

การวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัสแบบบล็อกและการไม่เข้ารหัส  
ของระบบโคเดรีทรีแควน CDMA ที่ถูกรบกวนโดย Pulse-Noise Jamming

BLOCK CODE AND UNCODE PERFORMANCES ANALYSIS OF  
DS-SS-SSM ON PULSE-NOISE JAMMING

ศุภินันท์ ชติมาลา  
APINUN CHATIMALA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-643-932-8



**BLOCK CODE AND UNCODE PERFORMANCES ANALYSIS OF  
DS-CDMA ON PULSE-NOISE JAMMING**

**APINUN CHATIMALA**

**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**

**2002**

**ISBN 974-648-982-8**

**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัสแบบ บล็อกและการไม่เข้ารหัสของระบบไคเร็คซีแควนCDMAที่ ถูกรบกวน โดยPulse-Noise Jamming
นักศึกษา	นายอภิรักษ์ ชาติมาลา
รหัสประจำตัว	42061112
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์กอบชัย เดชหาญ

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์คุณสมบัติการเข้ารหัสแบบบล็อกของระบบไคเร็คซีแควน ซีดีเอ็มเอ ( DS-SS-CDMA )บนช่องสัญญาณแบบราเลย์(Rayleigh) โดยใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ BPSK โดยมีสัญญาณรบกวนแบบPulse-Noise Jammingเกิดขึ้นกับระบบ ผลการวิเคราะห์แสดงอยู่ในรูปของอัตราความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งทำการเข้ารหัสแบบบล็อก และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ DS-SS-CDMA ที่ทำการเข้ารหัสและระบบที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัส

**Thesis Title** Block Code and Uncode Performances Analysis of DS-CDMA on  
Pulse-Noise Jamming

**Student** Mr.Apinun Chatimala

**Student ID.** 42061112

**Degree** Master of Engineering

**Programme** Electrical Engineering

**Year** 2002

**Thesis Advisor** Mr.Kobchai Dejhan

### **ABSTRACT**

This thesis proposes the analysis of the bit error rate (BER) performance of the direct sequence code division multiple access (DS-CDMA) system with the binary data sequence using the phase shift keying modulation in the Rayleigh Fading channel with Pulse-Noise Jamming .After decoding,the bit error rate performance is obtained and compared with the BER performance of the uncoded system.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ และ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยที่กรุณาให้แนวความคิดและ คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ บิดา-มารดาของข้าพเจ้า คุณไพบุลย์ คู่ประกาย คุณกฤษณ์ อ่างแก้ว คุณพิพัฒน์ ตราเกียรติกุล คุณปริญญา เรืองศิริไพศาล คุณสุนิสา อมรวัฒนาและเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจ ต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภิรักษ์ ชาติมาลา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VIII
สารบัญภาพ .....	IX
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 แนวความคิด .....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา .....	2
บทที่ 2 การสื่อสารระบบดิจิทัล .....	3
2.1 ระบบการเข้ารหัสสัญญาณ .....	3
2.1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ .....	3
2.1.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา .....	4
2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งรหัส .....	4
2.2 พื้นฐานการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ .....	5
2.2.1 การจัดลำดับโดยตรง .....	5
2.2.2 การกระโดดความถี่ .....	6
2.2.3 การกระโดดของเวลา .....	7
2.2.4 แบบผสม .....	8
2.3 สัญญาณกวนชนิด Pulse-Noise Jamming .....	9
2.3.1 แบบจำลองของ Rayleigh .....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 เทคนิคการเข้ารหัส .....	14
3.1 พื้นฐานการเข้ารหัส .....	14
3.2 รหัสลิเนียร์บล็อก .....	16
3.2.1 ค่าพารามิเตอร์ของรหัสลิเนียร์บล็อก .....	16
3.2.2 ความสามารถในการตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล ของรหัสลิเนียร์บล็อก .....	17
3.2.3 หลักการของการเข้ารหัสลิเนียร์บล็อกที่อยู่ในสถานะถูกรบกวน .....	19
3.3 รหัสการประสาน .....	21
3.3.1 หลักการเข้ารหัสการประสาน .....	21
บทที่ 4 อัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลของระบบที่มีการเข้าถึงหลายเส้นทาง แบบการเข้ารหัส ลำดับ โดยตรงที่ถูกรบกวน โดย Pulse – Noise Jamming โดยใช้เทคนิคการเข้ารหัส บล็อก.....	25
... 25	
4.1 แบบจำลองเครื่องส่ง .....	25
4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ .....	27
4.3 แบบจำลองเครื่องรับ .....	28
4.3.1 ส่วนของสัญญาณ .....	29
4.3.2 ส่วนของการรบกวนระหว่างผู้ใช้ .....	29
4.3.3 ส่วนของสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก .....	30
4.3.4 ส่วนของสัญญาณรบกวน ( Jamming ).....	31
4.4 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ.....	31
4.4.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส.....	31
4.4.1.1 การหาอัตราส่วนของพลังงานของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	31
4.4.1.2 อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบที่ถูกรบกวน โดยPulse-noise jamming .....	32
4.4.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่เข้ารหัส.....	33

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2.1 การหาอัตราส่วนของพลังงานของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	34
4.4.2.2 ความผิดพลาดเนื่องจากช่องสัญญาณ.....	34
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข .....	38
5.1 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ.....	39
5.2 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ ).....	44
5.3 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก.....	47
5.4 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ )ต่อระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก.....	52
5.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสกับระบบที่เข้ารหัสบล็อก.....	55
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย .....	57
บรรณานุกรม .....	59
ภาคผนวก .....	60
ก. ระบบ CDMA .....	61
ข. โปรแกรม.....	71
ค. การเผยแพร่งานวิจัย .....	80
ประวัติผู้เขียน .....	82

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิค FDMA .....	3
2.2 การจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิค TDMA .....	4
2.3 การจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิคแบบ CDMA .....	4
2.4 แผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบการจัดลำดับโดยตรง .....	5
2.5 แผนภาพบล็อกด้านรับของระบบการจัดลำดับโดยตรง .....	6
2.6 แผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบการกระโดดความถี่ .....	6
2.7 แผนภาพบล็อกด้านรับของระบบการกระโดดความถี่ .....	7
2.8 แผนภาพบล็อกด้านส่งและด้านรับของระบบการกระโดดของเวลา .....	7
2.9 แผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบแบบผสม .....	8
2.10 แผนภาพบล็อกด้านรับของระบบแบบผสม .....	8
2.11 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งและด้านรับของระบบการจัดลำดับโดยตรง.....	10
3.1 แผนภาพบล็อกระบบสื่อสารแบบดิจิทัล .....	15
3.2 การตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาด .....	18
3.3 การเข้ารหัสการประสานด้วยความยาวคอนสเตรินท์ $M$ และอัตราการเข้ารหัส $k/n$ ....	21
3.4 การเข้ารหัสการประสานด้วยอัตราการเข้ารหัส $1/2$ , ความยาวคอนสเตรินท์ $M = 3$ ....	22
3.5 ขั้นตอนการเข้ารหัสการประสานด้วยอัตราการเข้ารหัส $1/2$ ความยาวคอนสเตรินท์ $M = 3$ .....	23
4.1 แบบจำลองระบบ DS-CDMA ที่ศึกษา .....	25
4.2 สัญญาณรหัส และสัญญาณข้อมูล .....	27
4.3 ฟังก์ชันเงื่อนไขความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณ 2 สัญญาณ .....	35
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่าง สัญญาณกับ สัญญาณกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25.....	39
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่าง สัญญาณกับ สัญญาณกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 50.....	40



## สารบัญ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 500.....	50
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 750.....	51
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีค่า Duty factor เท่ากับ .....	52
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.04.....	53
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.00032.....	54
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยมีตัวแปรเสริม $N=127$ , $K=25$ โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ $[1,0.2,0.004,0.00032]$ ตามลำดับ.....	55
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยมีตัวแปรเสริม $N=127$ , $p=25$ โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ $[1,25,50,100]$ ตามลำดับ.....	56

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันการสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุดังกล่าวรูปแบบการสื่อสารได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการใช้งาน แต่ในการสื่อสารมักจะมีข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ทรัพยากรทางด้านความถี่ สัญญาณรบกวนอันเกิดจากสาเหตุต่างๆ เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการเข้าถึงของการสื่อสารในรูปแบบการเข้าถึงได้หลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access :CDMA) ซึ่งรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ คือ การจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence) ข้อดีของการสื่อสารในรูปแบบการเข้าถึงได้หลายทางแบบแบ่งรหัสนี้มีหลายอย่าง เช่น ระดับกำลังสัญญาณขาออกมีค่าค่อนข้างต่ำ ความปลอดภัยของข้อมูลสูง สามารถป้องกันและแยกสัญญาณรบกวนออกไปได้ เป็นต้น ส่วนข้อเสียของการสื่อสารในรูปแบบนี้คือ โครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์จะมีความซับซ้อน และจะต้องเสียเวลาในการประมวลผลเนื่องจากจะต้องมีการตรวจสอบ อย่างไรก็ตามการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายยังคงได้รับผลกระทบในเรื่องของสัญญาณรบกวน การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาความผิดพลาดที่เกิดจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเข้ารหัสบล็อก โดยใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบเชิงเลขทางเฟสฐานสองแบบร่วมนัย (Binary phase shift keying : BPSK) และใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ Rayleigh ผลที่ได้วิเคราะห์อยู่ในรูปแบบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และความน่าจะเป็นของบิตที่ผิดพลาด ในการเข้ารหัสได้เลือกใช้การเข้ารหัสแบบลิเนียร์บล็อก

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสที่ทำการเข้ารหัสแบบบล็อก เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัส โดยใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ Rayleigh และด้านรับใช้แบบจำลองเครื่องรับแบบ Correlator

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาวิเคราะห์

1.2.1 ศึกษาการทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสลำดับตรง และอธิบายการทำงานของระบบทั้งทางด้านภาคส่ง ช่องสัญญาณ และทางภาครับ

1.2.2 ศึกษาสมรรถนะของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสลำดับตรง ที่ทำการเข้ารหัสบล็อก (Block code) เปรียบเทียบกับระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสลำดับตรงที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัส ผลของการเปรียบเทียบนั้นจะอธิบายอยู่ในสองรูปแบบ คือ ในรูปของอัตราความผิด

ผลของบิตข้อมูลและอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งาน

### 1.3 แนวความคิด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสลำดับโดยตรง โดยรูปแบบข้อมูลใช้ข้อมูลเลขฐานสอง ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานของการส่งข้อมูล หลังจากข้อมูลผ่านกระบวนการเข้ารหัสบล็อก (block code) การคูณกับลำดับรหัส สัญญาณที่ได้จะถูกทำการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสแล้วส่งผ่านช่องสัญญาณไปทางด้านรับ เนื่องจากช่องสัญญาณมีการรบกวนจากสัญญาณ Pulse Noise Jamming ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เครื่องรับแบบ correlator จากนั้นทำการพิจารณาความน่าจะเป็นของความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่รับได้ ของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณ Pulse Noise Jamming เปรียบเทียบกับระบบที่ทำการเข้ารหัสแบบบล็อก

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งรหัสลำดับโดยตรง พร้อมทั้งอธิบายส่วนประกอบต่างๆของระบบ

1.4.2 ใช้แบบจำลองของช่องสัญญาณที่มีความเหมาะสม

1.4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ไม่ได้มีการเข้ารหัส กับระบบที่มีการแก้ไขด้วยการเข้ารหัสว่าทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นมากน้อยเพียงใด

1.4.4 สรุปผลการศึกษาสมรรถนะทางด้านอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลของระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบการเข้ารหัสลำดับโดยตรงที่ได้ทำการเข้ารหัสแบบบล็อกและที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัส ในช่องสัญญาณแบบ Rayleigh พร้อมทั้งอธิบายตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

## บทที่ 2

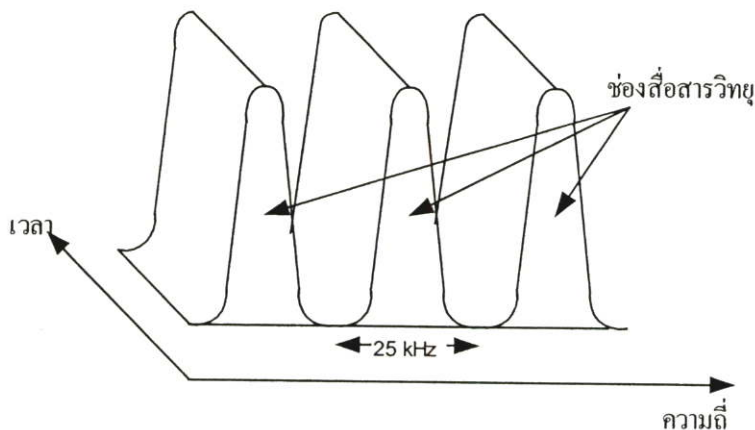
# การสื่อสารระบบดิจิทัล

### 2.1 ระบบการเข้าช่องสัญญาณ (Multiple access system)

ระบบการสื่อสารสามารถแบ่งออกได้เป็นระบบอนาล็อกและระบบดิจิทัล โดยปัญหาของการสื่อสารในระบบอนาล็อกคือ ความจุของช่องสัญญาณไม่เพียงพอ จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารดิจิทัล โดยสามารถจะแบ่งวิธีการเข้าถึงระบบเครือข่ายช่องสัญญาณได้เป็น

#### 2.1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency division multiple access: FDMA)

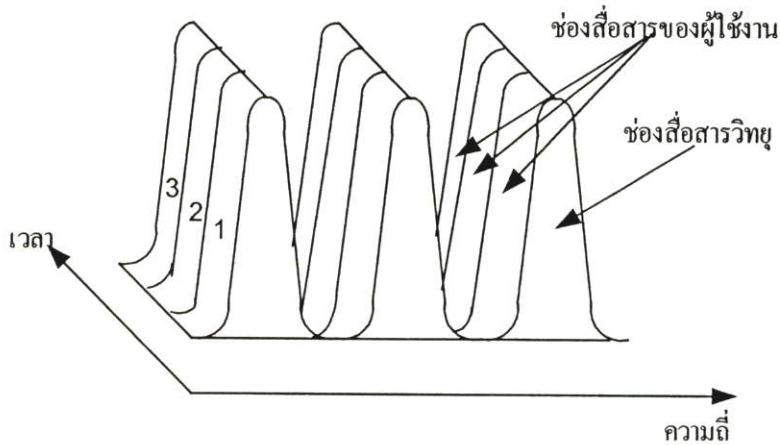
ระบบ FDMA เป็นระบบการเข้าถึงข้อมูลที่ใช้ในระบบอนาล็อกแบบแบ่งความถี่และใช้กันอย่างกว้างขวาง เป็นเทคนิคการเข้าถึงข้อมูลของระบบอนาล็อก โดยจะกำหนดให้ผู้ให้บริการรายหนึ่งครอบครองช่องสัญญาณไปตลอดเวลาจนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งาน



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิค FDMA

#### 2.1.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time division multiple access: TDMA)

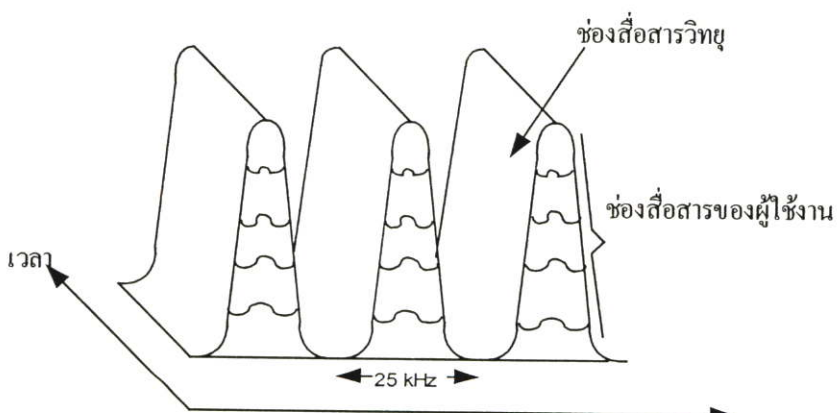
ระบบ TDMA เป็นระบบที่พัฒนามาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้ระบบ FDMA ในระบบนี้สัญญาณดิจิทัลที่เกิดจากการมัลติเพล็กซ์ โดยการแบ่งทางเวลาจะมอดูเลตตัวคลื่นพาห้คลื่นเดียวส่งและรับ เทคนิควิธีนี้สัญญาณหนึ่งช่องสื่อสารจะมีการแบ่งช่วงเวลาในการใช้งานสลับกันไป โดยผู้ให้บริการแต่ละรายจะสามารถรับหรือส่งข้อความได้เฉพาะช่วงเวลาของตนได้รับสิทธิเท่านั้น ช่วงเวลาอื่นๆ จะถูกใช้งานโดยผู้ให้บริการรายอื่น จากรูป 2.2 ช่องสัญญาณถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ทำให้สามารถรองรับผู้ให้บริการได้ถึง 3 รายต่อหนึ่งช่องความถี่ การใช้งานของผู้ให้บริการแต่ละรายจะเป็นไปตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งถูกเรียกว่า “ช่วงเวลา” (time slot)



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิค TDMA

### 2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งรหัส (Code division multiple access: CDMA)

ระบบ CDMA เป็นเทคนิคที่ยอมให้เข้าถึงได้โดยการเข้ารหัสแบบสุ่ม วิธีการนี้ช่องสัญญาณจะถูกแบ่งออกจากกันโดยการกำหนดรหัสดิจิทัล ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ทั้งย่านความถี่โดยไม่มีการใช้เทคนิค TDMA แต่อย่างใด CDMA มีอยู่ด้วยกันหลายแบบสำหรับรูปแบบที่นำมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีชื่อเรียกว่าเทคนิค CDMA แบบการจัดลำดับโดยตรง (Direct sequence) หรือ DS-SS-CDMA ซึ่งแบนด์วิดท์ของช่องสื่อสารแต่ละช่องมีขนาด 1.25 MHz โดยรูปที่ 2.3 แสดงถึงรูปแบบการบริหารความถี่สำหรับระบบ CDMA โดยช่องสัญญาณจะมีการแบ่งออกเป็นชั้นๆ โดยแต่ละชั้นจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการแทนถึงรหัสที่แตกต่างกัน และกำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละรายภายในช่องสื่อสารนั้นๆ



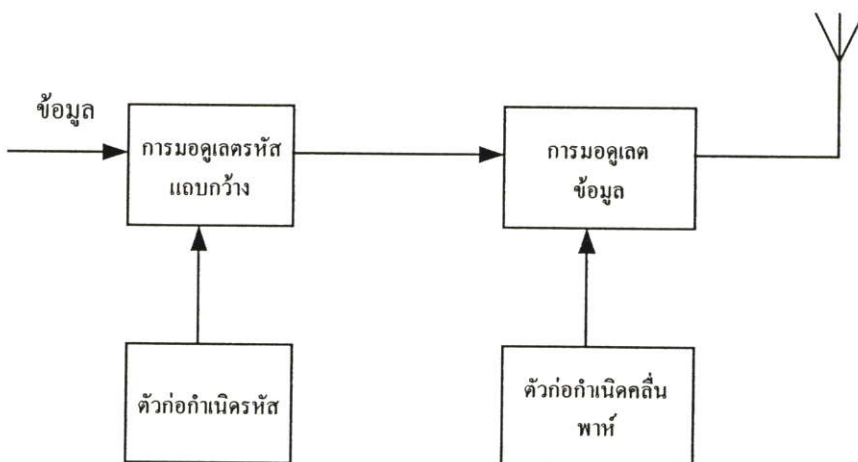
รูปที่ 2.3 แสดงการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยเทคนิคแบบ CDMA ความถี่

## 2.2 พื้นฐานการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ

เทคโนโลยี CDMA เป็นการใช้นโยบายการกระจายสเปกตรัม (Spread spectrum) กล่าวคือ CDMA ใช้วิธีการกระจายข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการสื่อสารไปบนแถบความถี่ซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลที่ต้องการจะส่งมาก เทคนิคการกระจายสเปกตรัมถูกใช้ในกิจการทหารมานานเนื่องจากข้อดีด้านการใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ทนต่อการรบกวนได้ดี การที่สัญญาณซึ่งถูกส่งแบบกระจายสเปกตรัมถูกตรวจจับได้ลำบากเพราะว่าระดับสัญญาณที่ถูกส่งออกอากาศมีขนาดไม่ต่างจากสัญญาณรบกวนภายในอากาศเท่าใดนัก จากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดความปลอดภัยของสัญญาณข้อมูลตัวนั้น เมื่อนำเทคนิค CDMA มาใช้ในกิจการของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่จึงไม่จำเป็นจะต้องมีการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อรักษาความปลอดภัยของข้อมูลแต่อย่างใด ซึ่งสามารถป้องกันการสูญหายของข้อมูลสามารถแบ่งได้ดังนี้

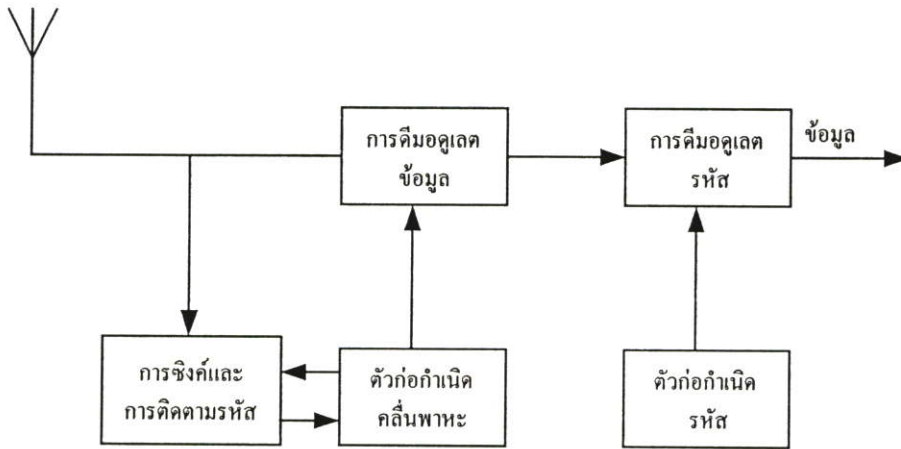
### 2.2.1 การจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS)

ในวิธีการจัดลำดับโดยตรง สัญญาณข้อมูลจะถูกมอดูเลตโดยตรงกับสัญญาณรหัสดิจิทัล โดยสัญญาณข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล จากรูป 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเทคนิคการจัดลำดับโดยตรง โดยสัญญาณข้อมูลรหัสฐานสองจะมอดูเลตกับขบวนรหัส (Code Sequence) โดยขบวนรหัสนี้จะประกอบไปด้วยบิต +1 หรือ -1 ซึ่งจะเรียกว่า ชิป (chips) โดยอัตราชิปของขบวนรหัสจะต้องมากกว่าสัญญาณข้อมูล สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห์ ซึ่งที่เป็นที่นิยมคือ การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสด้วยรูปแบบ BPSK หรือ QPSK



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบการจัดลำดับโดยตรง

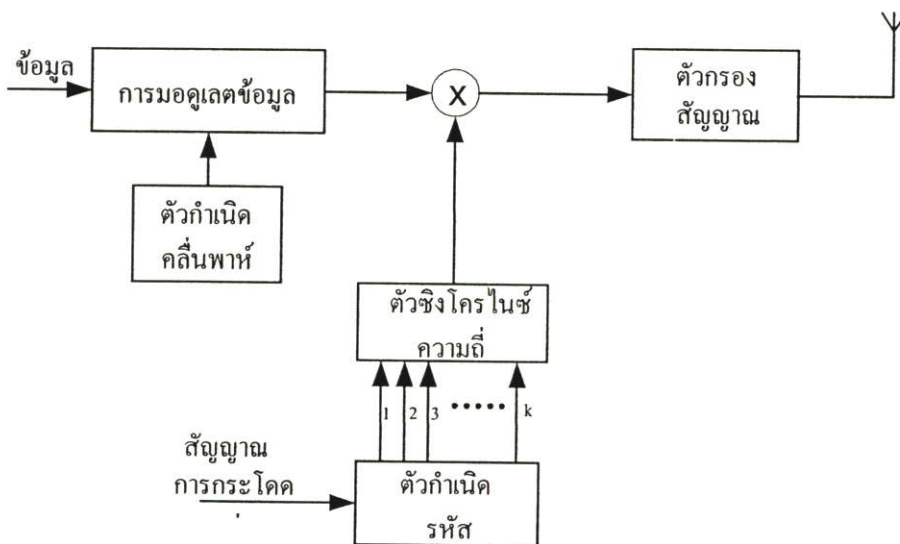
สัญญาณทางด้านรับจะมีตัวที่ทำกรซิงโครไนซ์ระหว่างตัวก่อกำเนิรรหัสจากทางด้านส่งกับทางด้านรับ ซึ่งการซิงโครไนซ์นี้จะเริ่มตั้งแต่ตอนด้านรับเริ่มรับข้อมูลและจะรักษาการซิงโครไนซ์ไปจนกระทั่งด้านรับรับสัญญาณข้อมูลจนเสร็จ ซึ่งสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมด้านรับได้ดังรูปที่ 2.5



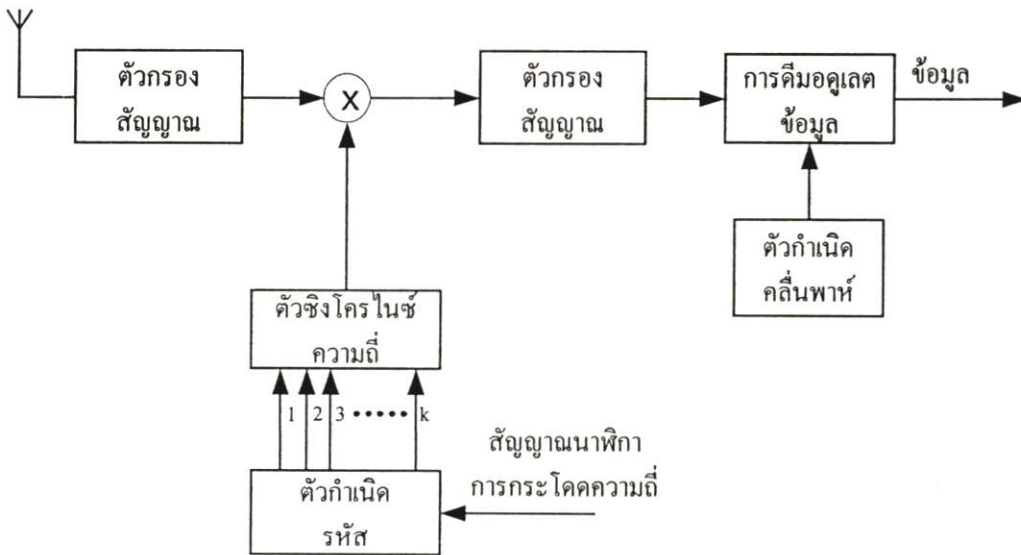
รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพบล็อกด้านรับของระบบการจัดลำดับโดยตรง

### 2.2.2 การกระโดดความถี่ (Frequency Hopping: FH)

วิธีการกระโดดความถี่นี้ ความถี่ของสัญญาณพาหะที่ใช้ในการมอดูเลตกับข้อมูลจะมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนไปตามคาบเวลา การกระจายสเปกตรัมสัญญาณด้วยวิธีนี้ ขบวนการรหัสจะไม่ถูกนำไปมอดูเลตโดยตรงกับข้อมูล แต่จะนำไปเป็นตัวควบคุมลำดับสัญญาณคลื่นพาหะ ดังนั้นสัญญาณที่ส่งออกไปจึงเหมือนกับการนำข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาหะ ซึ่งความถี่จะเปลี่ยนไปเป็นค่าอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับขบวนการรหัส



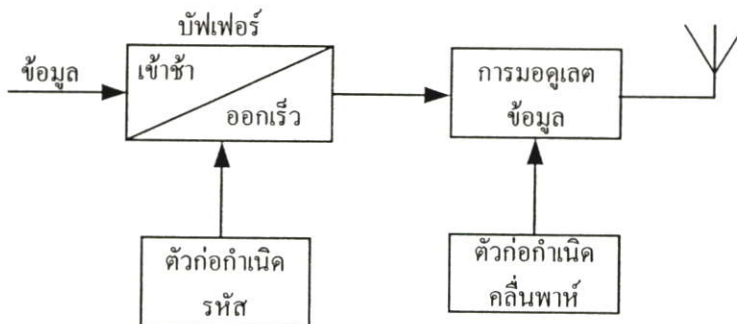
รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบการกระโดดความถี่



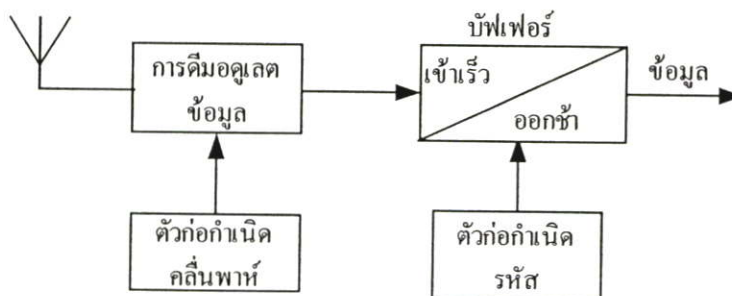
รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพบล็อกด้านรับของระบบการกระโดดความถี่

### 2.2.3 การกระโดดของเวลา (Time Hopping : TH)

วิธีการกระโดดของเวลานี้ สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งตามช่วงเวลาซึ่งจะถูกตัดสินใจโดยรหัสที่ถูกกำหนดไว้ โดยในแกนเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม แต่ละเฟรมจะถูกแบ่งเป็น  $M$  ช่องเวลา ในแต่ละเฟรม ผู้ใช้จะส่งเพียง 1 ช่องเวลา โดยในการส่งช่องเวลา  $M$  ช่องจะถูกกำหนดโดยขบวนการรหัส



ก) เครื่องส่ง

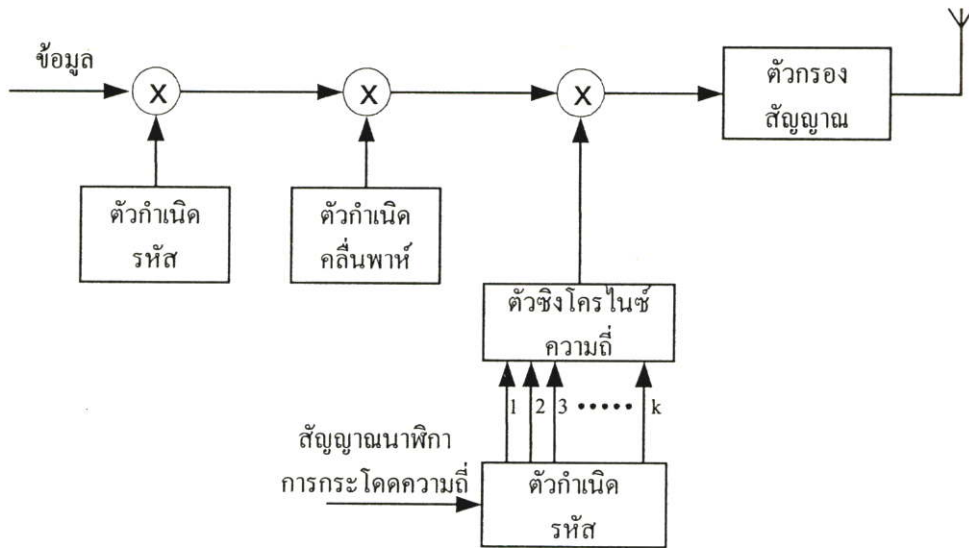


ข) เครื่องรับ

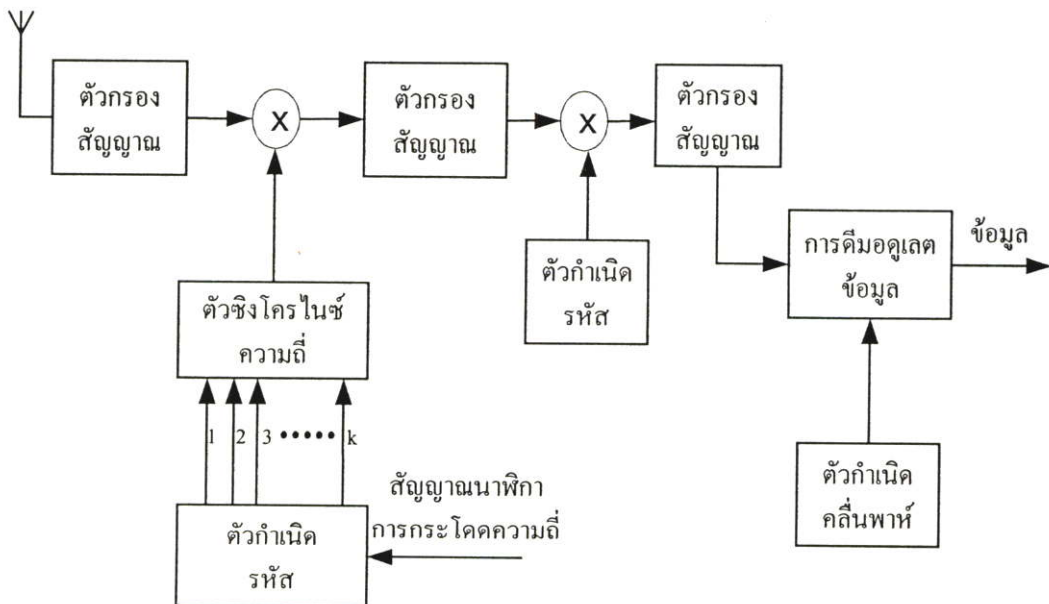
รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งและด้านรับของระบบการกระโดดของเวลา

### 2.2.4 แบบผสม (Hybrid)

เป็นการรวมกันของเทคนิคต่าง ๆ มากกว่าสองแบบขึ้นไป ซึ่งจะมีทั้งหมดอยู่ 4 แบบ โดยในที่นี้ขอยกตัวอย่าง การรวมกันของการจัดลำดับโดยตรงกับการกระโดดของความถี่ ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นการดึงเอาข้อดีของแต่ละแบบมาใช้งาน แต่ข้อเสียคือ ด้านส่งและด้านรับจะมีความซับซ้อนมาก



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งของระบบแบบผสม



รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพบล็อกด้านรับของระบบแบบผสม

### 2.3 สัญญาณกวนชนิด Pulse-Noise Jamming

ผู้ที่ส่งสัญญาณกวนชนิด Pulse-Noise Jamming จะส่งสัญญาณพัลส์ของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ขาว (white gaussian noise) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยพลังงานทั้งหมดเท่ากับ  $J$  ที่จุดเริ่มของภาครับ (Receiver) ซึ่งผู้ที่ส่งสัญญาณกวนจะเลือกที่จุดกึ่งกลางของความถี่โดยค่าความกว้างแถบของสัญญาณกวนจะตรงกับจุดกึ่งกลางความถี่ของภาครับ

ค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิต (BEP) ของ Coherent BPSK จะมีค่าเท่ากับ

$$p_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (2.1)$$

เมื่อผู้ส่งสัญญาณกวนส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นสเปกตรัมของพลังงาน (psd) จะเพิ่มขึ้นจาก  $N_o$  เป็น  $N_o + N_j/\rho$  ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิต (BEP) มีค่าเท่ากับ

$$\bar{p}_e = (1 - \rho)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) + \rho Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o + \frac{N_j}{\rho}}}\right) \quad (2.2)$$

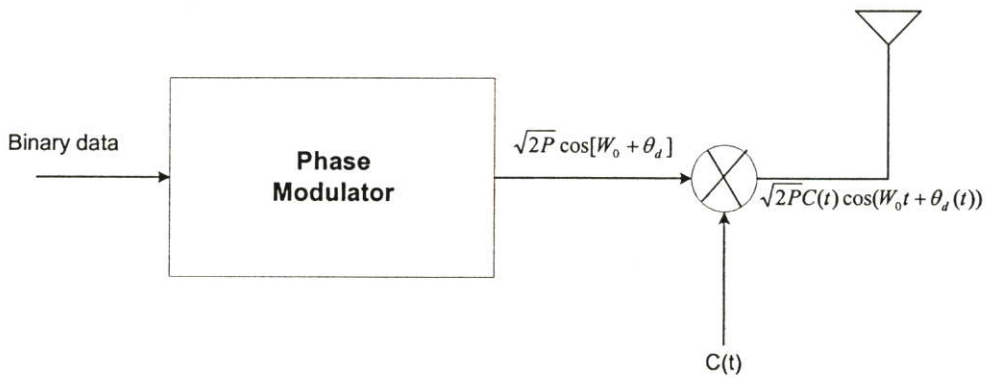
$\rho$  = Duty Factor

การลดลงของสมรรถนะของระบบอย่างรุนแรงที่มีสาเหตุมาจาก Pulse Noise Jamming สามารถลดลงได้มากโดยใช้สเปกตรัมแผ่ (Spread-Spectrum) และการเข้ารหัส (Forward error correction coding) ด้วย interleaving ที่เหมาะสม ผลของสเปกตรัมแผ่สามารถเปลี่ยนจาก  $E_b/N_j$  เป็น  $E_b K/N_j$  เมื่อ  $K$  คือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ  $W/R$  โดย  $R$  เป็นค่าอัตราข้อมูลของระบบสเปกตรัมแผ่

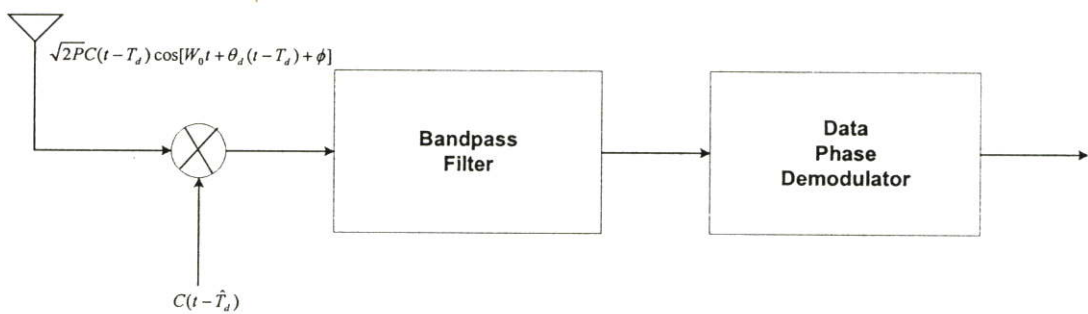
ระบบ Direct-Sequence Spread Spectrum

การกระจายของความกว้างแถบโดยการรวมกันโดยตรง (Direct Modulation) ของ (data-modulation carrier) กับสัญญาณการแผ่แถบกว้างซึ่งเราจะเรียกว่า DS-SS ซึ่งการแผ่แบบ BPSK สามารถทำได้โดยการคูณ  $S_d(t)$  กับ  $C(t)$  ซึ่งจะแทนรูปคลื่นของการแผ่ได้ดังสมการ

$$S_r(t) = \sqrt{2P}c(t)\cos(\omega_c t + \theta_d(t)) \quad (2.3)$$



BPSK direct-sequence SS transmitter



BPSK direct-sequence SS receiver

รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพบล็อกด้านส่งและด้านรับของระบบการจัดลำดับโดยตรง

ส่วนประกอบของสัญญาณทางด้านออกคือ

$$\sqrt{2P}c(t - T_d)c(t - \hat{T}_d)\cos[W_0 t + \theta_d(t - T_d) + \phi] \quad (2.4)$$

อย่างที่ได้อธิบายไว้แต่แรกแล้วว่าข้อได้เปรียบข้อหนึ่งของการใช้สเปกตรัมแผ่คือสามารถทำให้ภาครับไม่รับส่วนของสัญญาณรบกวนและสัญญาณอื่น การไม่ยอมรับสัญญาณรบกวนทำได้โดยส่วนประกอบการกระจายของภาครับซึ่งจะกระจายสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนที่เวลาเดียวกันกับสัญญาณที่ต้องการ พลังงานของสัญญาณรบกวนที่แผ่ออกไปบนความกว้างแถบของข้อมูลส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกโดยตัวกรองข้อมูล

ผู้ส่งสัญญาณแบบ pulse-noise จะมีหลักการที่สำคัญเหมือนกับ partial band เพื่อที่จะลดสมรรถนะของระบบ ข้อเสียเปรียบข้อหนึ่งของ pulse-noise jammer คือจะต้องใช้กำลังงานที่สูงมากซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่าต่ำสุดของ  $\rho$  และเป็นการจำกัดประสิทธิภาพของการรบกวน สัญญาณความถี่แต่ละช่วงของสัญญาณ pulse จะเข้าเพียงพอที่จะให้ข้อมูลจำนวนมากถูกส่งไปได้ในระหว่างแต่ละช่วงของสัญญาณรบกวน

ให้  $P_b(E_b/N_n)$  เป็นความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิตของข้อมูล

$N_n$  = สัญญาณรบกวนแบบค่านเดียวที่ด้านรับของคีมอดูเลชัน

$N_{n1}, N_{n2}$  = เป็น  $N_n$  เมื่อสัญญาณรบกวน on และ off โดย  $N_n$  จะไม่เป็นศูนย์เพราะว่าเราจะละเลย thermal noise ไม่ได้

เพราะฉะนั้นค่าเฉลี่ยของ ค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิต(BEP)สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\bar{P}_b = (1 - \rho)P_b\left(\frac{E_b}{N_{n1}}\right) + \rho P_b\left(\frac{E_b}{N_{n2}}\right) \quad (2.5)$$

โดยจะเลือกค่า  $\rho$  ที่ทำให้  $\bar{P}_b$  มีค่าน้อยที่สุดเพื่อให้ค่ากำลังงานเพิ่มขึ้น

สำหรับระบบแบบจัดลำดับโดยตรงค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิต(BEP)แสดงได้ดังนี้

$$P_b\left(\frac{E_b}{N_n}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_n}}\right) \quad (2.6)$$

$N_n$  คำนวณโดยวิธีเดียวกับ barrage noise

$N_{n1} = KN_0$  และ  $N_{n2} = K(N_0 + N_j)$

$K$  เป็น function ของการกระจายแบบมอดูเลชัน

แทนค่าจะได้

$$\bar{P}_b = (1 - \rho)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{KN_0}}\right) + \rho Q\left[\sqrt{\frac{2E_b}{K(N_0 + N_j / \rho)}}\right] \quad (2.7)$$

$$\bar{P}_b \cong \rho Q\left(\sqrt{\frac{2\rho E_b}{KN_j}}\right) = \rho Q\left[\sqrt{\left(\frac{2\rho}{K}\right)\left(\frac{P}{J}\right)\left(\frac{W}{R}\right)}\right] \quad (2.8)$$

ค่าต่ำสุดของ  $\rho$  สามารถหาได้โดยการหาค่าอนุพันธ์ของสมการที่(2.8)แล้วให้เท่ากับศูนย์แต่ค่าอนุพันธ์ของ Q-function คำนวณยากจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงใช้วิธีดูกราฟแสดงสมรรถนะของระบบสเปคตรัมแผ่แบบจัดลำดับโดยตรงที่ถูกรบกวนโดย Pulse-noise jamming กราฟจะแสดงค่าต่ำสุดของ  $P_b$  ซึ่งจะแสดงค่า inverse linear ความสัมพันธ์ระหว่าง  $P_b(\max)$  กับ  $(P/J)(W/R)$  และค่าเฉลี่ยของค่าต่ำสุดของ  $\rho$  ซึ่งจะใช้ค่าขอบเขตบนสุดสำหรับ Q-function ซึ่งได้แก่

$$\bar{P}_b \leq \frac{\rho}{\sqrt{4\pi\rho y}} \exp(-\rho y) \quad (2.9)$$

$$y = \frac{E_b}{N_j} = (P/J)(W/R) \quad (2.10)$$

ให้หาค่าอนุพันธ์ของสมการ(2.10)แล้วให้เท่ากับศูนย์ จะได้

$$\rho = 1/2y \quad \text{และจะได้}$$

$$\rho = 1.0 \quad \text{เมื่อ } y < 0.5$$

$$\begin{aligned} (\bar{P}_b)_{MAX} &= Q\left(\sqrt{\frac{1}{K}}\right) \frac{1}{2(P/J)(W/R)}; 0.5 < (P/J)(W/R) \\ &= Q\left[\sqrt{\left(\frac{2}{K}\right)\left(\frac{P}{J}\right)\left(\frac{W}{R}\right)}\right]; 0.5 > (P/J)(W/R) \end{aligned} \quad (2.11)$$

ค่า  $\rho$  ที่มีประสิทธิภาพคือ  $\rho = 0.709/y$  สำหรับ  $y > 0.709$  และ  $\rho = 1.0$  ถ้าเป็นอย่างอื่น จากค่านี้จะได้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของ BEP คือ

$$\begin{aligned} (\bar{P}_b)_{MAX} &= \frac{0.083}{(P/J)(W/R)}; 0.709 \leq (P/J)(W/R) \\ &= Q\left[\sqrt{\frac{2}{K}\left(\frac{P}{J}\right)\left(\frac{W}{R}\right)}\right]; 0.709 \geq (P/J)(W/R) \end{aligned} \quad (2.12)$$

pulse-noise jamming ยังมีผลกับระบบที่เป็นแบบ non spread การวิเคราะห์ระบบที่เป็น non spread จะไม่มีค่า K ในสมการ(2.7) และ(2.8) และผลลัพธ์สุดท้ายคือสมการ (2.11) โดยให้ K-1 และความกว้างแถบทั้งหมดเป็น  $W_d$  ค่า Processing Gain คำนวณจาก  $E_b/N_j$  สำหรับทั้งระบบ Spread และ Non spread

ค่าเฉลี่ยกำลังงานของสัญญาณกวนที่ปราศจาก Spectrum spreading คือ

$$J_1 = \rho N_j' W_d = N_j W_d \quad (2.13)$$

ค่าเฉลี่ยกำลังงานของสัญญาณกวนที่มี Spectrum spreading คือ

$$J_2 = \rho N_j' W = N_j W \quad (2.14)$$

เพราะฉะนั้นค่า Processing Gain จะมีค่าเท่ากับ  $J_2 / J_1 = W / W_d$

### 2.3.1 แบบจำลองของ Rayleigh (Rayleigh Model)

เป็นระบบที่อธิบายการแจกแจงของความหนาแน่นกำลังของสัญญาณในชนบท ซึ่งมีบ้านเรือนที่มีขนาดไม่สูงมากนักหรือภูเขา การใช้งานในชนบทก็พบกับปัญหาซึ่งมีผลกระทบกับระดับความแรงสัญญาณซึ่งเรียกว่าการจางหายในหลายเส้นทางเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณเดินทางมากกว่าหนึ่งเส้นทางจากด้านส่งไปยังด้านรับ สัญญาณจะไม่ได้รับโดยตรงจากด้านส่งแต่จะได้รับจากทิศทางอื่นๆ ซึ่งตกกระทบมาเช่น จากบ้านเรือนในชนบท จึงเป็นการยากมากที่จะมีเส้นแนวยาว (line of sight) ระหว่างตัวส่งและตัวรับ สัญญาณอาจจะเดินทางไปถึงตัวรับโดยผ่านการสะท้อนกับบ้านเรือนหลายครั้ง ซึ่งหมายความว่าสัญญาณที่ได้รับจะเป็นผลรวมของสัญญาณเดียวกันซึ่งมีความต่างเฟสกันเล็กน้อย สามารถแสดงด้วยค่าความหนาแน่นของฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังสมการ

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

# บทที่ 3

## เทคนิคการเข้ารหัส

### 3.1 พื้นฐานการเข้ารหัส

สิ่งที่สำคัญสำหรับระบบการสื่อสารก็คือความสามารถในการสื่อสาร และตามปกติถ้าไม่มีสัญญาณรบกวนเราจะส่งสัญญาณอย่างไรก็จะได้รับสัญญาณอย่างนั้น แม้ว่าจะถูกลดกำลังด้วยระยะทางก็ตาม แต่ถ้ามีสัญญาณรบกวนแล้วสัญญาณนั้นจะเพี้ยนไปหรือรับไม่ได้ ถ้าสัญญาณรบกวนมีกำลังมากกว่าสัญญาณ ฉะนั้นต้องออกแบบระบบสื่อสารที่มีการทำงานดีหรือมีอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (signal to noise power ratio : SNR) สูง สำหรับระบบสื่อสารอนาล็อก ถ้าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามากขึ้นก็แสดงว่าเครื่องมือสื่อสารสามารถขจัดสัญญาณรบกวนได้ดีสำหรับพารามิเตอร์ในการวัดความสามารถในการทำงานของระบบสื่อสารดิจิทัลก็คือ อัตราความผิดพลาด (error rate) ซึ่งอัตราการส่งสัญลักษณ์ข้อมูล (symbol rate) จะเท่ากับอัตราการส่งบิต (bit rate) เมื่อเป็นการส่งข้อมูลแบบรหัสฐานสอง (binary) ดังนั้นในการออกแบบต้องให้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ SNR มีค่าสูง และมีค่าอัตราความผิดพลาดน้อย

การปรับปรุงสมรรถนะของระบบการสื่อสารสามารถทำได้หลายวิธี

- 1) การใช้เทคนิคไคเวอซีตี เช่น การรวมอัตราส่วนสูงสุด (Maximal Ratio Combining) ไคเวอซีตีทางความถี่ (Frequency Diversity) ไคเวอซีตีทางเวลา (Time Diversity)

2) การเข้ารหัส (coding) เช่น รหัสลิเนียร์บล็อก รหัสประสาน เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเข้ารหัสสามารถแบ่งออกตามวัตถุประสงค์ได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 2.1 การเข้ารหัสแหล่งกำเนิด (source coding)
- 2.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (channel coding)

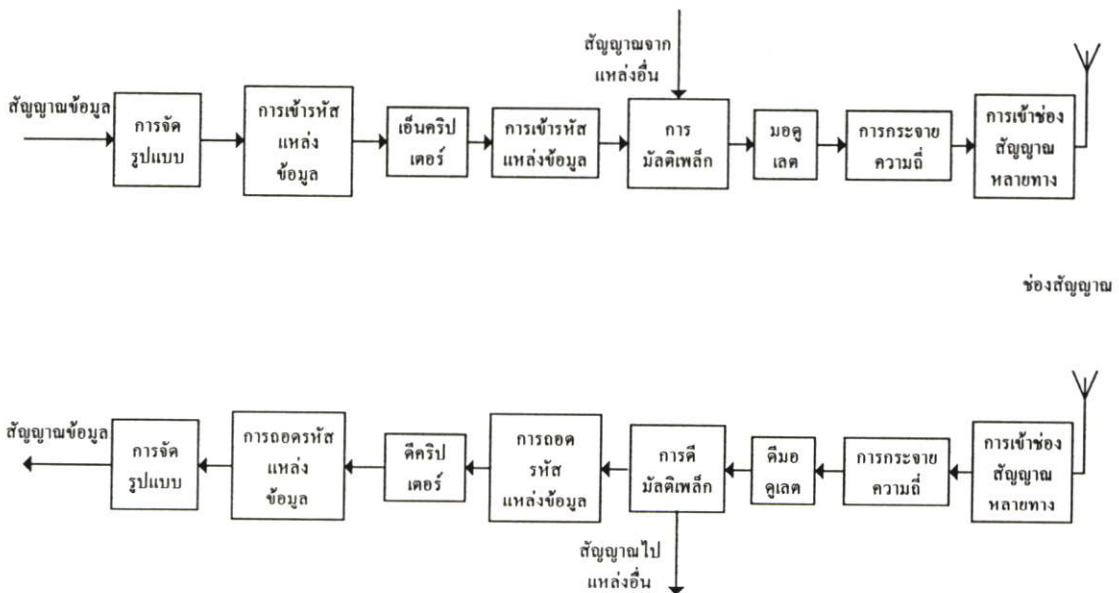
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพบล็อกของระบบการสื่อสารดิจิทัล จากรูปจะเห็นว่าข่าวสารสามารถกำเนิดในรูปของอนาล็อกหรือดิจิทัลก็ได้ถ้าอยู่ในรูปอนาล็อกก็จะผ่านการจัดรูปแบบ (formatting) โดยการชักตัวอย่าง การควอนไทซ์และแปลงเป็นสัญญาณพีซีเอ็ม สัญญาณข่าวสารที่เป็นดิจิทัลอาจจะผ่านหรือไม่ผ่านเครื่องเอ็นคริปเตอร์ (Encryptor) ก็ได้แล้วแต่ความสำคัญและลักษณะงาน ข้อมูล เครื่องเอ็นคริปเตอร์นี้จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปที่มีความปลอดภัยจากการปลอมแปลงหรือขโมยข้อมูลไปใช้งาน ได้ดีขึ้น จากนั้นข้อมูลจะผ่านเครื่องเข้ารหัสช่องสื่อสาร โดยเครื่องเข้ารหัสช่องสื่อสารนี้จะแปลงข้อมูลให้ส่งผ่านช่องสื่อสารโดยมีความผิดพลาดน้อย และเป็นการ

ช่วยเพิ่มอัตราข้อมูล ขั้นตอนการเข้ารหัสช่องสื่อสารนี้จะอยู่ระหว่างการเข้ารหัสแหล่งกำเนิด และการมอดูเลต ซึ่งการเข้ารหัสช่องสื่อสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) การเข้ารหัสรูปคลื่น (waveform coding) เป็นการสร้างรูปคลื่นใหม่ขึ้นมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีกว่ารูปคลื่นเดิม เช่น การส่งสัญญาณตั้งฉากกัน (Orthogonal) สัญญาณตรงข้ามกัน (Antipodal) สัญญาณตั้งฉากกันสองขั้ว (Biorthogonal)

2) การเข้ารหัสแบบการจัดลำดับโครงสร้างของข้อมูล (Structured Sequences) เป็นการเพิ่มบิตเข้าไปรวมกับบิตของข้อมูล เพื่อช่วยในการตรวจสอบความผิดพลาดของบิตข้อมูลอื่นเนื่องจากสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณ ตัวอย่างของการเข้ารหัสแบบนี้ เช่น การเข้ารหัสบล็อก (Linear block code) และการเข้ารหัสประสาน (Convolutional)

ข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสช่องสื่อสารแล้วจะถูกมัลติเพล็กซ์ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังการมอดูเลตตามระบบดิจิทัลมอดูเลตแล้วจะผ่านช่องสื่อสาร ซึ่งจะถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ช่องสื่อสารจะเป็นตัวกลางใดๆก็ได้แล้วแต่ความต้องการของงานเช่น อากาศ สายไฟ ใยแก้ว และเส้นใยแก้ว เมื่อข้อมูลมาถึงปลายทางก็จะถูกดีมอดูเลตและดีมัลติเพล็กซ์ จากนั้นจะถูกถอดรหัสช่องสื่อสาร (channel decoding) สัญญาณที่ได้ผ่านเครื่องดีคริปเตอร์ (decryptor) ถ้าใช้เครื่องเอนคริปเตอร์ที่ต้นทาง แล้วจะผ่านการถอดรหัสแหล่งกำเนิดเมื่อได้สัญญาณดิจิทัล แล้วจะถูกแปลงกลับเป็นอนาล็อกหรือคงอยู่ในรูปดิจิทัลแล้วแต่ว่าสัญญาณเดิมที่ส่งเป็นอนาล็อกหรือดิจิทัล



รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกระบบสื่อสารแบบดิจิทัล

จุดประสงค์ของการเข้ารหัส เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นรหัสที่สร้างจึงต้องมีการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับเข้ามาว่ามีความผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่มีความผิดพลาดก็นำข้อมูลที่ได้รับไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป หากเกิดความผิดพลาดขึ้นก็อาจให้ด้านส่งทำการส่งข้อมูลเดิมมาใหม่ ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เครื่องรับนั้นมีวิธีอย่างง่ายที่สามารถจะตรวจสอบได้ว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเกิดความผิดพลาดหรือไม่ แต่ไม่สามารถจะบอกได้ว่าผิดพลาดที่ตำแหน่งใด ซึ่งจะเรียกรหัสตรวจสอบความผิดพลาดนี้ว่า รหัสตรวจคู่ (parity check code) หลักการของรหัสตรวจคู่ คือ จะทำการเติมบิตต่อท้ายข่าวสาร (information bit) ที่ทางด้านส่งเพื่อให้ผลบวกเลขฐานสองของบิตทั้งหมด (รวมทั้งบิตที่เพิ่มด้วย) เป็น 0 หรือ 1 แล้วแต่ว่าเป็นภาวะคู่หรือภาวะคี่ (even /odd parity) บิตที่ทำการเพิ่มเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดนี้เรียกว่า บิตตรวจคู่ (parity check bit) ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถที่จะทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้ง่ายๆ โดยการคำนวณผลบวกเลขฐานสองของจำนวนบิตทั้งหมดที่ได้รับว่าเป็นเลขคู่ 0 หรือ เลขคี่ 1 ตามที่ตกลงกันหรือไม่ ถ้าไม่ก็แสดงว่าเกิดความผิดพลาดของข้อมูล สมมติบิตที่ได้รับเป็น ชนิดภาวะคู่ และบิตที่ผิดพลาดคือบิตที่ 3 เป็น 1 แทนที่จะเป็น 0 ผลบวกเลขฐานสองของบิตทั้งหมดจะได้ 1 ก็จะทำให้ทราบได้ทันทีว่าข้อมูลเกิดความผิดพลาด แต่ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าผิดที่บิตไหน และสังเกตว่ากรณีที่เกิดผิด 2 บิตพร้อมกันก็ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเกิดบิตผิด ฉะนั้นรหัสตรวจคู่จึงควรใช้ในกรณีที่ไม่ค่อยมีบิตผิดไม่เกินกว่า 1 บิต

### 3.2 รหัสลิเนียร์บล็อก (Linear block code)

เป็นรหัสที่ประกอบด้วยเวกเตอร์ที่มีขนาดความยาวจำกัด ซึ่งจะถูกรเรียกว่า คำรหัส (code words) ความยาวของคำรหัสคือ จำนวนตัวประกอบทั้งหมดที่อยู่ในเวกเตอร์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $n$  โดยตัวประกอบแต่ละตัวจะเรียกว่า บิต ซึ่งคำรหัสจะเลือกจากจำนวนตัวเลขทั้งหมด  $q$  หมายถึง ถ้าหากตัวประกอบในเวกเตอร์ประกอบด้วยค่าเพียงสองค่า คือ 1 และ 0 รหัสนี้ถูกเรียกว่า รหัสไบนารี หาก  $q > 2$  รหัสนี้จะถูกเรียกว่า นอนไบนารี

#### 3.2.1 ค่าพารามิเตอร์ของรหัสลิเนียร์บล็อก

ในการเข้ารหัสของข้อมูลซึ่งมีขนาดความยาวเท่ากับ  $k$  บิต หลังจากผ่านการเข้ารหัสจะได้ความยาวของคำรหัสมีค่าเท่ากับ  $n$  บิต ซึ่งขนาด  $n - k$  บิต เป็นบิตที่เพิ่มรวมเข้าไปกับข้อมูล จะถูกเรียกว่าพาริตีบิตหรือบิตตรวจสอบ โดยรหัสที่ได้จะถูกเรียกว่าเป็น รหัส  $(n, k)$  ซึ่งอัตราส่วนของจำนวนบิตของข้อมูลกับความยาวของคำรหัส  $k/n = R_c$  เรียกว่า อัตราการเข้ารหัส (code rate)

ตัวพารามิเตอร์ค่าหนึ่งที่มีความสำคัญของการเข้ารหัส คือ น้ำหนักแฮมมิง (Hamming weight) หมายถึง จำนวนบิตของรหัสซึ่งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เช่น รหัส 101000 จะมีน้ำหนักเท่ากับ 2 หากมีรหัสลิเนียร์บล็อก 2 ค่า คือ

$$C_i = 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0$$

$$C_j = 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0$$

ในการหาค่าความแตกต่างระหว่างคำรหัสทั้งสองนี้จะวัดได้จากจำนวนบิตหรือตำแหน่งของบิตที่มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งจะเรียกค่าที่ได้ว่าระยะแฮมมิง (Hamming distance) เขียนได้เป็น  $d_{ij}$  โดยที่  $i \neq j$  จากตัวอย่างข้างต้นจะพบว่า คำระยะแฮมมิงมีค่าเท่ากับ 4 โดยที่ค่าของระยะแฮมมิงมีค่าระหว่าง  $0 < d_{ij} \leq n$  ค่าที่ต่ำสุดของ  $d_{ij}$  สำหรับคำรหัสใดๆจะเรียกว่า ระยะความแตกต่างต่ำสุด (minimum distance) ของรหัส เขียนได้เป็น  $d_{\min}$

### 3.2.2 ความสามารถในการตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลของรหัส

#### ลิเนียร์บล็อก

รหัสลิเนียร์บล็อกสามารถตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลได้โดยการตรวจสอบกับซินโดรม ( $S = RH^T$ ) ว่าถ้า  $S = 0$  ก็แสดงว่ารหัสที่ได้รับนั้นไม่ผิดพลาดและถ้า  $S \neq 0$  ก็แสดงว่ารหัสที่ได้รับผิดพลาดซึ่งพบว่ารหัสลิเนียร์บล็อก สามารถตรวจสอบและแก้ไขบิตที่ผิดพลาดได้ ในการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลของรหัสลิเนียร์ บล็อกนั้นจะต้องใช้สิ่งเหล่านี้วัดความสามารถดังกล่าว เช่น น้ำหนักแฮมมิง (Hamming weight) ของคำรหัส และคำระยะแฮมมิง (Hamming distance) ระหว่างคำรหัส 2 คำ ซึ่งกล่าวไว้ในตอนต้น ในรูปที่ 3.2 แสดงถึงคำระยะแฮมมิงของรหัสสองรหัส คือ  $U$  และ  $V$  โดยจุดดำที่อยู่บนเส้นหมายถึงการที่ค่าของรหัสถูกรบกวน จากรูป 3.2ก แสดงถึงด้านรับรับสัญญาณที่เวกเตอร์  $r_1$  ซึ่งมีระยะห่างจาก  $U$  เท่ากับ 1 และระยะห่างจาก  $V$  เท่ากับ 4 การแก้ไขความผิดพลาดทำได้โดยอาศัยความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นได้มากที่สุด นั่นคือ ในกรณีนี้จะทำการเลือกสัญญาณ  $U$  เมื่อได้รับ  $r_1$  นั่นคือ  $r_1$  เกิดจากการที่เกิดความผิดพลาดขึ้น 1 บิต จากการส่งสัญญาณ  $U$  ในระหว่างการส่งสัญญาณ แต่ทางด้านรับก็สามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดนี้ได้ เช่นเดียวกันหากเกิดความผิดพลาดขึ้น 2 บิต เนื่องจากการส่งสัญญาณ  $U$  ซึ่งผลทำให้ด้านรับรับสัญญาณ  $r_2$  ซึ่งจะมีระยะห่างจาก  $U$  เท่ากับ 2 และระยะห่างจาก  $V$  เท่ากับ 3 ดังแสดงในรูป 3.2ข การถอดรหัสยังคงเลือกว่าสัญญาณ  $r_2$  ที่ได้รับเกิดจากการส่งสัญญาณ  $U$  นั่นเอง ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้น 3 บิตของการส่งสัญญาณ  $U$  ซึ่งด้านรับรับได้เวกเตอร์  $r_3$  ซึ่งจะมีระยะห่างจาก  $U$  เท่ากับ 3 และห่างจาก  $V$  เท่ากับ 2 ซึ่งแสดงดังรูป 3.2ค ในกรณีนี้ตัวถอดรหัสจะทำเลือกสัญญาณ  $V$  ว่าเป็นสัญญาณที่ส่งมาจากด้านส่ง นั่นคือเกิดความผิดพลาดในการถอดรหัส

จากรูป 3.2 สามารถสรุปได้ว่า การตรวจสอบความผิดพลาดจะสามารถตรวจสอบได้ในกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น 1, 2, 3 และ 4 บิต ซึ่งแสดงเป็นจุดสีดำ ในกรณีที่ความผิดพลาดเกิดขึ้น 5 บิต เป็นผลทำให้ด้านรับจะรับสัญญาณเวกเตอร์  $V$  จากการส่งสัญญาณเวกเตอร์  $U$  ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ด้านรับจะไม่สามารถตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้



### 3.23 หลักการของการเข้ารหัสลิเนียร์บล็อกที่อยู่ในสถานะถูกรบกวน

ในกรณีที่ระบบอยู่ในสถานะถูกรบกวนเวกเตอร์  $Z$  สามารถช่วยในการถอดรหัสโดยช่องสัญญาณจาก[1]แสดงดังสมการ

$$p(y/x_m, z) = \prod_{j=1}^n p(y_j/x_{mj}, z_j) \quad (3.2)$$

โดยใช้ข้อมูลค้ำที่กล่าวมาข้างต้นจะได้คำรหัส (code word)  $X_m$  สำหรับ

$$p(y/x_m, z) \quad (3.3)$$

เป็นค่าสูงสุดและการออกแบบสำหรับการหาค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดที่มี ISI จะใช้ขั้นตอนเดียวกันกับระบบที่ไม่อยู่ในสถานะถูกรบกวน สำหรับคำรหัส  $X_m$  ทุกๆค่า

ช่องสัญญาณเป็นแบบ memolyless ดังนั้นสมการที่ (3.2) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยค่าผลลัพธ์ของตัวถอดรหัสซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้า  $\log$  ของสมการที่(3.2)และ(3.3)ถูกใช้ในรูปแบบการถอดรหัสเมตริก (metric) ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดสามารถใช้สมการที่(3.4) โดยการใส่  $\log$

$$\sum_{j=1}^n \ln\{p(y_j/x_{mj}, z_j)\} \quad (3.4)$$

พิจารณา pulse-noise jamming และช่องสัญญาณแบบฐานสอง(BSC) ให้  $J$  แสดงกลุ่มของช่องสัญญาณที่ใช้บ่งบอกค่า  $j$  สำหรับ  $Z_j = 1$  และค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดเลขฐานสองสำหรับช่องสัญญาณนี้มีค่า  $p_1$  ให้  $p_0$  เป็นค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิตเลขฐานสองเมื่อ  $Z_j = 0$  ใช้ข้อมูลเหล่านี้สามารถเขียน  $p(y/x_m, z)$  ใหม่ได้เป็น

$$\prod_{j \in J} p(y_j/x_{mj}, 1) \prod_{j \notin J} p(y_j/x_{mj}, 0) = p_1^{d_1} (1-p_1)^{n_1-d_1} p_0^{d_0} (1-p_0)^{n-n_1-d_0} \quad (3.5)$$

โดย  $d_1$  และ  $d_0$  เป็นค่า (Hamming Distance) ระหว่าง  $y$  และ  $x_m$  เหนือช่องสัญญาณ โดยใช้  $J$  และ  $\bar{J}$  ตามลำดับ และ  $n_1$  แสดงจำนวนของส่วนประกอบใน  $J$  ทำการหาค่า  $\log$  ทางด้านขวาของสมการที่ (3.5)

$$\ln\{p(y/x_m, z)\} = d_1 \ln \frac{p_1}{1-p_1} + n_1 \ln(1-p_1) + d_0 \ln \frac{p_0}{1-p_0} + (n-n_1) \ln(1-p_0) \quad (3.6)$$

ตัวถอดรหัสจะประมาณค่าคำรหัสที่ส่งออกไปในสมการ(3.6)ให้เป็นค่าสูงสุด ในส่วนที่2และ4ของสมการทางด้านขวาจะไม่ใช้ส่วนของ  $x_m$  ดังนั้นสามารถตัดส่วนนี้ออกได้ตัวถอดรหัสจะประมาณค่า  $x$  เป็นค่า  $x_m$  ซึ่งใกล้เคียงกับ vector  $y$  ที่รับมาในรูปแบบของ weighted Hamming Distance

$$d_1 \ln \frac{p_1}{1-p_1} + d_0 \ln \frac{p_0}{1-p_0} \quad (3.7)$$

ค่าตัวแปรถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) สำหรับช่องสัญญาณที่ถูกรบกวนจะใช้ค่า

$\ln[p_1/(1-p_1)]$  เมื่อค่ากำลังงานสัญญาณรบกวนมีค่า  $p_1 \cong 0.5$  ทำให้ค่าตัวแปรถ่วงน้ำหนักนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์แต่จะต้องไม่เท่ากับศูนย์

ตอนนี้ลองพิจารณาค่าทางด้านรับแบบฐานสอง(soft dicision)ดังแสดงในสมการ

$$p(y_j/x_j) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left[-\frac{(y_j - x_j)^2}{N_0}\right] \quad (3.8)$$

ตัวถอดรหัสจะเลือกค่าทางด้านออกเป็นค่าการรหัสซึ่งค่าสูงสุด  $p(y/x_m, z)$  และให้  $\hat{z}$  ดังแสดงข้างต้น

$$p(y/x_m, z) = \prod_{j \in J} p(y_j/x_{mj}, 1) \prod_{j \in J} p(y_j/x_{mj}, 0) \quad (3.9)$$

สัญญาณรบกวนแบบด้านเดียว (The one-sided channel noise psd's) สำหรับระบบที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนจะใช้ค่า  $N_0 + N_j$  และ  $N_0$  ตามลำดับดังนั้นจะได้

$$p(y/x_m, z) = \prod_{j \in J} \frac{1}{\sqrt{\pi(N_j + N_0)}} \exp\left[-\frac{(y_j - x_{mj})^2}{N_j + N_0}\right] \prod_{j \in J} \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left[-\frac{(y_j - x_{mj})^2}{N_0}\right] \quad (3.10)$$

หาค่า log สมการ(3.10) จะได้

$$\begin{aligned} \ln\{p(y/x_m, z)\} &= -\frac{n_1}{2} \ln\{\pi(N_j + N_0)\} - \frac{1}{N_j + N_0} \sum_{j \in J} (y_j - x_{mj})^2 \\ &- \frac{n - n_1}{2} \ln(\pi N_0) - \frac{1}{N_0} \sum_{j \in J} (y_j - x_{mj})^2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

ในส่วนที่1และ3ทางด้านขวาของสมการเป็นค่าคงที่สำหรับทุกค่าการรหัสดังนั้นสามารถที่จะตัดออกได้ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดจะได้ดังสมการ

$$-\frac{1}{N_j + N_0} \sum_{j \in J} (y_j - x_{mj})^2 - \frac{1}{N_0} \sum_{j \in J} (y_j - x_{mj})^2 \quad (3.12)$$

จากสมการจะเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก Euclidean distance แบบเมตริกที่ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ถูกรบกวนซึ่งมีผลต่อตัวถอดรหัสมากกว่าส่วนที่ถูกรบกวน

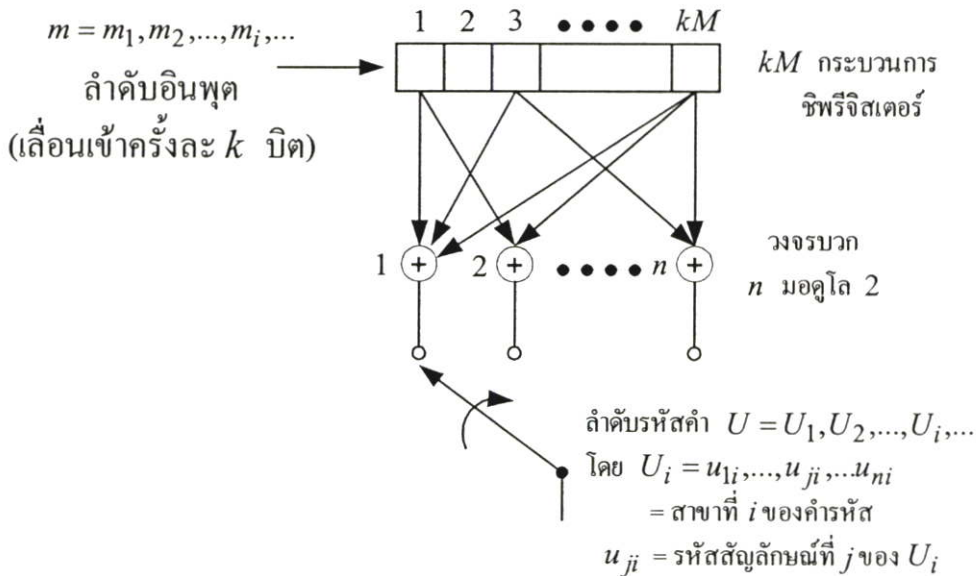
แม้ว่าการพิสูจน์โดยทั่วไปจะไม่ได้แสดงไว้แต่จากตัวอย่างก็เป็นแนวความคิดทั่วไปที่สำคัญสำหรับระบบการสื่อสารที่มีการเข้ารหัสแนวความคิดก็คือ"เมื่อช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลา, ตัวถอดรหัสสำหรับแต่ละช่องสัญญาณจะถ่วงน้ำหนักให้ช่องสัญญาณที่มีค่าSNRต่ำมีอิทธิพลต่อส่วนถอดรหัสน้อยกว่าช่องสัญญาณที่มีค่าSNRสูง

### 3.3 รหัสการประสาน (Convolution code)

จากที่กล่าวในตอนต้น การเข้ารหัสช่องสัญญาณแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบลิเนียร์บล็อกและรหัสการประสาน โดยรหัสลิเนียร์บล็อก ตัวแปรที่สำคัญคือ จำนวนบิตของข้อมูลอินพุต  $k$  และจำนวนของบิตคำรหัส  $n$  โดยอัตราส่วนของตัวแปรทั้งสองเรียก อัตราการเข้ารหัส ในส่วนของรหัสการประสานจะอธิบายอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว คือ  $n$ ,  $k$  และ  $M$  โดยอัตราส่วนของ  $k/n$  ยังคงเรียกว่า อัตราการเข้ารหัส ส่วนตัวแปร  $M$  จะเรียกว่า ความยาวคอนสเตรินท์ (constraint length) ซึ่งหมายถึง จำนวนของขั้นตอนกระบวนการในการเข้ารหัสของชิพรีจิสเตอร์ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างรหัสลิเนียร์บล็อกและรหัสการประสานที่สำคัญ คือ การเข้ารหัสของรหัสการประสานจะมีหน่วยความจำ โดยที่จำนวน  $n$  บิตเอาต์พุตของรหัสการประสาน ไม่เพียงขึ้นอยู่กับอินพุต  $k$  เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับอินพุตก่อนหน้านั้น  $M-1$  บิต

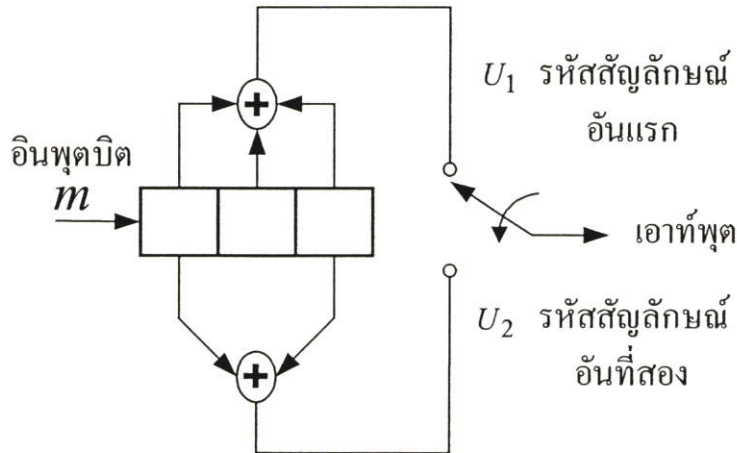
### 3.3.1 หลักการเข้ารหัสการประสาน

การเข้ารหัสโดยทั่วไปของรหัสการประสานแสดงได้ดังรูป 3.3 โดยมีชิพรีจิสเตอร์  $kM$  ชั้น และเป็นมิงจรวกกันแบบมอดูโล 2 (modulo-2)  $n$  ตัว โดยที่  $M$  เป็นความยาวคอนสเตรินท์ โดยแต่ละครั้งที่อินพุต  $k$  บิตถูกเลื่อนเข้ามายังรีจิสเตอร์  $k$  ชั้น บิตที่อยู่ในชิพรีจิสเตอร์จะถูกเลื่อนไปทางขวา และเอาต์พุตของวงจรวกจะถูกเลือกเพื่อเป็นรหัสสัญลักษณ์ (code symbols) สัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนเป็นรูปคลื่นเพื่อที่จะทำการส่งออกไปตามช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.3 การเข้ารหัสการประสานด้วยความยาวคอนสเตรินท์  $M$  และอัตราการเข้ารหัส  $k/n$

ในที่นี้จะทำการพิจารณาที่อินพุตบิตถูกชิฟเข้าไปทีละ 1 บิต และเอาที่พุดที่ได้แต่ละข่าวสารจะมีความยาว  $n$  บิต ดังนั้นอัตราการเข้ารหัสมีค่า  $1/n$  โดย  $n$  คือ รหัสสัญลักษณ์ (code symbol) ที่เกิดขึ้น. เวลา  $t_i$  ซึ่งประกอบด้วยคำสาขา (branch word) ที่  $i$   $U_i = u_{1i}, u_{2i}, \dots, u_{ni}$  โดย  $u_{ji}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) คือ รหัสสัญลักษณ์ที่  $j$  ของคำสาขาที่  $i$



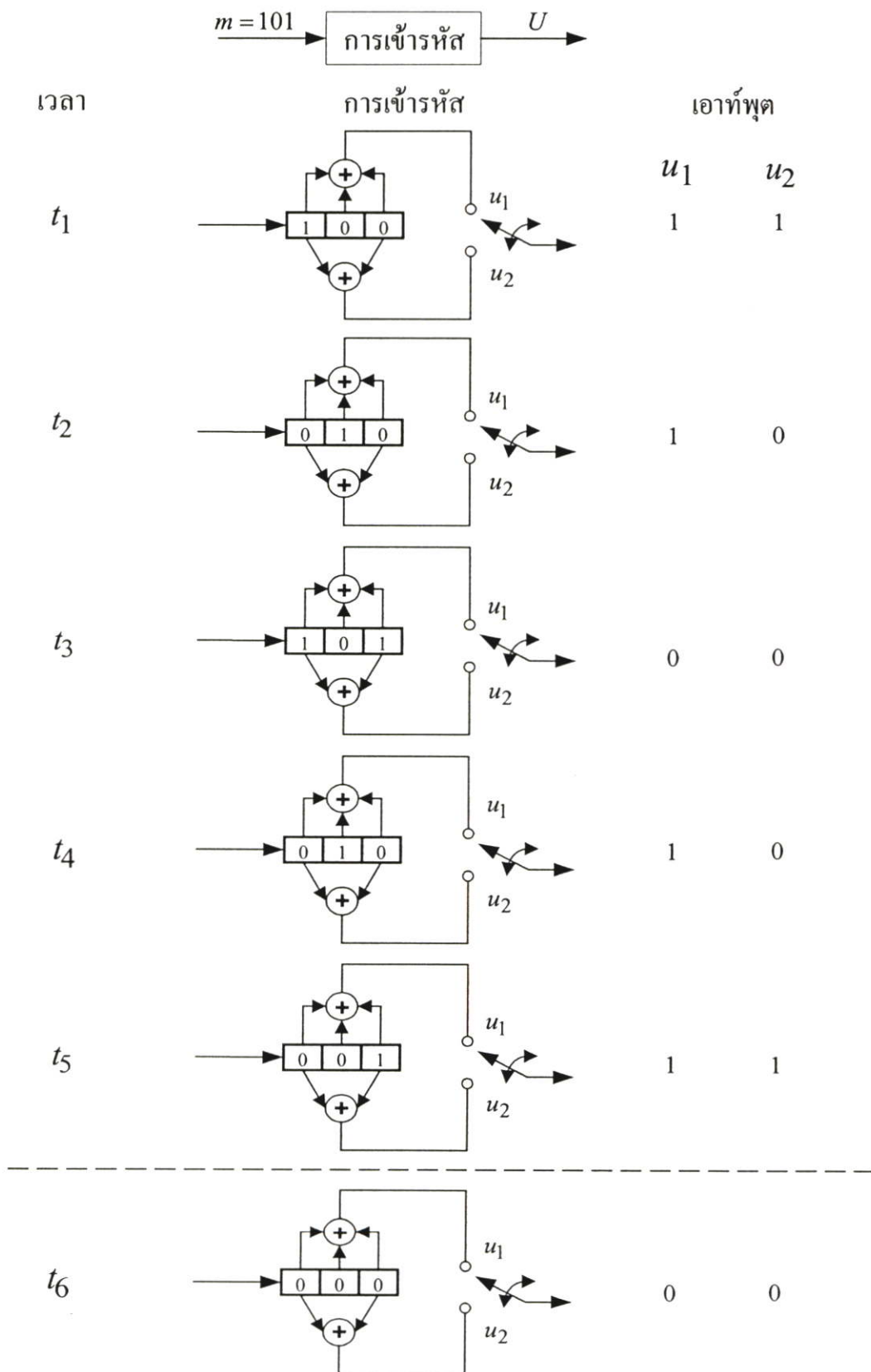
รูปที่ 3.4 การเข้ารหัสการประสานด้วยอัตราการเข้ารหัส  $1/2$  , ความยาวคอนสเตรนต์  $M = 3$

รูปที่ 3.4 แสดงถึงแบบจำลองของการเข้ารหัสการประสาน โดยมีค่าคอนสเตรนต์  $M = 3$  เป็นรหัส (1,2) คือ อินพุต 1 บิต ให้เอาที่พุด 2 บิต โดยแต่ละช่วงเวลาอินพุตแต่ละบิตจะถูกชิฟเข้าไปในรีจิสเตอร์ ซึ่งเอาที่พุดได้จากสวิตช์สุ่มเลือกจากวงจรบวกมอดูโล 2 แต่ละตัว (เช่น ในตอนแรกเลือกจากวงจรบวกด้านบน แล้วจึงเลือกจากวงจรบวกด้านล่าง) จะสังเกตเห็นว่านอกจากอินพุตแล้ว การเชื่อมต่อระหว่างตำแหน่งของรีจิสเตอร์กับวงจรบวกก็มีผลกับรหัสเอาที่พุดที่ได้ โดยสามารถที่จะแทนการเชื่อมต่อระหว่างรีจิสเตอร์กับวงจรบวกด้วยเวกเตอร์ โดยเวกเตอร์ดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับค่าคอนสเตรนต์ โดยจะมีค่าเป็น 1 หากมีการเชื่อมต่อ และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ โดยจากรูป 3.4 สามารถเขียนการเชื่อมต่อเป็นเวกเตอร์  $g_1$  สำหรับการเชื่อมต่อด้านบน และ  $g_2$  สำหรับการเชื่อมต่อด้านล่าง โดย

$$g_1 = 1 \ 1 \ 1$$

$$g_2 = 1 \ 0 \ 1$$

หากสมมติว่าข้อมูลอินพุต  $m = 1 \ 0 \ 1$  ถูกทำการเข้ารหัสการประสาน โดยตัวเข้ารหัสแสดงได้ดังรูป 3.4 โดยอินพุตบิต 3 บิต ถูกชิฟเข้าไปในเวลา  $t_1$ ,  $t_2$  และ  $t_3$  ซึ่งผลที่ได้แสดงได้ดังรูป 3.5 ส่วนเวลา  $t_4$  และ  $t_5$  เป็นการชิฟบิต 0 เข้าไป เพื่อให้บิตข้อมูลบิตสุดท้ายถูกชิฟไปจนถึงรีจิสเตอร์ตัวสุดท้าย ส่วนเวลา  $t_6$  เป็นการทำให้รีจิสเตอร์มีค่ากลับเป็น 0 ทั้งหมด โดยเอาที่พุดที่ได้จะมีค่าเท่ากับ  $1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1$  โดยสัญลักษณ์ที่อยู่ซ้ายมือสุดจะถูกส่งออกไปก่อน



ลำดับเอาต์พุต: 11 10 00 10 11

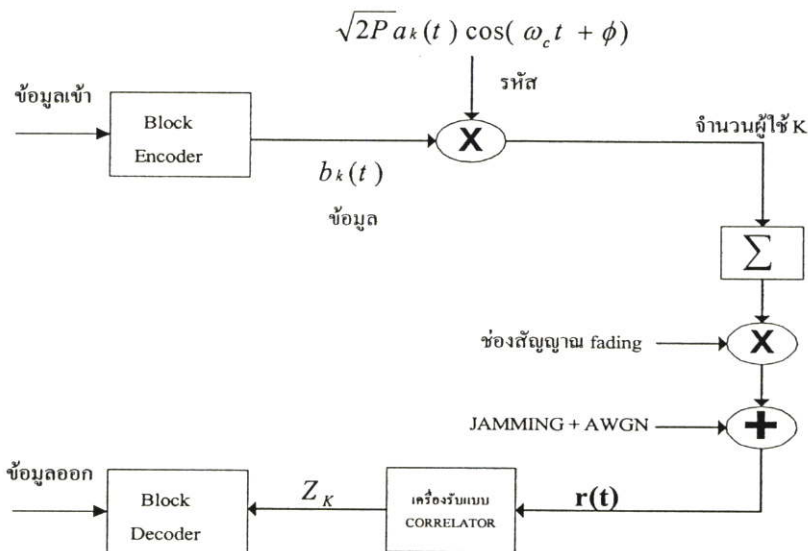
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเข้ารหัสการประสาน อัตราการเข้ารหัส 1/2 ความยาวคอนสเตรินท์  $M = 3$

ในการอธิบายการเข้ารหัสประสานโดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ 3 วิธี คือ แผนภาพต้นไม้ แผนภาพ Trellis และแผนภาพสแตจ

## บทที่ 4

# อัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลของระบบที่มีการเข้าถึงหลายเส้นทาง แบบการเข้ารหัสลำดับโดยตรงที่ถูกรบกวนโดย Pulse – Noise Jamming โดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสบล็อก

ในหัวข้อนี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ระบบที่มีการเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งรหัสลำดับตรงในช่องสัญญาณ Rayleigh ที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณ กับระบบที่ได้ทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถแบ่งระบบที่ทำการศึกษาได้เป็น 3 ส่วนคือ ด้านส่ง, ช่องสัญญาณ, ด้านรับซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 4.1 แบบจำลองระบบDS-SSที่ศึกษา

### 4.1 แบบจำลองเครื่องส่ง

ระบบ CDMA ที่ทำการศึกษากำหนดให้มีจำนวนของผู้ใช้งานเท่ากับ  $K$  และกำหนดให้ข้อมูลกับรหัสที่พิจารณาเป็นแบบเลขฐานสอง หลักการของระบบ CDMA จะทำการคูณกันระหว่างลำดับรหัส (code sequence) กับลำดับข้อมูล (data sequence) และสัญญาณที่ได้จะถูกทำการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสฐานสองแบบร่วมนัย (binary phase shift keying) ดังนั้นสัญญาณที่ส่งออกสำหรับผู้ใช้งานลำดับที่  $k$  สามารถแสดงได้เป็น [2]

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

ในสมการที่ (4.1) ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าเท่ากับ  $\sqrt{2P}$   
 ซึ่ง  $P$  คือ กำลังงานเฉลี่ย ซึ่งจะมีค่าเท่ากันสำหรับผู้ใช้งานทุกคน  
 $\omega_c$  คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่นพาห้  
 $\phi^{(k)}$  คือ มุมเฟสของการมอดูเลตสำหรับผู้ใช้ลำดับที่  $k$  ซึ่ง  $\phi^{(k)}$  มีการแจกแจงสม่ำเสมอบน  
 ช่วง  $[0, 2\pi]$

จากสมการที่ (4.1)  $a^{(k)}(t)$  คือ ลำดับรหัส (code sequence) ของผู้ใช้ลำดับที่  $k$  ซึ่งสามารถ  
 แสดงได้ดังสมการ

$$a_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j^{(k)} p_a(t - jT_c) \quad a_j^{(k)} \in \{-1, 1\} \quad (4.2)$$

และ  $b^{(k)}(t)$  คือ ลำดับของข้อมูล (data sequence) ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

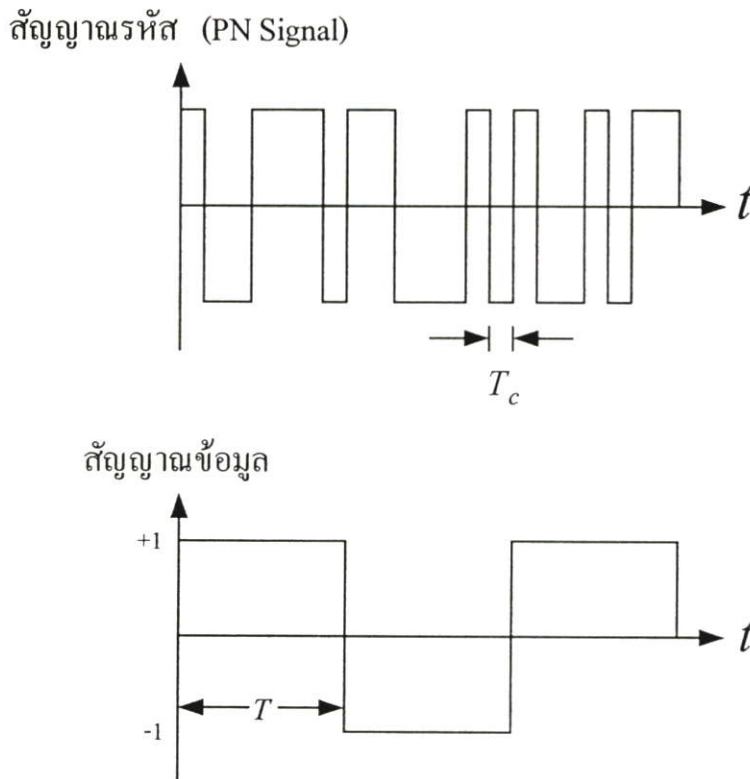
$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_j^{(k)} p_b(t - jT) \quad b_j^{(k)} \in \{-1, 1\} \quad (4.3)$$

โดย  $a^{(k)}(t)$  และ  $b^{(k)}(t)$  เป็นสัญญาณพัลส์เลขฐานสอง โดยมีค่าแอมพลิจูดเป็น 1  
 และ -1 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2 โดย  $p_a(t)$  และ  $p_b(t)$  คือ สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมซึ่งสูง 1 หน่วย  
 และมีความกว้างเท่ากับ  $T_c$  และ  $T$  ตามลำดับ

$T_c$  คือ ความกว้างชิปของลำดับรหัส

$T$  คือ ความกว้างชิปของลำดับข้อมูล

$N = T/T_c$  คือ ค่าอัตราขยายการประมวลผล (processing gain) ของระบบ



รูปที่ 4.2 สัญญาณรหัส และสัญญาณข้อมูล

#### 4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

สัญญาณที่ทำการพิจารณากำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไปและไม่เปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาช่องสัญญาณดังกล่าวเป็นแบบไม่เจาะจงความถี่ (Frequency nonselective) และให้แต่ละช่องความถี่เกิดการจางที่เป็นอิสระต่อกัน โดยวงจรกรองความถี่ต่ำซึ่งสอดคล้องกับผลตอบสนองอิมพัลส์ ( Impulse response ) สำหรับผู้ใช้งานที่  $k$  ซึ่งแสดงได้ดังสมการ(4.4)

$$r(t) = \alpha(t)e^{-j\theta(t)} \quad (4.4)$$

โดย  $\alpha(t)$  คือ อัตราการลดทอนของแอมพลิจูด ของผู้ใช้งานที่  $k$  ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มแบบไม่เจาะจง

$\theta(t)$  คือ มุมเฟสที่มีการประวิงเวลาของผู้ใช้งานที่  $k$  และเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วง  $[0, 2\pi]$

### 4.3 แบบจำลองเครื่องรับ

กำหนดให้ระบบที่ทำการพิจารณาเป็นระบบแบบอะซิงโครนัสที่มีผู้ใช้งานคนที่ 1 เป็นผู้ใช้งานอ้างอิง โดยสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับจะประกอบไปด้วยสัญญาณที่มาจากผู้ใช้หลายๆคน (multiuser) และสัญญาณรบกวนต่างๆ เนื่องจากช่องสัญญาณเป็นฟังก์ชันของอัตราการลดทอนของแอมพลิจูด การหน่วงเวลาและเฟส ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จะต้องมีการหน่วงเวลาจาก  $a(t)$  เป็น  $a(t - \tau)$  และแอมพลิจูดของช่องสัญญาณก็จะเปลี่ยนแปลงด้วยตัวคูณด้านอัตราการลดทอนของแอมพลิจูด ( $\beta_l$ ) ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้หลายๆคนสามารถแสดงได้ดังสมการ [8]

$$r(t) = N(t) + N_j(t) + \sqrt{2P} \sum_{k=1}^K \alpha_k a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) \cos[\omega_c t + \phi_k] \quad (4.5)$$

โดยที่  $r(t)$  คือ สัญญาณที่รับได้

$N(t)$  คือ สัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก (additive white Gaussian noise : AWGN) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณเท่ากับ  $N_0/2$

$N_j(t)$  คือ สัญญาณกวน (jamming)

$\phi_k$  คือ มุมเฟสของผู้ใช้ลำดับที่  $k$

$K$  คือ จำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดในระบบ

สัญญาณที่รับเข้ามาจะผ่านอุปกรณ์ทางด้านรับแบบสหสัมพันธ์ (Correlator) ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้หลังจากผ่านเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สามารถแสดงได้ ดังสมการที่ 4.6

$$Z = \int_{-T_c}^{T_c} r(t) a_1(t - T_c) \cos[\omega_c t + \phi] dt \quad (4.6)$$

ผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้จากตัวรวมสัญญาณที่เครื่องรับสามารถแสดงได้โดย

$$Z = D + I + I_n + I_j \quad (4.7)$$

โดย  $D$  = ส่วนสัญญาณที่ต้องการของผู้ใช้งานอ้างอิง (ผู้ใช้งานที่ 1)

$I$  = ส่วนสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากผู้ใช้งานอื่นที่ความถี่คลื่นพาห์เดียวกัน

$I_n$  = ส่วนสัญญาณ AWGN หลังจากผ่านส่วนของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

$I_j$  = ส่วนสัญญาณ Jamming .

### 4.3.1 ส่วนของสัญญาณ (Signal)

พิจารณาสัญญาณ  $D$  ซึ่งหาได้โดยกำหนดให้  $k = 1$  แทนเงื่อนไขดังกล่าวลงในสมการที่ 4.6

ดังนั้นสมการ 4.7 เขียนใหม่ได้ว่า

$$Z_d = \sqrt{2P} \int_{\tau_1}^{T+\tau_1} \sum_{k=1}^K \alpha_k a_k(t + \tau_1) b_k(t - \tau_1) \cos(\omega_c t + \phi_k) a_1(t - \tau_1) \cos(\omega_c t + \phi_1) dt \quad (4.8)$$

เนื่องจากการส่งแบบอะซิงโครนัสจึงทำการกำหนดค่าการประวิงเวลาของผู้ใช้งานอ้างอิงเป็น 0 นั่นคือ  $\tau_1 = 0$  ดังนั้นสมการที่ 4.8 เขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} Z_d &= \sqrt{2P} \alpha_1 \int_0^T a_1(t) a_1(t) b_1(t) \cos^2(\omega_c t + \phi_1) dt \\ &= \sqrt{2P} \alpha_1 \int_0^T b_1(t) \left[ \frac{1 + \cos 2(\omega_c t + \phi_1)}{2} \right] dt \\ &= \sqrt{\frac{P}{2}} \alpha_1 b_1^0 T \end{aligned} \quad (4.9)$$

### 4.3.2 ส่วนสัญญาณรบกวนระหว่างผู้ใช้งาน (multiple access interference)

$I$  คือส่วนของสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากผู้ใช้งานอื่นที่ความถี่คลื่นพาห์เดียวกัน หาได้โดยให้  $k > 1$  แทนเงื่อนไขดังกล่าวลงในสมการ (4.6) กับ (4.7) จะได้สมการ

$$\begin{aligned} Z_I &= \sqrt{2P} \sum_{k=2}^K \alpha_k \int_0^T a_k(t - \tau_k) a_1(t) b_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) \cos(\omega_c t + \phi_1) dt \\ &= \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{k=2}^K \alpha_k \cos(\phi_k - \phi_1) \int_0^T a_k(t - \tau_k) a_1(t) b_k(t - \tau_k) dt \end{aligned} \quad (4.10)$$

โดยพจน์อินทิเกรต  $\int_0^T a_k(t - \tau_k) a_1(t) dt$  คือค่าอัตโนมัติสหสัมพันธ์ (Auto Correlation) ของ

สัญญาณจาก [3]

$$R_k = \int_0^{\tau_k} a_k(t - \tau_k) a_1(t) dt \quad (4.11)$$

และ

$$\hat{R}_k = \int_{\tau_k}^T a_k(t - \tau_k) a_1(t) dt \quad (4.12)$$

คือค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสสเปกตรัมแผ่ระหว่างผู้ใช้งานที่  $k$  และผู้ใช้งานที่ 1 ดังนั้น

$$Z_I = \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{k=2}^K \alpha_k \cos(\phi_k - \phi_1) [b_k^{-1} R_k(\tau_k) + b_k^0 \hat{R}_k(\tau_k)]$$

ทำการหาค่าความแปรปรวนของ  $I$  จาก

$$\text{Var}(I_1) = E(I_1^2) - E^2(I_1) \quad (4.13)$$

โดยกำหนดให้เป็นสัญญาณรบกวนเกาส์ ซึ่งมีค่ากลางเป็นศูนย์ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{Var}(I_1) &= E(I_1^2) \\ &= \frac{P}{2} \sum_{k=2}^K E(\alpha_k)^2 E[\cos^2(\phi_k - \phi_1)] E[b_k^{-1} R_k(\tau_k) + b_k^0 \hat{R}_k(\tau_k)]^2 \\ &= \frac{PT^2}{6N} (K - 1) \end{aligned} \quad (4.14)$$

#### 4.3.3 ส่วนของสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก (additive white Gaussian noise)

$I_N$  คือส่วนของสัญญาณ AWGN หลังจากผ่านเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ กำหนดให้  $N(t)$  เป็นสัญญาณรบกวนเกาส์ขาว แบบบวกซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ดังนั้น

$$I_n = \int_0^T N(t) a_1(t) \cos(w_c t + \phi) dt \quad (4.15)$$

ความแปรปรวนของ  $I_n$  หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Var}(I_n) &= E(I_n^2) \\ &= E\left[\int_0^T N^2(t) a_1^2(t) \cos^2(w_c t + \phi) dt\right] \\ &= E\left(\frac{1}{2} T \frac{N_0}{2}\right) \\ &= \frac{N_0 T}{4} \end{aligned} \quad (4.16)$$

#### 4.3.4 ส่วนของสัญญาณกวน (Jamming)

$I_j$  คือ ส่วนของสัญญาณกวนจากภายนอก

$$I_j = \int_0^T N_j(t) a(t) \cos(\omega_c t + \phi) dt \quad (4.17)$$

ความแปรปรวนของ  $I_j$  หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Var}(I_j) &= E(I_j^2) \\ &= E\left[\int_0^T N_j^2(t) a^2(t) \cos^2(\omega_c t + \phi) dt\right] \\ &= E\left(\frac{1}{2} T \frac{N_j}{2\rho}\right) \\ &= \frac{N_j T}{4\rho} \end{aligned} \quad (4.18)$$

#### 4.4 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

##### 4.4.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส

##### 4.4.1.1 การหาอัตราส่วนของพลังงานของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

$$\begin{aligned} \gamma_b &= \frac{\frac{PT^2}{4} \alpha^2}{\frac{PT^2}{6N} (k-1) + \frac{N_0 T}{4} + \frac{N_j T}{4\rho}} \\ &= \frac{Eb \alpha^2}{\frac{2Eb}{3N} (k-1) + N_0 + \frac{N_j}{\rho}} \\ &= \frac{\alpha^2}{\frac{2}{3N} (k-1) + \frac{N_0}{Eb} + \frac{N_j}{Eb\rho}} \end{aligned} \quad (4.19)$$

ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนหาได้จาก[4]คือ

$$\overline{\gamma_b} = Eb / N_j \quad (4.20)$$

#### 4.4.1.2 อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบที่ถูกรบกวนโดย Pulse-noise jamming

สมมติให้ระบบ Coherent DS มีการมอดูเลตแบบ BPSK ถูกรบกวนโดย Pulse-noise jamming ซึ่งจะมีค่า  $P_e(s)$  แสดงดังสมการที่(4.21) โดยระบบนี้จะไม่นำสัญญาณรบกวน AWGN มาคิดเมื่อระบบอยู่ในช่วงที่มีสัญญาณรบกวนจาก[5]

$$P_e(s) = (1 - \rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{01}\right) + \rho \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{02}\right) \quad (4.21)$$

โดย  $1 - \rho$  = ค่าอัตราส่วนของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในขณะ Jamming “off”  
 $\rho$  = ค่าอัตราส่วนของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในขณะ Jamming “on”

$$S = \alpha^2$$

$$\sigma_{01} = \left[ \frac{2}{3N} (k - 1) + \frac{N_0}{Eb} \right]^{-1}$$

$$\sigma_{02} = \left[ \frac{2}{3N} (k - 1) + \frac{N_j}{\rho Eb} \right]^{-1}$$

จาก[6] ระบบมีการจางแบบ Rayleigh ซึ่งมีค่า  $p(s)$  ดังสมการ

$$p(s) = \frac{1}{\gamma_b} e^{-s/\gamma_b} \quad ; \gamma_b \geq 0 \quad (4.22)$$

$$= \frac{1}{E_{b0}} e^{-\left(\frac{s}{E_{b0}\sigma}\right)}$$

นำสมการที่(4.21)และ(4.22)มาแทนค่าในสมการ(4.23)เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของความผิดพลาดของข้อมูล

$$\overline{P_e} = \int_0^{\infty} P_e(s) \rho(s) ds \quad (4.23)$$

$$= \int_0^{\infty} \left[ (1 - \rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{01}\right) \frac{1}{E_{b0}} e^{-\left(\frac{s}{E_{b0}\sigma}\right)} \right] ds +$$

$$\int_0^{\infty} \left[ (\rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{02}\right) \frac{1}{E_{b0}} e^{-\left(\frac{s}{E_{b0}\sigma}\right)} \right] ds$$

จาก[7]จะได้ว่า

$$\left[ \int_0^{\infty} x^{(\mu-1)} e^{-\beta x} \Gamma(v, \alpha x) dx = \frac{\alpha^v \Gamma(\mu+v)}{\mu(\alpha+\beta)^{\mu+v}} F_1\left(1, \mu+v; \mu+1; \frac{\beta}{\alpha+\beta}\right) \right] \quad (4.24)$$

นำสมการ(4.23) แทนลงในสมการ(4.24)จะได้สมการที่จะนำไปวิเคราะห์สมรรถนะของระบบดังนี้

$$\begin{aligned} \overline{P_e} = & \left[ \frac{(1-\rho)}{2\sqrt{\pi Eb_0}} * \frac{\sigma_{01}^{1/2} \Gamma(3/2)}{(\sigma_{01} + \frac{\sigma_{01}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right] + \\ & \left[ \frac{(\rho)}{2\sqrt{\pi Eb_0}} * \frac{\sigma_{02}^{1/2} \Gamma(3/2)}{(\sigma_{02} + \frac{\sigma_{02}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right] \quad (4.25) \end{aligned}$$

#### 4.4.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่เข้ารหัส

สัญญาณทางด้านส่งและด้านรับจะมีค่าเช่นเดียวกับสมการที่ (4.1) และ(4.3)ตามลำดับ แต่เนื่องจากข้อมูลแต่ละบิตจะถูกทำการเข้ารหัสบิตคือ ดังนั้นสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจะมีค่าเท่ากับ

$$s_k(t) = \sqrt{2P_c} a_k(t) b_k(t) \cos[\omega_c t + \phi_k] \quad (4.26)$$

โดย

$$P_c = E_c / T = R_c E_b / T$$

$$E_c = \text{Signal energy per symbol}$$

$$R_c = \text{Code rate}$$

ส่วนสัญญาณทางภาครับที่รับได้มีค่าเท่ากับ

$$r(t) = N(t) + N_j(t) + \sqrt{2P_c} \sum_{k=1}^K \alpha_k a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) \cos[\omega_c t + \phi_k] \quad (4.27)$$

สัญญาณที่ได้จะผ่านเครื่องรับแบบ Correlator เหมือนกับระบบที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัส ดังแสดงในสมการ(4.8) ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ได้ หลังผ่านเครื่องรับ Correlator ได้เป็น

$$Z_d = \sqrt{2P_c} \int_{\tau_1}^{T+\tau_1} \sum_{k=1}^K \alpha_k a_k(t + \tau_1) b_k(t - \tau_1) \cos(\omega_c t + \phi_k) a_1(t - \tau_1) \cos(\omega_c t + \phi_k) dt \quad (4.28)$$

#### 4.4.2.1 การหาอัตราส่วนของพลังงานของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

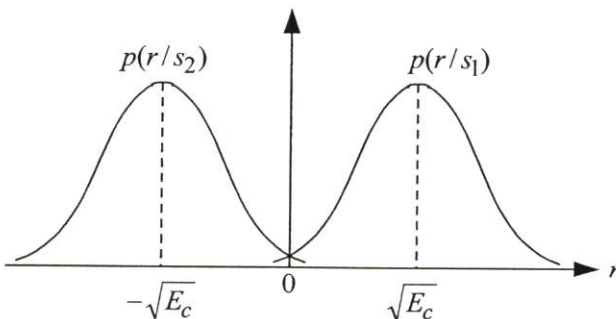
$$\begin{aligned}
 \gamma_b &= \frac{\frac{P_c T^2}{4} \alpha^2}{\frac{P_c T^2}{6N} (k-1) + \frac{N_0 T}{4} + \frac{N_j T}{4\rho}} \\
 &= \frac{Eb \alpha^2}{\frac{2Eb}{3N} (k-1) + N_0 + \frac{N_j}{\rho}} \\
 &= \frac{\alpha^2}{\frac{2}{3N} (k-1) + \frac{N_0}{Eb} + \frac{N_j}{Eb\rho}} \quad (4.29)
 \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนหาได้จาก[4]คือ

$$\overline{\gamma_b} = Eb / N_j \quad (4.30)$$

#### 4.4.2.2 ความผิดพลาดเนื่องจากช่องสัญญาณ

ในการส่งสัญญาณความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากช่องสัญญาณมีการถูกรบกวนจากสัญญาณ Pulse-noise jamming และใน paper ฉบับนี้ได้ศึกษาการส่งสัญญาณด้วยวิธีการ Coherent BPSK ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันเงื่อนไขความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณ 2 สัญญาณ

$$\begin{aligned}
 p(e/s_1) &= \int_{-\infty}^0 p(r/s_1) dr \\
 &= \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(r-Z_d)^2/2\sigma^2} dr
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

โดย  $r$  คือ สัญญาณที่รับได้

$Z_d$  คือ ค่ากลางของสัญญาณ (mean)

$\sigma^2$  คือ ค่าความแปรปรวน (variance)

จากสมการ (4.29) และ [8] ค่า

$$\begin{aligned}
 Z_d &= \frac{P_c T^2}{4} \alpha^2 \\
 \sigma &= \frac{P_c T^2}{6N} (k-1) + \frac{N_0 T}{4} + \frac{N_j T}{4\rho}
 \end{aligned}$$

โดยกำหนดให้  $\frac{r-Z_d}{\sigma} = x$

ดังนั้น (4.31) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}
 p(e/s_1) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-Z_d/\sigma} e^{-x^2/2} dx \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{Z_d}{\sigma}}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \\
 &= Q\left(\frac{Z_d}{\sigma}\right)
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

สมมติให้ระบบ Coherent DS มีการมอดูเลตแบบ BPSK ถูกรบกวนโดย Pulse-noise jamming ซึ่งจะมีค่า  $P_e(s)$  แสดงดังสมการที่(4.9) โดยระบบนี้จะไม่นำสัญญาณรบกวน AWGN มาคิดเมื่อระบบอยู่ในช่วงที่มีสัญญาณรบกวนจาก[5]

$$P_e(s) = (1 - \rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{01}^2\right) + \rho \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{02}^2\right) \quad (4.33)$$

โดย  $1 - \rho$  = ค่าอัตราส่วนของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในขณะ Jamming “off”

$\rho$  = ค่าอัตราส่วนของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในขณะ Jamming “on”

$$S = \alpha^2$$

$$\sigma_{01} = \left[ \frac{2}{3N} (k - 1) + \frac{N_0}{Eb} \right]^{-1}$$

$$\sigma_{02} = \left[ \frac{2}{3N} (k - 1) + \frac{N_j}{\rho Eb} \right]^{-1}$$

จาก[6] ระบบมีการจางแบบ Rayleigh ซึ่งมีค่า  $p(s)$  ดังสมการ

$$\begin{aligned} p(s) &= \frac{1}{\gamma_b} e^{-s/\gamma_b} & ; \gamma_b \geq 0 & \quad (4.34) \\ &= \frac{1}{Eb_0} e^{-\left(\frac{s}{Eb_0\sigma}\right)} \end{aligned}$$

นำสมการที่(4.33)และ(4.34)มาแทนค่าในสมการ(4.35)เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของความผิดพลาดของข้อมูล

$$\begin{aligned} \overline{P_e} &= \int_0^{\infty} P_e(s) \rho(s) ds & (4.35) \\ &= \int_0^{\infty} \left[ (1 - \rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{01}^2\right) \frac{1}{Eb_0} e^{-\left(\frac{s}{Eb_0}\right)} \right] ds + \\ &\quad \int_0^{\infty} \left[ (\rho) \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Gamma\left(\frac{1}{2}, S\sigma_{02}^2\right) \frac{1}{Eb_0} e^{-\left(\frac{s}{Eb_0}\right)} \right] ds \end{aligned}$$

จาก[7]จะได้ว่า

$$\left[ \int_0^{\infty} x^{(\mu-1)} e^{-\beta x} \Gamma(\nu, \alpha x) dx = \frac{\alpha^\nu \Gamma(\mu + \nu)}{\mu(\alpha + \beta)^{\mu+\nu}} F_1\left(1, \mu + \nu; \mu + 1; \frac{\beta}{\alpha + \beta}\right) \right] \quad (4.36)$$

นำสมการ(4.35) แทนลงในสมการ(4.36)จะได้สมการที่จะนำไปวิเคราะห์สมรรถนะของระบบดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{P}_e = & \left[ \frac{(1-\rho)}{2\sqrt{\pi Eb_0}} * \frac{\sigma_{01} \Gamma(3/2)}{(\sigma_{01}^2 + \frac{\sigma_{01}^2}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}) \right] + \\ & \left[ \frac{(\rho)}{2\sqrt{\pi Eb_0}} * \frac{\sigma_{02} \Gamma(3/2)}{(\sigma_{02}^2 + \frac{\sigma_{02}^2}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}) \right] \quad (4.37) \end{aligned}$$

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์เชิงเลข

ในส่วนนี้จะทำการพิจารณาถึงผลที่ได้โดยจะพิจารณาคูณสมบัติจากค่าตัวแปรต่างๆของระบบที่ถูกรบกวนจากสัญญาณ Pulse-noise jamming จากแบบจำลองช่องสัญญาณ Rayleigh การมอดูเลตแบบ BPSK ด้านรับใช้เครื่องรับแบบ Correlator โดยเราจะพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการผิดพลาดของบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณกวน โดยเราจะทำการพิจารณาค่า ( $\rho$ ) ซึ่งเป็นค่าDuty factorและจำนวนผู้ใช้งาน(K)ที่ค่าต่างๆกัน โดยจะทำการวิเคราะห์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของการเข้ารหัสบล็อกกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสที่มีต่อสมรรถนะของระบบ

5.1 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ

5.2 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ )

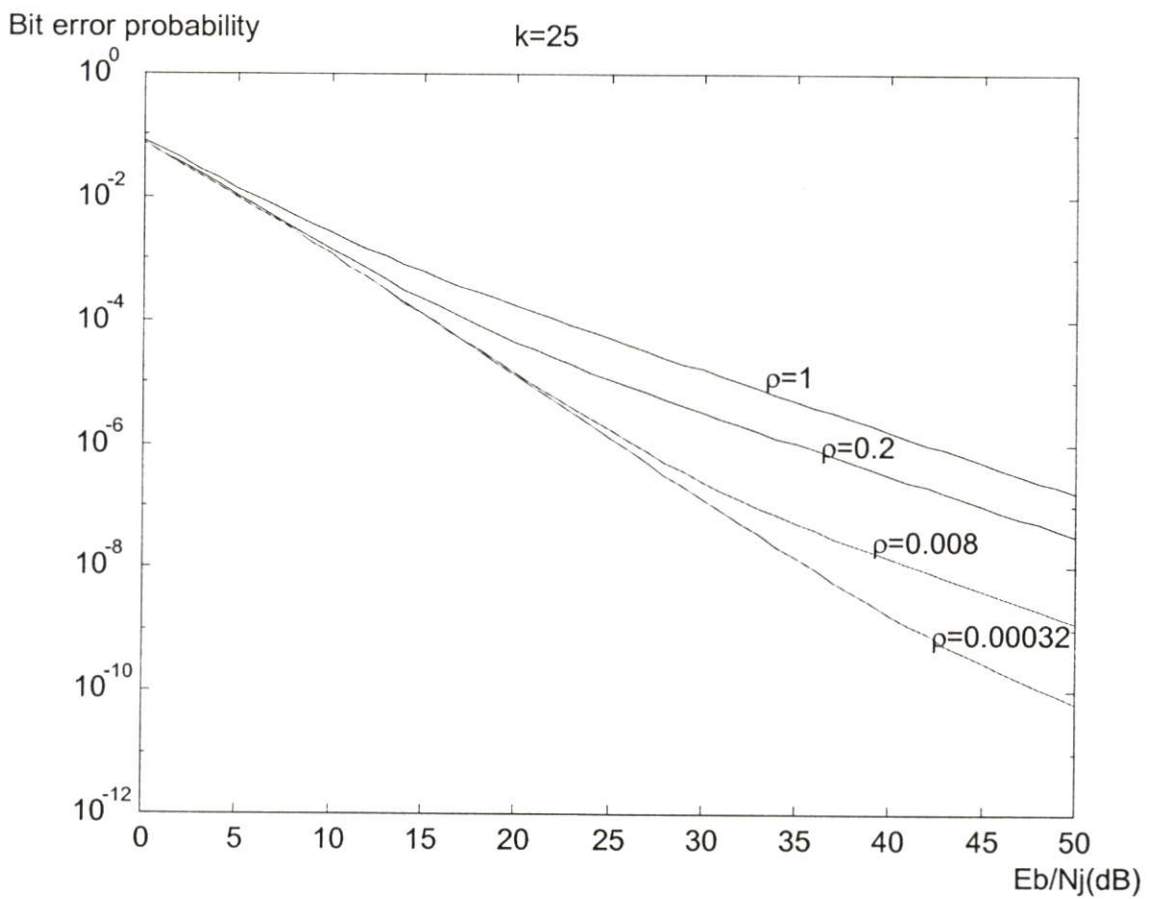
5.3 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก

5.4 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ ) ต่อระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก

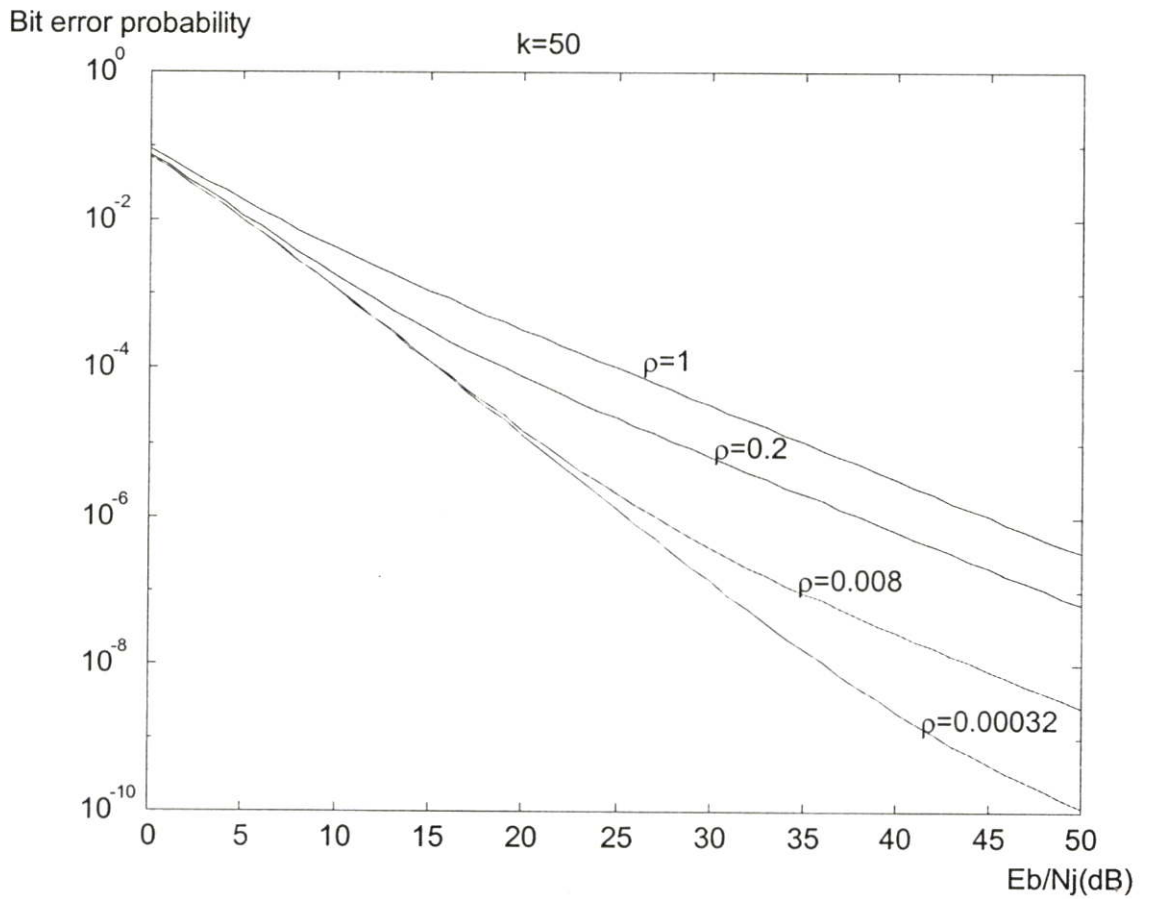
5.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสกับระบบที่เข้ารหัสบล็อก

## 5.1 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ

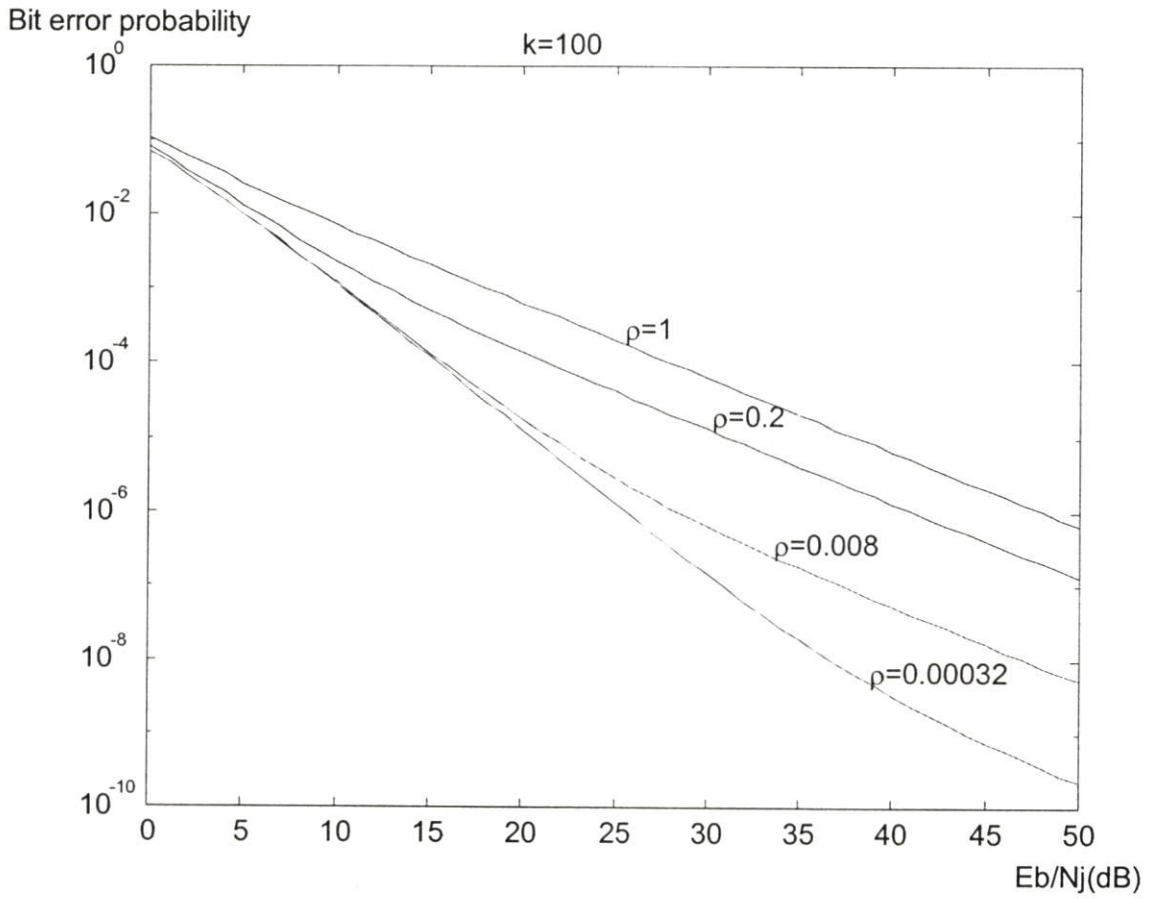
5.1.1 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25, 50, 100, 500, 750 โดยการพิจารณาผลของ  $\rho$  ซึ่งเป็นค่า Duty factor จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อค่า Duty factor มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้น



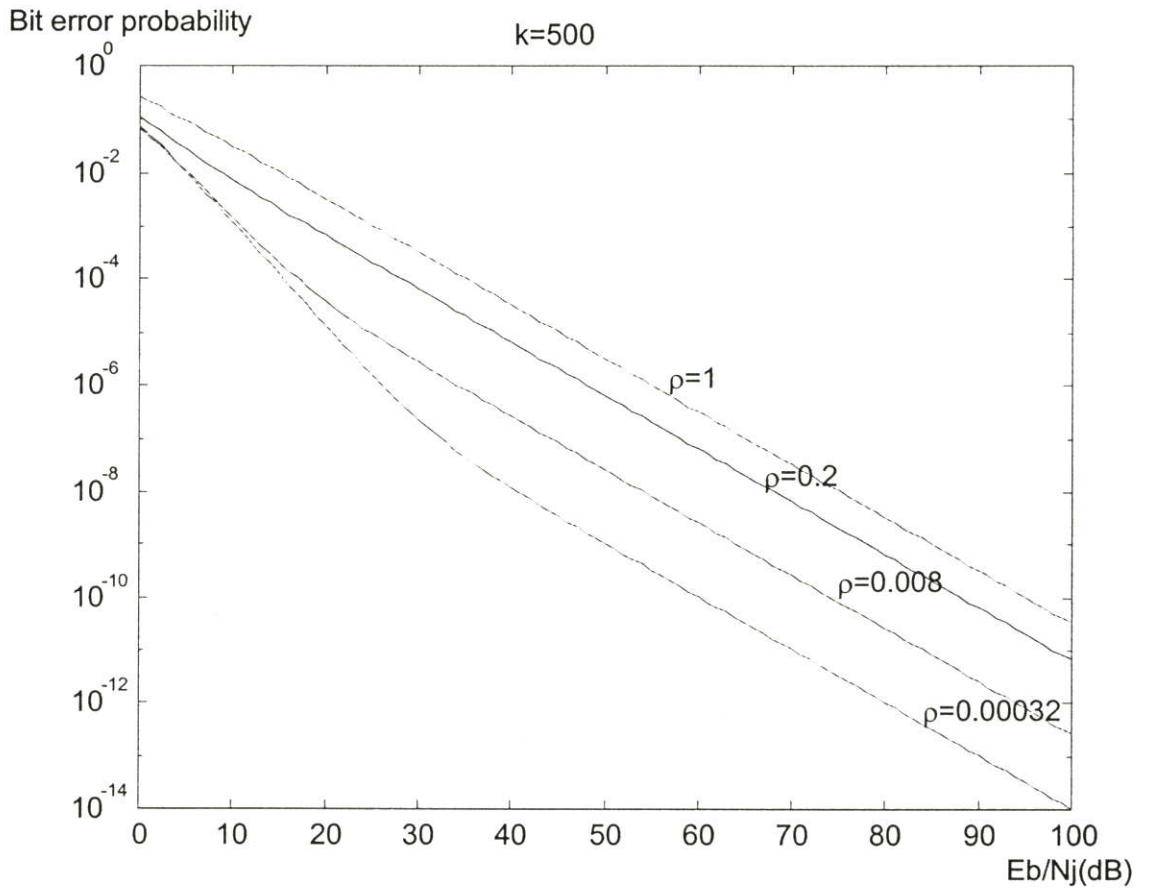
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25



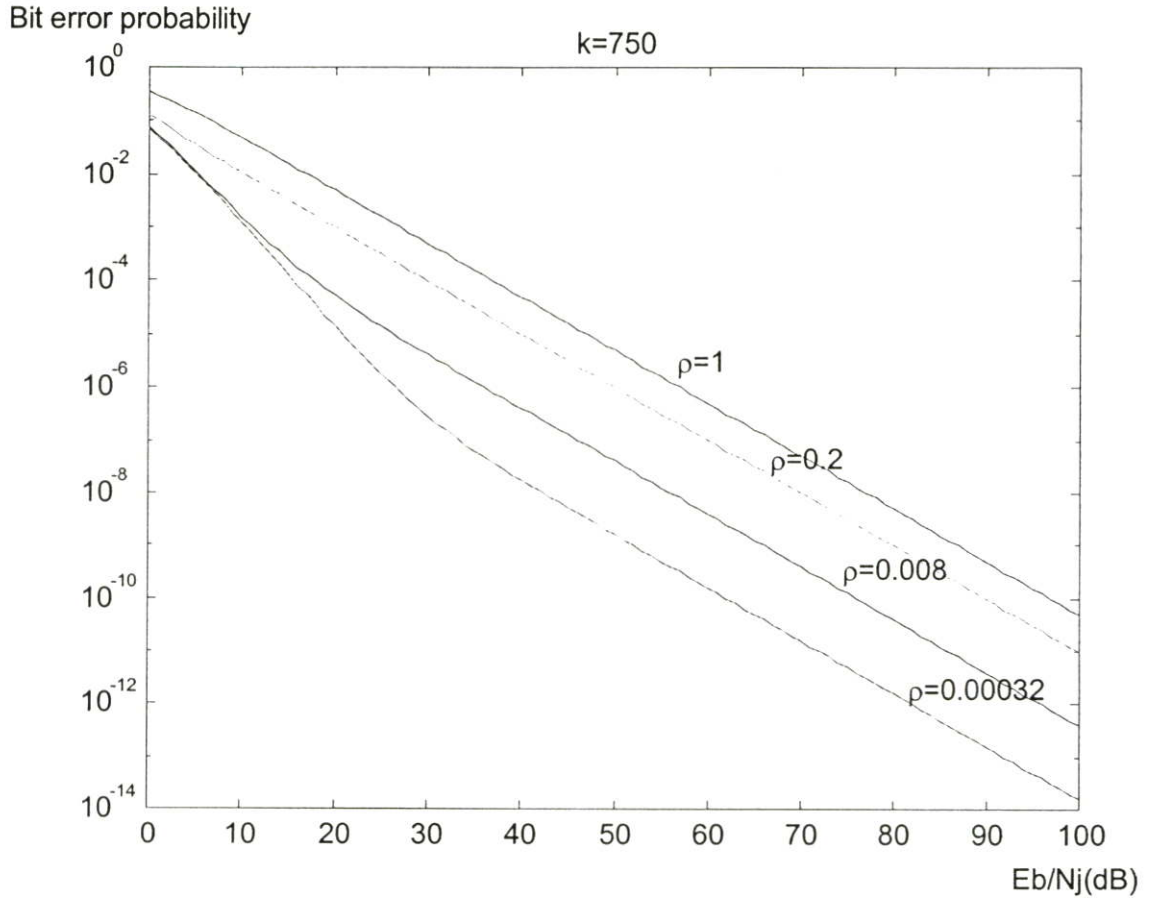
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่าง สัญญาณ กับสัญญาณกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมี จำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 50



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 100



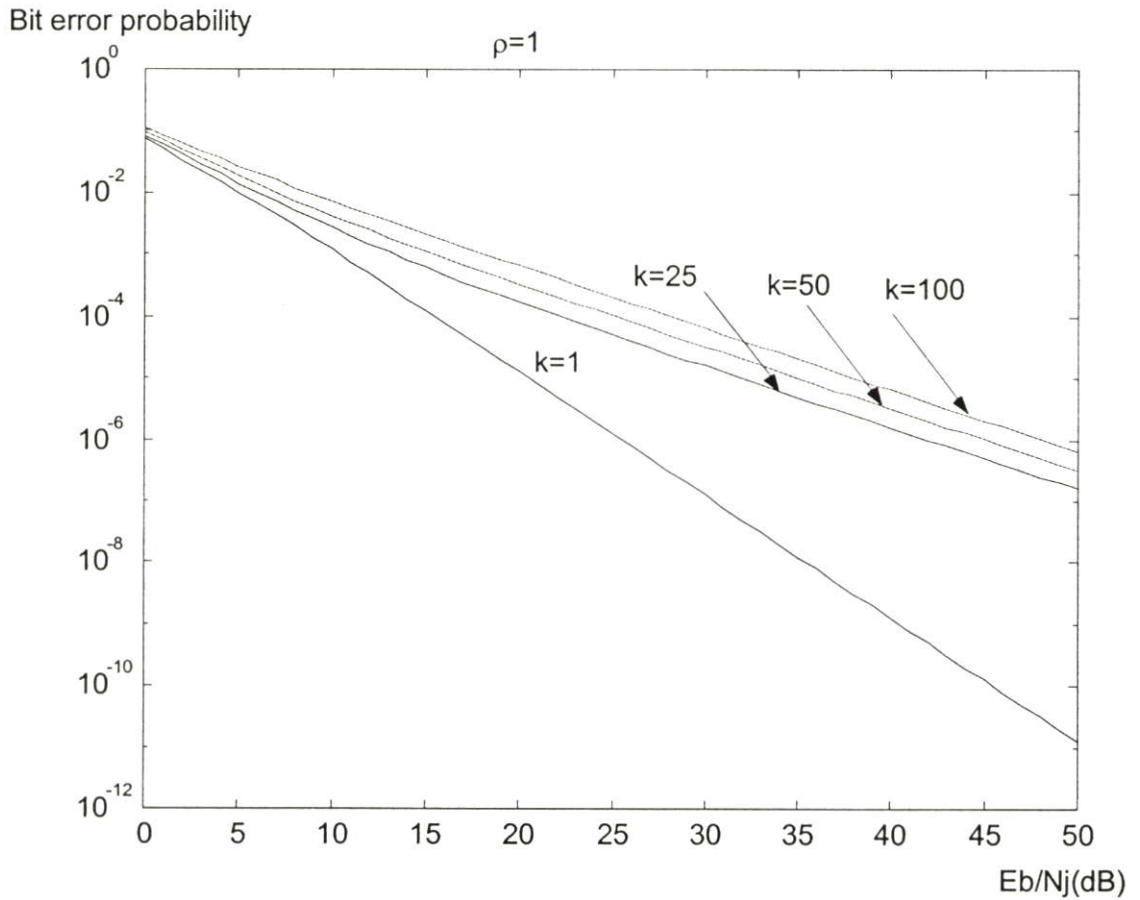
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 500



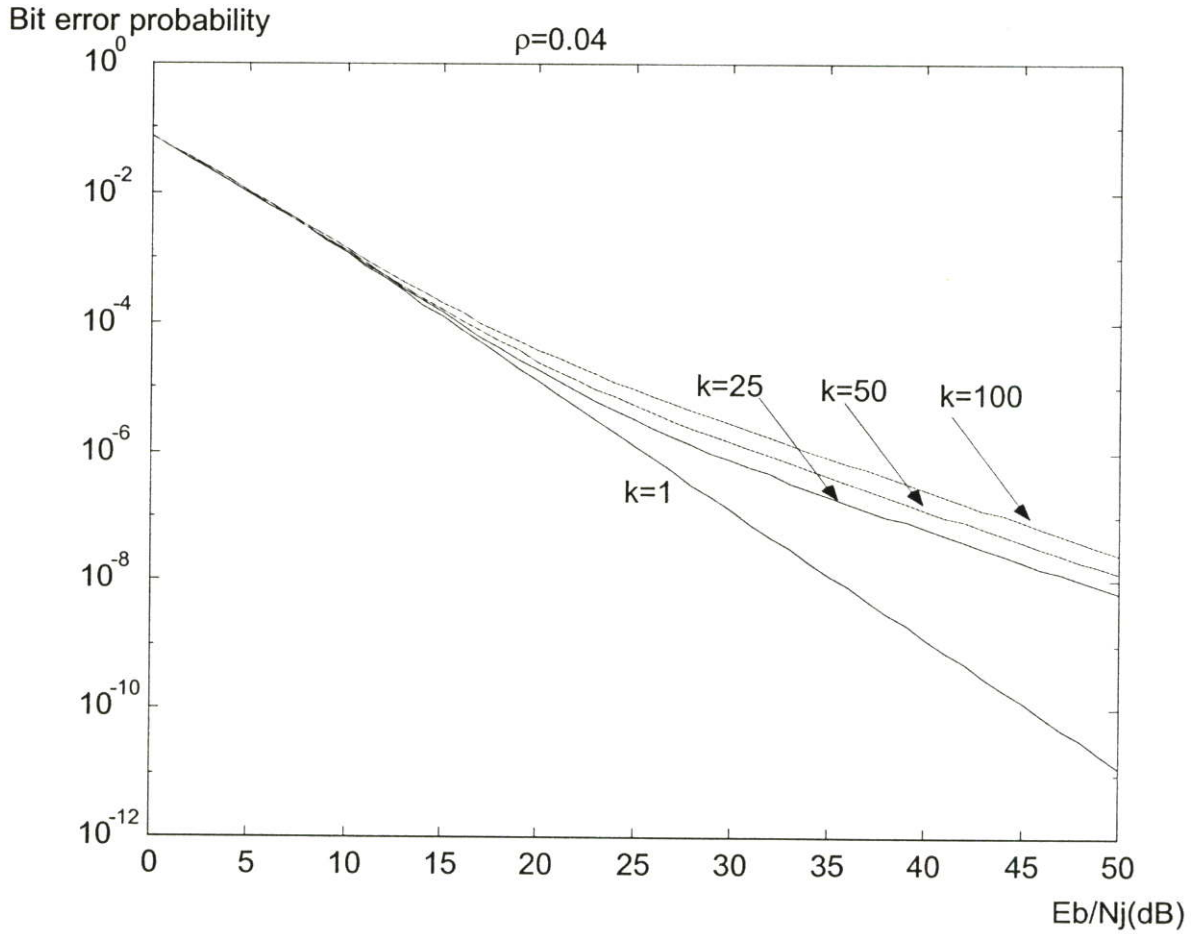
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 750

## 5.2 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ )

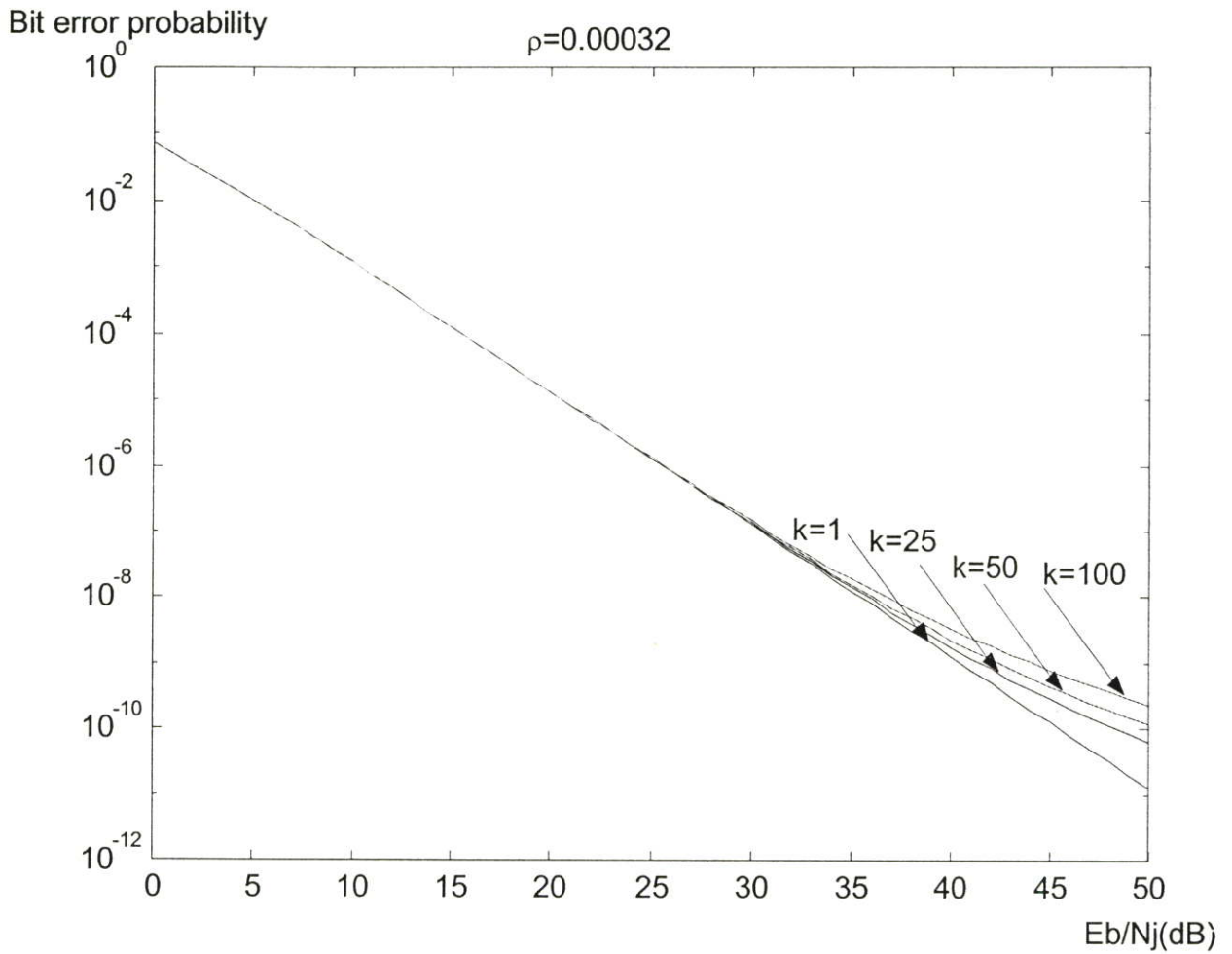
5.2.1 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 1, 0.04, 0.00032 จะสังเกตได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบที่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Jamming) มีค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 1



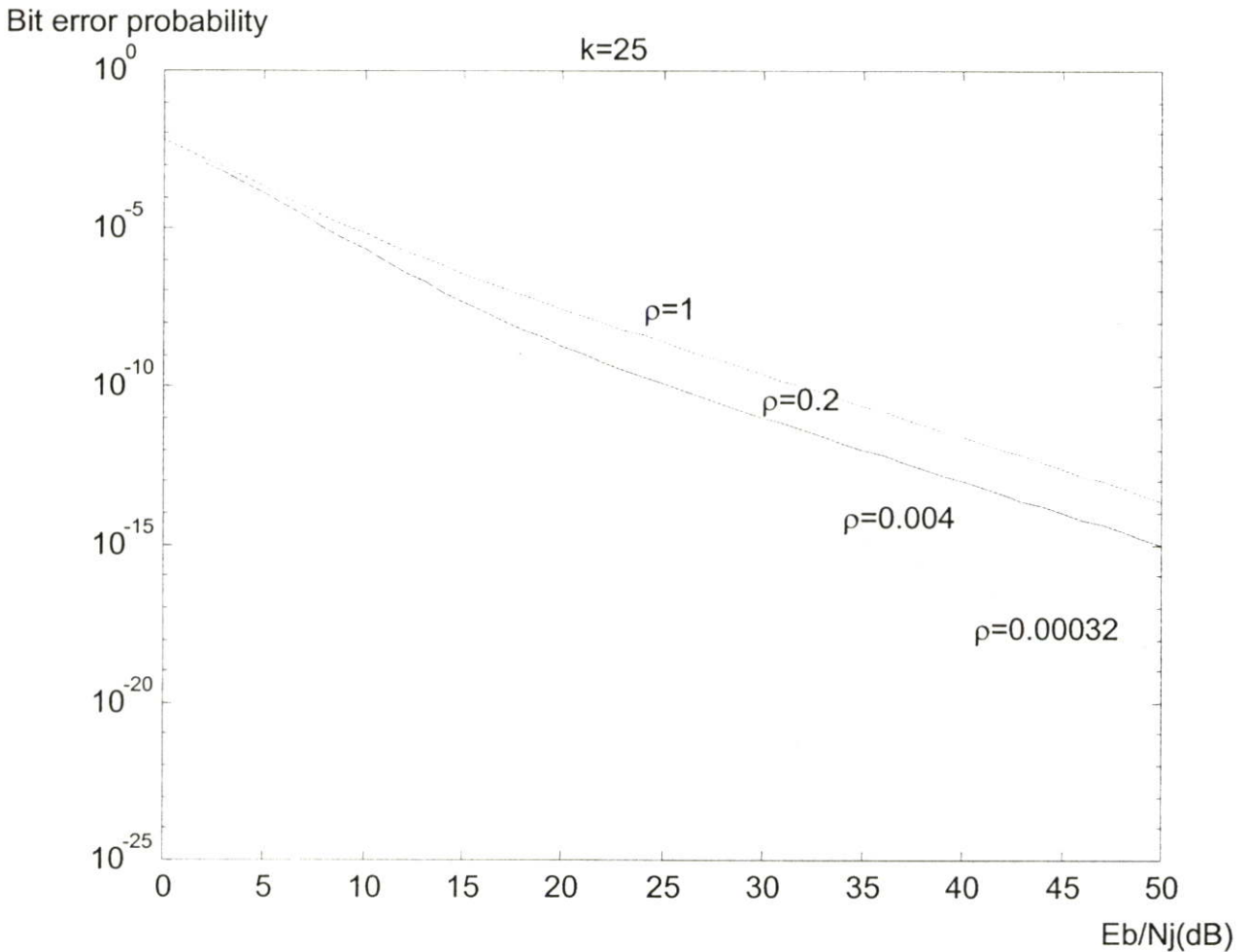
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.04



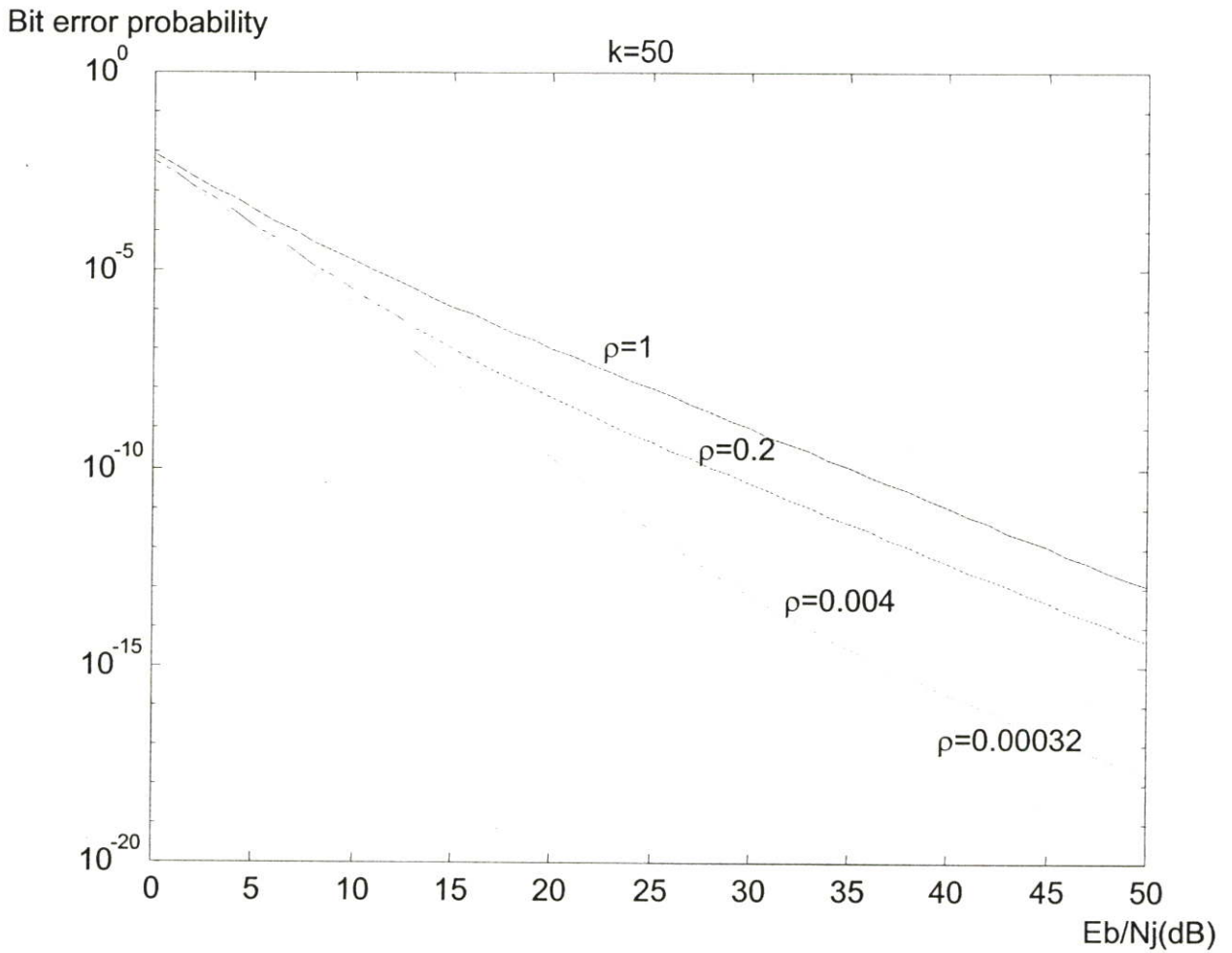
**รูปที่ 5.8** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.00032

### 5.3 ผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก

5.3.1 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ของระบบที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25,50,100,500,750 โดยการพิจารณาผลของ  $\rho$  ซึ่งเป็นค่า Duty factor จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อค่า Duty factor มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้น

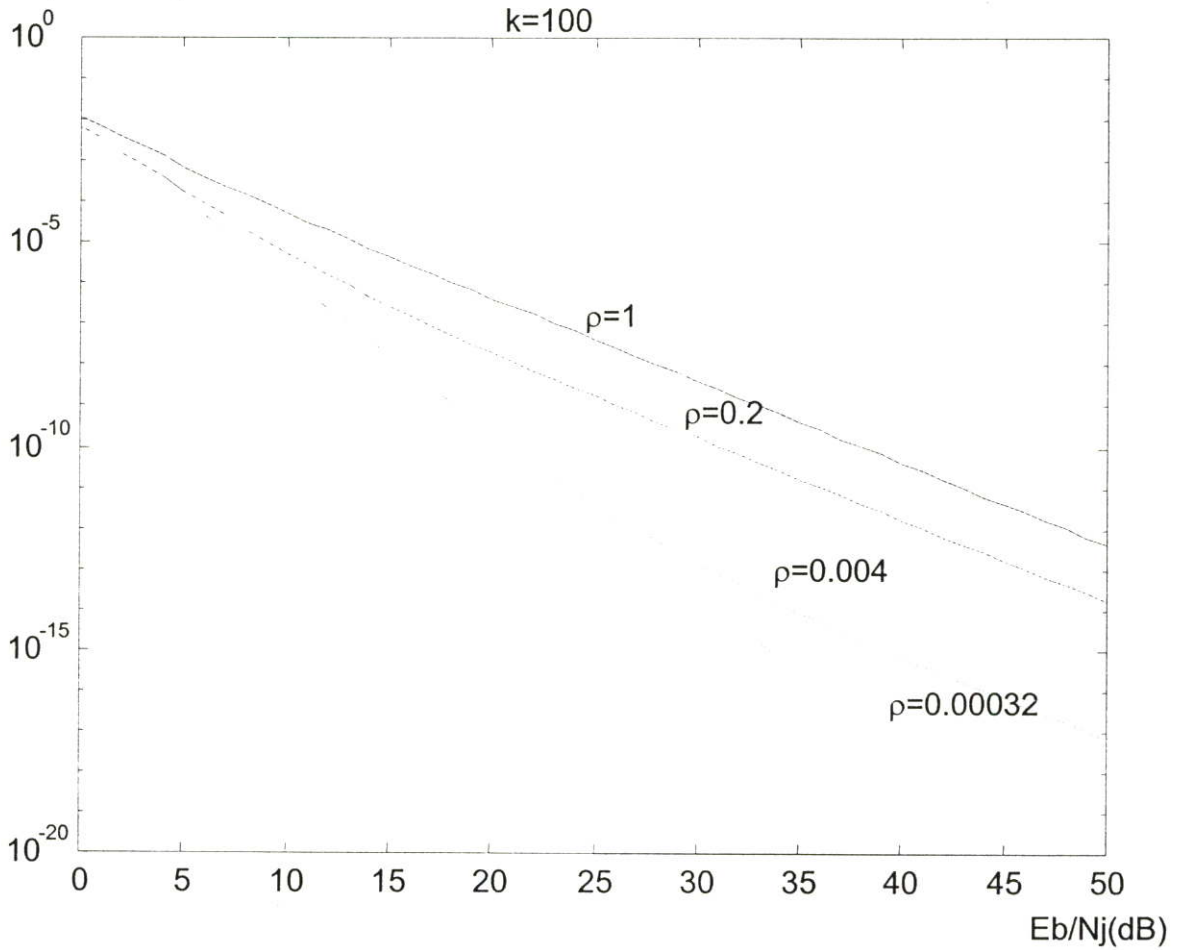


รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25

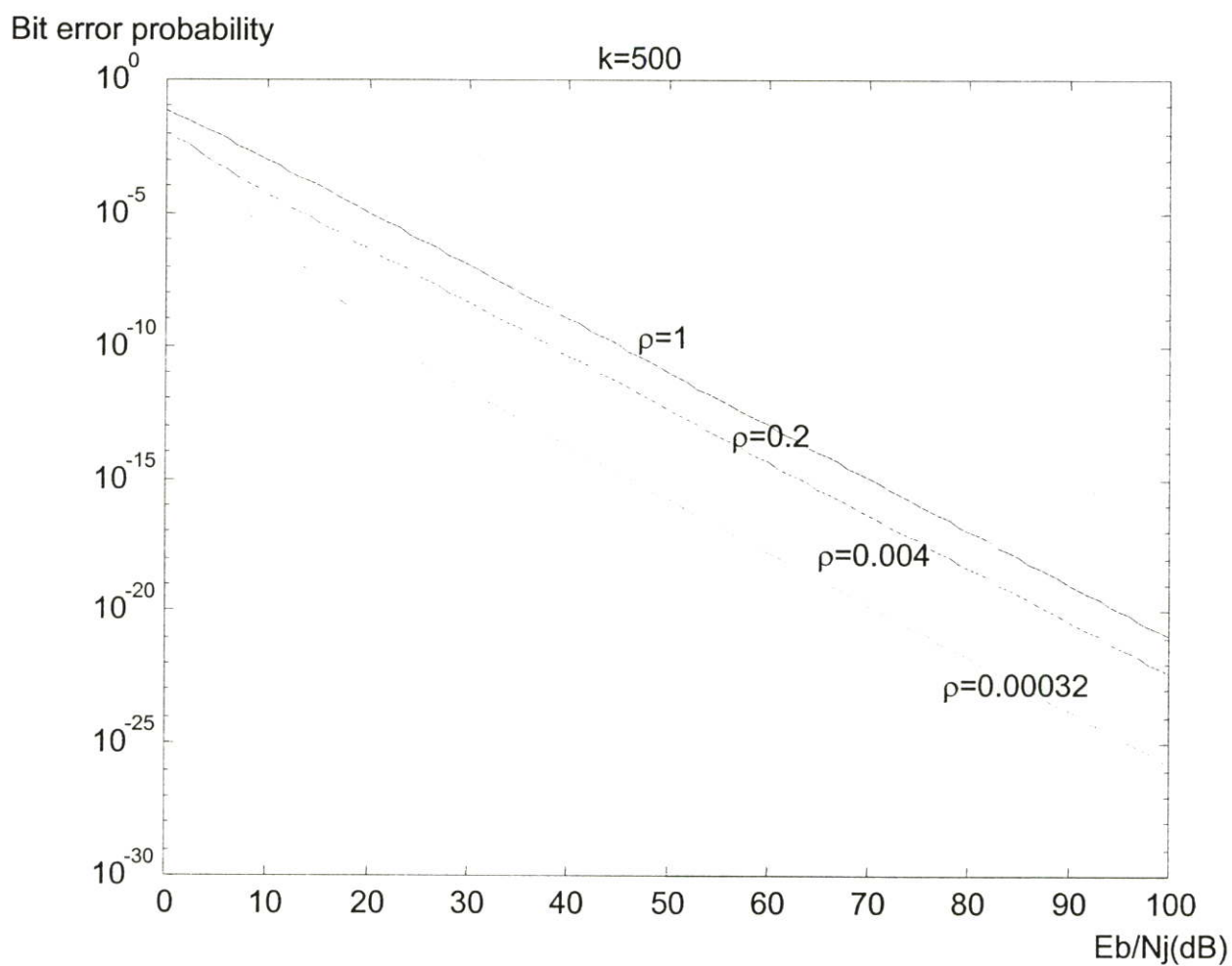


รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกโดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 50

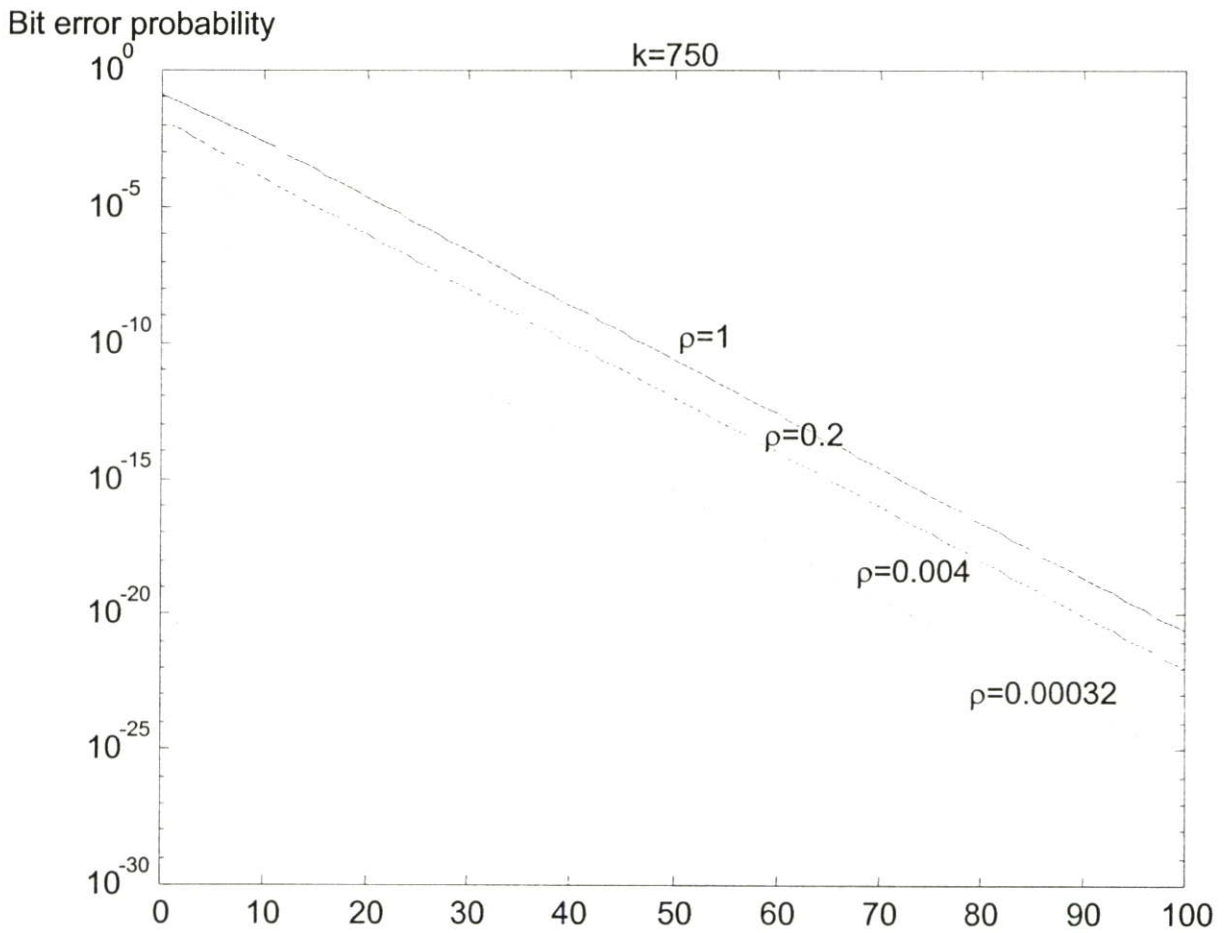
Bit error probability



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 100



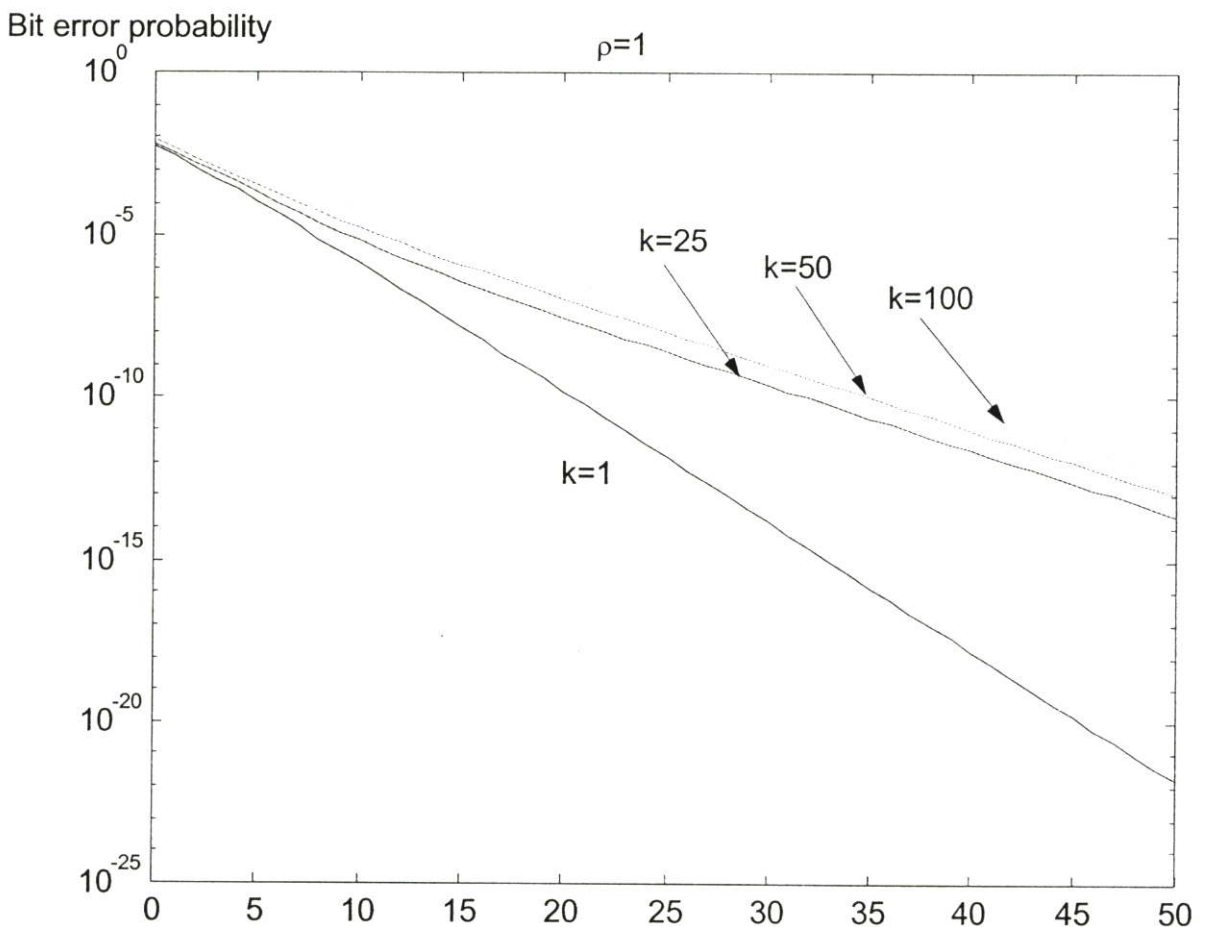
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 500



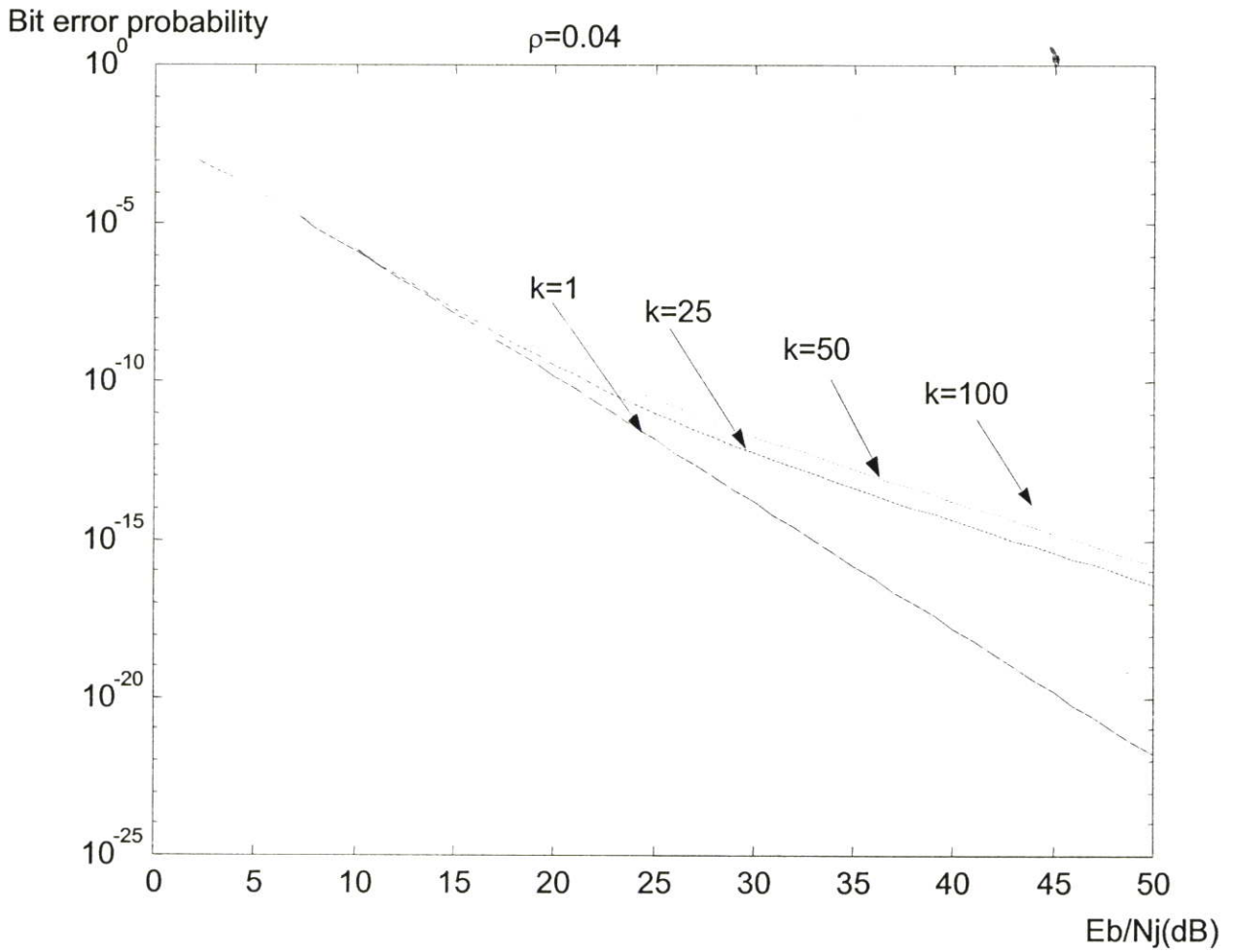
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 750

#### 5.4 ผลของตัวแปร Duty factor ( $\rho$ ) ต่อระบบที่มีการเข้ารหัสบล็อก

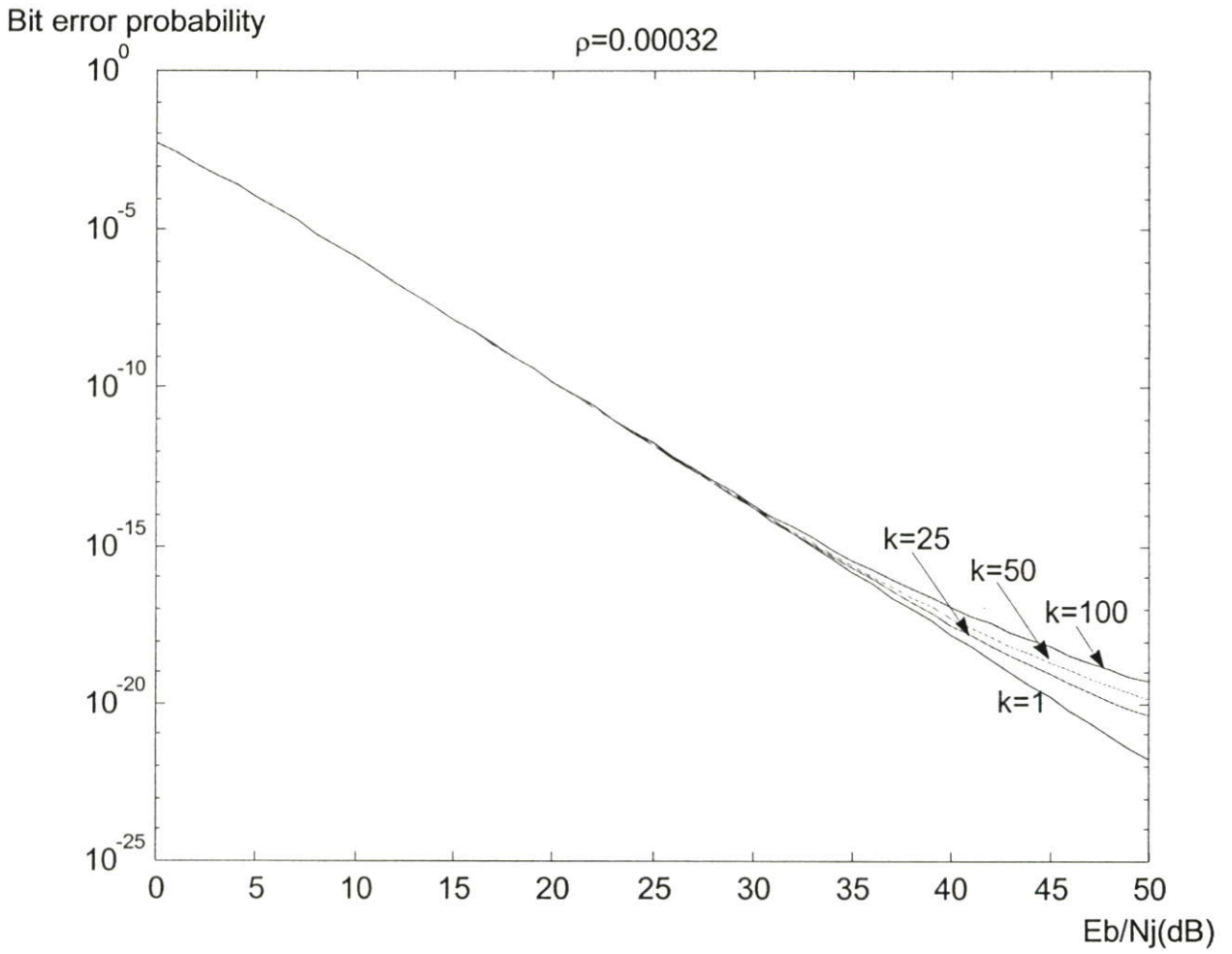
5.4.1 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ของระบบที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 1, 0.04, 0.00032 จะสังเกตได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบที่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Jamming) มีค่าอัตราการผิดพลาดของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 1



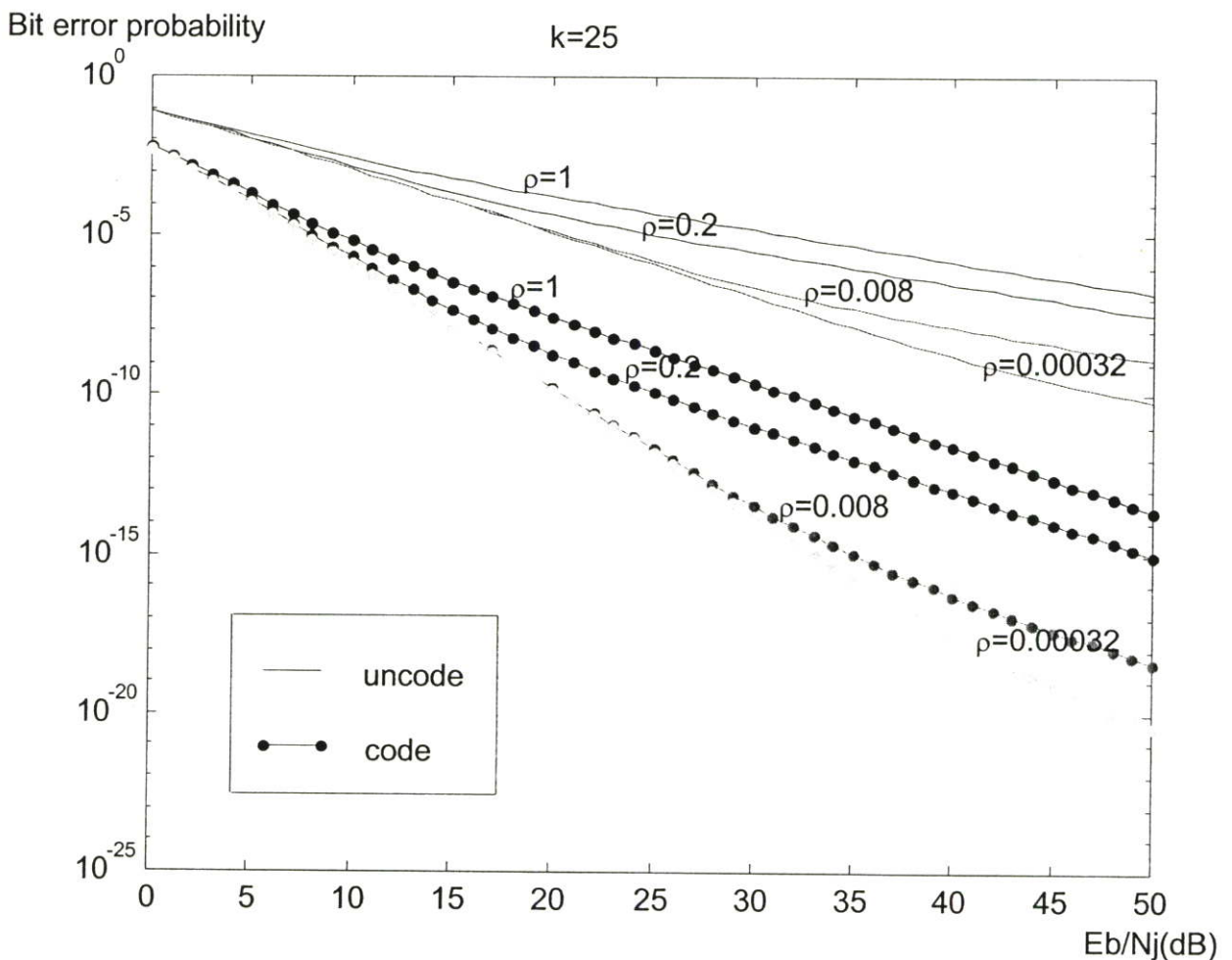
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.04



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jammingที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อก โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ 0.00032

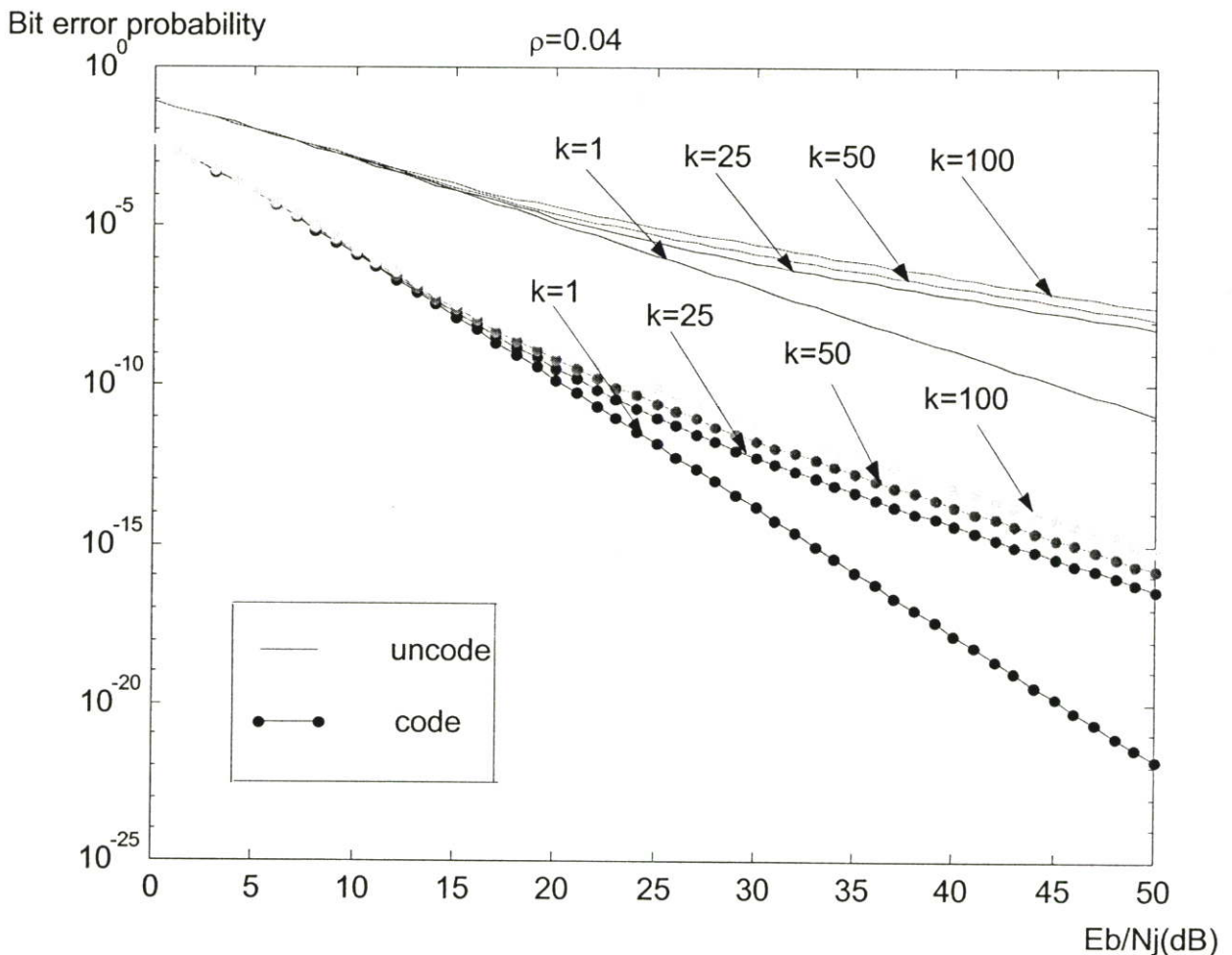
## 5.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสกับระบบที่เข้ารหัสบล็อก

5.5.1 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 25 โดยการพิจารณาผลของ  $\rho$  ซึ่งเป็นค่า Duty factor จะสังเกตเห็นได้ว่าระบบที่ทำการเข้ารหัสจะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่ต่ำกว่าซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้นเมื่อมีการเข้ารหัส



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยมีตัวแปรเสริม  $N=127$ ,  $K=25$  โดยมีค่า Duty factor เท่ากับ  $[1, 0.2, 0.004, 0.00032]$  ตามลำดับ

5.5.2 จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming โดยการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสโดยมีค่า Duty factor ( $\rho$ ) เท่ากับ 0.04 โดยการพิจารณาผลของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ จะสังเกตเห็นได้ว่าระบบที่ทำการเข้ารหัสจะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่ต่ำกว่าซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้นเมื่อมีการเข้ารหัส



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนของระบบที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ที่มีการเข้ารหัสแบบบล็อกเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยมีตัวแปรเสริม  $N=127$ ,  $\rho=25$  โดยมีจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ [1,25,50,100]ตามลำดับ

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย

ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งรหัส (CDMA) เป็นระบบที่มีคุณสมบัติสามารถแยกสัญญาณรบกวนออกไปได้ และป้องกันการดักฟัง ทำให้ข้อมูลมีความปลอดภัย ซึ่งระบบดังกล่าวมีอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่นิยมและวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการศึกษาได้แก่ วิธีจัดลำดับโดยตรง หรือ Direct Sequence CDMA (DS-SS) โดยระบบที่ทำการศึกษานี้จะประกอบด้วย เครื่องส่ง ช่องสัญญาณ และเครื่องรับ โดยเครื่องส่งจะประกอบด้วยลำดับข้อมูล และทำการคูณด้วยลำดับรหัสแบบสุ่มเทียม ซึ่งมีรูปแบบเป็นเลขฐานสอง สัญญาณที่ได้จะนำไปมอดูเลตเพื่อส่งข้อมูลให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้น และมีความปลอดภัยจากสัญญาณรบกวนต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้รูปแบบการมอดูเลตเชิงเลขฐานสอง จากนั้นสัญญาณจะส่งผ่านช่องสัญญาณซึ่งก็คืออากาศ เนื่องจากการสื่อสารจะมีสัญญาณรบกวน ซึ่งกำหนดให้เป็นสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ Rayleigh จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องรับโดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เครื่องรับแบบ Correlator ซึ่งใช้การรวมแบบการรวมอัตราส่วนสูงสุด (MRC) ทำให้อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงสุด โดยที่เครื่องรับแบบ Correlator จะมีตัวชดเชยผลของการประวิงเวลา เฟส และอัตราการลดทอนทางด้านแอมพลิจูด เป็นผลให้การวิเคราะห์ระบบที่ทำการศึกษา จะประกอบด้วยส่วนของสัญญาณและส่วนของสัญญาณรบกวน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ การกวนระหว่างกัน และสัญญาณรบกวนเนื่องมาจากช่องสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก สัญญาณรบกวนแบบ Pulse-noise jamming ในการวิเคราะห์นั้นใช้ตัวแปรเสริมคือ ค่าออร์มัลไลซ์อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนใน 1 บิต ทำการวิเคราะห์ระบบโดยใช้การตีมอดูเลตแบบร่วมนับทำให้ได้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แต่จากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบมีค่ามาก จึงทำการปรับปรุงสมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตของระบบให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยใช้การเข้ารหัสแบบบล็อก (Block code) โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ผลที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่ทำการศึกษาคือระบบที่ไม่เข้ารหัส

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของระบบที่ทำการเข้ารหัสกับระบบที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสพบว่า การเปลี่ยนแปลงตัวแปร Duty factor ( $\rho$ ) ของระบบมีผลกับค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาด โดยตัวแปร Duty factor ( $\rho$ ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดมีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงจำนวนของผู้ใช้งานยังมีผลกับระบบ โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้งานมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดมีค่าเพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ในส่วนที่ 5 ทำการเปรียบเทียบระบบที่ไม่ได้เข้ารหัสกับระบบที่เข้ารหัส พบว่าเมื่อระบบทำการเข้ารหัส ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยสังเกตจากค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณรบกวนที่ค่าเดียวกัน

นอกจากทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนแล้ว ยังทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ใช้งานกับประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนที่ 5 พบว่า ทั้งระบบที่ทำการเข้ารหัสและระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส เมื่อจำนวนผู้ใช้งานมีจำนวนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นเป็นผลให้สัญญาณรบกวนจากผู้ใช้งานคนอื่นมีจำนวนเพิ่มขึ้นด้วย

## บรรณานุกรม

1. G. L. Turin, "The Effects of Multipath and Fading on the Performance of Direct Sequence CDMA Systems," IEEE J. Select Areas Communication., Vol. COMM-35, pp. 1189-1198
2. J. W. Modestino and S.Y.Mui, "Convolutional Code Performance in the Rician Fading Channel," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-24, NO.6, pp.592-606, June 1976.
3. Y. L. Chen and C. H. Wei, "On the Performance of Rate  $\frac{1}{2}$  Convolutional Codes with QPSK on Rician Fading Channels," IEEE Trans. Vehicular Technology., Vol. COMM-39, NO.2, pp.161-170, May 1990.
4. J. Belzile, F. Gagnon and D. Haccoun, "Analysis and performance of Bidirectional Decoding of Convolutional Codes over Fading Channels," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-46, NO.10, pp.1292-1300, Oct 1998.
5. P. J. Crepeau, "Uncoded and Coded Performance of MFSK and DPSK in Nakagami Fading Channels," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-40, NO.3, pp.487-493, Mar 1992.
6. J. G. Proakis, Digital Communications. New York; McGraw Hill, 1995.
7. N. Nakagami, "The m-distribution a general formula for intensity distribution of rapid fading," in Statistical Method in Radio Wave Propagation, W.G.Hoffman, Ed. Oxford, England : Pergamon, pp.3-36, 1960.
8. G. Efthymoglou and V. Aalo, "Performance analysis of Coherent DS-SS Systems in a Nakagami Fading Channel with Arbitrary Parameters," IEEE Trans. Vehicular Technology., Vol.46, No.2, pp.289-297, May 1997.
9. M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communication-Part I: System Analysis," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-25, pp.795-799, 1977.
10. E. Thomas and L. B. Milstein, "Coherent DS-SS Performance in Nakagami Multipath Fading," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-43, No.2/3/4, pp.1134-1143, 1995.
11. E. K. Al-Hussaini and A. M. Al-Bassiouni, "Performance of MRC Diversity Systems for the Detection of Signals with Nakagami fading," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-33, pp.1315-1319, 1985.

12. I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Table of Integrals Series and Products; Academic Press Inc, 1980.
13. A. H. Wojnar, "Unknown bounds on performance in Nakagami channels," IEEE Trans. Communication., Vol. COMM-34, pp.22-24, 1986.
14. A. J. Viterbi, Principles of Digital Communication and Coding, New York; McGraw Hill, 1979.
15. K. H. Li, "Computing Weight Spectra of Convolutional Codes with MAPLE," Proc. ICCS/ISITA, Singapore 1992.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก

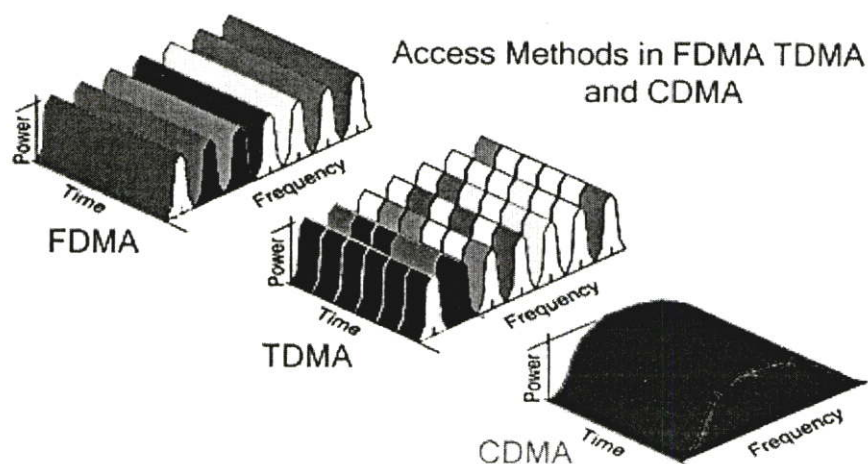
ก.CDMA

## CDMA คืออะไร

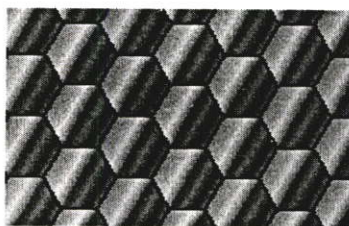
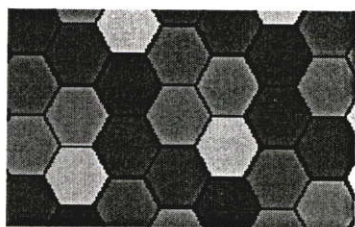
CDMA (Code Division Multiple Access) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหนึ่งซึ่งข้อมูลที่ส่งออกมาจากสถานีฐานจะประกอบด้วยข้อมูลของผู้ใช้หลายคน ในระบบ CDMA นี้ผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับ code ชุดหนึ่งที่ไม่เหมือนกับ code ของผู้ใช้คนอื่น เมื่อใช้ code ดังกล่าวถอดรหัสสัญญาณจากสถานี ฐานทำให้ผู้ใช้แต่ละคนได้รับข้อมูลในส่วนของตัวเองได้

## หลักการของCDMA

เมื่อเราพิจารณาถึงหลักการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบ FDMA(Frequency Division Multiple Access) ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูล ระบบ TDMA(Time Division Multiple Access) ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่และใช้ช่วงเวลาที่กำหนดในการส่งข้อมูล และสำหรับระบบ CDMA ผู้ใช้จะใช้ช่วงความถี่ทั้งหมดและไม่จำกัดช่วงเวลาโดย ส่ง/รับข้อมูลโดยการเข้า/ถอดรหัส เปรียบเทียบลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่างๆตามรูปข้างล่าง



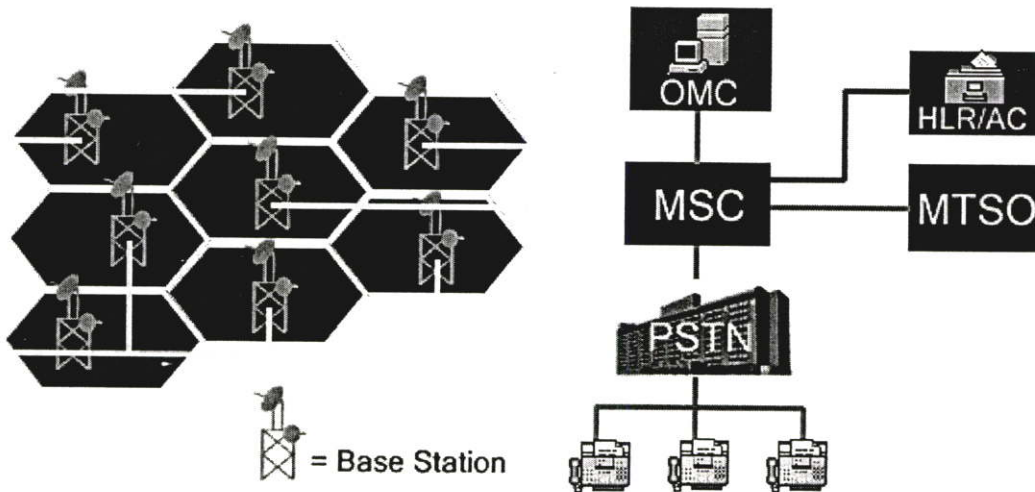
## Frequency Reuse



สำหรับระบบ TDMA และ FDMA จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณขนาดหนึ่งหรือที่เรียกว่า cell โดย cell ที่ติดกันจะใช้ความถี่ไม่เหมือนกัน ขณะที่ระบบ CDMA ทุก cell จะใช้ความถี่ทั้งหมดเหมือนกันดัง รูป ด้านขวา ตามหลัก multiple access ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

## CDMA Network

รูปข้างล่างนี้แสดงCDMA Cellular Networkทั่วไป base stationแต่ละที่จะดูแลcellของมัน(ในที่นี้เป็นรูป6เหลี่ยม) โดยที่base stationจะถูกควบคุมโดยbase station controller(BSC)อีกที จากBSCก็จะไปเชื่อมต่อกับMobile Switching Center(MSC)ซึ่งดูแลการสวิทซ์ทั้งหมดนั่นคือเชื่อมต่อคู่สายระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์2คนเข้าด้วยกันทั้งเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่2เครื่อง หรือเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ตามบ้าน MSCจะมีฐานข้อมูลอยู่เรียกว่าHome Location Register/Authentication Center (HLR/AC) HLRจะเก็บข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดขณะที่ACจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สำหรับOperation and Maintenance Center(OMC)จะควบคุมและดูแลการประสานงานnetworkทั้งหมด และหากเป็นการติดต่อไปยังโทรศัพท์บ้านMSCจะติดต่อผ่านทางPublic Switched Telephone Network(PSTN)

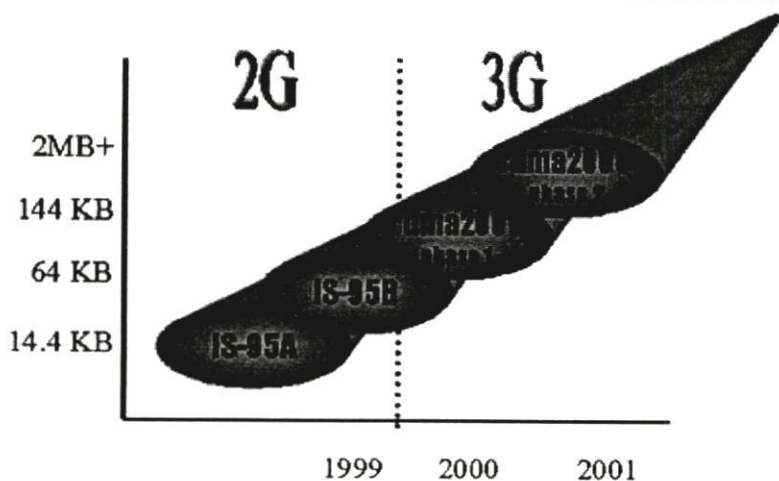


## IS-95

เป็นมาตรฐานของ mobile และ base station สำหรับ dual-mode wideband spread spectrum มาตรฐานนี้นำมาใช้งานในประเทศอเมริกากับ 800 MHz cellular bands ต่อมาดัดแปลงมาใช้กับ Personal communications service(PCS) 1900 MHz มาตรฐานนี้เสนอโดยบริษัท Qualcomm ซึ่งได้รับความร่วมมือจาก AT&T, Motorola และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง IS-95 เป็น direct-sequence CDMA ที่ผู้ใช้แต่ละคนจะมี pseudorandom code ที่ไม่เหมือนกัน ปี 1988, The Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) กำหนด User's Performance Requirements (UPR) สำหรับ cellular carrier's ในระบบ cellular ยุคต่อไป ซึ่ง IS-95 สามารถตอบสนองต่อข้อกำหนดต่างๆ ได้ ข้อกำหนดต่างๆเหล่านี้ได้แก่

- Ease of transition and compatibility with existing analog system
- Early availability and reasonable costs for dual-mode radios and cells
- Substantial capacity increase over analog system capacity
- Privacy
- Long life adequate growth of second-generation technology
- Quality improvements (voice quality, service quality in terms of dropped calls, constant voice quality level, etc.)
- Ability to introduce new features easily

ในการใช้งานข้อกำหนดที่สำคัญมากและทำให้ CDMA เป็นที่ยอมรับเพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงคือ Dual-mode operation ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ CDMA channel ในช่วงความถี่ของ AMPS เมื่อผู้ใช้เปิดเครื่อง เครื่องลูกข่ายจะหา CDMA control channel ถ้าเจอก็จะเริ่มสื่อสาร โดยใช้ CDMA protocol ถ้าไม่เจอก็จะหา AMPS control channel และสื่อสาร โดยใช้ระบบ AMPS แทน



### cdmaOne Evolution Timeline

รูปข้างบนแสดงการประมาณการก้าวหน้าของระบบ CDMA โดยมีการเปลี่ยนมาตรฐานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยพิจารณาได้จากอัตราการรับส่งข้อมูล ซึ่งมีผลทำให้ CDMA สามารถเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในยุค 3G ได้อย่างเหมาะสมในที่สุด

### Spread Spectrum

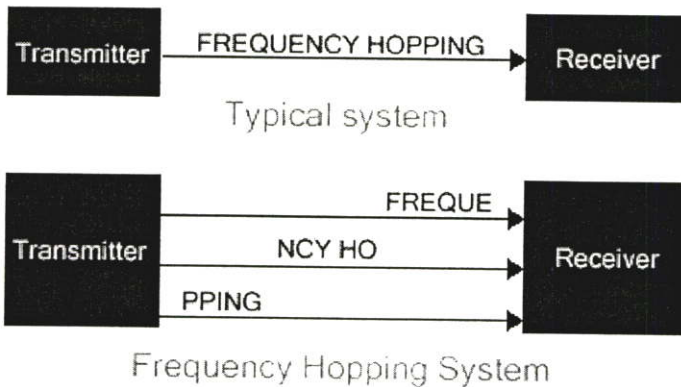
ระบบ TDMA และ FDMA จะใช้วิธีการจัดสรรคลื่นความถี่เป็นช่วงความถี่แคบๆ สำหรับผู้ใช้แต่ละคน ในขณะที่ Spread Spectrum systems ข้อมูลจะถูกส่ง (spread) ผ่าน very wide channel พร้อมกับ user คนอื่นๆ เมื่อพิจารณาที่ผู้ใช้แต่ละคนจะถือว่าสัญญาณของ user คนอื่นเป็น Interference ดังนั้นจึงไม่จำกัดจำนวน subscriber (เครื่องลูกข่าย) ขึ้นอยู่กับว่าต้องการ Quality of service เท่าใด การทำสเปคสเปกตรัมยุคแรกๆ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาใช้ทางด้านการทหารสำหรับป้องกันการรบกวน

ของ

ศัตรู(enemy jamming) แต่ปัจจุบันนำมาใช้ทาง commercial การทำสเปคตรัมที่นิยมใน ปัจจุบันมี 2 วิธีคือ Frequency hopping และ Direct-sequence

### Frequency-hopping spread spectrum

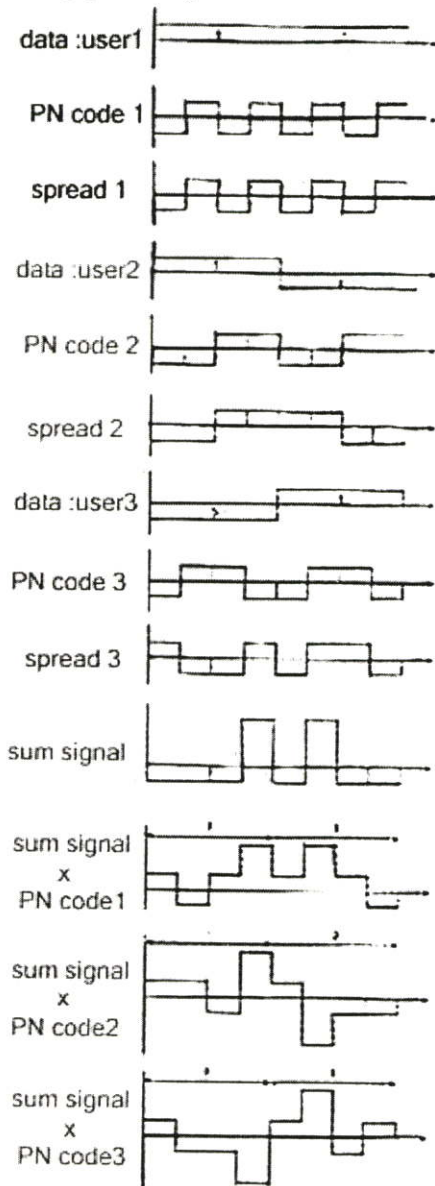
การ Jamming สามารถทำได้โดยส่ง noise ที่มีกำลังสูงไปที่ความถี่ใดๆ ทำให้ที่ความถี่นั้น ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ซึ่งสามารถ ป้องกันได้โดยส่งข้อมูลเป็นลักษณะ packet ที่ความถี่หนึ่ง สำหรับ packet ต่อมาก็ส่งอีกความถี่หนึ่ง เป็นลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่ลำดับการเลือก ความถี่จะเป็นไปตาม pseudorandom sequence เรียงลำดับนี้ว่า Frequency- hopping sequence โดยที่ลำดับ ของ user แต่ละคนจะไม่เหมือนกัน แสดงลักษณะการส่ง ข้อมูลดังรูปข้างๆ



### Direct-sequence spread spectrum

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงแนวคิดพื้นฐานของการทำสเปคตรัมแบบ Direct-sequence แบบง่ายเพื่อให้เข้าใจระบบ CDMA สมมติระบบที่เราสนใจมีผู้ใช้ 3 คน แต่ละคนได้รับชุด PN code ที่แตกต่างกัน ก่อนที่ผู้ใช้แต่ละคนจะส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลออกจะนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปสเปคตรัมโดยการนำบิตข้อมูล ไปคูณกับชุด โคด PN ของตนเองทำให้มี bit rate สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลที่ส่งจะมรอัตราการส่งสูง กว่าข้อมูลจริงมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการสเปคตรัม(spread spectrum) และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ดังที่แสดงในรูป สมมติให้ผู้ใช้หมายเลข 1, 2 และ 3 ส่งข้อมูล 11, 10 และ 01 ตามลำดับ สัญญาณที่ทำการสเปคแล้ว ทั้ง 3 สัญญาณนี้จะถูก ส่งออกไปบนคลื่นความถี่เดียวกัน ซึ่งหมายความว่าที่ภาครับจะได้รับสัญญาณที่เป็นผลรวมของ 3 สัญญาณรวมกัน สำหรับขั้นตอนในการแยกสัญญาณแต่ละคนสามารถทำได้โดยนำ PN code ของตัวเอง ไปคูณกับสัญญาณที่รับได้และบวกระดับสัญญาณแต่ละ chip จนเท่ากับความยาวของบิตข้อมูลเดิม (ตามรูปคือ 4 บิต) โดยที่ผลรวมระดับสัญญาณจะบอกถึงข้อมูล นอกจากนี้สัญญาณที่

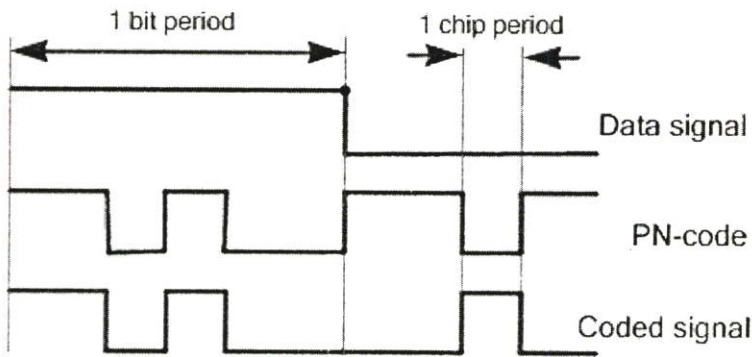
spread ออกด้วย PN code ชุดหนึ่งจะไม่สามารถ despread ออกด้วย PN code ชุดอื่น ซึ่งทำให้เราสามารถส่ง สัญญาณของผู้ใช้หลายคนลงบนคลื่นพาห้ความถี่เดียวกันได้



Example of spread spectrum

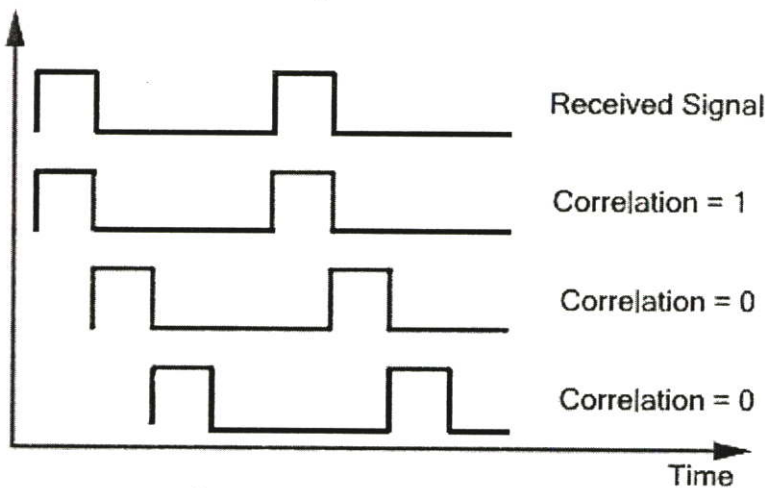
### Chip Rate

เมื่อนำข้อมูลที่มี bit rate ค่าหนึ่ง มาคูณกับ PN code จะทำให้สัญญาณใหม่ที่ได้มี bit rate สูงขึ้น และเรียก bit rate ใหม่ที่สูงขึ้นนี้ว่า Chip rate โดยที่  $\text{Chip rate} = 1/\text{Chip period}$



### Correlation

เป็นตัววัดว่าสัญญาณที่ได้รับมา "Match" กับสัญญาณที่ต้องการมากขนาดไหน หาก correlation=1 แสดงว่า received signal กับ desired signal นั้น Match กันพอดี และ correlation นี้จะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไปตามรูป

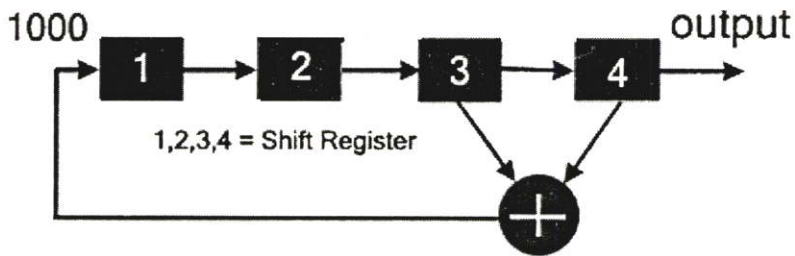


นำความสัมพันธ์นี้ไปใช้ในระบบ CDMA ได้เช่น ใช้ Shift register จำนวน 15 ตัว ในการสร้าง code ที่มีคาบยาวเท่ากับ 32,768 chips (2ยกกำลัง15 แล้วลบด้วย 1) สถานีฐานแต่ละแห่งจะใช้วงจรสร้าง code แบบเดียวกันแต่จะมีการเลื่อนchipของลำดับสัญญาณออกไปทีละ64chip ดังนั้นจะมีcodeที่แตกต่างกันสำหรับใช้งานได้ทั้งหมด  $32,768/64=512$  ชุดสำหรับใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้มากถึง 512 แห่ง เมื่อนำสัญญาณที่รับได้มาหา correlation กับ code ที่มีก็จะรู้ว่าเป็นสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐานใด

### Generate Code

รูปข้างล่างแสดงวงจรการสร้างcode โดยใช้shift register 4ตัวและวงจรวกเลขฐาน2 วงจรนี้สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ 15chip(2ยกกำลัง4 แล้วลบด้วย1) เมื่อให้ค่าเริ่มต้นของshift register แต่ละตัวเท่ากับ0 และInputเท่ากับ 0 0 0 และ 1 ตามลำดับ จะได้ชุดcodeทั้งหมด15ชุดตามตาราง

Input sequence begin with 0 and follow by 0,0,1



จำนวนchip ที่เลื่อนออกจากกัน

ลำดับสัญญาณ(Output)

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

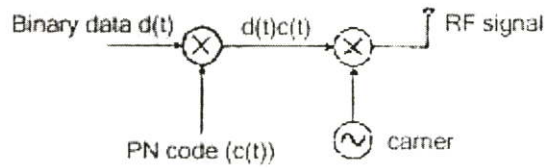
### Processing gain

กำหนดให้มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างอัตราบิตข้อมูลของcode PN ต่ออัตราส่งข้อมูลจริง

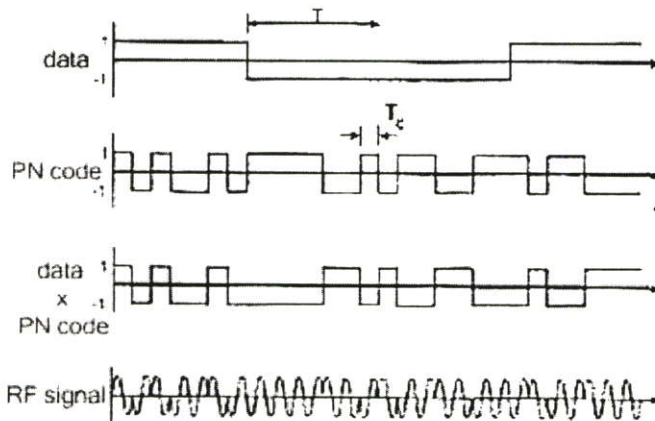
วงจรรหัสส่งของระบบ Direct Sequence ที่ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK

สามารถทำได้โดยนำข้อมูล  $d(t)$  มาสเปกตรสเปกตรัมสัญญาณ โดยคูณกับ โค้ด PN  $c(t)$

แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตแบบBPSK โดยใช้คลื่นพาห้ความถี่สูง



Direct Sequence RF signal generated Circuit with BPSK modulator



### วงจรรหัสรับของระบบ Direct Sequence ที่ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK

ในการดึงสัญญาณข้อมูล  $d(t)$  ออกมาจากสัญญาณ RF ที่รับได้และสัญญาณนี้จะมี Propagation delay ( $t$ ) ค่าหนึ่ง สามารถ despread ได้โดยนำ  $c(t-t)$  มาคูณกับสัญญาณที่รับได้ จากนั้นนำไป คีมอดูเลเตอร์ โดยผ่านวงจรคูณและวงจรอินทิเกรเตอร์ ให้สังเกตว่าวงจรรหัสรับจะต้องประมาณ ค่า delay time ให้ใกล้เคียงที่สุด



ภาคผนวก  
ข. โปรแกรม

\*\*\*\*\*

### โปรแกรมส่วนของระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส

\*\*\*\*\*

โปรแกรมของระบบที่ไม่ได้เข้ารหัส โปรแกรมประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมและโปรแกรมหลัก จะประกอบด้วยฟังก์ชัน โปรแกรมย่อย 7 โปรแกรม

จากสมการ

$$\overline{P_e} = \left[ \frac{(1-\rho)}{2\sqrt{\pi}Eb_0} * \frac{\sigma_{01}^{1/2}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{01} + \frac{\sigma_{01}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right]$$

$$\left[ \frac{(\rho)}{2\sqrt{\pi}Eb_0} * \frac{\sigma_{02}^{1/2}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{02} + \frac{\sigma_{02}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right]$$

\*\*\*\*\*

1. โปรแกรมหลักที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพลังงานต่อความหนาแน่น สัญญาณรบกวนใน 1 บิตกับความน่าจะเป็นของอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ย

#### 1.1 ส่วนของการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

N = กำหนดค่าอัตราการขยายประมวลผล

K = จำนวนผู้ใช้งาน

Ebdb = กำหนดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในหน่วย dB

$\rho$  = ค่าตัวแปร (Duty factor)

#### 1.2 ส่วนของการคำนวณโปรแกรมหลัก

n=127;

k=[1,25,50,100];

$\rho$ =[1,0.2,0.004,0.00032];

u=3/2;

p=1;

q=1/2;

g=GAMMA(u);

Ebdb=[0:50];

```

Pb=zeros(1,51);
for i=1:51
    Ebo(i)=10^(Ebdb(i)/10);
end
% off jamming
for i=1:51
    z1(i)=sigma01(Ebo(i),k,n);
end
for i=1:51
    b(i)=x(Ebo(i));
end
for i=1:51
    f(i)=hyper(b(i),p,q);
end
for i=1:51
    w1(i)=((1-ρ)/(2*Ebo(i)*sqrt(pi)))*one(z1(i),Ebo(i),g,f(i));
end
% on jamming
for i=1:51
    z2(i)=sigma02(Ebo(i),k,n, ρ);
end
for i=1:51
    b1(i)=x1(Ebo(i));
end
for i=1:51
    f1(i)=hyper1(b1(i),p,q);
end
for i=1:51
    w2(i)=(( ρ)/(2*Ebo(i)*sqrt(pi)))*two(z2(i),Ebo(i),g,f1(i));
end
Pb=(w2+w1);

```

semilogy(Ebdb,Pb,'b')

hold on;

1.2.1 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\frac{\sigma_{01}^{1/2}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{01} + \frac{\sigma_{01}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1})]$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
function a=one(z1,Ebo,g,f)
    a1=((z1)^(1/2))*(g);
    a2=(((z1)^(1))+(((z1)^(1))/(Ebo)))^(3/2);
    a3=f;
    a=(a1)*(a3)/(a2);
end
```

โดย  $z1 = \sigma_{01}$

$f(i) = \text{hyper}(b(i),p,q);$  'เรียกใช้ฟังก์ชัน Hyper

1.2.2 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\frac{\sigma_{02}^{1/2}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{02} + \frac{\sigma_{02}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1})]$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
function a=two(z2,Ebo,g,f1)
    a1=((z2)^(1/2))*(g);
    a2=(((z2)^(1))+(((z2)^(1))/(Ebo)))^(3/2);
    a3=f1;
    a=(a1)*(a3)/(a2);
```

end

โดย  $z_2 = \sigma_{02}$

$F1(i) = \text{hyper1}(b1(i),p,q);$  'เรียกใช้ฟังก์ชัน Hyper

### 1.2.3 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\sigma_{01} = \left[ \frac{2}{3N} (k-1) + \frac{N_0}{Eb} \right]^{-1}$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
%Program Zigma01
function a=zigma01(Ebo,k,n)
    a=0;
    a1=2*(k-1)/(3*n);
    a2=1/Ebo;
    a=(a1+a2)^(-1);
end
```

### 1.2.4 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\sigma_{02} = \left[ \frac{2}{3N} (k-1) + \frac{N_j}{\rho Eb} \right]^{-1}$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
% Program Zigma02
function a=zigma02(Ebo,k,n,\rho)
    a1=Ebo;
    a2=((2*(k-1)/(3*n))+1/(a1*\rho));
    a =(a2)^(-1);
end
```

### 1.2.5 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน ฟังก์ชัน Hyper จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
function a=hyper(b,p,q)
    a1=(1/b);
    a2=(1-b)^(-1/2);
    a3=BETAINC(b,p,q);
```

```

a=(a1)*(a2)*(a3);
end

```

### 1.2.6 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน ฟังก์ชัน Hyper1 จาก โปรแกรมย่อยดังนี้

```

function a=hyper1(b1,p,q)
a1=(1/b1);
a2=(1-b1)^(-1/2);
a3=BETAINC (b1,p,q);
a=(a1)*(a2)*(a3);
end

```

### 1.2.7 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\left(\frac{1}{Eb_0 + 1}\right)$$

จาก โปรแกรมย่อยดังนี้

```

function a=x(Ebo)
a=(1/((Ebo)+1));
end

```

\*\*\*\*\*

### โปรแกรมส่วนของระบบที่เข้ารหัส

\*\*\*\*\*

โปรแกรมของระบบที่เข้ารหัส โปรแกรมประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมและโปรแกรมหลักจะประกอบด้วยฟังก์ชันโปรแกรมย่อย 2 โปรแกรม

จากสมการ.

$$\bar{P}_e = \left[ \frac{(1-\rho)}{2\sqrt{\pi}Eb_0} * \frac{\sigma_{01}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{01}^2 + \frac{\sigma_{01}^2}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right]$$

$$\left[ \frac{(\rho)}{2\sqrt{\pi}Eb_0} * \frac{\sigma_{02}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{02}^2 + \frac{\sigma_{02}^2}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1\left(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1}\right) \right]$$

2. โปรแกรมหลักที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพลังงานต่อความหนาแน่นสัญญาณรบกวนในบิตกับความน่าจะเป็นของอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ย

#### 2.1 ส่วนของการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

N = กำหนดค่าอัตราขยายประมวลผล

K = จำนวนผู้ใช้งาน

Ebdb = กำหนดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในหน่วย dB

$\rho$  = ค่าตัวแปร (Duty factor)

#### 2.2 ส่วนของการคำนวณโปรแกรมหลัก

n=127;

k=[1,25,50,100];

$\rho$ =[1,0.2,0.004,0.00032];

u=3/2;

p=1;

q=1/2;

g=GAMMA(u);

Ebdb=[0:50];

Pb=zeros(1,51);

for i=1:51

```

Ebo(i)=10^(Ebdb(i)/10);
end
% off jamming
for i=1:51
    z1(i)=zigma01(Ebo(i),k,n);
end
for i=1:51
    b(i)=x(Ebo(i));
end
for i=1:51
    f(i)=hyper(b(i),p,q);
end
for i=1:51
    w1(i)=((1-ρ)/(2*Ebo(i)*sqrt(pi)))*one(z1(i),Ebo(i),g,f(i));
end
% on jamming
for i=1:51
    z2(i)=zigma02(Ebo(i),k,n, ρ);
end
for i=1:51
    b1(i)=x1(Ebo(i));
end

for i=1:51
    f1(i)=hyper1(b1(i),p,q);
end
for i=1:51
    w2(i)=(( ρ)/(2*Ebo(i)*sqrt(pi)))*two(z2(i),Ebo(i),g,f1(i));
end
Pb=(w2+w1);
semilogy(Ebdb,Pb,'r')
hold on;

```

### 2.2.1 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\frac{\sigma_{01}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{01}^2 + \frac{\sigma_{01}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1})]$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
function a=one(z1,Ebo,g,f)
    a1=((z1)^(1))*(g);
    a2=(((z1)^(2))+((z1)^(2))/(Ebo))^(3/2);
    a3=f;
    a=(a1)*(a3)/(a2);
end
```

โดย  $z1 = \sigma_{01}$

$f(i) = \text{hyper}(b(i),p,q);$  'เรียกใช้ฟังก์ชัน Hyper

### 2.2.2 การคำนวณตามสมการเบื้องต้นในส่วน

$$\frac{\sigma_{02}\Gamma(3/2)}{(\sigma_{02}^2 + \frac{\sigma_{02}}{Eb_0})^{3/2}} {}_2F_1(1, \frac{3}{2}; 2; \frac{1}{Eb_0 + 1})$$

จากโปรแกรมย่อยดังนี้

```
function a=two(z2,Ebo,g,f1)
    a1=((z2)^(1))*(g);
    a2=(((z2)^(2))+((z2)^(2))/(Ebo))^(3/2);
    a3=f1;
    a=(a1)*(a3)/(a2);
end
```

โดย  $z2 = \sigma_{02}$

$F1(i) = \text{hyper1}(b1(i),p,q);$  'เรียกใช้ฟังก์ชัน Hyper

ภาคผนวก  
ค.การเผยแพร่งานวิจัย

1. K. Dejhan, A. Chatimala, A. Trirat, N. Arjrith, F. Cheevasuvit and C. Soonyeeakan  
” Performances Analysis of Coherent DS-CDMA System by Compare Single Tone Jamming and  
Pulse-Noise Jamming” 2001 International Symposium on Communications and Information  
Technology( ISCIT 2001)Proceedings, November 14-16,2001,Chiang Mai,Thailand

## ประวัติผู้เขียน

นายอภิรักษ์ ชาติมาลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ปีการศึกษา 2534 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538

ปัจจุบันทำงานอยู่ที่บริษัทNCR(THAILAND)Limited. ตำแหน่งวิศวกร