

การปรับปรุงการหักล้างการแทรกสอดแบบผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน

ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัส

ชนิดโคเรกต์ซีแควนซ์



นายเจนวิทย์ สิ้นธุศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

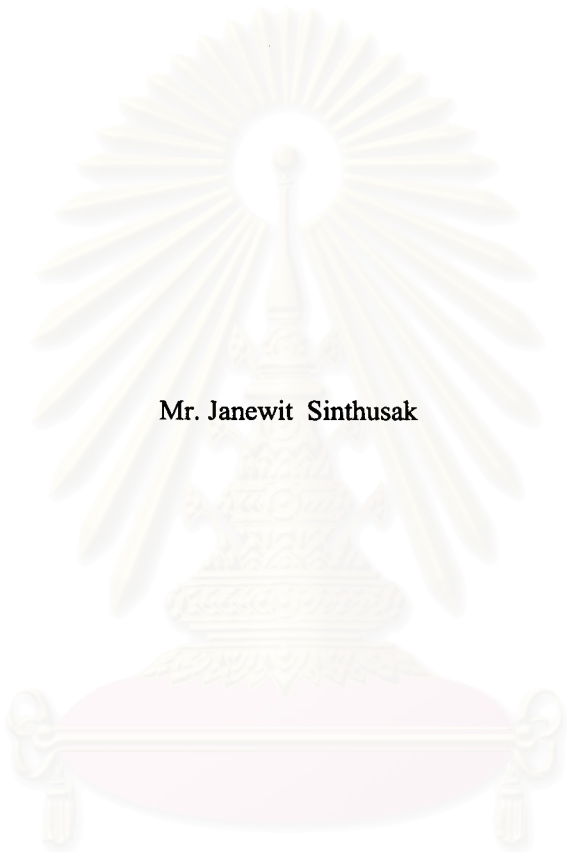
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0171-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**IMPROVEMENT OF HYBRID INTERFERENCE CANCELLATION USING PARTIAL
CANCELLATION PIC TECHNIQUE IN RAYLEIGH-FADING CHANNELS
IN DS-CDMA SYSTEM**



Mr. Janewit Sinthusak

**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

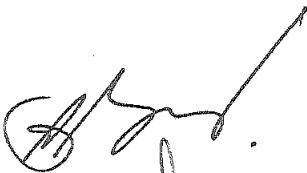
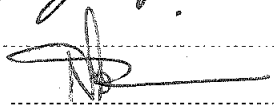
ISBN 974-13-0171-5

เจนวิทย์ สิ้นธุสัถ : การปรับปรุงการหักล้างการแทรกสอดแบบผสมโดยใช้เทคนิคการหัก
 ล้างบางส่วนแบบขนานในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในระบบการสื่อสารแบบ
 แบ่งแยกด้วยรหัสขนิค ไคเรกต์ซีเควนซ์ (IMPROVEMENT OF HYBRID
 INTERFERENCE CANCELLATION USING PARTIAL CANCELLATION PIC
 TECHNIQUE IN RAYLEIGH-FADING CHANNELS IN DS-CDMA SYSTEM)

อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, 141 หน้า. ISBN 974-13-0171-5

การกำจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในระบบ DS-CDMA เนื่องจากว่า
 สัญญาณแทรกสอดดังกล่าว จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับลดลง วิทยานิพนธ์นี้เสนอ เทคนิค
 การหักล้างบางส่วนแบบขนาน เพื่อลดระดับสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรก
 สอดอย่างผสมในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์และในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ซึ่ง
 เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานนี้ จะใช้เพียงค่าเศษส่วนของการหักล้างที่เหมาะสมในการ
 ลดระดับสัญญาณแทรกสอดซึ่งจะเป็นการเพิ่มเพียงตัวปฏิบัติการในการคูณเข้าที่แต่ละชั้นของ
 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ทำให้เป็นการประหยัดสำหรับการใช้งานจริง


จากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดสำหรับในขั้นที่
 2 อยู่ในช่วง 0.4-0.9 และในขั้นที่ 3 จะอยู่ในช่วง 0.9-1.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าสหสัมพันธ์ข้าม จำนวนผู้
 ใช้ และความยาวของสเปรคดิงโค้ด ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวน
 เกาส์เซียน เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานสามารถที่จะช่วยลดค่า BER เมื่อเปรียบเทียบกับ
 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 ที่ 15 dB ได้ 77% และ
 88% ตามลำดับ ส่วนในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์
 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ใน
 ขั้นที่ 2 และ 3 ที่ 15 dB จะมีค่าเป็น 71.61% และ 85.45% ตามลำดับ รวมถึงเมื่อวัดจำนวนของการ
 หักล้างและความล่าช้าของบิตแล้ว จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม จะให้
 ประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นๆ

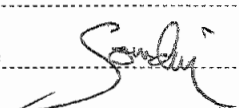
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อนิสิต 
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
 ปีการศึกษา 2543

JANEWIT SINTHUSAK : IMPROVEMENT OF HYBRID INTERFERENCE
CANCELLATION USING PARTIAL CANCELLATION PIC TECHNIQUE IN
RAYLEIGH-FADING CHANNELS IN DS-CDMA SYSTEM. THESIS
ADVISOR : ASSO. PROF. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Ing. 141 pp.
ISBN 974-13-0171-5

In a DS-CDMA system, interference signal cancellation plays very significant role, because the interference signals cause the degradation of receivers. This thesis proposes a partial cancellation PIC technique in order to reduce the level of interference signal. This thesis focuses on the hybrid interference cancellation receiver with Rayleigh-fading and AWGN channel. The proposal technique exploits only optimal fraction of the cancellation for reducing interference level, which just adds a single multiplication operation at each stage of PIC and make PIC receiver more economical for real systems.

As in the simulation results, the optimal fraction of the cancellation is between 0.4-0.9, for 2-stage, and 0.9-1.3, for 3-stage; however, the specific value depends on cross-correlation, the number of users, and the length of spreading code. In the case of imperfect power control in AWGN channels, BER of the proposed technique at 15 dB are 77%, for 2-stage, and 88%, for 3-stage, lower than those of HIC 10-5-2. The BER of proposed technique at 15 dB in the Rayleigh-fading channels are 71.61%, for 2-stage, and 85-45%, for 3-stage, lower than those of HIC 10-5-2. As for measuring of cancellation and bit delay, HIC receiver provides the acceptable performance compared to those of other interference cancellation receivers.

Department Electrical Engineering Student's signature 

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature 

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา น้องสาว บุคคลรอบข้างและเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฐ
บัญชีคำศัพท์	ฬ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA	2
1.2 เครื่องรับแบบธรรมดา	3
1.3 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	4
1.3.1 เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด	4
1.3.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป	5
1.3.2.1 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบเชิงเส้น	5
1.3.2.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบไม่เชิงเส้น	6
1.3.3 เครื่องรับที่มีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติ	7
1.4 ปัญหาของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแต่ละแบบ	9
1.5 วิธีการแก้ปัญหาที่มีผู้เสนอขึ้นมา	9
1.6 แนวทางของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	10
1.7 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	10
1.8 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	10
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
1.10 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	11
1.11 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์	11
1.12 นิยามสัญลักษณ์	12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 13
2.1	สาเหตุของ MAI 13
2.1.1	ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล 13
2.1.2	สเปรดคิงโค้ด 13
2.2	การสเปรดและคีสเปรด 17
2.3.1	ขั้นตอนการสเปรด 17
2.3.2	ขั้นตอนการคีสเปรด 17
2.3	แบบจำลองระบบ 18
2.3.1	แบบจำลองระบบด้านส่ง 18
2.3.2	แบบจำลองช่องสัญญาณ 19
2.3.3	แบบจำลองระบบด้านรับ 20
2.4	เครื่องรับแบบแมตซ์ 21
2.5	เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด 22
2.5.1	เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน 23
2.5.2	เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง 26
2.5.3	เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม 29
2.6	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน 34
2.7	วิธีการวัดสมรรถนะและความหมายของตัววัดสมรรถนะต่าง ๆ 35
2.7.1	BER (Bit Error Rate) หรือ BEP (Bit Error Probability) 35
2.7.2	อัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio, SNR) 35
3	การปรับปรุงการหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้าง บางส่วนแบบขนาน 36
3.1	เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน 36
3.2	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม 37
3.3	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยเทคนิค การหักล้างบางส่วนแบบขนาน 40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย	42
4.1 ระบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ	42
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ	43
4.2.1 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว	44
4.2.2 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว	51
4.2.3 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์	56
4.2.4 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์	61
4.3 การหาเศษส่วนของการหักล้าง	65
4.3.1 กรณีที่ค่าสหสัมพันธ์ข้ามแตกต่างกัน	66
4.3.1.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว	67
4.3.1.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์	80
4.3.2 กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ต่างกัน	93
4.3.2.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว	93
4.3.2.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์	99
4.3.3 กรณีที่มีความยาวของสเปกตรัมได้ต่างกัน	104
4.3.3.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว	104
4.3.3.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์	106
4.4 การนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้าง การแทรกสอดแบบต่างๆ	110
4.4.1 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว	110
4.4.2 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว	113
4.4.3 กรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์	117

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4.4	119
กรณีที่มีการควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	
5	124
บทสรุป.....	
5.1	124
สรุปผลการวิจัย.....	
5.2	125
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	
รายการอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก.....	129
ภาคผนวก ก.....	130
ภาคผนวก ข.....	134
ภาคผนวก ค.....	136
ประวัติผู้เขียน.....	141

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแต่ละแบบ 7
ตารางที่ 3.1	จำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับการหักล้าง การแทรกสอดแบบต่าง ๆ 41
ตารางที่ 4.1	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 67
ตารางที่ 4.2	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 73
ตารางที่ 4.3	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 77
ตารางที่ 4.4	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ 80
ตารางที่ 4.5	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ 85
ตารางที่ 4.6	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่า ต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ 89
ตารางที่ 4.7	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดย ใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 94
ตารางที่ 4.8	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดย ใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 95
ตารางที่ 4.9	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 97
ตารางที่ 4.10	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว 98
ตารางที่ 4.11	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ 100

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 101
ตารางที่ 4.13	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 102
ตารางที่ 4.14	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 103
ตารางที่ 4.15	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนสเปรคคิงได้ค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน..... 104
ตารางที่ 4.16	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนสเปรคคิงได้ค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน..... 105
ตารางที่ 4.17	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนสเปรคคิงได้ค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 107
ตารางที่ 4.18	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนสเปรคคิงได้ค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 108
ตารางที่ 4.19	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในชั้นที่ 4 เมื่อจำนวนสเปรคคิงได้ค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 109
ตารางที่ 4.20	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบาง ส่วนแบบ ขนาน ที่ E_b/N_0 เป็น 15 dB ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน..... 116
ตารางที่ 4.21	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้าง บางส่วนแบบ ขนาน ที่ E_b/N_0 เป็น 15 dB ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบ เรเลย์..... 122
ตารางที่ 4.22	จำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับการหักล้างการ แทรกสอดแบบต่างๆ..... 123

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	ปรากฏการณ์ไกล์-ไกล..... 14
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง Orthogonal Code..... 15
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของ Orthogonal Code..... 15
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง PN Sequence..... 16
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของ PN Sequence..... 16
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างขั้นตอนการสเปคข้อมูล..... 17
รูปที่ 2.7	แบบจำลองระบบด้านส่ง..... 18
รูปที่ 2.8	เส้นทางการเดินทางของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน..... 20
รูปที่ 2.9	probability density function ของการกระจายแบบเรเลย์ ($\sigma^2 = 1$)..... 20
รูปที่ 2.10	แบบจำลองระบบด้านรับ..... 21
รูปที่ 2.11	เครื่องรับแบบแมตซ์..... 22
รูปที่ 2.12	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (2 ชั้น)..... 23
รูปที่ 2.13	โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน..... 24
รูปที่ 2.14	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องสำหรับผู้ ทั้งหมด K 26
รูปที่ 2.15	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง..... 27
รูปที่ 2.16	โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง กรณีผู้ใช้ 1 คน..... 28
รูปที่ 2.17	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสมที่เสนอโดย D. Koulakiotis และ A.H. Aghvami..... 30
รูปที่ 2.18	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสมที่เสนอโดย S. Sun, L.K. Rasmussen, H. Sugimoto และ T.J. Lim..... 32
รูปที่ 2.19	โครงสร้างภายในของ G-ICU ที่ g สำหรับชั้นที่ m 32
รูปที่ 2.20	โครงสร้างภายในของ ICU สำหรับผู้ใช้คนที่ k ในชั้นที่ m 33
รูปที่ 3.1	โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน..... 37

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.2	โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม.....38
รูปที่ 3.3	โครงสร้างเครื่องรับการหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วน.....41
รูปที่ 4.1	ลักษณะของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ที่ใช้ในการทดลอง.....44
รูปที่ 4.2	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ขึ้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....45
รูปที่ 4.3	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....46
รูปที่ 4.4	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....48
รูปที่ 4.5	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....49
รูปที่ 4.6	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....49
รูปที่ 4.7	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....50

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.8	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบ หักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....	50
รูปที่ 4.9	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่างขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว ในกรณี ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	53
รูปที่ 4.10	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว ในกรณี ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	53
รูปที่ 4.11	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่ง ไม่สมบูรณ์.....	54
รูปที่ 4.12	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่ง ไม่สมบูรณ์.....	54
รูปที่ 4.13	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	55
รูปที่ 4.14	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้าง การแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณี ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้าง การแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณี ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....56
รูปที่ 4.16	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่างขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณี ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....57
รูปที่ 4.17	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณี ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....58
รูปที่ 4.18	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....58
รูปที่ 4.19	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ10-5-5 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....59
รูปที่ 4.20	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณที่มี การลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....59
รูปที่ 4.21	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรก สอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่ง สมบูรณ์.....60

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.22	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรก สอดแบบอื่น ช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่ง สมบูรณ์ 60
รูปที่ 4.23	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่างขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณี ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 62
รูปที่ 4.24	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่าง ขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณี ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 62
รูปที่ 4.25	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่ง ไม่สมบูรณ์ 63
รูปที่ 4.26	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 (ชั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่ง ไม่สมบูรณ์ 63
รูปที่ 4.27	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณที่มี การลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 64
รูปที่ 4.28	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรก สอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่ง ไม่สมบูรณ์ 64

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.29	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรก สอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีความถี่กำลังส่ง ไม่สมบูรณ์.....	65
รูปที่ 4.30	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	69
รูปที่ 4.31	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณ รบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	69
รูปที่ 4.32	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	70
รูปที่ 4.33	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	70
รูปที่ 4.34	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	71
รูปที่ 4.35	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	71
รูปที่ 4.36	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว.....	72
รูปที่ 4.37	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	73
รูปที่ 4.38	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	74
รูปที่ 4.39	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.40	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	75
รูปที่ 4.41	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	75
รูปที่ 4.42	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว.....	76
รูปที่ 4.43	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	77
รูปที่ 4.44	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	78
รูปที่ 4.45	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	78
รูปที่ 4.46	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว.....	79
รูปที่ 4.47	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว.....	79
รูปที่ 4.48	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	81
รูปที่ 4.49	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 2 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มี การลดทอนแบบเรเลย์.....	81
รูปที่ 4.50	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	82

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.51	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 82
รูปที่ 4.52	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 83
รูปที่ 4.53	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 83
รูปที่ 4.54	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์..... 84
รูปที่ 4.55	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 85
รูปที่ 4.56	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 3 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน..... 86
รูปที่ 4.57	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 86
รูปที่ 4.58	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 87
รูปที่ 4.59	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 87
รูปที่ 4.60	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 88
รูปที่ 4.61	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในขั้นที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์..... 88
รูปที่ 4.62	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 90

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.63	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 4 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน..... 90
รูปที่ 4.64	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 91
รูปที่ 4.65	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 91
รูปที่ 4.66	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 92
รูปที่ 4.67	ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์..... 92
รูปที่ 4.68	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์..... 93
รูปที่ 4.69	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว..... 94
รูปที่ 4.70	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว..... 95
รูปที่ 4.71	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว..... 97
รูปที่ 4.72	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว..... 98

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.73	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	100
รูปที่ 4.74	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	101
รูปที่ 4.75	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	102
รูปที่ 4.76	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่อง สัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์.....	103
รูปที่ 4.77	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนสเปรคดิงโค้ดต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว.....	105
รูปที่ 4.78	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนสเปรคดิงโค้ดต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวน เกาส์เซียนแบบขาว.....	106
รูปที่ 4.79	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนสเปรคดิงโค้ดต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์.....	107
รูปที่ 4.80	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนสเปรคดิงโค้ดต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์.....	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.81	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานในชั้นที่ 4 เมื่อจำนวนสเปอร์ดิงโค้ดต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอน แบบเรเลย์.....	109
รูปที่ 4.82	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างแบบขนานที่ชั้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่อง ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....	112
รูปที่ 4.83	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน แบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....	112
รูปที่ 4.84	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2,3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานใน ช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์.....	113
รูปที่ 4.85	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างแบบขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณ รบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	114
รูปที่ 4.86	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน แบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	115
รูปที่ 4.87	รูปแสดงการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่าง ผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2, 3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์.....	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.88	ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน และโดยใช้เทคนิคการหักล้างแบบขนานที่ชั้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่อง ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์..... 118
รูปที่ 4.89	ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม แบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์..... 118
รูปที่ 4.90	ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม แบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2, 3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์..... 119
รูปที่ 4.91	ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน และโดยใช้เทคนิคการหักล้างแบบขนานที่ชั้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่อง ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์..... 120
รูปที่ 4.92	ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม แบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบ เรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์..... 120
รูปที่ 4.93	ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม แบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2, 3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานใน ช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์..... 121

บัญชีคำศัพท์

การกระโดดเปลี่ยนความถี่	Frequency Hopping	ย่อว่า FH
การควบคุมกำลังส่ง	power control	
การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่	spread spectrum	
การสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัส	Code Division Multiple Access	
หรือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส	ย่อว่า CDMA	
การสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดไครเรตซ์ซีแควนซ์	Direct Sequence-Code Division Multiple Access	
	ย่อว่า DS-SS	
เครื่องรับแบบแมตช์	matched filter	
เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด	optimal receiver	
เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป	suboptimal receiver	
เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง	successive interference cancellation (SIC)	
เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน	parallel interference cancellation (PIC)	
เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม	hybrid interference cancellation (HIC)	
การหักล้างบางส่วนแบบขนาน	partial cancellation PIC	
จัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือไครเรตซ์ซีแควนซ์	Direct Sequence	ย่อว่า DS
ชิพ	chip	
ซิงโครนัส	synchronous	
ดีคอร์เรเลเตอร์	decorrelator	
ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล	Near-Far effect	
พารามิเตอร์	parameter	
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	multiuser detection	
หลายอัตรา	multirate	
สหสัมพันธ์	correlation	
สหสัมพันธ์ข้าม	cross-correlation	
สหสัมพันธ์ตัวเอง	auto-correlation	

สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้

Multiple Access Interference

ชื่อว่า MAI

ช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

Rayleigh-fading channel

สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

Additive White Gassian Noise

ชื่อว่า AWGN

สเปรคคิง โค้ด

spreading code

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

Signal to noise ratio

ชื่อว่า SNR



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การเข้าถึงหลายทางในระบบการสื่อสารเป็นกระบวนการซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้มากกว่า 1 คนสามารถใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกันได้ วิธีการเข้าถึงหลายทางที่นิยมในอดีตนั้นได้แก่ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยความถี่ และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยเวลา วิธีการทั้งสองนั้นผู้ใช้แต่ละคนในระบบจะถูกแบ่งแยกจากกันด้วยความกว้างแถบ หรือเวลาในการส่ง ตามลำดับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ไม่แน่นอนทำให้วิธีการเข้าถึงหลายทางในอดีตทั้ง 2 วิธีมีข้อจำกัด รวมถึงเรื่องความต้องการความจุของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการพัฒนารูปแบบของการเข้าถึงหลายทางชนิดใหม่ขึ้นมา วิธีการเข้าถึงหลายทางวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมากคือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส (Code Division Multiple Access) ซึ่งนิยมเรียกโดยย่อว่า CDMA

ระบบ CDMA เป็นระบบที่ผู้ใช้ทุกคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณโดยใช้ความกว้างแถบ และเวลาในการส่งเดียวกันได้ ระบบ CDMA สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ แบบการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping, FH) และแบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรงหรือเรียกว่า ไดรเซควเอนซ์ (Direct Sequence, DS) สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เน้นเฉพาะระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือ DS-SS (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) เท่านั้น เนื่องจากเป็นประเภทที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้แล้ว ข้อดีที่สำคัญของระบบ DS-SS คือ ปัญหาของการเกิดสัญญาณแทรกสอด (Multiple Access Interference, MAI) อันเนื่องมาจากการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far effect) การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การควบคุมกำลังส่ง (power control) ที่เข้มงวด เพื่อลดความซับซ้อนของการควบคุมกำลังส่ง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser Detection) หลายชนิด จึงถูกเสนอขึ้นมาใช้เป็นเครื่องรับของระบบ DS-SS เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวที่สถานีฐาน

ในบทนี้จะแนะนำและอธิบายถึงความเป็นมาของระบบ DS-SS และปัญหาต่างๆของระบบ DS-SS จากนั้นจะกล่าวถึงการใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน และปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น อันเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงแนวทาง, วัตถุประสงค์, ขอบเขตของวิทยานิพนธ์, ขั้นตอนการดำเนินงาน, ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ผู้ที่ริเริ่มเสนอระบบ DS-CDMA มาใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นครั้งแรก คือ บริษัท QUALCOMM ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในปี ค.ศ. 1989 บริษัท QUALCOMM ได้เสนอให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานสำหรับแอร์-อินเทอร์เฟซ (Air-Interface) สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบ DS-CDMA เป็นระบบใหม่ ในช่วงแรกระบบ DS-CDMA จึงยังไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร บริษัท QUALCOMM ได้ใช้เวลาถึง 4 ปีเพื่อสาธิตระบบ DS-CDMA ในที่ต่างๆทั่วโลก รวมทั้งค้นคว้าวิจัยวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆของระบบ DS-CDMA จนระบบ DS-CDMA เป็นที่ยอมรับ และในที่สุด Telecommunications Industry Association (TIA) ก็ได้ยอมรับให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานของแอร์-อินเทอร์เฟซ (Air-Interface) สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลเซลลูลาร์ (digital cellular) รุ่นที่ 2 เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน ค.ศ. 1993 โดยมาตรฐานนี้มีชื่อเรียกว่า มาตรฐาน IS-95 ซึ่งมาตรฐานนี้กำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีแบนด์วิดเป็น 1.228 MHz ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ในอนาคตอันใกล้นี้จะเป็ยุคของการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 (มาตรฐาน UMTS ของยุโรป และมาตรฐาน IMT-2000 ของนานาชาติ) สำหรับการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 นี้จะมีความต้องการทางด้านความจุที่เพิ่มขึ้น และต้องการบริการที่หลากหลายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นตามไปด้วย ขีดจำกัดของการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยความถี่ และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยเวลา ทำให้วิธีการเข้าถึงหลายทางเหล่านี้ไม่สามารถรองรับความต้องการเหล่านั้นได้ ระบบ DS-CDMA จึงมีบทบาทสำคัญต่อการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 มาตรฐานของแอร์-อินเทอร์เฟซในระบบ CDMA สำหรับการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 ซึ่งอยู่ในระหว่างพัฒนามีอยู่ด้วยกัน 2 มาตรฐานหลักๆ คือมาตรฐาน WCDMA ของยุโรปและญี่ปุ่น และมาตรฐาน Wideband cdmaOne (หรือในอีกชื่อหนึ่งคือ cdma2000) ของอเมริกาเหนือ โดยมาตรฐานเหล่านี้จะกำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้างแถบตั้งแต่ 5 MHz ขึ้นไป ดังนั้นในกรณีมาตรฐาน IS-95 ซึ่งมีแบนด์วิดเพียง 1.228 MHz จึงถูกเรียกเป็น CDMA แถบแคบ (narrowband CDMA) และมาตรฐานใหม่เหล่านี้ถูกเรียกเป็น CDMA แถบกว้าง (wideband CDMA) [5,6,7]

1.2 เครื่องรับแบบธรรมดา (Conventional Receiver)

เครื่องรับแบบธรรมดาที่ใช้ในระบบ DS-CDMA หรือที่เรียกกันว่าเครื่องรับแบบแมตช์ (matched filter) เมื่อใช้เครื่องรับแบบนี้ผู้ใช้แต่ละคนจะมองสัญญาณแทรกสอดหรือ MAI เหมือนกับเป็นสัญญาณรบกวนซึ่งไม่สามารถกำจัดออกไปได้ ดังนั้นในกรณีที่สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่น ๆ มีค่ามาก เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ไม่ดีในแง่ของอัตราความผิดพลาดสูง เป็นผลให้ต้องลดจำนวนผู้ใช้ในระบบลงเพื่อให้อัตราความผิดพลาดของเครื่องรับอยู่ในระดับที่ต้องการ

ปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ระดับสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆ มีค่ามาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่ผู้ใช้แต่ละคนอยู่ห่างจากสถานีฐานไม่เท่ากัน ส่งผลให้กำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่รับได้ที่เครื่องรับไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้เครื่องรับแบบธรรมดาที่มีประสิทธิภาพที่ดีจึงต้องมีการควบคุมกำลังส่งอย่างเข้มงวด เพื่อให้กำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่รับได้ที่เครื่องรับมีค่าเท่ากัน สำหรับมาตรฐานของการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 2 หรือ มาตรฐาน IS-95 ได้กำหนดให้ใช้เครื่องรับแบบแมตซ์นี้เท่านั้น

1.3 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser Detection)

สืบเนื่องจากระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดไคเรกต์ซีแควนซ์เป็นระบบที่ได้ รับการคาดหมายว่าจะถูกนำไปใช้เป็นแอร์-อินเตอร์เฟสสำหรับระบบใหม่ๆ ในอนาคต และก็เป็น ที่ทราบกันดีว่าระบบในยุคใหม่นี้ต้องการให้ความจุของระบบสูงกว่าระบบในรุ่นก่อนๆ ดังนั้น จึง ต้องหาวิธีที่จะเพิ่มความจุของระบบขึ้น ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปัจจัยที่มีผลต่อความจุของระบบ DS-CDMA ที่สำคัญคือปัญหาเรื่องการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้หรือสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คน อื่นที่เรียกว่า MAI ดังนั้น ในการเพิ่มความจุของระบบ DS-CDMA เพื่อให้สอดคล้องกับ ความต้องการความจุเพิ่มขึ้นของการสื่อสารในอนาคต จะต้องมีวิธีการกำจัดสัญญาณแทรกสอดที่มี ประสิทธิภาพ หนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือการใช้เครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ ซึ่งนำเอา ความรู้เกี่ยวกับผู้ใช้คนอื่นๆ ในเซลล์มากำจัด MAI ให้กับผู้ใช้แต่ละคนในเซลล์นั้นๆ และเครื่องรับ แบบมัลติยูสเซอร์นี้นอกจากจะถูกออกแบบให้กำจัด MAI ได้แล้วยังมีความทนทานต่อปรากฏการณ์ ใกล้-ไกลดีขึ้น ทำให้ลดปัญหาซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกลที่ทำให้ต้องทำการควบคุมกำลังส่ง อย่างเข้มงวดในระบบเซลล์ลูลาร์ CDMA ปัจจุบันอีกด้วย

สำหรับประวัติความเป็นมาในการศึกษาเกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันนั้น มีกล่าวถึงใน วิทยานิพนธ์ของ Juntti [8] สรุปได้ว่าแนวคิดของการใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันหรือเครื่องรับแบบมัลติ ยูสเซอร์แทนเครื่องรับแบบแมตซ์ที่ได้รับการเผยแพร่เป็นครั้งแรกเป็นมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชื่อ zero-forcing decorrelating detector ซึ่งเสนอ โดย Schneider ในปีค.ศ. 1979 และหลังจากนั้นก็มีการ วิจัยเกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันมาเรื่อยๆ แต่จุดที่ทำให้เกิดมีการสนใจอย่างกว้างขวางจะเกิดจาก เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (optimal receiver) ซึ่งเป็นมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่มีสมรรถนะในแง่ของ อัตราความผิดพลาดน้อยที่สุด ที่ถูกเสนอโดย Verdu [9] ในปีค.ศ. 1984 โดย Verdu ได้แสดงให้เห็น ว่าระบบ CDMA นั้นแท้จริงแล้วไม่ได้เป็นระบบที่ถูกจำกัดด้วยปัญหาสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ ใช้หรือปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกลดังที่เข้าใจกันมาแต่อย่างใด ทั้งสองประการนี้เป็นข้อจำกัดของ เครื่องรับแบบแมตซ์เท่านั้น ไม่ใช่ข้อจำกัดของระบบ CDMA

หลังจากนั้นเป็นต้นมา มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันก็ได้รับความสนใจอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดมีความซับซ้อนในการสร้างจริง รวมทั้งต้องการข้อมูลต่างๆ มากเกินกว่าที่จะนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ งานวิจัยเกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจึงมุ่งเน้นไปยังมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่มีสมรรถนะต่ำลงแต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า หรือที่นิยมเรียกกันว่าเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป (sub-optimum receiver) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดต่างๆ ได้ถูกเสนอขึ้น แต่ละชนิดต้องการข้อมูลที่ต่างกัน และมีความเหมาะสมในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ภาพรวมของหลักการของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทต่างๆ ที่มีผู้เสนอขึ้นจะเป็นดังนี้

1.3.1 เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimum receiver)

มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่เป็นเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดถูกเสนอโดย Verdu เป็นมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้หลักการของ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ในการหาลำดับของสัญญาณที่ส่งมา นั่นคือจะพิจารณาชุดของข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมดและถือว่าชุดของข้อมูลที่ทำให้ได้สัญญาณเหมือนลำดับของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดเป็นข้อมูลที่ใช้ส่งมา อย่างไรก็ตามแม้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทนี้จะมีสมรรถนะที่ดีมากแต่ก็มีข้อเสียคือ มีความซับซ้อนสูงมากรวมทั้งความซับซ้อนที่เพิ่มตามจำนวนผู้ใช้ในรูปแบบเอกซ์โปเนนเชียล และต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของผู้ใช้งานถึงระบบเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ไม่สามารถทำได้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปยังเครื่องรับซึ่งมีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังให้สมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์เป็นหลัก

1.3.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป (Sub-optimum receiver)

เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปเป็นเครื่องรับที่มีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดแต่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์รวมทั้งความซับซ้อนไม่ได้เพิ่มตามจำนวนผู้ใช้แบบเอกซ์โปเนนเชียล เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปสามารถแบ่งได้เป็นประเภทที่สำคัญ 2 ประเภท [10-19] คือแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น

1.3.2.1 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบเชิงเส้น

เครื่องรับชนิดนี้จะประกอบด้วยเครื่องรับแบบแมตซ์ของผู้ใช้ทุกคนในระบบ โดยสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตซ์ของผู้ใช้ทุกคนจะถูกนำมาผ่านกระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้น จากนั้น

ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปตัดสินใจบิต (bit decision) เครื่องรับชนิดนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของกระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่ใช้ ดังนี้

- **ดีคอรีเลเตอร์ (decorrelator)** เครื่องรับชนิดนี้ใช้กระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบสนองเป็นเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ (correlation matrix) ของสเปรคดิงโค้ดของผู้ใช้ทุกคนในระบบ เครื่องรับชนิดนี้ไม่ได้มีการนำผลของสัญญาณรบกวน (noise) มาพิจารณาด้วย ดังนั้นในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามาก เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ไม่ดี
- **เครื่องรับชนิดทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด (Minimum Mean Square Error (MMSE) receiver)** เครื่องรับชนิดนี้ใช้กระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบสนองเป็นอินเวอร์สของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของผู้ใช้รวมกับเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน เนื่องจากเครื่องรับชนิดนี้มีการพิจารณาผลของสัญญาณรบกวนด้วย ดังนั้นในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามาก เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะดีกว่าดีคอรีเลเตอร์ สำหรับในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อย เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับดีคอรีเลเตอร์

1.3.2.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบไม่เชิงเส้น

เครื่องรับชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วจะทำงานโดยการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ในระบบแล้วนำไปหักล้างออกจากสัญญาณโดยรวม (สัญญาณที่รับมาได้) สัญญาณที่ถูกหักล้างแล้วจะถูกนำไปสู่กระบวนการเพื่อตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ สมรรถนะของเครื่องรับชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ถ้ามีความถูกต้องมาก เครื่องรับชนิดนี้ก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีตามไปด้วย เครื่องรับที่มีการทำงานในลักษณะดังกล่าวและเป็นที่สนใจในงานวิจัยมีด้วยกัน 3 ชนิดคือ

- **เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (Multistage receiver หรือ Parallel Interference Cancellation (PIC))** หลักการของเครื่องรับแบบนี้คือการประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนออกมาก่อนในขั้นแรกโดยใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ แล้วนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการหักล้างการรบกวนของผู้ใช้คนอื่นๆ ออกจากสัญญาณโดยรวม ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ เครื่องรับชนิดนี้อาจจะเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรกโดยการเปลี่ยนเครื่องรับแบบแมตซ์เป็นดีคอรีเลเตอร์ หรือเครื่องรับชนิดทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองค่าผิดพลาดต่ำที่สุด รวมถึงการใช้วิธีอื่นๆ เช่นการถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาดร่วมด้วย

- **เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation (SIC))** หลักการของเครื่องรับแบบนี้คือ หาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังแรงที่สุดออกมาก่อนโดยใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ หลังจากนั้นหักล้างการรบกวนของผู้ใช้คนนี้ออกจากสัญญาณรวม และนำสัญญาณรวมที่ผ่านการหักล้างนี้ไปหาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดในบรรดาผู้ใช้ที่ยังไม่ได้ตรวจจับสัญญาณ โดยใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ เมื่อทำซ้ำกระบวนการเดิมไปเรื่อยๆก็จะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนออกมาอย่างต่อเนื่องกัน เครื่องรับชนิดนี้สามารถจะเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรกได้ด้วยวิธีเดียวกับที่ใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน
- **เครื่องรับแบบป้อนกลับ (Decision Feedback Receiver)** เป็นเครื่องรับที่ประกอบด้วยวงจรกรอง 2 วงจรได้แก่ วงจรกรองไปข้างหน้า และวงจรกรองป้อนกลับ โดยวงจรกรองไปข้างหน้ามีทำหน้าที่กำจัดผลของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าออกจากผู้ใช้ที่มีกำลังสูงกว่า ส่วนวงจรกรองป้อนกลับมีหน้าที่ป้อนผลการตัดสินใจบิตของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงกว่า เพื่อไปช่วยในการตัดสินใจบิตของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่า เครื่องรับชนิดนี้มีสมรรถนะที่ดีมากกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบอื่นๆ ทั้งหมด แต่เครื่องรับชนิดนี้ก็มีความซับซ้อนสูงมากเช่นกัน

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแต่ละแบบ

เครื่องรับ	ข้อดี	ข้อเสีย
ดีคอรี่เลเตอร์	ไม่ต้องทราบขนาดของสัญญาณที่มาถึง	<ul style="list-style-type: none"> ● ในภาวะสัญญาณรบกวนมากๆ จะมีสมรรถนะต่ำกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ ● ต้องทำการคำนวณอินเวอร์สมเมตริกซ์
เครื่องรับแบบลดค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาด	มีการคิดผลของสัญญาณรบกวนด้วย ทำให้ในภาวะสัญญาณรบกวนสูงๆ ได้ผลคล้ายเครื่องรับแบบแมตซ์ ส่วนในภาวะสัญญาณรบกวนต่ำจะได้ผลแบบดีคอรี่เลเตอร์	<ul style="list-style-type: none"> ● ต้องทราบขนาดของสัญญาณที่มาถึง ● ต้องทำการคำนวณอินเวอร์สมเมตริกซ์
เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง	<ul style="list-style-type: none"> ● เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริง เพราะจะเพิ่มฮาร์ดแวร์ (hardware) น้อยที่สุดในบรรดามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันทั้งหมด ● ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ 	<ul style="list-style-type: none"> ● กรณีที่ไม่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ใกล้ไกลและกรณี MAI ต่ำๆจะให้ BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ไม่มากนัก ● เกิดเวลาหน่วง โดยเฉพาะผู้ใช้คนที่ทำๆต้องรอนานมาก

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมัลติยูสเซอร์ตีเทกชันแต่ละแบบ (ต่อ)

เครื่องรับ	ข้อดี	ข้อเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> • กรณีที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ไกล์ไกล • หรือ MAI สูงๆ จะให้ BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบการหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน 	<ul style="list-style-type: none"> • ต้องมีการเรียงลำดับผู้ใช้ตามขนาดของสัญญาณในแต่ละชั้น
เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน	<ul style="list-style-type: none"> • เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริง • ความล่าช้าของบิต (bit delay) น้อย • ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ • กรณีที่ไม่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ไกล์ไกลหรือ MAI ต่ำๆ จะให้ BER ที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบการหักล้างการแทรกสอดอย่างอนุกรม • เมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับจะดีขึ้นตามไปด้วย 	<ul style="list-style-type: none"> • ความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น • ในกรณีที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ไกล์ไกล หรือกรณีที่ MAI สูงๆ ประสิทธิภาพของเครื่องรับจะไม่ดี • การประมาณสัญญาณแทรกสอดที่ขึ้นแรกมีความผิดพลาดสูง ส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดในชั้นถัดไปสูงตามไปด้วย
มัลติยูสเซอร์ตีเทกชันแบบป้อนกลับ	สมรรถนะสูงสุดในบรรดามัลติยูสเซอร์ตีเทกชันทั้งหมดถ้าทราบขนาดของสัญญาณที่มาถึงอย่างแม่นยำ ในทุกกรณีไม่ว่าในภาวะสัญญาณรบกวน และ MAI มากหรือน้อย	<ul style="list-style-type: none"> • ต้องทราบขนาดของสัญญาณที่มาถึง • ต้องคำนวณ cholesky decomposition และหาอินเวอร์สเมตริกซ์ • ต้องมีการเรียงลำดับผู้ใช้ตามขนาดของสัญญาณที่มาถึง

ข้อดีข้อเสียของมัลติยูสเซอร์ตีเทกชันแต่ละแบบแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดทั้งสองแบบจะให้ประสิทธิภาพเหนือกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆในเรื่องของความง่ายต่อการใช้งานจริงเนื่องจากมีความซับซ้อนของโครงสร้างน้อย ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกวิธีที่จะปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ซึ่งเป็นการนำเอาข้อเด่นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแต่ละแบบมารวมกัน ต่อจากนั้นจะเป็นการนำเอาเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานเพิ่มเข้าไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

1.4 ปัญหาของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแต่ละแบบ

เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดเป็นเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ที่ได้รับความนิยมจากชนิดหนึ่ง โดยมีบทความจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด เนื่องจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดเป็นเครื่องรับที่มีความซับซ้อนน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบอื่นๆ ขณะเดียวกันก็ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ แต่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดทั้งสองแบบมีข้อด้อยที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน จะให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง แต่ให้ค่าหน่วยเวลาที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องมาก ส่วนกรณีที่การควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน แต่ให้ข้อด้อยในเรื่องค่าหน่วยเวลาที่มากกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

1.5 วิธีการแก้ปัญหาที่มีผู้เสนอขึ้นมา

เนื่องจากข้อเด่นและข้อด้อยของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดทั้งสองแบบ ทำให้มีงานวิจัยที่เสนอเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมขึ้นมา โดยบางส่วนของเครื่องรับชนิดนี้จะเป็นการหักล้างอย่างขนาน และบางส่วนเป็นการหักล้างอย่างต่อเนื่อง เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมนี้จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน และจะมีค่าหน่วยเวลาในขบวนการน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่อง

D. Koulakiotis และ A.H. Aghvami [20] ได้เสนอเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานแล้วตามด้วยเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ค่าหน่วยเวลาที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง แต่ในกรณีที่ขนาดของสัญญาณที่รับที่สถานีฐานไม่เท่ากัน การทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่อยู่ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมจะให้ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร

S. Sun, L.K. Rasmussen, H. Sugimoto และ T.J. Lim [21] ได้เสนอเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม โดยใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องร่วมกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน แต่ก็ยังมีข้อด้อยในเรื่องความล่าช้าของบิตอันเนื่องมาจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

ขณะเดียวกัน ได้มีการนำเสนอเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน [23-26] เนื่องจากเครื่องรับแบบหัก

ล้างการแทรกสอดอย่างขนานแบบปกติจะหักล้างสัญญาณ โดยไม่มีตัวปรับเพื่อลดผลของสัญญาณแทรกสอด

1.6 แนวทางของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์นี้เสนอเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยใดนำเสนอเทคนิคดังกล่าว โดยได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพลักษณะการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมของ Koulakiotis and Aghvami ซึ่งใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานก่อนแล้วตามด้วยเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง ในช่องสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์

1.7 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน
2. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม

1.8 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ปรับปรุงเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมให้ดีกว่าแบบ hybrid 10-5-2
2. ลดความซับซ้อนของโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการในการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบขนานอย่างต่อเนื่อง และอย่างผสม
2. ทราบถึงเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน
3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม เพื่อนำไปใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรุ่นที่ 3

1.10 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

- 1) ศึกษา ค้นคว้าและเก็บรวบรวมกรรมวิธีต่างๆ ที่มีผู้เสนอขึ้นซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
 - ศึกษาเครื่องรับแบบปกติ หรือเครื่องรับแบบแมตซ์ที่ใช้ในระบบ DS-CDMA
 - ศึกษาเครื่องรับแบบเชิงเส้น
 - ศึกษาเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น
 - ศึกษาเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม
- 2) วิเคราะห์และทดสอบกรรมวิธีต่างๆ ในอดีต
 - วิเคราะห์หาข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละแบบ
 - วิเคราะห์ผลของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดที่เคยถูกเสนอในอดีต
 - หากกรรมวิธีที่จะใช้ในการปรับปรุงเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม
- 3) เขียน โปรแกรมจำลองเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแต่ละแบบ
- 4) นำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในส่วนเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่อยู่ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม
- 5) ทำการทดสอบ แก้ไข และประเมินระบบ
- 6) สรุป รวบรวมผลการวิจัยทั้งหมด พร้อมจัดทำเอกสารต่างๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์

1.11 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ มีเนื้อหาเกี่ยวกับความเป็นมาของวิทยานิพนธ์, ความสำคัญของปัญหา, ทัศนวิธานวรรณกรรม (Literature review), วัตถุประสงค์, ขอบเขตของงานวิจัย, ภาพรวมของวิทยานิพนธ์ และนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ เป็นต้น

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุของ MAI, แบบจำลองระบบของระบบ DS-CDMA ซึ่งสเปรดด้วยสเปรดคิงโค้ดแบบรหัสสั้น (short code), ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและวิธีการวัดค่าต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบรวมทั้งความหมายของค่าต่างๆ ที่วัดขึ้นมา

บทที่ 3 การปรับปรุงการหักล้างการแทรกสอดแบบผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานแบบขนาน เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีของเทคนิคการหักล้างบางส่วน

แบบขนานเพื่อนำมาปรับใช้กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม

บทที่ 4 ผลการวิจัย ในบทนี้จะเป็นส่วนของผลการวิจัยและการวิจารณ์สมรรถนะของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (Additive White Gaussian Noise, AWGN) และในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ (Rayleigh-fading channel)

บทที่ 5 บทสรุป จะสรุปเกี่ยวกับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

1.12 นิยามสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวเขียนเล็กแบบตัวบางจะหมายถึงสัญญาณในแต่ละเวลา หรือแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์หรือเวกเตอร์

สัญลักษณ์ที่แทนเวกเตอร์จะถูกพิมพ์ด้วยตัวพิมพ์เล็กแบบตัวหนา และสัญลักษณ์ที่แทนเมตริกซ์จะถูกพิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่แบบตัวหนา

และนิยามสัญลักษณ์ข้างบนนี้จะถูกใช้ไปตลอดทุกบทของวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุของ MAI แบบจำลองระบบของระบบ DS-CDMA ซึ่งสเปกตรัมด้วยสเปกตรัมได้ดัดแบบรหัสสั้น วิธีการวัดค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองระบบ รวมทั้งความหมายของค่าต่างๆที่วัดขึ้นมา ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่เกี่ยวข้อง และเทคนิคการหักล้างบางส่วน

2.1 สาเหตุของ MAI

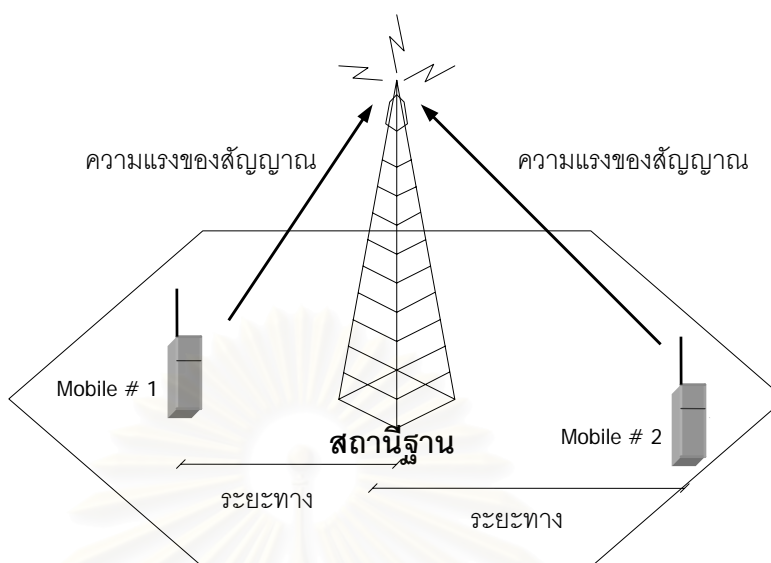
ในระบบ DS-CDMA ผู้ใช้ทุกคนจะส่งสัญญาณออกมาในช่วงความถี่ และเวลาเดียวกัน สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจึงรบกวนซึ่งกันและกัน การรบกวนดังกล่าวเรียกว่า MAI ระดับของ MAI นี้จะขึ้นอยู่กับค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross-correlation) ระหว่างสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนว่ามากหรือน้อยเพียงใด สิ่งที่มีผลต่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามดังกล่าวมากที่สุดก็คือสเปกตรัมได้ดัดของผู้ใช้แต่ละคนนั่นเอง

2.1.1 ปราบกฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far Effect)

ปราบกฏการณ์ใกล้-ไกลคือปราบกฏการณ์ที่ระดับของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนในระบบที่รับได้ที่เครื่องรับมีค่าไม่เท่ากัน ปราบกฏการณ์ใกล้-ไกลมักจะเกิดจากผู้ใช้แต่ละคนมีระยะห่างจากสถานีฐานไม่เท่ากัน ระยะห่างที่ไม่เท่ากันทำให้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนเกิดการลดทอนที่ไม่เท่ากัน สัญญาณของผู้ใช้ที่อยู่ใกล้เครื่องรับมากกว่าจะถูกลดทอนน้อยกว่า ในขณะที่สัญญาณของผู้ใช้ที่อยู่ไกลกว่าจะถูกลดทอนมากกว่า ดังรูปที่ 2.1

โดยทั่วไปแล้วค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้แต่ละคนจะไม่เท่ากับศูนย์เนื่องจากสภาพสิ่งแวดล้อมรวมทั้งความไม่สมบูรณ์ของสเปกตรัมได้ดัด ในกรณีนี้ปราบกฏการณ์ใกล้-ไกลจะส่งผลกระทบต่อระดับของ MAI มาก

การแก้ปัญหาปราบกฏการณ์ใกล้-ไกลทำได้โดยการควบคุมกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนเพื่อให้กำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่รับได้ที่เครื่องรับมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามการควบคุมกำลังส่งนี้มีความซับซ้อนสูงมาก



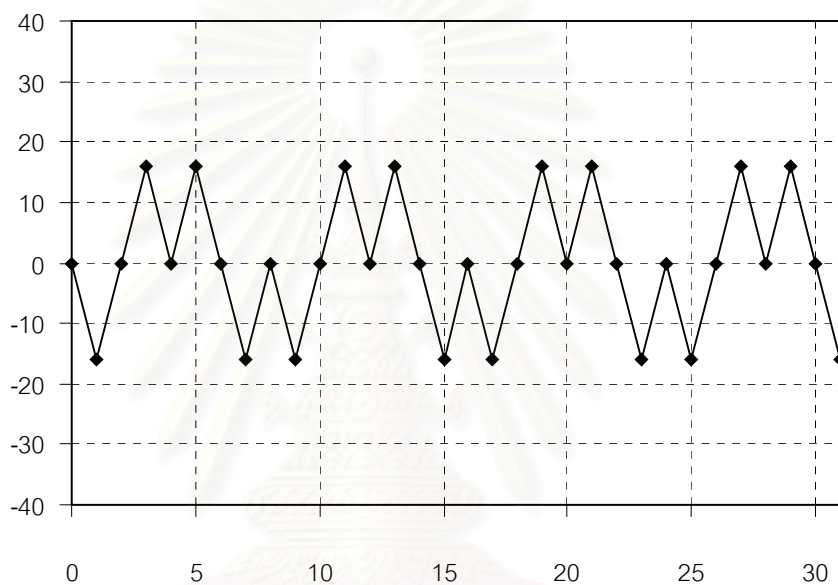
รูปที่ 2.1 ปรางภูมิการณ์ใกล้-ไกล

2.1.2 สเปรตติงโค้ด

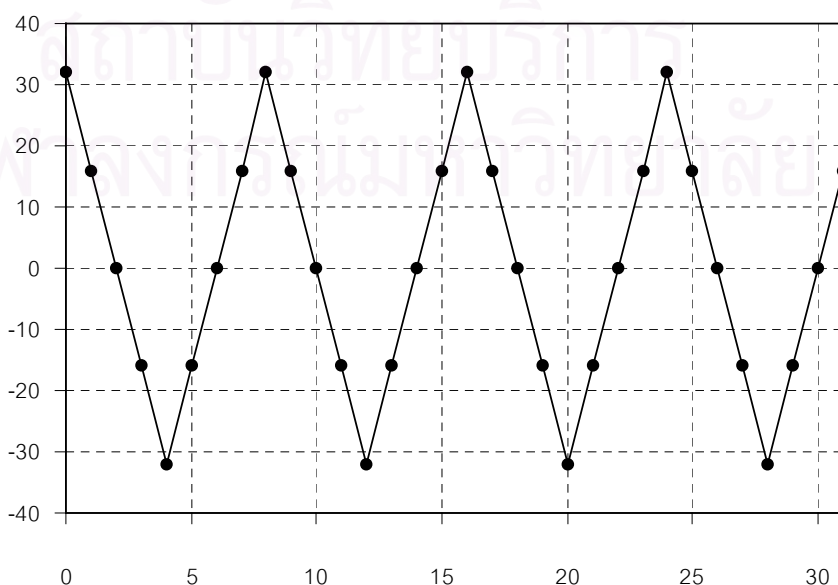
นอกจาก MAI จะเกิดจากปรางภูมิการณ์ใกล้-ไกลแล้วยังมีสาเหตุมาจากสเปรตติงโค้ด สเปรตติงโค้ดคือสิ่งที่ใช้แบ่งแยกผู้ใช้แต่ละคนในระบบ DS-CDMA ออกจากกัน สเปรตติงโค้ดที่ดีจะถูกออกแบบมาให้มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสในชุดรหัสเป็นศูนย์ หรือมีความตั้งฉากกัน โดยสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม สเปรตติงโค้ดดังกล่าวออกแบบได้ยาก มีจำนวนรหัสให้ใช้ได้จำกัด รวมทั้งความตั้งฉากอาจจะสูญเสียไปเนื่องจากสภาพแวดล้อม เช่น ค่าหน่วงเวลาที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น ดังนั้นสเปรตติงโค้ดบางประเภทจึงถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว สเปรตติงโค้ดที่ถูกเสนอใช้ในระบบ DS-CDMA มีด้วยกัน 2 ประเภทหลัก คือ [21]

- 1) **Orthogonal Code** เป็นรหัสไบนารีที่ในขณะที่ไม่มีการเลื่อนของรหัสจะมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีการเลื่อนของรหัสในบางกรณีจะทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสที่มีค่ามาก นอกจากนี้รหัสชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติทางสหสัมพันธ์ตัวเอง (auto-correlation) ที่ไม่ดี ตัวอย่างของรหัสที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ Hadamard Walsh Code และ Variable-length orthogonal sequence เป็นต้น

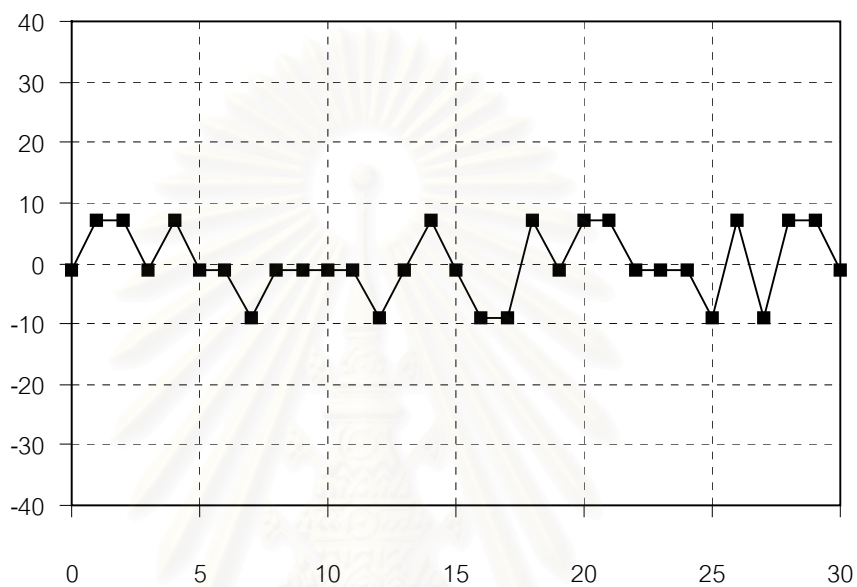
2) **Pseudorandom Noise-Sequence (PN Sequence)** เป็นรหัสไบนารีที่มีคุณสมบัติคล้าย สัญญาณรบกวนและมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสไม่เท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามค่าสหสัมพันธ์ ข้ามดังกล่าวจะมีค่าต่ำมากทั้งในกรณีที่มีการเลื่อนของรหัส และไม่มี การเลื่อนของรหัส นอกจากนี้รหัสนี้ยังมีคุณสมบัติทางสหสัมพันธ์ตัวเองที่ดีด้วย ตัวอย่างของรหัสที่จัดอยู่ใน ประเภหานี้ได้แก่ m-sequence (Maximal-length sequence), Gold code และ Kasami sequence เป็นต้น



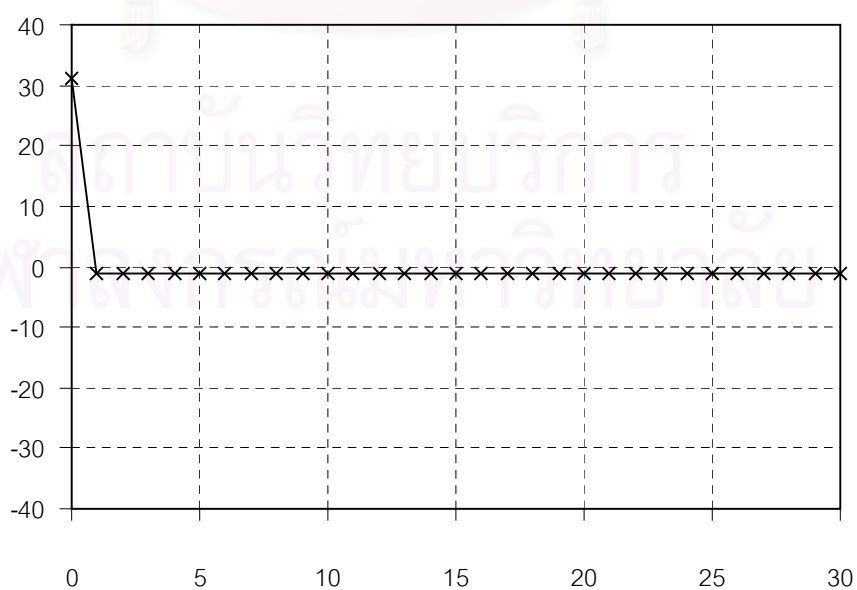
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง Orthogonal Code



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของ Orthogonal Code



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง PN Sequence



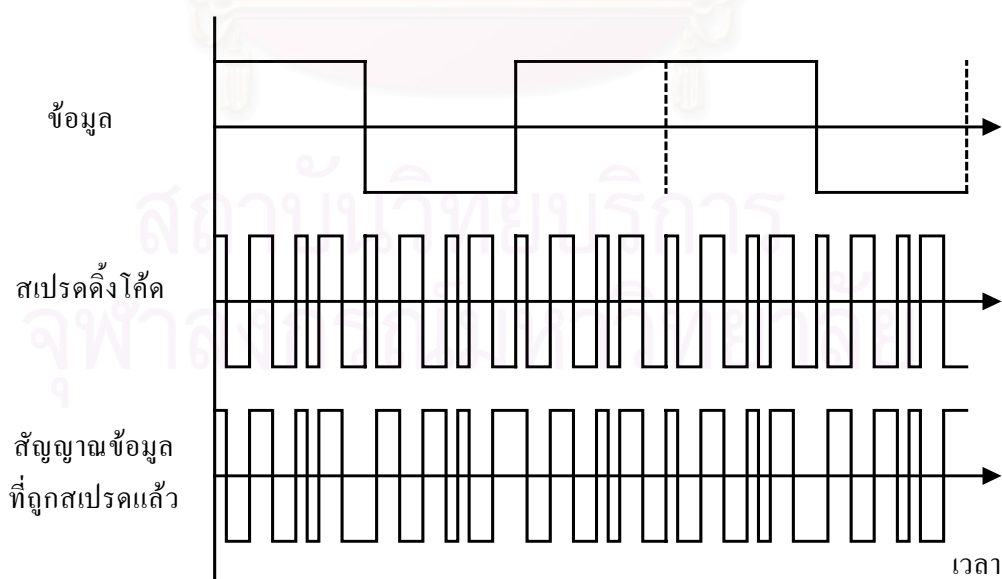
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของ PN Sequence

2.2 การสเปรดและดีสเปรด

การสเปรดและดีสเปรดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการสื่อสารข้อมูลในระบบ DS-SS การสเปรดเป็นขบวนการที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้ในการส่งข้อมูลของตนเองออกมา และการดีสเปรดเป็นขบวนการที่ใช้ที่เครื่องรับสำหรับประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่สนใจ

2.2.1 ขั้นตอนการสเปรด

ขั้นตอนในการสร้างสัญญาณเบสแบนด์ของผู้ใช้แต่ละคนเพื่อส่งออกในระบบ DS-SS จะเริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลของผู้ใช้แต่ละบิตไปคูณด้วยสเปรดคิงโค้ดของผู้ใช้คนนั้น ดังนั้นข้อมูล 1 บิต จะถูกกระจายออกมาเป็นข้อมูลที่มีจำนวนหลายบิต แต่ละบิตที่กระจายแล้วจะเรียกว่าชิพ (chip) ดังนั้นอัตราของบิตข้อมูลที่ถูกคูณแล้วจะสูงกว่าอัตราบิตของข้อมูลเดิมมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่าเกิดการแผ่ขยายของสเปกตรัมขึ้น และจึงเรียกกระบวนการนี้ว่าการสเปรด ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างขั้นตอนการสเปรดข้อมูล

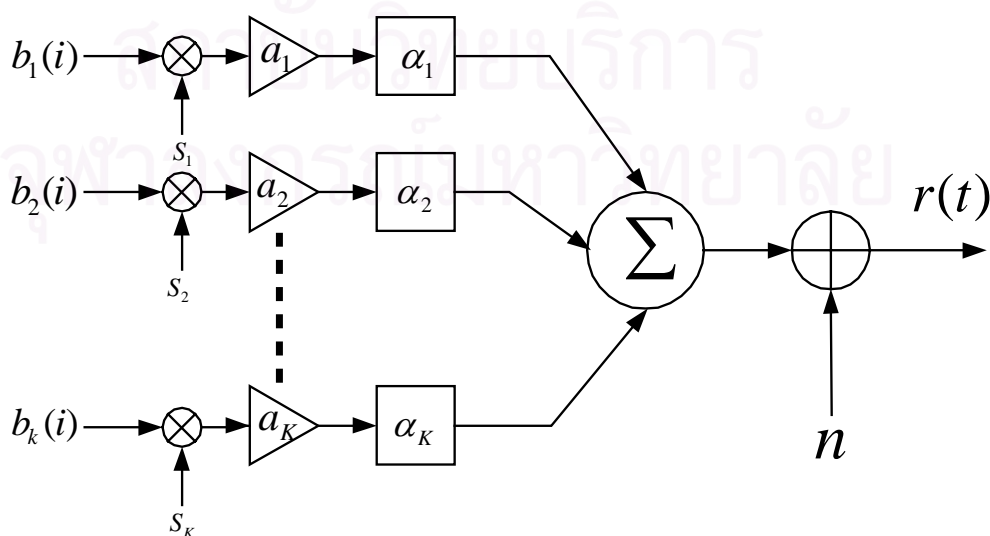
2.2.2 ขั้นตอนการดีสเปรด

เป็นขั้นตอนที่ใช้ในเครื่องรับแบบแมตซ์ซึ่งเป็นเครื่องรับแบบธรรมดาสำหรับระบบ DS-CDMA ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการรับสัญญาณที่ถูกสเปรดแล้วมาเป็นจำนวน 1 คาบของบิตข้อมูลปกติ จากนั้นก็นำมาคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (Correlate) ระหว่างสัญญาณดังกล่าวกับสเปรดดิคโค็ดของผู้ใช้คนที่สนใจ การหาค่าสหสัมพันธ์ทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับได้เข้ากับสเปรดดิคโค็ดตัวเดิมที่ใช้ในการสเปรดตอนส่งมา หลังจากนั้นหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณในหนึ่งคาบของบิตข้อมูลที่ต้องการ

2.3 แบบจำลองระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาระบบ DS-CDMA ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ (Rayleigh-fading channel) และการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (Additive White Gaussian Noise, (AWGN)) [20]

2.3.1 แบบจำลองระบบด้านส่ง



รูปที่ 2.7 แบบจำลองระบบด้านส่ง [28]

พิจารณาแบบจำลองการส่งแบบเบสแบนด์ในระบบ DS-CDMA ดังในรูปที่ 2.7 เป็นระบบเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการส่งแบบซิงโครนัสผ่านช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ และมีสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน กำหนดให้ผู้ใช้ในระบบมีจำนวนเท่ากับ K และให้ $r(t)$ เป็นสัญญาณที่รับได้สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน, $b_k(i)$ เป็นข้อมูลบิตที่ i ของผู้ใช้ลำดับที่ k ซึ่งมีคาบสัญลักษณ์เป็น T_b , a_k เป็นขนาดของสัญญาณของผู้ใช้ลำดับที่ k , α_k แทนขนาดของการลดทอนที่มีการกระจายแบบเรเลย์ (โดยสามารถที่จะดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ก) ของผู้ใช้ลำดับที่ k โดยผู้ใช้แต่ละคนจะมีค่า α_k ที่เป็นอิสระต่อกัน, c_k เป็นสเปกตรัมคิงโด้คของผู้ใช้ลำดับที่ k ซึ่งมีจำนวนชิฟเท่ากับ N_c มีคาบของชิฟเป็น T_c และ N_b แทนจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการส่ง สัญญาณรวมที่รับได้ที่เครื่องรับจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$r(t) = \sum_{i=0}^{N_b-1} \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot a_k b_k(i) \cdot p_k(t - iT_b) + n(t) \quad (2-1)$$

$$p_k(t) = \sum_{i=0}^{N_c-1} s_k(i) \cdot \chi(t - iT_c) \quad (2-2)$$

โดยที่ $\chi(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t \in [0, T_c] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$,

T_c เป็นคาบของชิฟ ($T_c = T_b / N_c$),

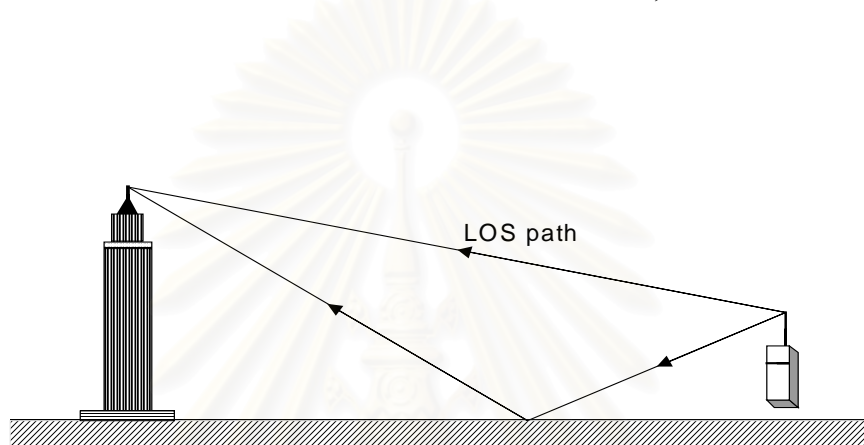
โดยที่ $s_k(i) \in \{-1, +1\}$

และ $n(t)$ เป็นสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเป็น σ^2

2.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

สำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียนและมีการลดทอนที่มีการกระจายแบบเรเลย์ (Rayleigh distribution) [3,25-29] โดยที่ไม่ได้คิดผลของคลื่นหลายวิถี เนื่องจากว่าการใช้ช่องสัญญาณที่มีการรบกวนของสัญญาณเกาส์เซียนอย่างเดียวไม่เหมาะที่จะใช้ในทางปฏิบัติ เพราะว่าในสภาพความเป็นจริง การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านตัวกลางต้องมีการลดทอนของสัญญาณที่ส่งมาด้วย ซึ่งจะส่งผลให้สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานถูกลดทอนไป ในทางปฏิบัตินิยมใช้ช่องสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ เนื่องจากลักษณะการกระจายของสัญญาณในตัวอาคารและในตัวเมืองส่วนใหญ่จะมีรูปแบบดังกล่าว [25]

การกระจายแบบเรเลย์จะเป็นการกระจายของสัญญาณที่ไม่มีเส้นทางของคลื่นสัญญาณที่เดินทางโดยตรงจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้หรือจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน ซึ่งเรียกเส้นทางนี้ว่า Line of Sight (LOS) แต่จะมีเฉพาะเส้นทางที่คลื่นสัญญาณสะท้อนกับพื้นผิว ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานหรือเครื่องลูกข่ายจะมีขนาดลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของสัญญาณตอนขาส่ง แต่ในกรณีที่มีเส้นทางเดินของสัญญาณโดยตรงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานหรือจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายด้วย จะเรียกการกระจายแบบนี้ว่า การกระจายแบบไรเซียน (Rician distribution) [3,25]



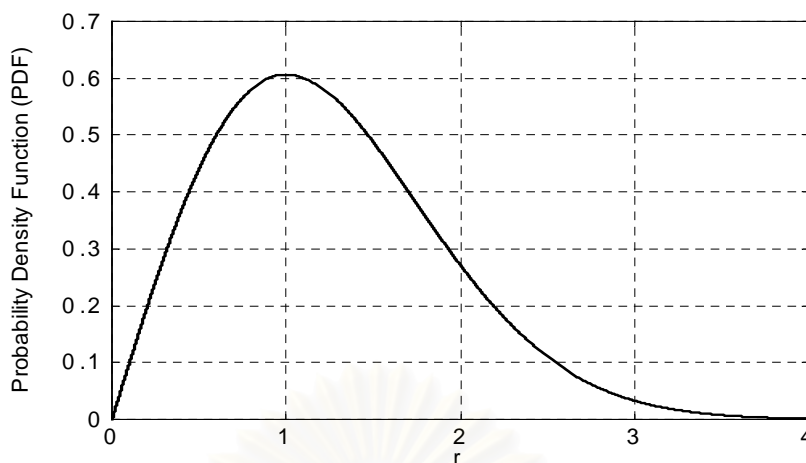
รูปที่ 2.8 เส้นทางการเดินทางของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน

สำหรับ probability density function ของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ (สามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ก) จะมีค่าเป็น

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, 0 \leq r \leq \infty \quad (2-3)$$

$$= 0, r < 0$$

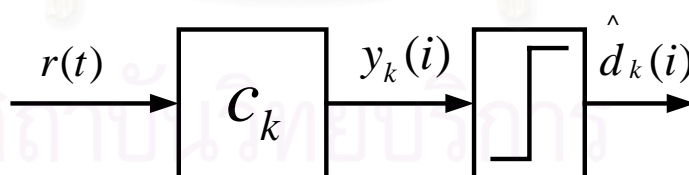
โดยที่ r เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเรเลย์ (Rayleigh distribution) และมีค่าความแปรปรวนเป็น σ^2



รูปที่ 2.9 probability density function ของการกระจายแบบเรเลย์ ($\sigma^2 = 1$)

2.3.3 แบบจำลองระบบทางด้านรับ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปยังเครื่องรับที่ต้องการทราบสเปกตรัมโด๊ปดของผู้ใช้คนที่สนใจเพียงคนเดียวเท่านั้น ดังนั้นแบบจำลองระบบทางด้านรับจึงเป็นแบบจำลองที่พิจารณาเครื่องรับที่ทราบสเปกตรัมโด๊ปดของผู้ใช้คนที่สนใจเท่านั้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แบบจำลองระบบด้านรับ

การตัดสินใจบิตข้อมูล $b_k(i)$ ทำให้สามารถได้ข้อมูล $\hat{d}_k(i)$ ดังนี้

$$\hat{d}_k(i) = \text{sgn}(y_k(i)) \quad (2-4)$$

$$y_k(i) = \int_{iT_b}^{iT_b+T_b} r(t)c_k(t)dt \quad (2-5)$$

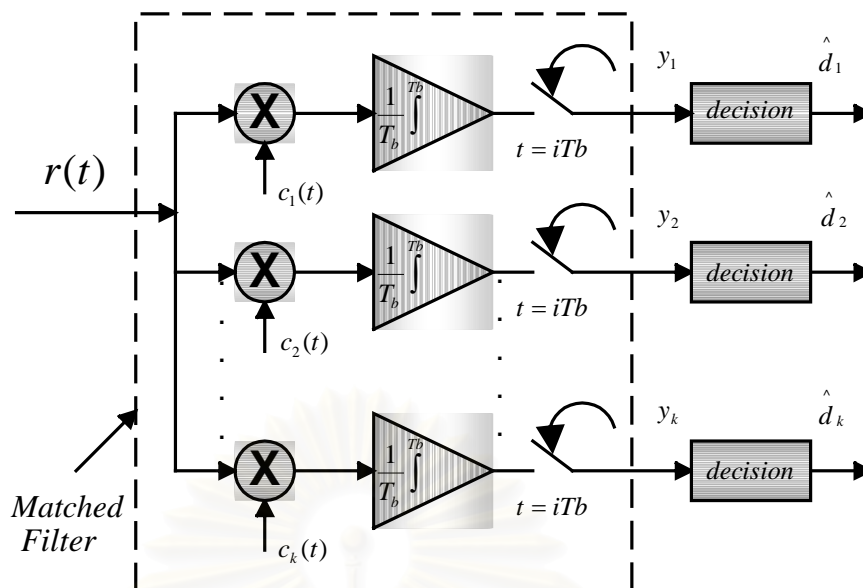
โดย $c_k(t)$ คือ ผลตอบของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k และ $y_k(i)$ คือสัญญาณออกจากเครื่องรับสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k ในช่วงคาบเวลาที่ i

2.4 เครื่องรับแบบแมตช์ (Matched Filter)

เครื่องรับแบบแมตช์เป็นเครื่องรับที่ใช้กันโดยทั่วไปในระบบ DS-SS-SSM ดังรูปที่ 2.11 สำหรับเครื่องรับแบบแมตช์ ค่าผลตอบของเครื่องรับ $c_k(t)$ ในสมการที่ (2-4) จะถูกกำหนดให้เท่ากับสเปกตรัมของข้อมูลของผู้ใช้ลำดับที่ k ($p_k(t - iT_b)$) ถ้ากำหนดให้ผู้ใช้ลำดับที่ 1 เป็นผู้ใช้ที่สนใจ โดยการกระจายสมการ (2-5) ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนที่ 1 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 y_1(i) = & a_1 b_1(i) \int_{iT_b}^{iT_b+T_b} p_1(t - iT_b) p_1(t - iT_b) dt \\
 & + \sum_{k=2}^K a_k b_1(i) \int_{iT_b}^{iT_b+T_b} p_1(t - iT_b) p_k(t - iT_b) dt \\
 & + \int_{iT_b}^{iT_b+T_b} p_1(t - iT_b) n(t) dt
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

จากสมการที่ (2-6) พจน์แรกเป็นบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่สนใจส่งมา พจน์กลางเป็น MAI จากผู้ใช้คนอื่น ๆ และพจน์สุดท้ายเป็นสัญญาณรบกวนที่ผ่านเครื่องรับแบบแมตช์ จากสมการที่ (2-4) เครื่องรับแบบแมตช์จะตัดสินใจบิตที่ i จากสัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนที่สนใจตามสมการที่ (2-6) โดยตรง จะเห็นได้ว่า MAI จะมีผลต่อการตัดสินใจบิตเนื่องจากเครื่องรับแบบแมตช์จะพิจารณาว่า MAI เป็นสัญญาณรบกวนซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องรับชนิดนี้จึงถูกจำกัดโดย MAI



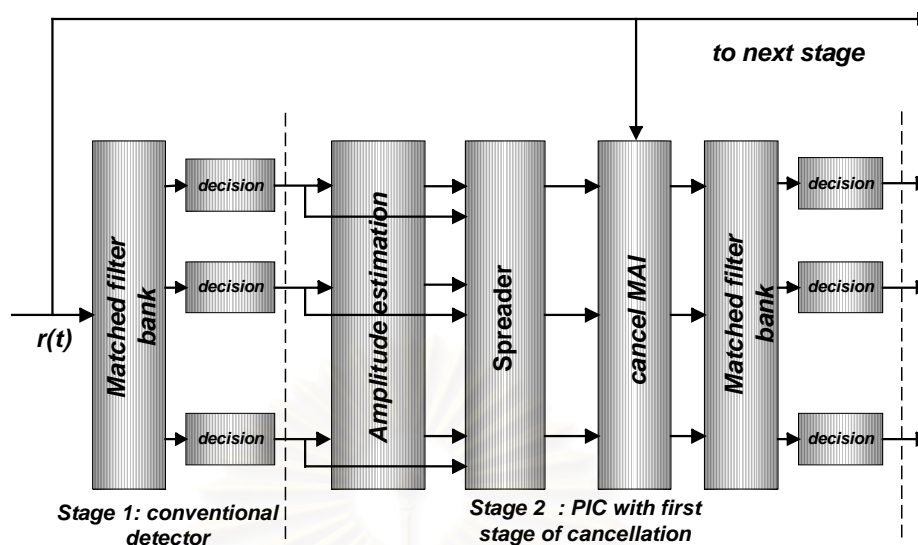
รูปที่ 2.11 เครื่องรับแบบแมตช์

2.5 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด (Interference Cancellation Receiver)

เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องรับแบบแมตช์ ซึ่งมองสัญญาณ MAI เหมือนกับสัญญาณรบกวน ทำให้เครื่องรับแบบนี้ถูกจำกัดด้วย MAI ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเครื่องรับมัลติยูสเซอร์ขึ้น เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดก็เป็นเครื่องรับแบบหนึ่งในเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ ซึ่งมีข้อดีในเรื่องความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดจะมีความซับซ้อนที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับมัลติยูสเซอร์แบบอื่นๆ [11,12,14,17]

2.5.1 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (Parallel Interference Cancellation Receiver, PIC)

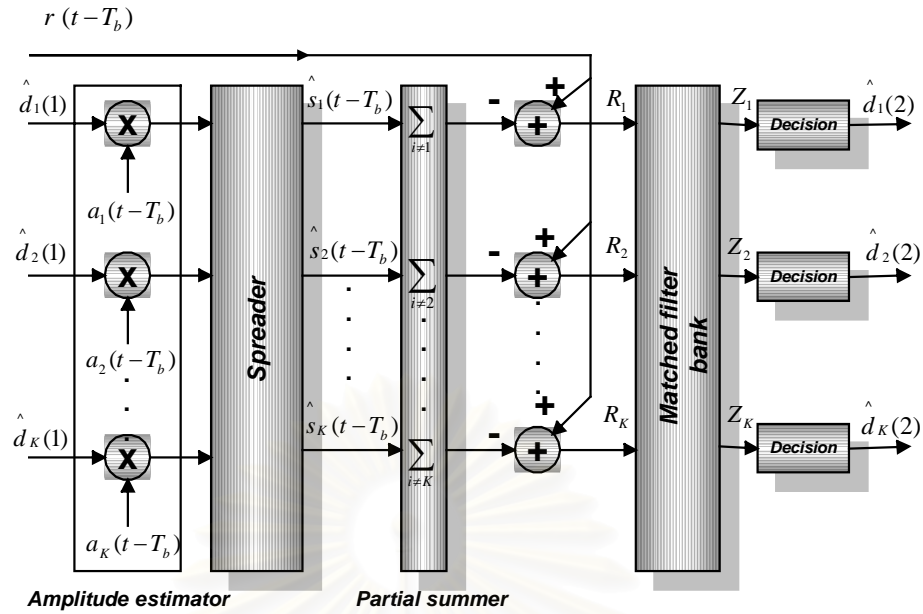
โครงสร้างการหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ได้ถูกเสนอโดย M.K. Varanasi และ B. Aazhang [14] พิจารณาโครงสร้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในรูป 2.12 ซึ่งเป็นเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่มี 2 ชั้น (stage) โดยชั้นแรกจะไม่มีหักล้างของสัญญาณแต่อย่างใด แต่จะใช้เครื่องรับแบบแมตช์ในการประมาณขนาดของสัญญาณเพื่อนำค่าที่ประมาณได้ไปใช้ในชั้นถัดไป



รูปที่ 2.12 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (2 ชั้น)

ในกรณีที่ต้องการจะให้เครื่องรับชนิดนี้มีจำนวนชั้นของการหักล้างมากขึ้น ก็เพียงนำลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกับในชั้นที่สองมาต่อไปเรื่อยๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งการเพิ่มจำนวนชั้นของการหักล้างให้มากขึ้นจะส่งผลให้เครื่องรับชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

สำหรับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน จะมีหลักการทำงานคือการประมาณและการหักล้างสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ในระบบแบบขนานก่อนที่จะทำการหักล้างสัญญาณแทรกสอดนั้นเพื่อให้ได้สัญญาณของผู้ใช้คนที่ต้องการ ซึ่งจะมีข้อดีในเรื่องของค่าหน่วยเวลาของการประมาณการบิตที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องอย่างมาก ในรูป 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยสามารถที่จะเขียนขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานได้ดังนี้คือ



รูปที่ 2.13 โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

- 1) เมื่อใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ในการประมาณสัญญาณในขั้นแรก (first stage) จะทำให้ได้บิตข้อมูลที่ประมาณได้เป็น $\hat{d}_1(1), \hat{d}_2(1), \dots, \hat{d}_K(1)$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการของการตัดสินใจบิตข้อมูลที่ i ของผู้ใช้คนที่ k ได้

$$\hat{d}_k(i) = \text{sgn}(y_k(i)) \quad (2-7)$$

- 2) จากนั้นนำเอาข้อมูล $\hat{d}_k(1)$ ที่ประมาณได้ของผู้ใช้คนที่ k จากขั้นแรกนี้คูณกับขนาดของสัญญาณที่ประมาณการได้ $a_k(t-T_b)$ ที่ได้จากการใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ในการประมาณขนาดของสัญญาณที่รับได้
- 3) ทำการสร้างสัญญาณใหม่โดยใช้สเปรดดิ้งโค้ด $c_k(t-T_b)$ ของผู้ใช้แต่ละคนที่รู้แล้วคูณเข้ากับสัญญาณของตัวเอง จะทำให้สัญญาณใหม่ที่ทำการสเปรดแล้วเป็น $\hat{s}_k(t-T_b)$ โดยสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\hat{s}_k(t-T_b) = \hat{d}_k(t-T_b)a_k(t-T_b)c_k(t-T_b) \quad (2-8)$$

- 4) นำสัญญาณใหม่ที่ได้อ่านผ่านตัวรวมสัญญาณ โดยจะรวมสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ที่ไม่ใช่ของตัวเอง ต่อจากนั้นก็นำสัญญาณที่ได้ไปทำการหักล้างสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณของตัวเอง โดยจะเห็นว่าเมื่อต้องการให้ได้สัญญาณของผู้ใช้คนใด ก็จะนำสัญญาณของผู้ใช้คน

อื่นๆ ที่ไม่ใช่ของตัวเองไปทำการลบออกจากสัญญาณที่รับได้ ก็จะทำได้สัญญาณของตัวเอง ดังนั้นสามารถที่จะเขียนสมการได้เป็น

$$R_k = r(t - T_b) - \sum_{i \neq k}^K \hat{s}_i(t - T_b) \quad (2-9)$$

- 5) หลังจากทำการหักล้างสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณของตัวเองแล้ว ก็จะนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านเครื่องรับแบบแมตซ์ แล้วทำการตัดสินใจต่อไป ทำให้ได้ค่าที่ประมาณได้เป็น $\hat{d}_k(2)$ ซึ่งเป็นข้อมูลบิตที่ได้ในขั้นที่สองของผู้ใช้คนที่ k แต่เป็นขั้นแรกของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ต่อจากนั้นข้อมูลที่ประมาณได้นี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นถัดไป

ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ K และ s เป็นจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน จะได้ว่าเมตริกซ์ของการตัดสินใจ $Z_{k,j}^{(s+1)}$ สำหรับบิตที่ j ของผู้ใช้คนที่ k หลังจากการหักล้างสัญญาณในชั้นที่ s สามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$Z_{k,j}^{(s+1)} = \int_{jT}^{(j+1)T_b} R_k^s(t) c_k(t) dt \quad (2-10)$$

ดังนั้นสัญญาณที่รับได้ R_k^s หลังจากทำการหักล้างในชั้นที่ s สามารถเขียนได้เป็น

$$R_k^s = r(t) - \sum_{i \neq k}^K \hat{s}_i^s(t) \quad (2-11)$$

$$\hat{s}_i^s(t) = c_i(t) \sum_{j=-\infty}^{\infty} Z_{i,j}^s p_T(t - jT_b) \quad (2-12)$$

โดยที่ $\hat{s}_i^s(t)$ แทนสัญญาณที่สร้างใหม่ที่ได้จากการประมาณการข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้คนที่ i ในชั้นที่ s

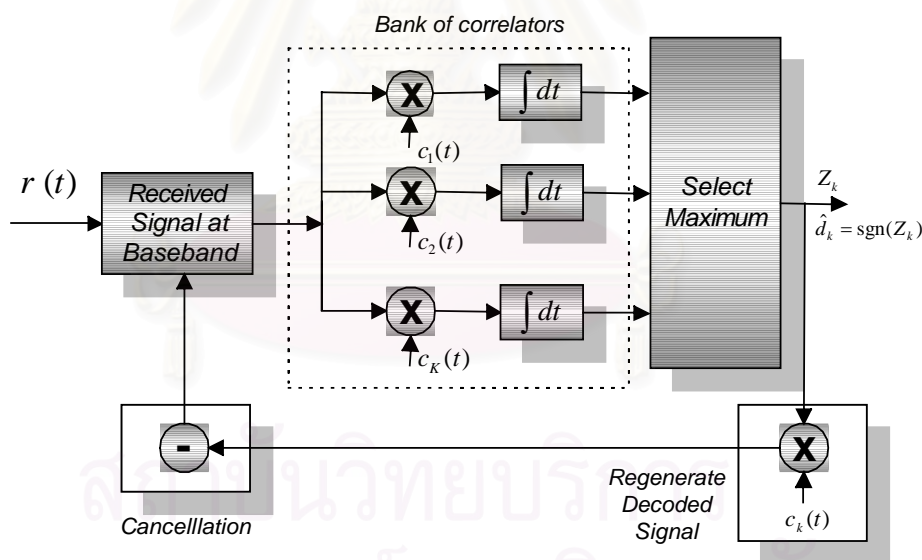
สำหรับการคิดจำนวนของการหักล้างในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยทั่วไปใน 2 ชั้น คือ $K * (K - 1)$ [20] โดยที่ชั้นแรกจะไม่มีหักล้างของสัญญาณ และถ้าเครื่องรับชนิดนี้มีจำนวนชั้นทั้งหมดเป็น $s + 1$ แล้วสามารถที่จะคำนวณจำนวนการหักล้างของเครื่องรับชนิดนี้ได้เป็น

$$\text{จำนวนของการหักล้างของ PIC (s + 1 ชั้น)} = s * K * (K - 1) \quad (2-13)$$

ความล่าช้าของบิต (bit delay) ที่ใช้ในการประมวลผลของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยทั่วไป จะมีค่าไม่ถึง 1 บิต (few bit) ต่อการดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานทั่วไปจนสมบูรณ์ [11,24]

2.5.2 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation Receiver, SIC)

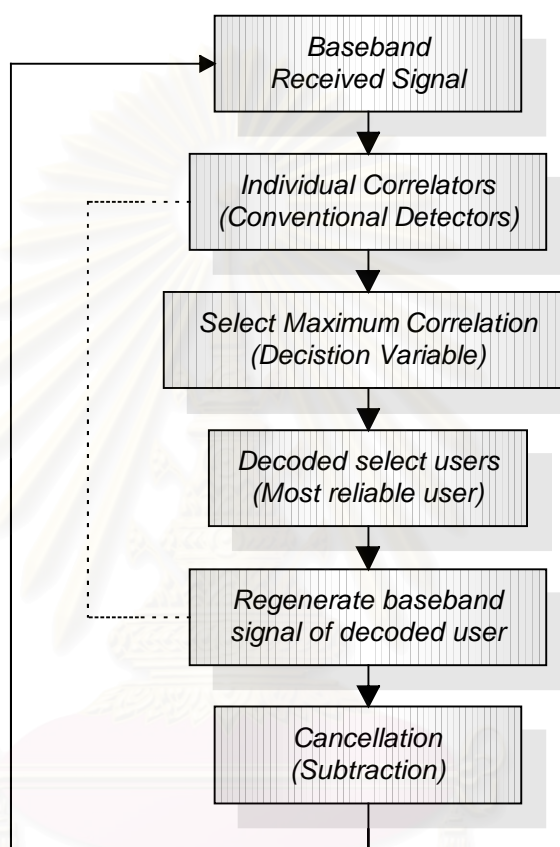
สำหรับโครงสร้างการหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องนี้ได้ถูกนำเสนอโดย P. Patel และ J. Holtzman [17] ซึ่งได้เสนอเครื่องรับชนิดนี้ในการที่จะลดปัญหาของปรากฏการณ์ใกล้-ไกล เนื่องจากเมื่อเกิดปัญหาใกล้-ไกล ขนาดของสัญญาณของผู้ใช้จะไม่เท่ากัน โดยผู้ใช้ที่มีสัญญาณที่แรงกว่าจะไปรบกวนผู้ใช้ที่สัญญาณที่อ่อนกว่า ทำให้มีผลต่อการประมาณสัญญาณของผู้ใช้ที่มีความแรงของสัญญาณที่อ่อนกว่า นั่นก็คือว่าต้องกำจัดผลของสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากผู้ใช้คนที่มีกำลังของสัญญาณแรงที่สุดก่อนและผู้ใช้คนอื่นๆ ที่มีกำลังของสัญญาณแรงลงไปตามลำดับ จนกว่าจะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ทั้งหมดออกมา ขณะเดียวกันโครงสร้างของเครื่องรับชนิดนี้ต้องมีลักษณะของโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนง่ายต่อการสร้างในทางปฏิบัติ เนื่องจากว่าโครงสร้างของเครื่องรับส่วนใหญ่จะมีความซับซ้อน



รูปที่ 2.14 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องสำหรับผู้ใช้ทั้งหมด K

ลักษณะโครงสร้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องสามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 โดยแสดงให้เห็นการทำงานของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้ทั้งหมด K ในรูปนี้แสดงให้เห็นภาพรวมในการดำเนินการเพื่อให้ได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ทั้งหมดออกมา โดยที่จะทำการ

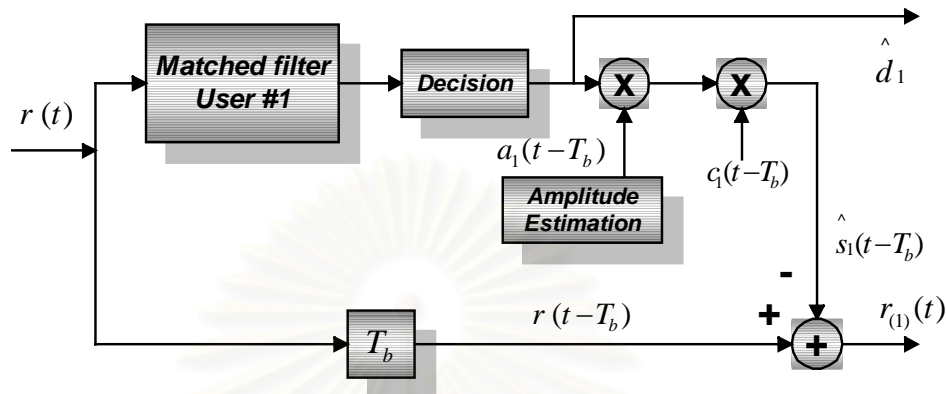
ประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่ละคนจนกว่าจะได้ผู้ใช้ทั้งหมดออกมา และทุกครั้งที่น่าสัญญาณที่ได้ไปหักล้างกับสัญญาณที่รับได้ ก็จะมีการประมาณขนาดสัญญาณใหม่ทุกครั้ง เพื่อเลือกค่าของสัญญาณที่มีขนาดสูงที่สุดไปใช้ในขั้นถัดไป โดยขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

สำหรับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเป็นเครื่องรับที่มีหลักการทำงานคือ การกำจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณแรงที่สุดก่อน เนื่องจากว่าผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณแรงที่สุดนั้นจะมีสัญญาณแทรกสอดที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้คนอื่นๆที่มีกำลังของสัญญาณน้อยกว่า ซึ่งจะส่งผลให้การประมาณข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสัญญาณน้อยกว่าเกิดความผิดพลาด ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับลดลง โดยโครงสร้างของเครื่องรับชนิดนี้ สามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 จากรูปจะแสดงเพียง 1 ชั้นของการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง โดยจำนวนชั้นของการหักล้างจะขึ้นอยู่กับจำนวน

ของผู้ใช้ ซึ่งหมายถึงว่าในการหักล้างผู้ใช้ 1 คนก็จะใช้ 1 ชั้นในการหักล้าง โดยขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับชนิดนี้สามารถเขียนได้ดังนี้คือ



รูปที่ 2.16 โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องกรณีผู้ใช้ 1 คน

- 1) ตรวจจับสัญญาณของผู้ใช้ที่แรงที่สุดก่อนด้วยเครื่องรับแบบทั่วไป โดยการนำสัญญาณที่รับได้มาเข้าเครื่องรับแบบแมตซ์ แล้วทำการจัดลำดับสัญญาณของผู้ใช้ตามลำดับความแรงของสัญญาณ โดยสมมุติให้กำลังสัญญาณของผู้ใช้คนแรกมีกำลังของสัญญาณแรงที่สุด และผู้ใช้คนสุดท้ายมีกำลังสัญญาณน้อยที่สุดตามลำดับ
- 2) นำสัญญาณของผู้ใช้คนที่มีกำลังของสัญญาณแรงที่สุดผ่านเครื่องรับแบบแมตซ์ โดยในที่นี้กำหนดให้ผู้ใช้คนแรกมีกำลังสัญญาณแรงสุด ต่อจากนั้นก็ทำการตัดสินใจ ซึ่งจะได้ข้อมูลบิตของผู้ใช้คนที่แรกออกมา นั่นก็คือได้ \hat{d}_1 ออกมา โดยสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\hat{d}_1 = \text{sgn}\left(\int^{T_b} r(t)c_1(t)dt\right) \quad (2-14)$$

- 3) สร้างสัญญาณใหม่ โดยใช้ข้อมูลของผู้ใช้คนแรกที่อยู่แล้ว คือ ขนาดของสัญญาณที่ประมาณการได้ของผู้ใช้คนแรก (a_1) และสเปรดคิงโค้ดของผู้ใช้คนแรก (c_1) จะทำให้ได้สัญญาณที่สร้างใหม่เป็น

$$\hat{s}_1(t-T_b) = \hat{d}_1 a_1(t-T_b) c_1(t-T_b) \quad (2-15)$$

- 4) ทำการหักล้างสัญญาณ $\hat{s}_1(t-T_b)$ จากสัญญาณที่รับได้ $r(t-T_b)$ ซึ่งจะทำได้สัญญาณ $r_{(1)}(t)$ ดังสมการที่ (2-16) และถ้าหากว่าการประมาณการ $\hat{s}_1(t-T_b)$ ในข้อ 3) ถูกต้องแล้ว สัญญาณ $r_{(1)}(t)$ ที่ได้จะเป็นสัญญาณรวมของผู้ใช้คนที่ 2 ถึงคนสุดท้าย ซึ่งจะไม่

สัญญาณของผู้ใช้คนแรกเข้ามาเกี่ยวข้องกับเลย นั่นก็คือไม่มีผลของสัญญาณแทรกสอดเนื่องจากผู้ใช้คนแรก

$$r_{(1)}(t) = r(t - T_b) - \hat{s}_1(t - T_b) \quad (2-16)$$

- 5) กระบวนการนี้จะทำต่อไปจนได้ข้อมูลของผู้ใช้คนสุดท้ายออกมา ซึ่งก็หมายถึงว่าจะได้ข้อมูล d_1, d_2, \dots, d_K ออกมานั่นเอง

สำหรับจำนวนของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง จะคิดจากจำนวนของผู้ใช้ในระบบ ดังนั้นหากมีจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ K แล้ว สามารถคำนวณจำนวนการหักล้างได้เป็น

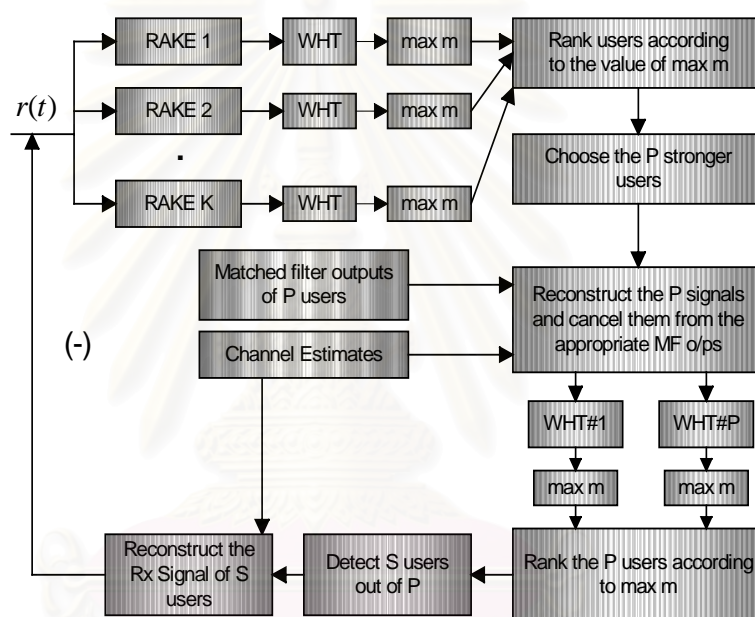
$$\text{จำนวนของการหักล้างของ SIC} = K - 1 \quad (2-17)$$

ในการคิดค่าความล่าช้าของบิต (bit delay) ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง สามารถคิดได้จากจำนวนผู้ใช้ K โดยความล่าช้าของบิตต่อ 1 ชั้นคือ 1 บิต ดังนั้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ K ก็จะมีจำนวนของความล่าช้าของบิตเท่ากับ K ด้วย [11,20,23]

2.5.3 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม (Hybrid Interference Cancellation Receiver, HIC)

เครื่องรับชนิดนี้เป็นเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดที่นำเอาข้อเด่นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องมารวมกัน เนื่องจากว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ข้อเด่นในเรื่องค่าหน่วยเวลาของบิตที่ใช้ในการประมวลสัญญาณมีค่าน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง และในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์แล้ว เครื่องรับชนิดนี้ก็จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ในขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องก็จะให้ข้อดีในเรื่องการแก้ปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกล ในกรณีที่การควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ดังนั้นในการสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าต้องการที่แก้ปัญหาเรื่องใดก่อน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาก็ได้มีการนำเอาเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบใดแบบหนึ่งขึ้นก่อนแล้วให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอีกแบบหนึ่งทำงานต่อจากเครื่องรับแบบแรก

D. Koulakiotis และ A.H. Aghvami [20] ได้เสนอโครงสร้างเครื่องรับแบบเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ที่ใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานก่อนเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีความล่าช้าของบิตที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องมาก และอีกส่วนหนึ่งก็คือมีแนวคิดที่ว่า แทนที่จะนำสัญญาณของผู้ใช้ทั้งหมดผ่านเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องทั้งหมด ก็นำสัญญาณของผู้ใช้บางส่วนผ่านเครื่องรับทั้งสองแบบ ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมีความล่าช้าของบิตลดลง โดยลักษณะโครงสร้างของเครื่องรับนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสมที่

เสนอ โดย D. Koulakiotis และ A.H. Aghvami

สำหรับขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมดังรูปที่ 2.17 นี้ จะมีรูปแบบเป็น K-P-S (P และ $S < K$) โดยที่ K แทนจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐาน P แทนจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน และ S แทนจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ คือ

- 1) หลังจากที่ได้รับสัญญาณ $r(t)$ เข้ามา สัญญาณที่รับได้จะผ่านเข้า Rake Receivers ซึ่งเป็นเครื่องรับแบบแมตซ์ ทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่ k เนื่องจากคลื่นหลายวิถีของผู้ใช้คนที่ k

- 2) หลังจากนั้นใช้ Walsh Hadamard Transform (WHT) ในการหาข้อมูลที่ส่งมาและขนาดความแรงของสัญญาณ
- 3) จัดลำดับความแรงของสัญญาณจากค่า WHT ที่หาได้
- 4) เลือกสัญญาณของผู้ใช้จำนวน P ที่มีขนาดความแรงสัญญาณมากกว่าผู้ใช้อื่นๆ ที่เหลือ $K-S$ เพื่อเข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน
- 5) หลังจากได้สัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานแล้ว ให้ทำการรวมสัญญาณของผู้ใช้ P ใหม่ เพื่อหาขนาดความแรงของสัญญาณโดยใช้ Walsh Hadamard Transform (WHT)
- 6) ทำการเลือกผู้ใช้ S จาก P ที่มีขนาดความแรงของสัญญาณมากที่สุดเพื่อเข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง
- 7) นำสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องไปหักล้างกับสัญญาณที่รับได้ $r(t)$
- 8) กระบวนการนี้จะทำจนกระทั่งได้ผู้ใช้ทั้งหมด K ออกมา

สำหรับจำนวนของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม สามารถที่จะคิดได้จากจำนวนของผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน P และจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง S ได้เป็น

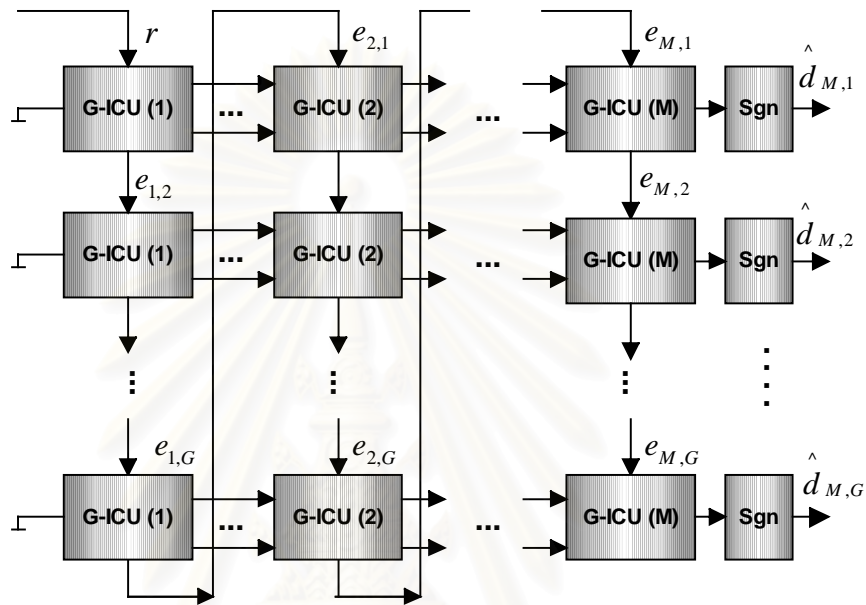
$$\text{จำนวนของการหักล้างของ HIC} = \sum_1^{\text{total_No_of_loops}} (S + P * (P - 1)) \quad (2-18)$$

ในการคิดค่าความล่าช้าของบิตของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม จะคิดเหมือนกรณีของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องตามที่ได้กล่าวข้างต้นไปแล้ว นั่นคือ

$$\text{ความล่าช้าของบิตของ HIC} = \text{total_No_of_loops} + \text{fewer} \quad (2-19)$$

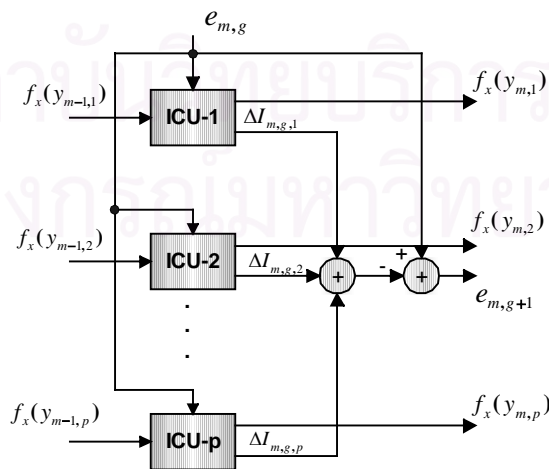
โดยที่ *fewer* อ้างอิงจาก [20,24]

S. Sun, L.K. Rasmussen, H. Sugimoto และ T.J. Lim [21] ได้เสนอเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม โดยใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องร่วมกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เพื่อแก้ปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกล แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้ความล่าช้าของบิตเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนกลุ่ม G มากขึ้น โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



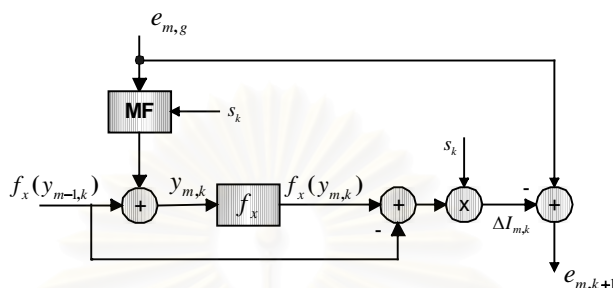
รูปที่ 2.18 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสมที่เสนอ

โดย S. Sun, L.K. Rasmussen, H. Sugimoto และ T.J. Lim



รูปที่ 2.19 โครงสร้างภายในของ G-ICU ที่ g สำหรับขั้นที่ m

พิจารณาโครงสร้างโดยรวมของเครื่องรับแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างผสมในรูปที่ 2.18 จะพบว่าประกอบไปด้วย G-ICU โดยลักษณะโครงสร้างภายในของ G-ICU แสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งโครงสร้างภายในแต่ละ G-ICU จะประกอบไปด้วย ICU ย่อยๆ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในของ ICU สำหรับผู้ใช้งานที่ k ในขั้นที่ m

ในรูปที่ 2.18 เครื่องรับแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างผสมจะประกอบไปด้วย G-ICU ทั้งหมด G กลุ่ม และ M ขั้น โดยแต่ละกลุ่มจะมีการดำเนินการแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างขนาน ในขณะที่ระหว่างกลุ่มจะมีการดำเนินการแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง นั่นก็คือ ถ้ากำหนดให้มีจำนวนกลุ่มเพียงกลุ่มเดียว ($G = 1$) จะเป็นเครื่องรับแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างขนาน และถ้ากำหนดให้มีจำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนผู้ใช้ ($G = K$) จะเป็นเครื่องรับแบบห้ก้ากลางการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

สำหรับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องรับในรูปที่ 2.18 สามารถที่จะอธิบายได้ดังนี้

- 1) นำสัญญาณที่รับได้ $r(t)$ เข้าดำเนินการใน G-ICU ที่มีทั้งหมด G กลุ่ม โดยผู้ใช้จะถูกดำเนินการในแต่ละกลุ่มที่กำหนดในจำนวนที่เท่ากัน จากรูปที่ 2.19 ผู้ใช้จะถูกเข้าดำเนินการภายในแต่ละ G-ICU เป็นจำนวนเท่ากับ p (ICU-1 ถึง ICU- p)
- 2) ภายในแต่ละ G-ICU จะประกอบไปด้วย ICU สำหรับผู้ใช้จำนวน p เพื่อใช้ในการประมวลสัญญาณที่รับได้มา ($e_{m,g}$) และสร้างสัญญาณแทรกสอด ($I_{m,g,p}$) ใหม่โดยใช้สเปคตริงโค้ด s_k ของผู้ใช้คนที่ k รวมถึงค่า mapping function ($f_x(y_{m,p})$) เพื่อใช้ในขั้นถัดไป ดังรูปที่ 2.19 และ 2.20 ซึ่งเป็นการดำเนินการอย่างขนาน
- 3) สัญญาณแทรกสอดที่ประมวลการได้ในแต่ละ ICU ในแต่ละ G-ICU จะถูกนำมารวมกันและไปลบกับสัญญาณที่รับได้ $r(t)$ หรือ $e_{m,g}$ ผลที่ได้ก็คือ สัญญาณที่เหลือ (residual signal, $e_{m,g+1}$) จากการห้ก้ากลาง ซึ่งจะถูกใช้ในกลุ่มถัดไป โดยเป็นการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

- 4) กระบวนการที่ประมาณและหากล้างอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องนี้จะทำจนกระทั่งถึงกลุ่มและขั้นสุดท้าย ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ค่า $\hat{d}_{M,1}$ ถึง $\hat{d}_{M,G}$

2.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

M.K. Varanasi และ B. Aazhang [22] ได้เสนอในการนำเครื่องรับแบบดีคอร์เรเลเตอร์มาใช้ที่ชั้นแรกของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เนื่องจากว่าที่ชั้นแรกของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานใช้เครื่องรับแบบเครื่องรับแบบแมตซ์ในการประมาณสัญญาณที่รับได้แล้วก่อนทำการตัดสินใจบิตข้อมูล ซึ่งถ้าหากว่าเกิดการประมาณบิตข้อมูลผิดพลาดแล้วก็จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณบิตข้อมูลในขั้นถัดไปด้วย ดังนั้นแทนที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานกลับทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานลดลง ถึงแม้ว่าเครื่องรับแบบดีคอร์เรเลเตอร์จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบทั่วไป แต่การใช้เครื่องรับแบบดีคอร์เรเลเตอร์ก็ยังมีข้อด้อยในเรื่องการหาเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสเปกตรัมได้ของผู้ใช้ทุกคนในระบบ ทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลอย่างมากเมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น

ขณะเดียวกันได้มีการนำเสนอเทคนิคการหากล้างบางส่วนในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนาน [23-26] เนื่องจากการหากล้างการแทรกสอดแบบขนานโดยทั่วไปจะใช้การตัดสินใจในแบบ tentative decision และไม่มีตัวปรับน้ำหนัก (weighting factor) ก่อนที่จะทำการหากล้างที่แต่ละชั้น ส่งผลให้ในขั้นถัดไปของการหากล้างมีสัญญาณแทรกสอดจำนวนมากอันเนื่องมาจากการสะสมของชั้นก่อนหน้า ทำให้อัตราความผิดพลาดของข้อมูลเพิ่มขึ้น

D.Divsalar และ M.K. Simon [23,24] ได้เสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยการใส่ระดับเทรสโพลด์ในการตัดสินใจที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีขึ้น

N. S. Correal, R. M. Buehrer และ B. D. Woerner [25] ได้เสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยใช้ค่าเศษส่วนของการหากล้างที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 มาใช้ในการลดระดับสัญญาณแทรกสอดที่ประมาณการได้เพื่อป้องกันผลของการประมาณบิตข้อมูลที่ผิดพลาดในขั้นแรกที่จะส่งผลให้เกิดการตัดสินใจบิตข้อมูลในผิดพลาดในขั้นถัดไป ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีขึ้นกว่าเดิม

P.Shan และ T.S. Rappaport [26] ได้เสนอวิธีในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่เหมาะสมมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีขึ้นกว่าการไม่ได้ใช้เศษส่วนของการหักล้าง

2.7 วิธีการวัดสมรรถนะและความหมายของตัววัดสมรรถนะต่างๆ

2.7.1 BER (Bit Error Rate) หรือ BEP (Bit Error Probability)

ตามปกติแล้วค่าที่แสดงถึงสมรรถนะของระบบที่สนใจจะถูกแสดงอยู่ในรูป Bit Error Rate (BER) หรือ Bit Error Probability (BEP) เมื่ออยู่ในสถานะต่างๆ เช่น เมื่อ SNR เปลี่ยนไป หรือจำนวนผู้ใช้เปลี่ยนไป เป็นต้น ซึ่งจะคิดจากว่าเมื่อส่งบิตข้อมูลออกไปจำนวนหนึ่งแล้วจะมีค่าความผิดพลาดของบิตที่ส่งเป็นเท่าไร

2.7.2 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio, SNR)

ค่า SNR เป็นสิ่งที่ใช้บอกความรุนแรงของการรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณของผู้ใช้ ค่า SNR สำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k มีหน่วยเป็น dB แสดงได้โดย

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{N_c a_k^2}{\sigma^2} \right) \quad (2-20)$$

โดย N_c แทนจำนวนชิพของสเปรูดิงโค้ดที่ใช้

A_k^2 แทนกำลังของสัญญาณของผู้ใช้ลำดับที่ k

σ^2 แทนกำลังของสัญญาณรบกวน

บทที่ 3

การปรับปรุงการหากล้างการแทรกสอดแบบผสมโดยใช้เทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบขนาน

เครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างผสมเป็นเครื่องรับที่ใช้เครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานร่วมกับเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยทั่วไปจะใช้การตัดสินใจบิตข้อมูลแบบหยาบ (tentative decision) และไม่มีตัวปรับน้ำหนัก (weighting factor) ในการปรับระดับของสัญญาณที่เหมาะสมเพื่อลดสัญญาณหากล้างการแทรกสอดอันเนื่องมาจากระหว่างผู้ใช้ ทำให้สัญญาณแทรกสอดในขั้นถัดไปของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับไม่ดีเท่าที่ควร เหมือนดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอเทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบขนานเพื่อใช้ในการลดสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิดนี้ดีขึ้น ขณะเดียวกันก็จะนำเทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบขนานไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างผสมด้วย โดยการนำเทคนิคนี้ในเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างผสม

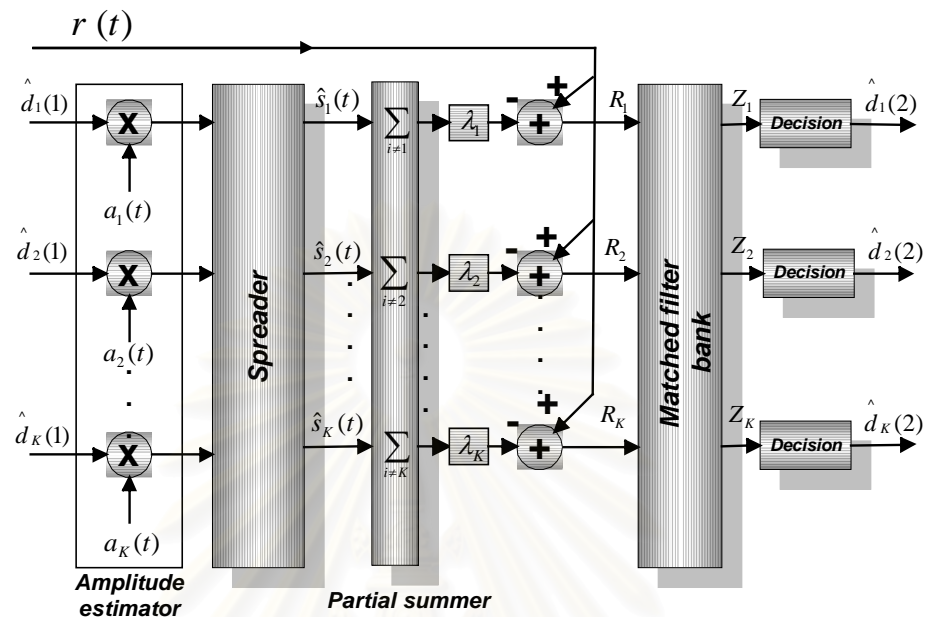
3.1 เทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบขนาน

พิจารณาโครงสร้างเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ใช้เทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบขนาน ดังรูปที่ 3.3 จะพบว่ามีความแตกต่างจากโครงสร้างเครื่องรับแบบหากล้างการแทรกสอดอย่างขนานตรงส่วนของการนำสัญญาณที่ประมาณการได้ $\hat{s}_k(t)$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ประมาณการได้ของผู้ใช้คนที่ k คูณเข้ากับค่า λ_k ก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้ไปหักล้างกับสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน $r(t)$ โดยสามารถเขียนสมการของสัญญาณที่รับได้หลังจากทำการหากล้าง R_k^s ซึ่งเป็นสัญญาณที่ประมาณการได้ในขั้นที่ s เป็น

$$R_k^s = r(t) - \lambda_k^{(s)} \sum_{i \neq k}^K \hat{s}_i^s(t) \quad (3-1)$$

โดยค่า $\lambda_k^{(s)}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง และค่า $\lambda_1^{(s)}, \lambda_2^{(s)}, \dots, \lambda_K^{(s)}$ ที่คูณเข้ากับสัญญาณที่ประมาณการได้ $\hat{s}_k(t)$ นี้จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในการใช้เทคนิคการหากล้างบางส่วนแบบ

ขนาน จำเป็นที่จะต้องหาค่า $\lambda_k^{(s)}$ ที่แต่ละขั้นของเครื่องรับก่อนที่จะนำค่าที่ได้มาใช้กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน

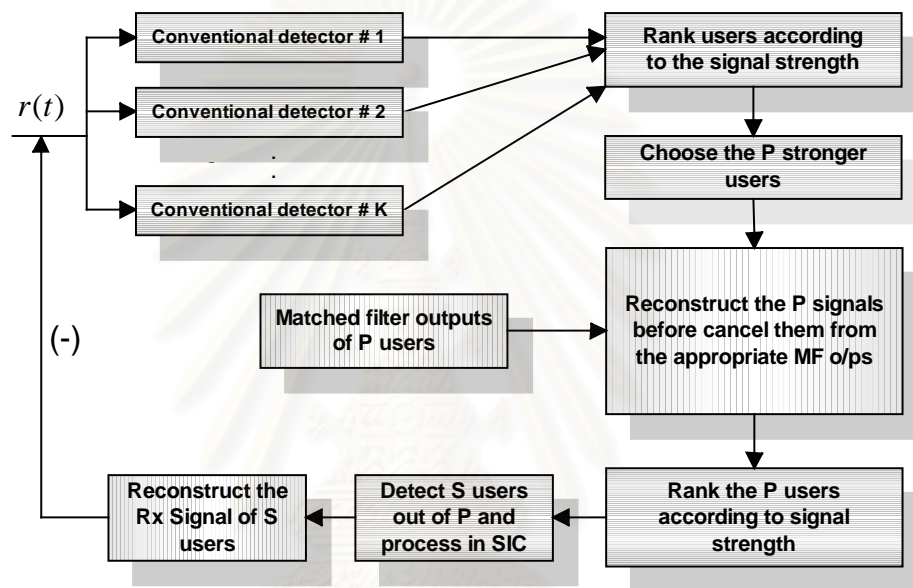
สำหรับการคิดจำนวนการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานนี้ ก็จะคิดเหมือนกันกับโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เนื่องจากไม่ได้มีการเพิ่มเติมโครงสร้างใดๆ ให้กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยทั่วไป

3.2 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม

พิจารณาโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานก่อนแล้วตามด้วยเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม โดยที่ จะมีความแตกต่างจากโครงสร้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมที่เสนอโดย D. Koulakiotis และ A.H. Aghvami [20] ตรงส่วนที่ไม่ได้ใช้เครื่องรับแบบ RAKE แต่จะใช้เครื่องรับแบบทั่วไปแทน เนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของคลื่นหลายวิถี และในส่วนที่ใช้ Walsh Hadamard Transform (WHT) แต่จะใช้รหัสแบบสุ่มแทน เนื่องจากว่าการใช้รหัสแบบสุ่มมี

ค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่สูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำเทคนิคต่างๆ มาแก้ปัญหาสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้

ขั้นตอนการทำงานของโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในรูปที่ 3.2 จะมีรูปแบบเป็น K-P-S (P และ $S < K$) โดยที่ K แทนจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐาน P แทนจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและ S แทนจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ คือ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม

- นำสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน $r(t)$ เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบทั่วไปซึ่งจะเป็นเครื่องรับแบบแมตซ์แล้วทำการตัดสินใจบิตข้อมูลที่ได้ โดยจะมีเครื่องรับแบบแมตซ์เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด K เพื่อประมาณขนาดของสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้คนที่ k โดยสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตซ์ของผู้ใช้คนที่ k สามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$Z_k = \int^{T_b} r(t)c_k(t)dt \quad (3-2)$$

โดย $c_k(t)$ แทนสปรดคิงโค้ดของผู้ใช้คนที่ k และจะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่ k เป็น

$$\hat{d}_k = \text{sgn}(Z_k) = \text{sgn}\left(\int^{T_b} r(t)c_k(t)dt\right) \quad (3-3)$$

- 2) จัดลำดับผู้ใช้ตามความแรงของสัญญาณโดยคำนวณจากขนาดของสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบทั่วไป สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$A_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_c \cdot N_b} |(Y_n \cdot D_n)|}{N_c \cdot N_b} \quad (3-4)$$

โดยที่ $A_n = [a_1 \cdots a_K]$ แทนเมตริกซ์ของขนาด $1 \times K$ ของสัญญาณของผู้ใช้คนที่ k $Y_n = [y_1 \cdots y_K]^T$ แทนเมตริกซ์ขนาด $K \times N_b$ ของสัญญาณของผู้ใช้ที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตซ์ก่อนทำการตัดสินใจ และ $D_n = [d_1 \cdots d_K]^T$ แทนเมตริกซ์ขนาด $K \times N_b$ ของบิตข้อมูลของผู้ใช้ N_c แทนจำนวนชิพในช่วงคาบ T_c และ N_b แทนจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการส่ง

- 3) นำสัญญาณที่ประมาณการได้จำนวน P คนที่มีขนาดของสัญญาณสูงกว่าผู้ใช้อื่นๆ ที่เหลือ (K-S) เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยก่อนจะเข้าเครื่องรับจะทำการสร้างสัญญาณใหม่ของผู้ใช้จำนวน P ก่อน โดยใช้บิตข้อมูล \hat{d}_k และขนาดของสัญญาณที่ประมาณการได้ \hat{a}_k ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ทำการคูณเข้ากับสปรอดิงโค้ดของตัวเอง สัญญาณรวมก่อนเข้าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานสามารถแสดงได้เป็น

$$\hat{r}_p(t) = \sum_{k=1}^P \hat{a}_k \hat{d}_k c_k(t) \quad (3-5)$$

- 4) นำสัญญาณรวมที่ได้ $\hat{r}_p(t)$ เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานตามจำนวนผู้ใช้ที่ได้กำหนดไว้ โดยจำนวนของการหักล้างในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน สามารถแสดงได้เป็น

$$\text{จำนวนของการหักล้างของ PIC } (s+1 \text{ ชั้น}) = s * P * (P-1) \quad (3-6)$$

- 5) หลังจากดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเรียบร้อยแล้ว จะทำให้ได้บิตข้อมูล \hat{d}_k และขนาดของสัญญาณที่ประมาณการได้ \hat{a}_k จากขั้นสุดท้ายของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

- 6) เลือกผู้ใช้จำนวน S ที่มีขนาดของสัญญาณแรงที่สุดออกจากผู้ใช้ P คนแล้วทำการสร้างสัญญาณใหม่โดยค่าที่ประมาณการได้ในขั้นตอนที่ 5 ดังแสดงได้เป็น

$$\hat{r}_S(t) = \sum_{k=1}^S \hat{a}_k \hat{d}_k c_k(t) \quad (3-7)$$

- 7) นำสัญญาณรวมที่ได้ $\hat{r}_S(t)$ เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องตามจำนวนผู้ใช้ S ที่ได้กำหนดไว้
- 8) ทำการรวมสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเพื่อทำการหักล้างกับสัญญาณที่ได้รับได้ $r(t)$

สำหรับจำนวนของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมสามารถที่จะคิดได้จากจำนวนของผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักการแทรกสอดอย่างขนาน P และจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง S ได้เป็น

$$\text{จำนวนของการหักล้างของ HIC} = \sum_1^{\text{total_No_of_loops}} (S + P * (P - 1)) \quad (3-8)$$

โดยที่จำนวนของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในสมการ (3-8) จะอ้างถึงสมการใน [20] โดยให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยทั่วไปในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมีจำนวน 2 ชั้น แต่ถ้าในกรณีที่ต้องการให้จำนวนชั้นในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีจำนวนมากขึ้นแล้ว สามารถที่จะเขียนสมการจำนวนการหักล้างของ HIC ได้เป็น

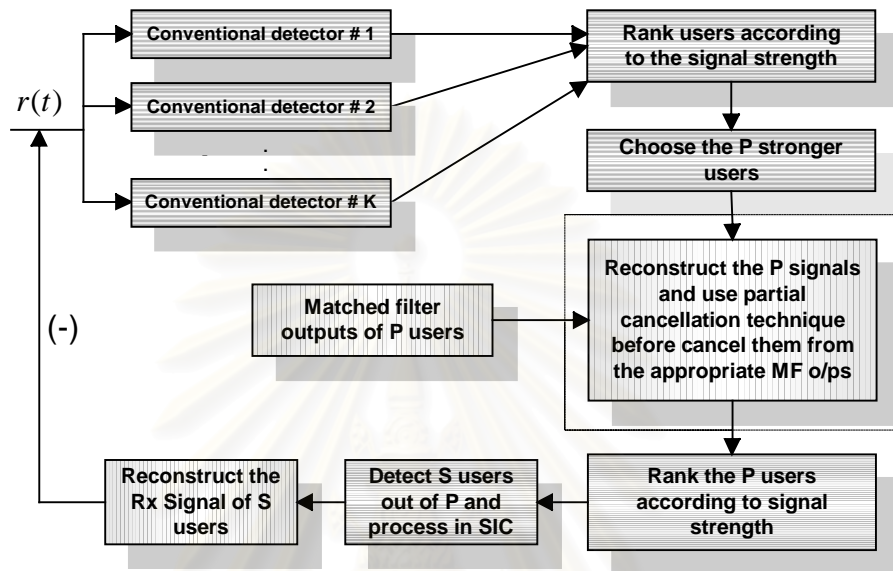
$$\text{จำนวนของการหักล้างของ HIC โดยทั่วไป (s+1 ชั้น)} = \sum_1^{\text{total_No_of_loops}} (S + s * P * (P - 1)) \quad (3-10)$$

โดยที่ $s+1$ เป็นจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

3.3 โครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างการหักล้างบางส่วนแบบขนาน

พิจารณาโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในรูปที่ 3.3 จะพบว่าแตกต่างจากโครงสร้างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในรูปที่ 3.2 เพียงในส่วนที่เป็นบล็อกที่เป็นการทำงานของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (ตรงส่วนที่เป็นเส้นประ) ซึ่งจะเพิ่มเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานเข้าไป

สำหรับจำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานนั้น จะคิดเหมือนกับสมการ (3-10) เนื่องจากว่าไม่ได้มีการเพิ่มฮาร์ดแวร์ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องแต่อย่างใด



รูปที่ 3.3 โครงสร้างเครื่องรับการหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน

ในการเปรียบเทียบจำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสม สามารถที่จะสรุปได้ดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับการหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ

เครื่องรับ	SIC	PIC (s+1 ชั้น)	HIC (s+1 ชั้น)
จำนวนของการหักล้าง	$K - 1$	$s * K * (K - 1)$	$\sum_1^{total_No_of_loops} (S + s * P * (P - 1))$
ความล่าช้าของบิต	K	<i>few</i>	<i>total_No_of_loops + fewer</i>

โดยที่ *few* และ *fewer* อ้างอิงจาก [20,24]



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นส่วนของผลการวิจัยและวิจารณ์สมรรถนะของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ โดยการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะพิจารณาสมรรถนะของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน, อย่างต่อเนื่อง และอย่างผสม ในสถานะต่างๆ กัน ขณะเดียวกันก็จะนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสม โดยจะพิจารณาในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน และในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนของสัญญาณแบบเรเลย์

เนื้อหาในบทนี้จะแบ่งเป็น 3 หัวข้อหลัก ได้แก่ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ การหาค่าเศษส่วนของการหักล้าง การนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ

4.1 ระบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

ในการจำลองระบบเพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ จะตั้งสมมุติฐานดังนี้ คือ

1. การควบคุมกำลังส่ง

- กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ หมายถึง สัญญาณของผู้ใช้ทุกคนมาถึงด้านรับด้วยขนาดของสัญญาณเท่ากัน
- กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ หมายถึง สัญญาณของผู้ใช้ทุกคนมาถึงด้านรับด้วยขนาดของสัญญาณที่แตกต่างกัน

2. ด้านรับมีการเรียงลำดับสัญญาณตามกำลังที่มาถึงจากสูงไปต่ำ เพื่อเข้าสู่เครื่องรับ

3. ไม่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณด้านเครื่องรับ

สำหรับในการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องรับแบบต่างๆ จะพิจารณาดังนี้คือ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานของ M.K. Varanasi และ B. Aazhang ในบทที่ 2, เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องของ P. Patel และ J. Holtzman ในบทที่ 2 และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในบทที่ 3 โดยกำหนดให้ผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 10 คน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ซึ่งจะพิจารณาแบบแฟลตเรเลย์ (flat-Rayleigh) และในช่อง

สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน โดยผู้ใช้แต่ละคนถูกกำหนด สเปกตรัมคงที่โดยเลือกจากกลุ่มของรหัสแบบสุ่มที่มีความยาว 31 ชิฟ ในการใช้รหัสแบบสุ่มก็เนื่องมาจากว่ารหัสแบบสุ่มจะมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่สูง ดังนั้นก็จะเหมือนกับการมีสัญญาณแทรกสอดที่สูงด้วย ดังนั้นก็จะเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องรับในการแก้ปัญหาค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณไปด้วย

สำหรับค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ใช้ในหัวข้อนี้จะมีเมตริกซ์เป็น

$$\begin{bmatrix} 31 & 9 & 1 & 1 & 3 & 1 & -1 & 5 & 15 & 7 \\ 9 & 31 & 7 & 11 & 17 & 7 & 5 & 11 & 13 & 5 \\ 1 & 7 & 31 & -1 & 5 & 3 & 1 & -5 & 9 & 13 \\ 1 & 11 & -1 & 31 & 9 & 7 & 9 & -1 & 1 & -3 \\ 3 & 17 & 5 & 9 & 31 & 9 & 3 & 5 & 15 & 7 \\ 1 & 7 & 3 & 7 & 9 & 31 & 13 & 7 & 5 & 17 \\ -1 & 5 & 1 & 9 & 3 & 13 & 31 & 5 & -1 & 7 \\ 5 & 11 & -5 & -1 & 5 & 7 & 5 & 31 & 5 & 9 \\ 15 & 13 & 9 & 1 & 15 & 5 & -1 & 5 & 31 & 11 \\ 7 & 5 & 13 & -3 & 7 & 17 & 7 & 9 & 11 & 31 \end{bmatrix}$$

โดยจะไม่มีค่าของสหสัมพันธ์ข้ามค่าใดค่าหนึ่งเป็นศูนย์ (สำหรับในการสร้างค่าสหสัมพันธ์ข้ามสามารถดูได้จากภาคผนวก ข)

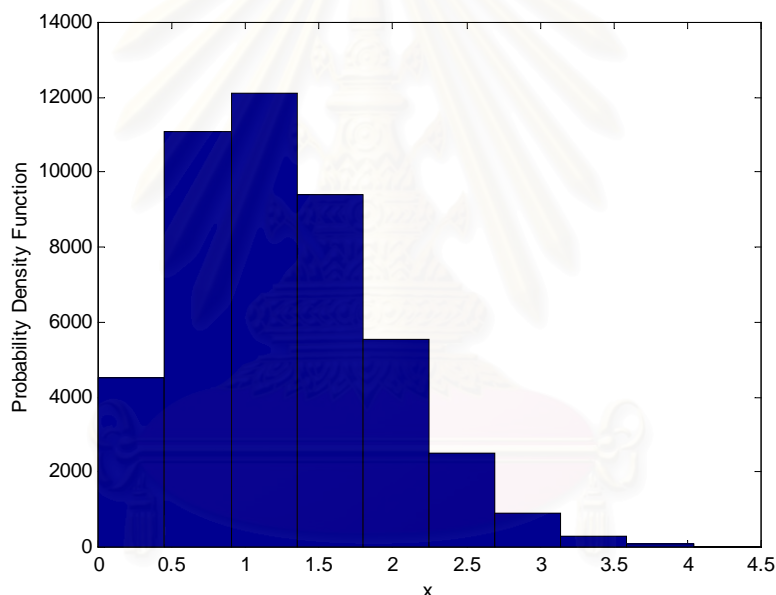
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ ที่ในสถานะแตกต่างกัน ซึ่งหมายถึงในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เนื่องจากว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องและเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะมีประสิทธิภาพในทั้งสองสถานะที่แตกต่างกัน ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั่นก็คือ ในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับทั้งสองแบบ รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมด้วย ทั้งในสถานะที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

สำหรับในการพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ นอกจากจะพิจารณาในสถานะที่มีการควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

แล้ว ยังพิจารณาการรบกวนของสัญญาณในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนของสัญญาณแบบเรเลย์ด้วย เพื่อที่จะเปรียบเทียบว่าประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ ในช่องสัญญาณทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันอย่างไร

ในการพิจารณาช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 โดยหากต้องการพิจารณาเพียงช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนเพียงอย่างเดียว ก็จะทำให้ค่า α_k ซึ่งเป็นขนาดของการลดทอนของสัญญาณมีค่าเป็น 1 สำหรับทุกค่า k แต่ถ้าในกรณีที่ต้องการคิดเรื่องของการลดทอนเข้ามาเกี่ยวข้อง จะต้องพิจารณาทั้งค่าของ α_k ด้วย รวมถึงสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน $n(t)$ ซึ่งเป็นแบบจำลองของระบบสื่อสารที่มีการลดทอนโดยทั่วไป รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ที่ใช้ในการทดลอง โดยผู้ใช้แต่ละคนจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบเรเลย์ที่เป็นอิสระต่อกัน



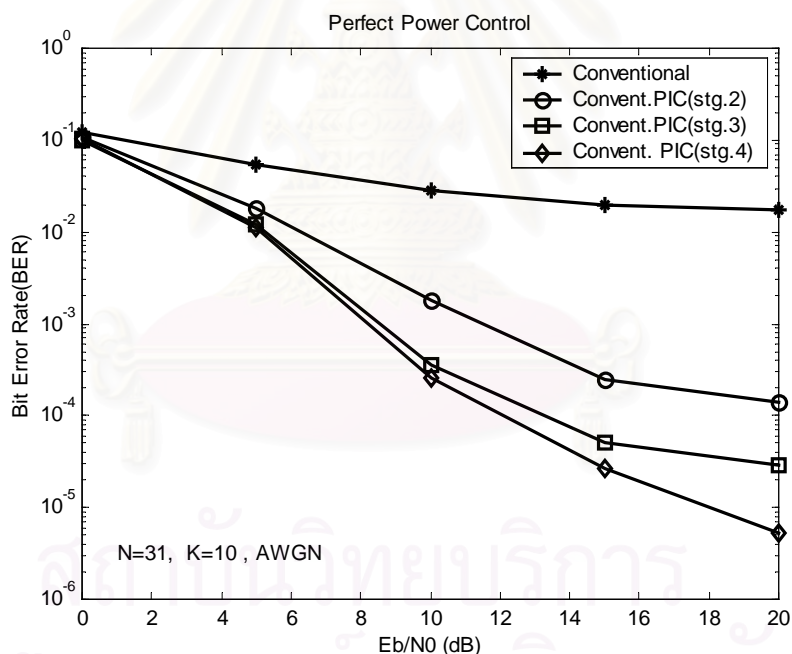
รูปที่ 4.1 ลักษณะของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

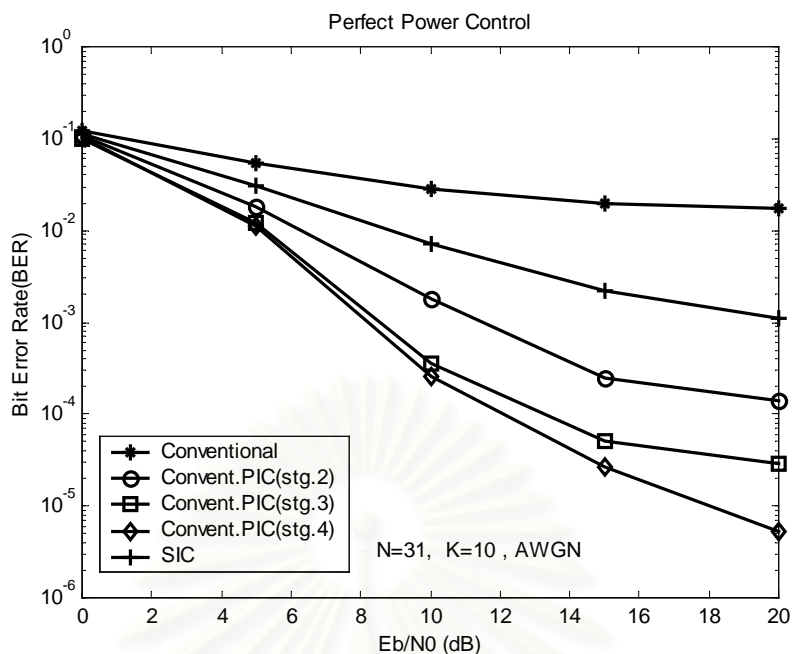
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ขึ้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์มาก โดยเฉพาะเมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิดนี้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากรูปจะเห็นว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่มีจำนวน 4 ชั้น จะให้ค่า BER ต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง โดยจะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่มี 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมื่อจำนวน SNR เพิ่มขึ้น (ผลรวมจากสัญญาณรบกวนน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณของผู้ใช้) ค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์มาก เนื่องจากว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดทั้งสองแบบได้แก้ปัญหาสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากผู้ใช้ได้ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ และเมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานลดลงด้วย เพียงแต่การลดลงของค่า BER เมื่อจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นนี้มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นที่ 2 และ 3 อันเนื่องมาจากการสะสมของการประมาณบิตข้อมูลที่ผิดพลาดจากชั้นแรกๆ



รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า เมื่อขนาดของสัญญาณที่มาถึงทางด้านเครื่องรับมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน การรบกวนกันระหว่างผู้ใช้จะมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อขนาดของสัญญาณมีความแตกต่างกันมาก ทำให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานประมาณสัญญาณของผู้ใช้มีความถูกต้องมากกว่า และส่งผลให้การตัดสินใจข้อมูลมีความถูกต้องมากขึ้น ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะประมาณสัญญาณของผู้ใช้ได้ไม่ดี เนื่องจากต้องการจัดลำดับความแรงของสัญญาณ และนำเอาสัญญาณของผู้ใช้ที่มีขนาดแรงที่สุดออกมาก่อน แต่เมื่อขนาดของสัญญาณมาถึงที่ด้านรับด้วยขนาดที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องประมาณสัญญาณของผู้ใช้ได้ไม่ดี

จากทั้งสองรูปจะเห็นว่าเมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งก็แสดงว่าการเพิ่มจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน จะทำให้ปรับปรุงการประมาณสัญญาณของผู้ใช้ได้ดีขึ้น และส่งผลให้ค่า BER ลดลง

รูปที่ 4.4 – 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ที่ชั้น 2 และ 3 กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่อง

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ค่า BER ที่น้อยที่สุด ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง และเมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมากขึ้น นั่นก็คือเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมดีขึ้น ในรูปจะเห็นว่าค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 ที่ 20 dB หายไป ก็เนื่องมาจากว่าค่า BER ที่ 20 dB มีค่าที่ต่ำมาก ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้อำนาจข้อมูลที่สูงขึ้น เพื่อให้ได้เห็นค่า BER ที่ 20 dB

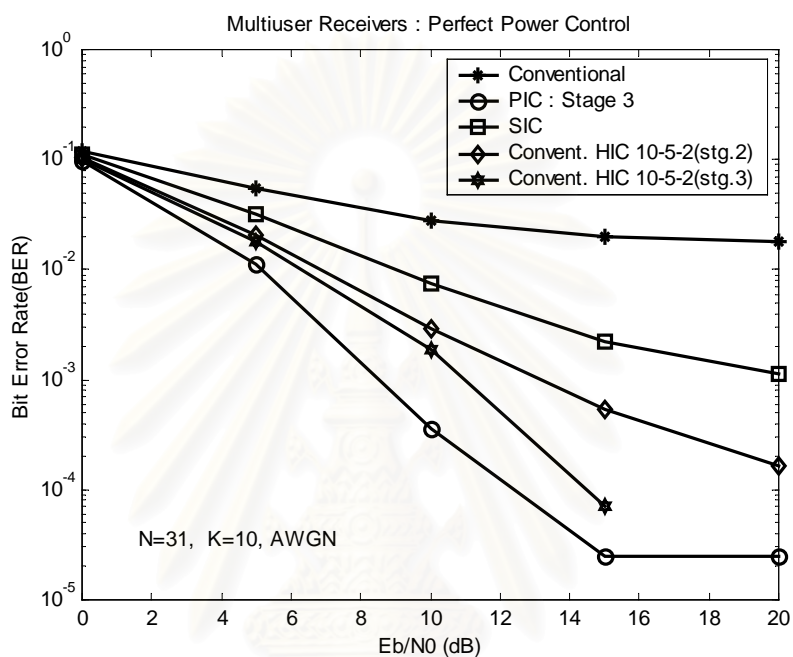
รูปที่ 4.5 จะใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 แทนเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะพบว่า จะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.4 คือ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานยังให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในกรณีที่ให้จำนวนชั้นของการหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมีจำนวน 2 และ 3 ชั้น ซึ่งจะพบว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 3

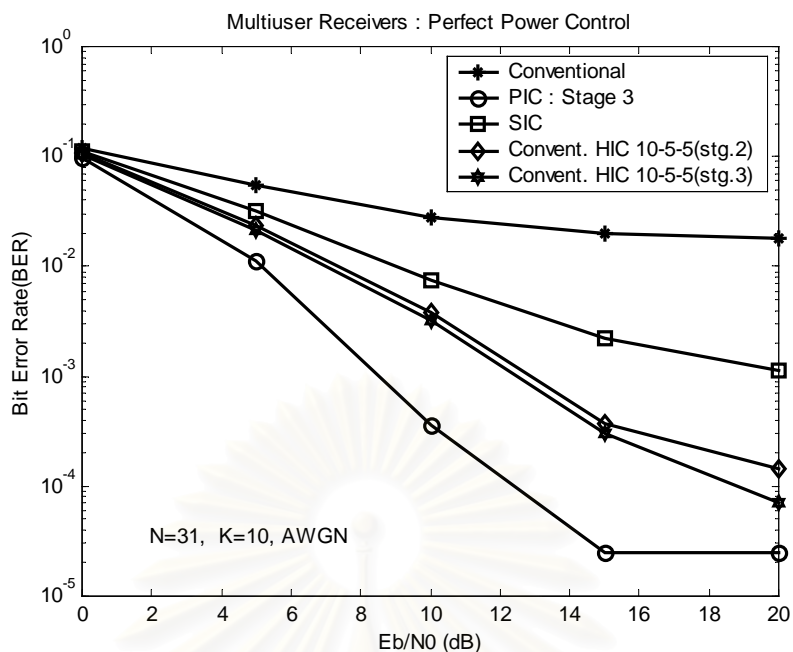
รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบอื่นๆ

จากทั้ง 5 รูป จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมจะให้ประสิทธิภาพที่อยู่ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่อง โดยจะนำข้อดีของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมาใช้ในการปรับปรุงการประมาณสัญญาณที่ได้รับ และให้ข้อดีในเรื่องการลดความล่าช้าของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง และจากรูปที่ 4.6 จะพบว่าความแตกต่างระหว่าง BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 จะมีมากกว่ากรณีของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 และ 3 นั่นก็แสดงว่าเมื่อจำนวนชั้นของการหักล้างการแทรกสอดอย่าง

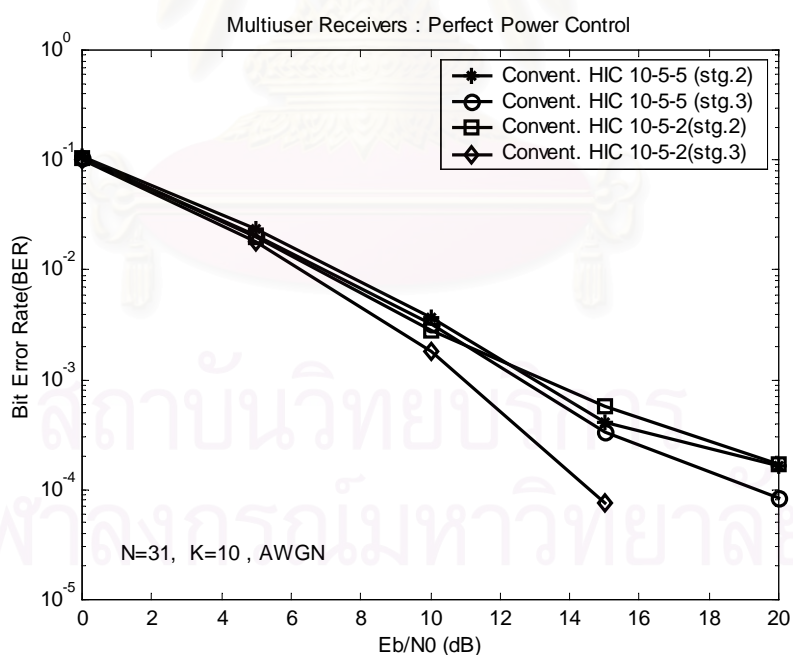
ขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมเพิ่มขึ้นแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมทั้งสองแบบดีขึ้น ขณะที่การเพิ่มจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมลดลง



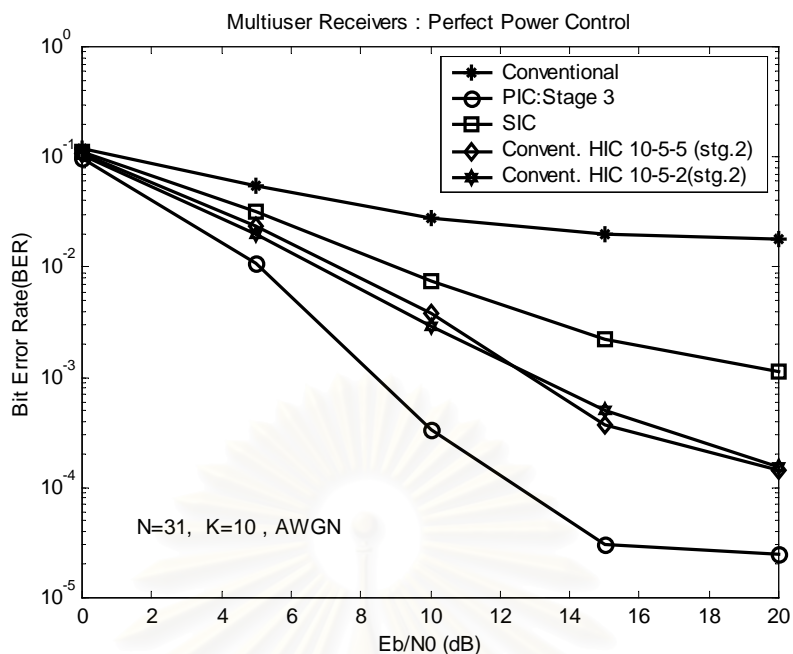
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



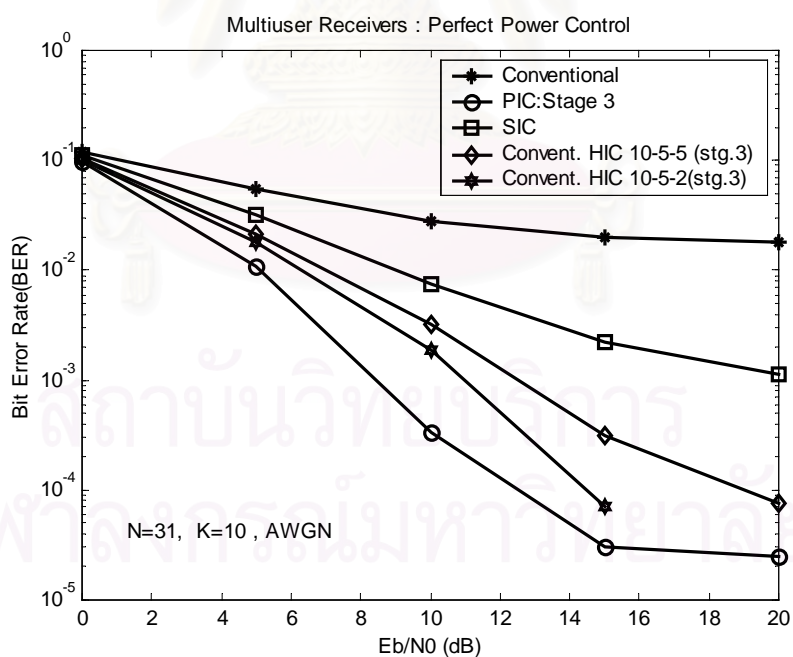
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

4.2.2 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ในกรณีที่มีการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ จะสมมุติขนาดของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงสถานีฐานด้วยขนาดที่แตกต่างกัน โดยให้ผู้ใช้คนแรกมีกำลังของสัญญาณมากที่สุด และผู้ใช้คนสุดท้ายมีกำลังของสัญญาณน้อยที่สุด ซึ่งผู้ใช้คนที่สองจะมีขนาดของสัญญาณมากกว่าคนแรก 0.15 เท่า และคนถัดไปจะมีกำลังส่งที่มากกว่าคนก่อนหน้า 0.15 เท่าเช่นกัน

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์มาก โดยที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ขณะที่เมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้นด้วย

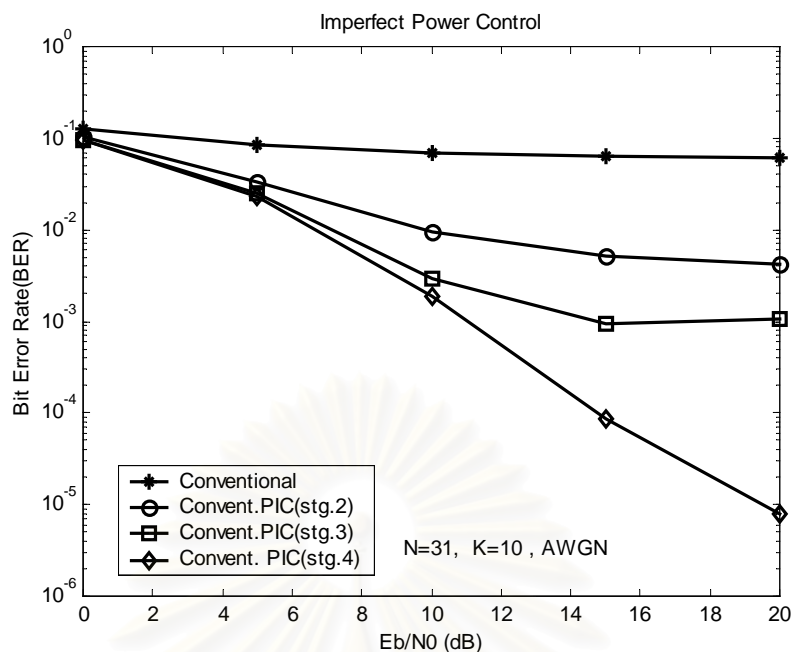
การที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ ก็เนื่องมาจากว่าเมื่อขนาดของสัญญาณของผู้ใช้ที่มาถึงทางด้านเครื่องรับมีขนาดที่แตกต่างกัน เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะทำการหักล้างสัญญาณที่มีกำลังสัญญาณสูงสุดก่อน เนื่องจากว่า ผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณมากกว่าจะไปรบกวนสัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณที่อ่อนกว่า ซึ่งจะทำให้การประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่อ่อนกว่ามีความผิดพลาดสูง ดังนั้นการกำจัดผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณที่แรงสุดก่อนจะเป็นผลดีต่อผู้ใช้คนอื่นๆ ที่มีกำลังน้อยกว่า จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องดีขึ้น

รูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 และอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบแมตซ์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง โดยจากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบอื่นๆ และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยจะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานอย่างมาก และให้ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง ส่วนในรูปที่ 4.12 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ส่วนเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 3 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

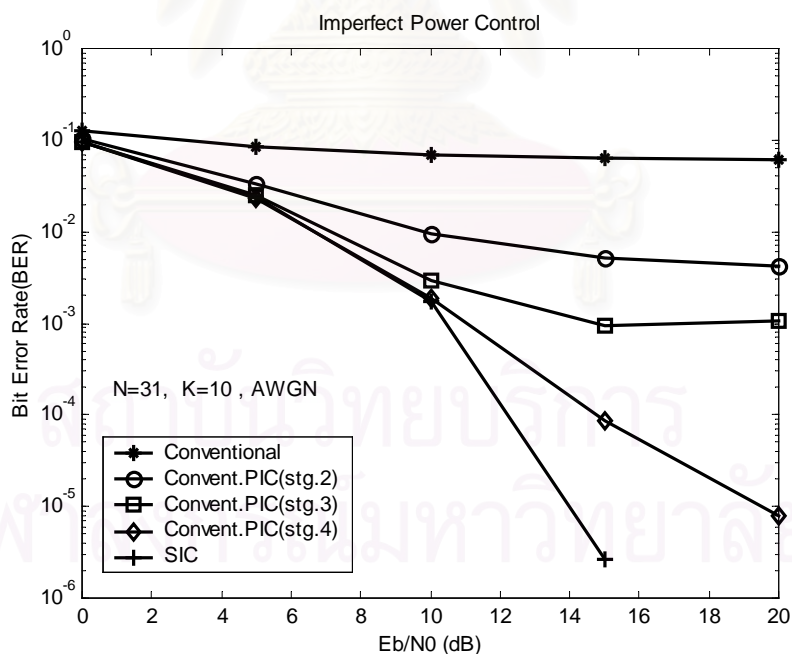
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 ส่วนในกรณีที่ให้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมีจำนวน 3 ชั้นแล้ว เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ในรูปที่ 4.14 และ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 กับเครื่องรับแบบอื่นๆ จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมทั้งสองแบบจะให้ประสิทธิภาพที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเล็กน้อย

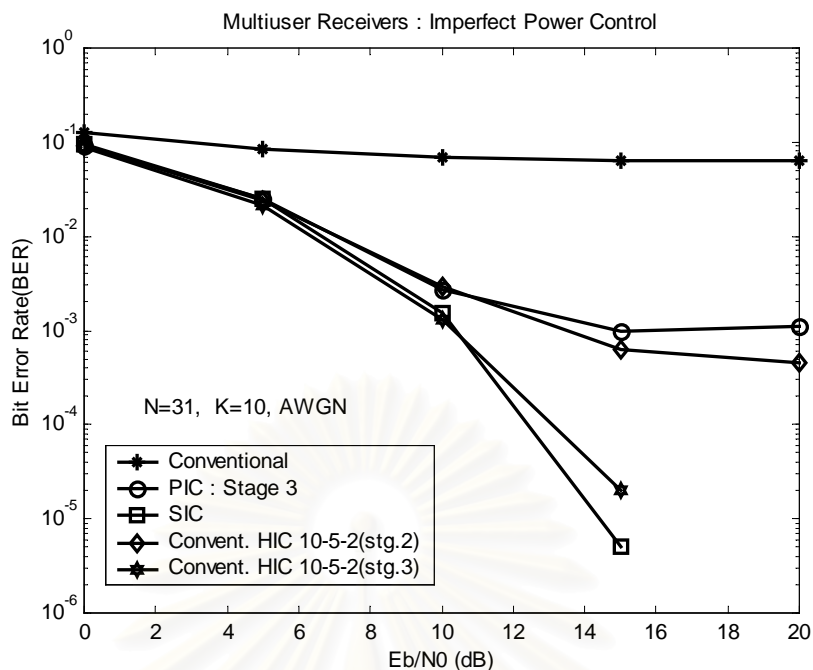
จากรูป 4.11 - 4.15 จะพบว่าการใช้จำนวนผู้ใช้เพื่อเข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมที่น้อย จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า เมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานน้อย ในขณะที่เมื่อให้จำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการอย่างขนานเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งแสดงว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีส่วนช่วยในการปรับปรุงการตัดสินใจบิตข้อมูลให้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในชั้นที่ 3 ดีขึ้น



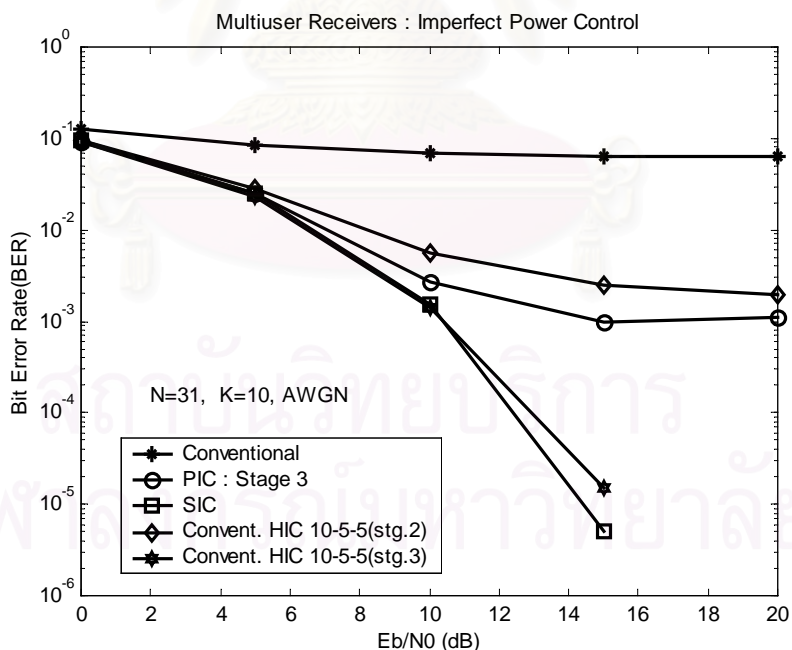
รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานที่ชั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



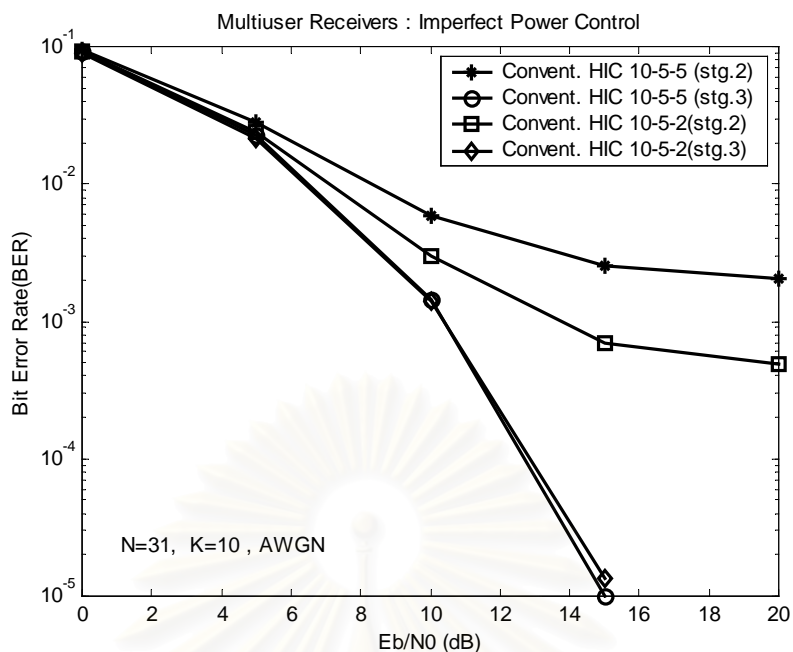
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



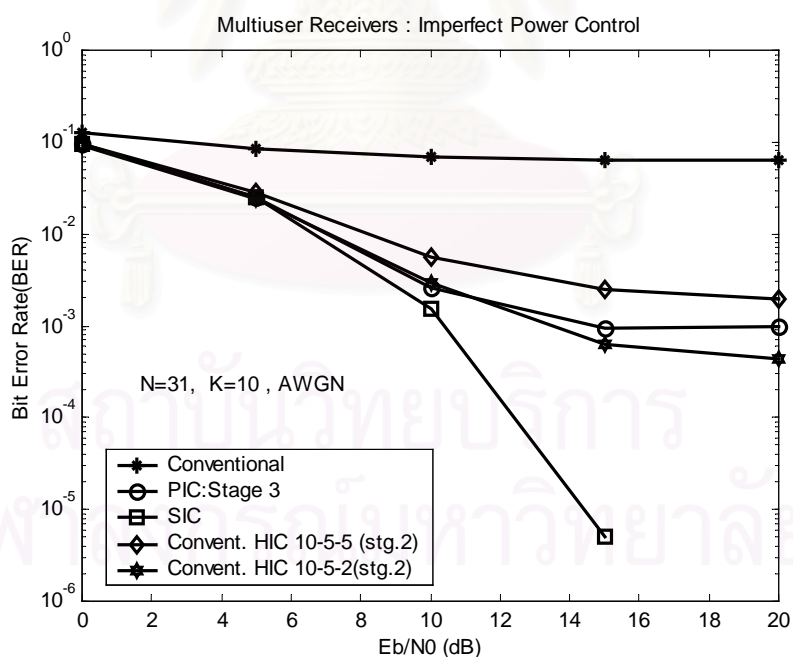
รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



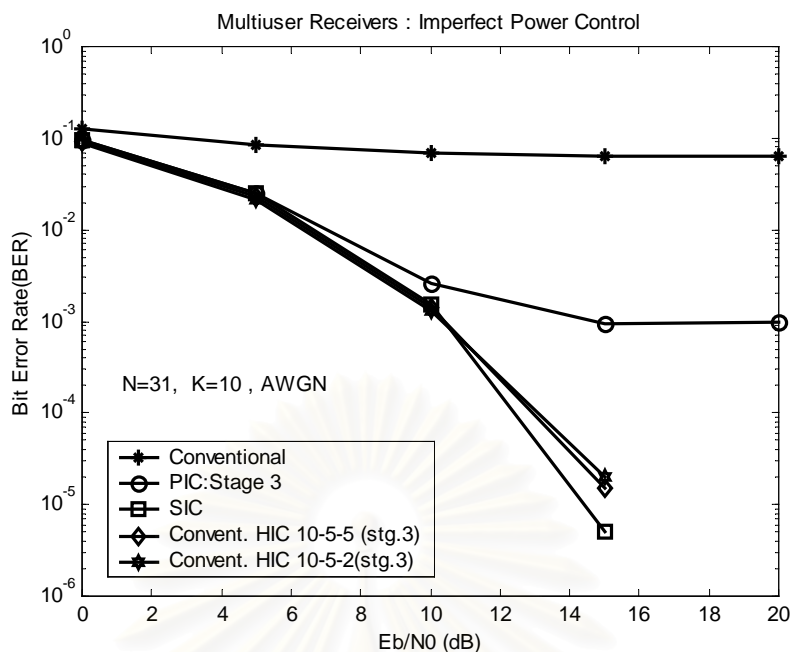
รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3)
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม
แบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่น
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

4.2.3 กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

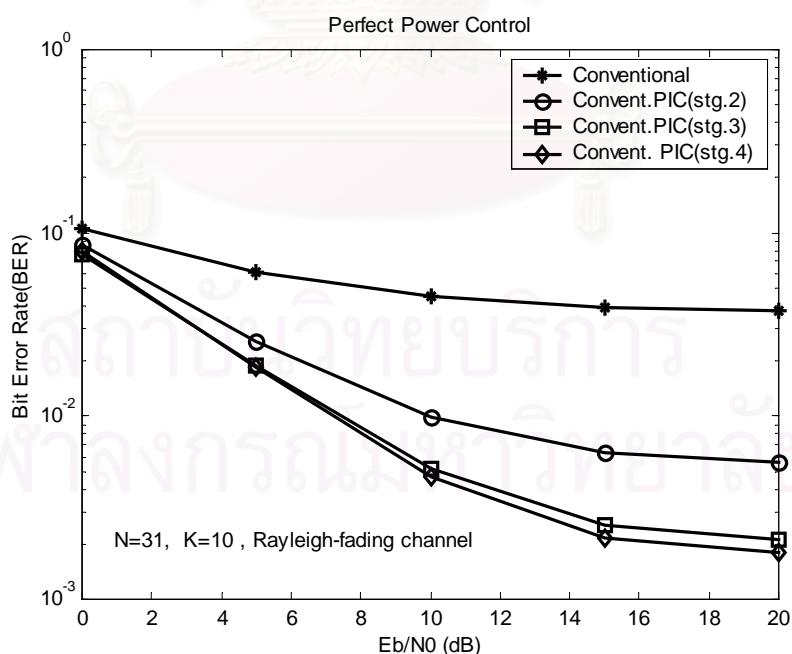
ในการพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ จะไม่ได้คิดค่าการประมาณของช่องสัญญาณ (channel estimation) เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงเครื่องรับ เนื่องจากต้องการวัดประสิทธิภาพของเครื่องรับโดยตรง

จากรูป 4.16 และ 4.17 จะเห็นว่าเมื่อจำนวนขั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิดนี้ดีขึ้นด้วย แต่การปรับปรุงในขั้นที่ 4 จะมากกว่าในขั้นที่ 3 น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขั้นที่ 2 และ 3 แสดงว่าในขั้นที่ 2 และ 3 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีส่วนช่วยในการปรับปรุงการตัดสินใจข้อมูลของผู้ใช้ได้ถูกต้องมากกว่าในขั้นที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าเมื่อจำนวนขั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น อาจจะมีการประมาณข้อมูลบางส่วนผิดไป และอาจเนื่องมาจากการลดทอนของสัญญาณ ทำให้ข้อมูลที่ตัดสินใจถูกต้องเพิ่มขึ้นน้อยลง

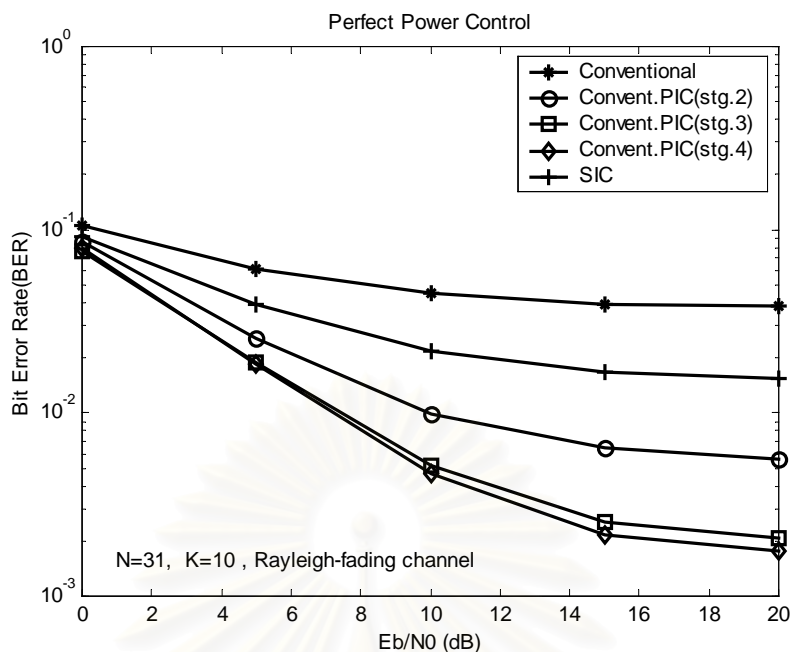
จากรูปที่ 4.17 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ซึ่งเหมือนกับกรณีช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

รูปที่ 4.18 – 4.22 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และเครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง แต่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยจากรูปที่ 4.20 จะเป็นการขยายรูปเพื่อให้เป็นความแตกต่างได้ชัดเจนโดยจะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในขั้นที่ 2 และ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 ซึ่งแสดงว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมมีจำนวนน้อย จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการกำจัดสัญญาณที่แรงของผู้ใช้ที่มีจำนวนน้อยๆ จะให้ผลดีในเรื่องการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนที่เหลือมากกว่าเมื่อให้จำนวนผู้ใช้มากๆ

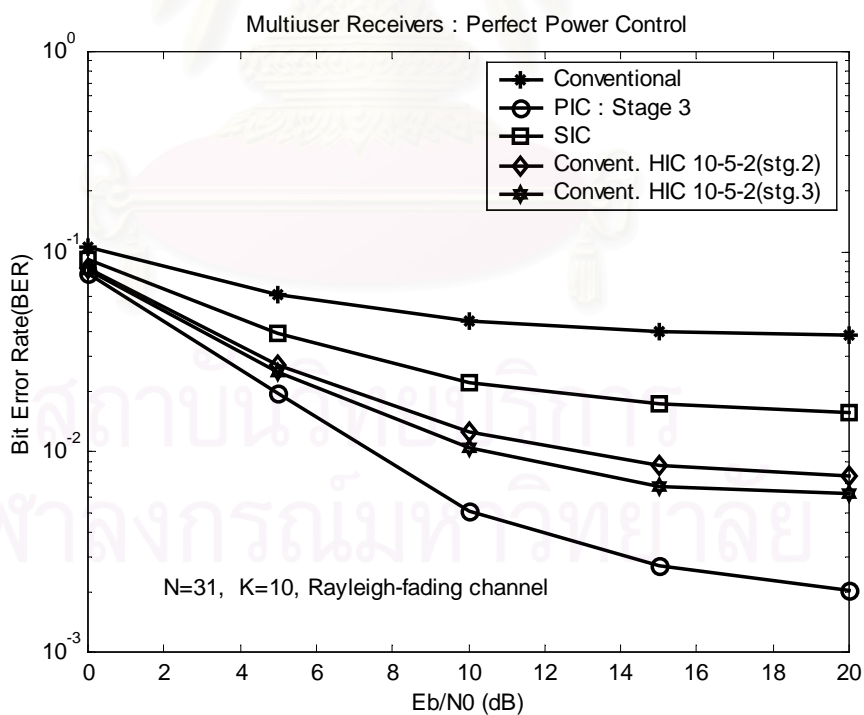
จะเห็นว่าเมื่อเครื่องรับแบบต่างๆ ผ่านช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบต่างๆ จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน เนื่องจากว่าขนาดของสัญญาณที่ถูกส่งมา มีการลดทอน และทางด้านเครื่องรับไม่มีการประมาณค่าต่างๆ ของช่องสัญญาณ ทำให้ค่า BER ที่ได้สูงขึ้น



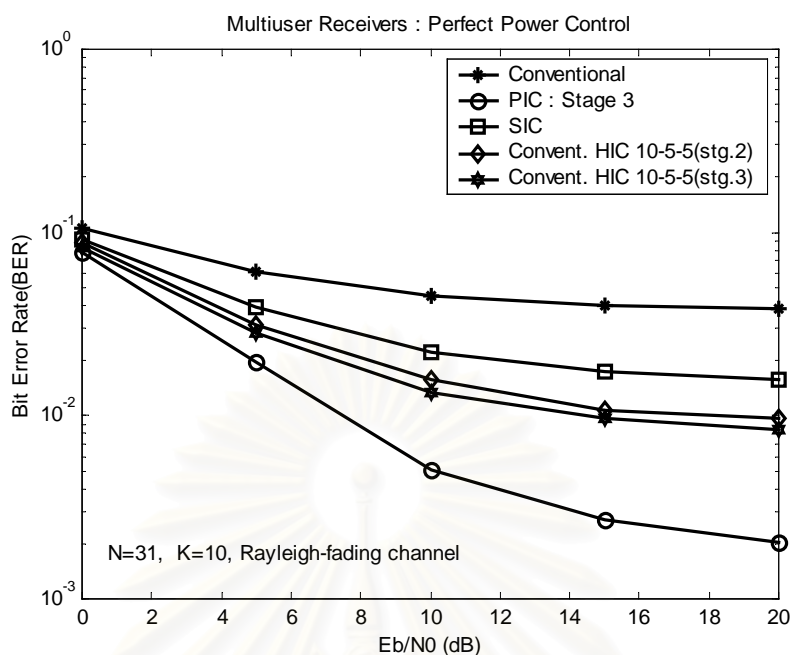
รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ขั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



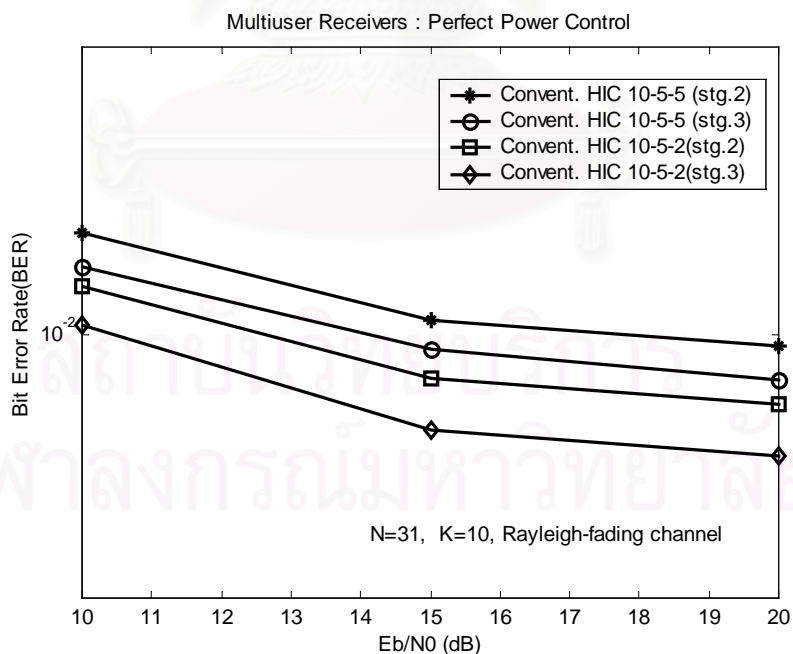
รูปที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



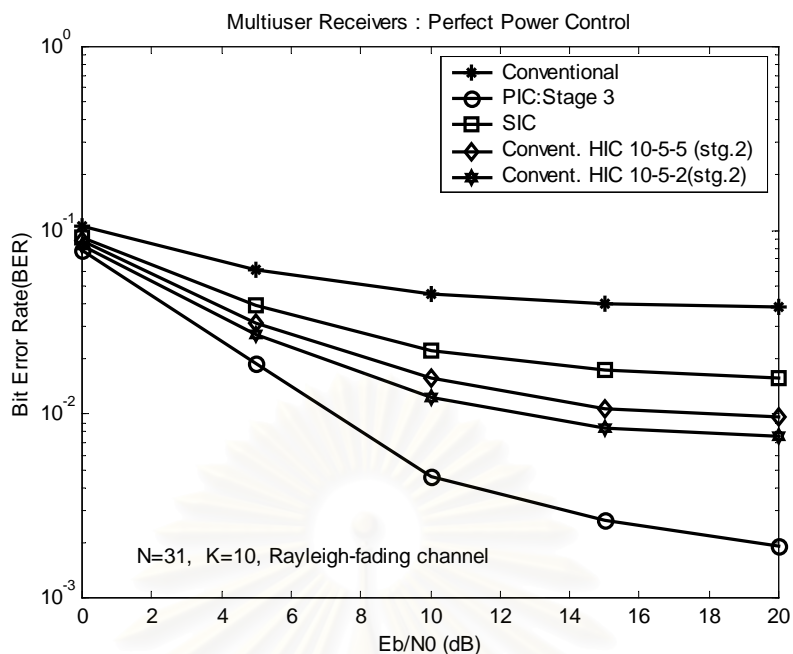
รูปที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



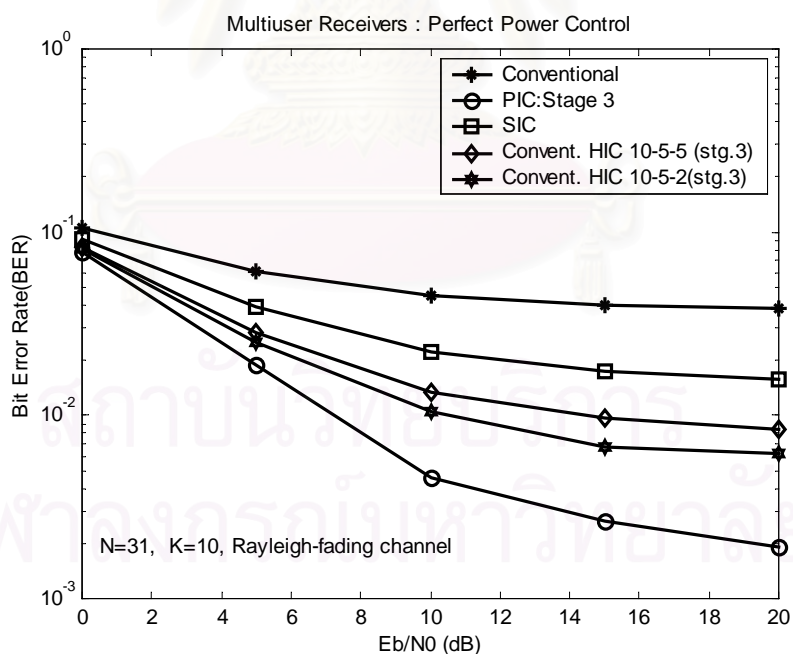
รูปที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

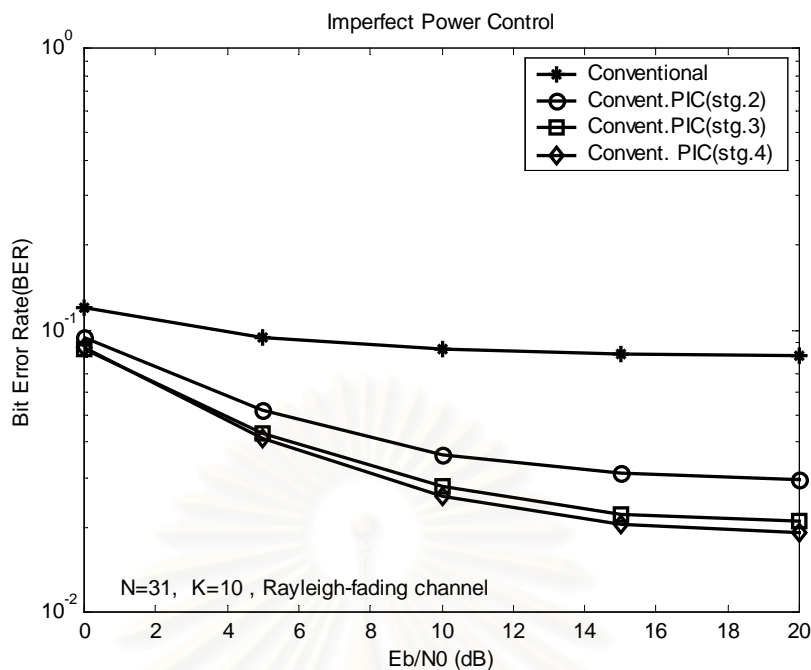
4.2.4 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์นี้ก็จะพิจารณาสถานะเหมือนกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนเช่นกัน คือให้สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานมีขนาดที่แตกต่างกัน จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเมื่อจำนวนขึ้นมากขึ้น และให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนขึ้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเท่ากับ 4 ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องในชั้นที่ 3

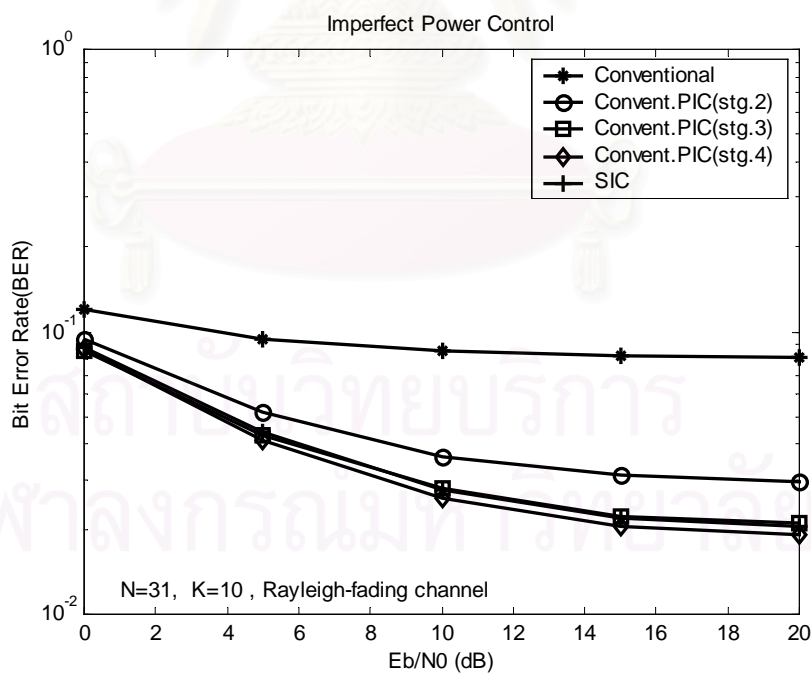
ในรูปที่ 4.25 และ 4.26 เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ โดยเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องและอย่างขนาน ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 ในชั้นที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน

ในรูป 4.27 – 4.29 จะพบว่าเมื่อจำนวนขึ้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับจะดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีส่วนช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมอย่างมาก

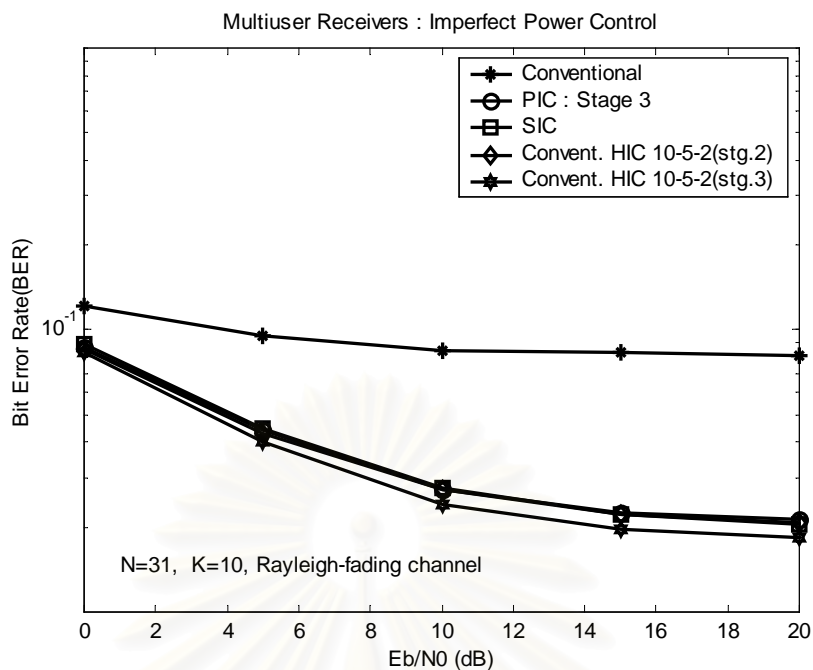
จากรูปทั้งหมด พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ จะลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน แสดงให้เห็นว่าการลดทอนของสัญญาณมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของเครื่องรับ แต่ประสิทธิภาพของเครื่องรับยังคงมีแนวโน้มเหมือนกับกรณีของช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



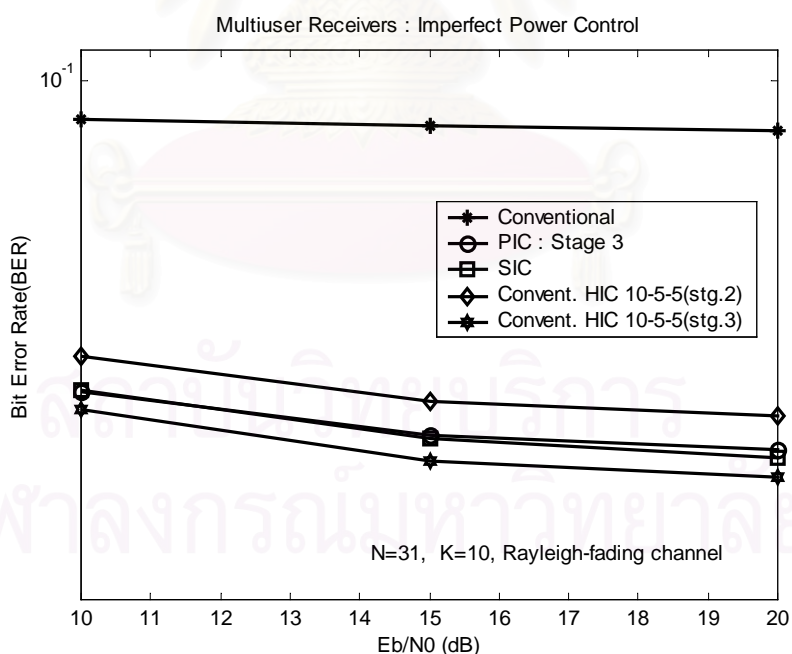
รูปที่ 4.23 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานที่ขึ้นต่างๆ ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



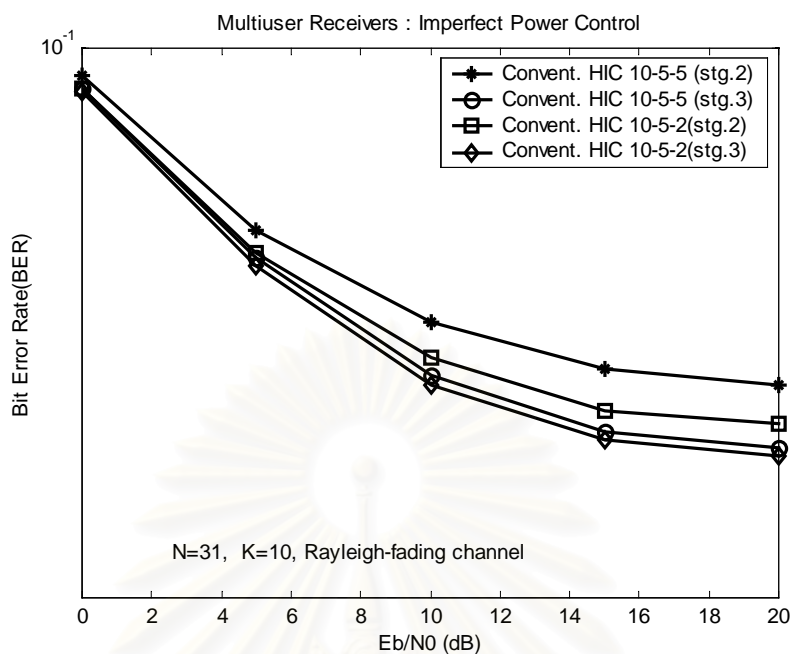
รูปที่ 4.24 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



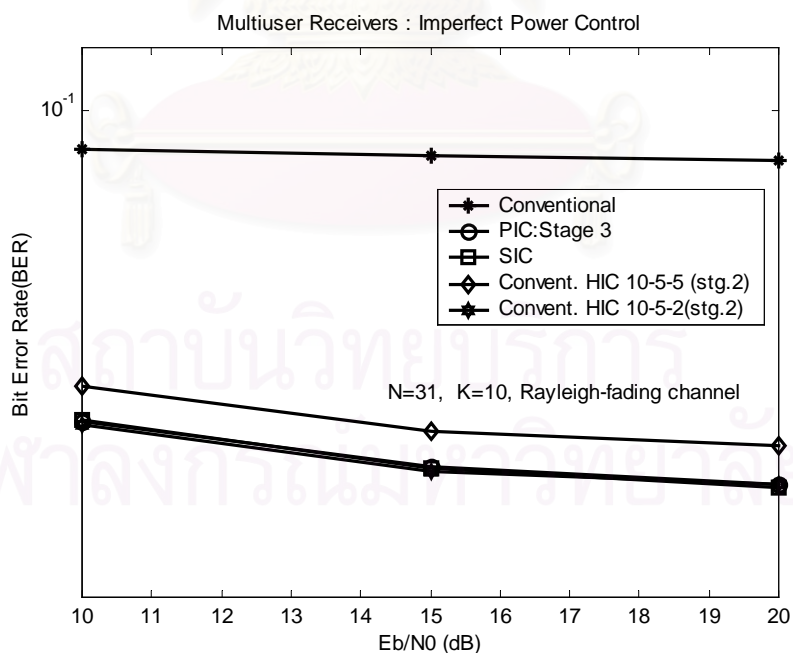
รูปที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



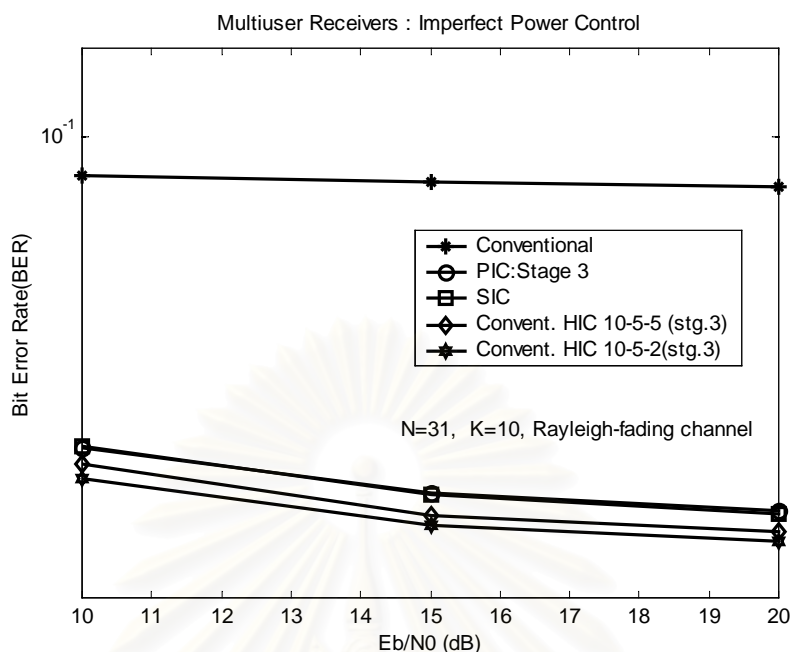
รูปที่ 4.26 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 (ขั้นที่ 2,3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.29 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-5 และแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 3) กับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

4.3 การหาค่าเศษส่วนของการหักล้าง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการหาค่าเศษส่วนของการหักล้าง λ_k สำหรับผู้ใช้ทั้งหมด K ที่แต่ละชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ดังสมการ (3-1) เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบต่างๆ ทั้งในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ในการพิจารณาค่าเศษส่วนของการหักล้างในหัวข้อนี้ จะพิจารณาว่า เมื่อให้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามของสเปกตรัมโคด จำนวนผู้ใช้ในระบบ และความยาวของสเปกตรัมโคดมีความแตกต่างกันแล้ว จะมีผลต่อค่าเศษส่วนของการหักล้างอย่างไร และค่าเศษส่วนที่แต่ละชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานแตกต่างกันอย่างไรด้วย โดยจะนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ให้ค่า BER ต่ำที่สุดไปใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสม

สำหรับการทดลองนี้จะกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 10 คน โดยมีความยาวของสเปกตรัมโคดเท่ากับ 31 และให้ค่า SNR เท่ากับ 15 dB โดยใช้บิตข้อมูล 3500 บิต และค่าเฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้ง

4.3.1 กรณีที่ค่าสหสัมพันธ์ข้ามแตกต่างกัน

สำหรับค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ใช้ในหัวข้อนี้ กำหนดให้มี 5 แบบ โดยที่แต่ละแบบจะไม่มีค่าใดค่าหนึ่งเท่ากับศูนย์ ดังนี้

สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 :

$$\begin{bmatrix} 31 & 9 & 1 & 1 & 3 & 1 & -1 & 5 & 15 & 7 \\ 9 & 31 & 7 & 11 & 17 & 7 & 5 & 11 & 13 & 5 \\ 1 & 7 & 31 & -1 & 5 & 3 & 1 & -5 & 9 & 13 \\ 1 & 11 & -1 & 31 & 9 & 7 & 9 & -1 & 1 & -3 \\ 3 & 17 & 5 & 9 & 31 & 9 & 3 & 5 & 15 & 7 \\ 1 & 7 & 3 & 7 & 9 & 31 & 13 & 7 & 5 & 17 \\ -1 & 5 & 1 & 9 & 3 & 13 & 31 & 5 & -1 & 7 \\ 5 & 11 & -5 & -1 & 5 & 7 & 5 & 31 & 5 & 9 \\ 15 & 13 & 9 & 1 & 15 & 5 & -1 & 5 & 31 & 11 \\ 7 & 5 & 13 & -3 & 7 & 17 & 7 & 9 & 11 & 31 \end{bmatrix}$$

สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 :

$$\begin{bmatrix} 31 & 11 & 7 & -1 & 5 & 5 & 5 & -3 & 1 & 1 \\ 11 & 31 & 7 & 7 & 17 & 1 & 5 & 5 & 5 & 1 \\ 7 & 7 & 31 & 7 & 1 & 9 & 9 & -3 & 13 & 5 \\ -1 & 7 & 7 & 31 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 5 \\ 5 & 17 & 1 & 9 & 31 & -1 & 7 & 7 & 7 & 7 \\ 5 & 1 & 9 & 9 & -1 & 31 & 7 & 3 & 11 & 3 \\ 5 & 5 & 9 & 9 & 7 & 7 & 31 & 11 & 11 & 3 \\ -3 & 5 & -3 & 9 & 7 & 3 & 11 & 31 & 7 & 3 \\ 1 & 5 & 13 & 9 & 7 & 11 & 11 & 7 & 31 & 7 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 7 & 3 & 3 & 3 & 7 & 31 \end{bmatrix}$$

สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 :

$$\begin{bmatrix} 31 & 7 & 9 & -1 & 13 & 3 & 9 & 5 & 11 & 7 \\ 7 & 31 & 5 & 11 & 9 & 3 & -3 & 5 & 11 & -1 \\ 9 & 5 & 31 & -7 & 19 & -3 & 3 & 3 & 9 & 5 \\ -1 & 11 & -7 & 31 & 1 & 7 & 1 & 9 & 7 & -1 \\ 13 & 9 & 19 & 1 & 31 & 1 & -1 & 3 & 5 & 9 \\ 3 & 3 & -3 & 7 & 1 & 31 & 5 & 1 & 7 & 7 \\ 9 & -3 & 3 & 1 & -1 & 5 & 31 & -1 & 5 & 13 \\ 5 & 5 & 3 & 9 & 3 & 1 & -1 & 31 & 13 & 1 \\ 11 & 11 & 9 & 7 & 5 & 7 & 5 & 13 & 31 & 3 \\ 7 & -1 & 5 & -1 & 9 & 7 & 13 & 1 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$

สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 :

$$\begin{bmatrix} 31 & 13 & 7 & 9 & -1 & 13 & -7 & 5 & 9 & 9 \\ 13 & 31 & 1 & -1 & 1 & 3 & -9 & 11 & 11 & 3 \\ 7 & 1 & 31 & 9 & 7 & 5 & 1 & 9 & 1 & 13 \\ 9 & -1 & 9 & 31 & 1 & 7 & 7 & -1 & 3 & 11 \\ -1 & 1 & 7 & 1 & 31 & 13 & 9 & 13 & 5 & 5 \\ 13 & 3 & 5 & 7 & 13 & 31 & 7 & 3 & 3 & 7 \\ -7 & -9 & 1 & 7 & 9 & 7 & 31 & -5 & 7 & -1 \\ 5 & 11 & 9 & -1 & 13 & 3 & -5 & 31 & 11 & 11 \\ 9 & 11 & 1 & 3 & 5 & 3 & 7 & 11 & 31 & 3 \\ 9 & 3 & 13 & 11 & 5 & 7 & -1 & 11 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$

สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 :

$$\begin{bmatrix} 31 & 9 & -1 & -3 & -1 & -1 & 1 & -1 & -7 & 1 \\ 9 & 31 & -3 & 3 & 9 & 1 & 11 & 1 & 3 & -1 \\ -1 & -3 & 31 & -3 & 3 & 11 & 1 & 7 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -3 & 31 & 1 & 1 & -1 & 1 & 3 & 7 \\ -1 & 9 & 3 & 1 & 31 & -5 & 1 & 7 & 5 & 1 \\ -1 & 1 & 11 & 1 & -5 & 31 & 5 & -1 & -3 & 13 \\ 1 & 11 & 1 & -1 & 1 & 5 & 31 & 9 & -5 & -5 \\ -1 & 1 & 7 & 1 & 7 & -1 & 9 & 31 & 9 & 1 \\ -7 & 3 & 1 & 3 & 5 & -3 & -5 & 9 & 31 & 3 \\ 1 & -1 & 1 & 7 & 1 & 13 & -5 & 1 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$

4.3.1.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียน

รูปที่ 4.30, 4.32 – 4.36 แสดงค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยใช้สเปกตรัมโค้ดที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่มีความแตกต่างกัน โดยจะพิจารณาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ให้ค่า BER ต่ำที่สุด สามารถสรุปได้เป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในขั้นที่ 2
เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 1	0.6	0.00002
แบบที่ 2	0.5	0.0015
แบบที่ 3	0.6	0.0035
แบบที่ 4	0.6	0.0085
แบบที่ 5	0.5	0.0013

ซึ่งจะเห็นว่าค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบแมตซ์ และให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อค่าเศษส่วนของการหัก

ล่างอยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง ขณะที่การใช้เศษส่วนของการหักล้างค่าอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังรูป 4.30 เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างจะมีค่า BER ที่น้อยๆ ลดลงเมื่อเศษส่วนของการหักล้างเข้าใกล้ 0.6 และจะมีค่า BER ที่ต่ำที่สุดเมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างเป็น 0.6 ขณะที่เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่ามากกว่า 0.6 ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดจะน้อยๆ ลดลงตามลำดับ

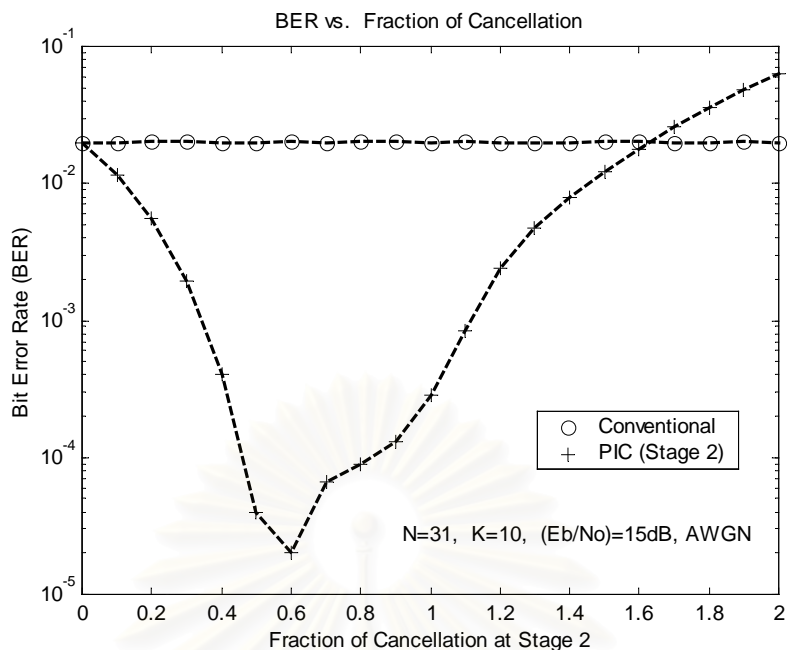
ในรูปที่ 4.31 แสดงค่า BER กับเศษส่วนของการหักล้างที่มีค่าต่างๆ กันของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เพื่อต้องการพิสูจน์ให้เห็นว่าค่า 0.6 ในรูปที่ 4.30 เป็นค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดจริง จะเห็นว่าค่า 0.6 ทำให้ค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีค่าต่ำที่สุด ตามด้วยค่า 0.8, 1.0, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ที่ SNR เท่ากับ 15 dB

จะเห็นจากรูปที่ 4.31 ว่าเมื่อเศษส่วนของการหักล้างมีค่าเป็น 0.6 และ 0.8 ที่ 15 dB ยังให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ซึ่งมีค่าเศษส่วนของการหักล้างเป็น 1

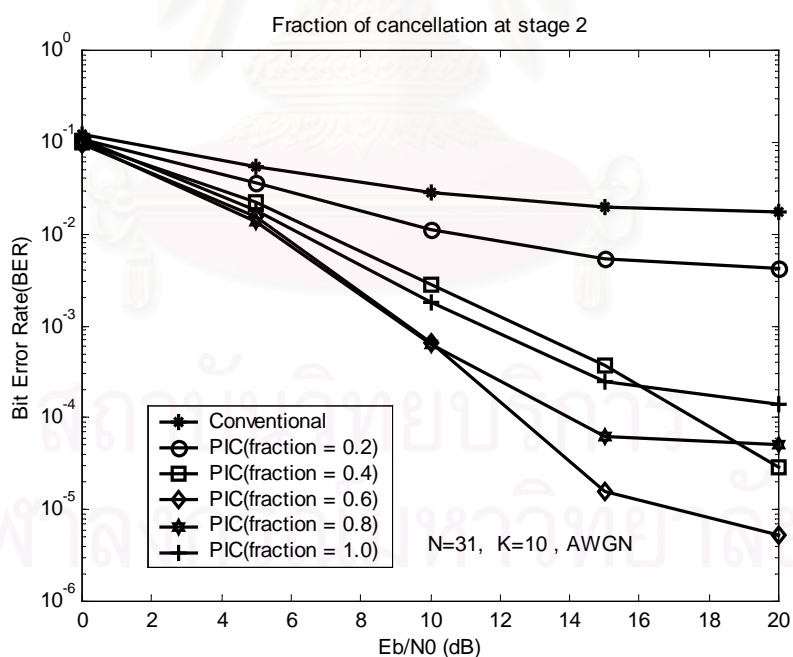
จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างมี 2 ค่า คือ 0.5 และ 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีที่สุดด้วย แสดงว่าทั้งสองค่านี้เป็นค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้ระดับของสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งส่งผลให้การประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ทั้งหมดมีความถูกต้องมากขึ้น ทั้งนี้จะเห็นด้วยว่าค่า BER จะขึ้นอยู่กับค่าสหสัมพันธ์ข้ามด้วย

จากค่า BER ที่อยู่ทางด้านขวาของตาราง จะเห็นว่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ค่า BER ที่ต่ำที่สุด ตามด้วยสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ จึงส่งผลให้ค่า BER ต่ำโดยสามารถที่จะดูได้จากรูป 4.36 ซึ่งเป็นภาพรวมของค่าเศษส่วนของการหักล้างเมื่อสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าที่แตกต่างกัน

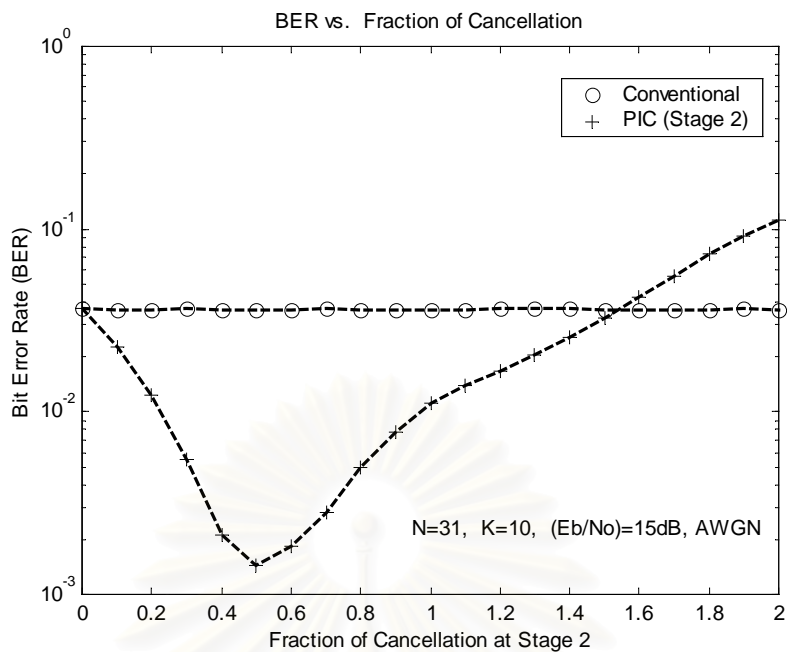
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



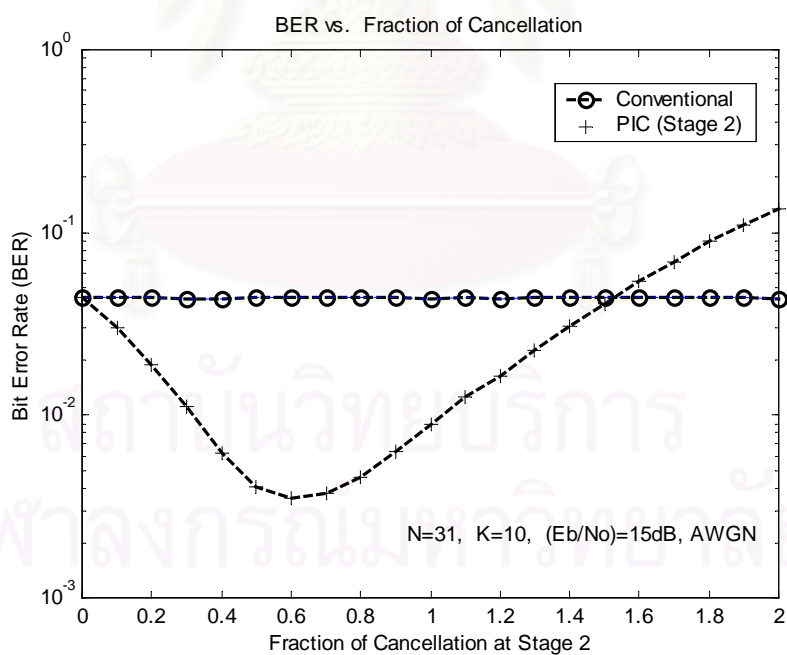
รูปที่ 4.30 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



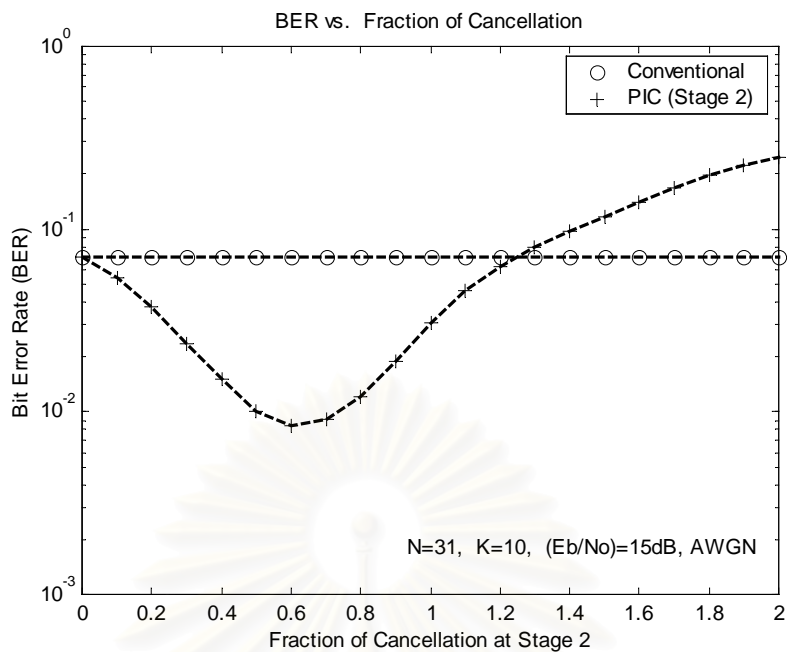
รูปที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



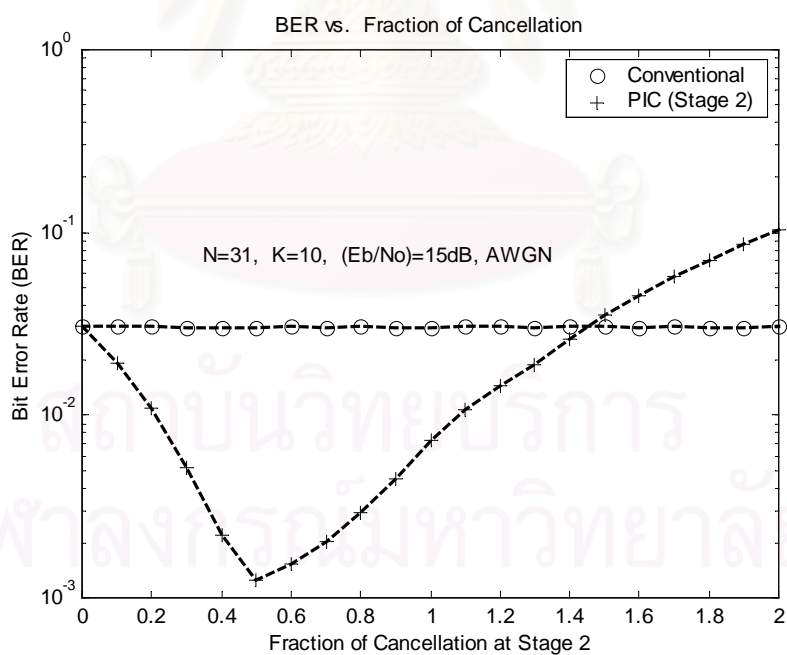
รูปที่ 4.32 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



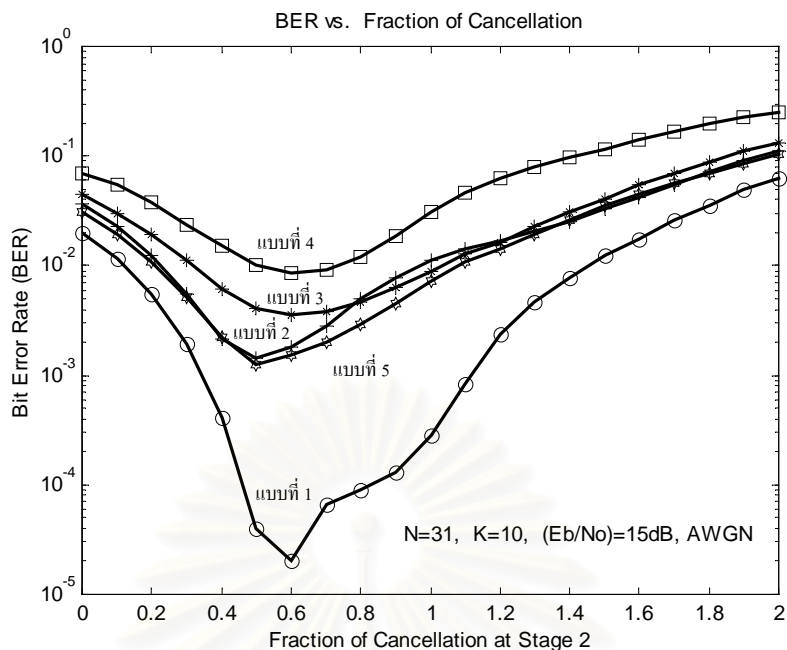
รูปที่ 4.33 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.34 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.35 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

สำหรับการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 3 จะนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่หาได้ในชั้นที่ 2 มาใช้ นั่นก็คือ นำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 2 ในตารางที่ 4.1 มาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เพื่อหาว่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 3 จะเป็นเท่าใด

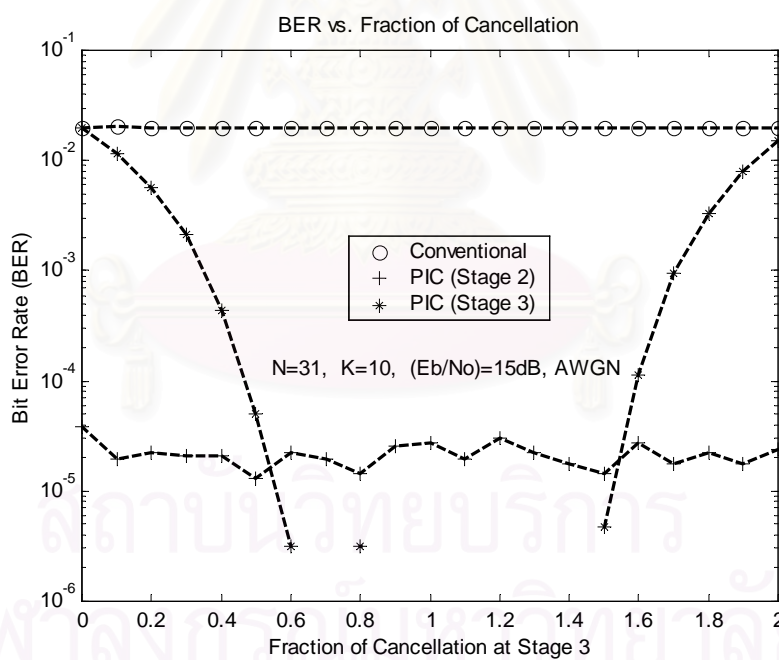
รูปที่ 4.37 – 4.42 แสดงค่าเศษส่วนของการหักล้างในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 เมื่อสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าแตกต่างกัน จะเห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าเป็น 1.0, 1.1 และ 1.3 เป็นค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีที่สุด แสดงว่าค่าดังกล่าวทำให้ระดับสัญญาณแทรกสอดกับสัญญาณที่ต้องการอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่า BER มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.42 จะพบว่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ค่า BER ต่ำที่สุด แล้วตามด้วยสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะเหมือนกรณีการหาค่าเศษส่วนหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 2

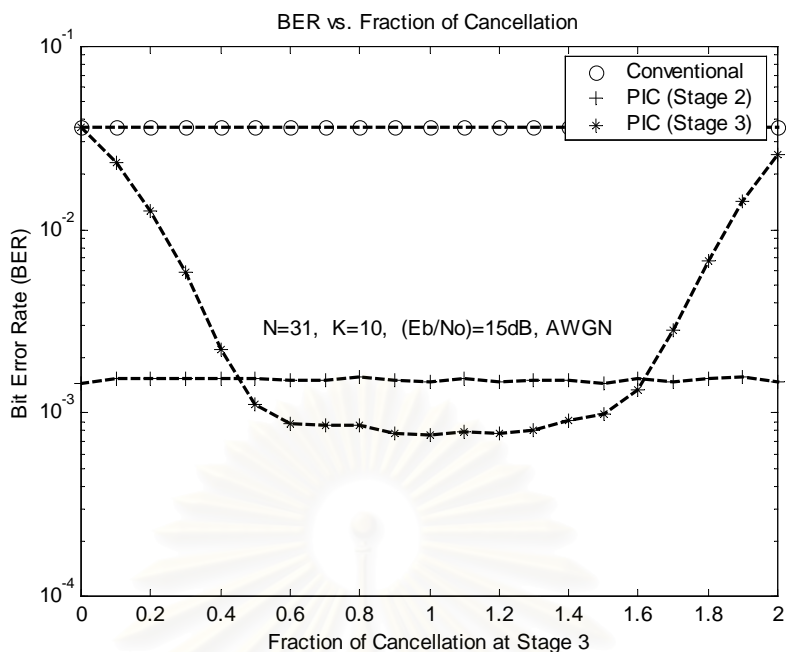
จะเห็นว่าค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 จะปรับปรุงค่า BER จากชั้นที่ 2 ไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นที่ 2 กับเครื่องรับแบบแมตซ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 มีส่วนช่วยในการปรับปรุงมากกว่าชั้นที่ 3

ตารางที่ 4.2 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3
เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

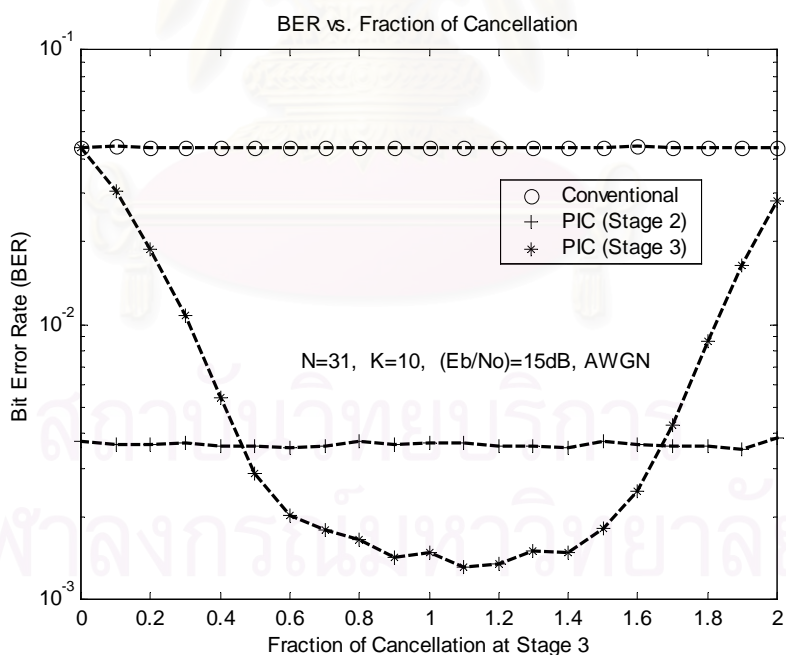
สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 1	-	0.0
แบบที่ 2	1.0	0.000764
แบบที่ 3	1.1	0.001312
แบบที่ 4	1.1	0.00246
แบบที่ 5	1.3	0.000357



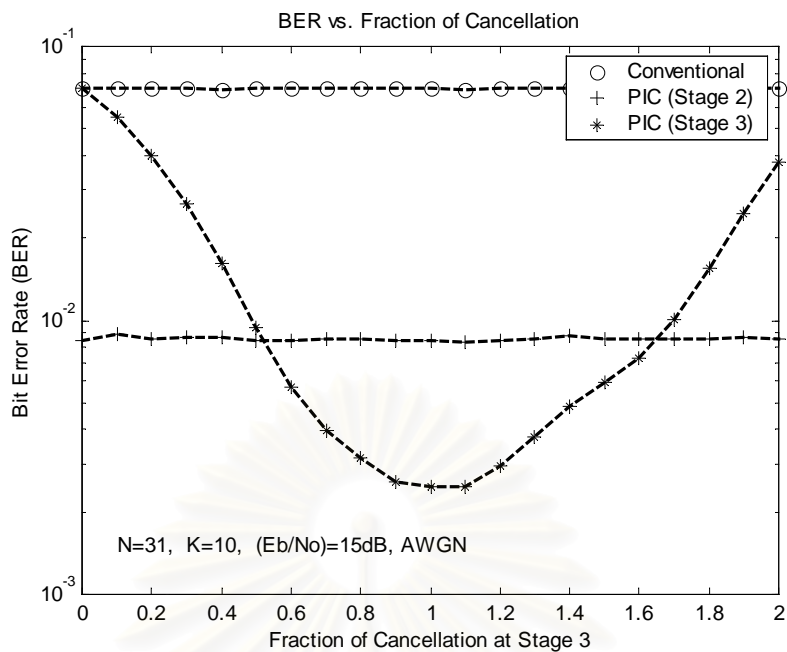
รูปที่ 4.37 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



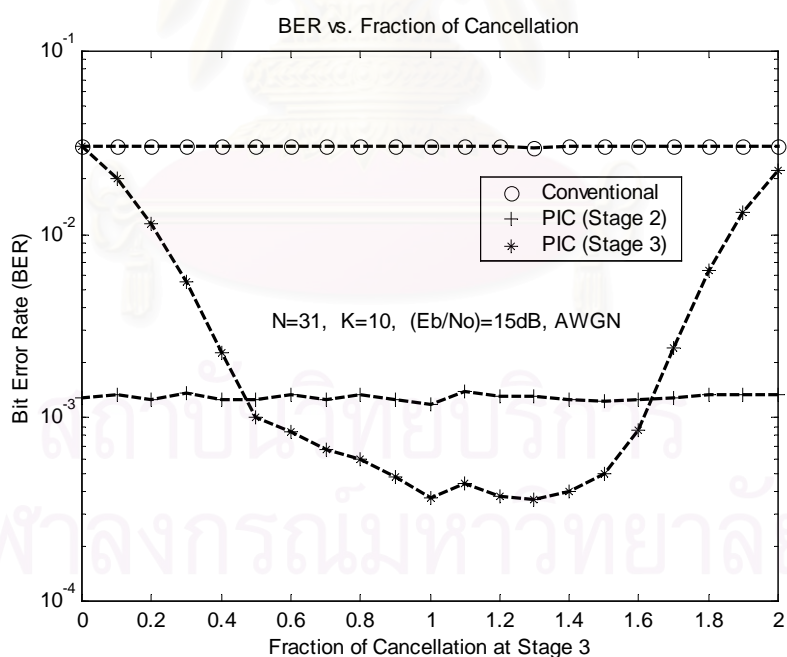
รูปที่ 4.38 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



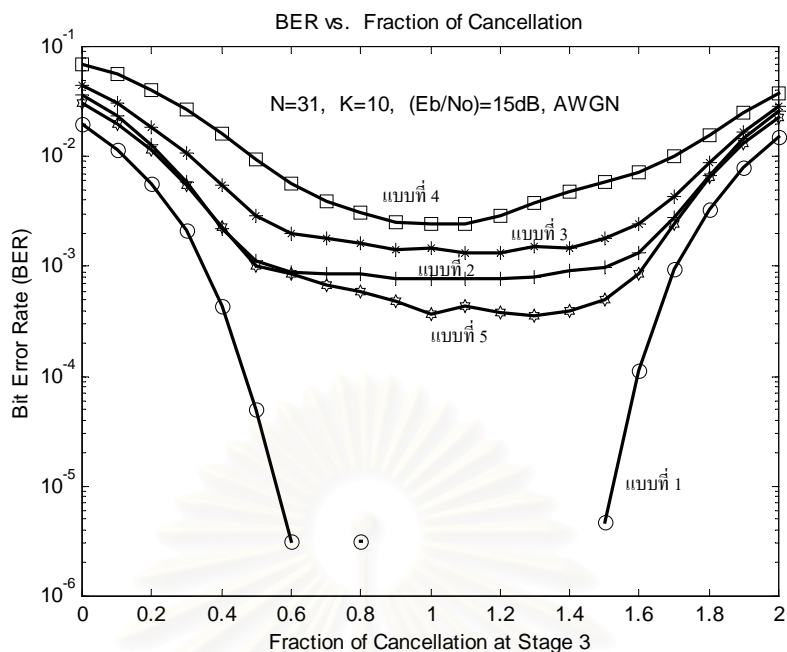
รูปที่ 4.39 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.40 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.41 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.42 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

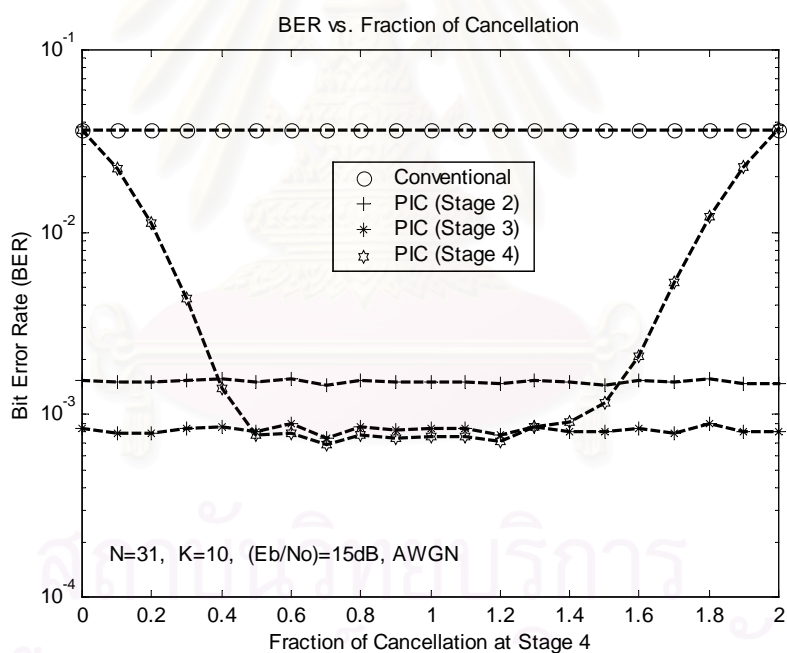
ในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 4 ก็จะทำเหมือนกับกรณีการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 3 คือนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 2 และ 3 ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาใช้ในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 4 แต่เนื่องจากค่าการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ให้ค่า BER ที่ต่ำมากจนไม่สามารถบอกได้ว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างโดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 เป็นเท่าไร ซึ่งเป็นผลจากการใช้จำนวนบิตข้อมูลที่น้อย ดังนั้นในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 4 นี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 – 5 ดังรูปที่ 4.43 – 4.47

จากรูปที่ 4.43 – 4.47 และจากตารางที่ 4.3 จะพบว่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 จะให้ค่า BER ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ข้ามแบบอื่นๆ ขณะที่สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3, 2 และ 4 จะให้ค่า BER ลดลงตามลำดับ โดยมีค่าเศษส่วนของการหักล้างเป็น 1.2, 1.1, 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ

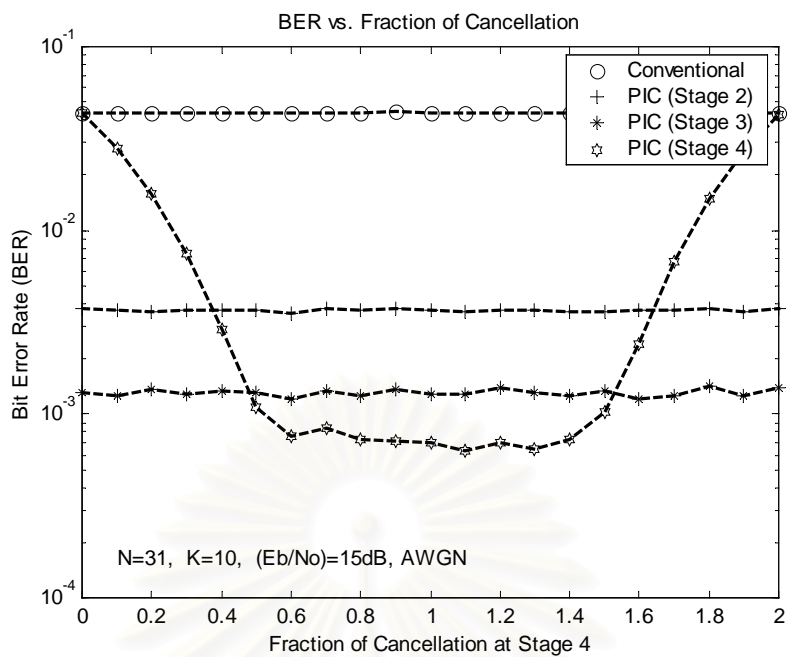
จะเห็นว่าค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 4 จะมีค่าลดลงไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับในชั้นที่ 2 และ 3 ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 4.43 แสดงว่าการปรับปรุงของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดส่วนใหญ่จะอยู่ที่ชั้นแรกๆ หากชั้นแรกๆ มีการตัดสินใจบิตข้อมูลที่ผิดพลาดแล้ว ก็จะส่งผลให้การตัดสินใจบิตข้อมูลที่ผิดพลาดในชั้นถัดไปได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.3 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 4
เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

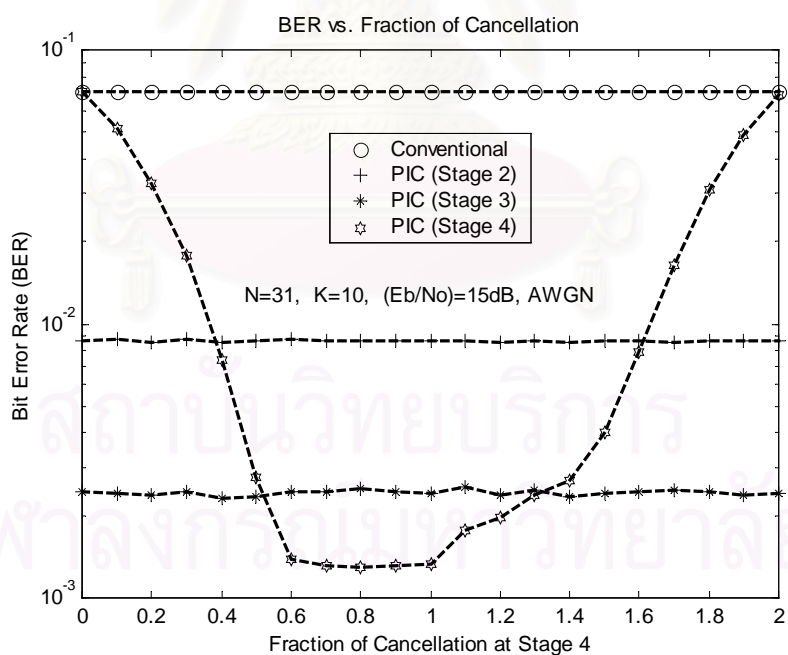
สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 2	0.7	0.00068
แบบที่ 3	1.1	0.000629
แบบที่ 4	0.8	0.00128
แบบที่ 5	1.2	0.000182



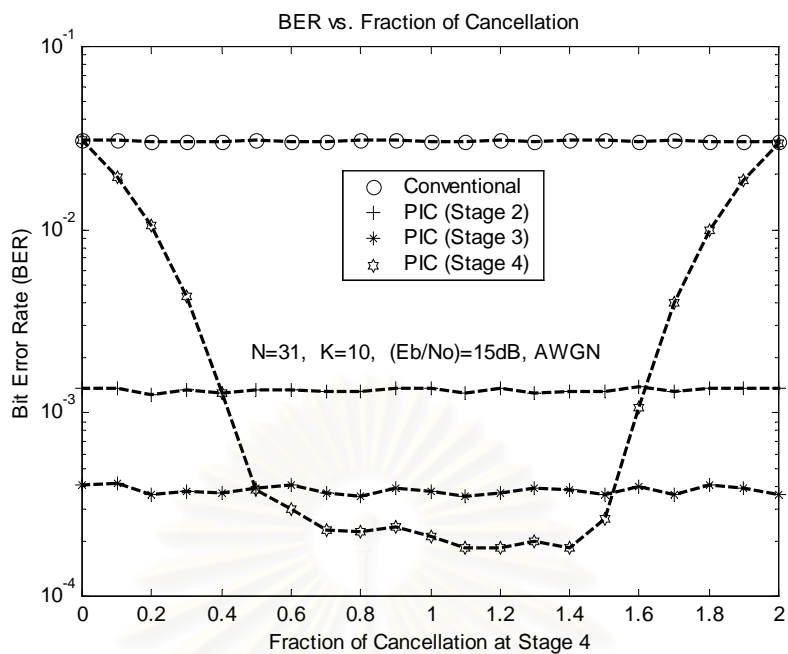
รูปที่ 4.43 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



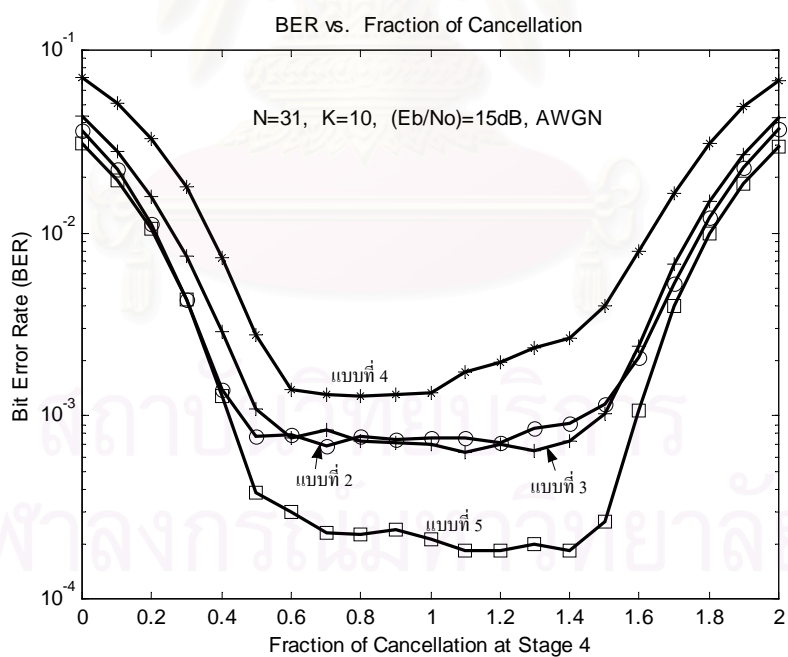
รูปที่ 4.44 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.45 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.46 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน



รูปที่ 4.47 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

4.3.1.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์นี้ จะใช้สภาวะเดียวกับกรณีช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนเช่นกัน คือให้จำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 10 คน ความยาวของสเปกตรัมโค้ดเท่ากับ 31 ที่ 15 dB

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด จะมีค่าเท่ากับ 0.6 และ 0.7 โดยที่สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ค่า BER ที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ต่ำ รองลงมาจะเป็นสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5, 3, 2 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะเหมือนในกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

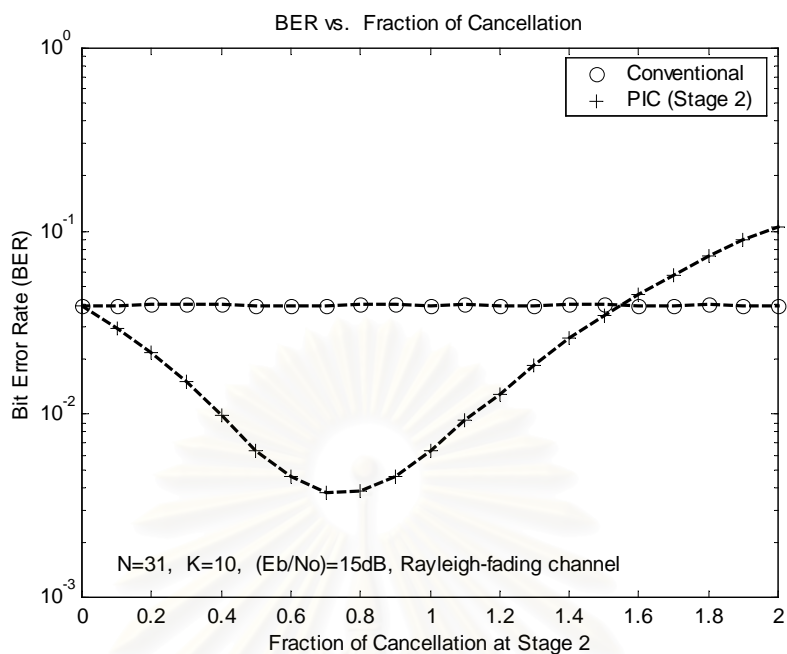
ในรูปที่ 4.49 จะแสดงให้เห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในรูปที่ 4.48 จะให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างยาวนานดีที่สุดในช่องสัญญาณ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า 0.7 เป็นค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างอย่างยาวนานดีที่สุดในช่องสัญญาณ รองลงมาคือ 0.9, 0.5, 1.1 และ 0.3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.48 จะเห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างยาวนานดีขึ้นไปคือ 0.7, 0.9 และ 0.5 เนื่องจากเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างยาวนานที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะมีค่าเศษส่วนของการหักล้างเป็น 1

จากรูปทั้งหมดจะเห็นว่า ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างยาวนานในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ มีค่าไม่แตกต่างกันในเรื่องที่มีค่าเศษส่วนของการหักล้างที่น้อยกว่า 1 แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างยาวนานในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์จะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ทั้งนี้เนื่องมาจากการลดทอนของสัญญาณที่รับได้นั่นเอง

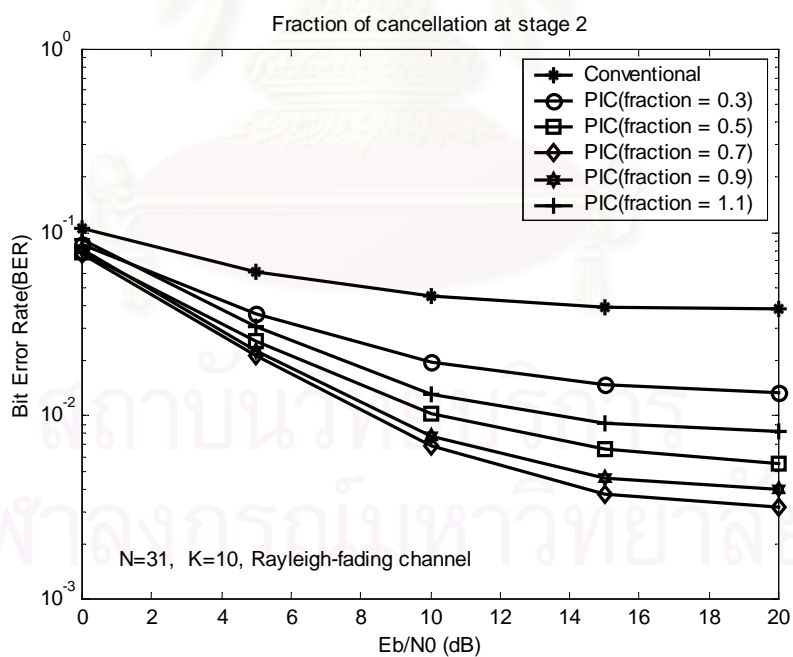
ตารางที่ 4.4 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในขั้นที่ 2

เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

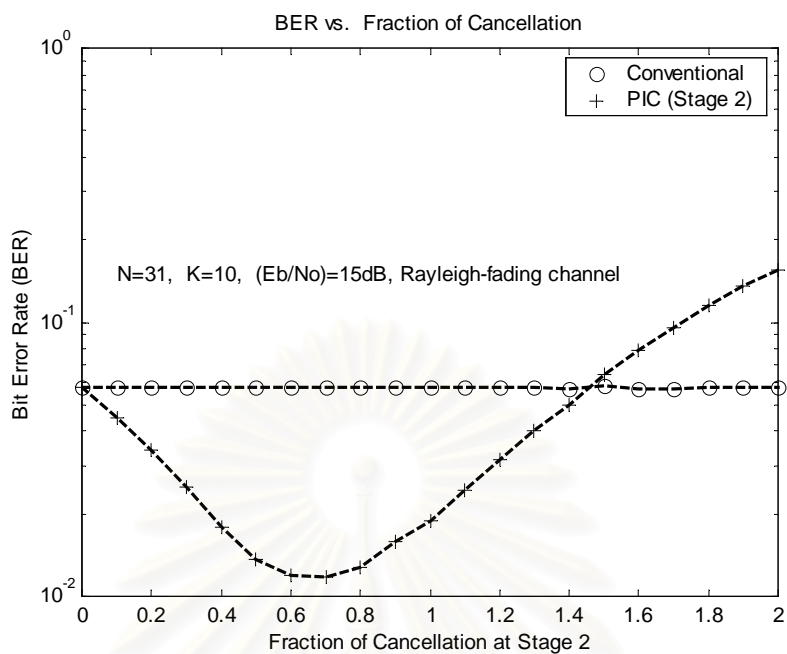
สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 1	0.7	0.0037
แบบที่ 2	0.7	0.0118
แบบที่ 3	0.7	0.0147
แบบที่ 4	0.6	0.0270
แบบที่ 5	0.7	0.0083



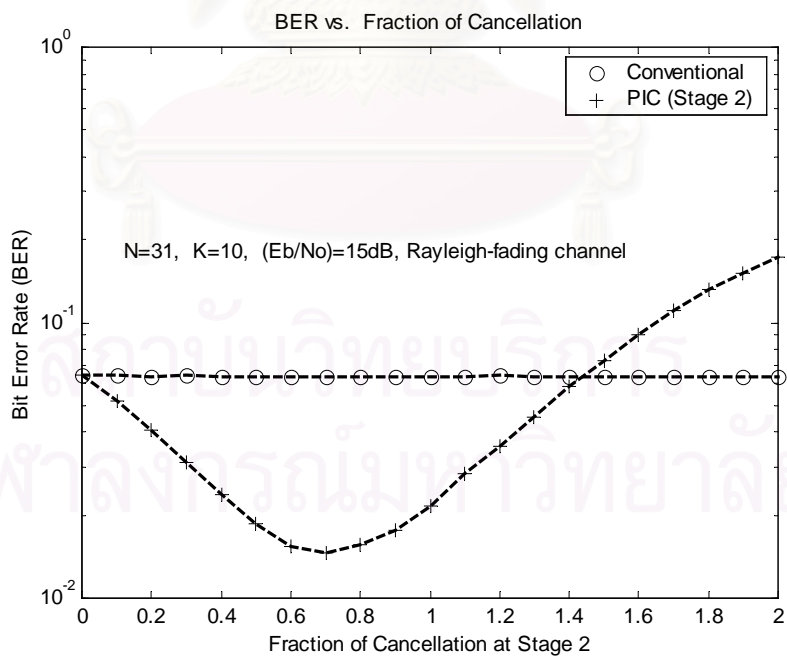
รูปที่ 4.48 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



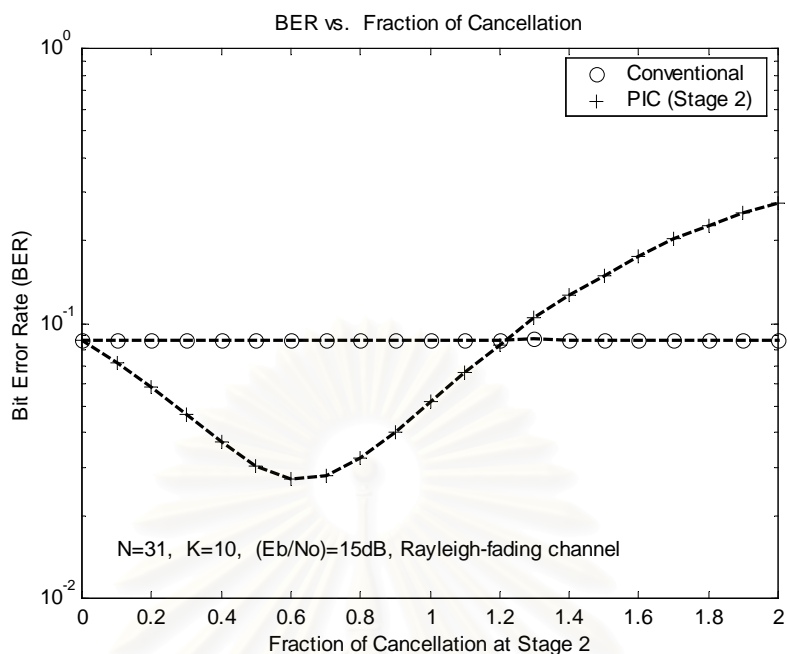
รูปที่ 4.49 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



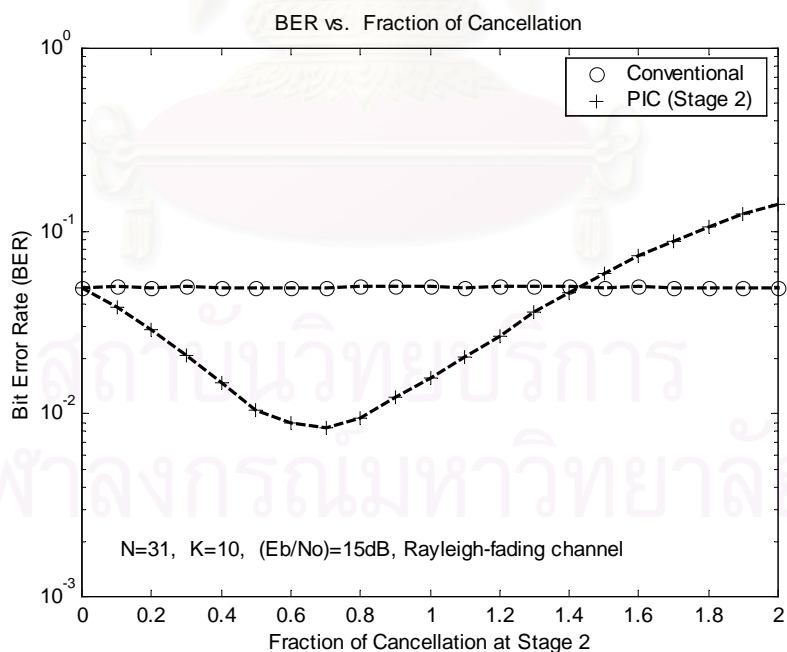
รูปที่ 4.50 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



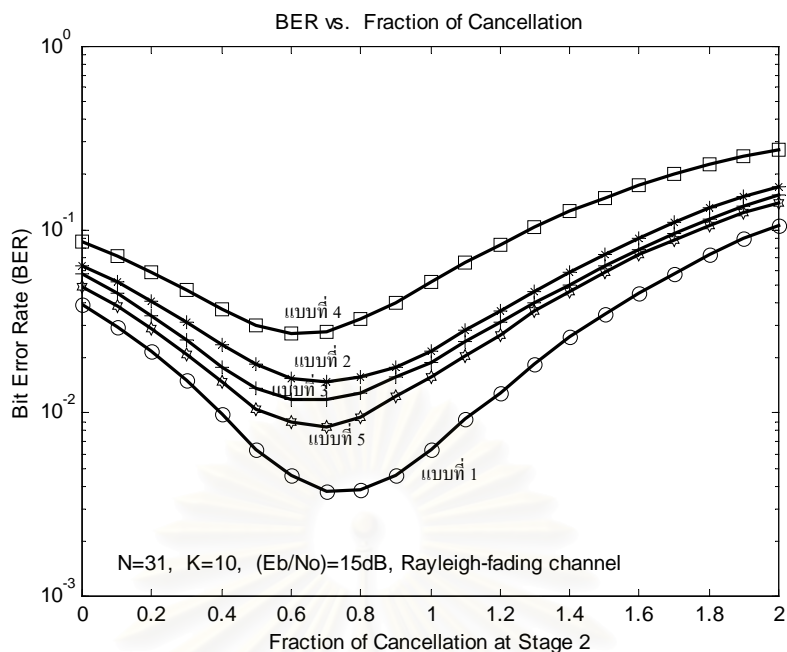
รูปที่ 4.51 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.52 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหัสสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.53 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 โดยใช้สหัสสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.54 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 2 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่วงสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ในการคิดเศษส่วนของหักล้างในชั้นที่ 3 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ก็จะนำเอาค่าเศษส่วนของหักล้างที่ดีที่สุดที่หาได้ในชั้นที่ 2 ในตารางที่ 4.4 มาใช้ ซึ่งจะทำได้ค่าเศษส่วนของหักล้างในชั้นที่ 3 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานนั่นเอง

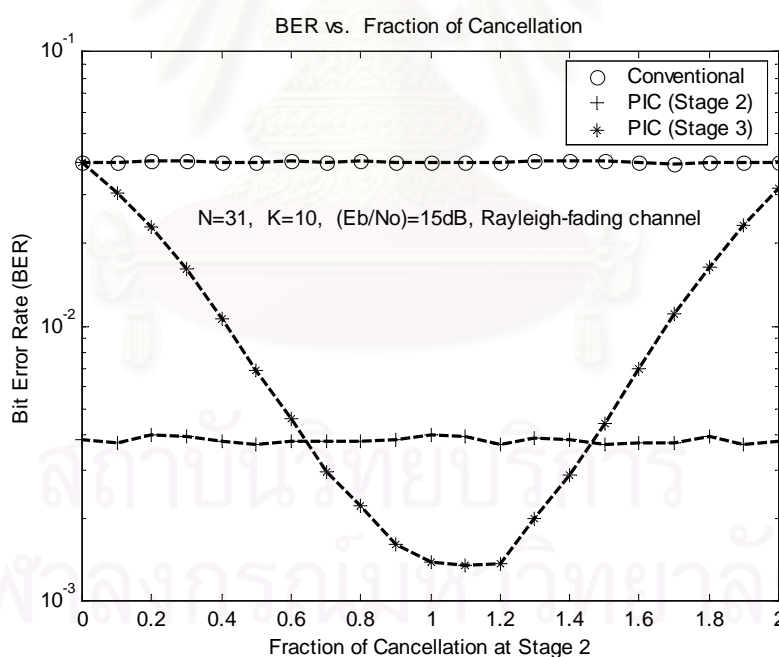
จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าเศษส่วนของหักล้างมี 2 ค่า คือ 1.0 และ 1.1 โดยสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ค่า BER ต่ำที่สุด รองลงมาคือสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5, 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเศษส่วนของหักล้างเป็น 1.1, 1.2, 1.0, 1.0 และ 1.1 ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.56 แสดงให้เห็นว่าค่าเศษส่วนของหักล้างที่หาได้จากรูปที่ 4.55 เป็นค่าเศษส่วนของหักล้างที่ดีที่สุดจริง

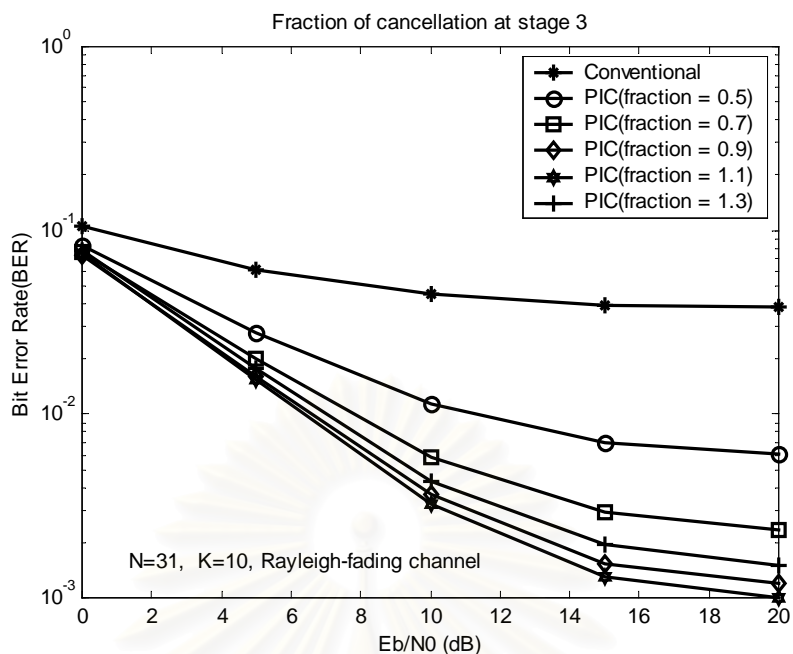
รูปที่ 4.55 – 4.61 แสดงให้เห็นถึงค่า BER กับ ค่าเศษส่วนของหักล้างในแต่ละชั้นในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยจะเห็นความแตกต่างของค่า BER ระหว่างชั้นที่ 2 กับเครื่องรับแบบแมตซ์ และชั้นที่ 2 กับ 3 นั่นก็คือ การปรับปรุงในชั้นที่ 3 จะน้อยกว่าในชั้นที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ค่าเศษส่วนของหักล้างในชั้นที่ 2 มีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานอย่างมาก

ตารางที่ 4.5 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3
เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

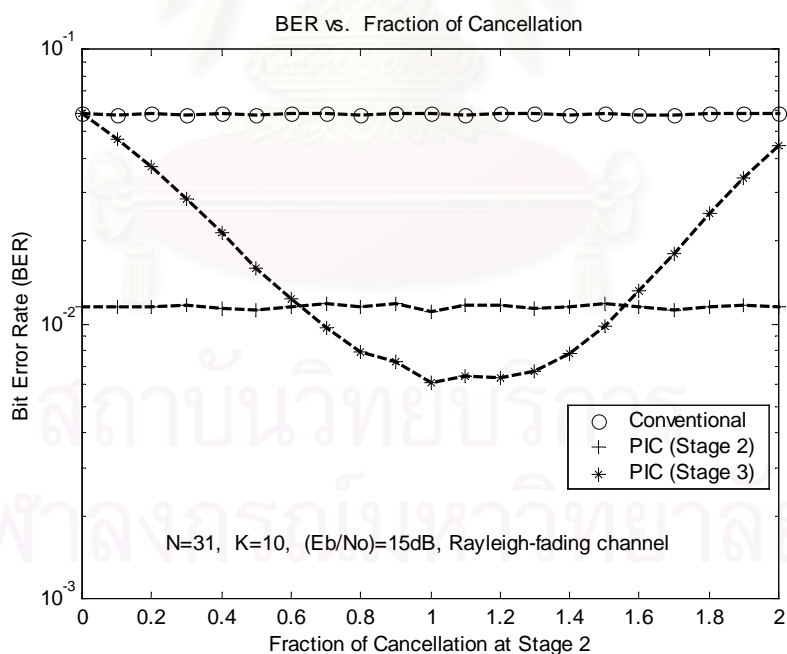
สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 1	1.1	0.0013
แบบที่ 2	1.0	0.0061
แบบที่ 3	1.0	0.00725
แบบที่ 4	1.1	0.0129
แบบที่ 5	1.2	0.0041



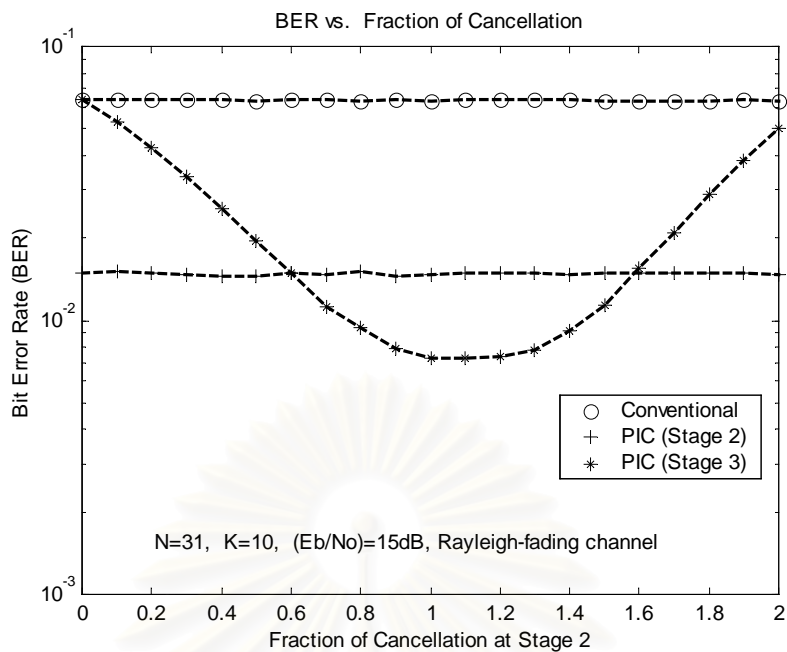
รูปที่ 4.55 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



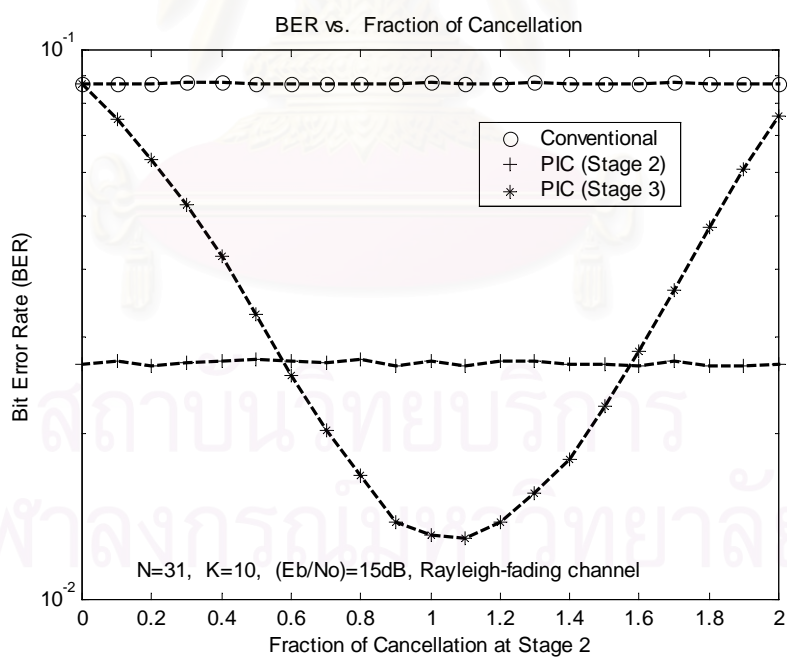
รูปที่ 4.56 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 3 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน



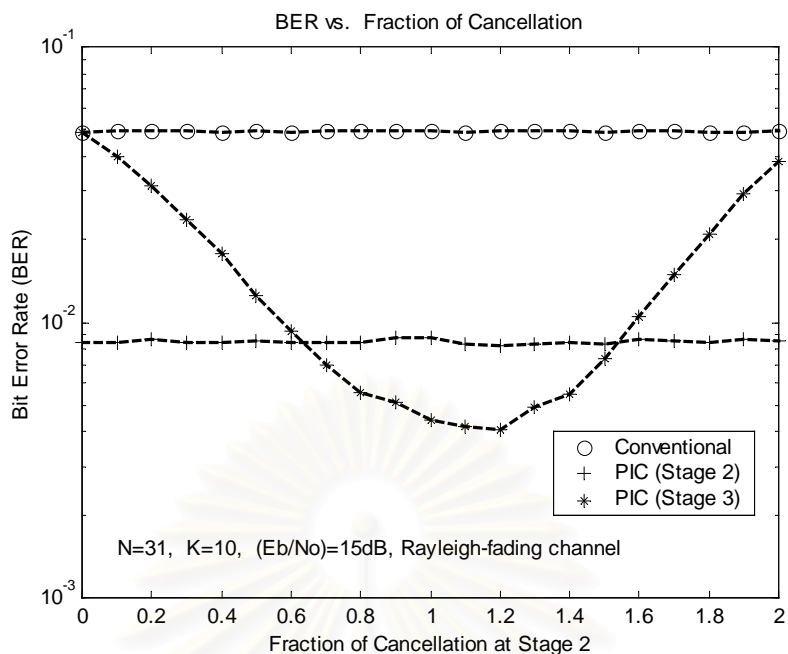
รูปที่ 4.57 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



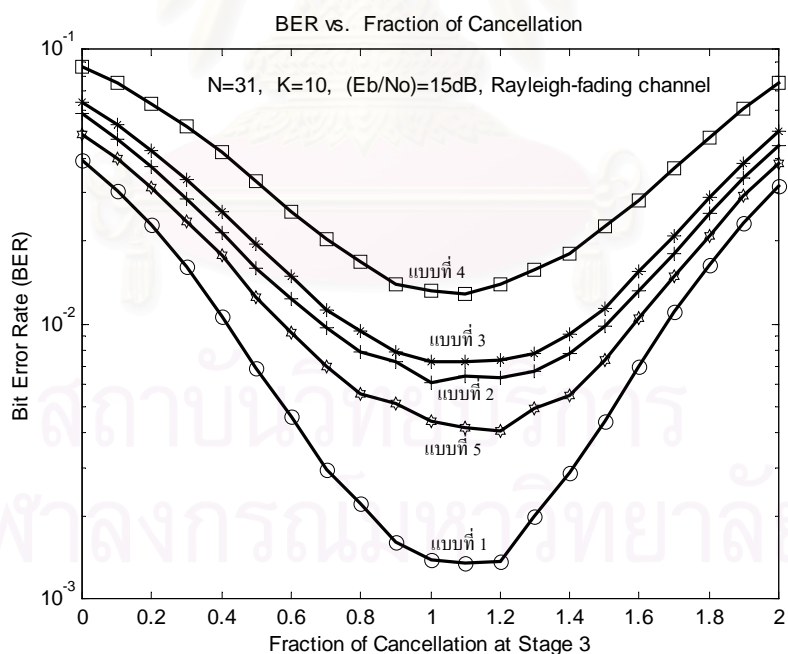
รูปที่ 4.58 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.59 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.60 ค่าเศษส่วนของ การหักล้าง ในชั้นที่ 3 โดยใช้ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.61 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด อย่างขนานในชั้นที่ 3 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

สำหรับการหาค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ก็จะเหมือนกรณีที่ใช้ในขั้นที่ 3 เช่นกัน นั่นก็คือการนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดมาในขั้นที่ 2 และ 3 ในตารางที่ 4.4 และ 4.5 มาใช้เพื่อหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ขั้นที่ 4

จากตารางที่ 4.6 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 3 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีค่าเป็น 0.9 และ 1.0 โดยค่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด รองลงมาคือ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5, 2, 3 และ 4

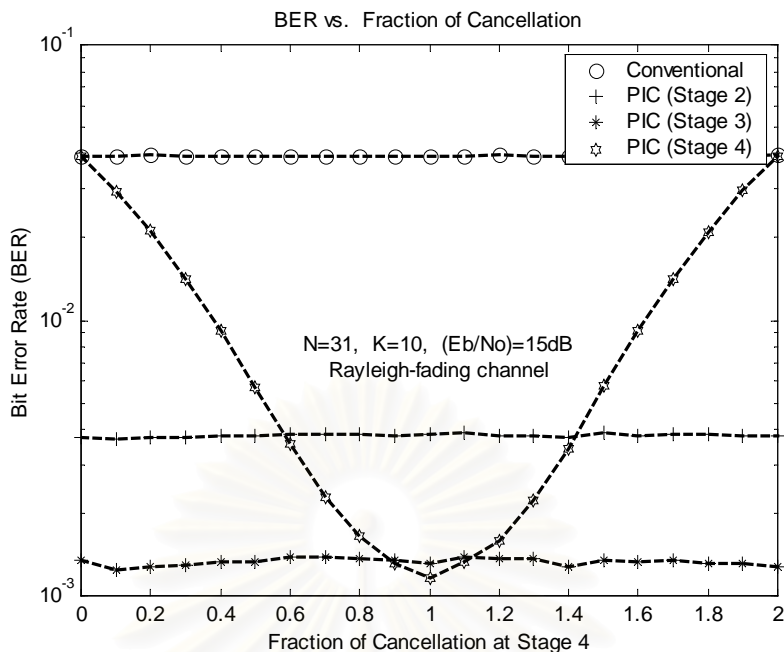
จากรูปที่ 4.63 แสดงให้เห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่หาได้ในรูปที่ 4.62 ซึ่งก็คือ 1 เป็นค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีที่สุด

จากรูปที่ 4.62, 4.64 – 4.68 จะพบว่าค่า BER จะลดลงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นที่ 3 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนขั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นหลังๆ จะน้อยกว่าในขั้นแรกๆ ซึ่งจะเหมือนกับกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน เพียงแต่การปรับปรุงจะน้อยกว่ามาก

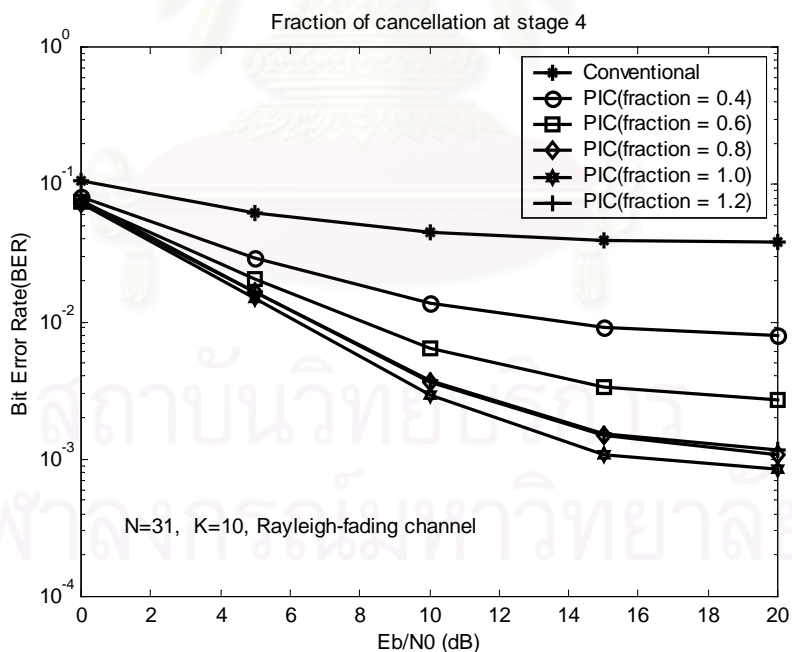
ตารางที่ 4.6 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ขั้นที่ 4

เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าต่างกัน ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

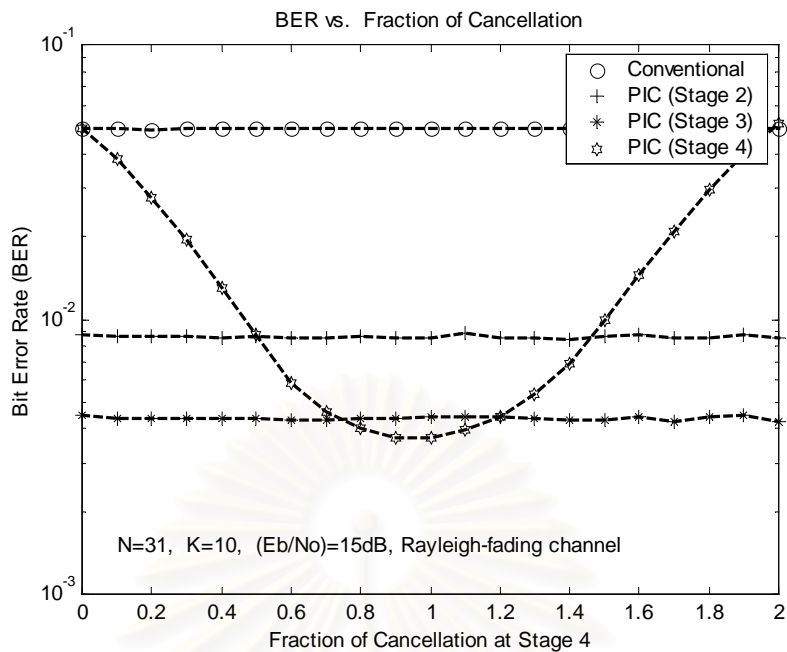
สหสัมพันธ์ข้าม	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
แบบที่ 1	1.0	0.0012
แบบที่ 2	0.9	0.0056
แบบที่ 3	1.0	0.0058
แบบที่ 4	1.0	0.0104
แบบที่ 5	1.0	0.0037



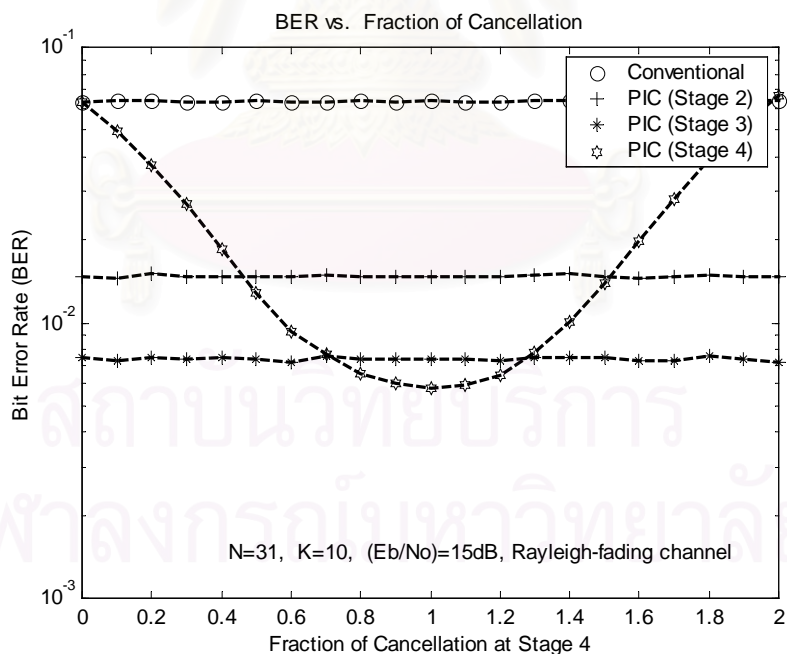
รูปที่ 4.62 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



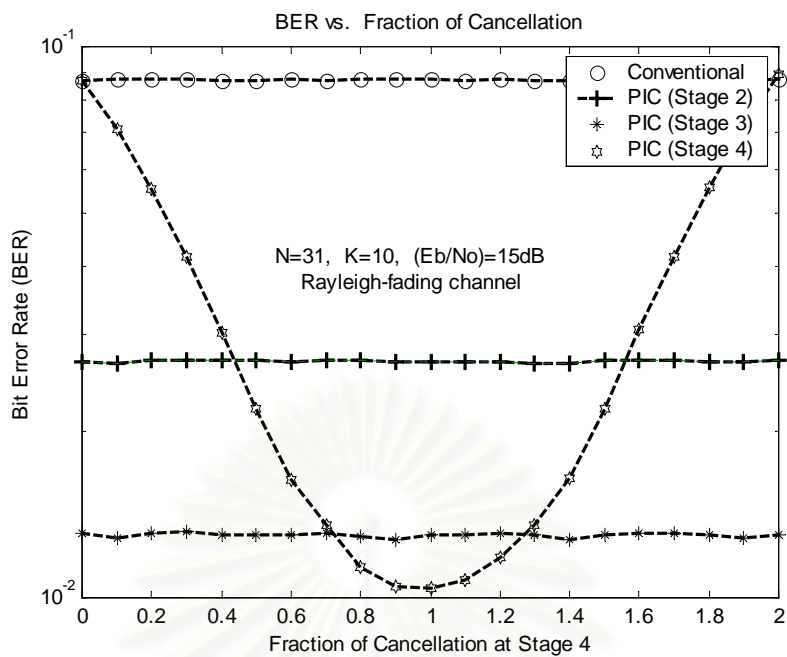
รูปที่ 4.63 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 4 เมื่อค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าต่างกัน



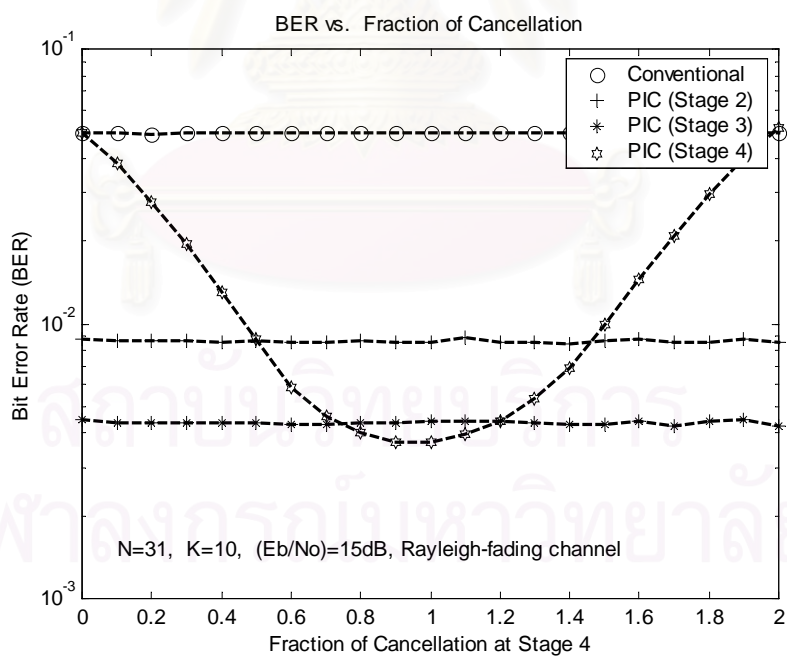
รูปที่ 4.64 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 2
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



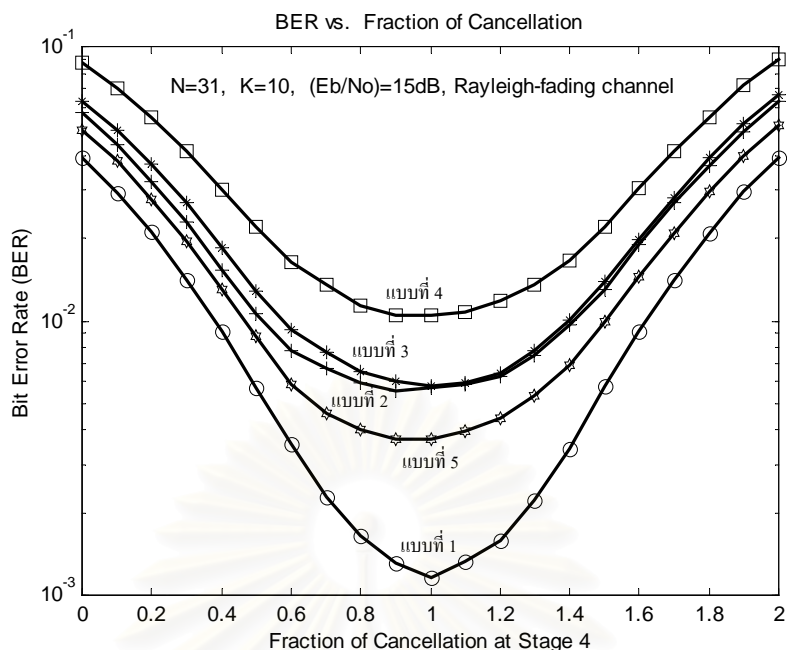
รูปที่ 4.65 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 3
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.66 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.67 ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 4 โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 5 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์



รูปที่ 4.68 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 4 เมื่อค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างกัน
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

4.3.2 กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ต่างกัน

4.3.2.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาค่าเศษส่วนของการหักล้างในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ที่แตกต่างกัน เพื่อดูว่าจำนวนผู้ใช้มีผลต่อค่าเศษส่วนของการหักล้างอย่างไร นอกจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบต่างๆ ที่ได้เสนอไปในหัวข้อที่ผ่านมา

ในการทดลองนี้จะพิจารณาผู้ใช้ในระบบที่แตกต่างกัน โดยให้มีจำนวนผู้ใช้ในระบบตั้งแต่ 5 จนถึง 25 คน สเปกตรัมโค้ดเท่ากับ 31 และใช้บิตข้อมูลจำนวน 3500 บิต และและค่าเฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้ง

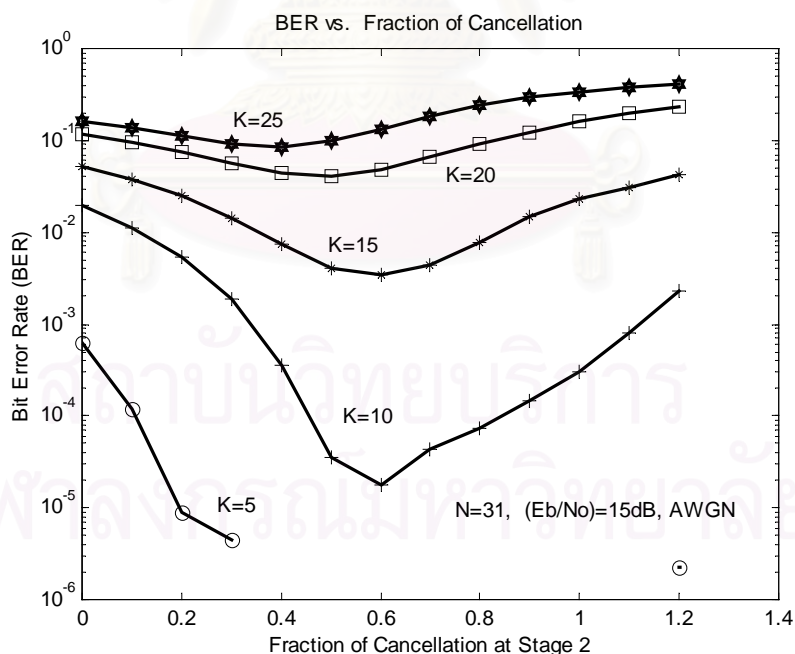
จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 สำหรับผู้ใช้ทั้งหมด จะอยู่ในช่วง 0.4 – 0.6 โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ค่า BER จะสูงขึ้น นั่นก็คือ ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะลดลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนของการหักล้างเมื่อมีจำนวนผู้ใช้ระบบที่แตกต่างกันสามารถดูได้จากรูปที่ 4.69

สำหรับกรณีจำนวนผู้ใช้ 5 คน ไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากว่าบิตข้อมูลที่ให้มีจำนวนน้อยเกินไป ถ้าต้องการจะได้ค่าเศษส่วนของการหักล้างจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

จะเห็นว่าถึงแม้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ดูในขั้นที่ 2 ก็ยังมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งอยู่ในช่วง 0.4 และ 0.6 เพียงแต่ค่า BER เปลี่ยนแปลงตามจำนวนผู้ใช้ และค่าเศษส่วนของการหักล้างมีแนวโน้มว่าจะลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ดูในขั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	-	0
10	0.6	0.0000177
15	0.6	0.00339
20	0.5	0.04018
25	0.4	0.0850



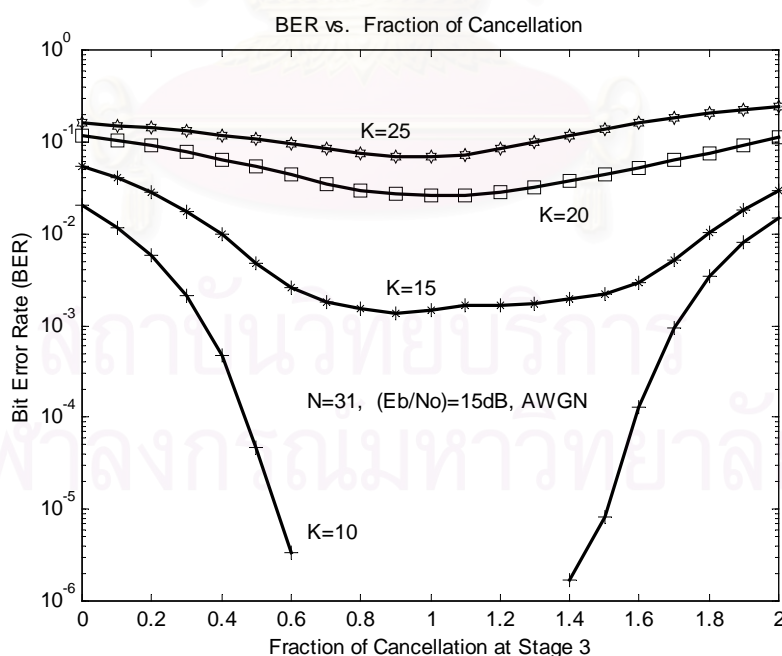
รูปที่ 4.69 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ในการหาเศษส่วนของการหักล้างในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 ก็จะหาเหมือนกับหัวข้อที่ผ่านมา โดยจะเห็นว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ 10 คน ไม่สามารถค่าเศษส่วนของการหักล้างได้ เนื่องจากจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยไป ทำให้ค่า BER ต่ำมากจนไม่สามารถหาค่าได้ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.8

จะเห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเปลี่ยนไป จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.1 โดยจะเห็นว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้งานมีจำนวนน้อยแล้ว ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะลดลง แต่จะไม่มีผลต่อเศษส่วนของการหักล้าง ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.70 ประกอบ

ตารางที่ 4.8 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
10	-	0
15	0.9	0.00136
20	1.1	0.02646
25	1.0	0.0682



รูปที่ 4.70 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

เนื่องจากว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเมื่อจำนวนผู้ใช้มีจำนวนผู้ใช้ 5 คน ในรูปที่ 4.69 และในระดับที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 10 คน ไม่สามารถหาค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดได้ เนื่องจากว่าค่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 มีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงได้ใช้ค่าสเปกตรัมโค้ดที่มีสหสัมพันธ์ข้ามสูงขึ้น ซึ่งจะเลือกใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 (สามารถดูวิธีสร้างได้จากภาคผนวก ข) ซึ่งจะทำได้ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดได้

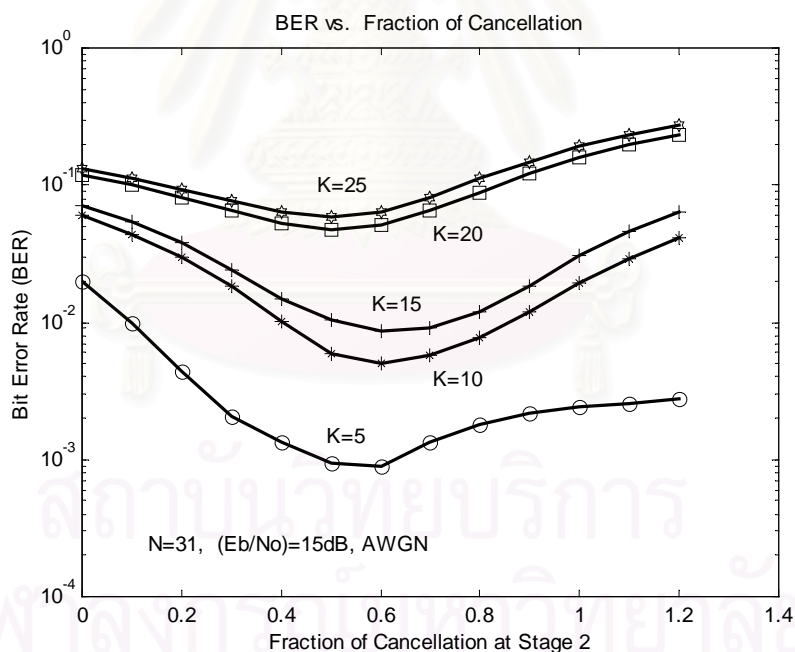
จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.71 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่เมื่อจำนวนผู้ใช้ตั้งแต่ 5 จนถึง 25 คน มีค่าส่วนใหญ่เป็น 0.6 และเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น จะลดลงเป็น 0.5 และค่า BER จะแปรตามจำนวนผู้ใช้ คือเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่า BER ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นั่นหมายความว่า ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะลดลง

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.72 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 จะอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.1 ซึ่งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น และจะมีค่า BER ที่สูงเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ในกรณีที่ใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ทั้งในระดับที่ 2 และ 3 จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 10 และ 15 ค่า BER จะมีความแตกต่างกัน ขณะที่เมื่อจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 และ 25 ค่า BER จะค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ทั้งในระดับที่ 2 และ 3 จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 5 และ 10 จะมีค่า BER ใกล้เคียงกัน และกรณีที่ผู้ใช้เท่ากับ 20 และ 25 ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะพอสรุปได้ว่าแนวโน้มของค่า BER จะขึ้นอยู่กับค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่สุดในขั้นที่ 2
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

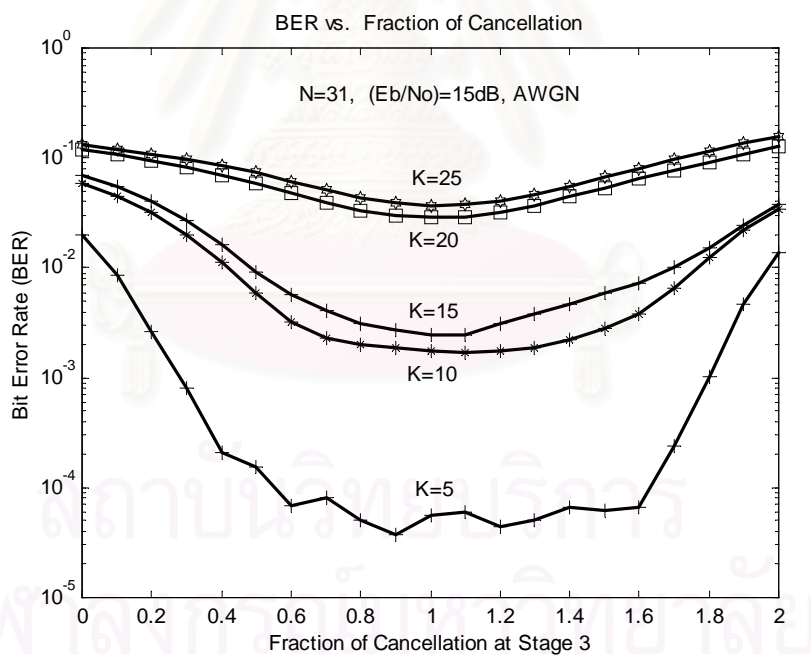
จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	0.6	0.00089
10	0.6	0.005038
15	0.6	0.00859
20	0.5	0.0478
25	0.5	0.0585



รูปที่ 4.71 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ตารางที่ 4.10 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในขั้นที่ 3
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	0.9	0.0000377
10	1.1	0.00243
15	1.1	0.00172
20	1.0	0.0283
25	1.0	0.037



รูปที่ 4.72 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

4.3.2.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ในกรณีของช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ก็จะพิจารณาเช่นเดียวกันกับกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนเช่นกัน ใช้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ดังรูป

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.73 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 จะอยู่ในช่วง 0.4 – 0.7 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดจะมีค่าลดลง แต่ค่า BER จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.74 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 3 อยู่ใน ช่วง 0.9 – 1.1 และค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับกรณีที่มีจำนวน 2 ผู้ใช้

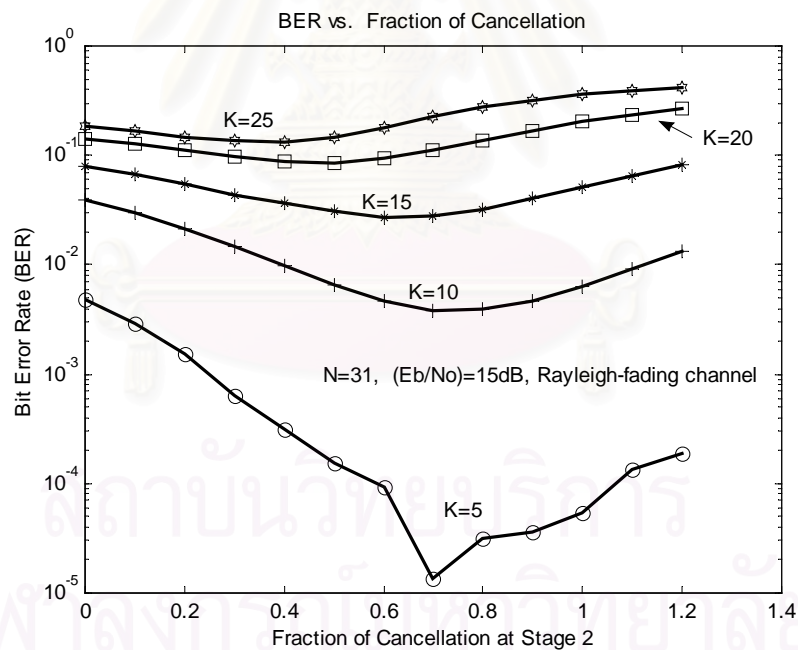
จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 แสดงค่า BER เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 จะพบว่าค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 และค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 จะมีค่าเป็น 0.5 และ 0.6 ส่วนระดับที่ 3 จะมีค่าเป็น 0.9 – 1.1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรณีสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ที่ขึ้นเดียวกัน

จะเห็นว่าแนวโน้มค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดเมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์จะมีความคล้ายกัน คือ ค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่ 2 จะมีค่าที่อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 1 ส่วนกรณีเมื่อเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีจำนวน 3 ชั้น ค่าเศษส่วนของการหักล้างจะอยู่ในช่วงประมาณ 1 และเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่าเศษส่วนของการหักล้างจะมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะมีสัญญาณแทรกสอดมาก ทำให้ต้องใช้เศษส่วนของการหักล้างที่ต่ำเพื่อลดผลของสัญญาณแทรกสอดที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในขั้นที่ 2
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

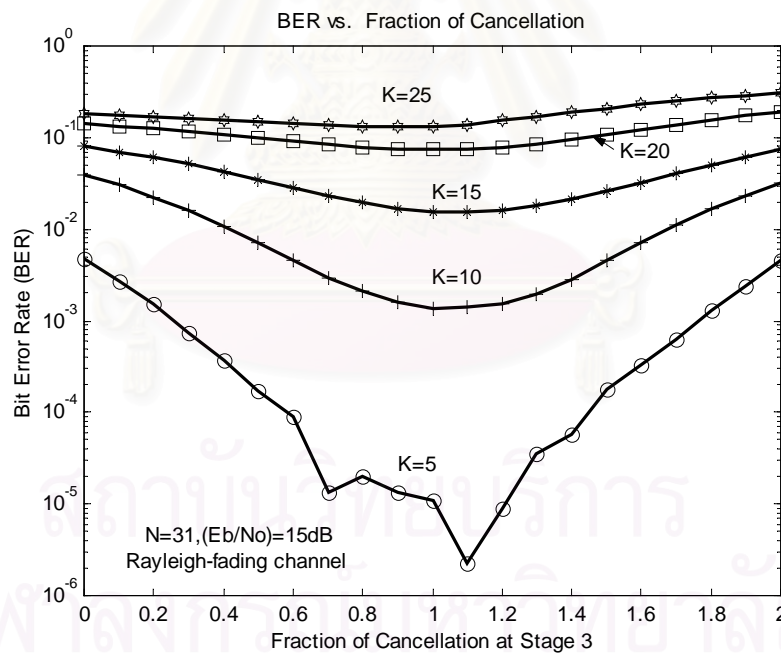
จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	0.7	0.000013
10	0.7	0.0038
15	0.6	0.0274
20	0.5	0.0862
25	0.4	0.1326



รูปที่ 4.73 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ตารางที่ 4.12 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในขั้นที่ 3
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

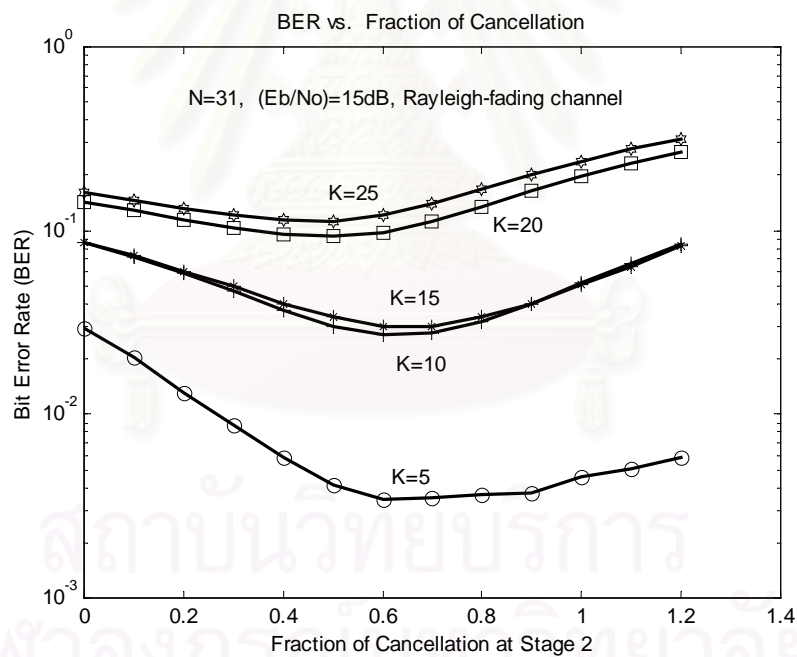
จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	1.1	0.0000022
10	1.0	0.00134
15	1.1	0.015
20	1.0	0.07369
25	0.9	0.129



รูปที่ 4.74 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 3 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ตารางที่ 4.13 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

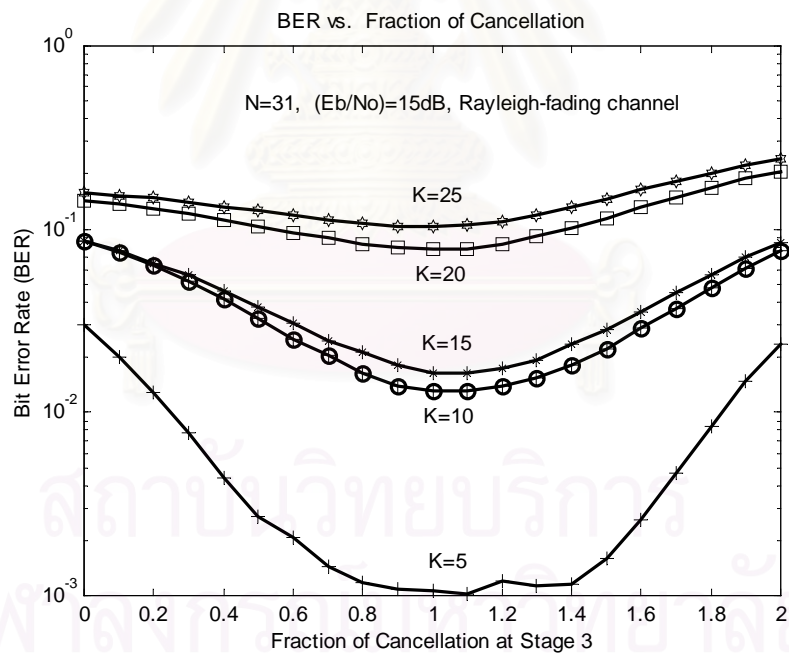
จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	0.6	0.0034
10	0.6	0.0271
15	0.6	0.03017
20	0.5	0.093
25	0.5	0.1129



รูปที่ 4.75 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในระดับที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ตารางที่ 4.14 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในชั้นที่ 3
เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

จำนวนผู้ใช้ (คน)	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
5	1.1	0.001
10	1.0	0.013
15	1.0	0.016
20	1.0	0.077
25	0.9	0.1033



รูปที่ 4.76 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 2 เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

4.3.3 กรณีที่มีความยาวของสเปรคดิงโค้ดต่างกัน

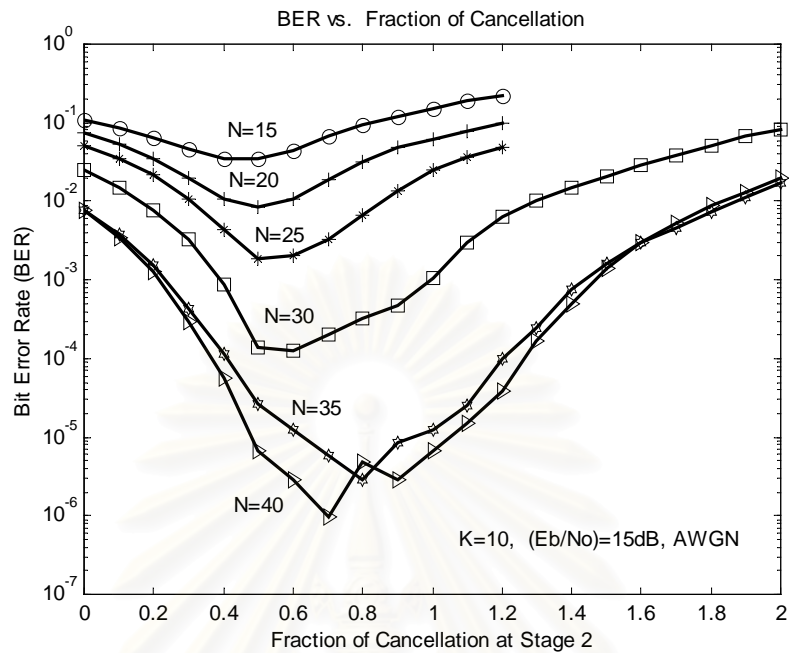
4.3.3.1 ในช่องสัญญาณที่มีการรบกวนเกาส์เซียน

ในการพิจารณากรณีที่ความยาวของสเปรคดิงโค้ดที่ต่างกัน จะใช้บิตข้อมูลเหมือนกรณีที่เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกันเช่นกัน

จากตารางที่ 4.15 และ 4.16 รวมถึงจากรูปที่ 4.77 และ 4.78 จะพบว่าเมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดสำหรับขั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะอยู่ในช่วง 0.5 – 0.7 และสำหรับในขั้นที่ 3 จะอยู่ในช่วง 0.9 – 1.3 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความยาวของสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าเมื่อความยาวของสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้ลดลง ซึ่งจะไม่เหมือนกรณีเมื่อผู้ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สหสัมพันธ์ข้ามของผู้ใช้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าที่ต่ำ เพื่อลดผลของสัญญาณแทรกสอด

ตารางที่ 4.15 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในขั้นที่ 2
เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

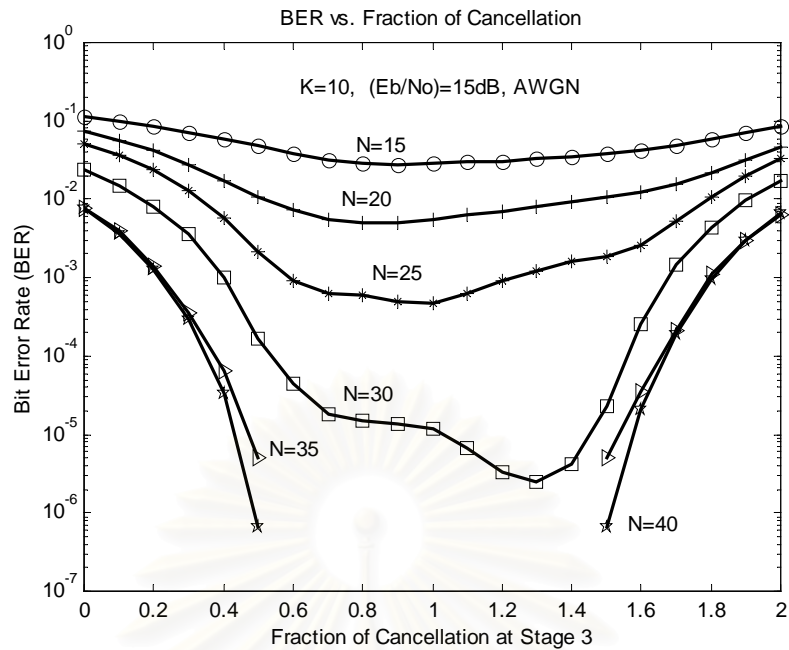
ความยาวสเปรคดิงโค้ด	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
15	0.5	0.0342
20	0.5	0.0085
25	0.5	0.0018
30	0.6	0.000128
35	0.8	0.00000285
40	0.7	0.00000095



รูปที่ 4.77 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 2 เมื่อความยาวสเปรคดิงได้ต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ตารางที่ 4.16 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด ในชั้นที่ 3
เมื่อความยาวสเปรคดิงได้ต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ความยาวสเปรคดิงได้	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
15	0.9	0.0281
20	0.9	0.00509
25	1.0	0.00047
30	1.3	0.0000025
35	-	0
40	-	0



รูปที่ 4.78 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในชั้นที่ 3 เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน
ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

4.3.3.2 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

จากตารางที่ 4.17 แสดงค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.5 – 0.9 โดยจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสเปรคดิงโค้ด และสำหรับค่า BER ที่ได้จะมีค่าลดลงเมื่อความยาวของสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นจากรูปที่ 4.79 ประกอบ

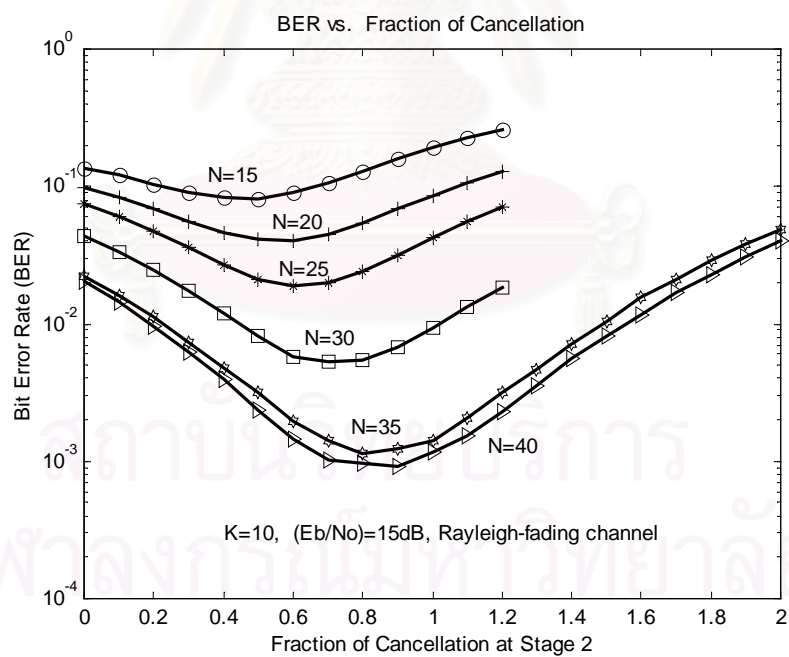
สำหรับตารางที่ 4.18 จะเป็นค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 3 ซึ่งจะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างจะมี 2 ค่าคือ 1.0 และ 1.1 และค่า BER จะเหมือนกับกรณีที่มีจำนวน 2 ชั้นเช่นกัน ซึ่งสามารถดูจากรูปที่ 4.80 ประกอบ

สำหรับตารางที่ 4.19 จะแสดงค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่ชั้นที่ 4 จะพบว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างจะอยู่ในช่วง 0.8 – 1.1 ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับกรณีที่มีจำนวน 2 ชั้นเช่นกัน คือ ค่าเศษส่วนของการหักล้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวของสเปรคดิงโค้ดเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน และในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ค่าเศษส่วนของการหักล้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.17 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่สุดในขั้นที่ 2
เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

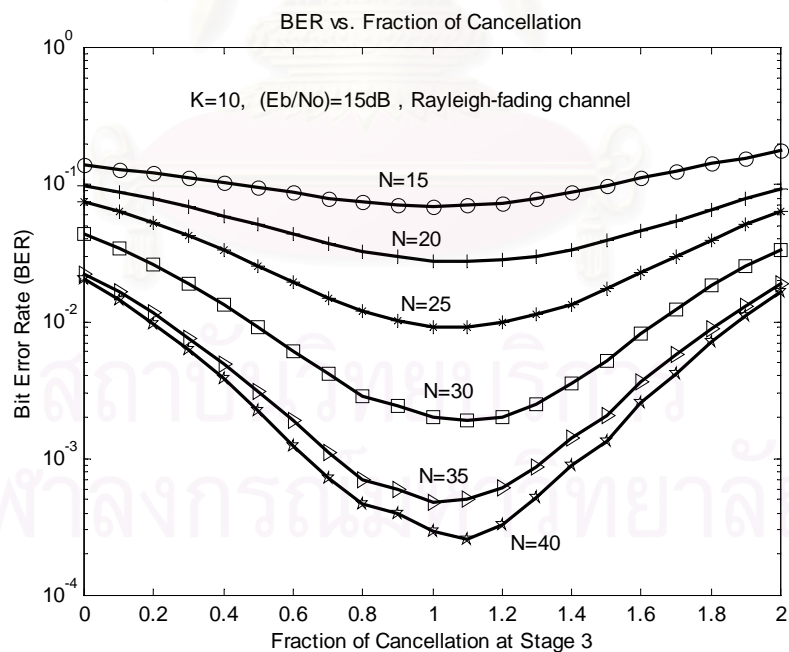
ความยาวสเปรคดิงโค้ด	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
15	0.5	0.0819
20	0.6	0.0403
25	0.6	0.0187
30	0.7	0.0053
35	0.8	0.00115
40	0.9	0.000904



รูปที่ 4.79 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 2 เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ตารางที่ 4.18 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่สุดในขั้นที่ 3
เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณรบกวนที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

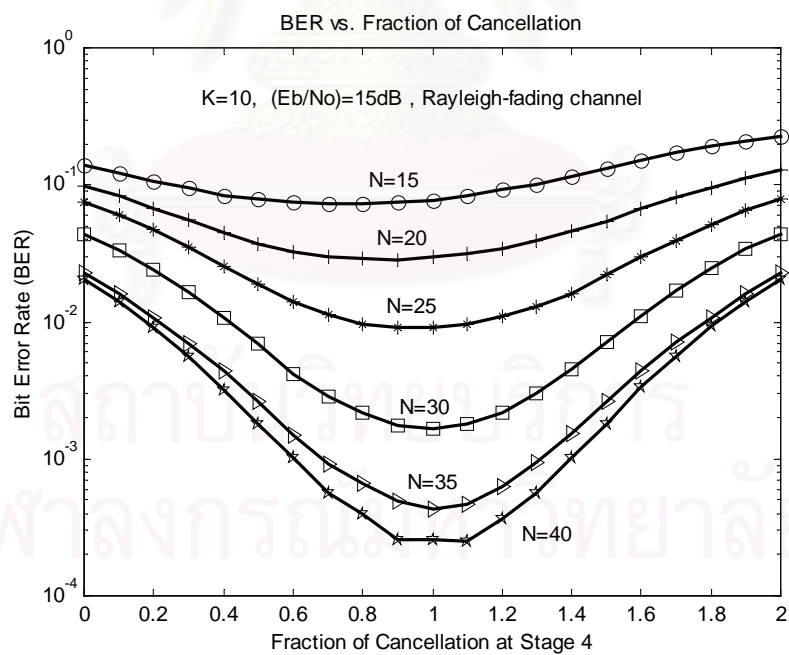
ความยาวสเปรคดิงโค้ด	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
15	1.0	0.0695
20	1.1	0.0275
25	1.1	0.0091
30	1.1	0.0019
35	1.0	0.000473
40	1.1	0.000257



รูปที่ 4.80 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในขั้นที่ 3 เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ตารางที่ 4.19 ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 4
เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน โดยใช้สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

ความยาวสเปรคดิงโค้ด	ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุด	ค่า BER
15	0.8	0.0722
20	0.9	0.0286
25	1.0	0.00912
30	1.0	0.00165
35	1.0	0.000434
40	1.1	0.00025



รูปที่ 4.81 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอด
อย่างขนานในระดับที่ 4 เมื่อความยาวสเปรคดิงโค้ดต่างกัน
ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

4.4 การนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ ซึ่งก็คือการนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดที่หาได้จากหัวข้อที่ 4.2 มาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสม

ในการทดลองจะใช้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่สูง ซึ่งจะทำให้สัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงตามไปด้วย ทำให้เหมาะในการใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในการแก้ปัญหา

4.4.1 กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ จะสมมติให้ขนาดสัญญาณของผู้ใช้มาถึงทางสถานีฐาน ด้วยขนาดที่เท่ากัน โดยกำหนดให้ผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 10 คน และความยาวของสเปกตรัมคือเท่ากับ 31

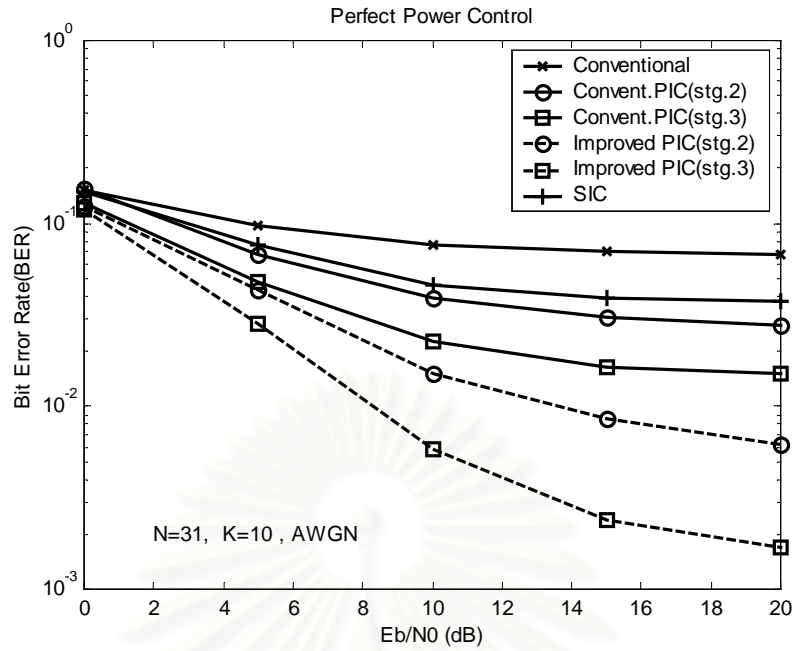
ในการนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ใช้ในหัวข้อนี้จะพิจารณา 2 กรณีคือ กรณีที่ผู้ใช้เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยตรง กับกรณีที่ผู้ใช้เข้าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 เนื่องจากว่าจำนวนผู้ใช้ที่ผ่านเข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดโดยตรงจะเท่ากับ 10 คน ขณะที่จำนวนผู้ใช้ที่เข้าดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะเท่ากับ 5 คน ดังนั้นในการนำค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดมาใช้จะต้องพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้ด้วย ซึ่งค่าเศษส่วนของการหักล้างที่นำมาใช้จะพิจารณาจากตารางที่ 4.9 จะพบว่าในกรณีผู้ใช้จำนวน 5 คนจะได้ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 และ 3 จะมีค่าเป็น 0.6 และ 0.9 ตามลำดับ และในกรณีผู้ใช้จำนวน 10 คนจะได้ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในระดับที่ 2 และ 3 เป็น 0.6 และ 1.1 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.82 จะพบว่าเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานแล้วจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน โดยจะเห็นว่าเมื่อใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างในระดับที่ 2 และในระดับที่ 3 เป็น 0.6 และ 1.1 แล้ว จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจำนวน 3 ชั้นที่ไม่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน สำหรับเครื่องรับแบบแมตซ์ และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในระดับที่ 2

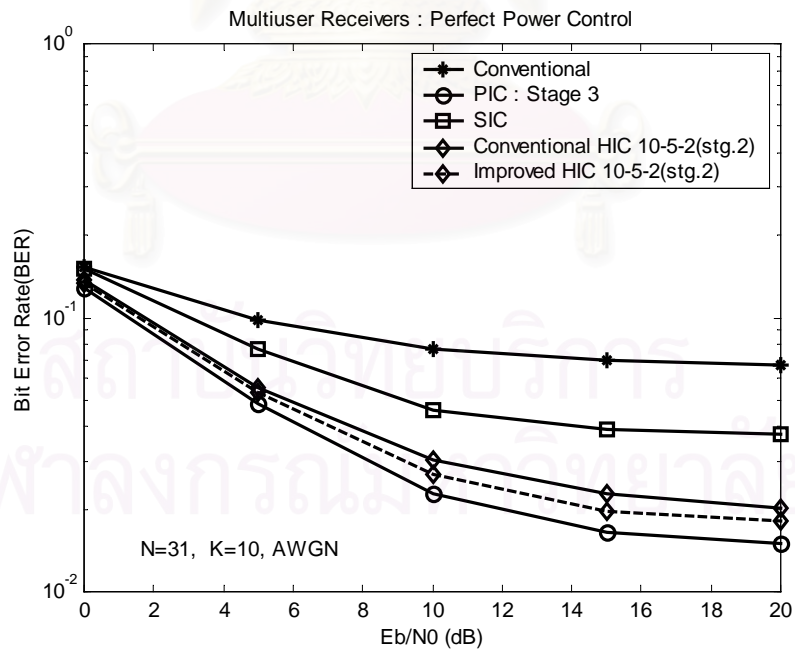
ในรูปที่ 4.83 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานอย่างต่อเนื่อง และ อย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 โดยจะเห็นว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ขณะที่เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานโดยให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างในชั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ให้มีค่าเป็น 0.6 แล้ว จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้น 2 ดังรูป

จากรูปที่ 4.84 จะเป็นการเปรียบเทียบเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในชั้นที่ 2 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานโดยให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ทำได้ในชั้นที่ 2 และ 3 เป็น 0.6 และ 0.9 ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานแล้ว จะเห็นว่าจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อไม่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน

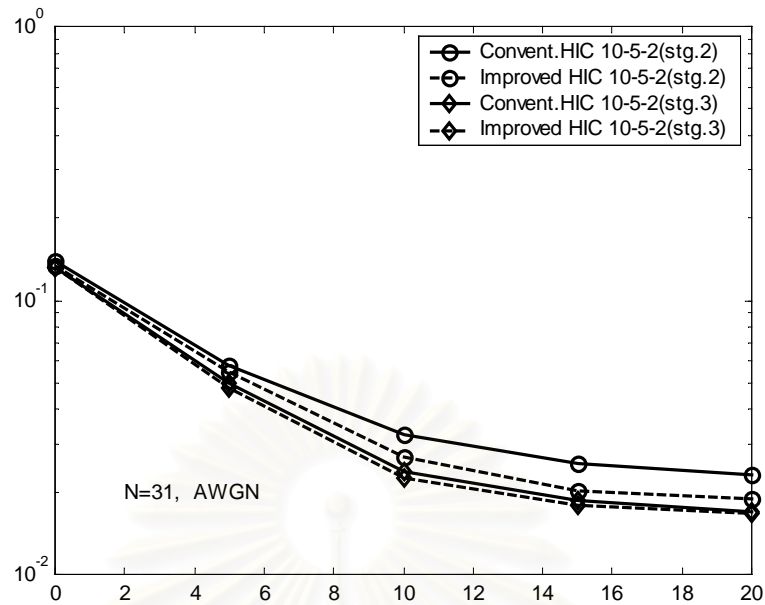
ซึ่งจากรูปสรุปได้ว่า เมื่อใช้จำนวนชั้นในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมากขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 แล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งแสดงว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างมีส่วนช่วยในการลดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ในระบบ ส่งผลให้การตัดสินใจบิตข้อมูลดีขึ้น



รูปที่ 4.82 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานที่ขึ้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.83 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.84 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2,3) และ โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

4.4.2 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

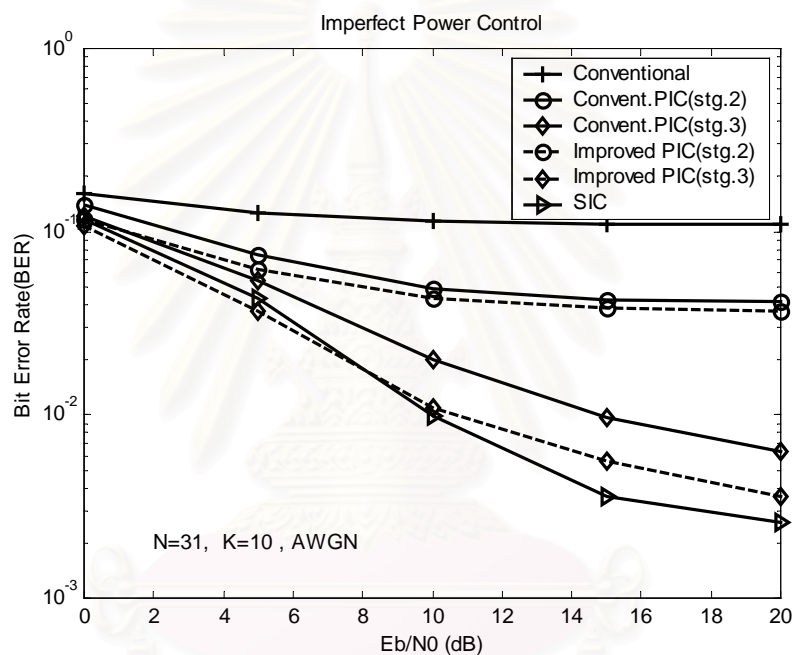
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์จะพิจารณาเหมือนกับหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งก็คือให้ขนาดสัญญาณของผู้ใช้มีความแตกต่างกัน สำหรับค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดในการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์จะเหมือนกับกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ นั่นก็คือกรณีผู้ใช้จำนวน 5 คนจะใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 และ 3 เป็น 0.6 และ 0.9 และในกรณีผู้ใช้จำนวน 10 คน จะใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 และ 3 เป็น 0.6 และ 1.1 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.85 จะพบว่าเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานดีขึ้น โดยจะเห็นว่าเมื่อจำนวนขั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเท่ากับ 3 การใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิมอย่างมาก และเข้าใกล้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง

ในรูปที่ 4.86 จะเห็นว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมที่ไม่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน และให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 3 และจะพบว่าเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน โดยให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างใน

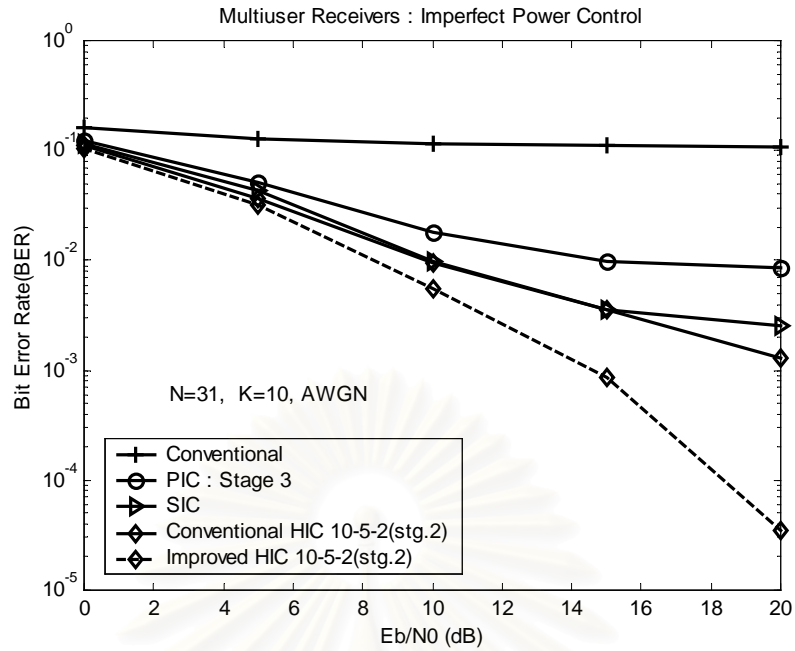
ขั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเป็น 0.6 แล้ว จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องอย่างมาก

จากรูปที่ 4.87 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 จะพบว่าเมื่อจำนวนขั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 เพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมดีขึ้น ขณะเดียวกัน เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ก็ยังทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ดีขึ้นไปด้วย

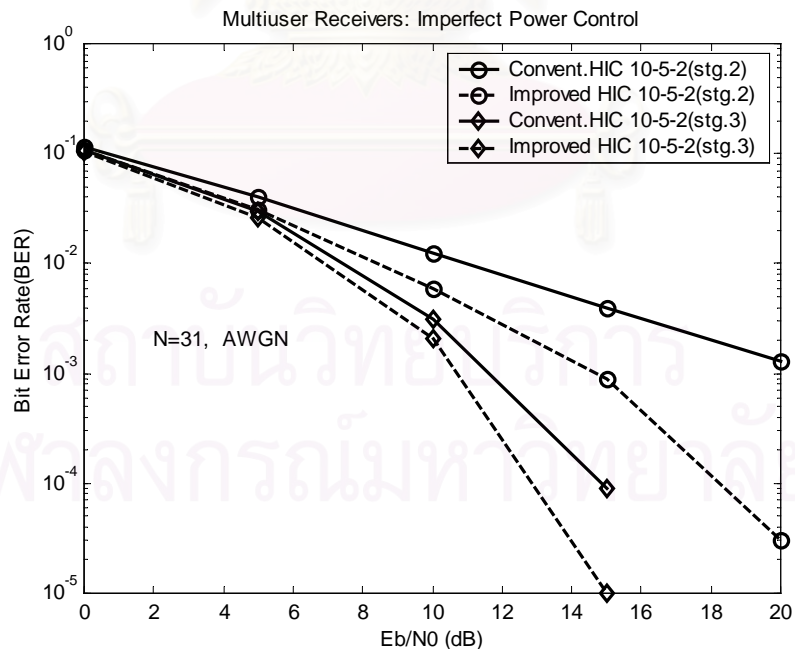


รูปที่ 4.85 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานที่ขั้นต่างๆ ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.86 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีความคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.87 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2, 3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนในกรณีความคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

จากรูปที่ 4.82 – 4.87 สามารถที่จะสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานเทียบกับการไม่ใช้เทคนิคดังกล่าว ดังตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ชัดว่า ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ การใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานอย่างมาก จะเห็นว่าค่า BER ที่ลดลงกว่าเดิมอย่างมาก นั่นก็คือ ค่า BER จะลดลงเป็น 71.61 และ 85.45 สำหรับในขั้นที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นด้วยว่าการเพิ่มจำนวนขั้นจะมีส่วนช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน โดยจะให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ที่มากกว่าในขั้นที่ 2 ส่วนกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ การใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะช่วยทำให้ค่า BER ลดลงเช่นกัน แต่ไม่เท่ากรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ ซึ่งแสดงว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ทำงานไม่ดีในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ ในกรณีของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับดังกล่าวได้ดีในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 มีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม แบบ 10-5-2 ให้ดีขึ้น ซึ่งก็แสดงว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะเหมาะที่จะนำมาใช้กับกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์มากกว่า

ตารางที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ที่ E_b / N_0 เป็น 15 dB ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

เครื่องรับ	ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์	ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์
PIC (stg.2)	71.61	8.73
PIC (stg.3)	85.45	42.26
HIC 10-5-2 (stg.2)	20.55	77
HIC 10-5-2 (stg.3)	3.76	88

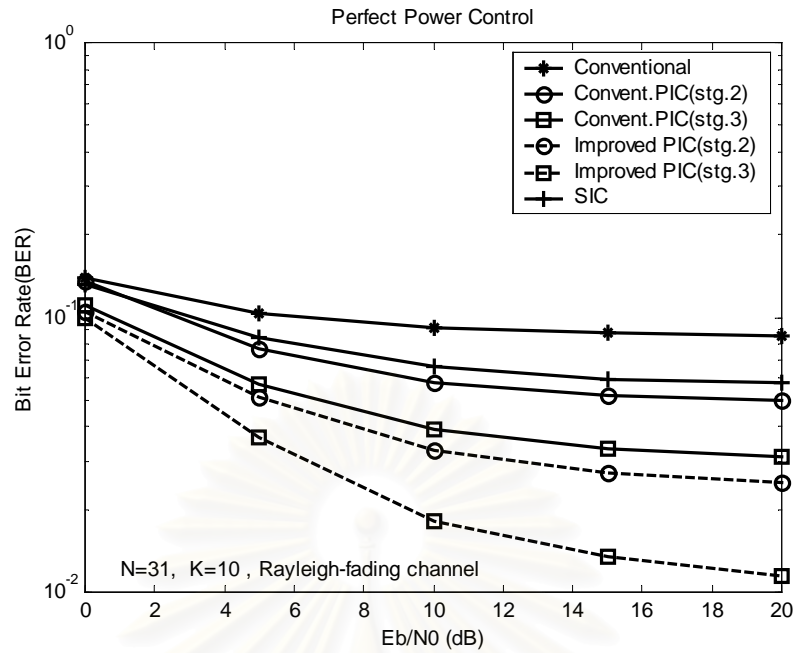
4.4.3 กรณีควบคุมกำลังส่งสมรรถในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

สำหรับการนำเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์นี้ จะใช้ค่าที่หาได้จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 โดยจะเห็นว่าในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ 5 คน และ 10 คน จะมีค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ดีที่สุดเป็น 0.6 และ 1.1 ตามลำดับ

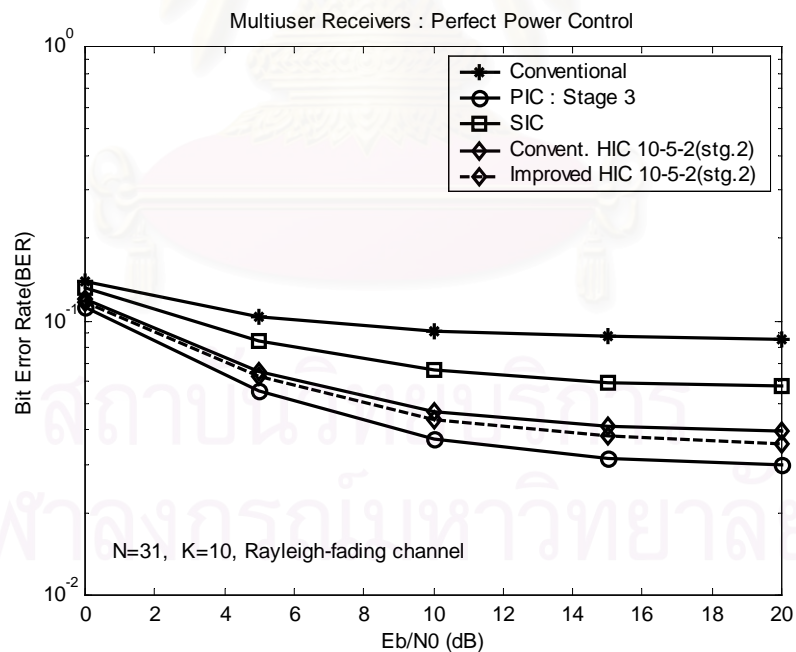
จากรูปที่ 4.88 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ และดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องอย่างมาก ซึ่งจะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานโดยใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 เป็น 0.6 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 3 ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคนี้

ในรูปที่ 4.89 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างเป็น 0.6 ในขั้นที่ 2 ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในขั้นที่ 3 ยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

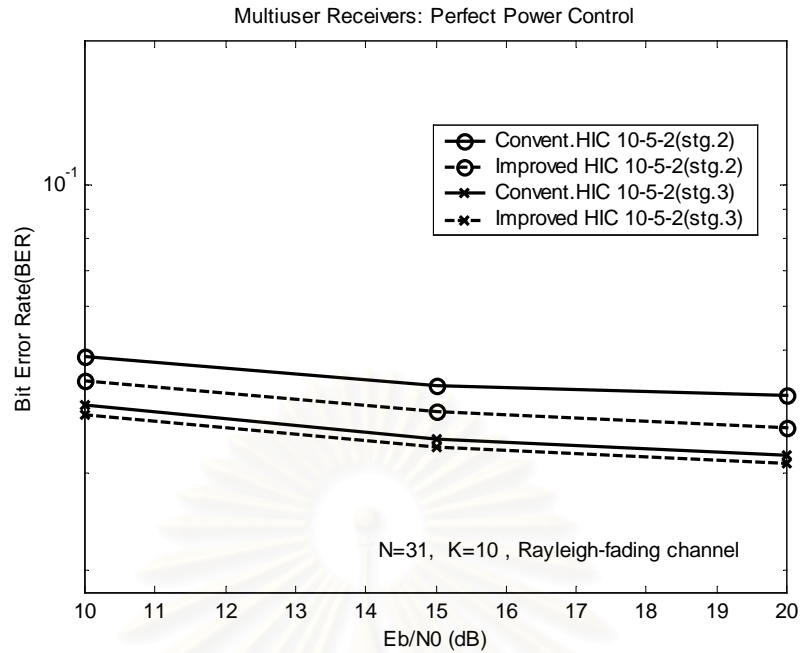
รูปที่ 4.90 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้เศษส่วนของการหักล้างในขั้นที่ 2 เป็น 0.6 และในขั้นที่ 3 เป็น 1.1 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการไม่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 อย่างมาก



รูปที่ 4.88 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานที่ขึ้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.89 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



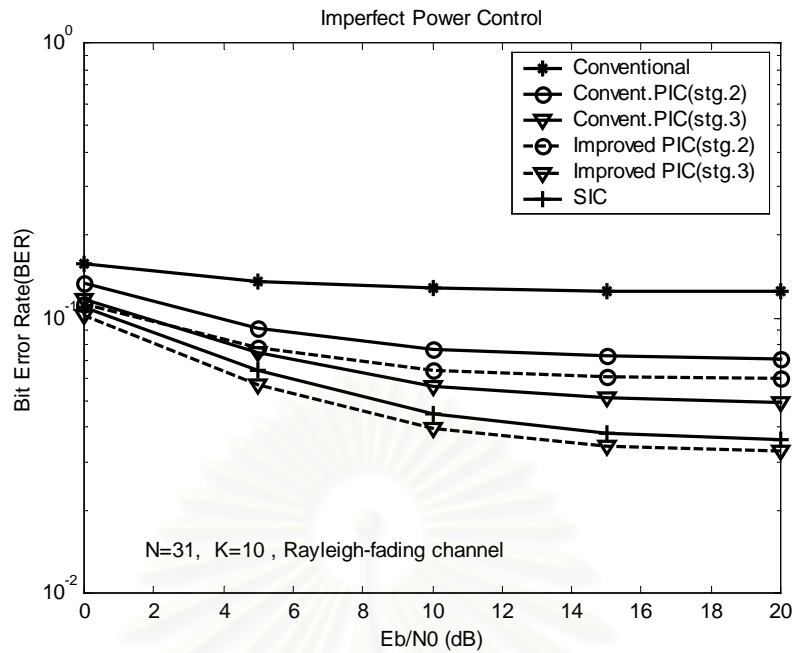
รูปที่ 4.90 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2, 3) และ โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

4.4.4 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์

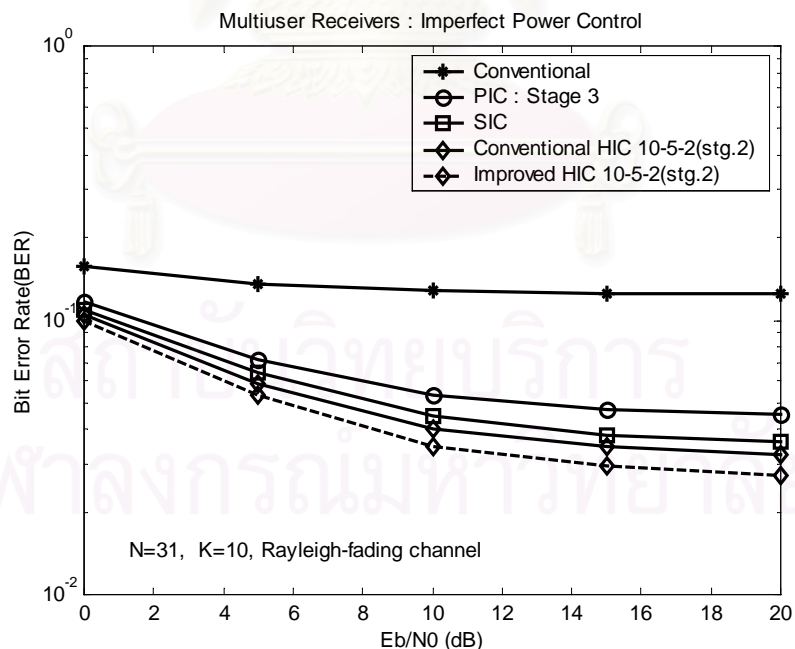
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์นี้จะใช้ค่าเศษส่วนของการหักล้างเหมือนกรณีควบคุมกำลังส่งเช่นกัน จากรูปที่ 4.91 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในขั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่รองลงมา

จากรูปที่ 4.92 จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง และเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 จะพบว่าให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ที่ขั้นเดียวกัน

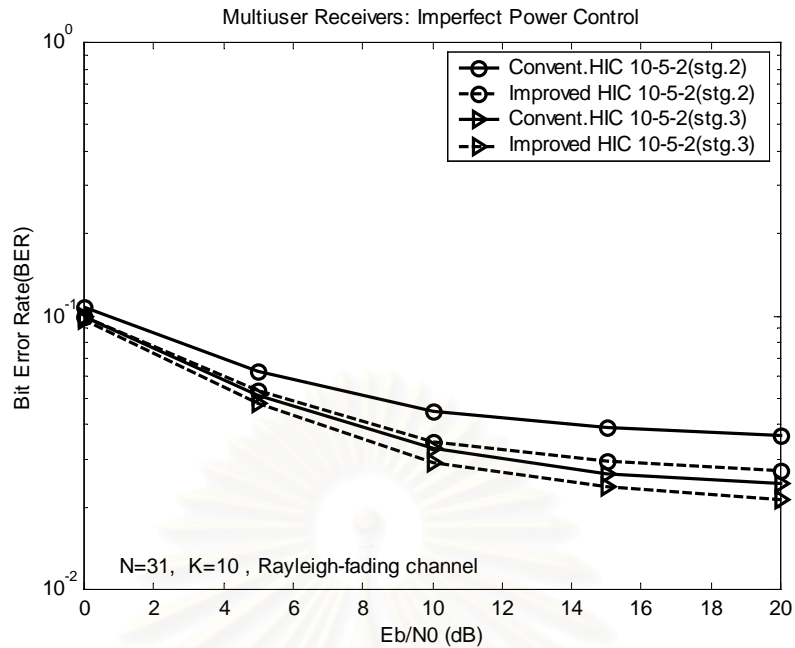
ในรูปที่ 4.93 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ซึ่งจะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อไม่ใช้เทคนิคนี้ที่ขั้นเดียวกัน



รูปที่ 4.91 ผลการเปรียบเทียบ BER ระหว่างเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานที่ชั้นต่างๆ และอย่างต่อเนื่องในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.92 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ชั้นที่ 2) โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบอื่นในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.93 ผลการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 (ขั้นที่ 2, 3) และโดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

จากรูปที่ 4.88 – 4.93 สามารถที่จะสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานเทียบกับการไม่ใช้เทคนิคดังกล่าว ดังตารางที่ 4.21 จะเห็นว่า การลดลงของค่า BER จะคล้ายกับกรณีในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน นั่นก็คือ ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ การใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานได้มากกว่ากรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ จะเห็นได้ว่า ค่า BER มีค่าลดลงเป็น 47.64% และ 59.59% สำหรับในขั้นที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยที่เมื่อจำนวนขั้นเพิ่มขึ้น การเปอร์เซ็นต์การลดลงจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ในกรณีของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในขั้นที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับดังกล่าวได้ดีในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ โดยจะเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงมีค่าเป็น 15.8 และ 10.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานที่ E_b/N_0 เป็น 15 dB ในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเบเรลย์

เครื่องรับ	ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์	ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์
PIC (stg.2)	47.64	16.15
PIC (stg.3)	59.59	32.77
HIC 10-5-2 (stg.2)	7.69	15.8
HIC 10-5-2 (stg.3)	3.57	10.8

ตารางที่ 4.22 แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบจำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง อย่างขนาน และอย่างผสมแบบ 10-5-2 ซึ่งจำนวนของการหักล้างจะแสดงถึงความซับซ้อนของเครื่องรับเนื่องจากการต้องมีการสร้างสัญญาณใหม่ทุกครั้งก่อนทำการหักล้าง จากตารางจะพบว่าจำนวนของการหักล้างของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 จะมีจำนวนของการหักล้างมากที่สุด ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะให้จำนวนของการหักล้างน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาจากความล่าช้าของบิตแล้ว จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องจะมีความล่าช้าของบิตมากที่สุด ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะมีความล่าช้าของบิตน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเบเรลย์ จากรูปที่ 4.82 และ 4.88 จะเห็นว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 ซึ่งใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องอย่างมาก ซึ่งถ้าดูจากจำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตแล้ว จะเห็นว่าสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีความล่าช้าของบิตที่น้อยมาก เมื่อพิจารณารูปที่ 4.83 และ 4.89 จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 ที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะให้ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างดี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน เนื่องจากว่าเมื่อดูจากจำนวนของการหักล้าง ซึ่งสำหรับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 มีค่าเท่ากับ 180 ขณะที่เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 เท่ากับ 84 ซึ่งน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 มาก ขณะเดียวกันความล่าช้าของบิตก็สามารถยอมรับได้ เนื่องจากน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องมาก เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.84 และ 4.90 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 เหมาะที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติมากกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อพิจารณาจาก

จำนวนของการหักล้าง ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนของการหักล้างที่เกือบเท่ากับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3

เมื่อพิจารณาในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ในช่องสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ จากรูปที่ 4.85 และ 4.91 จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานที่เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานในชั้นที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าพิจารณาจากจำนวนของการหักล้างแล้วเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องเหมาะที่จะใช้งานจริงมากกว่า แต่ถ้าเห็นว่าความล่าช้าของบิตเป็นสิ่งสำคัญแล้ว เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในชั้นที่ 3 เหมาะที่จะนำมาใช้มากกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับว่าต้องการพิจารณาอะไรเป็นสิ่งสำคัญ ในรูปที่ 4.86 และ 4.92 จะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 กับแบบอื่นๆ ซึ่งจากรูปทั้งสองจะพบว่า เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 เหมาะที่จะนำมาใช้งานมากกว่า เนื่องจากให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า และให้จำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตที่ยอมรับได้ สำหรับในรูปที่ 4.87 ซึ่งเป็นกรณีในช่องสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน จะพบว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 ที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาจากจำนวนของการหักล้างแล้ว เหมาะที่จะนำมาใช้งานมากกว่า เนื่องจากมีจำนวนของการหักล้างที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน รวมถึงความล่าช้าของบิตที่น้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่องอีกด้วย ขณะที่เมื่อดูจากรูปที่ 4.93 ซึ่งเป็นกรณีในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ จะเห็นว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 3 ที่ใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับในชั้นที่ 2 และเมื่อดูจากจำนวนของการหักล้างแล้ว การใช้เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 ในชั้นที่ 2 น่าจะเหมาะกว่า

ตารางที่ 4.22 จำนวนของการหักล้างและความล่าช้าของบิตของเครื่องรับการหักล้างการแทรกสอดแบบต่างๆ

เครื่องรับ	SIC	PIC (2 ชั้น)	PIC (3 ชั้น)	HIC 10-5-2 (2 ชั้น)	HIC 10-5-2 (3 ชั้น)
จำนวนของการหักล้าง	9	90	180	84	158
ความล่าช้าของบิต	10	<i>few</i>	<i>few</i>	<i>5 + fewer</i>	<i>5 + fewer</i>

โดยที่ *few* และ *fewer* อ้างอิงจากตารางที่ 3.1

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการนำเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมาใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมให้ดีขึ้น ซึ่งเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานนี้จะให้ข้อดีในเรื่องการเพิ่มเพียงตัวปฏิบัติการคูณเข้าไปที่แต่ละชั้นในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ซึ่งจะเป็นการประหยัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการสร้างงานจริงอย่างมาก

เนื่องจากว่าเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานโดยทั่วไปไม่มีตัวปรับน้ำหนัก (weighting factor) ในการปรับระดับสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน ส่งผลให้เกิดบิดที่ผิดพลาดมากขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ชั้นแรกๆ ของเครื่องรับชนิดนี้ ซึ่งถ้าหากไม่มีตัวปรับน้ำหนักของสัญญาณที่เหมาะสมแล้ว ก็จะทำให้บิดข้อมูลมีความผิดพลาดมากขึ้นกว่าเดิม

ในการหาค่าเศษส่วนของการหักล้าง จะหาทั้งหมด 3 กรณี คือ เมื่อให้สหสัมพันธ์ข้ามของ

สเปกตรัมได้คมีค่าแตกต่างกัน เมื่อจำนวนผู้ใช้ต่างกัน และเมื่อความยาวของสเปกตรัมได้คแตกต่างกัน เพื่อดูผลว่าแต่ละกรณีจะมีผลต่อค่าเศษส่วนของการหักล้างอย่างไร โดยจะพิจารณาทั้งในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าแตกต่างกัน โดยจะใช้สหสัมพันธ์ข้ามทั้งหมด 5 แบบ สหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 1 จะให้ค่า BER ต่ำที่สุดเนื่องจากว่ามีสหสัมพันธ์ข้ามที่ต่ำ และสหสัมพันธ์ข้ามแบบที่ 4 จะให้ค่า BER ที่สูงที่สุดเนื่องจากมีสหสัมพันธ์ข้ามมากกว่าแบบอื่นๆ ส่วนค่าเศษส่วนของการหักล้างที่ได้ที่แต่ละชั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อจำนวนผู้ใช้แตกต่างกันตั้งแต่ 5 คนถึง 25 คน จะพบว่าในกรณีที่จำนวนผู้ใช้จำนวนน้อยๆ ค่า BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานจะมีค่าที่ต่ำและเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ค่า BER จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจะเห็นว่าค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าน้อยลง เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น การแทรกสอดของสัญญาณระหว่างผู้ใช้จะ

มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างมีค่าน้อยลง เพื่อลดผลของสัญญาณแทรกสอด กรณีให้ความยาวของสเปอร์ดิงโค้ดมีค่าแตกต่างกัน จะพบว่าเมื่อความยาวของสเปอร์ดิงโค้ดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ BER ของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานมีค่าลดลง แต่จะทำให้ค่าเศษส่วนของการหักล้างเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อความยาวของสเปอร์ดิงโค้ดเพิ่มขึ้น สหสัมพันธ์ข้ามและสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้จะมีค่าลดลง

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบต่างๆ จะทำการเปรียบเทียบเครื่องรับแบบทั่วไป เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน และเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ทั้งในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูร์นและกำลังส่งไม่สมบูร์น และในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าเครื่องรับแต่ละแบบใช้ได้กับสภาวะแบบใด โดยจะเห็นว่าในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูร์นทั้งในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนและในช่องสัญญาณที่มีการลดทอนแบบเรเลย์ เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนาน จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิดนี้อย่างมาก ส่วนในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูร์น เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมแบบ 10-5-2 โดยใช้เทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จะเห็นว่าเมื่อใช้จำนวนชั้นของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานเพิ่มขึ้นแล้วจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมเพิ่มขึ้นด้วย

จะพบว่าเทคนิคการหักล้างบางส่วนแบบขนานมีส่วนช่วยในการปรับปรุงการตัดสินใจในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมเพิ่มขึ้นไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไป คือ

- 1) การศึกษาสมรรถนะเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม ในกรณีช่องสัญญาณอื่นๆ เช่น ในช่องสัญญาณที่เกิดการลดทอนแบบหลายวิถี (multipath fading) เป็นต้น
- 2) การใช้ Rake receiver แทนเครื่องรับแบบทั่วไป เมื่อเกิดการลดทอนแบบหลายวิถี
- 3) พัฒนาเครื่องรับนี้ต่อไปในระบบ CDMA แบบหลายอัตรา (multirate DS-CDMA)

- 4) พัฒนาเครื่องรับนี้เพื่อใช้ในระบบอะซิงโครนัส
- 5) หาจำนวนผู้ใช้ที่เหมาะสมที่ใช้ดำเนินการในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนานและอย่างต่อเนื่องในเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสม เพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างผสมดีที่สุด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Prasad, R. CDMA for wireless personal communications. London: Artech House, 1996.
2. Glisic, S. G., and Leppanen, P.A. Code division multiple access communications. Oulu: Kluwer Academic Publishers, 1995.
3. Proakis, J. G. Digital communication. New York: McGraw-Hill, 1995.
4. พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพฑูย์. เรื่อนำรู้การสื่อสารดาวเทียม. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น, 2539.
5. Dahlman, E., Gudmundson, B., Nilsson, M., and Skold, J. UMTS/IMT-2000 based on wideband CDMA. IEEE communications magazine (September 1998): 70-80.
6. Knisely, D. N., Kumar, S., Laha, S., and Nanda, S. Evolution of wireless data services: IS-95 to cdma2000. IEEE communications magazine (October 1998): 140-149.
7. Dahlman, E., Beming, P., Ovesjo, F., Persson, M., and Roobol C. WCDMA-The radio interface for future mobile multimedia communications. IEEE transaction on vehicular technology Vol. 47 No. 4 (November 1998): 1105-1118.
8. Juntti, M. Multiuser Demodulation for DS-CDMA Systems in Fading Channel. Doctoral dissertation, Department of Electrical Engineering, University of Oulu, Finland, 1998.
9. Verdu, S. Multiuser detection. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
10. Ojanpera, T. Overview of multiuser detection/interference cancellation for DS-CDMA. Personal Wireless Communications, 1997, IEEE International Conference (1997): 115-119.
11. Moshavi, S., Multi-user detection for DS-CDMA communications. IEEE Communications Magazine Vol. 34 No. 10 (October 1996): 124-136.
12. Duel-Hallen, A., Holtzman, J., and Zvonar, Z. Multiuser detection for CDMA systems. IEEE Personal Communications Vol. 2 No. 2 (April 1995): 46-58.

13. Xie Z., Short, R. T., and Rushforth, C. K. A family of suboptimum detectors for coherent multiuser communications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 8 No. 4 (May 1990): 683-690.
14. Buehrer, R. M., Correal N. S., and Woener B. D. A comparison of multiuser receivers for cellular CDMA. Global Telecommunications Conference, 1996, GLOBECOM'96 Communications: The Key to Global Prosperity Vol. 3 (1996): 1571-1577.
15. Lupas, R. and Verdu, S. Linear multiuser detectors for synchronous Code-Division Multiple-Access channels. IEEE Transactions on Information Theory Vol. 35 No. 1 (January 1989): 123-136.
16. Varanasi, M. K., and Aazhang, B. Multistage detection in asynchronous Code-Division Multiple-Access communications. IEEE Transactions on Communications Vol. 38 No. 4 (April 1990): 509-519.
17. Patel, P., and Holtzman, J. Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA System. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 12 No. 5 (June 1994): 796-807.
18. Duel-Hallen, A. Decorrelating decision-feedback multiuser detector for synchronous Code-Division Multiple-Access channel. IEEE Transactions on Communications Vol. 41 No. 2 (February 1993): 285-290.
19. Woodward G., and Vucetic, B. S. Adaptive detection for DS-CDMA. Proceedings of the IEEE Vol.86 No.7 (July 1998): 1413-1434.
20. Koulakiotis, D., and Aghvami, A.H. Evaluation of a DS/CDMA multiuser receiver employing a hybrid form of interference cancellation in rayleigh-fading channels. IEEE Communication Letters Vol.2 No.3 (March 1998): 61-63.
21. Sun, S., Rasmussen, L. K., Sugimoto, H., and Lim, T. J. A hybrid interference canceller in CDMA, Spread Spectrum Techniques and Applications, Proceedings 5th International Symposium Vol. 1 (1995): 150-154.

22. Varanasi, M.K., Aazhang, B. Near-optimum detection in synchronous code-division multiple-access systems. IEEE Trans. Communications Vol. 39, No. 5 (May 1991): 725-736
23. Divsalar, D., Simon, M., and Raphaeli, D. Improved CDMA performance using parallel interference cancellation. IEEE Transactions on Vehicular Technology (1994): 911-917.
24. Divsalar, D., Simon, M., and Raphaeli, D. A new approach to parallel interference cancellation for CDMA. IEEE GlobeCom'96 London Vol. 3 (Nov.1996): 1452-1457.
25. Correal, N. S., Buehrer, R. M., and Woerner, B. D. Improved CDMA performance through bias reduction for partial interference cancellation. Proceeding of IEEE PIMRC'97 Helsinki, Finland Vol. 2 (Sept.1997): 565-569.
26. Shan, P., and Rappaport, T. S. Parallel interference cancellation (PIC) improvements for CDMA multiuser receivers using partial cancellation of MAI estimates. Global Telecommunications Conference, GlobeCom '98 The bridge to global integration IEEE Vol.6 (1998): 3282-3287.
27. Pahlavan, K and Levesque, A.H. Wireless Information Networks. America: John & Sons, 1996.
28. Rappaport, T.S. Wireless Communication. America: Prentice-Hall, 1999.
29. Verdu, S. Multiuser Detection. America: New York, 1998.
30. ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.



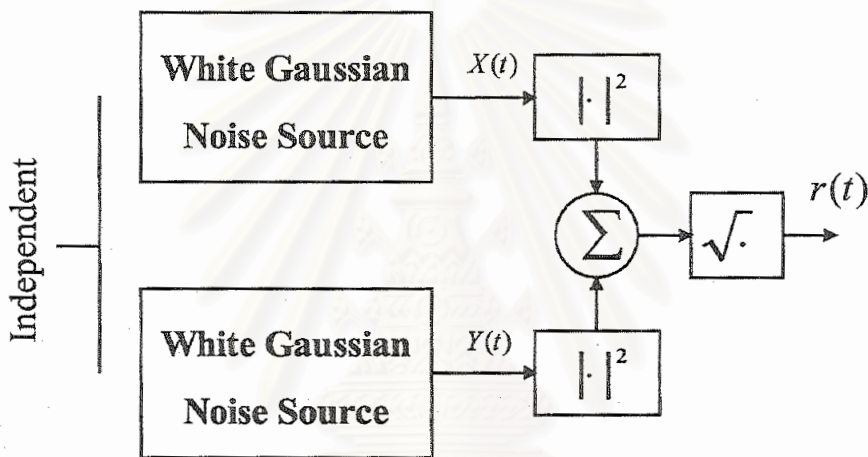
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การสร้างขนาดของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์

ช่องสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ ในการสร้างสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์ สามารถสร้างได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (Additive White Gaussian Noise, (AWGN)) ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าความแปรปรวนเป็น σ



รูปที่ ก.1 โครงสร้างทั่วไปในการสร้างขนาดของสัญญาณที่มีการกระจายแบบเรเลย์

จากรูป $x(t)$ และ $y(t)$ แทนแหล่งกำเนิดสัญญาณสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว envelope ของ r สามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$r = |r(t)| = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2} \quad (\text{ก-1})$$

การกระจายของ $x(t)$ และ $y(t)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{ก-2})$$

$$f(y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{ก-3})$$

เนื่องจากว่า $x(t)$ และ $y(t)$ เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น joint probability density ของ $x(t)$ และ $y(t)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$f(x, y) = f(x)f(y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (\text{ก-4})$$

ใน polar coordinate

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \quad (\text{ก-5})$$

แทนใน (ก-4) จะได้

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{((r \cos \theta)^2 + r \sin \theta^2)}{2\sigma^2}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (\text{ก-6})$$

การกระจายของ $f(x, y)$ ใน rectangular coordinate สามารถที่จะแปลงไปเป็น $f(r, \theta)$ ใน polar coordinate ได้ โดย

$$f(x, y) dx dy = f(r, \theta) dr d\theta \quad (\text{ก-7})$$

$$dx dy = r d\theta dr \quad (\text{ก-8})$$

แทนค่า $f(x, y)$ จาก (ก-6) และ $dx dy$ จาก (ก-8) แทนใน (ก-7) จะได้

$$f(r, \theta) dr d\theta = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} r dr d\theta \quad (\text{ก-9})$$

$$f(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{ก-10})$$

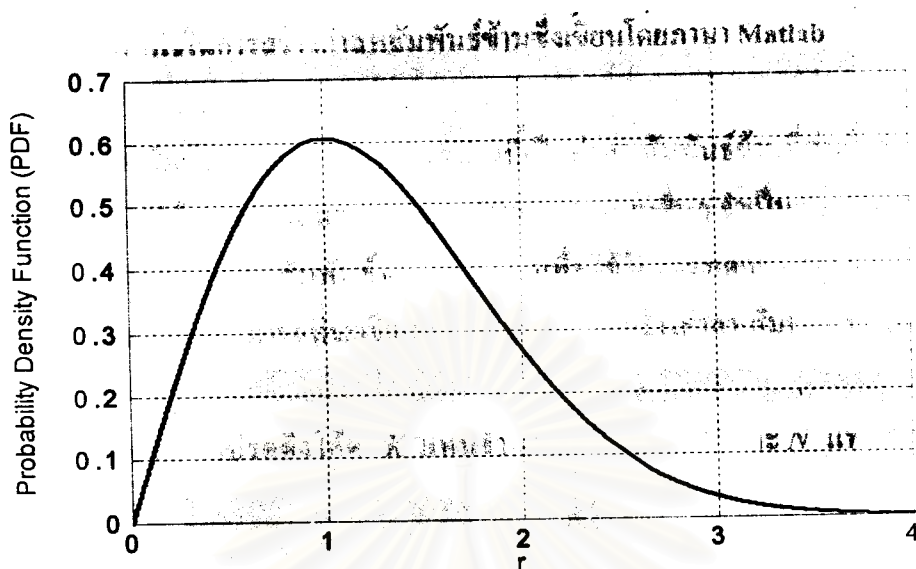
ดังนั้น probability density function ของ r สามารถคำนวณโดยการอินทิเกรตในช่วง θ โดยที่ θ อยู่ในช่วง $[0, 2\pi]$

$$f(r) = \int_0^{2\pi} f(r, \theta) d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{r}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} d\theta \quad (\text{ก-11})$$

ดังนั้นสามารถที่จะเขียนสมการการกระจายแบบเรเลย์ (Rayleigh distribution) ได้เป็น

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{ก-12})$$

และสามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ (ก.2)



รูปที่ ก.2 Probability Density Function ของการกระจายแบบเรเลย์ ($\sigma^2 = 1$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างค่าสหสัมพันธ์ข้ามซึ่งเขียนโดยภาษา Matlab

เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่สุ่มขึ้นมา ดังนั้นเพื่อให้สหสัมพันธ์ข้ามที่ใช้มีค่าคงที่เสมอเมื่อเขียนโปรแกรมในส่วนอื่นๆ จำเป็นที่จะต้องใช้ชุดคำสั่งใน Matlab เพื่อให้ค่าที่ได้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามที่ต้องการเพื่อใช้ในการทดลอง โดยจะใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 แบบ ดังนั้นสามารถที่จะเขียนภาษา Matlab เพื่อสร้างค่าสหสัมพันธ์ข้ามต่างๆ ได้ดังนี้

โดยที่ a แทนเมตริกซ์ของสเปรคดิงโค้ด K แทนจำนวนผู้ใช้ในระบบ และ N แทนความยาวของสเปรคดิงโค้ด

แบบที่ 1 : $\text{rand}('seed',1234); a = \text{sign}(\text{rand}(K,N)-0.5);$

จะได้ค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม $a*a'$ เป็น

$$a*a' = \begin{bmatrix} 31 & 9 & 1 & 1 & 3 & 1 & -1 & 5 & 15 & 7 \\ 9 & 31 & 7 & 11 & 17 & 7 & 5 & 11 & 13 & 5 \\ 1 & 7 & 31 & -1 & 5 & 3 & 1 & -5 & 9 & 13 \\ 1 & 11 & -1 & 31 & 9 & 7 & 9 & -1 & 1 & -3 \\ 3 & 17 & 5 & 9 & 31 & 9 & 3 & 5 & 15 & 7 \\ 1 & 7 & 3 & 7 & 9 & 31 & 13 & 7 & 5 & 17 \\ -1 & 5 & 1 & 9 & 3 & 13 & 31 & 5 & -1 & 7 \\ 5 & 11 & -5 & -1 & 5 & 7 & 5 & 31 & 5 & 9 \\ 15 & 13 & 9 & 1 & 15 & 5 & -1 & 5 & 31 & 11 \\ 7 & 5 & 13 & -3 & 7 & 17 & 7 & 9 & 11 & 31 \end{bmatrix}$$

แบบที่ 2 : $\text{rand}('seed',12345); a = \text{sign}(\text{rand}(K,N)-0.5);$

จะได้ค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม $a*a'$ เป็น

$$a*a' = \begin{bmatrix} 31 & 11 & 7 & -1 & 5 & 5 & 5 & -3 & 1 & 1 \\ 11 & 31 & 7 & 7 & 17 & 1 & 5 & 5 & 5 & 1 \\ 7 & 7 & 31 & 7 & 1 & 9 & 9 & -3 & 13 & 5 \\ -1 & 7 & 7 & 31 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 5 \\ 5 & 17 & 1 & 9 & 31 & -1 & 7 & 7 & 7 & 7 \\ 5 & 1 & 9 & 9 & -1 & 31 & 7 & 3 & 11 & 3 \\ 5 & 5 & 9 & 9 & 7 & 7 & 31 & 11 & 11 & 3 \\ -3 & 5 & -3 & 9 & 7 & 3 & 11 & 31 & 7 & 3 \\ 1 & 5 & 13 & 9 & 7 & 11 & 11 & 7 & 31 & 7 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 7 & 3 & 3 & 3 & 7 & 31 \end{bmatrix}$$

แบบที่ 3 : $rand('seed',123456)$; $a = sign(rand(K,N)-0.5)$;

จะได้ค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม $a*a'$ เป็น

$$a*a' = \begin{bmatrix} 31 & 7 & 9 & -1 & 13 & 3 & 9 & 5 & 11 & 7 \\ 7 & 31 & 5 & 11 & 9 & 3 & -3 & 5 & 11 & -1 \\ 9 & 5 & 31 & -7 & 19 & -3 & 3 & 3 & 9 & 5 \\ -1 & 11 & -7 & 31 & 1 & 7 & 1 & 9 & 7 & -1 \\ 13 & 9 & 19 & 1 & 31 & 1 & -1 & 3 & 5 & 9 \\ 3 & 3 & -3 & 7 & 1 & 31 & 5 & 1 & 7 & 7 \\ 9 & -3 & 3 & 1 & -1 & 5 & 31 & -1 & 5 & 13 \\ 5 & 5 & 3 & 9 & 3 & 1 & -1 & 31 & 13 & 1 \\ 11 & 11 & 9 & 7 & 5 & 7 & 5 & 13 & 31 & 3 \\ 7 & -1 & 5 & -1 & 9 & 7 & 13 & 1 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$

แบบที่ 4 : $rand('seed',1234567)$; $a = sign(rand(K,N)-0.5)$;

จะได้ค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม $a*a'$ เป็น

$$a*a' = \begin{bmatrix} 31 & 13 & 7 & 9 & -1 & 13 & -7 & 5 & 9 & 9 \\ 13 & 31 & 1 & -1 & 1 & 3 & -9 & 11 & 11 & 3 \\ 7 & 1 & 31 & 9 & 7 & 5 & 1 & 9 & 1 & 13 \\ 9 & -1 & 9 & 31 & 1 & 7 & 7 & -1 & 3 & 11 \\ -1 & 1 & 7 & 1 & 31 & 13 & 9 & 13 & 5 & 5 \\ 13 & 3 & 5 & 7 & 13 & 31 & 7 & 3 & 3 & 7 \\ -7 & -9 & 1 & 7 & 9 & 7 & 31 & -5 & 7 & -1 \\ 5 & 11 & 9 & -1 & 13 & 3 & -5 & 31 & 11 & 11 \\ 9 & 11 & 1 & 3 & 5 & 3 & 7 & 11 & 31 & 3 \\ 9 & 3 & 13 & 11 & 5 & 7 & -1 & 11 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$

แบบที่ 5 : $rand('seed',12345678)$; $a = sign(rand(K,N)-0.5)$;

จะได้ค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม $a*a'$ เป็น

$$a*a' = \begin{bmatrix} 31 & 9 & -1 & -3 & -1 & -1 & 1 & -1 & -7 & 1 \\ 9 & 31 & -3 & 3 & 9 & 1 & 11 & 1 & 3 & -1 \\ -1 & -3 & 31 & -3 & 3 & 11 & 1 & 7 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -3 & 31 & 1 & 1 & -1 & 1 & 3 & 7 \\ -1 & 9 & 3 & 1 & 31 & -5 & 1 & 7 & 5 & 1 \\ -1 & 1 & 11 & 1 & -5 & 31 & 5 & -1 & -3 & 13 \\ 1 & 11 & 1 & -1 & 1 & 5 & 31 & 9 & -5 & -5 \\ -1 & 1 & 7 & 1 & 7 & -1 & 9 & 31 & 9 & 1 \\ -7 & 3 & 1 & 3 & 5 & -3 & -5 & 9 & 31 & 3 \\ 1 & -1 & 1 & 7 & 1 & 13 & -5 & 1 & 3 & 31 \end{bmatrix}$$



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Hybrid Interference Cancellation using Partial Cancellation Technique in CDMA System

Janewit Sinthusak, Somchai Jitapunkul and Voravit Kaweevat

Digital Signal Processing Reserch Laboratory, Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
Phone:(662) 2186503, Fax:(662)2186503, E-mail: jsomchai@chula.ac.th

Abstract

This paper proposed the technique for improvement of hybrid interference cancellation (HIC) DS-CDMA multiuser receiver using partial cancellation technique, which cancels only a fraction of the estimated multiple access interference (MAI) at each PIC stage of HIC. It means that the MAI is reduced and the performance of HIC is increased. We start with simulating the BER performance as a function of the fraction of cancellation, which shows that the fraction can make a significant difference. Then, the HIC are compared between them and multiuser receivers under imperfect power control. The simulation result indicates how the partial cancellation technique can provide significant improvement over the conventional HIC.

Keywords : multiple access interference(MAI), parallel interference cancellation(PIC), successive interference cancellation(SIC), hybrid interference cancellation(HIC)

1. Introduction

Due to the limitations of conventional correlation receivers, the capacity of a single cell in code-division multiple-access (CDMA) is restricted by multiuser interference and is subject to near/far problem. To overcome these drawbacks, several optimal and sub-optimum multiuser receiver schemes have been proposed. Since the optimal multiuser receiver proposed by Verdu [1] is too complex to be implemented for practical systems, many less complex sub-optimal multiuser receivers have been proposed and studied [2,3,4]. They can be classified into two main categories, the decorrelation receiver and the subtractive interference cancellation receivers [5]. The latter, successive interference cancellation (SIC) and parallel interference cancellation (PIC) appear to be attractive, for difference reasons. SIC approaches are serial cancellation [6,7]. At each stage of the cancellation, all users are ranked according to the strengths but only the strongest user is canceled. This process is repeated until all users are detected. In PIC, all users are processed simultaneously [8]. Initially, the matched filters outputs are used to reconstruct the interference signals. Then, the reconstructed interference is subtracted from the matched filter outputs of the corresponding users. These estimated data can be used in the second stage to reconstruct the multiuser interference once again, and finally to subtract it from the matched filter output and give better estimation than the ones in the first stage. It is obvious that the more stages we have the better the bit-error rate (BER) performance.

D.Koulakiotis and A.H.Aghvami [12] proposed the hybrid interference cancellation technique to improve performance by the users are canceled partially in parallel and series. The result has shown that its BER is at the same level of SIC and better than the PIC, while it gives the acceptable complexity and delay.

The recently proposed technique for improved PIC using partial cancellation at each stage [9,10,11] takes into account the fact that the standard PIC cancels the MAI with no weighting factor applied to the MAI estimated with the decision in the previous stage. At the earlier stage, a poor estimation of MAI due to the relatively high decision bit error rate may lead to a poor cancellation or even a higher BER at the following decision stage. [6,11]

This paper presents the partial cancellation technique for improving performance and decreasing the complexity of HIC. At the beginning, we start with simulating the BER performance as a function of the fraction of cancellation, the HIC are then compared between them and multiuser receivers.

In the next section we briefly outline the HIC and partial cancellation approaches. Section 3 describes the receivers' system model and the simulation results are shown in section 4 and finally, conclusion is found in section 5.

2. HIC and Patial cancellation PIC

2.1 HIC

The concept of HIC [12] is that instead of cancelling all K users either in series or in parallel, they are partially canceled in parallel and series. The configuration of cancellation will be K - P - S (P and $S < K$), where K is the total number of users and the number canceled in parallel and in series at each stage is denoted by P and S respectively.

2.2 Partial cancellation PIC

The only difference between the partial cancellation PIC and the standard PIC is that, at cancellation-stage i , the MAI estimation of each user is scaled by a fraction p_i (where $i \geq 2$ since stage 1 is an initial stage without cancellation) before being subtracted from the received signal. For the sake of decision, this is equivalent to the original received signal being multiplied by $(1/p_i)$ before subtracting the estimated MAI. A block diagram of the partial cancellation is given in Fig.1.

The standard "brute force" PIC can be viewed as a special case when $p_i = 1$ for all i . In Fig.1, the initial stage,

referred to as stage 1. is a standard correlation CDMA detector implemented with a matched filter bank for all users. In the following stage, the firstly stage of partial

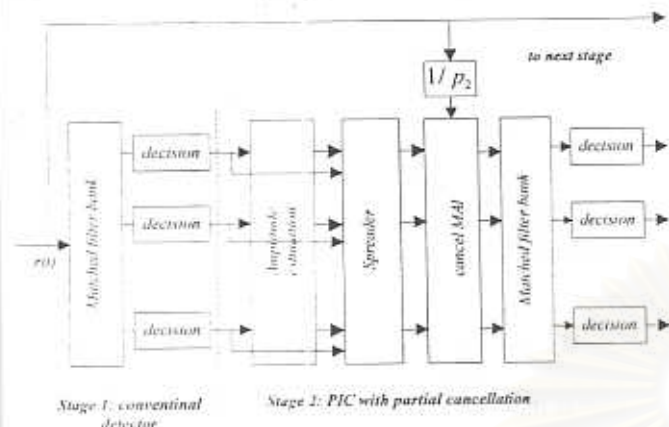


Figure 1 Diagram of partial cancellation PIC receiver, only one stage of cancellation. [11]

cancellation, we first use the decision of the previous stage to estimate the amplitude of each user, then attempt to regenerate (respread) all of the users' received signals with the known spreading codes, the information bit decision obtained at the previous stage and the estimated amplitudes. For each user, the MAI is then estimate as the sum of all of the other user signals. The original received signal $r(t)$ is multiplied by $1/p$, subtracted by the corresponding MAI estimation for each user, and finally fed to the matched filter based detector for an improved decision for each user. Both the error of amplitude estimation and the error of previous decision will be contribute to the MAI estimation error.

3. Simulation Model

Consider a synchronous DS-CDMA system with BPSK modulation and number of users $K=10$ and processing gain $(N) = 25$ chips/bit in AWGN channel. In order to examine the MAI cancellation performance of the receivers, we need to choose PN codes with strong MAI so we choose the PN codes are random binary sequences of length 25. The received signal at the base station can be represented as [11]

$$R(n) = \sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{2}{N} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_k} b_k a_k(n) + G(n)$$

where $R(n)$ is the received signal, $(E_b / N_0)_k$ represents the signal to noise ratio (SNR) for users k , b_k is the information bit of user k , and $a_k(n)$ is the PN code for user k , $G(n)$ is white Gaussian noise with zero mean and unit variance, N is the number of chips per bits (processing gain) and k is the number of users in the system.

In case of imperfect power control, we assume that the amplitude of each user arrive at the base station with the different amplitudes.

For modified HIC can be shown in Fig.2. The difference between conventional HIC and improved HIC that is only the part of PIC in the HIC that has the partial cancellation technique is added while the PIC in the conventional HIC hasn't this technique.

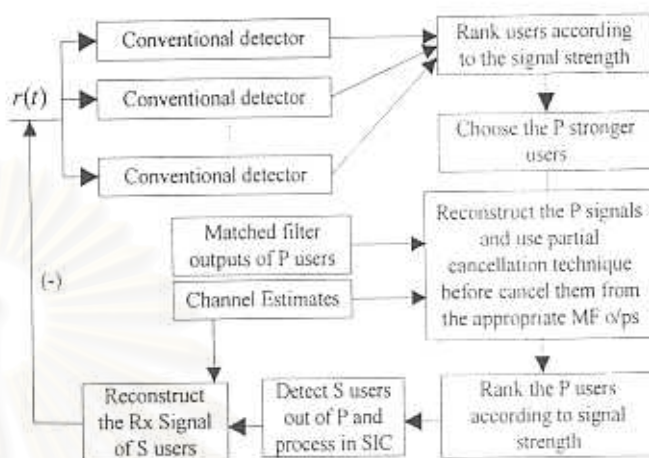


Figure 2 Modified hybrid IC receiver structure

4. Simulation results

We consider a synchronous DS-CDMA system with BPSK modulation consisting of $K=10$ users and processing gain $(N) = 25$ under imperfect power control.

We first investigate how the BER performance of a PIC receiver is sensitive to the fractions of cancellation by considering 2-stage PIC receiver with variable fraction of cancellation, as shown in Fig. 1, assume that $K=10$ users, $N=25$ chips/bit, $E_b/N_0 = 15$ dB.

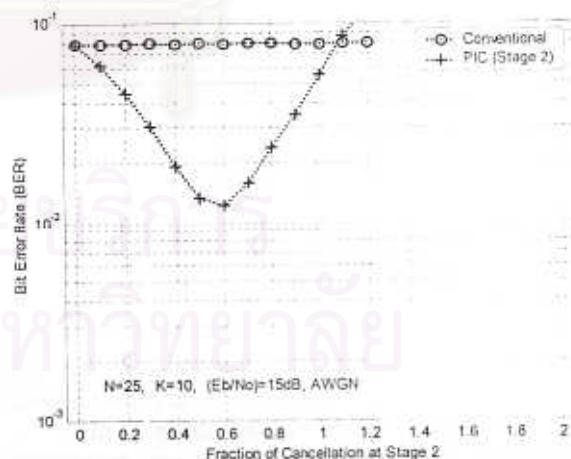


Figure 3 BER versus the fraction of cancellation at stage 2

In Fig.3, the appropriated value of the fraction of cancellation at stage 2 will be obtained by simulation. The fractions of cancellation of conventional receiver are continuous constant and when the number of stage of PIC as 2, the BER dips when the fraction of cancellation at this stage is 0.6.

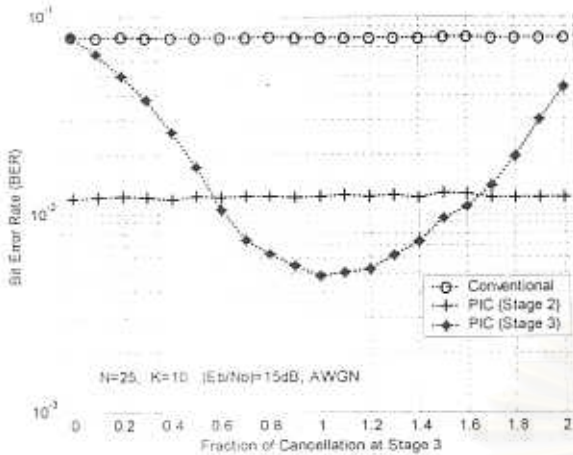


Figure 4 BER versus the fraction of cancellation at stage 3

In Fig.4, we defined the fraction at stage 2 as 0.6 (the result of fraction from Fig.3) and find the fraction of cancellation at stage 3 of PIC. The result is the BER of PIC at stage 2 is continuous constant and better than conventional receiver and the BER dips when the fraction of cancellation is 1.

For these fractions of cancellation, we can use these values in HIC for comparison between HIC schemes and other multiuser receivers.

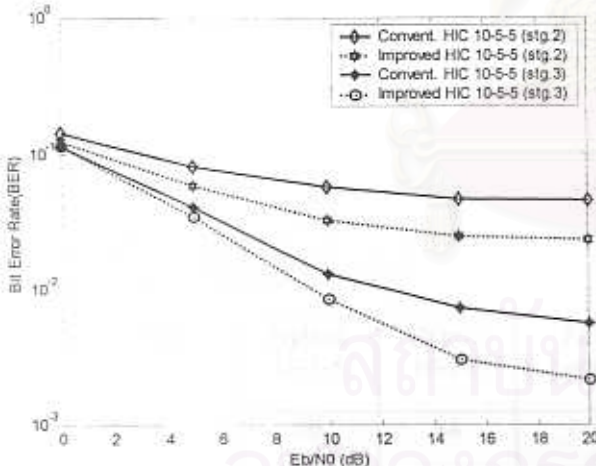


Figure 5 Comparison between conventional HIC 10-5-5 and improved HIC 10-5-5

In Fig. 5, Conventional HIC 10-5-5 and improved HIC 10-5-5 were compared at each stage. For improved HIC 10-5-5 at stage 2, we defined the fraction of cancellation as 0.6 and for improved HIC 10-5-5 (stg.3), we defined the fraction of cancellation at stage 2 as 0.6 and stage 3 as 1 (from Fig.3 and Fig.4). We found that improved HIC 10-5-5 (stg.3) is the best performance. In Fig. 6, we found that the result of improved HIC 10-5-2 (stg.2) is at the same level of conventional HIC 10-5-2 (stg.3).

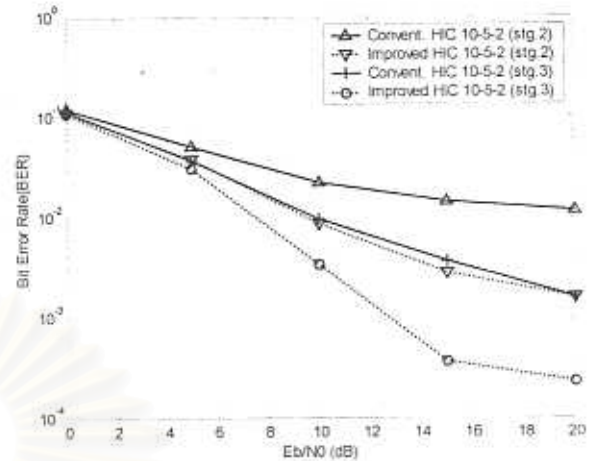


Figure 6 Comparison between conventional HIC 10-5-2 and improved HIC 10-5-2

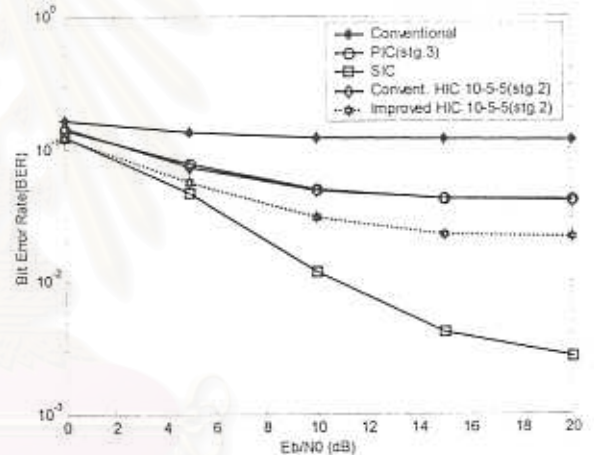


Figure 7 Comparison of HIC 10-5-5 and others multiuser receivers

In Fig.7, HIC and other multiuser receivers are compared. The numbers of stage of standard PIC are 3 and the numbers of stage of standard PIC in HIC 10-5-5 are 2. We found that SIC is the best performance and improved HIC 10-5-5 is better than conventional HIC 10-5-5 and standard PIC. While the conventional HIC 10-5-2(stg.2) is at the same level of standard PIC(stg.3). In Fig. 8, improved HIC 10-5-2 is the best performance when compared with other multiuser receivers and gives BER performance better than improved HIC 10-5-5 at the same stage.

In measurement of multiuser receivers performance, we can measure from the complexity and delay of those multiuser receivers besides of BER. For SIC, the estimated delay per loop required to cancel one user is 1 bit [3,9]. So the total estimated delay for K users is K bit times (thus a tradeoff has to be made between performance and acceptable delay). On the other hand with PIC, only a maximum of a few bit times delay is required to complete the IC process [9]. In case of the HIC 10-5-5, a delay of

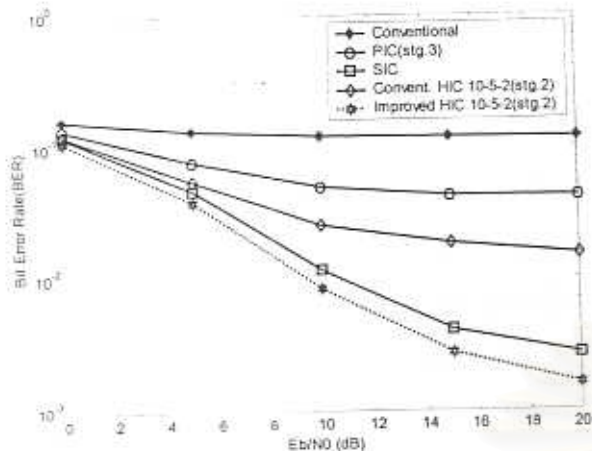


Figure 8 Comparison of HIC 10-5-2 and others multiuser receivers

2+fewer (where "few" is a small number defined in [9]) bits is required, while for the HIC 10-5-2 schemes 5+fewer bits is necessary. So, for the same BER performance, HIC required less delay than SIC but more than PIC. For complexity, we will be based on the total number of cancellations. In SIC, each user is canceled only once with a total number of cancellations $K-1$. In PIC, each user is canceled $K-1$ times per stage. So for 2-stage PIC, the number of required cancellations is $K*(K-1)$ while for a 3-stage PIC a total of $2*K*(K-1)$ will have to be performed. Therefore, SIC required only 9 cancellations, while PIC required 90 for 2-stage or 180 cancellations for 3-stage. For HIC 10-5-5, number of cancellations required is 50 ($2*20+2*5$) and in case of HIC 10-5-2, number of cancellations is equal to 84 ($3*22+14+4$). We can be viewed in Table 1.

Table 1. Comparison between the complexity and delay of SIC, PIC and two HIC schemes

No. of users $K=10$	SIC	Hybrid 10-5-5	Hybrid 10-5-2	PIC 3-stage
No. of Canc.	9	50	84	180
Delay(bit s)	10	2+fewer	5+fewer	few ¹

¹ few is a small number defined in [9]

5. Conclusion

Partial cancellation technique is introduced for improvement HIC schemes in this paper. From the simulation results, the improved HIC show a great performance compared with conventional HIC, standard PIC as well as standard SIC. It can be clearly concluded that partial cancellation technique can improve the precision of the decision of PIC stage in conventional HIC, which leads to a better performance. Improved HIC 10-5-2 can show better performance than standard SIC. Beside that, the delay of our

proposed HIC processing is much lower than the delay of standard SIC. In case of complexity, improved HIC can be reduce the complexity using only the fraction of cancellation instead of adding the hardware and acceptable complexity when compared with standard SIC and PIC

Reference

- [1] S. Verdú, "Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple access channels," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-32, No.1, pp.85-96, Jan. 1986
- [2] A. Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, "Multiuser detection for CDMA systems," IEEE personal communications, April 1995, pp.46-58
- [3] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-SS-CDMA communications," IEEE Communication Magazine, Oct. 1996, pp.124-136
- [4] R.M. Buehrer, N.S. Correal and B.D. Woerner, "A comparison of multiuser receivers for cellular CDMA," IEEE Globecom'96, Vol.3, pp.1571-1577, London, Nov.1996
- [5] O. Tero, "Overview of Multiuser Detection/ Interference Cancellation for DS-SS-CDMA," IEEE ICPWC'97, pp.115-119, 1997
- [6] P. Dent, B. Gudmundson, and M. Ewerbring, "CDMA-IC: A novel code division multiple access scheme based on interference cancellation," in Proc. PIMRC, Boston, MA, pp.4.1.1-4.1.5, Oct.1992
- [7] P. Putel and J. Holtzman, "Analysis of a DS/SS-CDMA successive interference cancellation scheme using correlations," IEEE Globecom'93 Houston, pp.76-80, Nov.1993
- [8] Y. Sanada and Q. Wang, "A co-channel interference cancellation technique using orthogonal convolutional codes," IEEE Trans. Commun., Vol. 44, pp.549-556, May 1996
- [9] D. Divsalar, M. Simon and D. Raphaeli, "A new approach to parallel interference cancellation for CDMA," IEEE Globecom'96, Vol.3, pp.1452-1457, London, Nov. 1996
- [10] N.S. Correal, R.M. Buehrer and B.D. Woerner, "Improved CDMA performance through bias reduction for partial interference cancellation," Proc. Of IEEE PIMRC'97, Vol.2, pp. 565-569, Helsinki, Finland, Sept.1997
- [11] P. Shan and T.S. Rappaport, "Parallel Interference cancellation (PIC) Improvements for CDMA multiuser receivers using Partial Cancellation of MAI estimates," IEEE, pp.3282-3287, Blacksburg, USA, 1998
- [12] D. Koulakiotis and A.H. Aghvami, "Evaluation of a DS/SS-CDMA Multiuser Receiver Employing A Hybrid Form of Interference Cancellation in Rayleigh-Fading Channels," IEEE Communication letters, Vol.2, No.3, pp.61-63, March 1998

ประวัติผู้เขียน

นายเจนวิทย์ สินธุศักดิ์ เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2516 เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย