

การตัดสินใจล่วงหน้าในเครื่องรับแบบการจัดการแทรกสอดบางส่วนในระบบซีดีเอ็มเอหลายอัตรา  
โดยใช้ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของแมตซ์ฟิลเตอร์



นางสาวณที ประภาวงษ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-xxx-xxx-xxx

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WEIGHT FACTOR DECISION IN PARTIAL INTERFERENCE CANCELLATION RECEIVER IN  
MULTIRATE CDMA SYSTEM USING VARIANCE FROM MATCHED FILTER OUTPUT



Miss Natee Prapavong

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-XXX-XXX-X

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตัดสินใจถ่วงน้ำหนักในเครื่องรับแบบการจัดการแทรกสอดบาง  
ส่วนในระบบซีดีเอ็มเอหลายอัตราโดยใช้ค่าความแปรปรวนจาก  
สัญญาณขาออกของแมตซ์ฟิลเตอร์

โดย

นางสาวณที ประภาวงษ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)

ณที่ ประภาวษ์ : การตัดสินใจตัวถ่วงน้ำหนักในเครื่องรับแบบการจัดการแทรกสอดบางส่วนในระบบซีดีเอ็มเอหลายอัตราโดยใช้ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของแมตซ์ฟิลเตอร์ (Weight Factor Decision in Partial Interference Cancellation Receiver in Multirate CDMA System using Variance from Matched Filter Output) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วาทีต เบญจพลกุล, 193 หน้า. ISBN XXX-XXX-XXX-X.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการปรับปรุงเครื่องรับที่สถานีฐานในระบบที่มีการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราด้วยวิธีเปลี่ยนค่าอัตราแฉซึ่งพบว่าจะเกิดผลคล้ายปรากฏการณ์ใกล้ไกล (near-far effect) คือ ผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตข้อมูลต่ำ (low rate) จะถูกรบกวนจากการแทรกสอดเนื่องจากการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference หรือ MAI) จากผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตข้อมูลสูง (high rate) จึงทำให้บิตที่ตัดสินใจมีความผิดพลาดสูง ดังนั้นเมื่อนำบิตที่ตัดสินใจของผู้ใช้ low rate มาสร้าง MAI จึงทำให้เกิดความผิดพลาด จึงได้มีผู้เสนอให้นำ MAI ที่สร้างขึ้นมาถ่วงด้วยตัวถ่วงน้ำหนัก (weight factor) ที่กำหนดตามอัตราการส่งข้อมูลซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า "Groupwise Weighted PIC หรือ GW-PIC" ซึ่งการกำหนดตัวถ่วงน้ำหนักให้คงที่นี้ให้สมรรถนะไม่ดีเสมอไปเมื่อสภาพแวดล้อมของระบบเปลี่ยนไป ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการปรับตัวถ่วงน้ำหนักตามความเชื่อถือได้ของบิตที่นำมาสร้าง MAI ซึ่งความน่าเชื่อถือของบิตขึ้นกับ MAI ที่เข้ามารบกวน โดยตัวถ่วงน้ำหนักที่นำเสนอนี้พิจารณาจากค่าความแปรปรวน เนื่องจากค่าความแปรปรวน (variance) ของสัญญาณขาออกจากแมตซ์ฟิลเตอร์ของคนพิจารณาพบว่าขึ้นกับกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนนั้นและ MAI ที่มารบกวนผู้ใช้คนนั้น

จากผลการจำลองแบบในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์พบว่า เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อมีการจัดการแทรกสอด 2 stage ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิตผิดพลาดเมื่อเทียบกับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ได้ 70 – 90% เมื่อเทียบกับ Standard PIC (SPIC) ในช่วง 40 – 60% และ GW-PIC ในช่วงประมาณ 10 – 40% และเมื่อเครื่องรับที่นำเสนอมีการจัดการแทรกสอด 2 stage พบว่า BER ลดลงและทนต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกลได้มากกว่าเมื่อทำการหักล้างเพียง 1 stage โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิตผิดพลาดเมื่อเทียบกับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีค่าในช่วง 70 – 80% และ 90% เมื่อทำการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อวัดสมรรถนะในด้านความจุของระบบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าเครื่องรับชนิดอื่น คือ เมื่อพิจารณาที่ BER =  $10^{-2}$  (กรณี asynchronous) เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้เสมือน low rate, medium rate และ high rate ได้ 6, 6 และ 8 คน ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องรับที่นำเสนอสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้เสมือน low rate, medium rate และ high rate ได้ถึง 20, 17 และ 15 คน ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นเครื่องรับที่นำเสนอสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดได้มากกว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate และ high rate เพิ่มขึ้น และจากผลการจำลองแบบพบว่าจำนวนบิตที่ใช้คำนวณ weight factor ของวิธีที่นำเสนอในช่วง 10 – 15 บิต เป็นต้นไปจะทำให้ BER มีค่าต่ำที่สุด

ภาควิชา ..... วิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
สาขาวิชา ..... วิทยานิพนธ์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2543

NATEE PRAPAVONG : Weight Factor Decision in Partial Interference Cancellation Receiver in Multirate CDMA System using Variance from Matched Filter Output. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. WATIT BENJAPOLAKUL, 193 pp. ISBN XXX-XXX-XXX-X.

This thesis studies a method to reduce the BER (Bit Error Rate) of the receiver in base station in a multirate CDMA system. In Multi Processing Gain (MPG) scheme, the power of a high bit rate user is higher than the power of a low bit rate user, thus the signal of low bit rate user is interfered from the high bit rate user, called near-far effect. As a result, the estimated MAI (Multiple Access Interference) signal from decision bit of low bit rate user is less reliable than that of higher bit rate user. Groupwise Weighted PIC (GW-PIC) is proposed to weight the estimated MAI signal according to bit rate. However, the fixed weight factor in GW-PIC method is not optimal in a varying environment. This thesis proposes the weight factor adaptation according to reliable bit decision to construct MAI signal. More reliable bit decision means less residual interference, thus the weight factor is adapted according to the interference. Weight factor is considered according to variance from the matched filter that is dependent on the power signal and the interference terms.

The results show that the proposed method with 2-stage MAI cancellations gives percentage of BER lower than that of matched filter for 70-90%, standard PIC (SPIC) for 40-60% and GW-PIC for 10-40% in perfect power control situation. Under near-far effect situation, the proposed method with 2-stage MAI cancellation is more robust to near-far effect than with 1-stage MAI cancellation. In this case, 2-stage and 1-stage MAI cancellations give percentage of BER lower than those of the matched filter for 70-80% and 90%, respectively. For capacity performance, the matched filter can support up to 6 virtual low rate users, 6 virtual medium rate users and 8 virtual high rate users at  $BER = 10^{-2}$  in the asynchronous case, whereas the proposed method can support up to 20 virtual low rate users, 17 virtual medium rate users and 15 virtual high rate users. Furthermore, as the number of low bit rate users increases, the proposed method can support more total users while the number of medium bit rate users or high bit rate users increase. To achieve the lowest BER, about 10 - 15 bits or more are required in calculation of the weight factor.

Department

Student's signature

Field of study

Advisor's signature

Academic year 2000

Co-advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดเวลาในการทำงานวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม และห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย รวมถึงห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม ซึ่งเป็นสถานที่ทำงานวิจัยตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	บ
บัญชีคำศัพท์.....	ว
บทที่	
1    บทนำ.....	1
1.1    ความเป็นมาของระบบ CDMA.....	2
1.2    ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA.....	4
1.3    DS – CDMA (Direct Sequence – Code Division Multiple Access).....	5
1.4    Multiuser Detection.....	6
1.5    Multirate DS – CDMA.....	11
1.6    ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนานมาใช้ในระบบ Multirate DS – CDMA ที่ใช้แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา.....	13
1.7    วิธีที่มีผู้เสนอเพื่อแก้ปัญหาเมื่อนำเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนานมาใช้ในระบบ Multirate DS – CDMA ที่ใช้แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา.....	13
1.8    แนวคิดที่นำเสนอ.....	14
1.9    วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	14
1.10    ขอบเขตของงานวิจัย.....	14
1.11    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
1.12    ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ.....	16
1.13    ภาพรวมของวิทยานิพนธ์.....	16
2    แบบจำลองระบบ.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

๗  
หน้า

2.1	นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.2	เทคนิคเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi Processing Gain หรือ MPG).....	19
2.3	รหัสแรมที่ใช่.....	20
2.4	แบบจำลองระบบ.....	24
2.5	Matched filter.....	25
2.6	Standard Parallel Interference Cancellation หรือ SPIC.....	26
2.7	Groupwise Weighted PIC.....	28
3	การปรับปรุงเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดบางส่วนโดยใช้ ค่าความแปรปรวนในการตัดสินใจตัวถ่วงน้ำหนัก.....	30
3.1	ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์.....	30
3.2	เหตุผลในการตัดสินใจ weight factor ด้วยค่าความแปรปรวน.....	36
3.3	ฟังก์ชัน Null Zone hard decision.....	38
4	ผลการจำลองแบบ.....	41
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละการจำลองแบบ.....	41
4.2	สมมติฐานในการจำลองแบบ.....	43
4.3	ผลการจำลองแบบ.....	44
4.3.1	BER เมื่อ $E_b/N_0$ เปลี่ยนไป.....	44
4.3.1.1	กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์.....	44
4.3.1.2	กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์.....	84
4.3.1.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	124
4.3.2	ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล.....	127
4.3.2.1	พารามิเตอร์ที่กำหนด.....	127
4.3.2.2	ผลที่ได้จากการจำลองแบบ.....	127
4.3.2.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	136
4.3.3	ความจุของระบบ.....	139
4.3.3.1	เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เปลี่ยนไป.....	139



## สารบัญ (ต่อ)

ณ

หน้า

4.3.3.2	เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เปลี่ยนไป.....	142
4.3.3.3	เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เปลี่ยนไป.....	146
4.3.4	จำนวนบิตที่มีผลต่อการคำนวณ weight factor.....	151
4.3.4.1	กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์.....	151
4.3.4.2	กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์.....	153
5	สรุปผล	
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	157
5.2	ความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้.....	158
5.3	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	160
	รายการอ้างอิง.....	161
	ภาคผนวก ก.....	164
	ภาคผนวก ข.....	170
	ภาคผนวก ค.....	184
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	193

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	ข้อดีข้อเสียของ Multiuser receiver แต่ละประเภท.....9
ตารางที่ 2.1	ตัวอย่างของรหัสของผู้ใช้เสมือนที่สร้างจาก Gold code 32 ชิป.....23
ตารางที่ 4.1	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....52
ตารางที่ 4.2	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....53
ตารางที่ 4.3	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....54
ตารางที่ 4.4	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....55
ตารางที่ 4.5	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล

	ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....56
ตารางที่ 4.6	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....57
ตารางที่ 4.7	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....58
ตารางที่ 4.8	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....59
ตารางที่ 4.9	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....60
ตารางที่ 4.10	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....61

ตารางที่ 4.11	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	62
ตารางที่ 4.12	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	63
ตารางที่ 4.13	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	71
ตารางที่ 4.14	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ทำการขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	72
ตารางที่ 4.15	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ทำการขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	73
ตารางที่ 4.16	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ	

ตารางที่ 4.17	<p>MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 1</math> dB ของผู้ใช้เสมือน low rate                  จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และ                  สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....74</p>
ตารางที่ 4.18	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน                  ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ                  MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 1</math> dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate                  จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และ                  สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....75</p>
ตารางที่ 4.19	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน                  ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ                  MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 1</math> dB ของผู้ใช้เสมือน high rate                  จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และ                  สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....76</p>
ตารางที่ 4.20	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน                  ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง                  ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน low rate                  จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์                  และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....77</p>
ตารางที่ 4.21	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน                  ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง                  ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน medium                  rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณ                  จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....78</p>
ตารางที่ 4.21	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน                  ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง                  ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน high                  rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และ                  สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....79</p>

ตารางที่ 4.22	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....</p>	80
ตารางที่ 4.23	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....</p>	81
ตารางที่ 4.24	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ <math>E_b/N_0 = 7</math> dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....</p>	82
ตารางที่ 4.25	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ <math>E_b/N_0 = 1</math> dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....</p>	92
ตารางที่ 4.26	<p>ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ <math>E_b/N_0 = 1</math> dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่า</p>	

	ผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	93
ตารางที่ 4.27	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	94
ตารางที่ 4.28	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	95
ตารางที่ 4.29	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	96
ตารางที่ 4.30	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate	

	อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	97
ตารางที่ 4.31	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	98
ตารางที่ 4.32	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	99
ตารางที่ 4.33	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	100
ตารางที่ 4.34	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium	



	rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	101
ตารางที่ 4.35	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	102
ตารางที่ 4.36	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	103
ตารางที่ 4.37	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	111
ตารางที่ 4.38	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate	

	มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	112
ตารางที่ 4.39	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไป อย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	113
ตารางที่ 4.40	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมา ถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	114
ตารางที่ 4.41	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมา ถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	115
ตารางที่ 4.42	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 1$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium	

	rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมา ถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	116
ตารางที่ 4.43	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่า ผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	117
ตารางที่ 4.44	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่า ผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	118
ตารางที่ 4.45	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยัง ไม่ขจัดผลของ MAI) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่า ผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	119
ตารางที่ 4.46	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium	

	rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคน มาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	120
ตารางที่ 4.47	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคน มาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	121
ตารางที่ 4.48	ค่าประมาณในแต่ละเทอมของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวน ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage) ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคน มาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	122
ตารางที่ 4.49	เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอ เมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่น โดยจัดการแทรกสอด 2 stage โดยนำ ฟังก์ชัน hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้ายในกรณีต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB.....	126
ตารางที่ 4.50	เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอ เมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่น โดยจัดการแทรกสอด 2 stage โดยนำ ฟังก์ชัน Null zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย ในกรณีต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB .....	126
ตารางที่ 4.51	เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอ เมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่นที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย เมื่อพิจารณา ที่ $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate มากกว่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate	

	และ high rate อยู่ 10 dB.....	138
ตารางที่ 4.52	เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอ เมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่นที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage โดยนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย เมื่อพิจารณาที่ $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate มากกว่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 10 dB.....	138
ตารางที่ 4.53	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเป็น $10^{-2}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	140
ตารางที่ 4.54	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเป็น $10^{-3}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	142
ตารางที่ 4.55	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเป็น $10^{-2}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	144
ตารางที่ 4.56	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเป็น $10^{-3}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	145
ตารางที่ 4.57	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเป็น $10^{-2}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	147
ตารางที่ 4.58	จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับ แต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

น

หน้า

	เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเป็น $10^{-3}$ กรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	149
ตารางที่ 4.59	จำนวนรวมของผู้ใช้เสมือนที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้ เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละ rate เปลี่ยนไป ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้ แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยพิจารณา ที่ $BER = 10^{-2}$ .....	150
ตารางที่ 4.60	จำนวนรวมของผู้ใช้เสมือนที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้ เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละ rate เปลี่ยนไป ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้ แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) โดยพิจารณา ที่ $BER = 10^{-3}$ .....	150
ตารางที่ ก1	Gold code ความยาว 31 ชิป ที่ใช้สร้าง Gold code ความยาว 32 ชิป ในการจำลองแบบ.....	166
ตารางที่ ก2	Gold code ความยาว 32 ชิป ที่ใช้ในการจำลองแบบ.....	169

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	การเข้าถึงหลายทางแบบ (a) FDMA (b) TDMA (c) CDMA.....1
รูปที่ 1.2	เทคนิคการมอดูเลตในระบบ CDMA.....4
รูปที่ 1.3	(a) วิธีจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (b) วิธีกระโดดเปลี่ยนความถี่ (c) วิธีกระโดดเปลี่ยนเวลา.....5
รูปที่ 1.4	การจัดประเภทของ Multiuser receiver.....7
รูปที่ 1.5	ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้อัตราแฝงที่ (a) ทางความถี่ (b) ทางเวลา.....11
รูปที่ 1.6	ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้อัตราชิปคงที่ (a) ทางความถี่ (b) ทางเวลา.....12
รูปที่ 1.7	ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้หลายรหัสหรือหลายช่องสัญญาณ.....12
รูปที่ 2.1	ตัวอย่างการแผ่สัญญาณ.....19
รูปที่ 2.2	การส่งข้อมูลแบบหลายอัตราโดยเทคนิคเปลี่ยนอัตราแม่ซึ่งมองผู้ใช้จริง เป็นผู้ใช้เสมือน.....20
รูปที่ 2.3	เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่ $k$ .....25
รูปที่ 2.4	Standard PIC.....28
รูปที่ 2.5	Groupwise Weighted PIC ในระบบการส่งหลายอัตรา.....29
รูปที่ 3.1	บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่เข้าถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน.....35
รูปที่ 3.2	การจัดสัญญาณแทรกสอดบางส่วนด้วยวิธีที่นำเสนอ.....38
รูปที่ 3.3	(a) การแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของสัญญาณขาออกจาก matched filter เมื่อรู้เงื่อนไขของบิตขาเข้าเป็น +1 หรือ -1 (b) ฟังก์ชัน Null Zone hard decision .....40
รูปที่ 4.1	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผล ของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....49
รูปที่ 4.2	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 2.2$ dB ของกราฟรูปที่ 4.1.....49
รูปที่ 4.3	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผล

	ของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....50
รูปที่ 4.4	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 2.2$ dB ของกราฟรูปที่ 4.3.....50
รูปที่ 4.5	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินปีที่ stage 0 และ stage1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) .....51
รูปที่ 4.6	BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....64
รูปที่ 4.7	BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....64
รูปที่ 4.8	BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....65
รูปที่ 4.9	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....68
รูปที่ 4.10	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 3.5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.9.....69
รูปที่ 4.11	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....69
รูปที่ 4.12	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 3.5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.11.....70



รูปที่ 4.13	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินบิต ที่ stage 0 และ stage 1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) .....70
รูปที่ 4.14	BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....83
รูปที่ 4.15	BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....83
รูปที่ 4.16	BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....84
รูปที่ 4.17	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....89
รูปที่ 4.18	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.17.....89
รูปที่ 4.19	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....90
รูปที่ 4.20	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.19 .....90

รูปที่ 4.21	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินบิตที่ stage 0 และ stage 1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	91
รูปที่ 4.22	BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	104
รูปที่ 4.23	BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	104
รูปที่ 4.24	BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	105
รูปที่ 4.25	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	108

รูปที่ 4.26	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 3.5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.25.....	109
รูปที่ 4.27	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอมือจัดผล ของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์โดยกำลัง สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับ พร้อมกัน (synchronous).....	109
รูปที่ 4.28	ส่วนขยายในช่วง $E_b/N_0 = 1 - 3.5$ dB ของกราฟรูปที่ 4.27.....	110
รูปที่ 4.29	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอมือจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำ ฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินใจที่ stage 0 และ stage 1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้ แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	110
รูปที่ 4.30	BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึง เครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	123
รูปที่ 4.31	BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึง เครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	123
รูปที่ 4.32	BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ $E_b/N_0 = 7$ dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate	

	และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึง เครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	124
รูปที่ 4.33	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	129
รูปที่ 4.34	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	130
รูปที่ 4.35	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	130
รูปที่ 4.36	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	131
รูปที่ 4.37	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	131
รูปที่ 4.38	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC,	

	GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	132
รูปที่ 4.39	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	133
รูปที่ 4.40	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	134
รูปที่ 4.41	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	134
รูปที่ 4.42	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	135
รูปที่ 4.43	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอม เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจาก	

	ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	135
รูปที่ 4.44	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	136
รูปที่ 4.45	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	140
รูปที่ 4.46	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	141
รูปที่ 4.47	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	143
รูปที่ 4.48	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	145
รูปที่ 4.49	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	147
รูปที่ 4.50	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous).....	148
รูปที่ 4.51	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	152

รูปที่ 4.52	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการ ควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	152
รูปที่ 4.53	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการ ควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	153
รูปที่ 4.54	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการ ควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	155
รูปที่ 4.55	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการ ควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	155
รูปที่ 4.56	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการ ควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ และสัญญาณที่มาจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	156
รูปที่ ข.1	ฟังก์ชัน Hyper bolic Tangent ในวิธี NMIC เมื่อ MAI มีค่ามาก.....	173
รูปที่ ข.2	ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ในวิธี NMIC เมื่อ MAI มีค่าน้อย.....	174
รูปที่ ข.3	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	175
รูปที่ ข.4	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....	175

รูปที่ ๑.5	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....176
รูปที่ ๑.6	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....177
รูปที่ ๑.7	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....177
รูปที่ ๑.8	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า $E_b/N_0$ ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....178
รูปที่ ๑.9	ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของผู้ใช้ low rate เมื่อเกิด ปรากฏการณ์ใกล้ไกลโดยผู้ใช้ low rate มีกำลังสัญญาณที่ รับได้มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB.....180
รูปที่ ๑.10	ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของผู้ใช้ medium rate เมื่อเกิด ปรากฏการณ์ใกล้ไกลโดยผู้ใช้ low rate มีกำลังสัญญาณที่ รับได้มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB.....180
รูปที่ ๑.11	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น ในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....181
รูปที่ ๑.12	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น ในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละ คนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....181
รูปที่ ๑.13	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น



ในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่  
ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous).....182



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บัญชีคำศัพท์

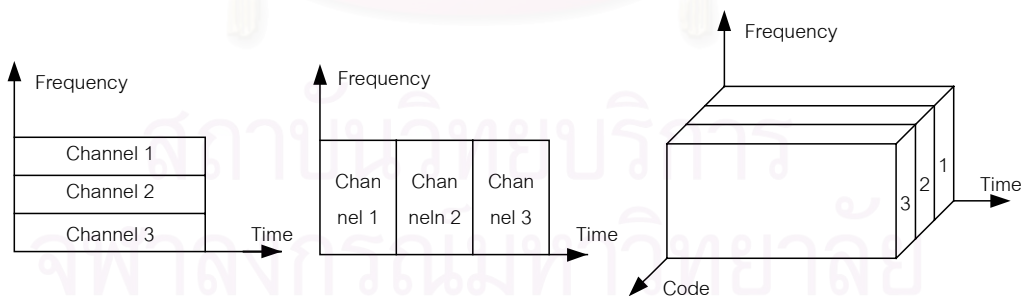
การกระโดดเปลี่ยนความถี่	Frequency Hopping ย่อว่า FH
การควบคุมกำลังส่ง	power control
การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่	spread spectrum modulation
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	Frequency Division Multiple Access ย่อว่า FDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา	Time Division Multiple Access ย่อว่า TDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
ระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3	Third generation communication systems
การสื่อสารแบบแบ่งรหัสชนิดไคเรกต์ซีควเอนซ์	Direct Sequence-Code Division Multiple Access ย่อว่า DS-CDMA
ซอฟต์แฮนด์ออฟ	soft handoff
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	Multiuser detection
เครื่องรับแบบเหมาะสมที่สุด	Optimal receiver
เครื่องรับแบบเหมาะสมรองลงไป	Suboptimal receiver
เครื่องรับแบบเชิงเส้น	Linear receiver
เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น	Nonlinear receiver
แมตช์ฟิลเตอร์	matched filter
เครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดอย่างขนาน	Parallel Interference Cancellation Receiver ย่อว่า PIC Receiver
เครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดอย่างขนาน แบบมาตรฐาน	Standard Parallel Interference Cancellation Receiver ย่อว่า SPIC Receiver
เครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดอย่างขนานบางส่วน	Partial Parallel Interference Cancellation Receiver

เครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง	Successive Interference Cancellation Receiver ย่อว่า SIC Receiver
เครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนานโดยกำหนด - ค่าตัวถ่วงน้ำหนักเป็นกลุ่ม	Groupwise Weighted PIC Receiver ย่อว่า GW-PIC Receiver
หลายอัตรา	multirate
อัตรา	rate
แบบแผนการมอดูเลตแบบหลายแบบแผน	Multi modulation scheme
แบบแผนอัตราชิปหลายอัตรา	Multi chip rate scheme
แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา	Multi Processing Gain (MPG) schemes
แบบแผนหลายรหัส หรือหลายช่องสัญญาณ	Multi-code or Multi-channel schemes
ตัวถ่วงน้ำหนัก	weight factor
ชิป	chip
ปรากฏการณ์ใกล้ไกล	Near-far effect
สหสัมพันธ์ข้าม	cross-correlation
อัตสหสัมพันธ์	autocorrelation
การแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง	Multiple Access Interference ย่อว่า MAI
รหัสแผ่	spreading code
สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนสีขาวแบบบวก	Additive White Guassian Noise ย่อว่า AWGN
ซิงโครนัสหรือสัญญาณจากผู้ใช้ - แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน	synchronous
อะซิงโครนัสหรือสัญญาณจากผู้ใช้ - แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน	asynchronous
ค่าประวิงเวลา	delay
อัตราบิตผิดพลาด	Bit Error Rate หรือ BER
ผู้ใช้เสมือน	virtual user
ข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ	reverse link
ค่าพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่น - สเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน	$E_b/N_0$

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปี ค.ศ. 1987 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบแอนะล็อกเซลลูลาร์เริ่มประสบปัญหาความจุช่องสัญญาณที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน [1] ทำให้เริ่มหันมาพัฒนาระบบดิจิทัลเซลลูลาร์เพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณให้มากขึ้น ซึ่งวิธีการเข้าถึงระบบหรือโครงข่ายช่องสัญญาณในระบบดิจิทัลมี 3 วิธี คือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access หรือ FDMA) คือ ผู้ใช้แต่ละคนถูกแยกใช้ในช่องสัญญาณที่คนละความถี่ ดังรูปที่ 1.1(a) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access หรือ TDMA) คือ ผู้ใช้แต่ละคนถูกแยกใช้ในช่องสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแต่คนละเวลา ดังรูปที่ 1.1(b) และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access หรือ CDMA) คือ ผู้ใช้ทุกคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณที่ความถี่และเวลาเดียวกันได้แต่จะถูกแยกด้วยรหัสเฉพาะของแต่ละคน ดังรูปที่ 1.1(c) แต่เนื่องจากใน 2 วิธีแรกมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรทางความถี่ทำให้ความจุช่องสัญญาณถูกจำกัดลง ในขณะที่ระบบ CDMA ความจุของช่องระบบถูกจำกัดด้วยสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ [2] (Multiple Access Interference หรือ MAI) ซึ่งถ้าสร้างเครื่องรับที่สามารถกำจัดผลของ MAI นี้ไปได้ก็สามารถทำให้ความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นได้หรือกล่าวได้ว่าความจุสามารถปรับเปลี่ยนได้ (soft capacity) นอกจากนี้ระบบ CDMA ยังมีข้อได้เปรียบกว่าระบบ FDMA และ TDMA คือ มีซอฟต์แฮนด์ออฟ (soft handoff) ทำให้โอกาสที่สัญญาณหลุดเป็นไปได้อย่างยาก และสามารถแก้ปัญหากรณีที่สัญญาณรับได้มาจากหลายวิถี (multipath) เป็นต้น



รูปที่ 1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบ (a) FDMA (b) TDMA (c) CDMA

เนื่องจากในระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3 (Third generation communication systems) มีความต้องการรองรับการให้บริการได้หลายชนิด เช่น เสียง (voice) ภาพ (image) รวมถึงวิดีโอ (video) และสามารถส่งได้หลายอัตราตั้งแต่ต่ำกว่า 64 kbps จนถึง 2 Mbps โดยต้องเพิ่มความ

จุช่องสัญญาณของโครงข่ายให้มากกว่าโครงข่ายเซลลูลาร์เดิม ดังนั้นในระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3 จึงให้ความสนใจและหันมาพัฒนาระบบ CDMA

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความรู้เบื้องต้นโดยสังเขปของระบบ CDMA และปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นกล่าวถึงเครื่องรับที่มีผู้เสนอเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ CDMA สุดท้ายจะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องรับที่ให้ความสนใจในวิทยานิพนธ์ รวมถึงแนวทาง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## 1.1 ความเป็นมาในระบบ CDMA [3]

1.1.1 ยุคบุกเบิก เดิมระบบ CDMA มีชื่อเรียกว่า “การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum หรือ SS) ซึ่งได้มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยกองทัพสหรัฐอเมริกาเพื่อให้การส่งสัญญาณสื่อสารของกองทัพป้องกันการถูกก่อกวนจากฝ่ายตรงข้ามและป้องกันการดักฟังข้อมูลที่ส่งออกอากาศซึ่งทางด้านรับสามารถถอดรหัสเพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกต้องกลับคืน ต่อมาในปี

*ค.ศ. 1949* John Pierce อธิบายถึงวิธีการกระโดดเปลี่ยนเวลาทางสเปกตรัมแผ่ (Time hopping spread spectrum) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการเข้าถึงหลายทาง (multiple access)

*ค.ศ. 1949* Claude Shannon และ Robert Pierce แนะนำแนวความคิดพื้นฐานของระบบ CDMA โดยอธิบายถึงผลเฉลี่ยของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากระบบ CDMA

*ค.ศ. 1950* De Rosa – Rogoff เสนอวิธีจัดลำดับเข้าถึงโดยตรงหรือโดเรกตซีควเอนซ์ (Direct sequence spread spectrum) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการเข้าถึงหลายทาง และอธิบายถึงสมการของอัตราขยายประมวลผล (processing gain)

*ค.ศ. 1956* Price และ Green แก้ปัญหาสัญญาณที่มาจากหลายวิถี (multipath) โดยทำให้สัญญาณถูกแผ่ด้วยความถี่ที่กว้างและใช้เครื่องรับที่เรียกว่า “Rake receiver” เพื่อทำการรวมสัญญาณที่มาจากแต่ละวิถีนั้นขึ้นมา

*ค.ศ. 1961* Magnuski อธิบายถึงปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect)

### 1.1.2 เมื่อเข้าสู่ยุค CDMA แบบช่วงความถี่แคบ (Narrowband CDMA)

*ค.ศ. 1978* Cooper และ Nettleton ได้เสนอประยุกต์นำสเปกตรัมแบบแพร่ไปใช้ในระบบเซลลูลาร์

*ค.ศ. 1980s* บริษัท Qualcomm ได้ตรวจสอบเทคนิคไดเรกต์ซีแควนซ์ระบบ CDMA (DS-SS-CDMA) จากนั้นได้นำไปใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์นับว่าเป็นการนำไปใช้ทางพาณิชย์เป็นครั้งแรก โดยนำไปใช้ในช่องความถี่แคบ หรือเรียกว่า “Narrowband CDMA”

*ค.ศ. 1986* Verdu ได้เสนอและวิจัย “Multiuser detection” เพื่อขจัดผลสัญญาณแทรกสอด โดยอธิบายถึงเครื่องรับประเภท “optimum multiuser detection” สำหรับช่องสัญญาณที่มีผลของสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (Additive White Gaussian Noise หรือ AWGN)

*ค.ศ. 1993* Telecommunications Industry Association (TIA) กำหนดให้ระบบ CDMA เป็นมาตรฐานของแอร์อินเทอร์เฟซ (Air-Interface) สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลเซลลูลาร์ (digital cellular) เป็นครั้งแรกในวันที่ 16 มิถุนายน 1993 โดยมีชื่อว่าเรียกว่า “มาตรฐาน IS-95” ซึ่งกำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีแบนด์วิดท์เป็น 1.228 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

### 1.1.3 เมื่อเข้าสู่ยุค CDMA แบบช่วงความถี่กว้าง (Wideband CDMA)

*ค.ศ. 1995* หลายประเทศได้ศึกษาและทดสอบระบบ Wideband CDMA ซึ่งมีช่วงแบนด์วิดท์ 5 MHz หรือ มากกว่า เพราะได้สังเกตเห็นปัญหาความต้องการการบริการข้อมูลที่อัตราข้อมูลที่สูงขึ้น บริการต่างๆมากขึ้น และต้องการความจุที่สูงขึ้นด้วยซึ่งได้เรียกยุคนี้เป็นยุคของการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 (มาตรฐาน UMTS ของยุโรป และ มาตรฐาน IMT 2000 ของนานาชาติ) โดยมาตรฐานในระบบ Wideband CDMA ได้ถูกแบ่งออกไป ดังนี้

ยุโรป : FRAMES FMA2 (FRAMES Multiple Access)	} WCDMA
ญี่ปุ่น : Core – A	

อเมริกาเหนือ : cdma 2000

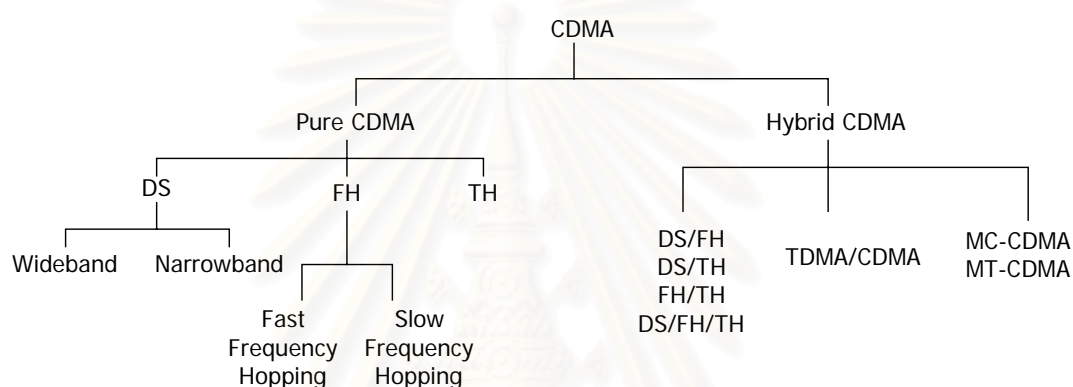
เกาหลี : TTA I, TTA II (Telecommunication Technology Association)

ซึ่งปัจจุบันงานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ที่ระบบ Wideband CDMA

## 1.2 ความรู้เบื้องต้นระบบ CDMA

ในระบบ CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะถูกกำหนดให้มีรหัสเฉพาะของตนเอง เพื่อใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลของผู้ใช้คนนั้น ซึ่งทางเครื่องรับจะรู้รหัสเพื่อทำการถอดรหัสให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องกลับคืนโดยสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเดิม ทำให้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “การเข้าถึงหลายทางด้วยสเปกตรัมแบบแผ่ (Spread Spectrum Multiple Access หรือ SSMA)”

ระบบ CDMA สามารถแบ่งตามเทคนิคตามการมอดูเลตได้ 3 วิธีหลักด้วยกัน ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เทคนิคการมอดูเลตในระบบ CDMA

1.2.1 **วิธีจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (Direct sequence spread spectrum)** ดังรูปที่ 1.3 (a) คือ แต่ละบิตข้อมูลถูกคูณด้วยรหัสนี้ที่มีอัตรารหัสนี้สูงหรือมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูล ซึ่งเรียกรหัสนี้ว่า “รหัสนี้แผ่ (spreading code)”

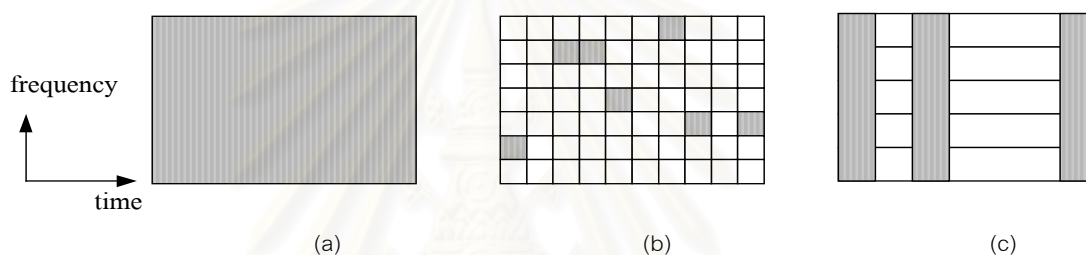
1.2.2 **วิธีกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency hopping spread spectrum)** ดังรูปที่ 1.3 (b) [1] คือ ช่วงแบนด์วิดท์ทั้งหมดถูกแบ่งย่อยเป็นช่องสัญญาณ  $N$  ช่อง และแต่ละบิตข้อมูลที่ถูกส่งจะถูกกระโดดไปมาเพื่อเลือกใช้แต่ละช่องสัญญาณตามรหัสนี้ที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการส่งข้อมูล 10 kHz (กิโลเฮิร์ตซ์) และมีช่องสัญญาณ 100 ช่อง ได้แบนด์วิดท์เป็น 1 MHz (เมกะเฮิร์ตซ์) นั่นคือสเปกตรัมถูกแผ่จาก 10 kHz เป็น 1 MHz ซึ่งในวิธีกระโดดเปลี่ยนความถี่แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

- ก. การกระโดดอย่างรวดเร็ว (fast hopping) คือ ทำการกระโดด 2 ครั้งหรือมากกว่าในการส่งบิตข้อมูลแต่ละบิต

- ข. การกระโดดอย่างช้า (slow hopping) คือ ส่งบิตข้อมูล 2 บิตหรือมากกว่าในการกระโดดแต่ละครั้ง

### 1.2.3 วิธีกระโดดเปลี่ยนเวลา (Time hopping spread spectrum) ดังรูปที่

1.3 (c) [1] คือ บิตข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งไม่ต่อเนื่อง โดยช่วงเวลาที่ทำการส่งข้อมูลแต่ละบิตขึ้นกับรหัส นอกจากวิธีขั้นต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจนำแต่ละวิธีมารวมกันเพื่อแก้ไขข้อเสียของแต่ละวิธี เช่น นำวิธีกระโดดเปลี่ยนเวลารวมกับวิธีกระโดดเปลี่ยนความถี่ หรือการนำเทคนิค TDMA มาใช้ร่วมกับระบบ CDMA นอกจากนั้นยังใช้เทคนิคการมอดูเลตไปบนหลายคลื่นพาหุที่ได้ซึ่งสัญญาณถูกแผ่ด้วยรหัสตามแกนความถี่ (Multicarrier CDMA หรือ MC-CDMA) และเทคนิค Multitone CDMA หรือ MT – CDMA ซึ่งสัญญาณถูกแผ่ด้วยรหัสตามแกนเวลา



รูปที่ 1.3 (a) วิธีจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (b) วิธีกระโดดเปลี่ยนทางความถี่  
(c) วิธีกระโดดเปลี่ยนทางเวลา

## 1.3 DS-CDMA (Direct Sequence – Code Division Multiple Access)

เนื่องจากปัจจุบันการมอดูเลตสเปกตรัมแบบแม่โดยใช้เทคนิคการจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (DS-CDMA) มีใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐานไม่ว่าจะเป็น IS-95 หรือ W-CDMA ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงเน้นการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิค DS-CDMA นี้

**หลักการของ DS-CDMA** บิตข้อมูลถูกแผ่ด้วยรหัส คือ 1 บิตข้อมูลถูกคูณด้วยรหัสที่มีความยาว  $N$  ชิป (chips เป็นหน่วยของบิตของรหัส) ซึ่งรหัสนี้อาจมีค่าเป็น  $+1$  หรือ  $-1$  ซึ่ง "อัตรารหัสหรืออัตราชิป (chip rate)" มีค่าสูงกว่าอัตราบิตข้อมูลเพื่อที่แบนด์วิธของข้อมูลถูกแผ่ให้กว้างขึ้น ดังนั้นรหัสนี้จึงมีชื่อเรียกว่า "รหัสแผ่ (spreading code)" ส่วนทางด้านรับเมื่อต้องการได้ข้อมูลของผู้ใช้คนที่เครื่องรับต้องการกลับคืนมาต้องนำรหัสแผ่ของผู้ใช้คนนั้นคูณเข้ากับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเรียกเครื่องรับชนิดนี้ว่า "แมตซ์ฟิลเตอร์ (matched filter)" แต่เนื่องจากรหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละคนมีค่า "สหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation)" ระหว่างกันทำให้สัญญาณที่หลังจาก



ผ่านเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่มีสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้อื่นๆ เข้ามา ซึ่งเรียกสัญญาณแทรกสอดนี้ว่า “สัญญาณแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง หรือสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ (Multiple Access Interference หรือ MAI)” ดังนั้นหากจำนวนผู้ใช้เข้ามาในระบบมีมากเกินไป อาจทำให้อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate หรือ BER) มีค่าสูง ซึ่งเท่ากับว่าความจุของระบบถูกจำกัดด้วยสัญญาณแทรกสอดนั่นเอง นอกจากนี้หากกำลังสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้แต่ละคนไม่เท่ากันอาจส่งผลให้เกิดการรบกวนกัน คือ ผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณแรงจะไปรบกวนสัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังสัญญาณต่ำ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนอยู่ห่างสถานีฐานไม่เท่ากัน จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect)” จึงต้องมีการควบคุมกำลังส่งเพื่อให้กำลังสัญญาณของผู้ใช้ทุกคนที่มาถึงเครื่องรับมีค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากในการควบคุมกำลังส่งมีความซับซ้อน จึงได้มีผู้เสนอวิธีกำจัดผลของ MAI ที่เกิดขึ้นโดยนำข้อมูลของผู้ใช้คนอื่น เช่น รหัสแอมป์เป็นต้น มาช่วยในการกำจัดผลของ MAI ซึ่งเรียกเครื่องรับประเภทนี้ว่า “มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser detection)”

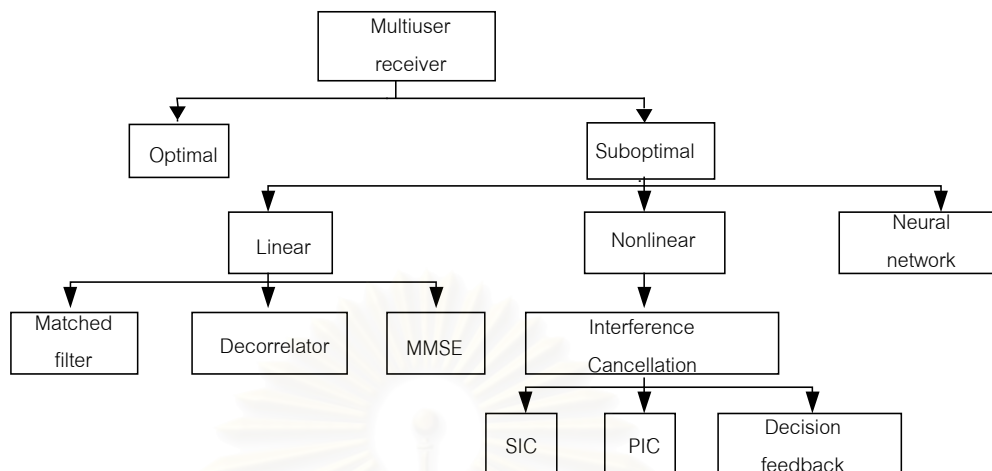
#### 1.4 Multiuser detection

เนื่องจากความจุของระบบ DS-CDMA ถูกจำกัดด้วย MAI ซึ่งมาจากผู้ใช้ภายในเซลล์เดียวกันและระหว่างเซลล์ (intra- and intercell interference) ดังนั้นในทางปฏิบัติเมื่อมีผู้ใช้เข้ามาในระบบเพิ่มมากขึ้น คุณภาพของการให้บริการย่อมลดลง จึงได้มีผู้เสนอเครื่องรับที่กำจัดผลของ MAI ซึ่งเรียกเครื่องรับประเภทนี้ว่า “มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser detection)” ซึ่งความเป็นมาเริ่มจาก

*ค.ศ. 1979* Schneider [4] เสนอแนวคิดของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันเป็นครั้งแรกชื่อ “zero-forcing decorrelating detector”

*ค.ศ. 1983* Kohn et. al [5] เสนอเครื่องรับที่ใช้หลักการกำจัดสัญญาณแทรกสอด

*ค.ศ. 1984* Verdu [6] ได้เสนอและทำการวิเคราะห์เครื่องรับแบบเหมาะสมที่สุด (optimal receiver) แต่พบว่ามีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้เสนอเครื่องรับแบบเหมาะสมรองลงไป (suboptimal receiver) ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่า และจากนั้นมางานวิจัยและพัฒนา Multiuser receiver ได้รับความสนใจอย่างมาก ซึ่งสามารถจำแนกประเภทได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การจัดประเภทของ Multiuser receiver

**1.4.1 เครื่องรับแบบเหมาะสมที่สุด (Optimal receiver)** ใช้หลักการของ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ในการหาลำดับของบิตข้อมูลที่ส่งมา คือ พิจารณาบิตของผู้ใช้ทั้งหมดที่รับได้ จากนั้นจึงหาบิตข้อมูลที่เหมือนบิตที่รับได้ให้มากที่สุดซึ่งจะพบว่าถ้าผู้ใช้ทั้งหมดมี  $K$  คน ความน่าจะเป็นที่จะสร้างชุดบิตของผู้ใช้  $K$  คน เป็นไปได้ทั้งหมด  $2^K$  แบบ ซึ่งเครื่องรับต้องทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้ว่าเหมือนกับชุดบิตทั้งหมด  $2^K$  แบบใดมากที่สุด ซึ่งพบว่ามี ความซับซ้อนเพิ่มตามจำนวนผู้ใช้แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล นอกจากนี้จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบหลายค่าด้วย

**1.4.2 เครื่องรับแบบเหมาะสมรองลงไป (Suboptimal receiver)** คือ มีความซับซ้อนน้อยกว่าแต่มีสมรรถนะที่ต่ำกว่าเครื่องรับแบบเหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

**1.4.2.1 เครื่องรับแบบเชิงเส้น (Linear detector)** คือ เครื่องรับที่ถูกวางในตำแหน่งหลังจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์โดยสัญญาณที่ถูกส่งผ่านเครื่องรับแบบเชิงเส้นต้องถูกส่งผ่านเข้าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ก่อน ซึ่งหลักการของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์คือ นำสัญญาณที่รับได้คูณกับรหัสแผ่ของผู้ใช้คนที่ต้องการ เพื่อให้ได้สัญญาณของผู้ใช้คนนั้นกลับคืนซึ่งในทางปฏิบัติรหัสแผ่ของผู้ใช้มีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ต่อกันทำให้มีผลของ MAI เข้ามาแทรกสอดจนอาจทำให้บิตที่ตัดสินใจผิดพลาดได้

เครื่องรับแบบเชิงเส้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- **ดีคอร์เรเลเตอร์ (Decorrelator)** [7] สัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคนถูกนำไปคูณเข้ากับเมทริกซ์ผกผันของสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคนในระบบ
- **เครื่องรับแบบค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด (Minimum Mean Squared Error หรือ MMSE)** [8] เครื่องรับชนิดนี้ใช้เทคนิคเหมือนกับดีคอร์เรเลเตอร์แต่ต่างที่เมทริกซ์ผกผันที่นำมาคูณจะคิดผลของสัญญาณรบกวนรวมเข้าไปด้วย ดังนั้นเครื่องรับชนิดนี้ให้ผลที่ดีกว่าในกรณีที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio หรือ SNR) มีค่าต่ำ

**1.4.2.2 เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear detector)** หลักการของเครื่องรับชนิดนี้ คือ ทำการสร้าง MAI ของผู้ใช้คนที่เครื่องรับไม่ต้องการจากนั้นนำไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้และผ่านเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์อีกครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท

- **เครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนาน (Parallel Interference Cancellation หรือ PIC)** [3, 6, 9] หลักการของเครื่องรับชนิดนี้ คือ นำบิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์มาสร้าง MAI ของผู้ใช้คนที่เครื่องรับไม่ต้องการ จากนั้นนำไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้พร้อมกันทุกคน และผ่านเข้าเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์อีกครั้ง
- **เครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation หรือ SIC)** [3, 6, 9] หลักการของเครื่องรับชนิดนี้ คือ ทำการเรียงลำดับผู้ใช้ตามขนาดสัญญาณที่รับได้ จากนั้นนำบิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่มีกำลังสัญญาณที่รับได้แรงที่สุดมาสร้าง MAI ขึ้น และนำไปหักล้างออกจากสัญญาณที่สถานีฐานรับได้ และผ่านเข้าเครื่องรับแมตริกซ์ฟิลเตอร์อีกครั้งเพื่อตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่มีกำลังสัญญาณแรงรองลงมา จากนั้นนำบิตที่ตัดสินใจได้นี้ไปสร้างเป็น MAI ของผู้ใช้คนนั้น และทำซ้ำเช่นนี้ไปจนถึงผู้ใช้คนที่เครื่องรับต้องการ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบมีจำนวนมากและผู้ใช้คนที่เครื่องรับต้องการมีกำลังสัญญาณต่ำที่สุด จะทำให้เกิดการประวิงเวลาสูง
- **เครื่องรับแบบป้อนกลับ (Decision Feedback)** [6, 9] หลักการ คือ นำสัญญาณของผู้ใช้คนอื่น ๆ มาป้อนกลับเพื่อช่วยในการกำจัด MAI โดยต้องทำการหวนเวลา และคำนวณหา Cholesky decomposition ให้กับเมตริกซ์พร้อมทั้งหาเมทริกซ์ผกผันซึ่งมีความซับซ้อนมาก

**1.4.2.3 เครื่องรับที่นำ Neural Network มาใช้** หลักการ คือ ให้ Neural Network ทำการเรียนรู้จากสัญญาณที่รับได้เพื่อที่จะได้สัญญาณของผู้ใช้คนที่เครื่องรับ

ตารางที่ 1.1 ข้อดีข้อเสียของ Multiuser receiver แต่ละประเภท

ประเภทเครื่องรับ	ข้อดี	ข้อเสีย
Decorrelator	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่จำเป็นต้องรู้ขนาดสัญญาณที่รับได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องรู้รหัสแผลและขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนอื่น</li> <li>ต้องทำการหาเมทริกซ์ผกผันสหสัมพันธ์ข้ามซึ่งอาจหาค่าไม่ได้กรณีเป็นซิงกูลาร์เมตริกซ์ (Singular matrix)</li> <li>เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูง ทำให้สมรรถนะต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์</li> </ul>
MMSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีสมรรถนะดีกว่า Decorrelator กรณีที่สัญญาณรบกวนแรงๆ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องรู้รหัสแผลและขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนอื่น</li> </ul>
PIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>บิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนถูกตัดสินพร้อมกัน</li> <li>มีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบ SIC เมื่อกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคนเท่ากัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องรู้รหัสแผลและขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนอื่น</li> <li>ไม่เหมาะกับกรณีที่มีผลของ MAI สูง เช่น เมื่อจำนวนผู้ใช้มากหรือกรณีปรากฏการณ์ใกล้ไกล</li> </ul>
SIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบ PIC เมื่อกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคนไม่เท่ากัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องรู้รหัสแผลและขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนอื่น</li> <li>ทำการเรียงลำดับผู้ใช้ตามขนาดสัญญาณที่รับได้</li> <li>บิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนถูกตัดสินไม่พร้อมกันโดยผู้ใช้ที่มีกำลังสัญญาณต่ำสุดต้องรอนาน</li> <li>บิตข้อมูลที่ตัดสินได้ของผู้ใช้ที่มีกำลังสัญญาณสูงสุดให้ผลเหมือนใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์</li> </ul>
Decision Feedback	<ul style="list-style-type: none"> <li>สมรรถนะสูงสุดถ้าทราบขนาดสัญญาณที่มาถึงอย่างถูกต้อง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องรู้รหัสแผลและขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนอื่น</li> <li>ทำการเรียงลำดับผู้ใช้ตามขนาดสัญญาณที่รับได้</li> <li>มีความซับซ้อนเพราะต้องทำการหา Cholesky decomposition และเมทริกซ์ผกผัน</li> </ul>
Neural Network	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่จำเป็นต้องรู้รหัสของผู้ใช้คนอื่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีความซับซ้อนและต้องใช้ training sequence เพื่อหาตัวถ่วงน้ำหนักให้กับโครงสร้างของ neural network</li> </ul>

ต้องการออกมา โดยไม่จำเป็นต้องรู้รหัสแม่ของผู้ใช้คนนั้น แต่จำเป็นต้องใช้ชุดการเรียนรู้ (training sequence) เพื่อหาโครงสร้างของ Neural Network ออกมาก่อนจึงจะนำมาใช้งานได้

จากที่กล่าวถึงเครื่องรับแต่ละประเภทสามารถพิจารณาข้อดีข้อเสียได้ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการเน้นการปรับปรุงเครื่องรับเพื่อให้ความซับซ้อนของเครื่องรับไม่มากนักและให้อัตราผิดพลาดที่ต่ำเพื่อสามารถนำไปใช้ในระบบจริง ซึ่งพบว่าเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนาน หรือ PIC มีความซับซ้อนน้อยและสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องรับที่สถานีฐานได้ เพราะที่สถานีฐานสามารถรู้รหัสแม่ของผู้ใช้ทุกคน และเนื่องจากแนวโน้มการใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ต้องการการรองรับการให้บริการประเภทมัลติมีเดียที่มีการส่งทั้งเสียง ภาพ วิดีโอ และข้อมูล ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการปรับปรุงเครื่องรับแบบ PIC ที่มีการประยุกต์นำไปใช้งานระบบ DS-CDMA ที่มีการส่งข้อมูลแบบหลายอัตรา (Multirate DS-CDMA)

## 1.5 Multirate DS – CDMA [10, 11]

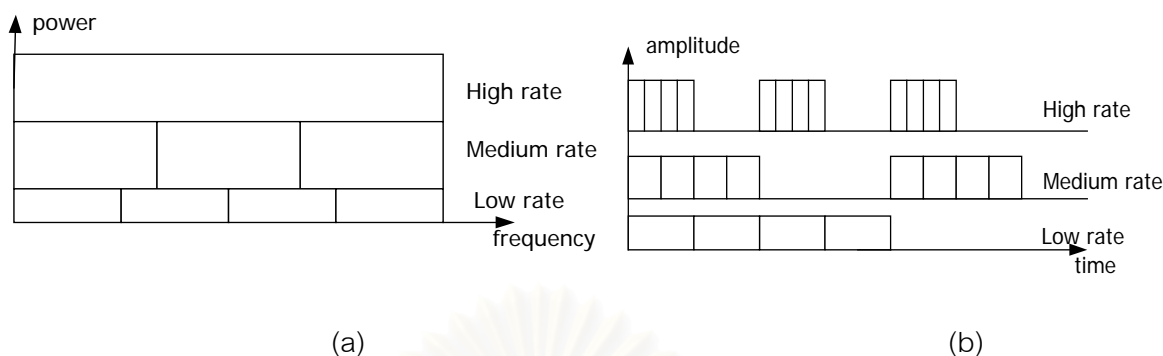
เทคนิคการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราในระบบ DS-CDMA สามารถทำได้หลายแบบแผน ดังนี้

### 1.5.1 แบบแผนการมอดูเลตหลายแบบแผน (Multi modulation scheme)

แบบแผนนี้ใช้การมอดูเลตแบบ M-ary QAM และเปลี่ยนระดับการมอดูเลต M ตามอัตราบิตในการส่ง โดยผู้ใช้ที่มีอัตราบิตสูง (high rate) จะถูกส่งด้วยจำนวนสัญลักษณ์มากกว่าผู้ใช้อัตราบิตต่ำ (low rate) เช่น ผู้ใช้ low rate อาจมอดูเลตด้วย QPSK ส่วนผู้ใช้ high rate ส่งด้วย 16 QAM เป็นต้น ซึ่งที่  $E_b/N_0$  (พลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน) เท่ากัน ผู้ใช้ high rate ส่งสัญญาณด้วยกำลังที่สูงกว่าซึ่งส่งผลไปรบกวนผู้ใช้ low rate ลักษณะเดียวกับปรากฏการณ์ใกล้-ไกล

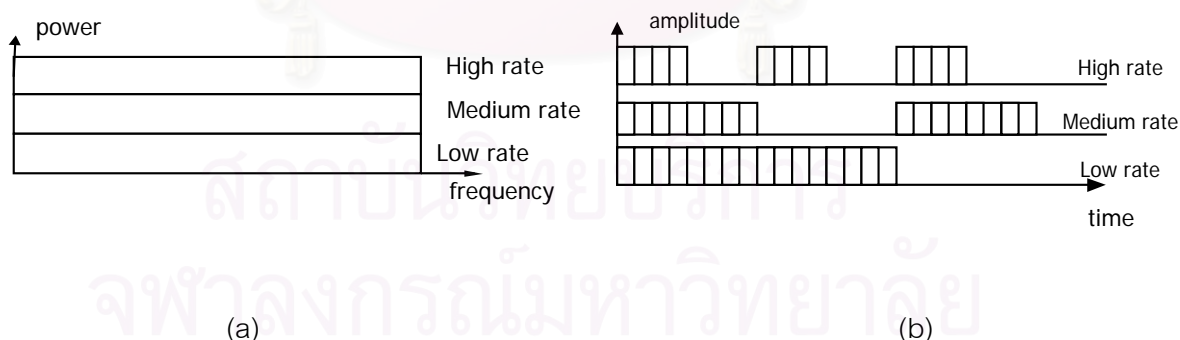
### 1.5.2 แบบแผนอัตราชิปหลายอัตรา (Multiple chip rate scheme) แบบ

แบบนี้แบ่งแบนด์วิดท์ย่อยในแต่ละช่องสัญญาณ เช่น เสียงลงบนแบนด์วิดท์ย่อยขนาดเล็ก สัญญาณอัตราบิตปานกลางลงบนแบนด์วิดท์ขนาดใหญ่ สัญญาณอัตราบิตสูงลงบนแบนด์วิดท์ทั้งหมด ซึ่งถ้ามองทางเวลา คือ การเปลี่ยนอัตราชิปของรหัสแม่ตามอัตราบิตข้อมูลซึ่งแบบแผนนี้ยุ่งยากในการจัดความถี่มาก ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้อัตราแฉ่งที่ (a) ทางความถี่ (b) ทางเวลา

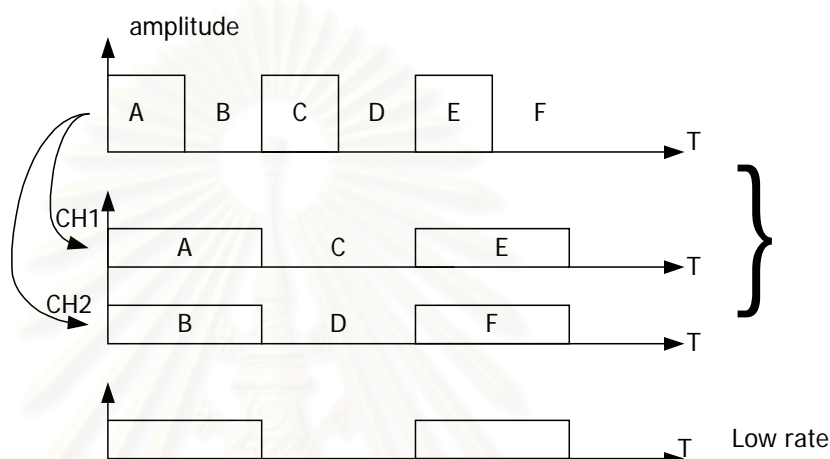
1.5.3 แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา (Multi processing gain scheme หรือ TDMA/CDMA) แบบแผนนี้ผู้ใช้ทุกคนถูกแฉ่งด้วยรหัสแฉ่งที่มีอัตราเท่ากัน แต่ผู้ใช้ high rate จะมีคาบสัญญาณและอัตราขยายการประมวลผล (processing gain) ต่ำกว่าผู้ใช้ low rate นั่นคือที่เวลาเท่ากันผู้ใช้ high rate จะส่งจำนวนสัญญาณได้มากกว่าผู้ใช้ low rate นอกจากนี้ผู้ใช้ high rate จะต้องส่งข้อมูลด้วยกำลังที่สูงกว่าผู้ใช้ low rate เพื่อให้ค่า  $E_b/N_0$  เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลเหมือนปรากฏการณ์ใกล้-ไกลไปรอบวนผู้ใช้ low rate และผู้ใช้ high rate มีค่าอัตราขยายการประมวลผลต่ำลงทำให้มีผลต่อค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ระหว่างผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้อัตราชิปคงที่ (a) ทางความถี่ (b) ทางเวลา

1.5.4 แบบแผนหลายรหัส หรือหลายช่องสัญญาณ (Multi-code CDMA หรือ Multichannel CDMA) สัญญาณของผู้ใช้ high rate ถูกแตกออกเป็นสัญญาณย่อยซึ่งมีอัตราบิตเท่ากับอัตราบิตต่ำสุด จากนั้นแฉ่งสัญญาณเหล่านั้นด้วยรหัสแฉ่งที่มีอัตราชิป (chip rate)

เท่ากันและตั้งฉาก (orthogonal) กัน และถูกส่งไปด้วยคลื่นพาห้ต่างกัน หรือรวมกันก่อนส่งด้วยคลื่นพาห้เดียวกัน จากเทคนิคที่กล่าวไว้ในแบบแผนนี้พบว่าผู้ใช้ทุกอัตราบิตส่งด้วยกำลังที่เท่ากัน จึงไม่ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล แต่แบบแผนนี้มีข้อเสีย คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกแตกออกมีจำนวนมากทำให้สัญญาณที่รับได้ทางเครื่องรับมีค่าสูงจนเลยช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของตัวขยายสัญญาณ (amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ระบบการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้หลายรหัสหรือหลายช่องสัญญาณ

จากการพิจารณาเทคนิคในการส่งแบบหลายอัตราพบว่าวิธีเปลี่ยนอัตราแต่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดจึงเลือกใช้แบบแผนนี้ในการจำลองแบบ แต่อย่างไรก็ตามในเทคนิคนี้มีข้อเสีย คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตราไม่เท่ากันซึ่งจะส่งผลเหมือนปรากฏการณ์ใกล้-ไกล

## 1.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนานมาใช้ในระบบ Multirate DS-CDMA ที่ใช้แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราในระบบ DS-CDMA ซึ่งใช้เทคนิคการเปลี่ยนอัตราแต่จะส่งผลเหมือนปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ high rate สูงกว่าของผู้ใช้ low rate ทำให้สัญญาณของผู้ใช้ low rate ถูกกวนด้วยสัญญาณของผู้ใช้ high rate ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาผ่านเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เพื่อตัดสินบิตออกมา พบว่าบิตที่ตัดสินได้ของผู้ใช้ low rate ผิดพลาดมากกว่าของผู้ใช้ high rate และเมื่อนำเครื่องรับแบบ

การจัดการแทรกสอดอย่างขนานซึ่งมีการสร้าง MAI ของผู้ใช้แต่ละคนขึ้นมา พบว่า MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ low rate เชื่อถือไม่ได้นักเพราะบิตที่นำมาสร้าง MAI มีความผิดพลาดสูง (เนื่องจากบิตที่นำมาสร้าง MAI ได้จากการตัดลินบิตที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์) ในขณะที่ สัญญาณ MAI ที่สร้างจากผู้ใช้ high rate มีความเชื่อถือได้มากกว่าเพราะบิตที่นำมาสร้าง MAI มีความผิดพลาดต่ำกว่า

### 1.7 วิธีที่มีผู้เสนอเพื่อแก้ปัญหาเมื่อนำเครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดอย่างขนานมาใช้ในระบบ Multirate DS-CDMA ที่ใช้แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา

จากที่กล่าวในหัวข้อ 1.6 ว่า MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตราเชื่อถือได้ไม่เท่ากัน ดังนั้น A. F. Van Meeteren [12] ได้เสนอการถ่วงน้ำหนักสัญญาณ MAI ที่สร้างขึ้นตามอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งเรียกว่า “เครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดอย่างขนานโดยกำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักเป็นกลุ่มตามอัตราการส่งข้อมูล หรือ Groupwise Weighted PIC (GW-PIC)” หลักการ คือ ผู้ใช้ low rate มีค่าตัวถ่วงน้ำหนัก (weight factor) ที่น้อยที่สุด เพราะ MAI ที่สร้างขึ้นเชื่อถือได้น้อย และของผู้ใช้ medium rate มีค่าปานกลาง ส่วนค่าของตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ high rate มีค่าสูงที่สุด ซึ่งใน [12] ได้กำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เป็น  $\sqrt{0.4}$ ,  $\sqrt{0.6}$  และ  $\sqrt{0.8}$  ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการที่กำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักไว้คงที่พบว่าไม่น่าจะให้ผลที่ดีนัก เนื่องจากความเชื่อถือได้ของ MAI ที่สร้างขึ้นไม่ได้ขึ้นกับอัตราการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นกับจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบ หรือผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล เป็นต้น ตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้ low rate อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าผู้ใช้ high rate ทำให้กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate แรงกว่า ดังนั้นบิตที่ตัดลินได้ของผู้ใช้ high rate ย่อมมีโอกาสผิดพลาดสูงกว่าเพราะถูกกวาดด้วยสัญญาณของผู้ใช้ low rate และทำให้ MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ high rate เชื่อถือได้น้อยกว่า แต่เนื่องจากตัวถ่วงน้ำหนักที่กำหนดไว้ของผู้ใช้ high rate สูงกว่า ดังนั้นย่อมส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการหักล้าง MAI ของเครื่องรับ PIC ขึ้นได้

### 1.8 แนวคิดที่นำเสนอ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการปรับตัวถ่วงน้ำหนักที่นำมาถ่วงค่า MAI ที่สร้างขึ้นตามความน่าเชื่อถือของ MAI ที่สร้างขึ้น ซึ่งความเชื่อถือได้นี้ขึ้นกับว่าผู้ใช้คนที่พิจารณาถูกรบกวนด้วย MAI ของผู้ใช้คนอื่นมากน้อยเพียงใด เช่น ถ้าผู้ใช้คนที่ 1 ถูกรบกวนด้วยผู้ใช้คนอื่นมากกว่าผู้ใช้คนที่ 2 แสดงว่า MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนที่ 1 เชื่อถือได้น้อยกว่าผู้ใช้คนที่ 2 จากหลักการนี้แสดงว่าตัวถ่วงน้ำหนักขึ้นกับ MAI ที่มารบกวนนั่นเอง ซึ่งจากการหาค่าความแปรปรวน (variance) ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของคนที่พิจารณาพบว่าขึ้นกับกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนนั้น และ MAI ที่มารบกวนจากผู้ใช้อื่นๆ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการนำค่าความแปรปรวนนี้ไปใช้พิจารณาในการตัดสินใจถ่วงน้ำหนัก

### 1.9 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อปรับปรุงเครื่องรับ PIC ให้เหมาะที่จะนำไปใช้ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราของระบบ DS-CDMA โดยให้มีอัตราบิดเบือนผลที่ต่ำ และมีความซับซ้อนไม่มากนักเพื่อนำไปใช้ได้ในระบบจริง

### 1.10 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะปรับปรุงเครื่องรับ PIC เพื่อนำมาใช้ในระบบ DS-CDMA ที่มี การส่งข้อมูลแบบหลายอัตราโดยทำการจัดการแทรกสอดแบบขนานบางส่วน (partial parallel interference cancellation) โดยหาตัวถ่วงน้ำหนักที่นำมาถ่วงน้ำหนักสัญญาณ MAI ที่สร้างขึ้นตามความเชื่อถือได้ ตัวถ่วงน้ำหนักนี้หาได้จากการพิจารณาสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์โดย

1. เปรียบเทียบอัตราบิดเบือนผลกับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, Standard PIC (SPIC) และ GW-PIC
  - กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูร์นและไม่สมบูร์น
  - เพื่อวัดความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล
  - เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอด้านการรองรับความจุของระบบ โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตราในระบบเปลี่ยนไป

2. เปรียบเทียบอัตราบิดพลาตเมื่อจำนวนบิตที่ใช้หาค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เปลี่ยนไป

พารามิเตอร์และสถานะที่ใช้ในการจำลองแบบ ได้แก่

1. การส่งข้อมูลเป็นแบบข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ (reverse link) คือ จากสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ไปยังสถานีฐาน (base station)
2. การส่งข้อมูลพิจารณาทั้งกรณีทีสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) และมาถึงพร้อมกัน (synchronous) ตามลำดับ
3. พิจารณาช่องสัญญาณที่มีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (Additive White Guassian Noise หรือ AWGN) โดยไม่พิจารณาผลของคลื่นหลายวิถี (multipath) และเฟดดิ้ง (fading)
4. สมมติให้เครื่องรับที่สถานีฐานทราบค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน
5. สมมติให้เครื่องรับที่สถานีฐานทราบเวลาที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับอย่างแม่นยำ

### 1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เครื่องรับที่ปรับปรุงนี้สามารถนำมาใช้ได้ในระบบจริงที่สถานีฐาน เพราะรู้รหัสแผ่ของผู้ใช้คนอื่นและสามารถจัดผลของ MAI จากผู้ใช้นที่เครื่องรับไม่ต้องการได้ตามสภาพระบบที่เปลี่ยนไปและเครื่องรับนี้มีความซับซ้อนน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่น (ดังรูปที่ 1.2) ทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้ในระบบจริงได้

### 1.12 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาเทคนิคการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราในระบบ DS-CDMA
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องรับที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้วโดยได้มีการนำไปใช้ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายอัตรา [14] วิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละประเภทและเลือกวิธีปรับปรุงเครื่องรับ PIC
3. เขียนโปรแกรมตามเครื่องรับที่ได้มีคนเสนอไว้แล้ว [12] และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลของผู้ที่เสนอ
4. ออกแบบและปรับปรุงเครื่องรับที่มีคนเสนอเพื่อให้อัตราบิดพลาตมีค่าลดลง

โดยมีความซับซ้อนไม่มากนัก

5. เขียนโปรแกรมทดสอบผลเพื่อเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับที่มีผู้เสนอไว้แล้ว
6. วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุปผล
7. เขียนวิทยานิพนธ์

### 1.13 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ มีเนื้อหาเกี่ยวกับความเป็นมา ความรู้เบื้องต้นของระบบ DS-CDMA เทคนิคการส่งข้อมูลแบบหลายอัตรา ปัญหาที่เกิดขึ้นในการปรับปรุงเครื่องรับ PIC ที่นำมาใช้ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายอัตรา แนวคิดในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และสุดท้ายขึ้นตอนวิธีการดำเนินการ

บทที่ 2 แบบจำลองระบบ อธิบายถึงความหมายศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการจำลองแบบเพื่อความเข้าใจมากขึ้น การส่งข้อมูลแบบหลายอัตราด้วยเทคนิคเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi processing gain scheme) รหัสแรมที่เลือกใช้ในการจำลองแบบ การจำลองแบบ และสุดท้ายกล่าวถึงหลักการของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC และ GW-PIC ที่นำมาใช้ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับเครื่องรับที่นำเสนอ

บทที่ 3 การปรับปรุงเครื่องรับแบบการขจัดแทรกสอดบางส่วนโดยใช้ค่าความแปรปรวนในการตัดสินใจตัวถ่วงน้ำหนัก เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและเหตุผลพร้อมทั้งแนวคิดในการใช้ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ในการตัดสินใจตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการขจัดสัญญาณแทรกสอดบางส่วน นอกจากนั้นยังปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องรับที่นำเสนอให้ดีขึ้นโดยการเปลี่ยนฟังก์ชันในการตัดสินใจบิตข้อมูล ได้แก่ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision (NZ hard decision)

บทที่ 4 ผลการจำลองแบบ ในบทนี้แสดงถึงผลการวิจัยพร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้โดยเปรียบเทียบสมรรถนะด้วยค่าอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate) ของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอที่ใช้ hard decision, NZ hard decision ในการตัดสินใจบิตข้อมูลที่จะนำไปสร้าง MAI โดยผลการวิจัยทำการเปรียบเทียบที่สภาวะ ต่อไปนี้

- การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ที่ค่า  $E_b/N_0$  ต่างๆ
- การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ที่ค่า  $E_b/N_0$  ต่างๆ
- ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล

- ความจุของระบบ
- จำนวนบิตที่ใช้ในการหาค่าความแปรปรวนเพื่อใช้ในการตัดสินใจล่วงหน้า

ในบทสุดท้าย บทที่ 5 บทสรุป/ ทำการสรุปผลการวิจัย ความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะการทำกรวิจัยในอนาคตต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### แบบจำลองระบบ

ในบทนี้อธิบายความหมายศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการจำลองแบบเพื่อความเข้าใจมากขึ้น และกล่าวถึงการจำลองแบบในการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราของระบบ DS-CDMA โดยใช้เทคนิคเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi Processing Gain หรือ MPG) รหัสแฉ่ที่เลือกใช้ในการจำลองแบบ ได้แก่ Gold code และอธิบายถึงหลักการของเครื่องรับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, Standard PIC (SPIC) และ Groupwise Weighted PIC (GW-PIC) ที่นำมาใช้ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับเครื่องรับที่นำเสนอ

#### 2.1 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ชิป (chip) หมายถึง 1 บิตของรหัสแฉ่

2.1.2 อัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain หรือ PG) หมายถึง จำนวนชิปของรหัสแฉ่ที่ใช้

สเปรตต่อ 1 บิตข้อมูล หรือมีค่าเท่ากับ  $\frac{T_b}{T_c} = \frac{R_c}{R_b}$

เมื่อ  $T_b$  คือ คาบของบิตข้อมูล

$T_c$  คือ คาบของชิปของรหัสแฉ่

$R_c$  คือ อัตราของชิป (chip rate)

$R_b$  คือ อัตราของบิตข้อมูล (data bit rate)

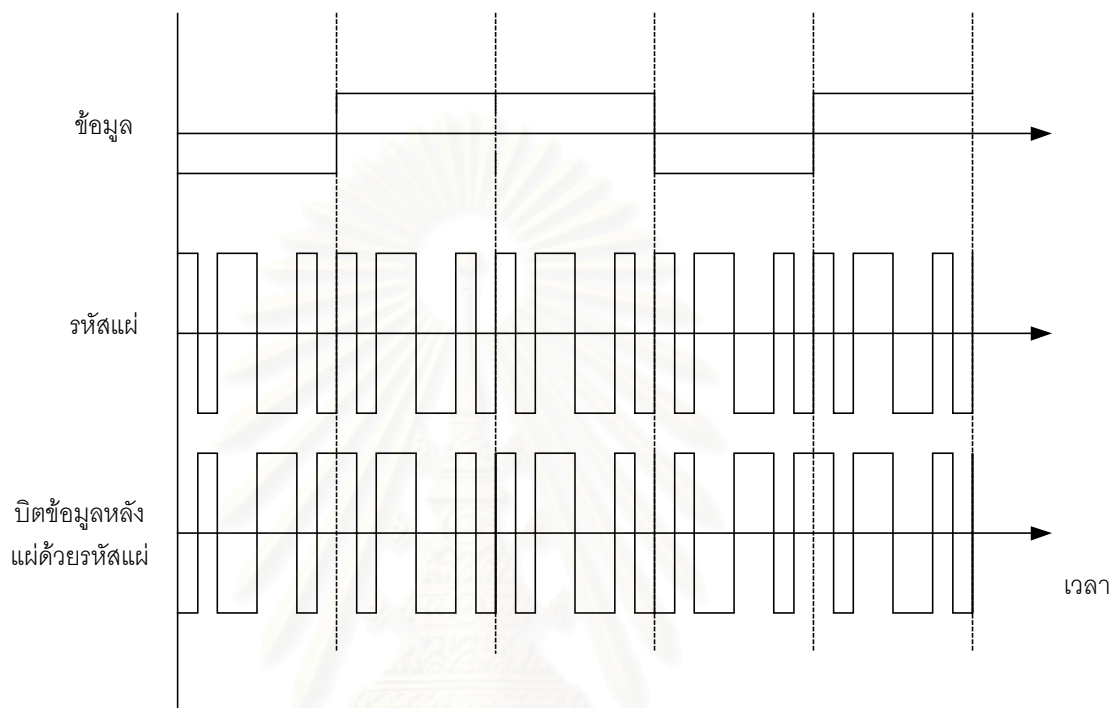
2.1.3 ผู้ใช้จริง (real user หรือ active user) หมายถึง ผู้เช่า (terminal subscriber) ในระบบ หรือกล่าวได้ว่า คือ ผู้ใช้ที่ทำการส่งข้อมูลที่อัตราใดๆก็ได้ โดยผู้ใช้จริงแต่ละคนมีอัตราขยายการประมวลผลของรหัสแฉ่ที่ไม่เท่ากัน

2.1.4 ผู้ใช้เสมือน (virtual user) หมายถึง ผู้ใช้ที่ถูกมองให้เป็นผู้ใช้ที่ส่งข้อมูล low rate หรือกล่าวได้ว่าผู้ใช้เสมือนทุกคนมีอัตราขยายการประมวลผลของรหัสแฉ่เท่ากันหมด เช่น

ผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูลอัตรา  $1/T_b$  (lowest rate) มีอัตราขยายการประมวลผลเป็น  $N_c$

ผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูลอัตรา  $(k/T_b)$  มีอัตราขยายการประมวลผลเป็น  $N_c/k$  จะถูกมองเป็นผู้ใช้เสมือน  $k$  คน และแต่ละผู้ใช้เสมือนมีอัตราขยายการประมวลผลเป็น  $N_c$

2.1.5 การแผ่สัญญาณ หมายถึง การนำข้อมูลที่อยู่ในรูปบิตไบนารี (+1, -1) มาคูณกับรหัสแฉ่ซึ่งมีอัตราชีพที่สูงกว่าอัตราบิตข้อมูล ทำให้สัญญาณที่ถูกส่งมีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแผ่สัญญาณ

2.1.6 การดีสเปรตสัญญาณ หมายถึง เครื่องรับนำสัญญาณที่รับได้คูณเข้ากับรหัสแฉ่ตัวเดิมที่ใช้แฉ่ตอนส่งมา จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยทางเวลา (time average) ของสัญญาณทุกๆ คาบบิตข้อมูล ทำให้ได้บิตข้อมูลกลับคืนมา ขั้นตอนในการดีสเปรตนี้ถูกกระทำที่เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

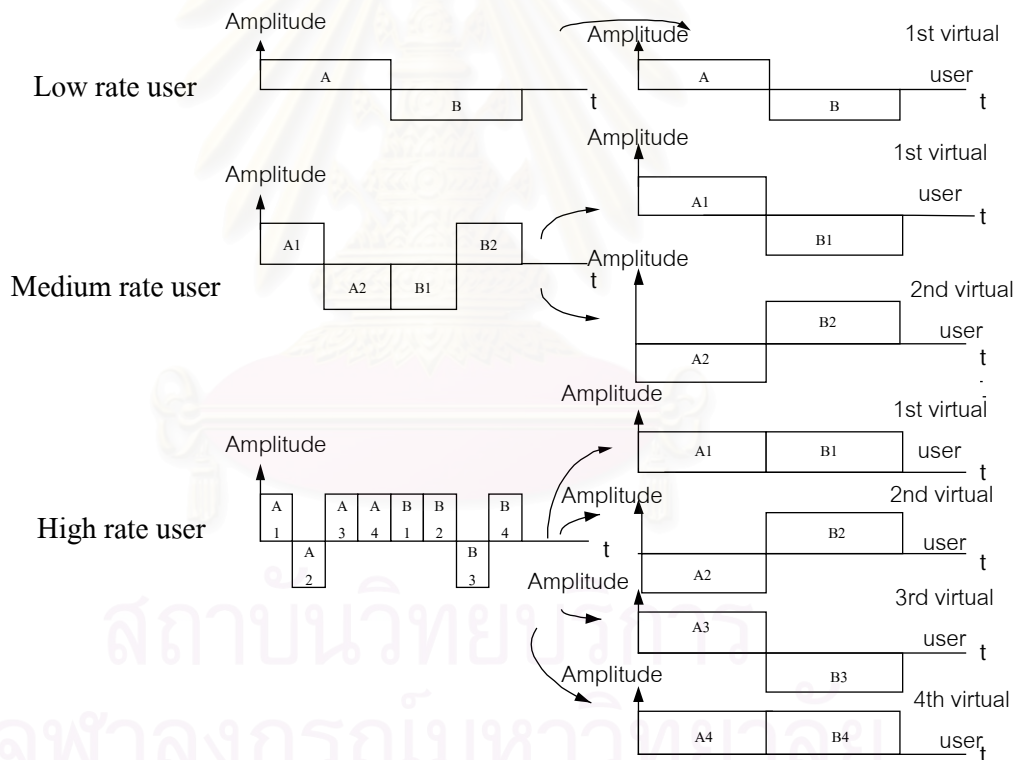
## 2.2 เทคนิคเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi Processing Gain หรือ MPG)

MPG คือ เทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราของระบบ DS-SS ซึ่งในการจำลองแบบกำหนดให้มีผู้ใช้ที่ส่งข้อมูล 3 อัตรา คือ ผู้ใช้ low rate ส่งข้อมูลด้วยอัตรา  $R_L$  , ผู้ใช้ medium rate ส่งข้อมูลด้วยอัตรา  $R_M$  และผู้ใช้ high rate ส่งข้อมูลด้วยอัตรา  $R_H$  ซึ่ง

$$R_H = 2R_M = 4R_L \tag{2-1}$$

จากการกำหนดเงื่อนไขอัตราการส่งข้อมูลเป็นดังสมการที่ (2-1) ทำให้

- ถ้ากำหนดคาบบิตข้อมูลของผู้ใช้ low rate คือ  $T_b$  ทำให้คาบบิตข้อมูลของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น  $T_b / 2$  และ  $T_b / 4$  ตามลำดับ
- ถ้ากำหนดค่าอัตราขยายการประมวลผลของผู้ใช้ low rate คือ  $N_C$  ทำให้ค่าอัตราขยายการประมวลผลของผู้ใช้ medium rate และ ของผู้ใช้ high rate เป็น  $N_C / 2$  และ  $N_C / 4$  ตามลำดับ
- ผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูล low rate 1 คน ถูกมองเป็นผู้ใช้เสมือน (virtual user) 1 คน  
 ผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูล medium rate 1 คนถูกมองเป็นผู้ใช้เสมือน 2 คน  
 ผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูล high rate 1 คน ถูกมองเป็นผู้ใช้เสมือน 4 คน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การส่งข้อมูลแบบหลายอัตราโดยเทคนิคเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผลซึ่งมองผู้ใช้จริงเป็นผู้ใช้เสมือน

### 2.3 รหัสแม่ที่ใช้

เลือกใช้ Gold code ซึ่งจัดเป็น Pseudorandom Noise sequence ที่มีคุณสมบัติคล้าย

กับสัญญาณรบกวนที่ได้จากกระบวนการสุ่ม โดย Gold code (ดูภาคผนวก) มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสต่ำมาก ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อปรับปรุง Multiuser receiver ในปัจจุบันเป็นส่วนมาก

เนื่องจากคาบิตข้อมูลของผู้ใช้ low rate ยาวกว่าคาบิตข้อมูลของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 2 และ 4 เท่าตามลำดับ ทำให้รหัสแฝงของผู้ใช้ low rate มีค่าอัตราขยายการประมวลผลเป็น 2 และ 4 เท่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate ตามลำดับ

ในการจำลองแบบเมื่อแปลงเป็นผู้ใช้เสมือนทำให้รหัสแฝงของผู้ใช้เสมือนแต่ละคนเป็น 32 ชิป ดังนี้

*ผู้ใช้ low rate*

- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้ low rate ถูกแผ่ด้วย Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 1

*ผู้ใช้ medium rate*

- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 1 ของ medium rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 1 – 16 สร้างจาก ชิปที่ 1 – 16 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 2 ชิปที่ 17 – 32 เป็นศูนย์
- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 2 ของ medium rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 1 – 16 เป็นศูนย์ ชิปที่ 17 – 32 สร้างจาก ชิปที่ 17 – 32 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 2

*ผู้ใช้ high rate*

- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 1 ของ high rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 1 – 8 สร้างจาก ชิปที่ 1 – 8 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 3 ชิปที่ 17 – 32 เป็นศูนย์
- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 2 ของ high rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 9 – 16 สร้างจาก ชิปที่ 9 – 16 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 3 ชิปที่ 1 – 8 และชิปที่ 17 – 32 เป็นศูนย์
- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 3 ของ high rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 17 – 24 สร้างจาก ชิปที่ 17 – 24 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 3 ชิปที่ 1 – 16 และชิปที่ 25 – 32 เป็นศูนย์
- 1 บิตข้อมูลของผู้ใช้เสมือนคนที่ 4 ของ high rate ถูกแผ่ด้วยรหัสที่สร้างจากชิปที่ 25 – 32 สร้างจาก ชิปที่ 25 – 32 ของ Gold code ความยาว 32 ชิป ชุดที่ 3 ชิปที่ 1 – 23 เป็นศูนย์



เนื่องจากรหัสแผ่ควรมีคุณสมบัติ 
$$\int_0^T |S_j(t)|^2 dt = 1 \quad (2-2)$$

เพื่อให้พลังงานของบิตข้อมูลมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากถูกแผ่ด้วยรหัสแผ่ ซึ่งตัวอย่างของรหัสแผ่ถูกแสดงดังตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 กำหนดให้ระบบมีผู้ใช้ Low rate ( $1/T_b$ ) 1 คน, ผู้ใช้ Medium rate ( $2/T_b$ ) 1 คน และผู้ใช้ High rate ( $4/T_b$ ) 1 คน ดังนั้นมองเป็นผู้ใช้เสมือนรวม 7 คน (1, 2 และ 4 ตามลำดับ) โดยรหัสแผ่ที่ใช้ของผู้ใช้เสมือน คนที่ 1 ถึง 7 คือ

$$S_1(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C}} \sum_{m=0}^{N_C-1} S_{1,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C) \quad (2-3)$$

$$S_2(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 2}} \sum_{m=0}^{N_C/2-1} S_{2,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C) \quad (2-4)$$

$$S_3(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 2}} \sum_{m=N_C/2}^{N_C} S_{2,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C - T_b / 2) \quad (2-5)$$

$$S_4(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 4}} \sum_{m=0}^{N_C/4-1} S_{3,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C) \quad (2-6)$$

$$S_5(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 4}} \sum_{m=N_C/4}^{N_C/2-1} S_{3,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C - T_b / 4) \quad (2-7)$$

$$S_6(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 4}} \sum_{m=N_C/2}^{3N_C/4-1} S_{3,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C - T_b / 2) \quad (2-8)$$

$$S_7(t) = \frac{1}{\sqrt{N_C T_C / 4}} \sum_{m=3N_C/4}^{N_C-1} S_{3,m} \Pi_{T_C}(t - mT_C - 3T_b / 4) \quad (2-9)$$

เมื่อ  $S_{i,m} = \{-1, 1\}$  คือ รหัสแผ่ (spreading codes) ชุดที่  $i$  ซึ่งมีความยาว  $N_C$  ชิป (2-10)

$\frac{T_b}{T_C} = N_C$  (processing gain),  $T_C$  คือ คาบของ 1 ชิป,  $T_b$  คือ คาบของ 1 บิตข้อมูล low rate

$\Pi_{T_C}$  คือ พัลส์จตุรัสที่มีขนาดหนึ่งหน่วย (square pulse with unit amplitude) และกว้าง  $T_C$  เนื่องจากการจำลองแบบใช้ Gold code ความยาว 32 ชิป ดังนั้น  $N_C = 32$  ทำให้ได้ค่ารหัสแผ่ของผู้ใช้เสมือนแต่ละคนเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของรหัสของผู้ใช้เสมือนที่สร้างจาก Gold code ความยาว 32 ชิป

ผู้ใช้เสมือน / ชิปที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Low rate ( $\div \sqrt{32}$ ) <sup>*</sup>	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
Medium rate คนที่ 1 ( $\div \sqrt{16}$ )	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Medium rate คนที่ 2 ( $\div \sqrt{16}$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	
High rate คนที่ 1 ( $\div \sqrt{8}$ )	1	1	1	-1	1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
High rate คนที่ 2 ( $\div \sqrt{8}$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
High rate คนที่ 3 ( $\div \sqrt{8}$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	
High rate คนที่ 4 ( $\div \sqrt{8}$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1

หมายเหตุ \* รหัสแผ่ของผู้ใช้เสมือน low rate, medium rate และ high rate ถูกหารด้วย  $\sqrt{32}$   $\sqrt{16}$  และ  $\sqrt{8}$  ตามลำดับเพื่อให้รหัสแผ่มีคุณสมบัติตามสมการที่ (2-2)

## 2.4 แบบจำลองระบบ

ทางด้านส่งผู้ใช้เสมือนแต่ละคนถูกแผ่ด้วยรหัสแผ่ของตนเองและถูกส่งในลักษณะเบส-แบนด์ออกไปผ่านช่องสัญญาณที่มีผลของสัญญาณรบกวนเท่านั้น

สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน คือ

$$r(t) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=N_b/2}^{N_b/2} A_j b_j[i] S_j(t - iT_b - \tau_j) + n(t) \quad (2-11)$$

โดย  $A_j$  คือ ขนาด (amplitude) สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้เสมือนที่  $j$

$b_j[i] \in \{-1, 1\}$  คือ บิตที่  $i$  ของผู้ใช้เสมือนที่  $j$

$S_j$  คือ รหัสแผ่ของผู้ใช้เสมือนที่  $j$

$\tau_j$  คือ ค่าประวิงเวลาจากผู้ใช้เสมือนคนที่  $j$

$n(t)$  คือ Additive White Guassian Noise (AWGN) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนเป็น  $\sigma_{noise}^2$

$K$  คือ จำนวนผู้ใช้เสมือนทั้งหมด

$2N_b + 1$  คือ จำนวนบิตข้อมูลใน 1 บล็อกข้อมูล

ในการจำลองแบบได้พิจารณาทั้งกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้จริงแต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) และไม่พร้อมกัน (asynchronous) หมายถึง  $\tau_j = 0$  และ  $\tau_j \neq 0$  ตามลำดับ

หมายเหตุ เพื่อความสะดวก ขอเรียก “ผู้ใช้” แทน “ผู้ใช้เสมือน” ตั้งแต่หัวข้อที่ 2.5 เป็นต้นไป

## 2.5 Matched filter

Matched filter ทำหน้าที่ดีสเปรดสัญญาณของผู้ใช้คนที่เครื่องรับต้องการโดยการนำรหัสแผ่ของผู้ใช้คนนั้นไปคูณกับสัญญาณที่รับได้ ดังรูปที่ 2.3 โดยที่สถานีฐานรู้รหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคน

**พิจารณากรณี synchronous ( $\tau_j = 0$ )**

สัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตช์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่  $k$  บิตที่  $i$

$$y_k [i] = \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} r(t) S_k(t - iT_b) dt \tag{2-12}$$

$$= A_k b_k [i] + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j [i] \rho_{jk} + \eta_k [i] \tag{2-13}$$

interference term

เมื่อ  $\rho_{jk} = \int_0^{T_b} S_k(t) S_j(t) dt$  คือ ค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ระหว่างรหัสแม่ของผู้ใช้ที่  $k$  กับผู้ใช้ที่  $j$

$$\eta_k [i] = \sigma_{noise} \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} n(t) S_k(t - iT_b) dt$$

โดย  $\sigma_{noise}^2$  คือ ความแปรปรวนของ AWGN โดย

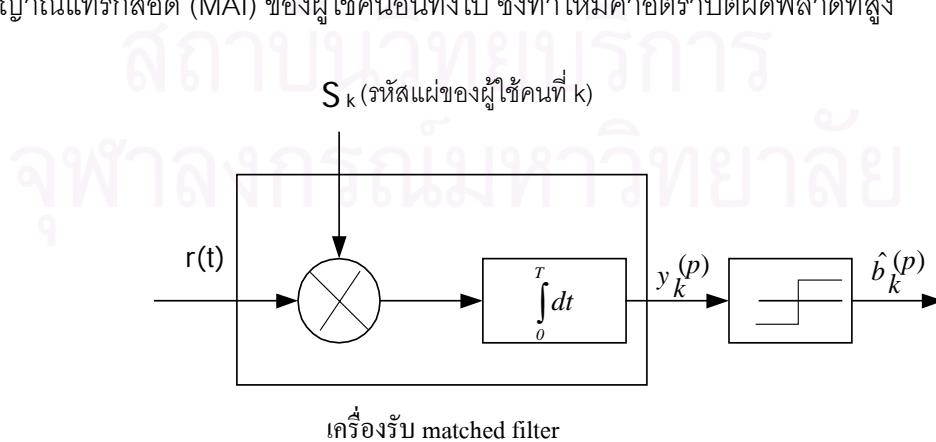
$\eta_k [i]$  มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Gaussian ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ [6]

บิตที่ตัดสินใจได้จากสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ที่  $k$  บิตที่  $i$  ด้วย hard decision คือ

$$\hat{b}_k [i] = \text{sgn}(y_k [i]) \tag{2-14}$$

$$\text{เมื่อ } \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

แต่จากสมการที่ (2-13) พบว่าหากค่าพจน์การแทรกสอด (interference term) มีค่ามาก (ซึ่งขึ้นกับพลังงานของผู้ใช้คนที่เครื่องรับไม่ต้องการ และค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสแม่ของผู้ใช้) ทำให้การตัดสินใจบิตที่  $i$  ในสมการที่ (2-14) ผิดได้ ดังนั้นจะเห็นว่า เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ไม่ได้กำจัดสัญญาณแทรกสอด (MAI) ของผู้ใช้คนอื่นทิ้งไป ซึ่งทำให้มีค่าอัตราบิตผิดพลาดที่สูง



รูปที่ 2.3 เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่  $k$

## 2.6 Standard Parallel Interference Cancellation หรือ SPIC

ในเครื่องรับแบบ SPIC จะมีการสร้าง MAI ของผู้ใช้ที่รบกวนขึ้นมาโดยใช้บิตที่ตัดสินใจได้จากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ (สมการที่ 2-14) จากนั้นนำสัญญาณที่สร้างขึ้นไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้ และนำไปผ่านเข้าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่เครื่องรับต้องการอีกครั้งซึ่งจะมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เพราะได้มีการขจัด MAI ของผู้ใช้คนอื่นทิ้งไป

พิจารณารูปที่ 2.4 สมมติให้ผู้ใช้คนที่  $k$  คือคนที่ต้องการ จะได้ว่าสัญญาณของผู้ใช้คนที่  $j$  ถูกสร้างขึ้นในการขจัด MAI stage ที่  $p$  คือ

$$\hat{x}_j^{(p)}(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} \hat{A}_j \hat{b}_j^{(p-1)}[i] S_j(t - iT_b) \quad (2-15)$$

เมื่อ  $\hat{A}_j$  คือ ค่าประมาณขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ที่  $j$  โดยสมมติให้การจำลองแบบรู้คุณลักษณะช่องสัญญาณจึงได้ว่า  $\hat{A}_j \approx A_j$   
 $\hat{b}_j^{(p-1)}[i]$  คือ บิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage ที่  $p - 1$  ของผู้ใช้คนที่  $j$

สัญญาณที่ถูกหักล้างด้วย MAI ของผู้ใช้คนอื่นที่มารบกวนผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $p$  คือ

$$\hat{r}_k^{(p)}(t) = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{x}_j^{(p)}(t) \quad (2-16)$$

โดย stage ที่ 0 คือ สัญญาณที่รับได้ผ่านเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อยังไม่มีหักล้างด้วย MAI ที่สร้างขึ้น ดังนั้น

$$\hat{r}_k^{(0)}(t) = r(t) \quad (2-17)$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะบิตที่  $i$  และแทน สมการที่ (2-11) และ สมการที่ (2-15) ลงในสมการที่ (2-16) ได้ว่า

$$\hat{r}_k^{(p)}[i] = A_k b_k[i] S_k(t - iT_b) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i] - \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) S_j(t - iT_b) + n[i] \quad (2-18)$$

เมื่อ  $b_k[i]$  คือ บิตข้อมูลที่ส่งมาบิตที่  $i$  ของผู้ใช้คนที่  $k$

$b_j[i]$  คือ บิตข้อมูลที่ส่งมาบิตที่  $i$  ของผู้ใช้คนที่  $j$

$\hat{b}_j^{(p-1)}[i] = \text{sgn}[y_j^{(p-1)}(i)]$  คือ บิตที่ตัดสินใจได้จาก  $y_j^{(p-1)}$  ของผู้ใช้คนที่  $j$  ใน stage ที่  $p-1$  ด้วย hard decision

จากนั้นผ่านสัญญาณที่หักล้าง MAI จากผู้ใช้คนอื่นไปยังเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์อีกครั้ง เพื่อตีสเปรตสัญญาณของผู้ใช้คนที่  $k$  ออกมาจาก stage ที่  $p$

$$y_k^{(p)}[i] = \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} S_k(t - iT_b) \hat{r}_k^{(p)}[i] \quad (2-19)$$

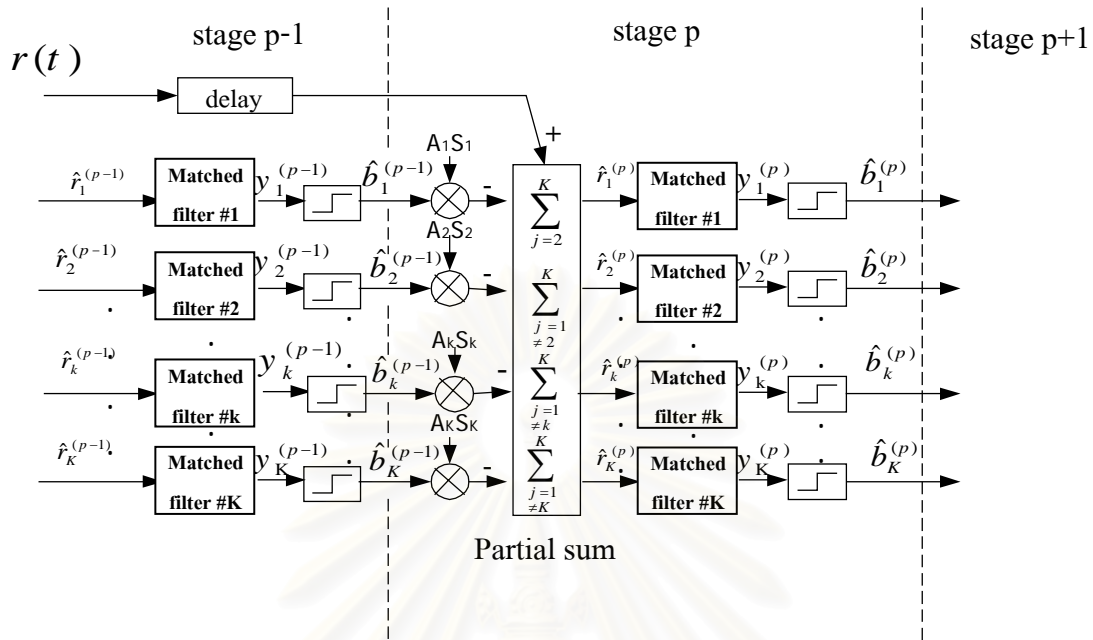
$$y_k^{(p)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i] - \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} + \eta_k[i] \quad (2-20)$$

สุดท้ายตัดสินใจบิตด้วย Hard decision

$$\hat{b}_k^{(p)}[i] = \text{sgn}(y_k^{(p)}[i]) \quad (2-21)$$

$\hat{b}_k^{(p)}[i]$  คือ บิตที่ตัดสินใจได้จาก  $y_k^{(p)}$  ของผู้ใช้ที่  $k$  ใน stage ที่  $p$  (หรือหมายถึง บิตที่ตัดสินใจได้จาก stage ปัจจุบัน)

เนื่องจากพจน์ที่ 2 ในสมการที่ (2-20) เป็นศูนย์ ก็ต่อเมื่อบิตที่ตัดสินใจได้จาก stage ที่  $p-1$  (stage ก่อนหน้า) มีความถูกต้อง คือ มีค่าเท่ากับบิตที่ส่งมา ( $b_j[i] = \hat{b}_j^{(p-1)}[i]$ ) และทำให้บิตที่ตัดสินใจใน stage  $p$  ของสมการที่ (2-21) มีความถูกต้องขึ้นเพราะ MAI จากผู้ใช้ที่มารบกวนได้ถูกหักล้าง แต่ในทางปฏิบัติบิตที่ตัดสินใจได้จาก stage ก่อนหน้าอาจมีความผิดพลาดทำให้  $\hat{b}_j^{(p-1)}[i]$  ไม่เท่ากับ  $b_j[i]$  แสดงว่าแทนที่จะไปกำจัด MAI กลับไปเพิ่ม MAI เป็น 2 เท่า เช่นกรณี ที่  $b_j[i] = +1$  แต่เราตัดสินใจบิตใน stage  $p-1$   $\hat{b}_j^{(p-1)}[i]$  ได้  $-1$  ทำให้  $(b_j(i) - \hat{b}_j^{(p-1)}(i)) = 2$



## 2.7 Groupwise Weighted PIC [12]

จากข้อเสียที่กล่าวมาในเครื่องรับแบบ PIC จึงได้มีผู้เสนอเครื่องรับ PIC แบบ partial cancellation ซึ่งมีหลักการว่า MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนที่เชื่อถือได้น้อยควรถ่วงน้ำหนักด้วยตัวถ่วงน้ำหนัก (weight factor) คำน้อย ดังรูปที่ 2.5 และจากที่ได้กล่าวถึงระบบการส่งแบบหลายอัตราด้วยวิธีเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล ผู้ใช้ high rate จะรบกวนผู้ใช้ medium rate และ low rate และผู้ใช้ medium rate จะรบกวนผู้ใช้ low rate ดังนั้น MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ high rate จึงเชื่อถือได้มากที่สุด ในขณะที่ผู้ใช้ low rate เชื่อถือได้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงแบ่งผู้ใช้เป็นกลุ่มตามอัตราการส่งข้อมูลและให้ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ high rate ( $w(1)$ ) มีค่าสูงกว่าตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ medium rate ( $w(2)$ ) และตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ medium rate มีค่าสูงกว่าของผู้ใช้ low rate ( $w(3)$ ) ดังสมการที่ (2-22)

$$1 > w(1)^2 > w(2)^2 > w(3)^2 > 0 \quad (2-22)$$

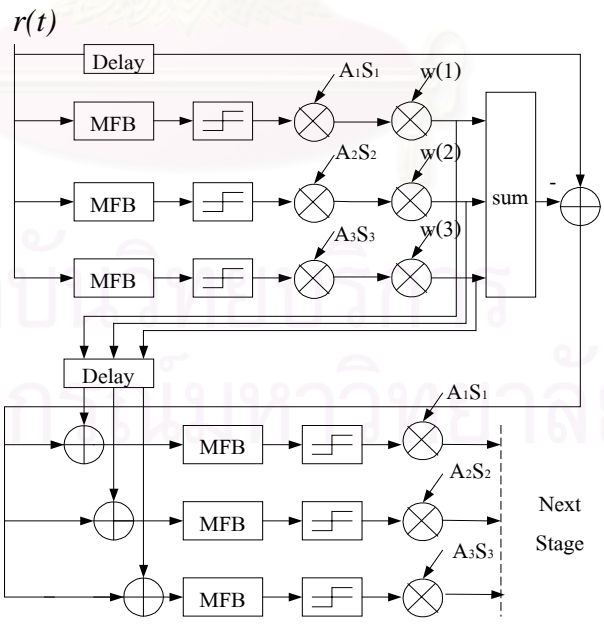
สมมติให้ผู้ใช้คนที่  $k$  คือ คนที่เครื่องรับต้องการดีเทกต์สัญญาณ จะได้ว่าสัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ที่  $k$  ใน stage ที่  $p$  คือ  $\hat{x}_k^{(p)}$  เป็นไปตามสมการที่ (2-15) จากนั้นนำมาคูณด้วยตัว

ถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละอัตราเพื่อถ่วงน้ำหนักในการจัดการแทรกสอด และนำสัญญาณที่สร้าง ขึ้นนี้ไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้ (ดังสมการที่ 2-23) และผ่านเข้าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ อีกครั้ง (ดังสมการที่ 2-19) และตัดสินใจด้วย Hard decision (ดังสมการที่ 2-21)

$$\hat{r}_k^{(p)}(t) = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K (\hat{x}_j^{(p)}(t) * w_j(R)) \tag{2-23}$$

เมื่อ  $w_j(R)$  คือ ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ที่  $j$  ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตรา  $R$  โดย  $R = 1, 2$  และ 3 แทนการส่งบิตข้อมูล low rate, medium rate และ high rate ตามลำดับ ตัวถ่วงน้ำหนัก ของผู้ใช้ที่ทำการส่งข้อมูลด้วยอัตราเดียวกันมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาให้ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ ใช้ low rate มีค่าน้อยที่สุด และของผู้ใช้ high rate มีค่าสูงที่สุด

อย่างไรก็ตาม สัญญาณที่สร้างขึ้นนี้จะมีความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ MAI จากผู้ใช้คนอื่นที่มารบกวน ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบมีจำนวนมาก หรือปรากฏการณ์ใกล้-ไกล เป็นต้น ดังนั้นการที่กำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักให้คงที่โดยพิจารณาจาก อัตราการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียวไม่น่าให้ผลที่ดีนัก ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีหาตัวถ่วงน้ำหนักที่ปรับค่าได้ตามสภาพแวดล้อมของระบบที่เปลี่ยนไป เช่น เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไป อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect) หรือเมื่อจำนวนผู้ใช้เข้ามา ในระบบเพิ่มขึ้น เป็นต้น



(จากรูป MFB คือ Matched Filter Bank)

รูปที่ 2.5 Groupwise Weighted PIC ในระบบการส่งหลายอัตรา



### บทที่ 3

## การปรับปรุงเครื่องรับแบบขจัดสอดบางส่วนโดยใช้ ค่าความแปรปรวนในการตัดสินใจถ่วงน้ำหนัก

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวิธีที่น่าเสนอในการหาค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อนำไปถ่วงน้ำหนักสัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้แต่ละคนตามความถูกต้องของสัญญาณที่สร้างขึ้น โดยนำค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage ก่อนหน้ามาพิจารณา เนื่องจากค่าความแปรปรวนที่พิจารณานี้ขึ้นกับพจน์สัญญาณแทรกสอด (MAI) ที่เข้ามารบกวนผู้ใช้แต่ละคนและเป็นตัวจำกัดความน่าเชื่อถือของสัญญาณที่สร้างขึ้น

### 3.1 ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์

พิจารณาสัญญาณของผู้ใช้คนที่  $j$  ถูกสร้างขึ้นในการขจัด MAI stage ที่  $p$  โดยพิจารณาสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) คือ

$$\hat{x}_j^{(p)}(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} \hat{A}_j \hat{b}_j^{(p-1)}[i] S_j(t - iT) \quad (3-1)$$

สัญญาณของผู้ใช้คนที่  $k$  ที่ถูกหักล้างด้วย MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้แต่ละคนใน stage ที่  $p$  และ stage 0 คือ

$$\hat{r}_k^{(p)}(t) = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K w_j^{(p)} \hat{x}_j^{(p)}(t) \quad (3-2)$$

$$r_k^{(0)} = r(t), \quad k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (3-3)$$

สัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่  $k$  บิตที่  $i$  ใน stage ที่  $p$  และ 0 คือ

$$\begin{aligned} y_k^{(p)}[i] &= \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} \hat{r}_k^{(p)}(t) S_k(t - iT_b) dt \\ &= A_k b_k[i] + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} + \eta_k[i] \end{aligned} \quad (3-4)$$

$$y_k^{(0)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i]) \rho_{jk} + \eta_k[i] \quad (3-5)$$

### 3.1.1 พิจารณาค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage 0 คือ

$$\text{Var}(y_k^{(0)}) = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(y_k^{(0)}[i])^2}{N_{SD}} - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{y_k^{(0)}[i]}{N_{SD}} \right)^2 \quad (3-6)$$

เมื่อ  $\text{Var}$  แสดงถึงความแปรปรวน

$N_{SD}$  คือ ความยาวบิตที่ใช้คำนวณค่าความแปรปรวน

$y_k^{(0)}[i]$  คือ สัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนที่  $k$  บิตที่  $i$  ใน stage ที่ 0

แทนสมการที่ (3-5) ลงในสมการที่ (3-6)

$$\begin{aligned} \text{Var}(y_k^{(0)}) = & \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k [i])^2}{N_{SD}} + 2 A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{b_k [i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j [i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + 2 A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(b_k [i] \eta_k [i])}{N_{SD}} \\ & + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j [i] \rho_{jk} \right)^2}{N_{SD}} + 2 \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\eta_k [i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j [i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k [i])^2}{N_{SD}} \\ & - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k [i])}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j [i]) \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k [i])}{N_{SD}} \right)^2 \end{aligned} \quad (3-7)$$

#### เงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณา

C.1 การคำนวณค่าทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยทั้งหมดทางสถิติ (ensemble average หรือ  $E[.]$ ) ทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นสมมติให้เป็นกระบวนการเออร์โกดิก [16] (ergodic process) คือ สามารถแทนค่าเฉลี่ยทางเวลา (time average หรือ  $\sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(. [i])}{N_{SD}}$ ) แทนค่าเฉลี่ยทั้งหมดทางสถิติ

C.2 บิตข้อมูลมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม (คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดบิต 1

และบิต -1 เท่ากับ 0.5) ทำให้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์  $\left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_j [i]}{N_{SD}} \right) = 0, j \in \{1, 2, \dots, K\}$

C.3  $\eta_k$  มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Gaussian ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

C.4 ความน่าจะเป็นในการเกิดบิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น

$$E[b_k b_j] = E[b_k]E[b_j] \text{ และได้ว่า } \frac{\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_k[i] b_j[i]}{N_{SD}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_k[i]\right) \left(\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_j[i]\right)}{N_{SD}} \quad (3-8)$$

C.5 ความน่าจะเป็นในการเกิดบิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนเป็นอิสระจากสัญญาณรบกวน

$$E[b_j \eta_k] = E[b_j]E[\eta_k] \text{ และได้ว่า } \frac{\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_j[i] \eta_k[i]}{N_{SD}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N_{SD}} b_j[i]\right) \left(\sum_{i=1}^{N_{SD}} \eta_k[i]\right)}{N_{SD}} \quad (3-9)$$

เมื่อ  $j \in \{1, 2, \dots, K\}$

### พิจารณาสมการที่ (3-7)

1. พจน์ที่ (2) ของสมการที่ (3-7) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไขที่ C.2 และ C.4
2. พจน์ที่ (3) และ (5) ของสมการที่ (3-7) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไข C.2, C.3 และ C.5
3. พจน์ที่ (4) ของสมการที่ (3-7) กลายเป็น

$$\sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j b_j[i] \rho_{jk} \right)^2}{N_{SD}} = \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K (A_j \rho_{jk})^2 \quad (3-10)$$

เนื่องจากเงื่อนไข C.2 และ C.4

4. พจน์ที่ (7) ของสมการที่ (3-7) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไข C.2 และ C.3

ดังนั้นสมการที่ (3-7) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\text{Var}(y_k^{(0)}) = A_k^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K (A_j \rho_{jk})^2 + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])^2}{N_{SD}} \quad (3-11)$$

$$= A_k^2 + \sigma_{MAI^{(0)},k}^2 + \sigma_{noise}^2 \quad (3-12)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_{MAI^{(0)},k}^2 = \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K (A_j \rho_{jk})^2$$

$$\sigma_{noise}^2 = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])^2}{N_{SD}}$$

3.1.2 พิจารณาค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage  $p$  คือ

$$\text{Var}(y_k^{(p)}) = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(y_k^{(p)}[i])^2}{N_{SD}} - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{y_k^{(p)}[i]}{N_{SD}} \right)^2 \quad (3-13)$$

แทนสมการที่ (3-4) ลงในสมการที่ (3-13)

$$\begin{aligned} \text{Var}(y_k^{(p)}) = & \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} + 2A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{b_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j b_j[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} - 2A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{b_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} \\ & + 2A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(b_k[i] \eta_k[i])}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)^2}{N_{SD}} \\ & + 2 \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\eta_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j b_j[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} - 2 \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\eta_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])^2}{N_{SD}} \\ & - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])}{N_{SD}} \right)^2 \end{aligned} \quad (3-14)$$

### พิจารณาสมการที่ (3-14)

1. พจน์ที่ (2) ของสมการที่ (3-14) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไขที่ C.2 และ C.4
2. พจน์ที่ (4) และ (6) ของสมการที่ (3-14) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไข C.2, C.3 และ C.5
3. พจน์ที่ (9) ของสมการที่ (3-14) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเงื่อนไข C.2 และ C.3

ดังนั้นสมการที่ (3-14) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Var}(y_k^{(p)}) = & \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} - 2A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{b_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} \\ & + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)^2}{N_{SD}} - 2 \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\eta_k[i] \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i] \rho_{jk} \right)}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])^2}{N_{SD}} \end{aligned}$$

(3-15)

$$\text{โดย } \hat{b}_j^{(p-1)}[i] = \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^K A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-2)} \hat{b}_l^{(p-2)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (3-16)$$

$$\hat{b}_j^{(p-2)}[i] = \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^K A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-3)} \hat{b}_l^{(p-3)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (3-17)$$

แต่ในกรณีที่ผู้ใช้คนที่  $k$  โดนรบกวนจาก MAI ของผู้ใช้คนอื่นอย่างแรงซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect) คือ

$$A_k \ll A_j, \quad j \in \{1, 2, \dots, K\} \neq k \quad (3-18)$$

และการหักล้างที่ stage แรกๆ พบว่าบิตที่ตัดสินใจได้ของผู้ใช้แต่ละคนยังมีความผิดพลาดอยู่ คือ

$$\hat{b}_l^{(p-2)} \neq \hat{b}_l^{(p-1)} \neq b_l \quad \text{เมื่อ } l \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (3-19)$$

ทำให้สมการที่ (3-16) และ (3-17) ถูกประมาณเป็น

$$\hat{b}_j^{(p-1)}[i] \approx \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j, k}}^K A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-2)} \hat{b}_l^{(p-2)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (3-20)$$

$$\text{โดย } \hat{b}_j^{(p-2)}[i] \approx \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j, k}}^K A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-3)} \hat{b}_l^{(p-3)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (3-21)$$

และจากสมการที่ (3-20) และ (3-21) ประมาณได้ว่า  $\hat{b}_j^{(p-1)}$  ไม่ขึ้นกับ  $b_k$  และ  $\eta_k$  ทำให้พจน์ที่ (2) และ (4) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และสามารถตัดทิ้งได้

ดังนั้น สมการที่ (3-15) ถูกประมาณได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Var}(y_k^{(p)}) &= \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{\left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)^2}{N_{SD}} + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(\eta_k[i])^2}{N_{SD}} \\ &= \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} + \sigma_{MAI(p),k}^2 + \sigma_{noise}^2 \end{aligned} \quad (3-22)$$

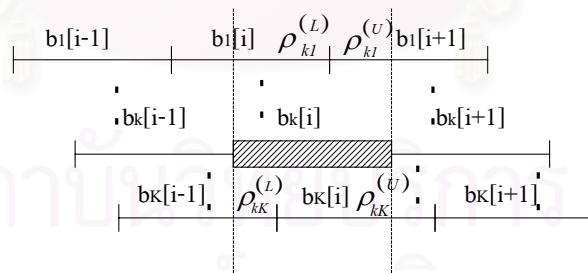
เมื่อ  $\sigma_{MAI(p),k}^2 = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_j^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk}}{N_{SD}} \right)^2$  คือ MAI ที่เกิดหลังจากการหักล้างใน stage ที่  $p$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ไมเกิดผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล ( $A_1 = A_2 \dots = A_k \dots = A_K$ ) หรือการหักล้าง MAI ที่ stage สูงๆ พบว่าบิตที่ตัดลินได้มีความถูกต้องมากขึ้น คือ

$$\hat{b}_i^{(p-2)} = \hat{b}_i^{(p-1)} = b_i \quad (3-23)$$

ดังนั้นสมการที่ (3-20) และ (3-21) ไม่เป็นจริง คือ  $\hat{b}_j^{(p-1)}$  ขึ้นกับ  $b_k$  และ  $\eta_k$  และพจน์ที่ (3) ของสมการที่ (3-15) มีค่าต่ำลง ทำให้พจน์ที่ (2) และ (4) ของสมการที่ (3-15) ไม่สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นที่ stage สูงๆ (เมื่อทำการหักล้าง MAI ไปจนเกือบหมด) ค่าความแปรปรวนจึงไม่สามารถประมาณได้ดังสมการที่ (3-22) ซึ่งหมายถึงค่าความแปรปรวนไม่ได้ขึ้นกับ MAI และสัญญาณรบกวนเท่านั้นแล้ว

ในกรณีที่สัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) [6] สามารถพิจารณาได้ในทำนองเดียวกับกรณี synchronous โดยสมมติให้การประวิงเวลา (delay) จากผู้ใช้แต่ละคนเป็นดังนี้  $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \tau_3 \leq \dots \leq \tau_K$  ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน

เมื่อ  $j < l$  โดยที่  $j, l \in \{1, 2, \dots, K\}$

$$\rho_{jl}^{(U)} = \int_{\tau_l - \tau_j}^{T_b} S_j(t) S_l(t - (\tau_l - \tau_j)) dt \quad \text{และ}$$

$$\rho_{jl}^{(L)} = \int_0^{\tau_l - \tau_j} S_j(t) S_l(t + T_b - (\tau_l - \tau_j)) dt$$

ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage ที่  $p$  และ 0 ในสมการที่ (3-4) และ (3-5) กลายเป็นสมการที่ (3-24) และ (3-25) ตามลำดับ

$$y_k^{(0)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{j < k} A_j(b_j[i+1])\rho_{jk}^{(U)} + \sum_{j < k} A_j(b_j[i])\rho_{jk}^{(L)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i])\rho_{kj}^{(U)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i-1])\rho_{kj}^{(L)} + \eta_k[i] \quad (3-24)$$

$$y_k^{(p)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{j < k} A_j(b_j[i+1] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i+1])\rho_{jk}^{(U)} + \sum_{j < k} A_j(b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i])\rho_{jk}^{(L)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i])\rho_{kj}^{(U)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i-1] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i-1])\rho_{kj}^{(L)} + \eta_k[i] \quad (3-25)$$

โดย  $\rho_{jk}$  คือ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้  $j$  กับ  $k$  โดย  $j < k$

โดย  $\rho_{kj}$  คือ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้  $j$  กับ  $k$  โดย  $j > k$

และเมื่อแทนสมการที่ (3-24) ลงในสมการที่ (3-6) และแทนสมการที่ (3-25) ลงในสมการที่ (3-13) และพิจารณาเงื่อนไขเช่นเดียวกับสมการที่ (3-7) และ (3-14) ตามลำดับ จะได้ว่า

$$\text{Var}(y_k^{(0)}) = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} + \sigma_{MAI(0),k}^2 + \sigma_{noise}^2 \quad (3-26)$$

$$\text{Var}(y_k^{(p)}) = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k[i])^2}{N_{SD}} + \sigma_{MAI(p),k}^2 + \sigma_{noise}^2 \quad (3-27)$$

ซึ่ง  $\sigma_{MAI(0),k}^2 =$

$$\frac{1}{N_{SD}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \sum_{j < k} A_j(b_j[i+1])\rho_{jk}^{(U)} + \sum_{j < k} A_j(b_j[i])\rho_{jk}^{(L)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i])\rho_{kj}^{(U)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i-1])\rho_{kj}^{(L)} \right)^2$$

$\sigma_{MAI(p),k}^2 =$

$$\frac{1}{N_{SD}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \sum_{j < k} A_j(b_j[i+1] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i+1])\rho_{jk}^{(U)} + \sum_{j < k} A_j(b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i])\rho_{jk}^{(L)} \right.$$

$$\left. + \sum_{j > k} A_j(b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i])\rho_{kj}^{(U)} + \sum_{j > k} A_j(b_j[i-1] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i-1])\rho_{kj}^{(L)} \right)^2$$

### 3.2 เหตุผลในการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักด้วยค่าความแปรปรวน

เนื่องจากหลักในการพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนัก คือ ผู้ใช้ที่ถูกรบกวนจาก MAI และสัญญาณรบกวน (noise) มากแสดงว่าบิตที่ถูกตัดสินใจจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความเชื่อถือได้น้อย ดังนั้นเมื่อนำไปสร้างเป็น MAI จึงเชื่อถือไม่ได้มากนักจึงต้องถ่วงน้ำหนัก และจากการพิจารณาค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์พบว่า ประกอบด้วยพจน์กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่ต้องการ ค่าประมาณกำลังของ MAI จากผู้ใช้คนอื่นที่มารบกวน และค่าประมาณกำลังของสัญญาณรบกวน ทำให้เราพิจารณานำค่าความแปรปรวนนี้มาใช้ในการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักและเนื่องจากค่าตัวถ่วงน้ำหนักที่นำมาคูณควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 (เพราะบิตที่นำมาสร้าง MAI มีค่าไม่เกิน 1) จากหลักการนี้ทำให้สามารถกำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักของ stage  $p + 1$  ได้ดังสมการที่ (3-28)

$$w_k^{(p+1)} = \frac{A_k}{A_k + (\sigma_{MAI(p),k}^2 + \sigma_{noise}^2)^{1/2}}$$

$$w_k^{(p+1)} = \frac{A_k}{(\text{Var}(y_k^{(p)}) - A_k^2)^{1/2} + A_k} \quad (3-28)$$

เมื่อ  $w_k^{(p+1)}$  คือตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $p + 1$

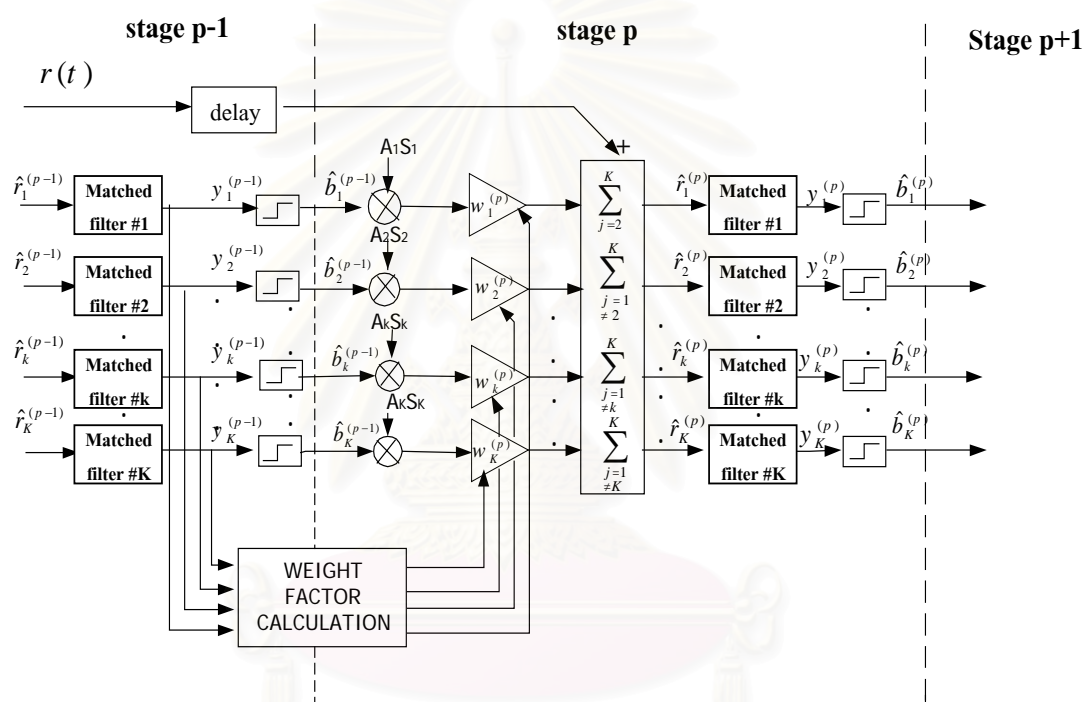
$A_k$  คือ ขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่  $k$

อย่างไรก็ตาม จากที่ได้กล่าวมาที่ stage สูงๆ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์อาจไม่ขึ้นกับ MAI เพียงอย่างเดียว เพราะถ้า stage ก่อนหน้าทำการหักล้างผลของ MAI ไปแล้ว ทำให้พจน์ที่ (3) ของสมการที่ (3-15) มีค่าลดลงเนื่องจากบิตที่ตัดสินใจได้มีความถูกต้องมากขึ้น คือ  $b_j^{(p-1)} = b_j$  ดังนั้นพจน์ที่ (2) และ (4) จึงอาจมีค่าใกล้เคียงกับพจน์ที่ (3) ได้ และทำให้ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ใน stage  $p \geq 1$  มีค่าลดลงได้ ดังนั้นถ้า stage ใดมีค่าความแปรปรวนน้อยกว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้แสดงว่าตั้งแต่ stage นั้นไม่จำเป็นต้องถ่วงน้ำหนัก (เพราะได้กำจัดพจน์ MAI จากผู้ใช้คนอื่นไปเกือบหมด) แต่ให้ทำการจัดการแทรกสอดแบบธรรมดา หรือ วิธี SPIC นั่นเองซึ่งตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1

$$w_k^{(p+1)} = 1 \quad \text{if} \quad \text{Var}(y_k^{(p)}) < (A_k)^2, \quad p \geq 1 \quad (3-29)$$



ในการหาตัวถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่ว่าระบบจะมีสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เช่น ผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล จำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบเพิ่มมากขึ้น เราก็สามารถหาตัวถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นได้ซึ่งวงจรในการหักล้างการแทรกสอดโดยใช้ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของ stage ก่อนหน้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และในมาตรฐาน IMT 2000 [17] และ WCDMA [18] ได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น Time slot ซึ่งมีค่าในช่วง 10 - 640 บิต [17] ดังนั้นสามารถหาค่าความแปรปรวนจากข้อมูลในแต่ละ Time slot และทำการจัดการแทรกสอดทีละ Time slot ได้



รูปที่ 3.2 การขจัดสัญญาณแทรกสอดบางส่วนด้วยวิธีที่นำเสนอ

### 3.3 ฟังก์ชัน Null Zone hard decision

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคน ประกอบด้วยขนาดสัญญาณของผู้ใช้คนนั้นๆ และพจน์ของ MAI จากผู้ใช้คนอื่นรวมทั้งผลของสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจทำให้บิตที่ตัดสินใจจาก hard decision ผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 3.3 (a) แสดง conditional distribution ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อรู้เงื่อนไขของบิตขาเข้าเป็น +1 หรือ -1 [6] พบว่าส่วนที่แรงเงา คือ บริเวณที่ตัดสินใจบิตด้วย hard decision ที่เกิดความผิดพลาด

และถ้านำบิตที่ผิดพลาดไปสร้าง MAI ขึ้นมาและนำไปหักล้างทำให้ความผิดพลาดยิ่งเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาในตอนท้ายของหัวข้อ 2.6

ดังนั้นเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นนี้จึงควรเลือกค่าเทรชโฮลด์เพื่อกำหนดให้บริเวณที่เกิดการตัดสินใจผิดพลาดเป็น 0 แทน ทำให้ได้ฟังก์ชันการตัดสินใจเป็นดังรูปที่ 3.3 (b) ซึ่งเรียกว่า “ฟังก์ชัน Null Zone hard decision [19]” และจากรูป 3.3 (b) พบว่าค่าเทรชโฮลด์ของผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $p$  คือ

$$T_k^{(p)} = \beta_k^{(p)} A_k, \quad \beta \leq 1 \quad (3-30)$$

ซึ่งหลักการพิจารณาค่าการตัดสินใจคือ ถ้าสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ประกอบด้วย MAI ที่มีค่าสูงดังนั้น ค่าเทรชโฮลด์ควรมีค่าสูงๆ ( $\beta$  เข้าใกล้ 1) แต่ถ้า MAI ที่มารบกวนมีน้อย ค่าเทรชโฮลด์ควรมีค่าต่ำ ๆ ( $\beta$  เข้าใกล้ 0) (ดูรูปที่ 3.3 ประกอบ) หรือพิจารณาได้ว่าค่าเทรชโฮลด์นี้ขึ้นกับ MAI ที่มารบกวนนั่นเอง ดังนั้นเกณฑ์การเลือกค่าเทรชโฮลด์จึงพิจารณาได้จากค่าความแปรปรวนเช่นเดียวกับการพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

$$\beta_k^{(p)} = 1 - \frac{A_k}{A_k + (\sigma_{MAI(p),k}^2 + \sigma_{noise}^2)^{1/2}} \quad (3-31)$$

จากเงื่อนไขฟังก์ชัน Null Zone Hard decision ทำให้พิจารณาได้ดังสมการที่ (3-32)

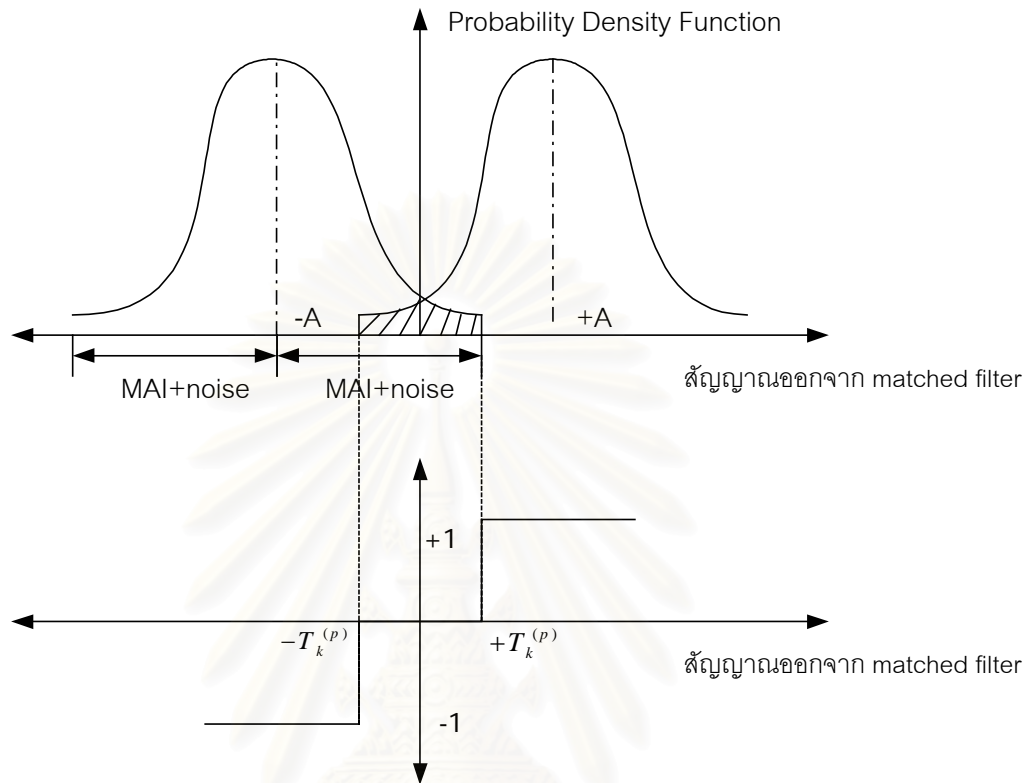
$$b_k^{(p)} = \begin{cases} +1, & y_k^{(p)} \geq +T_k^{(p)} \\ 0 & -T_k^{(p)} < y_k^{(p)} < +T_k^{(p)} \\ -1 & -T_k^{(p)} \leq y_k^{(p)} \end{cases} \quad (3-32)$$

เมื่อ  $b_k^{(p)}$  คือ บิตที่ตัดสินใจได้จากฟังก์ชัน Null Zone hard decision ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์

$y_k^{(p)}$  คือ สัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์

การที่นำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้ตัดสินใจแทน hard decision มีข้อได้เปรียบ คือ หากบิตที่ถูกตัดสินใจจาก hard decision อยู่ในช่วงที่เกิดความผิดพลาด (ส่วนที่แรงของรูปที่ 3.3 (a)) มาสร้างเป็น MAI และนำไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้ จะทำให้ความผิดพลาดเพิ่มเป็น 2 เท่า (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในย่อหน้าสุดท้ายของหัวข้อ 2.6) แต่ใน ฟังก์ชัน Null Zone hard decision บริเวณที่เกิดความผิดพลาดจากการตัดสินใจ จะตัดสินใจนั้นให้เป็น 0

แทน ซึ่งทำให้ MAI ที่สร้างเป็น 0 ด้วย จึงเสมือนไม่มีการหักล้างที่บิตนั้น จึงพบว่าการที่นำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้น่าจะให้ความถูกต้องกว่า hard decision



รูปที่ 3.3 (a) การแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อรู้เงื่อนไขของบิตขาเข้าเป็น  $+1$  หรือ  $-1$   
(b) ฟังก์ชัน Null Zone hard decision

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการจำลองแบบ

ในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ คือ หัวข้อแรก อธิบายเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ หัวข้อที่สองกล่าวถึงสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ และหัวข้อสุดท้ายเปรียบเทียบผลของอัตราบิดผิดพลาด (Bit Error Rate หรือ BER) กับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC และ GW-PIC ที่สภาวะต่างๆ เช่น เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสมบรูณ์และไม่สมบรูณ์ ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล และความจุของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตราเข้ามาในระบบเปลี่ยนไป พร้อมทั้งแสดงค่าแต่ละพจน์ในสมการที่ (3-7) และสมการที่ (3-14) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าแต่ละพจน์จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 3 นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบจำนวนบิตเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักว่ามีผลต่อ BER อย่างไร พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลในแต่ละการจำลองแบบ

#### 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละการจำลองแบบ

##### 4.1.1 ค่าพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน

$$\text{กวน } \left( \frac{E_b}{N_o} \right)$$

สำหรับค่า  $\frac{E_b}{N_o}$  ที่ใช้ในการจำลองแบบ หมายถึง ค่าที่วัดจากสัญญาณออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งมีนิยามในหน่วย dB ดังนี้

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_k = 10 \log \left( \frac{A_k^2}{2 \sigma_{noise}^2} \right) \quad (4-1)$$

เมื่อ  $\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_k$  คือ ค่าพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ที่  $k$

##### 4.1.2 อัตราบิดผิดพลาด (Bit Error rate)

โดยทั่วไปค่าที่ใช้วัดสมรรถนะของเครื่องรับที่พิจารณา คือ BER ที่หาจากการวัดเมื่อระบบอยู่ในสภาวะต่างๆ เช่น เมื่อค่า  $\frac{E_b}{N_o}$  เปลี่ยนไป หรือ เมื่อจำนวนผู้ใช้เปลี่ยนไป เป็นต้น ค่า BER ของผู้ใช้เสมือนที่  $k$  มีนิยามดังนี้

$$(BER)_k = (\text{จำนวนบิตที่ตัดสินผิดพลาดหลังจากเครื่องรับที่พิจารณา} / \text{จำนวนบิตทั้งหมด}) \quad (4-2)$$

โดยการจำลองแบบเมื่อหาค่าเฉลี่ย BER ของผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลในแต่ละอัตรา เช่น ในกรณีที่ผู้ใช้จริง low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ จะได้ว่าอัตราบิตผิดพลาดเฉลี่ยของ

ผู้ใช้ low rate ได้จากการเฉลี่ยอัตราบิตผิดพลาดของผู้ใช้เสมือน low rate 4 คน

ผู้ใช้ medium rate ได้จากการเฉลี่ยอัตราบิตผิดพลาดของผู้ใช้เสมือน medium rate 8 คน

ผู้ใช้ high rate ได้จากการเฉลี่ยอัตราบิตผิดพลาดของผู้ใช้เสมือน high rate 8 คน

#### 4.1.3 ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล

ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกลเป็นตัววัดสมรรถนะเครื่องรับว่ามีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกลมากน้อยเพียงไร โดยทำการวัด BER ของผู้ใช้ที่มีค่า  $\frac{E_b}{N_o}$  คงที่ แต่  $\frac{E_b}{N_o}$  ของผู้ใช้คนอื่นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าเครื่องรับนี้มีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล แสดงว่า BER ของผู้ใช้ที่มี  $\frac{E_b}{N_o}$  คงที่ไม่ควรเพิ่มขึ้น เมื่อ  $\frac{E_b}{N_o}$  ของผู้ใช้คนอื่นมีค่ามากขึ้น เช่น ในกรณีที่ผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ โดยกำหนดให้ผู้ใช้ medium rate และ high rate มีค่า  $\frac{E_b}{N_o} = 10$  dB ในขณะที่ผู้ใช้ low rate มีค่า  $\frac{E_b}{N_o}$  ตั้งแต่  $-20$  เท่า ถึง 20 เท่า ของ  $\frac{E_b}{N_o}$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate จากนั้นทำการวัด BER ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อได้รับผลปรากฏการณ์ใกล้ไกลจากผู้ใช้ low rate ที่มีกำลังสัญญาณเปลี่ยนแปลง

#### 4.1.4 ความจุของระบบ

ในการวัดสมรรถนะของเครื่องรับโดยพิจารณาความจุของระบบ หมายถึง เมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคน มีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ซึ่งถ้าเครื่องรับนี้ทำให้ความจุของระบบเพิ่มขึ้น แสดงว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น ค่า BER เฉลี่ยต้องไม่เพิ่มมากนัก โดยในการจำลองแบบทำการวิเคราะห์ความจุของระบบ เมื่อกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตราเข้ามาในระบบเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อพิจารณาความจุของระบบจากจำนวนผู้

ใช้ low rate ที่เพิ่มขึ้น จะกำหนดให้ผู้ใช้ medium rate และ high rate คงที่ แต่จำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น และวัด BER ของผู้ใช้ low rate ว่าเปลี่ยนไปอย่างไร เป็นต้น

#### 4.1.5 จำนวนบิตที่มีผลต่อการคำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก

เนื่องจากเครื่องรับที่นำเสนอทำการหาตัวถ่วงน้ำหนักซึ่งขึ้นกับจำนวนบิตที่นำมาใช้คำนวณ ดังนั้นเพื่อวัดผลของจำนวนบิตที่ใช้คำนวณ จึงทำการวัด BER เฉลี่ยของผู้ใช้เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักเปลี่ยนไป

## 4.2 สมมติฐานในการจำลองแบบ

ขอบเขตของการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาให้เครื่องรับไม่มีความผิดพลาด ดังต่อไปนี้

1. พิจารณากรณีข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ (reverse link) คือ สถานีฐานเป็นเครื่องรับ
2. เครื่องรับสามารถรู้คุณลักษณะช่องสัญญาณ คือ สามารถรู้ขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน
3. เครื่องรับไม่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์ (synchronize) ของสัญญาณที่รับได้ คือ สามารถซิงโครไนซ์สัญญาณที่รับได้ในระดับชิปของรหัสได้ถูกต้อง
4. กำหนดให้ช่องสัญญาณมีผลของ Additive White Guassian Noise (AWGN) เท่านั้น ไม่คิดผลของเฟดดิ้งและผลของการได้รับสัญญาณแบบหลายวิถี (multipath)
5. เลือกใช้ รหัสแม่ แบบ Gold code ความยาว 32 ชิป ซึ่งสร้างจาก Gold code ความยาว 31 ชิป (ภาคผนวก) โดยชิปสุดท้ายถูกสุ่มให้เป็น +1 หรือ -1
6. กรณีเครื่องรับแบบ GW-PIC กำหนดให้

$$\text{ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ low rate } (w(1)) = \sqrt{0.4}$$

$$\text{ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ medium rate } (w(2)) = \sqrt{0.6}$$

$$\text{ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ high rate } (w(3)) = \sqrt{0.8}$$

7. ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละ rate ได้จากการหาค่าเฉลี่ย BER ของจำนวนผู้ใช้เสมือนใน rate นั้นทั้งหมด และกำหนดให้จำนวนบิตเป็น 1000 ในการจำลองแบบแต่ละรอบ (หมายถึง การเรียก call แต่ละครั้ง) โดยจำลองแบบทั้งหมดใหม่ 20 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย BER

## 4.3 ผลการจำลองแบบ

### 4.3.1 BER เมื่อ $E_b/N_0$ เปลี่ยนไป

#### 4.3.1.1 กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์

##### 4.3.1.1.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด คือ

1. จำนวนผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูล low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ ซึ่งมองผู้ใช้เสมือนเป็น 4, 8 และ 8 คน ตามลำดับ โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่าและ 4 เท่าของผู้ใช้ medium rate และของผู้ใช้ low rate ตามลำดับ
2. กำลังสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่มาถึงเครื่องรับเท่ากันเป็น 0 dB
3. ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

##### 4.3.1.1.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

###### 4.3.1.1.2.1 กรณี asynchronous

รูปที่ 4.1 และ 4.3 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับ 4 ชนิด คือ เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอโดยใช้ค่าความแปรปรวนพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักเมื่อจัดสัญญาณแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้พบว่าเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เนื่องจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ไม่ได้กำจัดผลของ MAI ทิ้งไป ในขณะที่ SPIC ได้กำจัดผลของ MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนอื่น และ GW-PIC ให้ BER ที่ต่ำกว่า SPIC เนื่องจากมีการถ่วงน้ำหนัก MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลแต่ละอัตรา เพราะบิตที่ตัดสินใจได้จากผู้ใช้ low rate มีความเชื่อถือได้น้อยที่สุด (จากที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 1.5.3) ดังนั้นเมื่อนำมาสร้าง MAI ของผู้ใช้ low rate จะทำให้มีความผิดพลาดสูงกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate การถ่วงน้ำหนัก MAI ที่สร้างขึ้นตามอัตราการส่งข้อมูลจึงน่าทำให้ผลที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีที่นำเสนอให้ BER ที่ต่ำกว่าวิธี GW-PIC เนื่องจากตัวถ่วงน้ำหนักที่นำมาถ่วงน้ำหนัก MAI ของผู้ใช้แต่ละคนปรับตามสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามาบรรจบกันของผู้ใช้คนนั้นโดยตรง หรือกล่าวได้ว่าปรับตามความเชื่อถือได้ของบิตที่นำมาสร้าง MAI

เพราะไม่จำเป็นว่าบิตที่ตัดสินได้จากผู้ใช้ low rate จะเชื่อถือได้น้อยที่สุดเสมอไปเพราะเป็นไปได้ว่ารหัสแผ่ของผู้ใช้ high rate อาจมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามกับรหัสแผ่ของผู้ใช้คนอื่นสูงจนทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นเข้ามารบกวนมากก็ได้ จึงทำให้บิตที่ตัดสินจากผู้ใช้ high rate คนนั้นเชื่อถือได้น้อย ดังนั้นการที่กำหนดตัวถ่วงน้ำหนักคงที่ตามอัตราการส่งข้อมูลจึงไม่น่าให้ผลที่ดีนัก

นอกจากนี้พบว่า BER เฉลี่ยของเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage มีค่าต่ำกว่าเมื่อทำการขจัดผลของ MAI 1 stage เนื่องจากในการขจัดผลของ MAI 1 stage นั้น MAI ถูกสร้างจากบิตที่ตัดสินออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งมีความผิดพลาดสูง ดังนั้นเมื่อนำมาสร้าง MAI จึงมีความเชื่อถือได้ไม่สูงนัก ในขณะที่ขจัดผลของ MAI 2 stage นั้น MAI ที่สร้างขึ้นได้จากบิตที่ตัดสินหลังจากขจัดผลของ MAI ใน stage ที่ 1 ทำให้บิตมีความถูกต้องยิ่งขึ้น และเมื่อนำมาสร้างเป็น MAI จึงเชื่อถือได้มากกว่า และส่งผลให้ BER หลังจากรับขจัดผลของ MAI 2 stage ต่ำกว่าการขจัดผลของ MAI เพียง stage เดียว

จากรูปที่ 4.1 และ 4.3 เมื่อพิจารณาเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์พบว่า BER ของผู้ใช้ low rate มีค่ามากกว่าผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate ดังนั้นเมื่อนำมาสร้าง MAI จึงมีความผิดพลาดสูง ในขณะที่ BER จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ high rate มีค่าต่ำสุดทำให้ MAI ที่สร้างมีความถูกต้องกว่าผู้ใช้ low rate และ medium rate ดังนั้นในเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI ซึ่งได้แก่ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอพบว่า BER ของผู้ใช้ low rate จะมีค่าต่ำที่สุดเนื่องจากในผู้ใช้ low rate จะขจัดผลของ MAI ที่สร้างจากผู้ใช้ medium rate และ high rate ซึ่งมีความถูกต้อง ในขณะที่ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าสูงสุดเนื่องจากในผู้ใช้ high rate ขจัดผลของ MAI ที่สร้างขึ้นจากผู้ใช้ medium rate และ low rate ซึ่งมีความผิดพลาดสูง

รูปที่ 4.2 และ 4.4 พิจารณาในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ กรณีที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่า Multuser receiver ทุกชนิด ได้แก่ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ มีค่า BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ไม่มากนัก เนื่องจากกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ ๆ นั้นปัญหาของสัญญาณรบกวนจะส่งผลต่อ BER มากกว่าปัญหาของ MAI ดังนั้นการกำจัด MAI ด้วย Multuser receiver ที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำจึงให้ผลไม่เห็นเด่นชัดนักเมื่อเทียบกับการพิจารณาที่  $E_b/N_0$  มีค่าสูง ๆ

นอกจากนี้ในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ พบว่าเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ ให้ค่า BER ของผู้ใช้ low rate ต่ำที่สุด และของผู้ใช้ high rate สูงสุดที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำผลของ MAI มีน้อยทำให้ MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้แต่ละคนมีความผิดพลาดเนื่องจาก



สัญญาณรบกวนมากกว่าผลของ MAI ดังนั้น MAI ที่สร้างขึ้นจึงมีความผิดพลาดใกล้เคียงกัน และเมื่อนำไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้ ทำให้ BER ของผู้ใช้ทุกคนต่ำลง แต่ไม่ได้ทำให้ BER ของผู้ใช้ low rate กลับมามีค่าต่ำกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate ในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 4.5 แสดงค่า BER เฉลี่ยเมื่อนำ Null Zone hard decision (ดังรูปที่ 3.3 (b)) มาใช้ตัดสินใจที่ stage ที่ 0 และ stage ที่ 1 พบว่า BER ต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision มาตัดสินใจที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในฟังก์ชัน Null Zone hard decision จะตัดสินใจเป็น +1 เมื่อสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เกินช่วงเทรซโฮลด์ด้านบวกและตัดสินใจเป็น -1 เมื่อสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์น้อยกว่าช่วงเทรซโฮลด์ด้านลบ แต่ถ้าอยู่ระหว่างเทรซโฮลด์ด้านลบและบวก ก็จะไม่ทำการตัดสินใจเป็น +1 หรือ -1 เพราะบิตที่อยู่ในช่วงเทรซโฮลด์นั้นถูกรบกวนด้วย MAI มากจนทำให้ไม่สามารถตัดสินใจได้ชัดเจนว่าเป็นบิตอะไร จึงกำหนดให้เป็น 0 แทน และเมื่อนำไปสร้าง MAI ด้วยบิตที่ตัดสินใจเป็น 0 จึงเสมือนว่าไม่ได้ขจัดผลของ MAI นั้นเอง ดังนั้นจะเห็นว่าการนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้ เป็นการป้องกันการขจัดผลของ MAI ที่สร้างจากบิตที่เชื่อถือไม่ได้เพราะอาจจะทำให้ความผิดพลาดเกิดขึ้นเป็น 2 เท่าแทนดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3

ตารางที่ 4.1–4.3 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) หรือค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ได้ทำการขจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน กรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 1$  dB พบว่าพจน์ที่ 2, 3, 5, และ 7 มีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งให้ผลตั้งเงื่อนไขที่พิจารณาในหัวข้อ 3.1.1 ดังนั้นค่าความแปรปรวนจึงขึ้นกับพจน์ที่ 1 ซึ่งคือ ขนาดสัญญาณกำลังสอง พจน์ที่ 4 คือ พจน์ประมาณของสัญญาณแทรกสอด (MAI) ที่เข้ามารบกวนสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนนั้น และพจน์ที่ 6 เป็นพจน์ประมาณของสัญญาณรบกวน ดังนั้นผู้ใช้ที่ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) สูง จะมีค่าของตัวถ่วงน้ำหนักน้อยเพื่อที่จะไปถ่วงบิตที่จะนำมาสร้างเป็น MAI

ตารางที่ 4.4–4.6 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อทำการขจัดผลของ MAI ของผู้ใช้แต่ละคนจำนวน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB พบว่าพจน์ที่ 2, 4, 6, และ 9 มีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงตั้งเงื่อนไขที่พิจารณาในหัวข้อที่ 3.1.1 แต่พจน์ที่ 3 และ 7 มีค่าไม่เข้าใกล้ 0 ทำให้ค่าความแปรปรวนแสดงได้ดังสมการที่ (3-15) ซึ่งขึ้นกับพจน์ที่ 1 ซึ่งคือ ขนาดสัญญาณที่รับได้กำลังสอง พจน์ที่

5 คือ พจน์ประมาณของสัญญาณแทรกสอด (MAI) ที่เข้ามารบกวน พจน์ที่ 6 เป็นพจน์ประมาณของสัญญาณรบกวน พจน์ที่ 3 และ 7 (ซึ่งมีเครื่องหมายลบทั้ง 2 พจน์) ที่ไม่สามารถตัดทิ้งได้

นอกจากนี้พบว่าตัวถ่วงน้ำหนักที่คำนวณจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage (ตารางที่ 4.4–4.6) จะมีค่ามากกว่าเมื่อยังไม่ได้ขจัดผลของ MAI (ตารางที่ 4.1–4.3 หรือของสมการที่ (3-7)) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลของ MAI หลังจากขจัดสัญญาณแทรกสอด 1 stage (พจน์ที่ 5 ของตารางที่ 4.4–4.6 หรือ ของสมการที่ (3-14)) ลดลงมากกว่าเมื่อยังไม่ได้ขจัดสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4 ของตารางที่ 4.1–4.3) และพจน์ที่ 3 และ 7 ของสมการที่ (3-14) ซึ่งมีค่าเป็นลบจึงทำให้ค่าความแปรปรวนลดลง และส่งผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักของ stage ที่ 2 (ซึ่งคำนวณจาก MAI ที่เหลือจากการขจัดสัญญาณแทรกสอดใน stage ที่ 1 ดังสมการที่ (3-28)) มีค่ามากกว่าตัวถ่วงน้ำหนักของ stage ที่ 1 (ซึ่งนำผลของ MAI เมื่อยังไม่ได้ขจัดสัญญาณแทรกสอด)

ตารางที่ 4.7–4.9 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) เช่นเดียวกับตารางที่ 4.1–4.3 ( $E_b/N_0 = 1$  dB) แต่พิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB พบว่าพจน์ที่ 6 ของตารางที่ 4.7–4.9 มีค่ามากกว่าของตารางที่ 4.1–4.3 เนื่องจากพจน์ที่ 6 เป็นค่าประมาณของสัญญาณรบกวน ซึ่งที่  $E_b/N_0 = 1$  dB มีผลของสัญญาณรบกวนมากกว่าที่  $E_b/N_0 = 7$  dB จึงส่งผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคนในตารางที่ 4.7–4.9 มีค่ามากกว่าตัวถ่วงน้ำหนักของตารางที่ 4.1–4.3 เมื่อเทียบที่ผู้ใช้คนเดียว เพราะผลของสัญญาณรบกวนถูกนำมาพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ (3-28) แม้ว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 5) ระหว่างตารางที่ 4.1–4.3 และ 4.7–4.9 มีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม

ตารางที่ 4.10–4.12 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) เช่นเดียวกับตารางที่ 4.4–4.6 ( $E_b/N_0 = 1$  dB) แต่พิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ทำให้ตัวถ่วงน้ำหนักของตารางที่ 4.10–4.12 มีค่ามากกว่าของตารางที่ 4.4–4.6 เมื่อเทียบที่ผู้ใช้คนเดียว เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนถูกนำมาพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

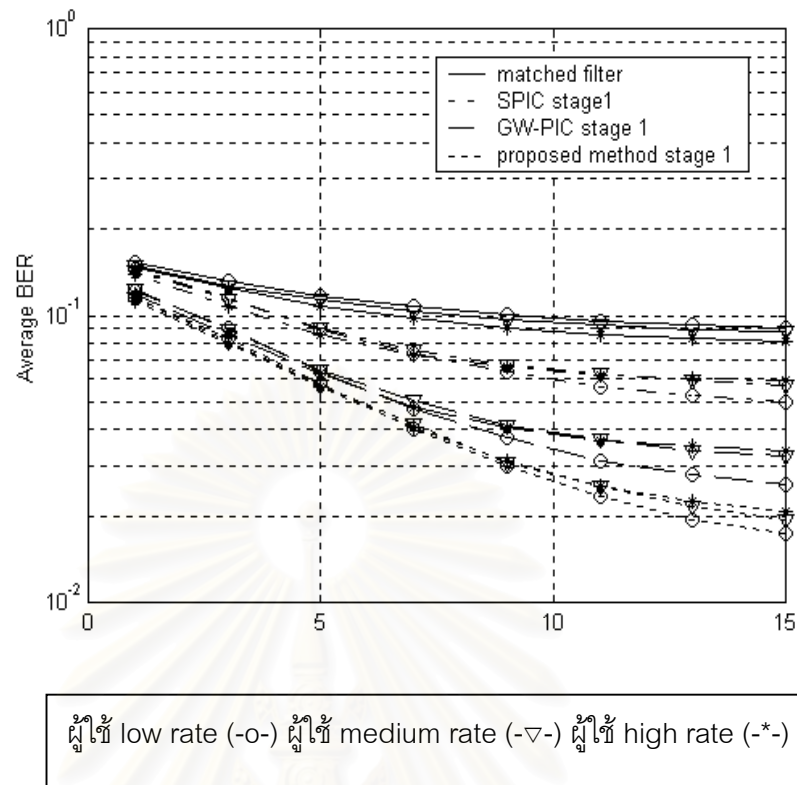
เมื่อเปรียบเทียบตัวถ่วงน้ำหนักของตารางที่ 4.4–4.6 กับของตารางที่ 4.10–4.12 พบว่าตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้บางคนในตารางที่ 4.4–4.6 มีค่าเป็น 1 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวน (พจน์ที่ 8) ของตารางที่ 4.10–4.12 ( $E_b/N_0 = 7$  dB) น้อยกว่าของตารางที่ 4.4–4.6 ( $E_b/N_0 = 1$  dB) ทำให้พจน์ที่ 3 และ 7 ที่ไม่สามารถตัดทิ้งได้มีผลต่อค่าความแปรปรวนอย่างมากจนทำให้ค่าความแปรปรวนลดลงจนน้อยกว่าขนาดสัญญาณที่รับได้กำลังสองจึงต้องใช้เงื่อนไขการพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ (3-29)

รูปที่ 4.6–4.8 แสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ค่า  $E_b/N_0 = 7$  dB ซึ่งการที่ผู้ใช้แต่ละคนมีค่า BER ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้แต่ละคนมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งพิจารณาได้จากสมการที่ (2-13) และ (2-14) ถ้าผู้ใช้ที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามสูงจะส่งผลให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดสูง

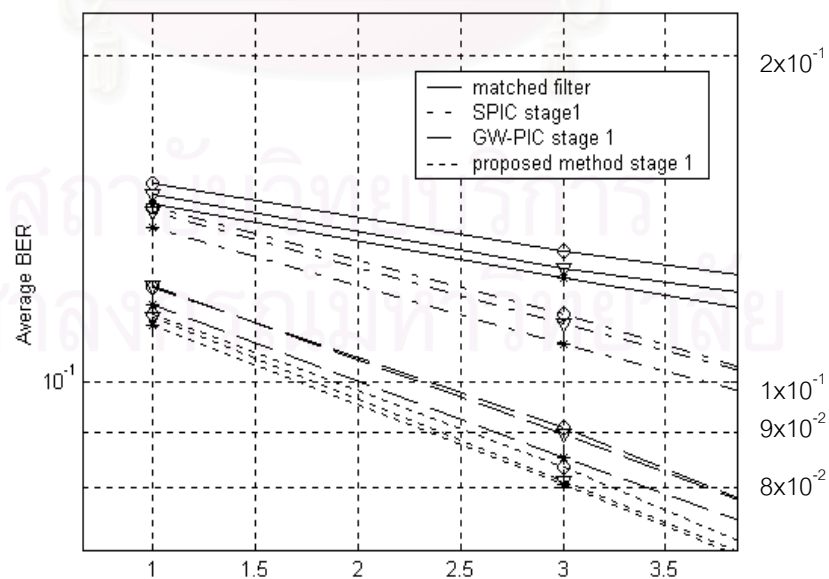
เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 พบว่าผู้ใช้ low rate คนที่ 1 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) สูงที่สุด (ซึ่งค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวนผู้ใช้แต่ละคนขึ้นกับค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้คนนั้นกับผู้ใช้คนอื่นๆ ดังพจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7)) ส่งผลให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดสูง ในขณะที่ผู้ใช้คนที่ 2 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนน้อยที่สุด จึงทำให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.6 ที่ BER ของผู้ใช้ low rate คนที่ 1 มีค่าสูงที่สุด และของผู้ใช้ low rate คนที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด

ทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 พบว่าผู้ใช้ medium rate คนที่ 4 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) ที่มารบกวนมากที่สุดและคนที่ 5 น้อยที่สุด ทำให้ผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.7 คือ BER ของผู้ใช้ medium rate คนที่ 4 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ medium rate คนที่ 5 มีค่า BER ต่ำที่สุด

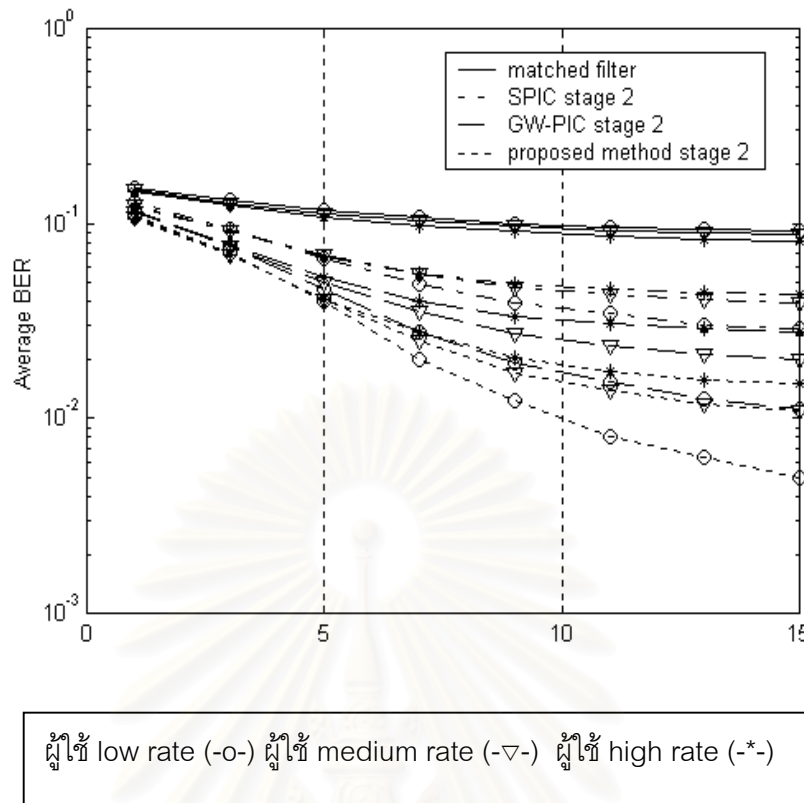
ในตารางที่ 4.9 พบว่าผู้ใช้ high rate คนที่ 5 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) ที่มารบกวนมากที่สุดและคนที่ 4 น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.8 คือ BER ของผู้ใช้ high rate คนที่ 5 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ high rate คนที่ 4 มีค่า BER ต่ำที่สุด



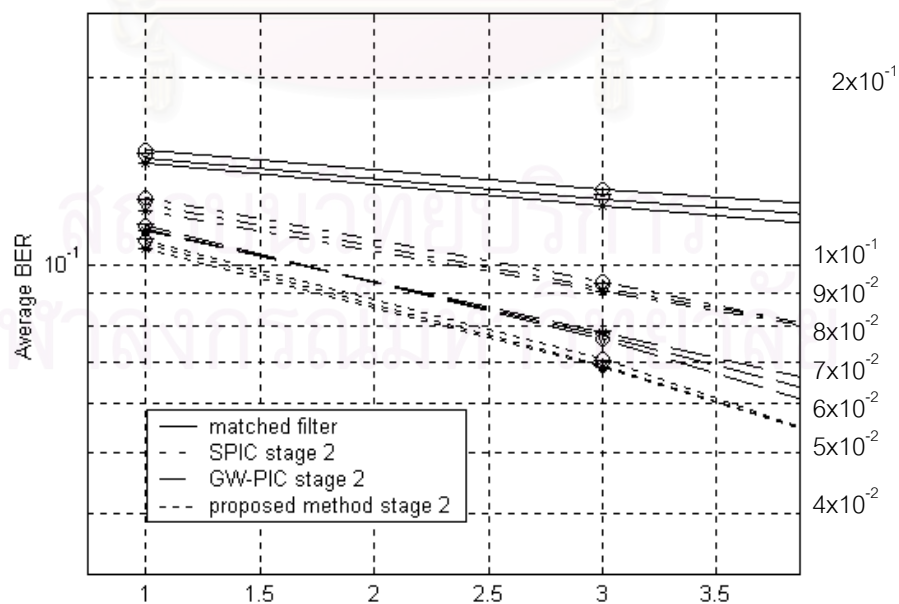
รูปที่ 4.1 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขาดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



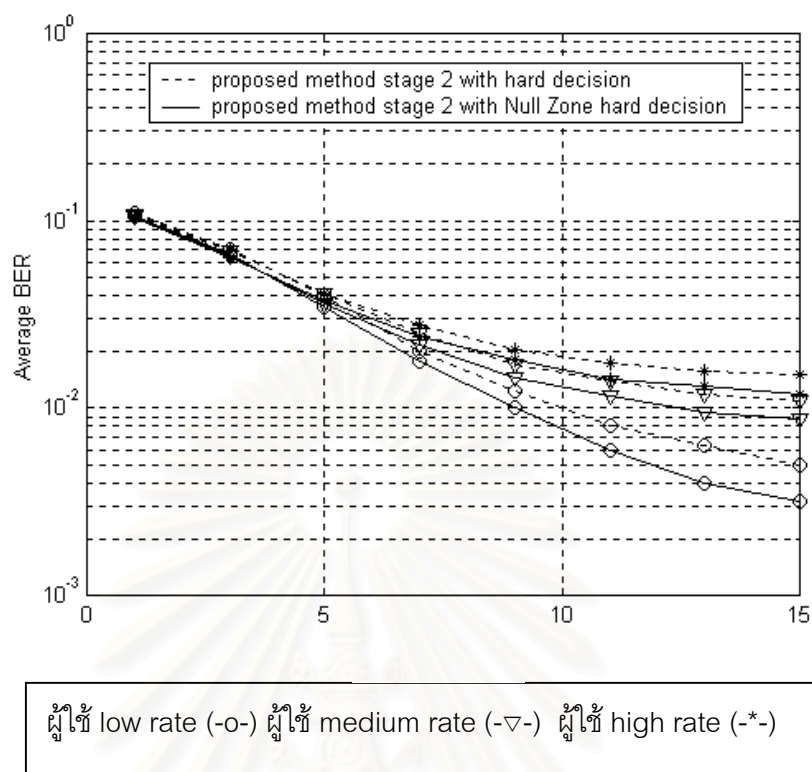
รูปที่ 4.2 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 3.5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 BER เฉลี่ยของผู้ใช้งาน low rate ผู้ใช้งาน medium rate และผู้ใช้งาน high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตช์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขาดผล MAI 2 stage ในกรณีความคืบกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบรูณ์และสัญญาณจากผู้ใช้งานแต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.4 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 3.5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.5 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินบิตที่ stage 0 และ stage1 ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ตารางที่ 4.1 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00094	-0.00257	0.55963	-0.00526	0.39074	-0.00258	1	1.941	0.5085
2	1	-0.00698	-0.00024	0.53172	0.00347	0.39302	-0.00152	1	1.9214	0.51098
3	1	-0.00407	0.008578	0.53236	-0.00398	0.39684	-0.00211	1	1.9295	0.50989
4	1	0.000151	-0.00628	0.53734	0.007558	0.40014	-0.00264	1	1.9382	0.5087

ตารางที่ 4.2 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.008569	-0.0006	0.49852	-0.00974	0.39705	-0.00256	1	1.8931	0.51578
2	1	0.005499	-0.00409	0.55754	0.004185	0.39675	-0.00142	1	1.9604	0.50622
3	1	0.004426	-0.00758	0.48602	-0.00555	0.40134	-0.00294	1	1.8776	0.51765
4	1	-0.01626	-0.01149	0.59932	0.005586	0.39297	-0.00195	1	1.9701	0.50498
5	1	0.005503	0.003938	0.48151	0.004159	0.3976	-0.00238	1	1.8922	0.51611
6	1	0.001806	-0.00656	0.56343	0.004543	0.39611	-0.0017	1	1.9596	0.50669
7	1	-0.0051	-0.00764	0.50494	0.006031	0.39364	-0.00132	1	1.8924	0.51534
8	1	0.000417	0.004729	0.49872	-0.01071	0.39613	-0.00195	1	1.8892	0.51574



ตารางที่ 4.3 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.007033	-0.00349	0.52588	0.009276	0.39721	-0.00221	1	1.9356	0.51072
2	1	0.002887	-0.02049	0.47769	0.004231	0.39522	-0.00232	1	1.8591	0.52024
3	1	-0.01064	-0.00572	0.46341	1.68E-05	0.3979	-0.00109	1	1.8457	0.52261
4	1	0.005542	0.001471	0.41966	-0.00264	0.39792	-0.00169	1	1.8221	0.5254
5	1	-0.00047	-0.0035	0.56145	0.001635	0.39599	-0.00162	1	1.9554	0.50825
6	1	0.008902	0.002815	0.47311	0.002518	0.3961	-0.00108	1	1.8842	0.51649
7	1	-0.0074	-0.00912	0.52498	0.002076	0.40148	-0.00173	1	1.9122	0.51302
8	1	0.002147	-0.00023	0.49718	0.006086	0.39647	-0.00225	1	1.9013	0.51518

ตารางที่ 4.4 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00094	-0.27263	-0.00257	0.25815	-0.00526	-0.10279	0.39074	-0.00159	1	1.2642	0.66174
2	1	-0.00698	-0.25688	-0.00024	0.23945	0.00347	-0.10186	0.39302	-0.00086	1	1.2702	0.65958
3	1	-0.00407	-0.25538	0.008578	0.24592	-0.00398	-0.10371	0.39684	-0.00148	1	1.284	0.65391
4	1	0.000151	-0.26319	-0.00628	0.25119	0.007558	-0.10962	0.40014	-0.00146	1	1.2795	0.65496

ตารางที่ 4.5 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.008569	-0.2541	-0.0006	0.23867	-0.00974	-0.09638	0.39705	-0.00125	1	1.2832	0.65462
2	1	0.005499	-0.28172	-0.00409	0.26219	0.004185	-0.10859	0.39675	-0.00114	1	1.2746	0.65792
3	1	0.004426	-0.24162	-0.00758	0.23324	-0.00555	-0.09439	0.40134	-0.00108	1	1.2895	0.65158
4	1	-0.01626	-0.27678	-0.01149	0.28161	0.005586	-0.11392	0.39297	-0.00125	1	1.2615	0.66443
5	1	0.005503	-0.23892	0.003938	0.23044	0.004159	-0.09827	0.3976	-0.00102	1	1.3041	0.64596
6	1	0.001806	-0.27524	-0.00656	0.27356	0.004543	-0.11116	0.39611	-0.00103	1	1.2832	0.65383
7	1	-0.0051	-0.24034	-0.00764	0.23253	0.006031	-0.09837	0.39364	-0.00081	1	1.281	0.65514
8	1	0.000417	-0.24414	0.004729	0.23561	-0.01071	-0.09119	0.39613	-0.00126	1	1.2911	0.65089

ตารางที่ 4.6 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.007033	-0.25559	-0.00349	0.25657	0.009276	-0.10472	0.39721	-0.00115	1	1.306	0.64582
2	1	0.002887	-0.2323	-0.02049	0.23683	0.004231	-0.08926	0.39522	-0.0014	1	1.2968	0.64866
3	1	-0.01064	-0.22204	-0.00572	0.23295	0.000017	-0.08963	0.3979	-0.00057	1	1.3034	0.64571
4	1	0.005542	-0.21334	0.001471	0.20822	-0.00264	-0.08609	0.39792	-0.00085	1	1.3114	0.64322
5	1	-0.00047	-0.2694	-0.0035	0.26581	0.001635	-0.11105	0.39599	-0.00088	1	1.279	0.65599
6	1	0.008902	-0.23455	0.002815	0.22759	0.002518	-0.09158	0.3961	-0.00073	1	1.3123	0.64369
7	1	-0.0074	-0.25497	-0.00912	0.2577	0.002076	-0.10288	0.40148	-0.00102	1	1.287	0.65202
8	1	0.002147	-0.24344	-0.00023	0.2422	0.006086	-0.10354	0.39647	-0.00135	1	1.2996	0.64847

ตารางที่ 4.7 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00094	-0.00168	0.55963	-0.00026	0.099698	-0.00224	1	1.6559	0.55412
2	1	-0.00698	0.001759	0.53172	0.002034	0.09894	-0.00133	1	1.6278	0.5596
3	1	-0.00407	-0.00069	0.53236	0.000632	0.10050	-0.00196	1	1.6284	0.5589
4	1	0.000151	-0.00441	0.53734	0.002152	0.098754	-0.00213	1	1.6335	0.55797

ตารางที่ 4.8 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.008569	0.004186	0.49852	-0.00071	0.099552	-0.00243	1	1.6093	0.56515
2	1	0.005499	-0.00115	0.55754	-0.00211	0.099897	-0.00111	1	1.6602	0.55444
3	1	0.004426	0.003489	0.48602	-0.00182	0.10093	-0.00216	1	1.5925	0.56778
4	1	-0.01626	-0.00095	0.59932	0.001851	0.099026	-0.00131	1	1.6834	0.55021
5	1	0.005503	0.003817	0.48151	0.002233	0.10088	-0.00177	1	1.5938	0.56831
6	1	0.001806	-0.00265	0.56343	0.003213	0.099329	-0.00165	1	1.6651	0.55367
7	1	-0.0051	-0.0037	0.50494	-0.00002	0.1005	-0.00129	1	1.5969	0.56651
8	1	0.000417	-0.00648	0.49872	-0.00129	0.10073	-0.00218	1	1.5915	0.56725

ตารางที่ 4.9 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.007033	0.004168	0.52588	0.000845	0.10073	-0.00215	1	1.6381	0.56116
2	1	0.002887	0.001998	0.47769	0.000504	0.11000	-0.00212	1	1.5825	0.56982
3	1	-0.01064	-0.0054	0.46341	-0.00173	0.098889	-0.00085	1	1.5452	0.57941
4	1	0.005542	0.004692	0.41966	0.003853	0.097977	-0.00152	1	1.5317	0.58079
5	1	-0.00047	-0.00713	0.56145	0.00169	0.10067	-0.00173	1	1.6561	0.55729
6	1	0.008902	0.00384	0.47311	0.001343	0.10064	-0.00083	1	1.5886	0.56852
7	1	-0.0074	0.005442	0.52498	0.003244	0.099751	-0.00168	1	1.626	0.56127
8	1	0.002147	0.00153	0.49718	0.004648	0.099676	-0.00206	1	1.6047	0.56628

ตารางที่ 4.10 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00094	-0.28058	-0.00168	0.19895	-0.00026	-0.02858	0.099698	-0.00123	1	0.98633	1
2	1	-0.00698	-0.26523	0.001759	0.18891	0.002034	-0.02976	0.09894	-0.00082	1	0.98978	1
3	1	-0.00407	-0.25585	-0.00069	0.18951	0.000632	-0.02591	0.1005	-0.00092	1	1.004	0.94052
4	1	0.000151	-0.2631	-0.00441	0.18878	0.002152	-0.02736	0.098754	-0.00135	1	0.9947	1

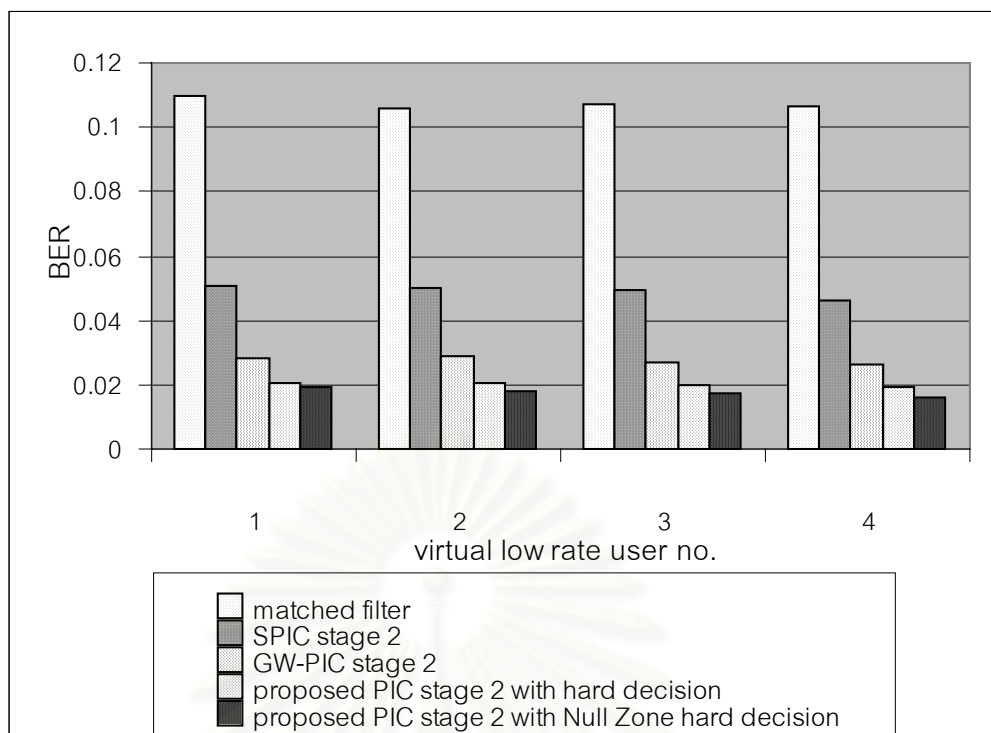


ตารางที่ 4.11 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

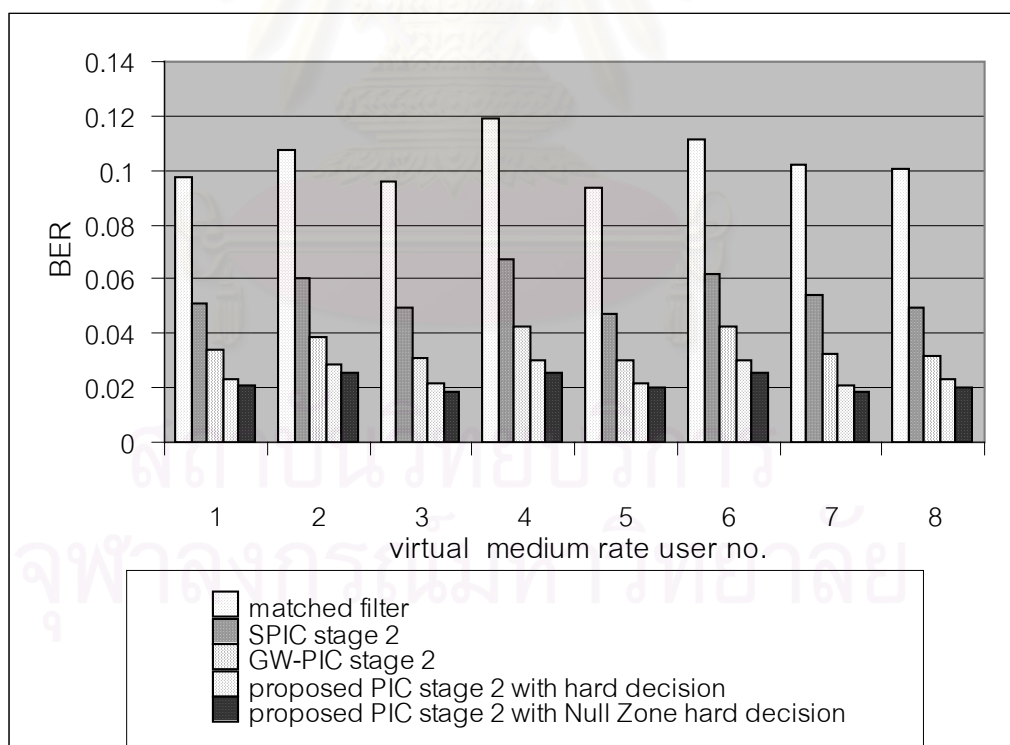
ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.008569	-0.25483	0.004186	0.1834	-0.00071	-0.02484	0.099552	-0.00098	1	1.0151	0.89057
2	1	0.005499	-0.2917	-0.00115	0.20791	-0.00211	-0.0278	0.099897	-0.0009	1	0.99088	1
3	1	0.004426	-0.24718	0.003489	0.17897	-0.00182	-0.02539	0.10093	-0.00085	1	1.0133	0.8966
4	1	-0.01626	-0.28498	-0.00095	0.2194	0.001851	-0.03116	0.099026	-0.00115	1	0.98706	1
5	1	0.005503	-0.24295	0.003817	0.17964	0.002233	-0.0261	0.10088	-0.00094	1	1.0229	0.86857
6	1	0.001806	-0.28472	-0.00265	0.21621	0.003213	-0.03078	0.099329	-0.00092	1	1.0025	0.95238
7	1	-0.0051	-0.23956	-0.0037	0.17807	-2.27E-05	-0.0255	0.1005	-0.00103	1	1.0048	0.93521
8	1	0.000417	-0.24551	-0.00648	0.18342	-0.00129	-0.02378	0.10073	-0.00089	1	1.0071	0.92229

ตารางที่ 4.12 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เหมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

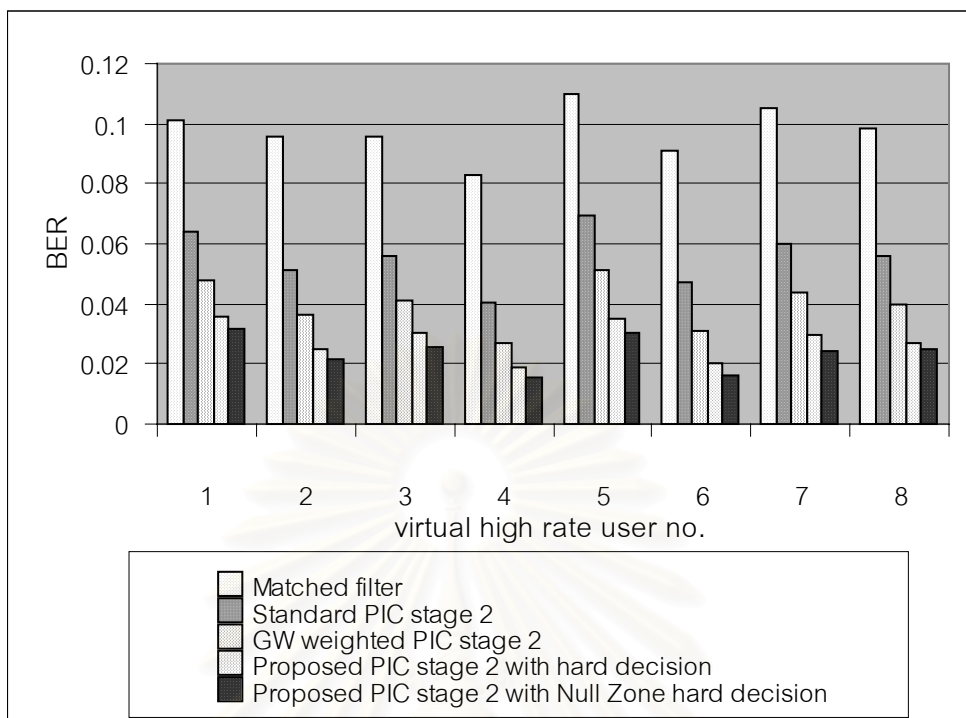
ผู้ใช้เหมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.007033	-0.26729	0.004168	0.20743	0.000845	-0.02882	0.10073	-0.00101	1	1.024	0.86586
2	1	0.002887	-0.23929	0.001998	0.18833	0.000504	-0.02625	0.1	-0.00147	1	1.0279	0.85687
3	1	-0.01064	-0.2218	-0.0054	0.18833	-0.00173	-0.02235	0.098889	-0.00047	1	1.0217	0.8716
4	1	0.005542	-0.21816	0.004692	0.1616	0.003853	-0.02445	0.097977	-0.00077	1	1.0313	0.84968
5	1	-0.00047	-0.27549	-0.00713	0.21139	0.00169	-0.0304	0.10067	-0.00114	1	1.0001	0.99009
6	1	0.008902	-0.24089	0.00384	0.17842	0.001343	-0.0276	0.10064	-0.00049	1	1.0252	0.863
7	1	-0.0074	-0.25721	0.005442	0.20427	0.003244	-0.03142	0.099751	-0.0015	1	1.0165	0.88617
8	1	0.002147	-0.2489	0.00153	0.1874	0.004648	-0.02929	0.099676	-0.00117	1	1.0171	0.88435



รูปที่ 4.6 BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบรูณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.7 BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบรูณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.8 BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูร์น และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

#### 4.3.1.1.2.2 กรณี synchronous

รูปที่ 4.9 และ 4.11 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับ 4 ชนิด คือ เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอเมื่อจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูร์น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ รูปที่ 4.1 และ 4.3 คือ เครื่องรับ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์โดยเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER เฉลี่ยที่ต่ำสุดและ BER เฉลี่ยของเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดการผลของ MAI 2 stage (รูปที่ 4.11) มีค่าต่ำกว่าเมื่อจัดการผลของ MAI 1 stage (รูปที่ 4.9) ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.3.1.1.2.1 (กรณี asynchronous)

จากรูปที่ 4.9 และ 4.11 เมื่อพิจารณาเครื่องรับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์พบว่า BER ของผู้ใช้ high rate สูงสุด และของผู้ใช้ low rate ต่ำสุด (ซึ่งตรงข้ามกับกรณี asynchronous) เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแผ่ระหว่างผู้ใช้ low rate กับผู้ใช้คนอื่นๆ มีค่าน้อย (จนทำให้ผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกลดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 1.5.3 มีผลน้อยมาก) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า

ประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้คนนั้น (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7)) คือ พจน์ที่ 4 ของตารางที่ 4.13 (พจน์สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ low rate) น้อยกว่าพจน์ที่ 4 ของตารางที่ 4.14 (พจน์สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ medium rate) และตารางที่ 4.15 (พจน์สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ high rate) เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ซึ่งหมายถึง ผู้ใช้ low rate ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate และเมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 1$  dB พจน์ที่ 4 ของตารางที่ 4.19 น้อยกว่าของตารางที่ 4.20 และ 4.21 ซึ่งหมายถึง ผู้ใช้ low rate ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate เช่นเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อตัดสินใจด้วยเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ในกรณี synchronous (รูปที่ 4.9) ไม่จำเป็นที่บิตที่ตัดสินใจได้จากผู้ใช้ low rate จะเชื่อถือได้น้อยที่สุด (ดังที่อธิบายในหัวข้อที่ 1.5.3) เพราะถ้าเลือกรหัสแรมที่มีคุณสมบัติตั้งฉาก (orthogonal) หรือมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่ำก็สามารถทำให้ผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกลที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลหลายอัตราด้วยวิธีเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi Processing Gain หรือ MPG) ลดลงได้ ซึ่งทำให้การกำหนดตัวถ่วงน้ำหนักให้คงที่ตามอัตราการส่งข้อมูล (วิธี GW-PIC) ไม่นำให้ผลดีเท่ากับการปรับตัวถ่วงน้ำหนักตามสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวน (วิธีที่นำเสนอ)

เมื่อเปรียบเทียบ BER เฉลี่ย เมื่อใช้เครื่องรับทั้ง 4 ชนิด ในกรณี asynchronous (รูปที่ 4.1 และ 4.3) และ synchronous (รูปที่ 4.9 และ 4.11) พบว่า BER เฉลี่ยในกรณี synchronous มีค่าต่ำกว่ากรณี asynchronous (ทั้งกรณีที่ทำกาการจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Gold code ที่ใช้เป็นรหัสแรมที่มีคุณสมบัติของสหสัมพันธ์ข้ามต่ำมากในกรณี synchronous [20] ซึ่งทำให้สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนมีน้อยตามไปด้วย และส่งผลให้ BER ในกรณี synchronous ของเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดต่ำกว่ากรณี asynchronous

รูปที่ 4.10 และ 4.12 พิจารณาในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ พบว่า Multiuser receiver ทุกชนิด ได้แก่ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ มีค่า BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ไม่มากนัก เช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่ได้อธิบายรูปที่ 4.2 และ 4.4) เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนมีมากกว่าผลของสัญญาณแทรกสอด

รูปที่ 4.13 แสดงค่า BER เฉลี่ยเมื่อนำ Null Zone hard decision (ดังรูปที่ 3.3 (b)) มาใช้ตัดสินใจที่ stage ที่ 0 และ stage ที่ 1 (หรือ stage ก่อนหน้า stage สุดท้าย) พบว่า BER ต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision มาตัดสินใจเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่อธิบายในรูปที่ 4.5)

ตารางที่ 4.13–4.15 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ซึ่งพบว่าพจน์ที่ 2, 3, 5 และ 7 มีค่าเข้าใกล้ 0 เช่นเดียวกับตารางที่ 4.1–4.3 (กรณี asynchronous) และตารางที่ 4.19–4.21 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับตารางที่ 4.7–4.9 (กรณี asynchronous) แต่ต่างที่พจน์ที่ 4 ของผู้ใช้แต่ละคน (ค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวนผู้ใช้แต่ละคน) ของกรณี synchronous น้อยกว่าของกรณี asynchronous เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามกรณี synchronous มีค่าต่ำมากจึงส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดน้อยลงไปด้วย

ตารางที่ 4.16–4.18 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) (กรณี synchronous) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อทำการจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB โดยให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่วิเคราะห์ผลของตารางที่ 4.4–4.6 (กรณี asynchronous))

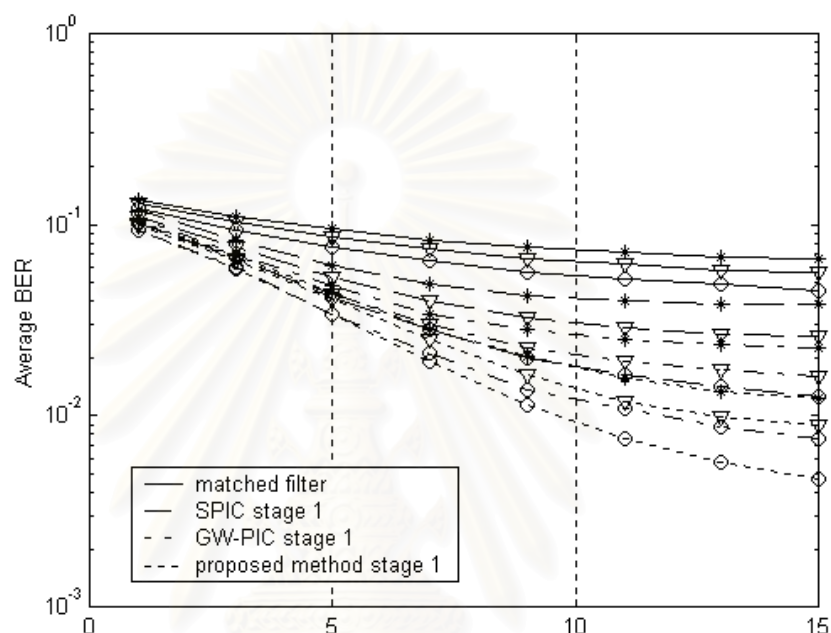
ตารางที่ 4.22–4.24 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) (กรณี synchronous) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อทำการจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB โดยให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่วิเคราะห์ผลของตารางที่ 4.10–4.12 (กรณี asynchronous))

รูปที่ 4.14–4.16 แสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ซึ่งการที่ผู้ใช้แต่ละคนมีค่า BER ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้แต่ละคนมีค่าไม่เท่ากันดังที่ได้อธิบายในกรณี asynchronous

จากรูปที่ 4.14 พบว่าผู้ใช้ low rate คนที่ 4 มี BER สูงที่สุด เนื่องจากถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดมากกว่าผู้ใช้ low rate คนอื่น (พิจารณาจากพจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3–7) หรือของตารางที่ 4.19 มีค่าสูงกว่าของผู้ใช้คนอื่น) ในขณะที่ผู้ใช้ low rate คนที่ 1 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนน้อยที่สุด (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3–7) หรือของตารางที่ 4.19 มีค่าต่ำที่สุด) ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.14 ที่ BER ของผู้ใช้ low rate คนที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด

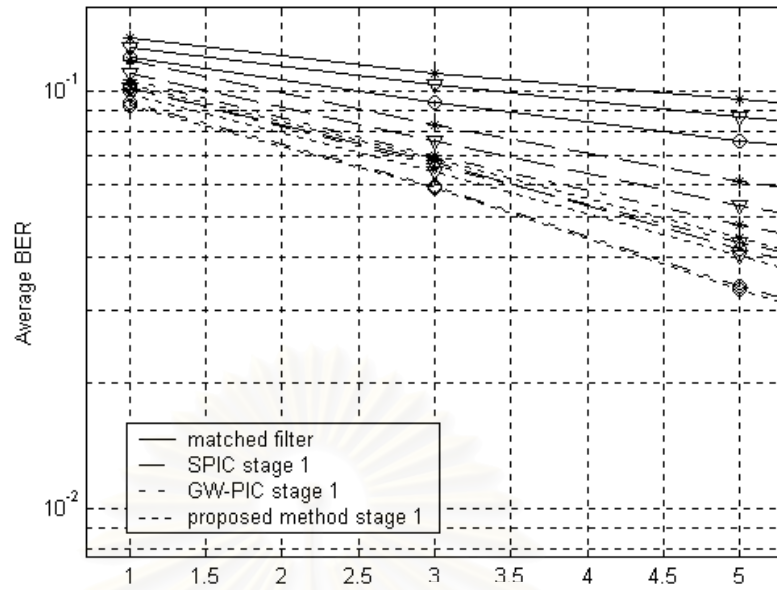
ทำนองเดียวกันจากรูปที่ 4.15 ในผู้ใช้ medium rate พบว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวน (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3–7) หรือของตารางที่ 4.20) ของผู้ใช้คนที่ 2 มากที่สุด และของคนที่ 1 น้อยที่สุด ทำให้ผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.15 คือ BER ของผู้ใช้ medium rate คนที่ 2 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ medium rate คนที่ 1 มีค่า BER ต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.16 ในผู้ใช้ high rate พบว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวน (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7) หรือตารางที่ 4.21) ของผู้ใช้คนที่ 7 มากที่สุดและของคนี่ 1 น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.16 คือ BER ของผู้ใช้ high rate คนที่ 7 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ high rate คนที่ 1 มีค่า BER ต่ำที่สุด

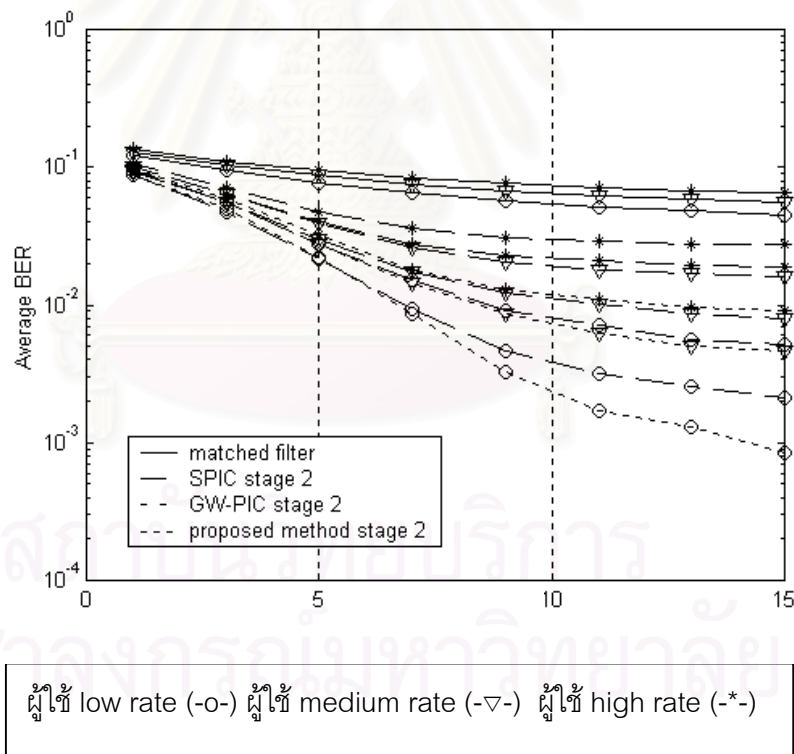


ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.9 BERเฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



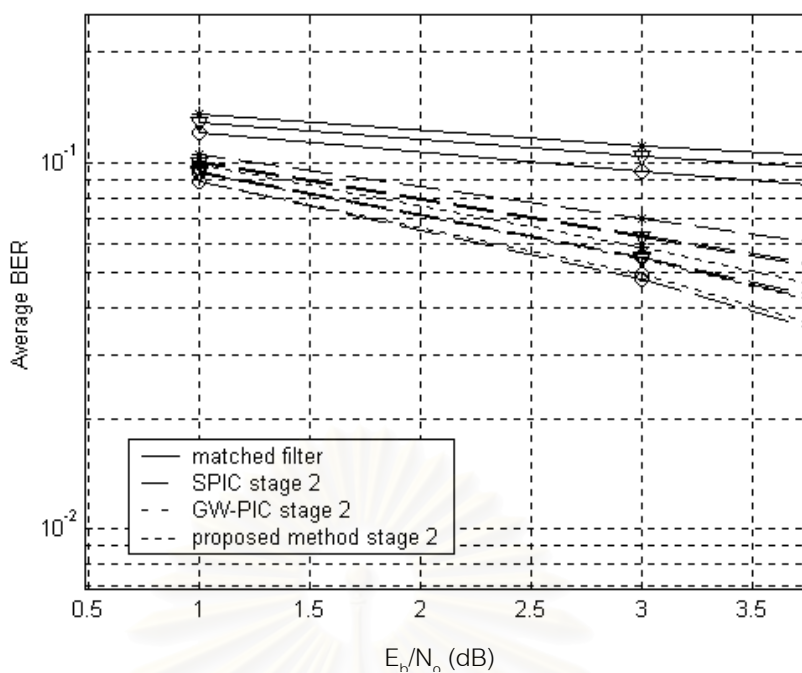
รูปที่ 4.10 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.9



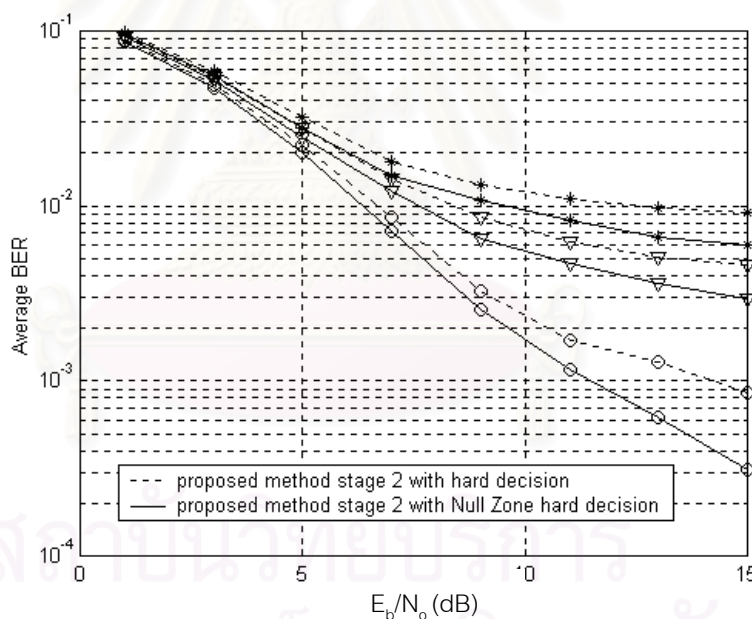
รูปที่ 4.11 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้

เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีความคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)





รูปที่ 4.12 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 3.5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.11



ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.13 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอมือถือจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินที่ stage 0 และ stage 1 ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ตารางที่ 4.13 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.005633	-0.00575	0.31706	0.004821	0.40006	-0.00186	1	1.7217	0.54178
2	1	-0.00528	-0.01079	0.32465	0.00574	0.39447	-0.00154	1	1.709	0.54384
3	1	-0.00567	-0.00288	0.33594	0.000009	0.39507	-0.00147	1	1.7227	0.54195
4	1	0.011169	-0.00404	0.36157	-0.00627	0.39426	-0.00161	1	1.7568	0.53583

ตารางที่ 4.14 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อ ยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และ สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาด สัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.01024	0.005484	0.32347	0.000151	0.39458	-0.00156	1	1.7136	0.54398
2	1	-0.00229	-0.00631	0.45681	0.001887	0.39385	-0.0014	1	1.8444	0.52236
3	1	-0.00717	-0.00777	0.37208	0.004429	0.39378	-0.00129	1	1.7558	0.53696
4	1	0.003432	0.004152	0.38688	0.001655	0.39943	-0.00141	1	1.7959	0.52974
5	1	-0.00746	0.015016	0.38945	-0.00658	0.39595	-0.00165	1	1.7865	0.53167
6	1	-0.01013	0.008251	0.36981	0.005035	0.39566	-0.00243	1	1.768	0.53439
7	1	0.003791	-0.01103	0.33473	-0.00464	0.39705	-0.00193	1	1.7197	0.54201
8	1	-0.00495	0.000454	0.39841	0.002449	0.39005	-0.00168	1	1.7865	0.53124

ตารางที่ 4.15 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.00797	-0.00135	0.36384	0.001504	0.3988	-0.0016	1	1.7709	0.53391
2	1	0.01045	-0.00721	0.43269	0.005666	0.40122	-0.00219	1	1.8425	0.52363
3	1	-0.00805	0.002612	0.41495	-0.00724	0.39667	-0.00193	1	1.7988	0.52963
4	1	-0.00436	-0.00644	0.39249	-0.00582	0.3986	-0.00117	1	1.7751	0.53315
5	1	-0.00066	-0.00041	0.39024	-0.00381	0.39305	-0.00177	1	1.7784	0.53279
6	1	0.015128	0.002429	0.45531	0.007291	0.39913	-0.00156	1	1.8796	0.51774
7	1	-0.00216	-0.00495	0.46139	0.009347	0.39327	-0.00151	1	1.8573	0.52086
8	1	-0.01407	0.004662	0.42838	0.001153	0.39766	-0.00138	1	1.8182	0.52629

ตารางที่ 4.16 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อ  
 ขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และ  
 สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาด สัญญาณ	ค่าความ แปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำ หนัก
1	1	0.005633	-0.16358	-0.00575	0.15357	0.004821	-0.06562	0.40006	-0.00106	1	1.3291	0.63618
2	1	-0.00528	-0.16687	-0.01079	0.15543	0.00574	-0.0689	0.39447	-0.00094	1	1.304	0.64541
3	1	-0.00567	-0.1643	-0.00288	0.16297	-9.29E-06	-0.06982	0.39507	-0.00083	1	1.3155	0.64167
4	1	0.011169	-0.18835	-0.00404	0.17319	-0.00627	-0.07104	0.39426	-0.00104	1	1.3091	0.64355

ตารางที่ 4.17 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อ  
 ขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์  
 และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาด สัญญาณ	ค่าความ แปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำ หนัก
1	1	-0.01024	-0.15375	0.005484	0.15739	0.000151	-0.0651	0.39458	-0.00088	1	1.3288	0.63596
2	1	-0.00229	-0.22878	-0.00631	0.22232	0.001887	-0.09335	0.39385	-0.00078	1	1.2876	0.6527
3	1	-0.00717	-0.17962	-0.00777	0.18239	0.004429	-0.07466	0.39378	-0.00078	1	1.3117	0.64325
4	1	0.003432	-0.19511	0.004152	0.19046	0.001655	-0.08048	0.39943	-0.00101	1	1.3237	0.63852
5	1	-0.00746	-0.19754	0.015016	0.19003	-0.00658	-0.07825	0.39595	-0.00077	1	1.3113	0.64286
6	1	-0.01013	-0.1821	0.008251	0.18643	0.005035	-0.07925	0.39566	-0.00117	1	1.3234	0.63827
7	1	0.003791	-0.16743	-0.01103	0.16588	-0.00464	-0.06672	0.39705	-0.00107	1	1.3167	0.64125
8	1	-0.00495	-0.19838	0.000454	0.19239	0.002449	-0.08192	0.39005	-0.00117	1	1.3001	0.64737

ตารางที่ 4.18 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อ  
 ขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และ  
 สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาด สัญญาณ	ค่าความ แปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำ หนัก
1	1	0.00797	-0.17857	-0.00135	0.17926	0.001504	-0.07428	0.3988	-0.00102	1	1.3334	0.6348
2	1	0.01045	-0.21587	-0.00721	0.21541	0.005666	-0.09058	0.40122	-0.00121	1	1.3187	0.6401
3	1	-0.00805	-0.20186	0.002612	0.20381	-0.00724	-0.08263	0.39667	-0.00123	1	1.3032	0.64579
4	1	-0.00436	-0.19046	-0.00644	0.19208	-0.00582	-0.0747	0.3986	-0.00058	1	1.3093	0.64457
5	1	-0.00066	-0.19526	-0.00041	0.18718	-0.00381	-0.0773	0.39305	-0.00096	1	1.3029	0.64649
6	1	0.015128	-0.23206	0.002429	0.22287	0.007291	-0.09552	0.39913	-0.00082	1	1.3197	0.64001
7	1	-0.00216	-0.22483	-0.00495	0.22505	0.009347	-0.09582	0.39327	-0.00069	1	1.3003	0.6471
8	1	-0.01407	-0.2069	0.004662	0.21362	0.001153	-0.08765	0.39766	-0.00084	1	1.3087	0.64406

ตารางที่ 4.19 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.005633	-0.00154	0.31706	0.002392	0.099249	-0.00154	1	1.4227	0.60984
2	1	-0.00528	-0.00248	0.32465	-0.00019	0.10106	-0.00127	1	1.4179	0.6097
3	1	-0.00567	-0.00356	0.33594	0.002157	0.10105	-0.0014	1	1.4299	0.60726
4	1	0.011169	0.002344	0.36157	0.003837	0.1012	-0.00136	1	1.4802	0.59278



ตารางที่ 4.20 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อ  
 ยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณ  
 จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาด สัญญาณ	ค่าความ แปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำ หนัก
1	1	-0.01024	0.00156	0.32347	-0.00079	0.099254	-0.00167	1	1.413	0.6129
2	1	-0.00229	-0.00155	0.45681	-0.00158	0.099364	-0.00102	1	1.5513	0.5769
3	1	-0.00717	0.00757	0.37208	-0.00013	0.10042	-0.00111	1	1.4731	0.59698
4	1	0.003432	-0.00229	0.38688	0.002876	0.09988	-0.00097	1	1.4913	0.59119
5	1	-0.00746	-0.00253	0.38945	-0.00099	0.10096	-0.00152	1	1.4794	0.5944
6	1	-0.01013	-0.00159	0.36981	-0.00012	0.09927	-0.00176	1	1.4569	0.59968
7	1	0.003791	-0.00751	0.33473	0.000329	0.1016	-0.00141	1	1.433	0.60549
8	1	-0.00495	0.005153	0.39841	-0.00433	0.099513	-0.0013	1	1.494	0.58982

ตารางที่ 4.21 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากรับแม่ตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.00797	-0.001	0.36384	-0.00066	0.1007	-0.00109	1	1.4712	0.59639
2	1	0.01045	0.002007	0.43269	0.000912	0.10043	-0.0021	1	1.5459	0.57982
3	1	-0.00805	0.004101	0.41495	-0.00382	0.099832	-0.00177	1	1.5067	0.58789
4	1	-0.00436	-0.00067	0.39249	-0.00094	0.099647	-0.00084	1	1.4868	0.59244
5	1	-0.00066	0.002846	0.39024	-0.00185	0.099725	-0.00151	1	1.4903	0.59198
6	1	0.015128	0.002814	0.45531	-0.00196	0.097417	-0.0015	1	1.5688	0.5729
7	1	-0.00216	0.002031	0.46139	-0.00349	0.10056	-0.0012	1	1.5587	0.57548
8	1	-0.01407	-0.00475	0.42838	0.000819	0.098487	-0.0012	1	1.5092	0.58639

ตารางที่ 4.22 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้งานแต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

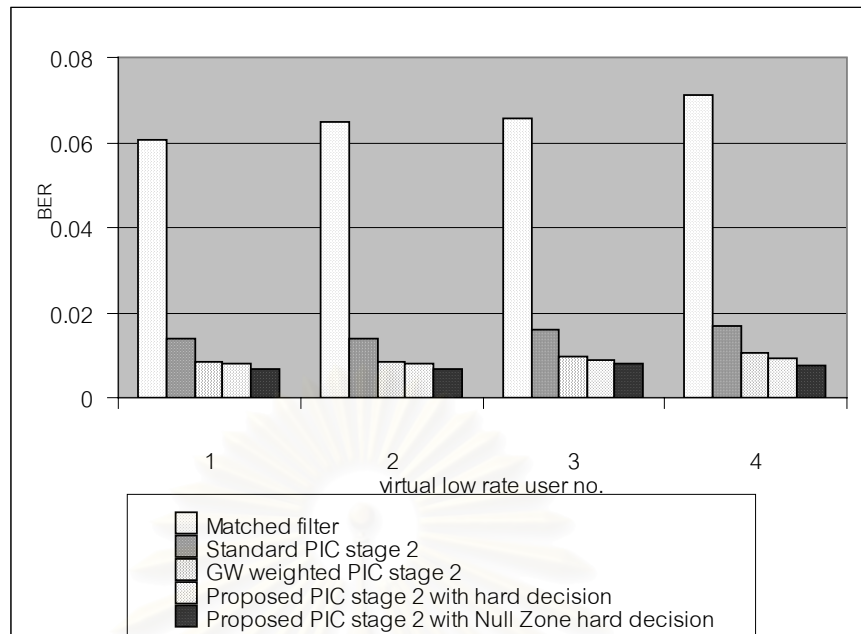
ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.005633	-0.15734	-0.00154	0.10973	0.002392	-0.017	0.099249	-0.00112	1	1.0411	0.8314
2	1	-0.00528	-0.16041	-0.00248	0.11189	-0.00019	-0.01793	0.10106	-0.00092	1	1.0267	0.8595
3	1	-0.00567	-0.16184	-0.00356	0.11675	0.002157	-0.01905	0.10105	-0.00095	1	1.0297	0.8529
4	1	0.011169	-0.17731	0.002344	0.12099	0.003837	-0.02086	0.1012	-0.00068	1	1.0415	0.8308

ตารางที่ 4.23 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และ สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

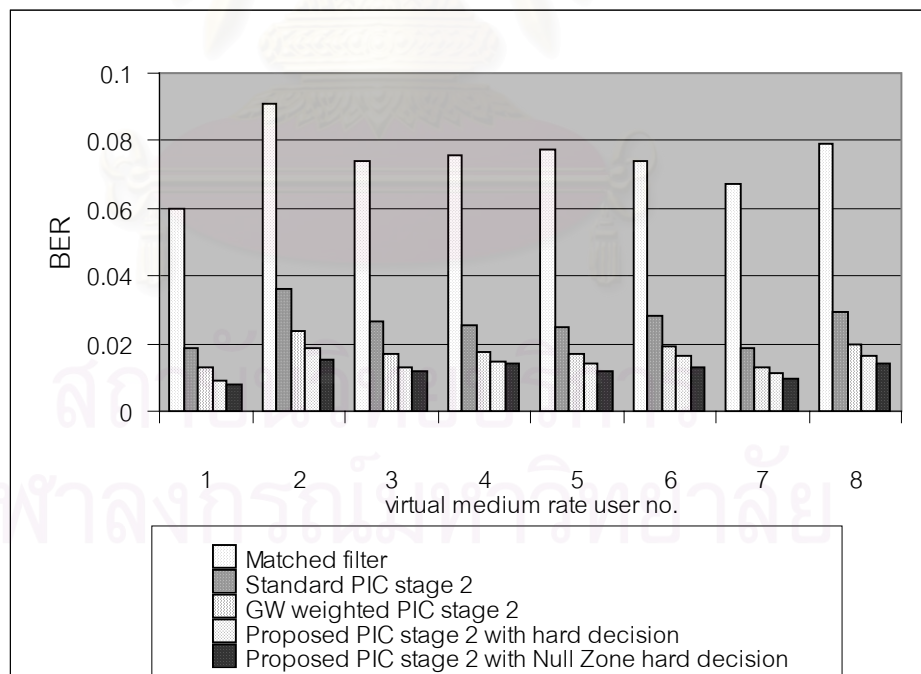
ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาด สัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.01024	-0.14033	0.00156	0.11383	-0.00079	-0.01486	0.099254	-0.00099	1	1.0483	0.8198
2	1	-0.00229	-0.21375	-0.00155	0.16239	-0.00158	-0.02399	0.099364	-0.00072	1	1.0188	0.8794
3	1	-0.00717	-0.17293	0.00757	0.13381	-0.00013	-0.01908	0.10042	-0.00076	1	1.0428	0.8286
4	1	0.003432	-0.18959	-0.00229	0.14065	0.002876	-0.02194	0.09988	-0.00074	1	1.0333	0.8457
5	1	-0.00746	-0.18008	-0.00253	0.13426	-0.00099	-0.01873	0.10096	-0.00098	1	1.0255	0.8623
6	1	-0.01013	-0.17318	-0.00159	0.13695	-0.00012	-0.01972	0.09927	-0.00087	1	1.0315	0.8493
7	1	0.003791	-0.15945	-0.00751	0.11857	0.000329	-0.01581	0.1016	-0.00086	1	1.0416	0.8306
8	1	-0.00495	-0.19479	0.005153	0.14415	-0.00433	-0.01985	0.099513	-0.00107	1	1.025	0.8635

ตารางที่ 4.24 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

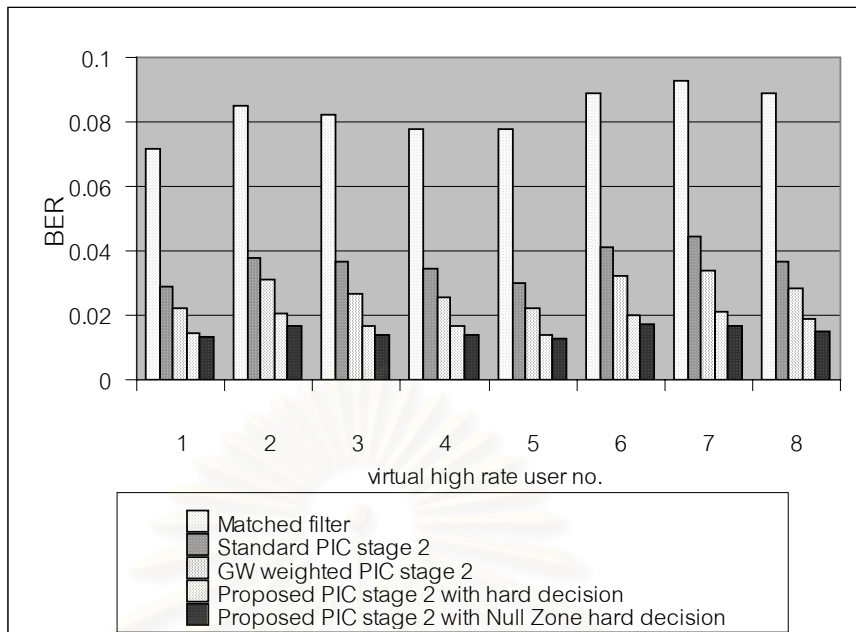
ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	0.00797	-0.1723	-0.001	0.13288	-0.00066	-0.0182	0.1007	-0.00079	1	1.0497	0.83163
2	1	0.01045	-0.19988	0.002007	0.15657	0.000912	-0.02319	0.10043	-0.00104	1	1.047	0.83125
3	1	-0.00805	-0.19081	0.004101	0.15089	-0.00382	-0.01947	0.099832	-0.00148	1	1.0325	0.86424
4	1	-0.00436	-0.17841	-0.00067	0.14264	-0.00094	-0.0199	0.099647	-0.00066	1	1.0385	0.84685
5	1	-0.00066	-0.17567	0.002846	0.13113	-0.00185	-0.01882	0.099725	-0.00112	1	1.0367	0.8508
6	1	0.015128	-0.21975	0.002814	0.16507	-0.00196	-0.02184	0.097417	-0.00067	1	1.0369	0.85454
7	1	-0.00216	-0.21171	0.002031	0.16629	-0.00349	-0.02322	0.10056	-0.00068	1	1.0287	0.87143
8	1	-0.01407	-0.18759	-0.00475	0.15375	0.000819	-0.02167	0.098487	-0.00101	1	1.0252	0.87757



รูปที่ 4.14 BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.15 BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.16 BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมมาตร และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

#### 4.3.1.2 กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมมาตร

##### 4.3.1.2.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด คือ

- จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 4, 8 และ 8 คน ตามลำดับ โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และเป็น 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
- กำลังสัญญาณที่เข้าถึงเครื่องรับของผู้ใช้ low rate เป็น 16 dB  
กำลังสัญญาณที่เข้าถึงเครื่องรับของผู้ใช้ medium rate เป็น 0 dB  
กำลังสัญญาณที่เข้าถึงเครื่องรับของผู้ใช้ high rate เป็น 0 dB
- ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป

#### 4.3.1.2.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

##### 4.3.1.2.2.1 กรณี asynchronous

รูปที่ 4.17 และ 4.19 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไปโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับ 4 ชนิด คือ เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอเมื่อจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate สูงกว่าผู้ใช้ rate อื่น อยู่ 16 dB ซึ่งให้ผลของ BER เช่นเดียวกับกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (ดังรูปที่ 4.1 และ 4.3) คือ เครื่องรับ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ทั้งกรณีที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage

เนื่องจากพารามิเตอร์ที่กำหนดในแบบจำลองนี้กำหนดให้กำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate สูงกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate จึงทำให้สัญญาณของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากความแรงสัญญาณของผู้ใช้ low rate ซึ่งเรียกเหตุการณ์นี้ว่าเกิดผลของ “ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล” และส่งผลให้ BER เฉลี่ยของเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดของผู้ใช้ low rate มีค่าต่ำกว่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate

จาก BER ที่ได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ medium rate และ high rate พบว่า สูงกว่าผู้ใช้ low rate ดังนั้นเมื่อนำบิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์นี้มาสร้าง MAI พบว่า MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ low rate เชื่อกันได้มากกว่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate

ในเครื่องรับแบบ SPIC จะทำการขจัดผลของ MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนอื่น แต่จาก MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ medium rate และ high rate มีความผิดพลาดเพราะบิตที่นำมาสร้าง MAI นำมาจากบิตที่ตัดสินใจด้วยเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ และเมื่อพิจารณาเครื่องรับแบบ GW-PIC ให้ BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับแบบ SPIC เพราะมีการถ่วงน้ำหนัก MAI ที่สร้างขึ้นตามอัตราการส่งข้อมูล โดยตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ low rate ต่ำที่สุด และของผู้ใช้ high rate สูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดตัวถ่วงน้ำหนักเช่นนี้ ไม่นำให้ผลที่ดีนัก เนื่องจากในกรณีนี้ (กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate สูงกว่าของผู้ใช้อื่น 16 dB) MAI ที่สร้างของผู้ใช้ low rate ถูกต้องที่สุดแต่กลับให้ตัวถ่วงน้ำหนักต่ำที่สุด ในขณะที่ MAI ที่สร้างของผู้ใช้ high rate ผิดพลาดแต่กลับให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าสูง



ดังนั้นวิธีที่นำเสนอจึงให้ค่า BER ที่ต่ำกว่าวิธี SPIC และ GW-PIC เนื่องจากตัวถ่วงน้ำหนักพิจารณาจากสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้แต่ละคนหรือกล่าวได้ว่าปฏิบัติตามความน่าเชื่อถือของบิตที่นำมาสร้าง MAI ซึ่งดีกว่าการกำหนดตัวถ่วงน้ำหนักให้คงที่ตามอัตราการส่งข้อมูล

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ BER ระหว่างรูปที่ 4.17 และ 4.19 ที่มีการขจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่า BER เฉลี่ยของเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage (รูปที่ 4.19) มีค่าต่ำกว่าเมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage (รูปที่ 4.17) เนื่องจากในการขจัดผลของ MAI 1 stage นั้น MAI ที่สร้างขึ้นได้จากบิตที่ตัดสินออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งมีความผิดพลาดสูง ดังนั้นเมื่อนำมาสร้าง MAI จึงเชื่อถือไม่ได้นัก ในขณะที่การขจัดผลของ MAI 2 stage นั้น MAI ที่สร้างขึ้นได้จากบิตที่ตัดสินหลังจากขจัดผลของผลของ MAI ใน stage ที่ 1 ทำให้บิตมีความถูกต้องยิ่งขึ้น และเมื่อนำมาสร้างเป็น MAI จึงเชื่อถือได้มากกว่า และส่งผลให้ BER หลังจากขจัดผลของ MAI 2 stage ต่ำกว่าหลังจากจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว

รูปที่ 4.18 และ 4.20 พิจารณาในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ กรณีที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่า BER ของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดมีค่า BER ที่ต่ำกว่า BER ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ไม่มากนัก เนื่องจากกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ ปัญหาของสัญญาณรบกวนมีผลมากกว่าผลของ MAI ทำให้สัญญาณของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากสัญญาณผู้ใช้ low rate ไม่มากนัก แต่จากรูปที่ 4.17 และ 4.19 ที่  $E_b/N_0$  มีค่าสูง BER ของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลของ MAI มีมากกว่าผลของสัญญาณรบกวนจนทำให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับทั้ง 4 ชนิด ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกลของผู้ใช้ low rate

รูปที่ 4.21 แสดงค่า BER เฉลี่ยเมื่อนำ Null Zone hard decision (ดังรูปที่ 3.3 (b)) มาใช้ตัดสินบิตที่ stage ที่ 0 และ stage ที่ 1 พบว่า BER ต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision มาตัดสิน เช่นเดียวกับกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.3.1.1.2.1 โดย BER เมื่อนำ Null Zone hard decision มาใช้ของผู้ใช้ low rate มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับของผู้ใช้ medium rate และ high rate ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบิตที่ตัดสินของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากสัญญาณของผู้ใช้ low rate มากจนทำให้การนำ Null Zone hard decision มาใช้ไม่สามารถทำให้ BER ลดลงได้มากนัก

ตารางที่ 4.25–4.27 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) หรือค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ได้ซัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคนกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 1$  dB พบว่าพจน์ที่ 2, 3, 5, และ 7 มีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งให้ผลดังเงื่อนไขที่พิจารณาในหัวข้อที่ 3.1.1 ดังนั้นค่าความแปรปรวนจึงขึ้นกับพจน์ที่ 1 ซึ่งคือ ขนาดสัญญาณกำลังสอง พจน์ที่ 4 คือ พจน์ประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวน และพจน์ที่ 6 เป็นพจน์ประมาณของสัญญาณรบกวน โดยตารางที่ 4.25 แสดงค่าของผู้ใช้ low rate พบว่าพจน์ประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) มีค่าน้อยกว่าพจน์ที่ 1 ประมาณ 10 เท่า ซึ่งหมายถึงผู้ใช้ low rate ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดไม่มากนัก ในขณะที่ตารางที่ 4.26 และ 4.27 แสดงค่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate ตามลำดับ ซึ่งพจน์ที่ 4 มีค่ามากกว่าพจน์ที่ 1 อยู่ในช่วง 4 เท่า ถึง 6 เท่า นั่นหมายถึง ผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดมากและส่งผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าของผู้ใช้ low rate

ตารางที่ 4.28–4.30 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อทำการซัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB พบว่าพจน์ที่ 2, 4, 6 และ 9 มีค่าเข้าใกล้ 0 ดังเงื่อนไขที่พิจารณาในหัวข้อที่ 3.1.1

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าของผู้ใช้ low rate พบว่าพจน์ที่ 3 และ 7 มีค่าไม่เข้าใกล้ 0 ทำให้ค่าความแปรปรวนแสดงได้ดังสมการที่ (3-15) ซึ่งขึ้นกับพจน์ที่ 1 คือ ขนาดกำลังสอง พจน์ที่ 5 คือ พจน์ประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวนสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนนั้น พจน์ที่ 6 เป็นพจน์ประมาณของสัญญาณรบกวน พจน์ที่ 3 และ 7 (ซึ่งมีเครื่องหมายลบทั้ง 2 พจน์) ที่ไม่สามารถตัดทิ้งได้จึงกล่าวได้ว่าค่าความแปรปรวนของผู้ใช้ low rate หลังจากซัดผลของ MAI 1 stage ไม่ได้ขึ้นกับสัญญาณแทรกสอดเท่านั้น

ตารางที่ 4.29 และ 4.30 แสดงค่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate ซึ่งพบว่าพจน์ที่ 3 และ 7 มีค่าเข้าใกล้ 0 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ medium rate และของผู้ใช้ high rate น้อยกว่าของผู้ใช้ low rate ดังเงื่อนไขที่ได้อธิบายในสมการที่ (3-18) และทำให้ได้ค่าความแปรปรวนขึ้นกับพจน์สัญญาณแทรกสอดและพจน์สัญญาณรบกวนดังสมการที่ (3-22) และส่งผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักใน stage 2 (ซึ่งคำนวณจากค่าความแปรปรวนใน stage 1) ของผู้ใช้ medium rate และ high rate มีความถูกต้องมากกว่าของผู้ใช้ low rate

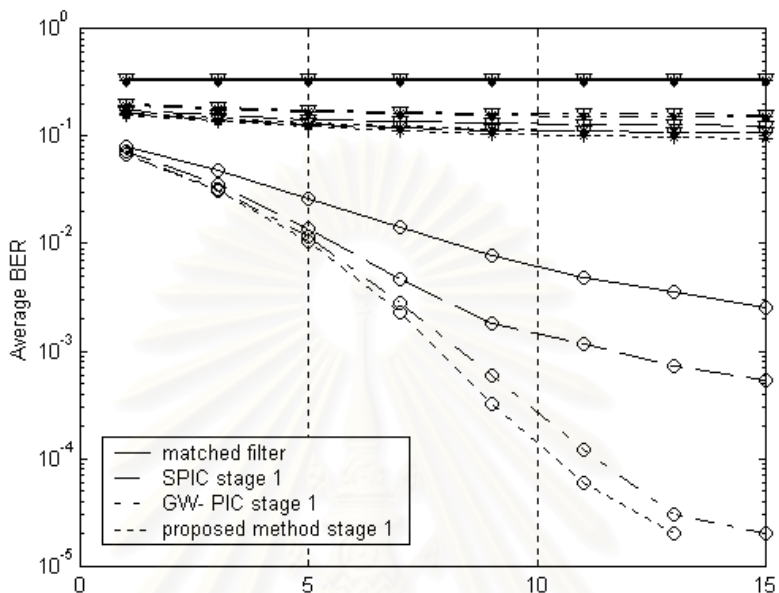
ตารางที่ 4.31–4.33 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) เช่นเดียวกับตารางที่ 4.25–4.27 ( $E_b/N_0 = 1$  dB) แต่พิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB พบว่าพจน์ที่ 6 ของตารางที่ 4.31–4.33 มีค่ามากกว่าของตารางที่ 4.25–4.27 เนื่องจากพจน์ที่ 6 เป็นค่าประมาณของสัญญาณรบกวน ซึ่งที่  $E_b/N_0 = 1$  dB มีผลของสัญญาณรบกวนมากกว่าที่  $E_b/N_0 = 7$  dB จึงส่งผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคนในตารางที่ 4.31 – 4.33 มีค่ามากกว่าตัวถ่วงน้ำหนักของตารางที่ 4.25–4.27 เมื่อเทียบที่ผู้ใช้คนเดียวกัน เพราะผลของสัญญาณรบกวนถูกนำมาพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ (3–28) แม้ว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 5) ระหว่างตารางที่ 4.25–4.27 และ 4.31–4.33 มีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม

ตารางที่ 4.34–4.36 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) เช่นเดียวกับตารางที่ 4.28–4.30 ( $E_b/N_0 = 1$  dB) แต่พิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ทำให้ตัวถ่วงน้ำหนักของตารางที่ 4.34–4.36 มีค่ามากกว่าของตารางที่ 4.28–4.30 เมื่อเทียบที่ผู้ใช้คนเดียวกัน เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนถูกนำมาพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนักดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้พจน์ที่ 3 และ 7 ในตารางที่ 4.35 และ 4.36 (ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ตามลำดับ) มีค่าเข้าใกล้ 0 ดังเงื่อนไขที่พิจารณาในหัวข้อที่ 3.1.1

รูปที่ 4.22–4.24 แสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ค่า  $E_b/N_0 = 7$  dB ซึ่งการที่ผู้ใช้แต่ละคนมีค่า BER ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้แต่ละคนมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งพิจารณาได้จากสมการที่ (2–13) และ (2–14) ถ้าผู้ใช้ที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามสูงจะส่งผลให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดสูง และเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.31 พบว่าผู้ใช้ low rate คนที่ 2 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) สูง ดังนั้นจึงส่งผลให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดสูงตามไปด้วย ในขณะที่ผู้ใช้คนที่ 4 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนน้อยที่สุด จึงทำให้บิตที่ตัดสินได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.22 ที่ BER ของผู้ใช้ low rate คนที่ 2 มีค่าสูงที่สุด และของผู้ใช้ low rate คนที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด

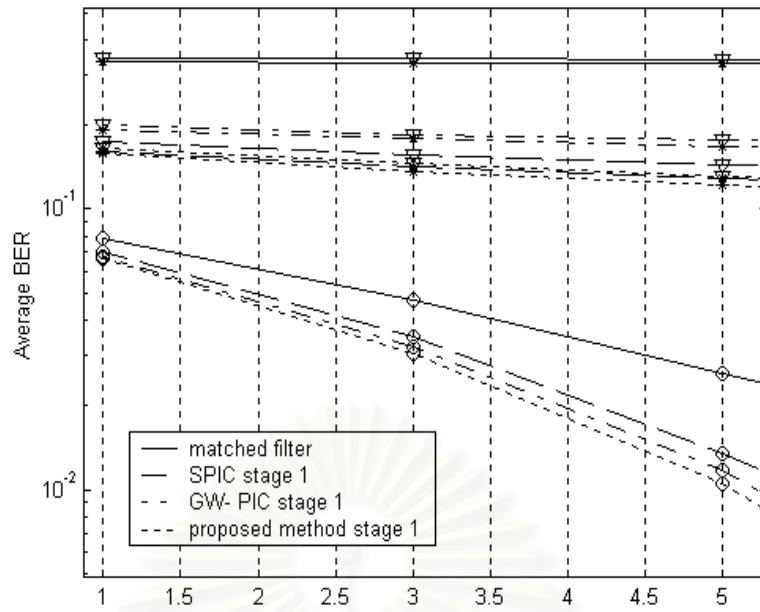
ทำนองเดียวกันจากตารางที่ 4.32 ผู้ใช้ medium rate คนที่ 4 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) ที่มารบกวนมากที่สุดและคนที่ 5 น้อยที่สุด ทำให้ผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.23 คือ BER ของผู้ใช้ medium rate คนที่ 4 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ medium rate คนที่ 5 มีค่า BER ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 3.33 ผู้ใช้ high rate คนที่ 1 มีค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอด (พจน์ที่ 4) ที่มารบกวนมากที่สุดและคนที่ 6 น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.24 คือ BER ของผู้ใช้ high rate คนที่ 1 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ high rate คนที่ 6 มีค่า BER ต่ำที่สุด

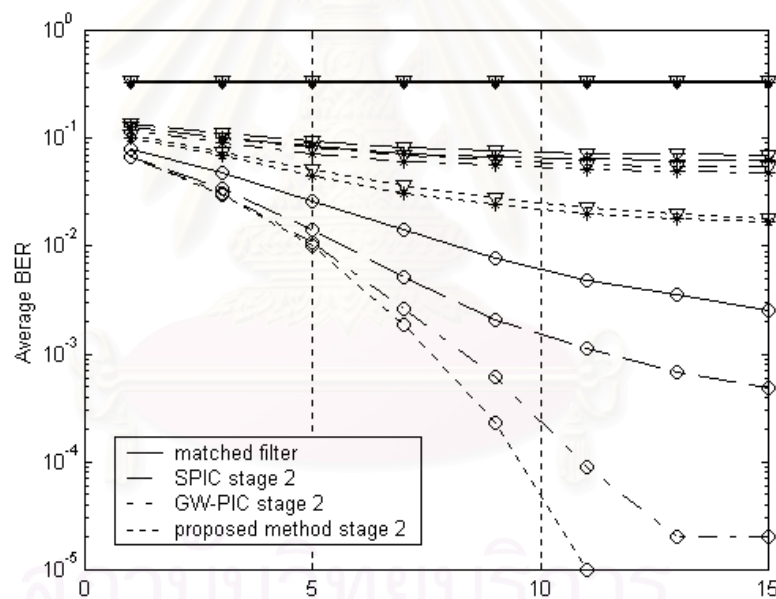


ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.17 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

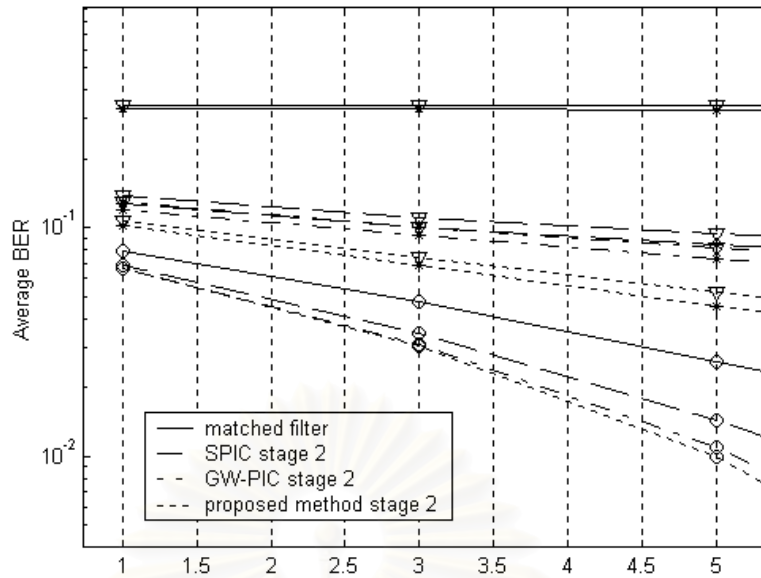


รูปที่ 4.18 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.17

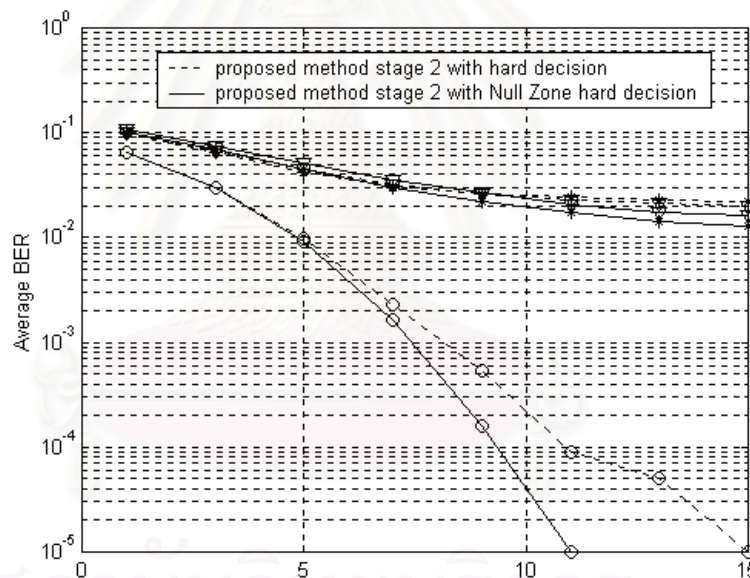


ผู้ใช้งาน low rate (-o-) ผู้ใช้งาน medium rate (-▽-) ผู้ใช้งาน high rate (-\*-)

รูปที่ 4.19 BER เฉลี่ยของผู้ใช้งาน low rate ผู้ใช้งาน medium rate และผู้ใช้งาน high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้งาน medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.20 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.19



ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.21 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินปีที่ stage 0 และ stage1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ตารางที่ 4.25 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	0.15013	0.16256	4.638	0.002229	15.5589	-0.04726	6.3095	60.3357	0.58321
2	39.8107	0.15557	-0.15428	4.7948	-0.03934	15.8562	-0.04805	6.3095	60.4361	0.58234
3	39.8107	-0.17164	-0.00011	3.6999	-0.17146	15.8784	-0.03371	6.3095	59.0711	0.59049
4	39.8107	0.17322	-0.27851	3.865	-0.02773	15.9797	-0.04744	6.3095	59.5345	0.58737

ตารางที่ 4.26 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00153	0.001875	6.1801	-0.01452	0.006668	-0.00496	1	7.5651	0.29068
2	1	-0.01007	0.011615	5.7387	0.001254	-0.03173	-0.00572	1	7.1386	0.29456
3	1	0.02328	0.001665	5.7659	0.029559	0.013822	-0.01172	1	7.2139	0.29194
4	1	-0.00051	-0.00676	5.4792	0.000822	0.006936	-0.00622	1	6.8756	0.29807
5	1	-0.00847	0.001209	5.2896	0.006668	0.39817	-0.00665	1	6.6872	0.30027
6	1	-0.04743	0.001251	6.2761	-0.03173	0.39345	-0.00365	1	7.5956	0.28388
7	1	-0.00794	-0.01512	5.586	0.013822	0.40157	-0.00583	1	6.9795	0.2954
8	1	-0.02311	-0.00425	5.3898	0.006936	0.39431	-0.00391	1	6.7665	0.29982



ตารางที่ 4.27 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่มีสมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.02933	-0.00334	5.744	0.002373	0.39393	-0.00456	1	7.1102	0.29539
2	1	-0.00634	0.003653	4.4828	-0.01178	0.39692	-0.00453	1	5.8665	0.31923
3	1	-0.01136	-0.00538	5.6812	0.002298	0.39974	-0.004	1	7.0696	0.29901
4	1	0.010969	-0.00205	4.8489	-0.00301	0.3969	-0.00427	1	6.2537	0.30975
5	1	0.023363	-0.00024	5.5948	-0.00971	0.39436	-0.00712	1	7.0024	0.3005
6	1	0.030827	-0.01454	3.9672	-0.01239	0.39541	-0.00366	1	5.3683	0.33074
7	1	0.01006	-0.00327	5.5193	-0.00995	0.3986	-0.00575	1	6.9159	0.3006
8	1	0.047024	-0.00667	5.2053	-0.02128	0.3945	-0.00328	1	6.6222	0.3052

ตารางที่ 4.28 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	0.15013	-3.2437	0.16256	1.9809	0.002229	-1.3073	15.5589	-0.00072	6.3095	53.1239	0.63415
2	39.8107	0.15557	-3.3638	-0.15428	2.0163	-0.03934	-1.2654	15.8562	-0.001	6.3095	53.0252	0.63507
3	39.8107	-0.17164	-2.5855	-0.00011	1.6171	-0.17146	-0.93593	15.8784	-0.00058	6.3095	53.4651	0.63122
4	39.8107	0.17322	-2.8096	-0.27851	1.6813	-0.02773	-1.0604	15.9797	-0.00086	6.3095	53.4763	0.63105

ตารางที่ 4.29 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อخذผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00153	-0.0859	0.001875	0.65071	-0.01452	-0.02857	0.39657	-0.00072	1	1.9191	0.51258
2	1	-0.01007	-0.08386	0.011615	0.65718	0.001254	-0.0363	0.39568	-0.00075	1	1.9361	0.5105
3	1	0.02328	-0.09549	0.001665	0.58877	0.029559	-0.05454	0.39806	-0.00132	1	1.8904	0.51632
4	1	-0.00051	-0.07792	-0.00676	0.59916	0.000822	-0.03951	0.40223	-0.00086	1	1.8774	0.5184
5	1	-0.00847	-0.07125	0.001209	0.57653	0.006668	-0.0328	0.39817	-0.00096	1	1.8705	0.51877
6	1	-0.04743	-0.04963	0.001251	0.68342	-0.03173	-0.01114	0.39345	-0.00068	1	1.9386	0.51112
7	1	-0.00794	-0.09083	-0.01512	0.60982	0.013822	-0.05134	0.40157	-0.00119	1	1.8599	0.52067
8	1	-0.02311	-0.07438	-0.00425	0.56226	0.006936	-0.03442	0.39431	-0.00105	1	1.8279	0.5251

ตารางที่ 4.30 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.02933	-0.04638	-0.00334	0.57028	0.002373	-0.02677	0.39393	-0.00183	1	1.8604	0.52116
2	1	-0.00634	-0.0657	0.003653	0.50461	-0.01178	-0.01627	0.39692	-0.00097	1	1.8052	0.52886
3	1	-0.01136	-0.05458	-0.00538	0.5825	0.002298	-0.03462	0.39974	-0.0016	1	1.8785	0.51858
4	1	0.010969	-0.08205	-0.00205	0.56427	-0.00301	-0.03111	0.3969	-0.00095	1	1.8545	0.522
5	1	0.023363	-0.0988	-0.00024	0.64091	-0.00971	-0.02434	0.39436	-0.00135	1	1.9252	0.51404
6	1	0.030827	-0.09126	-0.01454	0.47539	-0.01239	-0.02006	0.39541	-0.00081	1	1.7639	0.53669
7	1	0.01006	-0.09958	-0.00327	0.64043	-0.00995	-0.0329	0.3986	-0.00111	1	1.9032	0.51477
8	1	0.047024	-0.11937	-0.00667	0.54424	-0.02128	-0.01149	0.3945	-0.00039	1	1.8275	0.5258

ตารางที่ 4.31 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อ ยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจาก ผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาด สัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	0.15013	-0.02458	4.638	-0.02886	4.0201	-0.04034	6.3095	48.5738	0.68407
2	39.8107	0.15557	0.037749	4.7948	0.02928	3.9767	-0.04153	6.3095	48.8121	0.68119
3	39.8107	0.17164	-0.20415	3.6999	-0.01271	3.983	-0.02884	6.3095	47.5781	0.69991
4	39.8107	0.17322	-0.34517	3.565	-0.00879	3.9771	-0.01951	6.3095	47.1233	0.70735

ตารางที่ 4.32 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00153	-0.0029	6.1801	0.00792	0.099915	-0.00476	1	7.286	0.29654
2	1	-0.01007	0.00266	5.7387	0.001217	0.099339	-0.00525	1	6.8334	0.30069
3	1	0.02328	-0.00031	5.7659	0.006977	0.10039	-0.01102	1	6.8921	0.29812
4	1	-0.00051	0.001218	6.4792	-0.00832	0.10071	-0.00498	1	7.5739	0.28025
5	1	-0.00847	0.000939	5.2896	0.007733	0.09995	-0.00732	1	6.3888	0.30652
6	1	-0.04743	0.006571	6.2761	-0.00322	0.099812	-0.00395	1	7.3352	0.28829
7	1	-0.00794	-0.00366	5.586	0.011629	0.10003	-0.00636	1	6.6864	0.30101
8	1	-0.02311	-0.00214	5.3898	0.000263	0.10166	-0.00432	1	6.4686	0.30602

ตารางที่ 4.33 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ชัดเจนผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.02933	0.000057	5.744	-0.00531	0.10058	-0.00415	1	6.8127	0.30155
2	1	-0.00634	0.004749	4.4828	-0.009	0.10092	-0.00448	1	5.5742	0.32719
3	1	-0.01136	-0.00318	5.6812	0.001346	0.10019	-0.00332	1	6.7717	0.30592
4	1	0.010969	0.008759	4.8489	0.000294	0.099223	-0.0039	1	5.9702	0.31645
5	1	0.023363	0.000041	5.5948	0.003656	0.09848	-0.00735	1	6.7197	0.30708
6	1	0.030827	0.001314	3.9672	-0.00465	0.10105	-0.0034	1	5.0975	0.33891
7	1	0.01006	-0.00453	5.5193	-0.00484	0.10038	-0.00584	1	6.6212	0.30707
8	1	0.047024	0.006078	5.2053	-0.00323	0.098292	-0.00327	1	6.3565	0.31142

ตารางที่ 4.34 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	0.15013	-3.4226	-0.02458	1.1562	-0.02886	-0.33807	4.0201	-0.00093	6.3095	41.3244	0.85315
2	39.8107	0.15557	-3.3818	0.037749	1.0958	0.02928	-0.35348	3.9767	-0.0009	6.3095	41.3727	0.84467
3	39.8107	-0.17164	-3.0033	-0.20415	0.99039	-0.01271	-0.32191	3.983	-0.00054	6.3095	41.0834	0.85775
4	39.8107	0.17322	-3.1439	-0.34517	0.96127	-0.00879	-0.30692	3.9771	-0.00044	6.3095	41.141	0.8622

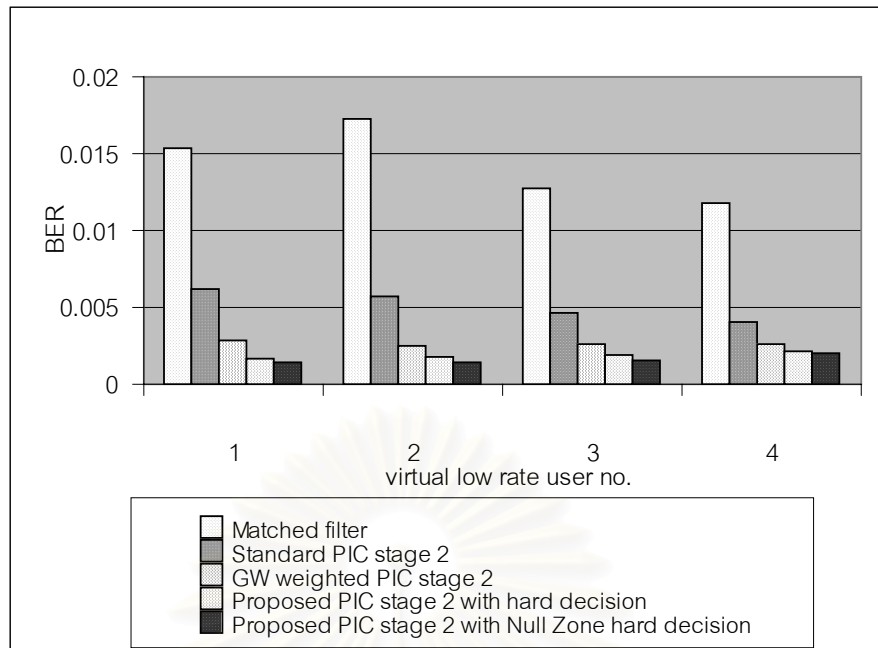


ตารางที่ 4.35 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

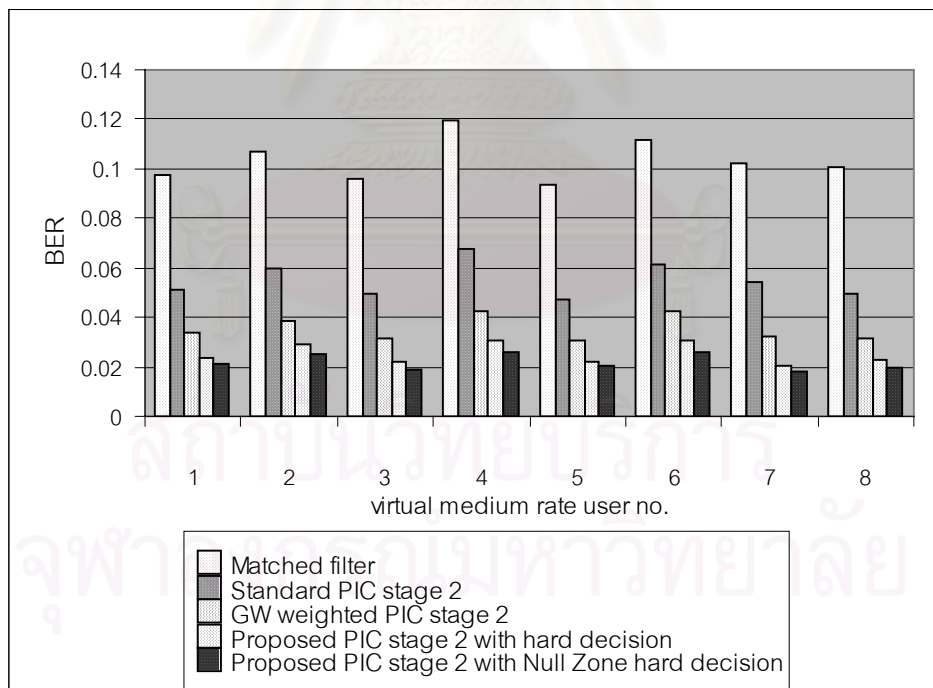
ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00153	-0.0893	-0.0029	0.61925	0.00792	-0.01524	0.099915	-0.00087	1	1.6184	0.56347
2	1	-0.01007	-0.08248	0.00266	0.62665	0.001217	-0.00991	0.099339	-0.0008	1	1.6279	0.56233
3	1	0.02328	-0.10148	-0.00031	0.56461	0.006977	-0.01595	0.10039	-0.00161	1	1.5771	0.57197
4	1	-0.00051	-0.07808	0.001218	0.56324	-0.00832	-0.00157	0.10071	-0.00089	1	1.5768	0.5726
5	1	-0.00847	-0.07503	0.000939	0.55053	0.007733	-0.01818	0.09995	-0.00103	1	1.5576	0.57594
6	1	-0.04743	-0.05444	0.006571	0.65432	-0.00322	-0.01033	0.099812	-0.00047	1	1.646	0.55932
7	1	-0.00794	-0.09568	-0.00366	0.58707	0.011629	-0.01858	0.10003	-0.00118	1	1.5724	0.57272
8	1	-0.02311	-0.07766	-0.00214	0.53725	0.000263	-0.00656	0.10166	-0.00097	1	1.53	0.58127

ตารางที่ 4.36 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลด์เตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_p/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

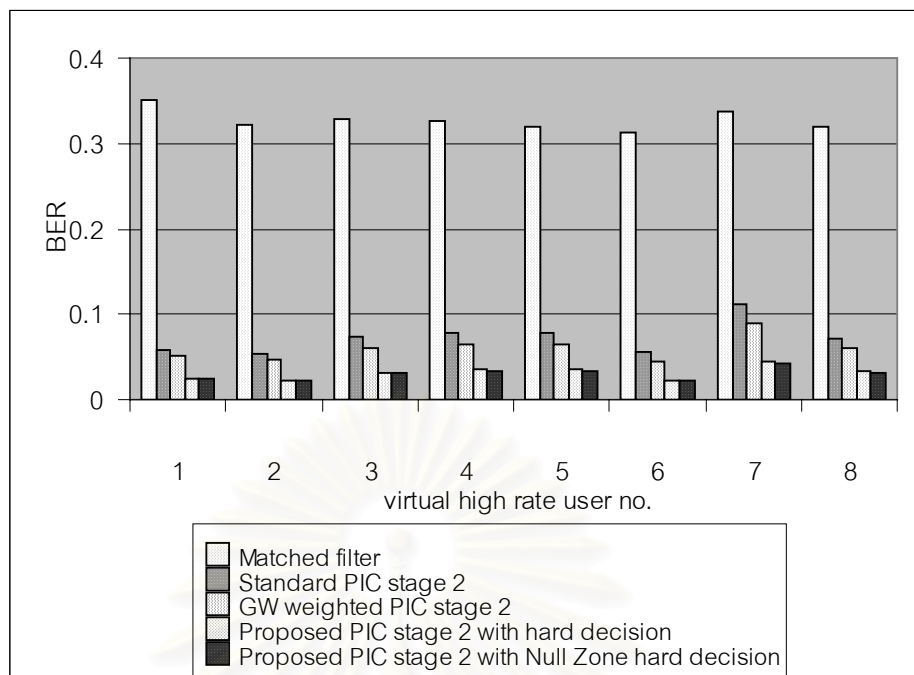
ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.02933	-0.05095	0.000057	0.54662	-0.00531	-0.01113	0.10058	-0.00094	1	1.5507	0.57904
2	1	-0.00634	-0.06621	0.004749	0.48189	-0.009	-0.00389	0.10092	-0.001	1	1.5024	0.58843
3	1	-0.01136	-0.05795	-0.00318	0.5625	0.001346	-0.01305	0.10019	-0.00123	1	1.5785	0.57409
4	1	0.010969	-0.08438	0.008759	0.54671	0.000294	-0.01063	0.099223	-0.00116	1	1.5713	0.57469
5	1	0.023363	-0.10122	0.000041	0.61757	0.003656	-0.01263	0.09848	-0.00108	1	1.6291	0.56584
6	1	0.030827	-0.09676	0.001314	0.45233	-0.00465	-0.00262	0.10105	-0.00077	1	1.4821	0.59785
7	1	0.01006	-0.10252	-0.00453	0.6124	-0.00484	-0.00801	0.10038	-0.00116	1	1.6028	0.56589
8	1	0.047024	-0.1259	0.006078	0.52136	-0.00323	-0.00485	0.098292	-0.00061	1	1.5396	0.58115



รูปที่ 4.22 BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.23 BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.24 BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

#### 4.3.1.2.2.2 กรณี synchronous

รูปที่ 4.25 และ 4.27 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับ 4 ชนิด คือ เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอเมื่อทำการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate สูงกว่าผู้ใช้ rate อื่นอยู่ 16 dB ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ รูปที่ 4.17 และ 4.19 คือ เครื่องรับ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์โดยเครื่องรับที่นำเสนอให้ค่า BER เฉลี่ยที่ต่ำสุดและ BER เฉลี่ยในเครื่องรับ SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดการผลของ MAI 2 stage (รูปที่ 4.27) มีค่าต่ำกว่าเมื่อทำการจัดการผลของ MAI 1 stage (รูปที่ 4.25) ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.3.1.2.2.1 (กรณี asynchronous)

จากรูปที่ 4.25 และ 4.27 พบว่า BER ในเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดของผู้ใช้ low rate ไม่แตกต่างกันมากนักที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแผ่ระหว่างผู้ใช้ในกรณี synchronous มีค่าต่ำมาก จึงส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ low rate (ซึ่งมีกำลังสัญญาณที่รับได้สูงกว่าผู้ใช้ rate อื่นอยู่ 16 dB) มีค่าน้อยมาก ดังนั้นการนำ Multiuser receiver เพื่อมากำจัดผลของ MAI จึงเห็นไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับกรณี asynchronous (รูปที่ 4.17 และ 4.19)

จากรูปที่ 4.26 และ 4.28 พิจารณาในกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ กรณีที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่า BER ของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดมีค่า BER ที่ต่ำกว่า BER ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ไม่มากนัก เนื่องจากกรณีที่  $E_b/N_0$  มีค่าต่ำ ปัญหาของสัญญาณรบกวนมีผลมากกว่าผลของ MAI ทำให้สัญญาณของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากสัญญาณผู้ใช้ low rate ไม่มากนัก แต่จากรูปที่ 4.25 และ 4.27 ที่  $E_b/N_0$  มีค่าสูง BER ของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลของ MAI มีมากจนทำให้บิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับทั้ง 4 ชนิด ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกแทรกสอดจากความแรงสัญญาณของผู้ใช้ low rate

รูปที่ 4.29 แสดงค่า BER เฉลี่ยเมื่อนำ Null Zone hard decision (ดังรูปที่ 3.3 (b)) มาใช้ตัดสินใจที่ stage ที่ 0 และ stage ที่ 1 (หรือ stage ก่อนหน้า stage สุดท้าย) พบว่า BER ต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision มาตัดสินใจ เพราะการใช้ Null Zone hard decision มาตัดสินใจที่จะนำไป

สร้าง MAI เป็นการป้องกันความผิดพลาดของ MAI ที่สร้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในขั้นตอนการจัดการแทรกสอด ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.3

ตารางที่ 4.37–4.39 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) หรือค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ได้ทำการจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน ในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ซึ่งพบว่าพจน์ที่ 2, 3, 5 และ 7 มีค่าเข้าใกล้ 0 เช่นเดียวกับตารางที่ 4.25–4.27 (กรณี asynchronous  $E_b/N_0 = 1$  dB) และตารางที่ 4.43–4.45 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–7) เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับตารางที่ 4.31–4.33 (กรณี asynchronous  $E_b/N_0 = 7$  dB) แต่ต่างที่พจน์ที่ 4 ของผู้ใช้แต่ละคน (ค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามาบรรจบกันของผู้ใช้แต่ละคน) ของกรณี synchronous (ตารางที่ 4.37–39 และ 4.43–4.45) น้อยกว่าของกรณี asynchronous (ตารางที่ 4.25–4.27 และ 4.31–4.33) เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามกรณี synchronous มีค่าต่ำมากจึงส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดน้อยลงไปด้วย

ตารางที่ 4.40–4.42 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) (กรณี synchronous) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB โดยให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่วิเคราะห์ผลของตารางที่ 4.28–4.30 ในหัวข้อ 4.3.2.2.1)

ตารางที่ 4.46–4.48 แสดงค่าในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3–14) (กรณี synchronous) ซึ่งคือ ค่าความแปรปรวนจากสัญญาณขาออกของเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคน 1 stage ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB โดยให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (ดังที่วิเคราะห์ผลของตารางที่ 4.34 – 4.36 ในหัวข้อ 4.3.2.2.1)

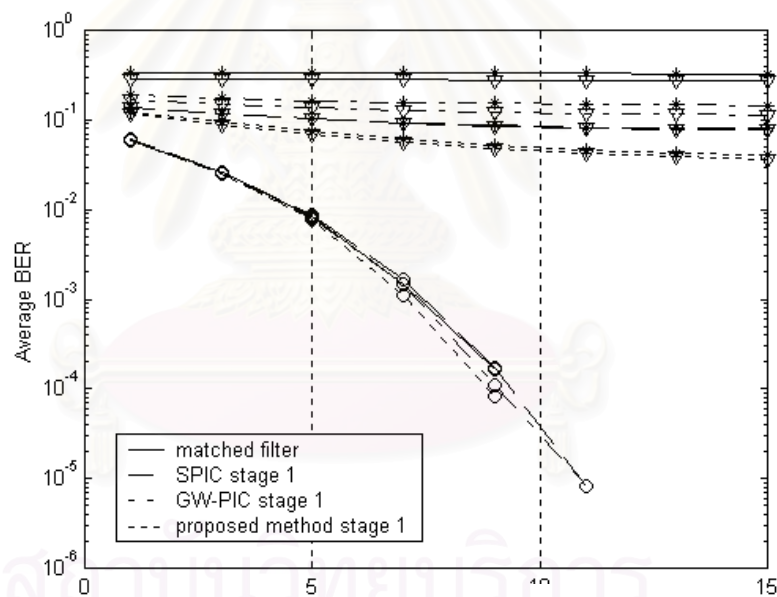
รูปที่ 4.30–4.32 แสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ค่า  $E_b/N_0 = 7$  dB ซึ่งการที่ผู้ใช้แต่ละคนมีค่า BER ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้แต่ละคนมีค่าไม่เท่ากันดังที่ได้อธิบายในกรณี asynchronous

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.30 พบว่าผู้ใช้ low rate คนที่ 4 มี BER สูงที่สุด เนื่องจากถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดมากกว่าผู้ใช้ low rate คนอื่น (พิจารณาจากพจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7) หรือของตารางที่ 4.37 มีค่าสูงกว่าของผู้ใช้คนอื่น) ในขณะที่ผู้ใช้ low rate คนที่ 2 มีค่าประมาณ

ของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนน้อยที่สุด (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7) หรือของตารางที่ 4.43 มีค่าต่ำที่สุด) ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.30 ที่ BER ของผู้ใช้ low rate คนที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด

ทำนองเดียวกันในผู้ใช้ medium rate พบว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวน (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7) หรือของตารางที่ 4.44) ของผู้ใช้คนที่ 4 มากที่สุด และของคนี่ 7 น้อยที่สุด ทำให้ผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.31 คือ BER ของผู้ใช้ medium rate คนที่ 4 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ medium rate คนที่ 7 มีค่า BER ต่ำที่สุด

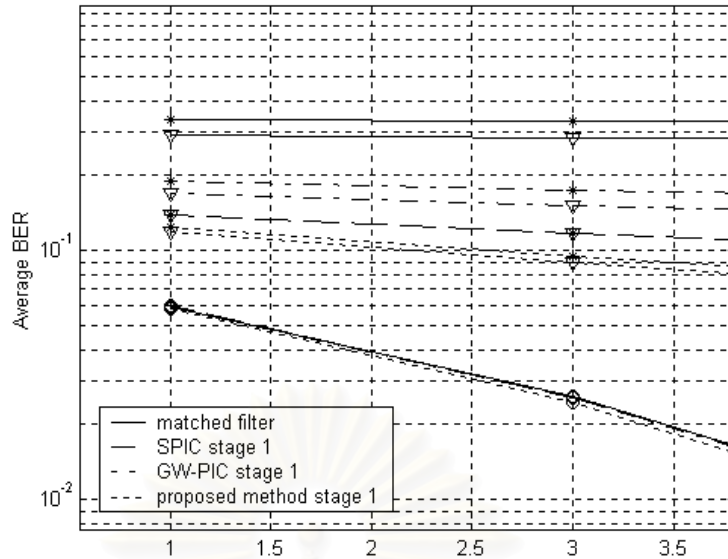
ในผู้ใช้ high rate พบว่าค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวน (พจน์ที่ 4 ของสมการที่ (3-7) หรือตารางที่ 4.45) ของผู้ใช้คนที่ 8 มากที่สุดและของคนี่ 1 น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ตรงกับรูปที่ 4.32 คือ BER ของผู้ใช้ high rate คนที่ 8 มีค่ามากที่สุด และของผู้ใช้ high rate คนที่ 1 มีค่า BER ต่ำที่สุด



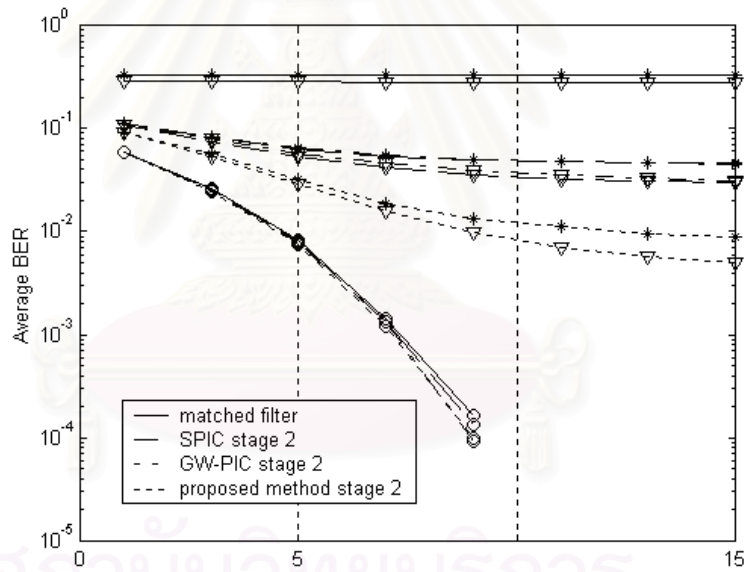
ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.25 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับ

แมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดผลของ MAI 1 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



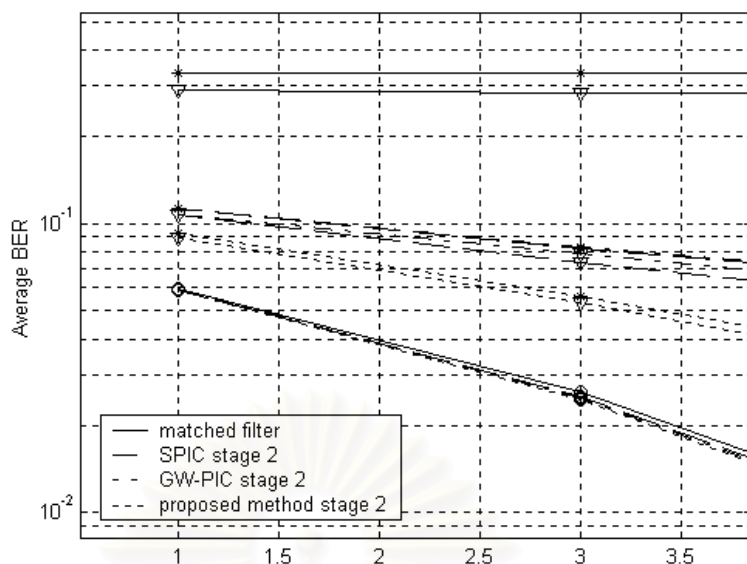
รูปที่ 4.26 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 3.5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.25



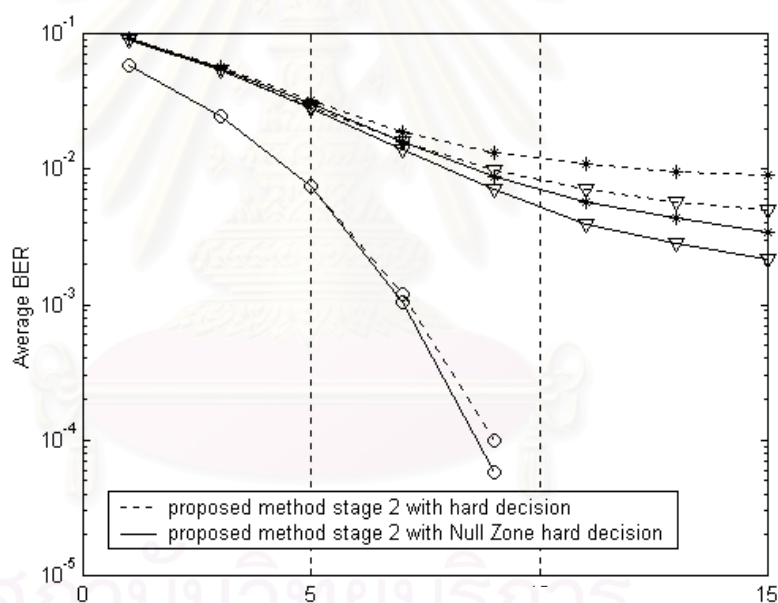
ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.27 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)





รูปที่ 4.28 ส่วนขยายในช่วง  $E_b/N_0 = 1 - 3.5$  dB ของกราฟรูปที่ 4.27



ผู้ใช้ low rate (-o-) ผู้ใช้ medium rate (-▽-) ผู้ใช้ high rate (-\*-)

รูปที่ 4.29 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision และฟังก์ชัน Null Zone hard decision ตัดสินปีที่ stage 0 และ stage 1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ตารางที่ 4.37 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	-0.00183	0.019958	0.55426	-0.06784	15.882	-0.04857	6.3095	56.1949	0.60963
2	39.8107	-0.05712	0.33415	0.54465	-0.0094	15.8693	-0.06327	6.3095	56.4974	0.60734
3	39.8107	-0.02687	-0.55359	0.56154	0.063038	15.7858	-0.04234	6.3095	55.6678	0.61345
4	39.8107	-0.06936	-0.22457	0.57814	-0.01911	15.7286	-0.06191	6.3095	55.7883	0.61257

ตารางที่ 4.38 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง ไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00914	0.011347	2.4308	0.002283	0.3932	-0.00251	1	3.8198	0.37782
2	1	-0.0415	-0.00734	2.6303	0.000266	0.399	-0.00385	1	3.9808	0.37342
3	1	0.031247	0.001905	2.9847	0.023627	0.39252	-0.00327	1	4.4351	0.35633
4	1	-0.03231	-0.00767	3.6838	-0.01342	0.39478	-0.00353	1	5.0267	0.34123
5	1	0.012659	-0.00038	2.5038	0.000595	0.39213	-0.00377	1	3.909	0.37741
6	1	0.009897	-0.00307	2.6668	-0.01858	0.39855	-0.00438	1	4.0532	0.37285
7	1	0.018993	0.00057	2.4207	0.004632	0.40151	-0.00402	1	3.8562	0.37802
8	1	-0.01049	0.005021	2.7974	-0.00666	0.39733	-0.00531	1	4.1815	0.36617

ตารางที่ 4.39 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00236	0.00995	3.2268	0.009984	0.40174	-0.00319	1	4.6475	0.34943
2	1	-0.03879	-0.00756	4.4016	-0.00162	0.39752	-0.00525	1	5.7516	0.31884
3	1	-0.01953	-0.01197	4.5465	0.012962	0.40148	-0.00659	1	5.9288	0.31496
4	1	0.002741	0.002711	4.689	-0.00862	0.39716	-0.00674	1	6.0824	0.31357
5	1	-0.0083	0.003622	3.8588	-0.00771	0.39754	-0.00612	1	5.2431	0.33217
6	1	-0.06304	-0.01565	4.8189	0.006947	0.40067	-0.00678	1	6.1472	0.31319
7	1	0.006549	0.004689	4.8702	-0.02214	0.39342	-0.00494	1	6.2541	0.30974
8	1	-0.02166	-0.00239	5.2219	0.001335	0.39727	-0.00798	1	6.5951	0.30343

ตารางที่ 4.40 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	-0.00183	-0.93179	0.019958	0.37968	-0.06784	-0.35848	15.882	-0.00062	6.3095	56.1949	0.62072
2	39.8107	-0.05712	-0.94763	0.33415	0.38127	-0.0094	-0.36416	15.8693	-0.00101	6.3095	56.4974	0.61847
3	39.8107	-0.02687	-0.96649	-0.55359	0.40176	0.063038	-0.38777	15.7858	-0.0012	6.3095	55.6678	0.62545
4	39.8107	-0.06936	-0.95453	-0.22457	0.39469	-0.01911	-0.35901	15.7286	-0.00119	6.3095	55.7883	0.62429

ตารางที่ 4.41 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00914	-0.08793	0.011347	0.30433	0.002283	-0.04325	0.3932	-0.00095	1	1.5711	0.57044
2	1	-0.0415	-0.04144	-0.00734	0.29052	0.000266	-0.02949	0.399	-0.00066	1	1.5705	0.57046
3	1	0.031247	-0.10291	0.001905	0.26353	0.023627	-0.04812	0.39252	-0.00103	1	1.5616	0.57211
4	1	-0.03231	-0.05115	-0.00767	0.30885	-0.01342	-0.01726	0.39478	-0.00109	1	1.5819	0.56835
5	1	0.012659	-0.09049	-0.00038	0.29281	0.000595	-0.03566	0.39213	-0.00055	1	1.572	0.57011
6	1	0.009897	-0.07751	-0.00307	0.29645	-0.01858	-0.01495	0.39855	-0.00116	1	1.5908	0.56615
7	1	0.018993	-0.09546	0.00057	0.26188	0.004632	-0.03266	0.40151	-0.00072	1	1.5602	0.57259
8	1	-0.01049	-0.07372	0.005021	0.29597	-0.00666	-0.03014	0.39733	-0.00091	1	1.5771	0.56919

ตารางที่ 4.42 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 1$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00236	-0.08364	0.00995	0.27802	0.009984	-0.03953	0.40174	-0.0007	1	1.5747	0.5698
2	1	-0.03879	-0.05827	-0.00756	0.30787	-0.00162	-0.03533	0.39752	-0.00118	1	1.5639	0.57185
3	1	-0.01953	-0.06386	-0.01197	0.30797	0.012962	-0.03899	0.40148	-0.00151	1	1.5876	0.56687
4	1	0.002741	-0.08685	0.002711	0.32178	-0.00862	-0.02976	0.39716	-0.00097	1	1.5988	0.56459
5	1	-0.0083	-0.10348	0.003622	0.3102	-0.00771	-0.0343	0.39754	-0.00127	1	1.5576	0.57343
6	1	-0.06304	-0.04039	-0.01565	0.33478	0.006947	-0.03704	0.40067	-0.00112	1	1.5862	0.56723
7	1	0.006549	-0.08348	0.004689	0.29456	-0.02214	-0.01296	0.39342	-0.00125	1	1.5804	0.56834
8	1	-0.02166	-0.06065	-0.00239	0.30552	0.001335	-0.02494	0.39727	-0.00128	1	1.5936	0.56574

ตารางที่ 4.43 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่มีสมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	-0.00183	0.1542	0.55426	-0.02657	3.9936	-0.03935	6.3095	44.4795	0.7449
2	39.8107	-0.05712	-0.251	0.54465	0.011322	3.9661	-0.05117	6.3095	44.0294	0.75441
3	39.8107	-0.02687	-0.15479	0.56154	0.000851	3.9914	-0.04708	6.3095	44.1938	0.75085
4	39.8107	-0.06936	-0.06723	0.57814	-0.00636	4.0226	-0.04018	6.3095	44.2626	0.7494



ตารางที่ 4.44 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่จัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00914	-0.00389	2.4308	-0.00744	0.10012	-0.00223	1	3.5017	0.39343
2	1	-0.0415	0.001046	2.6303	0.001959	0.10078	-0.00339	1	3.6929	0.38732
3	1	0.031247	0.001566	2.9847	0.005939	0.10042	-0.00294	1	4.125	0.36896
4	1	-0.03231	-0.00735	3.6838	0.003641	0.10014	-0.00394	1	4.7487	0.35076
5	1	0.012659	-0.00363	2.5038	-0.00267	0.099919	-0.00291	1	3.6108	0.39242
6	1	0.009897	0.000948	2.6668	-0.00905	0.10025	-0.00559	1	3.767	0.38697
7	1	0.018993	0.001357	2.4207	-0.00134	0.099981	-0.00435	1	3.5489	0.39344
8	1	-0.01049	-0.00402	2.7974	0.000958	0.10042	-0.00494	1	3.8832	0.37975

ตารางที่ 4.45 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-7) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่ stage 0 หรือเมื่อยังไม่ขจัดผลของ MAI) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00236	0.000065	3.2268	0.002153	0.099175	-0.00203	1	3.5145	0.39281
2	1	-0.03879	0.000128	4.4016	0.000154	0.09868	-0.00355	1	3.6879	0.38743
3	1	-0.01953	0.001968	4.5465	-0.00534	0.09922	-0.00228	1	4.1136	0.3694
4	1	0.002741	0.000044	4.689	-0.00776	0.099607	-0.00417	1	4.7439	0.35085
5	1	-0.0083	-0.00234	3.8588	0.005146	0.10056	-0.00335	1	3.6201	0.39172
6	1	-0.06304	0.000008	4.8189	0.005397	0.098841	-0.00591	1	3.7788	0.38657
7	1	0.006549	-0.00086	4.8702	0.006908	0.099407	-0.00455	1	3.5541	0.39331
8	1	-0.02166	0.002165	5.2219	0.000505	0.10055	-0.00487	1	3.8892	0.37936

ตารางที่ 4.46 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน low rate จำนวน 4 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

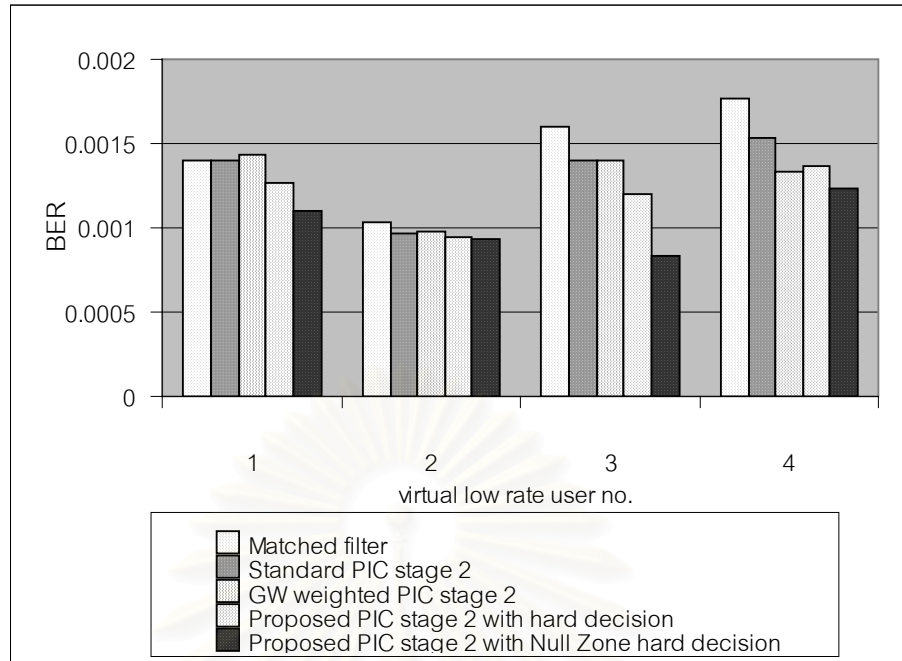
ผู้ใช้เสมือน low rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	39.8107	-0.00183	-1.8032	0.1542	0.33043	-0.02657	-0.15374	3.9936	-0.00081	6.3095	42.3085	0.80303
2	39.8107	-0.05712	-1.8046	-0.251	0.32683	0.011322	-0.16679	3.9661	-0.00134	6.3095	41.8288	0.8221
3	39.8107	-0.02687	-1.9535	-0.15479	0.35126	0.000851	-0.18156	3.9914	-0.00115	6.3095	41.8351	0.82204
4	39.8107	-0.06936	-1.8342	-0.06723	0.34373	-0.00636	-0.1569	4.0226	-0.00111	6.3095	42.0449	0.81532

ตารางที่ 4.47 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน medium rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

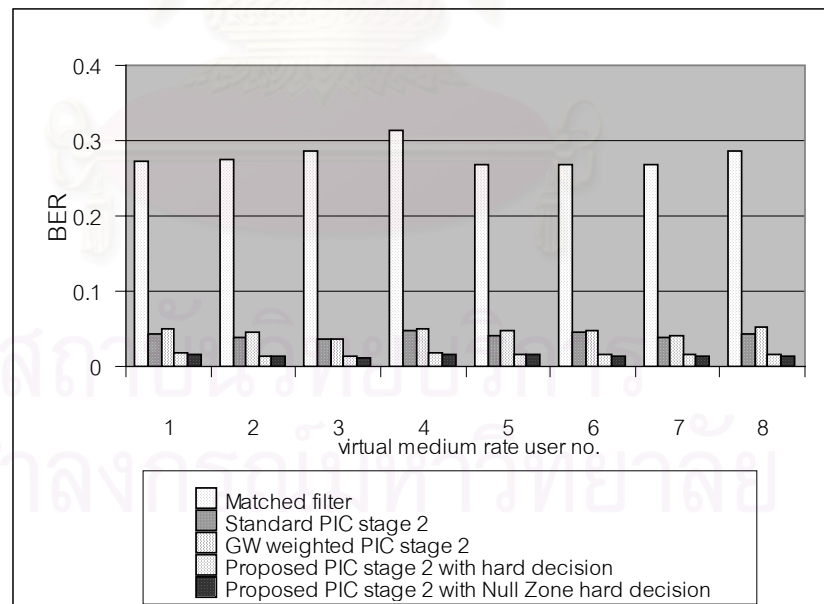
ผู้ใช้เสมือน medium rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00914	-0.09769	-0.00389	0.28473	-0.00744	-0.00682	0.10012	-0.00102	1	1.2599	0.66534
2	1	-0.0415	-0.04512	0.001046	0.27342	0.001959	-0.011	0.10078	-0.00078	1	1.2801	0.65715
3	1	0.031247	-0.11253	0.001566	0.24511	0.005939	-0.01291	0.10042	-0.00126	1	1.2585	0.66613
4	1	-0.03231	-0.05387	-0.00735	0.28751	0.003641	-0.00909	0.10014	-0.00079	1	1.2887	0.6543
5	1	0.012659	-0.09497	-0.00363	0.27425	-0.00267	-0.00495	0.099919	-0.0009	1	1.281	0.65556
6	1	0.009897	-0.084	0.000948	0.28216	-0.00905	-0.00203	0.10025	-0.00175	1	1.2973	0.65066
7	1	0.018993	-0.10034	0.001357	0.24447	-0.00134	-0.00754	0.099981	-0.00089	1	1.2558	0.66606
8	1	-0.01049	-0.0805	-0.00402	0.27825	0.000958	-0.00932	0.10042	-0.0009	1	1.2753	0.65946

ตารางที่ 4.48 ค่าประมาณในแต่ละพจน์ของสมการที่ (3-14) (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ เมื่อخذผลของ MAI 1 stage) ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB ของผู้ใช้เสมือน high rate จำนวน 8 คน กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

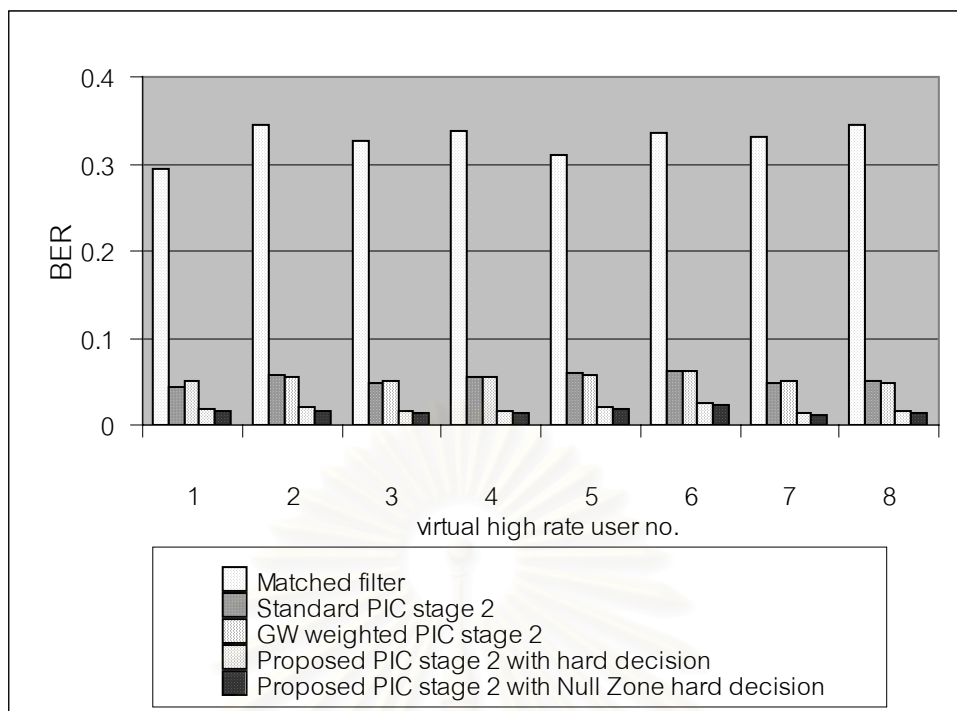
ผู้ใช้เสมือน high rate คนที่	พจน์ที่ 1	พจน์ที่ 2	พจน์ที่ 3	พจน์ที่ 4	พจน์ที่ 5	พจน์ที่ 6	พจน์ที่ 7	พจน์ที่ 8	พจน์ที่ 9	ขนาดสัญญาณ	ค่าความแปรปรวน	ตัวถ่วงน้ำหนัก
1	1	-0.00236	-0.08736	0.002377	0.26208	-0.0037	-0.00614	0.10077	-0.00094	1	1.2655	0.66322
2	1	-0.03879	-0.06406	0.003472	0.28771	0.000175	-0.01175	0.099996	-0.00119	1	1.2765	0.65809
3	1	-0.01953	-0.06798	-0.00155	0.28427	-0.00036	-0.00754	0.098827	-0.00143	1	1.2854	0.65451
4	1	0.002741	-0.09378	0.00245	0.29972	-0.00892	-0.00172	0.099127	-0.00081	1	1.2995	0.64925
5	1	-0.0083	-0.11486	-0.00081	0.28654	-0.011	-0.00243	0.099874	-0.00153	1	1.2489	0.66974
6	1	-0.06304	-0.04882	0.000477	0.30662	0.004133	-0.01113	0.099278	-0.00108	1	1.2876	0.65348
7	1	0.006549	-0.09067	-0.00188	0.27253	0.004304	-0.01212	0.099739	-0.00118	1	1.2782	0.65831
8	1	-0.02166	-0.06088	0.005659	0.28001	-0.00175	-0.00775	0.1004	-0.00159	1	1.2931	0.65238



รูปที่ 4.30 BER ของผู้ใช้ low rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.31 BER ของผู้ใช้ medium rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบรูณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.32 BER ของผู้ใช้ high rate แต่ละคนเมื่อใช้เครื่องรับประเภทต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

#### 4.3.1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ทั้งกรณีที่การส่งข้อมูลเป็นในลักษณะ asynchronous และ synchronous พบว่าจะให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เครื่องรับที่นำเสนอจะให้ BER ที่ต่ำที่สุด รองมาเป็น GW-PIC, SPIC และเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ ตามลำดับ ซึ่ง BER ที่ได้จากเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดในกรณีที่มีการส่งข้อมูลแบบ synchronous จะมีค่าต่ำกว่า กรณี asynchronous ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแฉกรณี synchronous ต่ำกว่ากรณี asynchronous และส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้อื่นกรณี synchronous น้อยกว่ากรณี asynchronous ด้วย

เมื่อจำนวน stage ในการขจัดผลของ MAI เพิ่มขึ้นทำให้บิตที่ตัดสินใจได้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นการนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้ตัดสินใจบิตที่จะนำไปสร้าง MAI สามารถทำให้ BER ลดต่ำกว่าเมื่อใช้ hard decision ตัดสินเพราะเป็นการช่วยป้องกันการหักล้างบิตที่ตัดสินใจผิดพลาด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เมื่อเทียบค่าของตัวถ่วงน้ำหนักกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์กับกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ (โดยกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate สูงกว่าของผู้ใช้ medium rate และ high rate) พบว่าตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้ medium rate และ high rate กรณีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์มีค่าต่ำกว่ากรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์เนื่องจากกรณีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ผู้ใช้ medium rate และ high rate ถูกปรับลดด้วยสัญญาณจากผู้ใช้ low rate มาก

จากผลการจำลองแบบกรณีที่วัดค่า BER เมื่อ  $E_b/N_0$  เปลี่ยนไปในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์เมื่อสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) และมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) สามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การลดลงของ BER เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอที่มีการจัดผลของ MAI 2 stage โดยนำ hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย ดังตารางที่ 4.49 และเมื่อนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย ดังตารางที่ 4.50 โดยเทียบกับเครื่องรับประเภทอื่น ซึ่งพบว่าเครื่องรับที่นำเสนอให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิตผิดพลาดมากที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ รองมาเป็น SPIC และ GW-PIC ตามลำดับ และเมื่อนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย พบว่าทำให้อัตราบิตผิดพลาดลดลงมากกว่าเมื่อใช้ฟังก์ชัน hard decision



ตารางที่ 4.49 เปอร์เซนต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอมือเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่น โดยจัดการแทรกสอด 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้ายในกรณีต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB

ผู้ใช้	การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์						การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์					
	asynchronous			synchronous			Asynchronous			synchronous		
	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC
low rate	81.17673	58.83784	26.96027	86.94543	43.47753	7.39295	86.90476	63.89961	28.62595	17.64828	9.878735	7.211128
medium rate	75.74704	54.41176	29.14506	80.96041	45.16066	18.64077	75.74704	54.41176	29.14506	94.36061	62.36483	65.51683
high rate	71.61361	50.08651	30.31771	78.62671	51.02187	36.07522	90.47975	57.09959	48.56836	94.33499	65.19275	65.67182

ตารางที่ 4.50 เปอร์เซนต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอมือเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่น โดยจัดการแทรกสอด 2 stage โดยนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้ายในกรณีต่างๆ ที่  $E_b/N_0 = 7$  dB

ผู้ใช้	การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์						การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์					
	asynchronous			synchronous			Asynchronous			synchronous		
	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC
low rate	83.47703	63.86807	35.88612	88.95383	52.17333	21.64025	88.72549	68.91892	38.54962	29.23052	22.55371	20.26129
medium rate	78.88498	60.31014	38.31254	83.88061	53.57164	31.11923	78.88498	60.31014	38.31254	95.04091	66.90492	69.67668
high rate	75.50414	56.92746	39.8681	82.13778	59.0677	46.57639	90.90742	59.02677	50.87879	95.18653	70.4248	70.83185

## 4.3.2 ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล

### 4.3.2.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด คือ

1. จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 4, 8 และ 8 คน ตามลำดับ อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และ 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
2. กำลังสัญญาณของผู้ใช้ medium rate และ high rate ที่มาถึงเครื่องรับมีค่า  $E_b/N_0$  เป็น 10 dB แต่ค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เปลี่ยนค่าตั้งแต่ -20 dB ถึง 20 dB
3. ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 chip และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

### 4.3.2.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

#### 4.3.2.2.1 กรณี asynchronous

ผลการจำลองแบบในหัวข้อนี้แสดงผลของความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยผู้ใช้ low rate จำนวน 4 คนมีกำลังที่มาถึงด้านรับเปลี่ยนไป ในขณะที่ผู้ใช้ medium rate และ high rate มีกำลังที่มาถึงด้านรับคงที่และพิจารณากรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน

รูปที่ 4.33 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate ในเครื่องรับ ทั้ง 5 ชนิด กรณีที่กำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate มีกำลังที่รับได้คงที่โดยมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB โดยแกน x เป็นค่าผลต่างระหว่าง  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate กับผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate ทั้งนี้ให้ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากันและสัญญาณรบกวนมีค่าคงที่ ดังนั้นการเพิ่ม  $E_b/N_0$  ในกรณีนี้หมายถึงการเพิ่มกำลังของสัญญาณของผู้ใช้ low rate หรือเป็นการเพิ่มสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ medium rate และ ผู้ใช้ high rate

เมื่อกำลังของสัญญาณของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น เครื่องรับทั้ง 5 ชนิดมี BER ที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้ เป็นผลมาจากสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มขึ้นของกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate นั้นเอง โดย SPIC มี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เนื่องจากมีการขจัดผลของ MAI และ GW-PIC มี BER ต่ำกว่า SPIC เพราะมีการถ่วงน้ำหนักของ MAI ที่สร้างขึ้น แต่ในช่วงที่กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่ากำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ medium rate และ high rate ตั้งแต่ 13 dB ขึ้นไป พบว่า BER ของวิธี GW-PIC กลับมีค่าสูงกว่าวิธี SPIC ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากในช่วง กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มีค่าสูง หมายถึง บิตที่ตัดสินได้จากผู้ใช้ low rate เชื่อก็คือ ได้มากที่สุด และของผู้ใช้ medium rate และ high rate เชื่อก็คือได้น้อยที่สุด แต่ตัวถ่วงน้ำหนักในวิธี GW-PIC ของผู้ใช้ low rate มีค่า  $\sqrt{0.4}$  ซึ่งน้อยกว่าของผู้ใช้ medium rate ซึ่งมีค่า  $\sqrt{0.6}$  และของผู้ใช้ high rate ซึ่งมีค่า  $\sqrt{0.8}$  ดังนั้นจึงเป็นการถ่วงน้ำหนักความน่าเชื่อถือของบิตที่ไม่ถูกต้อง

อย่างไรก็ตาม วิธีที่นำเสนอมีค่า BER ที่ต่ำกว่าวิธี GW-PIC เนื่องจากวิธีที่นำเสนอจะทำการปรับตัวถ่วงน้ำหนักตามสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามาบรรจบกันหรือความน่าเชื่อถือของบิตที่จะนำมาสร้าง MAI นอกจากนี้เมื่อนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้ตัดสินบิตก่อน stage สุดท้ายแทน hard decision ทำให้ BER ต่ำลงไปอีกเล็กน้อย เนื่องจากเป็นการป้องกันนำบิตที่ตัดสินผิดมาสร้าง MAI ซึ่งจะทำให้การจัดการแทรกสอดไปเพิ่มสัญญาณแทรกสอดเป็น 2 เท่า ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.3

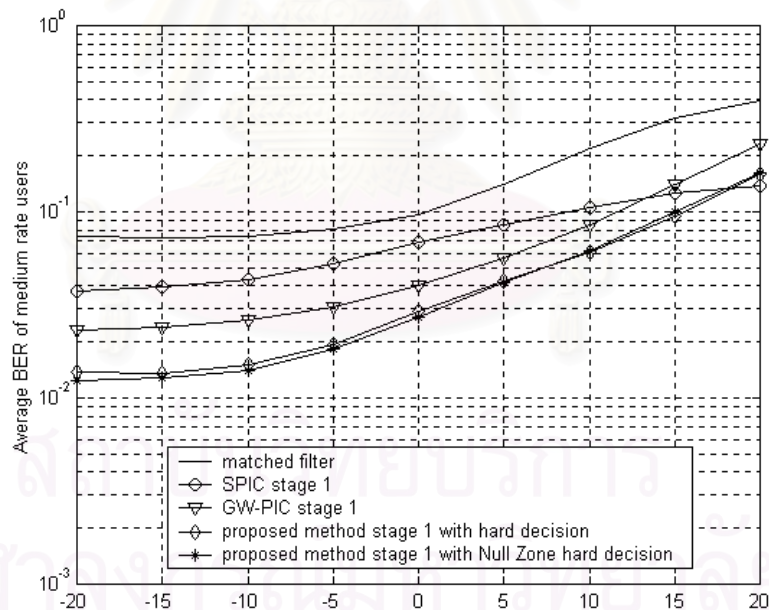
รูปที่ 4.34 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เช่นเดียวกับรูปที่ 4.33 แต่พิจารณาในเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI 2 stage ผลที่ได้พบว่าเป็นในลักษณะเดียวกับเมื่อจัดการแทรกสอด 1 stage คือ เครื่องรับที่นำเสนอโดยนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาช่วยตัดสินบิตมี BER ต่ำที่สุดในขณะที่เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ให้ BER ที่แย่ที่สุด นอกจากนี้ในเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI 2 stage จะมี BER เฉลี่ยลดต่ำกว่าเมื่อจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว (รูปที่ 4.33) เนื่องจาก MAI ที่สร้างขึ้นเมื่อจัดการแทรกสอด 2 stage มีความถูกต้องมากกว่า เพราะได้จากบิตที่ตัดสินจากการจัดการแทรกสอด 1 stage ในขณะที่บิตที่นำมาสร้าง MAI เพื่อทำการขจัดผลของ MAI 1 stage ได้จากบิตที่ตัดสินจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งมีความผิดพลาด

นอกจากนี้จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 เมื่อกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น พบว่า BER ของเครื่องรับที่นำเสนอในกรณีที่มีการจัดการแทรกสอด 2 stage จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้ากว่ากรณีที่มีการจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว ซึ่งหมายถึงเครื่องรับที่มีการขจัด

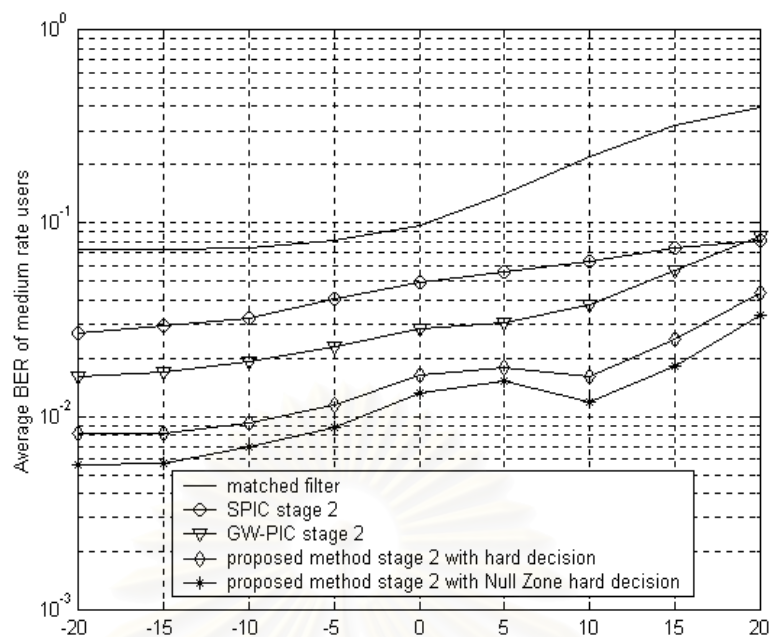
ผลของ MAI 2 stage สามารถทนต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลได้ดีกว่าการจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว

รูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate ในเครื่องรับที่มีการจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ ซึ่งให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกับกรณีของผู้ใช้ medium rate (รูปที่ 4.33 และ 4.34) คือ เครื่องรับที่นำเสนอมี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับชนิดอื่น และเมื่อใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินใจทำให้ BER ต่ำลงไปอีก นอกจากนี้เมื่อจัดการแทรกสอด 2 stage พบว่าผลของ BER มีค่าต่ำกว่าและสามารถทนผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกลได้ดีกว่า (เนื่องจาก BER ค่อยๆเพิ่มขึ้น) เมื่อทำการจัดการแทรกสอด 1 stage

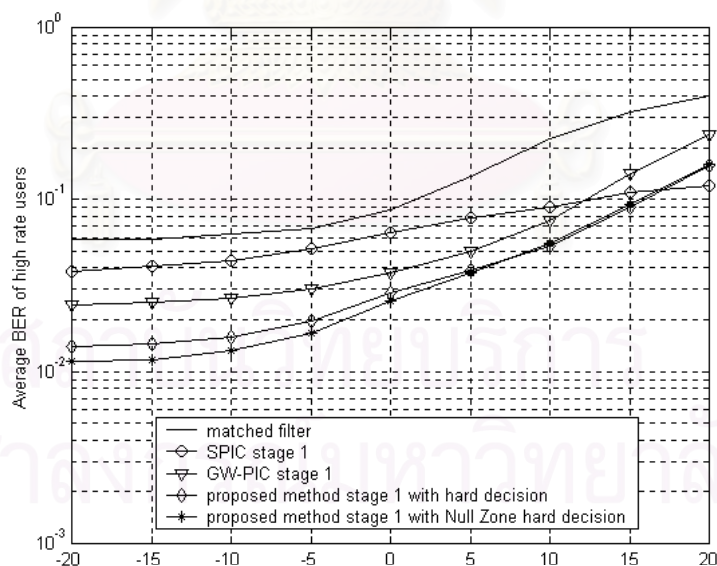
รูปที่ 4.37 และ 4.38 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับที่มีการจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่าเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เครื่องรับทั้ง 5 ชนิดจะมี BER ที่ลดลง เนื่องจากสัญญาณจากผู้ใช้อื่นที่มารบกวนน้อยลงจึงทำให้บิตข้อมูลที่ตรวจจับได้จากผู้ใช้ low rate ถูกต้องมากขึ้น



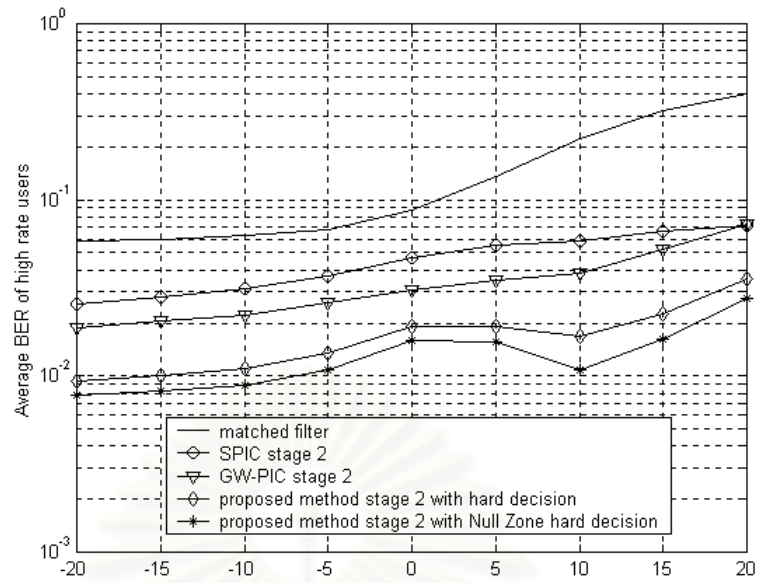
รูปที่ 4.33 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดการผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้อื่นมาไม่ถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



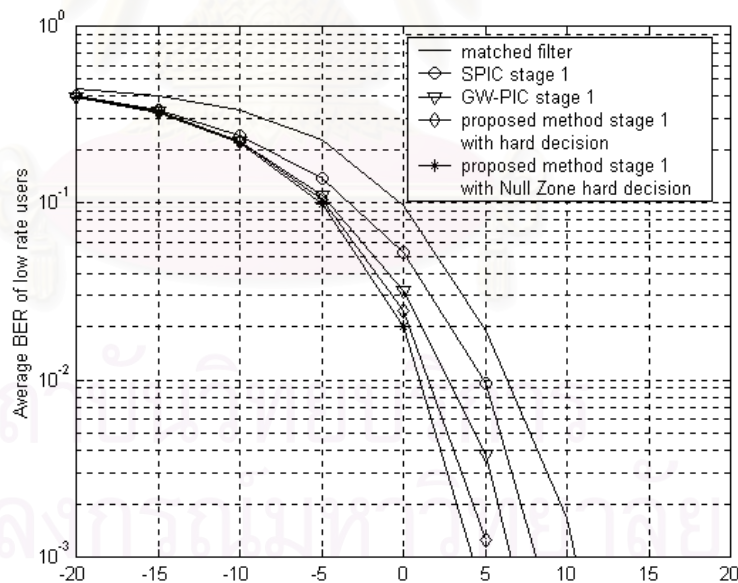
รูปที่ 4.34 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



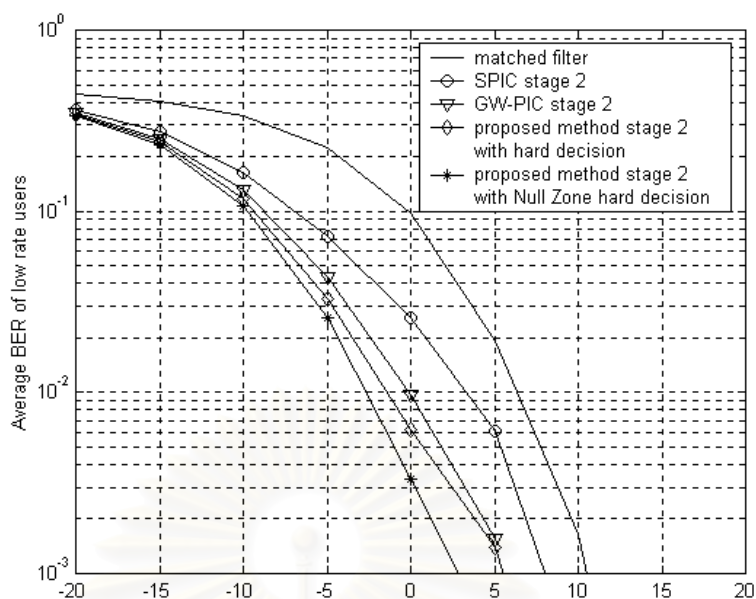
รูปที่ 4.35 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.36 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่  
 ที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  
 $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้  
 แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.37 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่  
 นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  
 $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้  
 แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 4.38 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอนี้ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

#### 4.3.2.2.2 กรณี synchronous

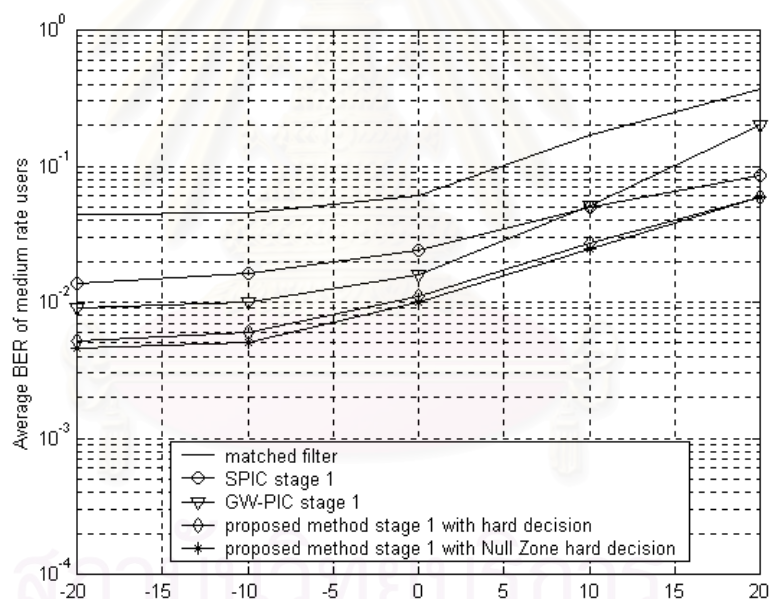
ผลการจำลองแบบในหัวข้อนี้แสดงผลของความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยผู้ใช้ low rate จำนวน 4 คนมีกำลังที่มาถึงด้านรับเปลี่ยนไป ในขณะที่ผู้ใช้ medium rate และ high rate มีกำลังที่มาถึงด้านรับคงที่และพิจารณากรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน

รูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate ในเครื่องรับ ทั้ง 5 ชนิด โดยเครื่องรับที่มีการจัดการแทรกสอดได้ทำการขจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ ซึ่งกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate มีกำลังที่รับได้คงที่โดยมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB ซึ่งให้ผลลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 4.33 และ 4.34 (กรณี asynchronous) ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.3.2.2.1 คือ เครื่องรับที่นำเสนอนี้มี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับชนิดอื่น และเมื่อใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินทำให้ BER ต่ำลงไปอีก นอกจากนี้ผลของ BER เมื่อจัดการแทรกสอด 2 stage มีค่าต่ำกว่าเมื่อทำการจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว และเมื่อจัดการแทรกสอด 2 stage พบว่า BER ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่าง

ซ้ำๆ กว่า เมื่อทำการจัดการแทรกสอด 1 stage ซึ่งหมายถึงการจัดการแทรกสอด 2 stage มีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลได้มากกว่า

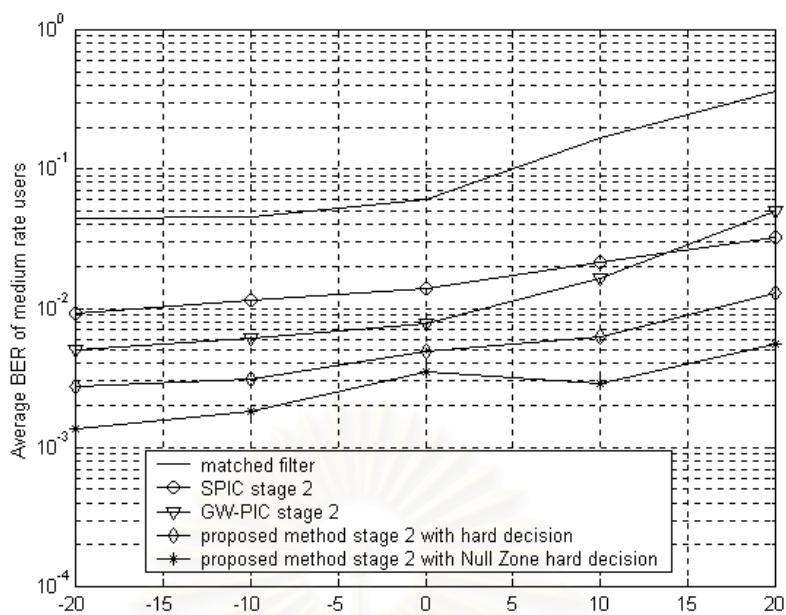
รูปที่ 4.41 และ 4.42 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate ในเครื่องรับที่มีการจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ ซึ่งให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 4.39 และ 4.40 ของผู้ใช้ medium rate

รูปที่ 4.43 และ 4.44 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate ในเครื่องรับที่มีการจัดผลของ MAI 1 stage และ 2 stage ตามลำดับ พบว่าเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น เครื่องรับทั้ง 5 ชนิดจะมี BER ที่ลดลง เนื่องจากสัญญาณจากผู้ใช้คนอื่นที่มารบกวนน้อยลง จึงทำให้บิตข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากผู้ใช้ low rate ถูกต้องมากขึ้น เช่นเดียวกับรูปที่ 4.37 และ 4.38 (กรณี asynchronous)

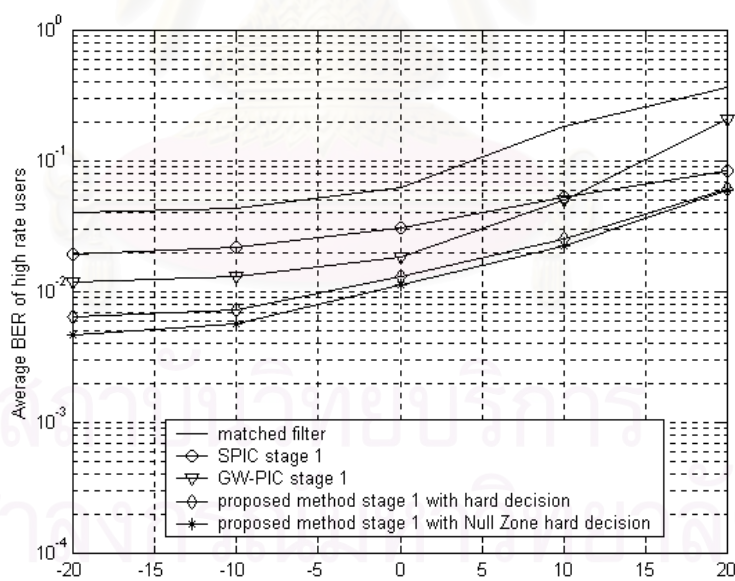


รูปที่ 4.39 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อจัดการผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

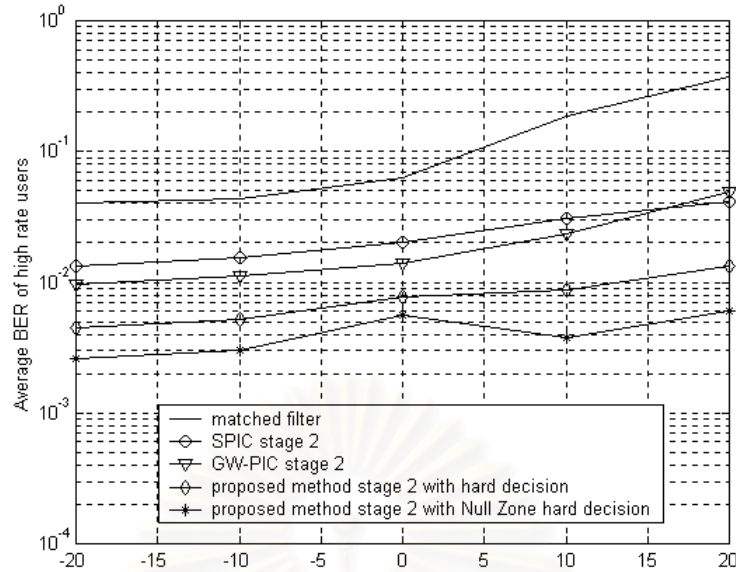




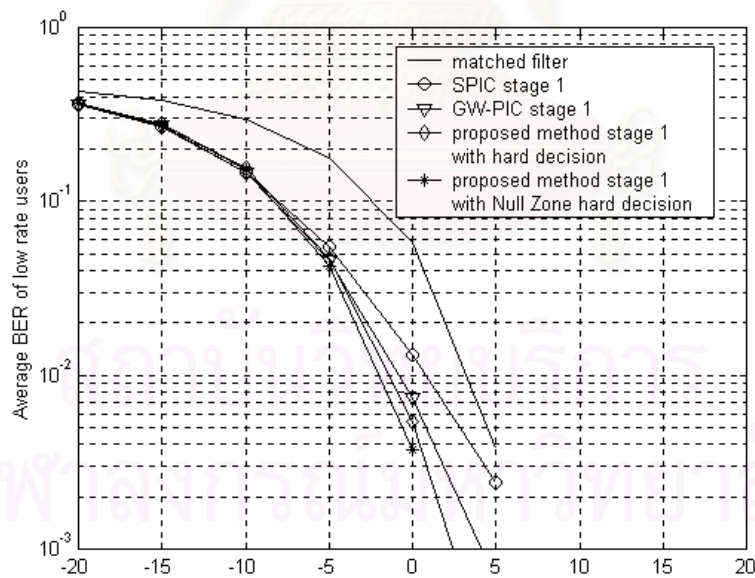
รูปที่ 4.40 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



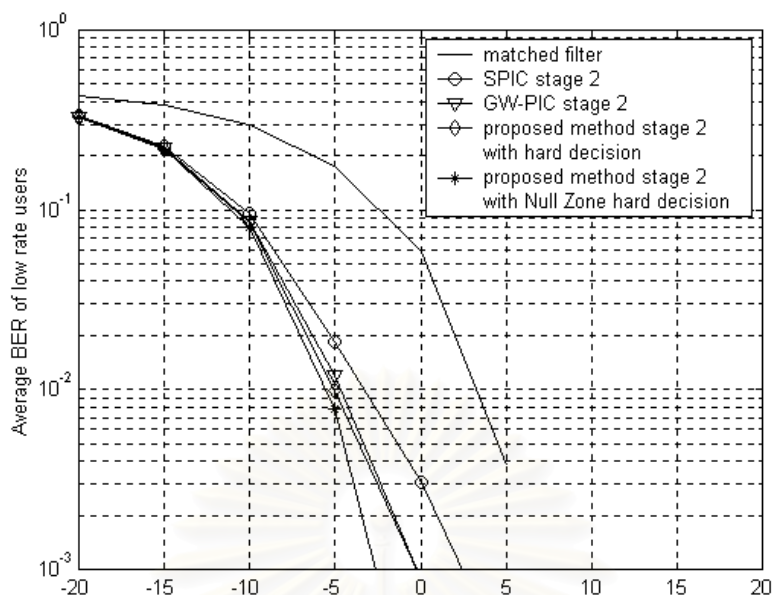
รูปที่ 4.41 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.42 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอน เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.43 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอน เมื่อขจัดผลของ MAI 1 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



รูปที่ 4.44 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อใช้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และวิธีที่นำเสนอ เมื่อขจัดผลของ MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

#### 4.3.2.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

สรุปผลการจำลองแบบจากการวัดค่า BER ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เมื่อได้รับผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกลจากผู้ใช้ low rate กล่าวคือ เมื่อกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น พบว่าแนวโน้มของ BER ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) เป็นในลักษณะเดียวกับกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) คือ เครื่องรับที่นำเสนอให้ BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC, GW-PIC และเมื่อใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision แทน hard decision ดัดสินบิตที่ stage ก่อนหน้าทำให้ BER มีค่าต่ำลงไปอีก และเมื่อจำนวนการจัดการแทรกสอดเป็น 2 stage พบว่า BER เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับการจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว ซึ่งหมายถึงเมื่อจำนวนการจัดการแทรกสอดเพิ่มขึ้นทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลมากขึ้นนั่นเอง

โดยกรณี synchronous พบว่า BER มีค่าต่ำกว่ากรณี asynchronous เมื่อเทียบที่เครื่องรับชนิดเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแผ่จากผู้ใช้แต่ละคนในกรณี synchronous มีค่าน้อยทำให้สัญญาณแทรกสอดมีค่าลดลงไปด้วย

จากผลการจำลองแบบสามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การลดลงของ BER เมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage โดยนำ hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย ดังตารางที่ 4.51 และเมื่อนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย ดังตารางที่ 4.52 เมื่อเทียบกับเครื่องรับประเภทอื่น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.51 เปอร์เซนต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอเมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่นที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage โดยนำฟังก์ชัน hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate มากกว่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 10 dB

ผู้ใช้	เมื่อมีการจัดการแทรกสอด 1 stage						เมื่อมีการจัดการแทรกสอด 2 stage					
	asynchronous			synchronous			asynchronous			synchronous		
	Matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC
low rate	93.66343	87.40155	62.35406	58.69616	78.16138	64.81556	90.29703	83.33327	55.45355	45.91344	28.91624	0.480008
medium rate	72.62632	42.23462	28.2662	83.94937	45.96607	47.07527	92.73841	74.41561	57.8482	96.34128	70.88146	62.57399
high rate	76.03795	40.39952	29.20453	86.33603	52.09123	50.11833	92.49643	71.09942	56.39043	95.27731	71.85816	62.87395

ตารางที่ 4.52 เปอร์เซนต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำเสนอเมื่อเทียบกับเครื่องรับชนิดอื่นที่มีการจัดการแทรกสอด 1 stage และ 2 stage โดยนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย เมื่อพิจารณาที่  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate มากกว่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 10 dB

ผู้ใช้	เมื่อมีการจัดการแทรกสอด 1 stage						เมื่อมีการจัดการแทรกสอด 2 stage					
	asynchronous			synchronous			asynchronous			synchronous		
	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC	matched filter	SPIC	GW-PIC
low rate	94.25749	88.58267	65.88339	58.69616	78.16138	64.81556	97.82183	96.25857	90	76.08666	68.57167	55.99914
medium rate	72.14047	41.20935	26.993	85.34744	50.67265	51.68524	94.59143	80.94427	68.60456	98.30529	86.51236	82.66436
high rate	74.98125	37.77121	26.08254	87.75203	57.05599	55.28755	95.18616	81.45913	72.02273	97.95381	87.80704	83.91447

### 4.3.3 ความจุของระบบ

#### 4.3.3.1 เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เปลี่ยนไป

##### 4.3.3.1.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด

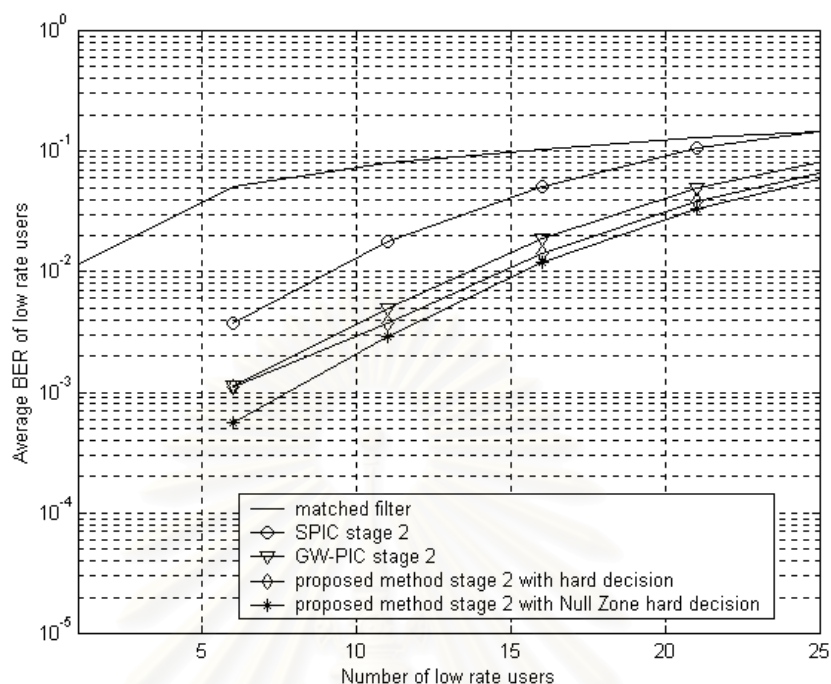
1. จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล medium rate และ high rate มีอย่างละ 1 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 2 และ 4 คน ตามลำดับ และกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ low rate เปลี่ยนไป โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และเป็น 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
2. การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ทุกคนเท่ากันซึ่งมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB
3. ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

##### 4.3.3.1.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

###### 4.3.3.1.2.1 กรณี asynchronous

รูปที่ 4.45 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) จากกราฟพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น BER ของเครื่องรับทั้ง 5 ชนิด (ซึ่งเครื่องรับที่มีการจัดการแทรกสอดจะทำการขจัดผลของ MAI 2 stage) จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นย่อหมายถึงสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอเมื่อใช้ฟังก์ชัน hard decision หรือ Null Zone hard decision มาช่วยตัดสินบิต มี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับชนิดอื่น

จากรูปที่ 4.45 พิจารณาที่  $BER = 10^{-2}$  (พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้จริงได้ดังตารางที่ 4.53 เมื่อพิจารณาเป็นจำนวนผู้ใช้เสมือนซึ่งคำนวณได้จาก จำนวนผู้ใช้เสมือนรวม = จำนวนผู้ใช้จริง low rate + 2\*จำนวนผู้ใช้จริง medium rate + 4\*จำนวนผู้ใช้จริง high rate



รูปที่ 4.45 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

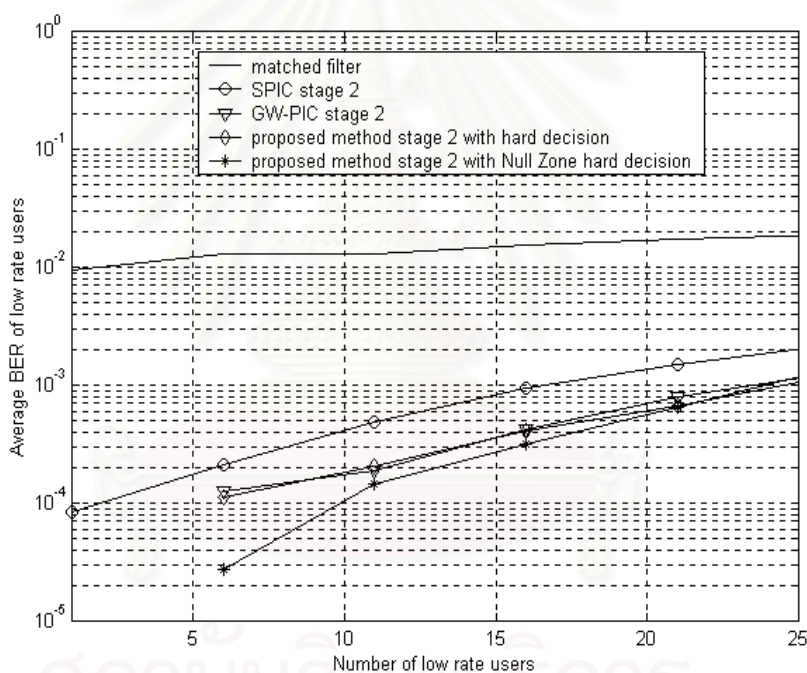
ตารางที่ 4.53 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเป็น  $10^{-2}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	0	9	13	14	15
Medium rate	1	1	1	1	1
high rate	1	1	1	1	1
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	2	11	15	16	17
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	6	15	19	20	21

#### 4.3.3.1.2.2 กรณี synchronous

รูปที่ 4.46 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) ซึ่งให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (รูปที่ 4.45) เพียงแต่ BER ของเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำลงจากกรณี asynchronous ทั้งนี้เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามกรณี synchronous มีค่าต่ำทำให้สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงและหมายถึง BER จากเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำลงไปด้วยนั่นเอง

จากรูปที่ 4.46 พิจารณาที่  $BER = 10^{-3}$  พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ดังตารางที่ 4.54



รูปที่ 4.46 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)



ตารางที่ 4.54 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเป็น  $10^{-3}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	Proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	0	16	24	25	25
Medium rate	1	1	1	1	1
high rate	1	1	1	1	1
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	2	18	26	27	27
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	6	22	30	31	31

#### 4.3.3.2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เปลี่ยนไป

##### 4.3.3.2.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด

- จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล low rate และ high rate มีอย่างละ 1 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 2 และ 4 คน ตามลำดับ และกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ medium rate เปลี่ยนไปโดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และ 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
- การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ทุกคนเท่ากันซึ่งมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB
- ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

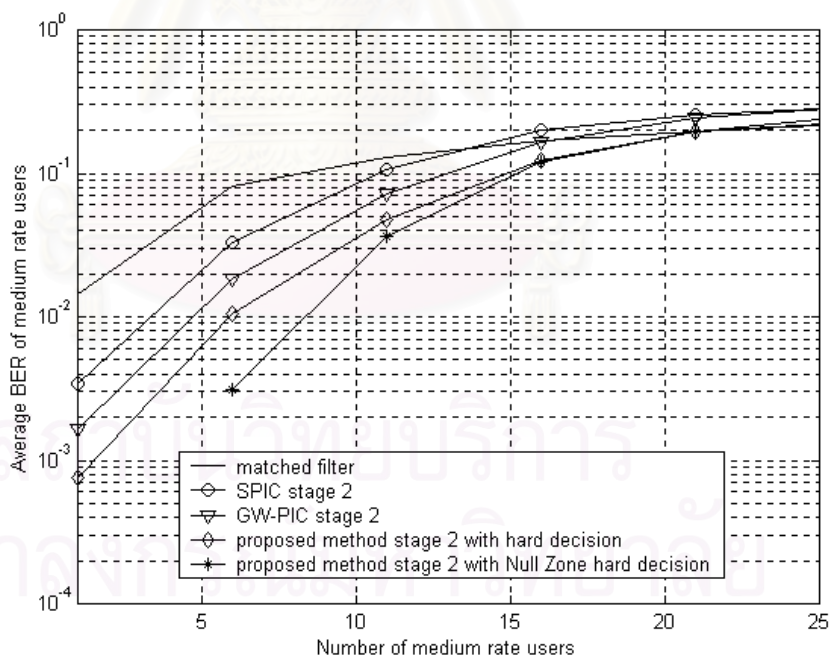
### 4.3.3.2.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

#### 4.3.3.2.2.1 กรณี asynchronous

รูปที่ 4.47 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

จากกราฟพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เพิ่มขึ้น BER ของเครื่องรับทั้ง 5 ชนิด (ซึ่งเครื่องรับที่มีการจัดการแทรกสอดจะขจัดผลของ MAI 2 stage) จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นย่อมหมายถึงสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง และพบว่าวิธีที่นำเสนอเมื่อใช้ฟังก์ชัน hard decision หรือ Null Zone hard decision มาช่วยตัดสินบิตมี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับชนิดอื่น

จากรูปที่ 4.47 พิจารณาที่  $BER = 10^{-2}$  พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ดังตารางที่ 4.55



รูปที่ 4.47 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

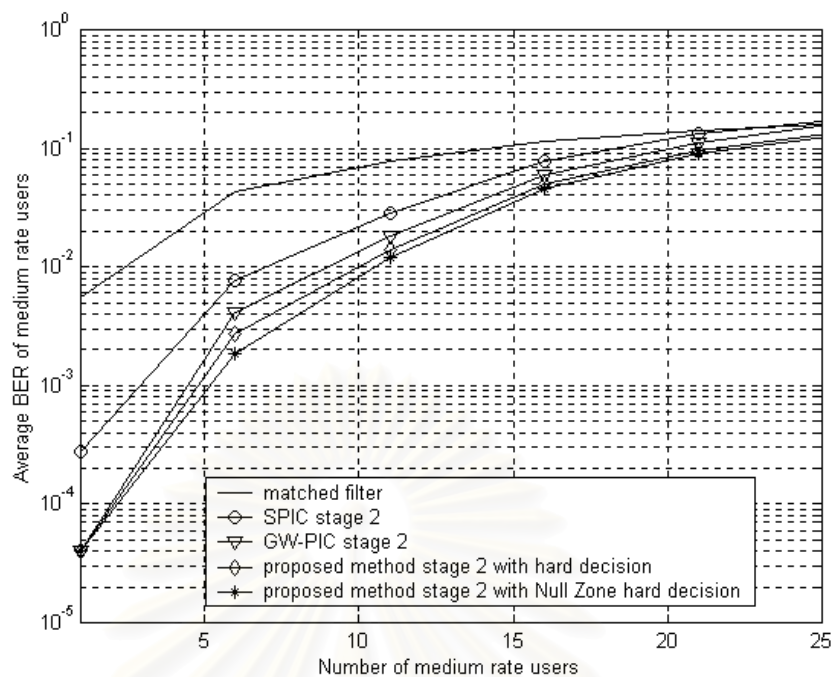
ตารางที่ 4.55 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเป็น  $10^{-2}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	1	1	1	1	1
medium rate	0	3	5	6	8
high rate	1	1	1	1	1
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	2	5	7	8	10
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	5	11	15	17	21

#### 4.3.3.2.2.2 กรณี synchronous

รูปที่ 4.48 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) ซึ่งให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (รูปที่ 4.47) เพียงแต่ BER ของเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่ากรณี asynchronous ทั้งนี้เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแก่กรณี synchronous มีค่าต่ำกว่ากรณี asynchronous ทำให้สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง และหมายถึง BER จากเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำลงไปด้วยนั่นเอง

จากรูปที่ 4.48 พิจารณาที่ BER =  $10^{-3}$  พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ดังตารางที่ 4.56



รูปที่ 4.48 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ตารางที่ 4.56 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเป็น  $10^{-3}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	1	1	1	1	1
medium rate	0	3	4	5	5
high rate	1	1	1	1	1
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	2	5	6	7	7
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	5	11	13	15	15

### 4.3.3.3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เปลี่ยนไป

#### 4.3.3.3.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด

1. จำนวนผู้ใช้จริงที่ส่งข้อมูล low rate และ medium rate มีอย่างละ 1 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 1 และ 2 คน ตามลำดับ และกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ high rate เปลี่ยนไป โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และเป็น 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
2. การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ทุกคนเท่ากันซึ่งมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB
3. ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป และกรณีสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

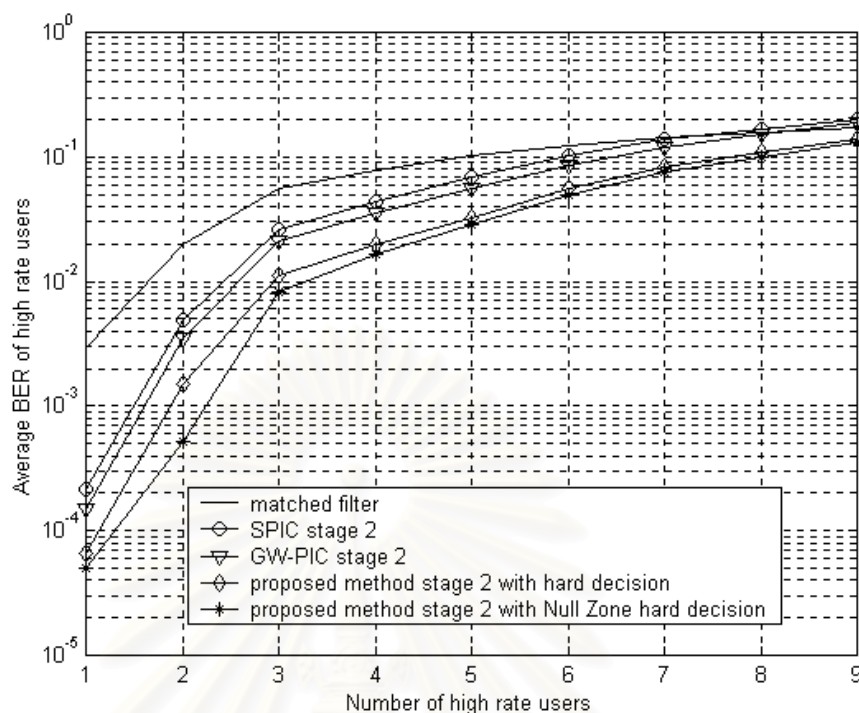
#### 4.3.3.3.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

##### 4.3.3.3.2.1 กรณี asynchronous

รูปที่ 4.49 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

จากกราฟพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เพิ่มขึ้น BER ของเครื่องรับทั้ง 5 ชนิด (ซึ่งเครื่องรับที่มีการจัดการแทรกสอดจะทำการขจัดผลของ MAI 2 stage) จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นย่อมหมายถึงสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอเมื่อใช้ฟังก์ชัน hard decision หรือ Null Zone hard decision มาช่วยตัดสินใจ มี BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับชนิดอื่น

จากรูปที่ 4.49 พิจารณาที่  $BER = 10^{-2}$  พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ดังตารางที่ 4.57



รูปที่ 4.49 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

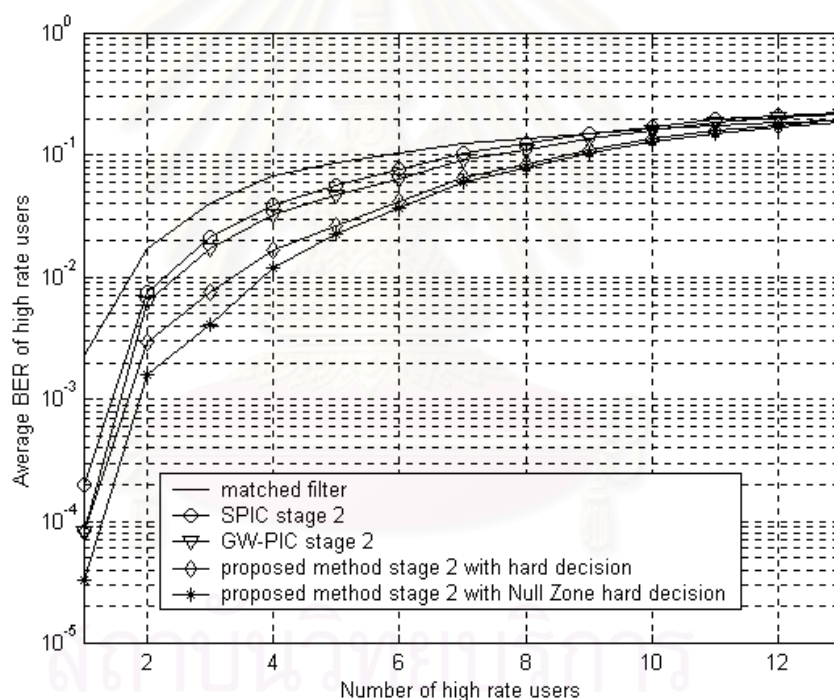
ตารางที่ 4.57 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเป็น  $10^{-2}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	1	1	1	1	1
medium rate	1	1	1	1	1
high rate	1.3	2.2	2.3	3	3.2
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	3.3	4.2	4.3	5	5.2
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	8.2	11.8	12.2	15	15.8

#### 4.3.3.3.2 กรณี synchronous

รูปที่ 4.50 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) ซึ่งให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกับกรณี asynchronous (รูปที่ 4.49) เพียงแต่ BER ของเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่ากรณี asynchronous ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าสหสัมพันธ์ข้ามของรหัสแม่กรณี synchronous มีค่าต่ำทำให้สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง และหมายถึง BER จากเครื่องรับแต่ละชนิดมีค่าต่ำลงไปด้วยนั่นเอง

จากรูปที่ 4.50 พิจารณาที่  $BER = 10^{-3}$  พบว่าเครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ดังตารางที่ 4.58



รูปที่ 4.50 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

ตารางที่ 4.58 จำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเป็น  $10^{-3}$  กรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous)

จำนวนผู้ใช้	matched filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	1	1	1	1	1
medium rate	1	1	1	1	1
high rate	0	1.4	1.5	1.6	1.9
รวมจำนวนผู้ใช้จริง	2	3.4	3.5	3.6	3.9
รวมจำนวนผู้ใช้เสมือน	3	8.6	9	9.6	10.6

#### 4.3.3.4 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบเพื่อดูค่า BER เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละอัตราเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ค่อยๆเพิ่มขึ้นทำให้ BER มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ โดยเมื่อพิจารณาที่ BER เท่ากัน พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้จริงหรือผู้ใช้เสมือนทั้งหมดได้มากกว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate และ high rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่จำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นไม่มาก เครื่องรับที่นำเสนอโดยใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision ให้ BER ต่ำที่สุดและเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ให้ BER ที่สูงสุด แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ค่อยๆเพิ่มขึ้นพบว่าเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI ได้แก่ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER เข้าใกล้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นทำให้สัญญาณแทรกสอดมีค่ามากขึ้นด้วยจนทำให้บิตที่ตัดสินใจได้จากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์มีความผิดพลาดและเมื่อนำบิตนั้นไปสร้าง MAI และนำไปจัดการแทรกสอดจากสัญญาณที่รับได้ยิ่งทำให้สัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้นจน BER เข้าใกล้หรืออาจสูงกว่าเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ได้ จากตารางที่ 4.53–4.58 สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.59 และ 4.60 ซึ่งแสดงจำนวนรวมของผู้ใช้เสมือนที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้ เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละ rate เปลี่ยนไปกรณี asynchronous เมื่อพิจารณาที่ BER =  $10^{-2}$  และ synchronous เมื่อพิจารณาที่



BER =  $10^{-3}$  ตามลำดับ (ใน IMT-2000 กำหนดให้ BER =  $10^{-3}$ - $10^{-7}$  เมื่อมีการส่งสัญญาณเสียง (low rate) และ BER =  $10^{-5}$ - $10^{-8}$  เมื่อข้อมูลที่ส่งเป็น ภาพวิดีโอ (high rate) เป็นต้น [3] แต่ในการจำลองแบบเพื่อวัดจำนวนผู้ใช้ที่ระบบรองรับได้ กำหนดให้ BER คงที่ โดยกรณี synchronous ผู้ใช้ทุกคนถูกกำหนดให้ BER =  $10^{-3}$  และกรณี asynchronous กำหนดให้ BER =  $10^{-2}$  ซึ่งการที่กำหนดค่า BER ต่ำกว่าค่าใน IMT-2000 เนื่องจากรหัสที่ใช้ในการจำลองแบบเป็น gold code ที่มีความยาวรหัสแผ่สั้นเกินไปเมื่อเทียบกับรหัสแผ่ที่ใช้ในระบบจริง จึงส่งผลให้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสแผ่ของผู้ใช้มีค่ามาก และเกิดสัญญาณแทรกสอดมากเกินไปจนทำให้ BER มีค่าสูง)

จากตารางที่ 4.59 และ 4.60 พบว่าที่ BER เท่ากัน เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้นทำให้เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้เสมือนได้น้อยกว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate และ low rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกำลังของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ high rate มีค่าสูงกว่าผู้ใช้ medium rate และ low rate จึงส่งผลเหมือนปรากฏการณ์ใกล้ไกล (จากที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1.5.3 แบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา) ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เพิ่มขึ้นทำให้ไปเพิ่มสัญญาณแทรกสอดสูงขึ้น

ตารางที่ 4.59 จำนวนรวมของผู้ใช้เสมือนที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละ rate เปลี่ยนไป ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยพิจารณาที่ BER =  $10^{-2}$

จำนวนผู้ใช้เสมือน	matched Filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	6	15	19	20	21
Medium rate	5	11	15	17	21
high rate	8.2	11.8	12.2	15	15.8

ตารางที่ 4.60 จำนวนรวมของผู้ใช้เสมือนที่เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละ rate เปลี่ยนไป ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับพร้อมกัน (synchronous) โดยพิจารณาที่ BER =  $10^{-3}$

จำนวนผู้ใช้เสมือน	Matched Filter	SPIC	GW-PIC	proposed method with hard decision	proposed method with Null Zone hard decision
low rate	6	22	30	31	31
Medium rate	5	11	13	15	15
high rate	3	8.6	9	9.6	10.6

#### 4.3.4 จำนวนบิตที่มีผลต่อการคำนวณ weight factor

##### 4.3.4.1 กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์

###### 4.3.4.1.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด คือ

1. จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 4, 8 และ 8 คน ตามลำดับ โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และเป็น 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
2. กำลังสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่มาถึงเครื่องรับเท่ากันเป็น 0 dB และผู้ใช้ทุกคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB
3. ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป

###### 4.3.4.1.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

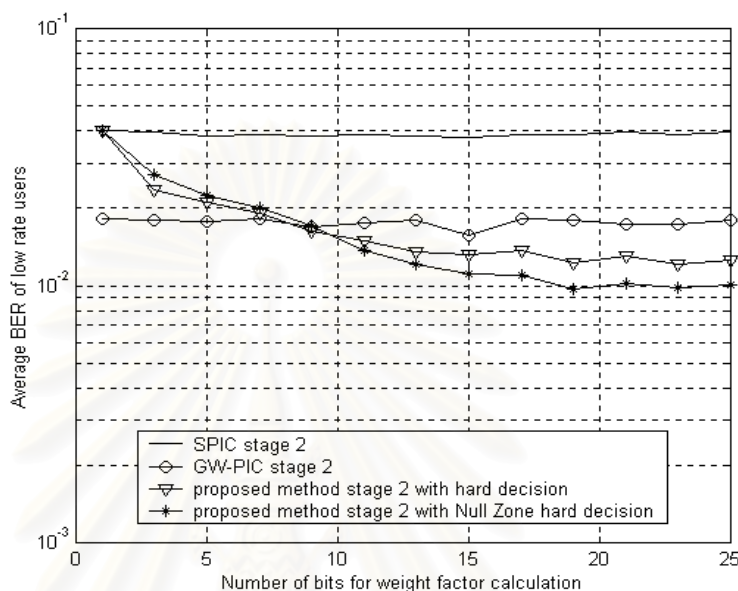
รูปที่ 4.51, 4.52 และ 4.53 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ตามลำดับ เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณหาตัวถ่วงน้ำหนักในเครื่องรับที่นำเสนอเปลี่ยนไปในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์

จากรูปที่ 4.51 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 9 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนั้นเมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่าตั้งแต่ประมาณ 15 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด

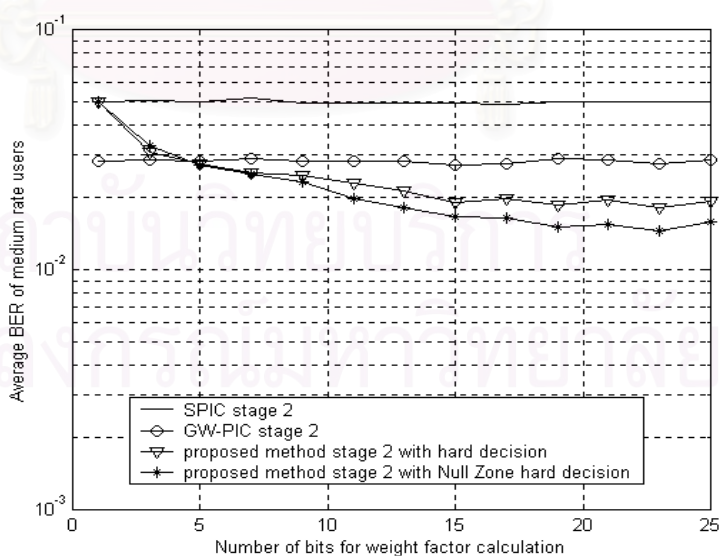
จากรูปที่ 4.52 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 5 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนั้นเมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่าตั้งแต่ประมาณ 15 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.53 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 3 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนั้นเมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่า

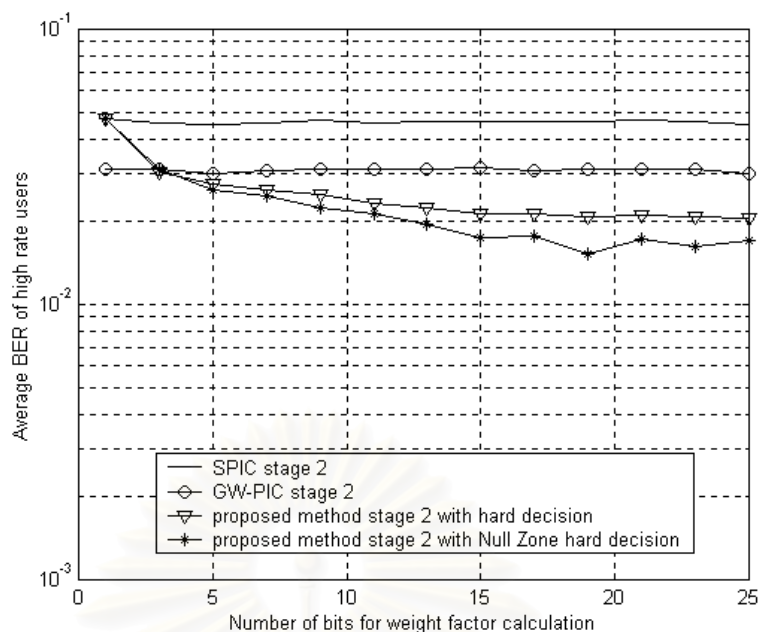
ตั้งแต่ประมาณ 15 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด และเมื่อสังเกตในรูปที่ 4.51-4.53 พบว่าเมื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักด้วย 1 บิตทำให้ BER มีค่าเท่ากับวิธี SPIC ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนบิตเท่ากับ 1 จะได้ค่าความแปรปรวนเป็น 0 ซึ่งตรงกับเงื่อนไขของสมการที่ (3-27) จึงทำให้ ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 1 ซึ่งคือวิธี SPIC นั่นเอง



รูปที่ 4.51 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.52 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการขจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.53 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักในวิธีที่นำเสนอ เปลี่ยนไป เมื่อมีการจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่าง สมบูรณ์

#### 4.3.4.2 กรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

##### 4.3.4.2.1 พารามิเตอร์ที่กำหนด คือ

- จำนวนผู้ใช้จริงที่ทำการส่งข้อมูล low rate, medium rate และ high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ ซึ่งมองเป็นผู้ใช้เสมือน 4, 8 และ 8 คน ตามลำดับ โดยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ high rate เป็น 2 เท่า ของผู้ใช้ medium rate และ 4 เท่า ของผู้ใช้ low rate
- กำลังสัญญาณที่มาถึงเครื่องรับของผู้ใช้ low rate เป็น 16 dB  
กำลังสัญญาณที่มาถึงเครื่องรับของผู้ใช้ medium rate เป็น 0 dB  
กำลังสัญญาณที่มาถึงเครื่องรับของผู้ใช้ high rate เป็น 0 dB  
และผู้ใช้ทุกคนมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB
- ทำการจำลองแบบในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่าประวิงเวลาของผู้ใช้แต่ละคนมีการกระจายแบบสุ่มในช่วง 8 ชิป

#### 4.3.4.2.2 ผลที่ได้จากการจำลองแบบ

รูปที่ 4.54, 4.55 และ 4.56 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate ตามลำดับ เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณหาตัวถ่วงน้ำหนักในเครื่องรับที่นำเสนอเปลี่ยนไปในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

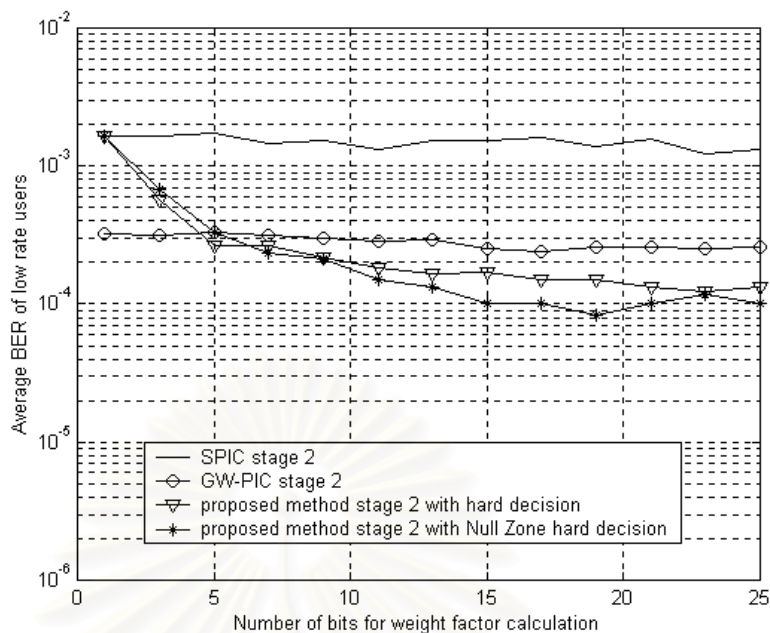
จากรูปที่ 4.54 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 5 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ low rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนี้เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่าตั้งแต่ประมาณ 15 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.55 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 7 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ medium rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนี้เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่าตั้งแต่ประมาณ 15 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด

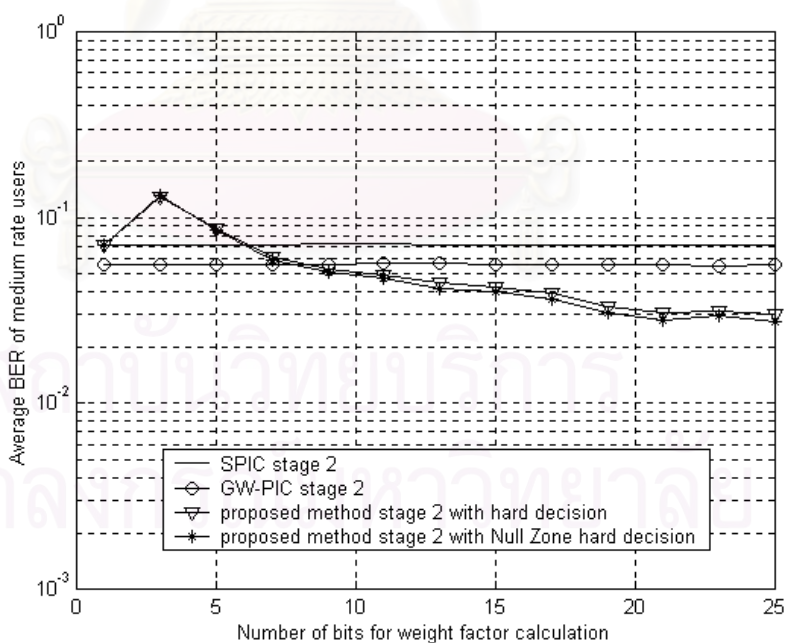
จากรูปที่ 4.56 พบว่าเมื่อใช้จำนวนบิต 7 บิตเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องรับที่นำเสนอ (ทั้งวิธีที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ ฟังก์ชัน Null Zone hard decision) ทำให้ BER ของผู้ใช้ high rate มีค่าเท่ากับ BER เมื่อใช้วิธี GW-PIC นอกจากนี้เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีค่าตั้งแต่ประมาณ 10 บิต ขึ้นไปทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER ต่ำที่สุด

และเมื่อสังเกตในรูปที่ 4.55 และ 4.56 พบว่าเมื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักด้วย 1 บิตทำให้ BER มีค่าเท่ากับวิธี SPIC ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเมื่อจำนวนบิตเท่ากับ 1 จะได้ค่าความแปรปรวนเป็น 0 ซึ่งตรงกับเงื่อนไขของสมการที่ (3-27) จึงทำให้ ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 1 ซึ่งคือวิธี SPIC นั้นเอง

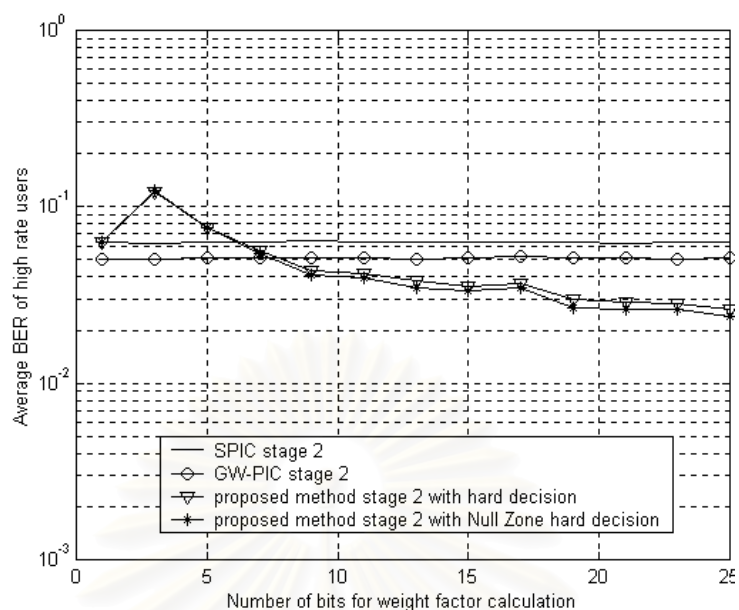
นอกจากนั้น BER ในวิธีที่นำเสนอของผู้ใช้ medium rate และ high rate จากรูปที่ 4.55 และ 4.56 พบว่าเมื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักด้วย 1 บิตมีค่าต่ำกว่าเมื่อคำนวณด้วย 2 บิต เนื่องจากในเครื่องรับของผู้ใช้ medium rate และ high rate จะขาดผลของ MAI ที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ low rate ซึ่งบิตที่ตัดสินใจได้ของผู้ใช้ low rate มีความถูกต้องที่สุด (เพราะมีกำลังสัญญาณสูงกว่าผู้ใช้ rate อื่น) ดังนั้นไม่จำเป็นต้องถ่วงน้ำหนักหรือกำหนดให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 1 ซึ่งตรงกับค่าที่คำนวณด้วย 1 บิต (แต่เมื่อคำนวณด้วย 2 บิตทำให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยกว่า 1 ได้ซึ่งเท่ากับเป็นการถ่วงความน่าเชื่อถือ MAI ของผู้ใช้ low rate ที่ผิด)



รูปที่ 4.54 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณ weight factor ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่มีสมบรูณ์



รูปที่ 4.55 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณ weight factor ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่มีสมบรูณ์



รูปที่ 4.56 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนบิตที่ใช้คำนวณ weight factor ในวิธีที่นำเสนอเปลี่ยนไป เมื่อมีการจัดผลของ MAI 2 stage ในกรณีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่มีสมบรูณ์

#### 4.3.4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบทั้งกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบรูณ์และไม่สมบรูณ์ เมื่อเครื่องรับมีการจัดผลของ MAI 2 stage พบว่าจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของวิธีที่นำเสนอมีผลต่อ BER โดยจะมีค่าในช่วง 5-7 บิตเพื่อให้มีค่า BER เท่ากับวิธี GW-PIC และมีค่าในช่วง 10-15 บิต เป็นต้นไปเพื่อให้ BER ของวิธีที่นำเสนอมีค่าต่ำที่สุด

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากเทคนิคการส่งข้อมูลแบบหลายอัตราในระบบ DS-CDMA โดยใช้วิธีการเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผล (Multi processing gain) พบว่าจะส่งผลเหมือนปรากฏการณ์ใกล้ไกล คือ ผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตสูงจะไปรบกวนผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตต่ำ นอกจากนั้นผู้ใช้ที่ส่งด้วยอัตราบิตสูงจะมีอัตราขยายอัตราการประมวลผลต่ำลงทำให้มีผลต่อค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ระหว่างผู้ใช้ด้วย ดังนั้นการนำเครื่องรับแบบจัดการแทรกสอดมาตรฐาน (Standard Parallel Interference Cancellation หรือ SPIC) ไปใช้ตรวจจับบิตข้อมูลผู้ใช้แต่ละคนไม่น่าให้ผลที่ดีนัก เนื่องจากบิตข้อมูลที่จะนำไปสร้าง MAI ของผู้ใช้แต่ละคนมีความน่าเชื่อถือไม่เท่ากัน จึงได้มีผู้เสนอเครื่องรับที่มีการถ่วงน้ำหนักบิตที่นำมาสร้าง MAI ตามอัตราการส่งข้อมูล คือ บิตข้อมูลของผู้ใช้ high rate มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดจึงกำหนดให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่ามากที่สุด ในขณะที่บิตข้อมูลของผู้ใช้ low rate มีความน่าเชื่อถือน้อยที่สุดจึงกำหนดให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยที่สุดเพื่อไปถ่วงน้ำหนักของบิตที่จะนำมาสร้าง MAI แต่การกำหนดค่าของตัวถ่วงน้ำหนักให้คงที่อาจให้ผลไม่ดีนักเสมอไป เช่น อาจเป็นไปได้ว่าผู้ใช้ low rate อยู่ใกล้สถานีฐานมากจนทำให้กำลังของสัญญาณที่รับได้มีขนาดสูงกว่าผู้ใช้ high rate ซึ่งอยู่ไกลจากสถานีฐานออกไป ซึ่งทำให้สัญญาณของผู้ใช้ low rate ไปรบกวนสัญญาณของผู้ใช้ high rate มากจนผล “ปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเสมือน” จากวิธีการเปลี่ยนอัตราขยายการประมวลผลเห็นไม่ชัดเจน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการปรับตัวถ่วงน้ำหนักตามความเชื่อถือได้ของบิตที่นำมาสร้าง MAI โดยความน่าเชื่อถือของบิตขึ้นกับสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามารบกวน คือ ถ้าผู้ใช้ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดมาก จะส่งผลให้บิตมีความน่าเชื่อถือน้อยลง ซึ่งจากการหาค่าความแปรปรวน (variance) ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของคนที่พิจารณาพบว่าขึ้นกับกำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนนั้น สัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้คนนั้นและสัญญาณรบกวน ดังนั้นตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคนของวิธีที่นำเสนอสามารถหาได้จากค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้คนนั้น นอกจากนั้นได้นำฟังก์ชัน Null Zone hard decision ช่วยตัดสินบิตที่จะนำมาสร้าง MAI แทน hard decision เพื่อป้องกันผลของสัญญาณแทรกสอดที่มากขึ้น



จากผลการจำลองแบบเมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ทั้งกรณีที่มีการส่งข้อมูลเป็นแบบ asynchronous หรือ synchronous พบว่าวิธีที่นำเสนอทั้งกรณีที่ใช้ hard decision และ Null Zone hard decision มาตัดสินบิตที่จะนำมาสร้าง MAI ให้ค่า BER ที่ต่ำกว่า เครื่องรับอื่นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์, SPIC และ GW-PIC และเมื่อจำนวนการขจัดการแทรกสอดเพิ่มขึ้นทำให้ BER มีค่าลดลงไปอีก

ในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล คือ กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ BER ที่ต่ำกว่าเครื่องรับอื่นทั้ง 3 ชนิด และเมื่อจำนวนการขจัดการแทรกสอดเป็น 2 stage พบว่า BER เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับการขจัดการแทรกสอดเพียง stage เดียว ซึ่งหมายความว่าเมื่อจำนวนการขจัดผลของ MAI เพิ่มขึ้นทำให้เครื่องรับที่นำเสนอมีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลมากขึ้นนั่นเอง

จากผลการจำลองแบบเพื่อดูค่า BER เมื่อจำนวนผู้ใช้แต่ละอัตราเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นทำให้ BER มีค่าลดลงเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ โดยเมื่อพิจารณาที่ BER เท่ากัน พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น เครื่องรับแต่ละชนิดสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้จริงหรือผู้ใช้เสมือนทั้งหมดได้มากกว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate และ high rate ค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่จำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นไม่มากเครื่องรับที่นำเสนอโดยใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision ให้ BER ต่ำที่สุดและเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ให้ BER ที่สูงสุด แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้ค่อยๆเพิ่มขึ้นพบว่าเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI ได้แก่ SPIC, GW-PIC และเครื่องรับที่นำเสนอมีค่า BER เข้าใกล้เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์

จากการจำลองแบบเพื่อวัดผลของจำนวนบิตที่ใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักเมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ พบว่าจำนวนบิตที่ใช้คำนวณมีผลต่อ BER ของเครื่องรับที่นำเสนอซึ่งมีค่าประมาณ 5-7 บิตเพื่อให้ BER มีค่าเท่ากับวิธี GW-PIC และจำนวนบิตที่ใช้มีค่า 10 บิตเป็นต้นไปเพื่อให้ BER ของวิธีที่นำเสนอมีค่าต่ำที่สุด

## 5.2 ความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้

ในเครื่องรับที่มีการขจัดผลของ MAI จำเป็นที่จะต้องทำที่สถานีฐาน (base station) เพราะต้องรู้รหัสแ่งของผู้ใช้ทุกคนเพื่อนำไปสร้าง MAI ของแต่ละคนขึ้นมา โดยในวิธี SPIC ประกอบด้วยเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์เพื่อตัดสินบิตของแต่ละคนออกมา จากนั้นนำบิตที่ได้มาสร้างสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนขึ้นมาซึ่งที่ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการนำบิตมาคูณด้วยรหัสแ่งของผู้ใช้

แต่ละคนและคุณกับขนาดสัญญาณที่รับได้ จากนั้นนำไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้ซึ่งได้ประวิงเวลาไว้แล้ว และสัญญาณที่ทำการขจัดผลของ MAI จากผู้ใช้คนอื่นนี้จะผ่านเข้าไปยังเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์อีกครั้งเพื่อตัดสินใจว่าจะมีความถูกต้องมากกว่าบิตที่ตัดสินใจได้จากตอนแรก และหากต้องการขจัดผลของ MAI อีกครั้งก็นำบิตที่ได้ไปสร้างสัญญาณของผู้ใช้นั้นมา และนำไปหักล้างออกและผ่านเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์อีกครั้ง

วิธี GW-PIC ใช้หลักการเดียวกับ SPIC เพียงแต่เพิ่มในส่วนคุณตัวถ่วงน้ำหนักกับสัญญาณของผู้ใช้ที่ถูกสร้างขึ้นมาซึ่งตัวถ่วงน้ำหนักนี้มีค่าคงที่ ดังนั้นความซับซ้อนจึงเพิ่มไม่มากนักจากวิธี SPIC

วิธีที่น่าเสนอต้องนำตัวถ่วงน้ำหนักมาคูณกับสัญญาณของผู้ใช้ที่ถูกสร้างขึ้นเช่นเดียวกับวิธี GW-PIC แต่ตัวถ่วงน้ำหนักถูกคำนวณจากค่าความแปรปรวนของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ดังนั้นในวงจรเครื่องรับที่นำเสนอต้องเพิ่มหน่วยประมวลผลเพื่อคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนักนี้ นอกจากนั้นค่าความแปรปรวนที่นำมาใช้คำนวณตัวถ่วงน้ำหนักขึ้นกับจำนวนบิตที่นำมาหาค่าความแปรปรวนทำให้ในวงจรเครื่องรับต้องประกอบด้วย “บัฟเฟอร์ (buffer)” เพื่อทำการเก็บบิตข้อมูลที่ได้รับได้ และส่งต่อให้หน่วยประมวลผลเพื่อคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักต่อไป

จากมาตรฐาน IMT 2000 [17] และ WCDMA [18] ได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น Time slot ซึ่งใน 1 time slot ยาวเท่ากับ 0.625 ms ดังนั้นถ้าส่งข้อมูลที่มีอัตรา 32–2048 kbps ทำให้ใน 1 time slot ประกอบด้วยบิตข้อมูลจำนวน 20–1280 บิต ตามลำดับ ดังนั้นการขจัดผลของ MAI ของ SPIC และ GW-PIC ถูกทำทีละ time slot และจากเหตุผลนี้ในวิธีที่นำเสนอก็จะทำการคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักและ ขจัดการแทรกสอด MAI ทีละ 1 time slot เช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการประวิงเวลาที่จะเกิดขึ้นจากวิธีที่นำเสนอเมื่อเทียบกับ SPIC และ GW-PIC แล้ว พบว่าวิธีที่นำเสนอจะเกิดการประวิงเวลาในช่วงที่ทำการคำนวณค่าของตัวถ่วงน้ำหนักเท่านั้น (แต่ถ้าการขจัดผลของ MAI ใน SPIC และ GW-PIC ถูกทำทีละ 1 บิตข้อมูล วิธีที่นำเสนอก็จะเกิดการประวิงเวลามากกว่าเนื่องจากต้องทำการเก็บบิตข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ให้ครบตามจำนวนบิตที่ต้องการเพื่อทำการคำนวณหาค่าความแปรปรวนและตัวถ่วงน้ำหนักต่อไป) ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอเมื่อนำไปใช้กับมาตรฐาน IMT 2000 และ WCDMA พบว่าเพิ่มความซับซ้อนขึ้นมาไม่มาก คือ ต้องเพิ่มตัวประมวลผลเพื่อทำการคำนวณตัวถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้น

อย่างไรก็ตามในมาตรฐาน WCDMA และ IMT 2000 ยังไม่ได้กำหนดเป็นมาตรฐานที่นำเครื่องรับประเภทใดมาใช้ที่สถานีฐาน แต่ในประเทศญี่ปุ่น บริษัท NTT DoCoMo ได้

ร่วมมือกับ ARIB (Association for Radio Information Broadcasters) ที่กำหนดมาตรฐานขึ้นมา เพื่อที่ผลักดันให้นำมาตรฐานนี้ไปใช้ยังทั่วโลก ซึ่งในมาตรฐานที่กำหนดขึ้นมาที่กำหนดให้สถานี ฐานใช้เครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation) ดังนั้นเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนานยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ทั้งแบบ SPIC และ GWPIC [21]

### 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไปจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ

1. ทำการศึกษาเครื่องรับที่นำเสนอในสภาวะช่องสัญญาณอื่น ๆ นอกเหนือจากช่องสัญญาณ AWGN เช่น ในช่องสัญญาณที่เกิดเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) หรือ ผลของสัญญาณที่มาจากหลายวิถี (multipath) เป็นต้น
2. ศึกษาผลของความผิดพลาดที่เครื่องรับว่ามีผลต่อสมรรถนะของวิธีที่นำเสนออย่างไร เช่น เมื่อค่าประมาณของขนาดของสัญญาณที่รับได้ผิดพลาด และกรณีที่ด้านรับทำการชิงโครโมสสัญญาณผิดพลาด เป็นต้น
3. เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอเมื่อปรับโครงสร้างของระบบการส่งหลายอัตรา เช่น เปลี่ยนจากแบบแผนอัตราขยายการประมวลผลหลายอัตรา (processing gain) เป็นแบบแผนอัตราชิปหลายอัตรา หรือแบบแผนหลายช่องสัญญาณ เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

1. W. C. Y. Lee. Overview of Cellular CDMA. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 40, No. 2 (May 1991): 291 – 302
2. K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver and C. E. Wheatley III. On the Capacity of a Cellular CDMA System. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 40, No. 2 (May 1991): 303 – 311
3. T. Ojanpera and R. Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. London: Artech House, 1998
4. K. S. Schneider. Optimum Detection of Code Division Multiplexed Signals. IEEE Transactions Aerosp. Electron. Syst. Vol. AES – 15, No. 1 (January 1979): 181 – 185
5. R. Kohno, H. Imai and M. Hatori. Cancellation Techniques of Co – Channel Interference in Asynchronous Spread Spectrum Multiple Access Systems. IEICE Transaction on Communications Vol. 65 – A (May 1983): 416 – 423
6. S. Verdu. Multiuser Detection: Cambridge University Press, 1998
7. R. Lupas and S. Verdu. Near Far Resistance of Multiuser Detectors in Asynchronous Code Division Multiple Access Communications. IEEE Transactions on Communications, COM – 38 (April 1990): 496 – 508
8. U. Madhow and M. L. Honig. MMSE Interference Suppression for Direct Sequence Spread Spectrum CDMA. IEEE Transactions on Communications. Vol. 42, No. 12 (December 1994): 3187 – 3188
9. A. D. Hallen, J. Holtzman and Z. Zvonar. Multiuser Detection for CDMA Systems. IEEE Personal Communications. Vol. 2, No. 2 (April 1995): 46– 58
10. T. Ottosson and A. Svensson. Multirate Schemes in DS/CDMA Systems. IEEE

- Vehicular Technology Conference IEEE 45<sup>th</sup> Vol. 2 (1995): 1006 - 1010
11. H. Azad and A. H. Aghvami. Multirate Spread Spectrum Direct Sequence CDMA Techniques. Spread spectrum Techniques for Radio Communication Systems IEE Colloquium (1994): 4/1 - 4/5
  12. A. F. V. Meeteren, T. Ojanpera, H. Nikookar and R. Prasad. Groupwise Weighted Parallel Interference Cancellation for Asynchronous Multirate DS-CDMA. Vehicular Technology Conference IEEE VTC 50<sup>th</sup> Vol. 3 (1999):1820 – 1824
  13. M. J. Juntti. Multiuser Detector Performance Comparisons in Multirate CDMA Systems. Vehicular Technology Conference VTC 98. 48<sup>th</sup> IEEE Vol. 1 (1998): 31 - 35
  14. M. J. Juntti. System Concept Comparisons for Multirate CDMA with Multiuser Detection. Vehicular Technology Conference VTC 98. 48<sup>th</sup> IEEE Vol. 1 (1998): 36 – 40
  15. D. Divsalar and M. K. Simon. A new Approach to Parallel Interference Cancellation for CDMA. Vehicular Technology Conference '96 : 1452 – 1457
  16. R. E. Mortensen. Random Signals and Systems University of California at Los Angeles: A Wiley – Interscience Publication, 1987
  17. E. Dahlman, B. Gumundson, M. Nilsson and J. Skold. UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA. IEEE Communications Magazine, (September 1998): 70 - 79
  18. F. Adachi, M. Sawahashi and H. Suda. Wideband DS-CDMA for Next – Generation Mobile Communications Systems. IEEE Communications Magazine (September 1998): 56 – 69
  19. D. Divsalar and M. K. Simon. Improved Parallel Interference Cancellation for CDMA. IEEE Transactions on communications Vol. 46 No. 2 (February 1998): 258 – 268

- 20 J. G. Proakis. Digital Communication: McGraw-Hill international Editions  
Third Edition, 1995
- 21 Perry M. Mistry. Third Generation Cellular (3G): W-CDMA & TD-CDMA.  
Wescon/98 (1998) : 227 -231



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Gold code

Gold code ถูกสร้างจาก preferred pair ของ m-sequence (Maximal Length Sequence) ซึ่ง preferred pair คือ คู่ของ m-sequence ที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross-correlation) น้อยกว่า m-sequence คู่อื่นๆ โดยนิยาม Gold code ดังนี้

เมื่อ  $A$  และ  $B$  เป็น preferred pair ของ m-sequence

$$G = \{ A, B, A+B, A+DB, A+D^2B, A+D^3B, \dots, A+D^{N-1}B \}$$

เมื่อ  $D^i$  = การเลื่อน sequence ไป  $i$  บิต

หรือเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้  $G = \{A+D^k B\}$

นั่นคือ สร้าง Gold code 1 sequence ได้จากการบวก  $A$  กับ  $B$  ซึ่งเลื่อนไป  $k$  บิตนั่นเอง โดยค่าสหสัมพันธ์ข้ามของ Gold code ต่ำกว่า m-sequence แต่ค่าอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) ไม่ดีเท่ากับ m-sequence

ค่าสหสัมพันธ์ข้ามของ Gold code มีค่า 3 ระดับ ได้แก่  $\{-1, -t(m), t(m)-2\}$

$$t(m) = \begin{cases} 2^{(m+1)/2} + 1 & (\text{odd } m) \\ 2^{(m+2)/2} + 1 & (\text{even } m) \end{cases}$$

เมื่อ  $m$  คือ จำนวนของ shift generator ที่ใช้สร้าง m-sequences

## Gold code ความยาว 31 ชิป

ในการจำลองแบบกำหนดใช้ Gold code ความยาว 31 ชิป ซึ่งสร้างจาก preferred pair ที่เกิดจาก generator function  $g(x) = 1+x^2$  และ  $1+x+x^2+x^4$  หรือ  $m = 5$  ดังนั้น ค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า 3 ระดับได้แก่  $\{-1/31, -9/31, 7/31\}$  ซึ่ง Gold code ที่ใช้ในการจำลองแบบ ดังตารางที่ ๘1



ตารางที่ ก1 Gold code ความยาว 31 ซิปที่ใช้สร้าง Gold code ความยาว 32 ซิป  
ในการจำลองแบบ

Gold code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	
2	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
3	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
4	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1
6	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1
7	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
8	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1
9	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
10	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
11	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
12	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1
13	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
14	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
15	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1
16	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
17	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1
18	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1
19	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
20	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
21	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
22	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1
23	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
24	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1
25	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1
26	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
27	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
28	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
29	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1
30	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
31	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1

## โปรแกรมสร้าง Gold code ความยาว 31 บิต

```

function gold_seq = Gold_code;

global gold_seq
connections1=[1 0 1 0 0];
connections2=[1 1 1 0 1];
sequence1=ss_mlsrs(connections1);
sequence2=ss_mlsrs(connections2);
L=2^length(connections1)-1;
for shift_amount=0:L-1,
    temp=[sequence2(shift_amount+1:L) sequence2(1:shift_amount)];
    gold_seq(shift_amount+1,:)=(sequence1+temp)-floor((sequence1+temp)./2).*2;
end;
for i=1:length(gold_seq)
    for j=1:length(gold_seq(1,:)),
        if gold_seq(i,j)==0,
            gold_seq(i,j)=-1;
        else gold_seq(i,j)=1;
        end;
    end;
end;
end;

function [seq]=ss_mlsrs(connections);
global seq
m=length(connections);
L=2^m-1;
registers=[zeros(1,m-1) 1];
seq(1)=registers(m);
for i=2:L,

```

```

new_reg_cont(1)=connections(1)*seq(i-1);
for j=2:m,
    new_reg_cont(j)=registers(j-1)+connections(j)*seq(i-1);
end;
registers=new_reg_cont;
seq(i)=registers(m);
end;

```

### Gold code ความยาว 32 ชิป

สร้างจาก Gold code ความยาว 31 ชิป โดยการนำ 1 ชิปที่ได้จากการสุ่มแบบปกติมาต่อท้าย Gold code ความยาว 31 ชิป ในแต่ละชุด ซึ่ง Gold code ความยาว 32 ชิปที่ใช้ในการจำลองแบบ (ตารางที่ ผ2) สร้างจาก Gold code ความยาว 31 ชิป (ตารางที่ ผ1)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก2 Gold code ความยาว 32 ชิป ที่ใช้ในการจำลองแบบ

Gold code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1		
2	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1		
3	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1		
4	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1		
5	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1		
6	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1		
7	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1		
8	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	
9	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1		
10	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1		
11	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	
12	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	
13	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1		
14	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	
15	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	
16	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
17	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	
18	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1
19	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	
20	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	
21	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	
22	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
23	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	
24	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
25	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
26	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	
27	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	
28	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	
29	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	
30	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	
31	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในส่วนของภาคผนวก ข เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับผลงานที่ได้เพิ่งค้นพบจากฐานข้อมูล เรื่อง *Optimal Multistage Interference Cancellation for CDMA Systems using the Nonlinear MMSE Criterion* ของ S. Gollamudi, S. Nagaraj, Y. – F. Huang และ R. M. Buehrer ซึ่งตีพิมพ์ในงาน Signals, Systems & Computers, 1998. Conference Record of the Thirty-Second Asilomar Conference ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 1-4 พฤศจิกายน 1998 โดยมีหลักการพยายามที่จะนำเสนอเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดอย่างขนานแบบเหมาะสมที่สุด โดยแบบจำลองระบบกำหนดในกรณีที่มีการส่งข้อมูลแบบอัตราเดียว (วิธีที่นำเสนอกำหนดแบบจำลองระบบที่มีการส่งข้อมูลแบบหลายอัตรา) ซึ่งมีหลักการ คือ พยายามทำให้สัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละ stage เหมือนกับสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้นั้นมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่าพยายามทำให้ความผิดพลาด (error) ระหว่างสัญญาณที่รับได้คนนั้นกับสัญญาณที่สร้างขึ้นมีค่าน้อยที่สุดซึ่งเขียนได้เป็น

$$\min( E \{ \|r_k - \hat{r}_k^n\|^2 \} ) \quad (1)$$

เมื่อ  $r_k$  คือ สัญญาณที่รับได้จริงของผู้ใช้คนที่  $k$  ซึ่ง

$$r_k(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} A_k b_k[i] S_k(t - iT_b - \tau_k) \quad (2)$$

$$\hat{r}_k^n(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} A_k \tilde{b}_k^{(n-1)}[i] S_k(t - iT_b - \tau_k) \quad (3)$$

โดย  $\hat{r}_k^n$  คือ สัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $n$

$A_k$  คือ ขนาด (amplitude) สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่  $k$

$b_k[i] \in \{-1, 1\}$  คือ บิตที่  $i$  ของผู้ใช้คนที่  $k$

$S_k$  คือ รหัสแผ่ของผู้ใช้คนที่  $k$

$\tau_k$  คือ ค่าประวิงเวลาจากผู้ใช้คนที่  $k$

$\tilde{b}_k^{(n-1)}[i]$  คือ บิตที่ตัดลินได้จาก stage ก่อนหน้า

จากสมการที่ (1) พบว่าจะเป็นเรื่องจริงเมื่อบิตที่จะนำมาสร้างสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้นั้น ( $\tilde{b}_k^{(n-1)}[i]$ ) ถูกตัดลินด้วยฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ( $\tanh[\cdot]$ ) ดังสมการที่ (4)

$$\tilde{b}_k^{(n-1)} [i] = \tanh \left( \frac{\hat{A}_k^{(n)} y_k^{(n-1)}}{\sigma_{k,n}^2} \right) \quad (4)$$

เมื่อ

$y_k^{(n-1)}$  คือ สัญญาณที่ออกจาก matched filter ของผู้ใช้ที่  $k$  ใน stage ที่

$n-1$

$\hat{A}_k^{(n)}$  คือ ค่าประมาณของขนาดสัญญาณผู้ใช้ที่  $k$  ที่หาได้จาก “วิธีเฉลี่ย (averaging method)” ของสัญญาณขาออกจากเครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ ดังสมการที่ (5)

$$\hat{A}_k^{(n)} = E \left[ |y_k^{(n-1)}|^2 \right] \quad (5)$$

ที่ stage แรก

$$\hat{A}_k^{(1)} = A_k \quad (6)$$

และ stage ถัดไป  $\hat{A}_k^{(n)}$  มีค่าลดลง

$\sigma_{k,n}^2$  คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณแทรกสอดที่รบกวนผู้ใช้คนที่  $k$  รวมกับ AWGN ใน stage ที่  $n$  ซึ่ง  $\sigma_{k,n}^2$  หาได้จากสมการที่ (7)

$$\sigma_{k,n}^2 = E \left\{ |y_k^{(n-1)}|^2 - |\hat{A}_k^{(n)}|^2 \right\} \quad (7)$$

วิธีที่นำเสนอกำหนด

$$\hat{r}_k^n(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} A_k \hat{b}_k^{(n-1)} [i] w_k^{(n)} S_k(t - iT_b - \tau_k) \quad (8)$$

$$\text{โดย } \hat{b}_k^{(n-1)} [i] = \text{sgn} (y_k^{(n-1)}) \quad (9)$$

คือ ถูกตัดสินใจด้วยฟังก์ชัน hard decision ดังนั้น  $\hat{b}_k [i] \in \{-1, 1\}$

$$w_k^{(n)} = \frac{A_k}{A_k + (\text{Var}(y_k^{(n-1)}) - A_k^2)^{1/2}} \quad (10)$$

$$\text{ซึ่ง } \text{Var}(y_k^{(n-1)}) = E \left[ |y_k^{(n-1)}|^2 \right] \quad (11)$$

ข้อแตกต่างระหว่างวิธีที่นำเสนอ (สมการที่ (8)) และวิธีของ S. Gollamudi, et. al (Nonlinear MMSE Interference Cancellation หรือ NMIC) (สมการที่ (3)) คือ

วิธีที่นำเสนอจะหา weight factor มาคูณกับ  $\hat{b}_k^{(n-1)} [i]$  เพื่อให้ขนาดมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ขึ้นกับความเชื่อถือได้ของ  $\hat{b}_k^{(n-1)} [i]$  ที่นำมาสร้างสัญญาณของผู้ใช้คนที่  $k$  แต่ในวิธี NMIC จะกำหนดให้  $\hat{b}_k^{(n-1)} [i]$  มีขนาดน้อยกว่า 1 โดยผ่านฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ซึ่งหากพิจารณาให้สมการที่ (3) (วิธี NMIC) และ (8) (วิธีที่นำเสนอ) เหมือนกัน แสดงว่า

$$\hat{b}_k^{(n-1)} [i] \cdot w_k^{(n)} = \tilde{b}_k^{(n-1)} \tag{12}$$

จากสมการที่ (4), (6), (9) และ (11) ดังนั้น  
ที่ stage 1

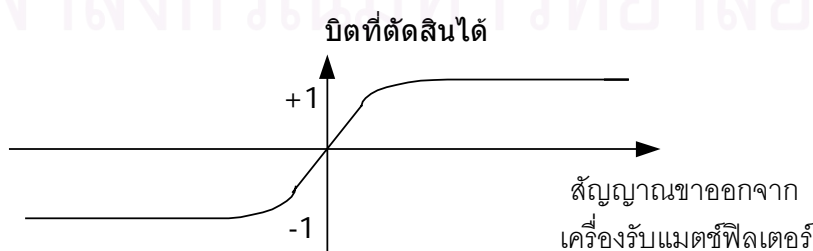
$$\text{sgn}(y_k^{(0)} [i]) \cdot \left( \frac{A_k}{A_k + \sigma_{k,1}^2} \right) = \tanh\left( \frac{A_k \cdot y_k^{(0)}}{\sigma_{k,1}^2} \right) \tag{13}$$

ที่ stage มากกว่า 1

$$\text{sgn}(y_k^{(n-1)} [i]) \cdot \left( \frac{A_k}{A_k + (\text{Var}(y_k^{(n-1)}) - A_k^2)^{1/2}} \right) = \tanh\left( \frac{A_k^{(n)} \cdot y_k^{(n-1)}}{\sigma_{k,n}^2} \right) \tag{14}$$

อย่างไรก็ตามวิธีที่นำเสนอใช้หลักการพิจารณาบิตที่นำมาสร้างสัญญาณของผู้ใช้คนอื่น เช่นเดียวกับ วิธี NMIC ที่นำฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent มาใช้ คือ

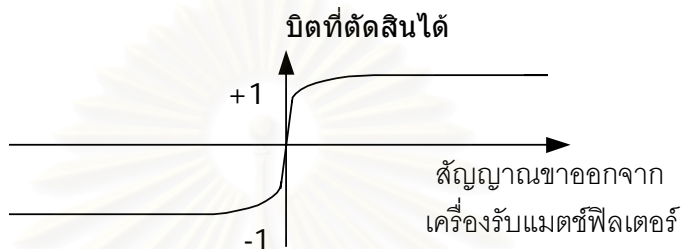
- เมื่ออัตราส่วนระหว่างขนาดสัญญาณที่รับได้ต่อ MAI มีค่าน้อยๆ ซึ่งหมายถึง  $\sigma_{k,n}^2$  มีค่ามากกว่า  $A_k$  ดังนั้นฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent มีจุดตัดสินบิต  $-1$  และ  $+1$  ที่ไกลออกไป (คล้ายฟังก์ชัน linear มากขึ้น) ดังรูปที่ ข.1 แสดงว่าเมื่อ MAI เข้ามาแทรกสอดมากๆ บิตที่ถูกตัดสินจะมีขนาดน้อยกว่า 1 มากๆ คือ ไม่ให้เชื่อถือบิตที่ตัดสินได้ทั้งหมด ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับวิธีที่นำเสนอเมื่อ MAI มีค่ามากๆ weight factor ที่นำมาคูณบิตจะมีค่าน้อยๆ



รูปที่ ข.1 ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ในวิธี NMIC เมื่อ MAI มีค่ามาก



2. เมื่ออัตราส่วนระหว่างขนาดสัญญาณที่รับได้ต่อ MAI มีค่ามากๆ ซึ่งหมายถึง  $\sigma_{k,n}^2$  มีค่าน้อยกว่าขนาดสัญญาณที่รับได้ ดังนั้นฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent มีรูปร่างเข้าใกล้ฟังก์ชัน hard decision ดังรูปที่ ข.2 แสดงว่าเมื่อ MAI ที่เข้ามาแทรกสอดมีค่าน้อยๆ บิตที่ถูกตัดสินจะมีค่าเข้าใกล้  $-1$  และ  $+1$  คือ เชื่อบิตที่ตัดสินได้ ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับวิธีที่นำเสนอเมื่อ MAI มีค่าน้อยๆ weight factor ที่นำมาคูณบิตมีค่าเข้าใกล้ 1



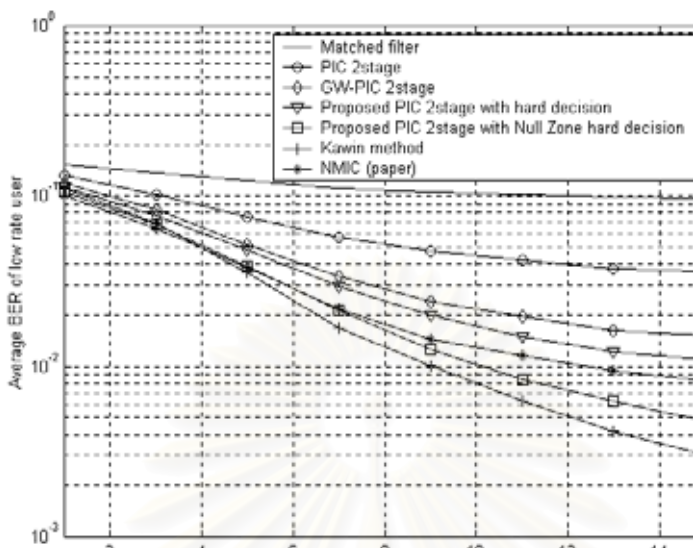
รูปที่ ข.2 ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ในวิธี NMIC เมื่อ MAI มีค่าน้อย ดังนั้นพบว่าวิธี NMIC และวิธีที่นำเสนอจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันเพราะใช้หลักการพิจารณาบิตที่นำมาสร้างสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นที่เหมือนกัน นอกจากนี้ยังได้เปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ที่คูณในฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ซึ่งเป็นวิธีที่นายกวิน นิมไศละ ได้เสนอ (Kawin method) ซึ่งเปลี่ยนจากสมการที่ (4) ของวิธี NMIC เป็นดังสมการที่ (15)

$$\tilde{b}_k^{(1)}[i] = \tanh\left(\frac{(A_k)^2 y_k^{(0)}}{\sigma_{k,0}^2 + (A_k)^2}\right) \tag{15}$$

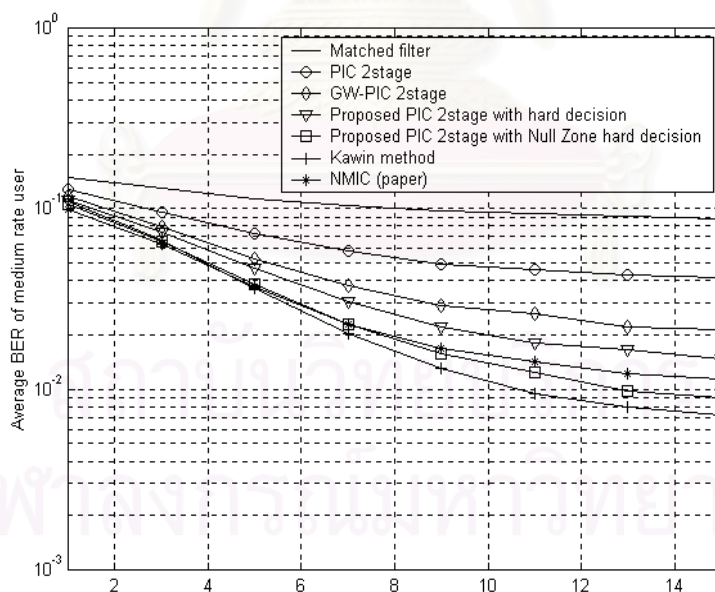
ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกับวิธี NMIC (สมการที่ (1)) แต่เพิ่มสมมติฐานให้ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ประมาณเป็นฟังก์ชัน linear นอกจากนั้นสมการที่ (15) กำหนดให้ใช้ใน stage ที่ 1 เท่านั้น ส่วนที่ stage มากกว่า 1 กำหนดให้บิตที่จะนำไปสร้างสัญญาณที่รับได้ถูกตัดสินด้วยฟังก์ชัน hard decision

ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอและวิธีของ S. Gollamudi, et. al (NMIC)

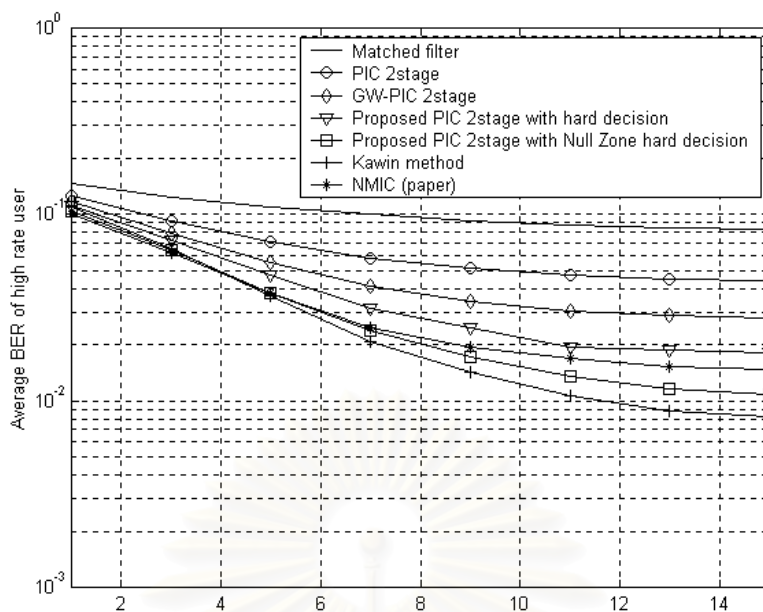
1. กรณีที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 1.3 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 1.4 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 1.5 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage ในกรณีควบคุมกำลังส่ง เป็นไปอย่างสมบูรณและสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

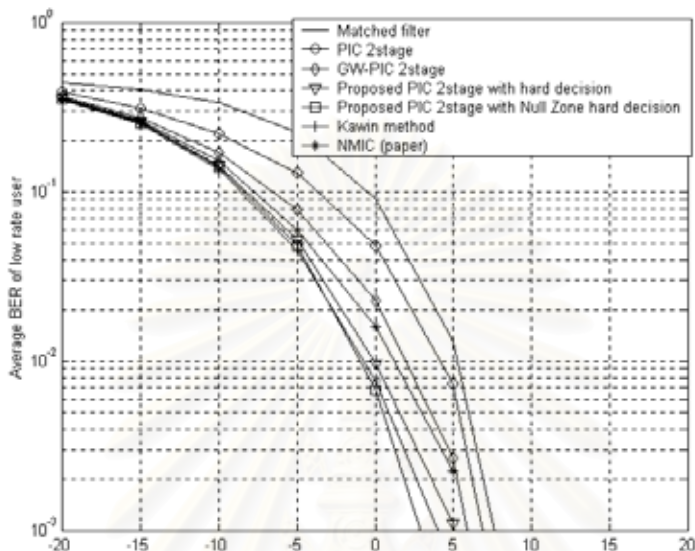
### วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

รูปที่ 1.3, 1.4 และ 1.5 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เมื่อ  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป พบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เครื่องรับที่นำเสนอเมื่อใช้ฟังก์ชัน hard decision ตัดสินบิตก่อน stage สุดท้าย มีค่า BER ที่สูงกว่าเครื่องรับที่ใช้วิธี NMIC และ Kawin method เนื่องจากในวิธี NMIC และ Kawin method ใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุด (optimal) คือ พยายามทำให้ความผิดพลาดระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณที่สร้างขึ้นมีค่าน้อยที่สุด แต่ในวิธีที่นำเสนอหา weight factor จากการพิจารณาให้ weight factor ขึ้นกับสัญญาณแทรกสอดโดย weight factor ควรแปรผกผันกับสัญญาณแทรกสอดซึ่งการพิจารณา weight factor เช่นนี้อาจให้ผลไม่ดีที่สุด เนื่องจากการแปรผกผันระหว่าง weight factor กับสัญญาณแทรกสอดมีได้หลายแบบ คือ แปรผกผันแบบยกกำลังสอง หรือแปรผกผันแบบยกกำลังสาม เป็นต้น ดังนั้นการกำหนดค่า weight factor นี้มาใช้ อาจให้ผลที่ไม่ดีที่สุดได้

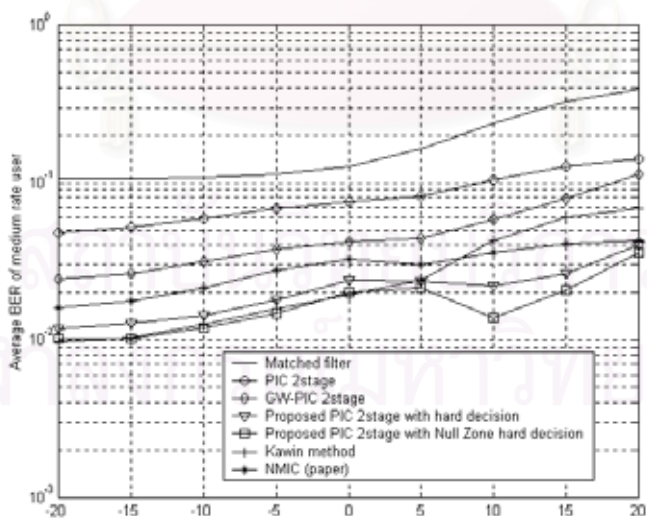
อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเครื่องรับที่นำเสนอโดยใช้ฟังก์ชัน Null Zone hard decision กับวิธี NMIC พบว่าวิธี NMIC ให้ BER ที่สูงกว่า เนื่องจากการนำฟังก์ชัน Null Zone hard decision มาใช้คู่กับ weight factor ที่นำเสนอเป็นการป้องกันการหักล้างบิตที่ผิดพลาดก่อนที่จะนำมาคูณกับ weight factor จึงเสมือนว่าเป็นการป้องกันการสร้างสัญญาณที่รับได้ผิดพลาด

ถึง 2 ชั้น ดังนั้นจึงสามารถทำให้ BER ต่ำกว่าวิธี NMIC ที่มีการผ่านฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent เพียงครั้งเดียว

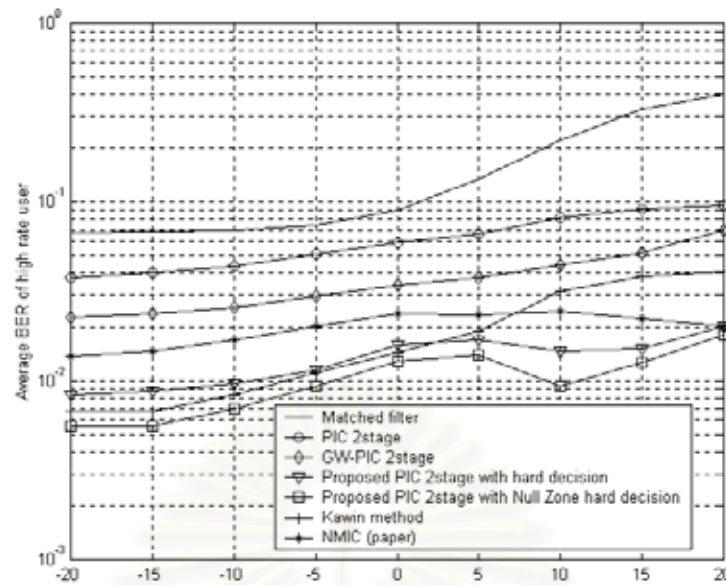
2. ความทนทานต่อปรากฏการณ์ไกลไกล



รูปที่ ข.6 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ ข.7 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



รูปที่ 1.8 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อขจัดผล MAI 2 stage โดย  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น โดยค่า  $E_b/N_0$  ของผู้ใช้ medium rate และ high rate เป็น 10 dB ในกรณีที่สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

### วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

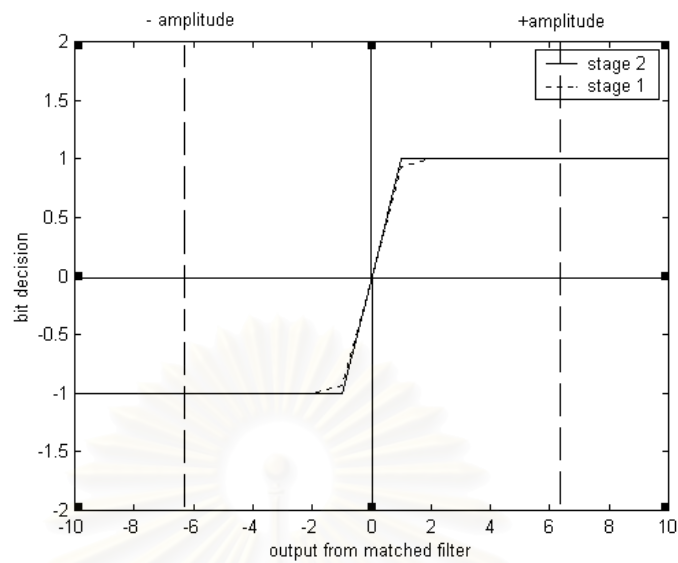
รูปที่ 1.6, 1.7 และ 1.8 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate ค่อยๆเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผู้ใช้ medium rate และ high rate มีกำลังที่รับได้คงที่โดยมีค่า  $E_b/N_0 = 10$  dB ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลของปรากฏการณ์ใกล้-ไกลที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้ low rate

รูปที่ 1.7 และ 1.8 พบว่าเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้น เครื่องรับทุกชนิดมีค่า BER เพิ่มขึ้น โดยเครื่องรับที่นำเสนอทั้งที่ใช้ฟังก์ชัน hard decision และ Null Zone hard decision ให้ BER ต่ำกว่าวิธี NMIC ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากบิตที่ถูกตัดสินจากวิธีที่นำเสนอมีขนาดเล็กกว่า 1 มากกว่าบิตที่ถูกตัดสินด้วยฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของวิธี NMIC ซึ่งหมายถึง วิธีที่นำเสนอมีการถ่วงความเชื่อถือของบิตมากกว่าวิธี NMIC เช่น กรณีที่ผู้ใช้ low rate มีกำลังสัญญาณที่รับได้เป็น 16 dB (ขนาดสัญญาณเป็น 6 watt) และผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate มีกำลังสัญญาณที่รับได้เป็น 0 dB (ขนาดสัญญาณเป็น 1 watt) พบว่า weight factor ของผู้ใช้ low rate ใน stage ที่ 1 มีค่าในช่วง 0.7 (ดังตารางที่ 4.34) และ stage ที่ 2 มีค่าในช่วง 0.86 (ดังตารางที่ 4.34) ในขณะที่วิธี NMIC พบว่าฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของ stage ที่ 1 และ stage ที่ 2 เป็นดังรูปที่ 1.9 ซึ่งสัญญาณขาออกจากแมตริกซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ low rate มีค่าอยู่ในช่วงขนาดของสัญญาณที่รับได้ (6 watt) ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 1.9 พบว่า ที่ stage 1 และใน

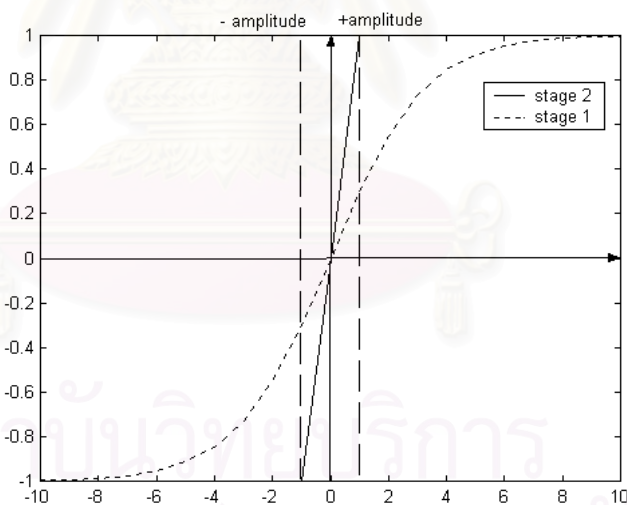
stage ที่ 2 พบว่าบิตที่ตัดสินใจได้จากฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent มีค่าเป็น +1 และ -1 ซึ่งแสดงถึงการเชื่อถือบิตที่นำมาสร้างสัญญาณแทรกสอดมาก แต่ในการจำลองแบบกำหนดให้มีผู้ใช้ low rate 4 คน ที่มีกำลังสัญญาณที่รับได้สูง 16 dB ซึ่งเป็นไปได้ที่ผู้ใช้ low rate อาจถูกแทรกสอดจากผู้ใช้ low rate ด้วยกันเอง ดังนั้นในวิธี NMIC ที่กำหนดให้บิตของผู้ใช้ low rate เชื่อถือได้มากจึงไม่น่าให้ผลดีนักเมื่อเทียบกับวิธีที่นำเสนอ

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาผู้ใช้ medium rate (พิจารณาได้เช่นเดียวกับผู้ใช้ high rate) พบว่า weight factor ของวิธีที่นำเสนอใน stage 1 และ stage 2 มีค่าประมาณ 0.4 (ตารางที่ 4.44) และ 0.67 (ตารางที่ 4.47) ตามลำดับ ในขณะที่วิธี NMIC มีฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ดังรูป ข.10 ซึ่งที่ stage 2 มีรูปร่างเข้าใกล้ hard decision มากขึ้นทำให้บิตที่ตัดสินใจได้มีค่าเป็น -1 และ +1 และเมื่อพิจารณาที่ stage 1 พบว่าสัญญาณขาออกจากแมตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดมากกว่าขนาดสัญญาณ (amplitude) ของผู้ใช้มาก เนื่องจากถูกแทรกสอดจากสัญญาณของผู้ใช้ low rate ซึ่งในการจำลองแบบขนาดสัญญาณของผู้ใช้ medium rate เท่ากับ 1 watt แต่ขนาดสัญญาณที่ออกจากแมตซ์ฟิลเตอร์ส่วนใหญ่มีค่าในช่วง 2 ถึง 8 watt ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปที่ ข.10 ประกอบ โดยนำสัญญาณขาออกจากแมตซ์ฟิลเตอร์มาผ่านฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ที่ stage 1 (รูปที่ ข.10) พบว่าขนาดของบิตที่ตัดสินใจได้มีค่าในช่วง 0.6 ถึง 1 ซึ่งเมื่อเทียบกับ weight factor ใน stage 1 ของวิธีที่นำเสนอ (มีค่าประมาณ 0.4 (ตารางที่ 4.44)) พบว่าวิธี NMIC ยอมเชื่อถือบิตที่ stage 1 มากกว่าวิธีที่นำเสนอ แต่ในความเป็นจริง stage 1 ยังไม่ได้มีการขจัดผลของสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นจึงไม่ควรเชื่อถือบิตที่ stage นี้มากนัก และส่งผลให้วิธี NMIC ให้ผล BER ที่แย่กว่าวิธีที่นำเสนอ

นอกจากนี้พบว่าวิธี Kavin method มี BER ที่สูงกว่าวิธี NMIC และวิธีที่นำเสนอ ในช่วงที่กำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ low rate มากกว่ากำลังสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ medium rate และผู้ใช้ high rate ตั้งแต่ 10 dB เป็นต้นไป ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวิธี Kavin method กำหนดให้บิตที่จะนำไปสร้างสัญญาณที่รับได้ของ stage ที่ 2 ถูกตัดสินใจจาก hard decision ซึ่งหมายถึงเชื่อถือบิตที่จะนำมาสร้างอย่างมาก แต่ที่กำลังสัญญาณของผู้ใช้ low rate มากกว่าผู้ใช้คนอื่นอยู่ 10 dB นี้ พบว่าผลของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้ low rate ยังมีอยู่มาก ดังนั้นการที่กำหนดให้บิตที่จะนำไปสร้างสัญญาณที่รับได้ใน stage 2 ถูกตัดสินใจด้วย hard decision (+1 หรือ -1) จึงทำให้ BER ที่สูงกว่าวิธีอื่น



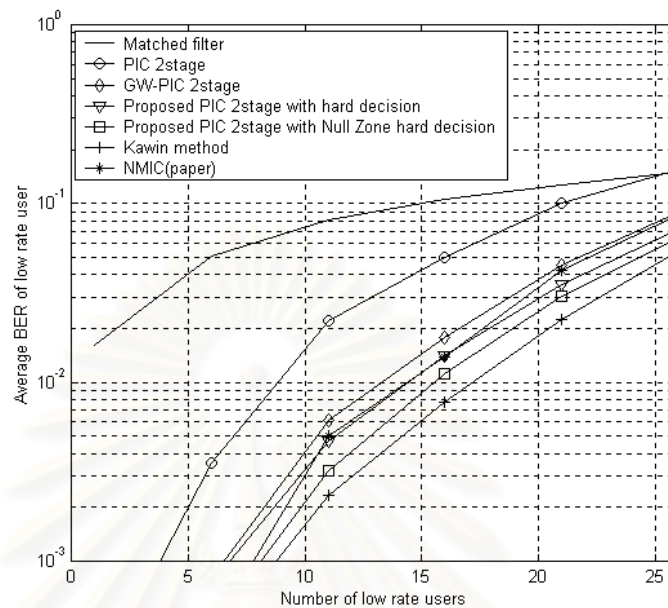
รูปที่ ๑.๙ ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของผู้ใช้ low rate เมื่อเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยผู้ใช้ low rate มีกำลังสัญญาณที่รับได้มากกว่าผู้ใช้ medium rate และ high rate อยู่ 16 dB



รูปที่ ๑.๑๐ ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ของผู้ใช้ medium rate เมื่อเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยผู้ใช้ low rate มีกำลังสัญญาณที่รับได้มากกว่าผู้ใช้ medium rate อยู่ 16 dB

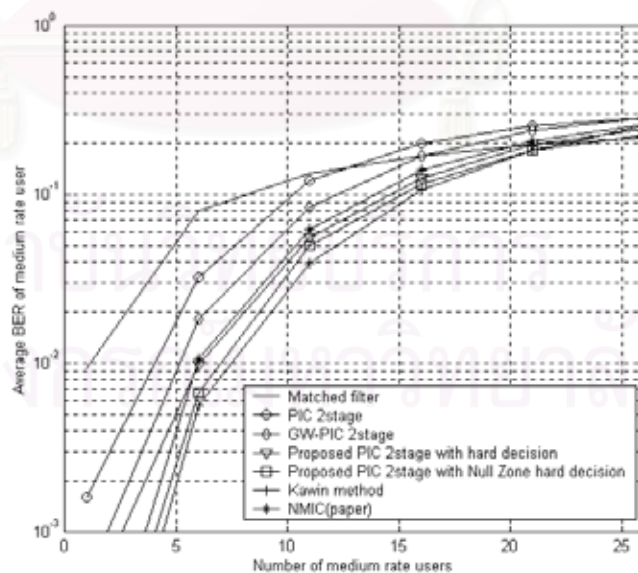
### 3. ความจุของระบบ

#### 3.1 เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เปลี่ยนไป



รูปที่ 11.11 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ และสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

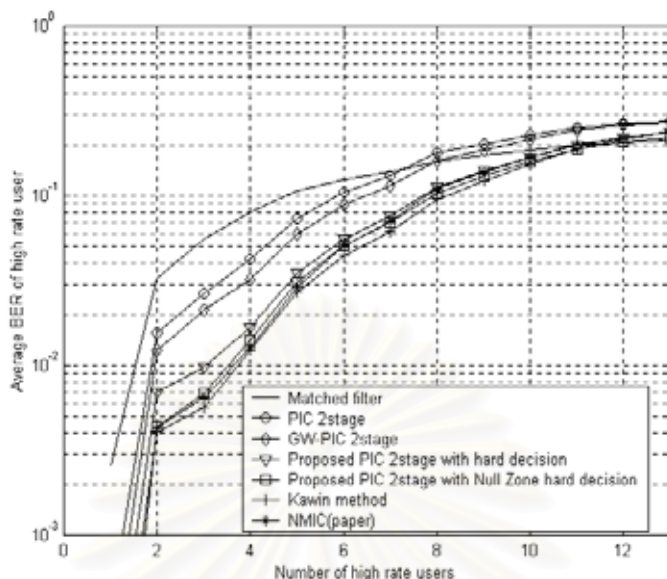
#### 3.2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เปลี่ยนไป



รูปที่ 11.12 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ medium rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ medium rate เพิ่มขึ้น ในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณและสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)



### 3.3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เปลี่ยนไป



รูปที่ 1.13 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ high rate เพิ่มขึ้นในกรณีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณและสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous)

#### วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากรูปที่ 1.11, 1.12 และ 1.13 แสดง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เมื่อจำนวนผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เปลี่ยนไป ตามลำดับพบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เครื่องรับที่ใช้วิธี NMIC ให้ค่า BER ที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าเครื่องรับที่นำเสนอที่มีการตัดสินใจด้วยฟังก์ชัน hard decision และ Null Zone hard decision เพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นหมายถึง ผลของสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นบิตที่จะนำมาสร้างสัญญาณที่รับได้ไม่ควรเชื่อถือมากนักเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น แต่ในวิธี NMIC บิตที่ตัดสินใจได้จากฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent มีขนาดเข้าใกล้ 1 ในขณะที่ weight factor ของวิธีที่นำเสนอ มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นเป็นการถ่วงน้ำหนักของบิตที่จะนำมาสร้างสัญญาณที่รับได้มากกว่าวิธี NMIC จึงเป็นสาเหตุที่วิธี NMIC ให้ BER ที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าวิธีที่นำเสนอเล็กน้อย แม้ว่าวิธี NMIC จะหาฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ก็ตาม

### สรุปผลการจำลองแบบ

ในสถานะที่ไม่มีผลของสัญญาณแทรกสอด คือ สถานะที่การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ พบว่าวิธี NMIC ให้ผลที่ดีกว่าวิธีที่นำเสนอที่มีการตัดสินใจด้วย hard decision แต่ในสถานะที่มีผลของสัญญาณแทรกสอดมารบกวน เช่น กรณีเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล และกรณีที่จำนวนผู้รับเปลี่ยนไป พบว่าวิธี NMIC จะให้ BER ที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวิธีที่นำเสนอ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวิธี NMIC จะให้ความเชื่อถือบิตมากกว่าวิธีที่นำเสนอ คือตัดสินใจบิตเข้าใกล้ +1 และ -1 มากกว่าวิธีที่นำเสนอ แต่ในขณะที่ระบบถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดอยู่ บิตที่ตัดสินใจได้ควรถูกถ่วงความน่าเชื่อถือลงก่อน ดังนั้นการที่ตัดสินใจบิตเข้าใกล้ +1 หรือ -1 จึงให้ผลที่ไม่ถูกต้องนัก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การปรับปรุงเครื่องรับแบบขจัดการแทรกสอดแบบขนานบางส่วนโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการตัดสินใจน้ำหนักของการจัดการแทรกสอดในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอแบบหลายอัตรา

## Improvement of Partial Parallel Interference Cancellation Receiver using Standard Deviation for Weight Factor Decision in Multirate CDMA Cellular Mobile Communication Systems

ฉวี ประภาวษ์ และ วาทีต เบนญจพลกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330

โทร. (02) 218-6482 โทรสาร (02) 251-8991 E-mail: watit@ee.eng.chula.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะเสนอวิธีการปรับปรุงการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนานบางส่วน (Partial Parallel Interference Cancellation) ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่มีการส่งแบบหลายอัตรา ซึ่งเดิมในการหาค่า weight factor ได้จากการแบ่งผู้ใช้งานเป็นกลุ่มตามอัตราการส่งข้อมูล และ weight factor ของผู้ใช้งานในกลุ่มเดียวกันมีค่าเท่ากัน ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับระบบจริงได้ ดังนั้นจึงเสนอวิธีการหา weight factor ที่คำนึงผลของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่นที่มารบกวน โดยนำส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสัญญาณขาออกของ matched filter มาพิจารณา ซึ่งผลจากการจำลองแบบพบว่าวิธีที่นำเสนอให้อัตราบิดเบือนต่ำกว่าวิธีที่ weight factor คงที่ตามอัตราการส่งข้อมูล และวิธีการจัดการแทรกสอดแบบขนานธรรมดา (Standard PIC) ทั้งกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

**คำสำคัญ :** การจัดการแทรกสอดแบบขนานบางส่วน, ซีดีเอ็มเอแบบหลายอัตรา

### Abstract

The objective of this article is to propose a new method to adapt weight factor applying for partial interference cancellation in multirate CDMA cellular mobile communication systems. The proposed schemes in weighting factor decision utilizing standard deviation of matched filter output were compared with fixed weight factor according to data rate method and Standard Parallel interference cancellation (SPIC). The simulation results show that BER performance of the proposed method is better both in perfect and imperfect power control situations.

**Keywords :** Partial Parallel Interference Cancellation, Multirate CDMA

### 1. บทนำ

ในระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3 (Third generation communication systems) ต้องการรองรับการให้บริการหลายชนิด เช่น เสียง (voice) ภาพ (image) รวมถึงวิดีโอ (video) และส่งให้ได้หลายอัตรา ตั้งแต่ น้อยกว่า 64 kbps จนถึง 2 Mbps ในระบบ DS-SS-CDMA ยอมให้ผู้ใช้งานได้บนแบนด์วิดท์เดียวกันโดยใช้รหัสแผ่ (spreading code) ที่แตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติรหัสที่ใช้เหล่านี้ไม่ได้ตั้งฉาก (orthogonal) กันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้งานที่เรียกว่า “Multiple Access Interference (MAI)” และเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ทำให้มีการเสนอเครื่องรับที่เรียกว่า “Multiuser detector” แต่เนื่องจากเครื่องรับแบบ optimal [1] มีความซับซ้อนสูงจึงได้เสนอเครื่องรับแบบ suboptimal [2,3] ขึ้นแทน ซึ่งเครื่องรับแบบ matched filter มีความซับซ้อนน้อยที่สุดแต่ให้อัตราบิดเบือนสูงเพราะไม่ได้มีการกำจัดผลของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่น จึงมีเครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้งานอื่น ที่เรียกว่า Interference cancellation ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ แบบอนุกรม (Successive Interference Cancellation SIC [2,3]) และแบบขนาน (Parallel Interference Cancellation PIC [2,3]) ในกรณีที่ผู้ใช้จำนวนมาก เครื่องรับแบบ SIC จะทำให้เกิดการประวิงเวลาเนื่องจากต้องทำการจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ทีละคน ดังนั้นพบว่าเครื่องรับแบบ PIC น่าจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ได้มากกว่าจึงได้เสนอวิธีปรับปรุงเครื่องรับแบบ PIC ให้ดีขึ้น ซึ่งใน [4] ได้เสนอวิธีการจัดการแทรกสอดแบบขนานบางส่วนในระบบการส่งแบบหลายอัตรา (multi-rate) โดยผู้ใช้แต่ละคนถูกจัดสัญญาณแทรกสอดไม่เท่ากันด้วย weight factor ซึ่งกำหนดจากอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในระบบจริง ในบทความนี้จึงได้เสนอการหา weight factor ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณขาออกจาก matched filter

## 2. แบบจำลองระบบ

พิจารณาการส่งแบบหลายอัตราในระบบ CDMA โดยใช้ เทคนิคการเปลี่ยนค่าอัตราแม่ (Multi Processing Gain หรือ MPG) [5] คือ ผู้ใช้แต่ละ rate ถูกแผ่ ด้วยรหัสที่มีค่า Processing Gain (PG) ไม่เท่ากัน แต่มีอัตรารหัสที่เท่ากันจึงถูกแผ่ไปบนแบนด์วิดท์เดียวกัน ดังนั้นผู้ใช้ที่ส่งด้วยอัตราบิตข้อมูลสูง (high rate) ซึ่งมีคาบสัญลักษณ์ที่แคบจึงถูกแผ่ด้วยค่า PG ที่น้อยกว่า นอกจากนี้รหัสแผ่ที่เลือกให้มีคุณสมบัติ  $\int |s_x(t)|^2 dt = 1$  เพื่อให้พลังงานเฉลี่ยต่อบิตเท่ากัน ส่งผลให้รหัสแผ่ของผู้ใช้ที่ส่งอัตราบิตข้อมูลสูง (high rate) มีขนาดสูงกว่าผู้ใช้ที่ส่งอัตราบิตข้อมูลต่ำ (low rate) ซึ่งส่งผลเสมือนเกิดปรากฏการณ์ใกล้ไกล (Near-far effect) คือ ผู้ใช้ที่ส่งอัตราบิตสูงจะไปกวนสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ที่ส่งอัตราบิตต่ำ

ในการจำลองแบบกำหนดให้ผู้ใช้ในระบบส่งอัตราบิตทั้งหมด 3 rate ได้แก่ low rate (1/T), medium rate (2/T) และ high rate (4/T) เมื่อ T คือ คาบบิตข้อมูล low rate โดยรหัสแผ่ของผู้ใช้ low rate มีค่า PG เป็น 2 และ 4 เท่า และขนาดเป็น  $1/\sqrt{2}$  และ  $1/2$  เท่า ของผู้ใช้ Medium rate และ High rate ตามลำดับ และเพื่อให้พิจารณาการแผ่รหัสของผู้ใช้แต่ละอัตราเป็นไปอย่างง่าย จึงมองผู้ใช้ที่ส่งด้วยอัตราบิตข้อมูล  $m/T$  เป็น  $m$  ผู้ใช้เสมือน และสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่มาถึงพร้อมกัน (synchronous) คือ

$$r(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} \sum_{j=1}^K A_j b_j(i) S_j(t - iT) + n(t) \quad (1)$$

เมื่อ  $A_j$  คือ ขนาด (amplitude) สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้เสมือนที่  $j$

$b_j(i)$  คือ บิตที่  $i$  ของผู้ใช้เสมือนที่  $j$

$S_j(t) = \frac{1}{\sqrt{L_r T_C}} \sum_{i=0}^{L_r-1} a_j [i] \Pi_{T_C}(t - iT_C)$  คือ รหัสแผ่ของผู้ใช้เสมือน

ที่  $j$  ที่มีความยาว  $L_r$  (PG)  $\Pi_{T_C}(t - iT_C)$  คือ พัลส์จตุรัสขนาดหนึ่งหน่วยกว้าง  $T_C$  ซึ่ง  $T_C$  คือ คาบของ 1 ชิปของรหัสแผ่ (chip) และ  $a_j [i] \in \{-1, 1\}$  ในการจำลองแบบ กำหนดให้ผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate มีค่า  $L_r = 32, 16$  และ 8 ตามลำดับ

$n(t)$  คือ Additive White Gaussian Noise (AWGN) ที่มี

variance =  $\sigma^2$ , mean = 0

$K$  คือ จำนวนผู้ใช้เสมือนทั้งหมด

$2N_b + 1$  คือ จำนวนบิตข้อมูลของผู้ใช้ Low rate ใน 1 บล็อกข้อมูล

เพื่อความสะดวก ขอเรียก “ผู้ใช้” แทน “ผู้ใช้เสมือน”

## 3. การตัดสินใจค่า weight factor ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**Standard PIC (SPIC):** ในเครื่องรับแบบ standard PIC [2,3] จะมีการสร้างสัญญาณของผู้ใช้ที่รบกวนขึ้นมาโดยใช้บิตที่ตัดสินใจได้จากสัญญาณขาออกของ matched filter จากนั้นนำสัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้ทุกคนเว้นคนที่ต้องการไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้และนำไปผ่านเข้า matched filter ของผู้ใช้คนที่ต้องการอีกครั้งและทำการตัดสินใจบิต ซึ่งพบ

ว่าบิตที่ตัดสินใจได้มีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบ matched filter เพราะได้ จัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้คนอื่นทิ้งไปอย่างไรก็ตามหากบิตที่นำมาสร้างสัญญาณแทรกสอดผิดพลาด เช่น จากบิต +1 เป็น -1 ทำให้เป็นการเพิ่มสัญญาณแทรกสอดเป็น 2 เท่า ซึ่งในกรณีที่สัญญาณแทรกสอดมีค่าสูง วิธี Standard PIC อาจให้ผลที่แย่กว่าเครื่องรับแบบ matched filter

**Groupwise Weighted PIC (GW-PIC)[4]:** เมื่อพิจารณาการส่งแบบหลายอัตราโดยใช้เทคนิค MPG พบว่า ผู้ใช้ high rate จะไปรบกวนผู้ใช้ที่ส่งข้อมูลด้วย rate ต่ำกว่า (หัวข้อที่ 2) แม้ว่าจะมีการควบคุมกำลังส่งอย่างสมบูรณ์แล้วก็ตาม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปหักล้างของผู้ใช้ high rate นำเชื่อถือมากกว่าผู้ใช้ low rate จึงได้มีผู้เสนอวิธีแบ่งผู้ใช้ออกเป็นกลุ่มตาม rate ของข้อมูลที่ถูกลง โดย weight factor มีค่าคงที่ตามอัตราการส่งข้อมูล และ weight factor ของผู้ใช้ high rate สูงกว่าผู้ใช้ medium rate และของผู้ใช้ medium rate สูงกว่าผู้ใช้ low rate อย่งไรก็ตาม weight factor ที่กำหนดตาม rate ข้อมูลในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กรณีที่การควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ จึงต้องทำการหา weight factor ใหม่

**วิธีที่นำเสนอ:** บทความนี้จึงได้เสนอการหา weight factor ที่ปรับค่าตามความน่าเชื่อถือของสัญญาณที่สร้างขึ้นมา โดยสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือได้สูง คือ สัญญาณที่โดนรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้คนอื่นน้อย ดังนั้นกล่าวได้ว่า weight factor ควรปรับค่าตามสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนนั่นเอง ซึ่งจากการพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณขาออกจาก matched filter (สมการที่ (2))

$$std(y_k^{(p)}) = \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{sd}} (y_k^{(p)}(i))^2}{N_{sd}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{sd}} (y_k^{(p)}(i))}{N_{sd}} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

ซึ่ง  $std$  แสดงถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$N_{sd}$  คือ ความยาวบิตที่ใช้ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$y_k^{(p)}(i)$  คือ สัญญาณขาออกจาก matched filter ของผู้ใช้ที่  $k$  บิตที่  $i$  ใน stage ที่  $p$

$$\hat{r}_k^{(p)}(t) = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{x}_j^{(p)} \quad (3)$$

โดย  $\hat{r}_k^{(p)}(t)$  คือ สัญญาณที่รับได้ที่หักล้างผลของ MAI จากผู้ใช้คนอื่น ๆ (เว้นคนที่  $k$ ) ที่สร้างขึ้นใน stage ที่  $p$

$$\hat{x}_j^{(p)}(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} \hat{A}_j \hat{b}_j^{(p-1)}(i) S_j(t - iT) \quad (4)$$

คือ สัญญาณที่สร้างขึ้นของผู้ใช้คนที่  $j$  ใน stage ที่  $p$

$\hat{A}_j$  คือ ค่าประมาณขนาดสัญญาณซึ่งในการจำลองแบบสมมติให้รู้คุณลักษณะของสัญญาณ ดังนั้น  $\hat{A}_j = A_j$  และเมื่อพิจารณาสัญญาณที่ออกจาก matched filter บิตที่  $i$  ของผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $p$  ได้ว่า

$$y_k^{(p)}(i) = \int_{iT}^{(i+1)T} \hat{r}_k^{(p)}(t) S_k(t - iT) dt \quad (5)$$

จาก (1), (3) และ (4) ได้ว่า

$$\begin{aligned} y_k^{(p)}(i) &= A_k b_k(i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j(i) - b_j^{(p-1)}(i)) \rho_{j,k} + \eta_k(i) \\ &= A_k b_k(i) + I_k^{(p)}(i) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\hat{b}_j^{(p-1)}(i) = f[y_j^{(p-1)}(i)] \quad (7)$$

คือบิตข้อมูลที่ตัดสินใจได้จากฟังก์ชันตัดสินใจ ( $f[\cdot]$ ) เช่น Sigmoid function (Hard decision) หรือ Hyperbolic Tangent function [6] เป็นต้น ที่ stage  $p-1$  :

เมื่อ  $\rho_{j,k} = \int_0^T S_k(t) S_j(t) dt$  คือ ค่า cross correlation ของรหัสแผลผู้  
ใช้ที่  $j$  กับผู้ใช้ที่  $k$

$\eta_k(i) = \sigma \int_{iT}^{(i+1)T} n(t) S_k(t - iT) dt$  โดย  $\sigma^2$  คือ variance ของ AWGN

$I_k^{(p)}(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j(i) - b_j^{(p-1)}(i)) \rho_{j,k} + \eta_k(i)$  คือ สัญญาณแทรกสอด  
ที่เกิดขึ้นบิตที่  $i$  ที่แทรกสอดผู้ใช้คนที่  $k$  หลังจากหักล้างการแทรก  
สอดใน stage ที่  $p$

แทน (6) ใน (2) ได้ว่า

$$\begin{aligned} std(y_k^{(p)}) &= \left[ \frac{A_k^2 N_{SD}}{N_{SD}} + \frac{2A_k}{N_{SD}} \sum_{i=1}^{N_{SD}} b_k(i) I_k^{(p)}(i) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(I_k^{(p)}(i))^2}{N_{SD}} - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(A_k b_k(i) + I_k^{(p)}(i))^2}{N_{SD}} \right)^{1/2} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (8)$$

สมมติให้บิตข้อมูลมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินามและ  
สัญญาณแทรกสอดมีการแจกแจงความน่าจะเป็นคล้ายแบบ GAUSSIAN  
ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และสัญญาณรบกวนมีการแจกแจงความน่าจะเป็น  
แบบ GAUSSIAN ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ทำให้เทอมที่ 4 ของสมการที่ (8) มี  
ค่าเป็น 0 นอกจากนั้นการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนเป็นอิสระต่อกัน  
และเป็นอิสระต่อสัญญาณรบกวน

เมื่อพิจารณา stage ที่  $p$  กรณีที่ผู้ใช้คนที่  $k$  โคนผลของ near far อย่างรุนแรง ( $A_k \ll A_j$ ) ทำให้บิตข้อมูลและสัญญาณแทรกสอดเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเทอมที่ 2 ของสมการที่ (8) มีค่าเป็น 0 จึงได้

$$std(y_k^{(p)}) = \left( A_k^2 + (\tilde{I}_k^{(p)})^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

เมื่อ  $\tilde{I}_k^{(p)} = \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(I_k^{(p)}(i))^2}{N_{SD}} \right)^{1/2}$  คือ ค่าประมาณกำลังของสัญญาณแทรก

สอดจากผู้ใช้อื่นที่มารบกวนผู้ใช้คนที่  $k$  หลังจากการหักล้างการแทรก  
สอดใน stage ที่  $p$

เมื่อพิจารณาใน stage แรก (เมื่อยังไม่มีการหักล้าง)

$$\hat{r}_k^{(0)}(t) = r(t) \quad (10)$$

ทำนองเดียวกัน กับ (3) – (8) ได้ว่า

$$std(y_k^{(0)}) = \left( A_k^2 + (\tilde{I}_k^{(0)})^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

โดย  $\tilde{I}_k^{(0)} = \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(I_k^{(0)}(i))^2}{N_{SD}} \right)^{1/2}$  และ  $I_k^{(0)}(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j(i) \rho_{j,k} + \eta_k(i)$

จากการพิจารณาสมการที่ (9) และ (11) พบว่าการหาค่าส่วนเบี่ยงเบน  
มาตรฐานของสัญญาณขาออกจาก matched filter คือ ผลรวมกำลังของ  
สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่ต้องการกับเทอมสัญญาณแทรกสอดเฉลี่ย  
ของผู้ใช้คนอื่นที่เข้ามารบกวน ดังนั้นเรานำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
นี้ไปช่วยหาค่า weight factor ได้ เนื่องจากหลักในการพิจารณา weight  
factor คือ ผู้ใช้ที่ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดน้อยแสดงว่าบิตที่ถูก  
ตัดสินใจจาก matched filter มีความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นเมื่อนำไปสร้างเป็น  
สัญญาณแทรกสอดและนำไปหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้จึงมีความ  
ถูกต้อง ในขณะที่ผู้ใช้ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้อื่น  
สูง แสดงว่าบิตที่ถูกตัดสินใจจากสัญญาณขาออก matched filter มีความน่า  
จะเป็นในการผิดพลาดสูง ดังนั้นเมื่อนำไปสร้างเป็นสัญญาณแทรกสอด  
จึงเชื่อถือไม่ได้มากนักจึงต้องถ่วงน้ำหนักด้วย weight factor และเนื่อง  
จาก ค่า weight factor มีค่าน้อยกว่า 1 จากหลักการนี้ทำให้เราสามารถหา  
ค่า weight factor ได้ดังสมการที่ (12) ซึ่งไม่ว่าระบบจะมีสภาพแวดล้อม  
เปลี่ยนแปลงอย่างไร เช่น ผลของปรากฏการณ์ใกล้ไกล เราก็สามารถหา  
weight factor ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นได้

$$w_k^{(p+1)} = \frac{a A_k}{std(y_k^{(p)})} \quad (12)$$

เมื่อ  $a$  คือ ค่าคงที่

$w_k^{(p+1)}$  คือ weight factor ของผู้ใช้คนที่  $k$  ใน stage ที่  $p+1$

$A_k$  คือ ขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่  $k$

ดังนั้นเมื่อนำ weight factor ไปถ่วงน้ำหนักสัญญาณที่สร้างขึ้นมา  
ก่อนนำไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้ จาก (3) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

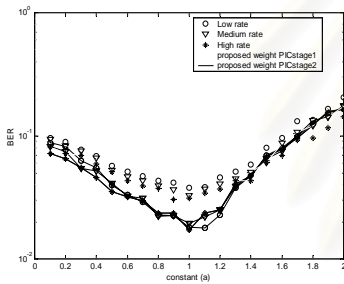
$$\hat{r}_k^{(p)}(t) = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K w_j^{(p)} \hat{x}_j^{(p)} \quad (13)$$

อย่างไรก็ตามกรณีที่ผู้ใช้ไม่โค่นผลของ near far รุนแรง ให้ทำการ  
จัดสัญญาณแทรกสอดที่ stage แรกเท่านั้น ส่วนใน stage ถัดไปให้ทำ  
การจัดการแทรกสอดทั้งหมด (weight factor = 1) เพราะเทอมที่ 2 ใน  
สมการ (8) ไม่เป็นศูนย์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อทำการจัดสัญญาณแทรกสอดที่  
stage สูงๆ เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดได้ถูกกำจัดไปเกือบหมดทำให้  
สัญญาณแทรกสอดไม่เป็นอิสระกับบิตข้อมูล ดังนั้นที่ stage ที่มีค่า  
weight factor มากกว่า 1 จะกำหนดให้ weight factor ที่ stage จากนั้น  
เป็นต้นไปมีค่า weight factor = 1 (คือ SPIC) กรณี asynchronous สามารถ  
พิจารณาเช่นเดียวกับกรณี synchronous และให้ผลได้ในทำนองเดียวกัน  
ซึ่งในการจำลองแบบใช้ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent Decision ในการตัด  
สินบิตที่ออกจาก matched filter ที่ stage อื่นๆ ดังสมการที่ (7) จนในที่สุด  
stage สุดท้ายบิตถูกตัดสินใจด้วย Hard decision

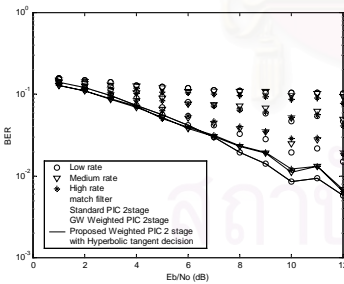
#### 4. ผลการจำลองแบบ

ในการจำลองแบบเลือกให้ระบบมีผู้ใช้ low rate, medium rate และ  
high rate เป็น 4, 4 และ 2 คน ตามลำดับ โดยผู้ใช้ low rate, medium rate  
และ high rate ถูกแผ่ด้วย Gold codes ความยาว 32, 16 และ 8 chips ตาม

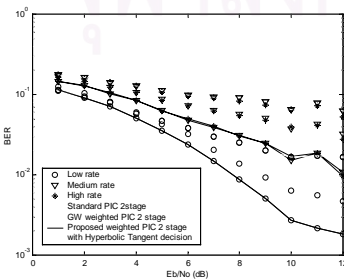
ลำดับ สมมติให้ช่องสัญญาณมีผลของ AWGN เท่านั้น และสมมติให้ทาง ด้านรับรู้ขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน และกำหนดสัญญาณ จากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (asynchronous) โดยค่า ประสิทธิภาพของผู้ใช้แต่ละคนที่มาถึงเครื่องรับเป็นแบบสุ่มไม่เกิน 10 chips ซึ่งได้ทำการจำลองแบบใน 2 กรณี คือ กรณีที่ควบคุมกำลังส่ง สมบูรณ์ และกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ ให้กำลังสัญญาณที่ 1 ของผู้ใช้ Low rate สูงกว่าผู้ใช้ rate อื่น 6 dB จากรูปที่ 1 จำนวนค่า a ในสมการที่ (12) โดยพบว่าที่ a=1 ให้ค่าอัตราบิดผิดพลาดต่ำสุด ทั้ง 1 stage และ 2 stage ที่ค่า Eb/No (พลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่น สเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน) เป็น 8 dB ดังนั้นกำหนดให้ ค่าคงที่ a ทั้ง 2 stage เป็น 1 ส่วนในวิธี GW-PIC กำหนดให้ weight factor ที่ stage แรกของผู้ใช้ low rate, medium rate และ high rate เป็น  $\sqrt{0.4}$ ,  $\sqrt{0.6}$  และ  $\sqrt{0.8}$  ตามลำดับ และที่ stage 2 ทำการหักล้างทั้งหมด (SPIC) จากผลการจำลองแบบพบว่าวิธีที่นำเสนอให้อัตราบิดผิดพลาดต่ำกว่า SPIC และ GW-PIC ทั้งกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ (รูปที่ 2) และ ไม่สมบูรณ์ (รูปที่ 3) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 อัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่คำนวณ weight factor จากวิธี ที่ นำเสนอที่ Eb/No = 8 dB เมื่อเทียบกับค่าคงที่ a ในสมการที่ (12)



รูปที่ 2 อัตราบิดผิดพลาดเมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 3 อัตราบิดผิดพลาดเมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 1 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของอัตราบิดผิดพลาดของเครื่องรับที่นำ เสนอเมื่อเทียบกับเครื่องรับประเภทอื่นในกรณีควบคุมกำลัง ส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ที่ Eb/No เป็น 8dB

ผู้ใช้	การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์		การควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์	
	SPIC	GW-PIC	SPIC	GW-PIC
low rate	70.1%	40.0%	65.8%	36.9%
medium rate	67.9%	40.1%	65.7%	45.3%
high rate	64.0%	41.8%	63.4%	44.6%

### 5. สรุป

จากวิธีที่นำเสนอในการหา weight factor สำหรับการจัดการแทรกสอดแบบขนานบางส่วนให้ผลที่ดีทั้งในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับที่กำหนดค่า weight factor คงที่ (GW-PIC) และเครื่องรับแบบ Standard PIC นอกจากนี้ผลของจำนวนบิตที่ใช้คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบ ผลของการประมาณช่องสัญญาณที่ผิดพลาด และผลของเฟดดิ้งในช่องสัญญาณอาจมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับได้ ซึ่งเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Verdu, "Optimum Multiuser Detectors for CDMA Systems," ISSSTA '94, Oulu, Finland, July 4 - 6, 1994

[2] S. Verdu, "Multiuser Detection," CAMBRIDGE university press, 1998

[3] A.D. Hallen, J. Holtzman and Z. Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA Systems," IEEE Personal Communications, April 1995, pp. 46-58

[4] A.F. Van Meeteren, T. Ojanpera, H. Nikookar and R. Prasad, "Groupwise Weighted Parallel Interference Cancellation for Asynchronous Multirate DS-SS-CDMA," Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999 - Fall, IEEE VTC 50th Vol. 3, 1999, pp. 1820 - 1824

[5] H. Azad and A.H. Aghvami, "Multirate Spread Spectrum Direct Sequence CDMA techniques," IEEE 1994, pp. 4/1 - 4/5

[6] D. Divsalar and M.K. Simon., "A new Approach to Parallel Interference Cancellation for CDMA," Vehicular Technology Conference '96, pp. 1452 - 1457.

# Improvement of Partial Interference Cancellation Receiver Using Variance from Matched Filter for Weight Factor Assignment and Adaptation in Multirate CDMA Cellular Mobile Communication Systems

Natee Prapavong and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University,  
Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand  
Phone: +66-2-218-6482, Fax: +66-2-251-8991, E-mail: watit@ee.eng.chula.ac.th

**Abstract -- The objective of this article is to propose a new method to adapt weight factor applying for partial interference cancellation in multirate CDMA cellular mobile communication systems. The proposed scheme in weight factor decision utilizing matched filter output variance from previous stage is compared with Groupwise Weighted PIC (GW-PIC) and Standard PIC (SPIC). The simulation results show that performance of the proposed method is better than those of the GW-PIC and the SPIC.**

## I. INTRODUCTION

The third generation cellular mobile communication system is expected to support a variety of services with different bit rates ranging from a few kbps to as much as 2 Mbps [1]. Thus, it is necessary for wireless mobile station to transmit variable bit rate services such as speech, image and data. Code Division Multiple Access (CDMA) is a promising technique for providing multiuser access in future cellular mobile and personal communication systems. One of the methods for multirate CDMA system is MPG (Multiple Processing Gain) [2, 3] system in which the bandwidths of all users are the same but the processing gains are different according to their bit rates. The signals of low rate users are spread using the entire spreading codes while those of higher rate users are spread using only a part of the spreading codes. To have the same desired energy, the powers of the high rate users are larger than those of the lower rate users, thus, there exists an equivalently constant near-far effect. Multiuser detection is exploited to remove the Multiple Access Interference (MAI) and near-far problems using all users information. The interference cancellation is one of the suboptimal cancellation that can be done in a successive (Successive Interference Cancellation : SIC) or parallel (Parallel Interference Cancellation : PIC) way. T. Ojanpera, et. al., analyzed a wideband CDMA multiuser detector with qualitative comparison criteria such as complexity [4]. It was shown that PIC was the better systems with long codes, due to its characteristics of reducing the increasing detection delay as compared to SIC. Performance improvement of PIC receiver in single rate is proposed in [5-6] with partial interference cancellation.

For MPG scheme, the lower rate users are interfered from the higher rate users, leading to less reliable regenerated signal of lower rate users. To improve the performance, the regenerated signal of each user should be cancelled partially according to bit rate. GW-PIC [7] proposed to weight the regenerated signal with fixed weight factors. The weight factor is differently assigned to each group of users transmitting with different bit rates according to the reliability of MAI estimated from users in each group.

However, when the environment is changed such as the increasing number of users or near-far situation, applying weight factors in a fixed groupwise is not optimal. This paper proposes a new method to determine the weight factor that is adapted according to the reliability of estimated signal from each user, utilizing matched filter output variance from previous stage.

In section 2, system models of multirate CDMA system of SPIC and GW-PIC are described. Section 3 presents the proposed weight factor decision. Numerical results are given in section 4. Finally, conclusion is drawn in section 5.

## II. SYSTEM MODELS

The MPG scheme is applied in the system model for multirate CDMA system. This method is similar to the single rate CDMA system. A real user, being an active terminal of communication system, is considered to be some virtual users with different bit rates. The symbol rate of real user is  $m/T$  corresponding to  $m$  virtual users, where  $m$  is integer and  $T$  is the bit interval of the lowest rate users. There are three bit rates: low, medium and high bit rates in system model. The processing gains of low ( $N_L$ ), medium ( $N_M$ ) and high ( $N_H$ ) rate users are  $N_L$ ,  $N_L/2$  and  $N_L/4$ , respectively. In addition, the signature waveform,  $S_k(t)$ , for each  $k$  virtual users has the following characteristics [2] :

$$\int_0^T |S_k(t)|^2 dt = 1 \quad \text{and } S_k(t) = 0 \text{ if } t \notin [0, T]$$

Thus, the amplitude of high rate user signal is increased by  $\sqrt{2}$  and 2 times from medium and low rate users, respectively. The received baseband signal in asynchronous case is of the form

$$r(t) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} A_j b_j[i] S_j(t - iT - \tau_j) + n(t) \quad (1)$$

where  $K$ ,  $A_j$ ,  $b_j[i]$ ,  $N_b + 1$ ,  $\tau_j$  and  $n$  are the total number of virtual users, signal amplitude, the  $i$ th data bit, the number of bits of data block, relative delay and Additive White Gaussian Noise (AWGN) with zero mean and variance of  $\sigma_{noise}^2$ , respectively, of the  $j$ th virtual user. The input data of the  $j$ th virtual user,  $b_j[i] \in \{-1, 1\}$ , is antipodal. In synchronous case,  $\tau_j$  is 0.



*Standard PIC (SPIC)*: The estimated signal of the  $j$  th virtual user in the  $p$  th stage is given by

$$\hat{x}_j^{(p)}(t) = \sum_{i=-N_b/2}^{N_b/2} \hat{A}_j \hat{b}_j^{(p-1)}[i] S_j(t - iT) \quad (2)$$

where  $\hat{A}_j$  is the estimated signal amplitude of the  $j$  th virtual user.

Assume perfect channel estimation then  $\hat{A}_j = A_j$ . The estimated signals of all users except the  $k$  th virtual user cancelled from received signal in the  $p$  th stage is given by

$$\hat{r}_k^{(p)} = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K \hat{x}_j^{(p)}(t) \quad (3)$$

As the 0 th stage received signal is,

$$r_k^{(0)} = r(t), \quad k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (4)$$

the output from matched filter for the  $i$  th bit of the  $k$  th virtual user in the  $p$  th stage and the 0 th stage is given by

$$y_k^{(p)}[i] = \int_{iT}^{(i+1)T} \hat{r}_k^{(p)}(t) S_k(t - iT) dt \quad (5)$$

$$y_k^{(p)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} + \eta_k[i] \quad (6)$$

$$y_k^{(0)}[i] = A_k b_k[i] + \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i]) \rho_{jk} + \eta_k[i] \quad (7)$$

where  $\rho_{jk} = \int_0^T S_k(t) S_j(t) dt$  is cross correlation between the  $k$  th virtual user and the  $j$  th virtual user and

$$\eta_k[i] = \sigma_{noise} \int_{iT}^{(i+1)T} n(t) S_k(t - iT) dt$$

The  $i$  th bit decision of the  $j$  th virtual user from the  $(p-1)$  th stage is given by

$$\hat{b}_j^{(p-1)}[i] = \text{sgn}(y_j^{(p-1)}[i]) \quad (8)$$

where  $\text{sgn}[\cdot]$  is the signum function.

*Groupwise Weighted PIC (GW-PIC)*: The power difference between groups of different bit rate users causes an equivalently constant near-far problem. The lowest bit rate users have the least power, then their MAI estimates are the least reliable, leading to increase MAI instead. GW-PIC is proposed to improve this problem by assigning weight factor in each group. The weight factor is determined according to the bit rate. GW-PIC assigns weight factor user by user. In this case, equation (3) is changed to equation (9), where  $w_{j,R}^{(p)}$  is weight factor of the  $j$  th virtual user transmitting bit rate  $R$  in the  $p$  th stage.

$$\hat{r}_k^{(p)} = r(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K w_{j,R}^{(p)} \hat{x}_j^{(p)}(t) \quad (9)$$

The weight factor of low rate user is the lowest and that of high rate user is the highest. However, in this case, weight factors are fixed, not adapted according to changing environment. This affects the reliability of estimated signal. This paper presents the method for assigning weight factor according to the reliability of estimated signal of each user utilizing matched filter output variance from previous stage.

### III. PROPOSED WEIGHT FACTOR ASSIGNMENT AND ADAPTATION

Consider variance of the output from matched filter of the  $k$  th virtual user in the  $p$  th stage (since time average is often the only thing that is practical to compute in applications, the assumption of ergodicity is favored [8]), defined by

$$\text{Var}(y_k^{(p)}) = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{(y_k^{(p)}[i])^2}{N_{SD}} - \left( \sum_{i=1}^{N_{SD}} \frac{y_k^{(p)}[i]}{N_{SD}} \right)^2 \quad (10)$$

where  $N_{SD}$  is the number of bits for weight factor calculation. Information bits are considered as antipodal (with probability = 1/2) and information bits of each virtual user are generated independently and are independent on zero mean Gaussian noise.

*Consideration of the 0 th stage (no cancellation of MAI estimates)*

From equations (7) and (10), variance of the output from matched filter of the  $k$  th virtual user in the 0 th stage is given by

$$\text{Var}(y_k^{(0)}) = A_k^2 + \sigma_{MAI,k}^{(0)2} + \sigma_{noise}^2 \quad (11)$$

where  $\sigma_{MAI,k}^{(0)2} = \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K (A_j \rho_{jk})^2$  is interference variance estimated

from the other users (except the  $k$  th virtual user) before cancellation of MAI estimates.

*Consideration of the  $p$  th stage*

From equations (2), (5), (9) and (10), variance of the output from matched filter of the  $k$  th virtual user in the  $p$  th stage is given by

$$\begin{aligned} \text{Var}(y_k^{(p)}) &= A_k^2 + \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)^2 / N_{SD} \\ &- 2 A_k \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ \neq k}}^K A_j \rho_{jk} w_{j,R}^{(p-1)} b_k[i] \hat{b}_j^{(p-1)}[i] \right) / N_{SD} + \sigma_{noise}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

where

$$\hat{b}_j^{(p-1)}[i] = \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{l \neq j} A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-2)} \hat{b}_l^{(p-2)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (13)$$

From equation (13),  $\hat{b}_j^{(p-1)}$  is dependent on  $b_k$ , then the 3 th term of equation (12) cannot be removed. However, if there exists high interference situation, i.e.,

(1) strong near-far situation,

$$A_k \ll A_j \quad (14)$$

(2) a lot of number of users and high cross correlation of spreading code between users,

$$\sum_{l \neq j, k} A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-2)} \hat{b}_l^{(p-2)}[i]) \rho_{lj} \gg A_k (b_k[i] - w_{k,R}^{(p-2)} \hat{b}_k^{(p-2)}[i]) \rho_{kj} \quad (15)$$

Thus, equation (13) can be approximated by

$$\hat{b}_j^{(p-1)}[i] = \text{sgn}(A_j b_j[i] + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j, k}}^K A_l (b_l[i] - w_{l,R}^{(p-2)} \hat{b}_l^{(p-2)}[i]) \rho_{lj} + \eta_j[i]) \quad (16)$$

This means  $\hat{b}_j^{(p-1)}$  is not dependent on  $b_k$ , then the 3 th term of (12) is zero. Finally, variance of the  $k$  th virtual user in the  $p$  th stage is given by

$$\text{Var}(y_k^{(p)}) = A_k^2 + \sigma_{MAI,k}^{(p)2} + \sigma_{noise}^2 \quad (17)$$

where

$$\sigma_{MAI,k}^{(p)2} = \sum_{i=1}^{N_{SD}} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j (b_j[i] - w_{j,R}^{(p-1)} \hat{b}_j^{(p-1)}[i]) \rho_{jk} \right)^2 / N_{SD}$$

is interference variance estimated from other users (except the  $k$  th virtual user) after the  $p$  th stage cancellation.

Equations (11) and (17) show that variance of the  $k$  th virtual user from output of matched filter in the  $p$  th stage composes of received power of the  $k$  th virtual user, estimated interference variance of other users from the  $p$  th stage and the variance of noise. However,  $\text{Var}(y_k^{(p)})$  in stage  $p \geq 1$  may be less than  $A_k^2$  because interference is removed in previous stage so that equation (13) can not be approximated with (16). Consequently, the 3 th term of equation (12) is not zero. Due to limited reliability of interference and noise, the regenerated signal of users with higher interference and noise should be weighted more than those with lower interference and noise. From the above reason, the weight factor of the  $k$  th virtual user in the  $(p+1)$  th stage is formulated as

$$w_{k,R}^{(p+1)} = \frac{A_k}{A_k + (\text{Var}(y_k^{(p)}) - A_k^2)^{1/2}} \quad (18)$$

However, if  $\text{Var}(y_k^{(p)}) < A_k^2$  (19)

then estimated signals of the  $k$  th virtual user are cancelled fully. SPIC is then applied from this stage to the last stage. That is,

$$w_{k,R}^{(p+1)} = 1 \quad (20)$$

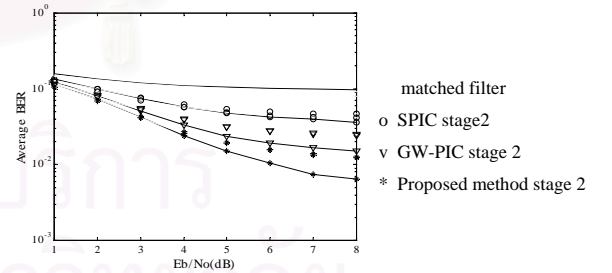
This situation in asynchronous case [9], can be formulated in the same way as that in synchronous case analyzed above.

Because W-CDMA [1] is designed to transmit data bit in time slot, this proposed method is appropriate to be applied in W-CDMA where weight factor calculation is also adapted time slot by time slot.

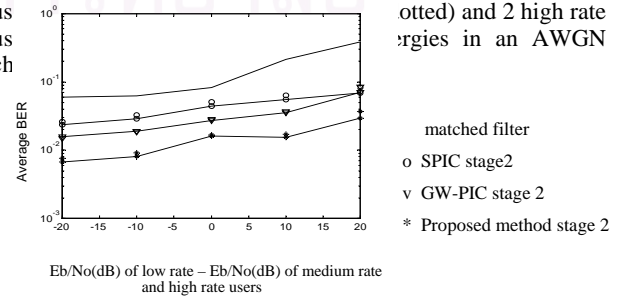
#### IV. SIMULATION RESULTS

System models in section II are used in this simulation. Reverse link of asynchronous multirate CDMA is considered. Assume that the bits of low rate, medium rate and high rate users are spread with Gold codes of length 32, 16 and 8, respectively. Gold code of length 32 is constructed from Gold code of length 31 with random last bit [10]. Delay of each real user is uniformly distributed in the interval  $[0, T/4]$ . In addition, it is assumed that base station knows the signature sequences of all users. Also, perfect channel and perfect synchronization are assumed. For GW-PIC method, weight factors at the first stage of low rate, medium rate and high rate users are  $\sqrt{0.4}$ ,  $\sqrt{0.6}$  and  $\sqrt{0.8}$ , respectively, and the second stage is SPIC. Fifteen bits are used in Figs 1-5 for weight factor calculation in the proposed method.

It is obvious that the BER of proposed method is better than those of SPIC and GW-PIC in perfect power control situation as shown in Fig. 1. Fig. 2 depicts the BER performance under condition of near-far effect from 4 varying power low rate users while medium and high rate users have constant powers at 10 dB of Eb/No. Proposed method achieves better BER than the others owing to adaptive weight factors according to changing environment. Figs. 3, 4 and 5 show BER performances as functions of the number of low rate users (with fixed 1 medium rate user and 1 high rate user), medium rate users (with fixed 1 low rate user and 1 high rate user) and high rate users (with fixed 1 low rate user and 1 medium rate user) in AWGN channel at 10 dB of Eb/No, respectively. For a BER of 0.01, the proposed PIC receiver can support 15 low rate users, 6 medium rate users and 4 high rate users, whereas GW-PIC can support 13 low rate users, 5 medium rate users and 3 high rate users. Since real users are considered as  $m$  virtual users when the symbol rate of real user is  $m/T$ , thus 1 real medium rate user and 1 high rate user is considered as 2 and 4 virtual low rate users, respectively. As a result, the proposed method can support the number of real high rate users less than those of medium rate users and low rate users at the same BER. Fig. 6 shows the number of bits for weight factor calculation (which is about 3 to 7 bits) for the proposed method to achieve

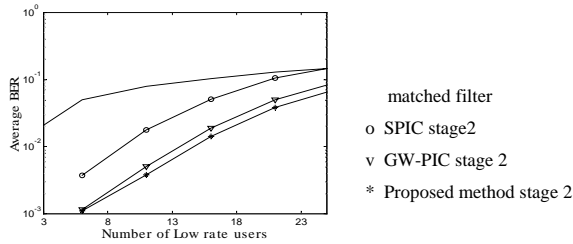


**Fig. 1:** BER as function of signal to noise ratio with 4 low rate users (dotted) and 2 high rate users (solid) in an AWGN channel

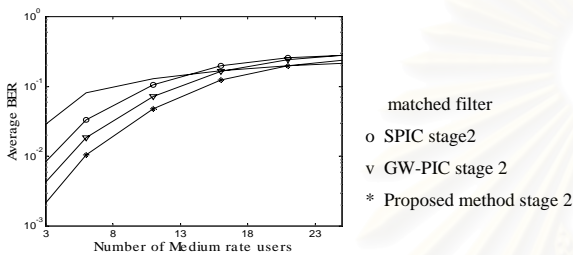


**Fig. 2:** BER as function of signal to noise ratio with 4 low rate users (dotted) and 2 high rate users (solid) in an AWGN channel

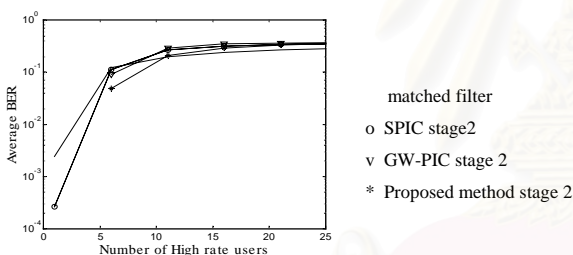
**Fig. 2:** BER of 4 medium rate users (dash-dotted) and 2 high rate users (solid) affected by near-far effect from 4 low rate users in AWGN channel



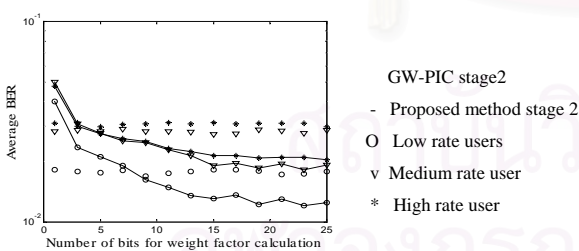
**Fig. 3:** BER of low rate users as a function of capacity (number of low rate users) with 1 medium rate user and 1 high rate user with equal received energies in an AWGN channel ( $E_b/N_0=10$  dB).



**Fig. 4:** BER of medium rate users as a function of capacity (number of medium rate users) with 1 low rate user and 1 high rate user with equal received energies in an AWGN channel ( $E_b/N_0=10$  dB).



**Fig. 5:** BER of high rate users as a function of capacity (number of high rate users) with 1 low rate user and 1 medium rate user with equal received energies in an AWGN channel ( $E_b/N_0=10$  dB).



**Fig. 6:** BER as a function of the number of bits for weight factor calculation. Note that only a small number of bits are used in weight factor calculation. However, a small number of samples ( $E_b/N_0=10$  dB) are required to implement this method in real system.

## V. CONCLUSION

This paper proposes a new method to adapt weight factor applying for partial interference cancellation in reverse link of multirate CDMA cellular mobile communication systems. Weight factor is assigned and adapted according to variance of output from matched filter of each user and each stage which depends on the

effect of interference and noise. From simulation results, the proposed method shows a considerable improvement and increases capacity when compared with SPIC and GW-PIC. The proposed method achieves better performance under near-far effect, consequently, reduces the complexity of power control.

## REFERENCES

- [1] F. Adachi, M. Sawahashi and H. Suda, "Wideband DS-SS-CDMA for Next-Generation Mobile Communications Systems," IEEE Communications Magazine, September 1998, pp. 56 - 69
- [2] M. Alarm, T. Ojanpera and R. Prasad, "Impact of Timing Error on the Performance of Multiuser Detection in Multirate CDMA System," ICPWC'99, 1999, pp. 299 - 303
- [3] H. Azad and A. H. Aghvami, "Multirate Spread Spectrum Direct Sequence CDMA Techniques," Spread Spectrum Techniques for Radio Communication Systems, IEE Colloquium on, 1994, pp. 4/1 - 4/5
- [4] T. Ojanpera, R. Prasad and H. Harada, "Qualitative Comparison of Some Multiuser Detector Algorithms for Wideband CDMA," Vehicular Technology Conference 1998, VTC 98, 48<sup>th</sup> IEEE, Vol. 1, pp. 46 - 50
- [5] D. Divsalar and M. K. Simon, "Improved Parallel Interference Cancellation for CDMA," IEEE Transactions on Communications, Vol. 46, No. 2, February 1998, pp. 258 - 268
- [6] N. S. Correal, R. M. Buehrer and B. D. Woerner, "Improved CDMA Performance through Bias Reduction for Parallel Interference Cancellation," in Proc. Global Comm. Conf., Dec. 1997, pp. 565 - 569
- [7] A. F. Van Meeteren, T. Ojanpera, H. Nikoogar and R. Prasad, "Groupwise Weighted Parallel Interference Cancellation for Asynchronous Multirate DS-SS-CDMA," Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999 - Fall, IEEE VTC 50<sup>th</sup>, Vol. 3, 1999, pp. 1820 - 1824
- [8] R. E. Mortensen, "Random Signals and Systems," University of California at Los Angeles, A Wiley - Interscience Publication, 1987
- [9] S. Verdu, "Multiuser Detection," CAMBRIDGE university press, 1998
- [10] M. J. Junti, "Multiuser Detector Performance Comparisons in Multirate CDMA Systems," Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98, 48<sup>th</sup> IEEE, Vol. 1, 1998, pp. 31 - 35

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณที ประภาวงษ์ เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2519 ที่กรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย