การประเมินการปรับขนาดช่วงก้าวของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด สำหรับการลดการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

นายสมหวัง ทิพยเทอดธนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-933-7

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19235628

EVALUATION OF STEP-SIZE ADJUSTMENTS OF THE LEAST-MEAN-SQUARE ALGORITHM FOR REDUCING ACOUSTIC FEEDBACK IN HEARING AIDS

MR. SOMWANG THIPPHAYATHETTHANA

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 974-333-933-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินการปรับขนาดช่วงก้าวของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดสำหรับการลดการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง
โดย	นายสมหวัง ทิพยเทอดธนา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

สมหวัง ทิพยเทอดธนา : การประเมินการปรับขนาดช่วงก้าวของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด สำหรับการลดการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง (EVALUATION OF STEP-SIZE ADJUSTMENTS OF THE LEAST-MEAN-SQUARE ALGORITHM FOR REDUCING ACOUSTIC FEEDBACK IN HEARING AIDS) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง, 86 หน้า. ISBN 974-333-933-7.

การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟังเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากเป็นสาเหตุของ เสียงหอนที่รบกวนผู้ใช้เครื่องช่วยฟังอย่างมาก วิธีการลดการป้อนกลับทางเสียงที่มีประสิทธิผลและใช้กันโดยทั่วไป คือการใช้วงจรกรองซึ่งอาศัยขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดในการปรับค่าพารามิเตอร์ คุณสมบัติการลู่เข้าของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่าช่วงก้าวเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์หาขนาดช่วงก้าวแปรค่าได้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด ในแง่ที่เป็นขนาดช่วงก้าวที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินลดลงเร็วที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่าขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับ ผลต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่เวลาใด ๆ กับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ อาศัยผลจากการวิเคราะห์นี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีใหม่ซึ่งเป็นการประมาณขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเวลาแทนค่าเฉลี่ยทางสถิติ และได้ประเมินประสิทธิภาพของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีใหม่ที่เสนอนี้ เทียบกับวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีอื่น ๆ อีก 5 วิธี โดยการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ในปัญหาการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง เน้นในสถานการณ์ที่คุณสมบัติของเส้นทางป้อนกลับและกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าต่าง ๆ กัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีใหม่มีความเหมาะสมกับ ปัญหาการลดการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟังมากกว่าวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีอื่น ๆ

ภาควิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า....	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา ..2542.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

SOMWANG THIPPHAYATHETTHANA : EVALUATION OF STEP-SIZE ADJUSTMENTS OF THE LEAST-MEAN-SQUARE ALGORITHM FOR REDUCING ACOUSTIC FEEDBACK IN HEARING AIDS. THESIS ADVISOR : CHEDSADA CHINRUNGRUENG, Ph.D. 86 pp. ISBN 974-333-933-7.

Acoustic feedback in hearing aids is an important problem since it causes screeching sounds, which are greatly annoying to hearing aid users. An effective way for reducing the acoustic feedback signal is to employ an adaptive filter whose coefficients are adapted by the Least-Mean-Square algorithm. The performance of the Least-Mean-Square algorithm crucially depends on a parameter called *step-size*. In this research we analyze the characteristics of the Least-Mean-Square algorithm to find the optimum variable step-size that enables the excess mean-squared error to decrease with the fastest rate. The result of the analysis indicates that the optimum variable step-size is defined by the deviation of *the statistical mean of the instantaneous squared error* from *the optimum squared error*. According to this result, we thus propose a new step-size adjustment method that approximates the optimum step-size by using the running average of the squared error instead of its statistical mean. We evaluate the newly proposed method of step-size adjustment compared with five other methods by computer simulation in several situations with varying input power and feedback channel characteristics. The results from the simulations reveal that the new method outperforms the other methods in many cases.

ภาควิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า....	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา ..2542.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ และอาจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ ที่ช่วยผู้วิจัยแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการใช้โปรแกรม LaTeX เพื่อเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุน จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และพี่ ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลืออย่างดี และท้ายที่สุดขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

2 การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง 5

2.1 เครื่องช่วยฟัง 5

2.2 การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง 7

2.3 แบบจำลองของปัญหาการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง 10

2.3.1 แบบจำลองของเส้นทางป้อนกลับ 10

2.3.2 สัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานเครื่องช่วยฟัง 13

3 การปรับขนาดช่วงก้าวของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด 17

3.1 วงจรกรองปรับตัว 17

3.1.1 วงจรกรอง 18

3.1.2 ส่วนปรับค่าพารามิเตอร์ 19

3.2 วิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ของขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด 21

3.2.1 Normalized step-size 21

3.2.2 Delta-Bar-Delta 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2.3 Squared Error 23
3.2.4 Cross Correlation 24
3.2.5 Uniform Variance 24
3.3 การหาขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด 25
3.4 วิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีใหม่ 32
3.5 การเปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณของวิธีปรับขนาดช่วงก้าว 33

4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ 40
4.1 การทดสอบที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ 41
4.2 การทดสอบที่ 2 ผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง ต่อประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ 57
4.3 การทดสอบที่ 3 ผลของการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับต่อประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ 64
4.4 สรุป และ วิเคราะห์ผลการทดสอบ 69

5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ 81
5.1 สรุปผลการวิจัย 81
5.2 ข้อเสนอแนะ 82

รายการอ้างอิง 85

ประวัติผู้วิจัย 86

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณในการปรับขนาดช่วงก้าวด้วยวิธีต่าง ๆ 37
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการปรับขนาดช่วงก้าว และความเร็วต่ำที่สุดของวงจรประมวลผลที่วิธีปรับขนาดช่วงก้าวแต่ละวิธีต้องการ 38

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีความดังปกติ (เสียงดังปกติ) 75
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำ (เสียงเบา) 76
ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำมาก (เสียงเงียบ) 76
ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงเบาลง) . . 77
ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่เส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป 78

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 รูปเครื่องช่วยฟัง 3 แบบ 1

รูปที่ 2.1 แผนภาพกล่องของเครื่องช่วยฟังที่มี N ช่องสัญญาณ 6
รูปที่ 2.2 การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง 7
รูปที่ 2.3 กราฟผลตอบเชิงความถี่ของเส้นทางป้อนกลับที่มีครบทั้งขนาดและเฟส 11
รูปที่ 2.4 กราฟผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับ 12
รูปที่ 2.5 แผนภาพกล่องของแบบจำลองของปัญหาแบบที่มีการปรับตัวอย่างต่อเนื่อง . . 13
รูปที่ 2.6 แผนภาพกล่องของแบบจำลองของปัญหาแบบที่มีการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่อง 13
รูปที่ 2.7 สัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ และความคลาดเคลื่อนของวงจรกรองปรับตัว $e(n)$ 16
รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $S(f)$ และสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องช่วยฟัง $O(f)$ 16

รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของวงจรกรองปรับตัว 18
รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของวงจรกรองอันดับ M 19
รูปที่ 3.3 ผลของขนาดช่วงก้าวต่อประสิทธิภาพในการปรับตัวของวงจรกรอง 20
รูปที่ 3.4 เวลาที่ใช้ในการปรับขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ . . . 39
รูปที่ 3.5 ความเร็วต่ำที่สุดของวงจรประมวลผลที่วิธีปรับขนาดช่วงก้าวแต่ละวิธีต้องการ 39

รูปที่ 4.1 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 43
รูปที่ 4.2 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 43
รูปที่ 4.3 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 44
รูปที่ 4.4 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 44
รูปที่ 4.5 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 45

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 45
รูปที่ 4.7 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 46
รูปที่ 4.8 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1 46
รูปที่ 4.9 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 48
รูปที่ 4.10 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 48
รูปที่ 4.11 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 49
รูปที่ 4.12 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 49
รูปที่ 4.13 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 50
รูปที่ 4.14 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 50
รูปที่ 4.15 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 51
รูปที่ 4.16 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1 51
รูปที่ 4.17 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 53
รูปที่ 4.18 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 53
รูปที่ 4.19 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 54

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 54
รูปที่ 4.21 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 55
รูปที่ 4.22 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 55
รูปที่ 4.23 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 56
รูปที่ 4.24 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01 56
รูปที่ 4.25 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 58
รูปที่ 4.26 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 58
รูปที่ 4.27 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 59
รูปที่ 4.28 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 59
รูปที่ 4.29 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 60
รูปที่ 4.30 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 60
รูปที่ 4.31 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 61
รูปที่ 4.32 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 61
รูปที่ 4.33 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.34 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 62
รูปที่ 4.35 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1 63
รูปที่ 4.36 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01 63
รูปที่ 4.37 ผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับหลังจากเวลา $n = 1000$ 64
รูปที่ 4.38 ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป 65
รูปที่ 4.39 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป . . 65
รูปที่ 4.40 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป . . 66
รูปที่ 4.41 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป 66
รูปที่ 4.42 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป . . . 67
รูปที่ 4.43 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป . . . 67
รูปที่ 4.44 ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป 68
รูปที่ 4.45 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีความดังปกติ (เสียงดังปกติ) 69
รูปที่ 4.46 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำ (เสียงเบา) 71
รูปที่ 4.47 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำมาก (เสียงเงียบ) 71
รูปที่ 4.48 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงดังขึ้น) 72
รูปที่ 4.49 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงเบาลง) 72
รูปที่ 4.50 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป 73

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเป็นเสียงพูดจริง 80