

การวิเคราะห์ความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B โดยพิจารณา
การใช้บริการเสียงและข้อมูล

CAPACITY ANALYSIS OF IS-95 CDMA BY DATA
AND VOICE USERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1868-4

การวิเคราะห์ความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B โดยพิจารณา
การใช้บริการเสียงและข้อมูล

CAPACITY ANALYSIS OF IS-95 CDMA BY DATA
AND VOICE USERS



สมสุดา เกิดดิษฐ์

SOMSUDA KERDDIT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 60912
วัน,เดือน,ปี.....ค.ศ. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1868-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CAPACITY ANALYSIS OF IS-95 CDMA BY DATA
AND VOICE USERS**



**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 974-15-1868-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B โดย
พิจารณาการใช้บริการเสียงและข้อมูล

นักศึกษา

นางสาวสมสุดา เกิดศิษฐ์

รหัสนักศึกษา

43061129

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2548

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ศศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

รศ.นิภา ลีลารุจิ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอผลการวิเคราะห์ทางด้านความจุช่องสัญญาณในระบบ IS-95B CDMA ซึ่งเป็นการสนับสนุนผู้ใช้งานที่มีการส่งสัญญาณด้านเสียงและข้อมูล โดยพิจารณาในกรณีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ซึ่งเกิดขึ้นในทางปฏิบัติอันเนื่องมาจากการจางหายของสัญญาณ โดยจะทำการแสดงผลการวิเคราะห์ในค่าของความน่าจะเป็นอัตราบิดข้อมูลผิดพลาดเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์สองค่าที่มีผลกับความจุของระบบคือ อัตราขยายประมวลผล และ ค่าอัตราการลื่นไหลของข้อมูล โดย อัตราขยายประมวลผลสูง และอัตราการลื่นไหลของข้อมูลต่ำพบว่าจะมีค่าของความน่าจะเป็นอัตราบิดข้อมูลผิดพลาดต่ำเมื่อทำการวิเคราะห์ในภาวะเดียวกัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ทั้งสองค่ามีผลต่อความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B CDMA โดยสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปศึกษาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาในระบบในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Capacity analysis of IS-95B CDMA by data and voice users
Student	Ms.Somsuda Kerddit
Student ID.	43061129
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Suthichai Noppanakeepong
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof. Nipha Leelaruji

ABSTRACT

This thesis presents capacity analysis of IS-95B CDMA by support data and voice users by specifying to the effect of power control error that occurs in practical because fading effect. By making use of these expression, the probability of error is analyzed as a function of two parameters. That are processing gain and data activity on capacity by high processing gain and low data activity are found low probability of error under similar traffic conditions. The results are both parameters effect to capacity of IS-95B CDMA. We can improve the system by studying and development.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาทิพงษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.นิภา ลีลาจจิ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในทุกๆด้าน อีกทั้งยังคอยแก้ปัญหาทุกอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล และ รศ.ดร.สุวิพล สิทธีชีวะภาค กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สมสุดา เกิดดิษฐ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	i
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1 พื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1.1 ประเภทของรหัสที่ใช้ในระบบ CDMA (IS-95).....	5
2.1.1.1 รหัสสวอลซ์.....	5
2.1.1.2 รหัสพีเอ็นแบบยาว.....	6
2.1.1.3 รหัสพีเอ็นแบบสั้น.....	6
2.1.2 การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปหาโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Forward Link).....	7
2.1.2.1 ช่องสัญญาณนำร่อง.....	8
2.1.2.2 ช่องสัญญาณชิงโครโมเซชัน.....	9
2.1.2.3 ช่องสัญญาณเพจจิง.....	13
2.1.2.4 ช่องสัญญาณกราฟฟิก.....	15
2.1.3 การส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปหาสถานีฐาน (Reverse Link).....	16
2.1.3.1 ช่องสัญญาณแอกเซส.....	17
2.1.3.2 ช่องสัญญาณกราฟฟิกขากลับ.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.4 การเข้ารหัสเสียงพูดที่ปรับเปลี่ยนอัตราบิตได้.....	21
2.1.5 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเปิดเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นมา	22
2.1.6 การแฮนด์ออฟ ขณะที่โมบายล์อยู่ในสถานะว่าง	22
2.1.7 การเริ่มต้นการโทรเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่	23
2.1.8 CDMA ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	23
2.2 คุณลักษณะและข้อดีของระบบ CDMA	23
บทที่ 3 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ	25
3.1 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ	25
3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด	26
3.3 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด	28
3.3.1 การควบคุมกำลังแบบลูปปิดในระหว่าง ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	29
3.4 ระบบ IS-95	30
3.5 สัญญาณแทรกสอด	31
3.5.1 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป	32
3.5.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์	32
3.5.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ	34
3.5.2 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ	38
3.5.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์	38
3.5.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ	39
3.6 การแบ่งเซลล์เป็นเซกเตอร์	39
3.7 อัตราสิ้นไหลของเสียง (Voice Activity)	40
บทที่ 4 การวิเคราะห์ระบบ	41
4.1 การวิเคราะห์ความจุของระบบ IS-95B	41
4.2 การวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ	45
5.1 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง	46
5.2 ผลของอัตราบิดข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง	47
5.3 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล	48
5.4 ผลของอัตราบิดข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล	49
5.5 ผลของอัตราการลื่นไหลของข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล	50
5.6 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล และจำนวนผู้ใช้งานเสียง	51
5.7 ผลของอัตราลื่นไหลข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลและ จำนวนผู้ใช้งานเสียง	52
5.8 ผลของอัตราบิดข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลและ จำนวนผู้ใช้งานเสียง	53
5.9 ผลของจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง	54
5.10 ผลของจำนวนผู้ใช้งานเสียงเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล	55
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	59
ก. ทฤษฎีความน่าจะเป็น และ กระบวนการเฟ้นสุ่ม	60
ข. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	67
ประวัติผู้เขียน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 โครงสร้างของเพ็ทเกด 19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ I.....	7
2.2 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ Q.....	7
2.3 การแบ่งช่องสัญญาณที่ส่งออกโดยสถานีฐาน	8
2.4 วงจรสร้างสัญญาณไหลอด.....	9
2.5 วงจรสร้างสัญญาณชิงโครโมเซชัน.....	10
2.6 วงจรเข้ารหัสคอนโวลูชันสำหรับช่องสัญญาณชิงก์.....	10
2.7 โครงสร้างเฟรมและรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในช่องสัญญาณชิงก์.....	11
2.8 โครงสร้างของโพลีโนเมียลที่ใช้ในการเข้ารหัส CRC ของช่องสัญญาณชิงก์.....	12
2.9 โครงสร้างของวงจรเข้ารหัส CRC สำหรับช่องสัญญาณชิงก์.....	12
2.10 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณเพจจิง.....	13
2.11 การสร้างสัญญาณรหัสแบบยาว.....	14
2.12 รายละเอียดรูปแบบของช่องสัญญาณเพจจิง.....	14
2.13 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณทราฟฟิก.....	15
2.14 รายละเอียดของ ESN.....	16
2.15 การจัดช่องสัญญาณที่ส่งออกโดยเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	17
2.16 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณแอกเซสในทิศทางที่จะส่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน.....	18
2.17 โครงสร้างของเฟรมที่ส่งออกผ่านช่องสัญญาณแอกเซส.....	18
2.18 โครงสร้างวงจรเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน.....	18
2.19 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณทราฟฟิกในทิศทางจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน.....	20
2.20 ตัวอย่างการเปิดปิดเกตสำหรับการส่งที่อัตราบิตที่ค่าต่างๆ.....	21
2.21 รายละเอียดรูปแบบของ public long code mask.....	21
3.1 แสดงระบบ IS-95 การเชื่อมโยงขาไป.....	30
3.2 แสดงระบบ IS-95 การเชื่อมโยงขากลับ.....	31
3.3 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ.....	38
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานเสียงเมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานเสียง เมื่อพิจารณาอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps	47
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบรูณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB.....	48
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps	49
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าอัตราการล้นไหลข้อมูลที่ 0.5, 0.8 และ 1	50
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าการควบคุมกำลังไม่สมบรูณ์ที่ 0.5, 1 และ 2 dB.....	51
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าอัตราล้นไหลข้อมูล 0.5, 0.8 และ 1	52
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าอัตราบิตข้อมูล 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps	53
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย.....	54
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเสียง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบ IS-95B มีการนำระบบนี้ไปใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกด้วยคุณภาพของเสียงและการรับรองทางด้านความจุ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการออกแบบสร้างระบบนี้ขึ้นในยุค 2.5G จะให้บริการในการส่งข้อมูลที่มีอัตราบิตสูงมาก แต่เนื่องจากผลของสภาพแวดล้อมรอบข้าง ส่งผลให้ความจุของระบบลดลง [4] จึงได้มีการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆซึ่งได้แก่การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิตผิดพลาดเมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานเสียงกับอัตราบิตผิดพลาดเมื่อพิจารณาอัตราขยายประมวลผล, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิตผิดพลาดเมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิตผิดพลาดเมื่อพิจารณาค่าอัตราการกลืนไหลของข้อมูล (data activity), การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับจำนวนผู้ใช้งานเสียงเมื่อพิจารณาค่าอัตราการกลืนไหลของข้อมูล โดยจะนำผลที่ได้ไปแก้ปัญหที่เกิดขึ้นต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในระบบ IS-95B ได้ถูกนำเสนอเป็นตัวเลือกเพื่อรองรับการใช้งานทั้งทางด้านเสียงและข้อมูล ซึ่งการควบคุมกำลังของระบบต้องให้มีประสิทธิภาพ แต่ในทางปฏิบัติแล้วการควบคุมกำลังจะเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ [2] เนื่องจากการจางหายของสัญญาณหลายเส้นทางและสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ที่เพิ่ม ซึ่งเกิดจากเครื่องรับได้รับกำลังของสัญญาณจากเครื่องส่งของผู้งานที่อยู่ไกลมีค่าสูงกว่ากำลังของสัญญาณของผู้ใช้งานที่อยู่ไกล ซึ่งลักษณะดังกล่าวคือผลของระยะใกล้-ไกล, ผลของสภาพแวดล้อมรอบข้าง ทำให้ความจุของระบบลดลง การกำหนดความจุของระบบเป็นจำนวนของผู้ใช้งานเสียงและข้อมูล การวิเคราะห์อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดในระบบการประมาณค่าโดยกำหนดแพคเตอร์ที่สำคัญคือ อัตราขยายประมวลผล และค่าอัตราการกลืนไหลของผู้ใช้งานภายใต้การควบคุมกำลังที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งแสดงเปรียบเทียบผลของผู้ใช้งานด้านเสียงและข้อมูล ปัจจุบันความต้องการในการส่งข้อมูลด้านเสียงและข้อมูลมีมากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดปัญหาดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงได้มีการคิดพัฒนาให้เกิดประสิทธิภาพในการส่งให้สูงขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งเน้นการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ IS-95B CDMA ซึ่งเป็นระบบการส่งข้อมูล และเสียงที่มีอัตราการ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการเริ่มต้นการศึกษาวิจัยครั้งแรก โดยการนำหลักการที่มีอยู่เดิมซึ่งเราจะพิจารณาทั้งเสียงและข้อมูลของผู้ใช้งานในแต่ละเซลล์ที่มีการแบ่งออกเป็นสามส่วนเท่าๆกันด้วยจำนวนเสียงและจำนวนข้อมูลของผู้ใช้งานในแต่ละส่วน เสียงของผู้ใช้งานส่งรหัสที่มีอัตราส่วนพื้นฐาน ขณะที่ข้อมูลของผู้ใช้งานส่งอัตราส่วนที่สูงกว่า และนำข้อมูลที่มีอยู่เดิมมาทำการวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิดผิดพลาดเมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานเสียงกับอัตราบิดผิดพลาดเมื่อพิจารณาอัตราขยายประมวลผล, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิดผิดพลาดเมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์, การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับอัตราบิดผิดพลาดเมื่อพิจารณาค่าอัตราการสั้นไหลข้อมูล, การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับจำนวนผู้ใช้งานเสียงเมื่อพิจารณาค่าอัตราการสั้นไหลข้อมูล ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ที่แตกต่างจากข้อมูลเดิมนั้นทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำมาแก้ปัญหาต่อไป และทำการนำแนวคิดนี้ไปวิเคราะห์ในงานวิจัยโดยเรื่องของระบบ IS-95 CDMA ซึ่งเราจะทำการวิเคราะห์โดยการอ้างอิงจากข้อมูลตามทฤษฎีที่เราหามาได้เบื้องต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ

บทนี้กล่าวถึงหลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ เป็นความรู้พื้นฐานของการวิจัย เพื่อ
ง่ายต่อการศึกษาในบทต่อไป เนื้อหาเริ่มจากพื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ ซึ่งทฤษฎีทั่ว
ไปมีมากที่ใช้เป็นความรู้ในการวิเคราะห์ ผู้เขียนได้เลือกมาโดยเฉพาะเนื้อหาหลักที่จะสัมพันธ์ไปถึง
การวิเคราะห์ระบบ โดยแสดงเป็นลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 พื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซีดีเอ็มเอ

การวิจัยและพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ CDMA เริ่มขึ้นอย่างจริงจังเมื่อประมาณต้น
ปี ค.ศ.1989 และเพียงไม่กี่ปีต่อมาคือในปลายปี ค.ศ.1992 ผลงานวิจัยและพัฒนาเหล่านี้ก็ได้รับการ
เสนอและยอมรับให้เป็นมาตรฐานที่เรียกว่า IS-95 ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ CDMA
นี้ได้เริ่มมีการนำมาใช้งานจริงกันในหลายประเทศทั่วโลก สำหรับในประเทศไทยนั้น การสื่อสาร
แห่งประเทศไทยได้นำระบบนี้เข้ามาให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในราวเดือนเมษายนปี ค.ศ.1998
หลักการเบื้องต้นของระบบ CDMA ได้จัดแบ่งความถี่ที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมี
ความกว้างเท่ากับ 1.25 MHz โดยวิธี FDMA สังเกตว่าคลื่นพาห์หนึ่งความถี่มีขนาดแบนด์วิดท์ที่
กว้างกว่าของระบบอื่นๆ เช่น GSM (200 kHz) มาก ด้วยขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างขนาดนี้ CDMA
อนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวนมากจำนวนหนึ่งส่งสัญญาณเสียงลงบนคลื่นความถี่เดียว
กันได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุกๆ คนที่ใช้คลื่นพาห์เดียวกันจะรบกวนกัน ในเชิงความถี่ตลอดเวลา
การใช้งาน หากแต่ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจะสามารถแยกแยะว่าสัญญาณส่วนใดที่เป็น
ของตนเองได้โดยอาศัยชุดรหัสที่แตกต่างกันในการรับและส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงเรียกระบบนี้ว่า
Code Division Multiple Access (CDMA) ชุดรหัสที่ใช้ในการทำการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัม
เหล่านี้มีชื่อเรียกว่า พีเอ็น (Pseudorandom Noise : PN) ซึ่งชุดรหัสแต่ละชุดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่
เรียกว่า การตั้งฉาก (orthogonal) กับชุดรหัสอื่นๆ ทั้งหมด [5]

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งออกเริ่มด้วยการนำสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของ
สัญญาณดิจิทัลซึ่งมีอัตราของบิตข้อมูลค่อนข้างต่ำ (เช่น 9,600 bps) มาคูณกับสัญญาณพีเอ็นซึ่งมี
อัตราของบิตข้อมูลที่สูงกว่ามาก (1.228 Mcps) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลที่อัตราการส่งสูงกว่า
สัญญาณเสียงที่ต้องการจะส่งมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการแพร่กระจายคลื่น (spread spectrum)
เกิดขึ้นและแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลนี้ก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยคือ 1.25
MHz หมายเหตุ: สัญญาณที่ผ่านกระบวนการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัม แล้วมักจะใช้หน่วย Mcps

แทน Mbps ส่วนของภาครับสัญญาณที่ปลายทางก็จะทำการถอดการแพร่กระจายคลื่น (despread

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

spectrum) สัญญาณที่รับได้เพื่อดึงสัญญาณเสียงเดิมกลับคืนมา ในการถอดการแพร่กระจายคลื่น สัญญาณนั้นจะอาศัยวงจรคอร์เรเลเตอร์ (correlator) ซึ่งทำหน้าที่คูณสัญญาณที่ได้รับกับชุดรหัสที่ใช้ ในการทำการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัมชุดเดิมซึ่งเหมือนกันกับการคูณที่ภาคส่งและจากนั้นก็หาค่าเฉลี่ยของสัญญาณทุกๆ หนึ่งคาบของอัตราบิตข้อมูลของสัญญาณเสียง หมายเหตุ: สัญญาณข้อมูลที่ ต้องการส่งออกไม่จำเป็นต้องเป็นสัญญาณเสียงเท่านั้น อาจเป็นสัญญาณข้อมูลแบบอื่นๆ

การที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องที่ส่งผ่านสัญญาณเสียงหรือข้อมูลในรูปของ สัญญาณดิจิทัลโดยใช้ชุดรหัสที่ใช้ในการทำการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัม ที่แตกต่างกันและมี คุณสมบัติที่ต่างจากซึ่งกันและกัน ทำให้การรับสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องไม่ ไปถอดการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณที่ถูกแพร่กระจายคลื่นออกด้วยชุดรหัสที่ใช้ในการทำการแพร่ กระจายคลื่นสเปกตรัมชุดอื่น ด้วยเหตุนี้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจึงสามารถแยกแยะ สัญญาณที่เป็นของตนเองได้ ค่าพารามิเตอร์ค่าหนึ่งที่สำคัญคือ อัตราส่วนการประมวลผล (processing gain) ซึ่งได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างอัตราบิตข้อมูลของชุดรหัสที่ใช้ใน การทำการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัมต่ออัตราการส่งของข้อมูลจริง ในกรณีที่ส่งสัญญาณข้อมูล ด้วยอัตรา 9,600 bps จะได้ค่า อัตราส่วนการประมวลผล เท่ากับ $1.228 \text{ Mbps}/9600 \text{ bps} = 128$ หรือ เท่ากับ 21 dB

2.1.1 ประเภทของรหัสที่ใช้ในระบบ CDMA (IS-95)

ในระบบ CDMA ตามมาตรฐาน IS-95 มีการใช้รหัสทั้งหมด 3 ประเภท คือ

1. รหัสวอลช์ (Walsh code)
2. รหัสพีเอ็นแบบยาว (Long PN code)
3. รหัสพีเอ็นแบบสั้น (Short PN code)

รหัสแต่ละประเภทได้ถูกนำมาใช้งานในระบบ IS-95 ในลักษณะที่ต่างจากกัน คุณสมบัติ และรายละเอียดของรหัสทั้ง 3 ประเภทจะ ได้กล่าวถึงต่อไป

2.1.1.1 รหัสวอลช์ (Walsh Code)

รหัสวอลช์มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Hadamard code ประกอบด้วยรหัสที่มีคุณสมบัติต่างกั ระหว่างกันทั้งหมด 64 ชุด โดยที่รหัสแต่ละชุดมีความยาวเท่ากับ 64 บิต รหัสประเภทนี้ออกแบบมา เพื่อใช้สำหรับแพร่กระจายคลื่นช่องสัญญาณที่มีอัตราการส่ง 1.228 Mbps หมายเหตุ: รหัส 2 ชุดจะมี คุณสมบัติ ต่างกั ระหว่างกันก็ต่อเมื่อค่าสหสัมพันธ์ไขว้ (cross correlation) ระหว่างรหัสคู่นี้มีค่า เป็นศูนย์ การคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้สามารถหาได้จาก $\sum x_i y_i = 0$ โดย x_i และ y_i คือค่าของ บิตที่ i ของรหัสชุดแรกและชุดที่สองในรูปของไบโพลาร์ นั่นคือว่า $x_i, y_i = -1$ ถ้าบิตที่ i นั้นมีค่า เป็นศูนย์ และ $x_i, y_i = 1$ ถ้าบิตที่ i นั้นมีค่าเป็นหนึ่ง ตัวอย่างของรหัสที่มีคุณสมบัติต่างกั กันเช่น $X=0011$ และ $Y=0110$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสวอลซ์สามารถสร้างได้จากเมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างกันทั้งหมด 64 ชุด (H_{2m}) โดยที่ m คือค่า 2 ยกกำลังตัวเลขจำนวนเต็ม ($m=1,2,4,\dots$) ค่าเริ่มต้นของ เมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างกันทั้งหมด 64 ชุด ที่ $m=1$ กำหนดให้เป็น

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

และค่า H_{2m} อื่นๆสร้างจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$H_{2m} = \begin{bmatrix} H_m & H_m \\ H_m & \overline{H_m} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.1.1.2 รหัสพีเอ็นแบบยาว (Long PN code)

รหัสประเภทรหัสพีเอ็นแบบยาว สร้างจากชิฟต์รีจิสเตอร์ขนาด 42 บิต ใช้โพลิโนเมียลต่อไปนี้

$$p(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1 \quad (2.3)$$

ผลที่ได้คือรหัสที่มีความยาวถึง $2^{42}-1 = 4.398 \times 10^{12}$ เนื่องจากอัตราการสร้างรหัสนี้มีค่าเท่ากับ 1.228 Mbps

2.1.1.3 รหัสพีเอ็นแบบสั้น (Short PN code)

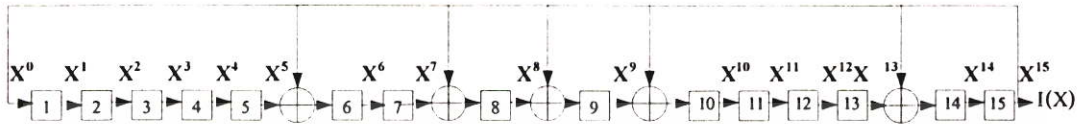
รหัสพีเอ็นแบบสั้นนี้มีอยู่ 2 ชุดคือ I และ Q โดยแต่ละชุดสร้างจากการใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์ขนาด 15 บิต และใช้โพลิโนเมียล 2 ชุดต่อไปนี้

$$I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1 \quad (2.4)$$

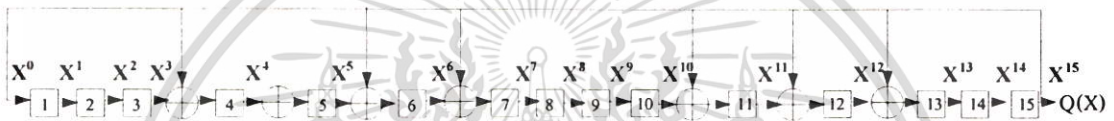
$$Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของวงจรสร้างชุดรหัสพีเอ็นแบบสั้น มีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 วงจรทั้งสองสามารถสร้างชุดรหัสที่มีความยาวเท่ากับ $2^{15}-1 = 32,767$ จากนั้นจะมีการเพิ่มบิต 0 อีกหนึ่งบิตเข้าไปเมื่อพบรหัสที่มีค่า 0 ติดต่อกัน 14 ตัว เพื่อให้ได้รหัสที่มีความยาวเท่ากับ 32,768 เนื่องจากอัตราการสร้างรหัสนี้มีค่าเท่ากับ 1.228 Mbps ดังนั้นรหัสนี้จะมีการซ้ำทุกๆ 26.66 ms



รูปที่ 2.1 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ I



รูปที่ 2.2 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ Q

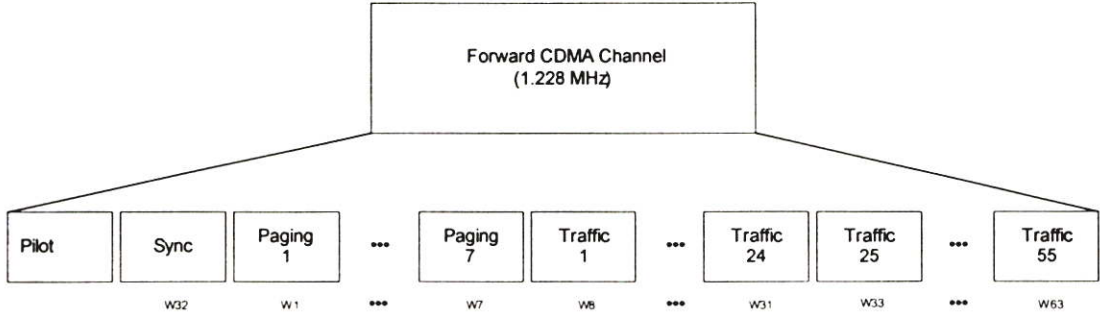
2.1.2 การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปหาโทรศัพท์ (Forward Link)

สัญญาณที่ส่งในทิศทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือที่เรียกว่า Forward link นั้น ประกอบด้วยช่องสัญญาณทั้งหมด 4 ประเภทคือ

- ช่องสัญญาณนำร่อง (Forward pilot channel)
- ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน (Forward synchronization channel)
- ช่องสัญญาณเพจจิง (Forward paging channel)
- ช่องสัญญาณทราฟฟิก (Forward traffic channel)

โดยคลื่นพาห์หนึ่งความถี่สามารถใช้ส่งสัญญาณทั้ง 4 ประเภทรวมกันได้ทั้งหมดไม่เกิน 64 ช่องสัญญาณ ทั้งนี้จะต้องมีช่องสัญญาณนำร่อง (pilot channel) จำนวนหนึ่งช่องเสมอ มีช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน (synchronization channel) ไม่เกิน 1 ช่อง มีช่องสัญญาณเพจจิง (paging channel) ไม่เกิน 7 ช่อง และมีช่องสัญญาณทราฟฟิกอีกจำนวนหนึ่ง ช่องสัญญาณทั้ง 64 ช่องสามารถแยกออกจากกันได้โดย รหัสวอลซ์ 64 ชุด ตัวอย่างการแบ่งช่องสัญญาณที่มักจะมีการใช้งานตามปกติในรูปที่ 2.3 สังเกตว่าช่องสัญญาณนำร่องจะใช้รหัสวอลซ์ ชุดที่ 0 (W0) เสมอ ส่วนช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน ถ้ามีการใช้งานก็จะใช้รหัสวอลซ์ ชุดที่ 32 (W32) เสมอ แต่ถ้าหากเป็นช่องสัญญาณเพจจิงจะมีการใช้รหัสวอลซ์ ชุดที่ 1-7 (W1-W7) เรียงตามลำดับ และสำหรับช่องสัญญาณทราฟฟิกจะใช้ W8-W31 และ W33-W64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



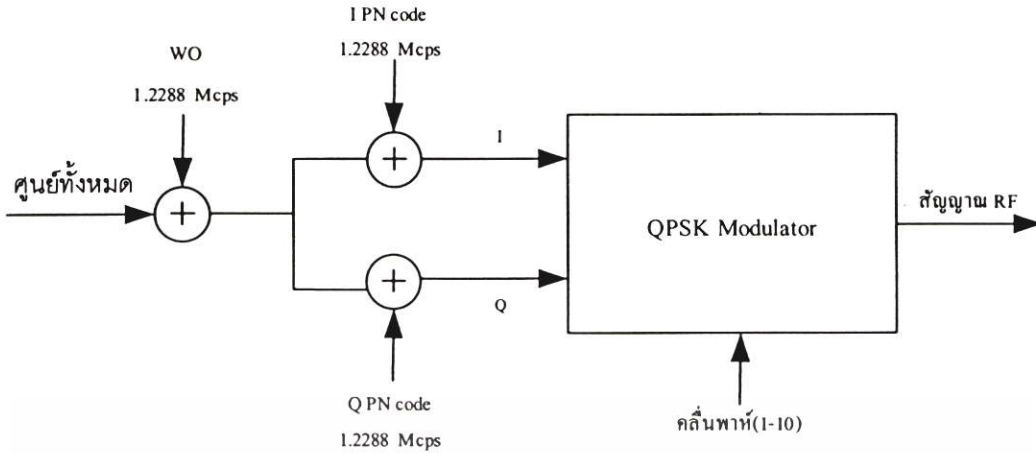
รูปที่ 2.3 การแบ่งช่องสัญญาณที่ส่งออกโดยสถานีฐาน

2.1.2.1 ช่องสัญญาณนำร่อง (Forward Pilot Channel)

โดยปกติสถานีฐานของแต่ละเซลล์จะส่งสัญญาณนำร่อง (pilot signal) ออกไปให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่รอบๆข้างตลอดเวลา เพื่อใช้เป็นสัญญาณคลื่นพาห์อ้างอิงสำหรับการคิมอดูเลตแบบ โคฮีเรนต์โดยที่ไม่มีส่วนของข้อมูลจากผู้ใช้อูดูเลตเข้าไปเลย การส่งสัญญาณนี้จะใช้กำลังส่งที่สูงกว่าสัญญาณประเภทอื่นๆทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่รอบข้างสามารถตรวจจับสัญญาณได้โดยง่าย ในการส่งสัญญาณนำร่องนั้นจะใช้รหัสวอลซ์ ชุดที่ประกอบด้วยศูนย์ทั้งหมด 64 บิต (WO) เพราะฉะนั้นสัญญาณนี้ประกอบด้วยข้อมูลเพียงอย่างเดียวคือ รหัสพีเอ็น แบบสั้นของ I กับ Q ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ใช้เป็นตัวบ่งบอกได้ว่าสัญญาณนำร่องนี้ถูกส่งออกมาจากสถานีฐานใด ดังนั้นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เพียงแต่อ่านข้อมูลของรหัสพีเอ็น แบบสั้น จนครบหนึ่งคาบ (26.66 ms) ก็จะทราบว่าเป็นสัญญาณที่ได้รับนี้เป็นของสถานีฐานใด ซึ่งโดยปกติแล้วทันทีที่มีการเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการค้นหาและวัดกำลังของสัญญาณนำร่องที่ส่งออกจากสถานีฐานต่างๆและเมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่พบสัญญาณที่มีกำลังสูงสุดก็จะทำการติดต่อกับสถานีฐานนั้นๆต่อไป ทุกสถานีฐานจะใช้รหัสพีเอ็นแบบสั้น ชุดเดียวกันหมดเพียงแต่จะมีการเลื่อนของชิปส์ออกไปด้วยจำนวนที่แตกต่างกัน ในการเลื่อนชิปส์นั้นจะเลื่อนออกไปทีละ 64 ชิปส์ เพราะฉะนั้นก็จะมีรหัสที่แตกต่างกันสำหรับการใช้งานได้ทั้งหมด $32,768/64 = 512$ ชุด รหัสชุดหนึ่งอาจมีการนำมาใช้งานซ้ำในหลายๆเซลล์ได้ หากแต่เซลล์เหล่านั้นจะต้องจัดให้อยู่ห่างกันมากเพียงพอที่จะไม่รบกวนซึ่งกันและกัน รูปที่ 2.4 แสดงรายละเอียดขั้นตอนของการสร้างสัญญาณนำร่อง

สัญญาณนำร่องยังมีประโยชน์สำหรับใช้ในการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณ (power control) โดยทันทีที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับสัญญาณนำร่องก็จะทำการคำนวณหาค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้เพื่อใช้สำหรับประมาณค่ากำลังสูญเสียระหว่างเดินทางของสัญญาณ ซึ่งค่านี้จะนำมาใช้กำหนดขนาดกำลังที่เหมาะสมของสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้ในการส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 วงจรสร้างสัญญาณนำร่อง

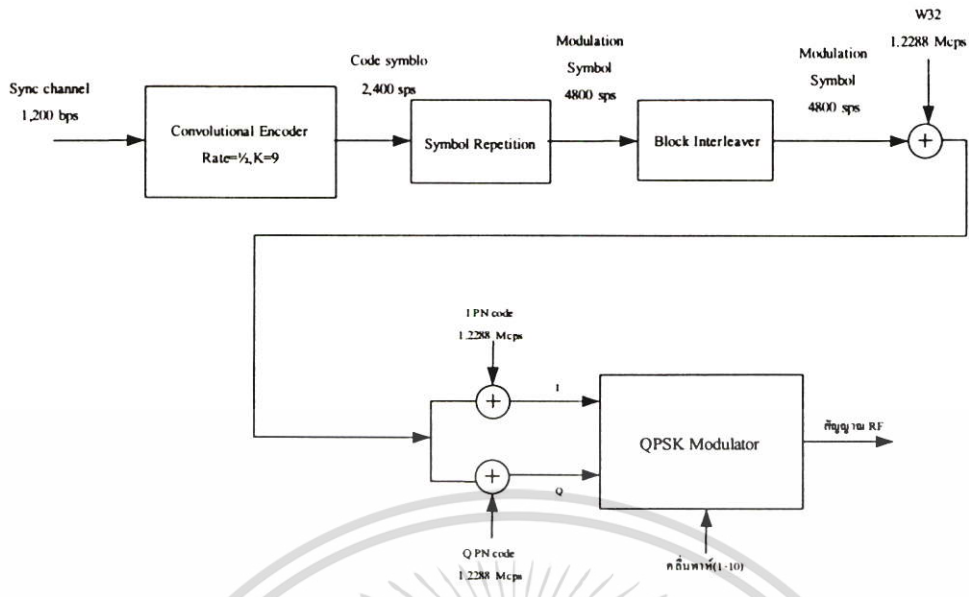
2.1.2.2 ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน (Forward Synchronization Channel)

ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน (synchronization channel) มีไว้สำหรับส่งข้อมูลที่จำเป็นต่อการติดต่อในช่วงเริ่มแรก เพื่อที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะได้สามารถซิงโครไนซ์กับสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐานได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย จังหวะเวลาในการส่งสัญญาณ หมายเลขประจำตัวของระบบโครงข่ายที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อกอยู่ นอกจากนี้ก็ยังมีบอกถึงเวลาของนาฬิกาที่ระบบใช้อยู่ โครงสร้างของวงจรที่ใช้ในการสร้างช่องสัญญาณซิงโครไนเซชันได้ในรูปที่ 2.5 ช่องสัญญาณนี้ใช้รหัสสวอลซ์ชูดที่ W32 เป็นตัวบอกถึงชนิดของช่องสัญญาณ สังเกตว่าช่องสัญญาณซิงโครไนเซชันคล้ายกับช่องสัญญาณนำร่องตรงที่ไม่มีการใช้รหัสพีเอ็นแบบยาว เพราะเป็นสัญญาณที่แพร่ออกสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกๆเครื่อง รายละเอียดของขั้นตอนการสร้างสัญญาณซิงโครไนเซชันได้ในรูปที่ 2.5

จากรูปที่ 2.5 ในขั้นแรกบิตข้อมูลที่ส่งในช่องสัญญาณซิงโครไนเซชันจะถูกนำไปผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณคอนวอลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ $R=1/2$ โดยชุดโพลีโนเมียลที่ใช้ประกอบด้วย

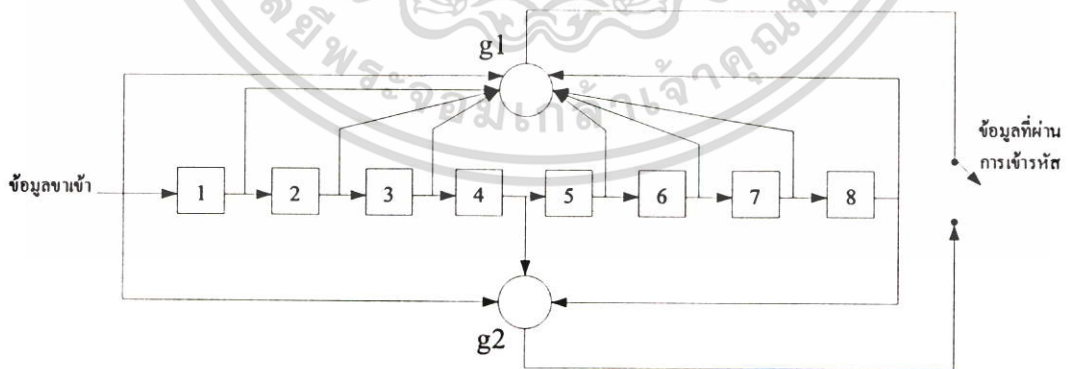
$$g_1(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7 + x^8 \quad (2.6)$$

$$g_2(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8 \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.5 วงจรสร้างสัญญาณเชิงโคโรไนเซชัน

สำหรับโครงสร้างของวงจรเข้ารหัสคอนโวลูชันนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 หลังจากที่ผ่านมาการเข้ารหัสของสัญญาณแล้วอัตราบิตของข้อมูลเพิ่มขึ้นเท่าตัวเป็น 2.4 kbps ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการ เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่มีอัตราบิตเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.8 kbps จากนั้นนำไปเข้าวงจรอินเตอร์ลีฟ (Block interleave) เพื่อลดผลกระทบของความผิดพลาดแบบเบิสต์ก่อนที่จะถูกแพร่กระจายคลื่นออกด้วยรหัสวอลซ์ชุดที่ 32 ที่อัตราบิต 1.2288 Mcps

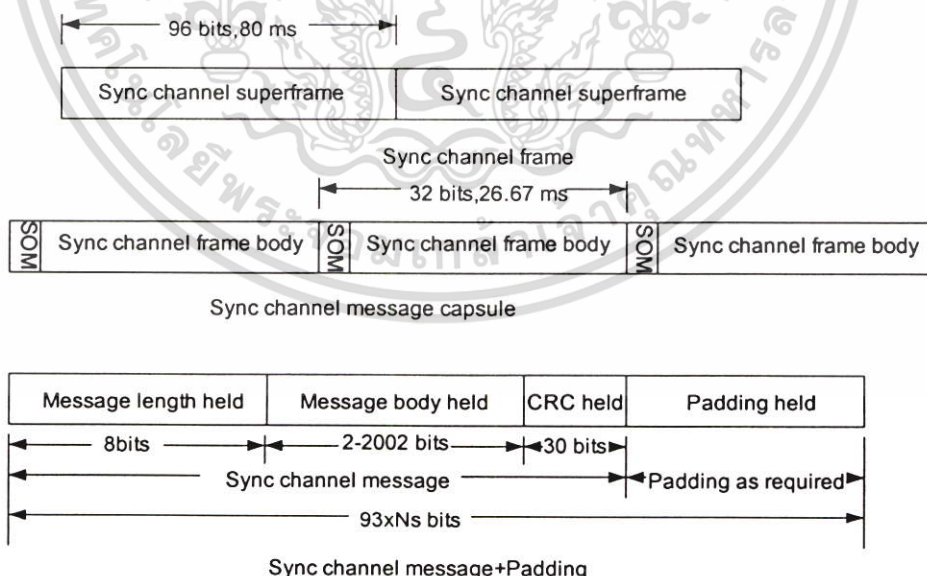


รูปที่ 2.6 วงจรเข้ารหัสคอนโวลูชันสำหรับช่องสัญญาณเชิงโคโรไนเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราบิตที่ใช้ในการส่งสัญญาณของช่องสัญญาณชิงโครโมเซชันมีค่าเท่ากับ 1.200 bps โดยรูปแบบโครงสร้างของข้อมูลที่จะส่งออกแบ่งเป็นช่วงเวลาที่เราเรียกว่าซูเปอร์เฟรม (superframe) ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 80 ms และใช้ส่งทั้งหมด 96 บิต รูปร่างที่ 2.7 ประกอบ ในหนึ่งซูเปอร์เฟรมจะบรรจุเฟรม (frame) ขนาด 32 บิตจำนวน 3 เฟรม ซึ่งแต่ละเฟรมจะมีความยาวเท่ากับ 26.66 ms ภายในแต่ละเฟรมประกอบด้วย 2 ส่วน คือบิตเริ่มต้นข้อมูลเรียกว่า SOM (Start of Message) และเฟรมช่องสัญญาณชิงโครโมเซชัน ในส่วนของบิตเริ่มต้นข้อมูลมีความยาว 1 บิต โดยมีหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงว่าเฟรมดังกล่าวนี้บรรจุข้อความ (message) ชุดใหม่หรือไม่ นั่นคือถ้า บิตเริ่มต้นข้อมูลเท่ากับ 1 แสดงว่าเฟรมนี้บรรจุจุดเริ่มต้นของข้อความชุดใหม่ และถ้าบิตเริ่มต้นข้อมูลเท่ากับ 0 แสดงว่าเป็นข้อความส่วนที่เหลือ ข้อความที่จะมาบรรจุลงในช่องสัญญาณชิงโครโมเซชันนี้มีรูปแบบดังที่แสดงในส่วนล่างของรูปที่ 2.7 ในส่วนของ 8 บิตแรก มีไว้สำหรับบอกถึงความยาวของข้อความ จากนั้นตามด้วย ส่วนประกอบข้อมูลซึ่งบรรจุข้อมูลต่างๆที่สถานีฐานต้องการจะส่งออกไปให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในส่วนนี้มีขนาดความยาวที่ไม่แน่นอน โดยมีค่าระหว่าง 2-2002 บิต ส่วนถัดมาคือ CRC ที่มีไว้สำหรับใช้ในการตรวจจับความผิดพลาดของการส่งข้อมูล คำนวณจาก ความยาวของข้อมูล และส่วนประกอบของข้อมูล โดยอาศัยโพลิโนเมียล

$$g(x) = 1 + x + x^2 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{15} + x^{20} + x^{21} + x^{29} + x^{30} \quad (2.8)$$



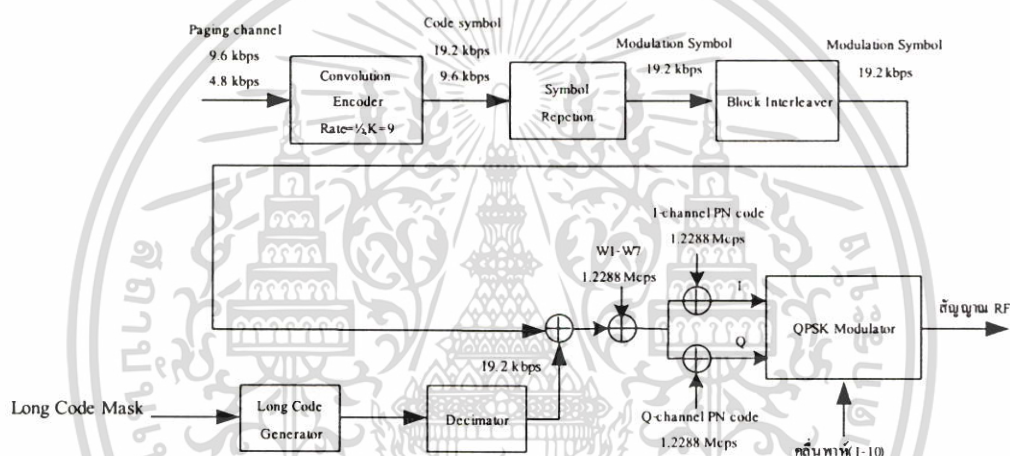
SOM Start Message bit Ns Number of Sync channel superframes needed for message transmission

รูปที่ 2.7 โครงสร้างเฟรมและรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในช่องสัญญาณชิงโครโมเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 ช่องสัญญาณเพจจิง (Forward Paging Channel)

ช่องสัญญาณเพจจิง (Paging channel) มีไว้สำหรับให้สถานีฐานใช้ในการเพจ (page) หรือค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการจะติดต่อด้วย และหลังจากที่สถานีฐานสามารถติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการ ได้แล้วก็จะจัดสรรช่องสัญญาณทราฟฟิก (traffic channel) สำหรับใช้ในการติดต่อบริการส่งข้อมูลของผู้ใช้ต่อไป อัตราบิตข้อมูลที่ส่งมี 2 ขนาดคือ 9,600 หรือ 4,800 bps โดยมีขนาดความยาวของเฟรมเท่ากับ 20 ms ชุดรหัสวอลซ์ ที่ใช้คือ W1-W7 หมายเหตุ: ในกรณีที่ชุดรหัส W1-W7มิได้มีการใช้งานอยู่ระบบก็สามารถที่จะใช้รหัสเหล่านี้ในการส่งสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ได้ คือนำมาใช้เป็นช่องสัญญาณทราฟฟิก (traffic channel) แทน ดังนั้นขั้นตอนการสร้างสัญญาณเพจจิงได้ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณเพจจิง

ในขั้นแรกสัญญาณเพจจิงจะถูกนำมาเข้ารหัสช่องสัญญาณคอนโวลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ $R=1/2$ โดยชุดโพลิโนเมียลที่ใช้ประกอบด้วย

$$g_1(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7 + x^8 \quad (2.9)$$

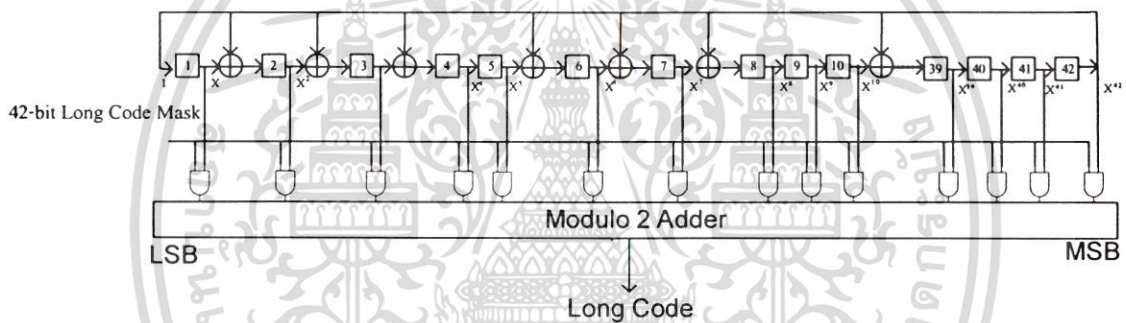
$$g_2(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8 \quad (2.10)$$

ผลที่ได้คือข้อมูลที่มีอัตราการบิตเพิ่มขึ้น 2 เท่า คือเท่ากับ 9,600 bps และ 19.2 kbps จากนั้นนำไปผ่านวงจรเพื่อทำให้อัตราการส่งของทั้ง 2 ประเภทมีค่าเท่ากันเป็น 19.6 kbps และทำการอินเทอร์ลีฟข้อมูลคราวละ 20 ms เพื่อลดผลกระทบของความผิดพลาดแบบเบิสต์ที่อาจเกิดขึ้นจากช่องสัญญาณ

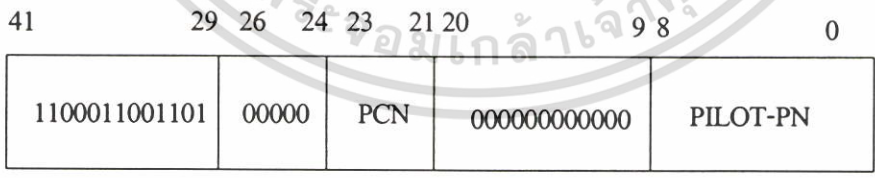
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ออกจากวงจรอินเทอร์ลีฟจะถูกนำไปสแกนเบิ้ล (scramble) โดยการนำไปบวก (modulo-2) กับลำดับสัญญาณที่สร้างขึ้นจากวงจรถ่ายกำเนิดรหัสแบบยาว (long code generator) และ เครื่องหมาย ส่วนของวงจรถ่ายกำเนิดรหัสแบบยาวมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.11 ภายในวงจรประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่ในการกำหนดรูปแบบของการสแกนเบิ้ลข้อมูล รูปแบบของวงจรชุดนี้มีโครงสร้างดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 วงจรถ่ายกำเนิดรหัสแบบยาวนี้ให้กำเนิดลำดับสัญญาณที่มีอัตราบิตอยู่ที่ 1.228 kbps ดังนั้นเมื่อผ่านเข้าสู่วงจรเครื่องหมายซึ่งทำหน้าที่ในการคิงเฉพาะบิตแรกของลำดับสัญญาณทุกๆ 64 บิต ผลที่ได้คือสัญญาณที่มีอัตราบิตลดลงเหลือเท่ากับสัญญาณที่ออกจากวงจรอินเทอร์ลีฟคือ 19.2 kbps เพื่อนำไปทำการสแกนเบิ้ลต่อไป

สำหรับขั้นตอนที่เหลือก็มีลักษณะที่คล้ายกับช่องสัญญาณ 2 ประเภทแรกที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ โดยใช้รหัสวอลซ์ชุดที่ W1-W7



รูปที่ 2.11 การสร้างสัญญาณรหัสแบบยาว



PCN:Paging Channel Number

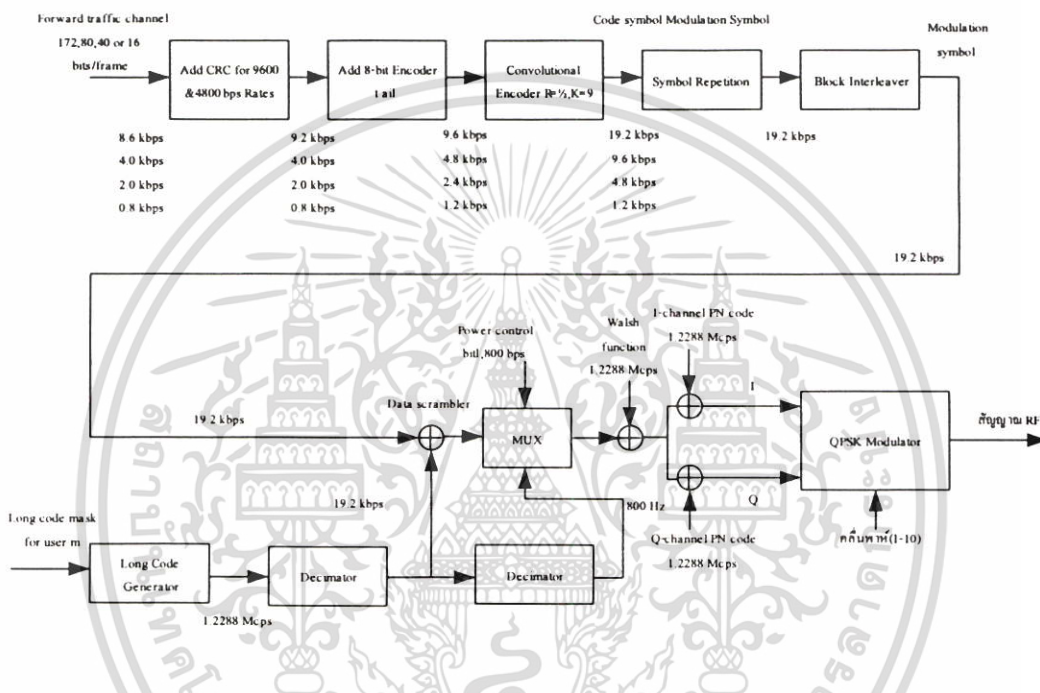
PILOT-PN:Pilot sequence offset index for the forward CDMA Channel

รูปที่ 2.12 รายละเอียดรูปแบบของช่องสัญญาณเพจจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 ช่องสัญญาณจราจรฟีด (Forward Traffic Channel)

ช่องสัญญาณจราจรฟีด (traffic channel) มีไว้สำหรับรับส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ ตลอดช่วงเวลาที่มีการใช้งานของผู้ใช้รหัสวอลซ์ ชุดที่สามารถนำมาใช้งานได้ก็คือ W8-W31, W33-W63 และ W1-W7 (ใช้เฉพาะเวลาที่มิได้นำไปใช้งานอย่างอื่น) อัตราบิตข้อมูลที่ใช้ในการส่งมีทั้งหมด 4 แบบคือ 1,200, 2,400, 4,800 และ 9,600 bps โดยที่ขนาดของหนึ่งเฟรมมีความยาวเท่ากับ 20 ms

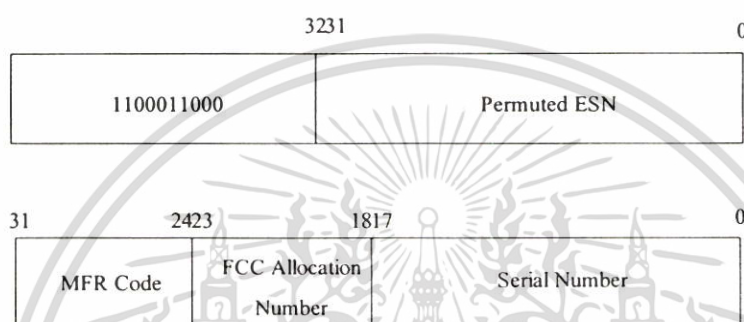


รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการสร้างช่องสัญญาณจราจรฟีด

รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการสร้างช่องสัญญาณจราจรฟีด จะเห็นว่าในขั้นตอนแรกๆจะมีลักษณะคล้ายกับช่องสัญญาณประเภทอื่นที่ได้อธิบายไว้แล้ว คือมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบคอนวอลูชัน การทำรหัสวอลซ์ และการทำอินเตอร์ลีด หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะนำมาทำการสแกนเบิตเหมือนในกรณีของช่องสัญญาณเพจจิง หากแต่ในกรณีของช่องสัญญาณจราจรฟีดจะมีการใช้ส่วนป้องกันรหัสแบบยาวที่แตกต่างไป โดยโครงสร้างที่ใช้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.14 ส่วนของ Permuted ESN นั้นได้มาจากการสลับตำแหน่งของบิตใน ESN แสดงในรูปที่ 2.15 โดยมีลำดับดังนี้คือ

$$\begin{aligned}
 \text{Permuted ESN} = \{ & E_0, E_{31}, E_{22}, E_{13}, E_4, E_{26}, E_{17}, E_8, E_{30}, E_{21}, E_{12}, E_3, \\
 & (E_{25}, E_{16}, E_7, E_{29}, E_{20}, E_{11}, E_2, E_{24}, E_{15}, E_6, E_{28}, E_{19}, \\
 & E_{10}, E_1, E_{23}, E_{14}, E_5, E_{27}, E_{18}, E_9) \}
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

เหตุผลที่ต้องมีการสลับตำแหน่งก็เพื่อลดความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่าง รหัสแบบยาว แต่ละชุด ข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกนี้จะได้รับการปกป้องจากการดักฟังที่ได้อธิบายไว้



รูปที่ 2.14 รายละเอียดของ ESN

นอกจากนี้ระบบยังมีการแทรกบิตพิเศษลงในช่องสัญญาณทราฟฟิกสำหรับการควบคุมกำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้อยู่ในระดับเหมาะสม โดยในการส่งนั้นจะส่งเพียง 1 บิต ทุกๆช่วงเวลา 1.25 ms (800 bps) หากบิตที่ส่งออกมีค่าเป็น 0 ก็หมายความว่าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะต้องทำการปรับค่าเฉลี่ยกำลังของกำลังส่งขึ้นหนึ่งระดับ แต่หากบิตที่ส่งออกมีค่าเป็น 1 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะต้องปรับลดกำลังส่งลง

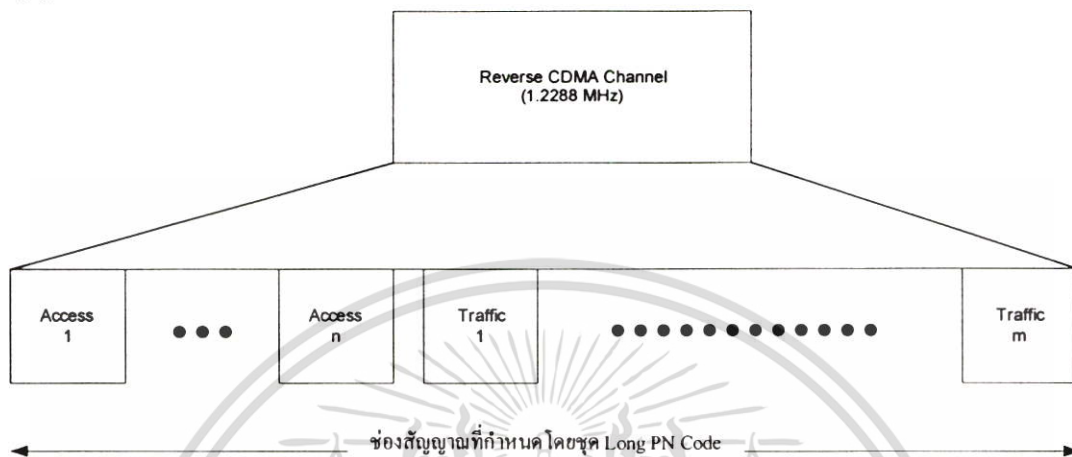
2.1.3 การส่งสัญญาณจากโทรศัพท์ไปหาสถานีฐาน (Reverse Link)

สำหรับการส่งสัญญาณในทิศทางจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานหรือที่เรียกว่า การเชื่อมโยงขากลับ (reverse link) นั้นมีความซับซ้อนกว่าในทิศทางตรงกันข้าม เพราะกำลังของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์ส่งออกมีขนาดอ่อนกว่าเมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐาน ดังนั้นจึงต้องมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณที่ซับซ้อนกว่า อีกทั้งที่สถานีฐานยังมีการใช้สายอากาศหลายชุดเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการรับสัญญาณ การส่งสัญญาณในทิศทางนี้มีเพียง 2 ประเภท คือ

- ช่องสัญญาณแอกเซส (Access channel)
- ช่องสัญญาณทราฟฟิกขากลับ (Reverse traffic channel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของการแบ่งช่องสัญญาณในทิศทางการเชื่อมโยงจากกลับได้ในรูปที่ 2.16 สังเกตว่า ในทิศทางการเชื่อมโยงจากกลับนั้นอาศัยชุดรหัสพีเอ็นแบบยาวเป็นตัวระบุประเภทของช่องสัญญาณ ซึ่งแตกต่างจากในกรณีของการเชื่อมโยงขาไปที่ใช้รหัสวอลซ์เป็นตัวบ่งบอกถึงประเภทของช่องสัญญาณ



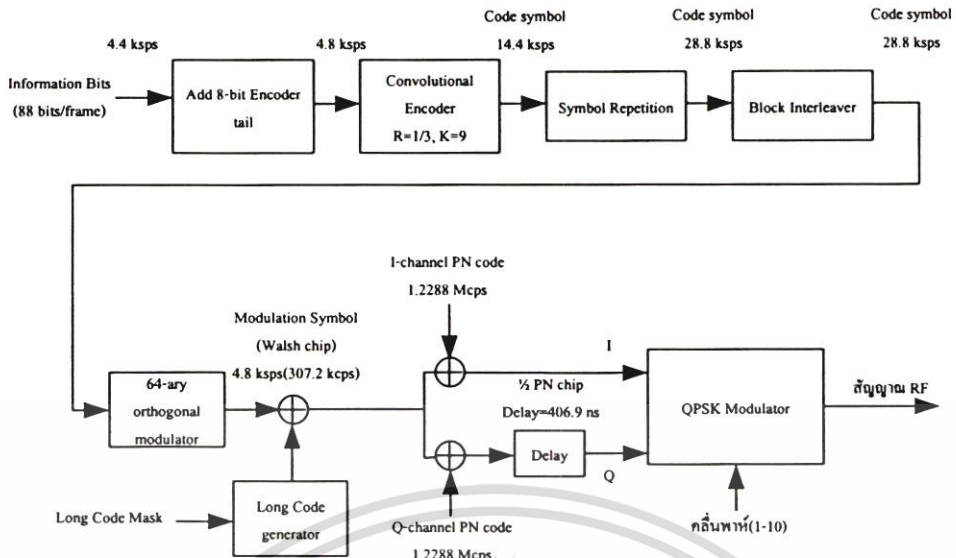
รูปที่ 2.15 การจัดช่องสัญญาณที่ส่งออกโดยเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1.3.1 ช่องสัญญาณแอกเซส (Access Channel)

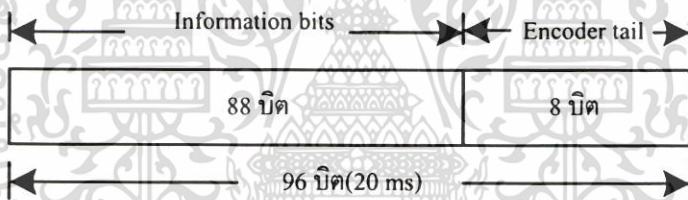
ในส่วนของช่องสัญญาณแอกเซส (Access channel) มีหน้าที่หลัก คือ ใช้ในการส่งสัญญาณซิกแนลลิงออกไปที่สถานีฐานเพื่อขอเริ่มการติดต่อในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการจะโทรออก และใช้ช่องสัญญาณนี้ในการโต้ตอบกับสัญญาณซิกแนลลิงที่ส่งออกมาจากสถานีฐานผ่านทางช่องสัญญาณแพจจิง อัตราการส่งของช่องสัญญาณแอกเซส กำหนดเป็นค่าคงที่ไว้ที่ 4,800 bps โดยรูปแบบในการส่งนั้นใช้เฟรมขนาดเท่ากับ 20 ms และในแต่ละเฟรมนั้นจะต้องเริ่มที่เวลาที่ตรงกับเวลาของระบบที่สามารถหารด้วย 20 ms ลงตัว สัญญาณที่จะส่งออกผ่านช่องสัญญาณแอกเซส จะต้องผ่านกระบวนการต่างๆดังที่แสดงในรูปที่ 2.17

โครงสร้างของเฟรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ บิตข้อมูลจำนวน 88 บิต และเข้ารหัสบิตส่วนท้ายอีก 8 บิต ดังรูปที่ 2.18 ดังนั้นอัตราบิตที่ส่งมีค่าเท่ากับ $(88+8)/20 \text{ ms} = 4,800 \text{ bps}$ จากนั้นจะนำไปผ่านการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันทีละ 88 บิต โดยอาศัยวงจรรูปที่ 2.19 ซึ่งเป็นวงจรรหัสที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ 1/3 และมี ความยาวคงที่เท่ากับ 9 ส่วนของ เข้ารหัสบิตส่วนท้ายจำนวน 8 บิตจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดก่อนที่จะทำการเข้ารหัส จากในรูปจะเห็นว่าวงจรรหัสที่ใช้ประกอบด้วยชิพตรีจิสเตอร์ทั้งหมด 8 ตัว วงจรวกมอดูโล 2 อีก 3 ตัว และมีอุปกรณ์สวิตซ์อีก 1 ตัว ซึ่งทำหน้าที่วนรอบรับค่าจากผลลัพธ์ที่ได้จากวงจรวกมอดูโล 2 ทีละตัว หลังจากที่ผ่านมาการเข้ารหัสแล้วอัตราบิตข้อมูลจะสูงขึ้น 3 เท่ากลายเป็น 14,400 bps

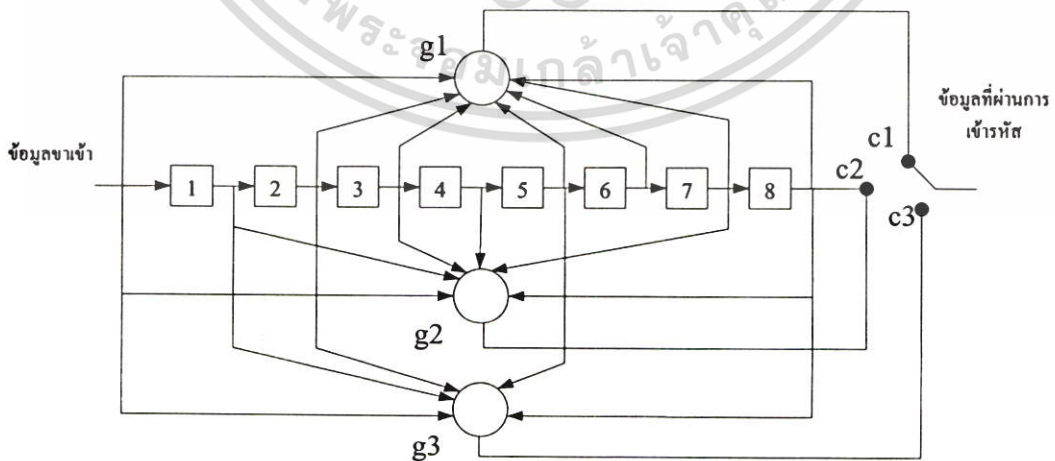
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณแอกเซสในทิศทางที่จะส่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเฟรมที่ส่งออกผ่านช่องสัญญาณแอกเซส



รูปที่ 2.18 โครงสร้างวงจรเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

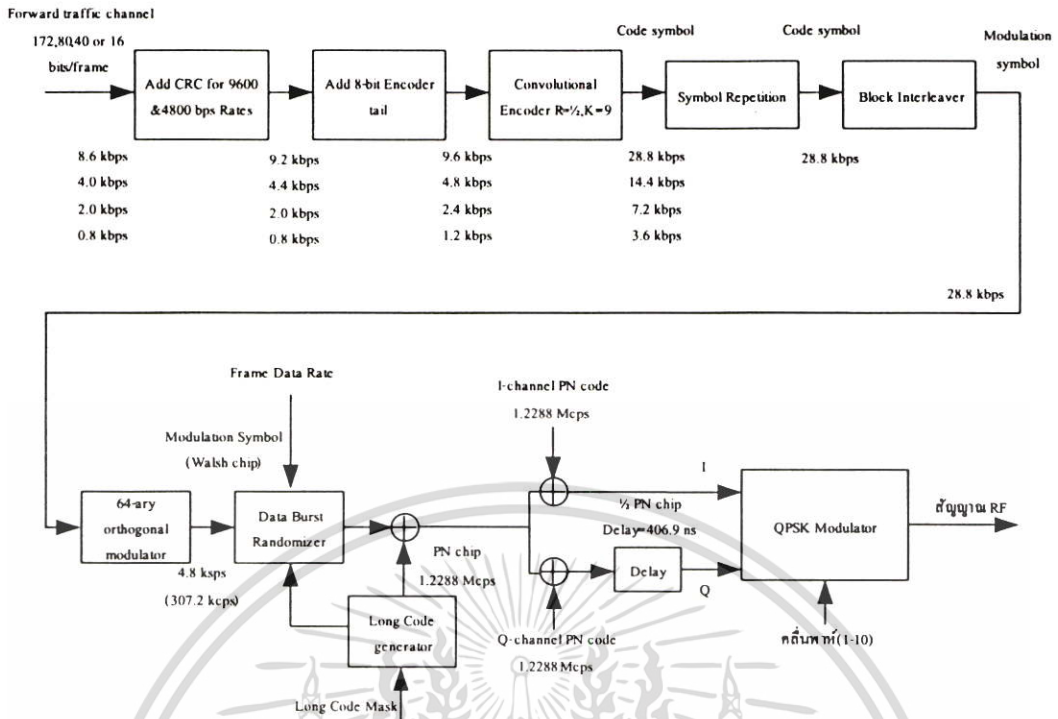
2.1.3.2 ช่องสัญญาณทราฟฟิกขากลับ (Revers Traffic Channel)

รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างขั้นตอนของการสร้างช่องสัญญาณทราฟฟิกที่จะส่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน วงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่ใช้ใน IS-95 จะกำเนิดแพ็กเกต (packet) จำนวนหนึ่งแพ็กเกตทุกๆ 20 ms โดยที่ขนาดความยาวของแพ็กเกตมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการพูดของผู้ใช้โทรศัพท์ โดย IS-95 ได้แบ่งชนิดของแพ็กเกตออกเป็นทั้งหมด 4 แบบ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 สัญญาณที่ได้จากที่แสดงในตารางที่ 2.1 จะนำไปเข้ารหัสแบบคอนวูลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ $1/3$ และมีค่าความยาวคงที่เท่ากับ 9 ซึ่งทำให้จำเป็นต้องเพิ่มรหัสส่วนหางอีก 8 บิตต่อท้ายดังที่แสดงในตารางเดียวกัน สังเกตว่ากรณีที่มีอัตราการส่งข้อมูล 4,800 และ 9,600 bps จะมีการใช้รหัสการตรวจจับความผิดพลาดของการส่งข้อมูลเพิ่มเติมพิเศษเพื่อช่วยในการตรวจสอบว่ามีความผิดพลาดในข้อมูลเกิดขึ้นหรือไม่ วงจรเข้ารหัสคอนวูลูชันที่ใช้มีโครงสร้างเช่นเดียวกันกับในกรณีของช่องสัญญาณแอกเซสดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.19

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของแพ็กเกต

Information (bits)	Signaling (bits)	CRC (bits)	Code tail (bits)	Total (bits)	Bit rate (bps)
171	1	12	8	192	9,600
80	0	8	8	96	4,800
40	0	0	8	48	2,400
16	0	0	8	24	1,200

สัญญาณที่ได้จากวงจรเข้ารหัสช่องสัญญาณคอนวูลูชันนั้นจะนำไปเข้ารหัสวอลซ์ ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มบิตข้อมูลซ้ำเพื่อให้อัตราบิตที่ขาออกมีค่าเท่ากับ 28.8 kbps เพราะฉะนั้นในกรณีที่อัตราบิตขาเข้ามีอัตราบิตเป็น R จะมีการส่งบิตนั้นซ้ำอีก $9,600/R-1$ ครั้ง เช่น ถ้าอัตราบิตขาเข้ามีค่าเป็น 4,800 bps จะมีการส่งแต่ละบิตซ้ำอีกหนึ่งบิต จากนั้นสัญญาณที่ได้นี้จะนำไปทำการอินเตอร์ลิฟด้วยช่วงความถี่เท่ากับความยาวของหนึ่งเฟรมหรือ 20 ms เนื่องจากอัตราบิตก่อนการทำอินเตอร์ลิฟมีค่าเท่ากับ 28.8 kbps ดังนั้นในช่วงเวลา 20 ms จะมีจำนวนบิตทั้งสิ้น 576 บิต (32×18) ซึ่งจะนำมาทำการอินเตอร์ลิฟด้วยวิธีการเดียวกับในกรณีของช่องสัญญาณแอกเซสที่แสดงไว้ก่อนหน้า

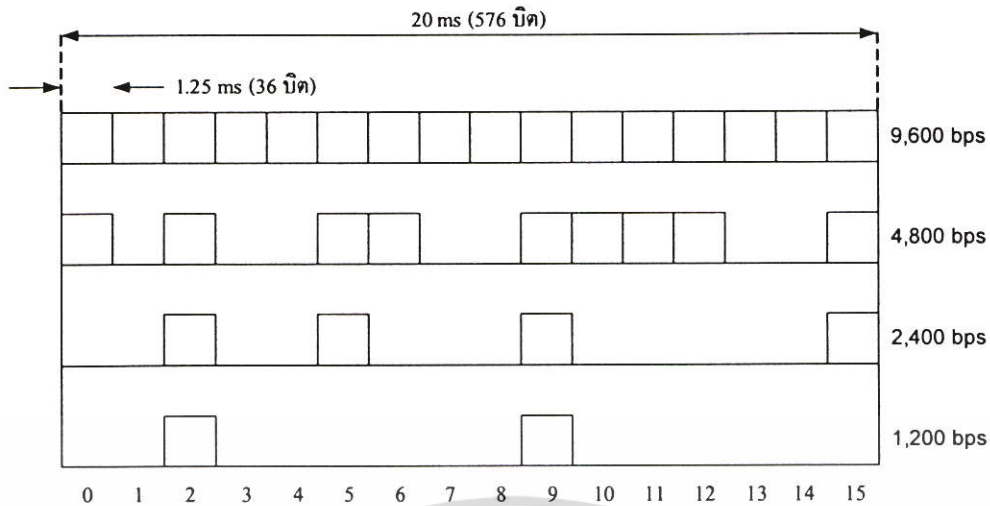


รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณกราฟฟิกในทิศทางจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน

ในลำดับถัดมาคือในส่วนของวงจร 64-ary ตั้งฉาก มอดูเลเตอร์จะแปลงข้อมูลทีละ 6 บิตให้เป็น รหัสวอลซ์ ที่มีความยาวเท่ากับ 64 ชิปส์ การที่ใช้ 6 บิตก็เนื่องมาจากการที่รหัสวอลซ์ ที่ใช้มีทั้งหมด $2^6=64$ ชุดนั่นเอง ผลที่ได้ก็คือข้อมูลที่มีอัตราชิปส์เท่ากับ $28,800/6 \times 64 = 307.2$ kWalsh (kcps) หรือได้ 4.8 kWalsh bps สังเกตว่าการนำรหัสวอลซ์ มาใช้งานในการส่งข้อมูลในทิศทางจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน (reverse link) แตกต่างจากการใช้งานรหัสนี้ในการส่งข้อมูลในทิศทางตรงข้าม (forward link) อย่างชัดเจน ในกรณีของการเชื่อมโยงขาไป รหัสเหล่านี้ใช้สำหรับแบ่งแยกช่องสัญญาณออกเป็น 64 ช่อง

สัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลเตอร์ 64-ary จะนำไปเข้าวงจรซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดเกตเพื่อตัดที่สัญญาณที่ซ้ำซ้อนออกไป ซึ่งหมายความว่าวงจรส่วนนี้จะมีผลกระทบต่อสัญญาณก็เฉพาะกรณีที่อัตราบิตของข้อมูลมีค่าต่ำกว่า 9,600 bps เท่านั้น โดยจะมีการเปิดและปิดเกตในทุกๆช่วงเวลา 1.25 ms หรือทุกๆ 36 บิต ช่วงเวลาการเปิดปิดจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.20 จะเห็นได้ว่า คิวตี้ไซเคิลของการส่งที่อัตราบิต 9,600, 4,800, 2,400 และ 1,200 bps จะมีค่าเท่ากับ 100%, 50%, 25% และ 12.5% ตามลำดับ การที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกไปในบางช่วงเวลานั้นมีประโยชน์เพราะจะช่วยลดปริมาณสัญญาณรบกวนภายในระบบลงได้ซึ่งจะส่งผลโดยตรงให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการเปิดปิดเกตสำหรับการส่งที่อัตราบิตที่ค่าต่างๆ

ในขั้นตอนถัดมาสัญญาณที่ได้จะนำไปแพร่กระจายคลื่นออกด้วยรหัสพีเอ็นแบบยาว ที่มีอัตราบิตเท่ากับ 1.228 Mcps โดยอาศัยวงจรแบบเดียวกับในกรณีของช่องสัญญาณแอกเซส ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณนั้น โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจะใช้ชุด ส่วนป้องกันรหัสแบบยาวโดยทั่วไปที่แตกต่างกัน ดูโครงสร้างรายละเอียดของส่วนป้องกันรหัสแบบยาวโดยทั่วไป ได้ในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 รายละเอียดรูปแบบของ ส่วนป้องกันรหัสแบบยาวโดยทั่วไป

2.1.4 การเข้ารหัสเสียงพูดที่ปรับเปลี่ยนอัตราบิตได้

ระบบ CDMA จะใช้ประโยชน์จากช่วงเวลาเงียบ (quiet time) ระหว่างเสียงพูดในการเพิ่มความจุช่องสัญญาณ วงจรเข้ารหัสเสียง (vocoder) ที่ปรับเปลี่ยนอัตราบิตได้ ได้ถูกนำมาใช้ [6] ช่องสัญญาณจะมีอัตราบิตเต็มที่เท่ากับ 9,600 bps ในช่วงขณะที่มีเสียงพูดคุย และเมื่อเสียงพูดหยุดลงหรือกำลังฟังด้านตรงข้าม อัตราบิตข้อมูลจะลดลงเหลือ 1,200 bps เท่านั้น ค่าอัตราบิต 2,400 bps และ 4,800 bps ก็ถูกนำมาใช้ด้วยถึงแม้จะไม่บ่อยครั้งเท่า 1,200 และ 2,400 bps ค่าอัตราบิตข้อมูลจะขึ้นอยู่กับ การตอบสนองของเสียงพูดและจะถูกตัดสินใจให้ใช้ค่าที่เหมาะสมทุกๆ ช่วงเวลา 20 ms โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ลดอัตราบิตข้อมูลลง โดยใช้วิธีการปิดเปิดข้อมูลด้านส่งตามคิวตี้ไซเคิล ในช่วงขณะที่อัตราบิตของวงจรเข้ารหัสเสียงน้อยกว่า 9,600 bps ถ้าอัตราบิตเท่ากับ 1,200 bps ค่าคิวตี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเคิลจะเท่ากับ $1/8$ ของค่าคิวต์ไซเคิล ที่อัตราบิต 9,600 bps การลดอัตราบิตมีผลทำให้กำลังส่งโดยเฉลี่ยจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ลดลงด้วยและยังทำให้ลดระดับสัญญาณแทรกสอดระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกันอีกด้วย

ส่วนทางด้านสถานีฐาน จะใช้วิธีที่ต่างออกไปเล็กน้อย จะทำการส่งแพทเทิร์นบิตซ้ำกันหลายครั้งเพื่อให้ได้อัตราบิต 9,600 bps ทำให้สามารถใช้กำลังส่งที่ลดลงได้มีผลให้สัญญาณแทรกสอดลดลงไปด้วย การซ้ำบิตด้วยกำลังส่งที่ลดลงเหมาะที่จะใช้กับการเชื่อมโยงขาไปมากกว่าการเชื่อมโยงกลับ เนื่องจากการใช้เฟสอ้างอิง (coherent phase reference) จากสัญญาณไพล็อต

2.1.5 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นมา

เมื่อเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นมาครั้งแรก เครื่องจะทำการหาสถานีฐานที่ดีที่สุด ลักษณะจะคล้ายกับระบบอนาล็อกซึ่งเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะสแกนช่องสัญญาณควบคุมทั้งหมดและเลือกช่องที่ดีที่สุด ในระบบ CDMA โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะสแกนสัญญาณไพล็อต ทั้งหมดที่มีอยู่ สัญญาณไพล็อตทั้งหมดจะมีการชดเชยคาบเวลาระหว่างกัน โดยจะเป็นจำนวนเท่าของ 64 รอบสัญญาณนาฬิกา โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะเลือกไพล็อตโทนที่แรงที่สุด และเซทการอ้างอิงของควมถี่และเวลาจากสัญญาณนี้ จากนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะทำการคิมอดูเลตช่องสัญญาณซิงค์ ซึ่งใช้รหัสวอลซ์ 32 เสมอ ช่องสัญญาณนี้จะให้ข้อมูลของมาสเตอร์ค็อด โดยการส่งสถานะของ ชิปส์รีจิสเตอร์ที่มีรหัสแบบยาวมาให้ ช่องสัญญาณซิงค์ยังส่งพารามิเตอร์อื่นๆของระบบมาให้อีกด้วย จากนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะเริ่มเข้าสู่สถานะที่จะคอยรับเพจ (Page) ที่จะส่งผ่านมาทางช่องสัญญาณเพจ ینگมายังหมายเลขโทรศัพท์เคลื่อนที่ของตนเอง บ่อยครั้งที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะลงทะเบียนกับสถานีฐาน เพื่อว่าสถานีฐานสามารถทำการเพจไปหาโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกตำแหน่ง แทนที่จะต้องทำการเพจไปทั่วทั้งระบบ

ครั้งหนึ่งที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อ่านช่องสัญญาณซิงค์และทำการเซทเวลาของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะใช้พารามิเตอร์จากช่องสัญญาณซิงค์ในการหาการป้องกันรหัสแบบยาวที่จะถูกใช้โดยสถานีฐานที่กำลังค้นหา

2.1.6 การแฮนด์ออฟขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในสถานะว่าง (Idle State)

โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีวงจรค้นหาที่จะทำการสแกน สัญญาณไพล็อตโทนข้างเคียงอื่นตลอดเวลา ถ้าพบว่าสัญญาณไพล็อตโทนจากอีกสถานีฐานหนึ่งมีกำลังแรงพอที่จะเซทการเชื่อมโยงติดต่อได้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะร้องขอ เพื่อทำการขอพท์แฮนด์ออฟไปยังสถานีฐานใหม่นั้น ในกรณีนี้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในสถานะที่ไม่มีการติดต่อใช้งานจึงเป็นการแฮนด์ออฟในสถานะว่างของโทรศัพท์เคลื่อนที่ กระบวนการแฮนด์ออฟแบบนี้จะช่วยในการปรับตำแหน่งที่อยู่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การเริ่มต้นการโทรเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อกดเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่และกดปุ่มส่ง (SEND) แล้วเครื่องก็จะเริ่มต้นกระบวนการของ แอ็กเซสโพรบ (Access Probe) โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะใช้ช่องสัญญาณแอ็กเซส และพยายามจะติดต่อกับสถานีฐานขณะที่ไม่มีการเชื่อมโยงการสื่อสาร การควบคุมกำลังแบบลูปิดจะยังไม่มีการนำมาใช้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะใช้การควบคุมกำลังแบบลูเปิดในการประมาณระดับเริ่มต้นของกำลังส่ง โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะพยายามหลายครั้งเพื่อติดต่อกับสถานีฐานทางช่องสัญญาณแอ็กเซส จนกว่าจะมีการได้ตอบกลับจากสถานีฐานทางช่องสัญญาณเพจจิง สถานีฐานจะตอบสนองด้วยการกำหนด ช่องสัญญาณทราฟฟิกมาให้ ซึ่งก็คือการห้สวอลซ์ที่จะใช้กับการเชื่อมโยงขาไป ช่องสัญญาณทราฟฟิกจะใช้ส่วนป้องกันรหัสแบบยาวที่ต่างไปจากของช่องสัญญาณเพจจิงสถานีฐานจะเริ่มต้นเชื่อมโยงสื่อสารกับข่ายสื่อสารทางภาคพื้นดินอื่น และการสนทนาที่สามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2.1.8 CDMA ซอฟท์แฮนด์ออฟ

ในช่วงระหว่างที่กำลังใช้ช่องสัญญาณ โทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะค้นหาสถานีฐานอีกสถานีที่มีกำลังสัญญาณแรงดีพอเมื่อเทียบกับสถานีฐานที่กำลังใช้งานอยู่ เพื่อทำการร้องขอให้มีการ ซอฟท์แฮนด์ออฟ จากเซลล์ที่ใช้อยู่เดิม ไปยังเซลล์ใหม่นั้น สถานีฐานจะส่งผ่านการร้องขอนี้ไปให้กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Telephone Switching Office : MTSO) ซึ่งจะติดต่อกับสถานีฐานที่สอง และทำการรับค่าของรหัสสวอลซ์ที่กำหนดจากสถานีฐานที่สอง รหัสนี้จะถูกส่งให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านทางสถานีฐานแรก โครงข่ายสื่อสารทางภาคพื้นดินอื่นจะถูกเชื่อมโยงไปยังสถานีฐานทั้งสองสถานี โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะรวมสัญญาณจากทั้งสองสถานีฐาน โดยการใช้สัญญาณไฟลัดที่มาจากทั้งสองสถานีฐานเป็นสัญญาณเฟสอ้างอิงส่วนที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่สัญญาณจากแต่ละสถานีฐานจะถูกตรวจสอบ และสัญญาณที่คิดว่าจะถูกเลือกในทุกช่วงเวลา 20 msec เมื่อเวลาผ่านไปขณะที่สัญญาณจากสถานีฐานแรกค่อยๆอ่อนกำลังจนอยู่ในระดับที่แย่มาก โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะร้องขอให้สิ้นสุดกระบวนการซอฟท์แฮนด์ออฟผ่านทางสถานีฐานที่สองไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อให้สถานีฐานเดิมหยุดการส่งและรับสัญญาณ ตอนนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะติดต่อกับสถานีฐานใหม่เท่านั้น

2.2 คุณลักษณะและข้อดีของระบบ CDMA

โดยธรรมชาติแล้วในระหว่างการสนทนาของมนุษย์จะมีเพียงประมาณ 35% ของเวลาทั้งหมดเท่านั้นที่มีสัญญาณเสียงของผู้พูด ส่วนเวลาที่เหลือจะเป็นการฟัง ในระบบ CDMA นั้นเนื่องจากผู้ใช้บริการทุกคนจะถูกจัดให้ใช้ช่องสัญญาณช่องเดียวกันหมด ดังนั้นถ้ามีผู้ใช้บางส่วนที่ไม่มีการพูดก็หมายถึงว่าปริมาณสัญญาณรบกวนระหว่างกันของผู้ใช้ ณ เวลานั้นๆก็ลดลงด้วย ซึ่งโดย

หลักการแล้วอาจจะลดลงได้ถึง 65% นั้นหมายความว่าเราสามารถเพิ่มขนาดความจุของระบบขึ้นถึงประมาณ 3 เท่า

ในการส่งข้อมูลที่อัตราการส่งสูงๆเช่น มากกว่า 10 kbps มากๆนั้น ระบบ FDMA และ TDMA จำเป็นต้องอาศัยวงจรอีควอไลเซอร์ในการลดสัญญาณที่เรียกว่า intersymbol interference : ISI ซึ่งเกิดจากการแผ่ของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นของดีเลย์ ในขณะที่วงจรภาครับของระบบ CDMA มีความจำเป็นต้องใช้วงจรอีควอไลเซอร์สำหรับการปรับแก้รูปสัญญาณ แต่ต้องอาศัยวงจรคอร์รีเลเตอร์ (correlator) เพื่อใช้ในการถอดการแพร่กระจายคลื่น (despread) สัญญาณกลับมา ซึ่งวงจรคอร์รีเลเตอร์นั้นมีความซับซ้อนน้อยกว่าวงจรวจรอีควอไลเซอร์ เนื่องจากในแต่ละเซลล์ใช้คลื่นวิทยุความถี่เดียวกันจึงไม่มีความจำเป็นต้องมีการแฮนด์ออฟจากความถี่หนึ่งไปยังอีกค่าความถี่หนึ่งในกรณีในตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปสู่เซลล์ข้างเคียง การแฮนด์ออฟแบบนี้เรียกว่า ซอฟท์แฮนด์ออฟ ซึ่งต่างจาก ฮาร์ดแฮนด์ออฟ ตรงที่ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาห์ ในระบบ TDMA มีความจำเป็นที่จะต้องเว้นช่องว่างที่เรียกว่า การ์ดไทม์ (guard time) ไว้ขนาดหนึ่งเพื่อป้องกันมิให้ข้อมูลที่อยู่นอกกะโหลกสล็อตเกิดการทับกัน ส่วนระบบ CDMA นั้นไม่มีความจำเป็นที่ต้องมีการ์ด ไทม์เลย เพราะฉะนั้นช่วงเวลาตรงนี้สามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการส่งข้อมูลให้สูงขึ้นได้

ระบบ CDMA ไม่มีความจำเป็นต้องจัดแบ่งความถี่สำหรับการใช้งานที่ต่างกันสำหรับเซลล์ที่อยู่ใกล้กัน นั่นคือเซลล์ที่อยู่ติดกันก็สามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ซึ่งต่างจากระบบอื่น เช่น FDMA เพราะระบบเหล่านี้จะต้องมีการจัดแบ่งความถี่ออกเป็นกลุ่มๆและเซลล์ที่ใช้คลื่นความถี่กลุ่มเดียวกันจำเป็นจะต้องอยู่ห่างกันเพียงพอเพื่อลดผลกระทบของการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดของระบบ CDMA จึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ให้ขนาดความจุที่สูงกว่าและรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากกว่า

บทที่ 3

ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ

3.1 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ

ในการสื่อสารระบบซีดีเอ็มเอนั้นการควบคุมกำลังส่งมีความจำเป็นต่อระบบมาก เนื่องจากผู้ใช้บริการทั้งหมดนั้นใช้ความถี่ทั้งหมดร่วมกัน โดยผ่านทางรหัสพีเอ็น ดังนั้นผู้ใช้แต่ละรายจึงดูเหมือนเป็นสัญญาณรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ดังนั้นกำลังของผู้ใช้แต่ละรายจะต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่งเป็นสัญญาณที่ไปรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่นๆที่ใช้ความถี่ร่วมกันอยู่ [7]

ในการแสดงถึงการควบคุมกำลังส่งนั้นมีความจำเป็นต่อระบบซีดีเอ็มเออย่างไร เราจะทำการพิจารณาในเซลล์เดียวที่มีการสมมติให้มีผู้ใช้บริการอยู่สองราย โดยจะมีการอธิบายในการเชื่อมโยงขาขึ้นซึ่งเป็นส่วนการเชื่อมโยงที่เป็นตัวจำกัดของระบบซีดีเอ็มเอ ผู้ใช้บริการที่สองเป็นผู้ใช้บริการที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่งถ้าในกรณีที่ไม่มี การควบคุมกำลังส่งผู้ใช้บริการทั้งสองจะมีกำลังส่งที่มีค่าแน่นอนซึ่งเท่ากับ p อย่างไรก็ตามเพราะว่าความแตกต่างของระยะทางจะส่งผลให้กำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่สองจะมีค่ามากกว่ากำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ถ้าเราสมมติให้ความแตกต่างของระยะทางของผู้ใช้บริการที่สองมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่งเป็นสิบเท่า ดังนั้นผู้ใช้บริการที่หนึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

ถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ $(S/N)_{required}$ มีค่าเท่ากับ $1/10$ ดังนั้นเราสามารถจะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของทั้งสองผู้ใช้บริการ ถ้าเราไม่ได้คิดสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สอง $(S/N)_2$ จะมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่หนึ่ง $(S/N)_1$ จะมีค่าเท่ากับ $(1/10)$ นั่นคือผู้ใช้บริการที่สองจะมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าก็จะส่งผลให้คุณภาพสัญญาณดีกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ซึ่งความไม่เท่ากันนี้จะถูกเรียกว่าปัญหาความใกล้-ไกล (near-far problem) ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส

ระบบในจุดดังกล่าวนี้จะเป็นการกล่าวถึงขอบเขตของความจุ เพราะเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเราพยายามที่จะเพิ่มผู้ใช้บริการที่สามเข้าไปซึ่งส่งด้วยกำลัง p_3 ณ ตำแหน่งใดๆในเซลล์ ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สามไม่สามารถจะถึง $(S/N)_{required}$ ได้ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปใช้งาน ไม่เพียงแต่ที่ผู้ใช้ที่สามใช้งานไม่ได้เพราะว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนไม่ถึง $(S/N)_{required}$ แต่จะส่งผลถึงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ที่สองให้ลดลงต่ำกว่า $(S/N)_{required}$ อีกด้วย

การควบคุมกำลังนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาความใกล้-ไกลและเพื่อให้ได้ความจุที่สูงที่สุด การควบคุมกำลังจะกระทำโดยให้กำลังที่ถูกส่งมาจากแต่ละผู้ใช้จะถูกควบคุมให้มีการรับได้ของกำลังดังกล่าวที่สถานีฐานมีค่าเท่ากัน

ภายในเซลล์กำลังที่ส่งของแต่ละผู้ใช้บริการถูกควบคุม จะทำให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานของแต่ละใช้นั้นมีค่าเท่ากันคือ p_r ดังนั้นจะทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น จากตัวอย่างที่ผ่านมามีค่า $(S/N)_{\text{required}}$ ยังคงเป็น (1/10) ดังนั้นจำนวนของผู้ใช้บริการทั้งหมดจะเท่ากับ 11 ที่สามารถรองรับได้โดยระบบซีดีเอ็มเอ แล้วความจุจะถูกเพิ่มได้มากที่สุดจากการใช้การควบคุมกำลัง [2]

3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control)

ในรูปแบบของการควบคุมกำลังแบบนี้ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นตัวจัดการกระบวนการเองทั้งสิ้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสถานีฐานเลย กระบวนการของการควบคุมแบบเปิดจะเป็นกระบวนการที่กระทำอย่างต่อเนื่องหลังจากที่ทางสถานีฐานนั้นรับรู้การร้องขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และหลังจากที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มส่งในช่องสัญญาณทราฟฟิก

หลังจากที่มีการเรียกเข้า เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปรอบๆภายในเซลล์ แล้วการสูญเสียเชิงระยะทางระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จากผลดังกล่าวกำลังที่ถูกรับได้ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดจะทำการตรวจสอบสัญญาณกำลังที่ถูกรับที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องและจะมีการปรับกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกไป

กล่าวได้ว่าการควบคุมกำลังแบบเปิดจะอยู่บนพื้นฐานของการประมาณการสูญเสียเชิงระยะทางในทิศทางไปยังสถานีฐาน การควบคุมกำลังนี้เป็นการชดเชยในส่วนของปรากฏการณ์ถูกบดบังแบบลือกนอรัมอล และการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ โดยเป็นการสหสัมพันธ์ระหว่างการจางหายในส่วนการเชื่อมโยงขาไปกับส่วนการเชื่อมโยงขากลับ อย่างไรก็ตามความถี่ของการเชื่อมโยงขาไปและขากลับนั้นก็ใช้ความถี่ที่ต่างกัน การควบคุมกำลังแบบเปิดจึงไม่เพียงพอและมีความช้าเกินไปที่จะสามารถชดเชยการจางหายเร็วแบบเรย์ลีได้ หรือในอีกแง่หนึ่งเมื่อมีการจางหายเร็วแบบเรย์ลี จะไม่สามารถใช้การควบคุมกำลังแบบเปิดมาชดเชยการจางหายเร็วแบบเรย์ลีได้

เนื่องจากในการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดนั้นได้ทำการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ นั่นคือการหาค่าของการสูญเสียในการเชื่อมโยงขาไป แล้วมีการสมมติให้มีค่าการสูญเสียดังกล่าวในทิศทางกลับที่คล้ายๆกัน ได้ยกตัวอย่างของสมการแสดงการเชื่อมโยงขากลับ

$$SNR_R (dB) = P_m (dBm) - L_r (dB) - I_c (dBm) \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.1) ราคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ SNR_R เป็นค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่รับได้
 P_m เป็นกำลังของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ส่งมา
 L_r เป็นการสูญเสียในทิศทางกลับสุทธิ
 I_t เป็นการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของทิศทางจากกลับทั้งหมด
 ดังนั้นกำลังของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะถูกส่งจึงสามารถหาได้โดย

$$P_m (dBm) = SNR_R (dB) + L_r (dB) + I_t (dBm) \quad (3.2)$$

โดย L_r จะคิดรวมถึงค่าของการสูญเสียเชิงระยะทางและการสูญเสียอื่นที่ถูกขดเชยจากอัตราขยายของสายอากาศ สำหรับการเชื่อมโยงขาไปแล้ว กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานนั้นสามารถแสดงได้เป็น

$$P_m (dBm) = P_B (dBm) - L_f (dB) \quad (3.3)$$

- เมื่อ P_R คือกำลังที่ถูกรับได้
 P_B คือกำลังถูกส่งจากสถานีฐาน
 L_f คือการสูญเสียในทิศทางไปข้างหน้า

ดังนั้นเราสามารถหาค่าของการสูญเสียในทิศทางไปข้างหน้า

$$L_f (dB) = P_B (dBm) - P_R (dBm) \quad (3.4)$$

จากสมการดังกล่าวเราไม่ได้คำนึงถึงความเป็นจริงที่ว่าการวัดค่ากำลังของสถานีฐานที่รับได้ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นถูกทำให้ลดลงได้โดยการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในทิศทางไปข้างหน้า สุดท้ายเราจะได้ค่าของกำลังของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ส่งออกไปเป็น

$$\begin{aligned} P_m (dBm) &= SNR_{t \text{ arg et}} (dB) + P_B (dB) + I_r (dBm) - P_r (dBm) \\ &= C (dB) - P_r (dBm) \end{aligned} \quad (3.5)$$

เมื่อ C เป็นค่าคงที่

โดย

$$C (dB) = SNR_{t \text{ arg et}} (dB) + P_B (dB) + I_r (dBm) \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (Close Loop Power Control)

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นถูกใช้สำหรับการชดเชยสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกำลัง เนื่องจากการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีแบบรวดเร็ว โดยเป็นลูปปิดเพราะว่ากระบวนการจะเกี่ยวข้องกับทั้งสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับช่องสัญญาณทราฟฟิก และเริ่มการสื่อสารกับสถานีฐาน กระบวนการของการควบคุมกำลังแบบปิดจะกระทำร่วมกันไป ด้วยกับการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิด ทางสถานีฐานจะทำการตรวจวัดทั้งสัญญาณของทางการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse link) และคุณภาพของการเชื่อมโยง ถ้าคุณภาพการเชื่อมโยงเริ่มที่จะไม่ดี ทางสถานีฐานจะมีคำสั่งไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านการเชื่อมโยงขาไป (Forward Link) ให้ทำการเพิ่มกำลังของสัญญาณขึ้น ถ้าในกรณีที่คุณภาพของสัญญาณดีเกินไป นั่นคือการที่มีกำลังของสัญญาณสูงเกินไปในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีนี้ทางสถานีฐานจะสั่งให้ทางเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ลดกำลังที่ส่งลงมา ในอุดมคติอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นจะเป็นตัววัดคุณภาพของการเชื่อมโยงที่ดี แต่เพราะว่าจะทำให้ใช้เวลานานสำหรับสถานีฐานที่จะใช้จำนวนบิตที่จะมาคำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้น E_b/N_0 จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดของคุณภาพการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดมีกระบวนการในการกระทำดังนี้

1. สถานีฐานจะทำการตรวจวัด E_b/N_0 อย่างต่อเนื่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ
2. ถ้า E_b/N_0 นั้นมีค่าสูงไป (เช่นเป็นการเกินกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ลดกำลังลงมา
3. ถ้า E_b/N_0 นั้นมีค่าต่ำไป (เช่นเป็นการต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มกำลังส่งขึ้นไป

สถานีฐานจะส่งคำสั่งของการควบคุมกำลังไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้การเชื่อมโยงขาไป โดยคำสั่งในการควบคุมกำลังจะเรียกว่าเป็น บิตของการควบคุมกำลัง (Power Control Bit : PCBs) ปริมาณของกำลังของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกสั่งให้เพิ่มหรือลดลงนั้น โดยทั่วไปจะมีค่า 1 dB และ -1 dB

เนื่องจากว่าการควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นหมายความว่าจะเป็นการชดเชยการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการตอบสนองของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อคำสั่งในบิตของการควบคุมกำลังจึงต้องมีความเร็วมาก จากเหตุผลดังกล่าวบิตของการควบคุมกำลังเหล่านี้จะถูกส่งตรงผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกแต่เมื่อมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับบิตเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อบิตของการควบคุมกำลังเกิดขึ้นเช่นกัน

ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นจะมีอยู่ 3 จุดที่เราต้องกล่าวถึงเพิ่มเติมดังนี้

1. บิตของการควบคุมกำลังส่งนั้นไม่ได้ถูกป้องกันจากความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นบิตของการควบคุมกำลังนั้นถูกมัลติเพล็กซ์ไปบนช่องสัญญาณไปข้างหน้าหลังจากเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน ดังนั้นจึงไม่ได้มีการป้องกันความผิดพลาดให้แก่บิตดังกล่าว ซึ่งเป็นการกระทำเพื่อลดการหน่วงเวลาในการถอดรหัสและดึงเอาออกมาของบิตที่ป้องกันความผิดพลาด และเนื่องจากการควบคุมกำลังส่งแบบลูปิดนั้นถูกใช้ชดเชยการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี้อย่างรวดเร็ว ทำให้บิตของการควบคุมกำลัง จึงไม่ได้ป้องกันความผิดพลาดเพื่อที่จะให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำบิตดังกล่าวมาให้เร็วและทำการปรับกำลังที่ส่งให้ได้ตามนั้น จากเหตุผลดังกล่าวความน่าจะเป็นของความผิดพลาดบิตสำหรับช่องสัญญาณย่อยของการควบคุมกำลังอาจจะสูงกว่าช่องสัญญาณทราฟฟิกถ้าไม่มีการจัดการเป็นพิเศษ

2. การควบคุมกำลังแบบลูปิดจะมีลูปใน (inner loop)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะลูปภายในของกระบวนการควบคุมกำลังแบบลูปิด การมีอยู่ของลูปภายในคือการมีของตัว สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ถูกพิจารณาเริ่มแรก โดยการตัดสินใจให้มีการเพิ่มขึ้นและลดของกำลังเมื่อพยายามที่จะรักษาให้มีค่าของอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นคงที่ไว้ที่ค่าที่สามารถยอมรับได้ และเมื่อสิ่งแวล้อมของตัวโมบายล์ไม่ได้เป็นความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ระหว่าง FER และ E_b/N_0 ดังนั้น ค่า Threshold ของ E_b/N_0 จะมีการปรับแบบไดนามิกเพื่อรักษาให้ค่า FER มีค่าคงที่ซึ่งสามารถยอมรับได้ การปรับของค่า threshold ของ E_b/N_0 นี้จะกระทำโดยอ้างอิงจากลูปภายนอกของ การควบคุมกำลังแบบลูปิด โดยกระบวนการลูปภายนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นไม่ได้นิยามสำหรับมาตรฐาน IS-95 โดยกระบวนการผลิตที่เป็น โครงสร้างพื้นฐานจะมีอิสระที่จะสร้างอัลกอริธึมของลูปภายนอกได้เอง

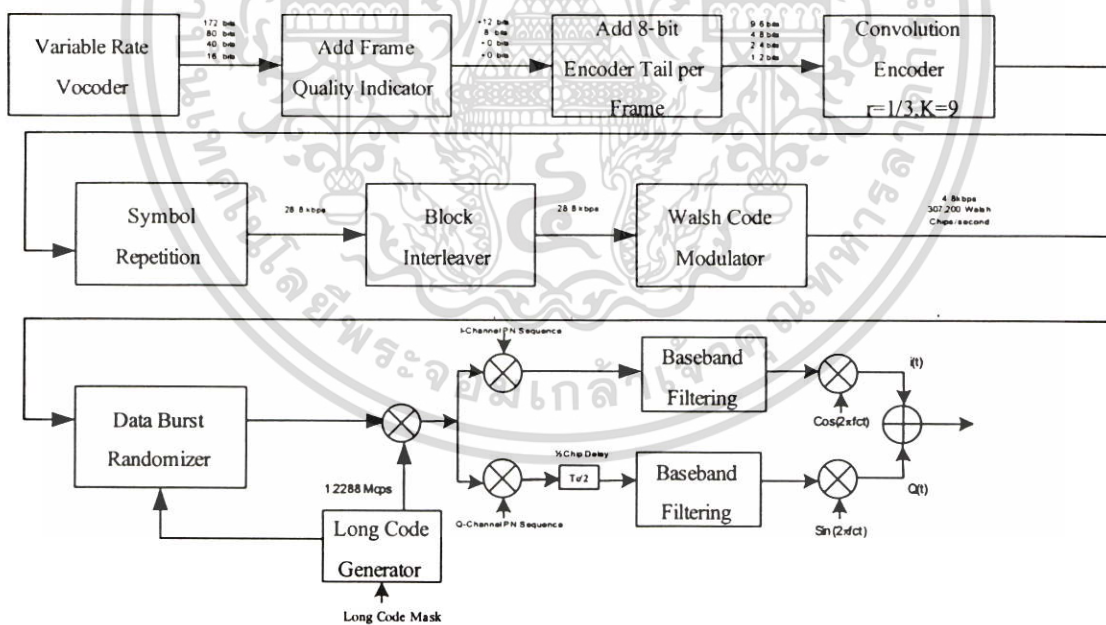
3.3.1 การควบคุมกำลังแบบลูปิดในระหว่าง ซอฟท์แฮนด์ออฟ

ระบบ IS-95 CDMA จะมีการใช้ซอฟท์แฮนด์ออฟ เมื่อ โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 หรือ 3 เซลล์ โดยซอฟท์แฮนด์ออฟเป็นกระบวนการ โดยที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ยังคงรักษาการติดต่ออยู่กับสถานีฐาน 2 หรือ 3 สถานีที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีการเคลื่อนที่อยู่ ในระหว่างซอฟท์แฮนด์ออฟ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะรับเฟรมของช่องสัญญาณทราฟฟิก จาก 2 หรือ 3 สถานี และบนช่องสัญญาณทราฟฟิกดังกล่าวนี้ อาจจะมีการขัดแย้งกันเองในส่วนของบิตการควบคุมกำลัง ในสถานการณ์เหล่านี้ ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่จะกระทำตามกฎต่อไปนี้ คือถ้าเพียงสถานีใดสถานีหนึ่งมีคำสั่งให้ลดในกำลังลงมา โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะลดกำลังลงมา และ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเพิ่มกำลังเมื่อสถานีฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำซอฟท์แฮนด์ออฟมีคำสั่งจากทุกสถานีให้เพิ่มในกำลังเท่านั้น

3.4 ระบบ IS-95

IS-95 คือระบบ CDMA ที่ย่านความถี่จะถูกแบ่งออกซึ่งจะมีค่า 1.25 MHz ในประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วงความถี่ 1850-1990 MHz ใช้ในการส่ง การเชื่อมต่อ โยงขาไป และช่วงความถี่ 1930-1990 MHz ใช้ในการส่ง การเชื่อมต่อ โยงขากลับ ภายในแต่ละย่านความถี่ไม่ว่าจะเป็นช่องสัญญาณทรานซมิทเตอร์ ช่องสัญญาณควบคุม และช่องสัญญาณไฟล็ดถูกแยกออกโดย โค้ดรหัสที่แตกต่างกัน อัตราชิปมีค่าเท่ากับ 1.228 Mcps สัญญาณการเชื่อมต่อ โยงขากลับที่สร้างขึ้นโดยสถานีฐานหนึ่งจะตั้งฉากกับอีกสถานีหนึ่งจำกัดอยู่ในช่วง 64 ช่องสัญญาณต่อสัญญาณคลื่นพาห้ ยิ่งไปกว่านั้นสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆจะทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลงที่สถานีฐานและ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นผู้ใช้จำนวน 12-18 คน ถูกบรรจุภายในสัญญาณคลื่นพาห้หนึ่งทีคาบเวลาหนึ่ง

ช่องสัญญาณ ไฟล็ดใช้ลำดับพีเอ็น ซึ่งมีค่า 32,768 ทุกๆ 26.67 ms. ช่องสัญญาณ ไฟล็ดจะถูกใช้สำหรับการประมาณค่าช่องสัญญาณเช่นเดียวกับแฮนด์ โอเวอร์ ระหว่างการทำแฮนด์โอเวอร์ สถานีฐานของ โทรศัพท์เคลื่อนที่หนึ่งสามารถเก็บรักษาการเชื่อมต่อด้วยสองสถานีฐานหรือมากกว่า เนื่องจากคาบเวลาที่แตกต่างกัน สัญญาณที่ได้จากสถานีฐานก็จะมีความหน่วงที่แตกต่างกัน โครงสร้างของเครื่องส่งจะถูกสร้างขึ้นดังรูปที่ 3.1

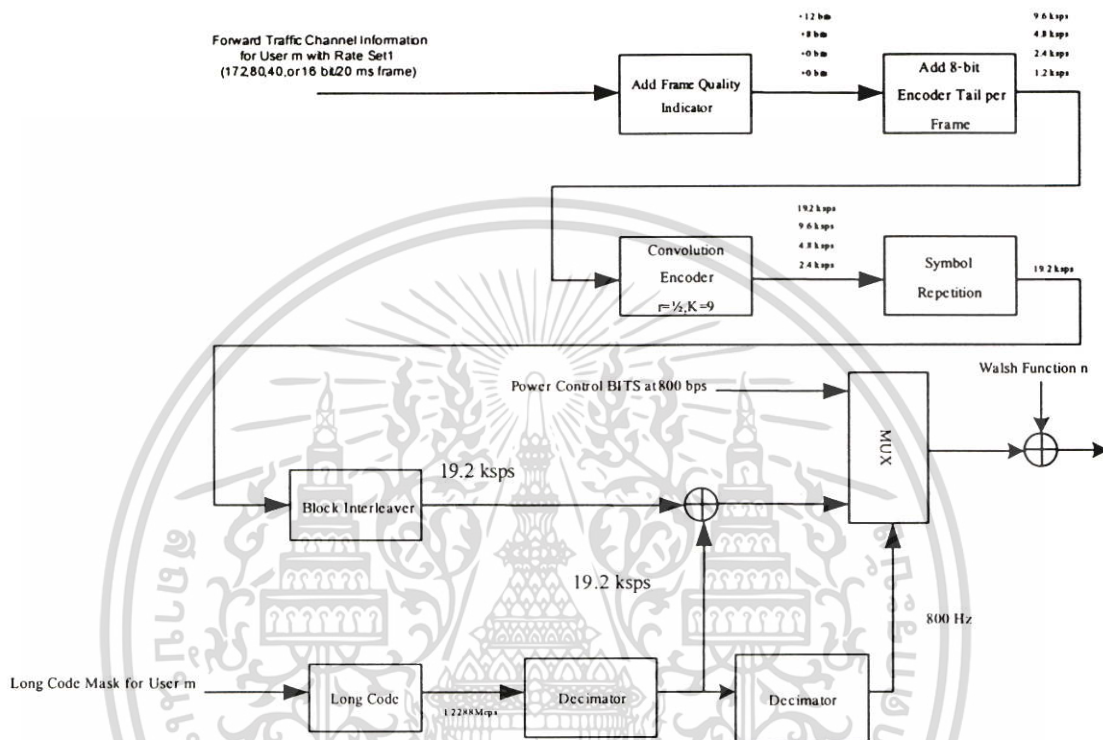


รูปที่ 3.1 แสดงระบบ IS-95 การเชื่อมต่อ โยงขาไป

ระบบ IS-95 จะมีอัตราส่วนการเข้ารหัสเสียงพูดเท่ากับ 13.3 หรือ 8.6 kbps ข้อมูลที่ส่งด้วยอัตราส่วนตัวเข้ารหัสคอนโวลูชัน เท่ากับ 1/3 หรือ 1/2 สัญญาณขาออกของการเข้ารหัสมีอัตราส่วนเท่ากับ 28.8 kbps ในหลายๆกรณี ลำดับข้อมูลนี้จะส่ง ไปยัง ตัวมอดูเลตรหัสวอลซ์ แต่ละกลุ่มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น และข้อมูลทั้งหมดนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้โดยไม่มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์การมอดูเลตทั้ง 6 จะแทนด้วย 64 ซึ่งจะตั้งฉากไปยังสถานะอื่นๆ สิ่งที่ได้คืออัตราส่วนชิปส์ของ ตัวเข้ารหัสรหัสวอลซ์ มีค่าเท่ากับ 307 kcps ส่วนของ การเชื่อมโยงขาไป หน้าที่ของ Data Burst Randomizer ทำหน้าที่ลดกำลังเฉลี่ยเมื่อผู้ใช้ไม่มีการพูด ข้อมูลจะถูกแผ่โดย ลำดับแบบยาวที่มีค่าอัตราส่วนชิปส์เท่ากับ 1.2288 Mcps



รูปที่ 3.2 แสดงระบบ IS-95 การเชื่อมโยงขากลับ

ส่วนของการเชื่อมโยงขากลับ ใช้การสร้างเหมือนกันกับการเชื่อมโยงขาไป แต่การใช้งานแตกต่างกัน ระบบจะถูกให้ดังรูป ความแตกต่างแรกคือการเข้ารหัสคอนโวลูชัน จะใช้ทั้งอัตราส่วนของตัวเข้ารหัสเสียงพูด และ 1/2 ถอดรหัสคอนโวลูชัน สุดท้ายข้อมูลที่ถูกแผ่ออกโดยวอลซ์ฟังก์ชัน ด้วยแพ็คเกจการแผ่ 64 อัตราชิปส์มีค่า 1.2288 Mcps

3.5 สัญญาณแทรกสอด

ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการสื่อสารเชื่อมโยงด้วยกันสองทิศทางคือ การสื่อสารเชื่อมโยงจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือเรียกว่าการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (forward-link) และการสื่อสารเชื่อมโยงจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน หรือเรียกว่าการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (reverse-link) ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจึงมีด้วยกันสองทิศทางเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

3.5.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

ในระบบเซลล์อาร์เคคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น ทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นภายในเซลล์ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ช่องสัญญาณการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทุกๆช่องรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่อง (Pilot Channel) จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนชิปจากวอลซ์ฟังก์ชัน (Walsh Functions) ที่จัดสรรไว้และทำการรวม (integrating) ตลอด 64 ชิป ในช่วงของวอลซ์ฟังก์ชัน ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ สัญญาณขบวนข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการ โดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณอื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป แต่อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ขึ้น เนื่องจากการรับสัญญาณได้หลายทิศทางที่ตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือเรียกว่า หลายวิถี (multipath)

ถ้ากำหนดให้ $I_{0,f}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทั้งหมดที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับจากสถานีฐานที่อ้างอิง ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากหลายวิถี กำลังของสัญญาณในเส้นทางที่ k กำหนดให้เป็น β_k เมื่อ $0 \leq \beta_k \leq 1$ นั่นคือสัดส่วนของสัญญาณ $I_{0,f}$ อันเนื่องมาจากเส้นทางที่ k คือ

$$I_{0,k} \triangleq \text{ความหนาแน่นสเปกตรัมของเส้นทางที่ } k = \beta_k I_{0,f} \quad (3.7)$$

และถ้าในการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยสัญญาณจำนวน K เส้นทาง ดังนั้นจะได้

$$I_{0,f} = \sum_{k=1}^K I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k=1}^K \beta_k \quad \text{หรือ} \quad \sum_{k=1}^K \beta_k = 1 \quad (3.8)$$

หากกำหนดให้ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มีวงจรรับสัญญาณจำนวน K วงจร โดยแต่ละวงจรตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณหนึ่งเส้นทางในจำนวน K เส้นทาง ถ้า E_{b0} คือพลังงานบิตทั้งหมดที่ได้รับจากสถานีฐานของช่องสัญญาณการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป ดังนั้นพลังงานบิตอินพุตของวงจรรับที่ j จะมีค่าเป็น

$$E_{bj} \triangleq \text{พลังงานบิตของเส้นทางที่ } j = \beta_j E_{b0} \quad (3.9)$$

และความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของเส้นทางที่ j หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{scj} = \sum_{k \neq j} I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k=j} \beta_k = I_{0,f} (1 - \beta_j) \quad (3.10)$$

ดังนั้นอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน (รวมทั้งสัญญาณแทรกสอดด้วย) ที่ติมอดคูลเตอร์ซึ่งเซตอัปไว้เพื่อที่จะรับสัญญาณจากเส้นทางที่ j คือ

$$\frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \frac{E_{bo} \beta_j}{N_{0,th} + I_{0,oc} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (3.11)$$

เมื่อ $N_{0,th}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน
 $I_{0,oc}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ
 $I_{0,f}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังทั้งหมดของสัญญาณที่รับได้ในเซลล์
 $(N_{0,T})_j$ คือ ความหนาแน่นสัญญาณรบกวนทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับเส้นทางที่ j

หากที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไ้ใช้การรวมสัญญาณแบบอัตราส่วนสูงสุด(Maximum Ratio Combining) จากเส้นทาง K เส้นทางแล้ว จะได้

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} = \sum_{j=1}^K \frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \sum_{j=1}^K \frac{E_{bo} \beta_j}{N_{0,th} + I_{0,oc} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (3.12)$$

สำหรับในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่กับสถานีฐาน สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนชนิดอื่นๆซึ่งจะสามารถตัดสัญญาณรบกวนอื่นๆนั้นทิ้งไปได้ ดังนั้นจากสมการที่ (3.12) จึงสามารถประมาณค่าได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} \approx \sum_{j=1}^K \frac{E_{bo} \beta_j}{I_{0,f} (1 - \beta_j)} = \frac{E_{bo}}{I_{0,f}} \sum_{j=1}^K \frac{\beta_j}{1 - \beta_j} \triangleq \frac{E_{bo}}{I_{0,sc}} \quad (3.13)$$

เมื่อ $I_{0,sc}$ คือส่วนที่เป็นสัญญาณแทรกสอดของความหนาแน่นสัญญาณรวมที่รับได้ในเซลล์
 $I_{0,f}$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์สามารถกำหนดได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{o,sc} = \frac{\Delta}{\sum_{j=1}^K \frac{I_{o,f}}{1-\beta_j}} \quad (3.14)$$

3.5.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ

ในระบบเซลล์อาร์เคคซีเคิร์ฟอนซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น สัญญาณที่รับได้จากสถานีฐานของเซลล์อื่นๆจะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากอีกเซลล์หนึ่งที่จะคอยให้บริการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มปกติล็อก (lognormal Random Variable) นั่นคือกำลังสัญญาณแทรกสอดในหน่วยเดซิเบล (dB) เป็นตัวแปรสุ่มปกติ (Normal หรือ Gaussian Random Variable)

กำลังสัญญาณแทรกสอด (dB) = ค่าเฉลี่ย (dB) + ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ของตัวแปรสุ่มเกาส์ (dB)
กำลังสัญญาณแทรกสอดเฉลี่ยจะสามารถคาดเดาได้โดยการใช้สมการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง เช่นการสูญเสียสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับกำลังที่ γ ของระยะทาง ซึ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้วสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขงาไปนั้น จะสามารถหาค่าได้ในรูปของตัวแปรสุ่มปกติล็อกดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังสัญญาณแทรกสอด (dB)} &= 10 \log_{10} I_i \\ &= 10 \log_{10} \bar{I}_i + \sigma_{dB} Q_i \quad \text{เมื่อ } Q_i \text{ คือ ตัวแปรสุ่มเกาส์} \\ \text{หรือ} & \\ I_i &= \bar{I}_i \times 10^{\sigma_{dB} Q_i / 10} = \text{Const} \times \frac{1}{r_i^\gamma} \times 10^{\sigma_{dB} Q_i / 10} \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อ \bar{I}_i คือ ค่ากลาง (median value) ของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานที่ i

r_i คือ ระยะทางจากสถานีฐานที่ i ไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อ้างอิง

γ คือ ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

Q_i คือ ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์, ความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มเกาส์เป็นหนึ่ง

σ_{dB} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงในช่วง 6 ถึง 13 dB

สำหรับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆนั้น เพื่อที่จะจัดสรรให้พอเพียงสำหรับค่ากลางของสัญญาณแทรกสอด \bar{I}_i ในสมการที่ (3.9) และเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ระยะทางการแพร่กระจายคลื่น $\{r_i\}$ จะเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอด $\{\bar{I}_i\}$ ที่เกิดขึ้น ในการกล่าวถึงครั้งต่อไปจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดเครื่องหมายขีดบนออกและใช้เป็นตัวแปร I_i ซึ่ง $I_{o,i} = I_i / W$ เพื่อแสดงค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดและสอดคล้องกับความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลัง

เพื่อที่จะอธิบายถึงการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ อันดับแรกต้องพิจารณาถึงเรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆที่มีต่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ตำแหน่ง (r, θ_i) ในเซลล์ที่อ้างอิง สามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานที่ i ได้ดังนี้

$$r_i(r, d_i, \theta_i) = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \quad (3.16)$$

เมื่อ d_i คือระยะทางระหว่างเซลล์หรือระยะทางระหว่างสถานีฐานที่อ้างอิงกับสถานีฐานที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด จะสังเกตเห็นได้ว่าเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดมีลักษณะเป็นวงรอบเซลล์ที่อ้างอิง

หากกำหนดให้การแพร่กระจายคลื่นมีความสัมพันธ์กับกำลังที่ γ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{การสูญเสียเนื่องจากระยะทาง } L(r_i) &= \text{กำลังสัญญาณแทรกสอดที่ได้รับ } (I_i) / \text{กำลังส่ง } (P_i) \\ &= \text{ค่าคงที่} \times r_i^{-\gamma} \end{aligned}$$

เมื่อ P_i คือ กำลังส่งของสถานีฐาน

r_i คือ ระยะทาง

จากสมการที่ (3.16) ดังนั้นค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆทั้งหมดสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{oc} &= \sum_i I_i = \sum_i P_i \times L(r_i) = P_i \sum_i L(r_i) \\ &= \text{Const} \times P_i \sum_i [r_i(r, d_i, \theta_i)]^{-\gamma} \end{aligned} \quad (3.17)$$

ถ้ากำหนดให้ S คือกำลังที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับจากสถานีฐานที่อ้างอิงในกรณีที่ไม่มีสัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป และการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นนั้นมีความสัมพันธ์กับกำลังที่ γ ของระยะทาง ค่า S นี้ สามารถหาได้จาก

$$S = \text{ค่าคงที่} \times P_i \times r^{-\gamma} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆเฉลี่ยต่อกำลังสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับจากเซลล์ที่อ้างอิงคือ

$$\begin{aligned} \frac{I_{oc}}{S} &= \sum_i \frac{r^\gamma}{[r_i(r, d_i, \theta_i)]^\gamma} = \sum \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_i/r)^2 - 2(d_i/r)\cos\theta_i}} \right]^\gamma & (3.19) \\ & \sum_{i_1=1}^6 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_1}/r)^2 - 2(d_{i_1}/r)\cos\theta_{i_1}}} \right]^\gamma \\ & \sum_{i_2=1}^{12} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_2}/r)^2 - 2(d_{i_2}/r)\cos\theta_{i_2}}} \right]^\gamma \\ & \sum_{i_3=1}^{18} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_3}/r)^2 - 2(d_{i_3}/r)\cos\theta_{i_3}}} \right]^\gamma \\ & + \dots \end{aligned}$$

ค่าอัตราส่วนนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณแทรกสอดเนื่องจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป และสามารถคำนวณได้โดยใช้พารามิเตอร์ระยะทางระหว่างเซลล์ของแต่ละวงของระบบเซลล์ลูลาร์ ตัวอย่างเช่นเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดวงแรกมีทั้งหมด 6 เซลล์ ซึ่งมีระยะทางจากสถานีฐานที่อ้างอิงเท่ากันทั้งหมดคือ $d_{i_1} = \sqrt{3R} = 2R_c$ และมุมระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลล์ที่อ้างอิงกับสถานีฐานของเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดคือ $\{\theta_{i_1} : \theta + 0^\circ, 60^\circ, \theta + 120^\circ, \theta + 180^\circ, \theta + 240^\circ, \theta + 300^\circ\}$

การคำนวณอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปโดยพิจารณาเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในวงที่ 1 และ 2 ของระบบเซลล์ลูลาร์ ซึ่งมีทั้งหมด 18 เซลล์ อัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (dB) สำหรับ $\gamma = 4$ [2]

จุดสูงสุดของอัตราส่วน I_{oc}/S (dB) ตามฟังก์ชันของระยะทางนอร์มัลไลซ์ r/R และตัวชี้กำลัง $\gamma = 3, 3.5$ และ 4 แสดงค่าสูงสุดของอัตราส่วน $I_{oc}/S = -16.127$ dB สำหรับ $\gamma = 4$ เกิดขึ้นที่ $\theta = 0^\circ$ และ 60° เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่ง $r=0.4R$ และอัตราส่วนสูงสุดคือ -0.93 dB เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่ง $r=0.8R$ ส่วนสำหรับค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ใกล้ขอบเซลล์ อัตราส่วน $I_{oc}/S \approx 2.5$ dB สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดในการคำนวณกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปได้ และเมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ใกล้กับสถานีฐานมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสามารถตัดออกไปได้ (น้อยกว่า 30 dB)

การหาค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อกำลังที่รับได้ทั้งหมดจากสถานีฐานที่อ้างอิง โดยปกติจะกำหนดให้สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เท่ากับกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทั้งหมดในกรณีที่ไม่มีสัญญาณแทรกสอด

เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (จากหลายวิธี) กำหนดให้เท่ากับกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (S)

$$I_{sc} \approx S = -95\text{dBm}$$

สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆสำหรับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ใกล้ขอบเซลล์ คือ

$$\frac{I_{oc}}{I_{sc}} (\text{dB}) \approx \frac{I_{oc}}{S} (\text{dB}) = 2.5\text{dB}$$

ดังนั้น

$$I_{oc} (\text{dBm}) \approx S (\text{dBm}) + 2.5\text{dB} = -95\text{dBm} + 2.5\text{dB} = -92.5\text{dBm}$$

กำลังสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทั้งหมดที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รับกำหนดให้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_T &= I_{sc} + I_{oc} = 10^{-9.5} \text{mW} + 10^{-9.25} \text{mW} \\ &= 8.79 \times 10^{-10} \text{mW} = 10^{-9.06} \text{mW} \\ &= -90.6\text{dBm} \end{aligned}$$

สำหรับการวิเคราะห์ระบบได้กำหนดสูตรซึ่งแสดงเทอมของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ I_{sc} ที่เกิดจากสัญญาณแทรกสอดหลายวิธีในเซลล์ที่อ้างอิง และเทอมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ I_{oc} ซึ่งพิจารณาที่ไม่มีหลายวิธีเป็นส่วนประกอบ แต่ในทางปฏิบัติสามารถที่จะเป็นไปได้สำหรับสถานีฐานข้างเคียงที่จะก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดหลายวิธี ส่วนสถานีฐานที่อ้างอิงจะไม่ประสบกับสัญญาณแทรกสอดหลายวิธี ถึงแม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ตาม สมการนี้ก็ยังสามารถนำมาใช้ได้เนื่องจาก I_{sc} และ I_{oc} มีความสัมพันธ์กับ S ซึ่งเป็นวิธีตรง (หรือมาถึงก่อน) จากสถานีฐานที่อ้างอิงถ้าการวัดข้อมูลแสดงให้เห็นว่ายังเกิดหลายวิธีจากเซลล์ข้างเคียงอยู่ ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยพิจารณา I_{sc} ให้เป็น “สัญญาณแทรกสอดหลายวิธี” ที่ค่อนข้างจะมากกว่า “สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์” และปรับค่าให้สอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

3.5.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

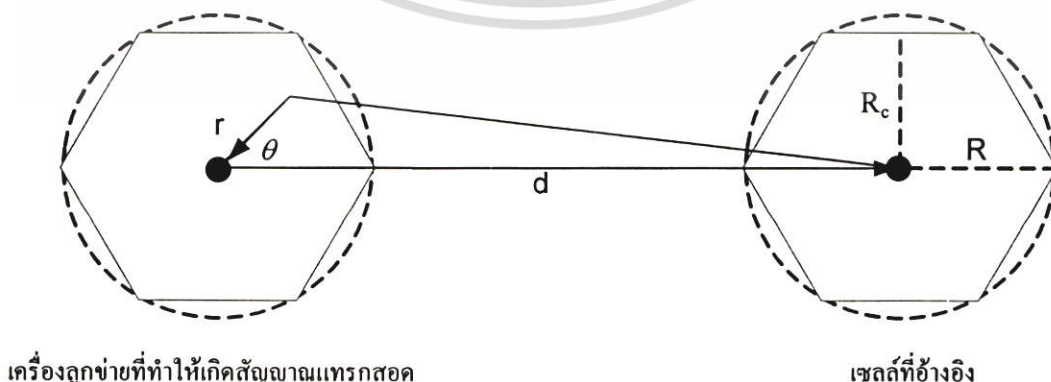
สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ประกอบด้วย การซ้อนทับของสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่นๆภายในเซลล์เดียวกันที่สถานีฐานได้รับ สำหรับระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีแคว้นซ์ ซิดีเอ็มเออนั้น สัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมด จะเข้าครอบครองแบนด์วิดท์เดียวกันและในเวลาที่ยพร้อมกันด้วย ซึ่งสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณรบกวนขาวที่มีแบนด์วิดท์จำกัด (Bandlimited White Noise) ได้

สัญญาณรบกวนส่วนมากที่สถานีฐานได้รับนั้น เนื่องมาจากสัญญาณแทรกสอดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวนของผู้ใช้ทั้งหมดสามารถเชื่อมต่อได้พร้อมกันในการร้องขอการส่ง (นั่นคือความจุของระบบ) จะมีค่าสูงสุดได้ โดยการทำให้กำลังของสัญญาณแต่ละสัญญาณที่สถานีฐานได้รับนั้นมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยมากแม้ว่าสมรรถนะของการสื่อสารเชื่อมโยงจะได้รับ ความพึงพอใจก็ตาม การควบคุมกำลังแบบพลวัต (dynamic power control) ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเป็นส่วนที่สำคัญมากในการออกแบบการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีที่การควบคุมกำลังถูกนำมาใช้สำหรับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน M เครื่อง ภายในเซลล์ คำนับปริมาณกำลังสัญญาณแทรกสอดที่สถานีฐานได้รับในเซลล์เดียวกันจะมีค่าเป็น

$$I_{sc} = (M - 1)S_v \tag{3.20}$$

เมื่อ S คือ กำลังของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่อง

V คือ ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ



รูปที่ 3.3 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 แทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ

ในรูปที่ 3.5 แสดงเรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ โดยกำหนดให้เซลล์มีขนาดเท่ากันและมีการควบคุมกำลัง ดังนั้นกำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดกับสถานีฐานที่อ้างอิงมีความสัมพันธ์กันคือ

ระดับกำลังสัญญาณที่ต้องการของสถานีฐานที่อ้างอิง อัตราขยายชดเชยการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

$$= S \cdot r^4 \quad (3.21)$$

เมื่อ r คือ ระยะทางระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นกำลังสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดจะมีผลกระทบต่อสถานีฐานที่อ้างอิง (ที่ระยะทาง r_o) มีค่าเป็น

$$P_o = v \cdot S \cdot \left(\frac{r}{r_o} \right)^4 \quad (3.22)$$

โดยที่ระยะทางสามารถหาได้จาก

$$r_o = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd \cos \theta} \quad (3.23)$$

ปริมาณสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้งานภายในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอด โดยจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังสัญญาณแทรกสอดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน M เครื่อง

3.6 การแบ่งเซลล์เป็นเซกเตอร์

การแทรกสอดจากสถานีฐานอื่นๆในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อ้างอิง สามารถให้ลดลงได้เมื่อเซลล์ในระบบเซลล์ลาร์ได้ทำการแบ่งเป็นเซกเตอร์โดยแทนสายอากาศแบบรอบทิศทางซึ่งมีแพทเทิร์น (pattern) ของสายอากาศ 360 องศา ด้วยสายอากาศแบบมีทิศทางซึ่งมีแพทเทิร์นของสายอากาศ 120 องศา ในกรณีที่แบ่งเซลล์เป็น 3 เซกเตอร์ และ 60 องศา สำหรับแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์ ดังนั้นสถานีฐานในแต่ละเซกเตอร์จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกับผู้ใช้คนอื่นๆที่ไม่ได้อยู่ในแพทเทิร์นของสายอากาศที่ใช้ วิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มความจุของระบบประมาณ 3 เท่า สำหรับเซลล์ที่ถูกแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ และ 6 เท่า สำหรับเซลล์ที่ถูกแบ่งเป็น 6

เซกเตอร์ โดยที่แฟกเตอร์ดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าอัตราขยายของเซกเตอร์ (Sectorization Gain: SG) ในความเป็นจริงอัตราขยายของเซกเตอร์นั้นจะมีค่าโดยทั่วไปเท่ากับ 2.5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเซลล์เป็น 3 เซกเตอร์ และมีค่าเท่ากับ 5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์

3.7 อัตราการสิ้นเปลืองของเสียง (Voice Activity)

โดยปกติการสนทนาได้ตอบกันทั่วไป ช่วงการใช้งานของเสียงจะน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ สมมติให้ผู้ใช้ใช้เวลาเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็มีการพูดตลอดเวลา แต่ในทางปฏิบัติตัวเข้ารหัสทางเสียงที่ระบบซีดีเอ็มเอใช้นั้น จะเป็นอัตราที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งหมายความว่าอัตราเอาต์พุตของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะสามารถปรับให้สอดคล้องกับแพทเทิร์นการพูดของผู้ใช้ได้ เช่น กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้พูดในช่วงของการสนทนา ทำให้อัตราเอาต์พุตของตัวเข้ารหัสทางเสียงถูกทำให้ต่ำลง เพื่อที่จะป้องกันกำลังสัญญาณจากการส่งที่ไม่จำเป็น ผลจากอัตราการเข้ารหัสทางเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้นี้ สามารถลดกำลังส่งทั้งหมดลงได้ เพราะฉะนั้นการแทรกสอดที่จะเกิดขึ้นก็จะลดลงด้วย ในทางสถิติของการพูดนั้นแสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปช่วงใช้งานของการสนทนาจะเกิดขึ้นอยู่ในระหว่าง 40 เปอร์เซ็นต์ ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมด เมื่อใช้การเข้ารหัสทางเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราได้นั้น ทำให้กำลังส่งทั้งหมดของระบบสามารถลดลงได้ โดยแฟกเตอร์ของอัตราสิ้นเปลืองของเสียง ซึ่งเป็นผลให้ความจุของระบบเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 4

การวิเคราะห์ระบบ

4.1 การวิเคราะห์ความจุของระบบ IS-95B

ในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอได้ถูกนำเสนอเป็นตัวเลือกเพื่อรองรับการใช้งานทั้งทางด้านเสียงและข้อมูล ซึ่งการควบคุมกำลังของระบบต้องให้มีประสิทธิภาพ แต่ในทางปฏิบัติแล้วการควบคุมกำลังจะเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ [2] เนื่องจากการจางหายของสัญญาณหลายเส้นทางและสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ที่เพิ่ม [1] ซึ่งเกิดจากเครื่องรับได้รับกำลังของสัญญาณจากเครื่องส่งของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้มีค่าสูงกว่ากำลังของสัญญาณของผู้ใช้งานที่อยู่ไกล ซึ่งลักษณะดังกล่าวคือผลของระยะใกล้-ไกล, ผลของสภาพแวดล้อมรอบข้าง ผลให้ความจุของระบบลดลง การกำหนดความจุของระบบเป็นจำนวนของผู้ใช้งานเสียงและข้อมูล การวิเคราะห์อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดในระบบการประมาณค่าโดยกำหนดแฟคเตอร์ที่สำคัญคือ อัตราขยายประมวลผล และค่าอัตราการเดินทางไกลของผู้ใช้งานภายใต้การควบคุมกำลังที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งแสดงเปรียบเทียบผลของผู้ใช้งานด้านเสียงและข้อมูล

เราพิจารณาทั้งเสียงและข้อมูลของผู้ใช้งานในแต่ละเซลล์ที่มีการแบ่งออกเป็นสามส่วนที่เท่าๆกันด้วยจำนวนเสียง (N_v) และจำนวนข้อมูล (N_d) ของผู้ใช้งานในแต่ละส่วน เสียงของผู้ใช้งานส่งรหัสที่มีอัตราส่วนพื้นฐาน B ขณะที่ข้อมูลของผู้ใช้งานส่งอัตราส่วนที่สูงกว่า $r_d B$ เมื่อ r_d เป็นจำนวนรหัสที่ส่งแบบขนานในระบบ CDMA ทุกรหัสจะมีการพิจารณาอัตราขยายการประมวลผลเหมือนกันคือ W/B ให้ W คือ แบนด์วิธ เรากำหนดให้ อัตราการเดินทางไกลของเสียงมีค่าเป็น α_v และ อัตราการเดินทางไกลของข้อมูล มีค่าเป็น α_d สัญญาณที่ได้รับและส่วนประกอบของสัญญาณรบกวนถูกพิจารณาในรูปของตัวแปรสุ่มแบบลีนอร์มอล ในรูปของการส่งกำลังที่ไม่สมบูรณ์ กำลังที่ได้รับจากผู้ใช้งานที่สถานีฐานมีค่าดังนี้

$$U = S_i e^S \quad (4.1)$$

กำลังการแทรกสอดมีค่าดังนี้

$$I = S_i e^R \quad (4.2)$$

กำหนดให้ S_i คือระดับกำลังที่ได้รับที่สถานีฐาน เมื่อ $S_i = S_v(S_d)$ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน
เสียงและข้อมูล

S และ R คือตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน S จะแสดงค่าในรูปของสัญญาณที่ได้รับ และ R
แสดงในรูปของสัญญาณการแทรกสอดโดยที่ประกอบรวมอยู่กับค่าเฉลี่ยซึ่งจะ
แยกได้เป็น m_s และ m_R และ ค่าความแปรปรวนโดยจะแยกได้เป็น σ_s^2 , σ_R^2
ตามลำดับ

กำหนดสมการการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์คือ

$$\sigma = \sigma_s / \beta \quad (4.3)$$

โดย $\beta = \ln(10)/10$

σ คือการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ มีหน่วยเป็นเดซิเบล

ส่วนประกอบของลิกนอรัมอลทั้งหมดจะถูกพิจารณาและปริมาณของสัมประสิทธิ์ความ
เกี่ยวเนื่อง (correlation coefficient) จะสมมติให้มีค่าเดียวกัน สำหรับเสียงของผู้ใช้งานซึ่งมีการ
แทรกสอดภายนอกเซลล์ประกอบด้วย $(N_v - 1) + N_d$ เป็นดังนี้

$$I_{in} = S_v \sum_{i=1}^{N_v-1} \alpha_v e^{y_i} + r_d S_d \sum_{i=1}^{N_d} \alpha_d e^{y_i} \quad (4.4)$$

การแทรกสอดภายในเซลล์ประกอบด้วย $(N_v + N_d)$ เป็นดังนี้

$$I_{out} = S_v \sum_{i=1}^{N_v} \alpha_v e^{y_i} + r_d S_d \sum_{i=1}^{N_d} \alpha_d e^{y_i} \quad (4.5)$$

โดย y_i คือตัวแปรสุ่มเกาส์เซียนที่สอดคล้องกับตัวแปรสุ่มลิกนอรัมอล ที่ i th

เราพิจารณาตัวแปรสุ่มสองค่า (u_1, u_2) ใช้หาค่า m_R และ σ_R ซึ่งทำให้ง่ายโดยการสมมติ
 $S_v = S_d = S_0$ อย่างไรก็ตามสามารถทำได้โดยการสมมติให้ $S_v \neq S_d$ จะได้ [1]

$$u_1 = \frac{E[i]}{S_o} = E[e^R] = e^{m_R + \sigma_R^2 / 2}$$

$$= \alpha_v \sum_{i=1}^{t_1} e^{m_{y_i} + 0.5\sigma_{y_i}^2} + r_d \alpha_d \sum_{j=1}^{t_2} e^{m_{y_j} + 0.5\sigma_{y_j}^2}$$
(4.6)

$$u_2 = \frac{E[i^2]}{S_o^2} = E[e^{2R}] = e^{2m_R + 2\sigma_R^2}$$

$$= \alpha_v \sum_{i=1}^{t_1} e^{2m_{y_i} + 2\sigma_{y_i}^2 + \alpha_d r_d^2 \sum_{j=1}^{t_2} e^{2m_{y_j} + 2\sigma_{y_j}^2}}$$

$$+ 2\alpha_v^2 \sum_{i=1}^{t_1-1} \sum_{k=i+1}^{t_1} e^{m_{y_i} + m_{y_k} + 0.5(\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_k}^2 + 2r_{ik}\sigma_{y_i}\sigma_{y_k})}$$

$$+ 2\alpha_d^2 r_d^2 \sum_{j=1}^{t_2-1} \sum_{k=j+1}^{t_2} e^{m_{y_j} + m_{y_k} + 0.5(\sigma_{y_j}^2 + \sigma_{y_k}^2 + 2r_{jk}\sigma_{y_j}\sigma_{y_k})}$$

$$+ 2\alpha_v \alpha_d r_d \sum_{i=1}^{t_1} \sum_{j=1}^{t_2} e^{m_{y_i} + m_{y_j} + 0.5(\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 + 2r_{ij}\sigma_{y_i}\sigma_{y_j})}$$
(4.7)

โดย $m_{y_i}, m_{y_j}, m_{y_k}$ คือค่าเฉลี่ยตัวแปรสุ่มเกาส์เซียนที่ i th, j th และ k th
 $\sigma_{y_i}, \sigma_{y_j}, \sigma_{y_k}$ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่ i th, j th และ k th
 ซึ่งเป็นส่วนประกอบของลิกนอรัมอล

$r_{ik} = r_{jk} = r_{ij} = r$ คือ pair wise correlation ระหว่างกัน

$$t_1 = 2N_v - 1,$$

$$t_2 = 2N_d$$

$$t = 2(N_v + N_d) - 1$$

แก้ปัญหาคสมการที่ (4.6) และ (4.7) เราจะได้ m_R และ σ_R ดังนี้

$$m_R = 2 \ln(u_1) - \frac{1}{2} \ln(u_2)$$
(4.8)

$$\sigma_R^2 = \ln(u_2) - 2 \ln(u_1)$$
(4.9)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเกี่ยวเนื่อง r_{SR} ระหว่างสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดถูกคำนวณตาม
 อ้างอิงที่ [5] จำนวนผลรวมของส่วนประกอบสัญญาณแทรกสอดมีค่าดังนี้ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 v &= E[e^S e^R] \\
 &= \alpha_v \sum_{i=1}^{I_1} e^{m_s + m_y + (1/2)(\sigma_s^2 + \sigma_y^2 + 2r_{sy}\sigma_s\sigma_y)} \\
 &\quad + \alpha_d r_d \sum_{j=1}^{I_2} e^{m_s + m_y + (1/2)(\sigma_s^2 + \sigma_y^2 + 2r_{sy}\sigma_s\sigma_y)}
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

เมื่อพิจารณาค่าของ $r_{sy} = r$ จะได้ว่า

$$r_{SR} = \frac{2[\ln(\mathcal{G}) - (m_S + m_R)] - (\sigma_S^2 + \sigma_R^2)}{2\sigma_S\sigma_R} \tag{4.11}$$

4.2 การวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด

อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อความหนาแน่นของสัญญาณแทรกสอดถูกประมาณค่าโดยตัวแปรสุ่มล็อกนอร์มอล และการประมาณค่าแบบเกาส์เซียน ค่าอัตราบิตผิดพลาดของระดับสัญญาณที่ได้รับคือ $P_e = Q(e^\alpha)$ เมื่อ α คือตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนดังนี้

$$m_\alpha = \frac{1}{2} \left(\ln \frac{2W}{B} + m_s - m_R \right) \tag{4.12}$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{4} (\sigma_S^2 + \sigma_R^2 - 2r_{SR}\sigma_S\sigma_R) \tag{4.13}$$

เราสามารถหาค่าอัตราบิตผิดพลาดเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\text{BER} = \int_{-\infty}^{\infty} Q(e^\alpha) g(\alpha) d\alpha \tag{4.14}$$

ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของบิตผิดพลาดสามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$\bar{P}_e = \frac{2}{3} Q(e^{m_\alpha}) + \frac{1}{6} Q(e^{m_\alpha + \sqrt{3}\sigma_\alpha}) + \frac{1}{6} Q(e^{m_\alpha - \sqrt{3}\sigma_\alpha}) \tag{4.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นอัตราบิดผิดพลาดเฉลี่ยกับปริมาณต่างๆ โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรที่แสดงถึงระดับการควบคุมกำลังที่ไม่สมบูรณ์ ที่มีผลต่อจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงและข้อมูล โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์มีดังนี้ แบนวิดท์ของระบบ 1.2288 MHz, อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps, อัตราการประมวลผล 128, ค่าอัตราการสั่นไหวของเสียง 3/8, อัตราการสั่นไหวของข้อมูล 1 และค่าการควบคุมกำลังไม่เหมาะสม 1.0 dB โดยพิจารณาจากเอกสารอ้างอิงของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ยอมรับได้สูงสุดคือ 10^{-3} [9] โดยได้แบ่งการวิเคราะห์ดังนี้

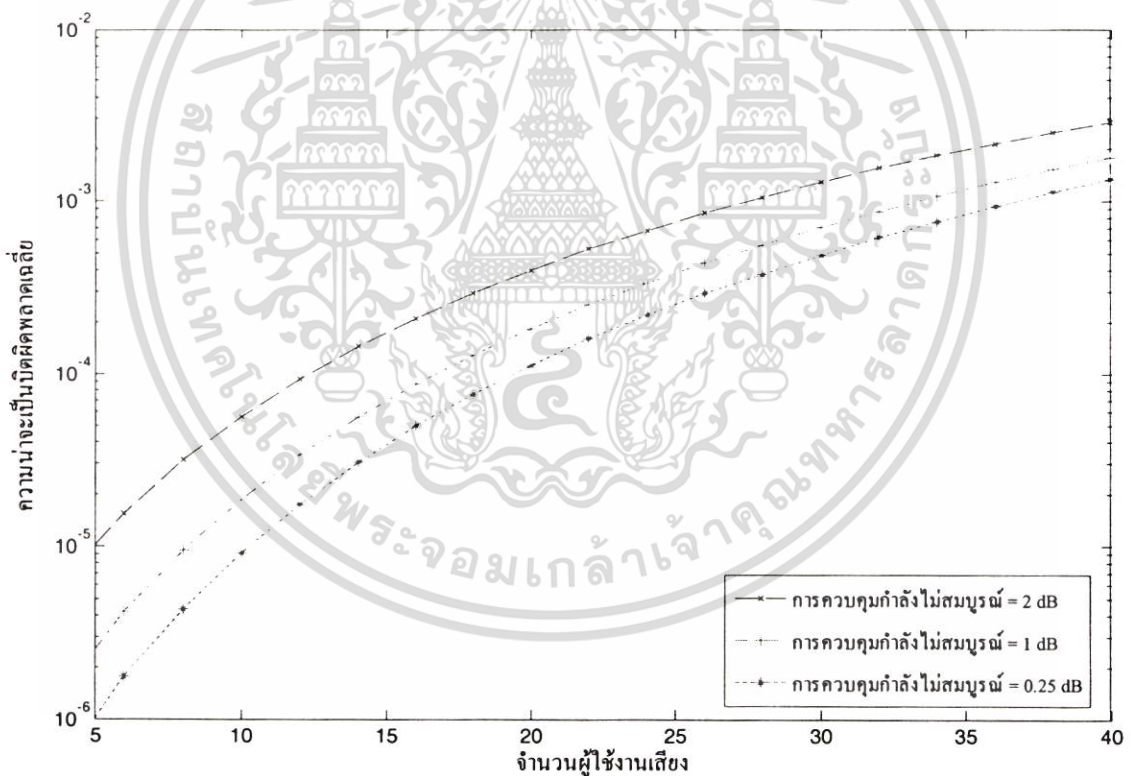
วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง เพื่อพิจารณาผลของจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงตั้งแต่ 5-40 ราย ที่มีผลต่อระบบ โดยพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB และพิจารณาถึงอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps และได้ทำการวิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเพื่อพิจารณาผลต่อระบบของจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลตั้งแต่ 2-25 ราย โดยพิจารณาอัตราสั่นไหวข้อมูลที่ 0.5, 0.8 และ 1 เปรียบเทียบกัน

ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ผลของจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล โดยทำการเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} โดยพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB ที่มีผลกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลตั้งแต่ 1-20 ราย และได้พิจารณาถึงอัตราสั่นไหวข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps ที่มีผลกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลตั้งแต่ 1-17 ราย และพิจารณาถึงอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps ที่มีผลกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลตั้งแต่ 1-11 ราย

และได้ทำการวิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงตั้งแต่ 2-40 ราย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย และสุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดเฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลตั้งแต่ 2-20 ราย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเสียงที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย

5.1 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง

รูปที่ 5.1 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเท่ากับ 6 ราย ค่าอัตราการสิ้นไหลของเสียงและข้อมูลเป็น $3/8$ และ 1 ตามลำดับ อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 ซึ่งพิจารณาค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เป็น 0.25, 1 และ 2 dB จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} จำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงของระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์มีค่าต่ำ (0.25 dB) จะให้จำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงสูงกว่าในระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์มีค่าสูง (2 dB) ซึ่งจะได้จำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงต่างกัน 8 ราย พบว่าระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ยังมีค่าสูงมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานลดลง

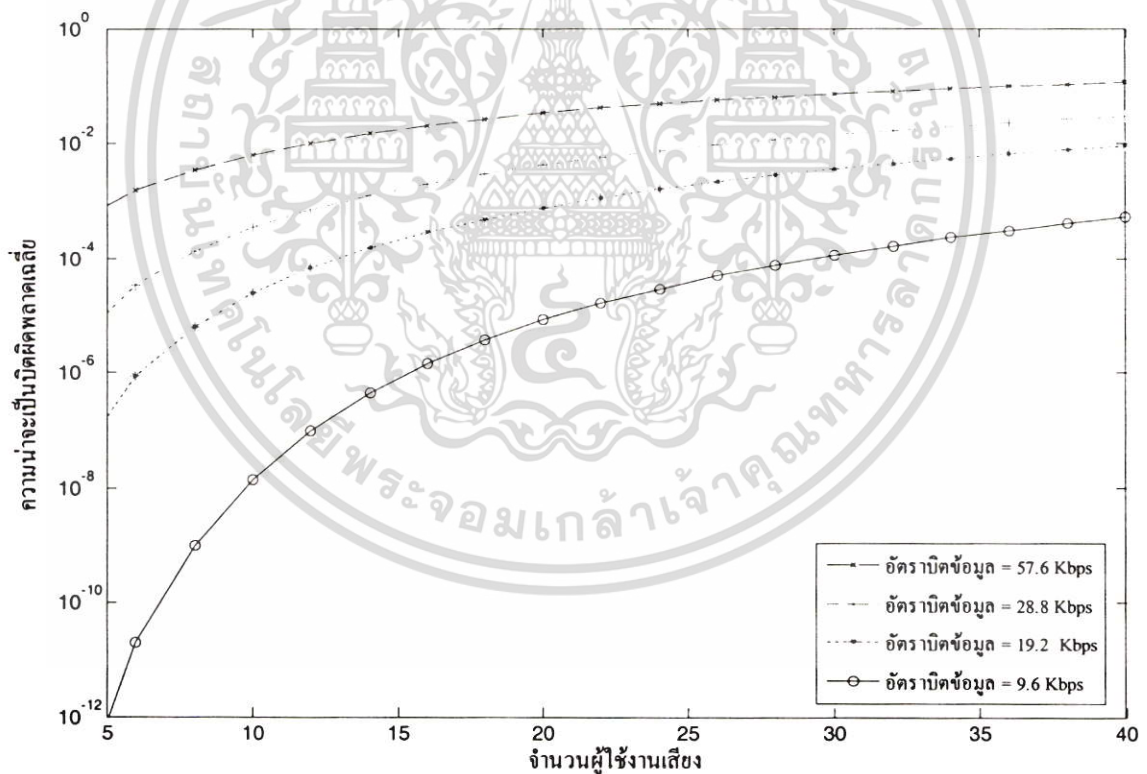


รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานเสียง เมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลของอัตราบิตข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง

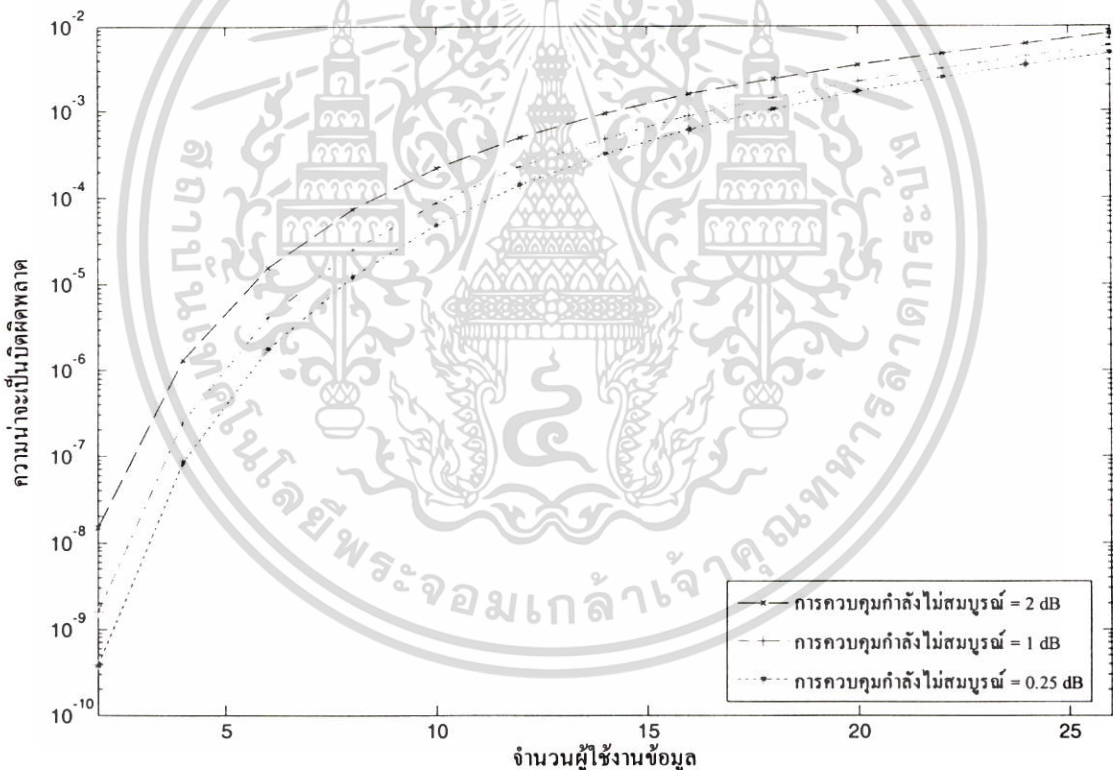
รูปที่ 5.2 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเท่ากันที่ 6 ราย ค่าอัตราการสิ้นไหลของเสียงและข้อมูลเป็น 3/8 และ 1 ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ 1 dB ซึ่งพิจารณาค่าอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps (หรือเป็นการพิจารณาอัตราขยายประมวลผลที่ 128, 64, 42.67 และ 21.34 ตามลำดับ) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ระบบที่มีการใช้งานที่อัตราบิตข้อมูลที่ 57.6 Kbps จะสามารถรองรับผู้ใช้งานด้านเสียงได้เพียง 5 ราย และในระบบที่มีการใช้งานที่อัตราบิตข้อมูลต่ำกว่าที่ 28.8, 19.2 และ 9.6 Kbps จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้นเป็น 15, 22 และ มากกว่า 40 รายตามลำดับ โดยระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงได้ต่างกันประมาณ 40 ราย ซึ่งพบว่าอัตราบิตข้อมูลยิ่งสูงมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้ลดลง



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานเสียง เมื่อพิจารณาอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps

5.3 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล

รูปที่ 5.3 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นกับจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงเท่ากับ 6 ราย ค่าอัตราการเดินทางของเสียงและข้อมูลเป็น $3/8$ และ 1 ตามลำดับ อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 ซึ่งพิจารณาค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เป็น 0.25, 1 และ 2 dB จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลของระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์มีค่าต่ำ (0.25 dB) จะให้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลสูงกว่าในระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์มีค่าสูง (2 dB) ซึ่งจะได้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลต่างกัน 4 ราย พบว่าระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ยังมีค่าสูงมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานลดลง

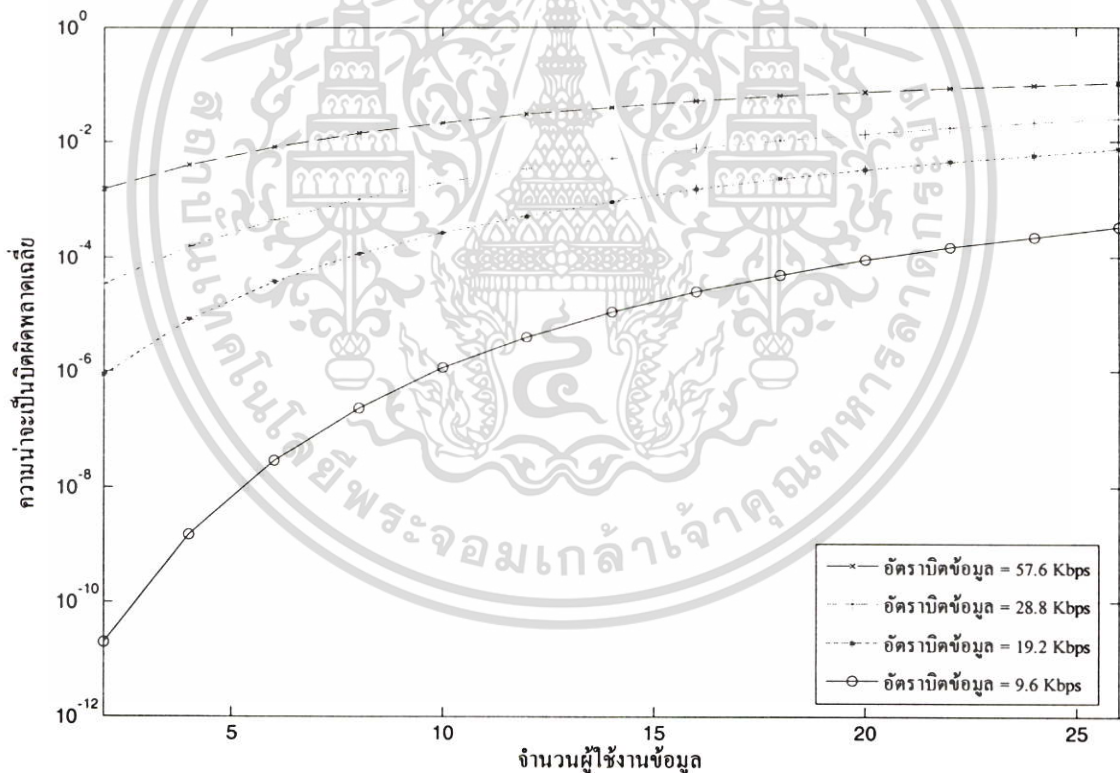


รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.25, 1 และ 2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลของอัตราบิตข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล

รูปที่ 5.4 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ลดลงเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเท่ากับ 6 ราย ค่าอัตราการกลืนไหลของเสียงและข้อมูลเป็น 3/8 และ 1 ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ 1 dB ซึ่งพิจารณาค่าอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps (หรือเป็นการพิจารณาอัตราขยายประมวลผลที่ 128, 64, 42.67 และ 21.34 ตามลำดับ) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ระบบที่มีการใช้งานที่อัตราบิตข้อมูลที่ 57.6 Kbps จะสามารถรองรับผู้ใช้งานด้านเสียงได้เพียง 2 ราย และในระบบที่มีการใช้งานที่อัตราบิตข้อมูลต่ำกว่าที่ 28.8, 19.2 และ 9.6 Kbps จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้นเป็น 10, 16 และ มากกว่า 25 รายตามลำดับ โดยระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงได้ต่างกันประมาณ 30 ราย ซึ่งพบว่าอัตราบิตข้อมูลยิ่งสูงมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้ลดลง

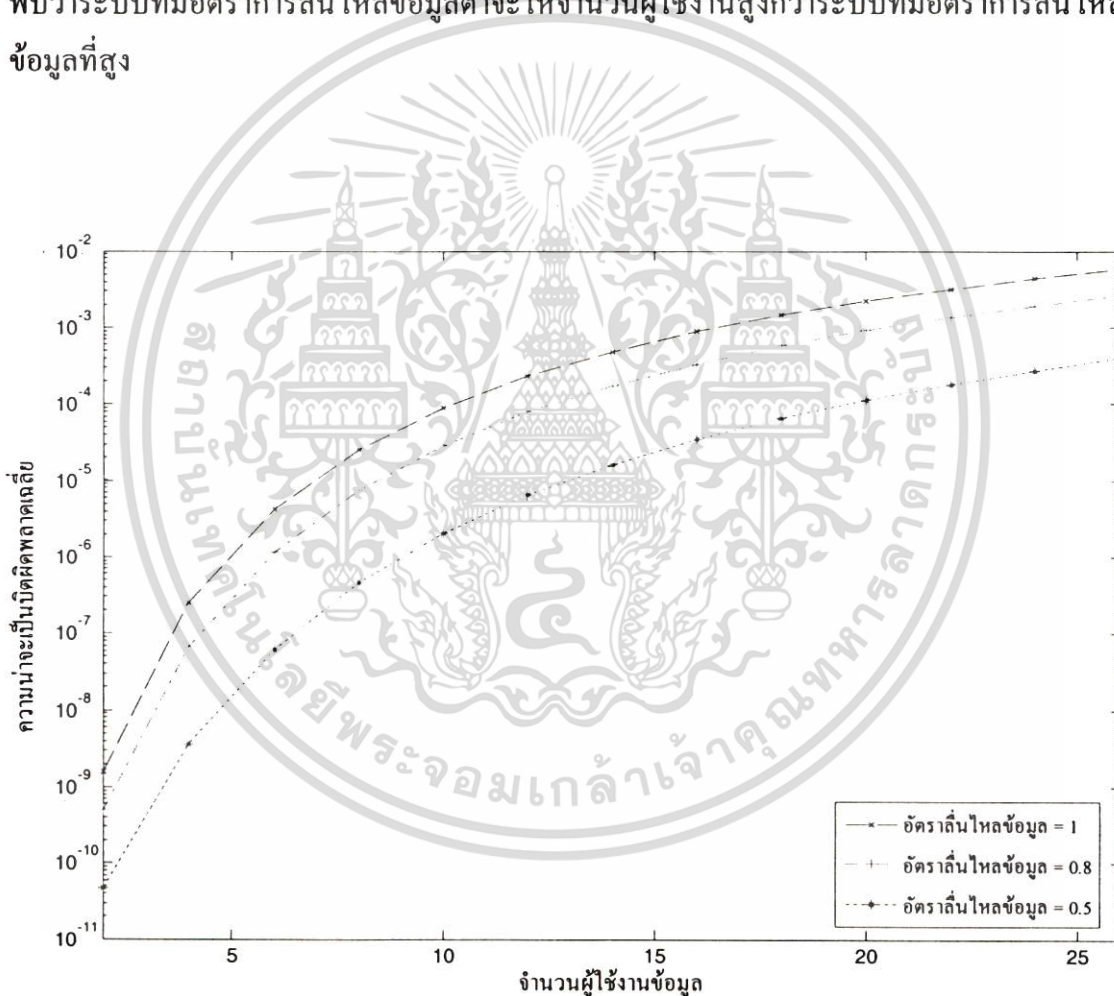


รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ลดลงเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลเมื่อพิจารณาอัตราบิตข้อมูลที่ 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลของอัตราการลื่นไหลของข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล

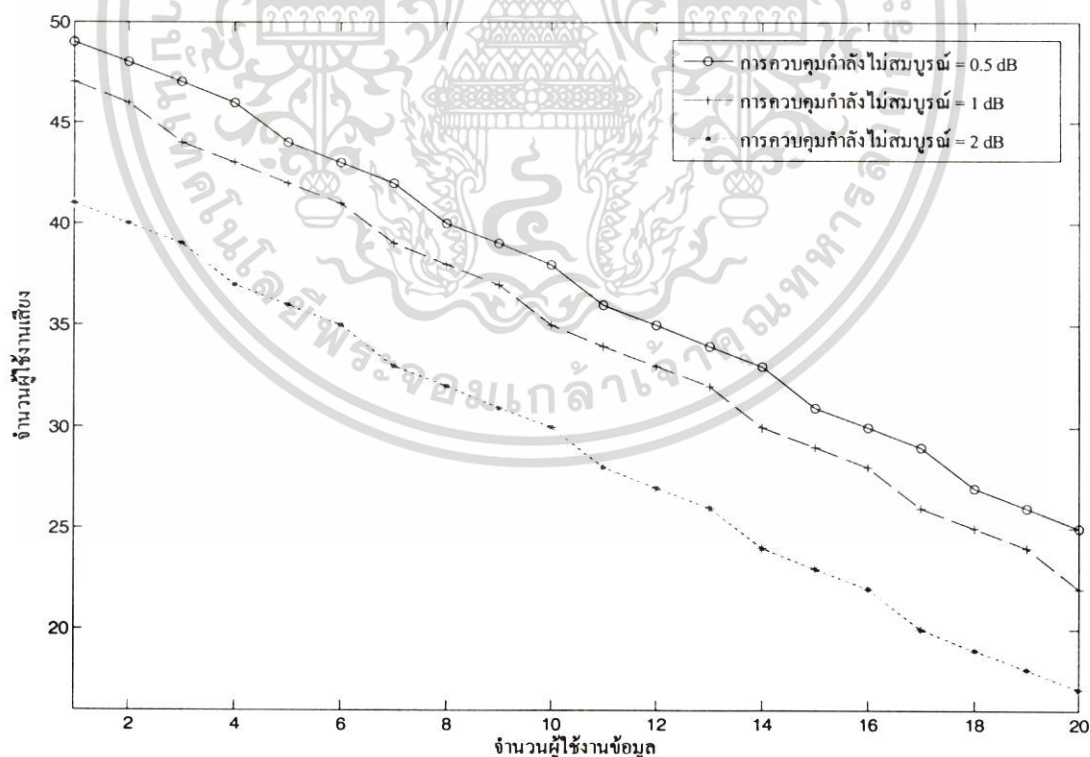
รูปที่ 5.5 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเท่ากับ 6 ราย ค่าอัตราการลื่นไหลของเสียง 3/8 ค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ 1 dB อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 ซึ่งพิจารณาค่าอัตราการลื่นไหลของข้อมูลเท่ากับ 0.5, 0.8 และ 1 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาค่าอัตราการลื่นไหลของข้อมูลเท่ากับ 0.5, 0.8 และ 1 จะให้จำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 17 ราย ซึ่งต่ำกว่าเมื่อระบบมีอัตราการลื่นไหลข้อมูลต่ำกว่าคือเมื่ออัตราการลื่นไหลข้อมูลเท่ากับ 0.8 และ 0.5 จะให้จำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 21 และ มากกว่า 26 ราย ซึ่งพบว่าระบบที่มีอัตราการลื่นไหลข้อมูลต่ำจะให้จำนวนผู้ใช้งานสูงกว่าระบบที่มีอัตราการลื่นไหลข้อมูลที่สูง



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าอัตราการลื่นไหลข้อมูลที่ 0.5, 0.8 และ 1

5.6 ผลของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานเสียง

รูปที่ 5.6 แสดงจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง กำหนดค่าอัตราการลื่นไหลของเสียงและข้อมูลเป็น 3/8 และ 1 ตามลำดับ อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ซึ่งพิจารณาค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เป็น 0.5, 1 และ 2 dB จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาระบบมีผู้ใช้งานด้านเสียง 40 ราย ระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้งานข้อมูลได้เพียง 3 รายเมื่อระบบมีค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 2 dB และจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลมากขึ้นเมื่อมีค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ต่ำลงที่ 1 และ 0.5 dB คือได้จำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 7 และ 8 รายตามลำดับ ซึ่งพบว่าระบบที่มีความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ยิ่งมีค่าสูงมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานลดลง และเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเสียงจำนวนมาก (40-50 ราย) ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้น้อย (1-6 ราย) ในขณะที่จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลจำนวนมาก (16-20 ราย) จะได้จำนวนผู้ใช้งานเสียงจำนวนใกล้เคียงกัน (20–25 ราย)

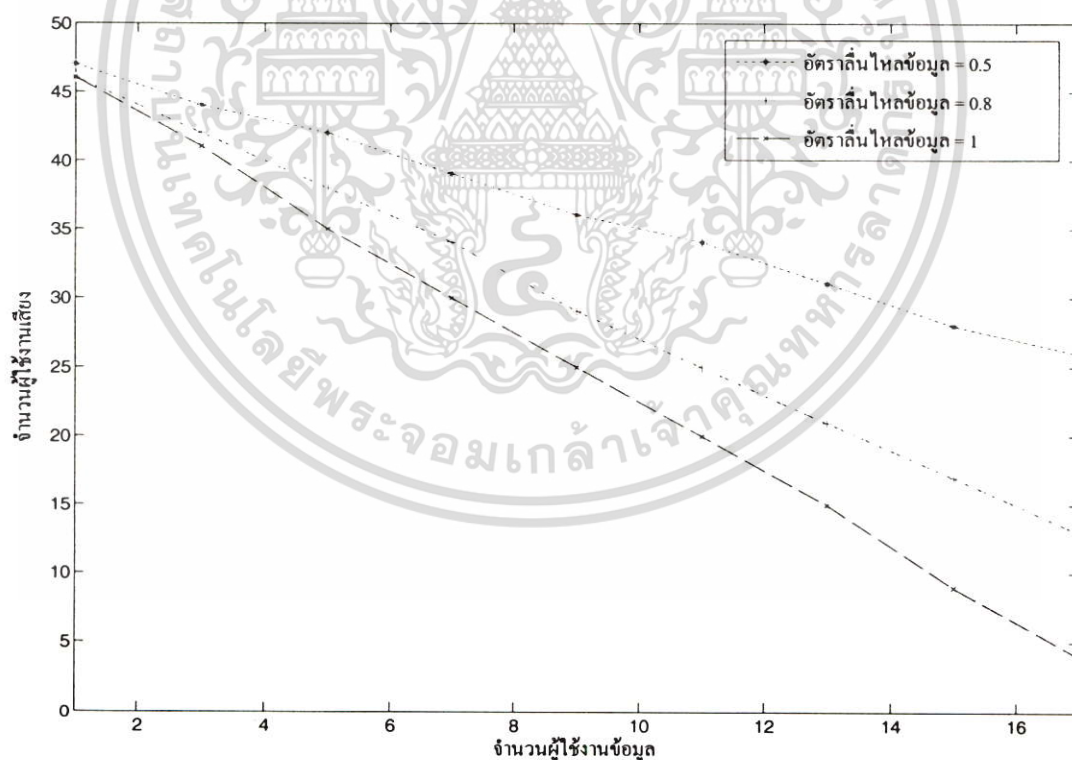


รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ที่ 0.5, 1 และ 2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ผลของอัตราสิ้นไหลข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานเสียง

รูปที่ 5.7 แสดงจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง กำหนดค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เป็น 1 อัตราการสิ้นไหลของเสียง $3/8$ อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ซึ่งพิจารณาค่าอัตราการสิ้นไหลข้อมูลมีค่า 0.5, 0.8 และ 1 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาระบบมีผู้ใช้งานด้านข้อมูลเพียง 2 ราย เมื่ออัตราสิ้นไหลข้อมูลทั้ง 3 ค่า ระบบจะสามารถรองรับผู้ใช้งานเสียงได้ 46 ราย ซึ่งเมื่อจำนวนผู้ใช้งานต่ำ อัตราสิ้นไหลข้อมูลจะมีผลได้จำนวนผู้ใช้งานเสียงได้มากใกล้เคียงกัน ในขณะที่พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลจำนวนมากขึ้น (16 ราย) ค่าอัตราการสิ้นไหลข้อมูลที่ 0.5 ได้จำนวนผู้ใช้งานเสียง 26 ราย และเมื่ออัตราสิ้นไหลข้อมูลสูงขึ้นเป็น 0.8 และ 1 ระบบได้จำนวนผู้ใช้งานเสียง 13 และ 4 รายตามลำดับ ซึ่งได้จำนวนผู้ใช้งานเสียงแตกต่างกัน 12 ราย และพบว่าอัตราสิ้นไหลข้อมูลจะมีผลมากเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลมากขึ้น

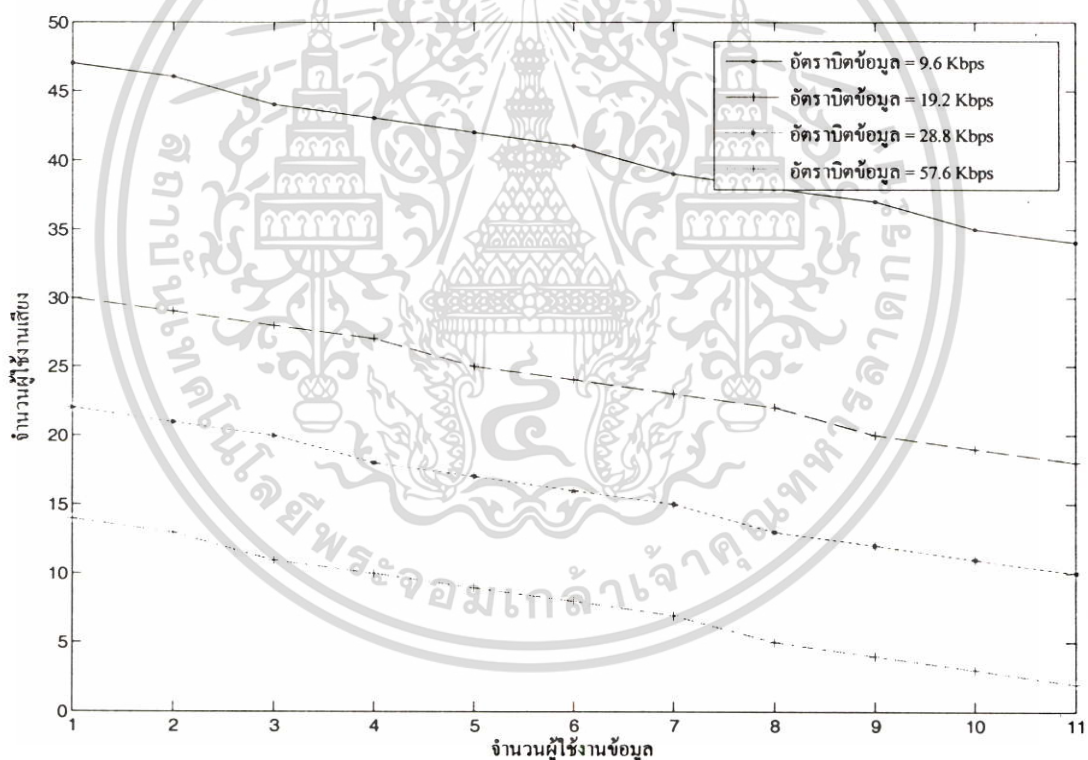


รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าอัตราการสิ้นไหลข้อมูล 0.5, 0.8 และ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 ผลของอัตราบิตข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานเสียง

รูปที่ 5.8 แสดงจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง กำหนดค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์เป็น 1 อัตราการลื่นไหลของเสียงและข้อมูล 3/8 และ 1 ตามลำดับ อัตราบิตข้อมูล 9.6 Kbps และ อัตราขยายประมวลผล 128 โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ซึ่งพิจารณาอัตราบิตข้อมูลมีค่า 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาระบบมีผู้ใช้งานด้านข้อมูลเพียง 1 ราย ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานเสียงได้ 48, 30, 22 และ 14 รายตามลำดับ และเมื่อระบบมีผู้ใช้งานด้านข้อมูล 10 ราย ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานเสียงได้ 34, 18, 10 และ 2 รายตามลำดับ ซึ่งมีลคจำนวนลงอย่างสม่ำเสมอเท่ากันเมื่ออัตราบิตข้อมูลต่างๆกัน

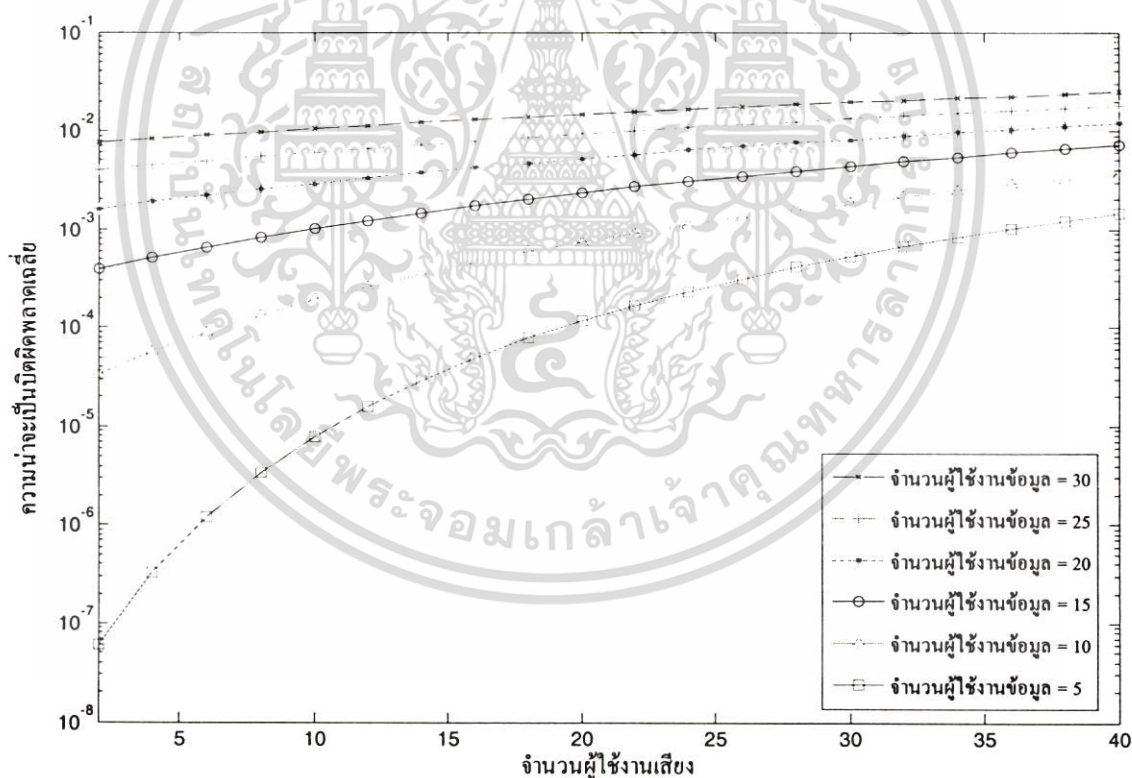


รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล เมื่อพิจารณา ค่าอัตราบิตข้อมูล 9.6, 19.2, 28.8 และ 57.6 Kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 ผลของจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง

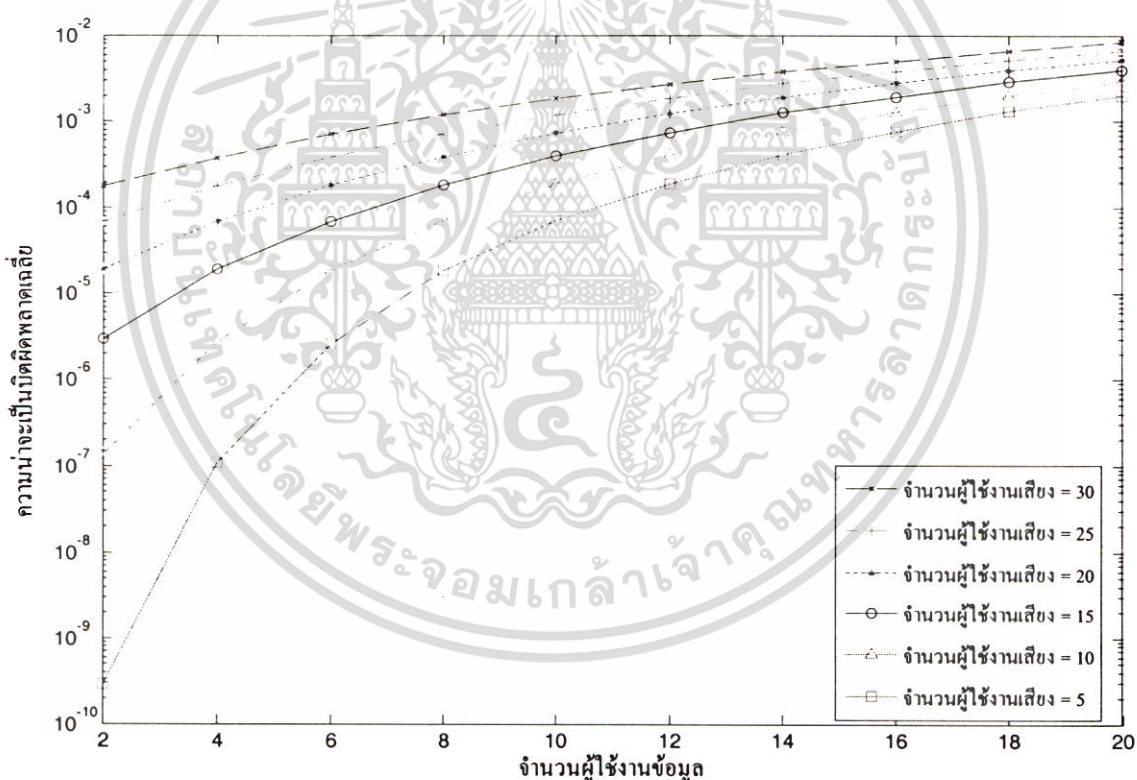
รูปที่ 5.9 แสดงความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง โดยกำหนดให้อัตราบิตข้อมูลที่ 9.6 Kbps อัตราขยายประมวลผลที่ 128 ค่าอัตราการถิ่นไหลของเสียงและข้อมูลเป็น $3/8$ และ 1 ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ 1 dB ซึ่งพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลจำนวน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้ไม่เกิน 20 รายเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเสียง 2 ราย และเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเสียง 40 รายจะไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้เลย และเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 5 รายสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานเสียงได้ 35 ราย เมื่อจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลที่ 10, 15 และ 20 ราย ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานเสียงได้ 25, 10 และ 2 รายตามลำดับ ซึ่งเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเสียงมากขึ้นระบบจะไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานเสียงกับความน่าจะเป็นผิดพลาดเฉลี่ย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานข้อมูล 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย

5.10 ผลของจำนวนผู้ใช้งานเสียงเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล

รูปที่ 5.10 แสดงความน่าจะเป็นบิตผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูล โดยกำหนดให้อัตราบิตข้อมูลที่ 9.6 Kbps อัตราขยายประมวลผลที่ 128 ค่าอัตราการสั้นไหลของเสียงและข้อมูลเป็น 3/8 และ 1 ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ 1 dB ซึ่งพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเสียงจำนวน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นบิตผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ที่ 10^{-3} ระบบจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้ 17, 15, 13, 11, 9 และ 7 รายตามลำดับ ระบบจะรองรับจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลได้ไม่เกิน 16 รายเมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานเสียง 5 ราย เมื่อพิจารณาพบว่าระบบจะรองรับผู้ใช้งานข้อมูลได้มากเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเสียงน้อย โดยจำนวนผู้ใช้งานเสียงมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงแต่จำนวนผู้ใช้งานข้อมูลจะมีอัตราการเพิ่มต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียง



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้งานข้อมูลกับความน่าจะเป็นบิตผิดพลาดเฉลี่ย เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเสียง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในระบบ IS-95B หรือ CdmaOne เป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาในยุค 2.5G ผู้ใช้สามารถส่งสัญญาณไปในแบนด์วิธที่เดียวกันในเวลาเดียวกันโดยใช้รหัสพีเอ็น (Pseudo-Noise : PN) ที่ต่างกัน ขั้นตอนการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งออกเริ่มด้วยการนำสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีอัตราของบิตข้อมูลค่อนข้างต่ำ (เช่น 9,600 bps) มาคูณกับสัญญาณพีเอ็นซึ่งมีอัตราของบิตข้อมูลที่สูงกว่ามาก (1.228 Mcps) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลที่อัตราการส่งสูงกว่าสัญญาณเสียงที่ต้องการจะส่งมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัม (spread spectrum) เกิดขึ้นและแบนด์วิธของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลนี้ก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยคือ 1.25 MHz สัญญาณที่ผ่านกระบวนการการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัมแล้วมักจะใช้ Mcps แทน Mbps ส่วนของภาครับสัญญาณที่ปลายทางก็จะทำการถอดการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัม (despread) สัญญาณที่รับได้เพื่อดึงสัญญาณเสียงเดิมกลับคืนมา ในการถอดการแพร่กระจายคลื่นสเปกตรัมสัญญาณนั้นจะอาศัยวงจรคอร์เรเลเตอร์ (correlator) ซึ่งทำหน้าที่คูณสัญญาณที่ได้รับกับพีเอ็นชุดเดิมซึ่งเหมือนกันกับการคูณที่ภาคส่งและจากนั้นก็หาค่าเฉลี่ยของสัญญาณทุกๆ หนึ่งคาบของอัตราบิตข้อมูลของสัญญาณเสียง สัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งออกไม่จำเป็นต้องเป็นสัญญาณเสียงเท่านั้น อาจเป็นสัญญาณข้อมูลแบบอื่นก็ได้ ซึ่งค่าความจุของระบบจะขึ้นอยู่กับสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ที่ใช้ที่อยู่ในเซลล์เดียวและในเซลล์ข้างเคียงโดยปกติถ้าไม่มีการควบคุมกำลังส่งจะทำให้สัญญาณที่มาถึงเครื่องรับที่สถานีฐานของแต่ละช่องสัญญาณจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากปรากฏการณ์ โกล้-ไกล ซึ่งเกิดจากการรับกำลังของสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ใกล้สูงกว่ากำลังของสัญญาณจากเครื่องส่งที่อยู่ไกลกว่า นอกจากนี้ยังเกิดจากผลของการบดบังซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B โดยพิจารณาการใช้บริการเสียงและข้อมูลซึ่งการหาค่าดังกล่าวจะมีการแสดงให้เห็น โดยค่าของความน่าจะเป็นของการผิดพลาดซึ่งรองรับผู้ใช้งานที่มีการส่งสัญญาณด้านเสียงและข้อมูล โดยพิจารณากรณีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ และทำการวิเคราะห์ หาค่าอัตราบิตข้อมูลผิดพลาด และความจุของระบบเปรียบเทียบพิจารณาเพื่อรองรับผู้ใช้งานด้านเสียงและข้อมูล โดยแสดงให้เห็นถึงแฟกเตอร์สองค่าที่มีผลกับระบบคือ อัตราขยายประมวลผล และค่าอัตราสิ้นไหลของข้อมูล ซึ่งจากผลที่ได้อัตราขยายประมวลผลและค่าอัตราสิ้นไหลของข้อมูลมีผลทำให้ระบบรองรับผู้ใช้งานลดลงเมื่ออัตราขยายประมวลผลมีค่าน้อยและค่าอัตราสิ้นไหลของข้อมูลมีค่ามากตามลำดับ ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานด้านเสียงจะลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้งานด้านข้อมูลเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความจุช่องสัญญาณของระบบ IS-95B โดยพิจารณาที่ค่าผลของอัตราบิดผิดพลาด ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากแฟคเตอร์ต่างๆทำให้เกิดแนวความคิดในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบให้รองรับผู้ใช้บริการทั้งทางด้านเสียงและข้อมูลให้ได้มากขึ้น การวิเคราะห์จะมีการเปรียบเทียบให้เห็นในเรื่องของการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Sumit and S. Chakrabarti, "Outage analysis of cellular CDMA for integrated voice and data services with correlated signal and interference," IEEE Personal Wireless Communications, pp.249-253, Dec. 2000.
- [2] J.M. Romeo, M. Ruiz Garcia and A. Diaz Estrella, "Effects of power control errors and multipath fading on BER in a cellular CDMA system," IEEE Trans. on Vehicular Technol, pp.2593-2598, Sept. 2000.
- [3] D. Ayyagari and A. Ephremides, "Cellular multicode CDMA capacity for integrated (voice and data) services," IEEE Trans. on Selected area in communications, pp.928-938, May 1999.
- [4] G.E. Corazza, G.D. Maio and F. Vatalao, "CDMA cellular system performance with fading, shadowing and imperfect power control," IEEE Trans. on Vehicular Technol, pp.450-459, May 1998.
- [5] ลัญฉกร วุฒิสัทธาธิกุลกิจ, หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542
- [6] T.S.Rappaport., Wireless Communication., New Jersey., Prentice Hall PRT.
- [7] S.Glisic and B.Vucetic, Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications. London, Artech House, 1997.
- [8] P. Wong, D. Brieland, Mobile Data Communications System., Boston, Artech House, 1995.
- [9] Neil J. Boucher, The Cellular Radio Handbook : A Reference for Cellular System Operation., Wiley-Interscience Publication, 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ทฤษฎีความน่าจะเป็นและกระบวนการเฟ้นสุ่ม

ทฤษฎีความน่าจะเป็นและกระบวนการเฟ้นสุ่ม (Stochastic process) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญในการออกแบบระบบสื่อสารแบบดิจิทัล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในแบบจำลองทางสถิติของแหล่งกำเนิดที่สร้างข้อมูล ในการแปลงเป็นเชิงเลข (digitization) ของแหล่งกำเนิดเอาต์พุต (output) ในการอธิบายคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ทำการส่งสัญญาณทางดิจิทัลออกไป ในการออกแบบเครื่องรับที่จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ผ่านทางช่องสัญญาณและในการหาค่าสมรรถนะของระบบสื่อสาร ในหัวข้อนี้จะทำการกล่าวถึงคำนิยามและพื้นฐานของทฤษฎีความน่าจะเป็นและกระบวนการเฟ้นสุ่มและกล่าวถึงส่วนที่มีความสำคัญในการออกแบบระบบสื่อสารดิจิทัลที่มีคุณภาพและในการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของระบบ

ก.1 ความน่าจะเป็น

พิจารณาการทดลองโดยการทอดลูกเต๋ากับจำนวนผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในเอกภพสัมพัทธ์ s ของการทดลองประกอบไปด้วยเซต ที่ประกอบไปด้วยสมาชิกที่เป็นผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในที่นี้

$$s = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \quad (ก.1)$$

โดยที่จำนวนเต็ม $1, \dots, 6$ แสดงถึงจำนวนจุดบนหน้าลูกเต๋าสี่เหลี่ยมซึ่งค่าทั้ง 6 นี้เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ของการทดลองเหตุการณ์ที่เป็นเซตย่อยของ s ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นส่วนหนึ่งของเอกภพสัมพัทธ์ของการทดลอง ตัวอย่างเช่นพิจารณาเหตุการณ์ A

$$A = \{2, 4\} \quad (ก.2)$$

ซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกคือ $\{2, 4\}$ คอมพลีเมนต์ของ A เขียนเป็น \bar{A} คือสมาชิกที่อยู่ใน s แต่ไม่อยู่ใน A เขียนได้เป็น

$$\bar{A} = \{1, 3, 5, 6\} \quad (ก.3)$$

เหตุการณ์ 2 เหตุการณ์กล่าวว่าจะเป็น เหตุการณ์ไม่เกิดร่วม (mutually exclusive event) กัน

ถ้าเหตุการณ์ทั้ง 2 ไม่มีสมาชิกร่วมกัน เช่นถ้าเหตุการณ์ B คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุการณ์ 2 เหตุการณ์กล่าวว่าจะเป็น เหตุการณ์ไม่เกิดร่วม (mutually exclusive event) กัน ถ้าเหตุการณ์ทั้ง 2 ไม่มีสมาชิกร่วมกัน เช่นถ้าเหตุการณ์ B คือ

$$B = \{1,3,6\} \quad (ก.4)$$

นั่นคือเหตุการณ์ A และ B เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วม ต่อกันในทำนองเดียวกัน A และ \bar{A} ก็เป็นเหตุการณ์ที่ เหตุการณ์ไม่เกิดร่วม ต่อกัน

การยูเนียนของเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ จะเป็นเหตุการณ์ที่ประกอบไปด้วยสมาชิกรวมของ เหตุการณ์ทั้ง 2 เช่นกำหนดเหตุการณ์ C เป็น

$$C = \{1,2,3\} \quad (ก.5)$$

ให้ D เป็นผลของการยูเนียนเหตุการณ์ B และ C จะได้ว่า

$$\begin{aligned} D &= B \cup C \\ D &= \{1,2,3,6\} \end{aligned} \quad (ก.6)$$

ในทำนองเดียวกัน $A \cup \bar{A} = S$ จะได้ออกภพสัมพัทธ์ของเหตุการณ์ ในทางกลับกันการ อินเตอร์เซกชัน ของเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ ที่เป็นสมาชิกร่วมของเหตุการณ์ทั้ง 2 เช่นถ้าให้ $E = B \cap C$ จะได้ว่า

$$E = \{1,3\} \quad (ก.7)$$

เมื่อเหตุการณ์ทั้ง 2 เป็น เหตุการณ์ไม่เกิดร่วมกันผลของการอินเตอร์เซกชันจะได้เซตว่าง \emptyset เช่น $A \cap B = \emptyset$ ซึ่งผลของการยูเนียนและอินเตอร์เซกชันสามารถนำไปใช้กับกรณีที่มีมากกว่า 2 เหตุการณ์ได้เช่นกัน

โอกาสของการเกิดเหตุการณ์ใดๆคือค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นั้น ซึ่งสอดคล้องกับสัจพจน์ต่อไปนี้

สัจพจน์ที่ 1	$P(A) \geq 0$	สำหรับทุกเหตุการณ์ A
สัจพจน์ที่ 2	$P(s) = 1$	สำหรับทุกเหตุการณ์ s

ถ้า $A_i, i = 1, 2, \dots$ เป็นเหตุการณ์ที่เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วมกัน ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ s นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_i \cap A_j = \phi \quad (\text{ก.8})$$

โดยที่ $i \neq j = 1, 2, \dots$ ดังนั้นความน่าจะเป็นของยูเนียนของเหตุการณ์ที่เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วมดังกล่าวจะมีเงื่อนไขดังนี้

$$P\left(\bigcup_i A_i\right) = \sum_i P(A_i) \quad (\text{ก.9})$$

ก.2 เหตุการณ์ร่วมและความน่าจะเป็นร่วม (joint events and joint probability)

เมื่อทำการทดลอง 2 การทดลองและพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้เช่นการทดลองทั้งสองอาจเป็นการทอดลูกเต๋าลูกเดียว 2 ครั้ง หรือการทอดลูกเต๋า 2 ลูก 1 ครั้ง ในแต่ละกรณีเอกภพสัมพัทธ์ Ω จะประกอบไปด้วยสมาชิก 36 สมาชิก ซึ่งแสดงได้โดยพิกัด (i, j) โดย $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ถ้ากำหนดให้ลูกเต๋าดังกล่าวมีความน่าจะเป็นของการเกิดหน้าต่างๆเท่ากัน ดังนั้นแต่ละสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์จะมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/36$ เราอาจพิจารณาถึงเหตุการณ์ร่วมเช่น $\{i \text{ เป็นจำนวนคู่ } j=3\}$ และหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังกล่าวได้

โดยทั่วไปการทดลองที่ 1 มีผลลัพธ์ที่ได้คือ $A_i, i = 1, 2, \dots, n$ และการทดลองที่ 2 มีผลลัพธ์ที่ได้คือ $B_j, j = 1, 2, \dots, m$ ดังนั้นการทดลองร่วมจะได้ผลลัพธ์คือ $(A_i, B_j), i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, m$ ให้ความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ร่วม (A_i, B_j) คือ $P(A_i, B_j)$ ซึ่งตรงกับเงื่อนไขดังนี้คือ

$$0 \leq P(A_i, B_j) \leq 1 \quad (\text{ก.10})$$

สมมติให้ผลลัพธ์ $B_j, j = 1, 2, \dots, m$ เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วมจะได้ว่า

$$\sum_{j=1}^m P(A_i, B_j) = P(A_i) \quad (\text{ก.11})$$

ในทำนองเดียวกัน $A_i, i = 1, 2, \dots, n$ เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วมจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^n P(A_i, B_j) = P(B_j) \quad (\text{ก.12})$$

และถ้าผลลัพธ์ของการทดลองทั้ง 2 เป็นเหตุการณ์ไม่เกิดร่วมกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M P(A_i, B_j) = 1 \quad (\text{ก.13})$$

ก.3 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข

พิจารณาเหตุการณ์ร่วมที่มีความน่าจะเป็นคือ $P(A,B)$ สมมติให้เหตุการณ์ B เกิดขึ้นแล้วและต้องการแสดงความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ A เรียกว่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ A เมื่อเกิดเหตุการณ์ B ขึ้นแสดงได้โดย

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \quad \text{โดย } P(B) > 0 \quad (\text{ก.14})$$

ในทำนองเดียวกันความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B เมื่อเกิดเหตุการณ์ A ขึ้นคือ

$$P(B|A) = \frac{P(A,B)}{P(A)} \quad \text{โดย } P(A) > 0 \quad (\text{ก.15})$$

ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ทั้ง 2 แสดงได้โดย

$$P(A,B) = P(A|B)P(B) = P(B|A)P(A) \quad (\text{ก.16})$$

ก.4 การมีอิสระเชิงสถิติ (statistical Independence)

พิจารณาเหตุการณ์ A และ B และความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $P(A|B)$ สมมติว่าเหตุการณ์ A ไม่ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ B จะได้ว่า

$$\begin{aligned} P(A|B) &= P(A) \\ P(A,B) &= P(A)P(B) \end{aligned} \quad (\text{ก.17})$$

เมื่อเหตุการณ์ A และ B เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวเหตุการณ์ A และ B จะเป็นเหตุการณ์อิสระเชิงสถิติต่อกัน

ก.5 ตัวแปรสุ่ม การแจกแจงของความน่าจะเป็น และความหนาแน่นของการแจกแจงของความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการทดลองที่มีเอกภพสัมพัทธ์ S และให้ $s \in S$ กำหนดให้ $X(s)$ มีโดเมนคือ S ซึ่งมีพิสัย (range) คือเซตของจำนวนจริง ดังนั้นเรียก $X(s)$ ว่าตัวแปรสุ่ม เช่นทอยเหรียญผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะเป็นหัว (H) และก้อย (T) ดังนั้น S ประกอบไปด้วยสมาชิก 2 ตัวคือ H และ T สมมติ $X(s)$ คือ

$$X(s) = \begin{cases} 1, (s = H) \\ -1, (s = T) \end{cases} \quad (\text{ก.18})$$

ดังนั้นสามารถโยงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งสองของการทอยเหรียญกับจุดทั้งสอง (1,-1) บนแกนจำนวนจริงได้

พิจารณาตัวแปรสุ่ม X ที่เหตุการณ์ $\{X \leq x\}$ โดย x คือจำนวนจริงใดๆในช่วง $(-\infty, +\infty)$ ดังนั้นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงได้โดย $P(X \leq x)$ หรือ $F(x)$ นั่นคือ

$$F(x) = P(X \leq x), (-\infty < x < \infty) \quad (\text{ก.19})$$

เรียก $F(x)$ ว่าฟังก์ชันการแจกแจงของความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function : PDF) ของตัวแปรสุ่ม X หรือเรียกอีกอย่างได้ว่า ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function : CDF)

คุณสมบัติของ $F(x)$

- 1) $0 \leq F(x) \leq 1$
- 2) $F(x_1) \leq F(x_2) \text{ เมื่อ } x_1 \leq x_2$
- 3) $F(-\infty) = 0$
- 4) $F(+\infty) = 1$

เมื่อทำการหาค่าเชิงอนุพันธ์ของ $F(x)$ แสดงได้โดย $p(x)$ ซึ่งเรียกว่าความหนาแน่นของการแจกแจงของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X ดังนั้น

$$p(x) = \frac{dF(x)}{dx}, (-\infty < x < +\infty) \quad (\text{ก.20})$$

หรือ

$$F(x) = \int_{-\infty}^x p(x) dx, (-\infty < x < +\infty) \quad (\text{ก.21})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 p(x_1 \leq X \leq x_2) &= p(X \leq x_2) - p(X \leq x_1) \\
 &= F(x_2) - F(x_1) \\
 &= \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx
 \end{aligned}
 \tag{ก.22}$$

คุณสมบัติของ PDF

$$\begin{aligned}
 1) & p(x) \geq 0 \\
 2) & \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = F(+\infty) - F(-\infty) = 1
 \end{aligned}$$

ก.6 การหาค่าเฉลี่ยทางสถิติของตัวแปรสุ่ม

พิจารณาตัวแปรสุ่ม X ซึ่งมี PDF คือ $p(x)$ ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดคะเนของ X แสดงได้โดย

$$E(x) \equiv m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x) dx \tag{ก.23}$$

โดย $E(\cdot)$ แสดงถึงค่าคาดคะเน ซึ่งเป็นโมเมนต์แรกของตัวแปรสุ่ม X สำหรับกรณีของโมเมนต์ที่ m แสดงได้โดย

$$E(x^m) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^m p(x) dx \tag{ก.24}$$

กำหนดให้ $Y=g(X)$ โดย $g(X)$ คือ ฟังก์ชันใดๆของตัวแปรสุ่ม X ค่าคาดคะเนของ Y คือ

$$E(y) = E[g(x)] = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x)p(x) dx \tag{ก.25}$$

ถ้าให้ $Y=(x-x_0)^n$ จะได้ว่า

$$E[(x-x_0)^n] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x-x_0)^n p(x) dx \tag{ก.26}$$

ถ้า x_0 เป็นค่าคาดคะเนของตัวแปรสุ่ม X หรือ m_x แทนค่าลงไปจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E[(x - m_x)^n] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^n p(x) dx \quad (ก.27)$$

เรียกสมการที่ ก.27 ว่าเป็นค่าโมเมนต์กลางของตัวแปรสุ่ม X

ถ้าให้ $n=2$ สมการที่ ก.27 จะเรียกว่า ความแปรปรวน (variance) ของตัวแปรสุ่มแสดงได้โดย σ_x^2 นั่นคือ

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 p(x) dx = E(X^2) - m_x^2 \quad (ก.28)$$

ในกรณีของตัวแปรสุ่ม 2 ตัว X_1 และ X_2 ซึ่งมี PDF ร่วมคือ $p(x_1, x_2)$ ทำการแสดงโมเมนต์ร่วมคือ

$$E[(X_1^k X_2^n)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x_1^k x_2^n p(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (ก.29)$$

และโมเมนต์ศูนย์กลางร่วมคือ

$$E[(X_1 + m_1)^k (X_2 - m_2)^n] = \int \int (x_1 - m_1)^k (x_2 - m_2)^n p(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (ก.30)$$

โดย $m_1 = E(X_1)$ ในกรณีที่ $k=n=1$ สมการ ก.29 และ ก.30 จะเรียกว่า สหสัมพันธ์ (correlation) และความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (covariance) ของตัวแปรสุ่ม x_1 และ x_2 ตามลำดับ

ถ้าตัวแปรสุ่มทั้งสองไม่สหสัมพันธ์กัน (uncorrelated) คือ $E(X_1 X_2) = E(X_1)E(X_2) = m_1 m_2$ ซึ่งทำให้ค่า ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว นั่นคือถ้าตัวแปรสุ่ม X_1 และ X_2 เป็นอิสระต่อกันและถ้า $E(X_1 X_2) = 0$ กล่าวได้ว่าตัวแปรสุ่ม X_1 และ X_2 มีลักษณะเชิงตั้งฉากต่อกัน (orthogonal)

ภาคผนวก ข.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. K.Somsuda, N.Suthichai and L.Nipha, “Analysis Effects of Power Control Errors on BER for Integrated (Voice and Data) Services” IASTED International Conference on Network and Communication Systems (NCS2005), Krabi, Thailand, April 18-20, 2005.
2. สมสุดา เกิดศิษฐ์ สุทธิชัย นพนาตีพงษ์. “การวิเคราะห์ความจุของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ บริการด้านเสียงและข้อมูล” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 21, ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2547.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The IASTED International Conference on
Networks and Communication Systems
 ~NCS 2005~

CONFERENCE PROGRAM

Krabi, Thailand
April 18 - 20, 2005

SPONSOR

The International Association of Science and
 Technology for Development (IASTED)

- Technical Committee on Communications

LOCATION

Maritime Park and Spa Resort
 1 Tungfah Rd., T. Paknam
 A. Muang, Krabi 81000
 Thailand

Tel: 66-75-620-028, Fax: 66-75-632-660

CONFERENCE CHAIRS

Dr. M.H. Hamza - IASTED, Canada

Dr. P. Prapinmonkolakorn - Chulalongkorn University, Thailand

Dr. T. Angkaew - Chulalongkorn University, Thailand

KEYNOTE SPEAKERS

Prof. Khaled Ben Letaief - Hong Kong University of Science and Technology, PRC

General Choochart Promphrasid - National Telecommunications Commission, Thailand

TUTORIAL PRESENTER

Prof. Ray Hunt - University of Canterbury, New Zealand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS EFFECTS OF POWER CONTROL ERRORS ON BER FOR INTEGRATED (VOICE AND DATA) SERVICES

K. Somsuda, N.Suthichai and L.Nipha

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Phone: (662) 326 8509 Fax: (662) 326 9086 Email: s3061129@kmitl.ac.th

ABSTRACT An analytical approach for capacity of direct sequence-code division multiple access cellular. The capacity is compared between only number of voice and number of voice users and data users. The effect two different factors on capacity is power control error, processing gain and data user activity. By making use of these expressions, the mean block error probability is analyzed as a function of these functions.

Key word: CDMA, power control error (PCE), data activity.

1. Introduction

Future wireless systems, CDMA is considered to be a potential candidate for supporting multimedia traffic (voice, higher rates of data) in cellular systems is well known that, in cellular CDMA systems, power control is essential for good performance. However, in a practical power control system, power control errors occur. In addition, when uplink fast power control is able to track the multipath fading, the intercell interference increases and results in the intercell interference increases distribution function nearly lognormal. The reason for this is that the power levels from mobiles transmitting to a different base station than the considered one arrive at the desired base station with a higher deviation because the mobile's transmitted power is trying to mitigate the fading effect to another base station. This can be especially significant when low mobility users are considered. Capacity is defined as the number of voice users and data users that can be sent by a CDMA channel with specified quality of service attributes. Though the bit error rate (BER) analysis in code-division multiple access (CDMA) systems has received a lot of attention during the last years, in much of the published research it is considered only its average value. However, to know the statistics of the BER is a very useful tool to understand the dynamics of the system. Moreover, the impact of tracking the multipath fading on BER in multicell CDMA systems with fast power control is usually simplified or not taken into account. In this paper, we estimate the average block error probability the capacity of an CDMA system.

The capacity estimating derived from the model dependent on two important factors: the received power levels for different classes of users and the activity of the

users, it was shown that in a system with only voice users, received power levels that optimize, system capacity depend on the relative loading of the network and only in a uniformly loaded system are equal received powers optimal. In a fully loaded system, users at the cell boundaries are severely limited by their peak power capability. In this case, the capacity of the system depends on the received power levels from users belonging to multiple classes and having different power limitations. The model is used to investigate this dependence. Further, the CDMA capacity in voice-only systems is dependent on the voice "activity" factor, which is the ratio of "speak" to "silence"

2. System model

We consider both voice and data users in each cell is divided into three sectors with equal number of voice (N_v) and data users (N_d) per sector. The voice users transmit on a single code at a basic rate B while the data users can transmit at a higher rate $r_d B$ when r_d number of codes for parallel transmission in CDMA. Processing gain, considered same for all codes is given by W/B , where W is the spread bandwidth. The activity variable for voice and data users as α_v and α_d respectively. The received signal and interfering components are considered as lognormal random variable for an imperfect power controlled CDMA. The actual received power from a desired user at the BS is

$$U = S_i e^S \quad (1)$$

and interference power as

$$I = S_i e^R \quad (2)$$

Let S_i be the required power level at a reference base station (BS), where $S_i = S_v(S_d)$ depending on voice (data) user, S and R are Gaussian r.v. with mean m_S, m_R and variance σ_S^2, σ_R^2 respectively. We have $\sigma = \sigma_S / \beta$ where $\beta = \ln(10)/10$ and σ is the power control error (PCE) in decibel.

All lognormal components are considered identical and the correlation coefficients among all the components are assumed to be the same. However the analysis presented here can easily be extended when the lognormal components are not identical and correlation among them are different. For a reference voice user the intracell interference consists of $(N_v - 1) + N_d$ as

$$I_{in} = S_v \sum_{i=1}^{N_v-1} \alpha_v e^{y_i} + r_d S_d \sum_{i=1}^{N_d} \alpha_d e^{y_i} \quad (3)$$

The intercell interference also consists of $(N_v + N_d)$ as

$$I_{out} = S_v \sum_{i=1}^{N_v} \alpha_v e^{y_i} + r_d S_d \sum_{i=1}^{N_d} \alpha_d e^{y_i} \quad (4)$$

where y_i is a Gaussian r.v. corresponding to i th lognormal r.v. We consider the following two r.v. (μ_1, μ_2) used later to evaluate m_R and σ_R with a simplifying assumption of $S_v = S_d = S_0$, which however can easily be extended for a general case of $S_v \neq S_d$ from [1]

$$\begin{aligned} \mu_1 &= E[e^R] = e^{m_R + \sigma_R^2/2} \\ &= \alpha_v \sum_{i=1}^{t_1} e^{m_{y_i} + 0.5\sigma_{y_i}^2} + r_d \alpha_d \sum_{j=1}^{t_2} e^{m_{y_j} + 0.5\sigma_{y_j}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_2 &= E[e^{2R}] = e^{2m_R + 2\sigma_R^2} \\ &= \alpha_v \sum_{i=1}^{t_1} e^{2m_{y_i} + 2\sigma_{y_i}^2} + r_d^2 \alpha_d \sum_{j=1}^{t_2} e^{2m_{y_j} + 2\sigma_{y_j}^2} \\ &\quad + 2\alpha_v^2 \sum_{i=1}^{t_1-1} \sum_{k=i+1}^{t_1} e^{m_{y_i} + m_{y_k} + 0.5(\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_k}^2 + 2r_{ik}\sigma_{y_i}\sigma_{y_k})} \\ &\quad + 2\alpha_d^2 r_d^2 \sum_{j=1}^{t_2-1} \sum_{k=j+1}^{t_2} e^{m_{y_j} + m_{y_k} + 0.5(\sigma_{y_j}^2 + \sigma_{y_k}^2 + 2r_{jk}\sigma_{y_j}\sigma_{y_k})} \\ &\quad + 2\alpha_d \alpha_v r_d \sum_{i=1}^{t_1} \sum_{j=1}^{t_2} e^{m_{y_i} + m_{y_j} + 0.5(\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 + 2r_{ij}\sigma_{y_i}\sigma_{y_j})} \end{aligned} \quad (6)$$

Here $m_{y_i}, m_{y_j}, m_{y_k}$ are means and $\sigma_{y_i}, \sigma_{y_j}, \sigma_{y_k}$ are standard deviation of the i th, j th and k th lognormal components respectively; r_{ik}, r_{jk}, r_{ij} are the pair wise correlation between them and $t_1 = 2N_v - 1$, $t_2 = 2N_d$ and $t = 2(N_v + N_d) - 1$. Solving (5) and (6) we get m_R and σ_R as

$$m_R = 2 \ln(\mu_1) - \frac{1}{2} \ln(\mu_2) \quad (7)$$

$$\sigma_R^2 = \ln(\mu_2) - 2 \ln(\mu_1) \quad (8)$$

The correlation coefficient r_{SR} between the signal and interference is calculated according to [5]. The total number of interfering components

$$\begin{aligned} \mathcal{G} &= E[e^S e^R] \\ &= \alpha_v \sum_{i=1}^{t_1} e^{m_S + m_{y_i} + 0.5(\sigma_S^2 + \sigma_{y_i}^2 + 2r_{iy}\sigma_S\sigma_{y_i})} \\ &\quad + \alpha_d r_d \sum_{j=1}^{t_2} e^{m_S + m_{y_j} + 0.5(\sigma_S^2 + \sigma_{y_j}^2 + 2r_{jy}\sigma_S\sigma_{y_j})} \end{aligned} \quad (9)$$

Now considering $r_{sy} = r$, we get

$$r_{SR} = \frac{2[\ln(\mathcal{G}) - (m_S + m_R)] - (\sigma_S^2 + \sigma_R^2)}{2\sigma_S\sigma_R} \quad (10)$$

The coefficient r_{SR} is included in the BER analysis as given in next section.

1. BER Statistics

The despread bit energy to interference density ratio (E_b/N_0) can be approximated by a lognormal r.v. and hence under Gaussian approximation, the BER for constant received signal level is given as $Pe = Q(e^\alpha)$ where α is a Gaussian r.v. with mean and variance as

$$m_\alpha = \frac{1}{2} \left(\ln \frac{2W}{B} + m_S - m_R \right) \quad (11)$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{4} (\sigma_S^2 + \sigma_R^2 - 2r_{SR}\sigma_S\sigma_R) \quad (12)$$

Average over α , we evaluate the average BER as

$$BER = \int_{-\infty}^{\infty} Q(e^\alpha) g(\alpha) d\alpha \quad (13)$$

Averaging over α , the mean probability of error can be approximated as [2]

$$Pe \approx \frac{2}{3} Q(e^{m_\alpha}) + \frac{1}{6} Q(e^{m_\alpha + \sqrt{3}\sigma_\alpha}) + \frac{1}{6} Q(e^{m_\alpha - \sqrt{3}\sigma_\alpha}) \quad (14)$$

2. Numerical results

This section presents curves showing the results obtained for the BER. The following values of the parameters have been used in our study: $W=1.228$ MHz, $B=32$ kb/s, $PG=128$, $\alpha_v=3/8$, $\alpha_d=1$, $PCE \sigma=1.0$ dB, $v/d_c=0.67$, $r=0$ and $r_d=1$. Fig. 1 show the BER performance versus

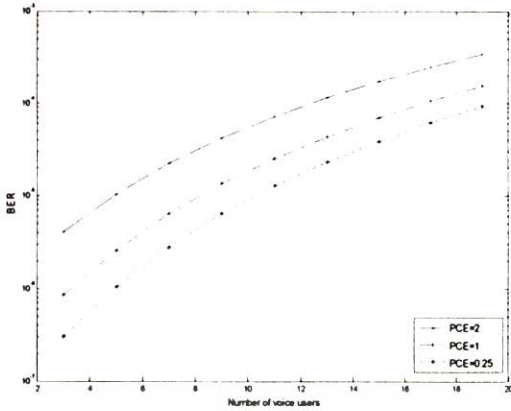


Fig.1 BER versus number of voice users (N_v) for different power control error (PCE)

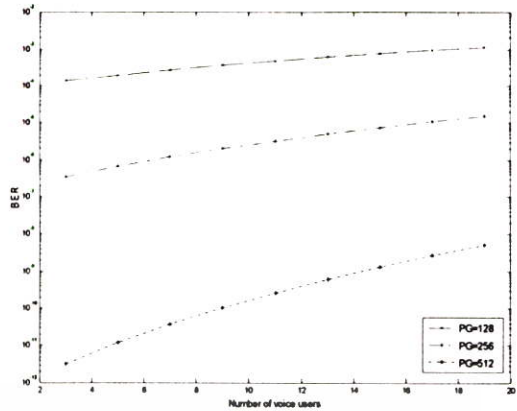


Fig.2 BER versus number of voice users (N_v) for different processing gain (PG)

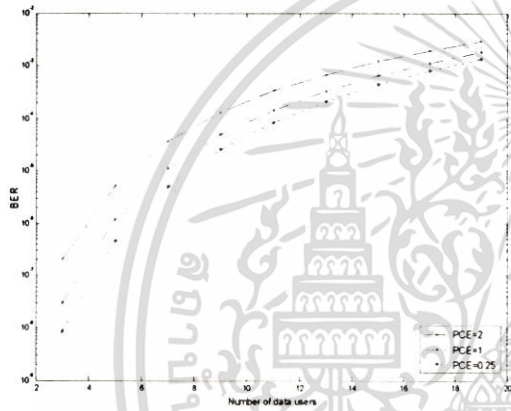


Fig.3 BER versus number of data users (N_d) for different power control error (PCE)

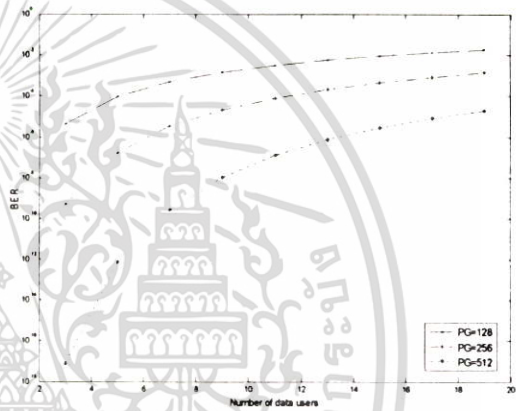


Fig.4 BER versus number of data users (N_d) for different processing gain (PG)

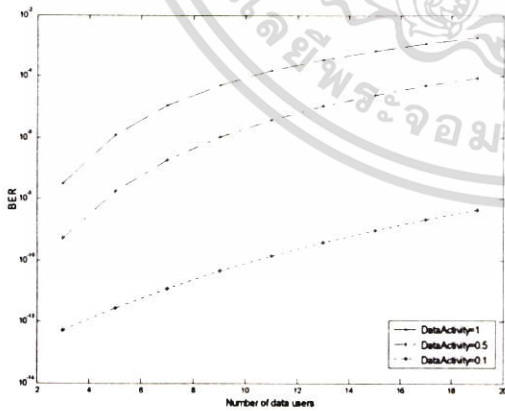


Fig.5 BER versus number of data users (N_d) for different data activity

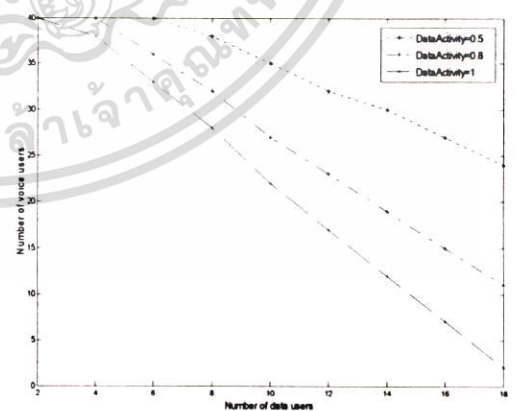


Fig.6 Number of voice users (N_v) versus number of data users (N_d) for different data activity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

number of voice users (N_v) when $N_d=6$ for different power control error variances (PCEs). It is seen that for higher value of PCE ($\sigma=2.0$ dB). BER is more as compared to a lower PCE ($\sigma=0.25$ dB) for same number of voice users. Fig. 2 show the BER performance versus number of voice users (N_v) when $N_d=6$ for different processing gain (PG). It is seen that for higher value of PG=128 BER is more as compared to a lower PG=512 for same number of voice users.

In Fig. 3 we show the BER versus number of data users (N_d) when $N_v=6$ for different power control error variances (PCEs). It is seen that for higher value of PCE ($\sigma=2.0$ dB). BER is more as compared to a lower PCE ($\sigma=0.25$ dB) for same number of data users. Fig. 4 show the BER performance versus number of data users (N_d) when $N_d=6$ for different processing gain (PG). It is seen that for higher value of PG=128 BER is more as compared to a lower PG=512 for same number of data users. Fig. 5 show the BER versus number of data users (N_d) when $N_v=6$ for different data activity (α_d). It is seen that for higher value of data activity ($\alpha_d=1.0$) BER is more as compared to a lower data activity ($\alpha_d=0.1$) for same number of voice users. And in Fig. 6 show number of data users (N_d) versus number of voice users (N_v) for different data activity (α_d). It is seen that for low of data activity ($\alpha_d=1.0$), number of voice users is more as compared to a lower data activity ($\alpha_d=0.5$) for same number of voice users.

1. Conclusion

An analytical study for evaluation of BER for a cellular CDMA system supporting integrated CDMA system is presented. The effect of three different factor on capacity is power control error (PCE), processing gain (PG) and data user activity. We have studied the performance of the system degrades in terms of the BER for different power control error (PCE), processing gain (PG) and data user activity. The results obtained indicate that an increase in the power control error or a decrease in the processing gain leads to a higher error rate for both case of voice and data users. The activity of data users must be controlled tightly to prevent significant hits to number of voice users. The PCE, PG and data activity effect on BER is studied and higher PCE, PG and low data activity is found to higher BER under similar traffic conditions.

Acknowledgement

The authors would like to thank the anonymous reviewers for their careful reading and helpful discussions.

Reference:

- [1] K.Sumit and S.Chakrabarti, "Outage analysis of cellular CDMA for integrated voice and data services with correlated signal and interference," IEEE Personal Wireless Communications, pp.249–253, Dec. 2000
- [2] Romero Jerez, J.M., Ruiz Garcia, M.; Diaz Estrella, A., "Effects of power control errors and multipath fading on BER in a cellular CDMA system," IEEE Trans. On Vehicular Technol, pp.2593–2598, Sept. 2000
- [3] Ayyagari, D., Ephremides, A., "Cellular multicode CDMA capacity for integrated (voice and data) services," IEEE Trans. On Selected Areas in Communications, pp. 928 – 938, May 1999
- [4] G.E.Corazza, G.D.Maio, and F.Vatalao, "CDMA cellular systems performance with fading, shadowing and imperfect power control," IEEE Trans. On Vehicular Technol, vol 47, May 1998, pp.450-459
- [5] Agnes Ligeti, "Outage probability in the presence of correlated lognormal useful and interfering components," IEEE Communications Letters, vol 4, No-1, Jan 2000, pp.15-17

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสมสุดา เกิดศิษฐ์
วัน เดือน ปีเกิด	4 มิถุนายน 2518
สถานที่เกิด	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	66/4 หมู่ที่ 5 ซ.เทศบาลบางใหญ่ 6 ถ.กาญจนานิกโยก ต.บางแม่นาง อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140
ประวัติการศึกษา	2541 อุดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ระบบโทรคมนาคม
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2544-2547	ตำแหน่งอาจารย์ประจำโรงเรียนเซนต์จอห์น โปลีเทคนิค
ปัจจุบัน	OHM2 บริษัทการบินไทย จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้