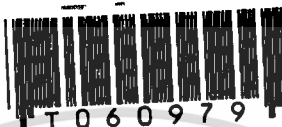


**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**  
**การวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตระบบเซลล์ลู่ลาร์แบบโคเรคซีแควนซีดีเอ็ม**  
**เอบนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบเรย์ลี**

**BER ANALYSIS OF DS-CDMA CELLULAR SYSTEM OVER RAYLEIGH**  
**MULTIPATH FADING**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60979  
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ก.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2548  
ISBN 974-15-1737-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

11คต๑๐๑๑  
b.....  
ที่มีการนำไปใช้

**BER ANALYSIS OF DS-CDMA CELLULAR SYSTEM OVER RAYLEIGH  
MULTIPATH FADING**



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

**2005**

**ISBN 974-15-1737-8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตระบบเซลล์ลูตาร์แบบโคเร็กซ์ ควอนซีซีเอ็มเอบนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบเรย์ลี
นักศึกษา	นายธนศ สังขมนัส
รหัสประจำตัว	43061076
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้คุมวิทยานิพนธ์	รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่  
เซลล์ลูตาร์แบบโคเร็กซ์ควอนซีซีเอ็มเอ (DS-SS-CDMA) โดยพิจารณาในกรณีสัญญาณจาก  
โทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน สัญญาณมีการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสแบบโคฮีเรนทไบนารี โดย  
ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กำหนดให้แต่ละวิถีเป็นอิสระต่อกันในเชิง  
สถิติ ทางด้านรับใช้เครื่องรับแบบเรคด้วยอัตรารวมสูงสุด (MRC) จากนั้นทำการเขียนแบบการ  
ทำงานของระบบด้วยโปรแกรมMATLAB การวิเคราะห์จะพิจารณาผลกระทบของการเกิดมัลติพาท  
เฟดดิ้งของสัญญาณแบบเรย์ลี สัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียง การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่  
สมบูรณ์และความผิดพลาดจากการถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด จากผลการวิเคราะห์จะเห็น  
ได้ว่าอัตราความผิดพลาดบิตลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนสาขาอากาศและจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับ  
แบบเรค นอกจากนี้การใช้ค่า voice activity factor เป็นการช่วยลดสัญญาณรบกวนแทรกสอดจาก  
ผู้ใช้รายอื่นด้วย

<b>Thesis Title</b>	<b>BER Analysis of DS-CDMA Cellular System Over Rayleigh Multipath Fading</b>
<b>Student</b>	<b>Mr.Thaneth Sangkamanas</b>
<b>Student ID.</b>	<b>43061076</b>
<b>Degree</b>	<b>Master of Engineering</b>
<b>Programme</b>	<b>Electrical Engineering</b>
<b>Year</b>	<b>2005</b>
<b>Thesis Advisor</b>	<b>Assoc.Prof. Somyot Junnapiya</b>

### ABSTRACT

This thesis presents an analysis of bit error rate of direct sequence code division multiple access (DS-CDMA) cellular system with coherent binary phase shift keying for reverse link. The channel model is independent paths with Rayleigh fading statistics. At the receiver, RAKE receiver has maximal ratio combining (MRC). The obtained results from MATLAB program have been shown that the effects of Rayleigh multipath fading, other cells interference, imperfect power control, maximal ratio combining with weighing errors. The results of the analysis have been shown that the bit error rate decreases by increasing the number of antenna branches and the number of J-finger RAKE receivers. Furthermore, the value of the voice activity factor can be reduced the interference from other user.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. สมยศ จุณณะปิยะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้แนวความคิดและผศ. ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาในการวิจัยและให้ความรู้ต่างๆจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ IEEE และ IEICE ที่เป็นแหล่งข้อมูลและวิชาความรู้ แนวทางในการค้นคว้า และทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณน้องสาวผู้วิจัยคือ นางสาว พัดชาและนางสาว วรวรรณ สังขมนัส พี่โอ (DTAC) น้องสมัชชา เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในบริษัท BFKT และ NORTEL ที่คอยเป็นกำลังใจเสมอมา สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของผู้วิจัย คุณ ศาสินี สังขมนัส ในทุกสิ่งทุกอย่างรวมทั้งเป็นกำลังใจ ไม่ว่าจะสุขหรือทุกข์ ที่ดีเสมอมาและกำลังใจที่สำคัญยิ่งแก่ผู้วิจัยในยามเหน็ดเหนื่อย เด็กหญิง ชวิศา สังขมนัส

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งเหนือสิ่งอื่นใด ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดให้แก่ข้าพเจ้า

ธเนศ สังขมนัส

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 แนวความคิด.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่.....	5
2.1.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความเวลา.....	6
2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความรหัส.....	7
2.2 โครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ.....	7
2.3 ชนิดของสเปกตรัมแผ่ของสัญญาณ.....	11
2.3.1 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง.....	11
2.3.2 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของความถี่.....	14
2.3.3 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของเวลา.....	19
2.4 คุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดคิง.....	21
2.4.1 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และกำลังเชิงสเปกตรัมของช่องสัญญาณ.....	22
2.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	26
2.4.2.1 แบบจำลองของเรย์ลี.....	26
2.4.2.2 แบบจำลองของไรท์เซียน.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 เครื่องสร้างรหัส.....	27
<b>บทที่ 3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ.....</b>	<b>31</b>
3.1 บทนำ.....	31
3.2 ความจุระบบซีดีเอ็มเอ.....	31
3.3 การตรวจจับสัญญาณเสียง.....	33
3.4 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ.....	34
<b>บทที่ 4 อัตราบิดผิดพลาดระบบเซลล์ลูลาร์ในการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสด้วยวิธีการจัดลำดับ โดยตรงบนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบเรย์ลี.....</b>	<b>38</b>
4.1 แบบจำลองของเครื่องส่ง.....	38
4.2 แบบจำลองของช่องสัญญาณ.....	40
4.3 แบบจำลองของเครื่องรับ.....	42
4.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณสัญญาณรบกวนแทรกสอด กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์.....	48
4.5 การวิเคราะห์อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณสัญญาณรบกวนแทรกสอด กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์.....	52
4.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรา รวมสูงสุด.....	54
4.7 อัตราบิดผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ.....	54
<b>บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงเลข.....</b>	<b>57</b>
5.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและค่าEb/No โดยพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลูลาร์ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียง ที่รบกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรา รวมสูงสุด จำนวนสาขาสายอากาศและจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเพื่อการ เปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

5.2	พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวน ผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รับกวนที่เพิ่มขึ้น ด้วยค่า voice activity factor.....	70
5.3	พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวน ผู้ใช้งานในระบบเซลล์ทูลาร์ โดยพิจารณาค่าEb/No การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียง ที่รับกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรา รวมสูงสุด จำนวนสาขาอากาศและจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคเพื่อการ เปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ.....	71
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัย.....	87
	เอกสารอ้างอิง.....	89
	ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	90
	ประวัติผู้เขียน.....	91

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าอัตราสัมพัทธ์ที่มีคุณลักษณะของชุดรหัส.....	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **vii** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชนิดต่างๆของการเข้าถึงหลายทาง คือ แบบแบ่งความถี่(FDMA) แบบแบ่งเวลา(TDMA) และ แบบแบ่งรหัส(CDMA)	6
2.2 โครงข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ	9
2.3 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีโทรออก	9
2.4 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีรับสายเข้า	10
2.5 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA	11
2.6 สัญญาณต่างๆ ของระบบ DS-CDMA ที่ใช้การมอดูเลตรหัสแบบ BPSK	12
2.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ DS-CDMA	13
2.8 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา ความถี่ของระบบ DS และ FH	15
2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA	16
2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA	19
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA	19
2.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงทางเวลาทางช่องสัญญาณหลายวิถีที่เกิดจากสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ	21
2.13 คุณลักษณะของรูปร่างความเข้มของสัญญาณหลายวิถี	24
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_c(\Delta f)$ และ $\phi_c(\tau)$	25
2.15 แสดงการสร้างรหัส ด้วยจำนวนชิฟต์รีจิสเตอร์ 4 ตัว	28
2.16 ค่าอัตราสัมพันธ์ของชุดรหัสที่มีการเลื่อนของรหัสที่ค่าต่างๆ	29
3.1 แสดงรูปพัลส์สัญญาณพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์	33
3.2 แสดงการรับ-ส่ง สัญญาณระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	34
3.3 แสดงการไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	35
3.4 แสดงการมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	35
4.1 รูปแบบของการวางเซลล์	38
4.2 แบบจำลองของเครื่องส่งDS-CDMA ของผู้ใช้คนที่ k ที่พิจารณา	39
4.3 รูปแบบจำลองช่องสัญญาณ	41
4.4 รูปของการวางเซลล์ ที่ผู้ใช้บริเวณเซลล์ที่ 9 ส่งสัญญาณมารบกวนเซลล์ข้างอิง	43
4.5 แบบจำลองของภาครับของแต่ละสาขาสายอากาศ	44
4.6 เครื่องรับแบบ Rack	44

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = 0, \delta = 0, \rho^2 = 1, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18$ และ $J = 4$ .....	60
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = 0, \delta = 0, \rho^2 = 1, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18$ และ $J = 6$ .....	61
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = 0, \delta = 0, \rho^2 = 1, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18$ และ $J = 8$ .....	62
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = 0, \delta = 0, \rho^2 = 1, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18$ และ $J = 10$ .....	63
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = A, \delta = 0, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 4$ และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ.....	65
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = A, \delta = 0, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 6$ และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ.....	66
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = A, \delta = 0, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 8$ และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ.....	67
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = A, \delta = 0, \xi = 1, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 10$ และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ.....	68
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ $E_b / N_0$ ของระบบ โดยที่กำหนดค่า $V = 0, 0.7071A, A, \delta = 0, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 8$ , และ 10 ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆและการใช้สาขาของสายอากาศ.....	69
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน โดยที่กำหนดค่า $E_b / N_0 = 20$ dB, $V = 0, \delta = 0, \rho^2 = 1, \xi = 1, G_p = 127, L = 10$ และ $J = 10$ .....	70

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V = 0$ , $\delta = 0$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $J=10$ , และ $M=1$ .....	71
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V = 0$ , $\delta = 0$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $J=10$ , และ $M=6$ .....	72
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V = 0$ , $\delta = 0$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $J=10$ , และ $M=18$ .....	73
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $M=18$ และ $J=4$ .....	74
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $M=18$ และ $J=6$ .....	75
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\rho^2 = 1$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $M=18$ และ $J=8$ .....	76
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\rho^2 = 1$ , $G_p = 127$ , $L=10$ , $M=18$ และ $J=10$ .....	77
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\rho^2 = 1$ , $G_p = 127$ และ $L=10$ .....	78
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\zeta = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L=J=10$ .....	79

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\xi = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= J= 10$ และ $V=0.7071A$ .....	80
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\xi = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= J= 10$ และ $V=A$ .....	81
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=A$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\xi = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= 10$ และ $J= 4$ .....	82
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=A$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\xi = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= 10$ และ $J= 6$ .....	83
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=A$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $\xi = 1$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= 10$ และ $J= 8$ .....	84
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=A$ , $\delta = 0$ , $\lambda = 3/8$ , $G_p = 127$ , $M=18$ , $L= J= 10$ .....	85

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันว่า การสื่อสารไร้สายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นกับประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกวันในโลกของเราและได้มีระบบต่างๆเกิดขึ้นไม่ว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ด้วยวิธีการเข้าถึงแบบความถี่กับเวลาแต่ก็มีข้อจำกัดด้านการรองรับผู้ใช้บริการและจำเป็นต้องทราบเวลาและความถี่ ขณะที่อีกระบบหนึ่งคือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอที่มีข้อแตกต่างจากระบบดังกล่าว นั่นคือไม่จำเป็นต้องทราบเวลาและความถี่ แต่ใช้วิธีกำหนดรหัสในการแยกช่องสัญญาณของผู้ใช้ซึ่งจุดเด่นระบบนี้คือด้านความจุผู้ใช้งานที่สามารถรองรับผู้ใช้ได้มากกว่าระบบที่กล่าวมา แต่อย่างไรก็ดีข้อจำกัดระบบซีดีเอ็มเอจะมีสมรรถนะระบบลดลงหากผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น โดยในอดีตกาลการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread-Spectrum) ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในระบบสื่อสารทางทหารหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการวิเคราะห์การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่เพื่อใช้ในระบบที่ต้องการป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอก (Jamming signal) ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ว่า การมอดูเลตดังกล่าวลดผลของการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนอันเนื่องจากการสื่อสารในช่องสัญญาณหลายวิถีซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในระบบการเข้าถึงหลายทาง อย่างไรก็ตามการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายมักจะมีปัญหาด้านการจางหายของสัญญาณซึ่งได้มีผู้วิจัยคือ Gardner และ Orr [1] อธิบายผลการจางหายของสัญญาณที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ DS-CDMA ในช่องสัญญาณที่มีการเฟดดิ้งแบบ Rayleigh แสดงนิพจน์ของอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise ratio : SNR) ซึ่งได้หาค่าเฉลี่ยค่าความแปรปรวนของสัญญาณ สัญญาณรบกวนแสดงในพจน์รหัสการแผ่ออก (spreading code) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์การจาง (Fading correlation function) ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดจะขึ้นอยู่กับลำดับรหัส (Code sequence) กล่าวคือถ้ามีความยาวมากจะทำให้ความผิดพลาดมีค่าน้อยลงทำให้สมรรถนะระบบดีขึ้น ต่อมา Turin[2] พิจารณาผลของการจางหายของสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ของระบบ DS-CDMA ด้วยการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสผลต่าง (Differential Phase Shift Keying : DPSK) กำหนดให้ผู้ใช้งานมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ (power control) ออกไปด้วยพลังงานเท่าๆกัน โดยมีจำนวนของผู้ใช้งานมีค่าประมาณ 10-20% ของค่าความกว้างรหัส (chip code) ของระบบแต่กรณีการเฟดดิ้งของสัญญาณในเมืองและชนบทที่ไม่มีการควบคุมกำลังที่เครื่องส่งทำให้เกิดการจางหายหลายวิถี เครื่องรับจะรับด้วยกำลังงานที่ไม่เท่ากันและจำนวนผู้ใช้งานที่มีค่ามากที่สุดจะค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงประมาณ 1-5% ของค่าความยาวรหัส ดังนั้นระบบ CDMA จะต้องมีการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณ ช่องสัญญาณควรมีลักษณะที่เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป .ในปี 1992 ผู้วิจัยชื่อ Milstein Rappaport และ Barghouti [3] เสนอการวิเคราะห์ระบบเซลล์ดาร์ CDMA ทั้งกรณีขาขึ้นและขาลง พิจารณาผลกระทบการเกิดเฟดดิ้งแบบ Rayleigh มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ ภาครับมีการพิจารณาด้วยอัตรารวมสูงสุดที่สมบูรณ์ โดยผลลัพธ์คือผลกระทบดังกล่าวทำให้ระบบเลวลง ในช่วงปี 1995 Eng และ Milstein [4] ได้ศึกษาสมรรถนะระบบ DS-SS-SSMA บนช่องสัญญาณแบบนาคากามิโดยกำหนดให้แต่ละเส้นเป็นอิสระกัน ใช้การตีมอดูเลตแบบร่วมนัย (coherent demodulation) ภาครับใช้เครื่องรับแบบ RAKE เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดเฟดดิ้ง และต่อมา Efthymoglou, Aalo และ Helmken [5] ได้วิเคราะห์ในผลกระทบเมื่อผู้ใช้มีจำนวนเพิ่มขึ้นบนช่องสัญญาณแบบนาคากามิแต่ใช้การตีมอดูเลตแบบร่วมนัยและไม่ร่วมนัย โดยใช้เครื่องรับแบบ RAKE เช่นเดียวกัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบเลวลงบนเงื่อนไขตัวแปรเสริมเฟดดิ้งต่างๆ ในปี 1999 Tomiuk, Beaulieu และ Abu [6] วิเคราะห์ค่าสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ของเครื่องรับด้วยความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด (Maximal Ratio Combiner) ในการมอดูเลตแบบ DPSK และพบว่าจำนวนสาขาที่เพิ่มขึ้นทำให้มีอัตราความผิดพลาดบิตน้อยลง นอกจากนี้หากมีการผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดเกิดขึ้นแล้วก็จะส่งผลให้มีอัตราความผิดพลาดบิตเพิ่มขึ้นจากผลกระทบดังกล่าว

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสลำดับ โดยตรงและอธิบายถึงลักษณะของสัญญาณ การทำงานเครื่องส่ง ช่องสัญญาณ เครื่องรับ

1.2.2 ศึกษาผลกระทบจากผู้ใช้ที่เข้ามารบกวนทั้งภายในเซลล์ที่อ้างอิงและจำนวนภายนอกเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงด้วย

1.2.3 ศึกษาผลกระทบแบบจำลองช่องสัญญาณแบบเรย์ลี

1.2.4 เปรียบเทียบผลกระทบทั้งกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณและไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ

1.2.5 ศึกษาผลกระทบจากค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุดทางเครื่องรับ

1.2.6 นำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะของระบบและการรองรับจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ดีขึ้นจากผลกระทบดังกล่าว ในด้านอัตราความผิดพลาดบิตกับค่าพลังงานบิตต่อความหนาแน่นสัญญาณรบกวนและจำนวนผู้ใช้ในระบบ

### 1.3 แนวความคิด

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA โดยในความเป็นจริงในระบบเซลลูลาร์ ตัวโทรศัพท์จะเคลื่อนตลอดเวลาและมีผลการเกิดการจางหายของสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณสภาพแวดล้อมในเมือง เนื่องจากมีจำนวนหลายวิถีของเส้นทางที่เดินทางมายังเครื่องรับของสถานีฐาน โดยไม่สามารถรับสัญญาณจากเส้นทางตรงได้ ซึ่งสอดคล้องด้วยแบบจำลองเรย์ลี (Rayleigh) ส่วนทางเครื่องรับใช้แบบ Rake และใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสาขาเพื่อทำการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้จำนวนฟังก์ชันเป็นการช่วยสมรรถนะให้ดีขึ้นอีกด้วย สิ่งซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตก็คือ ผู้วิจัยได้รวมผลกระทบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว อีกทั้งได้พิจารณาถึงผลกระทบว่าหากผู้ใช้งานไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณจะทำให้ระบบมีการรองรับผู้ใช้ที่แอ่งลงโดยเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ พร้อมทั้งมีการพิจารณาความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุดซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถละเลยได้ และสุดท้ายพิจารณาหากมีผู้ใช้มีการรบกวนแทรกสอดจากเซลอื่นด้วยแต่หากระบบมีการใช้ ค่า voice activity factor ก็จะเป็นการลดผลกระทบดังกล่าวด้วย ปัจจัยทั้งหมดนี้มีผลต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะแบ่งขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

1.4.1 ใช้การจำลองทั้งหมดจำนวน 19 เซล ในแต่ละสถานีฐานใช้สายอากาศแบบมีการกระจายคลื่นสัญญาณเท่ากันทุกทิศทาง (Omi-antenna) รัศมีเซลมีค่าเป็นหนึ่งหน่วยเพื่อง่ายในการพิจารณาและพิจารณาผู้ใช้งานอ้างอิงคนที่หนึ่งในเซลแรก

1.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กำหนดให้ในแต่ละวิถีเป็นอิสระกันเชิงสถิติ

1.4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA และการรองรับผู้ใช้งาน ในกรณีมีการควบคุมและไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ ว่าส่งผลทำให้ระบบเป็นอย่างไร

1.4.4 เปรียบเทียบการรองรับผู้ใช้ที่ค่าต่างของการตรวจจับสัญญาณเสียง ว่าส่งผลทำให้การรองรับผู้ใช้ในระบบเป็นอย่างไร

1.4.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA และการรองรับผู้ใช้งาน ในกรณีมีค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุดและไม่มีความผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุด ว่าส่งผลทำให้ระบบเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยได้แบ่งเป็นบทต่างๆดังนี้ ในบทที่2 และ3 เป็นการอธิบายถึงทฤษฎีเบื้องต้นเพื่อเป็นหลักการเบื้องต้นก่อนเข้าสู่บทต่อไป ในบทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์อัตราการผลิตของระบบบนเงื่อนไขและค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วเพื่อดูผลกระทบต่อระบบ สำหรับบทที่ 5 เป็นผลการทดลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม MATLAB วิเคราะห์ผลจากค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อระบบและแสดงผลแนวทางการแก้ไขดังกล่าว บทสุดท้ายว่าด้วยการสรุปผลต่างๆที่ได้ทำมาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ

### 2.1 บทนำ

ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่างๆ โดยในอดีตกาลได้ใช้ระบบสื่อสารแบบอนาล็อกและต่อมาก็ได้เริ่มเกิดปัญหาในเรื่องของความจุของช่องสัญญาณที่ไม่เพียงพอ ขณะที่มิถูกขยายเพิ่มขึ้นตามลำดับ ต่อมาจึงเริ่มมีการพัฒนาระบบสื่อสารดิจิทัลขึ้นเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณเพื่อรองรับกับถูกขยายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

เทคนิคต่างๆ เพื่อช่วยในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดวิธีการหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับและนำมาใช้งานในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็คือ การเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access) ซึ่งเป็นวิธีการจัดสรรทรัพยากรความถี่ที่มีอยู่จำกัดให้รองรับการใช้งานให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการเข้าถึงระบบช่องสัญญาณต่างๆมีดังนี้

#### 2.1.1) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access : FDMA)

การเข้าถึงข้อมูลในระบบอนาล็อกแบบแบ่งความถี่จะกำหนดช่องสัญญาณให้ผู้ใช้แต่ละราย ซึ่งช่องสัญญาณนี้จะถูกแบ่งมาจากแถบความถี่ โดยรูปที่ 2.1 แสดงการกำหนดแถบความถี่หรือช่องสัญญาณเฉพาะเพื่อจัดสรรให้ผู้ใช้แต่ละราย ซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณจะเกิดขึ้นตามการขอใช้บริการของผู้ใช้ และระหว่างช่วงเวลาของการสื่อสารผู้ใช้รายอื่นจะไม่สามารถใช้แถบความถี่เดียวกันนี้ กล่าวคือ โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบนี้อาจเปรียบเทียบได้กับการมีเครื่องรับและส่งสัญญาณวิทยุอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งผู้ใช้จะได้รับความถี่สองความถี่เพื่อใช้รับและส่งสัญญาณเสียง โทรศัพท์ระหว่างที่ใช้งานติดต่อโทรศัพท์ที่อยู่จะไม่มีใครสามารถใช้ความถี่นี้ได้นั่นเอง

ระบบ FDMA ที่นิยมใช้มี 3 ระบบคือ

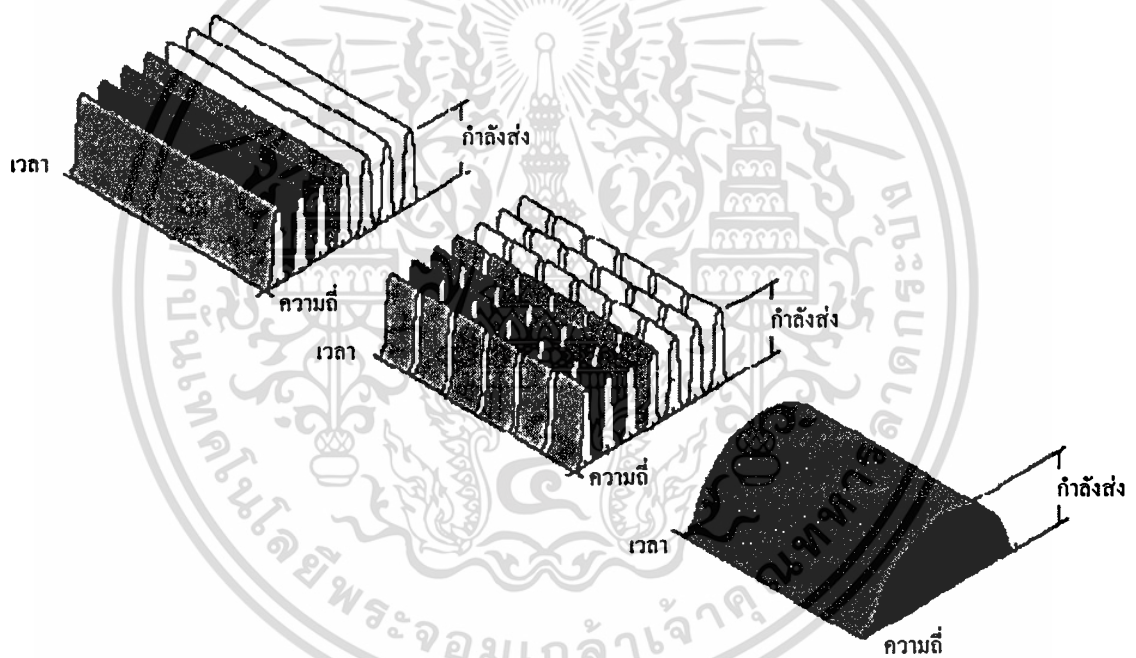
1. ระบบ AMPS ใช้งานเกือบทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา และมีใช้ในประเทศไทยในอดีต คือ DTAC และ การสื่อสารแห่งประเทศไทย ใช้ความกว้างของความถี่ประมาณ 30 kHz ใช้งานที่คลื่นความถี่ 800 MHz ปัจจุบันในประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ระบบดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ตัวเครื่องโทรศัพท์มีรูปร่างหน้าตาค่อนข้างใหญ่ หนัก อาจไม่ค่อยสะดวกในการพกพา

2. ระบบ NMT ใช้งานในแถบแอฟริกาเหนือที่ความถี่ 450MHz และ 900MHz ในประเทศไทยก็มีใช้ในอดีต คือ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย และ DTAC ปัจจุบันในประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ระบบดังกล่าวแล้วเช่นกัน

3. ระบบคือ TACS (Total Access Communication System) ใช้ในประเทศอังกฤษ แต่ใช้ความกว้างของความถี่ประมาณ 25 kHz ใช้งานที่คลื่นความถี่ 800 MHz

### 2.1.2) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA)

การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาเป็นระบบที่พัฒนาจาก FDMA เพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณให้มากขึ้น โดยในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาและใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่เป็นพื้นฐานด้วย รูปที่ 2.1 จะใช้แต่ละช่องความถี่มาแบ่งเป็นแต่ละช่องสัญญาณตามช่วงเวลา ทำให้สามารถเพิ่มความจุระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อีก เช่นในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM จะใช้เทคนิค TDMA โดยช่องสัญญาณวิทยุแต่ละช่องจะมีขนาดเท่ากับ 200 kHz และมีการแบ่งช่องสัญญาณสื่อสารเป็น 8 ช่องเวลาหรือผู้ใช้บริการ 8 คน



รูปที่ 2.1 ชนิดต่างๆของการเข้าถึงหลายทาง คือ แบบแบ่งความถี่(FDMA) แบบแบ่งเวลา(TDMA) และ แบบแบ่งรหัส(CDMA)

ใน FDMA และ TDMA นี้ใช้งานความถี่อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพนัก เพราะระหว่างที่ใช้โทรศัพท์จะมีเพียงคนเดียวที่พูดและอีกคนเป็นผู้ฟัง แต่เราใช้สองความถี่ หมายความว่าระหว่างที่ช่องหนึ่งมีการใช้งานอีกช่องหนึ่งก็จะไม่ได้ใช้ (มีการจัดให้ใช้ 2 ช่องแต่จะใช้จริง ใช้เพียงทีละช่องระหว่างการสนทนา) แต่ที่เราไม่สามารถจะนำช่องที่ยังไม่ได้ใช้ ไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงมีจุดอ่อนอยู่ที่ช่องสัญญาณมีการใช้ เพียงครั้งเดียว ระหว่างการสนทนา ครั้งที่ใช้งานนั้นก็ถูกใช้งานจริงเพียง 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะ Voice Activity ของคน ถ้าหากสามารถนำเอาทรัพยากรความถี่ (Bandwidth) ที่ไม่ได้ใช้มาแบ่งใช้ก็จะสามารถเพิ่มความจุให้มากขึ้นได้

### 2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA)

ในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสนั้นสัญญาณข้อมูลแถบแคบจะถูกคูณด้วยสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างมากเรียกว่า สัญญาณแผ่ (spreading signal) โดยสัญญาณแผ่นี้คือ ลำดับรหัส ซึ่งลำดับรหัสจะมีอัตราชีพมากกว่าอัตราข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการส่ง จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ทุกรายใช้ความถี่พาหะที่เหมือนกันและส่งสัญญาณไปในเวลาเดียวกัน ผู้ใช้แต่ละรายจะมีรหัส (code) ซึ่งคล้ายสัญญาณสุ่มเป็นของตนเอง โดยรหัสนี้จะประมาณให้ตั้งฉากกับรหัสอื่นๆ แล้วเมื่อสัญญาณถูกส่งออกไปเครื่องรับจะพิจารณาเฉพาะสัญญาณที่มีรหัสเหมือนกัน ส่วนสัญญาณที่มีรหัสอื่นจะถูกพิจารณาให้เป็นสัญญาณรบกวนและอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

## 2.2 โครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ

ในการออกแบบโครงข่ายระบบซีดีเอ็มเอประการสำคัญประการหนึ่งคือสามารถให้ผู้ใช้ระบบโทรออกหรือรับสายได้ ทั้งภายในโครงข่ายของตัวเองและจากโครงข่ายภายนอก ด้วยเหตุนี้การเชื่อมต่อในส่วนต่างๆจึงต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยตัวอุปกรณ์ที่จะต่อเชื่อมด้วยกันจะอยู่ภายใต้มาตรฐานการกำหนดการเชื่อมต่อเพื่อให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นในส่วนประกอบต่างๆของโครงข่ายจะมีหน้าที่ดูแลดังต่อไปนี้ แสดงดังรูปที่ 2.2

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกตเวย์ (Gateway : Mobile Service Switching Center GMSC ) เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่มีฐานข้อมูลลูกค้าซึ่งทำหน้าที่การเชื่อมต่อและยกเลิกวงจรกับโครงข่ายทั้งภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอเองและโครงข่ายภายนอก อาทิเช่นเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (Public Switching Telephone Network: PSTN) โครงข่ายโทรศัพท์ต่อผ่านระหว่างประเทศและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบต่างๆ (Public Land Mobile Network: PLMN) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์การให้บริการข้ามแดน (International Roaming :IR) อีกทั้งสามารถเชื่อมกับฐานข้อมูล โดยการเชื่อมต่อจะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และฐานข้อมูลท้องถิ่นชั่วคราว (Mobile Service Switching Center / Visitor Location Register : MSC/VLR) ทำหน้าที่เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต่อกับที่เกตเวย์และฐานข้อมูล อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน โดยเป็นตัวเก็บฐานข้อมูลลูกค้าชั่วคราวในกรณีที่ลูกค้าโทรศัพท์เคลื่อนที่มายังได้บริเวณที่รับผิดชอบ ฐานข้อมูลลูกค้าชั่วคราว นี้จะทราบว่าลูกค้าเบอร์นี้อยู่สถานีฐานใด มีบริการเสริมพิเศษอะไรบ้าง รวมทั้งรู้สถานะว่าลูกค้าเปิดหรือปิดเครื่องอยู่เป็นต้น นอกจากนั้นชุมสายก็จะทำหน้าที่การเชื่อมต่อและยกเลิกวงจรสื่อสารในรูปแบบของการสวิตช์วงจร (Circuit Switched: CS) สำหรับการสนทนา ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างเช่น ออกแบบให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSC/VLR 7 ตัว ทั่วประเทศไทย ตั้งอยู่กรุงเทพและภาคกลาง 4 MSC/VLR ภาคเหนือ อีสานและภาคใต้ ใช้อย่างละ 1 MSC/VLR โดยจะขึ้นอยู่กับว่าแต่ละ MSC/VLR จะสามารถรองรับลูกค้าที่เข้ามาอยู่ในบริเวณ MSC/VLR ซึ่งอาจจะมีค่าตั้งแต่ 600,000 ถึง 1,000,000 ราย ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถอุปกรณ์ผู้ผลิตแต่ละราย เป็นต้น

ฐานข้อมูลหลัก (Home location Register :HLR) เป็นฐานข้อมูลหลักโดยทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้แต่ละราย ตัวอย่างฐานข้อมูลได้แก่ เลขหมาย IRM (International roaming Mobile Identification Number) เป็นหมายเลขอ้างอิงผู้ใช้บริการเฉพาะระบบซีดีเอ็มเอ เลขหมาย MDN (Mobile Directory Number) ใช้ในการโทรออกหรือรับสาย มีค่า ESN (Electronic series number) และจัดถูกเก็บไว้ในซิมการ์ดเพื่อยืนยันข้อมูลที่ต้องการและให้ตรงกัน มีกฎตรวจสอบรายบุคคล (Authentication : AUC) ซึ่งส่วนใหญ่ AUC มักเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกันใน HLR เพราะเนื่องจากหากแยกตัวอุปกรณ์ดังกล่าวมันจะเปลี่ยนเนื้อที่ในการติดตั้ง โดยรายการให้บริการต่างๆที่อนุญาตให้ผู้บริการใช้งานทั้งในด้านเสียง (Voice call) ด้านข้อมูลได้ (Data call) การให้บริการรับ-ส่งข้อความ (Short Message service) รวมทั้งอนุญาตให้ลูกค้าสามารถใช้บริการเรียกรับสายซ้อน บริการโอนสายอัตโนมัติ (Call Forwarding) อีกทั้งมีบริการอนุญาตให้ลูกค้าสามารถโทรข้ามพรมแดนได้ (International Roaming) เป็นต้น นอกจากนี้ฐานข้อมูลหลักสามารถเก็บข้อมูลลูกค้าอาจตั้งแต่ 600,000 ถึง 1,000,000 ราย หรืออาจมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ผู้ผลิต

อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน (Base Station Control :BSC) ทำหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมการทำงานของสถานีฐานหลายๆตัว โดยแต่ละตัวของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานจะสามารถควบคุมสถานีฐานได้มากที่สุดตั้งแต่หลายสิบถึงหลักร้อย ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ของเครือข่าย นอกจากนี้มีหน้าที่เชื่อมต่อวงจรและแลกเปลี่ยนข้อมูลทั้งส่วนสถานีฐานและตัวชุมสาย

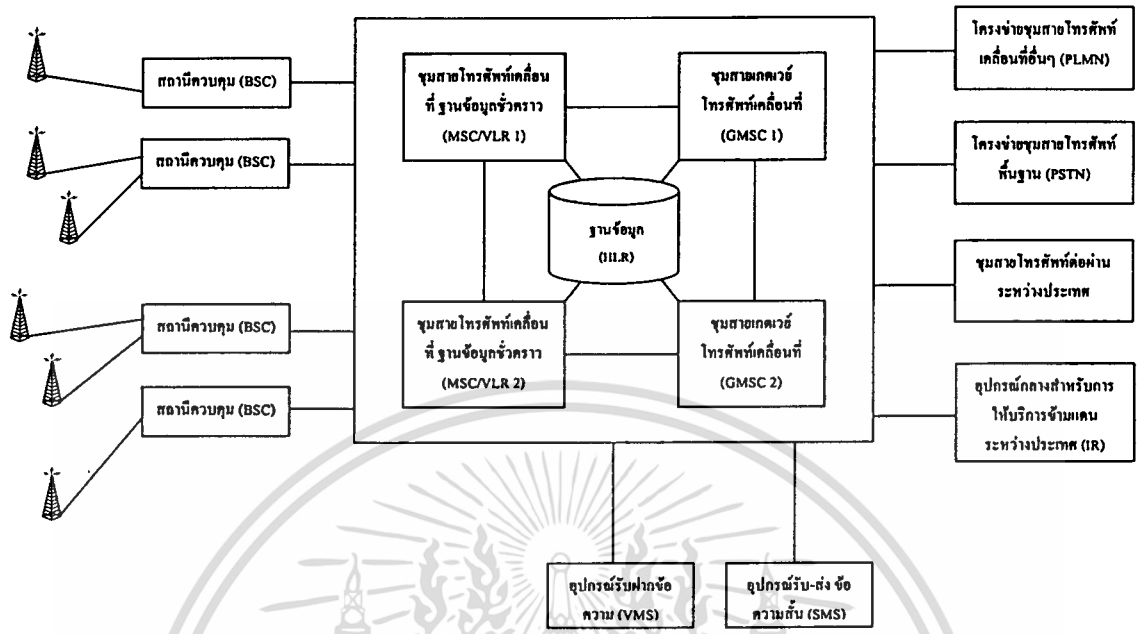
สถานีฐาน (Base Station :BTS) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานและตัวเครื่องโทรศัพท์โดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งโดยปกติแล้วสถานีฐานจะมีตำแหน่งที่อยู่ภายในกึ่งกลางของเซลล์ในกรณีที่เซลล์เป็นแบบ omni มีการกระจายคลื่นเท่ากันทุกทิศทาง หรืออาจจะแบ่งเป็นเซลล์เดอรัก็ก็ได้ ปัจจัยอีกประการหนึ่งคือคอยควบคุมกำลังส่งที่ได้รับคำสั่งมาจากอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานไม่ให้มากหรือน้อยเกินไป

อุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลสั้น (Short Message Center :SMS) เป็นรูปแบบบริการชนิดหนึ่งซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ทำหน้าที่รับและส่งข้อความแก่ลูกค้า โดยจะเชื่อมต่อกับชุมสายใช้ระบบสัญญาณแบบหมายเลข 7 ใช้โปรโตคอล MAP(Mobile Application Part) หรือ เชื่อมต่อแบบTCP/IP

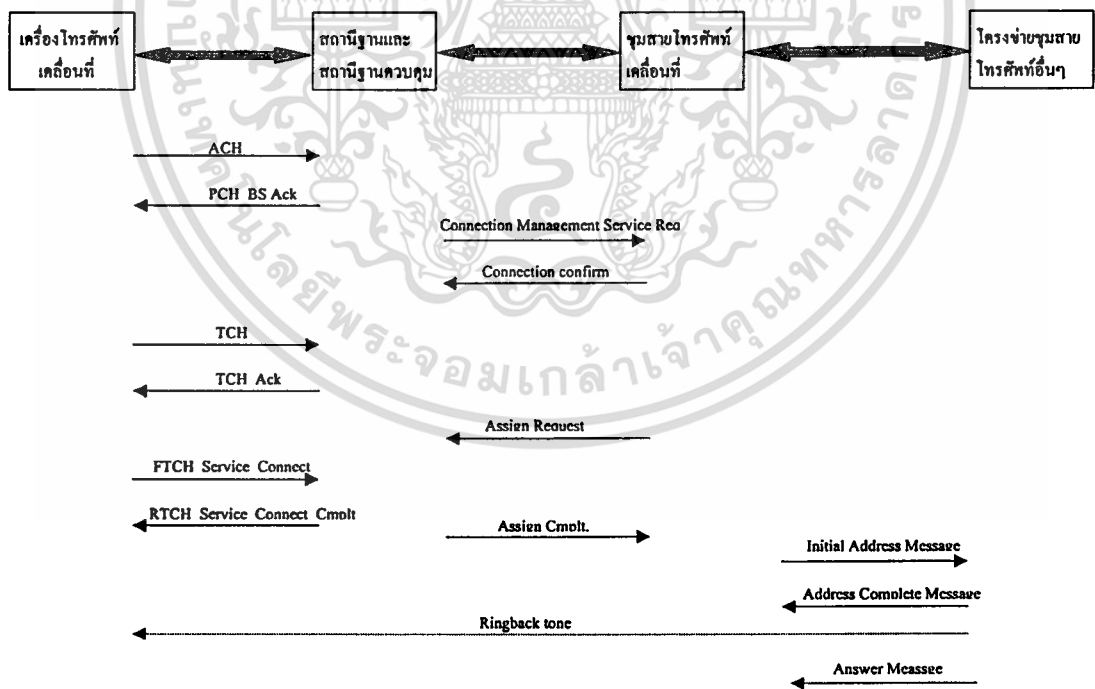
อุปกรณ์รับฝากข้อความ (Voice Mail Service: VMS) เป็นรูปแบบการบริการชนิดหนึ่งเช่นลูกค้ารายหนึ่งโทรไปหาลูกค้าอีกราย แต่ลูกค้าอาจจะปิดเครื่องและได้มีการลงทะเบียนโอนข้ามสายไป VMS ลูกค้าที่โทรเข้ามาสามารถฝากข้อความได้ ขณะที่ลูกค้าเปิดเครื่องขึ้นมาจะมีข้อความส่งมาบอกว่ามีใครฝากข้อความด้านเสียงไว้ ซึ่งสามารถกดเข้าไปฟังได้เป็นต้น นอกจากนี้ระบบจะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาฉบับหมายเลข 7 และใช้โปรโตคอล ISUP (Integrated Service Digital Network User Part) ในการเชื่อมโยงวงจรให้สามารถสนทนาได้



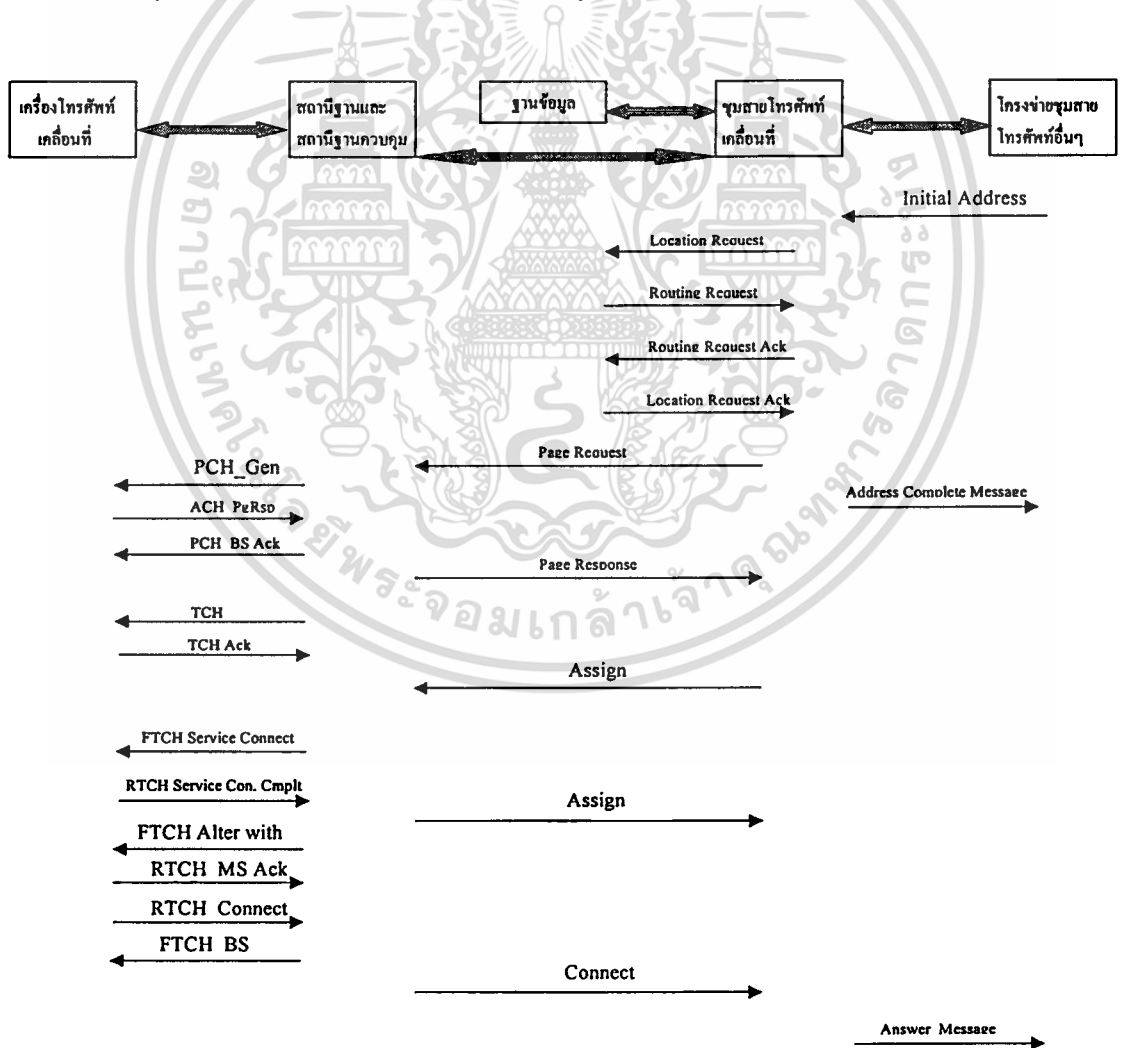
รูปที่ 2.2 โครงข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีโทรออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างการโทรออกไปยังโครงข่ายอื่น ในขั้นตอนแรกตัวเครื่องโทรศัพท์จะร้องขอช่องสัญญาณ (Access Channel :ACH) กับสถานีฐาน และจะส่งค่า IRM ESN เลขหมายต้นทางกับปลายทาง ขั้นตอนต่อมาสถานีฐานจะส่งสัญญาณเพจจิง (Paging Channel :PCH) เพื่อขึ้นชั้นและอุปกรณ์ควบคุมสถานีส่งสัญญาณการเชื่อมต่อซึ่งส่งจะมีค่า IRM ESN เลขหมายต้นทางกับปลายทาง ตำแหน่งเซลล์ที่อยู่ไปให้ทางชุมสายและชุมสายส่งสัญญาณตอบรับขึ้นชั้นความถูกต้อง จากนั้นเครื่องโทรศัพท์จะขอช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic Channel :TCH) และจะถูกกำหนดช่องสัญญาณให้จากสถานีฐาน ต่อมาชุมสายขององใช้งานจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีและถูกขึ้นชั้นวงจรเชื่อมกลับและเครื่องโทรศัพท์ขอเชื่อมต่อช่องสัญญาณ หลังจากนั้นชุมสายจะส่งสัญญาณไปขององวงจรกับโครงข่ายที่เชื่อมต่อ โดยมีทั้งหมายเลขต้นทางกับปลายทางโดยมีการตอบรับขึ้นชั้นจากโครงข่ายที่เชื่อมต่อ ซึ่งในช่วงเวลานี้ผู้เรียกจะได้ยินเสียงโทนจากชุมสายสุดท้ายเริ่มการสนทนาและองวงจรเชื่อมต่อถาวร แต่หลังจากนั้นหากฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งยกเลิกการสนทนาทางชุมสายก็จะยกเลิกวงจรเชื่อมต่อนั้นให้ผู้ใช้รายอื่นใช้งานวงจรเชื่อม โยงต่อไป



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีรับสายเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

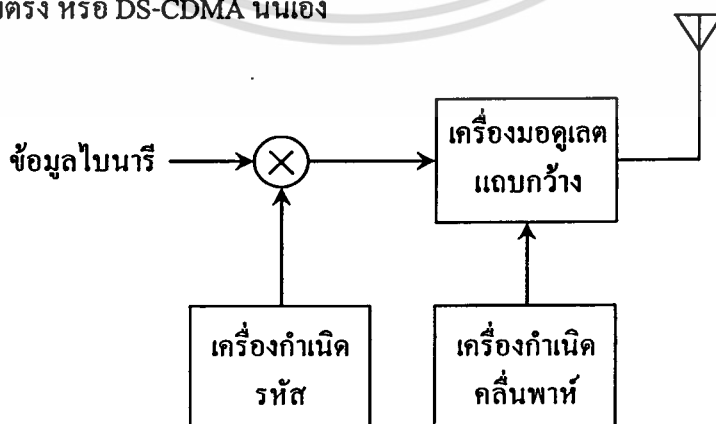
ในรูปที่ 2.4 แสดงการรับสายจากโครงข่ายภายนอก โดยชุมสายอื่นจะส่งสัญญาณมายังชุมสายโทรศัพท์ซีดีเอ็มเอประกอบไปด้วยหมายเลขค้นหาและปลายทางอีกทั้งของวงจรเชื่อมต่อ หลังจากนั้นชุมสายซีดีเอ็มเอจะส่งข้อมูลไปตามฐานข้อมูลโดยที่ฐานข้อมูลจะทราบถึงผู้ใช้ที่อยู่บริเวณชุมสายแห่งใด (ในทางปฏิบัติจะมีชุมสายมากกว่าหนึ่งชุมสาย) และชุมสายนั้นๆ จะส่งหมายชั่วคราวไปอีกชุมสายที่ลูกค้าอยู่เพื่อของวงจรเชื่อมโยง ขั้นตอนต่อไปชุมสายจะส่งสัญญาณเพจจึงไปยังเครื่องโทรศัพท์และหากมีการยืนยันตอบรับสัญญาณก็จะขอช่องสัญญาณโทรศัพท์ไปยังเครื่องโทรศัพท์อีกครั้ง หลังจากนั้นชุมสายจะของวงจรกับตัวควบคุมสถานีฐาน และหากผู้ใช้รับสายก็จะมีการใช้วงจรสนทนาเกิดขึ้นอย่างถาวรจนกว่าจะมีการวางสายจากฝ่ายใดฝ่ายชุมสายก็จะยกเลิกวงจรนั้นให้ว่างตามปกติเพื่อให้ผู้ใช้รายอื่นใช้ช่องวงจรต่อไป ทั้งหมดนี้เป็นตัวอย่างการสร้างวงจรสนทนาเบื้องต้นในการทำงานโครงข่ายซีดีเอ็มเอ

### 2.3 ชนิดของสเปกตรัมแผ่ของสัญญาณ .

การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแบ่งตามวิธีการคือ วิธีการจัดลำดับโดยตรง (direct- sequence) วิธีการกระโดดของความถี่ (frequency hopping) วิธีการกระโดดของเวลา (time hopping) มีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

#### 2.3.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยวิธีลำดับตรง (Direct Sequence: DS)

สำหรับการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence Code Division Multiple Access : DS-CDMA) สัญญาณข้อมูลไบนารีจะถูกนำไปคูณโดยตรงกับสัญญาณรหัส โดยสัญญาณข้อมูลไบนารีและรหัสสัญญาณนี้จะประกอบด้วยบิตต่างๆ ของรหัสหรือเรียกว่าชิพ ก็ได้ ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น +1 หรือ -1 เพื่อที่จะให้ได้การแผ่ของสัญญาณตามต้องการ อัตราชิพ (Chip rate) และใช้เทคนิคการมอดูเลตได้หลายวิธีเช่น BPSK QPSK โดยในรูปที่ 2.5 เป็นการมอดูเลตแบบBPSK ฉะนั้นจึงเรียกวิธีการนี้ว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยวิธีลำดับตรง หรือ DS-CDMA นั่นเอง

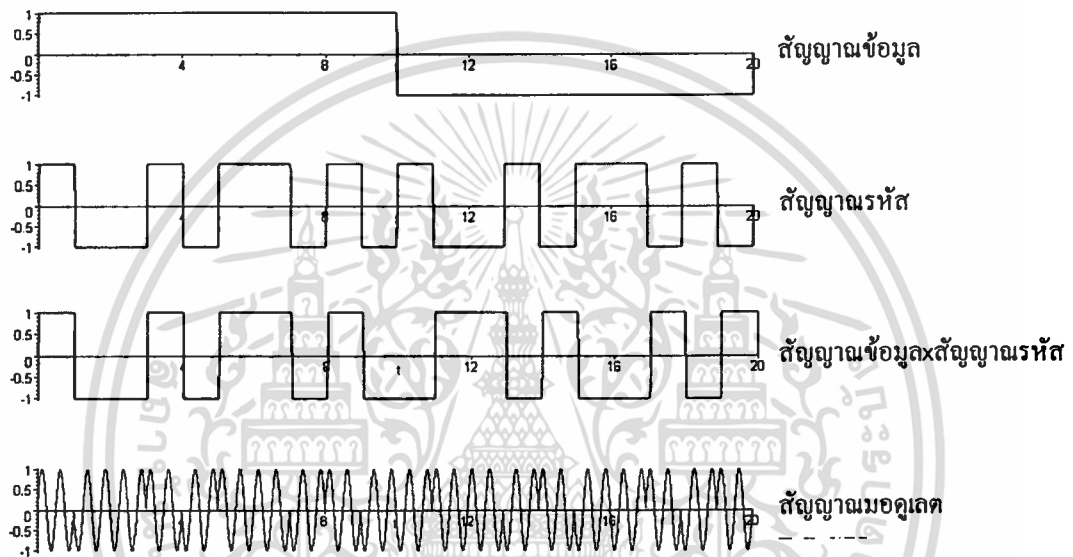


รูปที่ 2.5 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

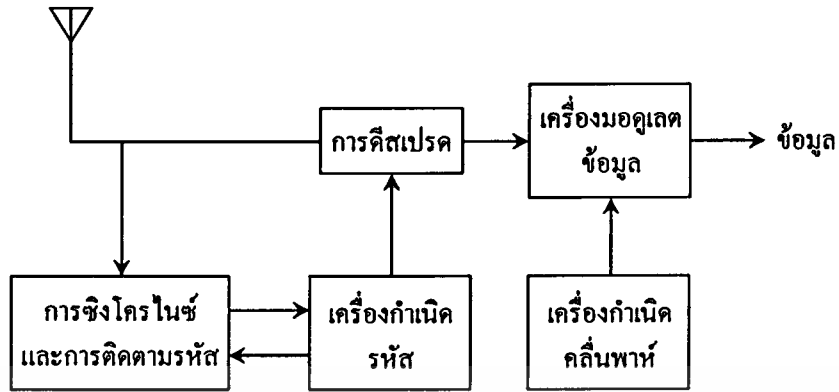
จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเป็นการส่งสัญญาณรหัส 10 บิตต่อสัญญาณข้อมูล 1 บิต (อัตราชีพของรหัสเป็น 10 เท่าของอัตราชีพของข้อมูล) ดังนั้นจะได้อัตราขยายการประมวลผล(Processing Gain :  $G_p$ ) เป็น 10 แสดงดังสมการที่ 2.1 ในทางปฏิบัติอัตราขยายการประมวลผลจะมีค่ามากกว่านี้มาก (อาจจะมีค่าเป็น  $10^2$  ถึง  $10^3$  หรือมากกว่า)

$$G_p = \frac{T_b}{T_c} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.6 สัญญาณต่างๆ ของระบบ DS-SS ที่ใช้การมอดูเลตรหัสแบบ BPSK

หลังจากการส่งสัญญาณ ที่เครื่องรับดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัย (coherent demodulation) เพื่อดีสเพรคสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้การสร้างลำดับรหัสที่เครื่องรับ การที่กระบวนการดีสเพรคจะสำเร็จได้นั้น ไม่เพียงแต่เครื่องรับจะต้องรู้ลำดับรหัสที่ใช้ในการแผ่สัญญาณเท่านั้น แต่รหัสของสัญญาณที่รับได้และรหัสที่สร้างขึ้นที่เครื่องรับต้องซิงโครไนซ์กันด้วย ซึ่งการซิงโครไนซ์นี้จะต้องสมบูรณ์ตั้งแต่เริ่มรับสัญญาณ ไปจนถึงสิ้นสุดการรับสัญญาณ โดยกระบวนการนี้อยู่ในบล็อกรับของการซิงโครไนซ์และการติดตามรหัส (code synchronization/tracking) ตามรูปที่ 2.7 และหลังจากการดีสเพรคและการดีมอดูเลตแล้วก็จะได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ DS-SS

จากที่ได้กล่าวมาได้พูดถึงคุณสมบัติอันเป็นประโยชน์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของระบบ CDMA คือความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ และคุณสมบัติของการมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ระบบการสื่อสารมีความปลอดภัยและมีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น คุณสมบัติอธิบายดังนี้

### 1) การเข้าถึงหลายทาง

ถ้ามีผู้ใช้งานหลายคนใช้ช่องสัญญาณในเวลาเดียวกันจะทำให้มีสัญญาณ DS หลายๆ สัญญาณที่มีการเหลื่อมทับ (overlap) กันในทางเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับจะใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนัยเพื่อกำจัดผลของการ โมดูเลตและรหัสออกไป กระบวนการดังกล่าวจะเป็นการรวมกำลังของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคให้อยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ข้อมูล ถ้าค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการและรหัสของผู้ใช้อื่นๆ ที่เข้ามาแทรกสอดมีค่าน้อย การดีเทคแบบร่วมนัยจะทำให้มีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดอยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ถ้าขบวนการหาค่าสหสัมพันธ์ตามอุดมคติแล้ว ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่อยู่ภายนอกช่วง  $[-T_c, T_c]$  จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ  $T_c$  เป็นช่วงกว้างของชิพ แสดงว่าถ้าทำการรับสัญญาณที่ต้องการดีเทคและสัญญาณเดียวกันนี้ที่ถูกหน่วงเวลาไปมากกว่า  $2T_c$  เมื่อใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนัยจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาไปถูกมองว่าเป็นสัญญาณแทรกสอดและจะมีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดนี้อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ของข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 3) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

การดีเทคแบบร่วมนัยที่เครื่องรับทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยลำดับของรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับ ผลของกระบวนการดังกล่าวก็จะเหมือนกับการคูณสัญญาณแบนด์แคบด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับของรหัสแบนด์กว้างที่เครื่องส่ง นั่นคือจะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณแบนด์แคบมีการแผ่กว้างออก ดังนั้นกำลังงานของสัญญาณแบนด์แคบซึ่งอยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล จะมีค่าลดลงด้วยค่าแฟกเตอร์ที่เท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

#### 4) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

เนื่องจากสัญญาณ DS นั้นจะใช้สเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดตลอดเวลา ทำให้มีกำลังส่งต่อเฮิร์ตต่ำมาก จึงเป็นการยากที่จะทำการดักจับสัญญาณ DS นี้

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้วระบบ DS-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ อีก ซึ่งสามารถแยกเป็นข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

#### ข้อดีของระบบ DS-CDMA

- 1) การสร้างสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสสามารถทำได้ง่ายโดยใช้กระบวนการคูณธรรมดา
- 2) วงจรสังเคราะห์ความถี่จะเป็นวงจรง่ายๆ เนื่องจากใช้ความถี่พาห်เพียงความถี่เดียว
- 3) สามารถใช้โมดูลสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้การคูณแบบร่วมนัยได้
- 4) ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครไนซ์ระหว่างผู้ใช้

#### ข้อเสียของระบบ DS-CDMA

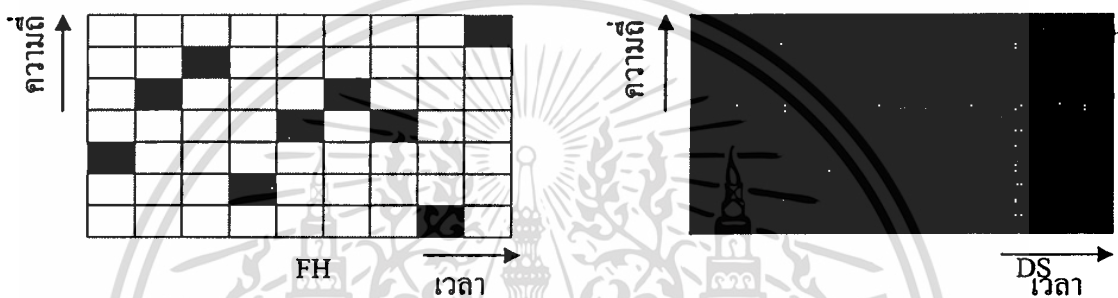
- 1) การเริ่มต้นและรักษาระบบซิงโครไนซ์ระหว่างรหัสของสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรหัสที่สร้างขึ้นทางด้านการรับทำได้ยาก ซึ่งกระบวนการซิงโครไนซ์นี้จะต้องเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาของชิพ
- 2) การที่จะรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ขบวนการรหัสที่สร้างขึ้นจะต้องซิงโครไนซ์กับขบวนการรหัสที่รับได้ภายในช่วงเวลาของชิพ ซึ่งส่งผลให้ขนาดของแบนด์วิดท์ในทางปฏิบัติถูกจำกัดอยู่ในช่วง 10-20 MHz
- 3) กำลังงานของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะมีค่ามากกว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปมาก เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะส่งสัญญาณโดยใช้แบนด์วิดท์ที่มีทั้งหมด ดังนั้นผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะทำให้เกิดการแทรกสอดอย่างมากต่อผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐาน ทำให้ไม่สามารถทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานได้ ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของความใกล้-ไกลของสัญญาณ (near-far effect) นี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้กระบวนการควบคุมกำลังงาน (power control) ซึ่งทำให้สถานีฐานทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ทั้งหมดด้วยกำลังงานเฉลี่ยที่เท่ากัน

#### 2.3.2 การกระโดดทางความถี่ (Frequency Hopping : FH)

วิธีการนี้ความถี่พาห်ของสัญญาณข่าวสารที่ถูกมอดูเลตจะไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่มีคาบช่วงเวลา T กล่าวคือ ความถี่พาห်จะคงที่แต่จะเปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการกระโดดนี้จะ เป็นไปตามสัญญาณรหัสซึ่งเซตของความถี่ที่เป็นไปได้จะเรียกว่าเซตของการกระโดด ซึ่งความถี่จะแตกต่างกันกับกรณีของวิธีการจัดลำดับโดยตรง โดยวิธีดังกล่าวจะใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแต่ในขณะที่วิธีนี้จะใช้แบนด์วิดท์เพียงส่วนเล็กๆเพื่อใช้ในการส่งแต่ความถี่จะเปลี่ยนไปในเวลาที่แตกต่างกัน สมมุติว่าวิธีการกระโดดความถี่ส่งใน ความถี่ที่สอง ในช่วงคาบเวลาแรกดังรูปที่ 2.8 หากแต่ระบบการจัดลำดับโดยตรงจะส่งในช่วงเวลาเดียวกันตลอดช่วงความถี่ ดังนั้นค่ากำลังงานที่ส่งในช่วงความถี่หนึ่ง ตลอดช่วงเวลา แต่วิธีการกระโดดความถี่ มันจะส่งในช่วงความถี่เฉพาะในช่วงเวลาเท่านั้น ในระบบทั้งสองจะมีค่ากำลังงานในช่วงความถี่เท่ากัน



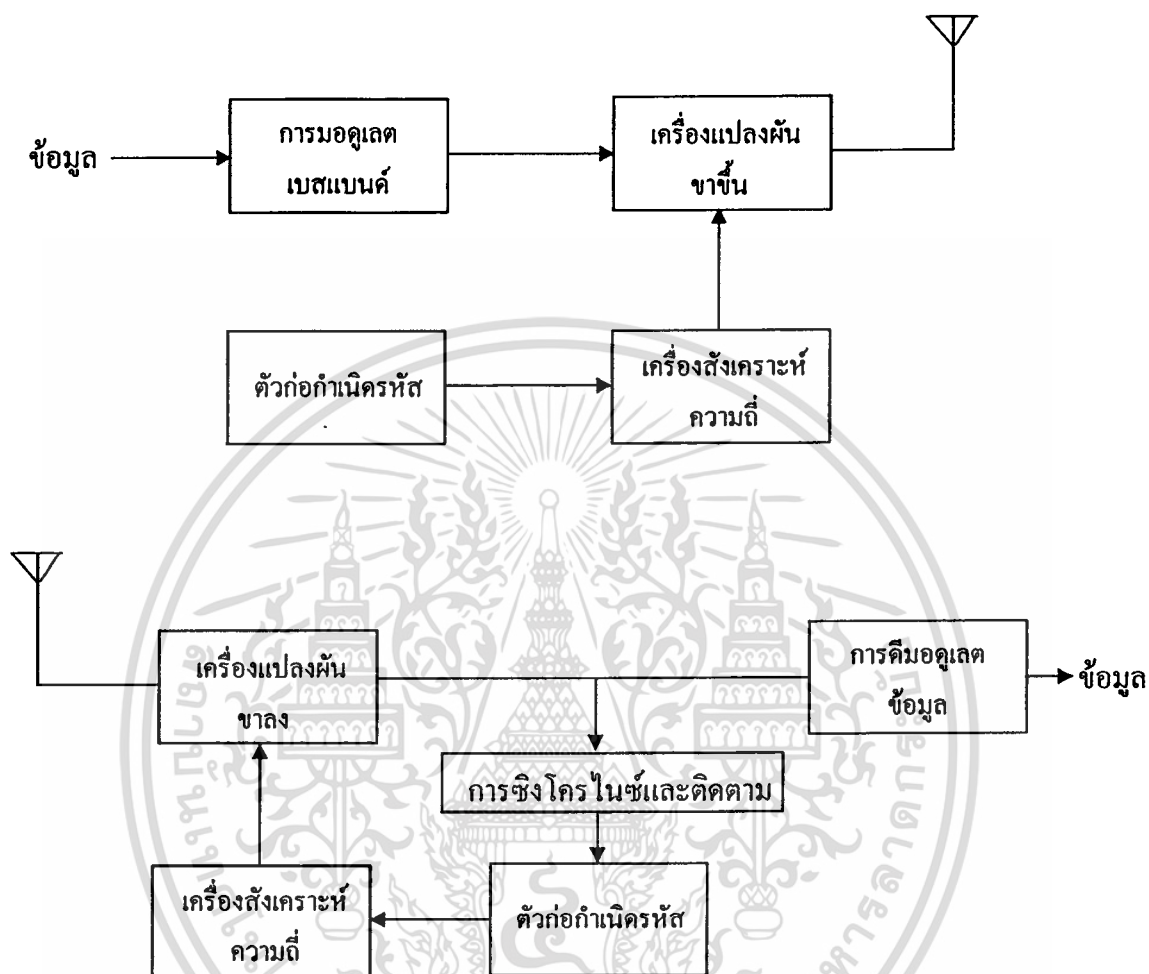
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา ความถี่ของระบบ DS และ FH

สัญญาณข้อมูลจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (baseband) ที่ถูกโมดูเลตกับสัญญาณพาห้โดยสามารถใช้เทคนิคการโมดูเลตได้หลายวิธี แต่ในการประยุกต์ใช้งานระบบ FH จริงๆ ไม่สามารถใช้ได้ทุกวิธี โดยมักจะใช้การโมดูเลตแบบ FM สำหรับสัญญาณอนาล็อกและใช้การโมดูเลตแบบ GSK สำหรับสัญญาณดิจิทัล จากรูปจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้อย่างรวดเร็วโดยการควบคุมจากสัญญาณรหัส ดังนั้นความถี่พาห้จะถูกแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเป็นความถี่ในการส่งสัญญาณ เครื่องรับจากรูปที่ 2.9 ก็จะใช้วิธีกลับกับทางด้านส่ง โดยใช้วงจรกำเนิดขบวนรหัสเพื่อนำมาใช้ในการแปลงความถี่ของสัญญาณที่รับได้ให้ต่ำลงมาเป็นความถี่พาห้ซึ่งใช้ในการโมดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ทางด้านส่ง หลังจากนั้นก็จะทำการดีโมดูเลตจึงได้สัญญาณข้อมูลเดิม กลับคืนมา วงจรซิงโครไนซ์/การติดตาม (synchronize/tracking) จะถูกนำมาใช้ในการทำให้การกระโดดของความถี่พาห้ที่สร้างขึ้นทางด้านรับเป็นไปอย่างซิงโครไนซ์กับรูปแบบการกระโดดของสัญญาณพาห้ที่รับได้ ดังนั้นจึงสามารถทำการดีสเพลสสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

ระบบ FH-CDMA นี้สามารถจำแนกความแตกต่างโดยใช้อัตราการกระโดดของความถี่พาห้ได้ ดังนี้ ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่ามากกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่าเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส โดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Hopping (F-FH) CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่พาห้หลายครั้งในช่วงเวลาของการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล 1 บิต นั่นคือข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปในหลายๆ ความถี่ แต่ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่าน้อยกว่าอัตราข้อมูลหลายๆจะเรียกว่าการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างช้า (Slow Frequency Hopping (S-FH) CDMA)



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA

สำหรับกรณีนี้จะมีข้อมูลหลายบิตถูกส่งที่ความถี่เดียวกัน การครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับแบนด์วิธของสัญญาณข้อมูลเท่านั้นแต่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของสัญญาณที่มีการกระโดดและความถี่ในการกระโดดอีกด้วย ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่าน้อยกว่าแบนด์วิธของสัญญาณข้อมูลหลายๆ (กรณี S-FH) ปัจจัยสำคัญที่จะควบคุมการครอบครองย่านความถี่คือแบนด์วิธของข้อมูล แต่ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่ามากกว่าแบนด์วิธของข้อมูลหลายๆ รูปร่างพัลส์ของสัญญาณที่มีการกระโดดจะเป็นปัจจัยในการควบคุมการครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ ถ้ารูปร่างพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว) ย่านความถี่ที่ครอบครองจะมีแบนด์เอกซาร์เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิคต์แผ่กว้างออกมาก เป็นผลทำให้จำกัดจำนวนความถี่ในการกระโดด ถ้าทำให้การเปลี่ยนแปลงของความถี่เป็นไปอย่างราบเรียบ (smooth) แบนด์วิคท์ของสัญญาณที่แต่ละความถี่ในการกระโดด จะมีค่าประมาณ  $1/T_h$  เท่าของแบนด์วิคท์ของความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด เมื่อ  $T_h$  มีค่าเท่ากับความถี่ในการกระโดด การจะทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ นั้นทำได้โดยการลดกำลังก่อนที่จะมีการกระโดดของความถี่แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความถี่ในการกระโดดได้เปลี่ยนแปลงไปแล้ว

สำหรับระบบ FH-CDMA นั้นจะมีคุณสมบัติในเรื่องของความสามารถในการเข้าถึงหลายทางการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง การกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบแคบและการมีความน่าจะเป็นในการถูกคักจับสัญญาณต่ำ ดังนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ในระบบ F-FH นั้น 1 บิตข้อมูลจะถูกส่งไปในย่านความถี่ต่างๆ กัน ถ้าผู้ใช้งานต้องการ เป็นเพียงผู้ใช้เดียวที่จะทำการส่งสัญญาณไปในย่านความถี่ทั้งหมด กำลังงานที่รับได้ของสัญญาณที่ต้องการดี เทกจะมีค่ามากกว่ากำลังงานของสัญญาณแทรกสอดมาก ดังนั้นจึงสามารถรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

สำหรับระบบ S-FH หลายๆ บิตจะถูกส่งไปโดยใช้ความถี่เดียวกัน ถ้าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้อื่นทำการส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกันมีค่าต่ำเพียงพอ สัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการจะถูกรับได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงเวลาที่ทำการส่ง ในช่วงเวลาดังกล่าวถ้ามีสัญญาณแทรกสอดที่ส่งมาจากผู้ใช้อื่นในย่านความถี่เดียวกัน จะใช้รหัสตรวจหาค่าผิดพลาด (error correcting code) ในกา นำสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาในช่วงเวลานั้นกลับคืนมาได้

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ระบบ F-FH CDMA ความถี่พาห้จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้งในช่วงของการส่ง 1 บิต ข้อมูลความถี่ของสัญญาณที่ถูกโมดูเลตแล้วจะถูกนำมา โมดูเลตและส่งออกไปด้วยความถี่พาห้ที่ต่างๆ กัน ซึ่งสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่ต่างกันจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายเส้นทาง (multipath) ที่ต่างกันเป็นผลทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ถูก โมดูเลตข้างต้นอาจจะถูกขยายที่ความพาห้ความถี่หนึ่งแต่จะถูกลดทอนที่ความถี่พาห้ที่อีกความถี่หนึ่งหรือในทางกลับกัน ที่เครื่องรับ ผลตอบสนองที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆ กันจะถูกเฉลี่ยและทำให้ผลของการแทรกสอดแบบหลายเส้นทางลดลง

3) สัญญาณแทรกสอดแบบแคบ

สมมติว่ามีสัญญาณแบบแคบเข้ามาแทรกสอดที่ความถี่ในการกระโดด ถ้ามีความถี่ในการกระโดด  $G_p$  ความถี่ (เมื่อ  $G_p$  เป็นอัตราขยายการประมวลผล) ผู้ใช้ที่ต้องการ (โดยเฉลี่ย) จะใช้ความถี่ในการกระโดดซึ่งจะมีการแทรกสอดอยู่เพียง  $1/G_p$  เปอร์เซนต์ของเวลา ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดจะถูกทำให้ลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น  $G_p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) ความน่าจะเป็นในการถูกค้ำจับสัญญาณต่ำ

ความยากในการค้ำจับสัญญาณ FH ไม่ได้อยู่ที่การใช้กำลังส่งที่ต่ำ ในช่วงระหว่างการส่งสัญญาณระบบ FH-CDMA จะใช้กำลังส่งต่อเฮิร์ตสูงพอๆ กับการส่งแบบต่อเนื่อง แต่ความถี่ที่สัญญาณจะถูกส่งออกไปนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่น นอกจากนี้ช่วงเวลาของการส่งสัญญาณที่แต่ละความถี่ก็ยังสั้นมากอีกด้วย ดังนั้นแม้ว่าสัญญาณ FH จะถูกค้ำจับได้ง่ายกว่าสัญญาณ DS แต่ก็ยังคงต้องใช้กระบวนการที่ยุ่งยากมากที่จะทราบความหมายของสัญญาณระบบ FH-CDMA สามารถแยกเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

##### ข้อดีของระบบ FH-CDMA

- 1) การชิงโครโมโซมของระบบ FH-CDMA สามารถทำได้ง่ายกว่าระบบ DS-CDMA มาก การชิงโครโมโซมของระบบ FH-CDMA นั้นจะต้องทำภายในช่วงของเวลาในการกระโดด (hop time) เนื่องจากการแผ่ของสเปกตรัมไม่สามารถทำได้โดยการใช้การกระโดดของความถี่ด้วยความเร็วหลายๆ แต่จะใช้การจัดให้มีเซตของการกระโดดขนาดใหญ่ ดังนั้นเวลาในการกระโดดจะมากกว่าเวลาของชิพของระบบ DS-CDMA มาก ทำให้ระบบ FH-CDMA อนุญาตให้มีค่าความผิดพลาดในการชิงโครโมโซมที่มากกว่า
- 2) แบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆ ที่สัญญาณ FH สามารถครอบครองใช้งานไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกัน เนื่องจากสามารถสร้างวงจรสังเคราะห์ความถี่ให้สังเคราะห์ความถี่กระโดดข้ามส่วนของสเปกตรัมทางความถี่ที่แน่นอนได้ เมื่อประกอบกับการชิงโครโมโซมที่ง่าย ทำให้สามารถมีแบนด์วิดท์สเปกตรัมที่กว้างขึ้นมาก
- 3) เนื่องจากระบบ FH-CDMA เป็นระบบสเปกตรัมแผ่แบบหลีกเลี่ยง (avoidance SS) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้หลายคนจะส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกันในขณะเวลาเดียวกันจะมีค่าน้อย ถ้าผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานทำการส่งสัญญาณ สัญญาณดังกล่าวก็จะถูกรับได้ที่สถานีฐานแม้ว่าผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานกำลังทำการส่งสัญญาณอยู่ก็ตาม เนื่องจากผู้ใช้เหล่านั้นอาจจะกำลังส่งสัญญาณที่ความถี่อื่นๆ อยู่ก็ได้ ด้วยเหตุนี้สมรรถนะในเรื่องของ near-far effect จะดีกว่าระบบ DS-CDMA มาก
- 4) ระบบ FH-CDMA มีความเป็นไปได้ที่จะลดผลของสัญญาณแทรกสอดแบบแคบได้ดีกว่าระบบ DS-CDMA เนื่องจากความเป็นไปได้ในการที่จะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า

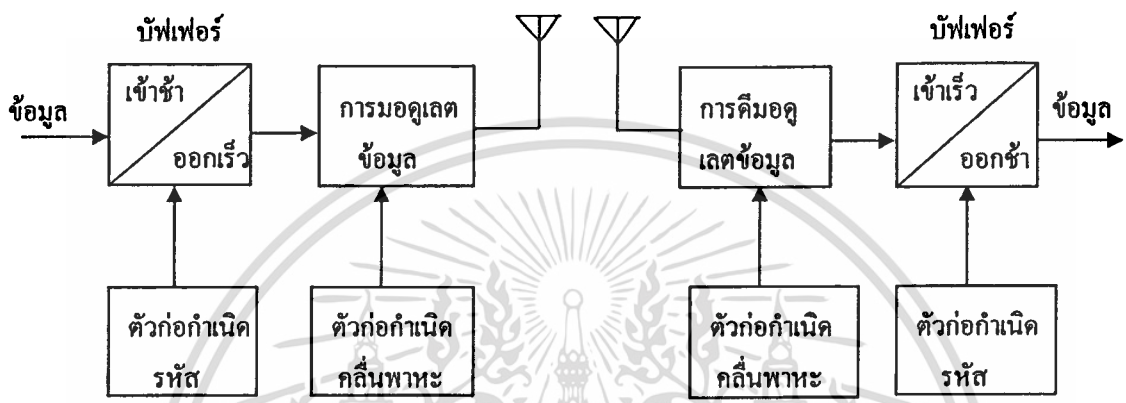
##### ข้อเสียของระบบ FH-CDMA

- 1) จำเป็นต้องใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่มีความสลับซับซ้อนมาก
- 2) การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณในการเปลี่ยนแปลงย่านความถี่จะทำให้การครอบครองแบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าวสัญญาณจะต้องถูกปิดและเปิดใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่

3) การโมดูเลตแบบร่วมนัยทำได้ยาก เนื่องจากปัญหาของการรักษาความสัมพันธ์ของเฟสในช่วงเวลาของการกระโดด

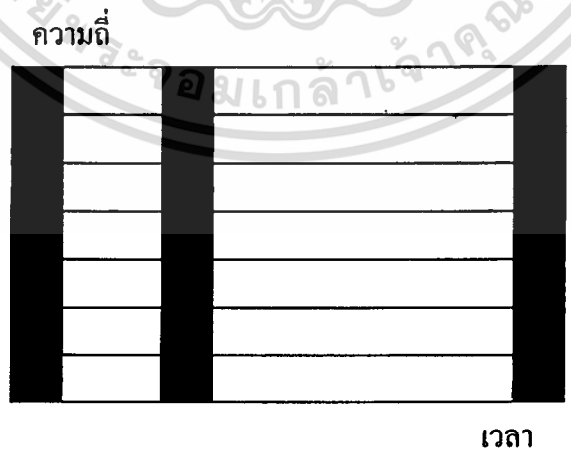
2.3.3 การกระโดดทางเวลา (Time Hopping : TH)

สัญญาณข้อมูลไม่ได้ถูกส่งไปอย่างต่อเนื่อง แต่จะถูกส่งออกไปเป็นเบิร์สต์สั้นๆ โดยช่วงเวลาของเบิร์สต์นั้นจะถูกกำหนดโดยรหัสการแผ่ กล่าวคือ สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปใน burst ภายในช่วงเวลาที่กำหนดรหัสของผู้ใช้แต่ละคน



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA

ในแกนของเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรมและแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น M ไทม์สล็อต ผู้ใช้งานระบบแต่ละคนจะส่งเฟรมในไทม์สล็อตใน M โดยจะขึ้นอยู่กับรหัสที่กำหนดให้ในแต่ละคนเมื่อผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลทั้งหมดภายใน 1 ไทม์สล็อต แทนที่จะทำการส่งข้อมูลไปในทั้งหมด M ไทม์สล็อต ดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น M บล็อกไดอะแกรมของระบบ TH-CDMA แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA

มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) การเข้าถึงหลายทาง

ความสามารถในการเข้าถึงหลายทางของสัญญาณ TH-SS สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับสัญญาณ FH-SS คือการทำให้ความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆ คนที่ย่านความถี่เดียวกันและในขณะเดียวกันให้มีค่าน้อยเพียงพอ สำหรับกรณีการกระโดดของเวลา การส่งสัญญาณทั้งหมดจะส่งไปในย่านความถี่เดียวกัน ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้มากกว่า 1 คนในขณะเวลาเดียวกันจะต้องมีค่าน้อย ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดรหัสต่างๆ กันให้กับผู้ใช้แต่ละคน ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆ คนเกิดขึ้นจริง ก็สามารถมั่นใจได้ว่าจะสามารถรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการได้อย่างถูกต้องโดยการใช้อัตราตรวจสอบความผิดพลาด ถ้ามีการชิงโครไนซ์กันระหว่างผู้ใช้ทั้งหมด และรหัสที่กำหนดให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนทำให้ไม่มีผู้ใช้ในระบบทำการส่งสัญญาณในไทม์สล็อตเดียวกันมากกว่า 1 คน ดังนั้น จะทำให้ระบบ TH-CDMA สามารถลดรูปเป็นระบบ TDMA ได้เมื่อไทม์สล็อตที่ผู้ใช้ทำการส่งไม่ได้ถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเฟรมต่อเฟรม

### 2) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

สัญญาณ TH-CDMA จะถูกส่งออกไปในลักษณะถูกลดเวลา ส่วนที่ลดลงนี้คือ  $1/G_p$  เมื่อ  $G_p$  เป็นอัตราขยายการประมวลผล ที่เครื่องรับสัญญาณแทรกสอดจะถูกปรับเข้ามาเพียงแคในช่วงเวลาที่ทำการรับสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงรับสัญญาณแทรกสอดเข้าเพียง  $1/G_p$  เปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดเท่านั้น จึงเป็นการลดกำลังของสัญญาณแทรกสอดลงด้วยค่าเฟคเตอร์เป็น  $G_p$

### 3) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

สำหรับระบบ TH-CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ที่คงที่ แต่เวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนทำการส่งนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่นและช่วงเวลาในการส่งยังสั้นมาก นอกจากนี้สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนจะมีลักษณะเฉพาะในเรื่องของเวลาที่ทำการส่ง ดังนั้นแม้ว่าเครื่องรับจากระบบอื่นๆ จะทำการดักจับสัญญาณได้ แต่ก็เป็นการยากที่จะแบ่งแยกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการส่งได้ นอกจากนั้นยังไม่สามารถทราบได้ว่าการส่งใดเป็นของผู้ใช้คนใด

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว ระบบ TH-CDMA สามารถแยกเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

#### ข้อดีของระบบ TH-CDMA

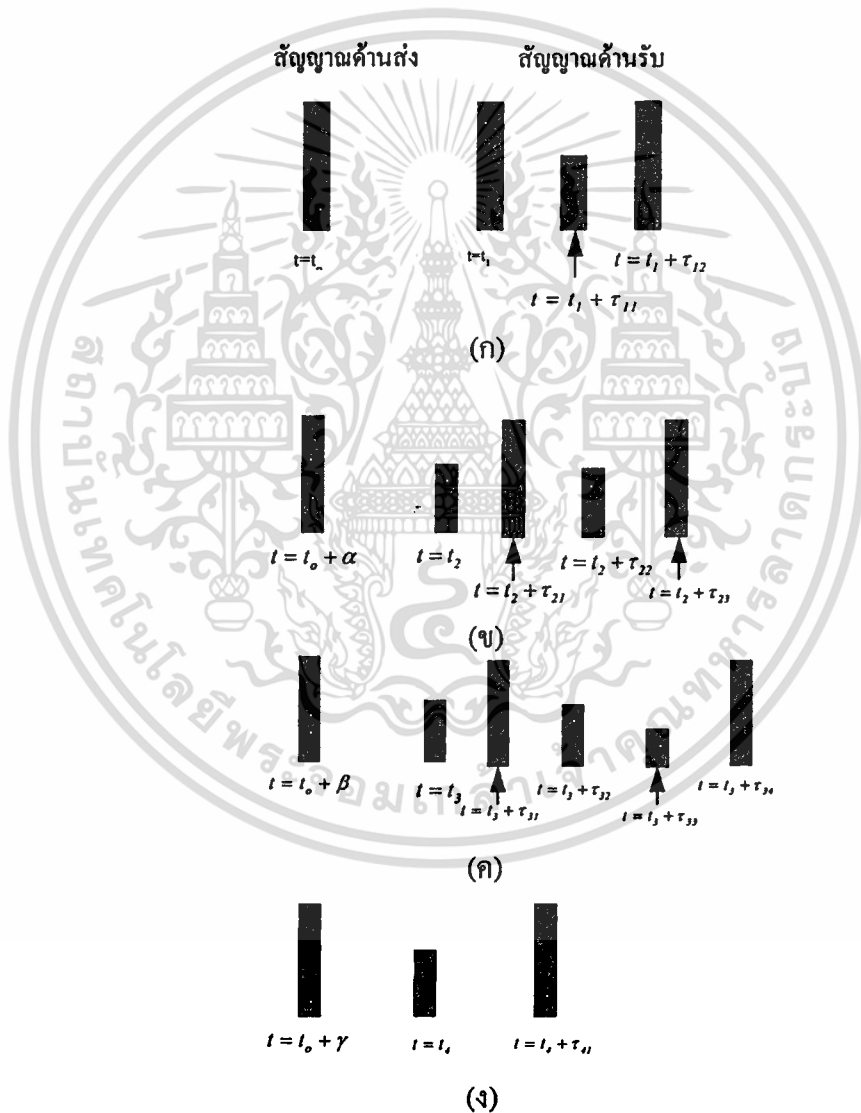
- 1) การนำไปสร้างใช้งานทำได้ง่ายกว่าระบบ FH-CDMA
- 2) เมื่อเครื่องส่งมีกำลังเฉลี่ยจำกัดแต่มีกำลังสูงสุดไม่จำกัดระบบ TH-CDMA จะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เนื่องจากข้อมูลได้ถูกส่งออกไปใน burst สั้นๆ ด้วยกำลังงานสูง
- 3) มีปัญหาจาก near-far effect น้อยมากเช่นเดียวกับระบบ FH-CDMA เนื่องจากเป็นระบบแบบมีการหลีกเลี่ยง ดังนั้นตลอดเวลาเครื่องปลายทางที่อยู่ไกลจากสถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณเพียงเครื่องเดียว โดยไม่ถูกรบกวนจากการส่งสัญญาณจากสถานีที่อยู่ใกล้เคียง

#### ข้อเสียของระบบ TH-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ต้องใช้เวลาก่อนที่รหัสจะซิงโครไนซ์กัน แต่เครื่องรับต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไว้เพียงช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น
- 2) ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆ คนเกิดขึ้น จะทำให้บิตข้อมูลจำนวนมากเกิดความเสียหาย ดังนั้นจะต้องใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาดที่ดีและจำเป็นต้องมีการวางสลับทางบิต
- 3) สัญญาณการกวนป้อนกลับ (error in the feedback channel) และเงื่อนไขของกราฟฟิก

### 2.4 คุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้ง



รูปที่ 2.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงทางเวลาทางช่องสัญญาณหลายวิถีที่เกิดจากสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีแบบไร้สาย ทางด้านส่งเมื่อส่งสัญญาณออกไปผ่านไปยังช่องสื่อสารต่างๆ จะเกิดการแทรกสอด การสะท้อนและการลดทอน สัญญาณที่มาถึงทางด้านรับ จะเกิดการรวมกันของสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง ซึ่งอาจเป็นการเสริมกันหรือหักล้างกัน

หากทำการส่งพัลส์สัญญาณที่มีคาบสั้นๆ ไปบนช่องสัญญาณหลายวิธีที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาสัญญาณที่รับได้จะเป็นขบวนของพัลส์แสดงดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าคุณลักษณะอย่างหนึ่งของตัวกลางแบบหลายวิธีคือ การแผ่กว้างทางเวลา (time spread) ของสัญญาณเมื่อผ่านช่องสัญญาณ

#### 2.4.1 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และกำลังเชิงสเปกตรัมของช่องสัญญาณ

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเวลาในโครงสร้างของตัวกลาง ถ้าเราทำการส่งพัลส์ไปเรื่อยๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขบวนพัลส์ที่ได้รับ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในขนาดของพัลส์ การประวิงเวลาระหว่างพัลส์ และการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพัลส์ ดังรูปที่ 2.12 โดยที่การเปลี่ยนแปลงของพัลส์ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้

เมื่อพิจารณาผลกระทบของช่องสัญญาณต่อสัญญาณที่ถูกส่งไป โดยที่สัญญาณที่ส่งออกไปแสดงได้ดังสมการ (2.2)

$$s(t) = \text{Re} [s_i(t) e^{j2\pi f_c t}] \quad (2.2)$$

โดยที่  $s(t)$  เป็นสัญญาณทางด้านส่ง มีค่าเท่ากับ  
 $s_i(t)$  เป็น equivalent low pass signal  
 $f_c$  คือความถี่คลื่นพาห้

กำหนดให้เส้นทางในการแพร่กระจายหลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางสอดคล้องกับเวลาประวิงที่แพร่กระจาย (propagation delay) และตัวประกอบการลดทอน (attenuation factor) โดยทั้งสองตัวประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวกลางเป็นแถบผ่านของสัญญาณที่รับได้ดังสมการ

$$x(t) = \sum_n \alpha_n(t) s(t - \tau_n(t)) \quad (2.3)$$

โดย  $\alpha_n(t)$  เป็นอัตราการลดทอนของสัญญาณในวิถีที่ n  
 $\tau_n(t)$  เป็นเวลาของสัญญาณที่ถูกหน่วงของวิถีที่ n  
 $x(t)$  เป็นสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับ

เมื่อแทนค่า  $s(t)$  จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.3) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

$$x(t) = \text{Re} \left( \left\{ \sum_n \alpha_n(t) e^{-2\pi f_c \tau_n(t)} s_l [t - \tau_n(t)] \right\} e^{j2\pi f_c t} \right) \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) จะแสดงได้ว่าสัญญาณทางด้านการรับ แสดงได้ดังสมการ (2.5)

$$r_l(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s_l(t - \tau_n(t)) \quad (2.5)$$

โดยที่  $r_l(t)$  คือ ผลตอบสนองของช่องสัญญาณผ่านตัวสมมูลต่อสัญญาณแบบผ่านตัวสมมูล

ช่องสัญญาณแบบผ่านตัวสมมูล (equivalent low pass channel) แสดงในรูปผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ที่มีการแปรผันตามเวลาแสดงดังในสมการ (2.6)

$$c(\tau, t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s_l(t - \tau_n(t)) \quad (2.6)$$

คุณลักษณะของช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้ง โดยใช้ค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์และฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมเมื่อพิจารณาผลตอบสนองต่ออิมพัลส์แบบผ่านตัวสมมูล โดยกำหนดให้  $c(\tau; t)$  เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ที่เป็นกระบวนการสุ่มที่มีค่าเป็นเชิงซ้อนแบบเกาส์ (complex-valued Gaussian stationary) ในตัวแปร  $t$  กำหนดให้  $c(\tau; t)$  เป็นช่องสัญญาณที่มีลักษณะคงที่แบบกว้าง (wide-sense-stationary) ดังนั้นค่าฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation function) ของ  $c(\tau; t)$  แสดงได้ดังสมการ (2.7)

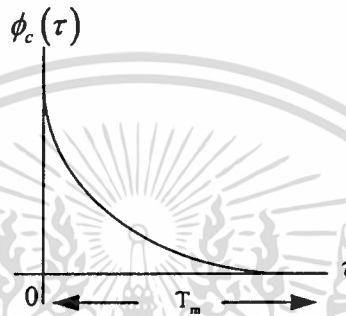
$$\phi_c(\tau_1, \tau_2; \Delta t) = \frac{1}{2} E [c^*(\tau_1; t) c(\tau_2; t + \Delta t)] \quad (2.7)$$

ตัวกลางในการรับส่งสัญญาณวิทยุส่วนมากมีการลดทอน (attenuation) และมุมเฟสที่มีการประวิงเวลา (phase shift) ของช่องสัญญาณที่มีค่าหน่วงเวลา  $\tau_1$  และ  $\tau_2$  มีลักษณะเป็นอิสระจากกัน ไม่สหสัมพันธ์กัน (uncorrelate) ดังนั้นสมการ (2.7) สามารถเขียนได้เป็นสมการ (2.8)

$$\frac{1}{2} E [c^*(\tau_1; t) c(\tau_2; t + \Delta t)] = \phi_c(\tau_1; \Delta t) \delta(\tau_1 - \tau_2) \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา  $\Delta t = 0$  ค่าฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์  $\phi_c(\tau; 0) \equiv \phi_c(\tau)$  คือค่ากำลังงานเอาท์พุทเฉลี่ยของช่องสัญญาณที่มีค่าการประวิงเวลา  $\tau$  โดย  $\phi_c(\tau; \Delta t)$  เป็นความเข้มของสัญญาณหลายวิถี (multipath intensity profile: MIP) ของช่องสัญญาณที่มีการประวิงเวลา โดยทั่วไป  $\phi_c(\tau; \Delta t)$  ค่ากำลังงานเอาท์พุทเฉลี่ยที่ขึ้นกับค่าการประวิงเวลา  $\tau$  และความแตกต่างในการสังเกต  $\Delta t$  ปกติฟังก์ชัน  $\phi_c(\tau)$  จะมีขนาดที่ลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อเวลาประวิงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $\tau$  ที่ทำให้  $\phi_c(\tau)$  มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เรียกว่า การแผ่หลายวิถี (multipath spread) ของช่องสัญญาณแทนด้วย  $T_m$  ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 คุณลักษณะของรูปร่างความเข้มของสัญญาณหลายวิถี

ลักษณะของช่องสัญญาณเป็นคังสมการ

$$C(f; t) = \int c(\tau; t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2.9)$$

เมื่อกำหนดให้ช่องสัญญาณมีลักษณะคังที่แบบกว้าง (Wide-sense-stationary) การหาค่าฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์เป็นคังสมการ

$$\phi_c(f_1, f_2; \Delta t) = \frac{1}{2} E[C^*(f_1, t) C(f_2, t + \Delta t)] \quad (2.10)$$

แทนสมการ (2.9) ในสมการ (2.10) ดังนั้น

$$\phi_c(f_1, f_2; \Delta t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E[C^*(\tau_1, t) C(\tau_2, t + \Delta t)] e^{j2\pi(f_1\tau_1 - f_2\tau_2)} d\tau_1 d\tau_2 \quad (2.11)$$

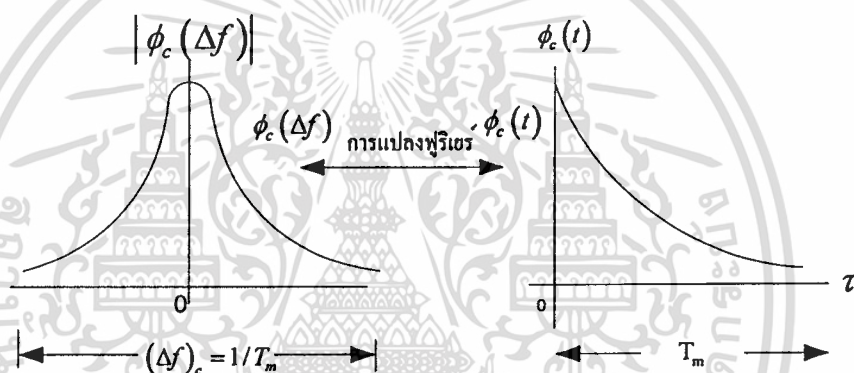
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $\Delta f = f_2 - f_1$  จากสมการ (2.11) เห็นว่า  $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$  คือผลการแปลงฟูรีเยร์ของ MIP เรียก  $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$  ว่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของการกระจายทางความถี่และทางเวลาของช่องสัญญาณ

แทนค่า  $\Delta t = 0$  ในสมการ (2.11) จะได้  $\phi_c(\Delta f; 0) \equiv \phi_c(\Delta f)$  และ  $\phi_c(\tau; 0) \equiv \phi_c(\tau)$  ดังนั้น

$$\phi_c(\Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_c(\tau) e^{-j2\pi\Delta f\tau} d\tau \quad (2.12)$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.14 จากรูปค่าโคฮีเรนต์แบนด์วิดท์ (coherent bandwidth) แสดงได้โดย



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi_c(\Delta f)$  และ  $\phi_c(\tau)$

เมื่อ  $(\Delta f)_c$  เป็นค่าโคฮีเรนต์แบนด์วิดท์ถ้าค่า  $(\Delta f)_c$  มีค่าน้อยกว่าค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ส่งออกมา ช่องสัญญาณดังกล่าวจะเรียกว่าเป็นช่องสัญญาณแบบเปลี่ยนแปลงตาม

$$(\Delta f)_c \approx \frac{1}{T_m} \quad (2.13)$$

ความถี่ ในทางกลับกันถ้า  $(\Delta f)_c$  มีค่ามากกว่าค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกมา ช่องสัญญาณดังกล่าวจะเรียกว่าเป็นช่องสัญญาณแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่

## 2.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณสามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งจะมีค่าของผลตอบสนองอิมพัลส์ (impulse response) ของวงจรกรองความถี่ต่ำในกรณีทั่วไป สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$c(\tau; t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_n(t) e^{-j\gamma_n} \delta(t - \tau_n(t)) \quad (2.14)$$

โดยที่  $\alpha_n$  เป็นอัตราการลดทอนทางด้านแอมพลิจูดของสัญญาณ (Amplitude distortion factor) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น แสดงด้วยการแจกแจงแบบต่างๆ

$\tau_n$  เป็นประวิงเวลา (time delay) ในเส้นทางต่างๆ ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มบนช่วง  $[0, T]$

$\gamma_n$  เป็นการประวิงเฟส (phase delay) ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มบนช่วง  $[0, 2\pi]$

$L$  เป็นจำนวนเส้นทาง ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของการจางหายหลายวิถี (multipath fading) เป็นผลเนื่องมาจากการสะท้อน การหักเห และการกระเจิงของสัญญาณภายในช่องสัญญาณ

### 2.4.2.1 แบบจำลองของเรย์ลี (Rayleigh model)

แบบจำลองของ Rayleigh นั้นสามารถอธิบายการแจกแจงของความหนาแน่นกำลังของสัญญาณในสภาพแวดล้อมในเมืองและเหมาะสมกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากพบปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อระดับความแรงของสัญญาณซึ่งเรียกว่าการจางหายในหลายวิถี เมื่อสัญญาณเดินทางมากกว่าหนึ่งเส้นทางจากทางด้านส่งไปยังด้านรับและไม่สามารถรับสัญญาณโดยตรงจากด้านส่งแต่จะได้รับการส่งจากทิศทางอื่นๆทำให้สัญญาณอ่อนลง ซึ่งจะตกกระทบมาจาก เช่น บ้านเรือน อาคารสูงต่างๆ จึงเป็นการยากมากที่ของการส่งสัญญาณในระดับสายตา (line of sight) ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ดังนั้นสัญญาณอาจจะเดินทางไปถึงเครื่องรับโดยผ่านการสะท้อนกับอาคารสูงและใหญ่หลายครั้ง เราสามารถแสดงด้วยค่าความหนาแน่นของฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังสมการ (2.15)

$$\rho(\alpha) = \frac{2\alpha}{\alpha^2} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{\alpha^2}\right] \quad \text{เมื่อ } \alpha \geq 0 \quad (2.15)$$

### 2.4.2.2 แบบจำลองของไรท์เซียน (Rician model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองของ Rician เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมในชนบท ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ค่า ใช้จำลองเส้นทางในการกระจายสัญญาณประกอบด้วยส่วนหลักคือ ส่วนของ เส้นทางหลัก direct line-of -sight และส่วนประกอบในเส้นทางรอง ที่มีความแรงของ สัญญาณแรงลงมา แสดงด้วยฟังก์ชันค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นคังสมการ (2.16)

$$\rho(\alpha) = \frac{2\alpha}{\alpha^2} \exp\left[-\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha^2}\right] I_0\left[\frac{a\alpha}{\alpha^2}\right] \quad \text{เมื่อ } \alpha \geq 0 \quad (2.16)$$

เมื่อ  $I_0(x)$  คือ ฟังก์ชันเบสเซล (Bessel Function)

## 2.5 เครื่องสร้างรหัส

ในหัวข้อนี้เราจำเป็นต้องเข้าใจถึงแนวทางการสร้างรหัส และ คุณสมบัติของรหัสที่ เรียกว่า PN โค้ด(Pseudorandom noise) มันถูกสร้างขึ้นโดยวิธีที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน หากแต่ รหัสที่ได้นั้นจะมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณRandomมาก โดยรหัสนี้ได้ถูกนำมาใช้งาน กันอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่นนำมาใช้การ ซิงโครไนซ์สัญญาณ (Signal Synchronization) การ เข้ารหัสลับข้อมูล (Cryptography) และการทำสเปกตรัม (Spread Spectrum)

การสร้างรหัสหรือชิปจะถูกสร้างขึ้นจากชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift Register) จำนวนหนึ่งโดยมา ต่อเชื่อมกันแบบอนุกรมและมีการป้อนกลับของสัญญาณจากตัวชิฟต์รีจิสเตอร์ เป็นจำนวนอย่าง น้อยสองตำแหน่งกลับไปยังที่ขาเข้าของชิฟต์รีจิสเตอร์ตัวแรก โดยนิยาม แล้วรหัสนี้สามารถ สร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวได้มากที่สุด คือ  $2^n - 1$  เมื่อกำหนดให้  $n$  เป็นจำนวนของชิฟต์รีจิส เตอร์ที่ใช้ ชุดรหัสทุกชุดที่สร้างขึ้นจะต้องมีคุณสมบัติเฉพาะดังต่อไปนี้

- 1) ความยาวรหัสมีมากที่สุดเท่ากับ  $L = 2^n - 1$
- 2) มีคุณสมบัติการสมดุล

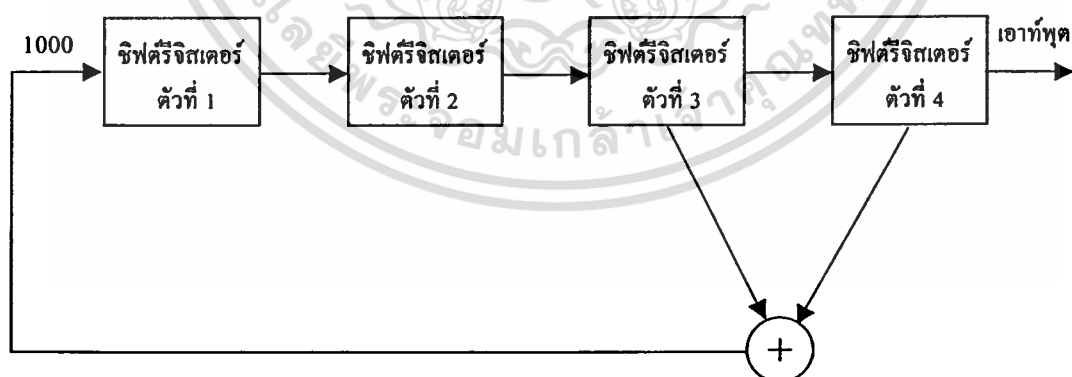
รหัสที่มีค่าเป็นหนึ่งจะต้องมีจำนวนมากกว่ารหัสที่มีค่าเป็นศูนย์ อยู่หนึ่งเสมอ ยกตัวอย่าง เช่น กำหนดให้มีชิฟต์รีจิสเตอร์เป็น 4 ตัว ดังนั้น มีความยาวรหัสสูงสุด คือ  $2^4 - 1$  เท่ากับ 15 ชิป โดยจะประกอบไปด้วยรหัสที่มีค่าเป็นหนึ่งเท่ากับ 8 ชิป และรหัสที่มีค่าเป็นศูนย์เท่า 7 ชิป

3) ภายในลำดับรหัสแต่ละชุดจะมีช่วงของชิปที่มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งต่อเนื่องกันจำนวนหนึ่ง ส่วนที่ต่อเนื่องกันนี้เราจะเรียกว่าการวิ่ง(run) โดยความยาวของแต่ละการวิ่งจะมีขนาดที่แตกต่างกัน ไป ในการวิ่งจะมีค่าศูนย์และหนึ่งขนาด  $P$  ชิปเกิดขึ้นในลำดับของสัญญาณทั้งสิ้น  $2^{n-(P+2)}$  ครั้ง โดย  $P$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $n-2$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนชิฟต์รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลำดับของสัญญาณชิป

นอกจากนี้จะมีการวิ่งของศูนย์ขนาด  $n-1$  จำนวนหนึ่ง การวิ่ง ยกตัวอย่างเช่น  $n$  เท่ากับ 4 ดังนั้นค่า ศูนย์จะมีเท่ากับค่าหนึ่งที่อยู่ติดกันของแต่ละลำดับสัญญาณ

4) คุณสมบัติอัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation) เป็นการเทียบคุณสมบัติเมื่อรหัสเทียบกับตัวมันเอง โดยในการเลื่อนของชุดรหัสทั้งสองชุดที่เหมือนกันทุกประการ มีขนาดห่างกันมากกว่า  $\pm 1$  ซิป แต่ถ้าหากการเลื่อนของชุดรหัสทั้งสองชุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเลื่อนไปของชุดรหัสมีทั้งสองอย่างเป็นเชิงเส้น โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $-1$  ถึง  $2^{-n}$  เราสามารถแสดงดังรูป 2.16 ซึ่งจากรูปเป็นการหาค่าอัตโนมัติสัมพันธ์สามารถกระทำได้โดยนำค่าซิปจากลำดับ สัญญาณ 2 ชุด ที่ตำแหน่งเดียวกันมาคูณกัน แล้วนำผล คูณ ที่ได้ของแต่ละตำแหน่งมาบวก รวมกันทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือค่าอัตโนมัติสัมพันธ์ ทั้งนี้ในการ คูณ กันนั้นจะกำหนดให้ใช้ค่า  $-1$  แทนซิปที่มีค่าเป็นศูนย์ และค่า  $+1$  แทนซิปที่มีค่าเป็นหนึ่ง ในการหาค่าอัตโนมัติสัมพันธ์นั้นจะต้องใช้ลำดับของสัญญาณสองชุดที่เหมือนกัน แต่อาจมีการเลื่อนซิปของลำดับรหัสสัญญาณชุดหนึ่งให้ต่างจากลำดับสัญญาณของอีกชุดหนึ่งด้วยระยะทางต่างๆตามต้องการ

จากรูป 2.15 เป็นการแสดงตัวอย่างการสร้างรหัสโดยการใช้จำนวนซิปตรีจิสเตอร์ 4 ตัว และกำหนดให้ตำแหน่งซิปตรีจิสเตอร์ตัวที่ สามกับสี่ ทำการโมดูโลแล้วป้อนย้อนกลับไปเข้าของซิปตรีจิสเตอร์ ตัวแรก ให้สัญญาณที่เข้ามามีค่าเท่ากับ 1000 จากตาราง 2.1 และรูปที่ 2.16 แสดงค่าอัตโนมัติสัมพันธ์ของชุดรหัส ดังนั้นจำนวนซิปตรีจิสเตอร์ 4 ตัวที่ใช้จะ ได้เอาท์พุทเป็นจำนวน  $2^n - 1$  เท่ากับ 15 ซิป โดยคุณสมบัติต่างๆสามารถเทียบด้วยข้อกำหนดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

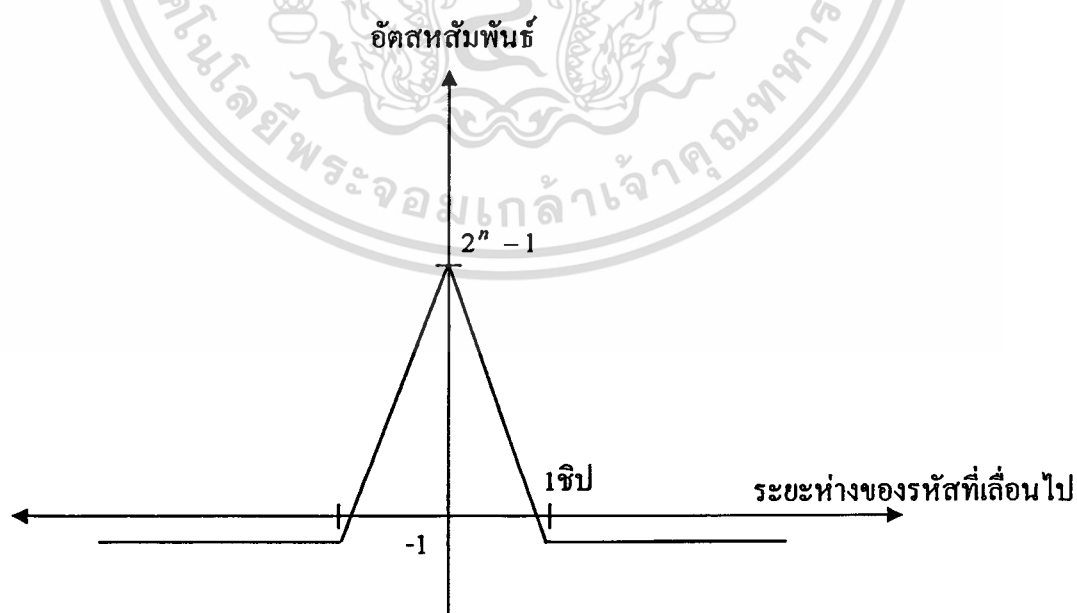


รูปที่ 2.15 แสดงการสร้างรหัส ด้วยจำนวนซิปตรีจิสเตอร์ 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 ค่าอัตราสัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะของซุกรหัส

จำนวนปีที่เลื่อนจากกัน	ลำดับของสัญญาณ	อัตราสัมพันธ์
0	000100110101111	15
1	100010011010111	-1
2	110001001101011	-1
3	111000100110101	-1
4	111100010011010	-1
5	011110001001101	-1
6	101111000100110	-1
7	010111100010011	-1
8	101011110001001	-1
9	110101111000100	-1
10	011010111100010	-1
11	001101011110001	-1
12	100110101111000	-1
13	010011010111100	-1
14	001001101011110	-1
15	000100110101111	15



รูปที่ 2.16 ค่าอัตราสัมพันธ์ของซุกรหัสที่มีการเลื่อนของรหัสที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาค่าของชิฟต์รีจิสเตอร์แต่ละตัว ณ จังหวะเวลาใดเวลาหนึ่ง จะพบว่าค่าหรือสถานะของของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านั้น จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปจากจังหวะเวลาอื่นๆ ทั้งหมด เมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลา 1 คาบ ของลำดับสัญญาณ นั่นคือรูปแบบสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะไม่เกิดซ้ำภายใน 1 คาบสัญญาณ อีกทั้งจะไม่เกิดกรณีที่สถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์หมด เพราะในสถานะดังกล่าววงจรชิฟต์รีจิสเตอร์จะไม่สามารถสร้างลำดับสัญญาณขึ้นได้ ดังนั้นในการสร้างลำดับสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าค่าตั้งต้นของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าที่ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมด

จากคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมาทำให้รหัสประเภทนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ เช่น การที่รหัสมีจำนวนชิปเป็นศูนย์ใกล้เคียงกับชิปที่เป็นหนึ่ง ทำให้เวลานำสัญญาณดังกล่าวกับระบบสื่อสารบางประเภทเช่น ระบบที่มีการมอดูเลตสัญญาณ โดยการ Suppress Carrier นั้นปัญหาดังกล่าวก็จะยิ่งลดลงตามไปด้วย

นอกจากนี้คุณสมบัติดังกล่าวได้นำไปใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ ยกตัวอย่างเช่นการใช้ตัวชิฟต์รีจิสเตอร์ จำนวน 15 ตัว ในการสร้างรหัส ในมาตรฐาน ระบบโทรศัพท์ ซีดีเอ็มเอ ที่เป็น IS-95 เพื่อที่จะใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐาน ดังนั้น การสร้างรหัสนี้มีความยาวเท่ากับ  $2^{15}-1$  เท่ากับ 32,768 ชิปซึ่งสถานีฐานแต่ละสถานีแต่ละแห่งจะใช้วงจรรหัสแบบเดียวกัน แต่จะมีการเลื่อนชิปของลำดับสัญญาณออกไปทีละ 64 ชิป ด้วยเหตุนี้ การใช้งานทั้งหมดคือ 32,768 ชิป หากคูณด้วย 64 ชิป จะมีค่าเท่ากับ 512 ชุดรหัส ซึ่งจะมีสถานีฐานได้ถึง 512 สถานีฐานหากพิจารณาสายอากาศแบบอสมิเซกเตอร์ ส่วนในกรณีตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการสร้างรหัส  $2^{42}-1$  เท่ากับ  $4.39 \times 10^{12}$  ชิปโดยที่แต่ละผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์จะมี 42 ชิป ซึ่งใน 42 ชิป จะมีค่าเท่าที่เราเรียก ESN (Electronic Serial Number) ในแต่ละคนจะมีค่า ESN นี้จะถูกจัดเก็บไว้ในซิมการ์ดหรือเครื่องโทรศัพท์ในกรณีตัวเครื่องไม่มีซิมการ์ดใส่และจะจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล (HLR) ด้วย เพื่อขึ้นตรวจสอบข้อมูลที่ถูกต้อง

## บทที่ 3

# ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ

### 3.1 บทนำ

หัวใจหลักประการสำคัญประการหนึ่งในการออกแบบเครือข่ายของการสื่อสารซีดีเอ็มเอ นั่นก็คือออกแบบให้มีการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการให้ได้มากที่สุด โดยในบทที่สามนี้จะอธิบายถึงหลักการเบื้องต้นการออกแบบขนาดความจุของระบบในการรองรับผู้ใช้บริการ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบที่จะต้องพิจารณา นอกจากนี้ยังอธิบายถึงการตรวจนับเสียงของระบบที่ใช้ในซีดีเอ็มเอ รวมทั้งอธิบายกลไกเบื้องต้นรูปแบบต่างๆของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่จะต้องมีการทำงานร่วมกันระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างความสำเร็จเบื้องต้นถึงส่วนต่างๆเพื่อนำไปใช้คำนวณในบทที่สี่ ต่อไป

### 3.2 ความจุระบบโทรศัพท์ซีดีเอ็มเอ

จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงในระบบ FDMA กล่าวคือแต่ละความถี่ย่อยสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เพียง 1 รายเท่านั้น ขณะที่ TDMA สำหรับมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM กำหนดให้แต่ละความถี่ย่อยสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เป็นจำนวน 8 ราย ซึ่งหากพิจารณาด้านความจุของระบบที่กล่าวไปแล้วการคำนวณหาขนาดความจุค่อนข้างง่ายตรงไปตรงมา แต่สำหรับในระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอขนาดความจุขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณรบกวนแทรกสอดเป็นหลัก กล่าวคือระบบมันจะทำงานได้ตามปกติหากระดับของสัญญาณรบกวนจากผู้โทรศัพท์ที่อยู่ในระดับที่ไม่สูงจนเกินไปในบริเวณรอบข้างที่มีการใช้งานที่ความถี่เดียวกัน

พิจารณาในเซลล์เดียวกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานทั้งสิ้นเป็นจำนวน  $k$  ราย และกำหนดให้ค่าพลังงานของสัญญาณต่อบิต ( $E_b$ ) ต่อ ค่าความหนาแน่นสัญญาณรบกวน ( $N_o$ ) มีค่าเท่ากับ

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P}{I} \cdot (G_p) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$P$  คือค่ากำลังสัญญาณที่ต้องการ

$I$  คือค่ากำลังสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากผู้โทรศัพท์รายอื่นในเซลล์เดียวกัน

$G_p$  คือค่าอัตราขยายประมวลผล (processing gain) มีค่าเท่ากับ  $T_b / T_c$  หรือ  $W/R$  โดย  $W$  เป็นแบนด์วิธการกระจาย (spreading bandwidth)  $R$  เป็นอัตราข้อมูล (data rate) เช่น กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 127 กล่าวคือจะมีจำนวนชิพเป็น 127 ชิป ต่อ บิตข้อมูล ในการพิจารณากรณีผู้ใช้งานรายอื่นๆที่ส่งกำลังสัญญาณมารบกวนผู้ใช้ที่อ้างอิงจะมีค่าเท่ากับ  $K-1$  ราย สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$I = P(K - 1) \quad (3.2)$$

นำสมการที่ (3.2) ลงแทนในสมการที่ (3.1) จะได้

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P}{P(k-1)} \cdot (G_p) \quad (3.3)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าขนาดความจุของระบบได้ ดังนี้

$$K = \frac{(G_p)}{E_b / N_o} + 1 \quad (3.4)$$

หากเราต้องการให้ระบบมีขนาดความจุเพิ่มขึ้นนั้นก็คือการใช้ค่า voice activity factor ( $\lambda$ ) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยให้มีการรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น นอกจากนี้หากพิจารณาผู้ใช้จากเซลล์อื่นที่ส่งกำลังสัญญาณมารบกวนเซลล์อ้างอิง เราเรียกว่าค่า Loading factor ( $\eta$ ) จากผู้ใช้งานรายอื่น โดยมีค่าตั้งแต่ 0 % ถึง 100% หากค่า  $\eta$  เท่ากับศูนย์ หมายถึงไม่มีผู้ใช้จากเซลล์อื่นมารบกวน นั่นคือพิจารณาเซลล์หนึ่งเซลล์นั้น ดังนั้นจากสมการที่ (3.4) จะกลายเป็น

$$K = \frac{(G_p)}{E_b / N_o} \frac{1}{\lambda} \frac{1}{1 + \eta} + 1 \quad (3.5)$$

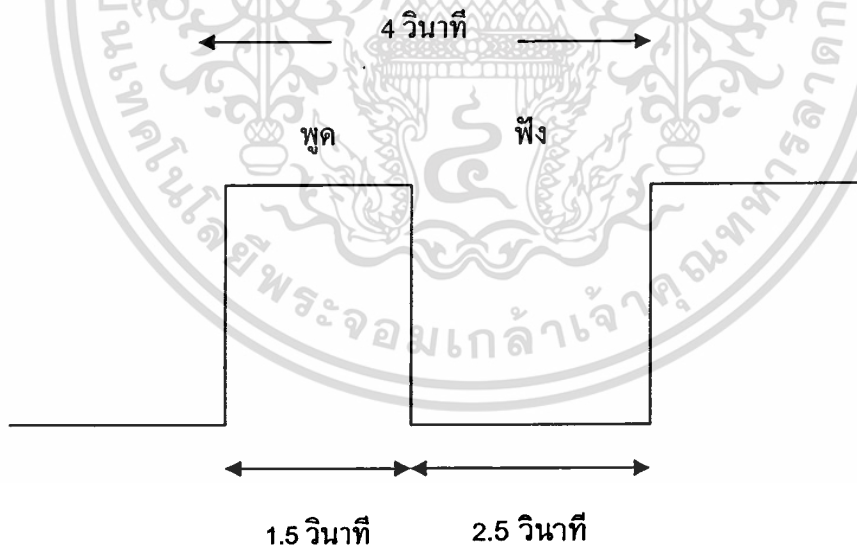
จากสมการที่(3.5) สามารถสรุปในความจุของระบบดังต่อไปนี้ ประการแรก ความจุก็หมายถึงการรองรับผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ ซึ่งมีผลโดยตรงกับค่าอัตราขยายประมวล กล่าวคือ การเพิ่มความจุให้มากขึ้นจำเป็นต้องใช้แบนด์วิธที่กว้าง แม้การออกแบบดังกล่าวจะสิ้นเปลืองของเครือข่ายไป แต่ก็ถือว่าเป็นการชดเชยกับขีดความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนและยังทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลแบบมัลติมีเดียซึ่งจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลได้สูงขึ้นหากเราเทียบที่ตั้งแต่แบนด์วิธ 5 เมกะเฮิรตซ์ ประการที่สองค่าพารามิเตอร์ของพลังงานบิตต่อความหนาแน่นสัญญาณรบกวน ในทางปฏิบัติจะเป็นตัวบอกค่าอัตราความผิดพลาดในระบบ

กล่าวคือเป็นตัวบอกข้อดีหรือข้อด้อยของสมรรถนะระบบ ประการสุดท้ายการให้ความจุเพิ่มขึ้น จะต้องทำการลดค่า Loading factor

### 3.3 การตรวจจับสัญญาณเสียง (Voice Activity)

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบที่ซีดีเอ็มเอจะมีวิธีการระบุให้ใช้อุปกรณ์ปรับอัตราการเข้ารหัสข้อมูลโดยทำงานสัมพันธ์กับอุปกรณ์การตรวจจับเสียงพูด ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะลดอัตราการส่งข้อมูลลง กล่าวคือหากผู้ใช้ที่ใช้โทรศัพท์หยุดพูดในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งตัวอุปกรณ์นี้ก็จะไม่ส่งสัญญาณออกไป ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นวิธีการหนึ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอที่ช่วยเพิ่มความจุช่องสื่อสาร เป็นการรองรับผู้ใช้โทรศัพท์ให้เพิ่มขึ้น โดยหากวิเคราะห์ตามหลักทางสถิติแล้วจะพบว่า วิธีดังกล่าวเป็นการช่วยลดปริมาณสัญญาณรบกวนด้วย

พฤติกรรมการใช้โทรศัพท์ของมนุษย์โดยทั่วไปแล้ว คู่สนทนาแต่ละฝ่ายจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 37.5 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดไปกับการพูด เวลาที่เหลืออีกประมาณ 62.5 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ในการฟัง รวมถึงการที่แต่ละฝ่ายหยุดพูดไปพร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงรูปพัลส์สัญญาณพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์

สำหรับค่าพารามิเตอร์การตรวจจับเสียงพูด (Voice activity factor;  $\lambda$ ) ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการคำนวณในบทที่ 4 ต่อไป ในการวิเคราะห์สมรรถนะระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการสื่อสารทางคลื่นวิทยุระบบซีดีเอ็มเอ นั่นก็คือปัญหาของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ (Power control) ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีขนาดเหมาะสมโดยให้สัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ซึ่งในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์มีตำแหน่งการใช้งานที่อยู่ห่างจากสถานีฐาน จำเป็นต้องทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงกว่าเครื่องโทรศัพท์ที่อยู่ใกล้กับบริเวณสถานีฐาน จุดประสงค์ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณให้มีความเหมาะสมนั้น มีอยู่ด้วยกัน สามประการ

ประการแรก ก็เพื่อเป็นการควบคุมระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในอากาศให้มีขนาดต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะการที่เครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่งทำการส่งสัญญาณออกไปด้วยกำลังส่งที่สูงเกินไป จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อการ รับ-ส่ง สัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ เครื่องอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการอธิบายการทำงานของเทคโนโลยีซีดีเอ็มเอ

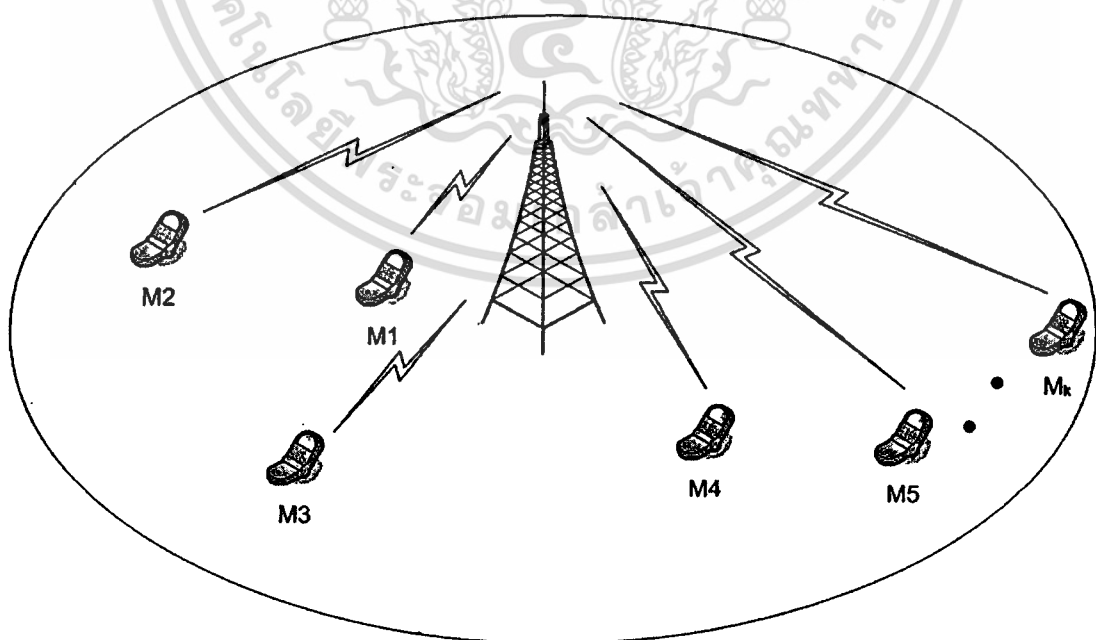
ประการที่สอง ก็คือเพื่อเป็นการรักษาระดับคุณภาพของการรับส่งข้อมูลให้คงที่ โดยอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ระดับความแรงของสัญญาณมีส่วนสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของข้อมูลที่ถูกส่งบนคลื่นความถี่วิทยุหากสามารถควบคุมกำลังส่งสัญญาณของเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยให้มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากสถานีฐานก็จะเป็นการควบคุมคุณภาพของข้อมูล ได้เช่นเดียวกัน

ประการสุดท้ายของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณก็คือการรักษาระดับพลังงานของอุปกรณ์เครื่องโทรศัพท์ให้สามารถใช้งานได้นานที่สุด ซึ่งเครื่องโทรศัพท์มีความจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ทำให้ต้องากรออกแบบกระบวนการควบคุมกำลังส่งสัญญาณจากเครื่อง โทรศัพท์ให้มีพลังงานต่ำที่สุดเท่าที่เป็น แม้กลไกควบคุมกำลังส่งจะสามารถทำได้ทั้งเครื่อง โทรศัพท์และสถานีฐาน แต่ในกรณีของสถานีฐานการใช้การควบคุมกำลังส่งสัญญาณเพื่อจุดประสงค์ คือ ลดอัตราการเกิดการรบกวนของสัญญาณเท่านั้น

สำหรับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ มีการออกแบบให้สนับสนุนการควบคุมกำลังสัญญาณ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การควบคุมกำลังส่งแบบเปิดวงจร (Open-Loop Power Control) และการควบคุมกำลังส่งแบบปิดวงจร (Closed-Loop Power Control) โดยในกรณีแรกนั้น เครื่องโทรศัพท์จะทำการส่งสัญญาณออกด้วยกำลังสูงสุด ในช่วงแรกของการขอสร้างวงจรเชื่อมต่อกับสถานีฐาน แล้วจะทำการปรับกำลังส่งออกโดยอัตโนมัติให้มีระดับความแรงที่เหมาะสมกับระยะห่างจากสถานีฐาน ทั้งนี้ด้วยการคำนวณจากระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับกลับมาจากสถานีฐาน โดยนำระดับความแรงของสัญญาณที่ถูกส่งจากสถานีฐาน ซึ่งมีการระบุค่าความแรงดังกล่าวในข่าวสารข้อมูลที่สถานีฐานกระจายข่าวไปทั่วพื้นที่ครอบคลุม สำหรับสถานีฐานนั้นจะมีการปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณสำหรับการส่งออกอากาศโดยสัมพันธ์กับระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่อง

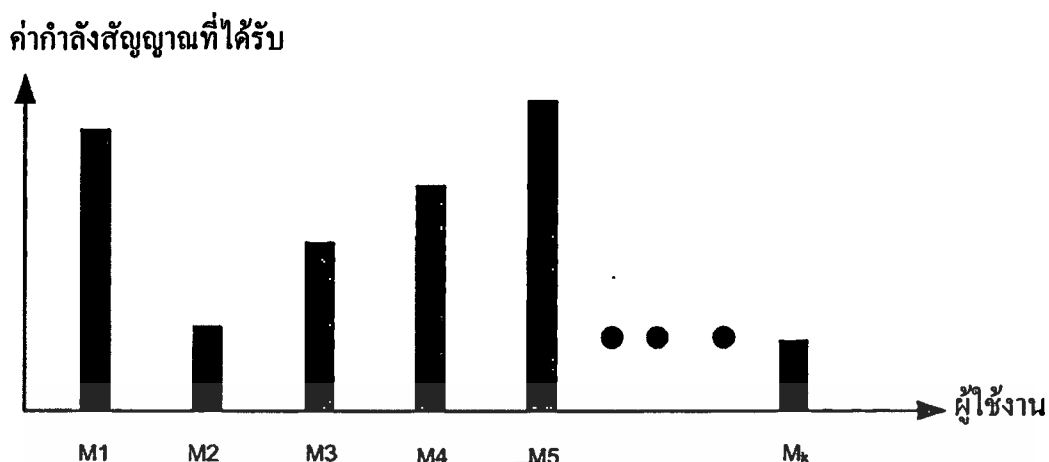
สำหรับการควบคุมกำลังส่งแบบปิดวงจรนั้น ถือเป็นมาตรฐานสำคัญสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมให้เครื่องโทรศัพท์ทั้งหมดภายในบริเวณพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานทำการส่งสัญญาณออกมาโดยให้มีระดับความแรงของสัญญาณที่มาถึงทางภาครับสถานีฐานให้มีค่าเฉลี่ยที่เท่าๆกัน และในทางกลับกันสถานีฐานก็จะต้องทำการรักษาระดับกำลังส่งอย่างเหมาะสม เพื่อให้ระดับความแรงของสัญญาณที่ไปปรากฏ ณ ภาครับของเครื่องโทรศัพท์มีค่าใกล้เคียงกัน

ในข้อแตกต่างจากการควบคุมกำลังส่งแบบปิดก็คือการควบคุมชนิดนี้จะมีการรับส่งของสัญญาณซึ่งระบุระดับความแรงที่ต้องการจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์ซึ่งไม่จำเป็นต้องรอให้เครื่องโทรศัพท์ทำการคำนวณระดับความแตกต่างของระดับสัญญาณความแรงเหมือนกับ ในการควบคุมกำลังส่งแบบเปิด ทำให้การปรับแต่งกำลังสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็ว สาเหตุที่ต้องมีการออกแบบการควบคุมในลักษณะนี้ก็คือ เทคนิคการสื่อสารบนพื้นฐานแบบซีดีเอ็มเอที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสูงมาก ประกอบกับความจริงที่ว่า การเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ในการปฏิบัติ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดความแรงของสัญญาณต่อภาครับสถานีฐานสูงมาก จากการวิจัยพบว่า การเคลื่อนที่ของโทรศัพท์จะทำให้ระดับความแรงของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปถึง 15 เดซิเบล ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกำลังส่งที่รวดเร็วนั่นเอง

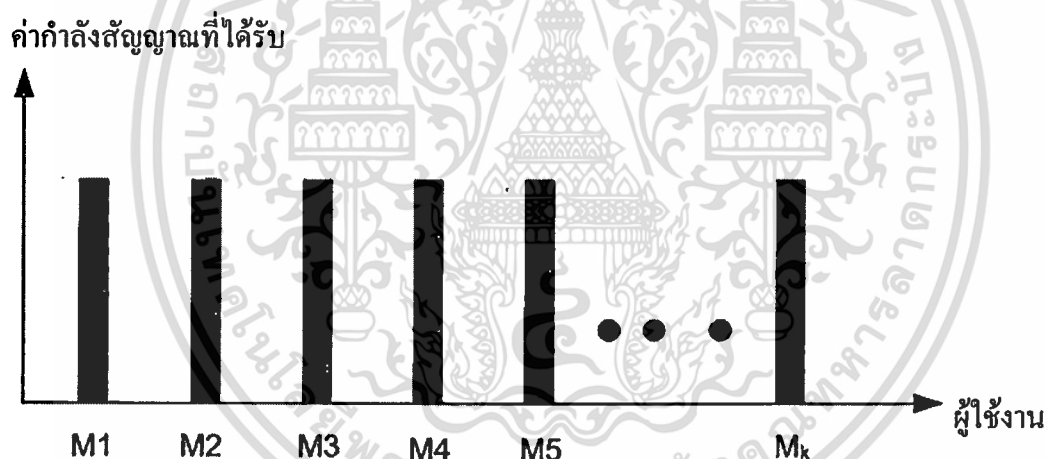


รูปที่ 3.2 แสดงการรับ-ส่ง สัญญาณระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.4 แสดงการมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.2 แสดงผู้ใช้ที่อยู่ในบริเวณที่แตกต่างกันโดยมีการรับ-ส่งสัญญาณกับสถานีฐาน ดังนั้นเราสามารถอธิบายในรูปแบบง่ายๆ เพื่อให้เข้าใจแก่การเข้าใจว่า หากผู้ใช้ในบริเวณต่างๆมีการส่งกำลังสัญญาณที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 3.3 ผู้ใช้ที่อยู่ในบริเวณใกล้สถานีฐานอาจส่งกำลังที่แรงเกินไปและผู้ใช้คนที่ไกลออกไปอาจส่งกำลังที่อ่อนเกินไปหรือผู้ใช้คนที่ไกลกว่าส่งสัญญาณมารบกวนผู้ใช้ที่ใกล้สถานีฐาน ซึ่งปัญหาทั้งหมดเหล่านี้ล้วนเป็นผลที่จะทำให้สมรรถนะระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ดีเยี่ยมเลวลง ส่งผลให้การรองรับผู้ใช้ก็ลดลงด้วยเหตุผลดังกล่าว แต่หากเรามีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ดี ดังรูปที่ 3.4 นั่นก็หมายความว่าผู้ใช้ในระบบตั้งแต่คนที่ M1 จนถึง  $M_k$  ราย มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์ในพจนานุกรมเทคโนโลยีสารสนเทศ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังส่งสัญญาณที่เท่ากันแล้วจะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้เพิ่มขึ้นนั่นเอง กล่าวอีกในหนึ่งคือ ระบบสมรรถนะที่ดีขึ้นนั่นเอง



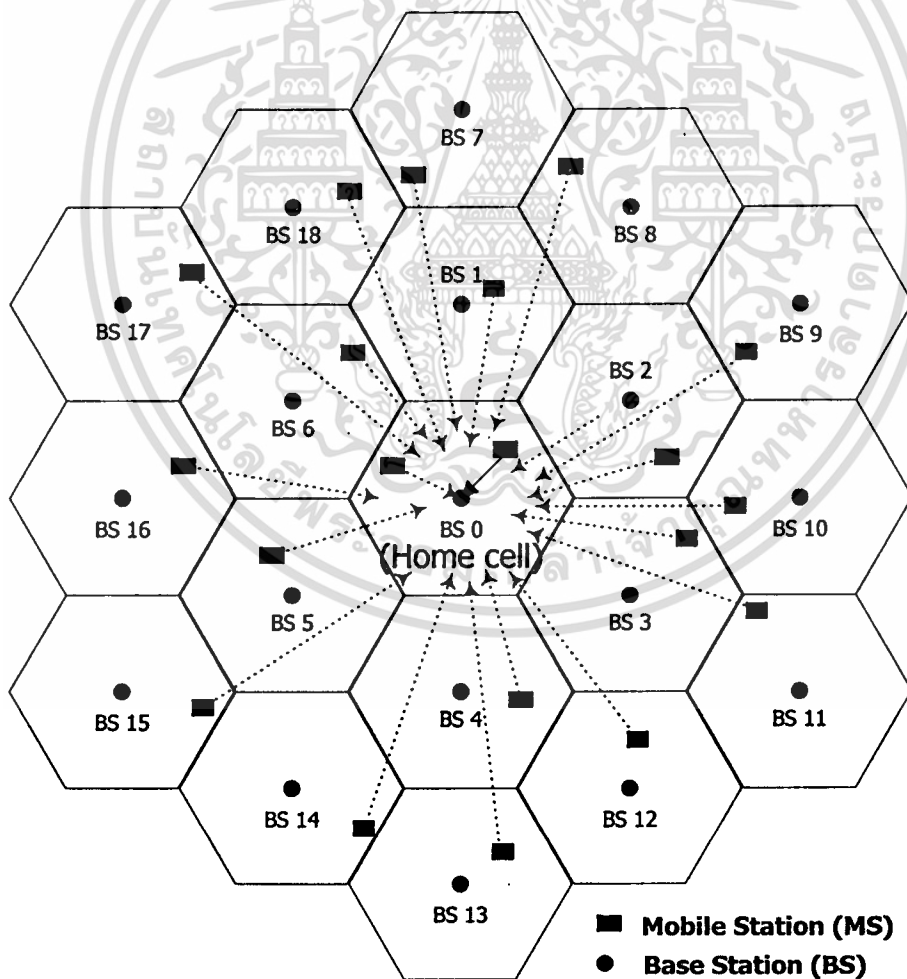
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# อัตราบิดพลาตระบบเซลล์คู่ในการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่ง รหัสด้วยวิธีการจัดลำดับโดยตรงบนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้ง แบบเรย์ลี

### 4.1 แบบจำลองของเครื่องส่ง

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีรูปแบบการวางเซลล์ของสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ประกอบด้วยจำนวนเซลล์ทั้งหมด 19 เซลล์ สถานีฐานตั้งอยู่ตรงกลางของแต่ละเซลล์และกำหนดรัศมีเซลล์เท่ากับหนึ่ง จากรูปที่ 4.1 พิจารณากรณีสัญญาณส่งจากตัวเครื่องโทรศัพท์ผู้ใช้มายังสถานีฐาน

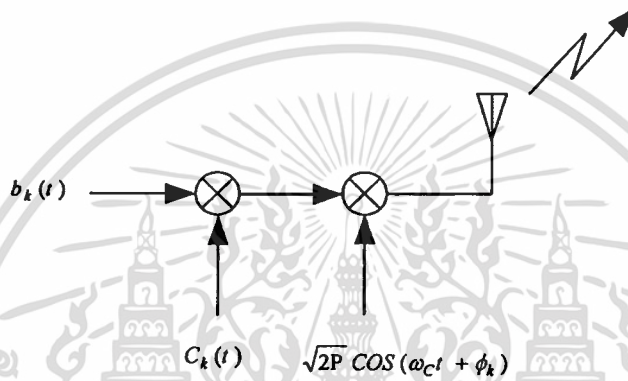


รูปที่ 4.1 รูปแบบของการวางเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เส้นประ คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์จากเซลล์อื่นและภายในเซลล์  
อ้างอิง(Home Cell) เส้นทึบแสดงสัญญาณของผู้ใช้ที่อ้างอิงที่เราสนใจ

ระบบ DS-CDMA ที่พิจารณา นั้น ในแต่ละเซลล์มีการกำหนดให้มีผู้ใช้งานพร้อมกัน  
จำนวน  $K$  คน นั่นก็คือจะส่งสัญญาณของผู้ใช้หลายคน ไปในช่องสัญญาณเดียวกัน ได้พร้อมกัน  
โดยมีลำดับรหัส (Code sequence) เป็นตัวแบ่งแยกผู้ใช้แต่ละคนที่แตกต่างกัน และกำหนดให้ข้อมูล  
และรหัสการแผ่สเปกตรัมพิจารณาเป็นเลขฐานสอง โดยมีการคูณกันระหว่างลำดับข้อมูล (data  
sequence) และลำดับรหัส (Code sequence) กำหนดให้ใช้การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสฐานสอง  
(Binary Phase Shift Keying : BPSK) แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบจำลองของเครื่องส่ง DS-CDMA ของผู้ใช้คนที่  $k$  ที่พิจารณา

จากรูปที่ 4.2 ลำดับข้อมูล (Data sequence) ของผู้ใช้แต่ละคน  $b_k(t)$  จะถูกคูณด้วยกับ  
ลำดับรหัส  $c_k(t)$  จากนั้นจึงผ่านการมอดูเลตแบบ Binary Phase Shift Keying (BPSK) ซึ่งสัญญาณ  
ที่ถูกส่งออกไปมีค่าตามสมการที่ 4.1

$$s_k(t) = \sqrt{2P} b_k(t) c_k(t) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (4.1)$$

โดยที่

$s_k(t)$  คือสัญญาณส่งของผู้ใช้คนที่  $k$

$P$  คือกำลังงานของผู้ใช้งานแต่ละราย

$\omega_c$  คือความถี่เชิงมุมของคลื่นพาห้

$\phi_k$  แสดงถึงมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้ ผู้ใช้คนที่  $k$  และกำหนดให้มีการแจกแจงแบบ  
สม่ำเสมอในช่วง  $[0, 2\pi]$

$b_k(t)$  คือลำดับข้อมูล (Data sequence) ของผู้ใช้คนที่  $k$  ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์เลขฐานสอง ที่มีค่า  
แอมพลิจูดเป็น  $(-1, +1)$  ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_{jk} p_{T_b}(t - jT_b) \quad ; b_{jk} \in \{-1,+1\} \quad (4.2)$$

$c_k(t)$  คือลำดับรหัส (Code sequence) ของผู้ใช้คนที่  $k$  ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์เลขฐานสอง ที่มีค่าแอมพลิจูดเป็น  $(-1,+1)$  ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

$$c_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{jk} p_{T_c}(t - jT_c) \quad ; c_{jk} \in \{-1,+1\} \quad (4.3)$$

โดยที่  $P_{T_b}(t)$  และ  $P_{T_c}(t)$  คือพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความสูง 1 หน่วยและมีค่าความกว้างเท่ากับ  $T_b$  และ  $T_c$

$T_b$  คือความกว้างของบิตลำดับข้อมูลรหัส

$T_c$  คือความกว้างของชิพลำดับรหัส

$G_p$  คือค่าอัตราขยายการประมวลผล (Processing gain) มีค่าเท่ากับ  $T_b / T_c$

#### 4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาจะมีคุณสมบัติเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป ไม่แปรค่าตามเวลา โดยสัญญาณจะมีลักษณะการจางหายของคลื่นในหลายวิธี เช่น การสะท้อน การหักเห วงจรกรองความถี่ต่ำที่สอดคล้องจะมีผลตอบสนองทางอิมพัลส์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ สำหรับผู้ใช้งานที่  $k$  แสดงดังสมการ [8]

$$h_k(\tau) = \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk} e^{j\theta_{lk}} \delta(\tau - \tau_{lk}) \quad (4.4)$$

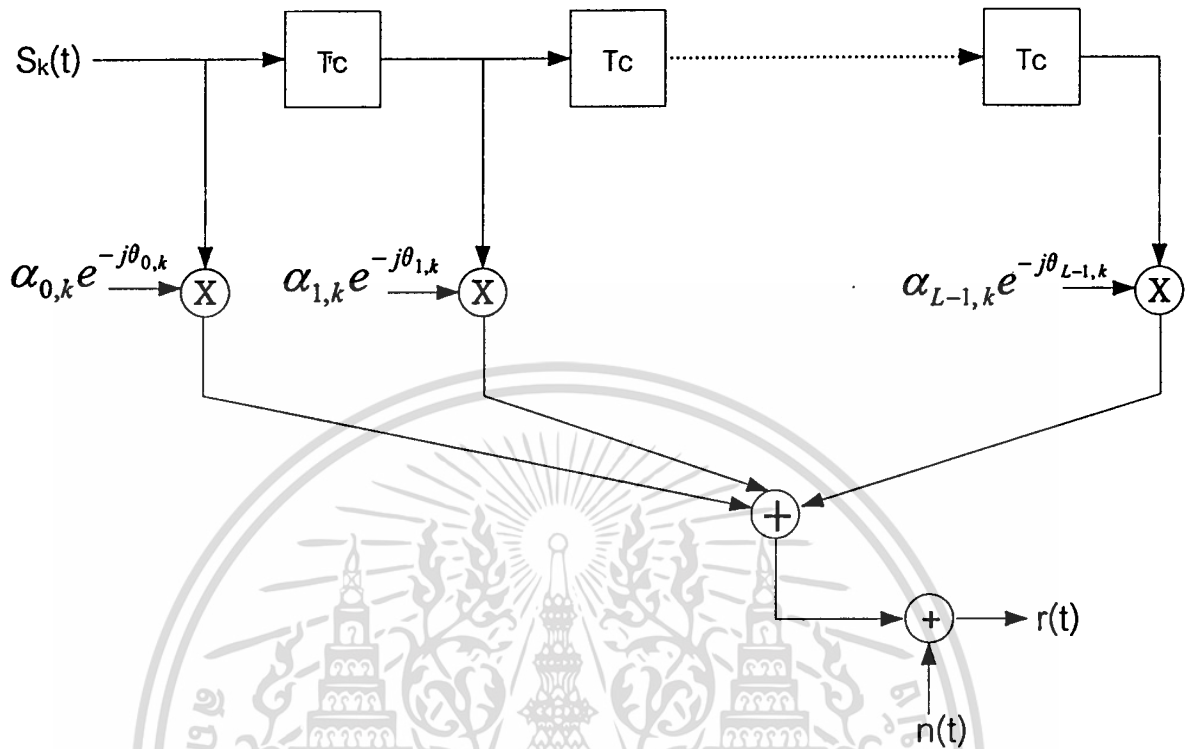
จากสมการที่ 4.4 ผลตอบสนองทางอิมพัลส์จะมีตัวแปรเสริม 3 ตัว อธิบายได้ดังนี้

$\alpha_l$  คือ อัตราการลดทอนทางแอมพลิจูด

$\theta_l$  คือ การประวิงเฟส และกำหนดให้มีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในช่วง  $(0,2\pi]$

$\tau_l$  คือ การประวิงเวลากำหนดให้มีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในช่วง  $(0,T]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แบบจำลองของสัญญาณ

ในวิทยานิพนธ์ที่ทำการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการเกิดการจางหายแบบเรย์ลี (Rayleigh) กล่าวคือ ผลอันเนื่องมาจากการสะท้อนหักเหแทรกสอดของคลื่นจากสิ่งกีดขวางต่างๆ โดยสัญญาณที่รับได้จะเป็นผลรวมจากสัญญาณในหลายเส้นทางที่ต่างกันหากไม่สามารถรับในเส้นทางตรง (No Direct Line-Of-Sight) ระหว่างตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐานก็จะรับจากเส้นทางรองซึ่งจะมีระดับสัญญาณที่ต่ำกว่าเนื่องจากการจางหาย [9] และกำหนดให้  $L$  เป็นจำนวนวิถีเมื่อกำหนดให้สัญญาณแต่ละวิถีเป็นอิสระต่อกันเชิงสถิติ นั่นคือ  $l = 0, 1, 2, \dots, L-1$  สามารถแทนด้วยค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณเรย์ลีแสดงดังนี้ [9]

$$p(\alpha_{lk}) = \frac{2\alpha_{lk}}{\alpha_{lk}^2} \exp\left(-\frac{\alpha_{lk}^2}{\alpha_{lk}^2}\right) \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\overline{\alpha_{lk}^2} = E(\alpha_{lk}^2) = \Omega_0 e^{-l\delta}, \delta \geq 0$$

โดยที่

$\Omega_0$  เป็นความแรงสัญญาณเฉลี่ยที่มาในวิถีแรก

$\delta$  เป็นอัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ

เราจะพิจารณาโพรไฟล์ความเข้มของสัญญาณหลายวิถี (Multipath intensity profile; MIP) แบบ Exponential ซึ่งจะมีค่าดังนี้ [4]

$$\sum_{l=0}^{L_k-1} E(\alpha_{lk}^2) = \Omega_0 \sum_{l=0}^{L_k-1} e^{-l\delta} \quad (4.6)$$

#### 4.3 แบบจำลองเครื่องรับ

ให้ระบบที่พิจารณาเป็นแบบอะซิงโครนัสที่มีผู้ใช้หลายคน โดยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะผ่านช่องสัญญาณที่มีการเฟดดิ้ง ซึ่งส่งผลให้ช่องสัญญาณที่พิจารณามีฟังก์ชันการลดทอนของแอมพลิจูดและมีการหน่วงเวลา ดังนั้นสัญญาณข้อมูลที่รับได้จะเกิดการลดทอนแอมพลิจูดด้วยอัตราการลดทอน  $\alpha$  และเกิดการหน่วงเวลาจาก  $d(t)$  เป็น  $d(t-\tau)$  ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้งานหลายคนจากภายในเซลล์และภายนอกเซลล์มีค่าตามสมการที่ (4.7)

$$\begin{aligned} r^{(q)}(t) &= \sqrt{2P} \sum_{k=1}^K \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} c_k(t-\tau_{lk}^{(q)}) b_k(t-\tau_{lk}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{lk}^{(q)}) \\ &+ \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{l=0}^{L_k-1} \sum_{i=1}^K \alpha_{li}^{(q)} \left( \frac{d_{m,i}}{d_{0,i}} \right)^\beta c_i(t-\tau_{li}^{(q)}) b_i(t-\tau_{li}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{li}^{(q)}) \\ &+ n(t) \end{aligned} \quad (4.7)$$

โดยที่

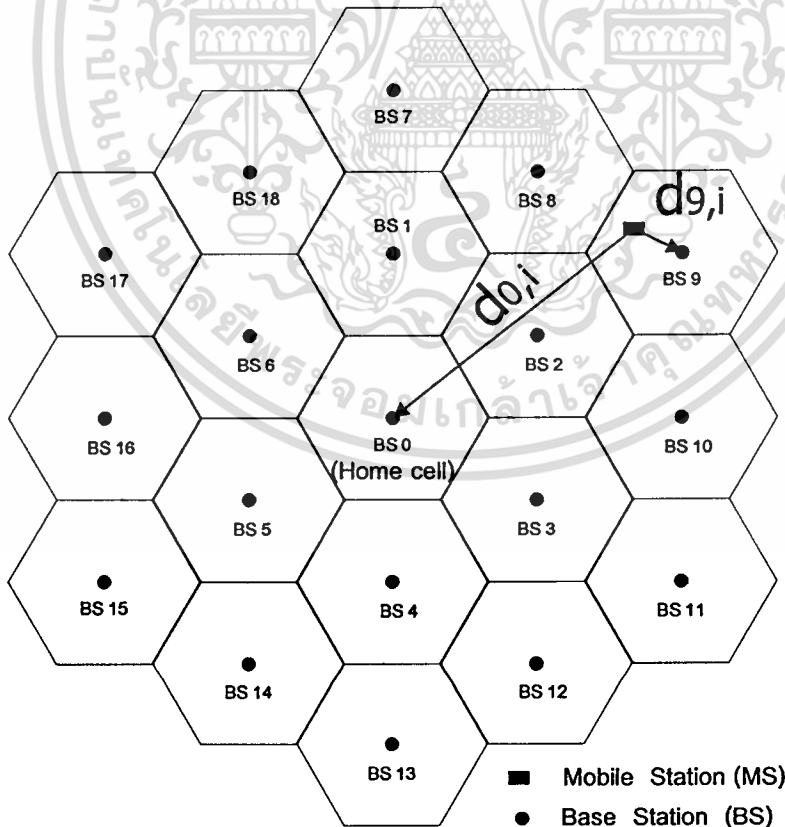
$r^{(q)}(t)$  คือสัญญาณที่รับได้

$P$  คือกำลังงานของผู้ใช้งานแต่ละราย ที่ส่งจากตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่มายังสถานีฐาน

$\alpha_{lk}^{(q)}$  คืออัตราการลดทอนของแอมพลิจูดของผู้ใช้คนที่  $k$  วิถีที่  $l$

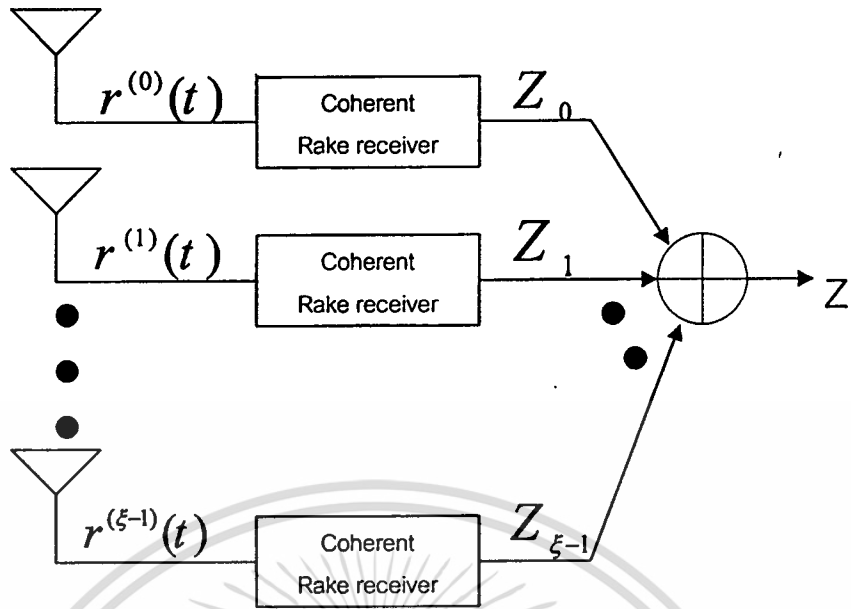
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $b_k(t)$  คือข้อมูลไบนารีของผู้ใช้คนที่  $k$  โดยมีความกว้างของบิตเป็น  $T_b$   
 $c_k(t)$  คือรหัสที่ใช้ในการแผ่สเปกตรัมของผู้ใช้คนที่  $k$  โดยมีความกว้างของบิตเป็น  $T_c$   
 $\tau_{lk}$  แสดงถึงการหน่วงเวลา ผู้ใช้คนที่  $k$  วิถีที่  $l$   
 $M$  เป็นจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน  
 $\varphi_{lk}^{(q)} = \phi_k + \theta_{lk} - \omega_c \tau_{lk}^{(q)}$  แสดงถึงเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ ผู้ใช้คนที่  $k$  วิถีที่  $l$  และกำหนดให้มีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอในช่วง  $[0, 2\pi)$   
 $\beta$  เป็นระยะทางการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นและกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4  
 $d_{0,i}$  เป็นระยะทางของผู้ใช้รายที่  $i$  ที่ไปรบกวนเซลล์อ้างอิงที่ 0  
 $d_{m,i}$  เป็นระยะทางของผู้ใช้รายที่  $i$  อยู่ตำแหน่งเซลล์ที่  $m$  จากรูป 4.4 เป็นแสดงตัวอย่างผู้ใช้โทรศัพท์ที่อยู่บริเวณตำแหน่ง เซลล์ BS9 ส่งสัญญาณรบกวนเซลล์อ้างอิงที่ 0 เป็นระยะทาง  $d_{m,i}$  กำหนดให้  $(d_{m,i} / d_{0,i})$  เป็นตัวแปรสุ่มและมีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอในช่วง  $[0, 1)$   
 $n(t)$  คือสัญญาณรบกวนขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise) ซึ่งมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณเท่ากับ  $N_0/2$

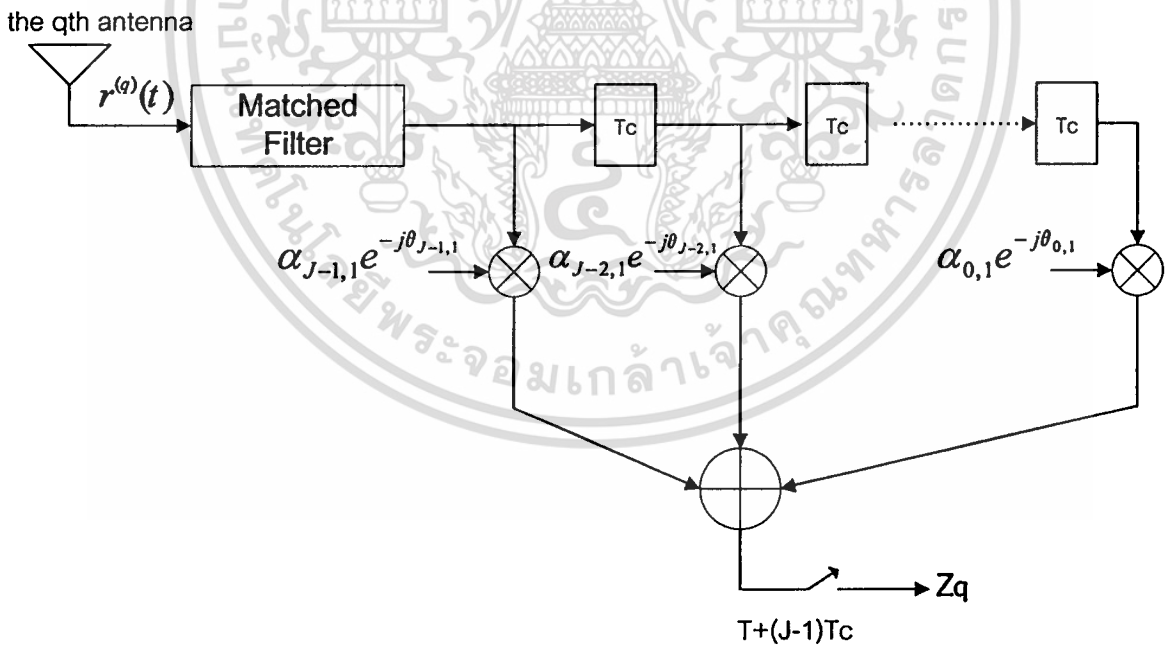


รูปที่ 4.4 รูปแบบของการวางเซลล์ ที่ผู้ใช้บริเวณเซลล์ที่ 9 ส่งสัญญาณมารบกวนเซลล์ที่อ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แบบจำลองของภาครับของแต่ละสาขาสายอากาศ



รูปที่ 4.6 เครื่องรับแบบ RAKE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาครับจะใช้จำนวนสายอากาศ  $\xi$  สาขาแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยในแต่ละสาขาของสายอากาศจะใช้เครื่องรับแบบเรก[4] ด้วยเทคนิคอัตรารวมสูงสุด(MRC) บนจำนวน  $J$  ฟิงเกอร์ (finger) ดังรูปที่ 4.6 ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจะเป็น

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_{q=0}^{\xi-1} Z_q \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \left\{ \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{ji}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} r^{(q)}(t) c_1(t-jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{ji}^{(q)}) dt \right\} \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \left\{ \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{ji}^{(q)} S_j^{(q)} + \sum_{j=0}^{J-1} (I_{SI,j}^{(q)} + I_{MAI,j}^{(q)} + I_{OCI,j}^{(q)} + I_{NI,j}^{(q)}) \right\}
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

โดยที่

$S_j^{(q)}$  คือองค์ประกอบของสัญญาณที่ต้องการ

$\alpha_j^{(q)}$  คือค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor)

$I_{SI,j}^{(q)}$  คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากตัวเอง (Self Interference : SI) ของผู้ใช้งานอ้างอิง และเซลล์อ้างอิง

$I_{MAI,j}^{(q)}$  คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดแบบเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference : MAI) จากผู้ใช้งานคนอื่นตั้งแต่รายที่  $k$  เท่ากับ 2 จนถึงที่  $K$  ราย สำหรับเซลล์อ้างอิง

$I_{OCI,j}^{(q)}$  คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่น (Other Cell Interference : OCI) ที่เข้ามารบกวนเซลล์อ้างอิง ตั้งแต่จำนวนเซลล์ที่  $m$  เท่ากับ 1 จนถึงที่  $M$  เซลล์

$I_{NI,j}^{(q)}$  สัญญาณรบกวนแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณรบกวนขาวแบบบวกรบกวนที่ผ่านเอาต์พุตภาครับ

สัญญาณที่ต้องการสามารถหาได้โดยการแทนเงื่อนไข ที่  $k$  เท่ากับ 1 กล่าวคือเป็นสัญญาณของผู้ใช้งานที่อ้างอิง ลงในสมการที่(4.8) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 S_j^{(q)} &= \sqrt{2P} \int_{jTc}^{T+jTc} \left\{ \alpha_{ji}^{(q)} c_1(t - \tau_{ji}^{(q)}) b_1(t - \tau_{ji}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{ji}^{(q)}) \right\} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{ji}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \alpha_{ji}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} (c_1(t))^2 b_1(t) \cos^2(\omega_c t + \varphi_{ji}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \alpha_{ji}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} b_1(t) \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega_c t + 2\varphi_{ji}^{(q)}) \right] dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} T b_0 [\alpha_{ji}^{(q)}]
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนการแทรกสอดที่เกิดจากตัวเองของผู้ใช้งานอ้างอิง ลงในสมการที่(4.8) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{SI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{ll}^{(q)} c_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) b_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{ll}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{jl}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{ll}^{(q)} \alpha_{jl}^{(q)} c_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) \\
 &\quad \times \frac{\cos(\varphi_{ll}^{(q)} - \varphi_{jl}^{(q)})}{2} dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{ll}^{(q)} \frac{1}{2} \cos(\varphi_{jl,l}^{(q)}) \int_{jTc}^{T+jTc} c_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_1(t - \tau_{ll}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{jl}^{(q)} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \alpha_{ll}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,l}^{(q)}) [b_{-1}^1 R_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)})] \tag{4.10}
 \end{aligned}$$

สัญญาณรบกวนการแทรกสอดแบบเข้าถึงหลายทางจากผู้ใช้งานอื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิง ลงในสมการที่ (4.8) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{MAI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{lk}^{(q)} c_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) b_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{lk}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{jl}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{lk}^{(q)} \frac{1}{2} \cos(\varphi_{jl,l}^{(q)}) \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} c_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{jl}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,l}^{(q)}) \lambda [b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)})] \tag{4.11}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$R_{lk}^{(q)}(\tau_{jl}^{k,(q)})$  และ  $\hat{R}_{lk}^{(q)}(\tau_{jl}^{k,(q)})$  คือค่า Cross-correlation function [4]

$\lambda$  คือ ค่า Voice activity factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิง ลงในสมการที่(4.8) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{OCI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{li}^{(q)} \left( \frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta c_i(t - \tau_{li}^{(q)}) b_i(t - \tau_{li}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{li}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{jl}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \alpha_{jl}^{(q)} \alpha_{li}^{(q)} \left( \frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta \frac{1}{2} \cos(\varphi_{j,l,i}^{(q)}) \\
 &\quad \times \int_{jTc}^{T+jTc} c_i(t - \tau_{li}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_i(t - \tau_{li}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \lambda \alpha_{jl}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{li}^{(q)} \left( \frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta \cos(\varphi_{j,l,i}^{(q)}) [b_{-1}^i R_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)})]
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

สัญญาณรบกวนแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณรบกวนขาวแบบบวกรที่ผ่านเอาท์พุทภาครับ จะ ได้

$$I_{NI,j}^{(q)} = \int_{jTc}^{T+jTc} n(t) \alpha_{jl}^{(q)} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{jl}^{(q)}) dt \tag{4.13}$$

นำสมการที่ (4.9) ถึง (4.13) มาแทนในสมการ (4.8) จะ ได้

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_{q=0}^{\xi-1} Z_q \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} T b_0^1 [\alpha_{jl}^{(q)}]^2 \\
 &\quad + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{jl}^{(q)} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_k-1} \alpha_{li}^{(q)} \cos(\varphi_{j,l,i}^{(q)}) [b_{-1}^1 R_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)})]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{ji}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) \lambda [b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)})] \\
& + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \lambda \alpha_{ji}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_i-1} \alpha_{li}^{(q)} \left( \frac{d_{m,l}}{d_{1,j}} \right)^\beta \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) [b_{-1}^i R_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)})] \\
& + \int_{jTc}^{T+jTc} n(t) \alpha_{ji}^{(q)} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j,l,1}^{(q)}) dt \tag{4.14}
\end{aligned}$$

ดังนั้น จากสมการ (4.14) เราสามารถสรุปได้ว่า เทอมแรกเป็นสัญญาณที่เราต้องการ เทอมที่สองคือ สัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากมันตัวเอง เทอมที่สามเป็นสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากผู้ใ้รายอื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิง เทอมที่สี่เป็นสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงและเทอมสุดท้ายเป็นสัญญาณรบกวนขาแบบบวก

#### 4.4 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอด (Signal to Interference Ratio : SIR) กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

การหาค่า SIR ก็คือ การหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่เราต้องการต่อผลรวมของค่าสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่ด้านเครื่องรับ นั่นก็คือ

$$SIR = \frac{P_{Signal}}{\sigma_{Total}^2} \tag{4.15}$$

กำหนดให้เทอมของสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่ใช้ในการประมาณแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ดังนั้นเทอมของสัญญาณรบกวนแทรกสอดทั้ง SI MAI OCI และ NI ตามลำดับ และมีค่าความแปรปรวน (Variance) ดังนี้

$$\sigma^2(I) = E(I^2) - E^2(I)$$

เนื่องจากใช้การประมาณแบบเกาส์เซียน ดังนั้น การคำนวณค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนแทรกสอด จะมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง  $E(I) = 0$  จะกลายเป็น

$$\sigma^2(I) = E(I^2)$$

เทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากตัวเองจากสมการ(4.14)ได้

$$\begin{aligned} \sigma^2_{SI,j} &= E(I_{SI,j}^2) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{ll}^{(q)} \cos(\varphi_{jl}^{1,(q)}))^2 E[b_{-1}^1 R_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)})]^2 \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} (E(\alpha_{ll}^{(q)})^2) E(\cos^2(\varphi_{jl}^{1,(q)})) (T^2 / Gp) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} T^2 \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} (E(\alpha_{ll}^{(q)})^2) (1/2Gp) \end{aligned} \quad (4.16)$$

เทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดเข้าถึงหลายทางจากผู้ใช้รายอื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิงจากสมการ(4.14) จะได้

$$\begin{aligned} \sigma^2_{MAI,j} &= E(I_{MAI,j}^2) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,k}^{(q)}))^2 E[b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)})]^2 \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L-1} (E(\alpha_{lk}^{(q)})^2) E(\cos^2(\varphi_{jl,k}^{(q)})) (2T^2 / 3Gp) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} T^2 \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L-1} (E(\alpha_{lk}^{(q)})^2) (1/3Gp) \end{aligned} \quad (4.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงจากสมการ(4.14) จะเป็น

$$\begin{aligned}
 \sigma_{OCI,j}^2 &= E(I_{OCI,j}^2) \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_k-1} E(\alpha_{li}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,i}^{(q)}))^2 E\left[\left(\frac{d_{m,i}}{d_{0,i}}\right)^\beta\right]^2 \\
 &\quad \times E\left[b_{-1}^i R_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)})\right]^2 \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_k-1} \left(E(\alpha_{li}^{(q)})^2\right) E(\cos^2(\varphi_{jl,i}^{(q)})) \frac{1}{9} (2T^2 / 3Gp) \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2}{4} \frac{1}{9} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_k-1} \left(E(\alpha_{li}^{(q)})^2\right) (1/3Gp) \tag{4.18}
 \end{aligned}$$

เทอมสุดท้ายคือค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนขาวแบบบวจากสมการ(4.14) นั่นคือ

$$\begin{aligned}
 \sigma_{NI,j}^2 &= E(I_{NI,j}^2) \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E\left\{ \int_{jTc}^{T+jTc} n^2(t) (\alpha_{j1}^{(q)})^2 c_{(1)}^2 (t-jTc) \cos^2(\omega_c t + \varphi_{l1}^{(q)}) dt \right\} \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E\left\{ \int_{jTc}^{T+jTc} n^2(t) (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \left( \frac{1 + \cos 2(\omega_c t + \varphi_{l1}^{(q)})}{2} \right) dt \right\} \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E\left( \frac{1}{2} T (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \frac{N_0}{2} \right) \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \frac{N_0 T}{4} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \tag{4.19}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลรวมของค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอด จากสมการที่ (4.16) ถึง (4.19) นั้นคือ

$$\begin{aligned} \sigma_{Total}^2 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} ((E(I_{SI,j}^2) + E(I_{MAI,j}^2) + E(I_{OCI,j}^2) + E(I_{NI,j}^2))) \\ &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \left\{ \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2 \sum_{l=0, l \neq j}^{I_1-1} (E(\alpha_{l1}^{(q)})^2)}{4 \cdot 2Gp} + \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2 \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{I_k-1} (E(\alpha_{lk}^{(q)})^2)}{4 \cdot 3Gp} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2 \frac{1}{9} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{l=0}^{I_k-1} (E(\alpha_{li}^{(q)})^2)}{4 \cdot 3Gp} + \frac{N_o T}{4} \right\} \end{aligned} \quad (4.20)$$

ในการพิจารณาการควบคุมกำลังสัญญาณที่สมบูรณ์ก็คือการควบคุมให้ระดับของสัญญาณผู้ใช้งาน ไม่ว่าผู้ใช้จะอยู่ใกล้สถานีฐานหรือไกลออกไปมีค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณของผู้ใช้งานทุกรายมีค่าเฉลี่ยที่เท่าๆกัน ซึ่งกำหนดให้  $(\sqrt{2P}) = A$  กล่าวคือ ค่า A ผู้ใช้งานทุกรายมีค่ากำลังเฉลี่ยสัญญาณที่เท่าๆกันนั่นเอง ดังนั้นนำสมการที่ (4.14) ในเทอมแรกมาทำการยกกำลังสองเพื่อให้ได้ค่ากำลังสัญญาณที่ต้องการและนำสมการที่ (4.20) แทนในสมการ (4.15) จะได้

$$\begin{aligned} SIR &= \frac{P_{signal}}{\sigma_{Total}^2} \\ &= \frac{\frac{A^2 T^2}{4} \left\{ \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \right\}^2}{\frac{A^2 T^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \left\{ \frac{1}{2Gp} \sum_{l=0, l \neq j}^{L-1} E(\alpha_{l1}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \frac{MK\lambda}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{N_o}{2Eb} \right\}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2}{\frac{1}{2Gp} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \frac{MK\lambda}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{No}{2Eb}} \\
&= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2}{\Omega_0 \left\{ \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{1}{2Gp} + \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} + \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} + \frac{No}{2Eb\Omega_0} \right\}} \quad (4.21)
\end{aligned}$$

#### 4.5 การวิเคราะห์ค่า อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอด (Signal to Interference Ratio : SIR) กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

จากสมการ (4.21) เป็นการแสดงในกรณีการควบคุมกำลังสัญญาณที่สมบูรณ์ แต่หากระดับกำลังสัญญาณของผู้ใช้งานทุกๆรายทั้งภายในเซลล์ที่อ้างอิงและภายนอกเซลล์มีค่าเฉลี่ยที่ไม่เท่ากันแล้ว ค่าระดับกำลังสัญญาณของตัวแปร  $A$  จะกลายเป็น  $A_k$  ของผู้ใช้จำนวนทั้งหมด  $K$  ราย โดยกำหนดให้  $A_k$  เป็นตัวแปรสุ่มและมีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอในช่วง  $[A-V, A+V]$  ดังนั้นเราสามารถทราบค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น[1] ดังแสดงในสมการที่ (4.22)

$$p(A_k) = \frac{1}{2V} ; A - V \leq A_k \leq A + V \quad (4.22)$$

เมื่อ  $V$  เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณ ดังนั้นค่า SIR จากสมการที่ (4.21) จะเป็น

$$SIR = \frac{\frac{A^2 T^2}{4} \left\{ \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2 \right\}^2}{\frac{A^2 T^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2 \left\{ \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \sum_{k=2}^K \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 \right.} \\
\left. + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \frac{MK}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{No}{2Eb} \right\}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2}{\left\{ \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{l1}^{(q)})^2 + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \sum_{k=2}^K \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 \right. \\ \left. + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \frac{MK}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{ll}^{(q)})^2 + \frac{N_0}{2Eb} \right\}}$$

$$= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2}{\Omega_0 \left\{ \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} + \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \right. \\ \left. + \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) + \frac{N_0}{2E_b \Omega_0} \right\}} \quad (4.23)$$

กำหนดให้

$$Y = \frac{1}{\Omega_0} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \quad (4.24)$$

และ

$$H = \frac{\xi}{\left\{ \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} + \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \right. \\ \left. + \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) + \frac{N_0}{2E_b \Omega_0} \right\}} \quad (4.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของ อัตราารวมสูงสุด

ในทางปฏิบัติแล้วเราไม่สามารถรักษาค่าจากการถ่วงน้ำหนักในเชิงอุดมคติได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพิจารณาเครื่องรับที่มีความผิดพลาดจากค่าการถ่วงน้ำหนักของอัตราารวมสูงสุด (MRC) ผลกระทบดังกล่าวสามารถแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม  $Y$  [7] แสดงดังสมการที่ (4.26)

$$p_y(Y) = \sum_{j=1}^J A(j) \frac{Y^{j-1}}{(\alpha_{lk}^2)^j (j-1)!} \exp(-Y / \overline{\alpha_{lk}^2}) \quad (4.26)$$

เมื่อ

$$A(j) = \binom{J-1}{j-1} (1-\rho^2)^{J-j} \rho^{2(j-1)}$$

โดยที่  $A(j)$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักและ  $\rho^2$  เป็นค่าสหสัมพันธ์กำลังสอง

#### 4.7 อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบ

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลลูลาร์แบบโคเร็คซีแควนซีทีเอ็มเอในวิทยานพจน์นี้ เราสามารถหาได้จากค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิตข้อมูล (Probability of Error) แสดงได้โดย [9]

$$P_e(Y) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{HY} \quad (4.27)$$

เมื่อ  $\operatorname{erfc}(x)$  คือฟังก์ชันความผิดพลาดเติมเต็ม (Complementary error function) ของตัวแปรสุ่ม  $x$  มี

ค่าเป็น  $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$  เราสมการเขียนจากสมการ(4.27) มาเป็น

$$P_e(Y) = \frac{\Gamma(g, aHY)}{2\Gamma(g)} \quad (4.28)$$

โดยที่

$$g = \frac{1}{2} \text{ และ } a = 1 \text{ กรณีการ โมดูเลตแบบ โคฮีเรนซ์ BPSK}$$

และ

$$\Gamma(b, x) = \int_x^\infty y^{b-1} e^{-y} dy \text{ คือฟังก์ชันแกมมาที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Gamma function)}$$

การหาค่าอัตราบิดผิดพลาดเฉลี่ยเราจะต้องทำการเฉลี่ยค่า  $P_e(Y)$  ของตัวแปรสุ่ม  $Y$  ตลอดช่วง ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ  $Y$  แสดงดังสมการที่(4.29)

$$\overline{P_e} = \int_0^\infty P_e(Y) p_Y(Y) dY \quad (4.29)$$

ดังนั้น นำสมการที่(4.28) และ (4.26) ลงแทนในสมการที่ (4.29) จะได้

$$\begin{aligned} \overline{P_e} &= \sum_{j=1}^J \binom{J-1}{j-1} (1 - \rho^2)^{J-j} \rho^{2(j-1)} \frac{1}{(\alpha_{lk}^2)^j (j-1)!} \\ &\times \int_0^\infty \frac{\Gamma(0.5, HY)}{2\Gamma(0.5)} (Y)^{j-1} \exp(-Y / \overline{\alpha_{lk}^2}) dY \end{aligned} \quad (4.30)$$

จาก [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_0^{\infty} x^{u-1} e^{-bx} \Gamma(v, \alpha x) dx = \frac{\alpha^v \Gamma(u+v)}{u(\alpha+b)^{u+v}} {}_2F_1\left(1, u+v; u+1; \frac{b}{(\alpha+b)}\right) \quad (4.31)$$

นำความสัมพันธ์จากสมการที่ (4.31) ที่ได้จากตารางอินทิเกรต มาใช้ในสมการที่ (4.30) จะกลายเป็น

$$\bar{P}_e = \sum_{j=1}^J \binom{J-1}{j-1} (1-\rho^2)^{J-j} \rho^{2(j-1)} \frac{1}{(\Omega_0 e^{-l\delta})^j (j-1)! j 2\sqrt{\pi}} \frac{H^{1/2} \Gamma(j + \frac{1}{2})}{\left(H + \frac{1}{\Omega_0 e^{-l\delta}}\right)^{j+\frac{1}{2}}} \times {}_2F_1\left(1, j + \frac{1}{2}; j+1; \frac{1/\Omega_0 e^{-l\delta}}{(H + 1/\Omega_0 e^{-l\delta})}\right) \quad (4.32)$$

จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$\bar{P}_e = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{H}{H + \frac{1}{\Omega_0 e^{-l\delta}}}} \sum_{j=1}^J \frac{\Gamma(j + \frac{1}{2})}{j!} \binom{J-1}{j-1} (1-\rho^2)^{J-j} \cdot \rho^{2(j-1)} \frac{1}{(\Omega_0 H e^{-l\delta} + 1)^j} {}_2F_1\left(1, j + \frac{1}{2}; j+1; \frac{1}{(\Omega_0 H e^{-l\delta} + 1)}\right) \quad (4.33)$$

โดยที่  ${}_2F_1(\dots)$  คือฟังก์ชันไฮเปอร์จีโอเมตริก (Hypergeometric function)

จากสมการที่ 4.33 เป็นสมการสุดท้ายที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเชิงเลขด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะวิเคราะห์ผลกระทบของค่าตัวแปรต่างๆ และนำเสนอการปรับปรุงถึงผลกระทบดังกล่าว แสดงไว้ในบทที่ 5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์เชิงเลข

บทนี้เสนอผลการวิเคราะห์เชิงเลข ในรูปแบบของค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ย (Average Probability of Bit Error) ของระบบเซลล์ลู่ดาร์ DS-CDMA โดยใช้โปรแกรม MATLAB สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.33 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของระบบ โดยพารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ค่า  $E_b/N_0$  จำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ลู่ดาร์ (K) อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\sigma$ ) การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบรูณ์ ( $V=0$ ) การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบรูณ์ ( $V=0.7071A$  และ  $A$ ) จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน (M) อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) จำนวนวิถี (L) จำนวนฟังก์เจอร์ (J) จำนวนสาขาสายอากาศ ( $\zeta$ ) ซึ่งแบ่งตามหัวข้อต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

5.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและค่า  $E_b/N_0$  โดยพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบรูณ์และไม่สมบรูณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด จำนวนสาขาสายอากาศและจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรค เพื่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ

5.1.1 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลงที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4

5.1.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลงที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 6

5.1.3 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลงที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 8

5.1.4 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลงที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 10

5.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบรูณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์เท่ากับ 20 และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าด่วงน้ำหนักรวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 6

5.1.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าด่วงน้ำหนักรวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 8

5.1.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าด่วงน้ำหนักรวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 10

5.1.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าด่วงน้ำหนักรวมสูงสุดที่ลดลง ผลกระทบของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ สามารถชดเชยโดยเพิ่มจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคและใช้สาขาสายอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบดีขึ้น

5.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานจากเซลข้างเคียงที่รบกวนที่เพิ่มขึ้น ด้วยค่า voice activity factor

5.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ โดยพิจารณา Eb/No การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ อัตราการรบกวนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้งานจากเซลข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าด่วงน้ำหนักรวมสูงสุด จำนวนสาขาสายอากาศและจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรค เพื่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ

5.3.1 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1 เซล

5.3.2 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซล

5.3.3 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 18 เซล

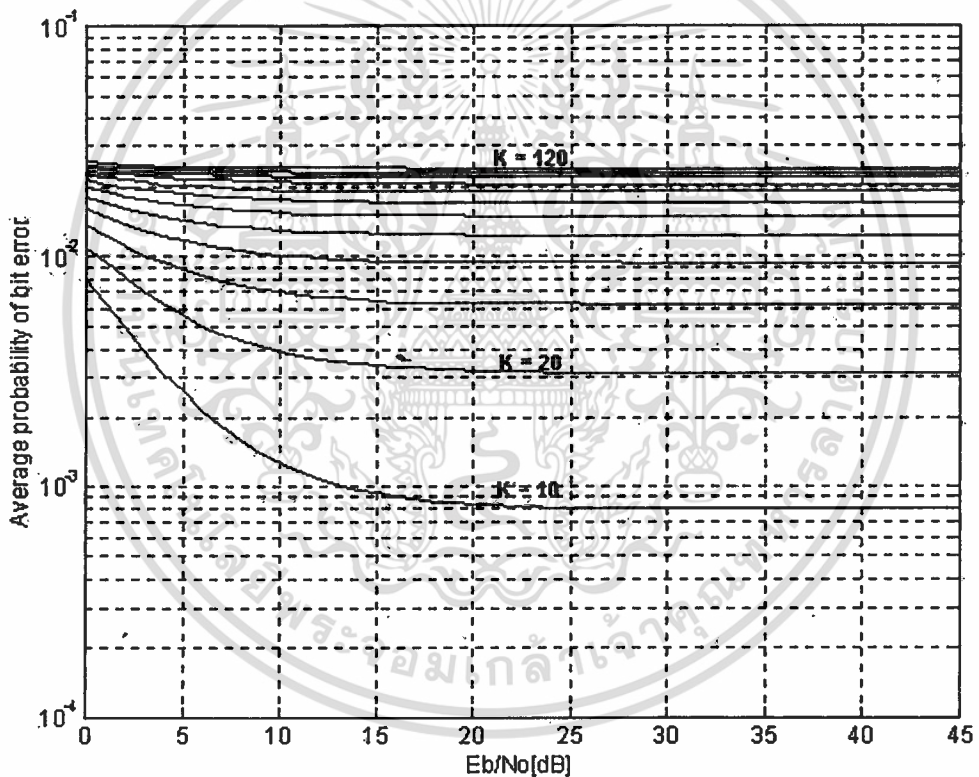
5.3.4 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4

5.3.5 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 6

- 5.3.6 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 8
- 5.3.7 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 10
- 5.3.8 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์และสาขาของสายอากาศ ให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์
- 5.3.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์
- 5.3.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ 0.7071A
- 5.3.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ A
- 5.3.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ A และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 4
- 5.3.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ A และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 6
- 5.3.14 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ A และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 8
- 5.3.15 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง แต่สามารถปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนสาขาของสายอากาศ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

5.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและค่า  $E_b/N_0$  โดยพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ การควบคุมกำลังส่ง สัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้งาน เซลข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด จำนวนสาขาสายอากาศและจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรค เพื่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ

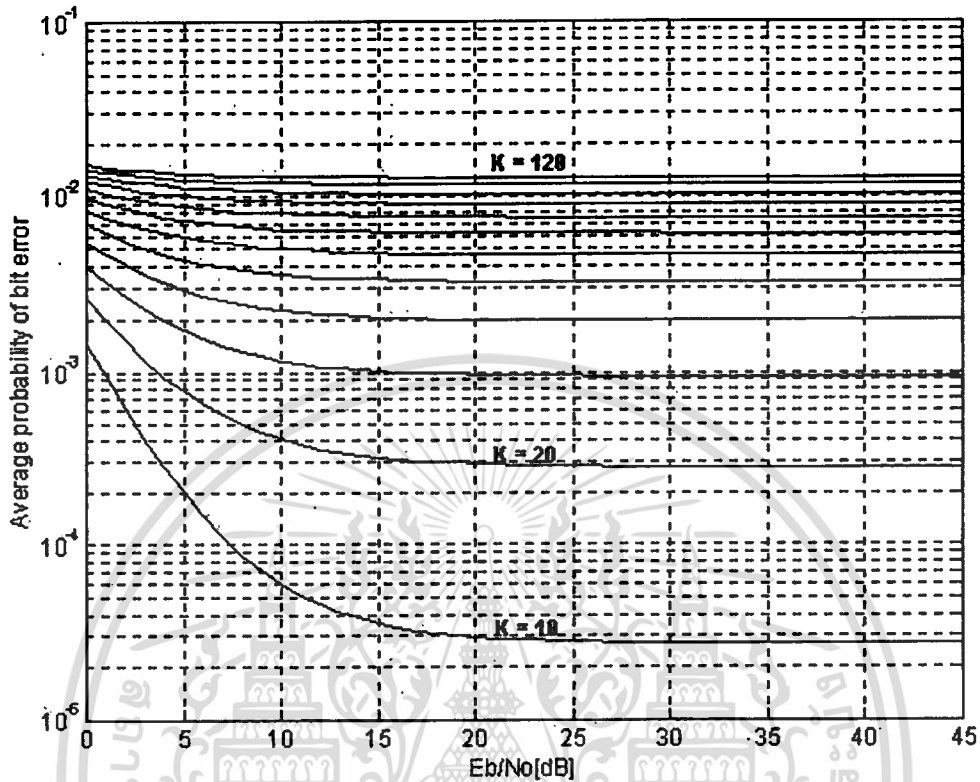
5.1.1 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง ที่จำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า  $V=0$ ,  $\delta=0$ ,  $\rho^2=1$ ,  $\xi=1$ ,  $\lambda=3/8$ ,  $G_p=127$ ,  $L=10$ ,  $M=18$  และ  $J=4$

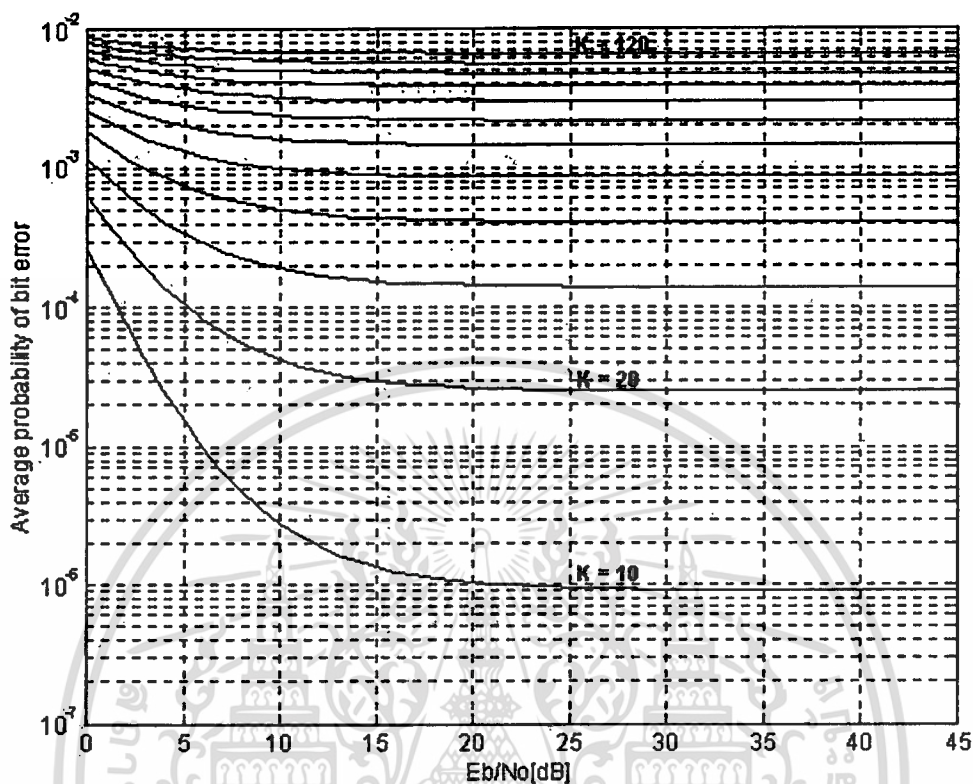
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง  
ที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 6



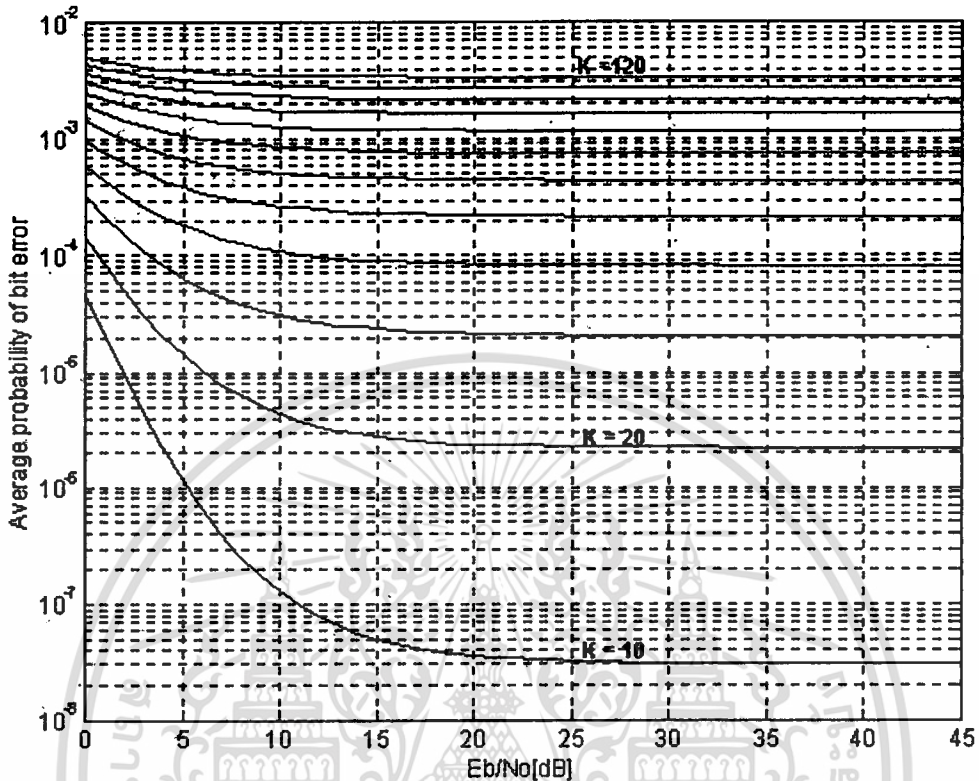
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่  
กำหนดค่า  $V=0$ ,  $\delta=0$ ,  $\rho^2=1$ ,  $\zeta=1$ ,  $\lambda=3/8$ ,  $G_p=127$ ,  $L=10$ ,  $M=18$  และ  $J=6$

5.1.3 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง  
ที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 8



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า  $V=0$ ,  $\delta=0$ ,  $\rho^2=1$ ,  $\xi=1$ ,  $\lambda=3/8$ ,  $G_p=127$ ,  $L=10$ ,  $M=18$  และ  $J=8$

### 5.1.4 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง ที่จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 10



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b / N_0$  ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า  $V = 0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$  และ  $J = 10$

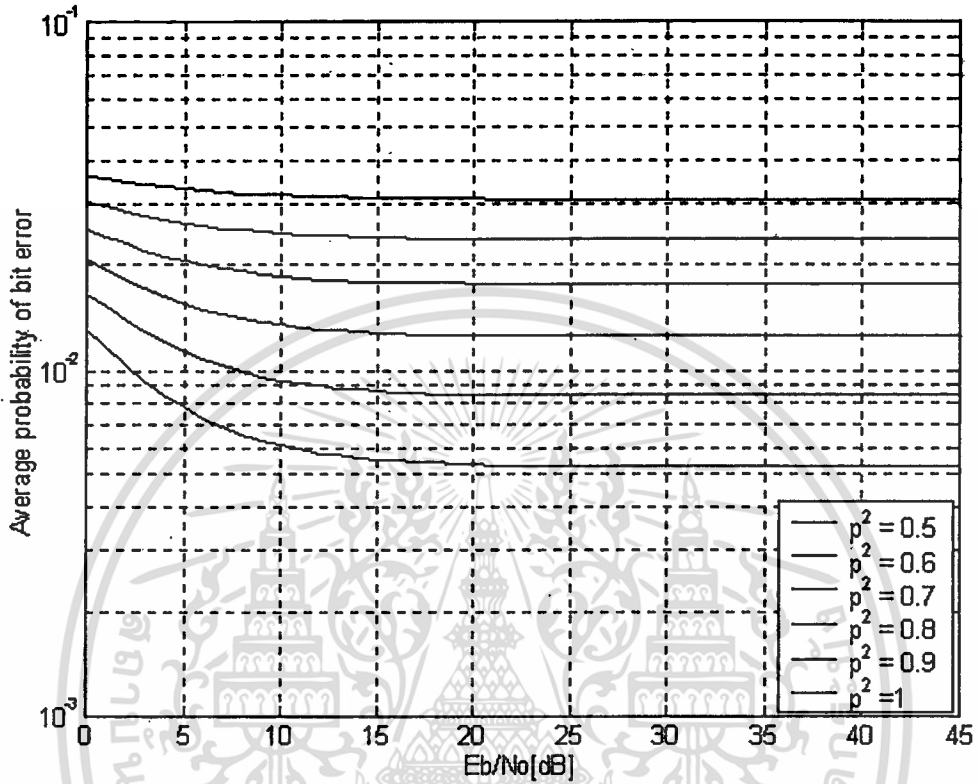
รูปที่ 5.1 ถึง 5.4 แสดงความสัมพันธ์ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b / N_0$  โดย กำหนดให้มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ ( $V$ ) เท่ากับ 1 อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ไม่มีการผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) มีค่าเท่ากับ 1 จำนวนสาขาอากาศ ( $\xi$ ) เท่ากับ 1 สาขา ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ 3/8 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิถี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลีเท่ากับ 10 วิถี และมีจำนวนเซลข้างเคียงที่รบกวนทั้งสิ้น 18 เซล จากผลวิเคราะห์เชิงเลขแสดงให้เห็นว่าหากจำนวนผู้ใช้ ( $K$ ) เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ระบบมีสมรรถนะลดลงตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นทั้งภายในเซลที่อ้างอิงและเซลข้างเคียง ทั้งนี้สามารถปรับปรุงค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยให้มีค่าลดลงด้วยการเพิ่มจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับ อย่างไรก็ตาม หากเราพิจารณาจากรูปกราฟของผลการทดลองที่ค่า  $K$  ต่างๆ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า  $E_b / N_0$  จะทำให้ระบบมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยลดลง แต่หากเส้นกราฟของค่า  $K$  เริ่มเข้าใกล้สู่เส้นตรง นั่นก็หมายความว่า ถึงแม้เราจะพยายามเพิ่มค่า

$E_b / N_0$  มากยิ่งขึ้นเท่าไรก็ไม่ส่งผลในการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน เหตุผลอันเนื่องมาจากมีสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่นและผลจากจำนวนวิถีของการเกิดเฟดดิ้ง



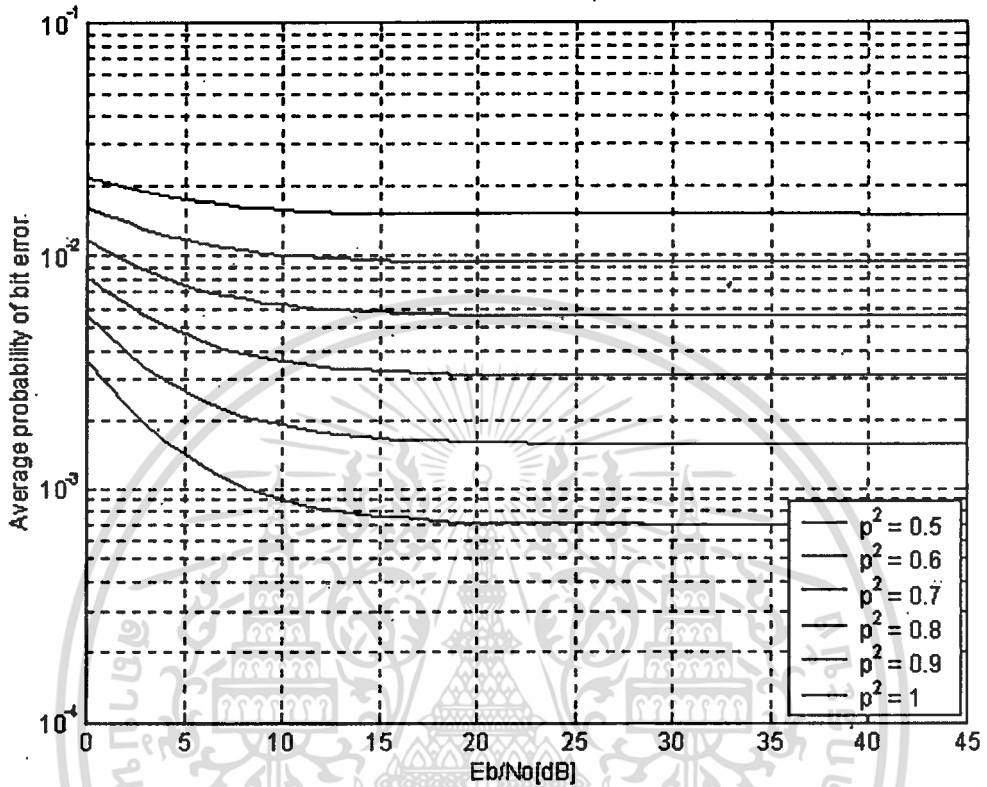
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดาร์เท่ากับ 20 และจำนวนพืงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4



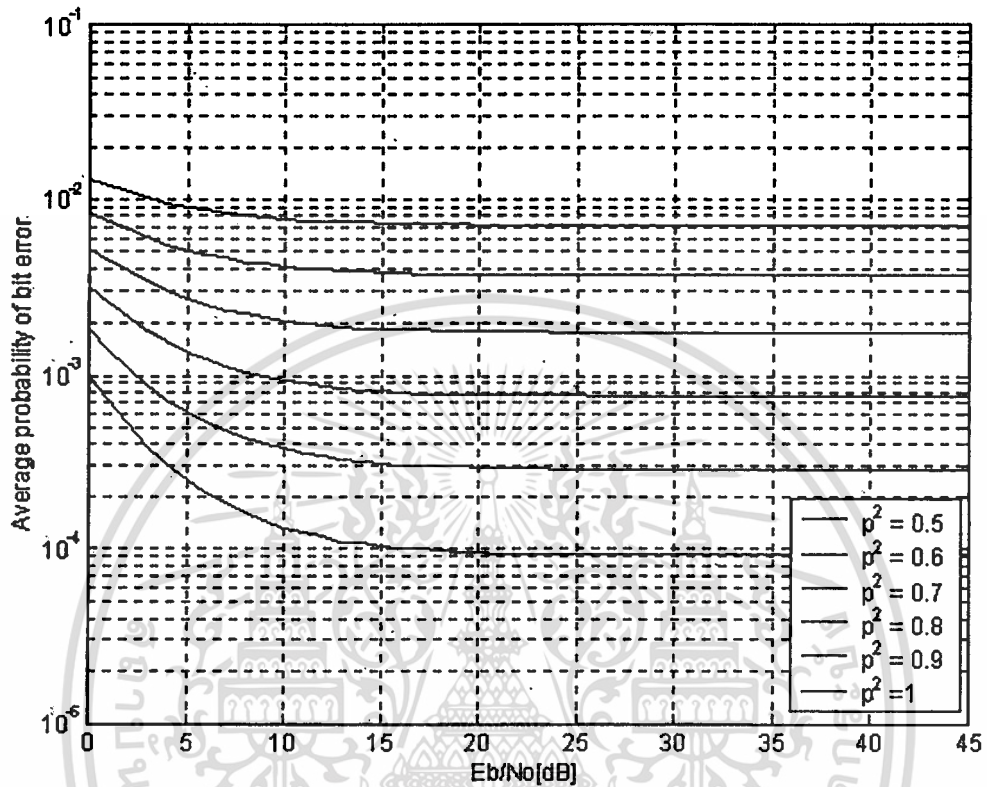
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า  $V = A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\zeta = 1$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$ ,  $K = 20$ ,  $J = 4$  และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ

5.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนฟังก์ชันของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 6



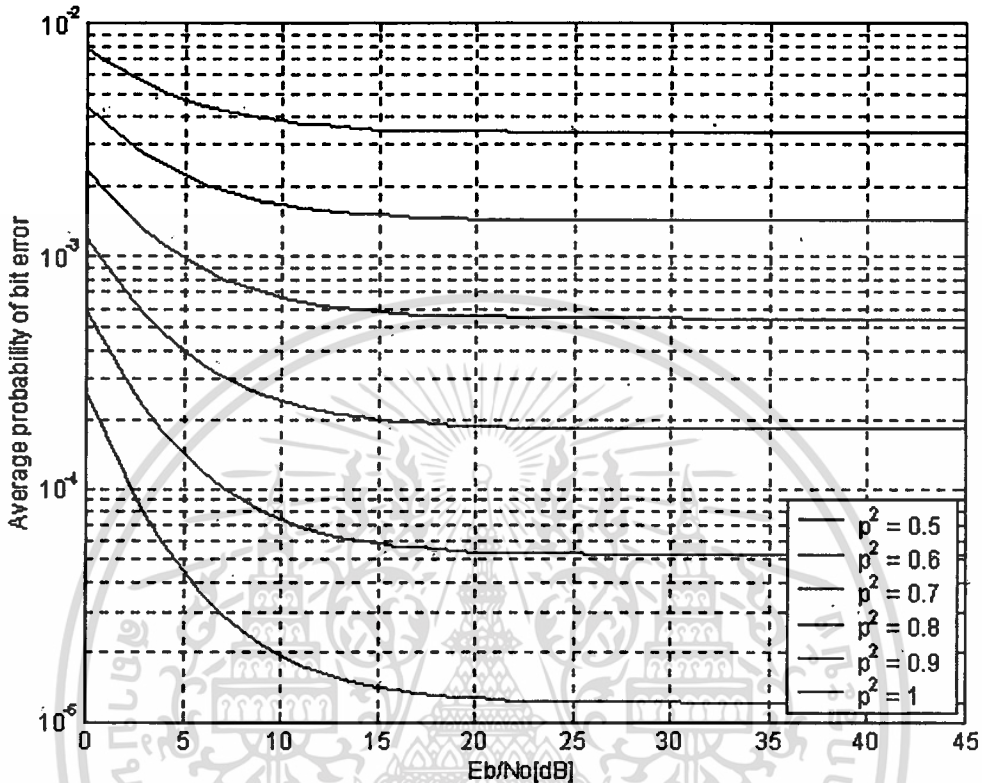
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า  $V = A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\xi = 1$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$ ,  $K = 20$ ,  $J = 6$  และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ

5.1.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนพิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 8



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า  $V=A$ ,  $\sigma=0$ ,  $\xi=1$ ,  $\lambda=3/8$ ,  $G_p=127$ ,  $L=10$ ,  $M=18$ ,  $K=20$ ,  $J=8$  และค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ

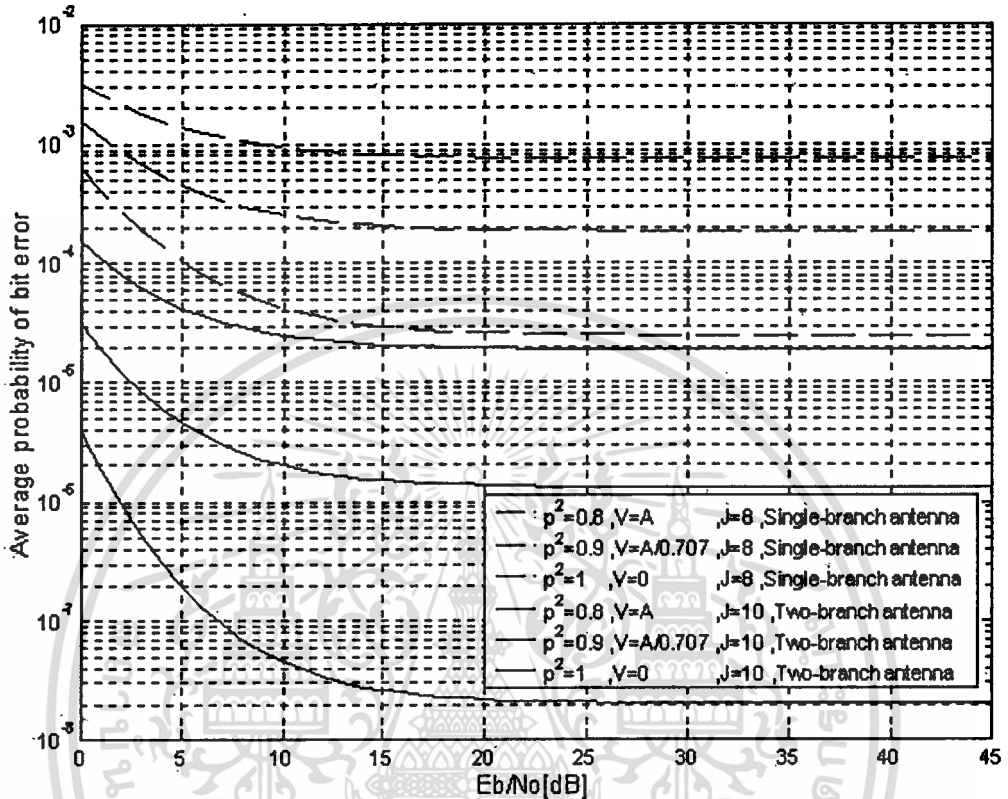
5.1.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบลดลง และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ บนจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์เท่ากับ 20 และจำนวนพืงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 10



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า  $V = A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\xi = 1$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$ ,  $K = 20$ ,  $J = 10$  และ ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆ

รูปที่ 5.5 ถึง 5.8 แสดงความสัมพันธ์ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  โดยรูปดังกล่าวกำหนดให้มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ ( $V$ ) เท่ากับ  $A$  อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 จำนวนสาขาอากาศเท่ากับ 1 สาขา ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ  $3/8$  อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิธี ( $L$ ) เท่ากับ 10 วิธี และมีจำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนทั้งสิ้น 18 เซลล์ จำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 20 ราย จากผลวิเคราะห์เชิงเลขแสดงให้เห็นว่าหากมีการผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) ที่ค่าเท่ากับ 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 และ 0.5 ตามลำดับ จะทำให้ระบบมีสมรรถนะของระบบลดลงเมื่อเทียบกับไม่มีการผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) มีค่าเท่ากับ 1 อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนพืงเกอร์ ( $J$ ) เป็นการช่วยให้ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยนี้ลดลง

5.1.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลง ผลกระทบของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ สามารถชดเชยโดยเพิ่มจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคและใช้สาขาสายอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบดีขึ้น

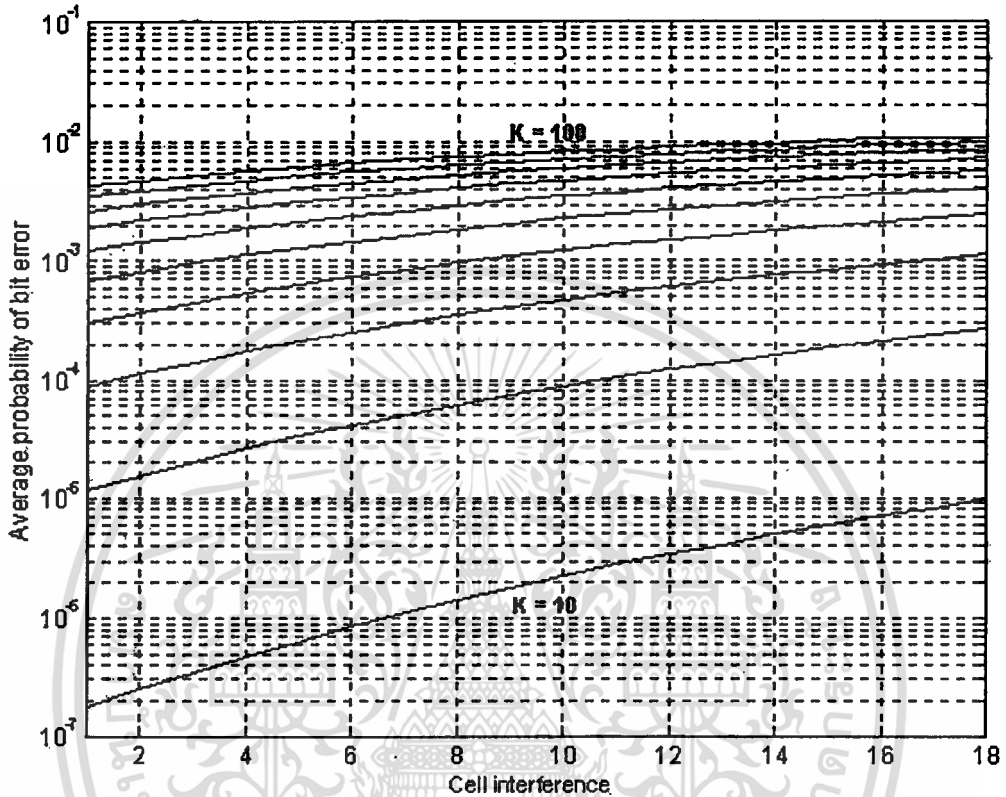


รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ  $E_b/N_0$  ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า  $V = 0, 0.7071A, A, \delta = 0, \lambda = 3/8, G_p = 127, L = 10, M = 18, K = 20, J = 8,$  และ 10 ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดค่าต่างๆและการใช้สาขาของสายอากาศ

รูปที่ 5.9 ให้อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ 3/8 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิถี(L)เท่ากับ 10วิถี และมีจำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนทั้งสิ้น 18 เซลล์ จำนวนผู้ใช้ระบบเท่ากับ 20ราย จากผลวิเคราะห์เชิงเลขแสดงให้เห็นว่าหากมีการผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) เกิดขึ้น อีกทั้งมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ด้วยแล้วจะทำให้สมรรถนะของระบบเลวร้ายลงไปอีก ด้วยเหตุนี้เป็นที่ทราบจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ว่าการเพิ่มจำนวนฟิงเกอร์ด้านภาครับช่วยให้สมรรถนะดีขึ้นจากผลกระทบดังกล่าวและเราสามารถใช้อาสาสายอากาศจากหนึ่งสาขาเป็นสองสาขาเป็นการปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้นจากผลกระทบดังกล่าวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนที่เพิ่มขึ้น ด้วยค่า voice activity factor



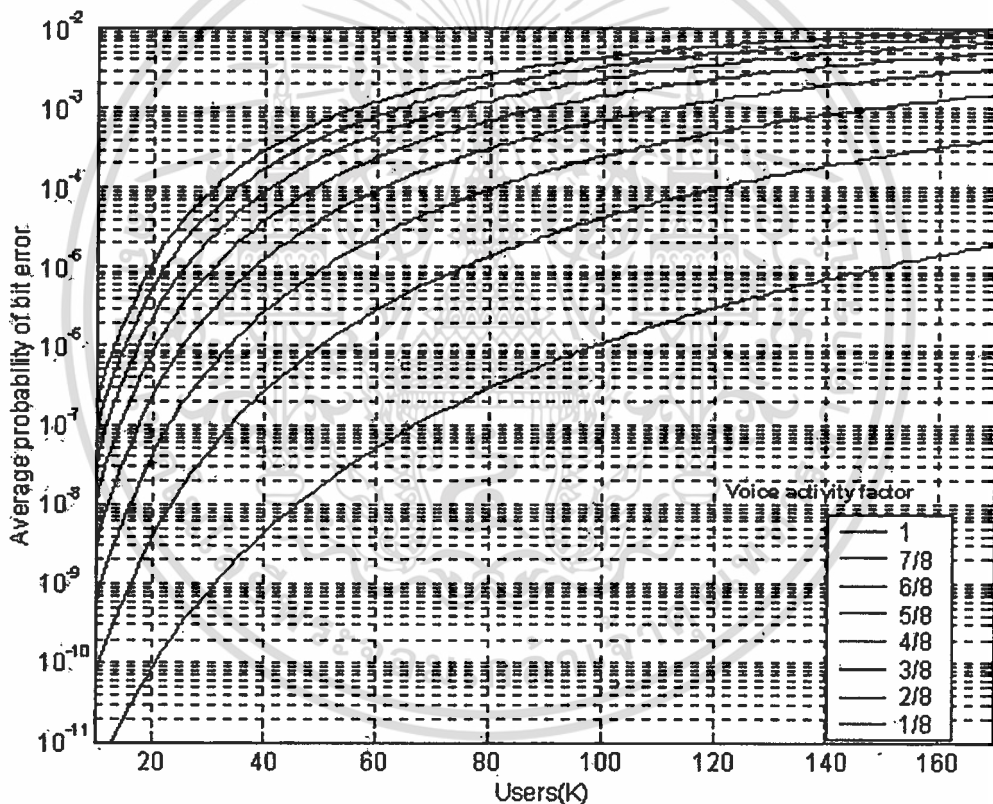
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V = 0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$  และ  $J = 10$

รูปที่ 5.10 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ไม่มีความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) เท่ากับ 1 ใช้สาขาสายอากาศ ( $\xi$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิธี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลีเท่ากับ 10 วิธี จำนวนฟังก์ชันเรย์ลี ( $J$ ) เท่ากับ 10 จากผลวิเคราะห์เชิงเลขจะเห็นได้ว่ายังมีผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่มารบกวนกับเซลล์ข้างเคียงเพิ่มขึ้นเท่าไรแล้ว จะส่งผลให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยมากขึ้น กล่าวคือ มีการรองรับจำนวนผู้ใช้ระบบลดลง ดังนั้นปัญหาดังกล่าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการแนวทางแก้ไข โดยจะกล่าววิธีการปรับปรุงการรองรับผู้ใช้ให้มากขึ้นในผลการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ โดยพิจารณาค่า  $E_b/N_0$  การควบคุมกำลังส่ง สัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้งานเซลข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด จำนวนสาขาสายอากาศและจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรด เพื่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ

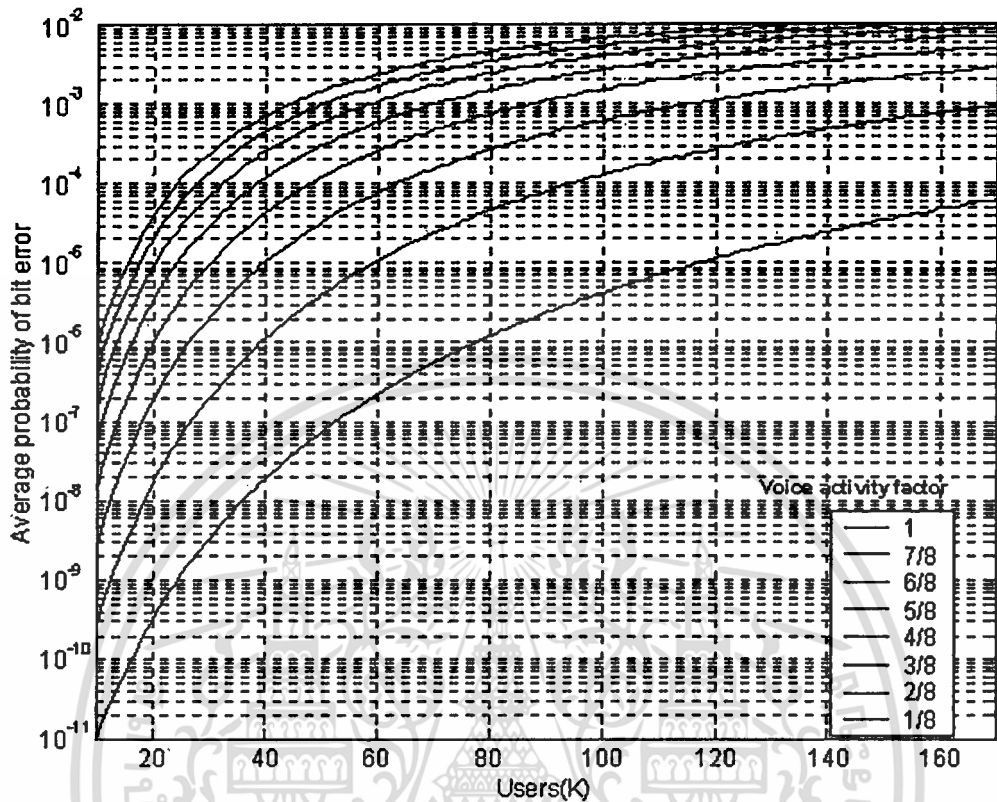
5.3.1 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1 เซล



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V = 0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $J = 10$  และ  $M = 1$

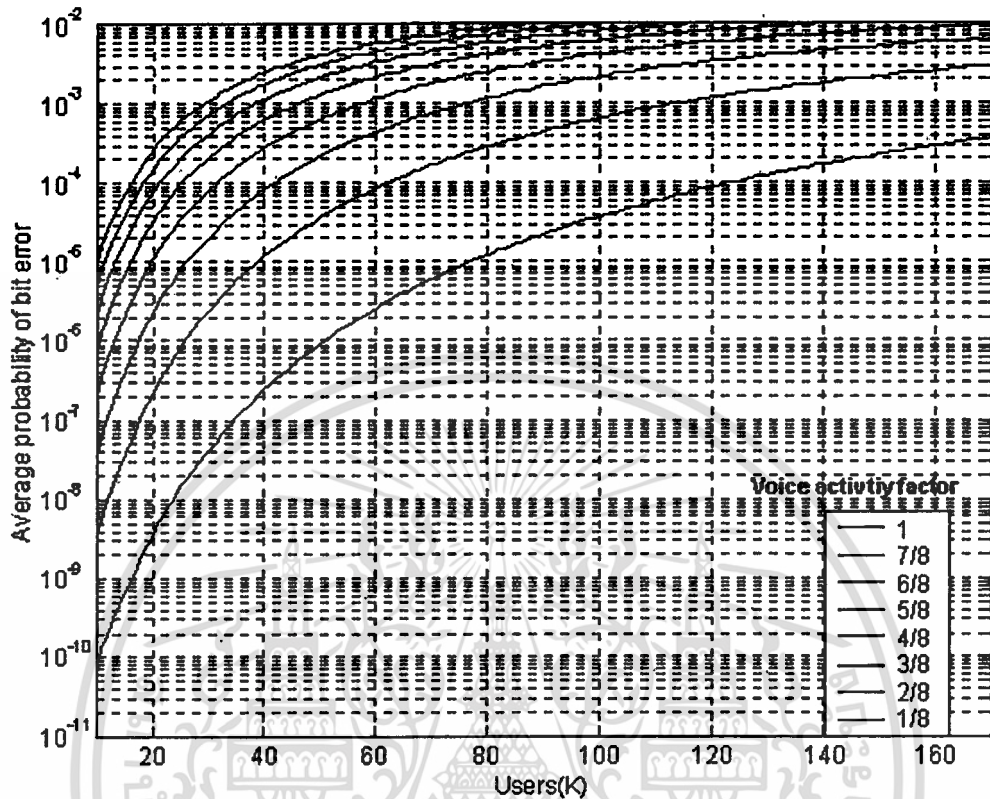
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้ จากเซดข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซด



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V = 0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $J = 10$  และ  $M = 6$ .

### 5.3.3 ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซตข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 18 เซลล์

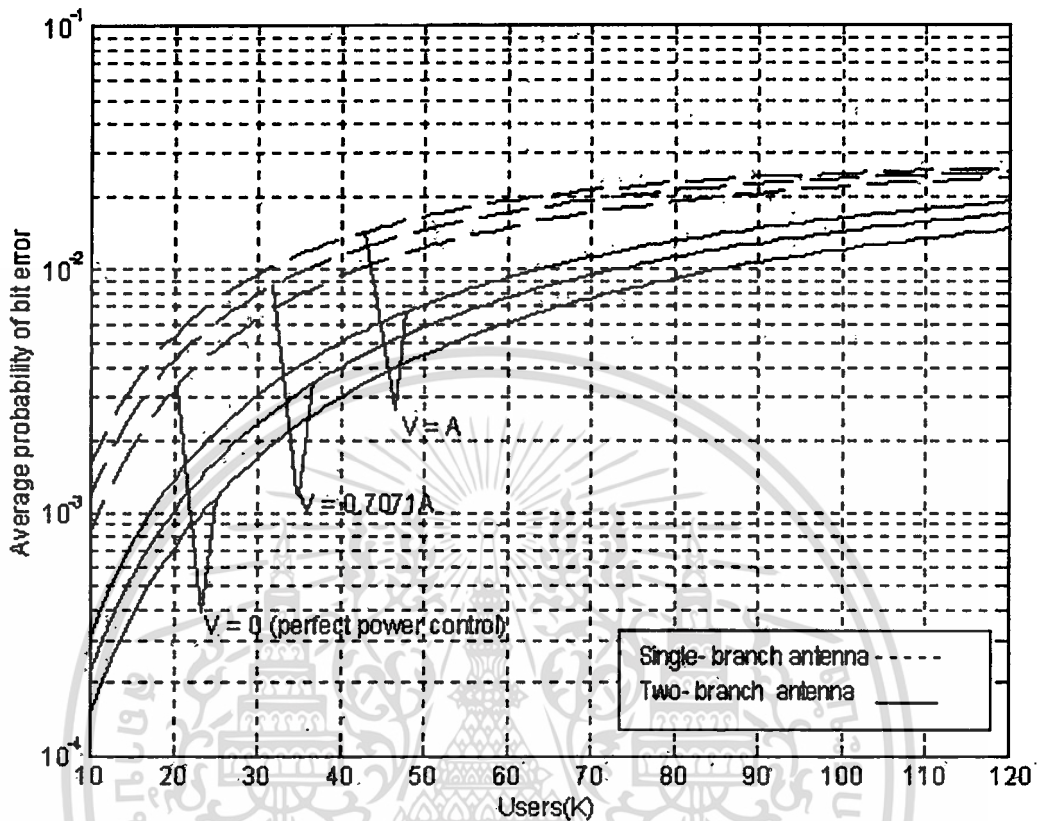


รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ถาวร โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V = 0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $J = 10$  และ  $M = 18$

รูปที่ 5.11 ถึง 5.13 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ไม่มีความผิดพลาดจากค่าด่วงนำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) เท่ากับ 1 ใช้สาขาสายอากาศ ( $\xi$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิถี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลีเท่ากับ 10 วิถี จำนวนฟังก์ชันการกระจาย ( $J$ ) เท่ากับ 10 จากผลวิเคราะห์เชิงเลขทั้งสามรูปจะเห็นว่าจำนวนผู้ใช้จากจำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนที่เพิ่มขึ้น จาก 1, 6 และ 18 ตามลำดับ ส่งผลให้การรองรับจำนวนผู้ใช้ระบบลดลง อย่างไรก็ตาม หากระบบมีการตรวจจับค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) สามารถชดเชยถึงผลกระทบดังกล่าว ทำให้เพิ่มการรองรับจำนวนผู้ใช้ระบบมากขึ้น

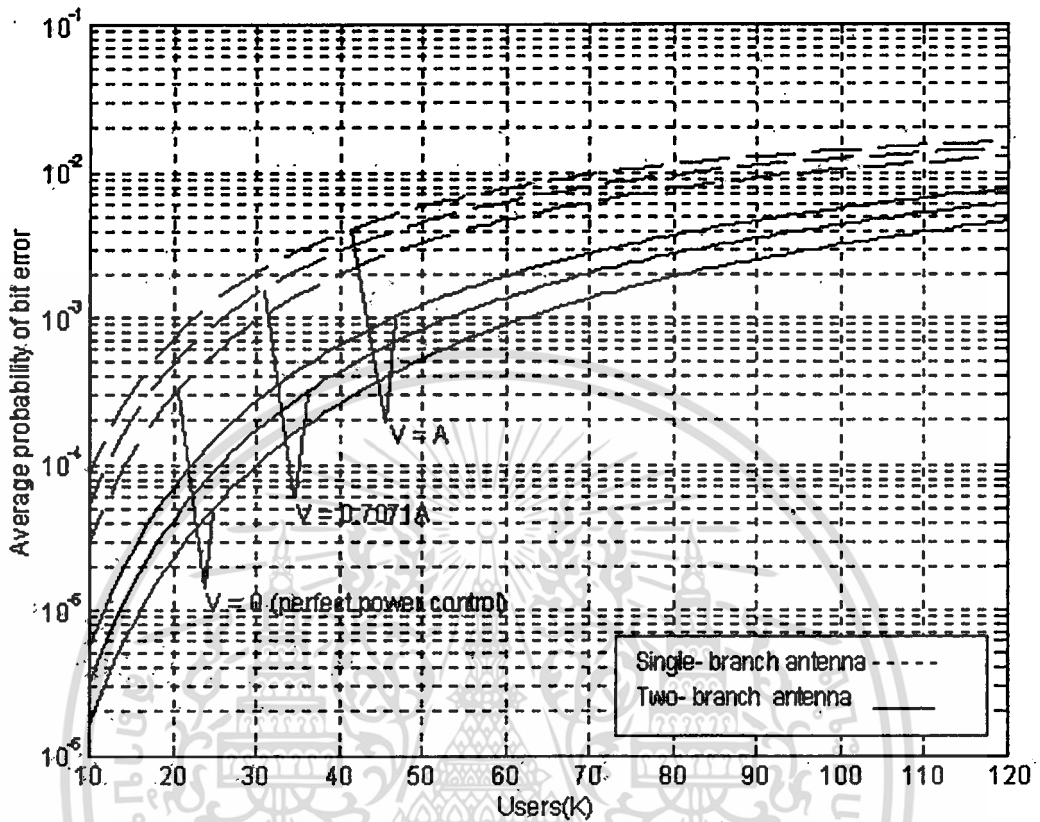
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.4 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 4



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$  และ  $J = 4$

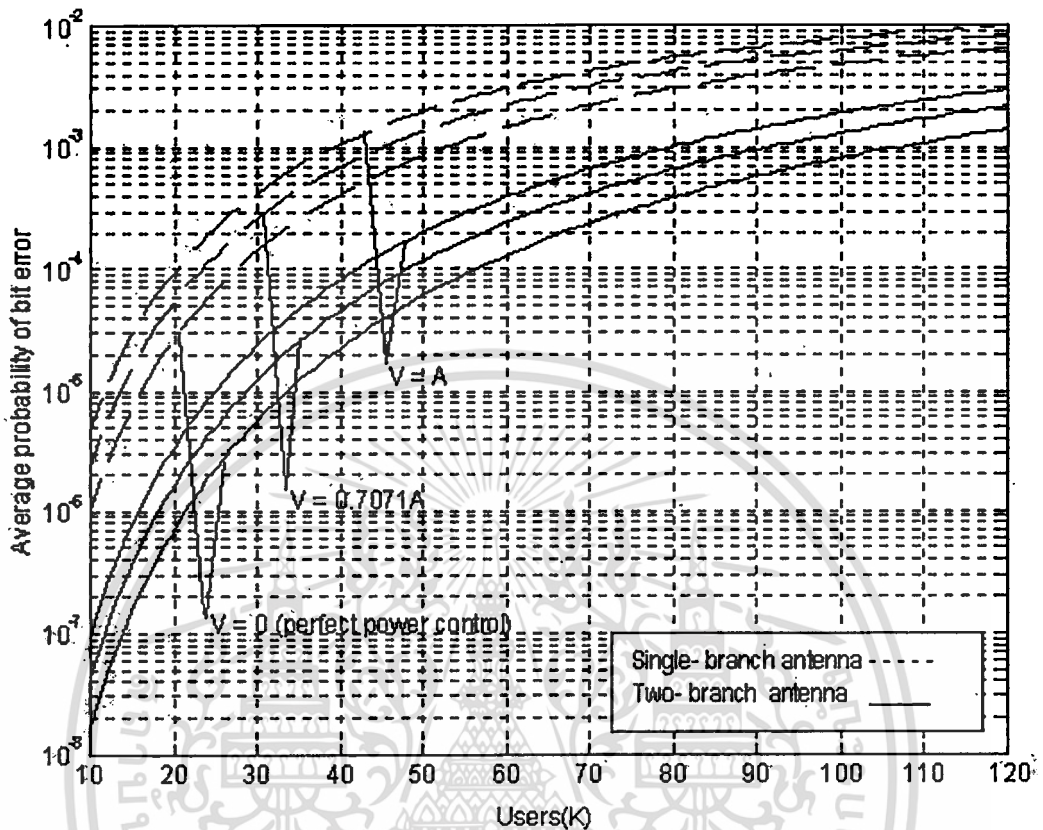
### 5.3.5 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรดเท่ากับ 6



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L=10$ ,  $M=18$  และ  $J=6$

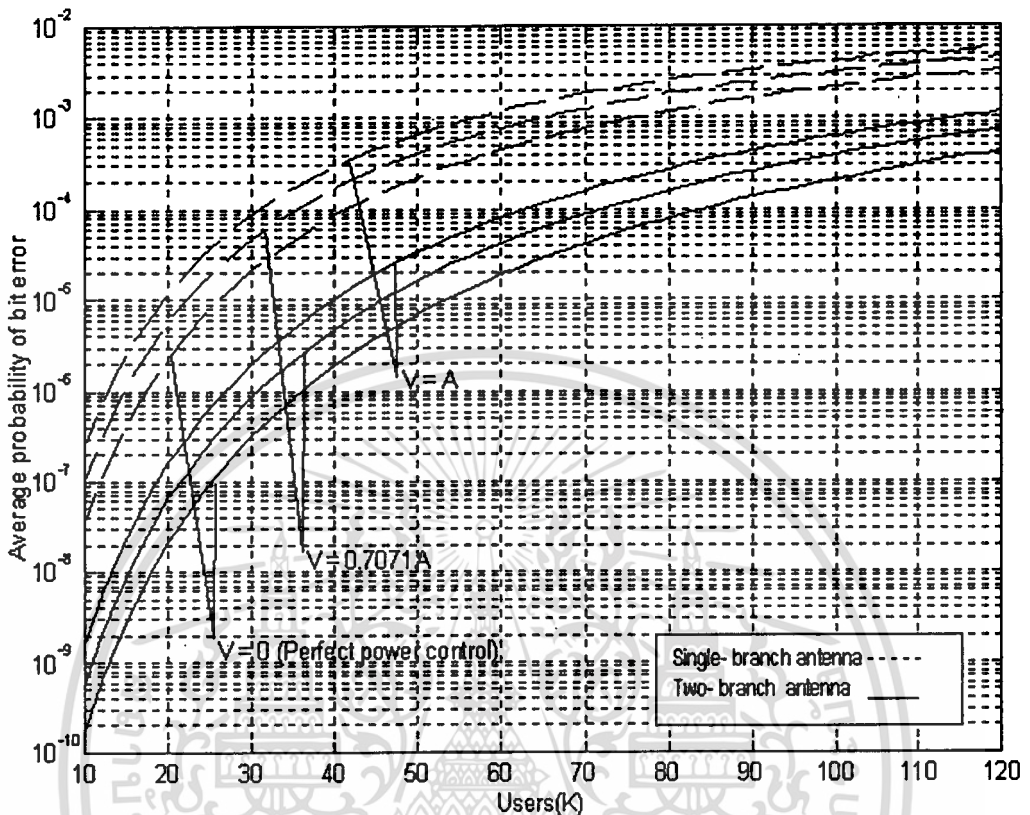
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.6 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 8



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนดค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$  และ  $J = 8$

### 5.3.7 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 10

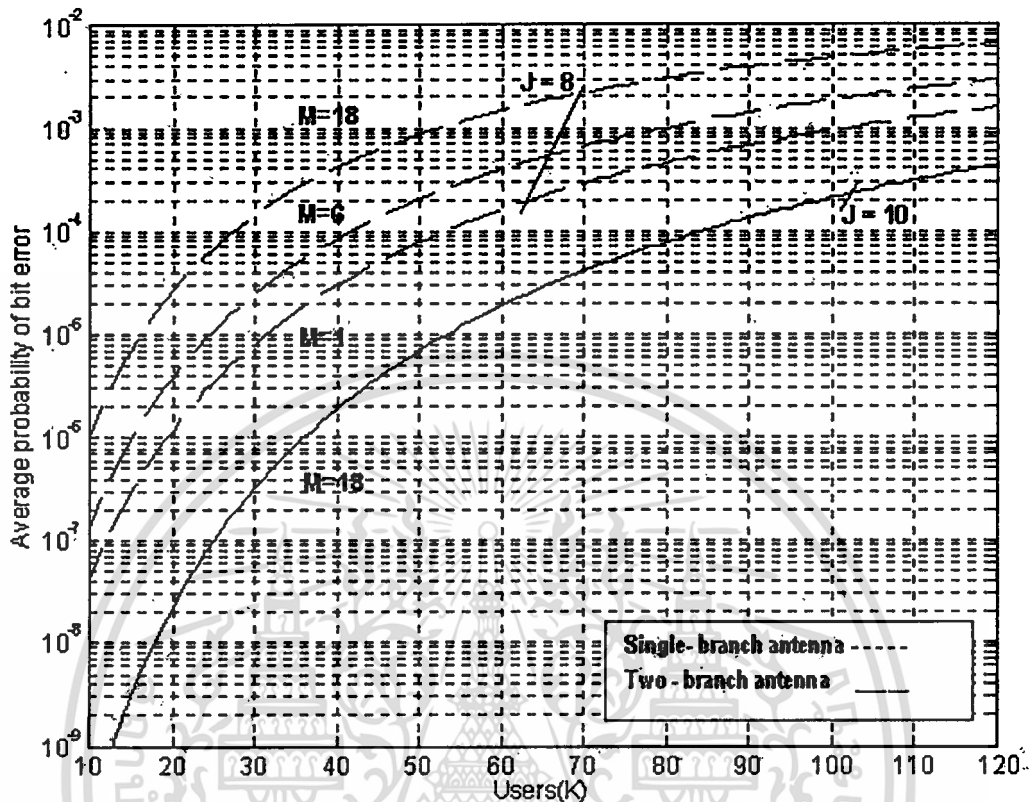


รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่ กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $L = 10$ ,  $M = 18$  และ  $J = 10$

รูปที่ 5.14 ถึง 5.17 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ  $3/8$  ไม่มีความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิถี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลี เท่ากับ 10 วิถี และมีจำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รับกวนทั้งสิ้น 18 เซลล์ จากผลวิเคราะห์เชิงเลขทั้งสามรูปแบบแสดงให้เห็นถึงการรองรับผู้ใช้ระบบลดลงหากเกิดการควบคุมกำลังส่งสัญญาณนั้นไม่สมบูรณ์ การเพิ่มจำนวนฟิงเกอร์ ( $J$ ) จะช่วยในการชดเชยผลกระทบดังกล่าวและสามารถเพิ่มการรองรับจำนวนผู้ใช้ด้วยการใช้สาขาสายอากาศ ( $\zeta$ ) เท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

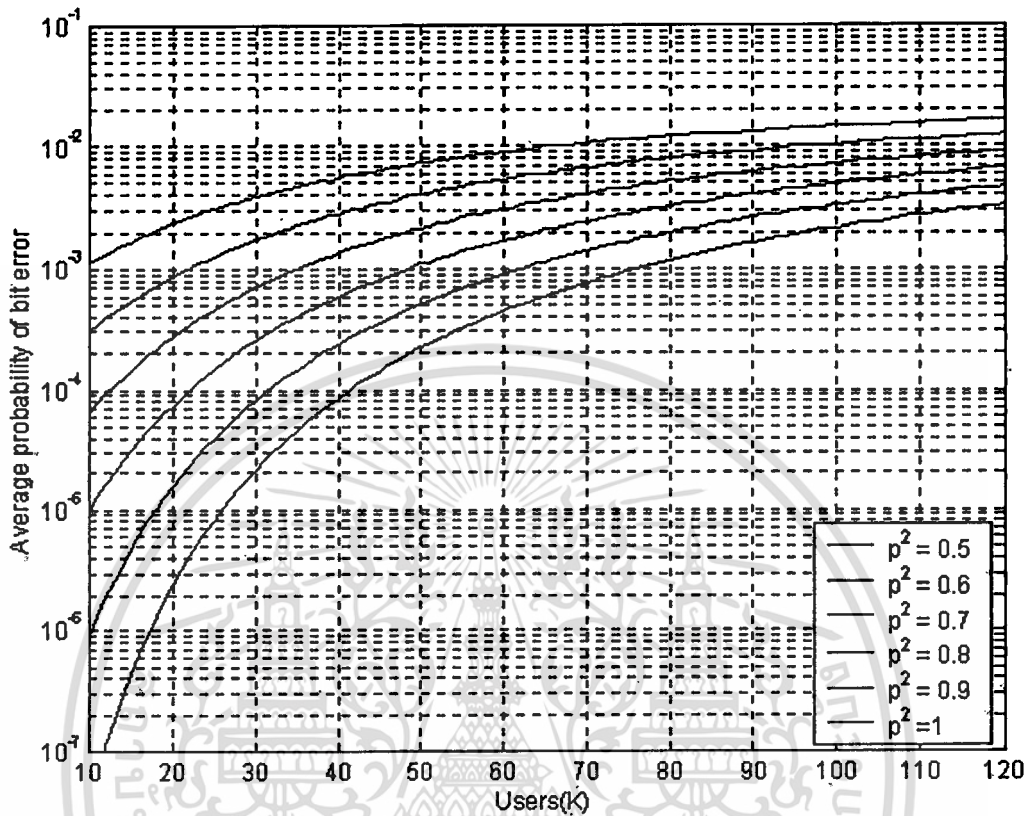
### 5.3.8 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์และสาขาของสายอากาศ ให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดาร์



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V=0$ ,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\rho^2 = 1$ ,  $G_p = 127$  และ  $L=10$

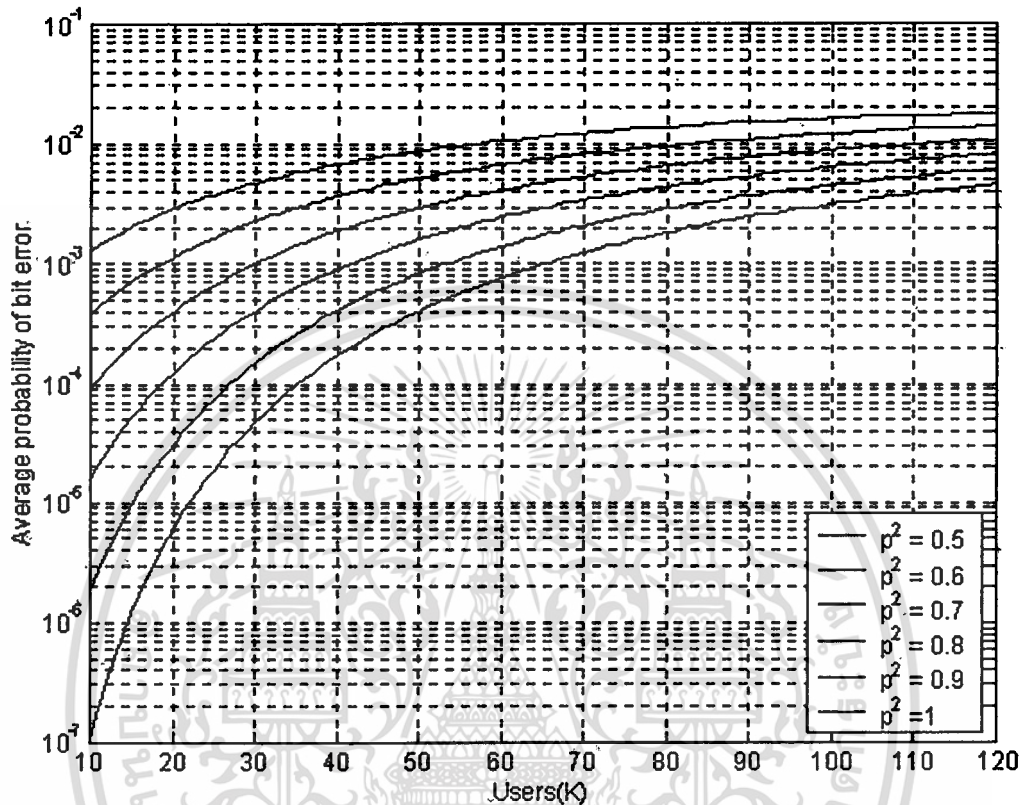
รูปที่ 5.18 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ ( $V$ ) เท่ากับ 0 อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ  $3/8$  ไม่มีความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุด ( $\rho^2$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนวิถี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลี เท่ากับ 10 จากผลวิเคราะห์เชิงเลข เห็นว่าแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบการใช้สาขาสายอากาศที่จำนวนฟังก์เจอร์ ( $J$ ) และจำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ( $M$ ) ต่างๆ จะเห็นได้ว่าผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงมารบกวนเซลล์ข้างเคียงมากขึ้นส่งผลให้การรองรับจำนวนผู้ใช้ลดลง แต่เราสามารถปรับปรุงด้วยการใช้สาขาสายอากาศ ( $S$ ) ที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเพิ่ม

### 5.3.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าอ่วงน้ำหนักของอัตราวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V=0$ ,  $\delta=0$ ,  $\lambda=3/8$ ,  $\zeta=1$ ,  $G_p=127$ ,  $M=18$ , และ  $L=J=10$

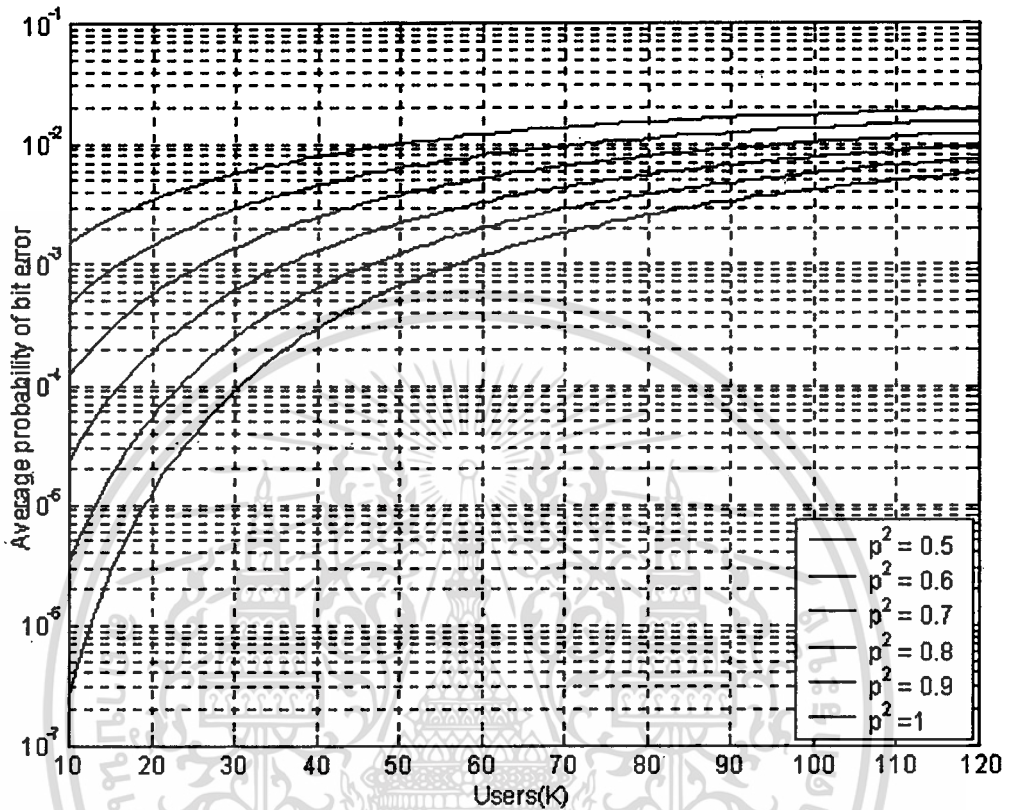
5.3.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าอัตรานำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้  
 มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่  
 สมบูรณ์(V) เท่ากับ 0.7071A



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนดค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $M=18$ ,  $L=J=10$  และ  $V=0.7071A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

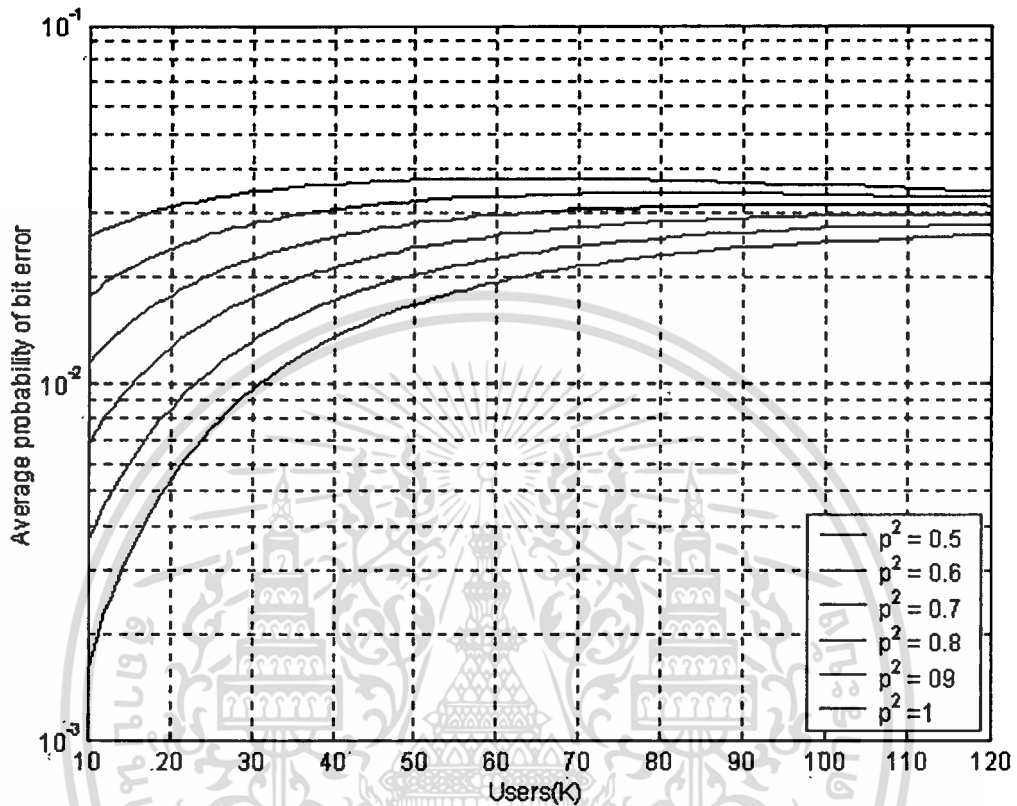
5.3.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์(V) เท่ากับ A



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\xi = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $M = 18$ ,  $L = J = 10$  และ  $V = A$

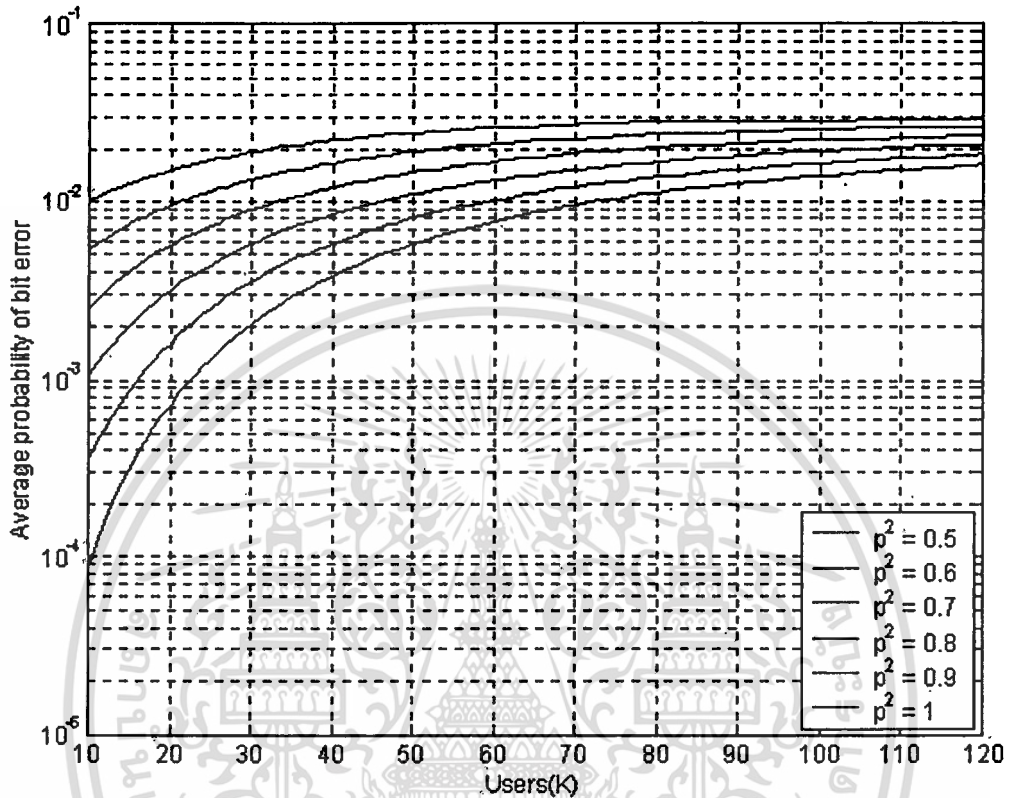
รูปที่ 5.19 ถึง 5.21 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ 3/8 สาขาสายอากาศ ( $\xi$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ( $M$ ) เท่ากับ 18 เซลล์ จำนวนวิถี ( $L$ ) และจำนวนพิงเจอร์ ( $J$ ) เท่ากับ 10 จากผลวิเคราะห์เชิงเลขเห็นว่าแสดงหากความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดมีค่าลดลงเป็นผลทำให้ผู้ใช้ระบบลดลง นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องพิจารณาให้เลวร้ายลงไปอีก นั่นคือมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์แล้วจะยิ่งทำให้การรองรับผู้ใช้ระบบลดลงด้วย

5.3.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์( $V$ ) เท่ากับ  $A$  และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4



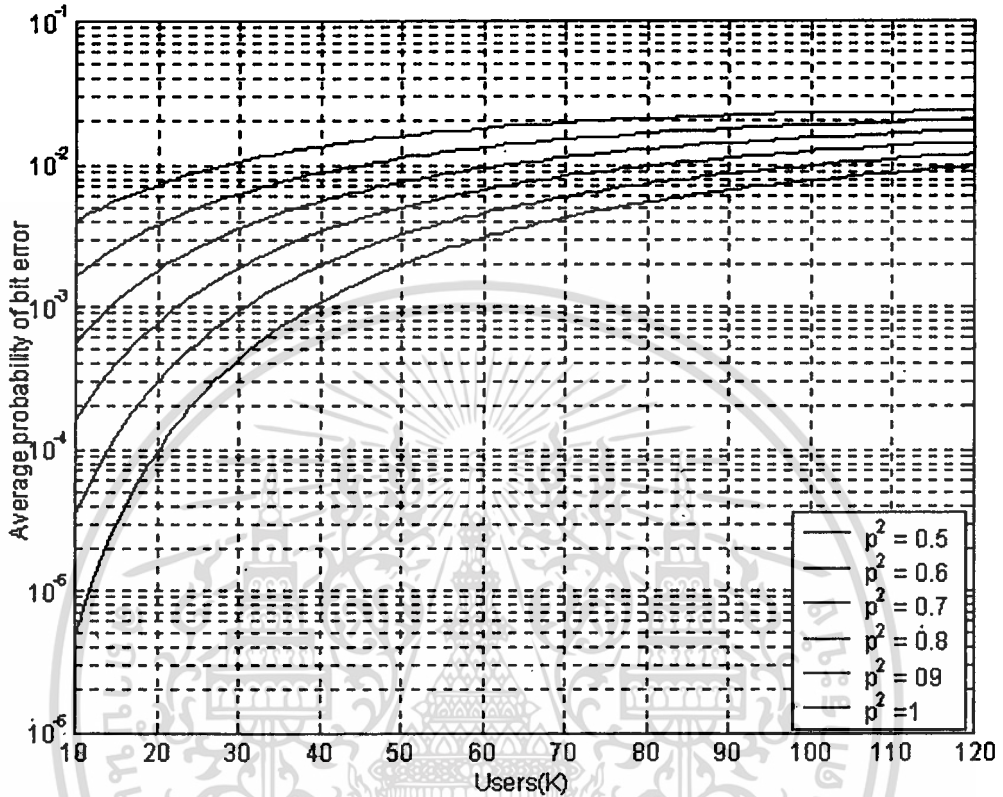
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V=A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $M=18$ ,  $L=10$  และ  $J=4$

5.3.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์( $V$ ) เท่ากับ  $A$  และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 6



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V=A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $M=18$ ,  $L=10$  และ  $J=6$

5.3.14 การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง โดยมีการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์( $V$ ) เท่ากับ  $A$  และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 8

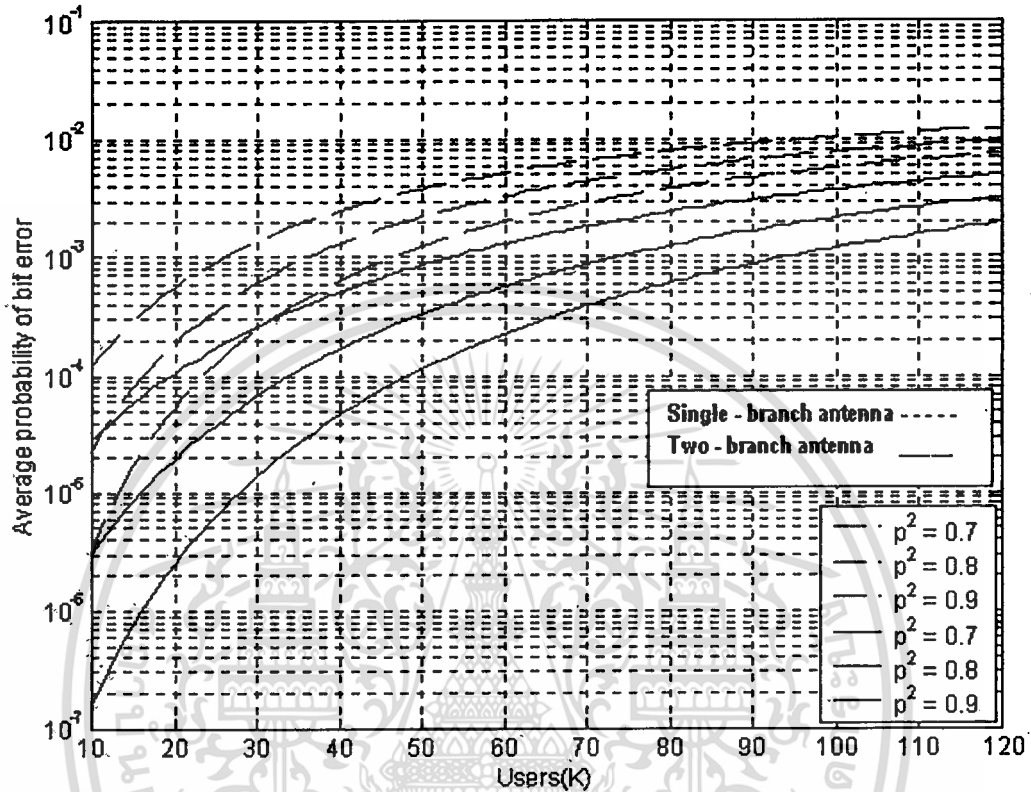


รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b / N_0 = 20$  dB,  $V=A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $\zeta = 1$ ,  $G_p = 127$ ,  $M=18$ ,  $L=10$  และ  $J=8$

รูปที่ 5.22 ถึง 5.24 ค่า  $E_b / N_0 = 20$  dB อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ  $3/8$  สาขาสายอากาศ ( $\zeta$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ( $M$ ) เท่ากับ 18 เซลล์ จำนวนวิถี ( $L$ ) ที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์ลี เท่ากับ 10 จากรูปทั้งสามจะพิจารณาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ โดยผู้วิจัยจะทำการทดลองเพิ่มจำนวนฟังก์เจอร์เพื่อดูผลกระทบดังกล่าวและพบว่าแม้เกิดความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดมีค่าลดลงเป็นผลทำให้ผู้ใช้ระบบลดลง ดังนั้นเราสามารถชดเชยผลกระทบดังกล่าวด้วยการเพิ่มจำนวนฟังก์เจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.15 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดที่ลดลงทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ลดลง แต่สามารถปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนสาขาของสายอากาศ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลลูลาร์ โดยที่กำหนด ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB,  $V=A$ ,  $\delta = 0$ ,  $\lambda = 3/8$ ,  $G_p = 127$ ,  $M = 18$ ,  $L = J = 10$

รูปที่ 5.25 ค่า  $E_b/N_0 = 20$  dB อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0 ค่า Voice activity factor ( $\lambda$ ) เท่ากับ 3/8 สาขาสายอากาศ ( $S$ ) เท่ากับ 1 อัตราการขยายการประมวลผล ( $G_p$ ) เท่ากับ 127 จำนวนเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ( $M$ ) เท่ากับ 18 เซลล์ จำนวนวิธี ( $L$ ) ที่เกิดจากการกระจายแบบเรย์ลี เท่ากับ 10 และจำนวนฟังก์ชันเท่ากับ 10 เช่นกัน โดยรูปสุดท้ายนี้ผู้วิจัยจะพิจารณาในกรณีเลวร้ายต่างๆ ทั้งหมดมารวมกันเพื่อดูผลกระทบที่มีโดยตรงต่อผู้ใช้ นั่นคือมีกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ มีจำนวนผู้ใช้งานส่งสัญญาณมารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงจากทุกเซลล์จำนวนทั้งหมด 18 เซลล์ จากรูปผลการทดลองเราจะเห็นได้ว่าหากเราเพิ่มจำนวนฟังก์ชันให้มีค่าเท่ากับจำนวนวิธีเพื่อแก้ไขของการเกิดเฟดดิ้งแล้วก็ตาม แต่หากมีความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักของอัตรารวมสูงสุดแล้วก็จะส่งผลให้จำนวนผู้ใช้งานระบบลดลง อย่างไรก็ตามเราสามารถปรับปรุงถึงผลกระทบดังกล่าว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยการใช้จำนวนของสายอากาศทางภาครับจากหนึ่งสาขาไปเป็นสองสาขาก็จะเป็นการเพิ่มการรองรับของผู้ใช้ระบบเพิ่มขึ้น กล่าวคือมีสมรรถนะของระบบที่ดีขึ้นนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัย

ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ CDMA เป็นมีจุดเด่นทั้งด้านความจุ การป้องกันการดักฟังทำให้ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง โดยผู้ใช้แต่ละคนจะมีรหัสไม่ซ้ำกันเลยและหากนํารหัสของผู้ใช้รายหนึ่ง มาเทียบกับผู้ใช้อีกรายจะต้องมีคุณสมบัติอัตราสัมพันธ์ข้ามที่เข้าใกล้ศูนย์มากๆ กล่าวคือจะต้องไม่มีการกวนกัน โดยการสร้างรหัสขึ้นจะต้องมีคุณสมบัติเฉพาะ การศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้จะวิเคราะห์ถึงปัญหาต่างๆ กรณีส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มายังสถานีฐาน ใช้แบบจำลองเซลล์จำนวนทั้งสิ้น 19 เซลล์ เซลล์ตรงกลางกำหนดเป็นเซลล์ที่มีผู้ใช้รายหนึ่งอ้างอิงที่เราสนใจ ใช้วิธีการลดลำดับโดยตรง ซึ่งนำลำดับข้อมูลมาทำการคูณด้วยลำดับของรหัสแบบเลขฐานสอง จากนั้นนำไปมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสฐานสอง ส่งออกอากาศจากเครื่องโทรศัพท์แล้วผ่านไปยังช่องสัญญาณทางอากาศแสดงลักษณะของการเกิดเฟดดิ้งในหลายวิธีแบบเรย์ลี ทำให้สัญญาณมีขนาดการผันแปรขึ้น ไปเกิดการหน่วงเวลาขึ้น เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับของสถานีฐาน ทั้งนี้ทางเครื่องรับจะใช้สาขาสายอากาศและใช้แบบ RAKE จากสมการที่ 4.33 ได้นำมาวิเคราะห์เชิงเลขด้วยโปรแกรม MATLAB บนเงื่อนไขของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถอธิบายถึงปัจจัยสำคัญที่ผู้วิจัยนำเสนอผลกระทบหลายๆอย่างมารวมกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ CDMA และการรองรับจำนวนผู้ใช้งาน สามารถอธิบายได้ดังนี้

ปัจจัยที่เกิดจากระบบเซลลูลาร์ CDMA คือเมื่อจำนวนที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้งานระบบทั้งภายในเซลล์ที่อ้างอิงและภายนอกเซลล์ จะส่งผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้อื่นต่อผู้ใช้คนที่เราสนใจ ดังนั้นเป็นผลอัตราความผิดพลาด (Average Bit Error Rate) ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น สมรรถนะของระบบจึงลดลง แต่อย่างไรก็ดีเราสามารถทำการตรวจจับเสียง (voice activity factor) ช่วยในการลดสัญญาณรบกวนแทรกสอดดังกล่าว เป็นผลให้สามารถรองรับผู้ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ เพิ่มขึ้น ผลกระทบจากการเกิดเฟดดิ้งจากหลายๆเส้นทางที่เดินทางมายังสถานีฐาน ทำให้มีสมรรถนะของระบบเลวลง แต่สามารถชดเชยถึงผลกระทบดังกล่าวด้วยการใช้จำนวนฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นอีกทั้งเพิ่มจำนวนสาขาสายอากาศ เป็นผลให้เราสามารถลดผลกระทบดังกล่าว นอกจากนี้ค่าความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุดที่มากขึ้นเรื่อยๆ แล้วจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติเราไม่สามารถรักษาให้อยู่ในเชิงอุดมคติได้ แม้ว่าการใช้วิธีอัตรารวมสูงสุดทางภาครับ (Maximal Ratio Combining) เป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง ดังนั้นการปรับปรุงผลกระทบดังกล่าวสามารถใช้จำนวนสาขาสายอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีสมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ ให้ดีขึ้น ประการสุดท้ายการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ที่ค่าต่างๆ จากผลที่ได้ทำการทดลองไปแล้วแสดงให้เห็นว่าการรองรับผู้ใช้งานในระบบลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้

รายได้ในการให้บริการถูกลดลง หากเราไม่สามารถรักษาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ ดังนั้นผลกระทบทั้งหมดที่กล่าวมาไม่ว่าจะเป็นจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นทั้งเซลล์ที่อ้างอิง ภายนอกเซลล์ การเกิดเฟดดิ้ง การผิดพลาดจากค่าตัวนำน้ำหนักทางเครื่องรับ อีกทั้งการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ ล้วนส่งผลให้การรองรับการให้บริการต่ำลง อย่างไรก็ตามเราก็สามารถปรับปรุงถึงผลกระทบดังกล่าวด้วยการเพิ่มจำนวนพิงเกอร์และสาขาสายอากาศ มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA ได้ดีอีกวิธีหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] C.S. Gardner and J.A. Orr "Fading effect on the performance of spread spectrum multiple access communication system," Trans. Commun., Vol. COMM-27, pp. 43-49, January 1979.
- [2] G.L. Turin "The effect of multipath and fading on the performance of DS-SSMA system," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.COMM-35, pp. 1189-1198, November 1987.
- [3] L.B. Milstein, T.S. Rappaport and R.Barghouti "Performance evaluation for cellular CDMA," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.10, No.4, pp. 680-689, May 1992.
- [4] T. Eng and L.B. Milstein "Coherent DS-SSMA performance in Nakagami multipath Fading," IEEE Trans. Commun., Vol.43, No.2-4, pp. 1134-1143, February/March/April 1995.
- [5] G. Efthymoglou, V. Aalo and H. Helmken, "Performance analysis of coherent DS-SSMA systems in a Nakagami fading channel with arbitrary parameters," IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol.46, No.2, pp. 289-297, May 1997.
- [6] J.S. Lee and L.E. Miller, CDMA System Engineering Handbook, Boston : Artech House, 1998.
- [7] B.R. Tomiuk, N.C. Beaulieu and A.A. Abu-Dayya "General forms for maximal ratio diversity with weighting errors," IEEE Trans. Commun., Vol.47, No.4, pp. 448-1492, April 1999.
- [8] J.G. Proakis, Digital Communications, 2<sup>nd</sup> ed., New York : McGraw -Hill, 1995.
- [9] M.K. Simon and M.-S. Alouini, Digital Communication over Fading Channels, New York : John wiley & sons, Inc., 2000.
- [10] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series and Products, New York : Academic, 1980.

## ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- 1 ธเนศ สังขะมนัส, สมยศ จุณณะป๊ะ, พิเชฐ ม่วงนวล และปราโมทย์ อนันต์วรพงษ์ “การวิเคราะห์อัตราบิดผิพลาตเฉลี่ยของระบบเซลลูลาร์แบบโคเร็กซ์เคเวนซีดีเอ็มเอบนช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบเรย์ลี,” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่18 ฉบับที่3 กันยายน 2544 หน้า 105-110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายธนศ ตั้งขมมนัส เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปี พ.ศ.2537 ปัจจุบันทำงานอยู่บริษัท BFKT (Thailand) จำกัด ตำแหน่งวิศวกรอาวุโส ทำหน้าที่ ออกแบบเครือข่ายการเชื่อมต่อและวิเคราะห์กราฟฟิก (Network & Traffic Engineering & Interconnection ) ทางด้านชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้