

เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องโดยใช้การจัดกลุ่มรหัสสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลง
ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชชนิดแถบกว้าง



นายสรรชัย ดีเลิศไพบูลย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5797-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION RECEIVER USING CODE GROUPING
FOR DOWNLINK W-CDMA COMMUNICATION SYSTEMS



Mr.Sunchai Deeleeatpaiboon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

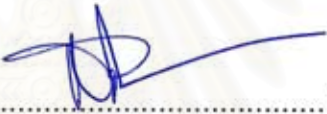
ISBN 974-17-5797-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องโดยใช้การจัดกลุ่มรหัส
สำหรับข่ายเชื่อมโยงขวาง ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง
โดย นายสรรัชต์ ดีเลิศไพบูลย์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

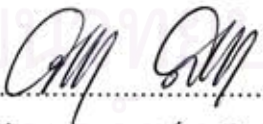

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสัทธาธิกุลกิจ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

สถาบันส่งเสริมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรรัชย์ ดีเลิศไพบุลย์ : เครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องโดยใช้การจัดกลุ่มรหัส สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลง ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง. (SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION RECEIVER USING CODE GROUPING FOR DOWNLINK W-CDMA COMMUNICATION SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วาทีต เบญจพลกุล, 72 หน้า. ISBN 974-17-5797-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอเครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดโดยใช้การจัดกลุ่มรหัส สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลง ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง เพื่อให้สมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดและความซับซ้อนของการคำนวณของเครื่องรับดีกว่าของเครื่องรับที่รวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน (เครื่องรับอ้างอิงที่1) และเครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส (เครื่องรับอ้างอิงที่2) ที่ได้มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้ เนื่องจากในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง ใช้รหัสที่ตัวประกอบการแผ่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้และตั้งฉากกัน (Orthogonal Variable Spreading Factor : OVSF) เพื่อให้มีตัวประกอบการแผ่ที่หลากหลาย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราข้อมูลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังคงความตั้งฉากกันระหว่างรหัสแผ่ที่มีความยาวแตกต่างกัน ดังนั้น เครื่องรับที่เสนอจึงใช้คุณสมบัติสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่และรหัสลูกของรหัส OVSF นี้ แบ่งเป็นกลุ่มของรหัสขึ้น โดยในแต่ละกลุ่มรหัสถูกแทนด้วยรหัสแม่เพียง 1 รหัสเท่านั้น เรียกรหัสแม่ที่ใช้แทนกลุ่มรหัสว่ารหัสตัวแทน (representative code) การหารหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสแต่ละกลุ่มนี้ ไม่จำเป็นต้องรู้รหัสแผ่หรือตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้คนอื่น โดยสถานีเคลื่อนที่จะประมาณค่ารหัสตัวแทนนี้ออกมาจากรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งจะนำรหัสตัวแทนที่ไม่มีความสัมพันธ์กับรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจที่หาออกมา นี้ มาใช้เพื่อขจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องต่อไป

ผลจากการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า เครื่องรับที่เสนอมีสสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เมื่อรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดมากกว่า 4 รอบขึ้นไป แต่เมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงทั้ง 2 พบว่าเครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของการคำนวณที่สูงกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต สรรัชย์ ดีเลิศไพบุลย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา (อ.พท)

4570583621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS: W-CDMA / INTERFERENCE CANCELLATION / REPRESENTATIVE CODE / CODE GROUPING

SUNCHAI DEELEATPAIBOON : SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION RECEIVER USING CODE GROUPING FOR DOWNLINK W-CDMA COMMUNICATION SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL, D. ENG., 72 pp. ISBN 974-17-5797-2.

This thesis proposes inter-code group interference cancellation receiver for downlink Wideband-Code Division Multiple Access (W-CDMA) communication systems. The purpose of this receiver is to provide the better performances, in both bit error rate (BER) and computational complexity aspects, than those of combined-interfering signals and subtractive cancellation receiver (reference receiver) that was previously proposed. In a W-CDMA, Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) codes are used for various spreading factors to provide various data rates and maintaining the orthogonality between different spreading codes of different lengths. Accordingly, the proposed receiver uses the correlation property between mother code and child codes of the OVSF codes to separate the codes into code groups. The mother code of code group is called as representative code. No prior knowledge of users' spreading codes or even their spreading factors are required for estimating the representative codes of interfering code groups. The mobile receiver estimates these representative codes from spreading code of desired user and uses these codes to cancel the interference by successive interference cancellation (SIC).

According to the computer simulation results, the BER performance of the proposed receiver is better reference receiver 1 and better reference receiver 2 when iteration of interference cancellation more than 4. However, the complexity of proposed receiver is more than reference receiver 1 and reference receiver 2

Department ... Electrical Engineering
 Field of study ... Electrical Engineering
 Academic year 2005

Student's signature
 Advisor's signature
 Watit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งได้ให้คำแนะนำ แนวทาง ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัย ข้าพเจ้าจึงต้องขอกราบขอบพระคุณมาเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา และทุน AUN/SEED-Net Collaborative Research Project ที่ได้เอื้อเพื่อให้ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิจัย

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ ทั้งในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบโทรคมนาคม และกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย และที่ลืมเสียมิได้ คือ ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบโทรคมนาคม ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด อีกทั้งยังคอยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บัญชีคำศัพท์	ฐ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและปัญหาที่เกิดขึ้น	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์	3
1.3 แนวคิดที่นำเสนอ	3
1.4 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	5
1.5 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์	5
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.8เค้าโครงของวิทยานิพนธ์	6
2 หลักการและทฤษฎี	7
2.1 รหัสแผ่ (Spreading code)	7
2.2 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน (Interference cancellation receiver by combined-interfering signal)	10
2.3 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส (Inter-code group interference cancellation receiver)	13
2.4 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส (Intra-code group and inter-code group interference cancellation receiver)	17

บทที่	หน้า
3 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส	19
3.1 หลักการเลือกรหัสแผ่ของผู้ใช้รายอื่นในระบบสำหรับเครื่องรับที่เสนอ	19
3.2 วิธีการหารหัสตัวแทนจากรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ	21
3.3 วิธีการเลือกรหัสตัวแทนที่แตกต่างและจำนวนของรหัสตัวแทนที่ได้	21
3.4 วิธีการของเครื่องรับที่เสนอ	23
3.4.1 ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ	24
3.4.2 ส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ	24
3.5 ข้อกำหนดในการจำลองแบบ	28
3.5.1 เครื่องส่งในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ใช้ในการจำลองแบบ	29
3.5.2 ช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองแบบ	32
3.6 ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอ	33
3.6.1 พิจารณาความซับซ้อนในส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ	34
3.6.2 พิจารณาความซับซ้อนในส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอด ของเครื่องรับที่เสนอ	35
3.6.3 พิจารณาความซับซ้อนทั้ง 2 ส่วนของเครื่องรับที่เสนอ	38
3.6.4 สรุปความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอ	38
3.7 ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2	40
4 ผลการจำลองแบบ	43
4.1 ผลการแบ่งจำนวนค่าสหสัมพันธ์เพื่อนำไปพิจารณาหาค่าสหสัมพันธ์ ที่อยู่ในเกณฑ์	43
4.1.1 กรณีไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน	44
4.1.2 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วน	47
4.1.3 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วน	51
4.1.4 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 64 ส่วน	52
4.2 สมรรถนะของเครื่องรับในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ที่ต่างกัน	53
4.3 ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออก	54
4.4 สมรรถนะของเครื่องรับเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิง	57

บทที่	หน้า
4.4.1 ผลการเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1	57
4.4.2 ผลการเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2	58
4.5 สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอ	61
4.6 เปรียบเทียบความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับ	63
4.6.1 ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1	63
4.6.2 ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2	64
5 สรุป.....	68
5.1 สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ตีขึ้น	68
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยในอนาคต	69
รายการอ้างอิง	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	จำนวนรหัสเผื่อที่จะนำมาไปใช้ในกระบวนการขจัดสัญญาณแทรกสอด 31
3.2	ความสอดคล้องกันระหว่างอัตราชิปและพิสัยเฟสของรหัส scrambling ในข่ายเชื่อมโยงขาลง 31
3.3	พารามิเตอร์สำหรับ IMT-2000 vehicular channel A model 32
3.4	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอ โดยไม่มีการขจัดสัญญาณ แทรกสอดหรือ เฉพาะส่วนการตรวจวัดข้อมูล 39
3.5	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอในส่วนการ ขจัดสัญญาณแทรกสอด 39
3.6	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอ เมื่อมีการขจัดสัญญาณ แทรกสอดจำนวน m รอบแล้วจึงตรวจวัดข้อมูลออกมา 40
3.7	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง โดยไม่มีการขจัดสัญญาณ แทรกสอดหรือเฉพาะส่วนการตรวจวัดข้อมูล 41
3.8	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิงในส่วนการ ขจัดสัญญาณแทรกสอด 41
3.9	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง เมื่อมีการขจัดสัญญาณ แทรกสอดจำนวน m รอบแล้วจึงตรวจวัดข้อมูลออกมา 42
3.10	ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง ในจำนวน 1 เฟรมข้อมูล 42

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รหัสที่ตัวประกอบการแผ่สามารถเปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉาก	8
2.2	ตัวอย่างการนำไปใช้งานกรณีตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้	9
2.3	เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณเข้าไว้ด้วยกัน	10
2.4	หลักการของการรวมกันแบบอัตราส่วนสูงสุด	11
2.5	เครื่องรับแบบจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส	13
2.6	ผลของการแทรกสอดเนื่องจากการเพิ่มผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลสูงเข้าไปในระบบ	15
2.7	เครื่องรับแบบจัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส	17
3.1	วิธีการแบ่งกลุ่มรหัสเพื่อหารหัสตัวแทนในกลุ่มรหัสนั้นๆ	20
3.2	ส่วนของการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ	24
3.3	ส่วนของการจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ	24
3.4	บล็อกไดอะแกรมของวิธีการที่เสนอ	26
3.5	flow chart แสดงการจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากกว่า 1 รอบ	27
3.6	การมอดูเลตในข่ายเชื่อมโยงขาลง	29
3.7	เครื่องกำเนิดรหัส scrambling ในข่ายเชื่อมโยงขาลง	30
3.8	ช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	33
4.1	ผลการจำลองแบบในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก	44
4.2	ผลการจำลองแบบในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบฉาย	46
4.3	ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน ออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก	48
4.4	ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน ออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย	49
4.5	ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน ออกเป็น 16 ส่วน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย	51
4.6	ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน ออกเป็น 64 ส่วน โดยใช้วิธีวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย	52
4.7	ผลการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน	53
4.8	ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออก กรณี $\delta = 0.2$	55

รูปที่	หน้า
4.9 ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออก กรณี $\delta = 0.4$	56
4.10 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1	57
4.11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 1$	58
4.12 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 2$	59
4.13 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 3$	60
4.14 สมรรถนะของเครื่องรับที่ดีขึ้นเมื่อใช้เครื่องรับที่เสนอ กรณีที่ $\delta = 0.2$	62
4.15 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ(ค) เฉพาะการคูณ	64
4.16 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 1$ เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ(ค) เฉพาะการคูณ	65
4.17 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 2$ เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ(ค) เฉพาะการคูณ	66

บัญชีคำศัพท์

กลุ่มรหัส	code group
การเกิดการขจัดมากเกินไป	over cancellation
การขจัดสัญญาณแทรกสอด	Interference Cancellation ย่อว่า IC
การขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน	Parallel Interference Cancellation ย่อว่า PIC
การขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่อง	Successive Interference Cancellation ย่อว่า SIC
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
การจำลองแบบ	simulation
การแจกแจงแบบเรย์ลี	Rayleigh distribution
การตรวจวัดผู้ใช้เพียงคนเดียว	Single user Detection ย่อว่า SD
การต่อร่วมทางอากาศ	air interface
การแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง	Multiple Access Interference ย่อว่า MAI
การแทรกสอดเนื่องจากผู้ใช้หลายคนภายในเซลล์	intracell multiuser interference
การแทรกสอดภายในเซลล์	intracell interference
การนำไปลบออก	subtraction
การประมาณช่องสัญญาณ	channel estimation
การแผ่	spreading
การแผ่ของการประวิง	delay spread
ข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น	uplink
ข่ายเชื่อมโยงขาลง	downlink
เครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส	Inter-code group interference cancellation receiver
เครื่องรับที่รวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน	Interference cancellation receiver by combined-interfering signals
เครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส	Intra-code group and inter-code group interference cancellation receiver
เครื่องรับที่เสนอ	proposed receiver
เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา	conventional RAKE receiver
เครื่องรับอ้างอิง	reference receiver
จำนวนรอบ	iteration

ช่องสัญญาณแบบแตกกระจาย	dispersive channel
ช่องสัญญาณแบบพหุวิถี	multipath channel
ซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง	Wideband-Code Division Multiple Access ย่อว่า W-CDMA
ตั้งฉาก	orthogonal
ตัวประกอบการแผ่	Spreading Factor ย่อว่า SF
ตัวประกอบการแผ่คงที่	fixed spreading factor
ตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้	variable spreading factor
แบบจำลองของสัญญาณ	signal model
ปรากฏการณ์ปิงปอง	ping-pong effect
ฟลอป	flop มาจาก floating point operation
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	Multiuser detection ย่อว่า MUD
รวมกันแบบอัตราส่วนสูงที่สุด	Maximum Ratio Combining ย่อว่า MRC
รหัสตัวแทน	representative code
รหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอด	representative code of interfering code group
รหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่สนใจ	representative code of desired code group
รหัสที่ใช้ในการแยกแยะช่องสัญญาณ	channelization code
รหัสที่มีตัวประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้ และตั้งฉากกัน	Orthogonal Variable Spreading Factor ย่อว่า OVSF
รหัสแผ่	spreading code
รหัสแผ่ประสิทธิภาพ	Effective Spreading Code ย่อว่า ESC
รหัสแม่	mother code
รหัสลูก	child code
ระบบหลายอัตรา	multirate system
ลำดับแบบ Gold	Gold sequence
สถานีเคลื่อนที่	mobile station
สถานีฐาน	base station
สมาชิกของกลุ่มรหัส	member of code group
สหสัมพันธ์	correlation
สัญญาณที่ได้รับ	received signal

สัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก	Additive White Gaussian Noise ย่อว่า AWGN
สัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่ม	intra-group interference
สัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่ม	inter-group interference
อัตราบิตผิดพลาด	Bit Error Rate ย่อว่า BER
อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณกับ	Signal to Noise Ratio ย่อว่า SNR
กำลังของสัญญาณรบกวน	
อัตราส่วนระหว่างพลังงานเฉลี่ยต่อบิตข้อมูล	E_b/N_0
ข่าวสารกับกำลังของสัญญาณรบกวน	



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบไร้สายมีการพัฒนาการอย่างรวดเร็ว เพื่อให้สามารถรองรับการให้บริการที่หลากหลายตามความต้องการของผู้ใช้บริการ ซึ่งการให้บริการลักษณะนี้จะเป็นการให้บริการที่มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง อาทิเช่น วิดีโอ หรือ ทราฟฟิกแบบมัลติมีเดีย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ยังคงมีการส่งที่เป็นสัญญาณเสียงเช่นเดิม จึงทำให้ผู้ใช้บริการส่งข้อมูลข่าวสารในอัตราข้อมูลที่แตกต่างกัน และข้อกำหนดพื้นฐานที่แตกต่างกันตามการประยุกต์ใช้งานของผู้ใช้บริการเอง เทคโนโลยีที่จำเป็นในการทำให้บริการต่างๆ ทั้งหลายเหล่านี้เป็นจริงได้ ซึ่งรู้จักกันทั่วไปในชื่อระบบเซลลูลาร์ยุคที่ 3

1.1 ที่มาและปัญหาที่เกิดขึ้น

การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบเซลลูลาร์ยุคที่ 3 นั้น ได้ใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) โดยได้กำหนดให้ผู้ใช้บริการในแต่ละรายมีรหัสแผ่ (spreading code) ที่ตั้งฉาก (orthogonal) ซึ่งกันและกัน เพื่อใช้ในการแยกแยะสัญญาณของผู้ใช้บริการในแต่ละราย โดยการส่งข้อมูลข่าวสารในข่ายเชื่อมโยงขาลง (downlink) ในระบบสื่อสาร CDMA สถานีฐาน (base station) จะนำสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้บริการในแต่ละรายที่ผ่านการเข้ารหัสแผ่แล้วมารวมเข้าไว้ด้วยกันแล้วจึงส่งสัญญาณออกไป เครื่องรับของสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ก็จะได้รับสัญญาณที่รวมกันมาจากช่องสัญญาณที่ต่างกันอย่างซึ่ง โครนีสจากสถานีฐานผ่านทางช่องสัญญาณเดียวกัน หากเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่เป็นแบบเครื่องรับธรรมดาที่ใช้กันในระบบสื่อสาร CDMA ชนิดแถบกว้าง (Wideband-CDMA : W-CDMA) หรือ เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา (Conventional RAKE receiver) กับช่องสัญญาณที่ไม่มี การแผ่ของการประวิง (delay spread) ความตั้งฉากกันของช่องสัญญาณที่ต่างกัน จะยังคงอยู่ที่เครื่องรับของสถานีเคลื่อนที่ ในกรณีเช่นนี้ เครื่องรับแบบ RAKE ดั้งเดิมจะกลายเป็นเครื่องรับแบบเหมาะสมที่สุด (optimal receiver) [1] แต่ในทางปฏิบัติ ช่องสัญญาณจะเป็นช่องสัญญาณแบบกระจาย (dispersive channel) จึงทำให้ความตั้งฉากกันของช่องสัญญาณที่ต่างกันไม่สามารถคงอยู่ได้ที่เครื่องรับ เกิดเป็นการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference : MAI) ขึ้นดังที่ทราบกันทั่วไปว่า ความจุของข่ายเชื่อมโยงในระบบสื่อสาร W-CDMA จะถูกจำกัดจากการแทรกสอด ดังนั้นผลของ MAI ที่เกิดขึ้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการจำกัดความจุของข่ายเชื่อมโยง หากผู้ใช้ใน

ระบบหรืออัตราข้อมูลของผู้ใช้สูงขึ้น เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน เพราะจะทำให้ความน่าจะเป็นในการเกิดบิตผิดพลาด (Bit Error Probability : BEP) สูง [2]

ปัญหาดังกล่าวในปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยจำนวนมากถูกออกแบบมาเพื่อบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้น ให้เบาบางลงได้ ซึ่งหนึ่งในวิธีการนั้นก็คือการใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (multiuser detection : MUD) โดยในงานวิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับแบบแผนมัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน ในรูปแบบต่างๆ โดยที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันเหล่านั้นมีสมรรถนะที่ดีกว่าดีเทกเตอร์แบบธรรมดา และสามารเพิ่มพูนความจุของระบบ CDMA ได้ แต่งานวิจัยที่เกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันโดยส่วนใหญ่แล้วออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการส่งจากสถานีเคลื่อนที่ไปสถานีฐานหรือข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink) ซึ่งมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบนี้จะสมมุติให้เครื่องรับที่สถานีฐานรู้รหัสแผ่ของผู้ใช้ทั้งหมด ดังนั้นเราจึงไม่สามารถนำมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบนี้มาใช้ในช่องสัญญาณการส่งจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ หรือข่ายเชื่อมโยงขาลงได้ เพราะสถานีเคลื่อนที่ทราบเพียงรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น ประกอบกับความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริทึมสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานกับสถานีเคลื่อนที่ ดังนั้นเมื่อมีการนำอัลกอริทึมของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ไปใช้กับข่ายเชื่อมโยงขาลง จุดประสงค์ของอัลกอริทึมจะเปลี่ยนไป คือ จากต้องตรวจวัดผู้ใช้หลายคน เปลี่ยนไปเป็นการตรวจวัดผู้ใช้เพียงคนเดียว (Single user Detection : SD) โดยในข่ายเชื่อมโยงขาลงข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนจะถูกส่งอย่างซิงโครนัส ซึ่งผู้ใช้จะมีรหัสตั้งฉาก (orthogonal) กับรหัสของผู้ใช้คนอื่น เมื่อผ่านช่องสัญญาณแบบพหุวิถี (multipath) ความถี่ฉากกันของรหัสผู้ใช้แต่ละคนจะสูญเสียไป เกิดเป็นการแทรกสอดภายในเซลล์ (intracell interference) ขึ้น และเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ไม่ทราบรหัสแผ่ของผู้ใช้คนอื่น วิธีการลดผลของ MAI จึงมุ่งเน้นไปที่การจัดสัญญาณแทรกสอด (Interference Cancellation) ของผู้ใช้อื่นแทน เหตุผลที่เลือกพิจารณาในข่ายเชื่อมโยงขาลงคือ ความจุของข่ายเชื่อมโยงขาลงจะมีความสำคัญมากกว่าความจุของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น เพราะเนื่องจากความเป็นอสมมาตร (asymmetric) ในการใช้งาน [3] ความจุในข่ายเชื่อมโยงขาลงควรจะมีค่ามากกว่าในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น อัลกอริทึมที่ถูกออกแบบมาใช้กับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสามารถนำมาใช้กับข่ายเชื่อมโยงขาลงได้ โดยอาจจะพิจารณาให้กรณีข่ายเชื่อมโยงขาลงเป็นกรณีพิเศษของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ซึ่งคุณลักษณะที่ต้องการของข่ายเชื่อมโยงขาลงเป็นดังนี้ [4]

- สัญญาณจากผู้ใช้ทุกคนจะปรากฏที่เครื่องรับของสถานีเคลื่อนที่ หลังจากส่งผ่านมายานช่องสัญญาณเดียวกัน
- สถานีเคลื่อนที่จะทราบรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น
- อัลกอริทึมในการคำนวณในสถานีเคลื่อนที่ควรจะมีค่าซับซ้อนต่ำ เพื่อยังคงให้สถานีเคลื่อนที่มีขนาดเล็ก และมีน้ำหนักน้อย แล้วยังต้องมีการใช้พลังงานที่ต่ำอีกด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวข้องกับงานนำอัลกอริทึมการจัดสัญญาณแทรกสอดไปใช้ในข่ายเชื่อมโยง ขาลง ได้แก่ การใช้วิธีการประมาณหารหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นที่แทรกสอดผู้ใช้ที่สนใจ เพื่อนำรหัสแม่ นั้นไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอด ด้วยวิธี equalization [3] หรือนำไปลบออก [5,6] โดย งานวิจัยที่ผ่านมาเหล่านี้ ได้พิจารณากับระบบที่มีค่าตัวประกอบการแผ่คงที่ (fixed spreading factor) ซึ่ง ระบบในความเป็นจริงเป็นระบบที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้ (variable spreading factor) อย่างไรก็ดีตามได้มีงานวิจัย [7] ที่ได้พิจารณาระบบที่ใช้ตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้ และไม่ จำเป็นต้องรู้รหัสแม่ของผู้ใช้คนอื่น แต่จะหารหัสที่ส่งผลแทรกสอดไปยังผู้ใช้ที่สนใจ โดยใช้คอร์ริเลเตอร์ที่ใช้การแปลง Walsh แบบเร็ว (Fast Walsh Transform : FWT) หารหัสแม่ออกมา ซึ่งรหัสแม่ที่หา ออกมานี้ เรียกว่า รหัสแม่ประสิทธิภาพ (Effective Spreading Code : ESC) และรหัสแม่ที่หาออกมานี้จะ ถูกนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป โดยใช้เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอด แบบต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation Receiver : SIC) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย [8,9] ได้ใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ (mother code) และรหัสลูก (child code) ของรหัสแม่ที่มีค่าตัว ประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน (Orthogonal Variable Spreading Factor : OVSF) มา ใช้ในการหารหัสตัวแทน (representative code) โดยในงานวิจัยที่ [8] ได้นำรหัสแม่ที่มีลดระดับค่าตัว ประกอบการแผ่ลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเป็นจำนวน n ระดับ โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots$ มา เป็นรหัสตัวแทน แล้วนำรหัสตัวแทนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณต่อไป โดยเรียกเครื่องรับ ชนิดนี้ว่า เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส (inter-code group interference cancellation receiver) ส่วนในงานวิจัยที่ [9] นอกจากการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มรหัส แล้ว ยังคิดผลการแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มรหัสตัวแทนที่มีความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่สนใจอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการจัดสัญญาณแทรกสอดอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ การจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่ม รหัส (inter-code group interference cancellation) และการจัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัส (intra-code group interference cancellation) โดยใช้เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน (Parallel Interference Cancellation : PIC)

1.3 แนวคิดที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่าย เชื่อมโยงขาลง จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ทราบเพียงรหัสแม่ของตนเอง เท่านั้น ในการลดผลของการแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้รายอื่นในระบบนั้นเครื่องรับจำเป็นต้องรู้รหัสแม่

ของผู้ใช้ทั้งหมดในระบบ ทำให้เครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ไม่สามารถหาสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นที่ส่งผลแทรกสอดได้ ดังนั้นปัญหาจึงมุ่งเน้นไปที่จะทำอย่างไรให้เครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่สามารถจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้รายอื่นๆ ได้ โดยที่เครื่องรับทราบเพียงรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น จากงานวิจัยที่ [8,9] การหารหัสตัวแทนโดยนำรหัสแผ่ที่มีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจมาเป็นรหัสตัวแทน รหัสตัวแทนที่หาได้ยังไม่ครอบคลุมรหัสแผ่ทั้งหมดโดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ใช้รายอื่นในระบบมีรหัสแผ่ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ต่ำกว่ารหัสตัวแทนซึ่งจะไม่มีรหัสตัวแทนใดสามารถลดผลการแทรกสอดของผู้ใช้รายนี้ได้เลย หรือต้องลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่เป็นจำนวนเท่าใดจึงจะสามารถครอบคลุมรหัสแผ่ทั้งหมดที่อาจมีผู้ใช้รายอื่นใช้รหัสแผ่นั้นอยู่จริงในขณะนั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงไม่ใช้วิธีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเหมือนในงานวิจัยที่ [8,9] แต่เสนอแนวคิดให้มีรหัสตัวแทนที่ครอบคลุมรหัสแผ่ทั้งหมดและมีจำนวนรหัสตัวแทนที่ใช้น้อยกว่า โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างรหัสที่มีตัวประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน ซึ่งสามารถหารหัสตัวแทนได้จากการแบ่งรหัสแผ่ออกเป็นกลุ่มๆ ตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่และรหัสลูก โดยในกลุ่มรหัสแผ่แต่ละกลุ่มรหัสแผ่ที่เป็นของผู้ใช้รายอื่นในระบบนั้นจะถูกแทนด้วยรหัสตัวแทนเพียง 1 รหัส แล้วนำรหัสตัวแทนที่ได้ในแต่ละกลุ่มนี้ไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป โดยแพลตฟอร์มของเครื่องรับที่เสนอนี้จะเป็นแบบจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่อง หรือ เป็นเครื่องรับแบบ SIC ซึ่งสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับแบบนี้ไม่ได้ดีที่สุด โดยยังมีเครื่องรับที่อาจจะมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีกว่า อาทิเช่น เครื่องรับแบบ PIC, แบบผสมระหว่าง SIC กับ PIC หรือ เครื่องรับแบบคิเคอร์รีเลต เป็นต้น แต่การเลือกใช้เครื่องรับแบบ SIC นั้นเป็นเพราะว่ามีรูปแบบที่ง่าย เพราะต้องคำนึงว่าการจัดสัญญาณแทรกสอดในวิทยานิพนธ์นี้กระทำในข่ายเชื่อมโยงขาลง หรือ ที่เครื่องรับของสถานีเคลื่อนที่ซึ่งมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงพลังงานที่ต้องใช้จากแบตเตอรี่ในการคำนวณอีกด้วย ซึ่งเครื่องรับแบบ PIC และ แบบคิเคอร์รีเลต จะมีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก โดยส่วนใหญ่เครื่องรับทั้งสองชนิดนี้ จะใช้ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น หรือ ที่สถานีฐาน ซึ่งไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการคำนวณ อีกทั้งเครื่องรับเหล่านี้จำเป็นต้องรู้รหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคน จึงจะทำให้มีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดี ซึ่งแน่นอนว่า เป็นไปไม่ได้ที่จะกระทำในสถานีเคลื่อนที่ ซึ่งทราบแต่เพียงรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น โดยหลักการและวิธีการของเครื่องรับที่เสนอนั้น จะกล่าวในภายหลังต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพเพื่อจัดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลง ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง
2. ปรับปรุงอัลกอริทึมการจัดสัญญาณแทรกสอด ให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นในแง่ของอัตราบิดผิดพลาด (BER) ด้วยวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส

1.5 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาอัลกอริทึมการจัดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง ให้มีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดียิ่งขึ้น
2. เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาด (BER) ของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [7,8] เครื่องรับที่เสนอควรมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

1.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน และการจัดสัญญาณแทรกสอด
2. ศึกษาวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอด ที่นำมาใช้ในข่ายเชื่อมโยงขาลงของระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอชนิดแถบกว้าง (W-CDMA)
3. นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดสัญญาณแทรกสอด สำหรับใช้ในข่ายเชื่อมโยงขาลง ด้วยวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส
4. เขียนโปรแกรมจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในแง่ของอัตราบิดผิดพลาด
5. วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุปผล
6. รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำความรู้ที่ได้เกี่ยวกับการจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลงมาพัฒนาและปรับปรุงให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น
2. สามารถสร้างแบบจำลองที่สามารถปรับปรุงการจัดสัญญาณแทรกสอดให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นในแง่ของอัตราบิดผิดพลาด
3. หากมีการนำอัลกอริทึมนี้ไปใช้ในข่ายเชื่อมโยงขาลงก็จะทำให้ความจุของระบบเพิ่มขึ้น

1.8 คำโครงของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ : มีเนื้อหาเกี่ยวกับที่มาและปัญหาที่เกิดขึ้นในข่ายเชื่อมโยงขาลง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ แนวคิดที่เสนอ วัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน และสุดท้ายเป็นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี : จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้กับเครื่องรับในข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA

บทที่ 3 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส : มีเนื้อหาประกอบด้วยหลักการเลือกรหัสแผ่ของผู้ใช้รายอื่นในระบบและวิธีการของเครื่องรับที่เสนอในแต่ละส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลและส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอด ในช่วงท้ายของบทนี้จะเป็นข้อกำหนดในการจำลองแบบที่ใช้พารามิเตอร์และสภาวะที่ใช้ในการจำลองแบบ และสุดท้ายเป็นการคำนวณความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอ และเครื่องรับที่นำมาอ้างอิง

บทที่ 4 ผลการจำลองแบบ : ในบทนี้จะเป็นการจำลองแบบ (simulation) เครื่องรับที่เสนอในแบบต่างๆ ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดว่ากรณีไหนให้ค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ดีกว่า รวมทั้งยังพิจารณาถึงความซับซ้อนทางการคำนวณที่แตกต่างกันของเครื่องรับแต่ละชนิดที่นำมาพิจารณาอีกด้วย

บทที่ 5 สรุป : บทนี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยที่ได้ศึกษาในวิทยานิพนธ์และแนวทางการทำวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้กับเครื่องรับในข่ายเชื่อมต่อโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA ได้แก่ รหัสแผ่ (spreading code) ที่ใช้ในระบบสื่อสาร W-CDMA และวิธีการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับที่เลือกมา เพื่อใช้เป็นเครื่องรับอ้างอิงในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับเครื่องรับที่เสนอ

2.1 รหัสแผ่ (Spreading code)

การปรับปรุงความสามารถการสื่อสารด้านมัลติมิเดีย เป็นหนึ่งในเป้าหมายของระบบสื่อสาร W-CDMA ดังนั้น ระบบสื่อสาร W-CDMA จึงถูกออกแบบมาเพื่อให้สนับสนุนบริการข้อมูลที่หลากหลาย ตั้งแต่ อัตราบิตข้อมูลต่ำไปจนกระทั่งถึงอัตราบิตข้อมูลสูงมาก และเนื่องจากแถบความถี่ของสัญญาณที่ได้รับการแผ่แล้วมีค่าเท่ากันสำหรับผู้ใช้ทุกคน ดังนั้นการส่งที่มีอัตราข้อมูลที่หลากหลาย จำเป็นต้องมีตัวประกอบการแผ่ (Spreading Factor : SF) ที่หลากหลายด้วยเช่นกัน รหัสที่มีตัวประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน (Orthogonal Variable Spreading Factor : OVSF) หรือเรียกว่า รหัส OVSF จึงถูกนำมาใช้งาน [10, 11] วิธีการสร้างรหัส OVSF นี้ สามารถอธิบาย โดยใช้สมการเมตริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

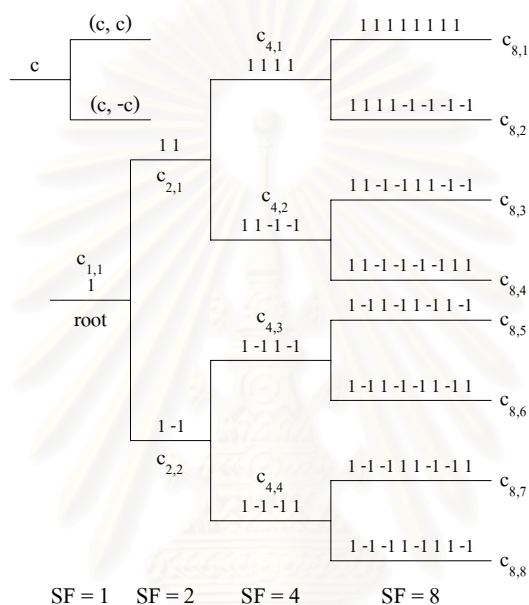
$$[c_{1,1}] = 1$$

$$\begin{bmatrix} c_{2,1} \\ c_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,1} \\ c_{1,1} & c_{1,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

•

$$\mathbf{C}_N = \begin{bmatrix} C_{N,1} \\ C_{N,2} \\ \vdots \\ C_{N,N-1} \\ C_{N,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{N/2,1} & C_{N/2,1} \\ C_{N/2,1} & C_{N/2,1} \\ \vdots & \vdots \\ C_{N/2,N/2} & C_{N/2,N/2} \\ C_{N/2,N/2} & C_{N/2,N/2} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

โดยที่ C_N คือ เมตริกซ์ขนาด $N \times N$ และเป็นเซตของรหัสแม่แบบไบนารีจำนวน N รหัสที่มีความยาวเท่ากับ N ซิป ส่วนเครื่องหมาย $\bar{}$ หมายถึงการคอมพลิเมนต์แบบไบนารี อันได้แก่ $\bar{1} = -1$ และ $\overline{-1} = 1$ และสุดท้าย N มีค่าเท่ากับ 2^k ซึ่ง k คือ ค่าระดับในรหัส OVSF ความสัมพันธ์ระหว่างรหัส OVSF สามารถอธิบายได้จาก code tree ในรูปที่ 2.1 โดยตัวห้อยตัวแรกหมายถึงตัวประกอบการแม่ และตัวห้อยตัวถัดมาแสดงลำดับสมาชิกของรหัสในตัวประกอบการแม่

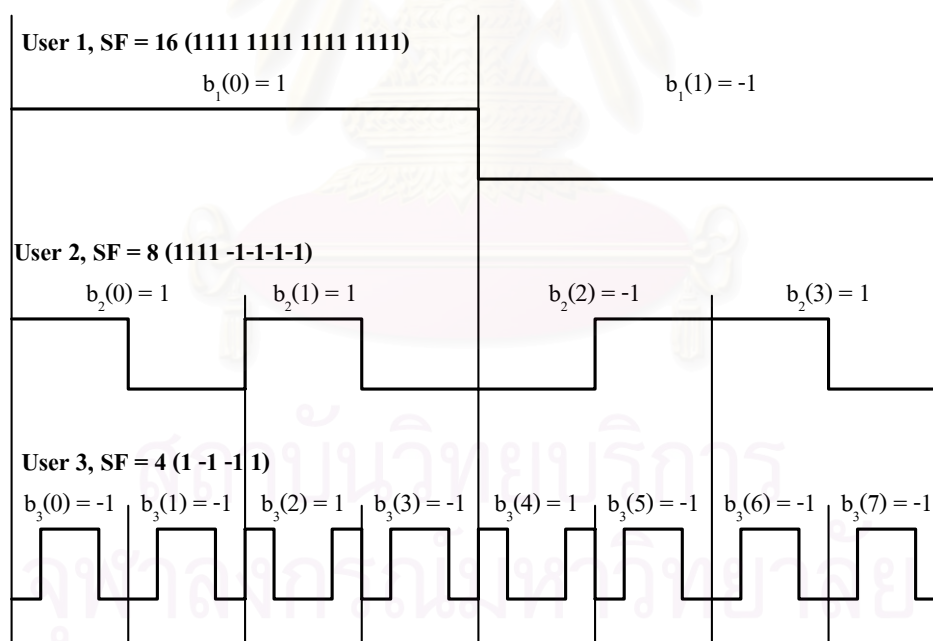


รูปที่ 2.1 รหัสที่ตัวประกอบการแม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน

รหัสทั้งหมดที่อยู่ในระดับเดียวกัน จะมีความตั้งฉาก (orthogonal) ซึ่งกันและกัน ส่วนรหัส 2 รหัส ของระดับที่ต่างกันจะตั้งฉากกัน ถ้าในสองรหัสนั้นไม่มีรหัสตัวหนึ่งตัวใดเป็นรหัสแม่ของรหัสอีกตัวหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่นรหัส $c_{16,2}$, $c_{8,1}$, $c_{4,1}$ และ $c_{2,1}$ ทั้งหมดเป็นรหัสแม่ของรหัส $c_{32,3}$ ดังนั้นจึงไม่มีความตั้งฉากกันกับรหัส $c_{32,3}$ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ สามารถใช้รหัสตัวหนึ่งตัวใดในช่องสัญญาณได้ ก็ต่อเมื่อ ไม่มีรหัสอื่นบนเส้นทางจากรหัสตัวนี้ไปหาราก (root) ของ tree หรือมี sub-tree ซึ่งสร้างมาจากรหัสตัวนี้ใช้อยู่บนช่องสัญญาณเดียวกัน ข้อกำหนดนี้ถูกตั้งขึ้นก็เพื่อให้ความตั้งฉากกันของรหัสแต่ละรหัสยังคงอยู่ จึงทำให้จำนวนของรหัสที่สามารถใช้ได้ไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราข้อมูลและตัวประกอบการแม่ของช่องสัญญาณทางกายภาพแต่ละช่อง

จากรูปที่ 2.1 พบว่ารหัสแม่ (mother code) 1 รหัสสามารถแตกออกเป็นรหัส 2 ตัว ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ที่สูงกว่าได้ โดยเรียกรหัส 2 ตัวที่แตกออกมาจากรหัสแม่ว่าเป็นรหัสลูก (child code) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือรหัสลูกสามารถสร้างได้จากรหัสแม่ ยกตัวอย่างเช่น รหัส $c_{8,3} = (c_{4,2}, c_{4,2})$ และรหัส $c_{8,4} = (c_{4,2}, -c_{4,2})$ โดยที่รหัสลูกทั้ง 2 ตัว คือ รหัส $c_{8,3}$ และ $c_{8,4}$ มีรหัสแม่ตัวเดียวกัน คือ รหัส $c_{4,2}$ สหสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ $c_{4,2}$ กับรหัสลูก $c_{8,3}$ คือ $\{1,1\}$ และ สหสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ $c_{4,2}$ กับรหัสลูก $c_{8,4}$ คือ $\{1,-1\}$ นั่นคือ รหัสลูกสามารถอธิบายโดยใช้รหัสแม่และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสทั้ง 2 ตัว นั้นได้อย่างสมบูรณ์

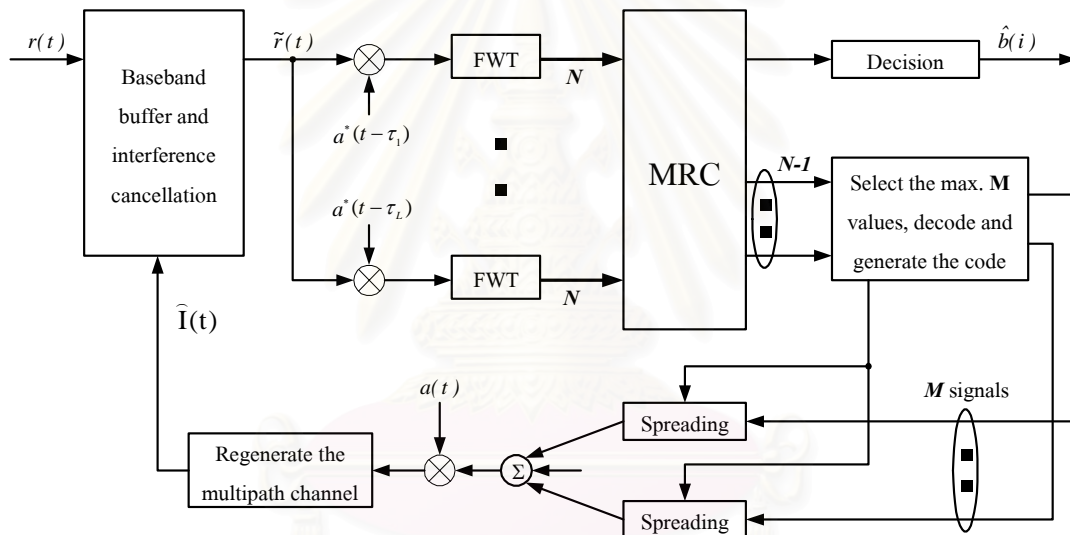
รหัส $c_{4,4}$, $c_{8,5}$ และ $c_{8,6}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ล้วนแล้วแต่มีรหัสแม่ตัวเดียวกัน คือ รหัส $c_{2,2}$ รหัสแม่ $c_{2,2}$ นี้ จึงเป็นรหัสแม่ของกลุ่มรหัส $c_{4,4}$, $c_{8,5}$ และ $c_{8,6}$ และเรียกว่าเป็นรหัสตัวแทน (representative code) ส่วนรหัสลูกในกลุ่มรหัสนี้เรียกว่าเป็นสมาชิกของกลุ่มรหัส (member of code group) [9] ตัวอย่างการนำรหัส OVSF ไปใช้เพื่อให้เป็นระบบที่มีตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 โดยในรูปเป็นตัวอย่างในกรณีที่มีผู้ใช้ 3 คน ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนมีค่าตัวประกอบการแผ่ที่แตกต่างกัน โดยผู้ใช้คนที่ 1, 2 และ 3 มีค่าตัวประกอบการแผ่เป็น 16, 8 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการนำไปใช้งานกรณีตัวประกอบการแผ่เปลี่ยนแปลงได้

2.2 เครื่องรับที่กำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน (Interference cancellation receiver by combined-interfering signals) [7]

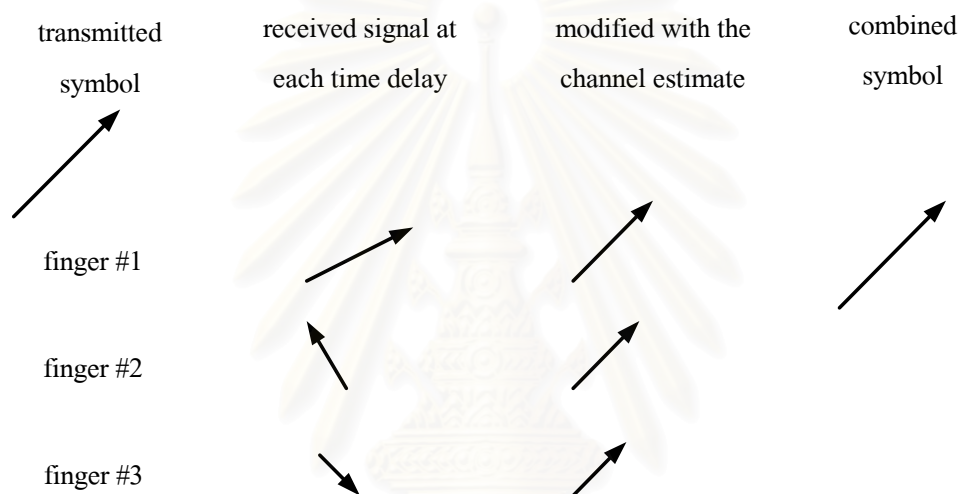
เครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกันเป็นเครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA เครื่องรับชนิดนี้ จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแบบสำหรับเครื่องรับที่เสนอในงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีแตกต่างกันตรงหลักการเลือกรหัสของผู้ใช้รายอื่นในระบบและการเลือกขจัดสัญญาณที่ส่งผลแทรกสอดซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป ดังนั้นเครื่องรับชนิดนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะกับเครื่องรับที่เสนอในแง่ของอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) ว่าเครื่องรับที่เสนอให้ผลในแง่ของ BER ดีกว่าหรือไม่ จึงเรียกเครื่องรับนี้อย่างสั้นๆ ว่า “เครื่องรับอ้างอิงที่ 1” ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน

หลักการของเครื่องรับชนิดนี้ คือ สัญญาณที่รับได้ (received signal) จะถูกบัฟเฟอร์ไว้เพื่อรอการขจัดสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณที่รับได้จากบัฟเฟอร์นี้เองจะถูกส่งเข้าเครื่องรับแบบ RAKE โดยใน finger แต่ละ finger ของเครื่องรับแบบ RAKE จะเปลี่ยนจากการใช้คอร์รีเลเตอร์แบบธรรมดาเป็นคอร์รีเลเตอร์ที่ใช้วิธี FWT เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ (colleration) ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับรหัสแ่จำนวน N รหัส โดย N คือ ตัวประกอบการแ่ของผู้ใช้ที่สนใจ และรหัสแ่จำนวนทั้งหมด N รหัสนี้ ก็มีตัวประกอบการแ่เท่ากับตัวประกอบการแ่ของผู้ใช้ที่สนใจเช่นกัน แต่จะมีเพียงรหัส 1 รหัสเท่านั้นจากรหัสแ่ทั้งหมด N รหัส ที่เป็นรหัสแ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ผลที่ได้จาก FWT ใน finger แต่ละ finger นี้

จะเป็นค่าสหสัมพันธ์จำนวน N ค่า ซึ่งจะถูกนำไปรวมกับผลลัพธ์ที่ได้จาก finger อื่น การรวมกันของค่าสหสัมพันธ์จำนวน N ค่าเหล่านี้ จะรวมกันแบบอัตราส่วนสูงสุด (Maximum Ratio Combining : MRC) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคทางไดเวอร์ซิตี (diversity technique) ที่ทำให้ finger แต่ละ finger เกิดการร่วมเฟส (co-phased) กัน และ finger แต่ละ finger จะถูกถ่วงน้ำหนัก (weighted) ต่างกัน แล้วจึงนำค่าจาก finger ทุก finger มารวมกันแบบร่วมนัย (coherent) ทำให้ได้ค่าที่มีอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) เหมาะที่สุด (optimal SNR) [12] หลักการของ MRC แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการของการรวมกันแบบอัตราส่วนสูงสุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมค่าสหสัมพันธ์จาก finger ทั้งหมดด้วยวิธีการ MRC นี้ จะเป็นค่าสหสัมพันธ์จำนวน N ค่า ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน ค่าใดที่มีค่ามากแสดงว่าสหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับรหัสแม่ที่เกี่ยวข้องกับค่านั้นมีค่าสูง และยังหมายถึงว่ารหัสนั้นมีความแรงของสัญญาณที่สูงอีกด้วย ค่าสหสัมพันธ์ทั้ง N ค่านี้ จะมีเพียงค่าเดียวเท่านั้นที่เป็นค่าสหสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งจะถูกรวบรวมออกมาเป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่สนใจ ส่วนค่าสหสัมพันธ์จำนวน $N - 1$ ค่าที่เหลือ จะเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับรหัสแม่ที่แทรกสอดสัญญาณของผู้ใช้ที่สนใจ หรือ เรียกว่าเป็น MAI ของผู้ใช้ที่สนใจก็ได้ ค่าสหสัมพันธ์จำนวน $N - 1$ ค่านี้ จะถูกนำมาเรียงตามลำดับความแรงของสัญญาณจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด ซึ่งเครื่องรับจะเลือกรหัสแม่ที่เกี่ยวข้องกับค่าสหสัมพันธ์ที่มากที่สุดออกไปจัดออกจากสัญญาณที่รับได้ หรือจะเลือกเอารหัสแม่ซึ่งเรียงตามลำดับความแรงของสัญญาณออกมาพร้อมกันหลายรหัส เพื่อนำไปจัดออกในคราวเดียวกันก็ได้ ในที่นี้สมมติให้เครื่องรับเลือกรหัส

แม่ที่จะนำไปจัดเป็นจำนวน M รหัส รหัสส่วนที่เหลือที่ยังไม่ถูกขจัดออกไปก็จะยังคงส่งผลแทรกสอดรหัสของผู้ใช้ที่สนใจเช่นเดิม แต่เมื่อรหัสที่มีพลังงานมากถูกขจัดออกไป ผลของความเสื่อมเนื่องจากการแทรกสอดที่เหลืออยู่จึงเป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น

รหัสแม่จำนวน M รหัสที่ถูกเลือกออกมานี้จะถูกถอดรหัสเพื่อเอาข้อมูลออกมา แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ผ่านกระบวนการแผ่ (spreading) สัญญาณที่ได้รับการแผ่แล้วจำนวน M สัญญาณจะถูกนำมารวมกัน ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ เครื่องรับที่รวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน จากนั้นสัญญาณที่รวมกันแล้วจะเข้าสู่กระบวนการ scrambling แล้วจึงผ่านเข้าสู่ตัวกำเนิดช่องสัญญาณแบบพหุวิถี เพื่อกำเนิดสัญญาณเบสแบนด์ที่แทรกสอดสัญญาณเบสแบนด์ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งจะถูกนำไปขจัดออกจากสัญญาณเบสแบนด์ที่รับได้ที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ โดยวิธีการขจัดแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ แบบนำไปลบออก (subtraction) และแบบการฉาย (projection)

- แบบนำไปลบออก (subtraction)

วิธีแบบนำไปลบออกนี้ สัญญาณเบสแบนด์ที่แทรกสอดจะถูกนำไปลบออกจากสัญญาณเบสแบนด์ที่รับได้โดยตรง ดังนี้

ให้ $r(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่รับได้
 $\hat{I}(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่แทรกสอดผู้ใช้ที่สนใจ
 $\tilde{r}(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่รับได้ซึ่งได้ที่ปรับปรุงแล้ว

$$\text{จะได้} \quad \tilde{r}(t) = r(t) - \hat{I}(t) \quad (2.2)$$

- แบบการฉาย (projection)

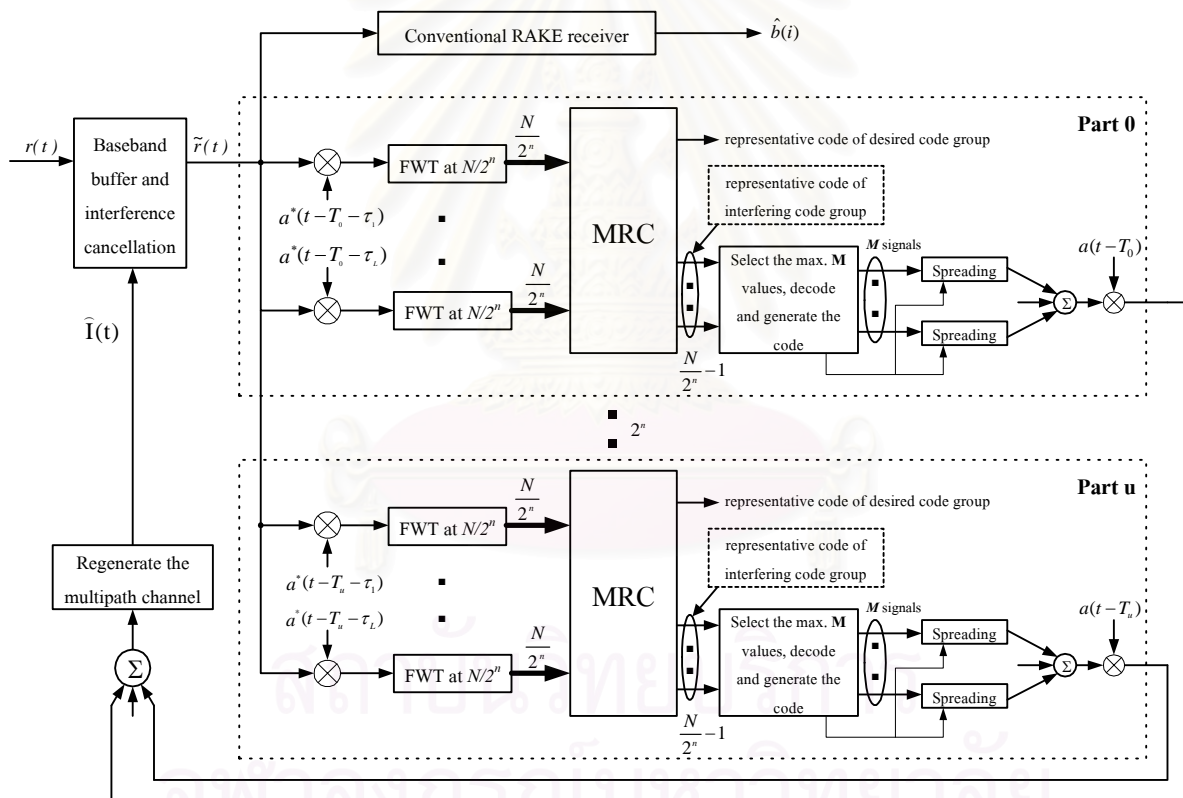
วิธีแบบการฉายจะเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนกว่าวิธีการนำไปลบออกเล็กน้อย คือ นำสัญญาณเบสแบนด์ที่รับได้ฉายในทิศทางที่ตั้งฉากกับสัญญาณเบสแบนด์ที่แทรกสอด ดังสมการที่ 2.3

$$\tilde{r}(t) = r(t) - \langle r(t), \hat{I}(t) \rangle \hat{I}(t) \quad (2.3)$$

โดยที่ $\langle r(t), \hat{I}(t) \rangle$ คือผลคูณภายใน (inner product) ระหว่าง $r(t)$ กับ $\hat{I}(t)$

2.3 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส (Inter-code group interference cancellation receiver) [8]

เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัสเป็นเครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA เช่นเดียวกันกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 โดยเครื่องรับชนิดนี้ได้ปรับเปลี่ยนการหารหัสแผ่นของผู้ใช้รายอื่นในระบบที่ส่งผลแทรกสอดต่อผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งรายละเอียดและหลักการทำงานของเครื่องรับชนิดนี้จะกล่าวต่อไป ดังนั้นเครื่องรับชนิดนี้จึงถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมรรถนะกับเครื่องรับที่เสนอในแง่ของอัตราผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) ว่าเครื่องรับที่เสนอให้ผลในแง่ของ BER ดีกว่าหรือไม่ เหมือนเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเรียกเครื่องรับนี้อย่างสั้นๆ ว่า “เครื่องรับอ้างอิงที่ 2” ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



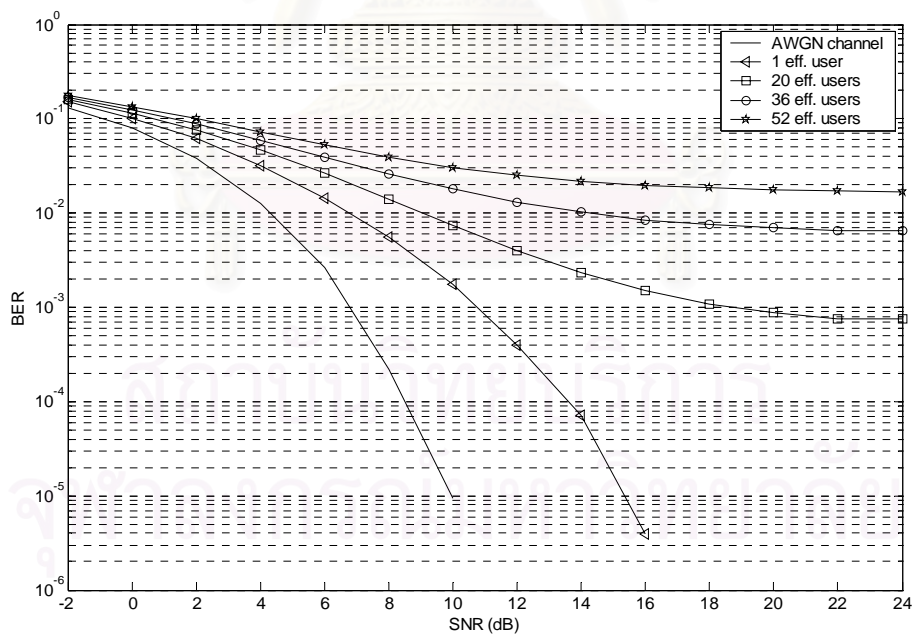
รูปที่ 2.5 เครื่องรับแบบจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส

หลักการโดยรวมของเครื่องรับชนิดนี้ คือ สัญญาณที่เครื่องรับรับได้ จะถูกแบ่งออกเป็น 2^n ส่วน ซึ่งเรียกส่วนแต่ละส่วนนี้ว่า ส่วนที่ u (โดย $u = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1$) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การแบ่งส่วนแต่ละส่วนนั้นขึ้นอยู่กับว่าต้องการลดระดับลงจากระดับ SF ของผู้ใช้ที่สนใจลงกี่ระดับ เพื่อหารหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอด โดยที่ n เป็นจำนวนของระดับที่ลดลง สัญญาณที่รับได้ในแต่ละส่วน จะถูกหารหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอด สามารถอธิบายการหารหัสตัวแทนโดยยกตัวอย่างประกอบได้ คือ จากรูปที่ 2.1 สมมติให้ผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแผ่ หรือ SF เท่ากับ 8 และมีรหัสแผ่ คือ $c_{8,5}$ เมื่อพิจารณาที่ระดับ SF ลดลงมา 1 ระดับ คือ ระดับที่ SF เท่ากับ 4 จะได้ว่ารหัส $c_{4,3}$ เป็นรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่มีรหัสของผู้ใช้ที่สนใจเป็นสมาชิกอยู่ด้วย เรียกรหัส $c_{4,3}$ นี้ว่า รหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่สนใจ (representative code of desired code group) ส่วนรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสอื่น คือ รหัส $c_{4,1}$, $c_{4,2}$ และ $c_{4,4}$ จะเป็นรหัสที่ส่งผลแทรกสอดต่อรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่สนใจ เรียกรหัสแต่ละตัวเหล่านี้ว่า รหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอด (representative code of interfering code group)

หลังจากแบ่งสัญญาณออกเป็น 2^n ส่วน ในแต่ละส่วนจะใช้เครื่องรับแบบ RAKE ซึ่งใน finger แต่ละ finger ของ RAKE จะเปลี่ยนจากการใช้คอร์ริเลเตอร์แบบธรรมดาเป็นการใช้ FWT ที่อันดับ (อันดับ คือ จำนวนของข้อมูลที่เข้าสู่การทำ FWT ซึ่งเท่ากับ $N/2^n$) ที่ได้เลือกไว้ เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณในส่วนที่ u กับรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอด จำนวน $N/2^n$ รหัส ออกมา ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ใน finger แต่ละ finger จะถูกนำมารวมกันแบบอัตราส่วนสูงสุด (Maximum Ratio Combining : MRC) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากนั้นพิจารณาค่าสหสัมพันธ์จำนวน $N/2^n$ ค่าที่ได้จาก MRC ซึ่งจะมีเพียงค่าเดียวที่เป็นค่าสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่สนใจกับสัญญาณที่รับได้ในส่วนที่ u ซึ่งไม่ถูกนำไปพิจารณาเพื่อจัดออก จึงมีเพียงค่าสหสัมพันธ์จำนวน $(N/2^n) - 1$ ค่า เท่านั้นที่นำไปพิจารณา ซึ่งเป็นค่าสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอดกับสัญญาณที่รับได้ การพิจารณาว่าควรที่จะจัดสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอดรหัสใด โดยดูจากค่าสหสัมพันธ์กับสัญญาณที่รับได้ ถ้ารหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่แทรกสอดรหัสใดมีค่าสหสัมพันธ์มากก็แสดงว่ารหัสตัวนั้นจะส่งผลแทรกสอดมากสมควรที่จะได้รับการจัดออกไป รหัสที่ถูกเลือกออกมาจัดออก มีจำนวน M รหัสจาก $(N/2^n) - 1$ รหัส โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย รหัสที่ถูกเลือกออกมาจำนวน M รหัสนี้จะถูกถอดรหัสเอาข้อมูลออกมา แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ผ่านกระบวนการแผ่ (spreading) และ scrambling เป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนในส่วนที่ u ใดๆ จากนั้นสัญญาณที่ได้จากทุกส่วน (ทั้งหมด 2^n ส่วน) จะเข้าสู่ตัวกำเนิดช่องสัญญาณแบบพหุวิถี เพื่อกำเนิดสัญญาณที่แทรกสอดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ที่สนใจ แล้วจึงนำไปจัดออกจากสัญญาณที่รับได้ ด้วยวิธีการนำไปลบออก

สาเหตุที่เครื่องรับในงานวิจัยที่ [8] ได้ใช้วิธีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเป็นจำนวน n ระดับ เนื่องจากชุดรหัสแผ่ที่ได้ลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเหล่านั้น ล้วนเป็นชุดรหัสแผ่ที่เป็นรหัสแม่ของรหัสแผ่ทั้งหมดที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ดังนั้นการนำชุดรหัสแผ่ที่เป็นรหัสแม่มาใช้ในการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อื่นในระบบ ก็เสมือนกับนำรหัสแผ่ทั้งหมดที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจไปใช้ในการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อื่นในระบบเช่นเดียวกับเครื่องรับในงานวิจัยที่ [7] นอกจากนี้ชุดรหัสแผ่ที่เป็นรหัสแม่สามารถใช้แทนรหัสแผ่ของผู้ใช้อื่นที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจแล้ว ยังสามารถใช้แทนรหัสแผ่ของผู้ใช้อื่นที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับค่าตัวประกอบการแผ่ของชุดรหัสแผ่ที่เป็นรหัสแม่อีกด้วย

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ [8] พบว่าการเพิ่มผู้ใช้ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ต่ำกว่าค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเข้าไปในระบบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการเพิ่มผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลสูงกว่าผู้ใช้ที่สนใจเข้าไปในระบบ จะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



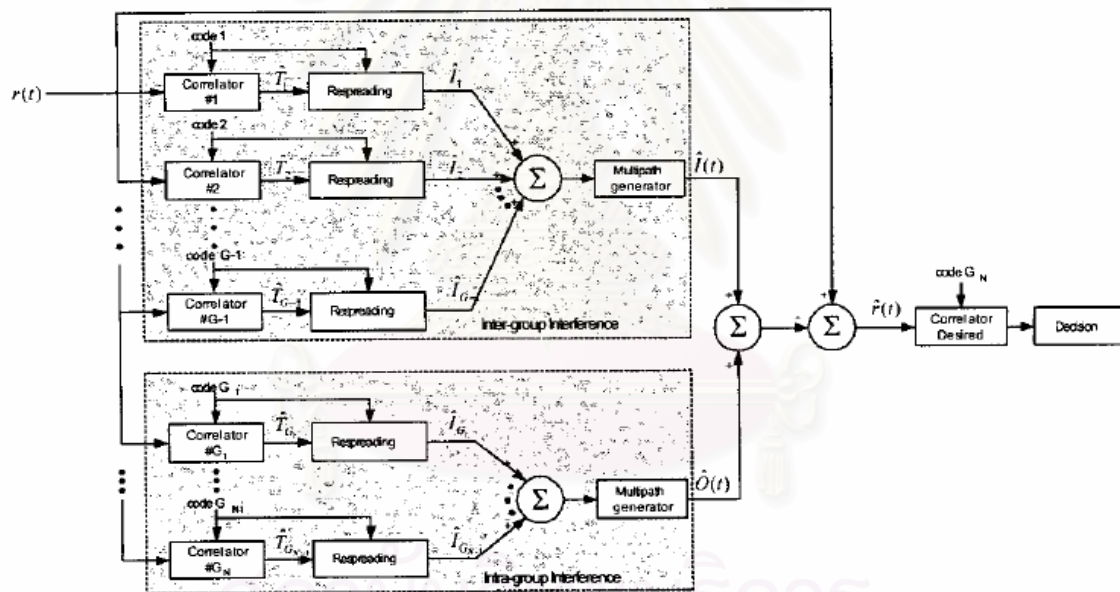
รูปที่ 2.6 ผลของการแทรกสอดเนื่องจากการเพิ่มผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลสูงเข้าไปในระบบ

จากรูปที่ 2.6 เป็นการวัดสมรรถนะของอัตราผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) ที่เกิดขึ้นเทียบกับอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณกับกำลังของสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) โดยผู้ใช้คนที่ 1 ซึ่งมีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 128 ถูกเลือกให้เป็นผู้ใช้ที่สนใจ พบว่ากรณีที่ช่องสัญญาณมีเพียงสัญญาณรบกวนแบบ AWGN และมีผู้ใช้เพียงคนเดียวในระบบ หรือ ในกรณีแรก สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุด ในทั้งหมด 5 กรณี แต่เมื่อช่องสัญญาณมีเฟดดิ้งเพิ่มขึ้นมา หรือ ในกรณีที่ 2 เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา จะมีสมรรถนะที่ด้อยลงไป โดยที่ SNR = 6 dB เครื่องรับจะมี BER เพิ่มขึ้นจากกรณีแรกประมาณ 1.2% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่องสัญญาณที่มีเฟดดิ้ง มีผลทำให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา ด้อยลงไป ส่วนในกรณีที่ 3 ซึ่งมีผู้ใช้ประสิทธิผลจำนวน 20 คน เครื่องรับมี BER เพิ่มขึ้นจากเดิมเช่นเดียวกัน หากเพิ่มผู้ใช้ 1 คนเข้าไปในระบบ หรือ ในกรณีที่ 4 โดยผู้ใช้ที่เพิ่มเข้าเป็นผู้ใช้ที่มี SF=8 ซึ่งจะมีอัตราข้อมูลสูงกว่าผู้ใช้ที่สนใจ $128/8=16$ เท่า หรือเทียบเท่ากับเพิ่มผู้ใช้ประสิทธิผลจำนวน 16 คน ซึ่งทำให้ในระบบมีผู้ใช้ประสิทธิผลรวม 36 คน จะทำให้ BER สูงขึ้น ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 โดยที่ค่า SNR = 6 dB จะทำให้ BER สูงขึ้นจากในกรณีที่ 3 ประมาณ 1.3% และในกรณีที่ 5 ซึ่งเพิ่มผู้ใช้ที่มี SF=8 เข้าไปอีก 1 คน ทำให้มีผู้ใช้ประสิทธิผลรวมในระบบเท่ากับ 52 คน จะทำให้ BER เพิ่มสูงขึ้นจากในกรณีที่ 4 อีก โดยที่ SNR = 6 dB ค่าของ BER เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ 4 จะสูงขึ้นประมาณ 1.3% หากรวมแล้วการเพิ่มผู้ใช้เข้าไปเพิ่มเติมจากกรณีที่ 3 เพียง 2 คนเข้าไปในระบบ จะทำให้ BER ที่ SNR = 6 dB สูงขึ้นรวมประมาณ 2.6% จะเห็นได้ชัดเจนว่า หากมีการเพิ่มผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลสูงกว่าผู้ใช้ที่สนใจ จะทำให้สัญญาณแทรกสอดในระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก อันจะส่งผลให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดาที่ใช้ด้อยลงไปเป็นอย่างมากด้วยเช่นกัน

ดังนั้นการใช้วิธีลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเป็นจำนวน n ระดับ สามารถจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อื่นที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับผู้ใช้ที่สนใจแล้ว ยังสามารถจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อื่นที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ที่ลดลงเท่ากับค่าตัวประกอบการแผ่ของชุดรหัสที่เป็นรหัสแม่อีกด้วย จึงทำให้เครื่องรับในงานวิจัยที่ [8] มีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

2.4 เครื่องรับที่จัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส (Intra-code group and inter-code group interference cancellation receiver) [9]

เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส เป็นเครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร DS-CDMA โดยเครื่องรับชนิดนี้ได้ใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน เนื่องจากงานในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเฉพาะเครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องโดยนำเครื่องรับในงานวิจัยที่ [7] มาเป็นเครื่องรับต้นแบบ เหตุผลที่พิจารณาเครื่องรับแบบ SIC นั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 ดังนั้นจึงไม่นำเครื่องรับชนิดนี้มาเปรียบเทียบกับเครื่องรับที่เสนอ เพราะมีแพลตฟอร์มของเครื่องรับที่แตกต่างกัน แต่จะนำหลักการที่ได้จากเครื่องรับชนิดนี้ไปปรับปรุงและพัฒนาให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น เครื่องรับชนิดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องรับแบบจัดสัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัส

หลักการโดยรวมของเครื่องรับชนิดนี้ คือ สัญญาณที่รับได้จะถูกแบ่งออกมาตามจำนวนของรหัสตัวแทนที่หาได้ สัญญาณที่รับได้แต่ละสัญญาณจะถูกนำมาหาค่าสหสัมพันธ์กับรหัสตัวแทน รหัสตัวแทนในเครื่องรับชนิดนี้หาได้จากการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจเหมือนกับงานวิจัยที่ [8] แต่เครื่องรับชนิดนี้ยังหารหัสตัวแทนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มรหัสที่มีความเกี่ยวข้องกับรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจด้วย สามารถอธิบายการหารหัสตัวแทน โดยยกตัวอย่าง

ประกอบได้ สมมติให้ผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแผ่ หรือ SF เท่ากับ 16 และมีรหัสแผ่ คือ $c_{16,12}$ เมื่อพิจารณาที่ระดับ SF ลดลงมา 2 ระดับ คือ ระดับที่ SF เท่ากับ 4 จะได้ว่ารหัส $c_{4,3}$ เป็นรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสที่มีรหัสของผู้ใช้ที่สนใจเป็นสมาชิกอยู่ด้วย สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มรหัสนี้จะถูกเรียกว่า สัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่ม (intra-group interference) ส่วนรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสอื่น คือ รหัส $c_{4,1}$, $c_{4,2}$ และ $c_{4,4}$ จะเป็นรหัสที่ไม่มีรหัสของผู้ใช้ที่สนใจอยู่ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากกลุ่มรหัสนี้จะถูกเรียกว่า สัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่ม (inter-group interference)

ดังนั้นรหัสตัวแทนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ รหัสตัวแทนที่อยู่ในกลุ่มรหัสที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่สนใจโดยเรียกสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ว่า สัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่ม และรหัสตัวแทนที่อยู่ในกลุ่มรหัสที่มีความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่สนใจ เรียกสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ว่า สัญญาณแทรกสอดภายในกลุ่ม โดยในแต่ละส่วนจะนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสเข้าสู่กระบวนการ resampling ได้เป็นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้รายอื่นๆในระบบ หลังจากนั้นสัญญาณแทรกสอดแต่ละสัญญาณจะถูกรวมกันและผ่านเข้าสู่ตัวกำเนิดช่องสัญญาณแบบพหุวิถี สิ้นสุดกระบวนการนี้สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มรหัสและระหว่างกลุ่มรหัสจะถูกนำมารวมกัน แล้วจึงนำสัญญาณแทรกสอดที่ได้ไปขจัดออกจากสัญญาณที่รับได้ด้วยวิธีการนำไปลบออก สัญญาณที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจะถูกนำมาหาค่าสหสัมพันธ์และ desampling กับรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งจะถูกรวบรวมออกมาเป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่สนใจ

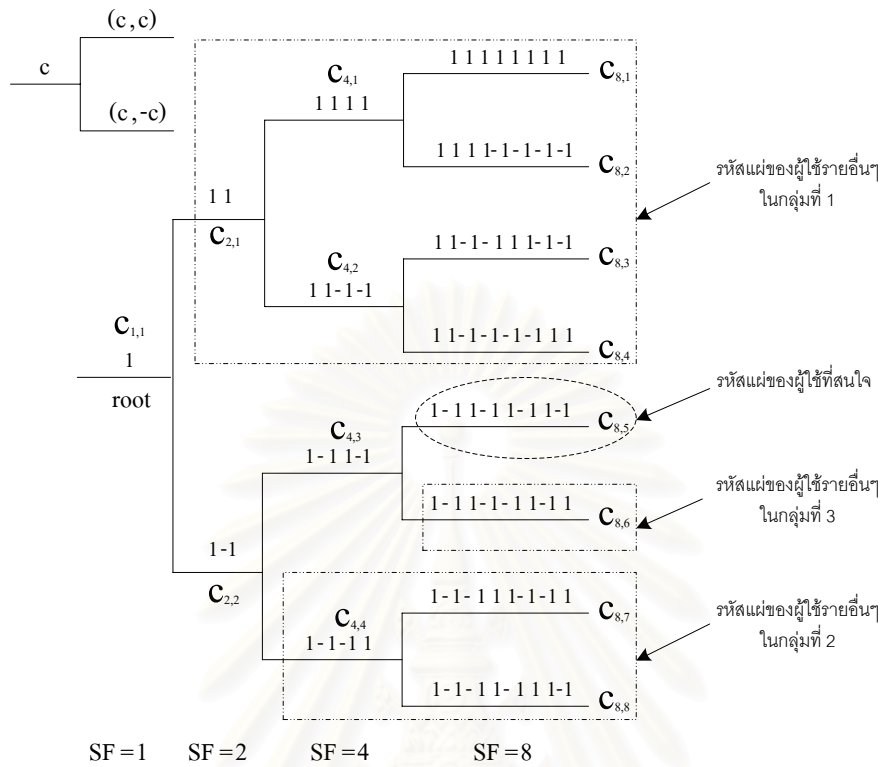
บทที่ 3

เครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการเลือกรหัสแผ่ของผู้ใช้รายอื่นในระบบ วิธีการหารหัสตัวแทนจากรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งมีวิธีการเลือกรหัสตัวแทนและจำนวนของรหัสตัวแทนที่แตกต่างกันอย่างไร จากงานวิจัยที่ผ่านมา และในส่วนต่อไปเป็นวิธีการของเครื่องรับที่เสนอ (proposed receiver) ในแต่ละส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลและส่วนที่ใช้ขจัดสัญญาณแทรกสอด โดยเรียกเครื่องรับที่เสนอนี้ว่า เครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส การจำลองวิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่ได้เสนอมานี้จะเป็นการจำลองโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (simulation) ดังนั้นในช่วงท้ายของบทนี้จะเป็นการข้อกำหนดในการจำลองแบบว่าใช้พารามิเตอร์และสถานะที่ใช้ในการจำลองแบบ และสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอ และเครื่องรับที่นำมาอ้างอิง ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.1 หลักการเลือกรหัสแผ่ของผู้ใช้รายอื่นในระบบสำหรับเครื่องรับที่เสนอ

จากเหตุผลที่ว่าเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ทราบเพียงรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น ในการลดผลของการแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้รายอื่นในระบบนั้นเครื่องรับจำเป็นต้องรู้รหัสแผ่ของผู้ใช้ทั้งหมดในระบบ ทำให้เครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ไม่สามารถหาสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นที่ส่งผลแทรกสอดได้ จากความสัมพันธ์ระหว่างรหัสที่มีตัวประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน (Orthogonal Variable Spreading Factor : OVSF) ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งสามารถหารหัสตัวแทน (representative code) ได้จากการแบ่งรหัสแผ่ออกเป็นกลุ่มๆ ตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ (mother code) และรหัสลูก (child code) โดยในกลุ่มรหัสแผ่แต่ละกลุ่มรหัสแผ่ที่เป็นของผู้ใช้รายอื่นในระบบนั้นจะเป็นกลุ่มรหัสแผ่ที่ถูกสร้างจากรหัสแม่เพียง 1 รหัส โดยเราจะเรียกรหัสแม่ที่ได้นี้ว่า รหัสตัวแทน ซึ่งเครื่องรับที่เสนอจะนำรหัสตัวแทนที่ได้ในแต่ละกลุ่มนี้ไปใช้ในกระบวนการขจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป ดังนั้นจึงเรียกเครื่องรับที่เสนอนี้ว่า เครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส ส่วนวิธีการแบ่งกลุ่มรหัสแผ่เพื่อหารหัสตัวแทนในแต่ละกลุ่มรหัสสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการแบ่งกลุ่มรหัสเพื่อหารหัสตัวแทนในกลุ่มรหัส

จากรูปที่ 3.1 หากสมมติให้รหัสแม่ $C_{8,5}$ เป็นรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจที่เครื่องรับที่สถานีฐานทราบ และจากความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ (mother code) และรหัสลูก (child code) ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หากเราพิจารณารหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นที่มีตัวประกอบการแผ่ (Spreading Factor : SF) เท่ากับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งได้แก่ รหัสแม่ $C_{8,1}$ $C_{8,2}$ $C_{8,3}$ $C_{8,4}$ $C_{8,6}$ $C_{8,7}$ และ $C_{8,8}$ จะพบว่ารหัสแม่ $C_{8,1}$ $C_{8,2}$ $C_{8,3}$ และ $C_{8,4}$ มีรหัสแม่ $C_{2,1}$ เป็นรหัสแม่ ดังนั้นเราจะได้รับรหัสแม่ $C_{2,1}$ เป็นรหัสตัวแทนที่ใช้แทนรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มที่ 1 ส่วนรหัสแม่ $C_{8,7}$ และ $C_{8,8}$ ทั้งสองรหัสแม่มีรหัสแม่ $C_{4,4}$ เป็นรหัสแม่ ดังนั้นในส่วนนี้เราจะได้รับรหัสแม่ $C_{4,4}$ เป็นรหัสตัวแทนที่ใช้แทนรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 และในส่วนของรหัสแม่ $C_{8,6}$ มีรหัสแม่ตัวเดียวกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจแต่ตัวมันเองก็เป็นรหัสแม่ที่สามารถสร้างรหัสลูก $C_{16,11}$ และ $C_{16,12}$ ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นรหัสแม่ $C_{8,6}$ จึงถือว่าเป็นรหัสตัวแทนที่ใช้แทนรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มที่ 3 สรุปรหัสตัวแทนที่จะนำมาใช้แทนรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป ได้แก่ รหัสแม่ $C_{2,1}$ $C_{4,4}$ $C_{8,6}$ และรหัสแม่ $C_{8,5}$ ซึ่งเป็นรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจเอง

3.2 วิธีการหารหัสตัวแทนจากรหัสแฝงของผู้ใช้ที่สนใจ

เนื่องจากเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ทราบเพียงรหัสแฝงของตนเองเท่านั้น ในการหารหัสตัวแทนในแต่ละกลุ่มรหัสเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ มีวิธีการหารหัสตัวแทนจากรหัสแฝงของผู้ใช้ที่สนใจดังนี้

สมมติให้ผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ N

ดังนั้นรหัสแฝงของผู้ใช้ที่สนใจ คือ $x_1 x_2 x_3 \dots x_N$ โดยที่ x อาจเป็นค่า 1 หรือ -1

รหัสตัวแทนตัวที่ 1 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 2 คือ

$$C_{(1,2)}^{rep} = \overline{x_1 x_2}$$

รหัสตัวแทนตัวที่ 2 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 4 คือ

$$C_{(2,4)}^{rep} = \overline{x_1 x_2 x_3 x_4}$$

รหัสตัวแทนตัวที่ 3 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 8 คือ

$$C_{(3,8)}^{rep} = \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8}$$

ดังนั้นรหัสตัวแทนตัวที่ k ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 2^k คือ

$$C_{(k,2^k)}^{rep} = \overline{x_1 x_2 \dots x_{2^{k-1}} x_{2^{k-1}+1} x_{2^{k-1}+2} \dots x_{2^k}} \quad \text{โดยที่ } k = 1, 2, 3, \dots, \log_2 N$$

ยกตัวอย่างเช่น สมมติให้ผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 8 ($N=8$)

และมีรหัส $C_{8,5}$ เป็นรหัสแฝงของผู้ใช้ที่สนใจ คือ 1-11-11-11-1

ดังนั้น รหัสตัวแทนที่ใช้แทนกลุ่มรหัสแต่ละกลุ่ม มีดังต่อไปนี้

$$C_{(1,2)}^{rep} = \overline{1-1} = 11$$

$$C_{(2,4)}^{rep} = \overline{1-11-1} = 1-1-11$$

$$C_{(3,8)}^{rep} = \overline{1-11-11-11-1} = 1-11-1-11-11$$

ดังนั้นเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ที่สามารถหารหัสตัวแทนที่ใช้แทนกลุ่มรหัสแฝงของผู้ใช้รายอื่นๆ ในระบบได้ด้วยรหัสแฝงของตนเอง และรหัสตัวแทนที่หาออกมาได้นี้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป

3.3 วิธีการเลือกรหัสตัวแทนที่แตกต่างกันและจำนวนของรหัสตัวแทนที่ได้

วิธีการเลือกรหัสแฝงของผู้ใช้รายอื่นที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอนี้ มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ [7,8,9] ตรงที่งานวิจัยที่ [7] จะเลือกรหัสแฝงทั้งหมดที่มีตัวประกอบการแผ่เท่ากับรหัสแฝงของผู้ใช้ที่สนใจเป็นรหัสแฝงของผู้ใช้รายอื่นๆ ในระบบ โดยนำรหัสแฝงที่ได้เหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป ส่วนงานวิจัยที่ [8] จะเลือกรหัสแฝง

ทั้งหมดที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ลดลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของรหัสแม่ที่เป็นของผู้ใช้ที่สนใจเป็นจำนวน n ระดับ ซึ่งรหัสแม่ที่ได้เหล่านั้นจะใช้แทนรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆ ในระบบได้เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ [7] โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่และรหัสลูกตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น และในส่วนของงานวิจัยที่ [9] มีลักษณะการหารหัสแม่เหมือนงานวิจัยที่ [8] แต่รหัสแม่ทั้งหมดที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ลดลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของรหัสแม่ที่เป็นของผู้ใช้ที่สนใจจำนวน n ระดับ จะมีรหัสแม่อยู่หนึ่งรหัสแม่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ รหัสลูกที่อยู่ในรหัสแม่จะถูกนำมาพิจารณารหัสตัวแทนที่ส่งผลการแทรกสอดต่อผู้ใช้ที่สนใจด้วย ดังนั้นรหัสแม่ที่นำมาใช้แทนผู้ใช้รายอื่นในระบบจะประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือรหัสแม่ทั้งหมดที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ลดลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของรหัสแม่ที่เป็นของผู้ใช้ที่สนใจจำนวน n ระดับและไม่มีเกี่ยวข้องกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ และในส่วนของ 2 คือรหัสแม่ที่เป็นรหัสตัวแทนของกลุ่มรหัสแม่ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งเป็นรหัสลูกทั้งหมดที่อยู่ในรหัสแม่ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ลดลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของรหัสแม่ที่เป็นของผู้ใช้ที่สนใจจำนวน n ระดับและมีความเกี่ยวข้องกับรหัสแม่ของผู้ใช้ที่สนใจ สำหรับวิธีการเลือกรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอนี้จะแตกต่างออกไปจากที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับการเลือกรหัสแม่ที่ลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลงจากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจลง n ระดับเป็นรหัสตัวแทนสำหรับแทนกลุ่มรหัสแม่ของผู้ใช้รายอื่นๆ ในระบบนั้น ยังไม่ครอบคลุมรหัสแม่ทั้งหมดในกรณีที่มีผู้ใช้รายอื่นในระบบใช้รหัสแม่ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่ที่ต่ำกว่าระดับลดไว้ หรือต้องลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่เป็นจำนวนเท่าใดหรือจึงจะสามารถครอบคลุมรหัสแม่ทั้งหมดที่อาจมีผู้ใช้รายอื่นใช้รหัสแม่นั้นอยู่จริงในขณะนั้น ดังนั้นจึงเสนอแนวคิดให้มีรหัสตัวแทนที่ครอบคลุมรหัสแม่ทั้งหมดและมีจำนวนรหัสตัวแทนที่ใช้น้อยกว่า โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างรหัสที่มีตัวประกอบการแผ่ที่เปลี่ยนแปลงได้และตั้งฉากกัน ซึ่งสามารถหารหัสตัวแทนได้จากการแบ่งรหัสแม่ออกเป็นกลุ่มๆ ตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่และรหัสลูก โดยในกลุ่มรหัสแม่แต่ละกลุ่มรหัสแม่ที่เป็นของผู้ใช้รายอื่นในระบบนั้นจะถูกแทนด้วยรหัสตัวแทนเพียง 1 รหัส แล้วนำรหัสตัวแทนที่ได้ในแต่ละกลุ่มนี้ไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป ซึ่งมีวิธีการหารหัสตัวแทนในแต่ละกลุ่มรหัสดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น นอกเหนือจากนี้แล้วยังมีความแตกต่างระหว่างจำนวนของรหัสแม่ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดอีกด้วย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 โดยกำหนดให้เครื่องรับในงานวิจัยที่ [7] เป็นเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ส่วนเครื่องรับในงานวิจัยที่ [8] เป็นเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ที่มีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลงเป็นจำนวน n ระดับ จากค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ

ตารางที่ 3.1 จำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอด

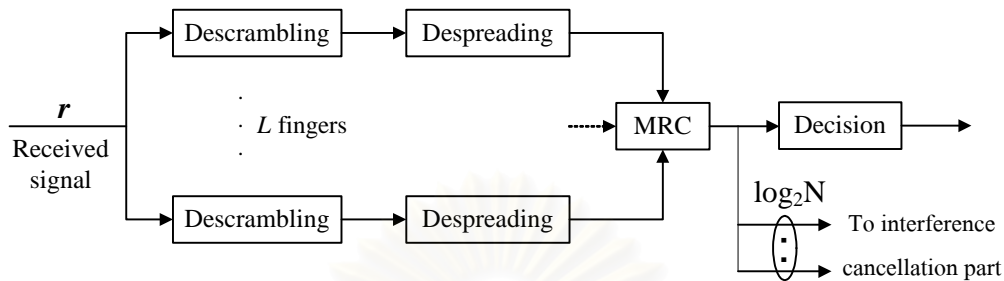
ค่าตัว ประกอบการแ่ง ของผู้ใช้ที่สนใจ (N)	จำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอด					
	เครื่องรับ อ้างอิงที่ 1 (N)	เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 (N/2 ⁿ)		เครื่องรับในงานวิจัยที่ [9] (n-1+N/2 ⁿ)		เครื่องรับที่ เสนอ (log ₂ N+1)
		n = 1	n = 2	n = 1	n = 2	
128	128	64	32	64	33	8
64	64	32	16	32	17	7
32	32	16	8	16	9	6

จากตารางที่ 3.1 พบว่าจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดเมื่อรหัสแ่งของผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแ่งเท่ากับ N เครื่องรับที่เสนอมีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1, เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 และเครื่องรับในงานวิจัยที่ [9] ซึ่งจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดมีจำนวนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อรหัสแ่งของผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแ่งที่สูงขึ้น โดยเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดมากที่สุด ส่วนเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่มีการลดระดับค่าตัวประกอบการแ่งลง 1 ระดับ (n=1) มีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดลดลง 50% เมื่อเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และกรณีที่ n=2 มีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดลดลง จากเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ถึง 75% สำหรับเครื่องรับในงานวิจัยที่ [9] มีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดใกล้เคียงกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 โดยจะมีรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เมื่อมีการลดระดับค่าตัวประกอบการแ่งมากขึ้นอยู่ n-1 รหัส เนื่องจากเครื่องรับในงานวิจัยที่ [9] มีการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มรหัสด้วยจึงมีจำนวนรหัสแ่งที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจัดสัญญาณแทรกสอดมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2

3.4 วิธีการของเครื่องรับที่เสนอ

วิธีการของเครื่องรับที่เสนอมีลักษณะคล้ายกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ในงานวิจัยที่ [7] และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในงานวิจัยที่ [8] โดยวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เสนอ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูล และส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอด หลักการทำงานของแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

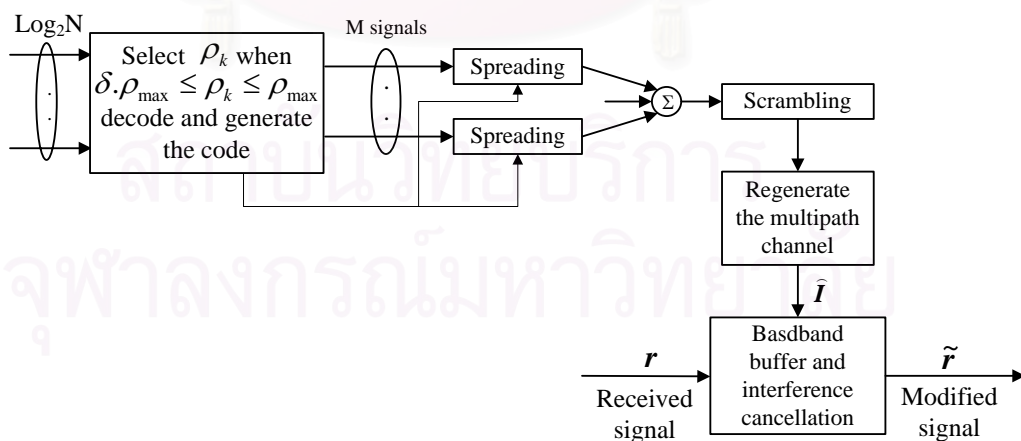
3.4.1 ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ



รูปที่ 3.2 ส่วนของการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ

การทำงานในส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลนี้ มีลักษณะการทำงานเหมือนกับเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา แต่จะแตกต่างกันตรงส่วน Despreading ซึ่งจากเดิมนั้นเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ใช้เพียงรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้นในกระบวนการ Despreading แต่ในเครื่องรับที่เสนอต้องการให้เครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่สามารถขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้รัยอื่นๆในระบบ จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำรหัสตัวแทนที่หาได้จากข้างต้นจำนวน $\log_2 N$ รหัสมาใช้ในกระบวนการ Despreading ด้วย เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้รัยอื่นๆในระบบต่อไป

3.4.2 ส่วนที่ใช้ขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ



รูปที่ 3.3 ส่วนของการขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ

การทำงานในส่วนของการขจัดสัญญาณแทรกสอด จะนำค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ที่ได้จากสัญญาณที่รับได้ (received signal) กับรหัสตัวแทนจำนวน $\log_2 N$ รหัสจากส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูล ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสตัวแทนนั้นมีจำนวนที่ไม่เท่ากันเนื่องจากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสตัวแทนมีค่าตัวประกอบการแผ่ที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงแบ่งจำนวนค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละรหัสตัวแทนออกมาเป็น P ส่วน โดยค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละส่วนนี้จะมีค่าสหสัมพันธ์ที่ไม่เท่ากัน หากค่าสหสัมพันธ์เหล่านั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดก็จะถูกขจัดออกไป เราสามารถกำหนดขอบเขตของเกณฑ์ที่ใช้ได้โดยการปรับเปลี่ยนค่า δ ตามสมการที่ (3.1)

$$\delta \cdot \rho_{\max} \leq \rho_k \leq \rho_{\max} \quad (3.1)$$

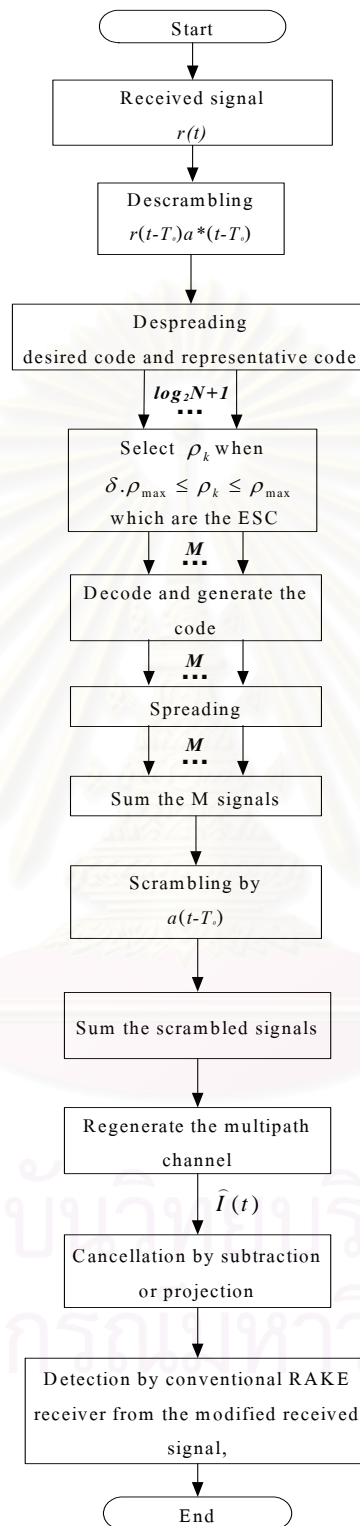
โดยที่ ρ_k คือ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับรหัสตัวแทนตัวที่ k

ρ_{\max} คือ ค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด

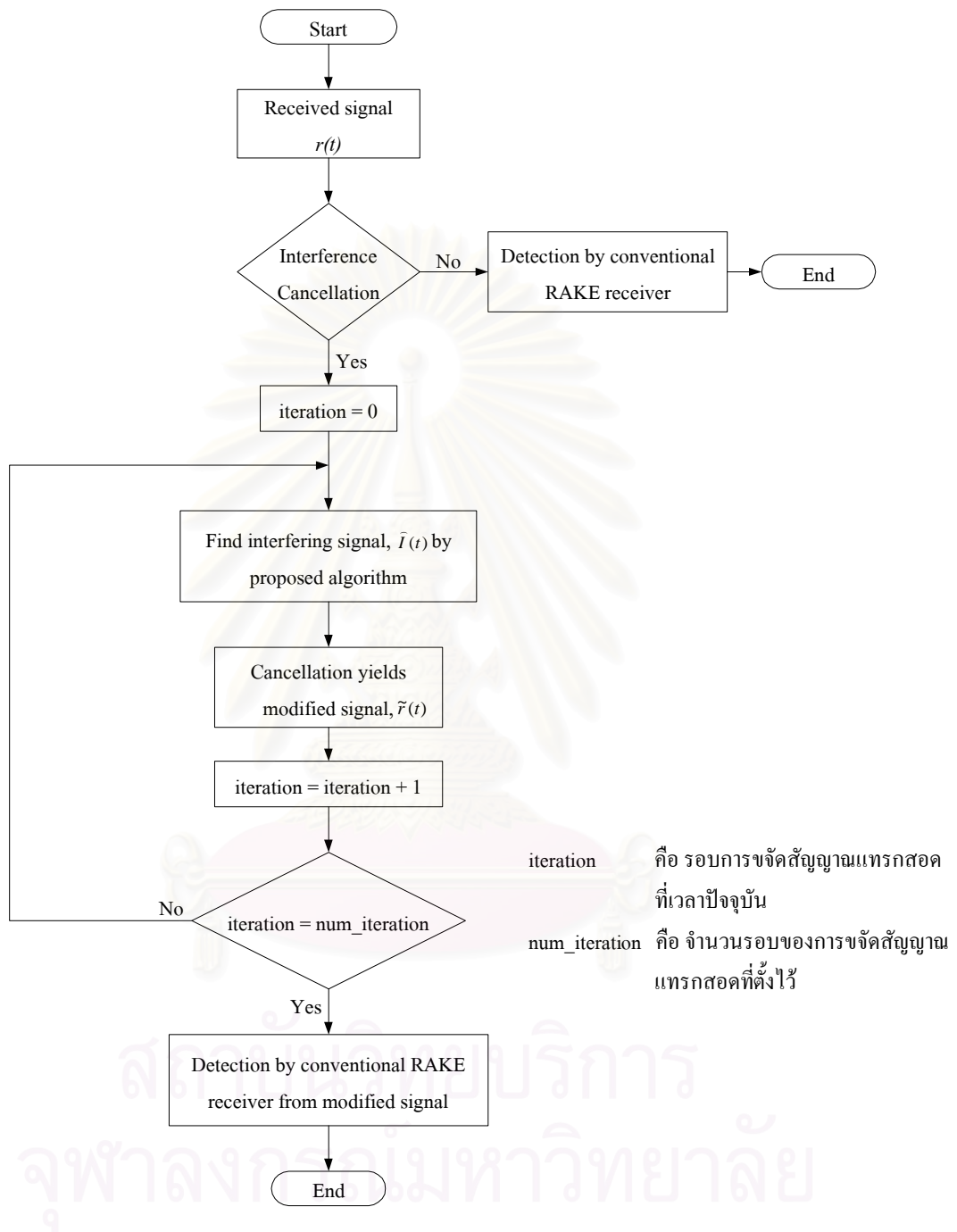
δ คือ ค่าตัวแปรที่กำหนดขึ้นมีค่าระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง

ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับรหัสตัวแทนตัวที่ k ใดๆที่อยู่ในเกณฑ์ตามสมการที่ (3.1) จะถูกนำมาถอดรหัส (decode) เพื่อหาบิตข้อมูลของผู้ใช้รายอื่นในระบบที่อาจส่งผลแทรกสอดต่อผู้ใช้ที่สนใจ หลังจากนั้นนำบิตข้อมูลที่ได้กลับมาสร้างเป็นสัญญาณอีกครั้ง โดยผ่านกระบวนการ Spreading, Scrambling และตัวกำเนิดช่องสัญญาณแบบพหุวิถี แล้วนำสัญญาณแทรกสอดที่ได้ไปขจัดออกจากสัญญาณที่รับได้จริง กระบวนการขจัดสัญญาณแทรกสอดจะใช้วิธีการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั่นคือการนำไปลบออก (subtraction) และการฉาย (projection) ซึ่งหลังจากขจัดสัญญาณแทรกสอดเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้มีทางเลือกว่าจะดำเนินการขจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป หรือว่าจะหยุด หากต้องการขจัดสัญญาณแทรกสอดต่อไป ก็ทำกระบวนการเดียวกับกระบวนการข้างต้นซ้ำ แต่หากผู้ใช้ต้องการหยุด สัญญาณที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว จะผ่านเข้าสู่ส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลในหัวข้อที่ 3.2.1 เพื่อตรวจวัดข้อมูลของผู้ใช้ที่สนใจออกมา สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมและ flow chart ของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่มีการขจัดมากกว่า 1 รอบได้ ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของวิธีการที่เสนอ



รูปที่ 3.5 flow chart แสดงการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากกว่า 1 รอบ

3.5 ข้อกำหนดในการจำลองแบบ

ในการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอจะใช้พารามิเตอร์และสภาวะที่ใช้ในการจำลองเหมือนกับงานวิจัยที่ [8] เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [7,8] โดยสามารถแสดงพารามิเตอร์และสภาวะที่ใช้ในการจำลองได้ดังนี้

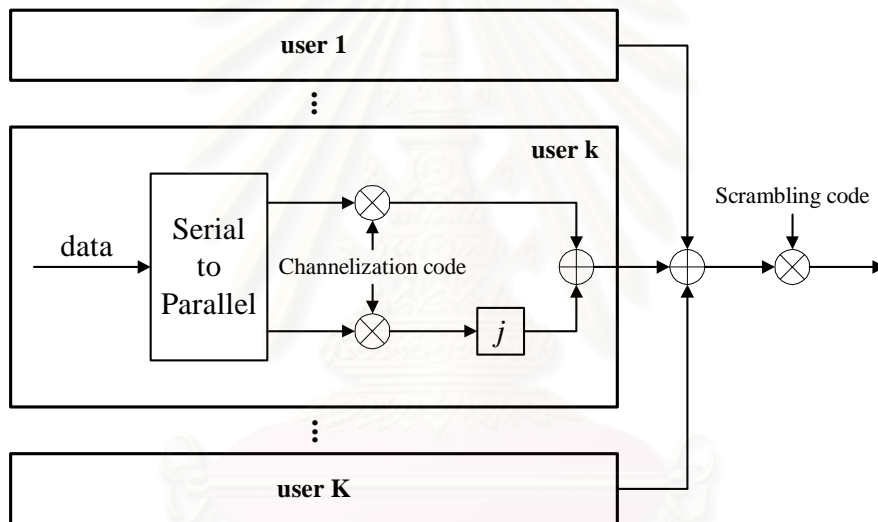
1. พิจารณาช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise : AWGN) โดยพิจารณาผลของคลื่นพหุวิถี (multipath) และ เฟดดิ้ง (fading) โดยแบบจำลองของช่องสัญญาณเป็นแบบ IMT-2000 vehicular channel A model ที่ความถี่คลื่นพาห์ 2 GHz และความเร็วของสถานีเคลื่อนที่เท่ากับ 100 km/h ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความสัมพันธ์กัน (correlated coefficient) และมีการแจกแจงแบบเรย์ลี ที่สร้างได้จากแบบจำลองของ Jakes
2. การมอดูเลตข้อมูลเป็นแบบ QPSK
3. ค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้เปลี่ยนแปลงจาก 128 (ผู้ใช้เสียง) ถึง 8 (ผู้ใช้ข้อมูล)
4. ความยาวของเฟรมเท่ากับ 10 ms
5. เครื่องรับแบบ RAKE ประกอบด้วย finger จำนวน 6 fingers
6. รหัส scrambling ของสถานีฐานเป็นแบบ complex Gold code มีความยาวเท่ากับ 40960 ชิป
7. ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับต่างชนิดกัน จะกำหนดให้ในระบบมีผู้ใช้จำนวน 7 คน ซึ่งมีค่าตัวประกอบการแผ่เป็น 128, 128, 64, 16, 16, 8 และ 8 โดยผู้ใช้ที่สนใจ คือ ผู้ใช้คนแรกที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 128
8. ผู้ใช้ทุกคนมีอัตราส่วนระหว่างพลังงานเฉลี่ยต่อบิตข้อมูลข่าวสารกับกำลังของสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) เท่ากัน โดยไม่คำนึงถึงอัตราข้อมูลของผู้ใช้นั้น
9. เครื่องรับสามารถประมาณช่องสัญญาณได้อย่างถูกต้อง (perfect channel estimation)

ในข้อที่ 8 นั้นได้กำหนดไว้ว่าให้ E_b/N_0 ของผู้ใช้ทุกคนเท่ากันโดยไม่คำนึงว่าผู้ใช้คนนั้นจะมีอัตราข้อมูลเป็นเท่าใด จึงทำให้กำลังเฉลี่ย (average power) ของผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลสูงมีค่ามากกว่ากำลังเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลต่ำกว่า และผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลเป็น MR จะมีกำลังเฉลี่ยเป็น M เท่าของผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลเท่ากับ R จึงอาจมองผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลเท่ากับ MR ว่าเป็นผู้ใช้ที่มีอัตราข้อมูลเท่ากับ R จำนวน M คน หรือ เรียกว่ามีผู้ใช้ประสิทธิภาพ (effective user) จำนวน M คน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ผู้ใช้ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 128 เป็นผู้ใช้ประสิทธิภาพ 1 คน ดังนั้น หากมีผู้ใช้ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 8 ซึ่งจะมีอัตราข้อมูลสูงกว่า $128/8=16$ เท่า จึงจะเท่ากับมีผู้ใช้ประสิทธิภาพ

จำนวน 16 คน ดังนั้นจากข้อที่ 7 ที่กำหนดว่ามีผู้ใช้จำนวน 7 คน มีค่าตัวประกอบการแผ่เป็น 128, 128, 64, 16, 16, 8 และ 8 จึงเท่ากับมีผู้ใช้ประสิทธิภาพเป็น 1, 1, 2, 8, 8, 16 และ 16 ตามลำดับ ทำให้ในระบบมีผู้ใช้ประสิทธิภาพรวมกันทั้งสิ้นเท่ากับ 52 คน แนวความคิดของผู้ใช้ประสิทธิภาพที่กล่าวมานี้ จะถูกนำไปใช้ในการจำลองแบบ

3.5.1 เครื่องส่งในข่ายเชื่อมโยงขาหลังที่ใช้ในการจำลองแบบ

ในข่ายเชื่อมโยงขาหลังของระบบสื่อสาร W-CDMA สถานีฐาน (base station) จะส่งสัญญาณของผู้ใช้ที่แตกต่างกันอย่างซิงโครนัส ซึ่งสามารถแสดงการมอดูเลต (modulation) ในข่ายเชื่อมโยงขาหลังได้ดังรูปที่ 3.6

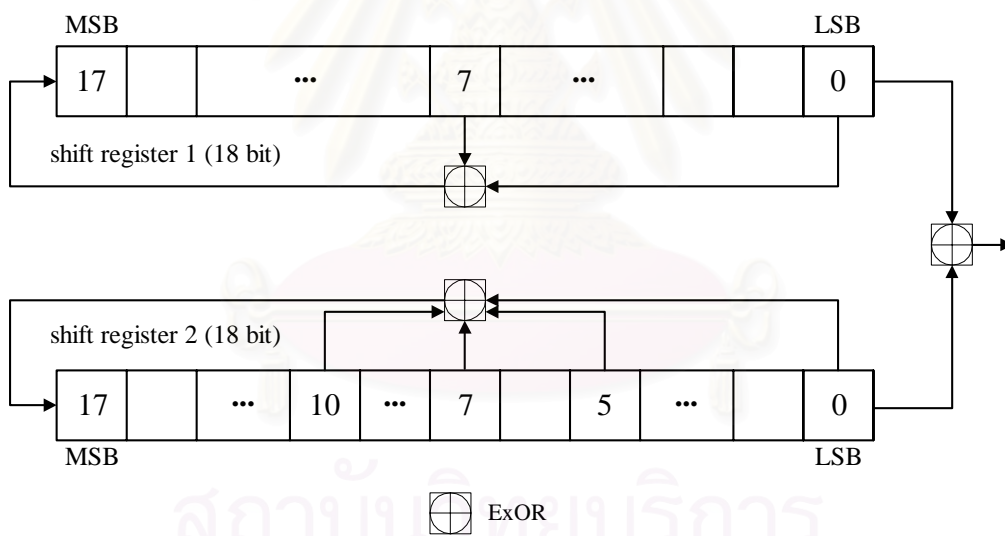


รูปที่ 3.6 การมอดูเลตในข่ายเชื่อมโยงขาหลัง

จากรูปที่ 3.6 ข้อมูลของผู้ใช้จะถูกแปลงจากแบบอนุกรมไปเป็นแบบขนาน (serial to parallel) เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นข้อมูลในอินเฟส (inphase) กับ ควอเดรเจอร์เฟส (quadrature phase) ข้อมูลในอินเฟสจะถูกคูณเข้ากับรหัสที่ใช้ในการแยกแยะช่องสัญญาณ (channelization code) หรือเป็นรหัสของผู้ใช้ ซึ่งก็คือรหัสแม่ที่เป็นรหัส OVSF ดังที่ได้อธิบายไปแล้ว ส่วนข้อมูลในควอเดรเจอร์เฟสจะถูกคูณเข้ากับรหัสที่ใช้ในการแยกแยะช่องสัญญาณเช่นเดียวกับข้อมูลในอินเฟส หลังจากนั้นจะถูกคูณเข้ากับ j ซึ่งจะทำให้ข้อมูลในส่วนควอเดรเจอร์เป็นส่วนของจำนวนจินตภาพ (imaginary part) ตั้งฉากกันกับข้อมูลในส่วนอินเฟส จากนั้นข้อมูลทั้งในส่วนอินเฟสและควอเดรเจอร์เฟสจะถูกนำมารวมกัน เมื่อ

รวมกันเสร็จแล้วก็จะป็นสัญญาณของผู้ใช้คนนั้น ซึ่งจะถูกนำไปรวมกับผู้ใช้คนอื่น เพื่อคูณกับรหัส scrambling ต่อไป

รหัส scrambling ที่ใช้มีจำนวน 512 รหัส ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มรหัสจำนวน 32 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มจะมีรหัสจำนวน 16 รหัส [13] รหัส scrambling ที่ใช้เป็นแบบ complex Gold code ซึ่งลำดับของรหัส scrambling นี้ สร้างได้จากลำดับแบบจริง (real sequence) จำนวน 2 ลำดับ มาประกอบกันเป็นลำดับแบบเชิงซ้อน (complex sequence) ลำดับแบบจริงแต่ละลำดับจะสร้างลำดับออกมาแล้วรวมกันแบบมอดุโล 2 (modulo 2) ได้เป็นลำดับส่วนหนึ่ง (รหัส scrambling ที่ใช้ไม่ได้ใช้ทั้งหมดของลำดับ เพียงแต่เอาบางส่วน) ของลำดับแบบ Gold (Gold sequence) ขึ้นมา ซึ่งลำดับแบบจริงทั้งสองลำดับ ถูกสร้างมาจากเครื่องกำเนิดแบบ m-sequences ที่มีพหุนามกำเนิด (generator polynomial) ระดับชั้น (degree) เท่ากับ 18 จำนวน 2 ตัว ให้ x และ y เป็นลำดับทั้ง 2 ลำดับ โดยลำดับ x ถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้พหุนามแบบ primitive (primitive polynomial) คือ $1 + X^7 + X^{18}$ ส่วนลำดับ y ถูกสร้างโดยใช้พหุนาม $1 + X^5 + X^7 + X^{10} + X^{18}$ เครื่องกำเนิดรหัส scrambling ในข่ายเชื่อมโยงขาลง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องกำเนิดรหัส scrambling ในข่ายเชื่อมโยงขาลง

ให้ n_{17}, \dots, n_0 ได้จากการแปลงหมายเลขรหัส scrambling ที่ n (ฐานสิบ) ไปเป็นเลขฐานสองของ ซึ่ง n มีค่าตั้งแต่ 0 – 511 (รหัสมีอยู่จำนวน 512 รหัส) โดยมี n_0 เป็นบิตนัยสำคัญน้อยสุด (Least Significant Bit : LSB) ลำดับ x จะมีค่าเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับทางเลือกหมายเลขรหัส n เขียนแทนด้วย x_n และให้ $x_n(i)$ และ $y(i)$ หมายถึง สัญลักษณ์ลำดับที่ i ของลำดับ x_n และ y ตามลำดับ สามารถสร้าง m-sequences ของลำดับ x_n และ y ได้ดังนี้

- เงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition)

$$x_n(0) = n_0, x_n(1) = n_1, \dots, x_n(16) = n_{16}, x_n(17) = n_{17}$$

$$y(0) = y(1) = \dots = y(16) = y(17) = 1$$

- นิยามการเกิดซ้ำ (recursive definition) ของสัญลักษณ์ตัวถัดมา คือ

$$x_n(i+18) = x_n(i+7) + x_n(i) \text{ modulo } 2, \quad i = 0, \dots, 2^{18} - 20 \quad (3.2)$$

$$y(i+18) = y(i+10) + y(i+7) + y(i+5) + y(i) \text{ modulo } 2, \quad i = 0, \dots, 2^{18} - 20 \quad (3.3)$$

- ลำดับของรหัสแบบ Gold ลำดับที่ n หรือ z_n นิยามด้วย

$$z_n(i) = x_n(i) + y(i) \text{ modulo } 2, \quad i = 0, \dots, 2^{18} - 20 \quad (3.4)$$

คำรหัสแบบไบนารี (binary code words) หรือ z_n นี้จะถูกแปลงเป็นค่าจำนวนจริง z'_n โดยแปลง '0' เป็น '1' และ '1' เป็น '-1' และในขั้นตอนสุดท้ายรหัส scrambling แบบ complex Gold code หรือ C_{scramb} จะได้จาก

$$C_{Scramb}(i) = z'_n(i) + j z'_n(i+M), \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.5)$$

โดยที่ค่า N และ M ได้มาจากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสอดคล้องกันระหว่างอัตราชิปและเฟสของรหัส scrambling ในข่ายเชื่อมโยงขาลง [13]

Chip rate (Mcps)	Period N	IQ Offset M	Range of phase (chip)	
			For in-phase component	For quadrature component
1.024	10240	131072	0 - (N - 1)	0 - (N + M - 1)
4.096	40960	131072		
8.192	81920	131072		
16.384	163840	131072		

ในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้ระบบมีอัตราชิปเท่ากับ 4.096 Mcps จึงมีคาบของรหัส scrambling เท่ากับ 40960 ชิป ($N = 40960$) และมีค่า M เท่ากับ 131072 ดังค่าในตาราง

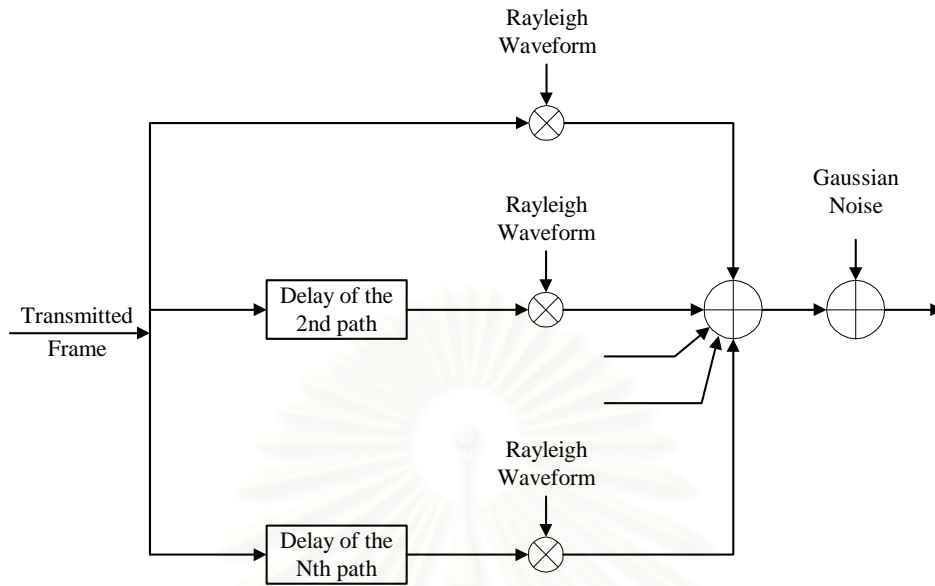
3.5.2 ช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองแบบ

ในการจำลองแบบได้กำหนดให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time varying channel) โดยสัญญาณมีอัตราชิป (chip rate) เท่ากับ 4.096 Mcps ซึ่งมีความกว้างของพัลส์ที่แคบ ทำให้สามารถแยกแยะวิถีจากสัญญาณพหุวิถี (multipath) ได้ จึงทำให้สัญญาณที่ส่งออกมาได้รับผลกระทบจาก frequency selective fading โดยช่องสัญญาณพหุวิถีที่ใช้ในการจำลองแบบนี้เป็น IMT-2000 vehicular channel A model [14] ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณในกรณีที่มีการแผ่ของการประวิงที่ต่ำ (low delay spread case) ที่เกิดขึ้นได้บ่อยในช่องสัญญาณ ซึ่งในกรณีที่มีการแผ่ของการประวิงที่ต่ำนี้ หากผู้ใช้ที่สนใจมีค่าตัวประกอบการแผ่สูง ปัญหาของ ISI (Inter-Symbol Interference) ที่เกิดขึ้นจากช่องสัญญาณนี้จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลน้อย แต่ถ้าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจมีค่าน้อย ปัญหา ISI จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลสูง [15] ซึ่งในการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาถึงกรณีดังกล่าวเพื่อให้การจำลองแบบมีสภาพแวดล้อมเหมือนจริง พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณพหุวิถีดังกล่าว แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์สำหรับ IMT-2000 vehicular channel A model [14]

Path number	0	1	2	3	4	5
Delay (ns)	0	310	710	1090	1730	2510
Average Power (dB)	0	-1	-9	-10	-15	-20

ในการจำลองแบบยังพิจารณาว่ามีการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) ในวิถีแต่ละวิถี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความสัมพันธ์กัน (correlated coefficient) และมีการแจกแจงแบบเรย์ลี ที่สร้างได้จากแบบจำลองของ Jakes [15] โดยกำหนดให้สถานีเคลื่อนที่ (mobile station) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 km/h และมีความถี่คลื่นพาห์เท่ากับ 2 GHz นอกจากนี้ ก่อนที่สัญญาณที่ส่งจะเข้าไปยังที่เครื่องรับ เกิดเป็นสัญญาณที่รับได้ (received signal) จริง ๆ จะมีการพิจารณาให้ช่องสัญญาณมีสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise : AWGN) โดยสามารถสรุปช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ความแปรปรวน (variance) ของสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่เพิ่มเข้าไปตรงวงจรส่วนหน้า (front end) ของเครื่องรับ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณกับกำลังของสัญญาณรบกวน หรือ SNR (Signal to Noise Ratio) โดยกำลังของสัญญาณรบกวนจะเท่ากับ σ_{noise}^2 ซึ่งก็คือความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนนั่นเอง โดยในการจำลองแบบจะกำหนดให้กำลังของสัญญาณคงที่ แต่ปรับเปลี่ยนกำลังของสัญญาณรบกวนให้มีค่าแตกต่างกันตาม SNR ที่เปลี่ยนแปลง ส่วนการวัดสมรรถนะของเครื่องรับชนิดต่างกัน จะดูจากอัตราบิตผิดพลาด หรือ BER (Bit Error Rate) ที่เกิดขึ้น โดยการเปรียบเทียบบิตที่เครื่องรับชนิดนั้นตรวจวัดได้กับบิตที่ถูกส่งออกมา ว่าเกิดการผิดพลาดไปที่บิตในจำนวนบิตที่ถูกส่งออกมาทั้งหมด แล้วจึงนำมาคำนวณเป็น BER ที่เกิดขึ้น

3.6 ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอ

ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาว่า เครื่องรับนั้นจะดีหรือไม่ดี เมื่อเทียบกับสมรรถนะที่ได้จากเครื่องรับนั้น ซึ่งจุดประสงค์หลักของเครื่องรับ คือ มีความซับซ้อนที่ต่ำ ในขณะที่ยังคงให้สมรรถนะที่ดีอยู่ แต่ในความเป็นจริงคงจะเกิดขึ้นได้ยาก เพราะเครื่องรับที่ให้สมรรถนะที่ดีมาก ส่วนใหญ่จะมีความซับซ้อนที่สูง ในหัวข้อนี้จึงจะคำนวณความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอ โดยนำความซับซ้อนของอัลกอริทึมของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ที่ได้คำนวณความซับซ้อนของอัลกอริทึมไว้แล้วในงานวิจัยที่ [8] มาเป็นแบบอย่าง

ในการคำนวณ ซึ่งวัดความซับซ้อนของอัลกอริทึมด้วยวิธีการนับจำนวนฟลอป โดยใน 1 ฟลอป (flops : floating point operations) หมายถึง การดำเนินการบวก การลบ การคูณ การหาร หรือ การมอดุโล (modulo) เป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการคำนวณความซับซ้อนของการตรวจวัด ข้อมูลทั้งหมดที่ได้ออกมาในจำนวน 1 เฟรมข้อมูล ทำให้ความซับซ้อนที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น ฟลอป ต่อเฟรม (flops/frame)

3.6.1 พิจารณาความซับซ้อนในส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลของเครื่องรับที่เสนอ

สมมติให้เครื่องรับมีจำนวน finger เท่ากับ L fingers และใน finger แต่ละ finger รับ สัญญาณเข้ามาจากวิถีแต่ละวิถีที่แตกต่างกัน แล้วชักตัวอย่าง (sampling) ออกมาเท่ากับขนาดเฟรมที่กำหนดไว้ ด้วยอัตราการชักตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างต่อ 1 ชิป ซึ่งสมมติให้ขนาดเฟรมมีค่าเท่ากับ F ตัวอย่าง ดังนั้นในการตรวจวัดข้อมูลทั้งหมดที่ได้ออกมาในจำนวน 1 เฟรมของ finger แต่ละ finger จึงมีจำนวนตัวอย่างเท่ากับ F ตัวอย่าง หรือเท่ากับ F ชิป หากให้ r เป็นเมตริกซ์ของสัญญาณที่รับได้ทั้ง L fingers ในช่วงเวลา 1 สัญลักษณ์ ดังนั้น เมตริกซ์ r จึงมีขนาดเท่ากับ $(L \times F)$ โดยในแถวแต่ละแถวของเมตริกซ์ r คือ สัญญาณที่รับได้ใน finger นั้น เช่น สัญญาณที่รับได้ใน finger ที่ 2 หรือ สัญญาณที่ได้รับมาจากวิถีที่ 2 ก็คือ สมาชิกในแถวที่ 2 ของเมตริกซ์ r ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $(1 \times F)$

- ความซับซ้อนทางการคำนวณก่อนจะมีการรวมกันในขั้นตอน MRC
 - ความซับซ้อนใน 1 finger
 - ขั้นตอน descrambling : $x_1(j) = r_1(j)a^*(j)$, $j = 1, 2, 3, \dots, F$
โดยที่ $x_1(j)$ เป็นสัญญาณที่ descramble แล้วใน finger ที่ 1 และเป็นชิปลำดับที่ j
 $a^*(j)$ เป็นสังยุคของ scrambling code ของชิปลำดับที่ j
 $r_1(j)$ เป็นสัญญาณที่รับได้ใน finger ที่ 1 และเป็นชิปลำดับที่ j
ดังนั้น ขั้นตอนนี้ต้องใช้การคูณทั้งสิ้น F ครั้ง หรือ มีความซับซ้อนเท่ากับ F ฟลอป
 - ขั้นตอน despreading : $z_1 = x_1 \cdot c^T$
โดยที่ z_1 เป็นสัญญาณที่ despread แล้วใน finger ที่ 1 มีขนาด $(1 \times \frac{F}{N})$
 c เป็นรหัสแผ่ (spreading code) ของผู้ใช้มีขนาด $(1 \times N)$
เครื่องหมาย T หมายถึง การสลับเปลี่ยน (transpose)

ดังนั้น ขั้นตอนนี้ต้องใช้การคูณจำนวน F ครั้ง การบวกจำนวน $F-1$ ครั้ง หรือ มีความซับซ้อนรวมทั้งสิ้น $2F-1$ ฟลอป

∴ รวมความซับซ้อนทั้งหมดใน 1finger = $F + (2F-1) = 3F-1$ ฟลอป

■ ความซับซ้อนทั้งหมด L fingers

$$\begin{aligned} \text{ความซับซ้อนทั้งหมด } L \text{ fingers } (C_{L \text{ fingers}}) &= \text{ความซับซ้อนใน 1finger} \times L \\ &= L(3F-1) \text{ ฟลอป} \end{aligned}$$

● ความซับซ้อนของการรวมในขั้นตอน MRC ($C_{\text{sum}}^{\text{MRC}}$)

เกิดจากค่าแต่ละค่าที่มีขนาด $(1 \times \frac{F}{N})$ ในแต่ละ finger มารวมกัน ทั้งหมด L fingers

ดังนั้น จึงมีการบวกกันทั้งหมด $L-1$ ครั้ง หรือ มีความซับซ้อนเท่ากับ $\frac{F}{N}(L-1)$ ฟลอป

● ขั้นตอนสุดท้าย

เครื่องรับตรวจวัดบิตข้อมูลออกมาจากเครื่องหมายที่ได้จากการรวมใน MRC จึงไม่มีการดำเนินการใดๆ เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความซับซ้อนรวมทั้งหมด } (C_{\text{Detect}}^{\text{Prop.}}) &= \text{ความซับซ้อนทั้งหมด } L \text{ fingers} + \text{ความ} \\ &\quad \text{ซับซ้อนของการรวมในขั้นตอน MRC} \\ &= C_{L \text{ fingers}} + C_{\text{sum}}^{\text{MRC}} \\ &= L(3F-1) + \frac{F}{N}(L-1) \text{ ฟลอป} \quad (3.6) \end{aligned}$$

3.6.2 พิจารณาความซับซ้อนในส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ

ความซับซ้อนในส่วนที่ใช้จัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอ สามารถแสดงการคำนวณความซับซ้อนในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

● ความซับซ้อนทางการคำนวณก่อนจะมีการรวมกันในขั้นตอน MRC

■ ความซับซ้อนใน 1finger

- ขั้นตอน descrambling

เหมือนกับส่วนที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลโดยที่ r ยังคงมีขนาดเมตริกซ์เท่ากับ $(1 \times F)$

ดังนั้น จึงมีความซับซ้อนเท่ากับ F ฟลอป

- ขั้นตอน depreading

รหัสที่ใช้ในการ depreading คือ รหัสตัวแทนจำนวน $\log_2 N$ รหัส เมื่อ N เป็นค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ

ดังนั้น ขั้นตอนนี้ต้องใช้การคูณจำนวน $F(\log_2 N)$ ครั้ง การบวกจำนวน $(F-1)(\log_2 N)$ ครั้ง หรือ มีความซับซ้อนรวมทั้งสิ้น $(2F-1)\log_2 N$ ฟลอป

\therefore รวมความซับซ้อนทั้งหมดใน 1 finger = $F + (2F-1)\log_2 N$ ฟลอป

■ ความซับซ้อนทั้งหมด L fingers

$$\begin{aligned} \text{ความซับซ้อนทั้งหมด } L \text{ fingers } (C_{L \text{ fingers}}) &= \text{ความซับซ้อนใน 1 finger} \times L \\ &= L[F + (2F-1)\log_2 N] \text{ ฟลอป} \end{aligned}$$

● ความซับซ้อนของการรวมในขั้นตอน MRC

เนื่องจากรหัสตัวแทนมีค่าตัวประกอบการแผ่ที่ไม่เท่ากัน ทำให้แต่ละรหัสตัวแทนมีขนาดเมตริกซ์ที่ไม่เท่ากันดังนี้

รหัสตัวแทนตัวที่ 1 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 2 มีขนาดเมตริกซ์ $(1 \times \frac{F}{2})$

รหัสตัวแทนตัวที่ 2 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 4 มีขนาดเมตริกซ์ $(1 \times \frac{F}{2^2})$

รหัสตัวแทนตัวที่ 3 ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 8 มีขนาดเมตริกซ์ $(1 \times \frac{F}{2^3})$

ดังนั้น รหัสตัวแทนตัวที่ k ที่มีค่าตัวประกอบการแผ่เท่ากับ 2^k มีขนาดเมตริกซ์ $(1 \times \frac{F}{2^k})$

ขั้นตอน MRC เกิดจากการบวกกันของเมตริกซ์แต่ละรหัสตัวแทนของแต่ละ finger มา รวมกัน ทั้งหมด L fingers ดังนั้นความซับซ้อนในแต่ละรหัสตัวแทนมีค่าดังนี้

รหัสตัวแทนตัวที่ 1 มีความซับซ้อนเท่ากับ $\frac{F}{2}(L-1)$

รหัสตัวแทนตัวที่ 2 มีความซับซ้อนเท่ากับ $\frac{F}{2^2}(L-1)$

รหัสตัวแทนตัวที่ 3 มีความซับซ้อนเท่ากับ $\frac{F}{2^3}(L-1)$

ดังนั้น รหัสตัวแทนตัวที่ k มีความซับซ้อนเท่ากับ $\frac{F}{2^k}(L-1)$

\therefore รวมความซับซ้อนทั้งหมด

$$\begin{aligned} C_{\text{sum}}^{\text{MRC}} &= \frac{F}{2}(L-1) + \frac{F}{2^2}(L-1) + \frac{F}{2^3}(L-1) + \dots + \frac{F}{2^k}(L-1) \\ &= (L-1) \sum_{k=1}^{\log_2 N} \frac{F}{2^k} \text{ ฟลอป} \end{aligned}$$

หลังจากนั้นเครื่องรับจะพิจารณาเลือกจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละรหัสตัวแทน มาพิจารณาเพื่อเลือกเอาค่าที่อยู่ในเกณฑ์ตามสมการที่ 3.1 ออกมาตัดสินนับิต หากมีการกำหนดช่วงของการหาค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุดออกเป็น P ช่วงของค่าสหสัมพันธ์ทั้งหมดในแต่ละรหัสตัวแทน ดังนั้นจึงมีการคูณค่า δ เป็นจำนวน P ครั้งในแต่ละรหัสตัวแทน รวมความซับซ้อนทั้งหมด $P \log_2 N$ ฟลอป หากเครื่องรับที่เสนอมีการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่จะนำไปจัดออก เป็นจำนวน M รหัส สามารถคำนวณความซับซ้อนได้ ดังนี้

- ขั้นตอนการแผ่ (spreading)

รหัสตัวแทนที่ถูกเลือกนำมาจัดมีทั้งหมด M รหัส ซึ่งข้อมูลแต่ละตัวจะได้รับการแผ่ด้วยรหัสของตัวเอง ซึ่งมีขนาด $(1 \times N_M)$ ดังนั้นในข้อมูล 1 ตัว การแผ่จะมีการคูณทั้งสิ้น N_M ครั้ง หากตรวจวัดข้อมูลทั้งหมดที่ได้ออกมาในจำนวน 1 เฟรมในแต่ละรหัสตัวแทนจะมีข้อมูลทั้งสิ้น $\frac{F}{N_M}$ ตัว ดังนั้นการแผ่จะมีการคูณทั้งสิ้น $\frac{F}{N_M} \times N_M = F$ ครั้ง

จะได้ความซับซ้อนของการแผ่ทั้งหมดเท่ากับ $M \times F = MF$ ฟลอป

- ขั้นตอนการรวมสัญญาณที่แผ่แล้ว

เป็นการบวกของเมตริกซ์ขนาด $(1 \times F)$ จำนวน M เมตริกซ์ เข้าด้วยกัน เป็นเมตริกซ์ผลลัพธ์ขนาด $(1 \times F)$ เพียงเมตริกซ์เดียว

จะได้ความซับซ้อนในขั้นตอนนี้เท่ากับ $(M - 1)F$ ฟลอป

- ขั้นตอน scrambling

เป็นการคูณเชิงสมาชิกระหว่างเมตริกซ์ขนาด $(1 \times F)$ จำนวน 2 เมตริกซ์

จะได้ความซับซ้อนในขั้นตอนนี้เท่ากับ F ฟลอป

- ขั้นตอนการสร้างสัญญาณแบบพหุวิถี

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างสัญญาณขึ้นมา L สัญญาณ จากสัญญาณเพียงสัญญาณเดียว โดยในสัญญาณแต่ละสัญญาณที่สร้างขึ้นมา จะถูกสร้างจากการคูณเมตริกซ์ขนาด $(1 \times F)$ ที่ได้จากขั้นตอน scrambling ด้วยสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ จึงทำให้ในแต่ละสัญญาณใช้การคูณทั้งสิ้น F ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะเป็นสัญญาณที่แทรกสอดผู้ใช้ที่สนใจ หรือ เมตริกซ์ \bar{I} ในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีขนาด $(L \times F)$ เท่ากับขนาดเมตริกซ์ของสัญญาณที่รับได้ r

จะได้ความซับซ้อนในขั้นตอนนี้เท่ากับ $F \times L = FL$ ฟลอป

- ขั้นตอนการขจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยการฉาย

ทำให้ได้สัญญาณที่รับได้ตัวใหม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น หรือ เมตริกซ์ \tilde{r} จากสมการที่ 2.3 ผลคูณภายใน (inner product) ระหว่าง r กับ \hat{I} ที่มีเมตริกซ์ขนาดเท่ากัน ($L \times F$) ดังนั้นมีการคูณทั้งสิ้น $F \times L = FL$ ครั้ง ได้เมตริกซ์ขนาด ($L \times F$) แล้วนำไปคูณกับ \hat{I} อีกครั้ง ดังนั้นจึงมีการคูณอีก FL ครั้ง ได้เมตริกซ์ขนาด ($L \times F$) ออกมาแล้วนำไปลบกับสัญญาณที่รับได้ r

จะให้ความซับซ้อนในขั้นตอนนี้เท่ากับ $FL + FL + L(F - 1) = L(3F - 1)$ ฟลอป

รวมความซับซ้อนในขั้นตอนการขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอทั้งหมด หรือ $C_{Can}^{Prop.}$ ได้ คือ

$$\begin{aligned} C_{Can}^{Prop.} &= L[F + (2F - 1)\log_2 N] + (L - 1)\sum_{k=1}^{\log_2 N} \frac{F}{2^k} + P\log_2 N + MF \\ &\quad + (M - 1)F + F + FL + L(3F - 1) \\ &= F[L(5 + 2\log_2 N) + 2M] + P\log_2 N - L(1 + \log_2 N) \\ &\quad + (L - 1)\sum_{k=1}^{\log_2 N} \frac{F}{2^k} \quad \text{ฟลอป} \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.6.3 พิจารณาความซับซ้อนทั้ง 2 ส่วนของเครื่องรับที่เสนอ

เครื่องรับที่เสนอนี้มีส่วนของการตรวจวัดข้อมูลและการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่แยกจากกันอย่างเห็นได้ชัด การเพิ่มจำนวนรอบการขจัดสัญญาณแทรกสอด จึงเป็นการเพิ่มการคำนวณเฉพาะในส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นเท่าตัว และสุดท้ายจะสิ้นสุดด้วยการตรวจวัดข้อมูลในครั้งเดียว หากเครื่องรับมีการขจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน m รอบ จะให้ความซับซ้อนของการขจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน m รอบ หรือ $C_{m \text{ iter}}^{Prop.}$ เป็นดังนี้

$$C_{m \text{ iter}}^{Prop.} = mC_{Can}^{Prop.} + C_{Detect}^{Prop.} \quad (3.8)$$

โดยที่ $C_{Detect}^{Prop.}$ และ $C_{Can}^{Prop.}$ ในสมการที่ 3.8 (ได้มาจาก 3.6 (และ 3.7) ตามลำดับ

3.6.4 สรุปความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอ

ในหัวข้อนี้จะสรุปความซับซ้อนทางการคำนวณของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอที่ได้หามาในหัวข้อที่แล้ว โดยจะแยกความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการบวกหรือการลบ และความซับซ้อนที่เกิด

จากการคูณออกจากกัน ซึ่งอันดับแรกจะสรุปความซับซ้อนของเครื่องรับที่ต้องใช้ในการตรวจวัดข้อมูลจำนวน 1 เฟรม โดยไม่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด สามารถแสดงความซับซ้อนได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอโดยไม่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด หรือ เฉพาะส่วนการตรวจวัดข้อมูล

	เครื่องรับที่เสนอ
ความซับซ้อน (flops/frame)	$C_{\text{Detect}}^{\text{Prop.}} = L(3F - 1) + \frac{F}{N}(L - 1)$
การบวกหรือการลบ (flops/frame)	$2FL$
การคูณ (flops/frame)	$L(F - 1) + \frac{F}{N}(L - 1)$

ความซับซ้อนทางการคำนวณของส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับที่เสนอสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอในส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอด

	เครื่องรับที่เสนอ
ความซับซ้อน (flops/frame)	$C_{\text{Can}}^{\text{Prop.}} = F[L(5 + 2 \log_2 N) + 2M] + P \log_2 N - L(1 + \log_2 N) + (L - 1) \sum_{k=1}^{\log_2 N} \frac{F}{2^k}$
การบวกหรือการลบ (flops/frame)	$F[L(\log_2 N + 4) + M + 2] + P \log_2 N$
การคูณ (flops/frame)	$F[L(1 + \log_2 N) + M - 1] + L(1 + \log_2 N) + (L - 1) \sum_{k=1}^{\log_2 N} \frac{F}{2^k}$

เมื่อรวมกระบวนการทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน คือ การตรวจวัดข้อมูลและการจัดสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับอ้างอิงและเครื่องรับที่เสนอ โดยสมมติให้เครื่องรับมีการจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน m รอบ ก่อนที่จะตรวจวัดข้อมูลออกมา สามารถสรุปความซับซ้อนของกระบวนการนี้ ได้ดังตารางที่ 3.6 โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากตารางที่ 3.4 และ 3.5 ประกอบได้ดังนี้

ตารางที่ 3.6 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับที่เสนอ เมื่อมีการจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน m รอบแล้วจึงตรวจวัดข้อมูลออกมา

	เครื่องรับที่เสนอ
ความซับซ้อน (flops/frame)	$C_{m\text{iter}}^{\text{Prop.}} = mC_{\text{Can}}^{\text{Prop.}} + C_{\text{Detect}}^{\text{Prop.}}$

3.7 ความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2

ความซับซ้อนทางการคำนวณของอัลกอริทึมในเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ได้มีการคำนวณความซับซ้อนของอัลกอริทึมไว้แล้วในงานวิจัยที่ [8] ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งเป็นการคำนวณความซับซ้อนของการตรวจวัดข้อมูลออกมาจำนวน 1 สัญลักษณ์ ว่าต้องใช้การคำนวณทั้งหมดจำนวนกี่ฟลอป ทำให้ความซับซ้อนที่ได้มีหน่วยเป็น ฟลอปต่อสัญลักษณ์ (flops/symbol) สรุปความซับซ้อนทางการคำนวณของอัลกอริทึมในเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 โดยแยกความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการบวกหรือการลบ และความซับซ้อนที่เกิดจากการคูณออกจากกัน ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 โดยไม่มีการจัดสัญญาณแทรกสอดหรือเฉพาะส่วนการตรวจวัดข้อมูล สรุปได้ดังตารางที่ 3.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง โดยไม่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด หรือเฉพาะส่วนการตรวจวัดข้อมูล

	เครื่องรับอ้างอิงที่ 1	เครื่องรับอ้างอิงที่ 2
ความซับซ้อน (flops/symbol)	$C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 1.}} = N[L(3 + \log_2 N) - 1]$	$C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 2.}} = (3N + 1)L - 1$
การบวกหรือการลบ (flops/symbol)	$NL \log_2 N + N(L - 1)$	$NL - 1$
การคูณ (flops/symbol)	$2NL$	$(2N + 1)L$

และความซับซ้อนทางการคำนวณของส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอดในเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง ในส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอด

	เครื่องรับอ้างอิงที่ 1	เครื่องรับอ้างอิงที่ 2
ความซับซ้อน (flops/symbol)	$C_{\text{Can}}^{\text{Ref 1.}} = 2N(M + L)$	$C_{\text{Can}}^{\text{Ref 2.}} = N[L(5 - n + \log_2 N) + 2M - 1]$
การบวกหรือการลบ (flops/symbol)	$N(M + L - 1)$	$N \left[L \log_2 \left(\frac{N}{2^n} \right) + M + 2L - 2 \right]$
การคูณ (flops/symbol)	$N(M + L + 1)$	$N(M + 3L + 1)$

เมื่อรวมกระบวนการทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน โดยสมมุติให้เครื่องรับมีการขจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน m รอบ ก่อนที่จะตรวจวัดข้อมูลออกมา สามารถสรุปความซับซ้อนของกระบวนการนี้ ได้ดังตารางที่ 3.9 โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากตารางที่ 3.7 และ 3.8 ประกอบได้ดังนี้

ตารางที่ 3.9 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง เมื่อมีการขจัดสัญญาณแทรกสอด
จำนวน m รอบแล้วจึงตรวจวัดข้อมูลออกมา

	เครื่องรับอ้างอิงที่ 1	เครื่องรับอ้างอิงที่ 2
ความซับซ้อน (flops/symbol)	$C_{m \text{ iter}}^{\text{Ref 1.}} = m(C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 1.}} + C_{\text{Can}}^{\text{Ref 1.}}) + C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 1.}}$	$C_{m \text{ iter}}^{\text{Ref 2.}} = mC_{\text{Can}}^{\text{Ref 2.}} + C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 2.}}$

หากนำเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 ไปคำนวณความซับซ้อนของการตรวจวัดข้อมูลทั้งหมดที่ได้
ออกมาในจำนวน 1 เฟรมข้อมูล ความซับซ้อนที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็น ฟลอปต่อเฟรม (flops/frame)
ซึ่งสมมุติให้ขนาดเฟรมมีค่าเท่ากับ F จากตารางที่ 3.9 เครื่องรับอ้างอิงทั้ง 2 จึงต้องมีการหาบิตข้อมูล
ของผู้ใช้ออกมาทั้งสิ้นจำนวน F/N ครั้ง สามารถสรุปความซับซ้อนได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ความซับซ้อนทางการคำนวณของเครื่องรับอ้างอิง ในจำนวน 1 เฟรมข้อมูล

	เครื่องรับอ้างอิงที่ 1	เครื่องรับอ้างอิงที่ 2
ความซับซ้อน (flops/frame)	$C_{m \text{ iter}}^{\text{Ref 1.}} = \frac{F}{N} [m(C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 1.}} + C_{\text{Can}}^{\text{Ref 1.}}) + C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 1.}}]$	$C_{m \text{ iter}}^{\text{Ref 2.}} = \frac{F}{N} [mC_{\text{Can}}^{\text{Ref 2.}} + C_{\text{Detect}}^{\text{Ref 2.}}]$

บทที่ 4

ผลการจำลองแบบ

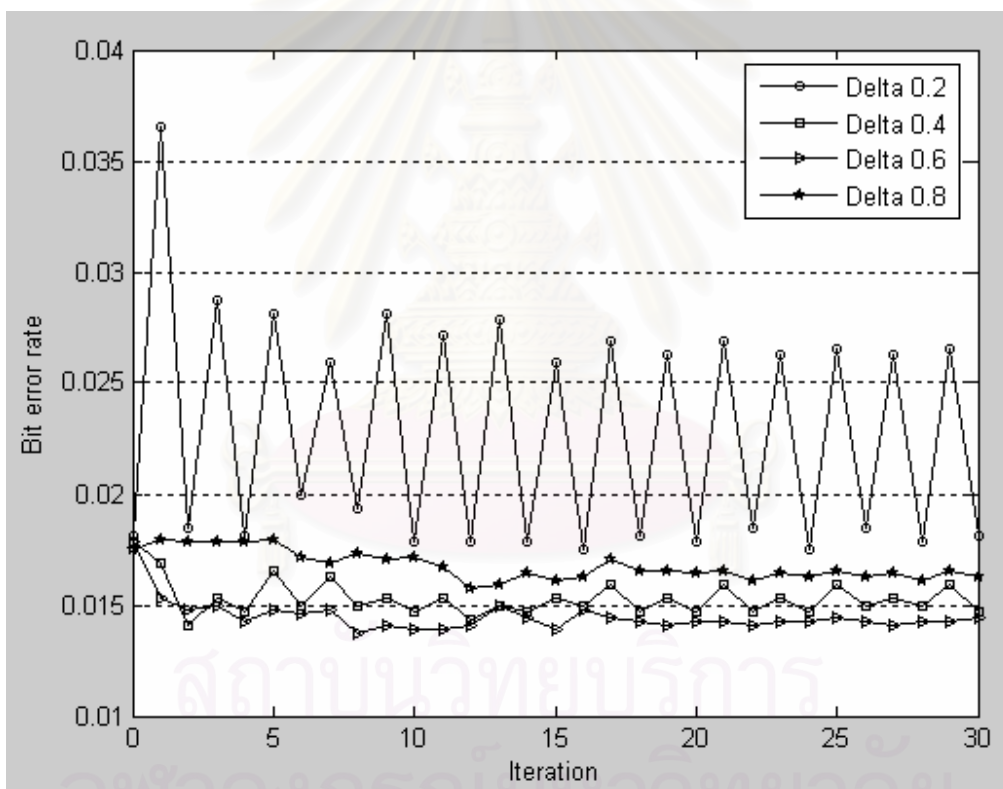
จากทฤษฎีและหลักการในบทที่ 2 และแบบจำลองเครื่องรับในบทที่ 3 เราได้ทำการจำลองแบบ (simulation) เครื่องรับที่เสนอนี้โดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองในแบบต่างๆ ที่ได้จากเครื่องรับที่เสนอ ได้แก่ ผลของการแบ่งจำนวนค่าสหสัมพันธ์ออกเป็นส่วนๆ เพื่อนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละส่วนไปพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ตามที่ได้เสนอไว้ หรือการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่จะนำมาจัดออก ซึ่งจะนำผลการจำลองแบบที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [7] และ [8] จากนั้นจะกล่าวถึงสมรรถนะในการตรวจวัดที่ดีขึ้นของเครื่องรับที่เสนอเมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา และในที่สุดท้ายของบทนี้พิจารณาถึงความซับซ้อนทางการคำนวณที่แตกต่างกันของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับที่นำมาอ้างอิงทั้ง 2 แบบ

4.1 ผลการแบ่งจำนวนค่าสหสัมพันธ์เพื่อนำไปพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์

การจำลองในหัวข้อนี้เป็นการจำลองเพื่อดูผลของค่าอัตราผิดพลาด (Bit Error Rate :BER) ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด โดยกำหนดจำนวนรอบสูงสุดไว้ที่ 30 รอบ ข้อกำหนดที่ใช้ในการจำลองแบบในหัวข้อนี้ มีข้อกำหนดดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 แต่มีข้อกำหนดเพิ่มเติม โดยให้สัญญาณมีค่า SNR (Signal to Noise Ratio) เท่ากับ 20 dB แต่เนื่องจากรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจและรหัสตัวแทนที่ใช้ในกระบวนการ Despreading มีค่าตัวประกอบการแผ่ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มีจำนวนที่ไม่เท่ากันในแต่ละรหัส ดังนั้นในกระบวนการเลือกสัญญาณที่จะนำมาจัดออกของเครื่องรับที่เสนอจึงแตกต่างจากเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [7,8] ซึ่งในงานวิจัยทั้ง 2 เลือกพิจารณาสัญญาณที่จะนำมาจัดออกทีละหนึ่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่สนใจ โดยพิจารณารหัสที่ให้ค่าสหสัมพันธ์มากที่สุดและมีค่ามารองลงมาเรื่อยๆ เป็นจำนวน M รหัสมาจัดออก โดยที่ M มีค่าเท่ากับ 2, 4 และ 6 แต่เครื่องรับที่เสนอได้พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล ซึ่งจำนวนของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนย่อมมีจำนวนไม่เท่ากัน ดังนั้นในการจำลองแบบจึงแบ่งจำนวนของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น P ส่วนเท่าๆกันทุกรหัสตัวแทน โดยค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละส่วนจะมีค่าสหสัมพันธ์ที่ไม่เท่ากัน หากค่าสหสัมพันธ์เหล่านั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามสมการที่ 3.1 ก็จะถูกจัดออกไป ผลของการจำลองแบบด้วยวิธีการแบ่งจำนวนของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็นส่วนๆ มีดังต่อไปนี้

4.1.1 กรณีไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน (P=0)

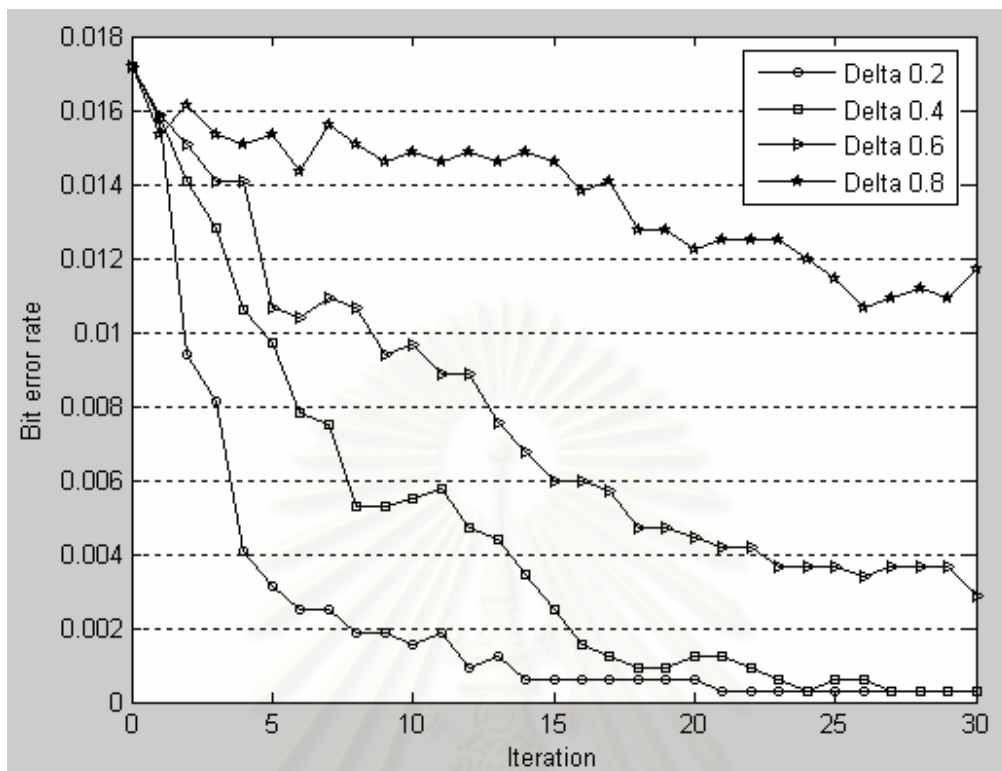
สำหรับกรณีที่ไม่มี การแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน การเลือกสัญญาณที่จะนำมาจัดออกของเครื่องรับที่เสนอ จะพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล แล้วนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนในแต่ละรหัสตัวแทนไปหาค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด (ρ_{\max}) หากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละรหัสตัวแทนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดในสมการที่ 3.1 โดยกำหนดให้ δ มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์เหล่านั้นจะถูกนำมาจัดออกตามกระบวนการที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 3 โดยใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก (subtraction) และแบบการฉาย (projection) ซึ่งผลของการจำลองแบบสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ผลการจำลองแบบในกรณีที่ไม่มี การแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.1 สำหรับกรณีที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.2 พบว่า เมื่อจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ได้มีลักษณะแกว่งไปมาและค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ลักษณะนี้อาจอธิบายได้ว่าเครื่องรับที่เสนอมีการกำจัดสัญญาณที่มากเกินไป เหมือนดังที่เกิดกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [8] ซึ่งได้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์ปิงปอง (ping-pong effect) [14] ส่วนในกรณีที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.4 พบว่าค่าอัตราบิดผิดพลาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดมากกว่า 3 รอบขึ้นไปและกราฟมีลักษณะแกว่งไปมาเมื่อจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น แต่กราฟมีลักษณะการแกว่งที่น้อยกว่าค่า δ เท่ากับ 0.2 อาจเป็นเพราะจำนวนของการเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์มีขนาดที่แคบกว่าจึงทำให้มีการแกว่งที่น้อยกว่า แต่ยังคงปรากฏการณ์ปิงปองให้เห็น ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้ก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [8] ในกรณีที่มีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลงหลายระดับและเลือกจำนวนสัญญาณที่นำมาจัดออกเป็นจำนวนมากเช่นกัน ส่วนกรณีที่ δ เท่ากับ 0.6 มีค่าอัตราบิดผิดพลาดลดน้อยลงในรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดช่วงแรกและเริ่มมีการแกว่งเล็กน้อย เมื่อจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดมากขึ้น ในกรณีที่จำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่ 3 รอบขึ้นไป พบว่าที่ δ เท่ากับ 0.6 มีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยกว่าทุกๆค่า δ เมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากัน ส่วนในกรณีที่ δ เท่ากับ 0.8 พบว่าเมื่อจำนวนรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นกราฟมีลักษณะการแกว่งเล็กน้อย และค่าอัตราบิดผิดพลาดลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเพราะการเลือกสัญญาณที่นำมาจัดออกมีปริมาณที่น้อยเกินไป

สรุปผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการนำสัญญาณแทรกสอดไปกำจัดโดยใช้วิธีแบบนำไปลบออกในกรณีที่ไม่มี การแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยพิจารณาเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล ไม่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดได้ดีเท่าที่ควรและยังเกิดปรากฏการณ์ปิงปองขึ้นเมื่อรอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดมีค่ามากขึ้น โดยที่ค่า δ เท่ากับ 0.2 เกิดปรากฏการณ์ปิงปองตั้งแต่รอบของการกำจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 1 การจำลองผลต่อไปเป็นการจำลองโดยเปลี่ยนวิธีการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออกเป็นแบบการฉาย ผลการจำลองแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองแบบในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยใช้วิธีการ
ขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย

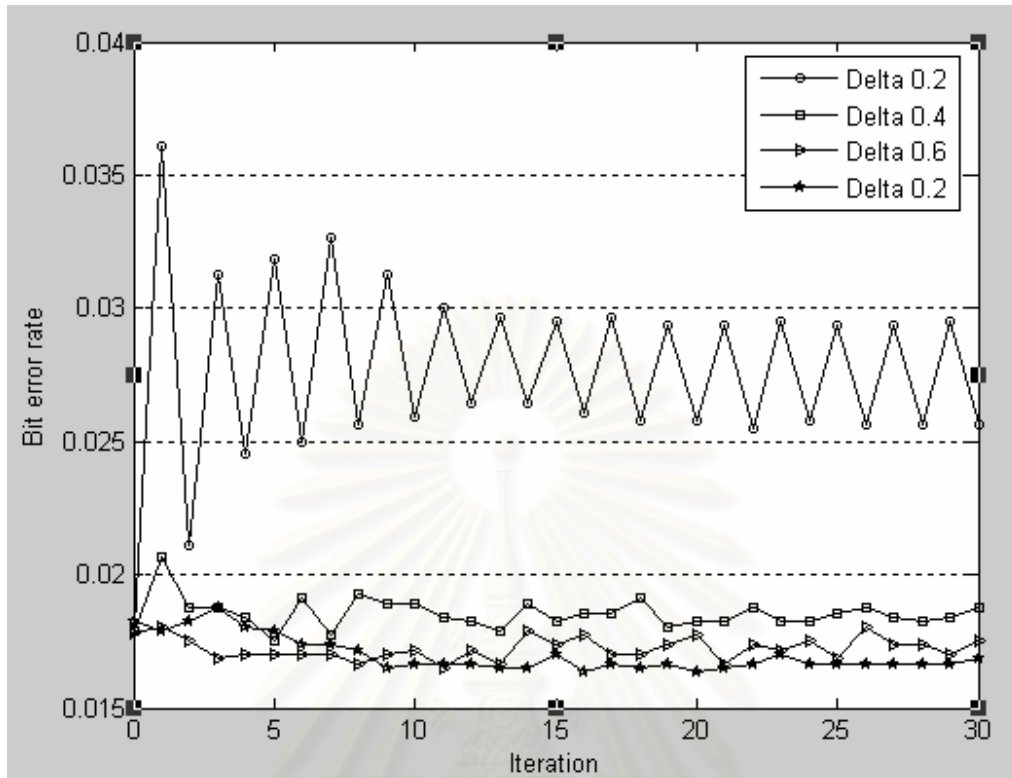
จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.2 พบว่าในกรณีที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.2 เมื่อจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น เครื่องรับที่เสนอมีแนวโน้มที่จะให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น ซึ่งดูจากค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ลดลง เมื่อรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดมีค่ามากกว่า 14 รอบพบว่าค่าอัตราบิดผิดพลาดเริ่มมีค่าคงที่และมีค่าใกล้เคียงค่าศูนย์ ส่วนในกรณีค่า δ เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 เมื่อจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน แต่มีค่าอัตราบิดผิดพลาดสูงกว่าในกรณี δ มีค่าเท่ากับ 0.2 เมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากันตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่าเมื่อกำหนด δ ให้มีค่ามากขึ้น ในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากันจะมีค่าอัตราบิดผิดพลาดที่สูงกว่ากรณีที่เลือกค่า δ ที่ต่ำลงมา ทั้งนี้เป็นเพราะการเลือกค่า δ มากขึ้นทำให้จำนวนค่าสหสัมพันธ์ที่จะถูกเลือกนำไปจัดออกมีจำนวนที่ลดลง จึงทำให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นไปได้ช้ากว่า เป็นเหตุทำให้มีค่าอัตราบิดผิดพลาดที่สูงกว่าการเลือกค่า δ ที่ต่ำลงมา

สรุปผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการนำสัญญาณแทรกสอดไปจัด โดยใช้วิธีแบบฉายในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน โดยพิจารณาเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดได้ โดยค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นโดยที่ไม่เกิดปรากฏการณ์ปิงปอง ทำให้เครื่องรับที่เสนอมีแนวโน้มที่จะให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น โดยในกรณีที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.2 ให้ผลการลดค่าอัตราบิดผิดพลาดดีกว่ากรณีค่า δ เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 เมื่อมีจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากัน การจำลองแบบต่อไปเป็นการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น P ส่วนเท่าๆกัน โดยนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละส่วนมาพิจารณาหาค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุดและนำค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนดไปจัดออก ซึ่งทำให้การตรวจสอบหาค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละรหัสตัวแทนมีประสิทธิภาพมากขึ้น และอาจส่งผลให้เครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

4.1.2 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วน ($P=4$)

การเลือกสัญญาณที่จะนำมาจัดออกของเครื่องรับที่เสนอในหัวข้อนี้ จะพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล แล้วนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนในแต่ละรหัสตัวแทนไปแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน โดยนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละส่วนมาพิจารณาหาค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด (ρ_{\max}) หากค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละส่วนที่ได้จากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดในสมการที่ 3.1 ค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์เหล่านั้นจะถูกนำมาจัดออก โดยยังคงใช้ข้อกำหนดต่างๆ เหมือนในหัวข้อที่ 4.1.1 ผลของการจำลองแบบในหัวข้อนี้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

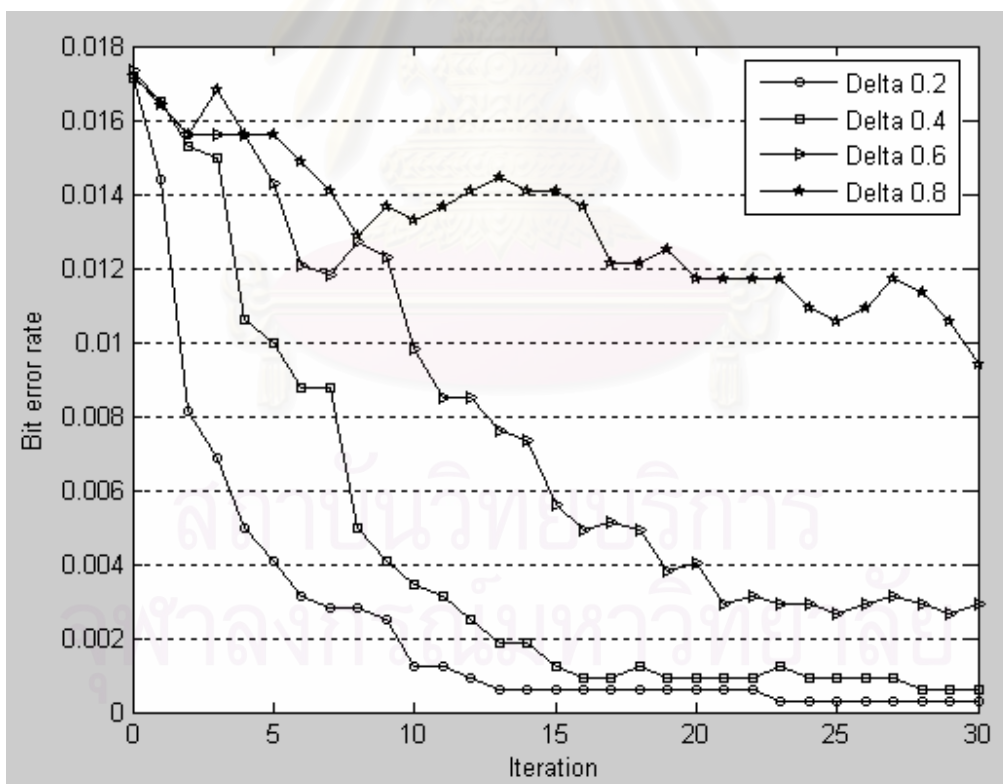
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้วิธีการการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.3 สำหรับกรณีที่มีค่าเท่ากับ 0.2 พบว่ายังเกิดปรากฏการป้องกันตั้งแต่รอบการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 2 ส่วนในกรณี δ เท่ากับ 0.4 พบว่าเมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นกราฟที่ได้มีการแกว่งไปมา โดยค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากผลของการจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไป ในกรณี δ เท่ากับ 0.6 พบว่าค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มลดลงในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดช่วงรอบต้นๆ แต่เมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นค่าอัตราบิดผิดพลาดเริ่มมีค่าสูงขึ้นและกราฟมีลักษณะแกว่งไปมา ส่วนในกรณี δ เท่ากับ 0.8 พบว่าเมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดช่วงรอบต้นๆ ค่าอัตราบิดผิดพลาดมีค่าสูงขึ้น จนถึงรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 3 หลังจากนั้นอัตราบิดผิดพลาดเริ่มมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น โดยยังปรากฏอาการแกว่งของกราฟอยู่บางช่วงของรอบการจัดสัญญาณแทรกสอด ตั้งแต่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 9 เป็นต้นไป กรณี δ เท่ากับ 0.8 ให้ค่าอัตราบิดผิดพลาดที่น้อยกว่าทุกๆค่า δ เมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากัน

สรุปผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วนโดยใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก พบว่ายังไม่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดได้ดีเท่าที่ควร โดยยังปรากฏการณ์บึงบองและการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไปทั้งในกรณี δ เท่ากับ 0.2 และ 0.4 ส่วนในกรณีของ δ เท่ากับ 0.6 และ 0.8 นั้นอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มลดลง โดยในรอบขจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 8 ค่าอัตราบิดผิดพลาดในกรณีของ δ เท่ากับ 0.6 มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ δ ที่ค่าเท่ากับ 0.8 ในจำนวนรอบของการขจัดที่เท่ากัน แต่เมื่อรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น พบว่าที่ δ ที่ค่าเท่ากับ 0.8 กลับมีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยกว่าในกรณีของ δ เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากัน ดังนั้นการเลือกค่า δ และการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ที่ใช้พิจารณา มีผลต่อค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอด แต่การใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีการลบออกยังคงไม่สามารถขจัดสัญญาณแทรกสอดได้ดีเท่าที่ควร การจำลองต่อไปเป็นการใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย ผลของการจำลองแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย

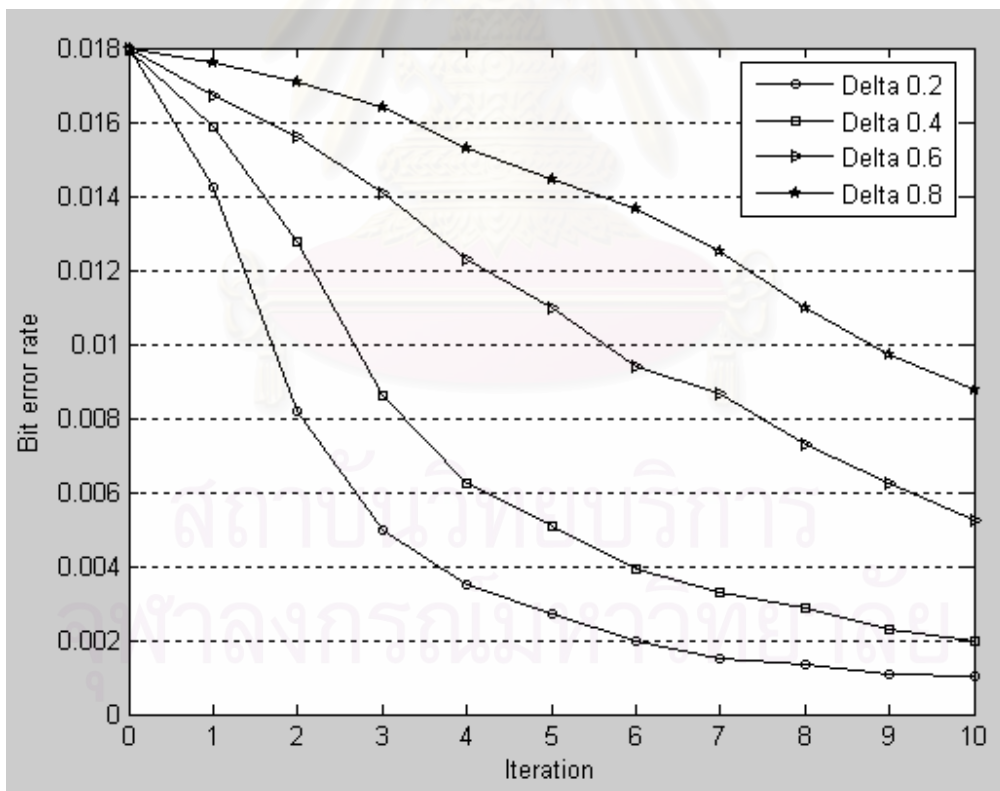
จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าอัตราบิดผิพลาตมีแนวโน้มลดลง เมื่อรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราบิดผิพลาตที่เกิดขึ้นในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากันพบว่า ที่ค่า δ เท่ากับ 0.2 มีค่าอัตราบิดผิพลาตน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ δ ที่ค่าเท่ากับ 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ โดยที่ค่า δ เท่ากับ 0.8 มีค่าอัตราบิดผิพลาตมากที่สุดและกราฟมีเอการแกว่งไปมาในบางช่วงของรอบการขจัดสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นในกรณีนี้ที่เลือกวิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายจะแตกต่างจากวิธีการลบออก คือการเลือกค่า δ ยิ่งน้อยทำให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เครื่องรับที่เสนอมีแนวโน้มที่จะให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนและใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายในรูปที่ 4.2 พบว่าในกรณี δ มีค่าเท่ากับ 0.2 ที่รอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 3 เครื่องรับที่เสนอในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วน มีค่าอัตราบิดผิพลาตน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทน และกราฟมีอัตราการลู่เข้าโดยใช้จำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่น้อยลง ดังนั้นการพิจารณาเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละรหัสตัวแทน หากกำหนดการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนให้แคบลง จะส่งผลให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดมีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้จำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าอัตราบิดผิพลาตและค่า δ ที่เท่ากัน

สรุปผลการจำลองแบบที่ผ่านมาทั้งหมด พบว่าการขจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีการแบบการนำไปลบออกสำหรับเครื่องรับที่เสนอไม่สามารถขจัดสัญญาณแทรกสอดได้ดีเท่าที่ควร โดยเกิดปัญหาของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไปและปรากฏการณ์บึงบอง ส่วนการขจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีการแบบการฉายเมื่อนำมาใช้กับเครื่องรับที่เสนอ สามารถบรรเทาปัญหาของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไปและปรากฏการณ์บึงบองลงได้ ซึ่งพบว่าค่าอัตราบิดผิพลาตมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า δ เท่ากับ 0.2 มีค่าอัตราบิดผิพลาตน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ δ ที่ค่าเท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 และผลจากการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 4 ส่วนยังทำให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดมีประสิทธิภาพมากขึ้น การลู่เข้าของกราฟใช้จำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่น้อยลง ทำให้การใช้จำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าอัตราบิดผิพลาตและค่า δ ที่เท่ากัน เครื่องรับที่เสนอจึงมีแนวโน้มที่จะให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

4.1.3 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วน (P=16)

จากผลการจำลองที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าวิธีการเลือกวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีการแบบนำไปลบออกนั้นไม่เหมาะที่นำมาใช้สำหรับเครื่องรับที่เสนอ ดังนั้นในการจำลองแบบในหัวข้อนี้จะเลือกใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดเฉพาะแบบการฉายเท่านั้น และได้ลดจำนวนจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดลง โดยจำกัดรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดสูงสุดไว้ที่ 10 รอบ โดยในหัวข้อนี้การเลือกสัญญาณที่จะนำมาจัดออกของเครื่องรับที่เสนอ จะพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนทุกรหัสกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล แล้วนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนในแต่ละรหัสตัวแทนไปแบ่งออกเป็น 16 ส่วนเท่าๆกัน โดยนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละส่วนมาพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด (ρ_{\max}) หากค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละส่วนที่ได้จากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดในสมการที่ 3.1 ค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์เหล่านั้นจะถูกนำมาจัดออก ส่วนข้อกำหนดต่างๆ ยังคงใช้ข้อกำหนดเหมือนกับหัวข้อที่ 4.1.1 เช่นเดิม ผลของการจำลองแบบสามารถแสดงได้ดังรูป 4.5

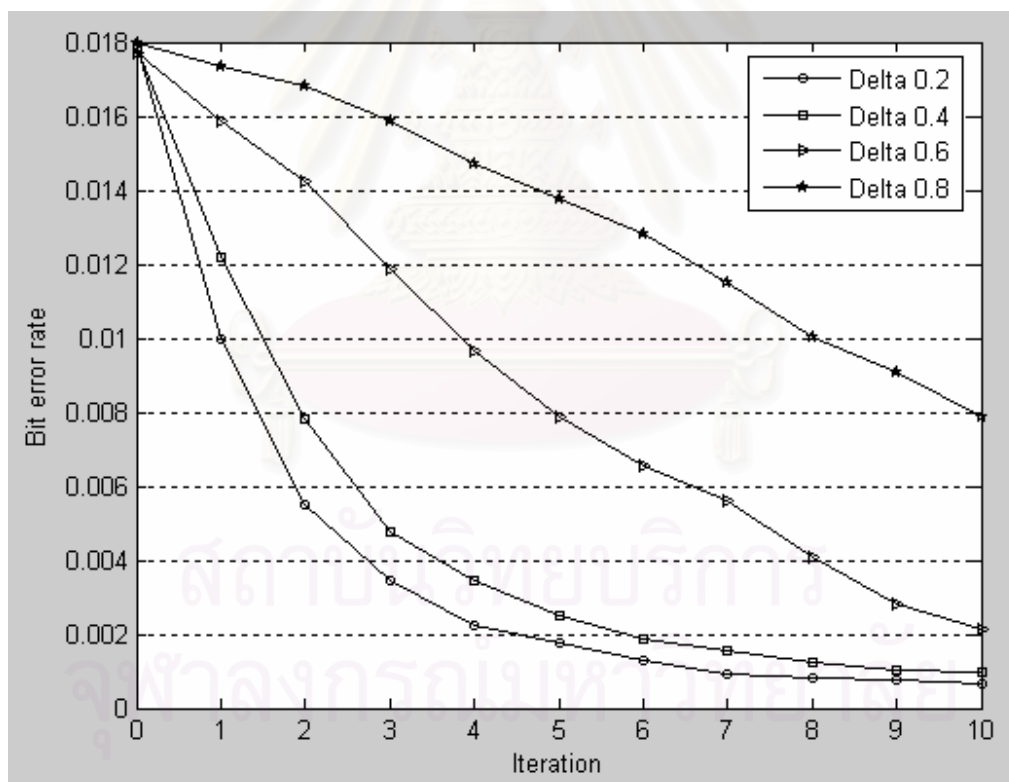


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วน โดยใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.5 พบว่าค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น โดยที่ค่า δ เท่ากับ 0.2 ยังคงมีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ค่า δ เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.2 และ 4.4 พบว่า ในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 10 ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วน ให้อัตราบิดผิดพลาดที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน

4.1.4 กรณีแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 64 ส่วน (P=64)

การจำลองแบบในหัวข้อนี้จะเหมือนกับการจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.1.3 โดยได้เปลี่ยนการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนจากเดิม 16 ส่วนเป็น 64 ส่วน ผลของการจำลองแบบสามารถแสดงได้ดังรูป 4.6



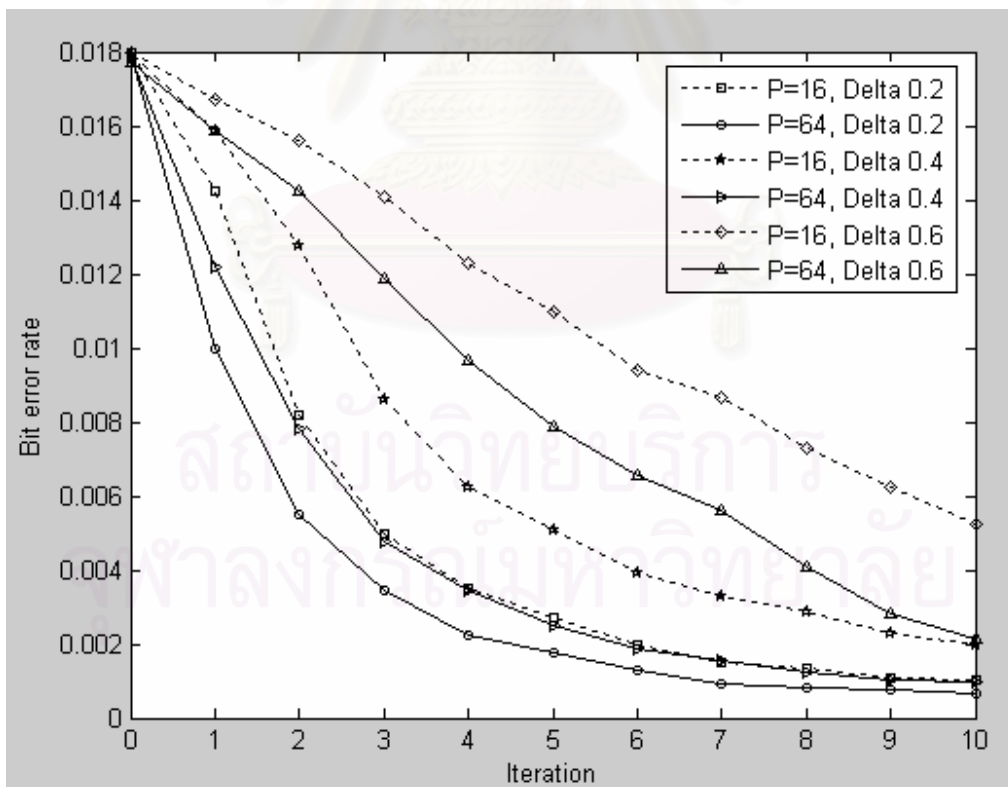
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 64 ส่วน โดยใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.6 พบว่าเครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น โดยสังเกตจากค่าอัตราบิดผิดพลาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น โดยที่ค่า δ เท่ากับ 0.2 ยังคงมีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยที่สุด และที่ δ เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 มีอัตราบิดผิดพลาดที่น้อยรองลงมาตามลำดับ

จากผลการจำลองแบบสำหรับการใช้วิธีการจัดสัญญาณแบบการฉาย พบว่าในกรณีที่กำหนดให้ δ มีค่าน้อยลง ทำให้จำนวนของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนที่จะถูกนำไปจัดออกมามากขึ้น ส่งผลให้การจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากผลการจำลองแบบที่ผ่านมามีค่า $\delta = 0.2$ ให้ค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยที่สุด

4.2 สมรรถนะของเครื่องรับในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอเมื่อมีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็นส่วนๆ ที่แตกต่างกัน สามารถอธิบายได้โดยการนำผลการจำลองแบบที่ 4.1.3 ไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบที่ 4.1.4 ผลของการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

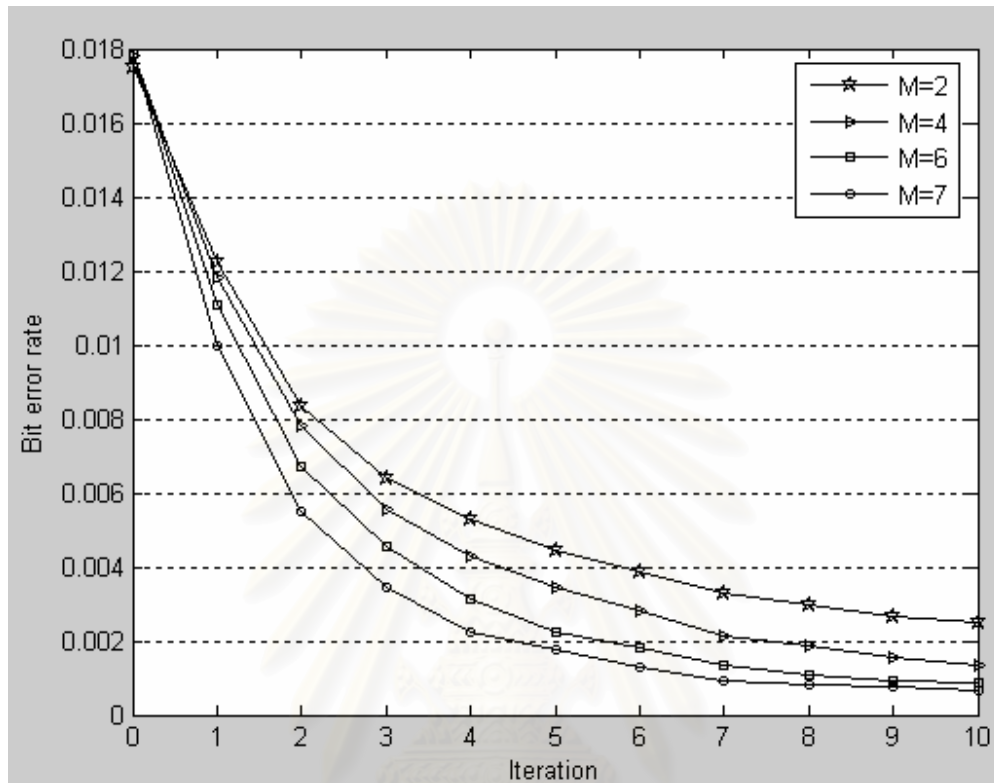
จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.7 พบว่าในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 64 ส่วนเครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น โดยค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วน และยังพบว่าอัตราการสูญเสียของกราฟกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 64 ส่วนยังมีอัตราการสูญเสียของกราฟที่เร็วกว่าในกรณีที่มีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนออกเป็น 16 ส่วนอีกด้วย การที่กราฟมีอัตราการสูญเสียที่เร็วกว่าแสดงว่าเครื่องรับที่เสนอสามารถให้อัตราบิดผิดพลาดที่ดีขึ้น โดยใช้จำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่น้อยลง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการพิจารณาจค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูล เพื่อเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่อยู่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในสมการที่ 3.1 หากมีการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละรหัสตัวแทนให้แคบลงด้วยวิธีการแบ่งค่าสหสัมพันธ์ออกเป็นส่วนๆ ยังทำให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.3 ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปขจัดออก

การจำลองในหัวข้อนี้เป็นการจำลองเพื่อดูผลของค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่มีการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปขจัดออกมีจำนวนไม่เท่ากันเช่นเดียวกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 แต่ในกรณีของเครื่องรับที่เสนอนี้การพิจารณาว่ารหัสตัวแทนใดสมควรที่นำไปขจัดออกจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากรหัสตัวแทนแต่ละรหัสตัวแทนกับสัญญาณที่รับได้ขนาด 1 เฟรมข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยมากที่สุดและมีค่ามากรองลงมาเรื่อยๆเป็นจำนวน M รหัสมาขจัดออก

การจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอในหัวข้อนี้จะใช้การจำลองแบบลักษณะเดียวกับการจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.1.4 โดยเปลี่ยนจากการนำรหัสตัวแทนทุกรหัสไปขจัดออก เป็นการเลือกรหัสตัวแทนจำนวน M รหัสไปขจัดออก โดยกำหนดให้ M เท่ากับ 2, 4, 6 และ 7 ซึ่งในกรณีที่ $M = 7$ อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเครื่องรับที่เสนอมีการนำรหัสตัวแทนทุกรหัสไปขจัดออก ผลการจำลองแบบในกรณีที่มีการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปขจัดออก ที่ค่า $\delta = 0.2$ และ $\delta = 0.4$ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

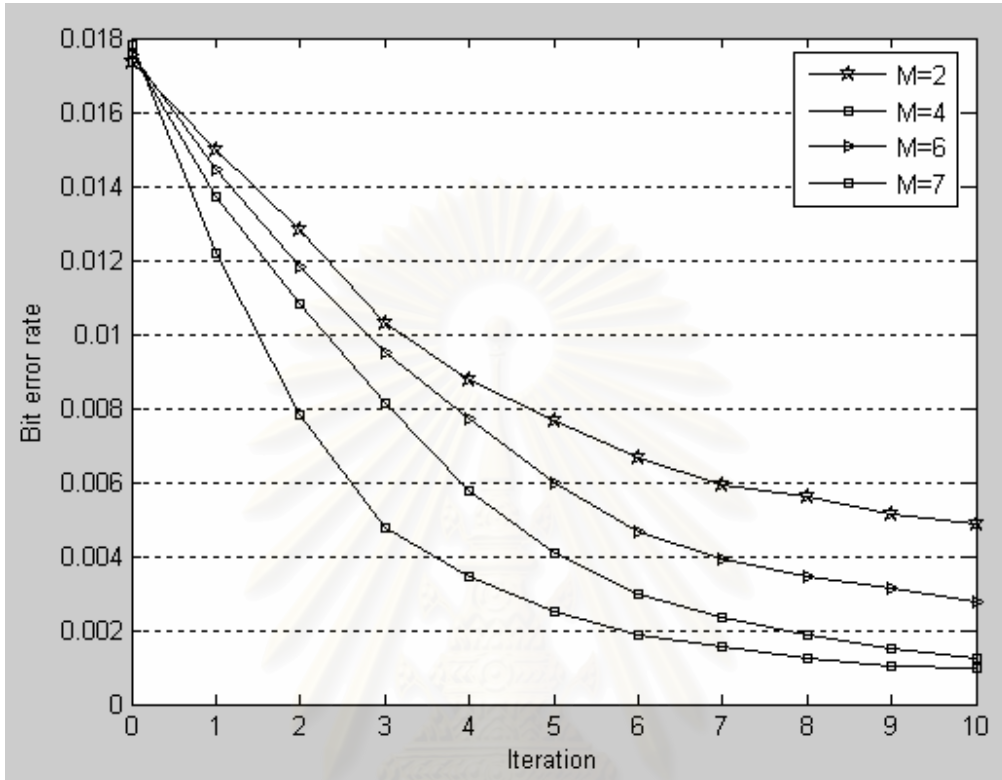
กรณี $\delta = 0.2$



รูปที่ 4.8 ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออก กรณี $\delta = 0.2$

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.8 พบว่ากรณีที่มีการเลือกรหัสตัวแทนทุกรหัสไปจัดออก ($M=7$) มีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่มีการเลือกรหัสตัวแทนจำนวน 2, 4 และ 6 รหัสไปจัดออก และเมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากันพบว่า การเลือกรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออกมีจำนวนมากขึ้น (M เพิ่มขึ้น) ค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นผลของการเลือกจำนวนรหัสที่นำไปจัดออกมีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้การขจัดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้รายอื่นในระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้เครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะที่ดีขึ้นด้วย ซึ่งในกรณีที่มีการเลือกรหัสตัวแทนทุกรหัสไปจัดออกเป็นกรณีที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องรับที่เสนอ

กรณี $\delta = 0.4$



รูปที่ 4.9 ผลการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออก กรณี $\delta = 0.4$

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.9 พบว่ากรณีที่มีการเลือกรหัสตัวแทนทุกรหัสไปจัดออก ($M=7$) ยังคงมีค่าอัตราบิดผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่มีการเลือกรหัสตัวแทนจำนวน 2, 4 และ 6 รหัสไปจัดออก

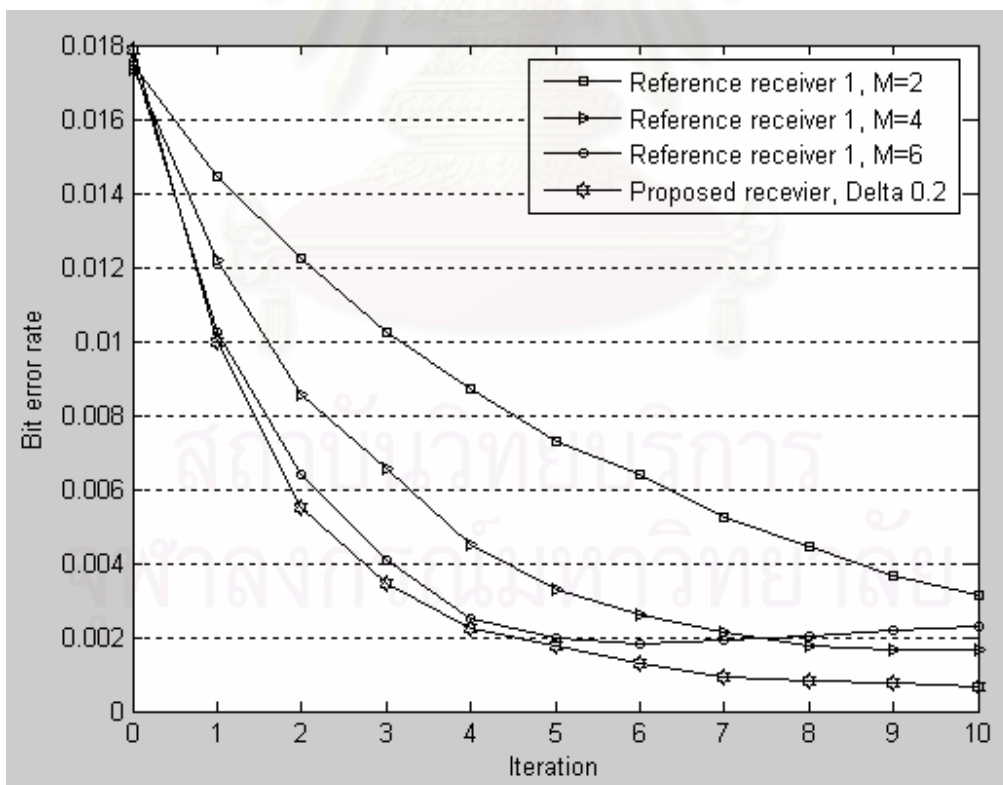
สรุปผลการจำลองแบบเพื่อดูผลของการเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออกในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด หรือค่า M ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลนั้นพบว่า การเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำไปจัดออกมากขึ้นทำให้การจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใ้รายอื่นในระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลดีขึ้น โดยกรณีที่มีการนำรหัสตัวแทนทุกรหัสไปจัดออก ($M=7$) เป็นกรณีที่ดีที่สุด

4.4 สมรรถนะของเครื่องรับเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิง

ในหัวข้อนี้เป็นการนำผลการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [7] (เครื่องรับอ้างอิงที่ 1) และเครื่องรับอ้างอิงในงานวิจัยที่ [8] (เครื่องรับอ้างอิงที่ 2) โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในแง่ของอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดว่ามีสมรรถนะที่ดีกว่าหรือไม่ โดยนำผลการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอในหัวข้อที่ 4.1.4 ซึ่งเลือกผลการจำลองแบบที่ให้สมรรถนะในการตรวจวัดที่ดีที่สุด นั่นคือที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.2 ไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงทั้ง 2 แบบ ดังนี้

4.4.1 ผลการเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1

เมื่อนำผลการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 โดยเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีการเลือกจำนวนรหัสที่นำไปจัดออกในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด หรือ ค่า M จำนวน 3 ค่า ด้วยกัน คือ ค่า M เท่ากับ 2, 4 และ 6 ผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



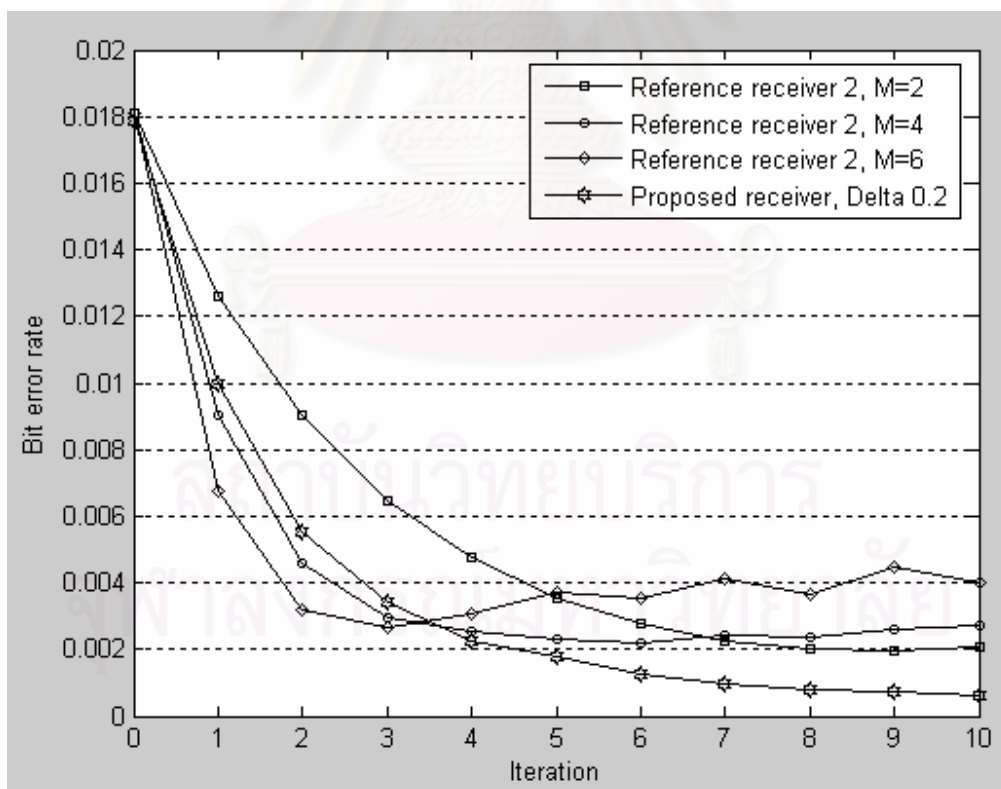
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1

จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.10 ในกรณี M เท่ากับ 2, 4 และ 6 ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 พบว่าเครื่องรับที่เสนอมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ทุกรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอด โดยดูจากค่าอัตราผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า

4.4.2 ผลการเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2

เมื่อนำผลการจำลองแบบของเครื่องรับที่เสนอไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 โดยเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีการกำหนดจำนวนระดับของค่าตัวประกอบการแผ่ (spreading factor) ที่ลดลงจากระดับค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งก็คือตัวแปร n ซึ่งกำหนดให้ n มีค่าเป็น 1, 2, 3 และ 4 สำหรับกรณีที่ n แต่ละกรณี จะมีจำนวนรหัสที่ส่งผลการแทรกสอดที่เลือกนำไปจัดออกหรือ M เท่ากับ 2, 4 และ 6 เหมือนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ผลการเปรียบเทียบในกรณีที่ $n = 1$, $n = 2$ และ $n = 3$ แสดงดังต่อไปนี้

กรณี $n = 1$

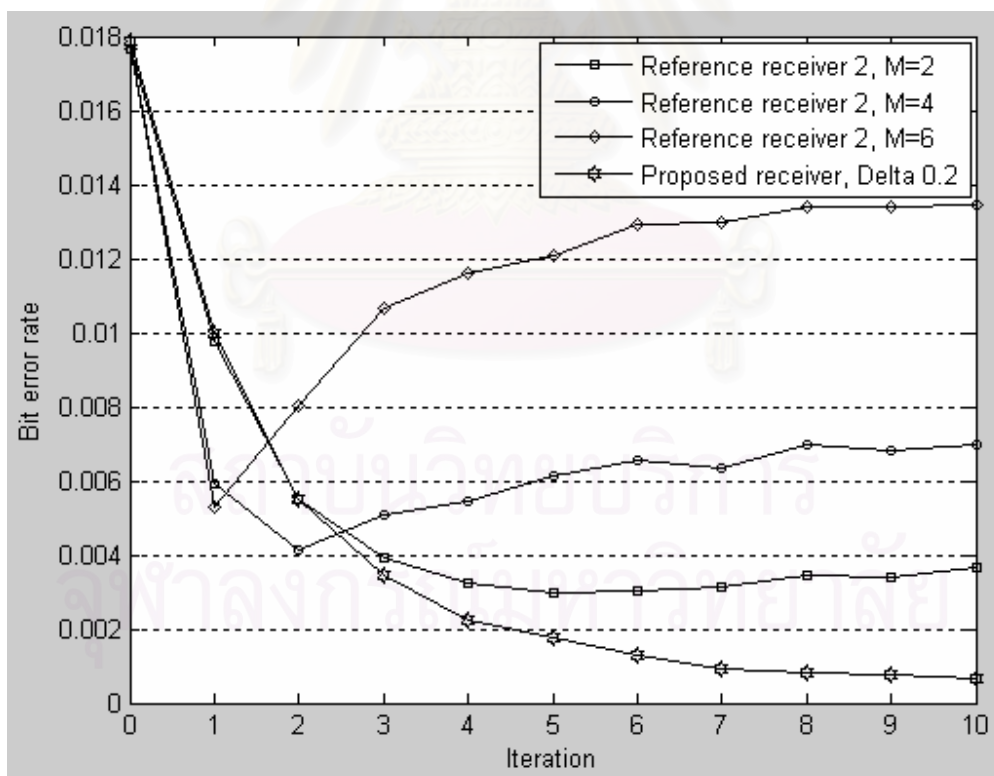


รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 1$

จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.11 พบว่าในกรณี $M=2$ ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เครื่องรับที่เสนอมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ทุกรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด โดยดูจากค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า ส่วนในกรณี $M=4$ และ $M=6$ ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 3 พบว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับที่เสนอ แต่หลังจากรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 4 ขึ้นไปเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กลับมีสมรรถนะที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ โดยในกรณีที่ $M=6$ ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เริ่มมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ด้อยลง อันเนื่องมาจากปัญหาของการจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไปและปรากฏการณ์บึงบอง

สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ $n = 1$ พบว่า ตั้งแต่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 4 ขึ้นไป เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กลับมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ

กรณี $n = 2$

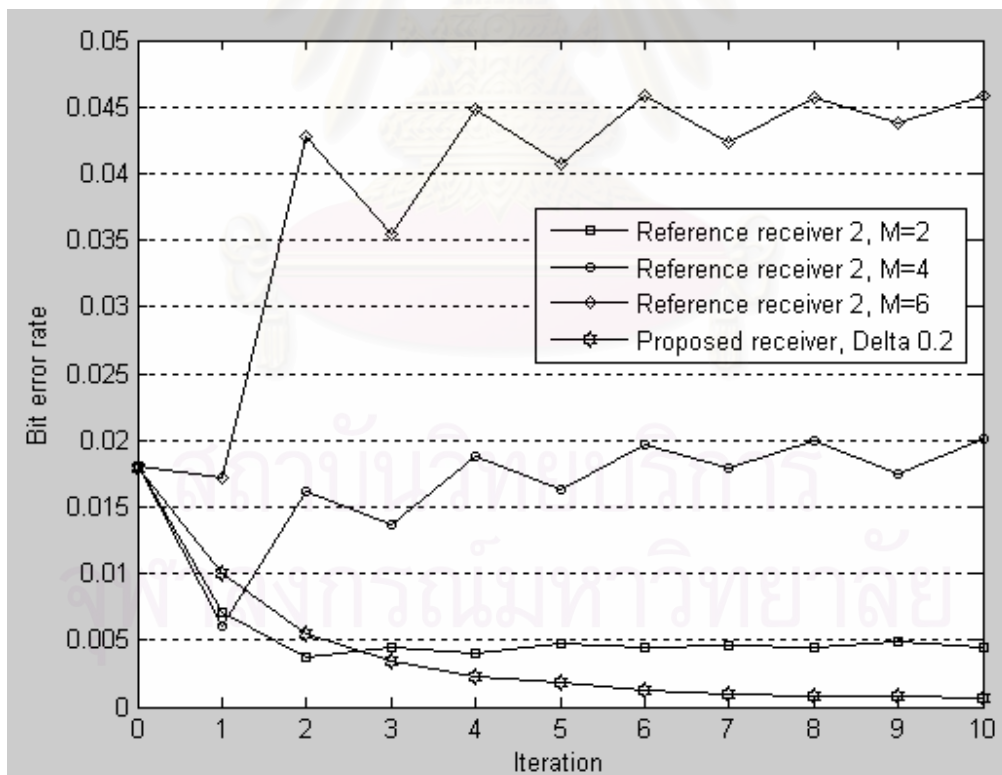


รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 2$

จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.12 พบว่าในกรณี M เท่ากับ 2, 4 และ 6 ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ตั้งแต่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 2 เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีกว่าเครื่องรับที่เสนอ แต่หลังจากรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดมากกว่ารอบที่ 2 ขึ้นไป เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กลับมีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ โดยในกรณีที่ $M=4$ และ $M=6$ เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ประสบปัญหาของการจัดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไป

สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ $n = 2$ พบว่า เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นดีกว่าเครื่องรับที่เสนอ ตั้งแต่จำนวนรอบการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 2 แต่หลังจากจำนวนรอบการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 3 ขึ้นไป เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กลับมีสมรรถนะที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ โดยความแตกต่างของค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ $n = 2$ มีความแตกต่างของค่าอัตราบิดผิดพลาดมากกว่าในกรณีที่ $n = 1$

กรณี $n = 3$



รูปที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 3$

จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.13 พบว่าในกรณี $M=2$ ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 2 เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นดีกว่าเครื่องรับที่เสนอ แต่หลังจากรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 3 ขึ้นไปเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ ส่วนกรณีที่ $M=4$ ของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 1 เครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับที่เสนอ แต่หลังจากรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 2 ขึ้นไปเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เสนอ และในกรณีสุดท้าย $M=6$ เครื่องรับที่เสนอมีสสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ทุกรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด

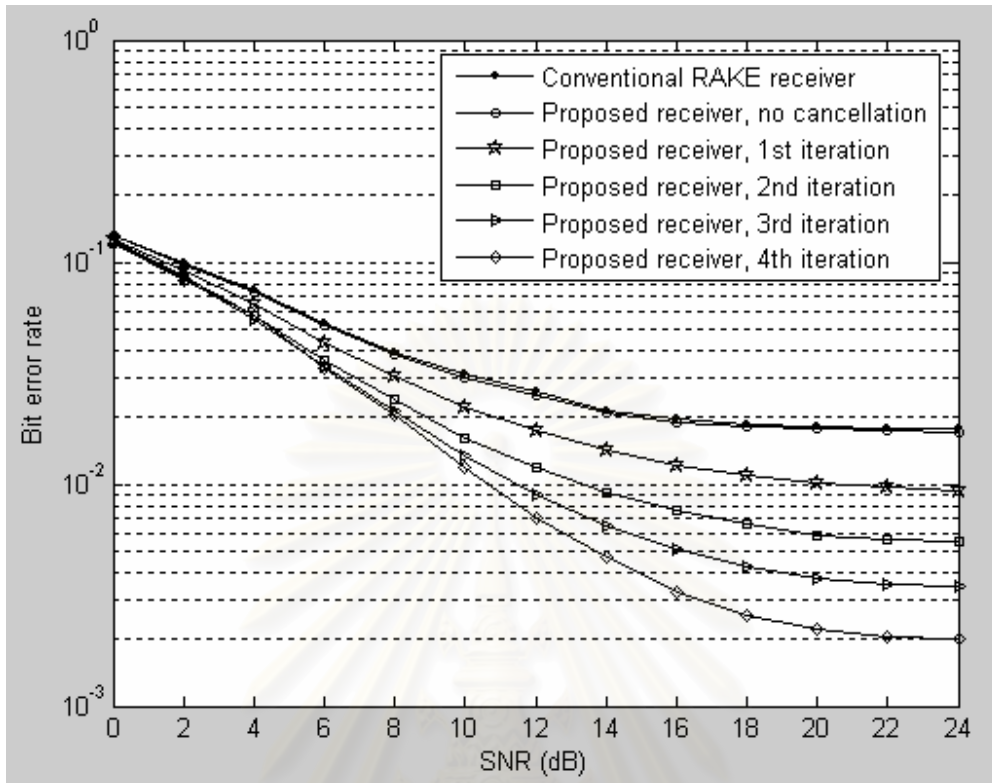
สรุปการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ $n = 3$ พบว่าในรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 2 เครื่องรับที่เสนอมีสสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้อยกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ $M=2$ แต่เมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่รอบที่ 3 ขึ้นไป เครื่องรับที่เสนอกลับมีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2

จากการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กับเครื่องรับที่เสนอที่ผ่านมาทั้ง 3 กรณี อาจกล่าวได้ว่าเครื่องรับที่เสนอมิมีแนวโน้มให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น

4.5 สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอ

จุดมุ่งหมายของการใช้เครื่องรับที่มีการจัดสัญญาณแทรกสอด คือ ต้องการให้สมรรถนะของเครื่องรับในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่ดีขึ้น ในหัวข้อนี้จึงเป็นการจำลองแบบเพื่อศึกษาว่า หากมีการใช้เครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลของผู้ใช้ จะมีผลทำให้สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอดีกว่าการใช้เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดาเล็กน้อยเพียงไร โดยในการจำลองแบบ มีข้อกำหนดเป็นไปดังหัวข้อที่ 4.1.4 และเลือกใช้ค่า $\delta = 0.2$ ผลการจำลองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 สมรรถนะของเครื่องรับที่ดีขึ้นเมื่อใช้เครื่องรับที่เสนอ กรณีที่ $\delta = 0.2$

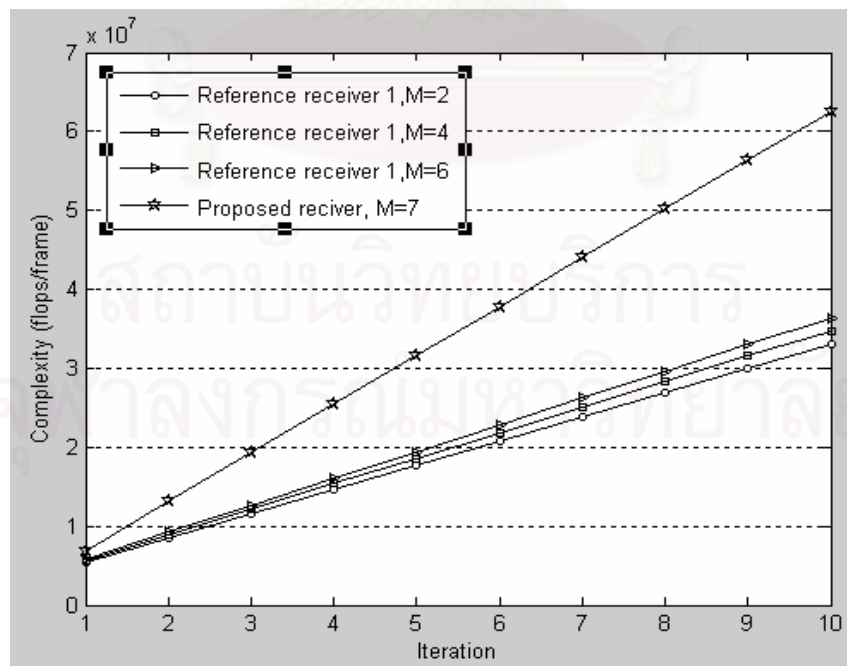
จากผลการจำลองแบบในกรณีที่ $\delta = 0.2$ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอด สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลจะดีขึ้น โดยดูได้จากค่าอัตราบิตผิดพลาดที่ลดลง หากเครื่องรับที่เสนอไม่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด สมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลจะใกล้เคียงกันกับสมรรถนะที่ได้จากเครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา แต่หากเครื่องรับที่เสนอมีการขจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นจำนวน 1 รอบ ที่ค่า SNR = 8 dB จะทำให้อัตราบิตผิดพลาดลดลงจากเดิมที่ใช้เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา อยู่ประมาณ 0.80% และเมื่อขจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นจำนวน 2 รอบ จะทำให้อัตราบิตผิดพลาดลดลงมากกว่าการขจัดสัญญาณแทรกสอดจำนวน 1 รอบ อยู่ประมาณ 0.65% ซึ่งหากเพิ่มการขจัดสัญญาณแทรกสอดไปอีกรวมเป็นจำนวน 3 รอบ และ 4 รอบ จะทำให้อัตราบิตผิดพลาดลดลงมากกว่าจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดล่าสุดคือ 2 รอบ และ 3 รอบ อยู่ประมาณ 0.28% และ 0.06% ตามลำดับ รวมแล้วเครื่องรับอ้างอิงที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดเป็นจำนวน 4 รอบ ที่ค่า SNR = 8 dB จะทำให้อัตราบิตผิดพลาดลดลงจากกรณีที่ใช้เครื่องรับแบบ RAKE ธรรมดา อยู่ประมาณ 1.79%

4.6 เปรียบเทียบความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับ

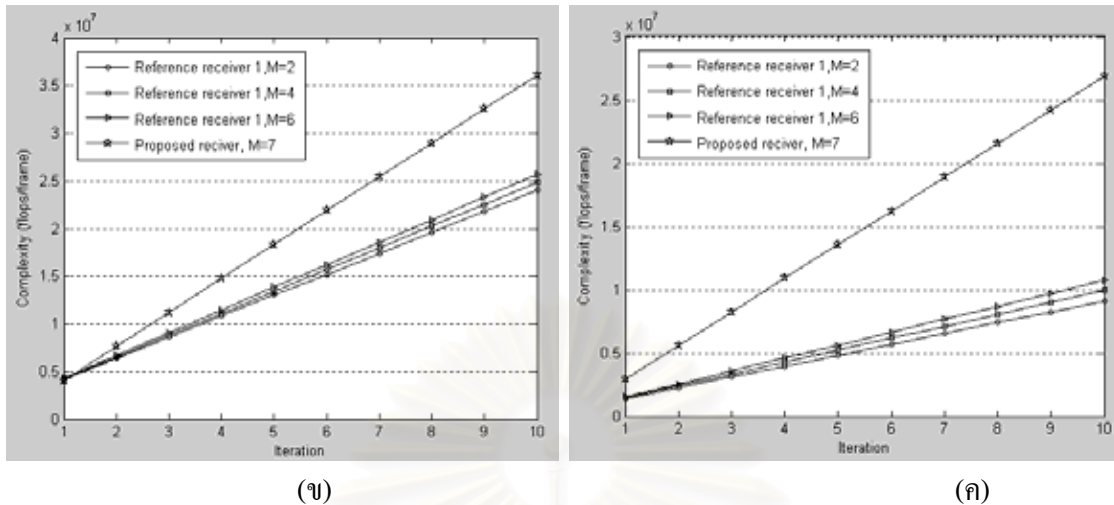
ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ซึ่งการพิจารณาความซับซ้อนจะใช้การนับจำนวนฟลอปที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลออกมาจำนวน 1 เฟรม (frame) โดยมีหน่วยของความซับซ้อนเป็นฟลอปต่อเฟรม (flops/frame) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.6 การเปรียบเทียบความซับซ้อนของอัลกอริทึมสามารถแบ่งความซับซ้อนออกมาได้ 3 ประเภท ได้แก่ ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการบวกหรือการลบ และความซับซ้อนที่เกิดจากการคูณ ผลของการเปรียบเทียบความซับซ้อนของอัลกอริทึมในเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับที่นำมาอ้างอิง สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.6.1 ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1

ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนของการคำนวณระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด โดยเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีการเลือกจำนวนรหัสที่นำไปจัดออกในแต่ละรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด หรือ ค่า M จำนวน 3 ค่า ด้วยกัน คือ ค่า M เท่ากับ 2, 4 และ 6 ส่วนเครื่องรับที่เสนอใช้แบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1.4 โดยนำรหัสตัวแทนทุกรหัสไปจัดออก ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่เกิดขึ้นทั้งหมด ความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการบวกหรือการลบ และความซับซ้อนที่เกิดจากการคูณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



(ก)



รูปที่ 4.15 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1

เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ (ค) เฉพาะการคูณ

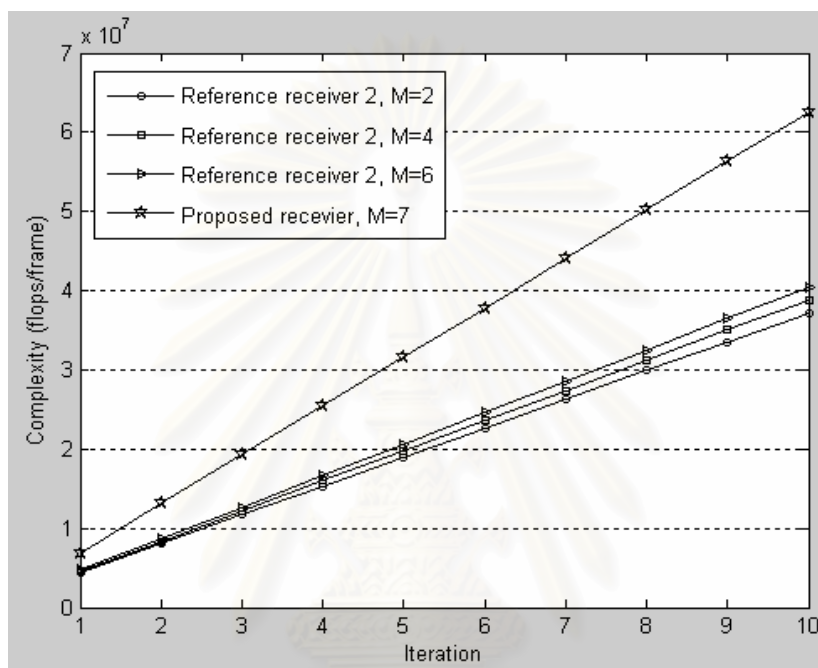
จากผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนในรูปที่ 4.15 พบว่า ค่าความซับซ้อนของเครื่องที่เสนอและเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอด โดยที่ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอมีค่ามากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเมื่อจำนวนรอบของการจัดสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของค่าความซับซ้อนระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นั่นแสดงว่าเครื่องรับที่เสนอจะมีความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 เมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอมีค่ามากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 นั้นอาจเนื่องมาจากเครื่องรับที่เสนอเลือกรหัสที่นำมาจัดออกมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดที่ใช้สำหรับเครื่องรับที่เสนอเป็นวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่าวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก

4.6.2 ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2

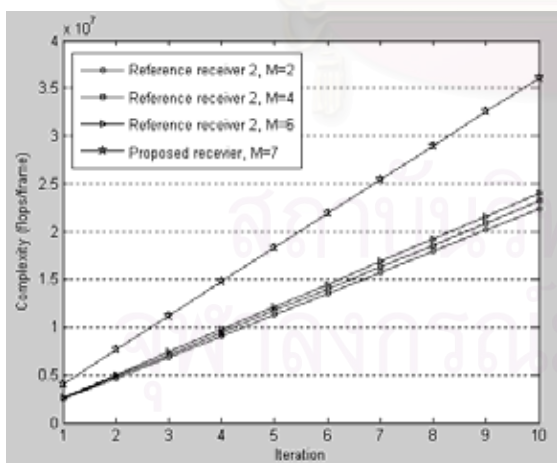
เมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนของการคำนวณระหว่างเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ในลักษณะเดียวกันกับข้อที่ 4.6.1 โดยเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีการกำหนดจำนวนระดับของค่าตัวประกอบการแผ่ (spreading factor) ที่ลดลงจากระดับค่าตัวประกอบการแผ่ของผู้ใช้ที่สนใจ ซึ่งก็คือตัวแปร n ซึ่งโดยเปรียบเทียบในกรณีที่ n มีค่าเป็น 1 และ 2 สำหรับกรณีที่ n แต่ละกรณี จะมี

จำนวนรหัสที่ส่งผลการแทรกสอดที่เลือกนำไปจัดออก หรือ M เท่ากับ 2, 4 และ 6 ผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

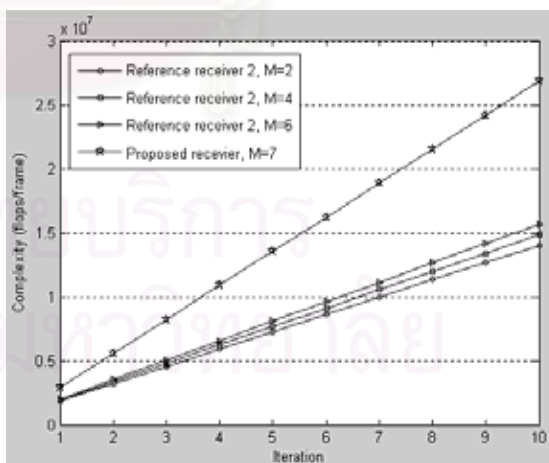
กรณี $n = 1$



(ก)



(ข)

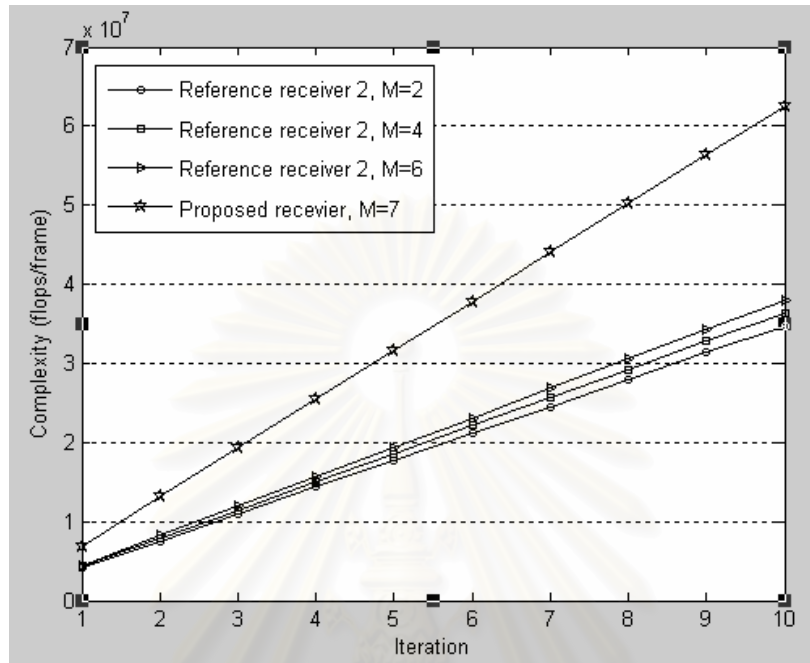


(ค)

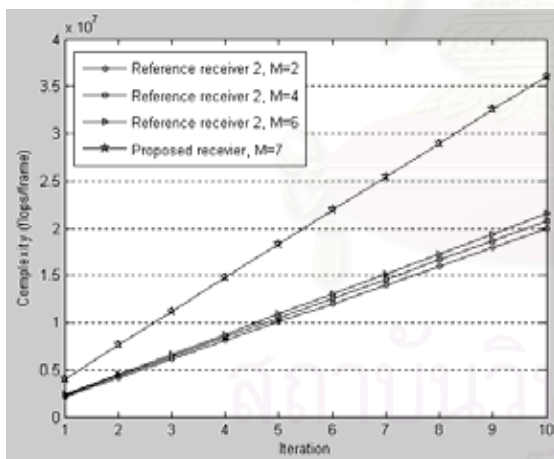
รูปที่ 4.16 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 1$

เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ (ค) เฉพาะการคูณ

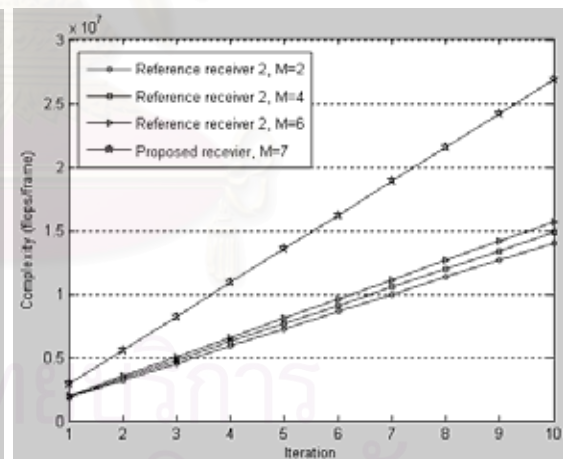
กรณี $n = 2$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.17 ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 กรณี $n = 2$

เมื่อ (ก) ความซับซ้อนทั้งหมด (ข) เฉพาะการบวกหรือการลบ และ (ค) เฉพาะการคูณ

จากผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ทั้งสองกรณีพบว่าเครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 สาเหตุที่เครื่องรับที่เสนอมีค่า

ความซับซ้อนมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 มีเหตุผลเหมือนกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 คือเครื่องรับที่เสนอมีการเลือกจำนวนรหัสที่นำมาจัดออกที่มากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 และการใช้วิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายมีความซับซ้อนมากกว่าวิธีการจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก

สรุปความซับซ้อนของการคำนวณโดยใช้วิธีการนับจำนวนฟลอปของเครื่องรับที่เสนอในการตรวจวัดข้อมูลออกมาจำนวน 1 เฟรม (frame) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 พบว่าเครื่องรับที่เสนอมีค่าความซับซ้อนของการคำนวณมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 อยู่พอสมควรเพื่อแลกกับอัตราบิดผิดพลาดที่ลดต่ำลง ซึ่งบางกรณีความซับซ้อนของการคำนวณที่เพิ่มขึ้นนี้อาจจะคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 เช่นในกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีจำนวนรหัสที่ส่งผลการแทรกสอดที่เลือกนำไปจัดออก (M) เท่ากับ 2 ที่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 5 เครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของการคำนวณเพิ่มขึ้นประมาณ 74.97% แต่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดลงได้ประมาณ 78.08% หรือในกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ที่มีการเลือกจำนวนรหัสไปจัดออกเท่ากับ 2 และมีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลง 2 ระดับ ($n = 2$) ที่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 5 เครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของการคำนวณเพิ่มขึ้นประมาณ 58.35% แต่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดลงได้ประมาณ 86.67% แต่ก็มีบางกรณีความซับซ้อนของการคำนวณที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 เช่นในกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 มีจำนวนรหัสที่ส่งผลการแทรกสอดที่เลือกนำไปจัดออกเท่ากับ 4 ที่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 5 เครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของการคำนวณเพิ่มขึ้นประมาณ 66.67% แต่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดลงได้เพียงประมาณ 50.12% หรือในกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ที่มีการเลือกจำนวนรหัสไปจัดออกเท่ากับ 2 และมีการลดระดับค่าตัวประกอบการแผ่ลง 1 ระดับ ($n = 1$) ที่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 5 เครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของการคำนวณเพิ่มขึ้นประมาณ 73.07% แต่สามารถลดค่าอัตราบิดผิดพลาดลงได้เพียงประมาณ 52.94% ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าที่รอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดรอบที่ 5 เครื่องรับที่เสนออาจมีสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่ดีขึ้นทั้ง 2 แบบคือ แบบคุ้มค่าและแบบไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับความซับซ้อนของการคำนวณที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อรอบของการจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้นกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ 2 ประสบปัญหาการขาดสัญญาณแทรกสอดที่มากเกินไป จึงทำให้เครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในแง่ของอัตราบิดผิดพลาดที่ดีขึ้นแบบคุ้มค่าเมื่อเทียบกับความซับซ้อนของการคำนวณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับให้นำไปใช้งานในแต่ละประเภท หากการนำไปใช้งานที่ต้องการให้มีค่าอัตราบิดผิดพลาดต่ำๆ ก็ย่อมต้องมีความซับซ้อนของการคำนวณเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

บทที่ 5

สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอดของข่ายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA ซึ่งในการศึกษาได้ใช้วิธีการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้นมา และได้ผลของการจำลองแบบออกมาดังในบทก่อนหน้า ในบทนี้จึงจะเป็นการสรุปผลการวิจัยที่ได้ศึกษามา ในมุมมองของสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลจากการใช้เครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอด และสุดท้ายเป็นข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยในอนาคต

5.1 สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอเครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอด โดยใช้เครื่องรับที่ขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบจัดกลุ่มรหัส หรือเรียกว่าเครื่องรับที่เสนอ ซึ่งเครื่องรับที่เสนอนี้ ได้พิจารณาให้ขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจาก MAI (Multiple Access Interference) เป็นหลัก จากผลการจำลองแบบเพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอในแง่ของอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) ที่เกิดขึ้น สามารถสรุปผลการจำลองแบบได้ดังต่อไปนี้

- เมื่อใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบนำไปลบออก พบว่าเครื่องรับที่เสนอมี BER ต่ำ ออก ซึ่งเกิดจาก over cancellation หรือ ping-pong effect ทำให้เครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ด้อยลงไป แต่สามารถบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยการใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉาย แต่การใช้วิธีขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายทำให้เครื่องรับที่เสนอมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมเพิ่มขึ้นด้วย

- การกำหนดค่า δ ให้มีค่าต่ำๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับที่เสนอดีขึ้น

- การพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ หากแบ่งช่วงการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ (P) ให้มากขึ้น ทำให้เครื่องรับที่เสนอมีค่า BER ลดลงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เท่ากัน

- การเลือกจำนวนรหัสตัวแทนที่นำมาขจัดออกหรือ M มีค่ามากขึ้น ทำให้เครื่องรับที่เสนอมีสมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้น

เมื่อนำเครื่องรับที่เสนอนี้ไปเปรียบเทียบกับสมรรถนะกับเครื่องรับที่ได้มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้นี้ คือ เครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบรวมสัญญาณแทรกสอดเข้าด้วยกัน (Interference cancellation receiver by combined-interfering signals) หรือเรียกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และ

เครื่องรับที่มีการขจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มรหัส (Inter-code group interference cancellation receiver) หรือเรียกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ผลจากการจำลองแบบที่ได้ออกมา เพื่อคุณสมบัติของเครื่องรับต่างชนิดกันในการตรวจวัดข้อมูล พบว่า เครื่องรับที่เสนอนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 ส่วนในกรณีของเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 นั้นเครื่องรับที่เสนอนี้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่รอบที่ 4 ขึ้นไป ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการขจัดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้งานอื่นๆในระบบของเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่สามารถนำรหัสตัวแทน (representative code) ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มรหัสตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่ (mother code) และรหัสลูก (child code) ในแต่ละกลุ่มรหัสตามที่เสนอไว้ มาแทนกลุ่มรหัสแม่ของผู้ใช้งานอื่นๆในระบบ นอกจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับแล้วในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้พิจารณาความซับซ้อนของการคำนวณในเครื่องรับที่เสนอด้วย และเมื่อนำความซับซ้อนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 ปรากฏว่า เครื่องรับที่เสนอนี้มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องรับอ้างอิงที่ 1 และเครื่องรับอ้างอิงที่ 2 สาเหตุอันเนื่องมาจากเครื่องรับที่เสนอนี้มีจำนวนรหัสที่เลือกนำไปขจัดออกมากกว่าและผลจากการใช้วิธีการขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบการฉายที่มีความซับซ้อนมากกว่าแบบการนำไปลบออกจึงทำให้เครื่องรับที่เสนอนี้มีความซับซ้อนมากกว่า

การนำรหัสตัวแทนที่ได้จากการแบ่งกลุ่มรหัสแม่ตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่กับรหัสลูกในแต่ละกลุ่มรหัสมาใช้ในการขจัดสัญญาณแทรกสอดของเครื่องรับ สำหรับขยายเชื่อมโยงขาลงในระบบสื่อสาร W-CDMA ตามที่ได้เสนอนี้จนถึงแม้จะให้สมรรถนะในการตรวจวัดข้อมูลที่ดีขึ้นเมื่อจำนวนรอบของการขจัดสัญญาณแทรกสอดมากขึ้น แต่ความซับซ้อนของอัลกอริทึมยังคงมีความซับซ้อนสูง จากการศึกษาและผลของการจำลองแบบที่ได้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ทั้งหมดคงพอที่จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการนำรหัสตัวแทนที่ได้เสนอ ไปปรับปรุงและพัฒนาให้มีความซับซ้อนของอัลกอริทึมให้ต่ำลงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครื่องรับที่สถานีเคลื่อนที่ต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยในอนาคต

งานที่ควรจะได้มีการพัฒนาหรือศึกษาต่อ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ คือ ตามความเป็นจริงแล้วค่าตัวประกอบการแผ่ (Spreading Factor : SF) ของผู้ใช้เปลี่ยนแปลงจาก 128 (ผู้ใช้เสียง) ถึง 8 (ผู้ใช้ข้อมูล) ดังนั้นค่าตัวประกอบการแผ่ที่ $SF = 2$ และ $SF = 4$ จึงไม่มีผู้ใช้อยู่จริง ดังนั้นการแบ่งกลุ่มรหัสเพื่อหารหัสตัวแทนอาจแบ่งกลุ่มได้ในอีกลักษณะหนึ่งตามความสัมพันธ์ระหว่างรหัสแม่กับรหัสลูก ซึ่งการแบ่งกลุ่มแบบใหม่อาจผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับในการตรวจวัดข้อมูล

รายการอ้างอิง

1. Moshavi, S. Multi-user detection for DS-CDMA communications. IEEE Communications Magazine 34, 10 (October 1996): 124-136.
2. Latva-aho, M. Bit error probability analysis for FRAMES WCDMA downlink receivers. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 47, No. 4 (November 1998): 1119-1133.
3. Hooli, K., Latva-aho, M., and Juntti, M. Multiple access interference suppression with linear chip equalizers in WCDMA downlink receivers. Global Telecommunications Conference Vol. 1A, GLOBECOM '99 (1999): 467-471.
4. Klein, A. Data detection algorithms specially designed for the downlink of CDMA mobile radio systems. IEEE Vehicular Technology Conference Vol. 1 (1997): 203-207.
5. Golanbari, M., and Ford, G. E. Signal monitoring on the downlink of cellular CDMA communications with interference cancellation. IEEE Wireless Communications and Networking Conference Vol. 1, WCNC'99 (1999): 80-84.
6. Arora, N., and George, D. Interference cancellation schemes for wideband CDMA downlink. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (2000): 224-229.
7. Madkour, M. F., Gupta, S. C., and Wang, Y.-P. E. Successive interference cancellation algorithms for downlink W-CDMA communications. IEEE Transactions on Wireless Communications Vol. 1, Issue 1 (January 2002): 169-177.
8. พิษณุ ก่อเกียรติพิทักษ์, การขจัดสัญญาณแทรกสอดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาลง ในระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอ ชนิดแถบกว้างโดยใช้รหัสตัวแทน, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, ฉบับที่ 3, (2546): 1558-1563
9. Ha, W., Bae, J. and Park, J. A code grouping interference cancellation receiver in OVSF DS-CDMA downlink. The 8th International Conference on Communication System Vol.2, (2002): 697-700
10. Holma, H., and Toskala, A. WCDMA for UMTS: Radio access for third generation mobile communications West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2000.
11. Dinan, E. H., and Jabbari, B. Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks. IEEE Communications Magazine Vol. 36 (September 1998): 48-54.
12. Rappaport, T. S. Wireless communications: Principles and practice. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
13. Third Generation Partnership Project Technical Specification Group Radio Access Network Working Group 1 (Radio). Text proposal for downlink scrambling code phase shift parameter. TSGR1#5(99)588 (June 1999).

14. Guideline for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000. Recommendation ITU-R M.1225 (1997).
15. Wysocki, B. J., and Wysocki, T. A. A method to partially suppress ISI and MAI for DS SS CDMA wireless networks. IEEE International Conference on Communications Vol. 2 (June 1997): 899 – 903.
16. Dent, P., Bottomley, G. E., and Croft, T. Jakes fading model revisited. Electronic Letters Vol. 29, Issue 13 (June 1993): 1162-1163.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรรชัย ดีเลิศไพบูลย์ เกิดเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดยะลา ได้เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2541 และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย