

มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตราโน้ตชนิดบอด
สำหรับระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดโคเรกต์ซีแควนซ์



นางสาวเพียรพร หลินประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-812-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19 ธ.ค. 2545

119282102

**BLIND ADAPTIVE DECORRELATING DECISION FEEDBACK
MULTIUSER DETECTION FOR DS-CDMA**



Miss Pianporn Linprasert

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-812-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติ
ชนิดบอดสำหรับระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัส
ชนิดโคเรกต์ซีแควนซ์

โดย นางสาวเพ็ชรพร หลินประเสริฐ

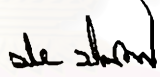
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

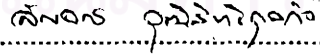
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ)

เพียรพร หลินประเสริฐ : มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการ
ปรับอัตราโน้มนัดชนิดบอดสำหรับระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดโคเรลต์ซี
เควนซ์ (BLIND ADAPTIVE DECORRELATING DECISION FEEDBACK
MULTIUSER DETECTION FOR DS-SSMA) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล,
140 หน้า. ISBN 974-333-812-8

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการนำกระบวนการปรับอัตราโน้มนัดแบบบอดมาใช้ลดความซับซ้อนใน
กระบวนการทำงานของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับซึ่งใช้ในการกำจัดสัญญาณแทรกสอด
ระหว่างผู้ใช้ที่สถานีฐานของระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดโคเรลต์ซีเควนซ์ เริ่มจาก
ใช้อัลกอริทึมจุดสแปรปในการปรับค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าเพื่อกำจัด
สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าผู้ใช้ที่ต้องการ หลังจากนั้นจะกำจัดสัญญาณแทรกสอด
จากผู้ใช้ที่เหลือโดยส่วนป้อนกลับซึ่งใช้กระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วงโดยอาศัยหลักการลดค่า
เฉลี่ยกำลังของสัญญาณก่อนตัดสินบิต พิจารณาในระบบซิงโครนัสซึ่งส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีการ
รบกวนจากสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาวโดยใช้ค่า BER เป็นตัววัดสมรรถนะของระบบ

ผลการจำลองระบบพบว่าเครื่องรับชนิดบอดนี้ให้สมรรถนะที่ใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดี-
เทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเท่ากัน เช่น ที่ SNR 12 dB
เมื่อมีผู้ใช้ในระบบ 4 คน และสเปรดด้วยโกลด์โค้ดขนาด 7 บิต ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์
เครื่องรับแบบบอดนี้มีค่า BER เป็น 0.0017 ในขณะที่เครื่องรับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มีค่า BER
เป็น 0.0013 นอกจากนี้ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลของเครื่องรับทั้งสองจะเป็นไปใน
ลักษณะเดียวกันด้วย เช่น กรณีระบบ 4 คน และสเปรดด้วยโกลด์โค้ดขนาด 7 บิต เครื่องรับทั้งสอง
จะมีค่า BER ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อกำลังของผู้ใช้คนอื่นๆสูงกว่าผู้ใช้ลำดับที่ 4 มากกว่า 5 dB เช่นเดียว
กัน และเครื่องรับทั้งสองจะให้ความจุของระบบใกล้เคียงกันด้วย เช่น ที่ค่า BER เฉลี่ยของระบบ
เป็น 10^{-2} เครื่องรับทั้งสองจะสามารถรองรับผู้ใช้ในระบบได้ 19 คนเท่ากันเมื่อใช้สเปรดคิงโค้ดแบบ
สุ่มขนาด 31 บิต แต่เครื่องรับแบบบอดนี้จะมีความทนทานต่อความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์
สัญญาณที่เครื่องรับได้ดีกว่าเครื่องรับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เช่น เมื่อผู้ใช้ในลำดับแรกซิงโครไนซ์
สัญญาณผิดไป 0.5 ชิป เครื่องรับแบบบอดมีค่า BER เป็น 0.0255 ในขณะที่เครื่องรับชนิดค่าน้ำหนัก
ถ่วงคงที่จะมีค่า BER ถึง 0.1823 เมื่อพิจารณาในระบบ 4 คน และสเปรดด้วยโกลด์โค้ดขนาด 7 บิต

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต เพียรพร หลินประเสริฐ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

PIANPORN LINPRASERT : BLIND ADAPTIVE DECORRELATING
DECISION FEEDBACK MULTIUSER DETECTION FOR DS-CDMA. THESIS
ADVISOR : ASSO. PROF. DR. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Eng. 140 pp.
ISBN 974-333-812-8

This thesis presented blind adaptive algorithms for reducing the complexity of decorrelating decision feedback multiuser detection (DDFMD). The DDFMD has been used to eliminate Multiple Access Interference (MAI) at the base station in the DS-CDMA system. Bootstrap algorithm was used at feed forward filter to eliminate the MAI of weaker users from desired user, and the minimum Mean Output Energy (MOE) criterion was used to cancel the remaining MAI at feedback filter. Considering synchronous system transmitting over an AWGN channel, BER was used to measure performances of the system.

The results showed that the performance of this blind adaptive DDFMD was closed to the performance of the fixed weight DDFMD at the same noise condition. For the 4-users system using Gold code of length 7, at SNR 12 dB in perfect power control case, the BER of this blind adaptive detector was 0.0017 close to 0.0013 of the fixed weight detector. Moreover, the near-far resistance of both detectors had the same characteristic. Both detectors had stable BER when the power of interferences was 5 dB larger than that of desired user in the 4-users system using Gold code, spreading gain of 7. Likewise, the capacity of both detectors had the same characteristic. When the BER of 31 lengths random code system was 10^{-2} , the blind adaptive receiver was able to support 19 users as was the fixed weight receiver. However, this blind adaptive detector had more robustness to synchronize error at receiver than the fixed weight detector did. The BER of the blind adaptive receiver was 0.0255 which is much less than the BER of the fixed weight detector, 0.1823, when the 0.5 chip synchronize error occurred to the first user in the 4-users system using Gold code of length 7.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต ๒ที่ขจรพร ขลิบทองเสวี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Somchai
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รศ. ดร.สมชาย จิตะ-
พันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมา
ตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ และเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
มูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย รวมถึง
เพื่อนพ้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อ
คิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จ
การศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บัญชีคำศัพท์	ด
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA	2
1.2 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันและระบบ CDMA ในรุ่นที่ 3	4
1.3 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	5
1.4 ข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละแบบ	9
1.5 ปัญหาของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ	9
1.6 วิธีการแก้ปัญหาที่มีผู้เสนอขึ้นมา	9
1.7 แนวทางของวิทยานิพนธ์นี้	10
1.8 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	10
1.9 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	11
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
1.11 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	11
1.12 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์	12
1.13 นิยามสัญลักษณ์	13
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
2.1 สาเหตุของ MAI และสเปรคคิงโค้ด	14
2.2 การส่งและการรับสัญญาณเบสแบนด์	15
2.3 ปราบกฏการณ์ใกล้-ไกล	16
2.4 แบบจำลองระบบ	16
2.4.1 รหัสสั้น	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4.2	แบบจำลองระบบด้านส่ง 18
2.4.3	แบบจำลองระบบด้านรับ 19
2.5	วิธีการวัดสมรรถนะและความหมายของตัววัดสมรรถนะต่างๆ 22
2.6	คิอกรีเลเตอร์และมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ 24
2.6.1	คิอกรีเลเตอร์ 24
2.6.2	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ 26
2.6.3	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่มีกระบวนการ ปรับอัตราโน้มนำโดยใช้อัลกอริทึม LMS 31
3	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด 36
3.1	อัลกอริทึม bootstrap 36
3.1.1	หลักการของอัลกอริทึม bootstrap 37
3.1.2	คิอกรีเลเตอร์แบบปรับตัวเองโดยใช้อัลกอริทึม bootstrap 39
3.2	อัลกอริทึม ISIC และหลักการลด MOE (Mean Output Energy) 41
3.2.1	อีควอไลเซอร์และ ISI 41
3.2.2	หลักการของอัลกอริทึม ISIC 42
3.3	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด 44
3.3.1	แนวคิด 44
3.3.2	สมรรถนะที่สภาวะอยู่ตัวในกรณีอุดมคติ 51
4	ผลการวิจัย 53
4.1	วิธีการจำลองระบบ 53
4.2	ลักษณะการรบกวนของ SMSE และค่าช่วงก้าว 56
4.3	สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด 67
4.3.1	ข้อสมมุติฐานในหัวข้อนี้ 67
4.3.2	ผลการจำลองระบบ 68
4.3.2.1	กรณีผู้ใช้ 4 คนสเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต 68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.2.1	กรณีผู้ใช้ 15 คนสเปรคด้วยสเปรคคิงโค้ด Gold code
ขนาด 31 บิต	85
4.3.2.3	กรณีผู้ใช้ 15 คนสเปรคด้วยสเปรคคิงโค้ดแบบสุ่ม
ขนาด 31 บิต	93
4.3.2.4	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด
และความจุของระบบ	100
4.3.3	สรุปผล
4.4	ผลของความผิดพลาดที่ด้านรับที่มีต่อสมรรถนะ
ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	106
4.4.1	ความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณที่ด้านรับ
กับสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	106
4.4.2	ผลของการเรียงลำดับกำลังก่อนเข้ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน
แบบป้อนกลับผิดพลาด	118
4.5	สรุปผลการวิจัย
5	บทสรุป
5.1	สรุปผลการวิจัย
5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
รายการอ้างอิง	128
ภาคผนวก	132
ภาคผนวก ก	133
ภาคผนวก ข	134
ภาคผนวก ค	135
ภาคผนวก ง	139
ประวัติผู้เขียน	140

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมัลติยูสเซอร์ทีเทกชั้นแต่ละแบบ8
ตารางที่ 2.1.1	กำลังออกของข้อมูลที่ต้องการและสัญญาณรบกวนที่ออกจากเครื่องรับต่างๆ30
ตารางที่ 2.1.2	กำลังออกของข้อมูลที่ต้องการและสัญญาณรบกวนที่ออกจากเครื่องรับต่างๆ เมื่อเทียบกับสัดส่วนของข้อมูลออกเท่ากัน 30
ตารางที่ 4.1	สเปรคดิงโค้ดสำหรับผู้ใช้แต่ละคน ในกรณีระบบ 4 คนซึ่งสเปรคสัญญาณด้วย Gold code ขนาด 7 บิต56
ตารางที่ 4.2	ค่าน้ำหนักถ่วงในกรณีอุดมคติสำหรับสเปรคดิงโค้ดตามตาราง 4.1 ในกรณีที่ขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับของผู้ใช้ทุกคนเป็น 158
ตารางที่ 4.3	ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.11 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว 58
ตารางที่ 4.4	ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.12 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว59
ตารางที่ 4.5	ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.13 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว 59
ตารางที่ 4.6	ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.14 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว60
ตารางที่ 4.7	สเปรคดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 15 คน ซึ่งสเปรคสัญญาณด้วย Gold code ขนาด 31 บิต87
ตารางที่ 4.8	เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรคดิงโค้ดในตารางที่ 4.788
ตารางที่ 4.9	เมตริกซ์ F ของสเปรคดิงโค้ดในตารางที่ 4.789
ตารางที่ 4.10	สเปรคดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 15 คน ซึ่งสเปรคสัญญาณด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต94
ตารางที่ 4.11	เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรคดิงโค้ด แบบสุ่มในตารางที่ 4.1095
ตารางที่ 4.12	เมตริกซ์ F ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรคดิงโค้ด แบบสุ่มในตารางที่ 4.1096
ตารางที่ 4.13	สเปรคดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 19 คน ซึ่งสเปรคสัญญาณด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต104
ตารางที่ 4.14	เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรคดิงโค้ด แบบสุ่มในตารางที่ 4.13105
ตารางที่ ง.1	เปรียบเทียบค่า $(f_{k,k})^2$ และ α_k เมื่อใช้สูตรหัดในตารางที่ 4.1, 4.7 และ 4.10 ...139

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	ตัวอย่างแสดงการสเปรดสัญญาณโดยคูณกับสเปรดคิงโค้ด	15
รูปที่ 2.2	ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล	16
รูปที่ 2.3	แบบจำลองระบบ	18
รูปที่ 2.4.1	การตรวจจับข้อมูลโดยใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ของระบบในยุคที่ 2	20
รูปที่ 2.4.2	เครื่องรับแบบแมตซ์ของผู้ใช้ลำดับที่ k	20
รูปที่ 2.5	แสดงแบบจำลองด้านรับเมื่อใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ด้านรับ	22
รูปที่ 2.6	การตรวจจับสัญญาณ โดยใช้ดีคอรเรเลเตอร์	25
รูปที่ 2.7.1	โครงสร้างของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ	28
รูปที่ 2.7.2	มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับเมื่อเขียนอยู่ในรูป บล็อกไดอะแกรมแบบป้อนกลับ	28
รูปที่ 2.8	บล็อกไดอะแกรมของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ ที่ใช้กระบวนการปรับอัตรา โนมตีโดยอัลกอริทึม LMS	34
รูปที่ 3.1	เครื่องแยกสัญญาณ (separator) ที่ใช้กระบวนการ ปรับอัตรา โนมตีโดยอัลกอริทึม bootstrap	37
รูปที่ 3.2	ดีคอรเรเลเตอร์ที่ใช้กระบวนการปรับอัตรา โนมตีโดยอัลกอริทึม bootstrap	39
รูปที่ 3.3	กระบวนการปรับอัตรา โนมตีให้กับน้ำหนักถ่วงของ ดีคอรเรเลเตอร์ของผู้ใช้ลำดับที่ k โดยอัลกอริทึม bootstrap	40
รูปที่ 3.4	แผนภาพในการนำอควอไลเซอร์มาแก้ปัญหา ISI	41
รูปที่ 3.5	อควอไลเซอร์แบบป้อนกลับ	41
รูปที่ 3.6	บล็อกไดอะแกรมของอควอไลเซอร์ที่ใช้กระบวนการ ปรับอัตรา โนมตีโดยอัลกอริทึม ISIC	43
รูปที่ 3.7	โครงสร้างของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	46
รูปที่ 3.8	โครงสร้างของกระบวนการปรับอัตรา โนมตีของ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	46
รูปที่ 3.9	กระบวนการปรับน้ำหนักถ่วงของผู้ใช้ลำดับที่ k สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	47
รูปที่ 4.1	ขั้นตอนการจำลองระบบของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ ชนิดที่มีการปรับค่าน้ำหนักถ่วง	54
รูปที่ 4.2	ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 1 ที่ค่า SNR = 14 dB	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3	ลักษณะการรบกวนของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 2 ที่ค่า SNR = 14 dB 61
รูปที่ 4.4	ลักษณะการรบกวนของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 3 ที่ค่า SNR = 14 dB 61
รูปที่ 4.5	ลักษณะการรบกวนของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 4 ที่ค่า SNR = 14 dB 62
รูปที่ 4.6	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.002 ที่ค่า SNR = 14 dB 62
รูปที่ 4.7	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.007 ที่ค่า SNR = 14 dB 63
รูปที่ 4.8	ตัวอย่างลักษณะการรบกวนของน้ำหนักร่วง ในวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าของผู้ใช้คนที่ 1 63
รูปที่ 4.9	ตัวอย่างลักษณะการรบกวนของน้ำหนักร่วง ในวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าของผู้ใช้คนที่ 2 64
รูปที่ 4.10	ตัวอย่างลักษณะการรบกวนของน้ำหนักร่วงในวงจรกรองป้อนกลับ 64
รูปที่ 4.11	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.001 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 65
รูปที่ 4.12	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.0002 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 65
รูปที่ 4.13	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อค่าช่วงก้าวที่วงจรกรองป้อนไปข้างหน้าและวงจรกรองป้อนกลับ มีค่าเป็น 0.0001 และ 0.003 ตามลำดับ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 66
รูปที่ 4.14	ลักษณะการรบกวนของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อใช้ค่าขนาดของสัญญาณในกระบวนการปรับอัตราโน้มิตีที่สวนป้อนกลับ และใช้ค่าช่วงก้าวที่วงจรกรองทั้งสองเป็น 0.0008 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ 66
รูปที่ 4.15.1	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนในระบบเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรคด้วย Gold code 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ 72

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15.2 ส่วนขยายในช่วง SNR 2-6 dB ของรูปที่ 4.15.1	72
รูปที่ 4.16 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 6 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต	73
รูปที่ 4.17 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 10 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต	73
รูปที่ 4.18 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 12 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต	74
รูปที่ 4.19 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.18 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวคอคอริเลเตอร์	74
รูปที่ 4.20 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์เมื่อลำดับผู้ใช้งานออกไป	75
รูปที่ 4.21 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 12 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต เมื่อลำดับผู้ใช้งานออกไป	75
รูปที่ 4.22.1 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์	78
รูปที่ 4.22.2 ส่วนขยายในช่วง SNR 2-6 dB ของรูปที่ 4.22.1	78
รูปที่ 4.23 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 6 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์	79
รูปที่ 4.24 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 10 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์	79
รูปที่ 4.25 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 12 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์	80

รูปที่ 4.26	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	83
รูปที่ 4.27	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้คนที่ 4 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมี SNR เป็น 16 เมื่อสเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	83
รูปที่ 4.28	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เพิ่มขึ้น และ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2, 3 และ 4 เป็น 12, 12 และ 11 ตามลำดับ กรณี Gold code ขนาด 7 บิต	84
รูปที่ 4.29	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 11 กรณี Gold code ขนาด 7 บิต	84
รูปที่ 4.30	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรคด้วย Gold code ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์	90
รูปที่ 4.31	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรคด้วย Gold code ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์	90
รูปที่ 4.32	BER ของผู้ใช้คนที่ 15 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 15 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 31 บิต	91
รูปที่ 4.33	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้คนที่ 15 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมี SNR เป็น 16 เมื่อสเปรคด้วย Gold code ขนาด 31 บิต	92
รูปที่ 4.34	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรคด้วยสเปรคคิงโค้ดแบบสุ่ม ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์	97
รูปที่ 4.35	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรคด้วยสเปรคคิงโค้ดแบบสุ่ม ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์	97

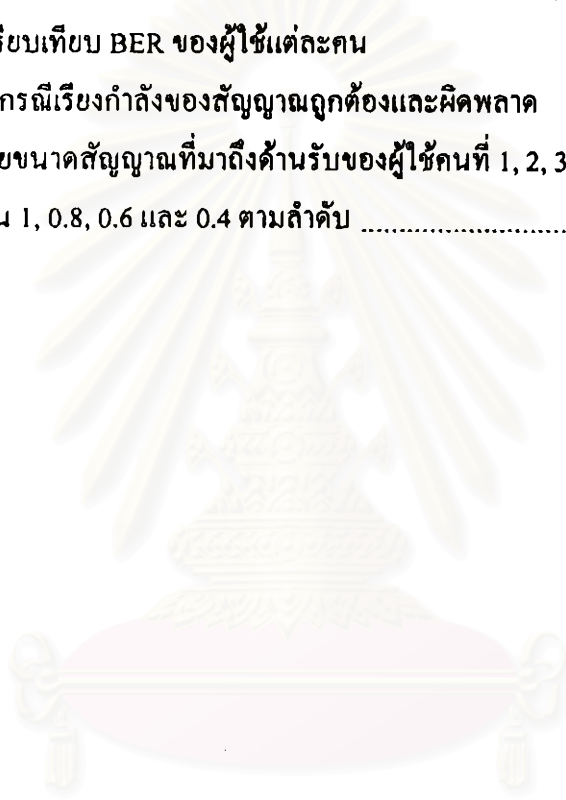
สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.36	BER ของผู้ใช้งานที่ 15 เมื่อ SNR ของผู้ใช้งานอื่นๆในระบบเพิ่มขึ้น เมื่อ SNR ของผู้ใช้งานที่ 15 เป็น 10 ในระบบที่ใช้สเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต	98
รูปที่ 4.37	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้งานที่ 15 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้งานอื่นๆมี SNR เป็น 16 เมื่อสเปรคด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต	99
รูปที่ 4.38	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนในระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อสเปรคด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต ที่ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเป็น 10 dB	101
รูปที่ 4.39.1	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทั้งหมดในระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เมื่อสเปรคด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต	103
รูปที่ 4.39.2	BER เฉลี่ยของผู้ใช้คนที่กำลังต่ำทั้งหมดเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เมื่อสเปรคด้วยสเปรคดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต	103
รูปที่ 4.40	แสดงตัวอย่างการชิงโครโนซ์สัญญาณที่รับได้ เข้ากับสเปรคดิงโค้ดช้าและเร็วไป 0.5 ซิฟ	107
รูปที่ 4.41	ผลของความผิดพลาดในการชิงโครโนซ์สัญญาณ ที่มีต่อค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคน เมื่อ ก.) ผู้ใช้คนแรกชิงโครโนซ์สัญญาณผิดพลาดรายเดียว ข.) ผู้ใช้คนสุดท้ายชิงโครโนซ์สัญญาณผิดพลาดรายเดียว ค.) ผู้ใช้ทุกคนชิงโครโนซ์สัญญาณผิดพลาดเท่าๆกัน ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์	110
รูปที่ 4.42	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาด จากการชิงโครโนซ์ผู้ใช้งานแรกไป 0.5 เท่าของซิฟ	111
รูปที่ 4.43	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาด จากการชิงโครโนซ์ผู้ใช้งานสุดท้ายไป 0.5 เท่าของซิฟ	112

