


เทคนิคที่คงทนต่อค่าความผิดพลาดทางเฟสที่เกิดแบบสุ่มสำหรับปรับปรุงอัลกอริทึมมิวสิกแบ่งลำคลื่นโดยใช้
เงื่อนไขบังคับของการทำอนุพันธ์แบบไม่ขึ้นกับค่าเฟส



นาย พรศักดิ์ หมั่นหาญ

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

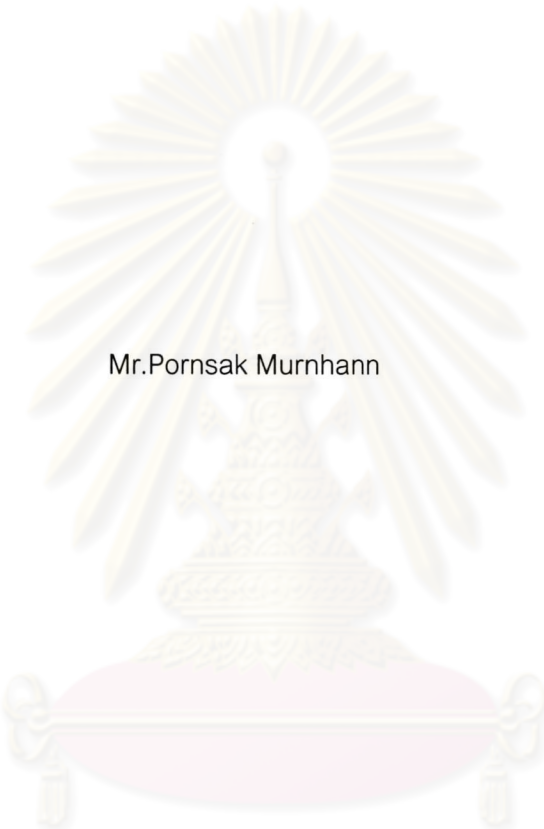
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4934-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

121378393

RANDOM PHASE ERROR ROBUSTNESS TECHNIQUE FOR MODIFICATION BEAM SPACE MUSIC
USING PHASE-INDEPENDENT DERIVATIVE CONSTRAINT



Mr.Pornsak Murnhann

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4934-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เทคนิคที่คงทนต่อค่าความผิดพลาดทางเฟสที่เกิดแบบสุ่มสำหรับปรับ
ปรู้อัลกอริทึมมิกแบ่งลำคลื่นโดยใช้เงื่อนไขบังคับของการทำอนุพันธ์
แบบไม่ขึ้นกับค่าเฟส

โดย

นายพรศักดิ์ หมั่นหาญ


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)


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


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัปทิม อ่างแก้ว)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นิสาชล ตั้งเสี่ยมวิสัย)

4470427321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: DOA ESTIMATOR / DERIVATIVE CONSTRAINT / PHASE-INDEPENDENT DERIVATIVE CONSTRAINT / RANDOM PHASE ERROR / ROBUST CONSTRAINT

PORNSAK MURNHANN : THESIS TITLE. RANDOM PHASE ERROR ROBUSTNESS TECHNIQUE FOR MODIFICATION BEAM SPACE MUSIC USING PHASE-INDEPENDENT DERIVATIVE CONSTRAINT. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Eng, 118 pp. ISBN 974-17-4934-1.

This thesis proposed a modification of Beam space MUSIC algorithm for improved robustness especially in the presence of random phase error. This modification can be achieved by using a Phase-Independent Derivative Constraint.

Computer simulations show that the modified version of Beam space MUSIC algorithm provides significant improvement in terms of the estimated spectral waveform and mean square error of the estimated Direction Of Arrival as compared to the conventional version of Beam space MUSIC algorithm.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department...Electrical Engineering..... Student's signature.....
Field of study...Electrical Engineering..... Advisor's signature.....
Academic year.....2003.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะ อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา ตั้งแต่การร่วมวางแผนงานในการดำเนินงาน การจัดหาทรัพยากร การจัดสัมมนาเฉพาะกลุ่มเกี่ยวกับประเด็นที่เกี่ยวข้องและน่าสนใจ รวมไปถึงการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องของงาน เป็นผลให้ผู้วิจัยสามารถบรรลุวัตถุประสงค์และเกิดความเข้าใจในงานวิจัยได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนั้นผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

บุพการี ผู้เป็นปฐมบทแห่งทุกสิ่งในชีวิต

คุณหญิงณพรัตน์ และ คุณทวีวงศ์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา ผู้ให้โอกาสด้านการศึกษา

โครงการความร่วมมือระหว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และ ภาคเอกชน เพื่อการวิจัยและพัฒนา(The Cooperative Project for Research and Development between Electrical Engineering and Private Sector) ที่สนับสนุนทุนทรัพย์ตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นสถานที่ทำวิจัย รวมถึง เพื่อน ๆ พี่น้องนิสิตที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น รวมถึงคำแนะนำต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	๗
บัญชีคำศัพท์.....	จ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6 นิยามสัญลักษณ์.....	7
2. ทฤษฎีเบื้องต้น.....	14
2.1 แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ในการพิจารณา.....	14
2.2 อัลกอริทึมมิวสิก.....	16
2.3 อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่น.....	19
2.4 ผลกระทบจากค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่มที่มีต่อการทำงานของระบบ สายอากาศ.....	31
2.5 การเพิ่มความคงทนต่อค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่มด้วยหลักการของ อนุพันธ์เลื่อนไขว้บังคับแบบไม่ขึ้นกับค่าเฟส.....	39
2.6 เทคนิคการหาผลเฉลยแบบปริภูมิย่อยคงทนบริบูรณ์.....	44

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.กรรมวิธีที่นำเสนอ.....	49
3.1 การประยุกต์ใช้เงื่อนไขบังคับของการทำอนุพันธ์แบบไม่ขึ้นกับค่าเฟสเข้ากับ อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นเพื่อแก้ปัญหาการรบกวนทางเฟสแบบสุ่ม.....	49
3.2 การวัดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองของมุมที่ประมาณได้จากอัลกอริทึม.....	53
3.2 ก. การหาสมการสำหรับการประมาณค่า MSE ด้วยหลักการประมาณ อนุกรมเทเลอร์อันดับหนึ่งกรณี อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม.....	55
3.2 ข. การหาสมการสำหรับการประมาณค่า MSE ด้วยหลักการประมาณ อนุกรมเทเลอร์อันดับหนึ่งกรณี อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นที่ปรับปรุงด้วย กรรมวิธีที่นำเสนอ.....	57
3.3 การเปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริทึม.....	60
4.ผลการจำลอง.....	65
4.1 การจำลองหารูปแบบสเปกตรัมจากการประมาณ.....	66
4.2 ผลการจำลองหาค่า MSE	73
4.2 ก. การจำลองค่า MSE ต่อค่า μ	74
4.2 ข การจำลองค่า MSE ต่อจำนวนสายอากาศแถวลำดับ.....	81
4.2 ค การจำลองค่า MSE ต่อจำนวนลำคลื่นตั้งฉาก.....	84
4.2 ง การจำลองค่า MSE ต่อระดับ SNR ของสัญญาณตกกระทบ.....	88
4.2 จ การจำลองค่า MSE ต่อค่ามุมตกกระทบของสัญญาณ.....	91
5.สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	97
5.2 อภิปรายผล.....	97
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	105
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์สมการ $P_N(\phi)$	110
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์สมการ $P_N^{(1)}(\phi)$	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	118

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของระบบสายอากาศแก่ง.....	1
รูปที่ 2.1 รูปแบบสัญญาณที่ได้จากการประมาณทิศทาง ของอัลกอริทึมแบบมิวสิก(MUSIC spectral).....	19
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการทำงานของอัลกอริทึมในการประมาณทิศทางแบบแบ่งลำคลื่น.....	20
รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดของเทคนิคการแบ่งคลื่น(Beam Space technique).....	21
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของลำคลื่นตั้งฉาก(Orthogonal Beam).....	21
โดยที่	
ก. กราฟของลำคลื่นตั้งฉากในพิกัดฉาก	
ข. กราฟของลำคลื่นตั้งฉากในพิกัดเชิงขั้ว	
รูปที่ 2.5 แสดงการจัดเรียงสายอากาศในกรณีทั่วไป.....	22
รูปที่ 2.6 แสดงขนาดจากผลการแปลงฟูริเยร์ของฟังก์ชันสนามกระตุ้น.....	23
รูปที่ 2.7 ผลจากการประมาณอย่างหยาบเพื่อหามุมตกกระทบของสัญญาณแบบมุมกว้าง ภายในช่วง 0-180 องศา ($\phi_0 = 0$ องศา).....	27
รูปที่ 2.8 ผลจากการประมาณอย่างละเอียดเพื่อหามุมตกกระทบของสัญญาณ ภายในช่วง 0-30 องศา ($\phi_0 = 0$ องศา).....	28
รูปที่ 2.9 ผลจากการประมาณอย่างละเอียดเพื่อหามุมตกกระทบของสัญญาณ ภายในช่วง 31-50 องศา ($\phi_0 = 31$ องศา).....	28
รูปที่ 2.10 ผลจากการประมาณอย่างละเอียดเพื่อหามุมตกกระทบของสัญญาณ ภายในช่วง 70-90 องศา ($\phi_0 = 70$ องศา).....	29
รูปที่ 2.11 แผนภูมิสายงานแสดงกระบวนการที่ใช้หาจำนวนลำคลื่นตั้งฉากที่เหมาะสมที่สุด.....	30
รูปที่ 2.12 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการตีความทิศทางของอัลกอริทึมมิวสิก ระหว่างสภาวะที่สายอากาศเป็นอุดมคติ กับ สภาวะที่เกิดค่าความผิดพลาดทางเฟส แบบสุ่มที่ $\mu = 0.1$ ก.....	35
รูปที่ 2.13 แสดงผลการเปรียบเทียบรูปแบบการแผ่รังสีระหว่าง สภาวะที่สายอากาศเป็นอุดมคติ กับ สภาวะที่เกิดค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่มที่ $\mu = 0.1$	36

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของระดับ SNR ของระบบเทียบกับจำนวน
สายอากาศที่เพิ่มเข้าไป เมื่อพิจารณาในกรณีไม่มีผลของค่า
ความผิดพลาดทางเฟสและกรณีที่มีผลของค่าความ
ผิดพลาดทางเฟส ที่ $\mu = 0.1\lambda$ และ 0.01λ 39

รูปที่ 2.15 แสดงการเพิ่มความคงทนต่อค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่มโดยอาศัยเงื่อนไข
บังคับความคงทนทางเฟส 40

รูปที่ 2.16 แสดงแนวคิดของเทคนิคการหาผลเฉลี่ยแบบปริภูมิย่อยคงทนบริบูรณ์ 45

รูปที่ 2.17 รูปแบบสัญญาณที่ได้จากการประมาณทิศทางของอัลกอริทึมมิวสิกดั้งเดิม
เมื่อไม่มีผลจากค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่ม 47

รูปที่ 2.18 รูปแบบสัญญาณที่ได้จากการประมาณทิศทางของอัลกอริทึมมิวสิกดั้งเดิม
เมื่อมีผลจากค่าความผิดพลาดทางเฟส ที่ $\mu = 0.01$ 47

รูปที่ 2.19 รูปแบบสัญญาณที่ได้จากการประมาณทิศทางของอัลกอริทึมมิวสิกที่ดีขึ้นเมื่อมีการ
ประยุกต์ใช้เทคนิคการหาผลเฉลี่ยแบบปริภูมิย่อยคงทนบริบูรณ์ ที่ $\mu = 0.01$ 47

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของอัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นที่มีความทนทาน
ต่อค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่ม 50

รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิสายงานของกระบวนการการวัดค่า MSE
ด้วยหลักการประมาณของอนุกรมเทเลอร์อันดับหนึ่ง 60

รูปที่ 4.1 แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลล่วงหน้ากรณีการประมาณอย่างหยาบ 67
โดยที่
ก.แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลล่วงหน้าจาก
อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม
ข.แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลล่วงหน้าจาก
อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นแบบที่ปรับปรุง

รูปที่ 4.2 ผลการจำลองแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของสเปคตรัมที่ได้กรณี
การประมาณอย่างหยาบ ระหว่าง อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม
กับ อัลกอริทึมแบบที่เสนอให้ปรับปรุง 67

สารบัญญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3	แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลลวงหน้ากรณี การประมาณอย่างละเอียด.....	68
	โดยที่	
	ก.แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลลวงหน้าจาก อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม	
	ข.แสดงการแผ่รังสีของภาคการประมวลผลลวงหน้าจาก อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นแบบที่เสนอให้ปรับปรุง	
รูปที่ 4.4	ผลการจำลองแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของสเปคตรัมที่ได้กรณี การประมาณอย่างละเอียด ระหว่าง อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม กับ อัลกอริทึมแบบที่เสนอให้ปรับปรุง	69
รูปที่ 4.5	ผลการจำลองเพิ่มเติมแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของสเปคตรัมที่ได้ กรณี การประมาณอย่างละเอียด ระหว่าง อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม กับ อัลกอริทึมแบบที่เสนอให้ปรับปรุง ภายใต้ข้อกำหนดที่คล้ายกับตารางที่ 4.2 แต่เปลี่ยนให้ $\mu = 0.03$	70
รูปที่ 4.6	ผลการจำลองเพิ่มเติมแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของสเปคตรัมที่ได้ กรณี การประมาณอย่างละเอียด ระหว่าง อัลกอริทึมมิวสิกแบ่งคลื่นดั้งเดิม กับ อัลกอริทึมแบบที่เสนอให้ปรับปรุง ภายใต้ข้อกำหนดที่คล้ายกับตารางที่ 4.2 แต่เปลี่ยนให้ $\mu = 0.05$	71
รูปที่ 4.7	ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่า μ	75
รูปที่ 4.8	ผลการจำลองเพิ่มเติมเพื่อขยายผลเบื้องต้น เกี่ยวกับผลกระทบจาก จำนวนสายอากาศที่ใช้ ที่มีต่อการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งแสดง ในรูปความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่า μ โดยเปรียบเทียบที่ จำนวนสายอากาศ 20 และ 30 ดัน ตามลำดับ	77
รูปที่ 4.9	ผลการจำลองเพิ่มเติมเพื่อขยายผลเบื้องต้น เกี่ยวกับผลกระทบจาก จำนวนลำคลื่นตั้งฉากที่ใช้ ที่มีต่อการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งแสดง ในรูปความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่า μ โดยเปรียบเทียบที่ จำนวนลำคลื่นตั้งฉาก 10 และ 15 ลำคลื่น ตามลำดับ	77

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ผลการจำลองเพิ่มเติมเพื่อขยายผลเบื้องต้น เกี่ยวกับผลกระทบจากระดับ SNR ของสัญญาณตกกระทบ ที่มีต่อการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งแสดงในรูปความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่า μ โดยเปรียบเทียบที่ SNR =20 และ 30 dB ตามลำดับ.....78

รูปที่ 4.11 ผลการจำลองเพิ่มเติมเพื่อขยายผลเบื้องต้น เกี่ยวกับผลกระทบจากมุมตกกระทบของสัญญาณ ที่มีต่อการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งแสดงในรูปความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่า μ โดยเปรียบเทียบที่มุมตกกระทบเป็น 15 และ 20 องศา ตามลำดับ.....78

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะของรูปแบบการแผ่รังสีของสายอากาศแถวลำดับเมื่อสายอากาศแถวลำดับมีคุณสมบัติเป็นอุดมคติ ภายใต้ข้อกำหนดของตารางที่ 4.3 เพื่อใช้ประกอบความเข้าใจเกี่ยวกับค่ามุมตกกระทบของสัญญาณที่มีต่อค่า MSE80

รูปที่ 4.13 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อจำนวนสายอากาศแถวลำดับ เปรียบเทียบเมื่อ $\mu =0.03$ และ $\mu =0.05$ 82

รูปที่ 4.14 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อจำนวนสายอากาศแถวลำดับ เปรียบเทียบที่ $\mu =0.03$ และ $\mu =0.05$ เมื่อให้จำนวนลำคลื่นตั้งฉากเป็น 10 และ 20 ลำคลื่น..... 83

รูปที่ 4.15 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อจำนวนลำคลื่นตั้งฉาก.....85

รูปที่ 4.16 ผลการจำลองเพิ่มเติมเพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการบรรเทาปัญหา ค่าความผิดพลาดทางเฟสแบบสุ่มที่ตัวสายอากาศ โดยการเพิ่มจำนวนลำคลื่นตั้งฉาก เปรียบเทียบเมื่อ $\mu =0.03$ และ $\mu =0.05$ จำนวนสายอากาศ 20 และ 30 ต้น.....86

รูปที่ 4.17 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อระดับ SNR ของสัญญาณตกกระทบ.....89

รูปที่ 4.18 ผลการจำลองเพื่อพิจารณาขยายผลเบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่ามุมตกกระทบ เปรียบเทียบที่มุมตกกระทบ=15 และ 20 องศา เมื่อให้ $\mu =0.03$90

รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบการแผ่รังสีของสายอากาศแถวลำดับที่มีผลจากประเด็น เอนไฟร์.....91

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่ามุมตกกระทบสัญญาณ เมื่อ $\mu = 0.03$ และ $\mu = 0.05$	92
รูปที่ 4.21 แสดงรูปแบบการแผ่รังสีของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อ $\mu = 0.03$	93
รูปที่ 4.22 แสดงรูปแบบการแผ่รังสีของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อ $\mu = 0.05$	93
รูปที่ 4.23 ผลการจำลองแสดงความสัมพันธ์ของค่า MSE ต่อค่ามุมตกกระทบสัญญาณ เมื่อ $\mu = 0.03$ และ $\mu = 0.00001$	94
รูปที่ 4.24 แสดงรูปแบบการแผ่รังสีของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อ $\mu = 0.00001$	95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของการจำลองรูปคลื่นของสเปคตรัมที่ได้ กรณีการประมาณอย่างหยาบ ระหว่าง อัลกอริทึมมิกซ์แอนด์แมทช์แบบดั้งเดิม กับ อัลกอริทึมมิกซ์แอนด์แมทช์แบบปรับปรุง.....	66
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของการจำลองรูปคลื่นของสเปคตรัมที่ได้ กรณีการประมาณอย่างละเอียด ระหว่าง อัลกอริทึมมิกซ์แอนด์แมทช์แบบดั้งเดิม กับอัลกอริทึมมิกซ์แอนด์แมทช์แบบปรับปรุง.....	68
ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของการจำลองค่า MSE ต่อค่า μ	74
ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดของการจำลองค่า MSE ต่อจำนวนสายอากาศแถวลำดับ	81
ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของการจำลองค่า MSE ต่อจำนวนลำคลื่นตั้งฉาก.....	84
ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดของการจำลองค่า MSE ต่อระดับ SNR ของสัญญาณตกกระทบ	88
ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของการจำลองค่า MSE ต่อค่ามุมตกกระทบของสัญญาณ.....	92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย