บทที่ 4

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ วิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ

ในบทนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัว และขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ ด้วยวิธี CC, วิธี DBD, วิธี NMS, วิธี SE, วิธี UNI, วิธี DSE, และวิธี OPT (ซึ่งอธิบายแนวคิดและวิธีการปรับขนาดช่วงก้าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในการทดสอบจะใช้วิธี OPT เป็นตัวเปรียบเทียบกับวิธีการปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ และแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือแตกต่างจากวิธี OPT มากน้อยแค่ไหน) โดยใช้การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ตามแบบจำลองที่แสดงไว้ในบทที่ 2

การทดสอบจะมีด้วยกัน 3 การทดสอบ การทดสอบแรกจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัว และขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ตามวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น โดยกำหนดให้กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าแตกต่างกัน 3 ค่า การทดสอบที่สองจะเปรียบเทียบความไวของค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง โดยจะพิจารณาจากประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่ทำงานขณะที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าคงตัวค่าหนึ่ง แต่เลือกใช้ค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังค่าอื่น และการทดสอบสุดท้ายจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัวและขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ตามวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อเส้นทางป้อนกลับของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป โดยทุกการทดสอบจะใช้สัญญาณสุ่มที่แตกต่างกัน 100 ชุด ซึ่งผลการทดสอบที่แสดงไว้จะเป็นค่าเฉลี่ยทางสถิติของข้อมูลทั้ง 100 ชุด

4.1 การทดสอบที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ

จุดประสงค์ของการทดสอบนี้คือ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัว และขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ตามวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ คือสภาวะที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าปกติ (ช่วงเสียงดังปกติ), สภาวะที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าต่ำ (ช่วงเสียงเบา), และสภาวะที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าต่ำมาก (ช่วงเสียงเงียบ) ทั้งนี้ การเลือกใช้ค่าคงตัวต่าง ๆ ของวิธีปรับขนาดช่วงก้าว และค่าขนาดช่วงก้าวคงตัว จะทำโดยการสุ่มเลือกแล้วทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของวงจรกรองหลาย ๆ ครั้ง และเลือกใช้ค่าที่ให้ผลที่ดีที่สุดมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรกรอง ที่ทำงานในสภาวะที่กำหนดไว้ดังนี้

กำหนดให้สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเป็นสัญญาณสุ่มแบบ white Gaussian มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าความแปรปรวนเป็น 1, 0.1 และ 0.01 โดยสมมติให้กำลัง (ค่าความแปรปรวน) ของสัญญาณขาเข้ามีค่าเป็น 1 แทนช่วงที่สัญญาณขาเข้ามีระดับความดังปกติ, กำลังของสัญญาณขาเข้ามีค่าเป็น 0.1 แทนช่วงที่เสียงเบา และกำลังของสัญญาณขาเข้ามีค่าเป็น 0.01 เป็นช่วงที่เสียงเงียบ สัญญาณสุ่มที่ป้อนให้กับวงจรกรองเพื่อช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองเป็นสัญญาณสุ่มแบบ white Gaussian มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าความแปรปรวนมีค่าเป็น 0.1 โครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟังเป็นวงจรขยายอัตราขยายคงตัวเท่ากับ 10 พารามิเตอร์ของวงจรกรองอันดับ 32 ที่ใช้แทนเส้นทางป้อนกลับมีค่าคงที่เท่ากับผลตอบอิมพัลส์ที่หาไว้ในบทที่ 2 โดยการทดสอบแบ่งเป็น 3 ตอนตามกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังดังนี้

ตอนที่ 1 กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเท่ากับ 1

วงจรกรองปรับตัวอันดับ 32 มีค่าช่วงก้าว

ค่าคงตัวเท่ากับ 0.001 และ 0.0005

ปรับค่าตามวิธี CC โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$$\mu_{max} = 0.0012, \qquad \alpha = 0.6$$

ปรับค่าตามวิธี DBD โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$$\phi = 0.1, \qquad k = 0.00005$$

$\alpha = 0.9999$

ปรับค่าตามวิธี NMS โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$a = 0.0002, \qquad b = 0.2$

$\alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี SE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\alpha = 0.995, \qquad \gamma = 0.000004$

$\mu_{max} = 0.002, \qquad \mu_{min} = 0$

ปรับค่าตามวิธี UNI โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\mu_{max} = 0.014, \qquad \alpha = 0.9995$

ปรับค่าตามวิธี DSE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\mu_{max} = 0.001, \qquad \alpha = 0.99$

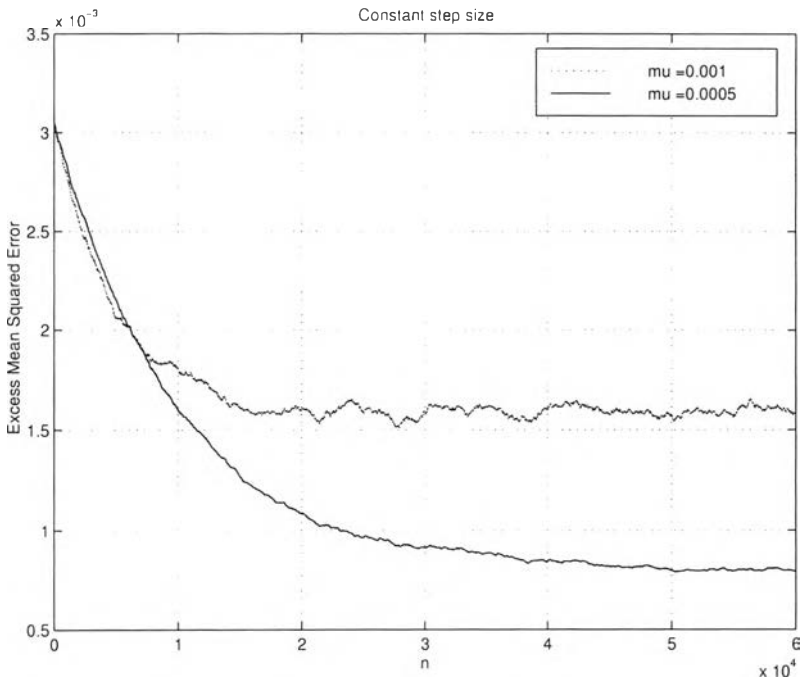
$\beta = 0.9999$

ผลการทดสอบ

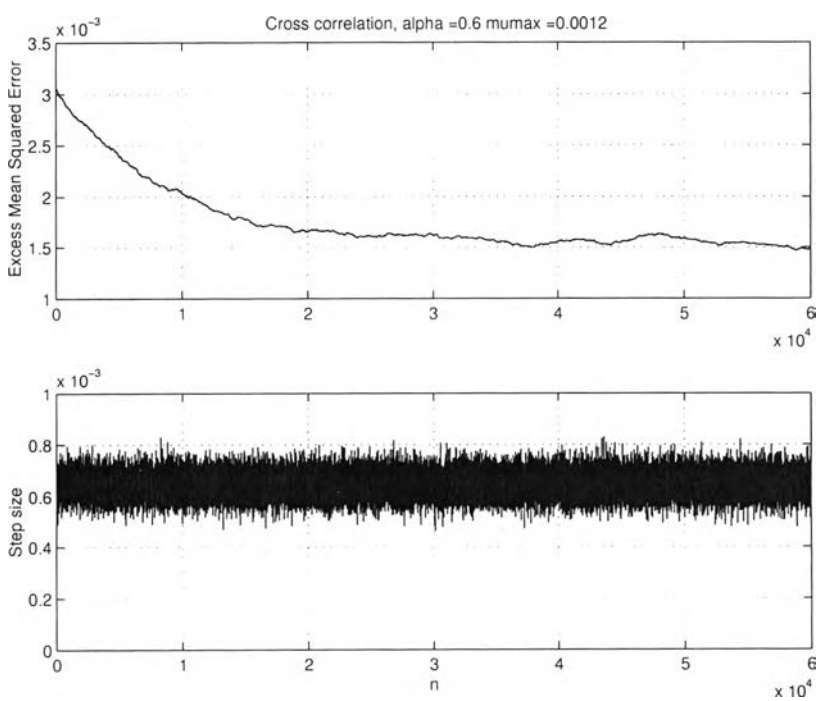
การแสดงผลการทดสอบจะแสดงด้วยกราฟของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย แต่เนื่องจากส่วนหนึ่งของความคลาดเคลื่อนเป็นสัญญาณสุ่มที่แทนสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง ซึ่งมีขนาดใหญ่จนทำให้ กราฟของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยแกว่งค่าจนไม่สามารถอ่านกราฟได้ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่พูดถึงต่อไปจะหมายความถึงความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินซึ่งมีนิยามเช่นเดียวกันกับสมการที่ (3.14) ดังนี้

$$\varepsilon(n) = \rho_{pn} \left\langle (\vec{w}(n) - \vec{w}_{opt})^{\mathrm{T}} \cdot (\vec{w}(n) - \vec{w}_{opt}) \right\rangle$$

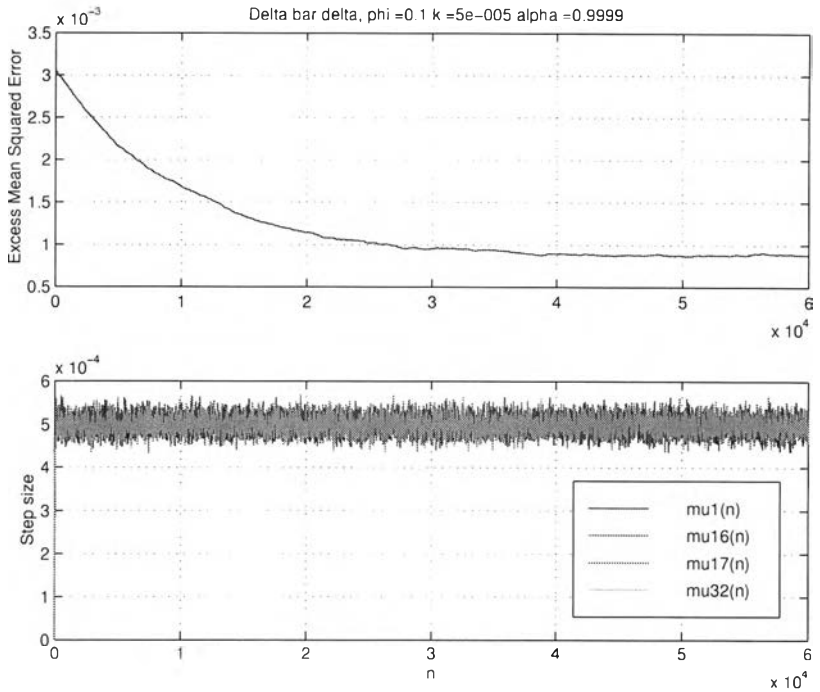
เมื่อ $\varepsilon(n)$ คือ ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน (excess mean-squared-error) ที่เวลา n, ρ_{pn} คือ กำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง และในที่นี้ $\vec{w}_{opt}$ คือ เวกเตอร์ของผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับที่หาไว้ในบทที่ 2 และเครื่องหมาย $\langle \cdot \rangle$ ในที่นี้หมายถึงการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบซึ่งทดสอบซ้ำด้วยสัญญาณสุ่มที่แตกต่างกัน 100 ชุด



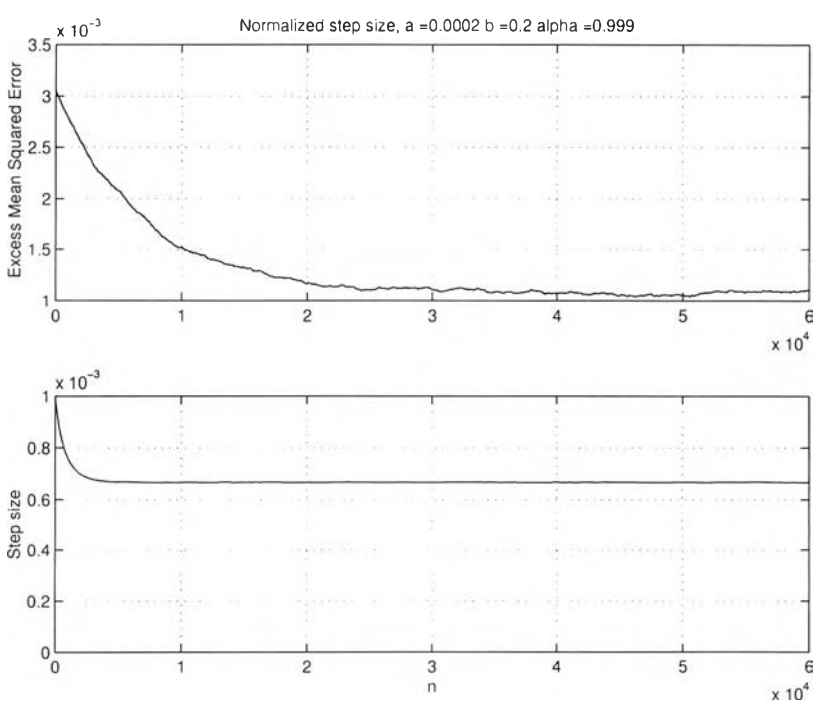
รูปที่ 4.1: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



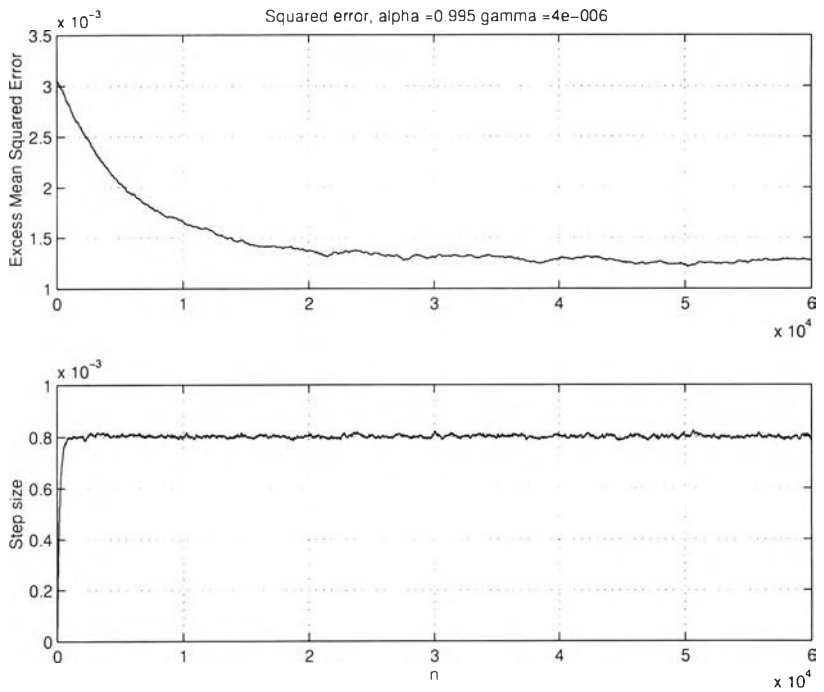
รูปที่ 4.2: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



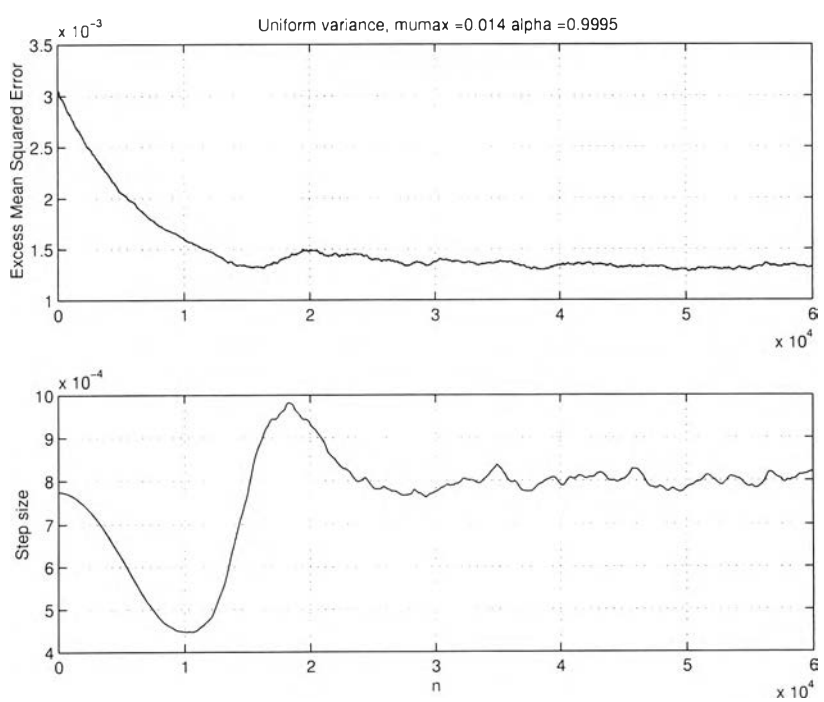
รูปที่ 4.3: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



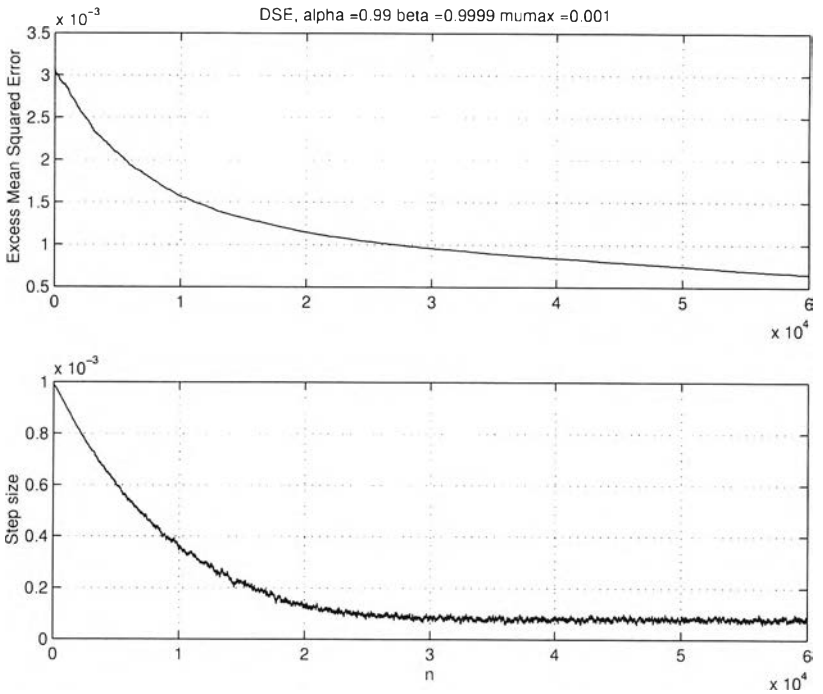
รูปที่ 4.4: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



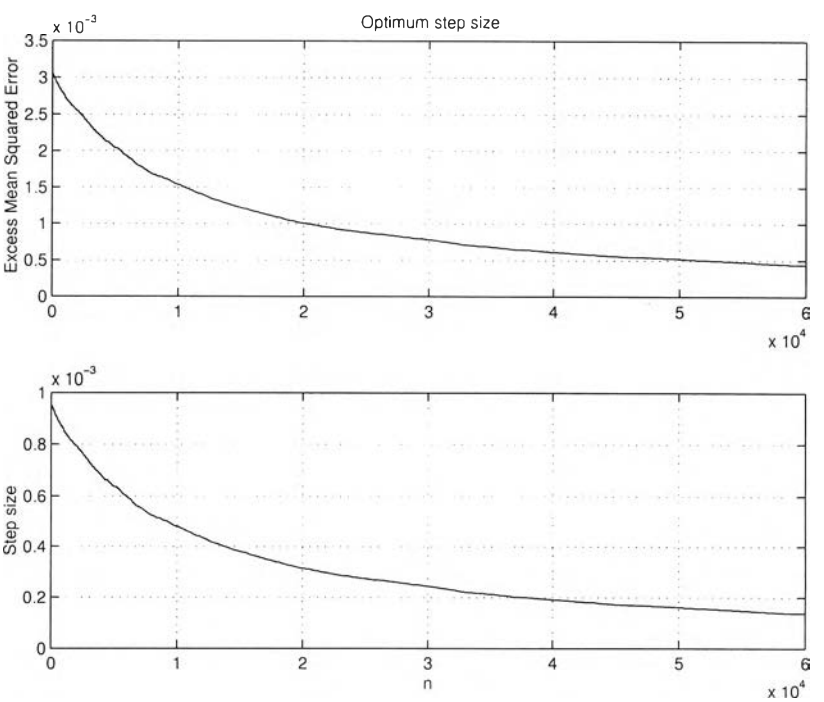
รูปที่ 4.5: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



รูปที่ 4.6: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



รูปที่ 4.7: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1



รูปที่ 4.8: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 1

ตอนที่ 2 กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเท่ากับ 0.1

วงจรกรองปรับตัวอันดับ 32 มีค่าช่วงก้าว

ค่าคงตัวเท่ากับ 0.01 และ 0.005

ปรับค่าตามวิธี CC โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\mu_{max} = 0.02, \qquad \alpha = 0.6$

ปรับค่าตามวิธี DBD โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\phi = 0.1, \qquad k = 0.0004$

$\alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี NMS โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$a = 0.003, \qquad b = 0.033$

$\alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี SE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\alpha = 0.95, \qquad \gamma = 0.002$

$\mu_{max} = 0.01, \qquad \mu_{min} = 0$

ปรับค่าตามวิธี UNI โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

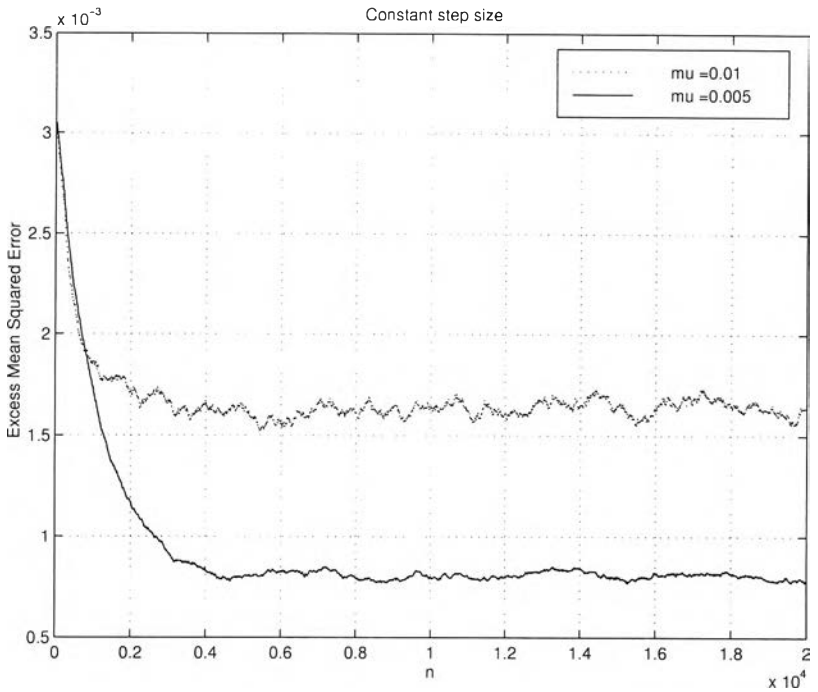
$\mu_{max} = 0.1, \qquad \alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี DSE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

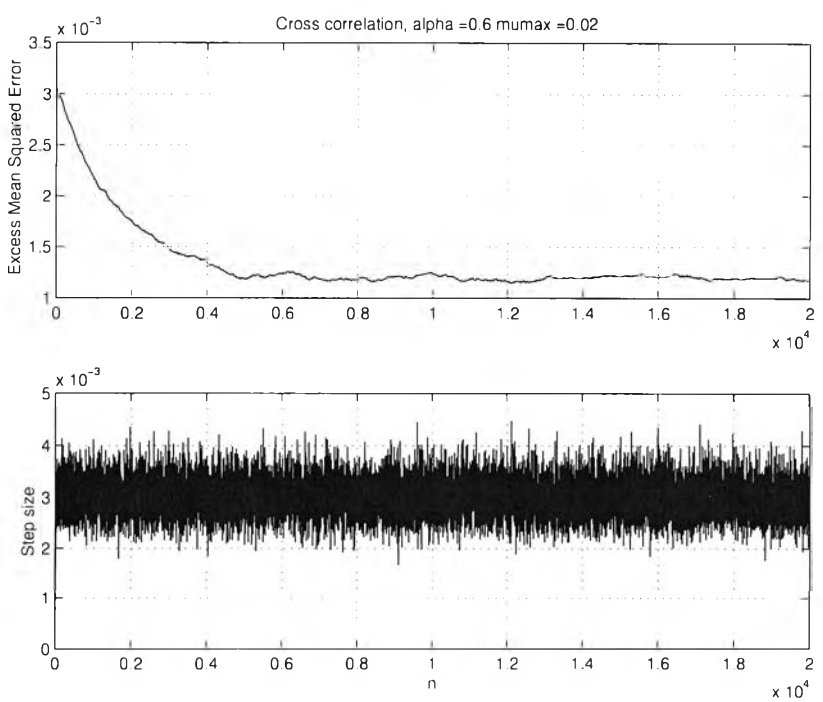
$\mu_{max} = 0.005, \qquad \alpha = 0.99$

$\beta = 0.9999$

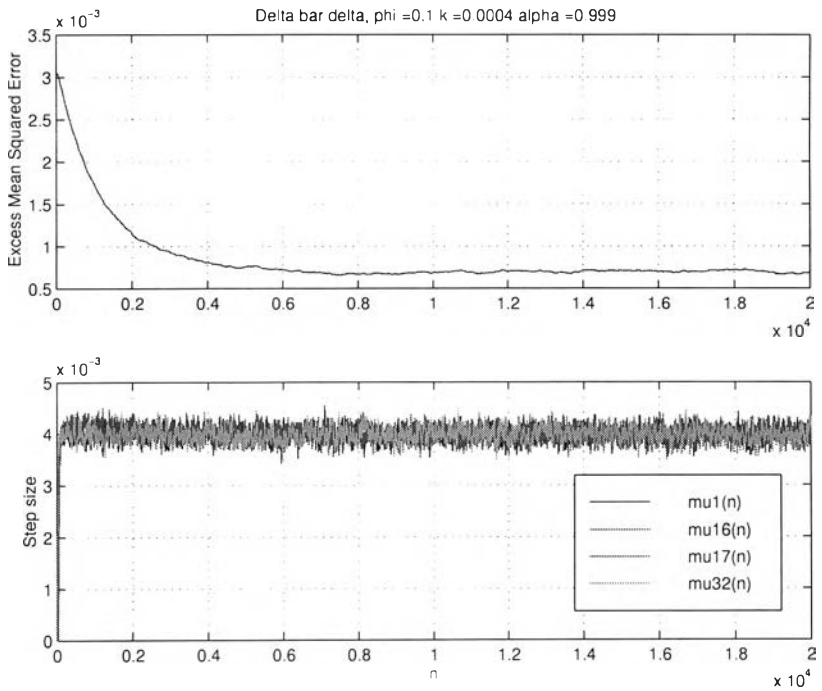
ผลการทดสอบ



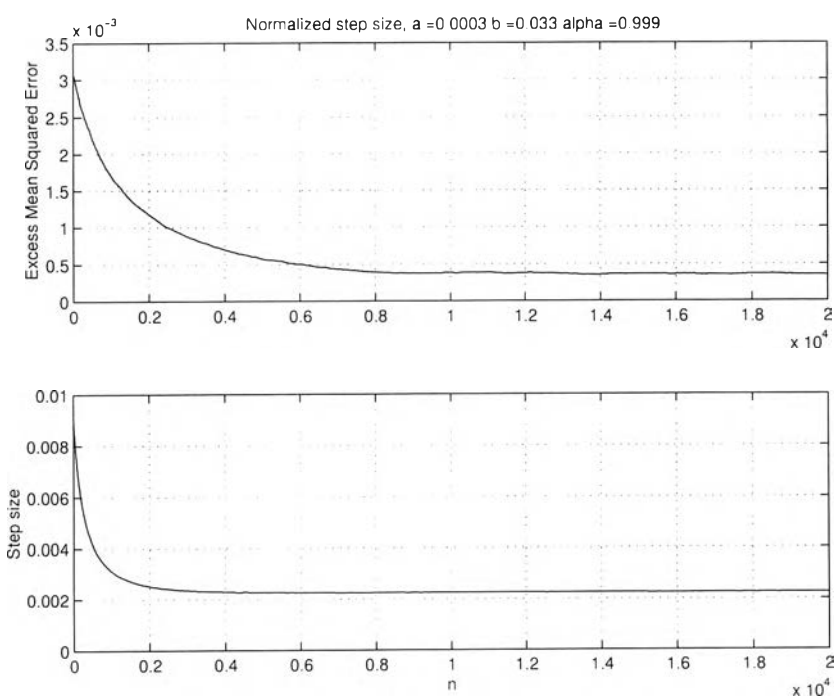
รูปที่ 4.9: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



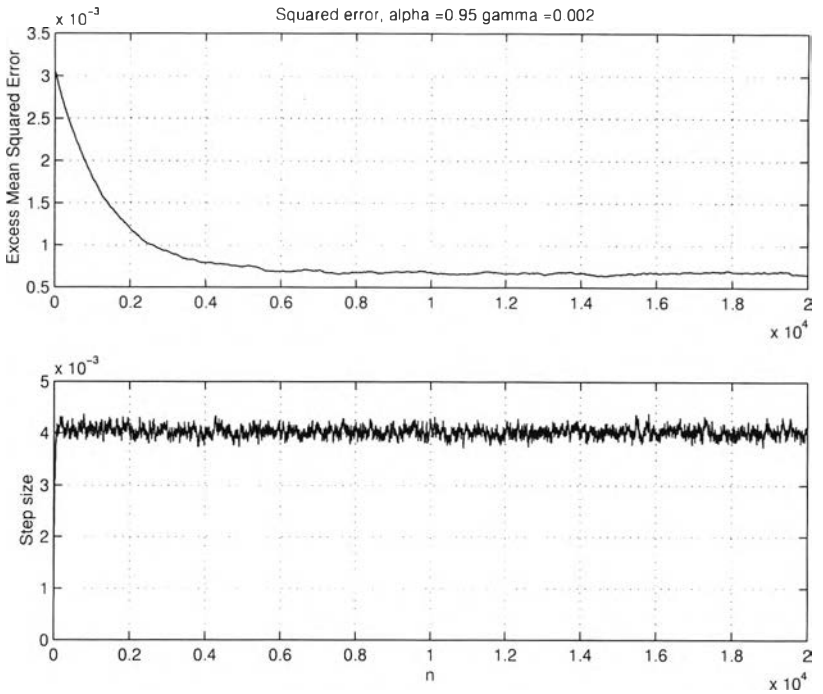
รูปที่ 4.10: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



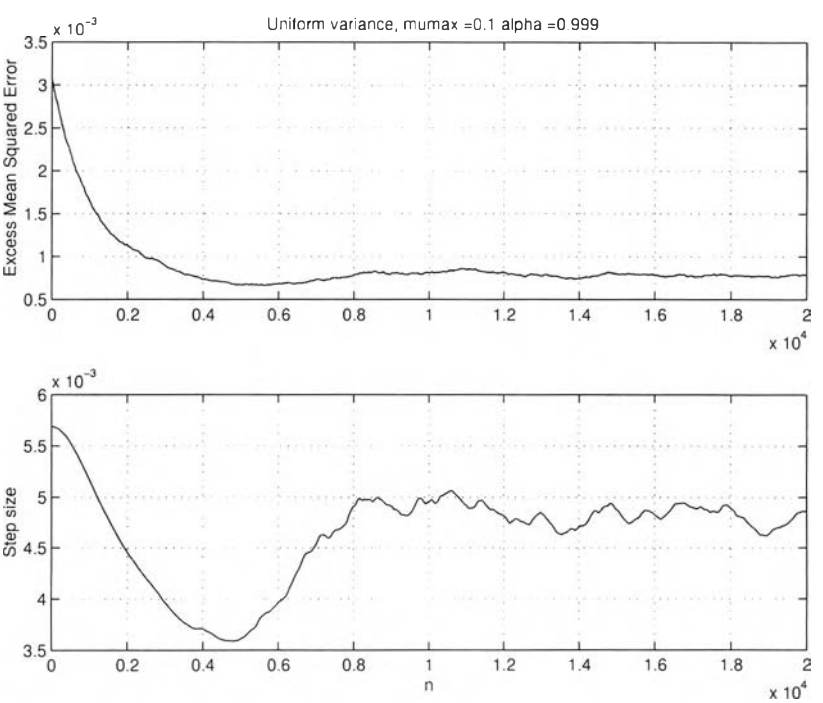
รูปที่ 4.11: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



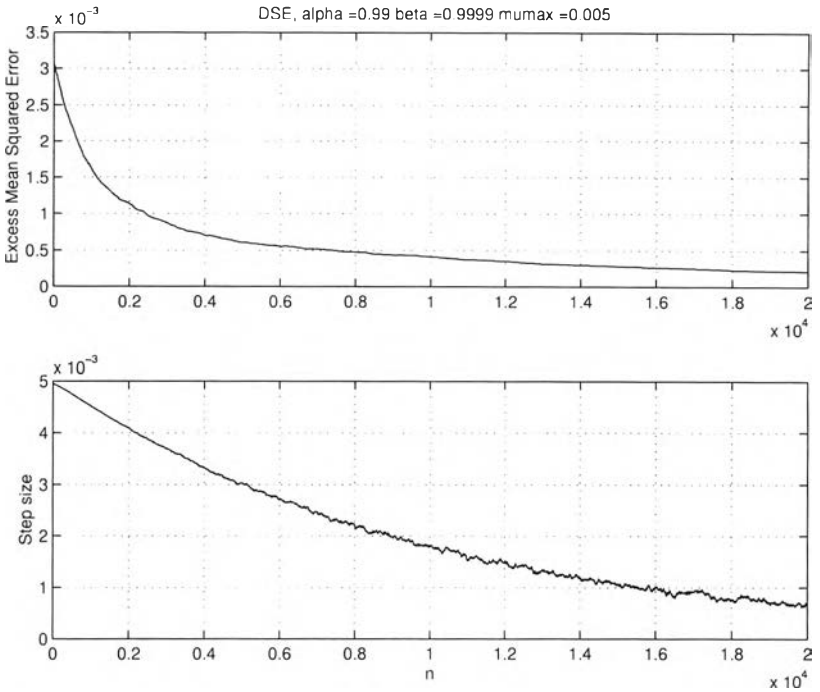
รูปที่ 4.12: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



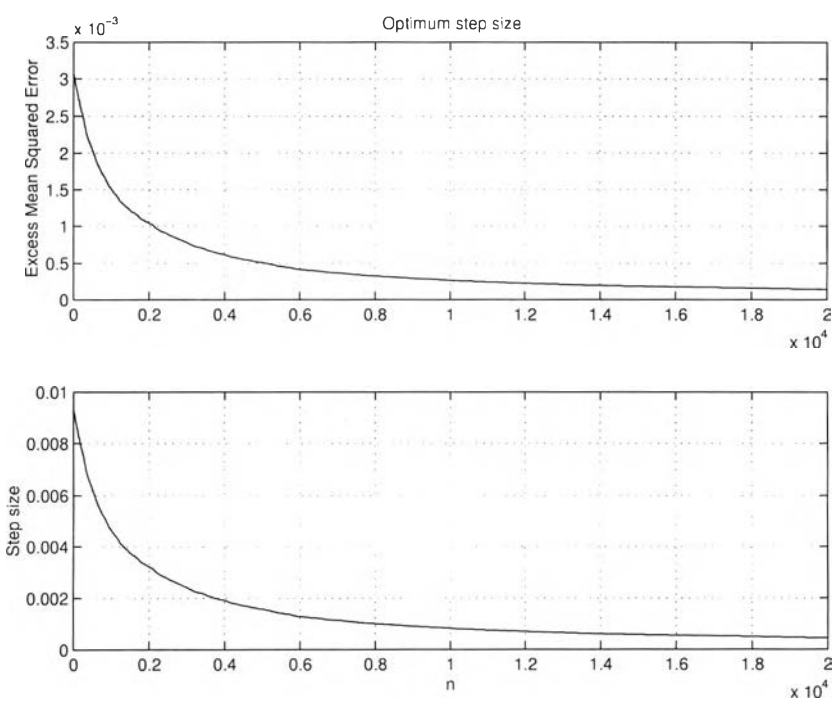
รูปที่ 4.13: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



รูปที่ 4.14: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



รูปที่ 4.15: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1



รูปที่ 4.16: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.1

ตอนที่ 3 กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเท่ากับ 0.01

วงจรกรองปรับตัวอันดับ 32 มีค่าช่วงก้าว

ค่าคงตัวเท่ากับ 0.04 และ 0.02

ปรับค่าตามวิธี CC โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\mu_{max} = 0.4, \qquad \alpha = 0.5$

ปรับค่าตามวิธี DBD โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\phi = 0.4, \qquad k = 0.008$

$\alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี NMS โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$a = 0.0018, \qquad b = 0.025$

$\alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี SE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

$\alpha = 0.99, \qquad \gamma = 0.02$

$\mu_{max} = 0.1, \qquad \mu_{min} = 0$

ปรับค่าตามวิธี UNI โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

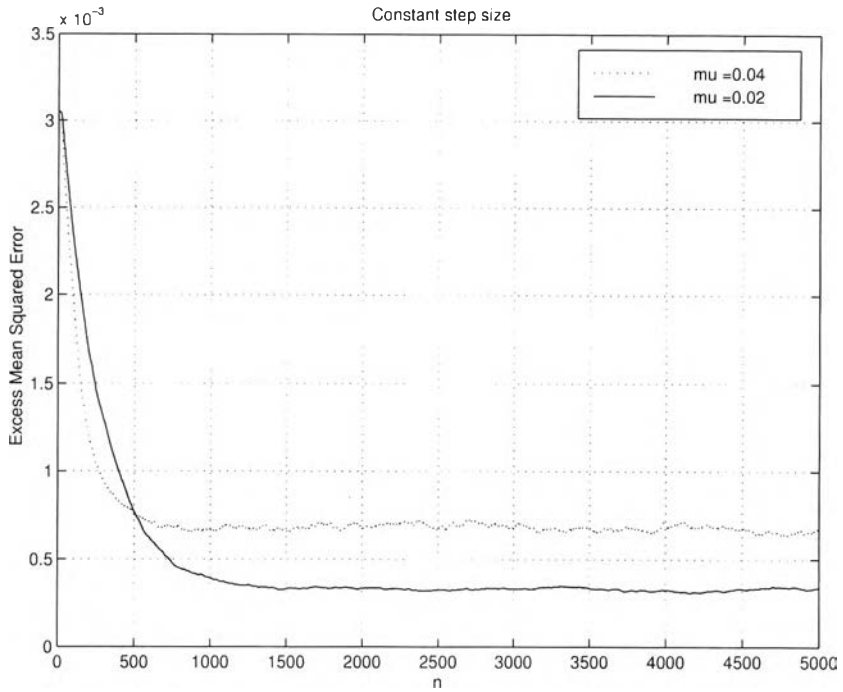
$\mu_{max} = 0.8, \qquad \alpha = 0.999$

ปรับค่าตามวิธี DSE โดยค่าคงตัวต่าง ๆ กำหนดค่าดังนี้

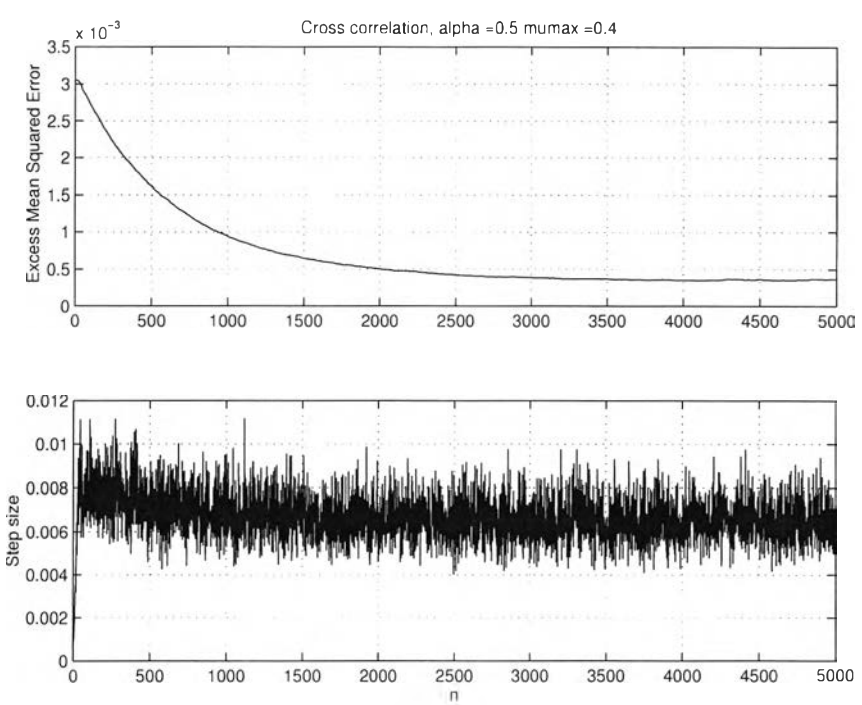
$\mu_{max} = 0.06, \qquad \alpha = 0.99$

$\beta = 0.999$

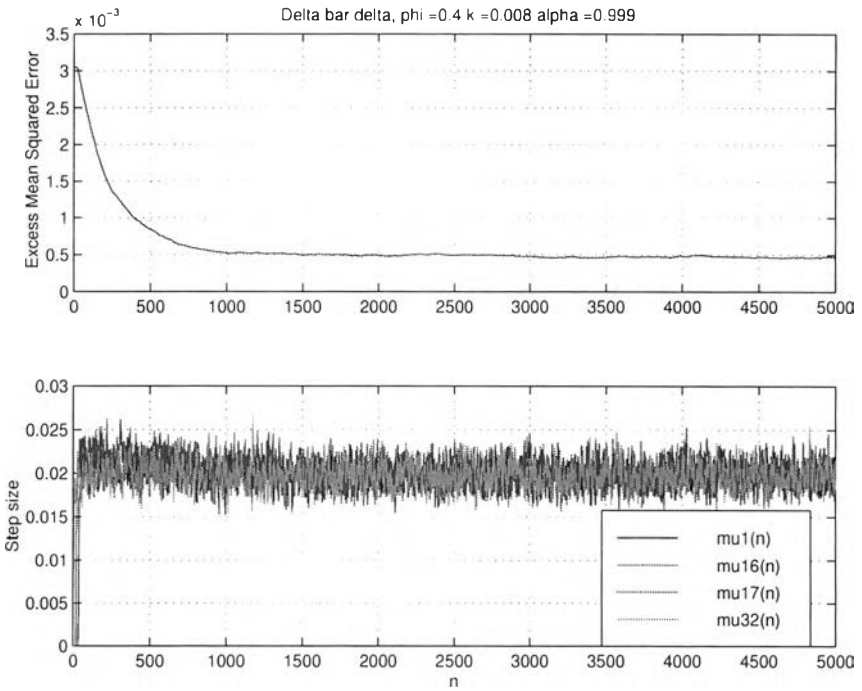
ผลการทดสอบ



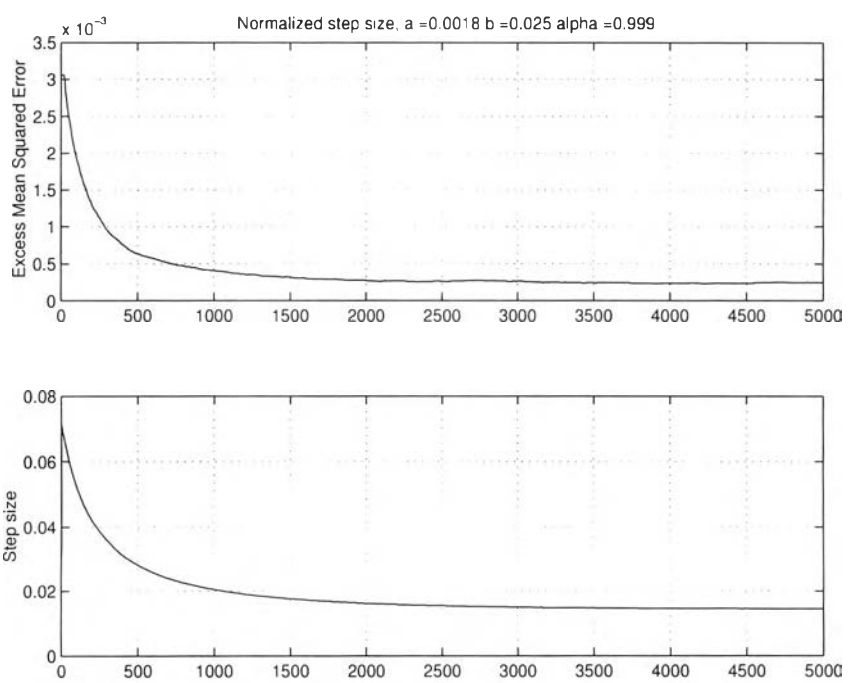
รูปที่ 4.17: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



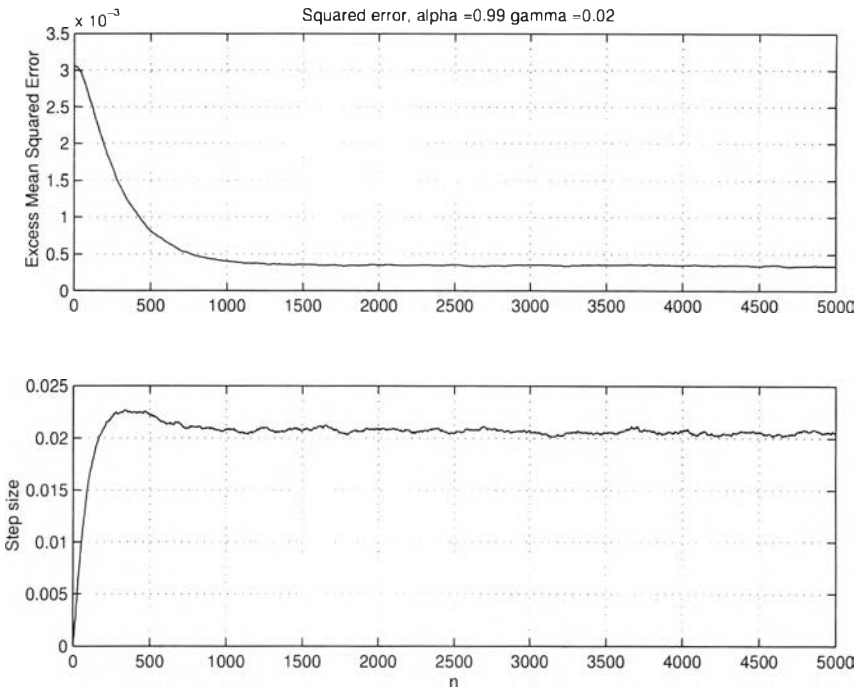
รูปที่ 4.18: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว CC กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



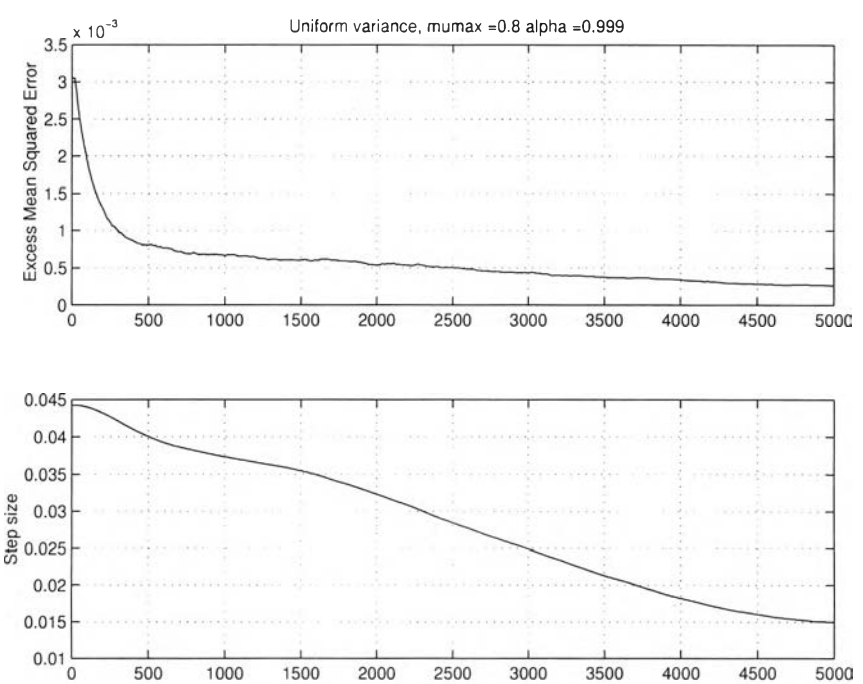
รูปที่ 4.19: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



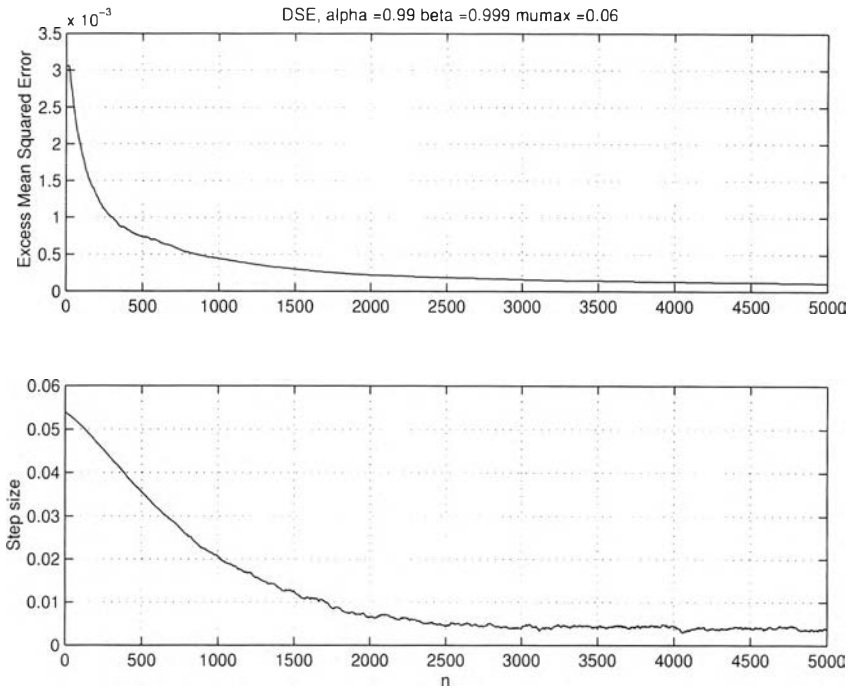
รูปที่ 4.20: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



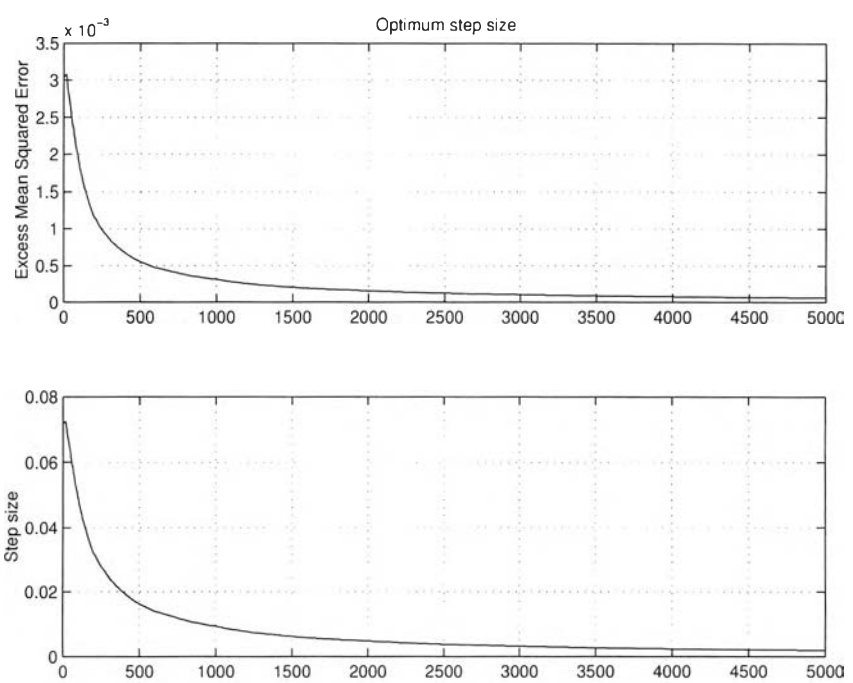
รูปที่ 4.21: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



รูปที่ 4.22: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



รูปที่ 4.23: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01



รูปที่ 4.24: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเป็น 0.01

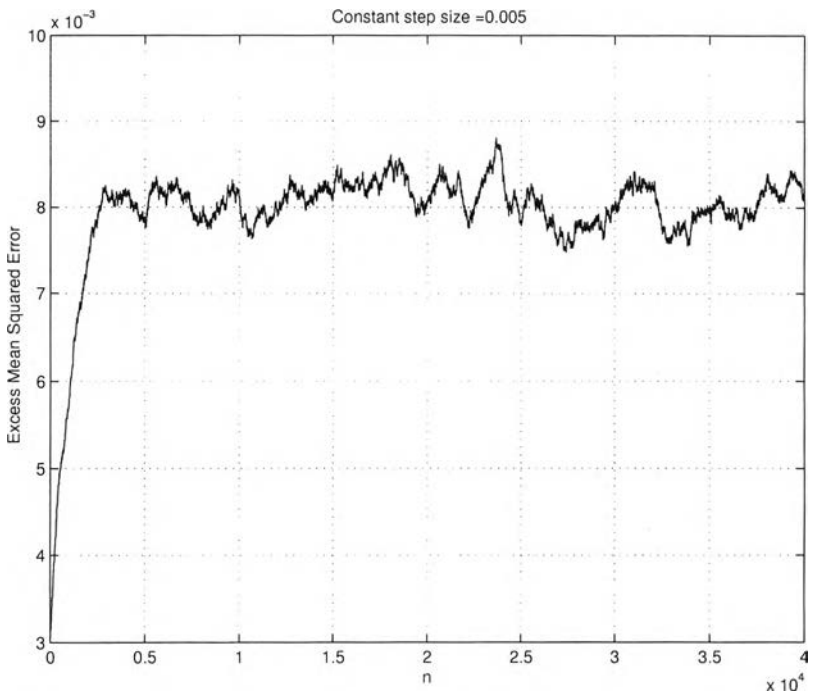
4.2 การทดสอบที่ 2 ผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง ต่อประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ

เนื่องจากการปรับขนาดช่วงก้าวด้วยวิธี CC ให้ขนาดช่วงก้าวที่มีการแกว่งตัวอย่างมาก และประสิทธิภาพในการปรับตัวของวงจรกรองปรับตัว เมื่อปรับขนาดช่วงก้าวด้วยวิธี CC ทั้งปรับตัวช้าและให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่สภาวะอยู่ตัวค่าใหญ่ การทดสอบต่อไปจึงตัดวิธี CC ออกไป

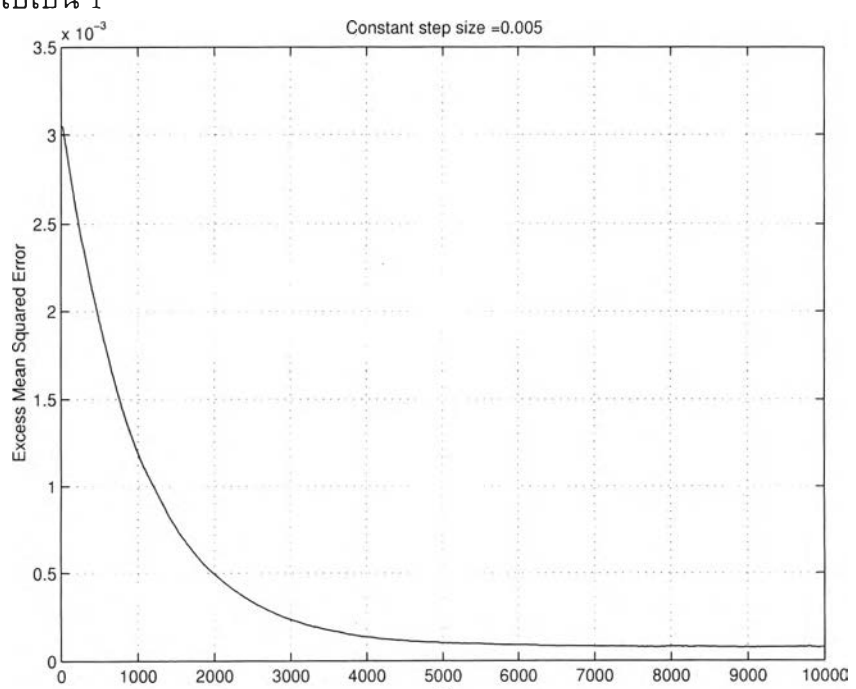
ในการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังต่อประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัว เมื่อเลือกใช้ค่าคงตัวต่าง ๆ (ค่าช่วงก้าวคงตัว และ ค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ) ให้เหมาะสมกับกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังค่าหนึ่ง ซึ่งในการทดสอบนี้จะเลือกใช้ค่าคงตัวต่าง ๆ และกำหนดสภาพของปัญหาเหมือนกับการทดสอบที่ 1 ตอนที่ 2 แต่จะเปลี่ยนกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังจาก 0.1 เป็น 1 และ 0.01 โดยค่าช่วงก้าวค่าคงตัวเลือกใช้เฉพาะค่า 0.005

ผลการทดสอบ

ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป

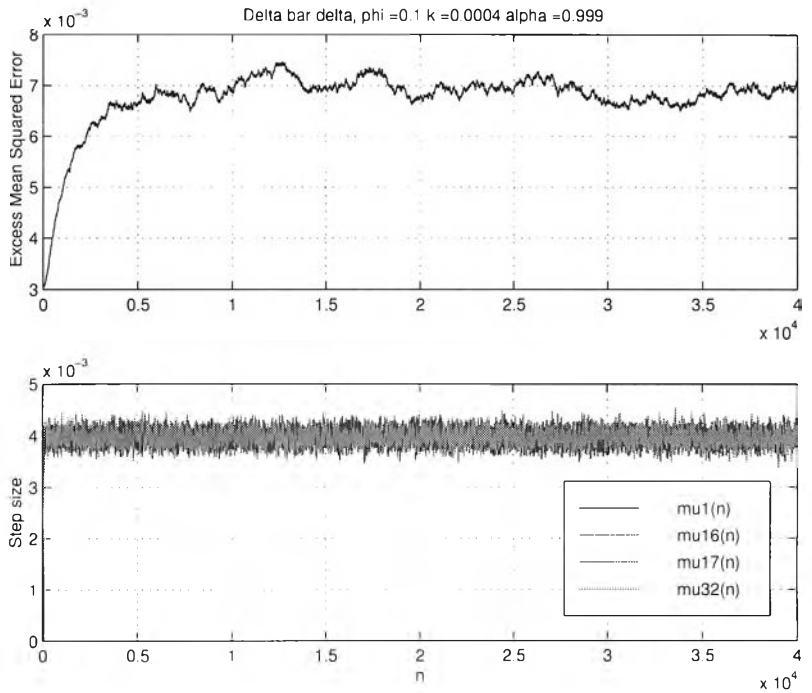


รูปที่ 4.25: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1

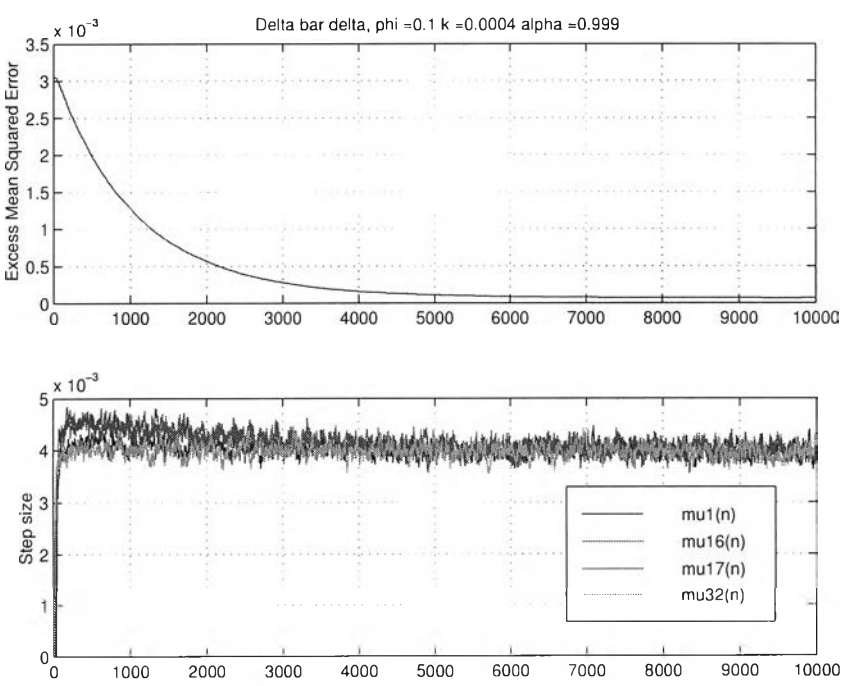


รูปที่ 4.26: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป

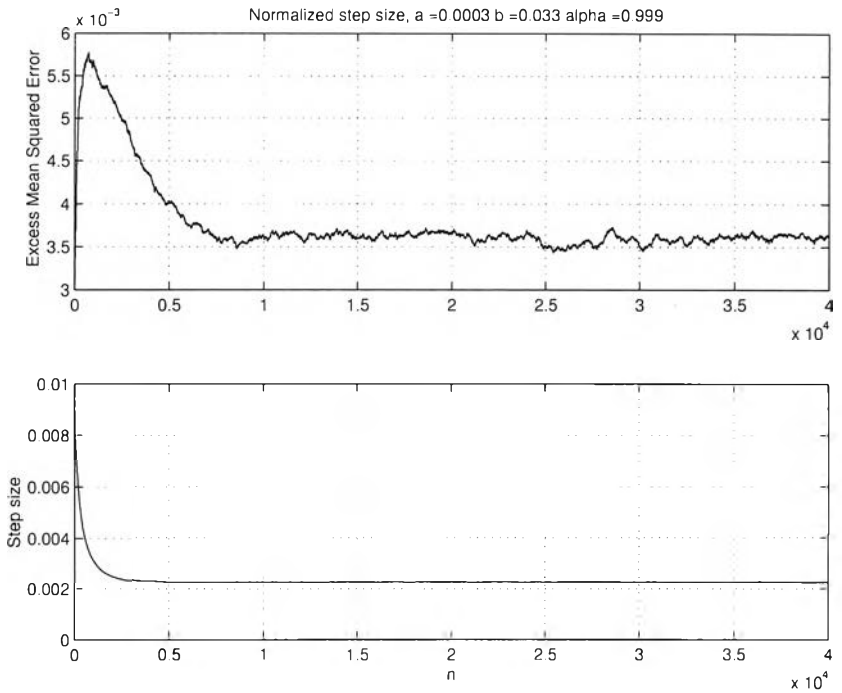


รูปที่ 4.27: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1

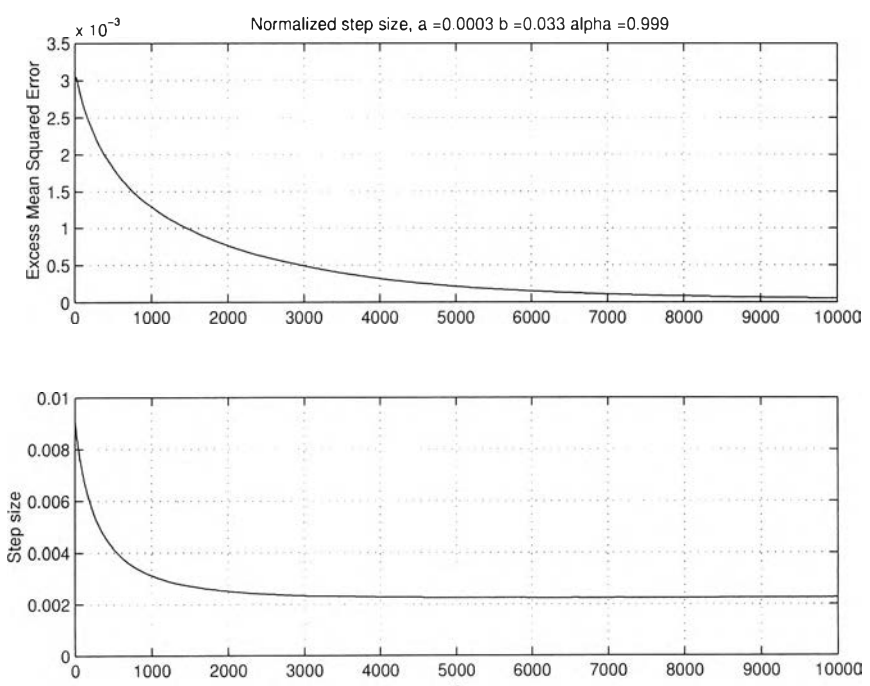


รูปที่ 4.28: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป

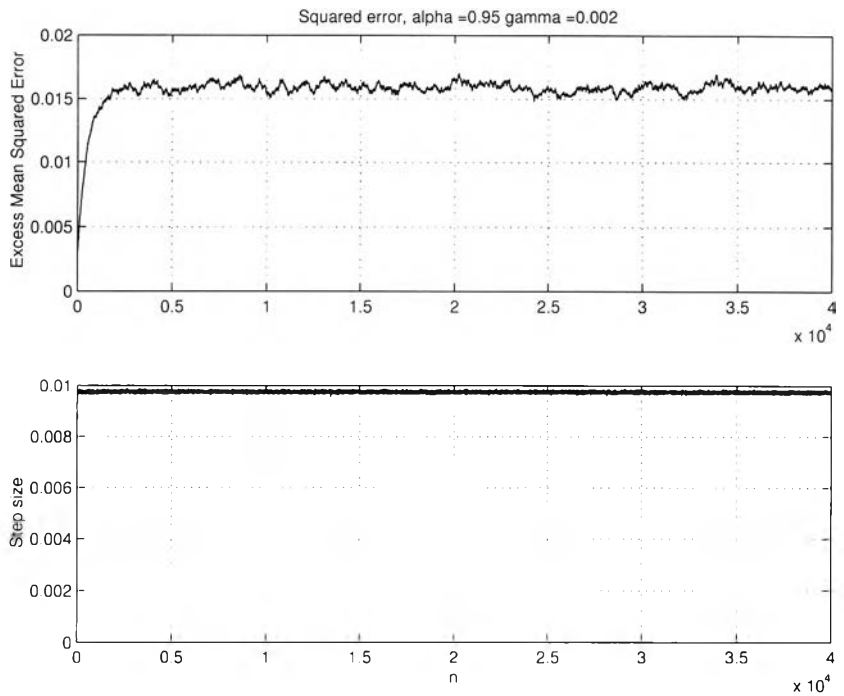


รูปที่ 4.29: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1

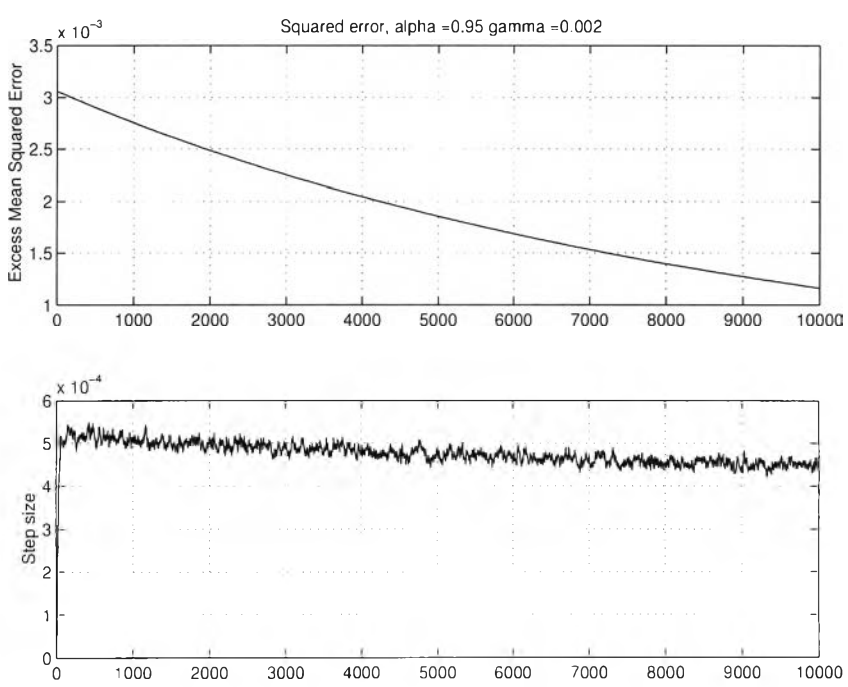


รูปที่ 4.30: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป

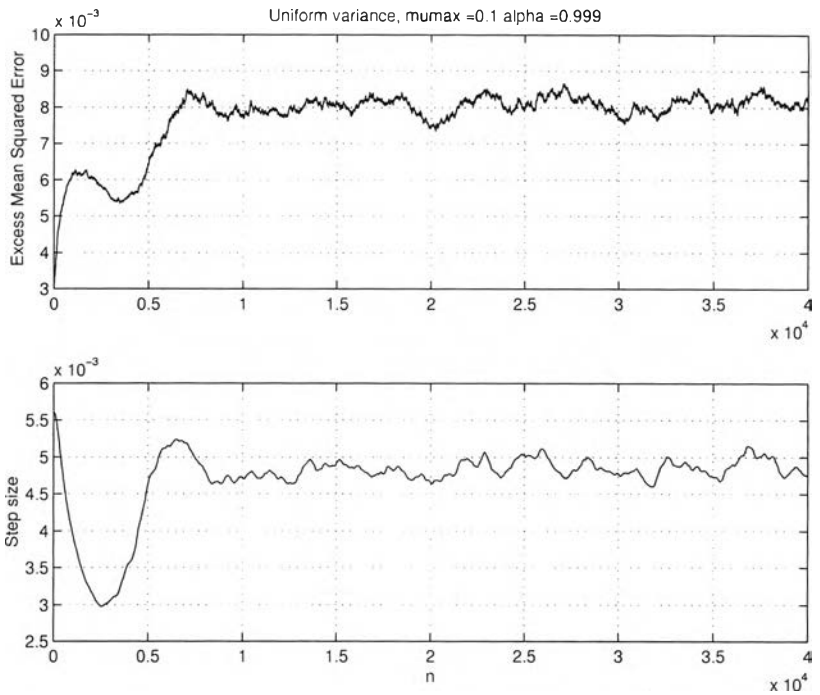


รูปที่ 4.31: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1

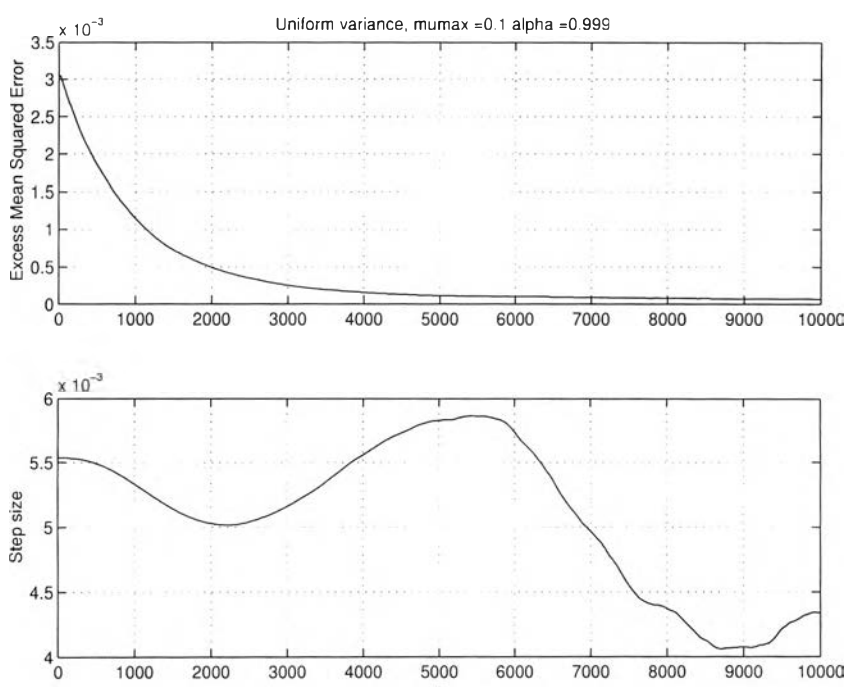


รูปที่ 4.32: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป

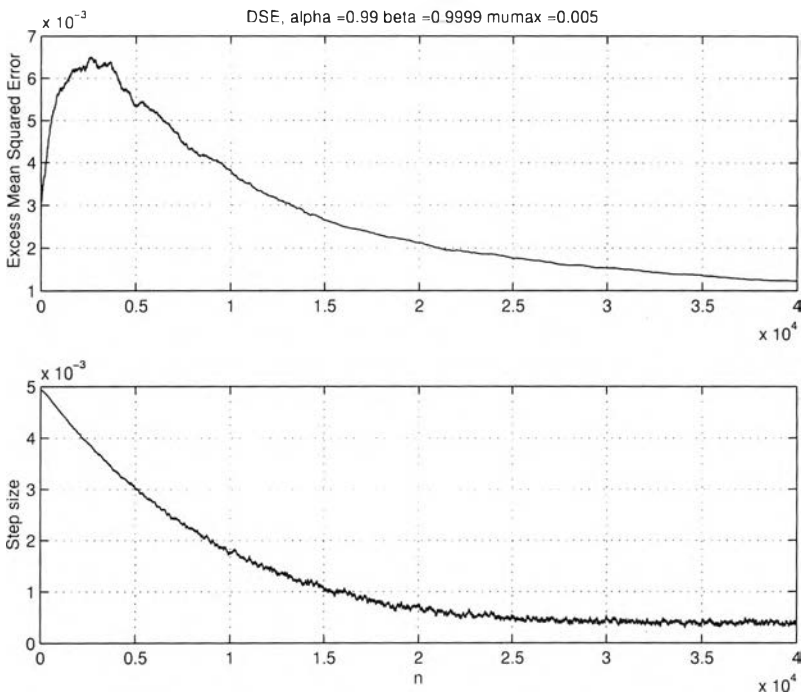


รูปที่ 4.33: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1

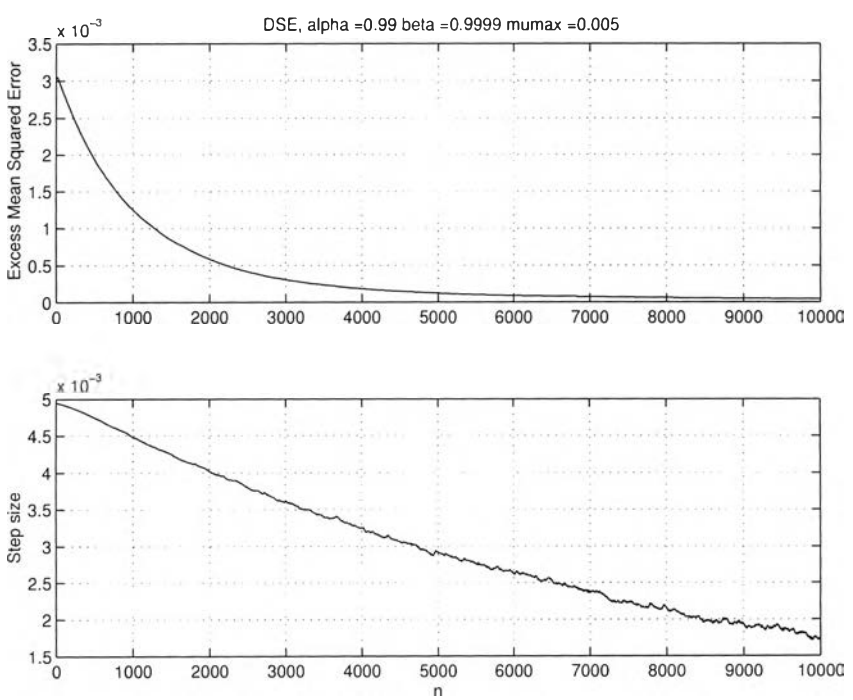


รูปที่ 4.34: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป



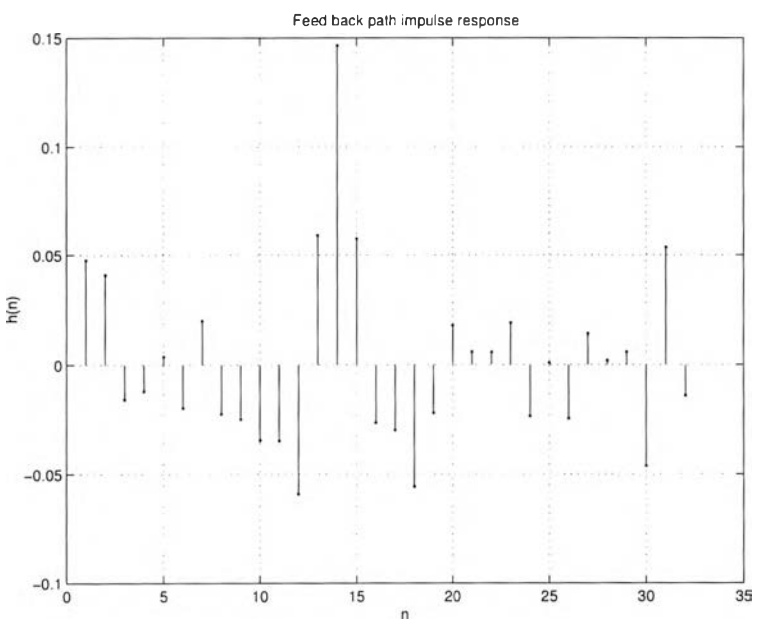
รูปที่ 4.35: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 1



รูปที่ 4.36: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE กรณีกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไปเป็น 0.01

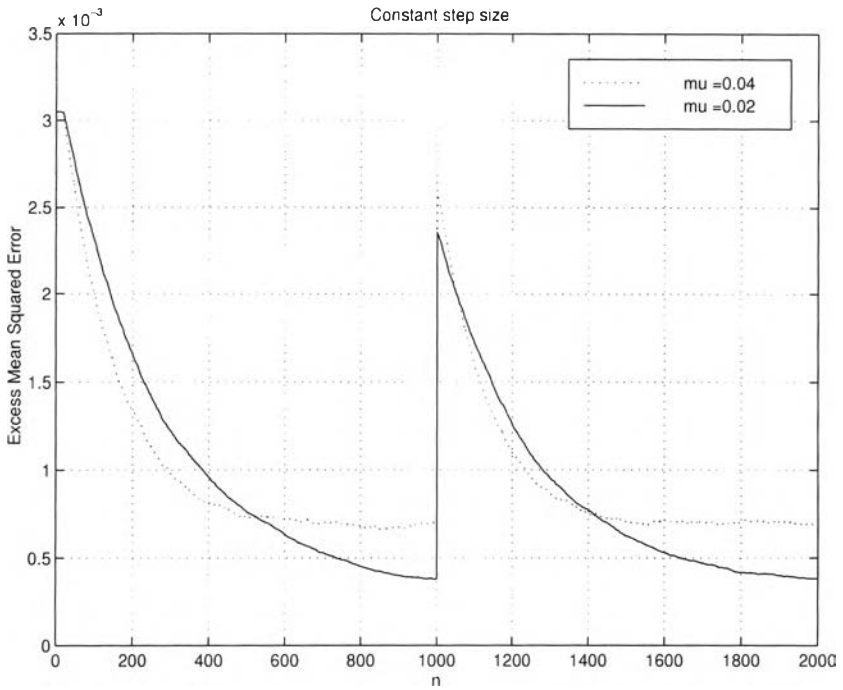
4.3 การทดสอบที่ 3 ผลของการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับต่อประสิทธิภาพของวิธีปรับค่าขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ

ในการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับต่อประสิทธิภาพของวงจรกรอง เมื่อเลือกใช้ค่าคงตัวต่าง ๆ (ค่าช่วงก้าวคงตัว และ ค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ) และกำหนดสภาพของปัญหาเหมือนกับการทดสอบที่ 1 ตอนที่ 3 แต่หลังจากเวลา $n = 1000$ จะเปลี่ยนพารามิเตอร์ของวงจรกรองอันดับ 32 ที่ใช้แทนเส้นทางป้อนกลับเป็นผลตอบอิมพัลส์ที่หาไว้ในบทที่ 2 บวกกับตัวเลขที่สุ่มเลือกขึ้นมา 32 ค่า (จะได้ผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับหลังจากเวลา $n = 1000$ ดังในรูปที่ 4.37)

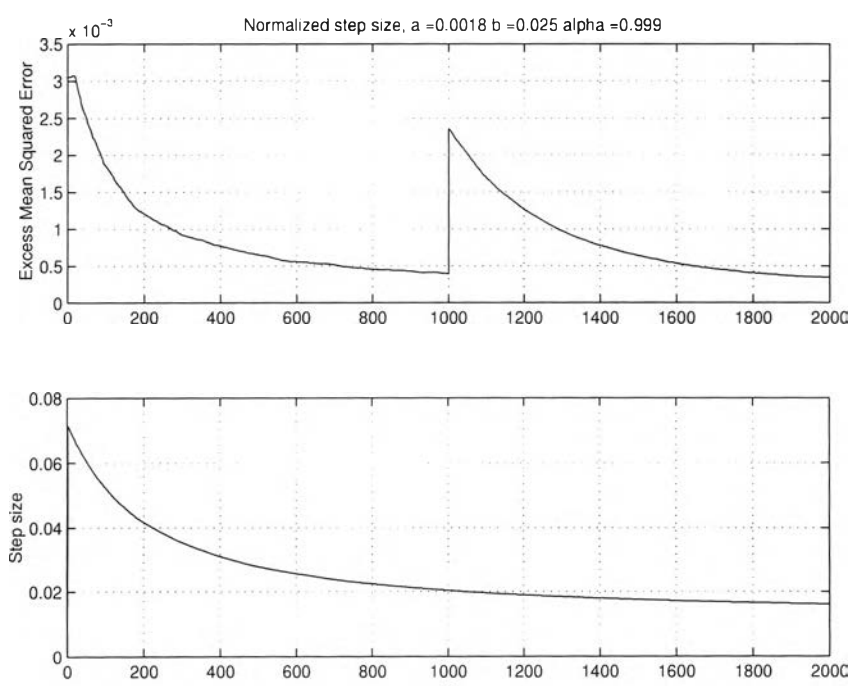


รูปที่ 4.37: ผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับหลังจากเวลา $n = 1000$

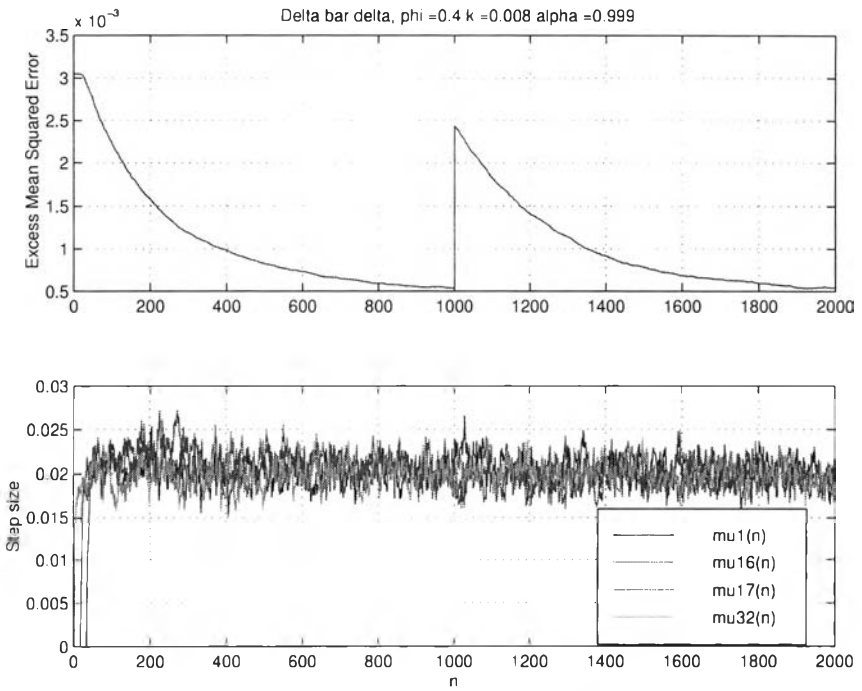
ผลการทดสอบ



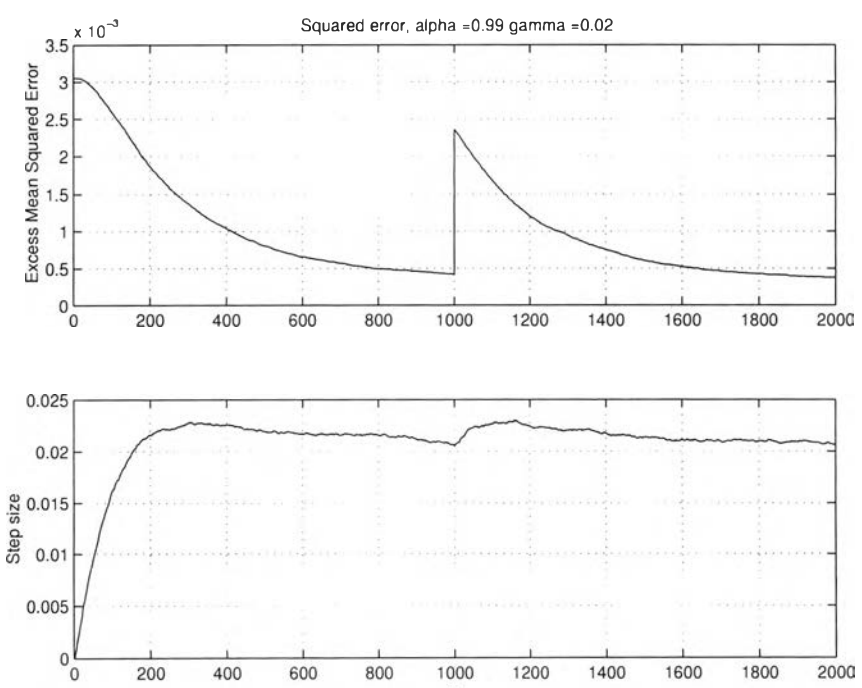
รูปที่ 4.38: ผลของการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



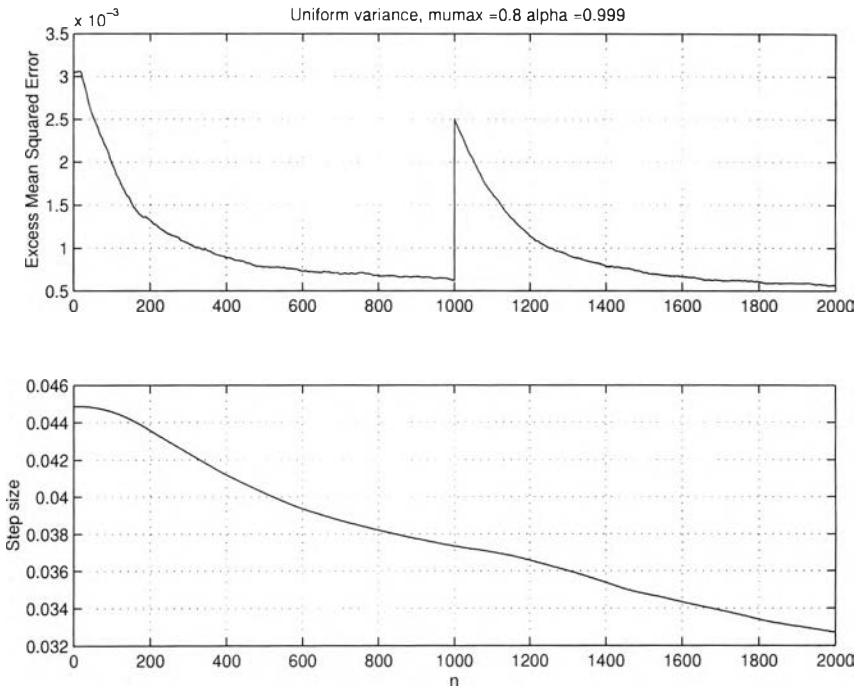
รูปที่ 4.39: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว NMS เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



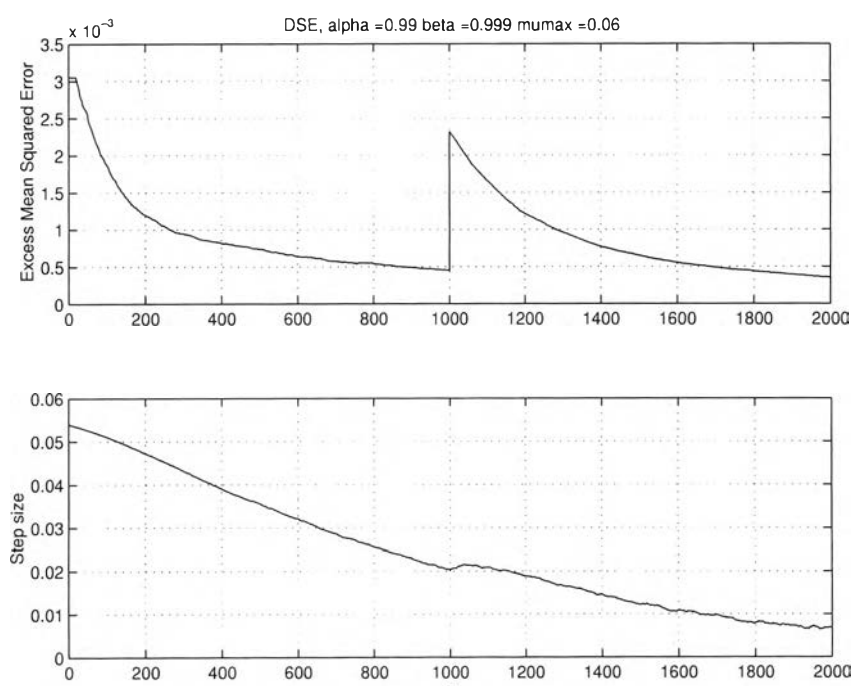
รูปที่ 4.40: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



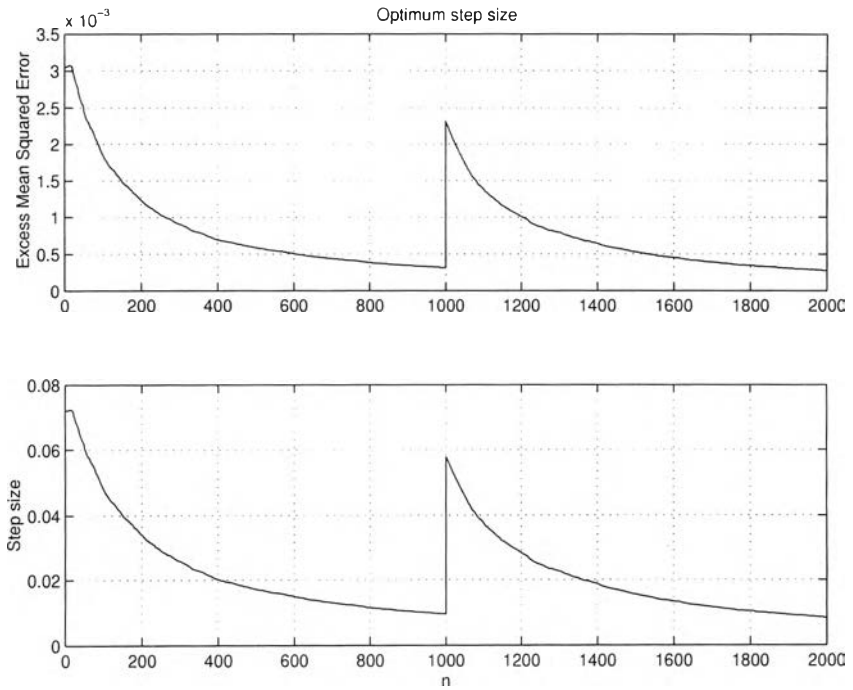
รูปที่ 4.41: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว SE เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



รูปที่ 4.42: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว UNI เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



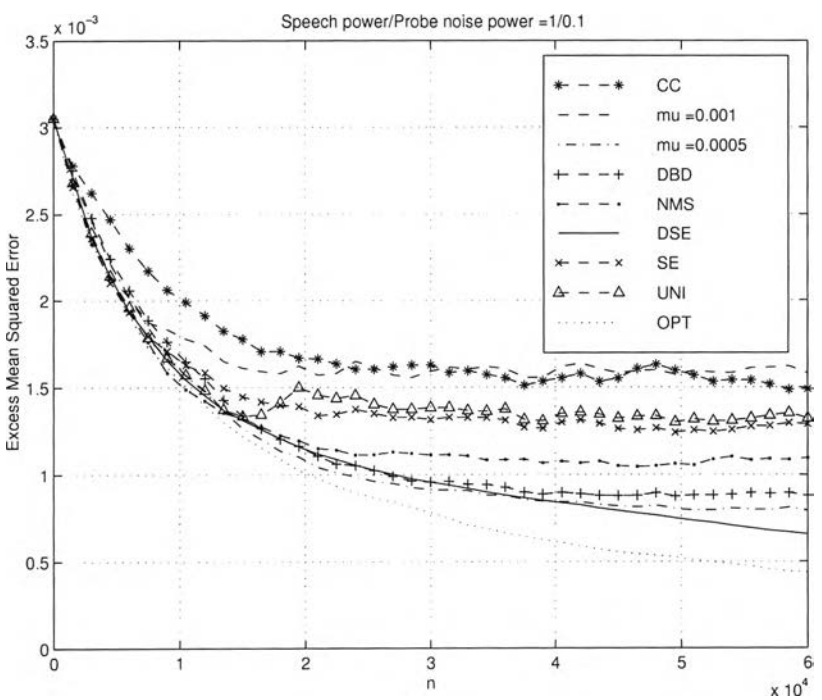
รูปที่ 4.43: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าว DSE เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป



รูปที่ 4.44: ผลของการใช้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป

4.4 สรุป และ วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้ง 3 สามารถสรุปเป็นกราฟในรูปที่ 4.45 ถึง รูปที่ 4.50 จากกราฟในรูปที่ 4.45 เป็นกรณีที่สัญญาณเสียง (สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง) มีกำลังสูงกว่ากำลังของสัญญาณสุ่ม (probe noise) ที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง 10 เท่า จะสังเกตได้ว่าวิธีปรับขนาดช่วงก้าวเกือบทุกวิธีมีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัว โดยวิธี DSE มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัวเพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้าพิจารณาถึงความซับซ้อนในการคำนวณด้วยอาจกล่าวได้ว่า ในกรณีนี้เหมาะสมที่จะใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัวมากกว่าขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ ในรูปที่ 4.46 เป็นกรณีที่สัญญาณ

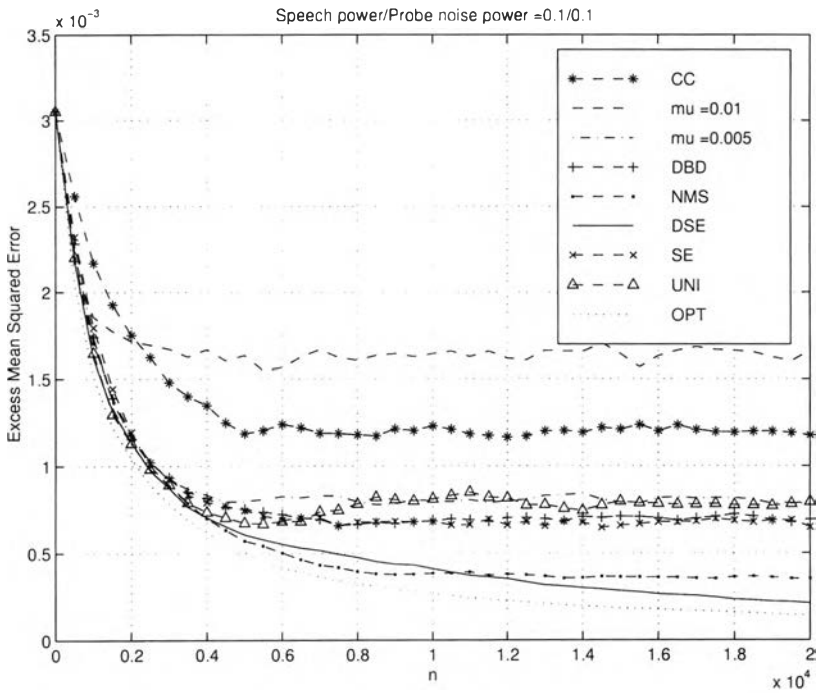


รูปที่ 4.45: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีความดังปกติ (เสียงดังปกติ)

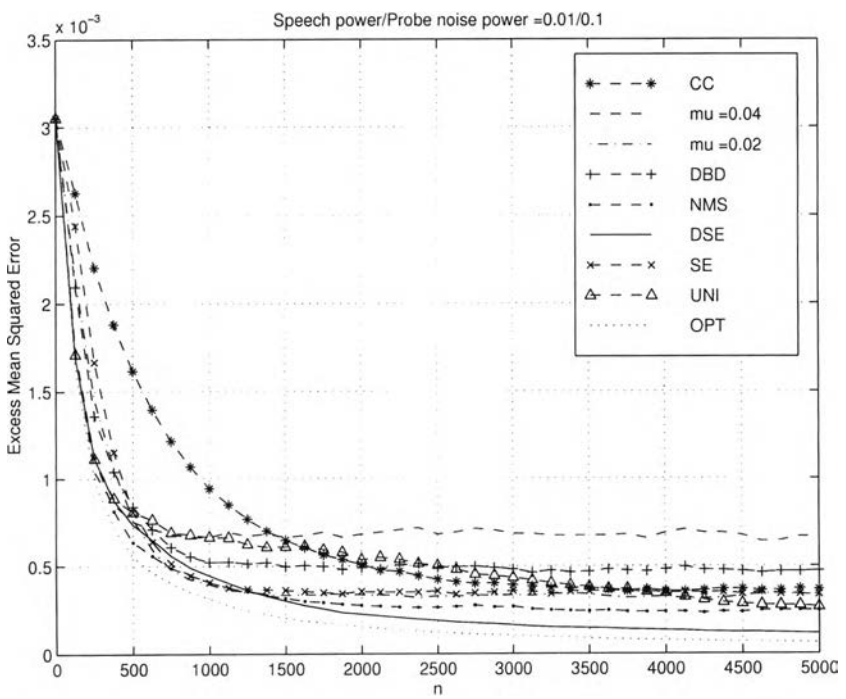
เสียงมีกำลังเท่ากันกับกำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง จะเห็นว่าประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ทุกวิธี (ยกเว้น วิธี CC) มีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัว โดยวิธี DSE และวิธี NMS คือวิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับในรูปที่ 4.47 เป็นกรณีที่สัญญาณเสียงมีกำลังเท่ากับหนึ่งในสิบเท่าของกำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง จะพบว่าวิธี DSE และวิธี NMS สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินได้เร็ว

กว่า การใช้ขนาดช่วงก้าวคงตัวพอสมควร

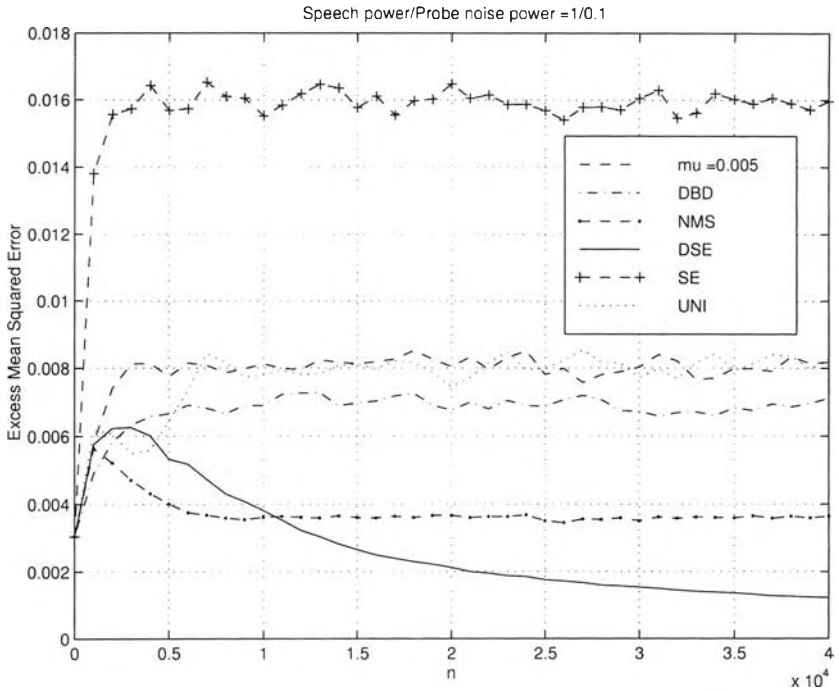
การที่วงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ มีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวคงตัว (โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงความซับซ้อนในการคำนวณด้วย) ในกรณีที่สัญญาณเสียงมีกำลังสูง หรือใกล้เคียงกับกำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง เป็นเพราะในการปรับขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีอาศัยสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง และสัญญาณคลาดเคลื่อนซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณเสียง (สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง) กับผลต่างระหว่างสัญญาณขาออกของวงจรกรองกับสัญญาณป้อนกลับ (ผลต่างนี้เป็นส่วนสำคัญที่กำหนดขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสม) ในการกำหนดขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าว ดังนั้นยิ่งสัญญาณเสียงมีกำลังมากเท่าใดการปรับขนาดช่วงก้าวก็ยิ่งมีความถูกต้องน้อยลงเท่านั้น ส่วนวิธี CC ซึ่งเป็นวิธีปรับขนาดช่วงก้าวที่ไม่มีประสิทธิภาพก็เพราะว่า ใช้ผลคูณขณะใด ๆ ระหว่างสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองกับความคลาดเคลื่อน ในการกำหนดขนาดช่วงก้าวทำให้ขนาดช่วงก้าวแกว่งค่าอย่างมาก วิธีปรับขนาดช่วงก้าวโดยทั่วไปมักจะใช้การหาค่าเฉลี่ยทางเวลาช่วยลดการแกว่งค่าของขนาดช่วงก้าว (ซึ่งได้ลองแก้ไขวิธี CC โดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเวลาของผลคูณ ระหว่างสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองกับความคลาดเคลื่อนแทนผลคูณขณะใด ๆ แล้ว แต่ประสิทธิภาพก็ดีขึ้นไม่มากนักจึงไม่ได้แสดงผลการทดสอบไว้)



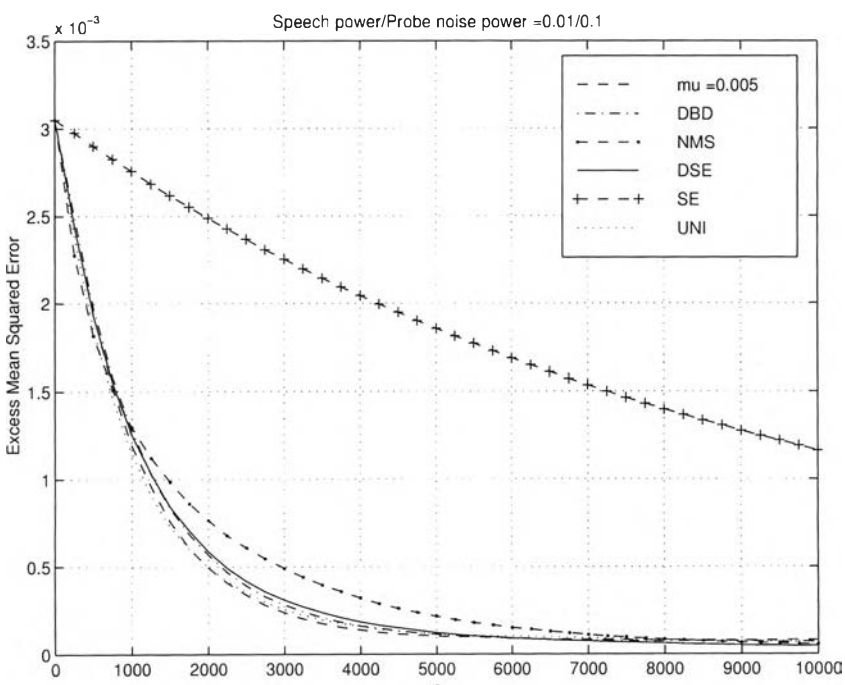
รูปที่ 4.46: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำ (เสียงเบา)



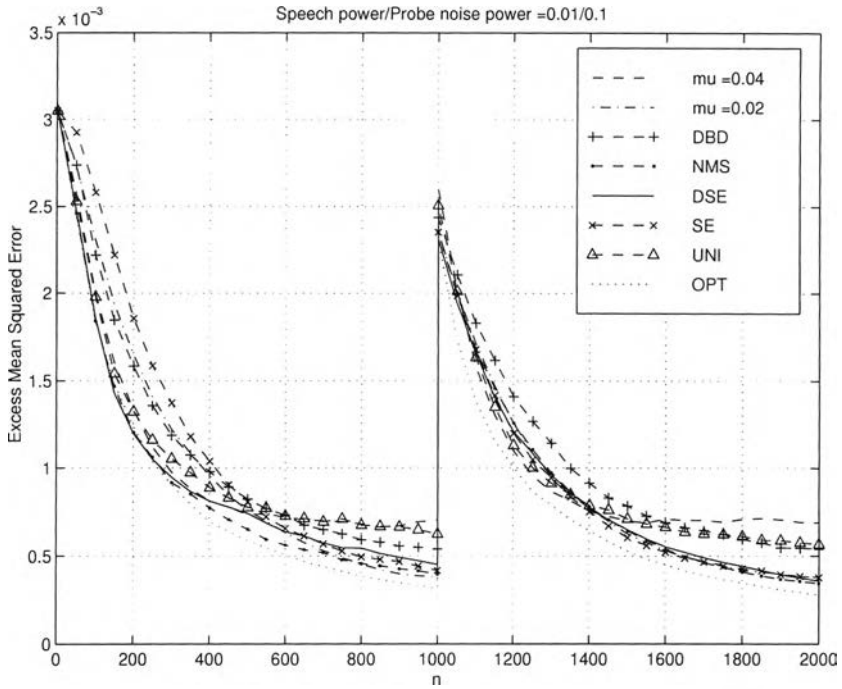
รูปที่ 4.47: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำมาก (เสียงเงียบ)



รูปที่ 4.48: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงดังขึ้น)



รูปที่ 4.49: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงเบาลง)



รูปที่ 4.50: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป

จากกราฟในรูปที่ 4.48 แสดงว่าเมื่อกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 1 แล้วมีเพียงวงจรกรองที่ใช้วิธี DSE ปรับขนาดช่วงก้าวเท่านั้นที่ทำให้กราฟความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้า ส่วนกราฟในรูปที่ 4.49 เป็นกรณีที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังลดลงจาก 0.1 เป็น 0.01 ซึ่งวิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีทำให้กราฟความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้า แต่วิธี SE ลู่เข้าช้าที่สุดในขณะที่วิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีอื่น ๆ รวมทั้งขนาดช่วงก้าวคงตัวมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะถ้ากำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเพิ่มขึ้น ขนาดช่วงก้าวที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้าจะมีค่าลดลง ดังนั้นวิธีปรับขนาดช่วงก้าวส่วนใหญ่จึงไม่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้า ในทางกลับกันกรณีที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังลดลง ขนาดช่วงก้าวที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้าเร็วที่สุดจะต้องมีค่าใหญ่ขึ้น ดังนั้นวิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีจึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลู่เข้าแต่จะลู่เข้าช้าเร็วแตกต่างกันเท่านั้น

กราฟในรูปที่ 4.50 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนแปลงอย่างทันที วิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีทำให้การลู่เข้าของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย มีอัตราการลู่เข้าและมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่สภาวะอยู่ตัวใกล้เคียงกัน แต่พอจะกล่าวได้ว่ามีวิธีปรับขนาดช่วงก้าวสองวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ วิธี DSE และ วิธี NMS และ

ถ้าพิจารณากราฟขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวต่าง ๆ ประกอบด้วย จะพบว่ามีวิธี NMS เท่านั้นที่ขนาดช่วงก้าวไม่เพิ่มขึ้นหลังจากเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนแปลงอย่างทันที (จริง ๆ แล้วมีเพียงสองวิธี คือ วิธี DSE และ วิธี SE เท่านั้นที่สังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของขนาดช่วงก้าวอย่างชัดเจนหลังจากเส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนแปลงอย่างทันที) ทั้งนี้เพราะวิธี NMS จะปรับขนาดช่วงก้าวตามส่วนกลับของค่าประมาณของกำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองซึ่งมีค่าคงตัว โดยค่าประมาณดังกล่าวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนลู่เข้าสู่กำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรอง ดังนั้นขนาดช่วงก้าวจึงค่อย ๆ ลดลงสู่ค่าคงตัวค่าหนึ่งและจะไม่เปลี่ยนค่าอีก จนกว่าจะกำหนดให้กำลังของสัญญาณสุ่มที่ใช้ช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองเปลี่ยนไป

เพื่อให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวมีความชัดเจนขึ้น เราจึงแสดงค่าตัวเลขที่บอกถึงประสิทธิภาพของวิธีปรับขนาดช่วงก้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.5 ซึ่งได้แก่ความเร็วในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวโดยเราจะวัดจากจำนวนครั้งในการปรับตัวหรือเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่สภาวะอยู่ตัว (สำหรับการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวเราจะกำหนดโดยประมาณจากการสังเกตว่า กราฟความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินเริ่มแกว่งค่าหรือไม่มีการลดค่าอีกต่อไป) นอกจากนี้เราจะวัดความเร็วในการลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินซึ่งพิจารณาจากจำนวนครั้งในการปรับตัวหรือเวลาที่ใช้ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 % จากค่าเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการลู่เข้าของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน กรณีขนาดช่วงก้าวคงตัวและค่าเจาะจงของเมตริกซ์อัตสหสัมพันธ์ของ สัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัวมีค่าเท่ากัน ตามสมการที่ (3.24) ในบทที่ 3 กล่าวว่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินมีค่าลดลงแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลค่าลบ ซึ่งมีค่าคงตัวเวลา (time constant) เท่ากับช่วงเวลาที่ทำให้ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลค่าลบ ลดลงไป 63.21 % (คือลดลงเหลือ exp(-1) เท่าของค่าเริ่มต้น) เราจึงใช้ค่าคงตัวเวลานี้ในการวัดความเร็วในการลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ด้วย

ทั้งนี้เวลาที่ใช้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินลง 63.21 % จากค่าเริ่มต้น และเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว คำนวณจากผลคูณระหว่าง จำนวนครั้งในการปรับค่าพารามิเตอร์กับคาบเวลาในการสุ่มตัวอย่าง (ส่วนกลับของอัตราการสุ่มตัวอย่าง) โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 16 kHz จะได้ว่าคาบเวลาในการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 62.5 μsec

ตารางที่ 4.1: ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีความดังปกติ (เสียงดังปกติ)

วิธีปรับขนาดช่วงก้าว	เวลาที่ใช้ในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 %	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว	ค่า $\varepsilon(n)$ ที่สภาวะอยู่ตัว
OPT	1.0716 sec	$>$ 3.75 sec	4.3831×10^{-4}
$\mu = 0.001$	Too High	0.9176 sec	0.0016
$\mu = 0.0005$	1.1733 sec	3.1308 sec	0.0008
SE	Too High	1.7018 sec	0.0013
NMS	1.4901 sec	1.5199 sec	0.0011
DSE	1.3032 sec	$>$ 3.75 sec	6.5635×10^{-4}
CC	Too Slow	$>$ 3.75 sec	0.0015
DBD	1.2922 sec	2.3080 sec	0.0009
UNI	Too High	1.1451 sec	0.0014

สำหรับเครื่องหมายต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4 มีความหมายดังนี้ เครื่องหมาย Too High หมายถึงวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีนั้น ไม่สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินลงไป 63.21 % ได้ และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่สภาวะอยู่ตัวมีค่ามากกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่ลดลงไป 63.21 % และเครื่องหมาย $>$ หมายถึงวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีนั้น ยังคงลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินลงไปได้อีก คือยังไม่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัวตามเวลาที่ระบุไว้หลังเครื่องหมาย $>$ และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่สภาวะอยู่ตัวของกรณีนี้ จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน ณ เวลาที่ระบุไว้หลังเครื่องหมาย $>$ แทน ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลสองประการ ประการแรกคือ การทดสอบจนกระทั่งวิธีปรับขนาดช่วงก้าวเหล่านี้ลู่เข้าต้องใช้เวลานานมาก และประการที่สอง เนื่องจากวิธี OPT มีแนวโน้มว่าจะลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินต่อไป และอาจลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาในการปรับตัวนานมาก ๆ ซึ่งหมายความว่าวิธีนี้จะไม่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ส่วนเครื่องหมายสุดท้ายคือ เครื่องหมาย Too Slow หมายความว่าวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีนั้นลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินช้ามาก โดยยังไม่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัวตามเวลาที่ระบุไว้หลังเครื่องหมาย $>$ และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน ณ เวลาที่ระบุไว้หลังเครื่องหมาย $>$ มีค่ามากกว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่ลดลงไป 63.21 %

เนื่องจากค่าเริ่มต้นของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีในทุกการทดสอบมีค่าเท่ากัน คือมีค่าเท่ากับ 0.0031 ดังนั้นค่าความคลาด

ตารางที่ 4.2: ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำ (เสียงเบา)

วิธีปรับขนาดช่วงก้าว	เวลาที่ใช้ในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 %	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว	ค่า $\varepsilon(n)$ ที่สภาวะอยู่ตัว
OPT	109.1 msec	> 1.25 sec	1.4407×10^{-4}
$\mu = 0.01$	Too High	215.1 msec	0.0016
$\mu = 0.005$	132.9 msec	272.8 msec	7.9444×10^{-4}
SE	135.8 msec	353.6 msec	6.9781×10^{-4}
NMS	135.2 msec	480.7 msec	4.0422×10^{-4}
DSE	128.5 msec	> 1.25 sec	2.1345×10^{-4}
CC	Too High	319 msec	0.0012
DBD	129.2 msec	350.8 msec	7.3248×10^{-4}
UNI	125.7 msec	538.4 msec	8.2009×10^{-4}

เคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินที่ลดลงไป 63.21 % จะมีค่าเท่ากับ 0.0011

ตารางที่ 4.3: ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีกำลังต่ำมาก (เสียงเงียบ)

วิธีปรับขนาดช่วงก้าว	เวลาที่ใช้ในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 %	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว	ค่า $\varepsilon(n)$ ที่สภาวะอยู่ตัว
OPT	13.4 msec	> 312.5 msec	6.1243×10^{-5}
$\mu = 0.04$	14.2 msec	45.8 msec	6.8498×10^{-4}
$\mu = 0.02$	22.1 msec	84.8 msec	3.3986×10^{-4}
SE	24.1 msec	70.4 msec	3.7598×10^{-4}
NMS	15.7 msec	129.5 msec	2.6385×10^{-4}
DSE	15.2 msec	271.7 msec	1.2420×10^{-4}
CC	51.6 msec	201 msec	3.7514×10^{-4}
DBD	21.5 msec	67.5 msec	5.2690×10^{-4}
UNI	15.4 msec	271.7 msec	2.9634×10^{-4}

ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงดังขึ้น) ไม่มีเนื่องจากมีวิธี DSE วิธีเดียวเท่านั้นที่ลู่เข้าโดยใช้เวลาในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 % เท่ากับ 3.0329 sec ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวเท่ากับ 3.0329 sec และค่า $\varepsilon(n)$ ที่สภาวะอยู่ตัวเท่ากับ 0.0011

ตารางที่ 4.4: ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่าเปลี่ยนไป (เสียงเบาลง)

วิธีปรับขนาดช่วงก้าว	เวลาที่ใช้ในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 %	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว	ค่า $\varepsilon(n)$ ที่สภาวะอยู่ตัว
$\mu = 0.005$	68.2 msec	394.8 msec	8.5929×10^{-5}
SE	Too Slow	> 625 msec	0.0012
NMS	80.5 msec	546.3 msec	6.9175×10^{-5}
DSE	72.9 msec	453.9 msec	6.9864×10^{-5}
DBD	73.2 msec	351.5 msec	9.6564×10^{-5}
UNI	65.5 msec	416.4 msec	9.6268×10^{-5}

สำหรับตารางที่ 4.5 คือการเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแต่ละวิธีกรณีที่เส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป จะเปรียบเทียบเฉพาะความเร็วในการลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนเท่านั้น โดยความเร็วในการลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกิน หลังการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับ จะเริ่มวัดจากเวลาที่ค่าความเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินเพิ่มขึ้น จนลดค่าลงถึงค่า 8.5020×10^{-4} ซึ่งคือ exp(-1) เท่าของค่าความเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยส่วนเกินของวิธี OPT หลังการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับ

ตารางที่ 4.5: ตารางเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีต่าง ๆ กรณีที่เส้นทางป้อนกลับเปลี่ยนไป

วิธีปรับขนาดช่วงก้าว	เวลาที่ใช้ในการลดค่า $\varepsilon(n)$ ลง 63.21 %	
	ก่อนการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับ	หลังการเปลี่ยนแปลงเส้นทางป้อนกลับ
OPT	14.2 msec	16.3 msec
$\mu = 0.04$	15.7 msec	19.3 msec
$\mu = 0.02$	21.1 msec	21.9 msec
SE	23.2 msec	21.6 msec
NMS	14.2 msec	22.6 msec
DSE	14.2 msec	22.3 msec
DBD	20.3 msec	27.3 msec
UNI	17.1 msec	21.9 msec

ถ้าพิจารณากราฟขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวต่าง ๆ จะพบว่าการกำหนดให้ พารามิเตอร์แต่ละตัวของวงจรกรองปรับตัวมีขนาดช่วงก้าวแตกต่างกัน ของวิธีปรับขนาดช่วงก้าว DBD นั้นแทบไม่ให้ประโยชน์เลย (ขนาดช่วงก้าวของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน) โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงหน่วยความจำที่ใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ และการคำนวณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของปัญหาที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัวมีค่าคงตัว ทำให้ขนาดช่วงก้าวที่เหมาะสมสำหรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าเท่า ๆ กันไปด้วย

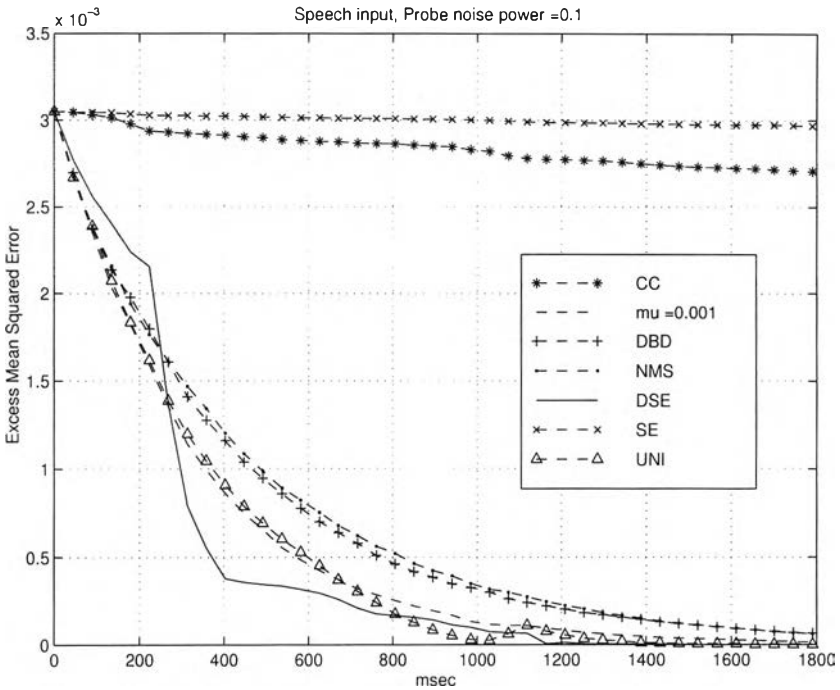
นอกจากนี้ถ้าแบ่งกลุ่มตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงขนาดช่วงก้าวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวต่าง ๆ จะได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มที่ขนาดช่วงก้าวเพิ่มขึ้นแล้วแกว่งค่ารอบ ๆ ค่าคงตัวค่าหนึ่ง ได้แก่ วิธี CC, วิธี DBD, และวิธี SE โดยกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการปรับขนาดช่วงก้าวที่ไม่ดี โดยเฉพาะวิธี CC ซึ่งได้อธิบายเหตุผลไว้แล้ว ส่วนวิธี DBD และวิธี SE ไม่ให้ผลสอดคล้องกับแนวความคิดในการปรับขนาดช่วงก้าว เพราะว่าได้รับผลโดยตรงจากกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง ซึ่งถือว่ามีค่าใหญ่เมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัว ดังนั้นการมีเครื่องหมายเหมือนกัน หรือการมีเครื่องหมายสลับไปมาของ $\delta_i(n)$ จึงไม่สื่อความว่าค่าพารามิเตอร์อยู่ห่างหรือเข้าใกล้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด เพราะว่าเครื่องหมายของ $\delta_i(n)$ จะเปลี่ยนไปตามสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังด้วย ในทำนองเดียวกันการกำหนดขนาดช่วงก้าวจากค่าความ

คลาดเคลื่อนกำลังสอง ก็ได้รับผลโดยตรงจากกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังด้วย โดยแทนที่กำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมีค่ามาก ขนาดช่วงก้าวควรลดลง แต่การใช้วิธี SE จะทำให้ขนาดช่วงก้าวใหญ่ขึ้น

2. กลุ่มที่ขนาดช่วงก้าวลดลงแล้วแกว่งค่ารอบ ๆ ค่าคงตัวค่าหนึ่ง ได้แก่ วิธี NMS, วิธี UNI, และ วิธี DSE กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการช่วงก้าวที่ดีโดยประสิทธิภาพของวิธี NMS ได้วิเคราะห์ไว้แล้ว สำหรับวิธี UNI ถือว่ามีแนวความคิดที่ดีวิธีหนึ่ง แต่ว่าการนำมาใช้ให้ตรงตามแนวความคิดทำได้ยาก กล่าวคือวิธีวัดว่าค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์แต่ละตัวใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันกำหนดได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อขนาดช่วงก้าวเล็กลงมาก ๆ ค่าความแปรปรวนก็ย่อมน้อยลง แต่ความแตกต่างกันของค่าความแปรปรวนอาจจะเพิ่มขึ้นได้แล้วแต่วิธีที่ใช้วัด ซึ่งถ้าค่าความแปรปรวนต่างกันมากขึ้นเมื่อขนาดช่วงก้าวเล็กลงมาก ๆ ย่อมทำให้ขนาดช่วงก้าวกลับไปมีขนาดใหญ่ขึ้นอีกครั้งเช่นในรูปที่ (4.6) และเหตุที่วิธี UNI ไม่ได้รับผลของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังมากนัก ก็เพราะว่าผลของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังจะลดลงในการหาสัดส่วนของค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์แต่ละตัว และในการวัดความใกล้กัน หรือความแตกต่างกันของค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์แต่ละตัว ส่วนวิธี DSE เป็นวิธีที่เลียนแบบการปรับขนาดช่วงก้าวแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยผลต่างของค่าเฉลี่ยทางเวลาของความคลาดเคลื่อนกำลังสองในช่วงเวลาสั้น ๆ และช่วงเวลาที่ยาวขึ้น เป็นค่าที่บอกว่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองปรับตัวอยู่ห่างหรือเข้าใกล้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด และการหาผลต่างนี้เองช่วยลดผลของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง นอกจากนี้การหารผลต่างดังกล่าวด้วยค่าเฉลี่ยทางเวลาของความคลาดเคลื่อนกำลังสองในช่วงเวลาสั้น ๆ ช่วยกำหนดขนาดช่วงก้าวให้สอดคล้องกับกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังอีกด้วย

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ ในกรณีที่มีความใกล้เคียงกับปัญหาจริงมากขึ้น เราจึงทำการทดสอบโดยใช้สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเป็นเสียงพูดจริง (ใช้สัญญาณเสียงเดียวกันกับการทดสอบตอนท้ายของบทที่ 2 โดยสัญญาณเสียงพูดได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ในบทที่ 2) โดยค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแต่ละวิธีกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับการทดสอบที่ 1 ตอนที่ 1 ส่วนขนาดช่วงก้าวคงตัวเลือกใช้ค่า 0.001 ในการทดสอบนี้เราไม่ได้ปรับหรือเลือกค่าคงตัวต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพของปัญหา เพราะว่าในการใช้งานจริงเราต้องกำหนดค่าคงตัวเหล่านี้โดยไม่สามารถรู้ล่วงหน้าว่าค่าคงตัวที่เหมาะสมมีค่าเท่าใด และเพื่อให้วิธีปรับขนาดช่วงก้าวทุกวิธีลู่เข้าจึงเลือกใช้ค่าคงตัวของวิธีปรับขนาดช่วงก้าวแต่ละวิธีเหมือนกับการทดสอบที่ 1 ตอนที่ 1 เพราะเป็นกรณีที่ขนาดช่วงก้าวของทุกวิธีปรับขนาดช่วงก้าวมีค่าเล็ก



รูปที่ 4.51: ประสิทธิภาพของวงจรกรองที่มีขนาดช่วงก้าวแบบต่าง ๆ เมื่อสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเป็นเสียงพูดจริง

ผลการทดสอบแสดงด้วยกราฟความคลาดเคลื่อนกำสองเฉลี่ยส่วนเกิน เทียบกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.51 (เนื่องจากในการทดสอบนี้ใช้สัญญาณเสียงเพียงตัวอย่างเดียวดังนั้นความคลาดเคลื่อนกำสองเฉลี่ยส่วนเกินจึงคำนวณจากสมการ $\varepsilon(n) = \rho_{pn}\left(\vec{w}(n) - \vec{w}_{opt}\right)^{\mathrm{T}} \cdot \left(\vec{w}(n) - \vec{w}_{opt}\right)$) จากกราฟจะเห็นว่าวิธี DSE, วิธี UNI, และขนาดช่วงก้าวคงตัวเท่ากับ 0.001 มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีปรับขนาดช่วงก้าววิธีอื่น ๆ และวิธี SE กับ วิธี CC มีอัตราการลู่เข้าช้ามาก

จากผลการทดสอบกรณีต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่าการปรับขนาดช่วงก้าวด้วยวิธี DSE มีประสิทธิภาพดีและเหมาะสมที่สุด สำหรับการแก้ปัญหาการป้อนกลับในเครื่องช่วยฟังที่ใช้วงจรกรองปรับตัวมีโครงสร้างการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่อง