การทำให้เครื่องรับส่งเหมาะที่สุดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอหลายผู้ใช้

นายประจักษ์ แซ่ตั้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TRANSCEIVER OPTIMIZATION FOR UPLINK MULTIUSER MULTICARRIER CDMA SYSTEMS

Mr. Prajak Saetang

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490731

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำให้เครื่องรับส่งเหมาะที่สุดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอหลายผู้ใช้
โดย	นายประจักษ์ แซ่ตั้ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย)

.....กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

ประจักษ์ แซ่ตั้ง : การทำให้เครื่องรับส่งเหมาะที่สุดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอหลายผู้ใช้. (TRANSCEIVER OPTIMIZATION FOR UPLINK MULTIUSER MULTICARRIER CDMA SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, 74 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะของระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ ซึ่งมีผู้ใช้หลายรายในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นบนช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถี โดยการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งร่วมกับตัวตรวจหาที่เครื่องรับ พรีโคดเดอร์ที่ได้จะทำหน้าที่จัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของผู้ใช้แต่ละรายให้เหมาะสมกับสถานะของช่องสัญญาณ และตัวตรวจหาที่ใช้ที่ภาครับจะมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยมีความสัมพันธ์กับพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่ง บนเกณฑ์ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของระบบมีค่าต่ำสุด (minimum mean square error) จากนั้นจะนำเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดมาประยุกต์เพื่อหาค่าดังกล่าว โดยเมื่อแปลงสมการของระบบที่นำเสนอให้อยู่ในรูปแบบของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (optimization problem) รูปแบบที่ได้ดังกล่าวอยู่ในรูปแบบปัญหาไม่คอนเวกซ์ (nonconvex problem) ทำให้คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่ค่าเหมาะที่สุดวงกว้าง กล่าวคืออาจจะได้คำตอบที่เป็นค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (local optimal) ดังนั้นจึงทำการแปลงรูปแบบปัญหาไม่คอนเวกซ์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบกำหนดการเชิงกรวยอันดับสอง (second-order cone programming) ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหาคอนเวกซ์ (convex problem) ทำให้คำตอบที่หาค่าได้คือค่าพรีโคดเดอร์และตัวตรวจหาเป็นค่าเหมาะที่สุดวงกว้าง (global optimal) และมีวิธีจุดภายใน (interior-point methods) สำหรับใช้หาคำตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดคอนเวกซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เวลาพหุนาม (polynomial time)

ผลการจำลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่นำเสนอ แสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอมีสมรรถนะที่ดีกว่าในระบบซึ่งไม่มีพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่ง แล้วใช้เครื่องรับแบบตัวตรวจหาสำหรับผู้ใช้หลายราย (MMSE MUD) ที่ภาครับ เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้มีค่าถูกต้องสมบูรณ์ (perfect CSI) และสมรรถนะที่ได้จะลดลงเล็กน้อย ในกรณีค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้มีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์ (imperfect CSI) ผลการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธีดั้งเดิม

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ประจักษ์ แซ่ตั้ง

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

4670698221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: MC-CDMA / UPLINK / OPTIMIZATION / MULTIUSER / TRANSCEIVER

PRAJAK SAETANG : TRANSCEIVER OPTIMIZATION FOR UPLINK MULTIUSER MULTICARRIER CDMA SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Ing. 74 pp.

In this thesis, the joint design of a precoder and a detector via convex optimizaition technique for uplink MC-CDMA systems under multipath fading channels was proposed and investigated with assumption of presence of channel state information (CSI) at both transmitter and receiver. Since for the uplink MC-CDMA system including the precoder at transmitter and linear detector at receiver, the closed-form formulae of which precoder and detector are the solution of the minimum mean square error (MMSE) criterion is not available, the concept of optimization is applied to determine the solution. Nevertheless, the problem is not formulated in the convex optimization problem leading to being not able to guarantee the global optimum solutions. In this thesis, formulation of the MMSE expression for joint transceiver design for uplink MC-CDMA systems as second-order cone programming (SOCP) is developed by use of change of variables and linear transformation techniques. The form of SOCP can be solved numerically, efficiently by several software optimization packages e.g. SeDuMi. Indeed, the SeDuMi is available as a Matlab's toolbox for solving optimization problems over symmetric cones. The performance of proposed modification to the conventional uplink MC-CDMA system is evaluated in term of bit error rate at the output of detector at receiver and optimization latency.

According to the numerical results, this proposed scheme shows that the performance of proposed technique is superior to that of conventional one with a use of MMSE MUD at the receiver in case of perfect CSI. Moreover, even in case of imperfect channel estimate at the receiver, the performance of the proposed scheme is marginally degraded. The effects of other parameters on system performance are studied via computer simulation, and they also show that the proposed scheme still has better performance than conventional for various range of parameter values.

Department Electrical Engineering Student's signature ประจักษ์ แซ่ตั้ง

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ตลอดจนความเมตตา และเอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา (The Cooperation Project between the Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development) ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายสำหรับไปเสนอผลงานวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในการประชุมทางวิชาการที่ประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็นสถานที่ทำวิจัย รวมถึง ดร. สุวิชช์ คุณารัตนพฤกษ์ ที่ปรึกษากลุ่มวิจัย ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย รวมถึง นายปรมินทร์ แสงวงศ์งาม และ นายวทัญญู คล้ายสงคราม สำหรับการให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ และรุ่นพี่ เพื่อนรุ่นเดียวกัน และรุ่นน้อง สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยชั้น 13 ตึกเจริญวิศวกรรม

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่ๆของตัวผู้เขียนที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจในทุก ๆ ด้านเสมอมา

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฏ

บัญชีคำศัพท์ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 แนวทางที่นำเสนอ 6

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 7

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 7

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.7 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์ 8

1.8 นิยามสัญลักษณ์ 8

2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 การมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห์ (multi-carrier modulation) 10

2.2 แบบจำลองระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ 10

2.2.1 แบบจำลองเครื่องส่ง 11

2.2.2 แบบจำลองเครื่องรับ 12

2.3 ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารไร้สายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 14

2.3.1 ข่ายเชื่อมโยงขาลง (downlink) และข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink) 15

2.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ (channel model) 16

2.4 การตรวจหาข้อมูล 18

2.4.1 ตัวตรวจหาแบบดีคอร์รีเลเตอร์ (decorrelator detector : DD) 19

2.4.2 ตัวตรวจหาแบบให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (minimum mean

บทที่ หน้า

square error : MMSE) 19
2.5 รหัสแผ่ 20
2.6 ช่วงเวลาคุ้มกัน (Guard interval) 20
2.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ 22
2.7.1 สัญญาณแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง (multiple access interference:MAI) 22
2.7.2 สัญญาณแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (inter-symbol interference : ISI) 22
2.7.3 สัญญาณแทรกสอดระหว่างคลื่นพาห์ย่อย (inter-carrier interference: ICI) 23
2.8 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบ 23
2.8.1 อัตราความผิดพลาดบิต (BER) 23
2.8.2 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) 24
2.9 ความรู้พื้นฐานการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) 24
2.10 ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดคอนเวกซ์ (convex optimization problems) 30
2.11 รูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบภาคตัดกรวยเชิงเส้น (linear conic optimization models) 31
2.12 วิธีจุดภายใน (interior-point methods) 32
3 การทำให้เครื่องรับส่งเหมาะที่สุดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอหลายผู้ใช้ 37
3.1 แนวคิดที่นำเสนอ 37
3.2 ขั้นตอนการออกแบบวิธีการที่นำเสนอ 40
4 ผลการทดสอบ 49
4.1 ข้อสมมติต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ 49
4.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ 49
4.3 ผลการจำลองระบบ 50
4.3.1 ผลการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด 50
4.3.2 สมรรถนะของระบบที่นำเสนอในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ระบบ MC-CDMA หลายผู้ใช้ 52
4.3.3 ผลการทดสอบเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณมีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์ (imperfect

บทที่ หน้า

channel) 54
4.3.4 สมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น 56
4.3.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้แบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมือง 57
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 61
5.1 สรุปผลการวิจัย 61
5.2 ข้อดีและข้อด้อยของระบบที่นำเสนอ 62
5.3 ข้อเสนอแนะ 63
5.4 งานที่ควรจะได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไป 63

รายการอ้างอิง 65
ภาคผนวก บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว 68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 74

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	สเปกตรัมการมอดูเลชันแบบคลื่นพาห์เดียว กับแบบหลายคลื่นพาห์	10
รูปที่ 2.2	แบบจำลองเครื่องส่งของระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ	11
รูปที่ 2.3	แบบจำลองเครื่องรับของระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ	12
รูปที่ 2.4	การแพร่กระจายพหุวิถี	14
รูปที่ 2.5	ข่ายเชื่อมโยงขาลง (downlink) และข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink)	16
รูปที่ 2.6	ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ และฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ	17
รูปที่ 2.7	ช่วงเวลาคุ้มกัน (guard interval)	21
รูปที่ 2.8	วิธีการเติมอุปสรรคหมุนวน (cyclic prefix : CP)	22
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างเซตคอนเวกซ์ และไม่คอนเวกซ์	26
รูปที่ 2.10	กรวยอันดับสอง	27
รูปที่ 2.11	กรวยเมทริกซ์กึ่งบวกแน่นอน	29
รูปที่ 2.12	ฟังก์ชันคอนเวกซ์	30
รูปที่ 2.13	กราฟฟังก์ชันขวางกั้น	34
รูปที่ 3.1	สัมประสิทธิ์ช่องสัญญาณ ในข่ายเชื่อมโยงขาลง และในข่ายเชื่อมโยงขา ของระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ	38
รูปที่ 3.2	แนวคิดที่นำเสนอโดยการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งเพื่อจัดสรรกำลังงานที่ใช้ในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของผู้ใช้แต่ละราย ร่วมกับตัวตรวจหาที่เครื่องรับโดยอาศัยเทคนิกการหาค่าเหมาะที่สุด	39
รูปที่ 3.3	แบบจำลองระบบที่มีการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งร่วมกับตัวตรวจหาที่เครื่องรับในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นหลายผู้ใช้ระบบมัลติแคร์เรียร์ซีดีเอ็มเอ	40
รูปที่ 3.4	การแปลงเชิงเส้นเพื่อทำให้เงื่อนไขบังคับอยู่ในรูปแบบกรวยอันดับสอง	51
รูปที่ 4.1	ผลการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด	52
รูปที่ 4.2	ช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีแบบยูนิฟอร์ม	53
รูปที่ 4.3	อัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลของระบบที่นำเสนอ เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและดีโคดเดอร์ที่เครื่องรับด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั้นถูกต้องสมบูรณ์ (perfect channel)	55

บทที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณลักษณะพื้นฐานของระบบการสื่อสารไร้สายในยุคที่สอง และยุคที่สาม 2
ตารางที่ 4.1 ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายที่ใช้ในการทดสอบ... 50
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมือง (typical urban : TU) 57

บัญชีคำศัพท์

การกระเจิง	Scattering
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	Frequency Division Multiple Access ย่อว่า FDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยเวลา	Time Division Multiple Access ย่อว่า TDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยรหัสชนิดลำดับโดยตรง	Direct Sequence-Code Division Multiple Access ย่อว่า DS-CDMA
การตัดสินบิต	Bit Decision
การปรับเท่า	Equalization
การประมาณช่องสัญญาณ	Channel Estimaiton
การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง	Discrete Fourier Transform ย่อว่า DFT
การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว	Fats Fourier Transform ย่อว่า FFT
การแผ่	Spread
การแผ่กลับ	Despread
การมอดูเลต	Modulation
ข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น	Up Link หรือ Reverse Link
ข่ายเชื่อมโยงขาลง	Down Link หรือ Forward Link
ค่าเฉลี่ยของผลต่างกำลังสองของความผิดพลาด	Mean Squared Error ย่อว่า MSE
คลื่นพาห์	Carrier
คลื่นพาห์ย่อย	Subcarrier
คอร์รีเลเตอร์	Correlator
เครื่องรับชนิดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด	Minimum Mean Square Error Receiver ย่อว่า MMSE
เครื่องรับแบบเชิงเส้น	Linear Receiver
เครื่องรับแบบดีคอรีเลต	Decorrelating Detector
เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย	Multiuser Detection
ความตั้งฉาก	Orthogonality

ความแปรปรวน	Variance
ชิพ	Chip
ช่องสัญญาณแบบพหุวิถี	Multipath Channel
ซิงโครนัส	Synchronous
ดิจิทัล	Digital
ดีคอรีเลเตอร์	Decorrelator
พหุวิถี	Multipath
เฟดดิง	Fading
เฟดดิงแบบเลือกความถี่	Selective Fading
เฟดดิงแบบเรียบ	Flat Fading
รหัสแผ่	Spreading Code
ระยะความผิดพลาด	Error Distance
เวลาประวิง	Delay time
สหสัมพันธ์ข้าม	Cross correlation
สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ	Channel Gain
สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่น	Multiple Access Interference ย่อว่า MAI
สัญญาณแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์	Intersymbol interference ย่อว่า ISI
สัญญาณแทรกสอดระหว่างคลื่นพาห์ย่อย	Intercarrier interference ย่อว่า ICI
สัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก	Additive White Gaussian Noise
อะซิงโครนัส	Asynchronous
อัตราแผ่	Processing Gain หรือ Spreading factor
อัตราความผิดพลาดบิต	Bit Error Rate ย่อว่า BER
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	Signal-to-noise Ratio ย่อว่า SNR
อัตสหสัมพันธ์	Autocorrelation