รูปที่ 4.44	BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาดจากการชิงโครไนซ์ผู้ใช้แต่ละคนไป 0.5 เท่าของชิฟ	113
รูปที่ 4.45	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ชิงโครไนซ์ผู้รับคนแรกผิดไป 0.1 ชิฟ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	115
รูปที่ 4.46	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ชิงโครไนซ์ผู้รับคนสุดท้ายผิดไป 0.1 ชิฟ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	116
รูปที่ 4.47	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ชิงโครไนซ์ผู้รับทุกคนผิดไป 0.1 ชิฟ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	116
รูปที่ 4.48	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ชิงโครไนซ์ผู้ใช้คนที่ 1 ผิดไป 0.6 ชิฟ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	117
รูปที่ 4.49	BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ชิงโครไนซ์ผู้ใช้คนที่ 4 ผิดไป 0.6 ชิฟ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรคด้วย Gold code ขนาด 7 บิต	117
รูปที่ 4.50	BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดเปลี่ยนไปในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรคด้วย gold code ขนาด 7 บิต กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบรูณ์ซึ่งมีการเรียงสัญญาณเข้าเครื่องรับผิดพลาด	120
รูปที่ 4.51	แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ เมื่อมีการเรียงลำดับสัญญาณผิดพลาดและไม่ผิดพลาดเทียบกับเครื่องรับแบบอื่นๆในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรคด้วย gold code ขนาด 7 บิต	120

รูปที่ 4.52	เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณถูกต้อง ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับ เป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ	121
รูปที่ 4.53	เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณผิดพลาด ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับ เป็น 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ	121
รูปที่ 4.54	เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคน ในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณถูกต้องและผิดพลาด โดยขนาดสัญญาณที่มาถึงด้านรับของผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ	122



บัญชีคำศัพท์

การกระโดดเปลี่ยนความถี่	Frequency Hopping ย่อว่า FH
การควบคุมกำลังส่ง	power control
การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่	spread spectrum
การสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัส	Code Division Multiple Access
หรือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส	ย่อว่า CDMA
การสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดไคเรกต์ซีแควนซ์	Direct Sequence-Code Devision Multiple Access
	ย่อว่า DS-CDMA
ขอบเขตผู้ใช้รายเดียว	single user bound
เครื่องรับแบบแมตช์	match filter
เครื่องรับแบบลดค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาด	Minimum Mean Square Error (MMSE) receiver
เครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน	multistage receiver
	หรือ Parallel Interference Cancellation ย่อว่า PIC
เครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่อง	Successive Interference Cancellation ย่อว่า SIC
เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด	optimal receiver
เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป	suboptimal receiver
จัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือไคเรกต์ซีแควนซ์ ชิฟ	Direct Sequence ย่อว่า DS chip
ดีคอร์เรเลเตอร์	decorrelator
เทรนนิ่งซีแควนซ์	training sequence
ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล	Near-Far effect
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน	multiuser detection
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ	Decorrelating Decision Feedback Multiuser Detection
	ย่อว่า DDFMD
ระบบเชื่อม โยงขาขึ้น	up link หรือ reverse link

ระบบเชื่อมโยงขาลง

รหัสยาว

รหัสสั้น

หลายอัตรา

สหสัมพันธ์

สหสัมพันธ์ข้าม

สหสัมพันธ์ตัวเอง

สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้

สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว

สปรดคิงโค้ด

อัลกอริทึม

down link หรือ forward link

long code

short code

multirate

correlation

cross-correlation

auto-correlation

Multiple Access Interference

ย่อว่า MAI

Additive White Gaussian Noise

ย่อว่า AWGN

spreading code

algorithm



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย