

การประมาณช่องสัญญาณ โดยใช้สัญลักษณ์นำช่วยประมาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึม
สำหรับระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอชแอล



นาย ปริยะ คุณานุกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6042-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PILOT-SYMBOL-AIDED CHANNEL ESTIMATION WITH RECURSIVE LEAST SQUARES ALGORITHM
FOR THE DOWNLINK OF MULTICARRIER CDMA SYSTEMS



Mr. Pariya Khunabut

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6042-6

121708009

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประมาณช่องสัญญาณ โดยใช้สัญลักษณ์นำช่วยประมาณ โดย
รีเคอร์ซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึม สำหรับระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอ
ชาลง

โดย

นายปรียะ คุณานบุตร

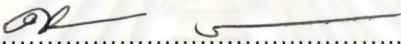
สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

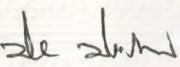
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

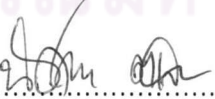
.....  คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ)

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

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต เบญจผลกุล)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นิสาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย)

นาย ปรียะ คุณาบุตร : การประมาณช่องสัญญาณ โดยใช้สัญลักษณ์นำช่วยประมาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึม สำหรับระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอซาลง. (Pilot-Symbol-Aided Channel Estimation with Recursive Least Squares Algorithm for The Downlink of Multicarrier CDMA Systems) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, จำนวนหน้า 122 หน้า. ISBN 974-17-6042-6.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการประมาณช่องสัญญาณ ที่มีการนำอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้แบบรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ สำหรับการประมาณช่องสัญญาณในข่ายเชื่อมโยงซาลงของระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความถูกต้องของการประมาณช่องสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงขึ้น โดยรูปแบบการประมาณช่องสัญญาณที่ใช้นั้นจะเป็นประเภทอาศัยสัญลักษณ์นำช่วยประมาณ ซึ่งมีรูปแบบการจัดวางในทางเวลาเพื่อให้เหมาะสมกับการแก้ไขผลกระทบจากเฟดดิ้งของช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ นอกจากนี้แล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังนำเสนอวิธีการปรับปรุงการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยมุ่งเน้นที่การปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลิมของรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึมให้มีค่าเหมาะสมกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณจริงในแต่ละขณะ อีกทั้งยังมีกระบวนการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลทอนของช่องสัญญาณ ที่ประมาณได้ภายในส่วนที่เป็นสัญลักษณ์ข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบอีกด้วย จากผลการจำลองระบบพบว่า อัลกอริทึมการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึม นั้นจะมีสมรรถนะสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการประมาณช่องสัญญาณแบบปกติ และการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึม ที่มีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลิม ก็จะทำให้สมรรถนะที่ดีกว่าการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตัสแควร์อัลกอริทึมแบบปกติด้วยเช่นกัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา2547.....

4570412021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MC-CDMA / DOWNLINK / CHANNEL ESTIMATION / RLS / FORGETTING FACTOR

PARIYA KHUNABUT : PILOT-SYMBOL-AIDED CHANNEL ESTIMATION WITH RECURSIVE LEAST SQUARES ALGORITHM FOR THE DOWNLINK OF MULTICARRIER CDMA SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. SOMCHAI JITAPUNKUL, 122 pp. ISBN 974-17-6042-6.

In this thesis, the Recursive Least Squares (RLS) channel estimation for the downlink of MC-CDMA system is proposed. The proposed method utilizes the time-multiplex-pilot symbols as the reference symbol for estimating and correcting the distortion due to the frequency selective fading channel. In addition, this thesis also proposed the techniques for modifying the RLS channel estimation. The proposed techniques, RLS channel estimation with linearly increasing forgetting factor, RLS channel estimation with two step forgetting factor and RLS channel estimation with adaptive forgetting factor, employ the method for adjusting the adaptive weigh (forgetting factor) of the RLS algorithm to exploit the time correlation of channel response to improve the estimation accuracy and tracking capability of the estimator. Moreover, the interpolation methods are also implemented in the data symbol region for improving the system efficiency. To verify the performance of the algorithms, the proposed techniques are used for estimating the downlink channel response of MC-CDMA systems. The simulation results show that the RLS channel estimation algorithm outperforms the customary channel estimation algorithm and the modified versions of RLS channel estimation are also outperform the original RLS channel estimation over the frequency selective fading channel.

Department.....Electriccal Engineering..... Student's signature.....*Pariya Khunabut*.....
 Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature.....*Somchai*.....
 Academic year2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ตลอดจนจนความเมตตา และเอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้อำนาจ ให้ความรัก ความอบอุ่น การอบรม สั่งสอน การสนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยในทุก ๆ ด้านเสมอมา

ขอขอบคุณโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา (Cooperative Project between Department of Electrical Engineering and Private sector for Research and Development) ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็นสถานที่ทำวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
บัญชีคำศัพท์.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ OFDM และ ระบบ MC-CDMA.....	2
1.2 เครื่องรับสำหรับระบบ MC-CDMA.....	4
1.2.1 เครื่องรับแบบธรรมดา.....	4
1.2.2 เครื่องรับสำหรับผู้ให้หลายราย.....	4
1.2.2.1 เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด.....	5
1.2.2.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป.....	5
1.2.2.2.1 เครื่องรับแบบเชิงเส้น.....	6
1.2.2.2.2 เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น.....	6
1.3 ปัญหาของระบบ MC-CDMA.....	8
1.4 วิธีการแก้ไขปัญหามีผู้นำเสนอ.....	9
1.5 แนวทางของวิทยานิพนธ์.....	11
1.6 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	11
1.7 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	12
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
1.9 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ.....	12
1.10 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์.....	13
1.11 นิยามสัญลักษณ์.....	14
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 การมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห์.....	15
2.2 ระบบ MC-CDMA.....	16

บทที่	หน้า
2.2.1 F พารามิเตอร์.....	17
2.2.2 การเปรียบเทียบกับเทคนิคการมอดูเลตดั้งเดิม.....	18
2.2.3 รหัสแม่.....	20
2.2.4 แบบจำลองภาคส่งของระบบ MC-CDMA.....	21
2.2.5 แบบจำลองภาครับของระบบ MC-CDMA.....	22
2.3 เทคนิคการปรับเท่า.....	24
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อสมรรถนะของระบบ.....	27
2.5 ช่องสัญญาณแบบหลายวิถี.....	29
2.6 การประมาณช่องสัญญาณ.....	35
2.7 รีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึม.....	39
2.8 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบ และความหมายของค่าต่าง ๆ.....	40
2.8.1 อัตราความผิดพลาดบิต.....	40
2.8.2 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	40
2.8.3 ค่าเฉลี่ยของผลต่างกำลังสองของความผิดพลาด.....	40
3 การประมาณช่องสัญญาณ โดยใช้สัญลักษณ์นำช่วยประมาณ โดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์ สแควร์อัลกอริทึม สำหรับระบบ MC-CDMA ขาลง.....	42
3.1 การประมาณช่องสัญญาณโดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์ อัลกอริทึม.....	42
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลืมน.....	48
3.3 การประมาณช่องสัญญาณโดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมแบบปรับเปลี่ยน ค่าสัมประสิทธิ์ได้.....	49
3.3.1 การประมาณช่องสัญญาณโดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมประเภทค่า สัมประสิทธิ์การลืมนเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น.....	49
3.3.2 การประมาณช่องสัญญาณโดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมประเภทค่า สัมประสิทธิ์การลืมนสองระดับ.....	51
3.3.3 การประมาณช่องสัญญาณโดยรีโคdexซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมประเภทค่า สัมประสิทธิ์การลืมนสามารถปรับตัวได้.....	52
3.4 การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล.....	53
3.4.1 การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล โดยวิธีการเฉลี่ย.....	54

บทที่

หน้า

3.4.2	การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล โดยวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น.....	55
3.4.3	การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล โดยวิธีการขึ้นน้ำหนักจากกระบวนการตัดสินใจ.....	56
4	ผลการวิจัย.....	59
4.1	วิธีการจำลองระบบ.....	59
4.1.1	รหัสแม่ที่ใช้.....	59
4.1.2	สัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณ.....	60
4.1.3	เฟดดิ้งจากช่องสัญญาณ.....	60
4.1.4	ความถี่ดอปเพลอร์.....	61
4.1.5	สมมติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	61
4.2	สมรรถนะของระบบ MC-CDMA ขาลง ที่มีการประยุกต์ใช้งานการประมาณ ช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม.....	62
4.2.1	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิต.....	62
4.2.2	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีการเปลี่ยนความยาวเฟรม ข้อมูล.....	65
4.2.3	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีการเปลี่ยนค่าความถี่ ดอปเพลอร์.....	67
4.2.4	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีการเปลี่ยนวิธีการมอดูเลต.....	71
4.2.5	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การ ลี้ม.....	73
4.2.6	สมรรถนะด้านอัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีการการปรับปรุงค่า คุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล.....	76
4.3	สมรรถนะของระบบ MC-CDMA ขาลง ที่มีการประยุกต์ใช้งานการประมาณช่อง สัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การ ลี้ม.....	80
4.3.1	สมรรถนะของระบบ MC-CDMA ที่มีการประยุกต์ใช้งานการประมาณ ช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์ การลี้มเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น.....	80

บทที่	หน้า
4.3.2	83
4.3.3	86
4.3.4	89
4.3.5	93
5	102
5.1	102
5.2	106
5.3	107
รายการอ้างอิง	108
ภาคผนวก	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	122

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	รูปแบบการมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห์..... 15
รูปที่ 2.2	ไดเวอร์ซิตีทางความถี่ของระบบ MC-CDMAเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ DS-CDMA และระบบแถบความถี่แคบ..... 19
รูปที่ 2.3	แบบจำลองภาคส่งของระบบ MC-CDMA..... 21
รูปที่ 2.4	แบบจำลองภาครับของระบบ MC-CDMA..... 22
รูปที่ 2.5	แบบจำลองผลตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์ของช่องสัญญาณแบบหลายวิถี..... 30
รูปที่ 2.6(ก)	รูปแบบการจัดวางเฟรมข้อมูลในกรณีที่มีการเติมระยะเวลาคัมแบบ CP..... 31
รูปที่ 2.6(ข)	รูปแบบการจัดวางเฟรมข้อมูลในกรณีที่มีการเติมระยะเวลาคัมแบบ ZP..... 31
รูปที่ 2.7	รูปแบบการจัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงสำหรับการประมาณช่องสัญญาณประเภท จัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงในแนวแกนเวลา..... 36
รูปที่ 2.8	รูปแบบการจัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงสำหรับการประมาณช่องสัญญาณประเภท จัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงในแนวแกนความถี่..... 37
รูปที่ 2.9	รูปแบบการจัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงสำหรับการประมาณช่องสัญญาณประเภท จัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงแบบกระจาย..... 38
รูปที่ 3.1	โครงสร้างข่ายเชื่อมโยงขาของระบบ MC-CDMA ที่มีการประมาณ ช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม..... 43
รูปที่ 3.2	กระบวนการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมในโดเมนความถี่..... 44
รูปที่ 3.3	โครงสร้างเฟรมข้อมูลของระบบ MC-CDMA ขาลงที่มีการประยุกต์ใช้ RLS อัลกอริทึมในการประมาณช่องสัญญาณ..... 48
รูปที่ 3.4	โครงสร้างเฟรมข้อมูลของการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลื้ม เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น..... 50
รูปที่ 3.5	โครงสร้างเฟรมข้อมูลของการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลื้มสองระดับ..... 51
รูปที่ 3.6	การปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลโดย วิธีการเฉลี่ย..... 54
รูปที่ 3.7	การปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลโดย วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น..... 55

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฉ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.8 รูปแบบเฟรมข้อมูลของการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลโดยวิธีการที่นำจากกระบวนการตัดสินใจ.....	57
รูปที่ 3.9 การปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลโดยวิธีการที่นำจากกระบวนการตัดสินใจ.....	57
รูปที่ 4.1 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีอื่น.....	63
รูปที่ 4.2 MSE ของการประมาณช่องสัญญาณในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูล โดย RLS อัลกอริทึม เมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีอื่น ๆ.....	64
รูปที่ 4.3 BER เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิง และสัญลักษณ์ข้อมูล.....	66
รูปที่ 4.4 B E R เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิง และสัญลักษณ์ข้อมูล 5-50.....	68
รูปที่ 4.5 BER เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิง และสัญลักษณ์ข้อมูล 5-100.....	69
รูปที่ 4.6 B E R เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิง และสัญลักษณ์ข้อมูล 10-50.....	69
รูปที่ 4.7 B E R เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิง และสัญลักษณ์ข้อมูล 10-100.....	70
รูปที่ 4.8 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีอื่น กรณีการมอดูเลตสัญญาณแบบ BPSK.....	72
รูปที่ 4.9 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีอื่น กรณีการมอดูเลตสัญญาณแบบ QPSK.....	72
รูปที่ 4.10 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีอื่น กรณีการมอดูเลตสัญญาณแบบ 16 QAM.....	73
รูปที่ 4.11 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลิม ที่ค่าความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 45 Hz.....	74
รูปที่ 4.12 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลิม ที่ค่าความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz.....	74

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.13 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณวิธีต่างๆ ในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของคุณลักษณะข้อมูล	77
รูปที่ 4.14 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณวิธีต่าง ๆ ในกรณีการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของคุณลักษณะข้อมูลโดยวิธี Average	77
รูปที่ 4.15 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณวิธีต่างๆ ในกรณีการปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของคุณลักษณะข้อมูลโดยวิธี Linear Interpolation	78
รูปที่ 4.16 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณวิธีต่างๆ ในกรณีการปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของคุณลักษณะข้อมูลโดยวิธี Decision Direct	78
รูปที่ 4.17 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Linearly increasing forgetting factor ที่ค่าตั้งต้น และค่าสุดท้ายของสัมประสิทธิ์การลืมนั่นเอง ที่ความถี่ ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	81
รูปที่ 4.18 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Linearly increasing forgetting factor ที่ค่าตั้งต้น และค่าสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ การลืมนั่นเอง ที่ความถี่ ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 182 Hz	82
รูปที่ 4.19 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Two step forgetting factor ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	84
รูปที่ 4.20 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Two step forgetting factor ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 182 Hz	84
รูปที่ 4.21 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่ค่าตั้งต้นของสัมประสิทธิ์การลืมนั้นๆ โดยกำหนดให้ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	87
รูปที่ 4.22 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่ค่าอัตราการเรียนรู้ค่าต่างๆ โดยกำหนดให้ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	87
รูปที่ 4.23 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่ค่าอัตราการเรียนรู้ค่าต่างๆ โดยกำหนดให้ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 273 Hz	88

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.24 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลื้ม เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมแบบปกติ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91Hz.....	90
รูปที่ 4.25 MSE ที่ตำแหน่งสัญลักษณ์อ้างอิงของการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลื้ม เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมแบบปกติ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91Hz และ SNR เท่ากับ 20 dB.....	91
รูปที่ 4.26 MSE ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลื้ม เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมแบบปกติ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดค่าต่าง ๆ และ SNR เท่ากับ 24 dB.....	91
รูปที่ 4.27 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ ความถี่ ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	94
รูปที่ 4.28 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Two step forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz.....	94
รูปที่ 4.29 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Linearly increasing forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz.....	95
รูปที่ 4.30 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 91 Hz	95
รูปที่ 4.31 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ ความถี่ ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 273 Hz	96

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.32 รูปที่ 4.32 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Two step forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 273 Hz.....	96
รูปที่ 4.33 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Linearly increasing forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 273 Hz.....	97
รูปที่ 4.34 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดเท่ากับ 273 Hz.....	97
รูปที่ 4.35 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ SNR เท่ากับ 20 dB และมีการปรับเปลี่ยนความถี่ดอปเพลอร์สูงสุด.....	98
รูปที่ 4.36 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Two step forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ SNR เท่ากับ 20 dB และมีการปรับเปลี่ยนความถี่ดอปเพลอร์สูงสุด.....	98
รูปที่ 4.37 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Linearly increasing forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ SNR เท่ากับ 20 dB และมีการปรับเปลี่ยนความถี่ดอปเพลอร์สูงสุด.....	99
รูปที่ 4.38 BER ของกระบวนการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท Adaptive forgetting factor ที่มีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ SNR เท่ากับ 20 dB และมีการปรับเปลี่ยนความถี่ดอปเพลอร์สูงสุด.....	99

บัญชีคำศัพท์

การกระเจิง	Scattering
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	Frequency Division Multiple Access ย่อว่า FDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยเวลา	Time Division Multiple Access ย่อว่า TDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งด้วยรหัส ชนิดลำดับโดยตรง	Direct Sequence-Code Division Multiple Access ย่อว่า DS-CDMA
การวนซ้ำ	Iteration
การตัดสินใจ	Bit Decision
การปรับเท่า	Equalization
การประมาณช่องสัญญาณ	Channel Estimation
การแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง	Discrete Fourier Transform ย่อว่า DFT
การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว	Fast Fourier Transform ย่อว่า FFT
การแผ่	Spread
การแผ่กลับ	Despread
การมอดูเลต	Modulation
สายเชื่อมโยงขาขึ้น	Up Link หรือ Reverse Link
สายเชื่อมโยงขาลง	Down Link หรือ Forward Link
ค่าเฉลี่ยของผลต่างกำลังสองของความ ผิดพลาด	Mean Squared Error ย่อว่า MSE
คลื่นพาห้	Carrier
คลื่นพาห้ย่อย	Subcarrier
คอรีเลเตอร์	Correlator
เครื่องรับชนิดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง ของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด	Minimum Mean Square Error Receiver ย่อว่า MMSE
เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด	Optimum Receiver
เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป	Sub-optimum Receiver

เครื่องรับแบบเชิงเส้น	Linear Receiver
เครื่องรับแบบดีคორิเลต	Decorrelating Detector
เครื่องรับแบบดั้งเดิม	Conventional Receiver หรือ Match Filter
เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น	No-linear Receiver
เครื่องรับแบบหักล้างสัญญาณแทรกสอด อย่างขนาน	Parallel Interference Cancellation ย่อว่า PIC
เครื่องรับแบบหักล้างสัญญาณแทรกสอด อย่างต่อเนื่อง	Successive Interference Cancellation ย่อว่า SIC
เครื่องรับแบบหักล้างสัญญาณแทรกสอด อย่างผสม	Hybrid Interference Cancellation ย่อว่า HIC
เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย	Multuser Detection
ความตั้งฉาก	Orthogonality
ความแปรปรวน	Variance
ชิพ	Chip
ช่องสัญญาณแบบพหุวิถี	Multi-path Channel
ซิงโครนัส	Synchronous
ดิจิทัล	Digital
ดีคอริเลเตอร์	Decorrelator
แถบความถี่ร่วมนัย	Coherence bandwidth
น้ำหนักถ่วง	Weight
ปรากฏการณ์ใกล้-ไกล	Near-far Effect
พหุวิถี	Multipath
เฟดดิ้ง	Fading
เฟดดิ้งแบบเลือกความถี่	Selective Fading
เฟดดิ้งแบบเรียบ	Flat Fading
รหัสแผ่	Spreading Code
รหัสสุ่ม	Random Code
ระยะความผิดพลาด	Error Distance
เวลาประวิง	Delay time
สหสัมพันธ์ข้าม	Cross correlation

สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ	Channel Gain
สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้อื่น	Multiple Access Interference ย่อว่า MAI
สัญญาณแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์	Intersymbol interference ย่อว่า ISI
สัญญาณแทรกสอดระหว่างคลื่นพาย่อย	Intercarrier interference ย่อว่า ICI
สัญญาณนำ	Pilot Signal
สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว	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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย