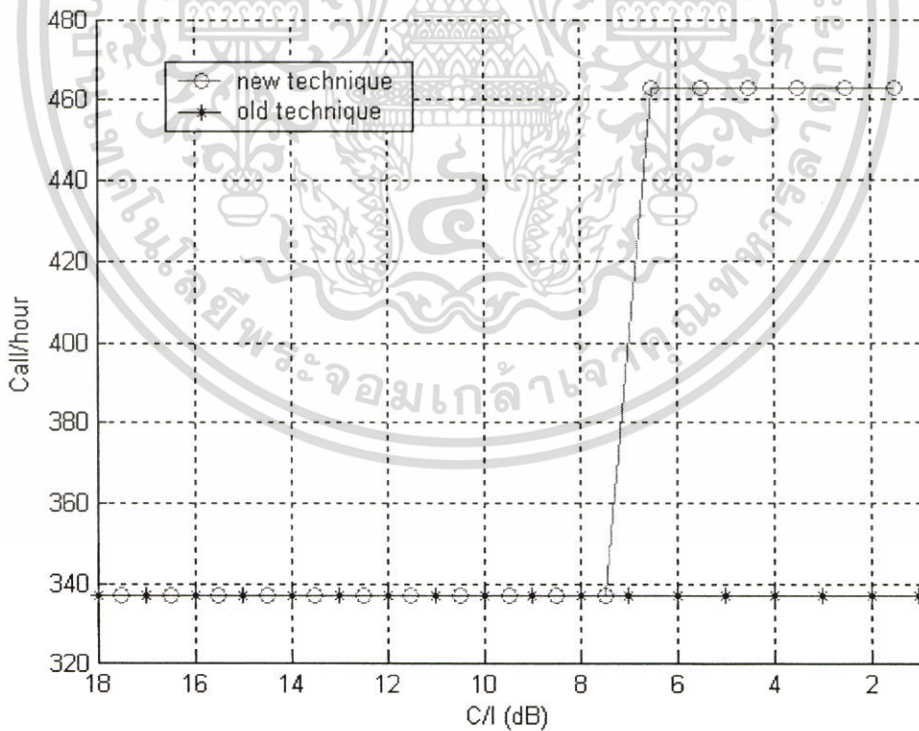


รูปที่ 5.13 การวิเคราะห์หีสัญญาณรบกวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดแก่ความถี่ที่หนึ่ง

รูปที่ 5.14 แสดงถึงผลจากการที่สัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้นจนถึงขอบเขตที่ระบบเครือข่ายได้กำหนดไว้ และได้ทำการปรับรูปแบบช่องสัญญาณเสียงเป็นแบบ half rate ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นคือ จำนวนช่องสัญญาณที่สามารถปรับเป็นแบบ half rate ได้นั้นมีจำนวนไม่เท่ากัน ซึ่งค่าที่ได้จึงแตกต่างกันอยู่เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี ผลที่ได้ออกมา นั้นจะเห็นได้ว่าหลักการใหม่ยังคงลดอัตราการเกิดบล็อกของระบบเครือข่ายได้เช่นเดียวกัน ส่วนรูปที่ 5.15 นั้นก็จะสังเกตเห็นว่าเมื่อสัญญาณรบกวนสูงขึ้นจนมีการปรับรูปแบบช่องสัญญาณเป็นแบบ half rate แล้ว ผลดีที่ตามมาคือความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้นอีกเช่นกัน

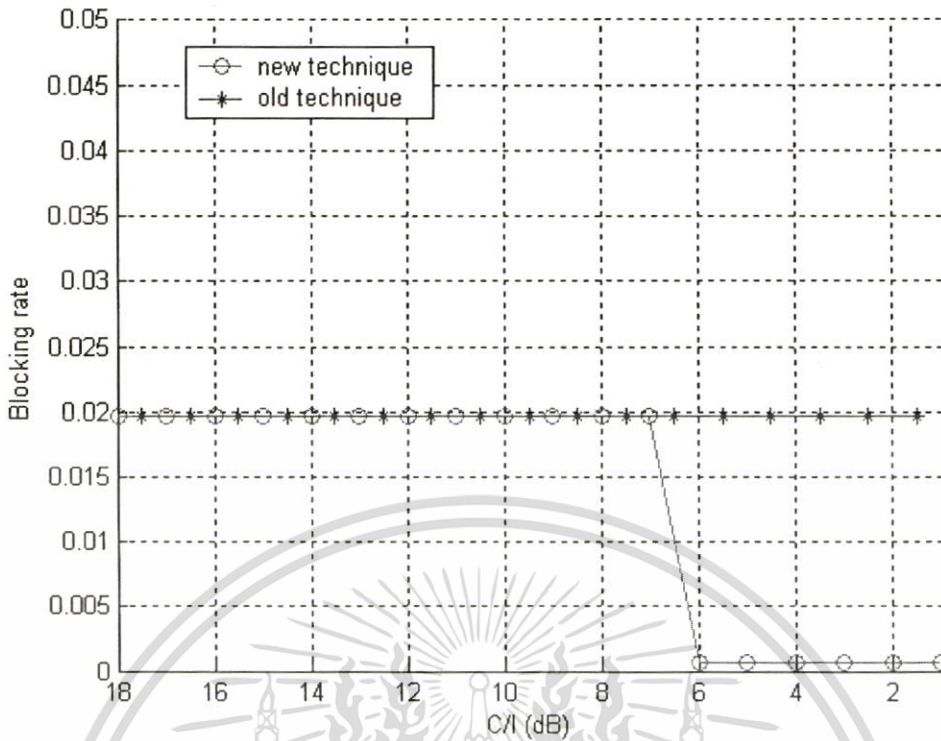


รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและการเกิดบล็อกที่เกิดจากความถี่ที่สอง

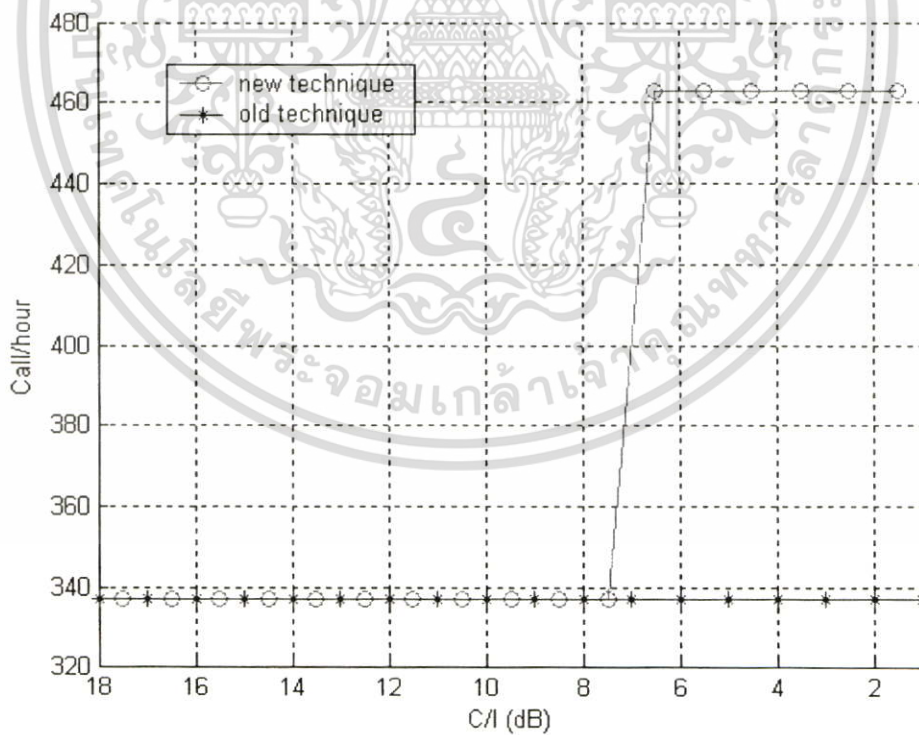


รูปที่ 5.15 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดจากความถี่ที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและการเกิดบล็อกที่เกิดแก่ความถี่ที่สาม



รูปที่ 5.17 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและความสามารถรองรับคู่สายที่เกิดแก่ความถี่ที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่เกิดขึ้นเมื่อค่าของสัญญาณรบกวนที่มีต่อความถี่ที่สามนั้น ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดเปลี่ยนแปลง ระบบเครือข่ายจะทำการปรับรูปแบบช่องสัญญาณเป็นแบบ half rate ผลดีที่ตามมาคืออัตราการเกิดบล็อกลดลงเช่นเดียวกับทั้งสองกรณีที่ได้กล่าวไปแล้ว และความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการก็จะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.16 และ 5.17 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิเคราะห์

ความจุหรือความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการของระบบเครือข่าย จีเอสเอ็ม ในปัจจุบันนั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดรับส่งสัญญาณที่จัดเตรียมไว้ภายในสถานีฐานต่าง ๆ ตามที่ได้มีการคำนวณและคาดการณ์จากองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างมารวมกัน ดังนั้นจำนวนช่องสัญญาณที่มีใช้ภายในสถานีฐานหรือเซลล์ใด ๆ ย่อมมีอยู่อย่างจำกัดในขณะที่ปริมาณของผู้ที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การจัดการบริหารช่องสัญญาณที่ดีจะต้องมีความสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้อย่างเพียงพอ และต้องไม่ใช้ชุดอุปกรณ์รับส่งมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น อีกทั้งยังเป็นเรื่องไม่ง่ายนักที่จะออกแบบระบบเครือข่ายให้มีความเหมาะสมกับปริมาณของผู้ใช้บริการได้ตลอดเวลา ดังนั้นการบริหารช่องสัญญาณที่ดีจึงเป็นส่วนสำคัญของระบบเครือข่าย จีเอสเอ็ม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์หลักการบริหารช่องสัญญาณแบบใหม่ ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานกว่า โดยจะแยกสรุปจากหัวข้อต่าง ๆ นั่นคือ ปริมาณช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นในกรณีที่แตกต่างกัน, ความสามารถในการรองรับคู่สายในกรณีที่แตกต่างกัน, ปริมาณของคู่สายที่ขอเข้าใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สมบูรณ์ และการเกิดบล็อกในกรณีที่แตกต่างกัน

จำนวนของช่องสัญญาณ ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ของวิธีการใหม่สามารถมี ช่องสัญญาณทราฟฟิกได้ 31 ช่องสัญญาณจาก 21 ช่องสัญญาณในแบบเก่า หรือเพิ่มขึ้น 1.47 เท่าจากหลักการเก่า นอกจากนี้เมื่อเรามีช่องสัญญาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก ที่สามารถรองรับได้ของเซลล์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือเพิ่มขึ้นจาก 14 เออร์แลง เป็น 22.8 เออร์แลง ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างทั้ง 2 หัวข้อดังกล่าว จะสามารถสรุปได้ว่าหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD นั้นสามารถทำให้ระบบเครือข่ายมีความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้น นั่นก็หมายความว่าหากมีการนำหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD ไปใช้งานในหลาย ๆ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการหนาแน่นของการเข้าใช้งานช่องสัญญาณทราฟฟิกก็จะยิ่งช่วยให้ระบบเครือข่ายมีความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มขึ้นต่อไปอีกด้วย

นอกจากนี้ผลของสัญญาณรบกวนที่กระทำต่อเซลล์ที่เราพิจารณานั้น ก็มีผลต่อคุณภาพในการให้บริการเช่นกัน กล่าวคือเมื่อใดก็ตามที่ค่าสัญญาณรบกวนสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการปรับช่องสัญญาณเสียงเป็นแบบ half rate ตามแต่กรณีที่ได้กล่าวไปแล้ว ผลดีที่ตามมาคืออัตราการเกิดบล็อกลดลงและส่งผลให้ความสามารถในการรองรับคู่สายเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นในหลักการเก่าที่ตัว BSC จะต้องรอให้เกิดสภาวะดังกล่าวขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงจะทำการแจ้งมาให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายทราบถึงปัญหา ดังนั้นความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับความรวดเร็วในการเข้าแก้ไขปัญหของผู้ดูแลระบบเครือข่ายเอง ทั้งนี้เมื่อมีการใช้งานหลักการบริหารช่องสัญญาณแบบ CLD แล้ว จะเห็นได้ว่าปัญหาดังกล่าวจะหมดไปเนื่องจากในหลักการใหม่นี้ BSC จะต้องมีการตรวจสอบช่องสัญญาณ

อยู่ตลอดเวลาและทำการเพิ่มช่องสัญญาให้แก่เครือข่ายทันทีเมื่อตรวจสอบพบว่า มีโอกาสที่จะเกิดการหนาแน่นของการขอเข้าใช้ช่องสัญญาขึ้นนั่นเอง เมื่อปริมาณการขอเข้าใช้ ช่องสัญญาทรานซิปติก ที่สมบูรณ์มีค่าสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ความน่าจะเป็นหรือเปอร์เซ็นต์ในการเกิดบล็อกมีค่าต่ำลงตามไปด้วย โดยที่เปอร์เซ็นต์ในการเกิดบล็อกลดลงจากการใช้วิธีการแก้ปัญหาในแบบปกติที่ประมาณ 2.2% เหลือเพียงไม่ถึง 0.01% เท่านั้น จากข้อได้เปรียบของหลักการบริหารช่องสัญญาแบบใหม่นี้สามารถจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบเครือข่าย จีเอสเอ็ม ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้โดยไม่ต้องทำการเพิ่มชุดอุปกรณ์รับส่งในสถานีฐานใด ๆ ที่มีอุปสรรคในการติดตั้งได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] I. F. Akyildiz, J. S. M. Ho, and Y.-B. Lin, "Movement-based location update and selective paging for PCS networks," *IEEE/ACM Trans. Networks*, vol. 4, pp. 629-638, Aug. 1996.
- [2] Zuji Mao, "An intra-LA location update strategy for reducing paging cost," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 8, August 2002.
- [3] K. Sam Shanmugan and A. M. Breipohl 1988. Random signals detection estimation and data analysis. John Wiley & Sons.
- [4] C. Rose and R. Yates, "Minimizing the average cost of paging under delay constraints," *ACM-Baltzer J. Wireless Networks*, vol.1, no. 2, pp. 211-219, 1995.
- [5] G. L. Lyberopoulos, J. G. Markoulidakis, D. V. Polymeros, D. F. Tsirkas, and E. D. Sykas, "Intelligent paging strategies for third generation mobile telecommunication systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, pp. 543-554, August 1995.
- [6] R. Rezaiifar and A. M. Makowski, "From optimal search theory to sequential paging in cellular networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, pp. 1253-1264, September 1997.
- [7] Y.-B. Lin, S. Mohan, N. Sollenberger and H. Sherry, "Adaptive algorithms for reducing PCS network authentication traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 588-596, Aug. 1997.
- [8] William, C.Y.Lee 1990. Mobile Telecommunication Systems. New York: McGraw-Hill.
- [9] Gibson, J.D. 1996. The Mobile Communication Handbook. Florida: CRC Press, Inc.
- [11] I. F. Akyildiz and W. Wang, "A dynamic location management scheme for next-generation multitier PCS systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 178-189, January 2002.
- [12] D.-J. Lee and D.-H. Cho, "On optimum timer value area and timer based location registration scheme," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, pp. 148-150, Apr 2001.
- [13] W. Wang, I. F. Akyildiz and G. L. Stuber, "An Optimal paging scheme for minimizing signaling costs under delay bound" *IEEE Commun., Lett.*, vol. 5, pp. 43-45, Feb. 2001.
- [14] Somkeat Dangiumeak, Jatuporn Peinjalern and Suthichai Noppanakepong "A Boundary Location Update Strategy for Minimizing Average Cost of Paging" Malaysia, Student Conference on Research and Development (SCORED2003), August 25-26, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์

- [1] Thaibuntern P., Khongkoom N. and Noppanakeepong S. “GSM Channel Management using Cell Load Dependent Algorithm on Air-Interface.”  
Proc. NCSEC, Hatyai, Thailand, October 2004. pp. 147-150.
- [2] Thaibuntern P., Khongkoom N. and Noppanakeepong S. “GSM Channel Management using Cell Load Dependent Technique on Air-Interface.”  
Proc. ISCIT, Sapporo, Japan, October 2004. pp. 67.

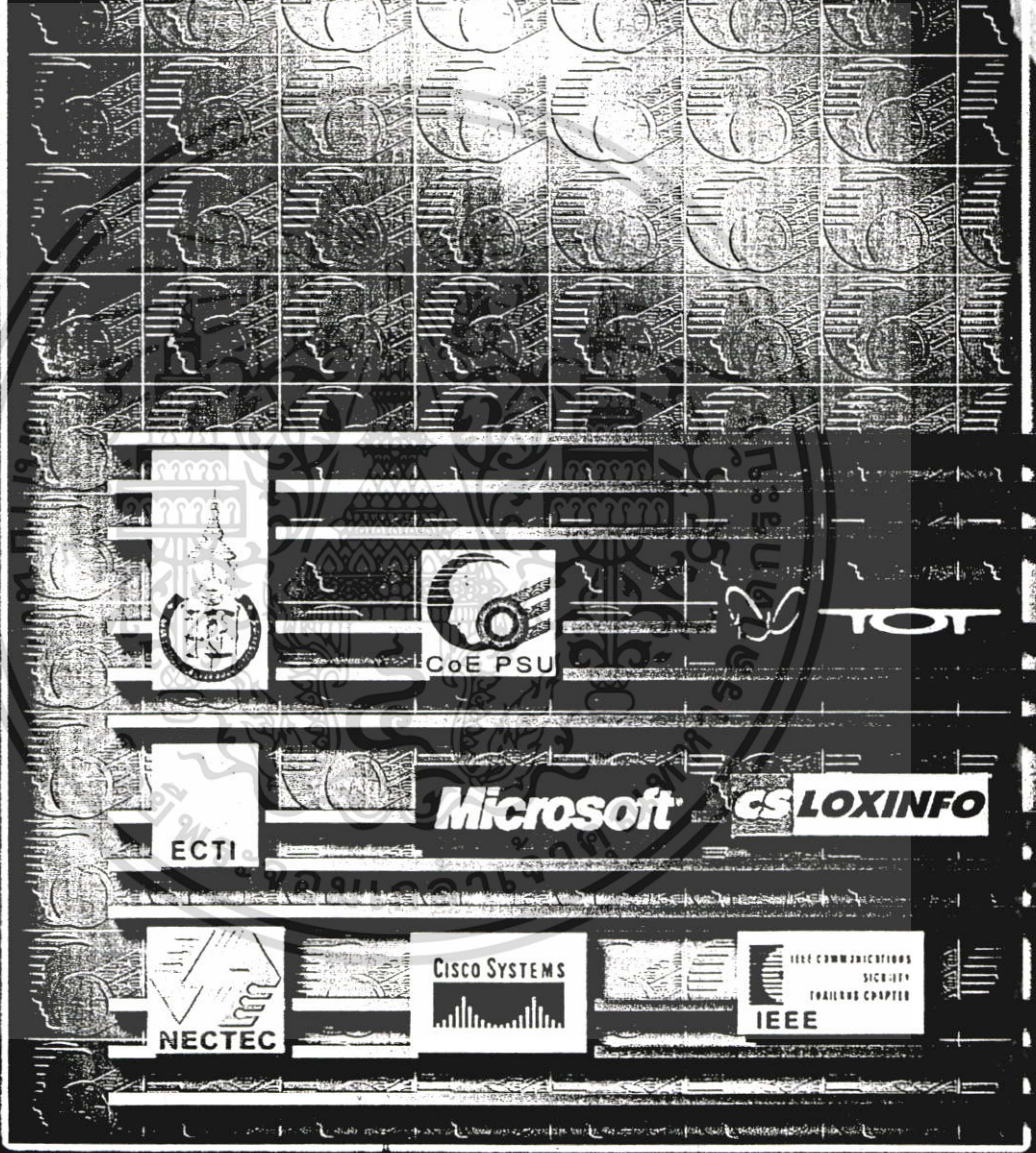


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# The 8th National Computer Science and Engineering Conference

# NCSE 2004

21-22 October 2004 | J.B.Hotel, Hatyai, Songkhla, THAILAND



**Main Sponsors** : Department of Computer Engineering and Faculty of Engineering, Prince of Songkla University; NECTEC; Microsoft; CISCO.

**In Cooperation with** : IEEE Communications Society, Thailand Chapter Electrical Engineering; Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GSM Channel Management Using Cell Load Dependent Technique on Air-Interface

Palapol Thaibunterng, Nalunat Khongkoom and Suthichai Noppanakepong  
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand  
 Phone 0-2739-2359 Ext. 3487, E-mail: t\_palapol@hotmail.com, knsuthic@kmitl.ac.th

### Abstract

In congest situation, some mobile subscribers are disconnected from network due to network handle capability is limited by the cellular networks. Although, resource expansion had done to satisfy the demand supply for more mobile subscribers. Cell load dependent algorithm is a channel efficient method to increase network handle capability for the cell site having high traffic peaks. By this feature, half rate channels are only assigned during traffic peak hours, a flexible assignment is provided. Before assigning a channel, the BSC checks the percentage of busy channels and then BSC handles the threshold comparison, evaluation and assignment of the half and full channels to their networks. During non-peak time, we can offer higher speech quality via only full rate channels. When cell load dependent mechanism had been activated, the adaptive multirate for half rate channels mechanism will be activated automatically.

**Key-Words:** peak time, congestion time, physical channel, dedicated packet access, GOS

### 1. Introduction

Mobile stations communicate to base stations by using physical channels on Air-Interface. The numbers of total channels per cell site depend on the numbers of TRXs assigned by network provider. Capacity assignment is a very important factor of radio network planning because of in high capacity network will have to use high cost to implements or if we try to take lower cost, network will be able to handle lower capacity. That mean in some congest or peak time, that moment network could not provide service for the subscriber. Cell load dependent used to increase cell capacity while additional equipments and increasing of cost is not necessary. But it is needed to load newer software version into the BSC before new technique had been activated. There are two main case of our problem as below.

#### 1.1 Busy of traffic channel in peak time

Congestion time often occur in short period in a same time each day or may occur in special event such as great concert. In peak time mobile subscribers may be unable to attach traffic channel due to BSC can not search idle traffic channel in coverage area include internal cell site and neighboring cell sites from neighboring cell list.

The sequences of the channel request have shown as figure 1. when mobile subscriber requests for traffic channel then BSC will find some idle traffic channel for mobile subscriber. If it can't find some idle traffic channel from its cell site which this mobile subscriber stays in, it has to look for some idle traffic channel from neighboring cell and then MS tries to hand over to use another traffic channel in new cell site.

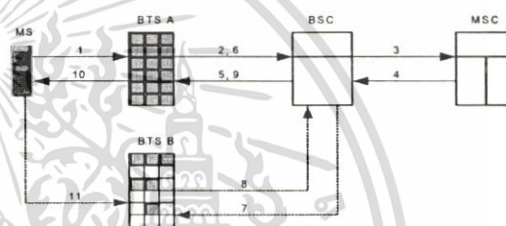


Figure 1. Sequence of channel request

Resolve the busy traffic channels in cell sites on peak times as try to change channel type from full rate to half rate traffic channel, it means one channel can be handled two mobile subscribers in the same time. But, whenever we change BSC database's parameters, we have to reactivate new value in BSC database and network will not be able to serve for a few minutes to a half hour. This takes an effect to every mobile subscriber which coverage by present BSC.

#### 1.2 Channel quality for half rate channel

After the handover procedure had done due to searching of idle traffic channel within its own cell site was fail. The next usually procedure tries to change some full rate traffic channels in its own cell site with congestion had occurred to half rate traffic channel type. When half rate channels had used, speech quality will be decreased due to speech coding bits rate and channel coding bits rate had reduced. This takes an effect directly to mobile subscribers because the quality of voice will be degraded.

### 2. Cell Load Dependent

In this section, we will present the different aspect of the cell load dependent as well as the prerequisite to enable this functional in the existing GSM network. This feature optimizes radio resources by allowing the allocation of half rate channels for cells having high traffic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak while offering the subscriber considerably improved network quality during non-peak hours. Since half rate channels are only assigned during traffic peaks, a flexible assignment is provided. During non-peak hours operators can offer higher speech quality to their subscribers via full rate channels. The cell load dependent technique shown as figure 2. in terms of efficiency, half rate channels should only be realistically allocated during high traffic peaks in a cell, when additional capacity is needed. This feature supports automatic assignments of half rate channels when the number of available full rate channel goes lower than a predefined threshold. Before assigning a channel the BSC have to checks the percentage of busy channels. This percentage is compared with the threshold and if it is equal or below the limit, a full rate channel is assigned, also in case of half rate preferred command from MSC. If the ratio is above the threshold the BSC assigns half rate channel whenever possible. The BSC handles the threshold comparison, evaluation and the assignment of the full rate and half rate channels.

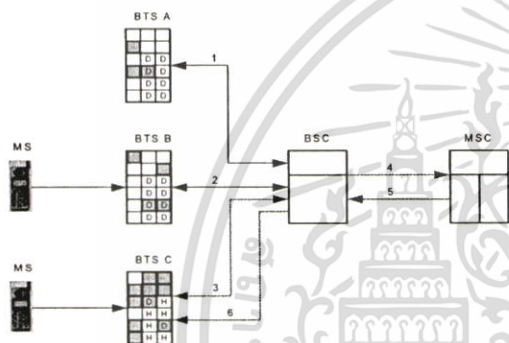


Figure 2. Cell load dependent technique

### 2.1 Functional requirement

First, the cell load dependent could be supported for all circuit switched in GSM network, include emergency calls except Dedicated Packet Access (GPRS and UMTS are for further study). Then, requirement of hardware expansion and additional cost are not needed. Finally, mobile subscribers should support half rate speech coding procedure.

### 2.2 Normal speech seizer

Whenever the mobile subscriber purposes to use physical channel, they send the channel request message to MSC then MSC send assignment request back to BSC, for this time BSC has to find only idle full rate or half rate channel from its cell site depending on the network condition. If this searching mechanism is successful, BSC send channel information to mobile subscriber to make channel seizer procedure. But when this searching mechanism fails, BSC has to make disconnecting procedure. For cell load dependent technique, it's not necessary to assign half rate channels in each cell sites. Dual channel, the new channel type has to use instead of half rate channel. In GSM recommendation, for one TRX

there are eight timeslots and first TRX there is at least one timeslot reserved for broadcast control channel. Then there are at most seven timeslots for traffic channels. With this technique, we only use full rate and dual rate channels. The total numbers for each type are depending on service provider sitting.

### 2.3 Adaptive Multirate

The Adaptive Multirate (AMR) is constituted by a set of speech codec modes at different bit rates. Each codec mode provides a different level of protection against radio transmission errors. This is obtained by varying the balance between the speech coding bit rate and channel coding bit rate. Advantages derive mainly by the fact that AMR is an adaptive feature, i.e. it permits to change dynamically codec mode according for adaptation to radio conditions of the physical channel. For good radio propagation, a high speech bit rate can be adopted to obtain optimum speech quality, while for bad radio conditions an adequate rejection of transmission errors can be achieved by adopting a high channel coding bit rate. With AMR the changes among codec rates are done according to a codec adaptation algorithm. This algorithm is based on channel quality measurements, performed in the base station and in the mobile subscriber. The adaptation algorithm uses some thresholds in order to decide when switching from current codec mode to another codec mode have to be performed. Both techniques will be adopted to solve traffic congestion problem. Whenever the cell load dependent is activated, the adaptive multirate mechanism will be activated automatically.

## 3. Analytical results

For our experimentation, we choose one base station from network and adopt cell load dependent mechanism to it. While congest situation often occurs on the same time in each days. We take consideration values from BSC to calculate by using mathematics procedure and analyze them to see the result.

### 3.1 Additional physical channel

For our consideration cell, there are 3 TRXs in cell site and 3 signaling channels in this cell. On the first TRX, it consists of 1 MBCCCH channel, 1 SCBCH channel, 1 SDCCH channel and 21 traffic channels. In 21 traffic channels, we separate to 11 full rate traffic channels and 10 dual rate traffic channels. In non-peak hour, all of dual rate channels will be served full rate to obtain optimum speech quality. But in peak hour and the percentage of busy channel value reaches the threshold value, some dual rate channels will be changed to half rate channels type depending on level of percentage of busy channels value. In case of very badly situation, all of dual rate channels will be changed to half rate channels immediately. That mean we get 31 traffic channels both of full rate and half rate channels in peak hour. For this algorithm we get 47% additional of traffic channels in congestion period from normal case.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 Traffic handle capability

Traffic handle capability per cell site is depending on the maximum number of traffic channels per cell that is closely related to an average calling time in the system. The standard user's calling habits may change as a result of the charging rate of the network provider and the general income profile of the users. If an average calling time per hour  $T$  is 7.5 min and the maximum calls per hour per cell is  $Q_i$ , then the offered load per cell per hour can be derived as

$$A = \frac{Q_i * 7.5}{60} \quad (1)$$

The maximum number of calls per hour can be taken care of in each cell.

$$Q_i = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2)$$

Where  $n$  is the number of consideration cells. When we design a network, the traffic conditions in the area during a peak hour are some of the parameters that will help to determine both the sizes of different cells and the number of channels in them. Where  $\eta_c$  is the average one call per mobile subscribers. The total allowed subscriber traffic  $M_i$  can then be obtained.

$$M_i = \frac{Q_i}{\eta_c} \quad (3)$$

For our study, we assume that the users calling habit are usually making 3 calls per hour in average 2.5 minutes per each calling time. We set the grade of service to 2% GOS and in normal situation we have 21 full rate traffic channels in our resource. Then offered load is 14 erlangs for this cell site and from above information we take them into equation (1) we consider the offered load per one user.

$$A_U = \frac{3 * 2.5}{60} \quad (4)$$

From equation (4) we can take offered load per one user is 0.125 erlangs. The total number of calls per hour in a cell can be calculated by equation (5).

$$U = \frac{A}{0.125} \quad (5)$$

From equation (5) we can get the total number of calls per hour is 112 calls. In normal situation there are around 6-7 erlang load in this considering cell site, but in peak time the traffic load sometimes rises on to 17-18 erlang per hour. When the cell load dependent is activated, there are 31 traffic channels being assigned in this cell by the 11 channels are full rate and 20 channels are half rate. From this mechanism, we can get 31 traffic channels in our resource. If the calling habits of users are not change and

GOS is still 2% used. The offered load is now increasing to 22.8 erlang or 182 calls per hour. In figure 3. shows the traffic load characteristic curve of the considering cell site. For normal situation the traffic load stayed around 5-6 erlang whenever the congest situation occur the traffic load rose up to 18 erlang in 16.10 pm. In this short period, there are some customers can not make a call in its own cell. However, if those mobile subscribers can not make a handover procedure, they will be disconnected from BSC and they have to try to make a call again.

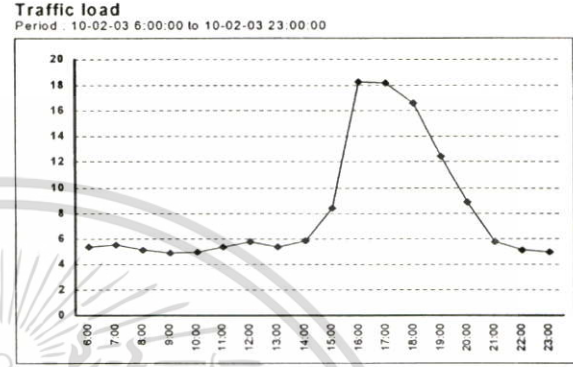


Figure 3. Traffic load characteristic curve

Whenever the total number of traffic channels had been increase, the offered traffic load will be also increase as well. Figure 4. shows the offered traffic load curve when the total number of traffic channels are increased. We found that more traffic handle capability can be increase by additional traffic channels. This is a one way out to solve the congestion in our peak-time.

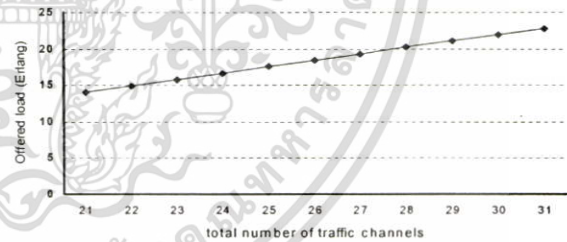


Figure 4. Offered load in difference case

### 3.3 Channel blocking rate

This is a very important factor in the mobile cellular network service. Channel blocking rate is refer to probability of mobile originating call (MOC) will be blocked. Because of not having available traffic channels resources in the network. For this mathematics analysis, we assumption that the users in network are infinity, the total number of user's calling is likely poisson distribution, calling time for each user is likely negative exponential distribution and the available traffic channels are limited. When we know the offered load per cell per hour  $A$  and the total number of available traffic channels  $C$ . Then in

normal situation, the measured average traffic load is 7 erlang. We can find percentage of channel blocking as

$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{7^{21}}{21!} \sum_{k=0}^{21} \frac{7^k}{k!} \quad (6)$$

The calculated channel blocking rate is 0.00099%. By the same technique, for congest situation the 8.559% channel blocking rate has calculated from equation (7). We find that when the congest situation occur, the blocking rate is exceed our 2% limit. The blocking rate can reduce by increasing more traffic channels into this cell site. The cell load traffic mechanism dependent is adopted.

$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{18^{21}}{21!} \sum_{k=0}^{21} \frac{18^k}{k!} \quad (7)$$

Figure 5. shows the comparison of percentage of blocking rate between old service and new service during the same place, time and situation but we separate the experimentation into 2 days. First day, we do not activate cell load dependent technique and the second day the cell load dependent had been activated. When the cell load dependent had been activated, the total numbers of traffic channels are rise up to 31 channels and we can calculate the blocking rate as equation (8).

$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{18^{31}}{31!} \sum_{k=0}^{31} \frac{18^k}{k!} \quad (8)$$

The calculated blocking rate is 0.152%. That mean if we limit the blocking rate at 2% and whenever, congestion time had occur, it guarantees that the available traffic channels are provided to customers are enough.

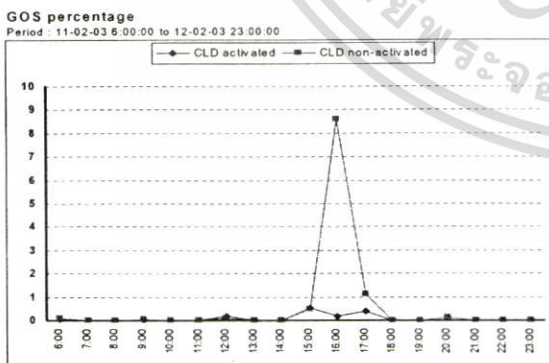


Figure 5. GOS comparison of two difference methods

### 3.4 Half rate channel quality

When the half rate channels are used due to cell load dependent is activated. The voice quality on half rate channels are reduced because of both speech coding and channel coding are reduced. This may be taking an effect to customers for a moment if customers are moving. But if voice quality still to be down due to the customers are not moving or the C/I value still decrease. The AMR is switched from current codec mode to higher codec mode (upgrading of the codec mode). This may take a higher channel coding. This mechanism will occur in a very short time. The customers have no notice whenever the mechanism has started and stopped. However, customers are to be more satisfied that they can make a call immediately than they can not call out to another whenever they want. In another way, the voice quality is evaluated by customer's feed back or surveying result of network provider.

### 4. Conclusions

The cell load dependent was proposed in this letter to optimum the traffic channel on Air-Interface between mobile subscribers and base stations. This proposes management is compare with the non-cell load traffic dependent network improved the efficiency of traffic channel by additional half rate traffic channels in each TRX of our considering cell site. Especially in case of congest situation occurs in short time of the days. The cell load dependent technique can increase 8.8 erlang additional from the non-cell load dependent networks or 47% increasing of the traffic channels. But by this technique, some users may lose their paltry good voice quality because of using half rate channels. For this reason, adaptive multirate is adopted to improve more users' satisfaction. However, most of our users are more satisfied with successful call making than the busy network when a lot of users need to access the network in the same time and by this technique the network reliability will increase.

### 5. References

- [1] Advances in Mobile information systems, John Walker Editor, Artech House Publishers Boston London, November 1984
- [2] Mobile communication Engineering Theory and Applications (Second edition), William C.Y. Lee, Mc Graw Hill, 1998
- [3] GSM and UMTS The creation of Global Mobile Communication, Friedhelm Hillebrand Editor, John Wiley & Sons, LTD, 2000
- [4] Mobile Cellular Telecommunications Systems, William C.Y. Lee, Mc Graw Hill, 1989
- [5] PCS Mobility management using the Reverse virtual call setup algorithm, IEEE/ACM Transactions on networking VOL.5 No.1 February 1997
- [6] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Application Part (MAP) specification (GSM 09.02 version 5.9.0)
- [7] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3 specification (GSM 04.08 version 5.9.0)

## ประวัติผู้เขียน

นายพลพล ไทยบรรเทิง เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์-โทรคมนาคม จากศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2543 (4 ครม.4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้