

การออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์

Design of Adaptive Predictor



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน... 61999

วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

b.....
c.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

ของปี 2547
A. Sukh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์

Design of Adaptive Predictor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์

Design of Adaptive Predictor

ผู้จัดทำ

นางสาวปาริฉัตร กมลอารี 45015059

(อธิทน์ อธิวิท) อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.อักรพล ตริรัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่า
สัมประสิทธิ์

Design of Adaptive Predictor

โดย นางสาวปาริฉัตร กมลอารี 45015059

อาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.อัครพล ศรีรัตน์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองแบบปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้
เป็นวงจรทำนายสัญญาณปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ (Design of adaptive Predictor) โดยใช้
อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยสุด (Least Mean Square, LMS Algorithm) ผลการจำลองการทำงานจะ
ถูกแสดงโดยใช้โปรแกรม MATLAB อนึ่งโครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งของ
วงจรบีบอัดข้อมูลเสียงได้

Abstract

This project proposes a design of adaptive filter and apply to adaptive Predictor by using least
mean square algorithm. The simulation results will be shown base on MATLAB program simulator.
However, this project is suitable apply for Speech compression using ADPCM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาานิพนธ์ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์ | 1 |
| 1.4 เนื้อหาของปริญญาานิพนธ์ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 2 |
| บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง | 12 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 14 |
| บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป กิตติกรรมประกาศ บรรณานุกรม | 41 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาโท

การสื่อสารด้วยเสียงนั้นเริ่มมีการพัฒนาขึ้นมาจากระบบอนาล็อกและจากการศึกษาพบว่า สัญญาณอนาล็อกนั้นมีภูมิด้านทานต่อสัญญาณรบกวนที่ไม่ดี จึงมีการคิดค้นวิธีที่จะทำให้สัญญาณมีภูมิตัว ด้านต่อสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้น นั่นก็คือการนำเอาสัญญาณอนาล็อกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ละยังเป็น ผลดีที่ทำให้เราสามารถส่งสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัลผ่านทางอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นวิธีที่กำลัง ได้รับความนิยมอย่างมากและเนื่องจากความต้องการใช้ช่องสัญญาณเพื่อการสื่อสารมากขึ้นทำให้ความ กว้างของช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงมีการคิดค้นวิธีบีบอัดข้อมูลเสียงให้มีขนาดเล็กลง สามารถใช้ช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดและในการบีบอัดข้อมูลเสียงนั้นมีกระบวนการที่สำคัญที่ ใช้ลดความแปรปรวนของสัญญาณต้นฉบับก็คือการทำนายสัญญาณตัวถัดไปเป็นวงจรที่เรียกว่า วงจร ทำนายสัญญาณ (Predictor)

ในปริญญาโทนี้จะเป็นการศึกษาการออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่า สัมประสิทธิ์ โดยจะจำลองการทำงานภายใต้โปรแกรม MATLAB

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

- 1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการปรับตัวของอัลกอริทึมที่ใช้
- 1.1.2 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้วงจรกรองแบบปรับตัวได้เป็นวงจรทำนายแบบปรับตัวได้
- 1.1.3 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ปริญญาโทฉบับนี้นำเสนอการออกแบบวงจรทำนายสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งมีขั้นตอนคือการจำลองการทำงานภายใต้โปรแกรม MATLAB

1.3 เนื้อหาของปริญญาโท

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการออกแบบและการสร้างวงจรทำนายสัญญาณแบบ ปรับตัว

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการสร้าง

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของการจำลองบน MATLAB

บทที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ วิจารณ์ และสรุปผล

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

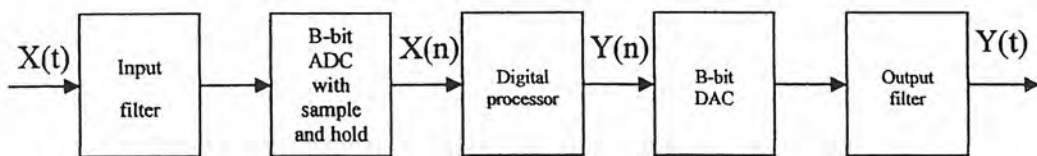
2.1.1 ความหมายของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล คือ กระบวนการที่ไปดัดแปลงสเปกตรัมของสัญญาณ ให้มีสเปกตรัมเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มค่า หรือลดทอนค่าขนาดของสัญญาณในแถบความถี่ที่กำหนดให้ ซึ่งในการวิเคราะห์และสังเคราะห์วงจรนั้น ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ดังนั้นเราจึงนิยมเรียกว่า วงจรกรองความถี่เชิงเลข

การที่วงจรกรองความถี่เชิงเลขมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางนั้น อาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังต่อไปนี้

1. ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบวงจรกรองความถี่ให้มียุทธศาสตร์เชิงเส้นทำได้ง่าย
2. คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบและสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาพแวดล้อม หรือความอุณหภูมิ หรือตามระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี
3. การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้ (adaptive filter) ทำได้ง่าย
4. ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยคำนึงถึงความยาวของคำ (wordlength) ของตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้และยังสามารถออกแบบให้มียุทธศาสตร์ที่ตามที่ต้องการได้
5. ในปัจจุบันถ้าพิจารณาในแง่ของเสถียรภาพของวงจรกรองความถี่ ความเชื่อถือได้ ราคา หรือขนาดของวงจรกรองความถี่เชิงเลข สิ่งเหล่านี้ค่าลงได้รับการพัฒนา และปรับปรุง และมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของวงจรกรองความถี่แบบอนาล็อก (Analog filter) หรือเรียกว่า วงจรกรองความถี่เชิงอุปมาน

วงจรกรองเชิงเลขสามารถเขียนอธิบายในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.1 โดยสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกสุ่ม (sample) ด้วยช่วงเวลาทีค่าคงที่ค่าหนึ่ง และสัญญาณที่ถูกสุ่มนี้ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง โดยการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลหรือสัญญาณเชิงเลข (analog to digital converter)



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเลขฐานสองที่แทนสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาทางอินพุตจะถูกกรองโดยวงจรกรองเชิงเลข การกรองจะเป็นการคำนวณทางตัวเลข ซึ่งจะอาศัยวงจรที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ตัวบวก ตัวคูณ รีจิสเตอร์ และอุปกรณ์หน่วยความจำต่างๆ ต่อมาค่าเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองเชิงเลขนี้จะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณอนาล็อกอีกทีหนึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่จะนำไปใช้งานได้ วงจรกรองเชิงเลขสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของผลตอบสนองอิมพัลส์ ได้แก่

1. วงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด
2. วงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด

วงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดมักเป็นตัวกรองที่ไม่มีกรรป้อนกลับ เป็นวงจรกรองที่มีโครงสร้างง่าย ๆ และมีเสถียรภาพที่ดี แต่มีข้อเสียที่จะใช้วงจรกรองที่มีอันดับสูงถึงแม้จะต้องการให้มีลักษณะทางความถี่ที่ง่าย ๆ ก็ตาม

ส่วนวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด เป็นตัวกรองที่มีการป้อนกลับ เป็นวงจรกรองที่ใช้อันดับต่ำกว่าวงจรกรองแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด ที่ความต้องการลักษณะทางความถี่เหมือนกัน แต่การออกแบบจะยุ่งยากกว่ามาก และมีปัญหาในเรื่องความไม่เสถียรภาพไม่คืน

2.1.2 โครงสร้างของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ การบวก (Adder) การคูณ (Multiplier) และการหน่วง (Unit Delay) เวลาแสดงในรูปที่ 2.2 การบวกและการคูณจะใช้แนวความคิดมาจากตัวเลขในหน่วยคอมพิวเตอร์ ส่วนการหน่วงจะทำให้การถึงข้อมูลในอนาคตมีค่าอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานทั้งสามที่ใช้เป็นส่วนประกอบของตัวกรองดิจิทัล

การหน่วงเวลานั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ บวก (positive) และลบ (negative) โดยการหน่วงแบบบวกนี้เป็นอุปกรณ์ที่นำหน้าที่บันทึกความจำของรีจิสเตอร์ (register) จะเก็บค่าได้ตามระยะเวลาที่กำหนด สำหรับการคำนวณครั้งต่อไป การหน่วงแบบลบจะแทนค่าด้วย z^{-1} และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ด้วยการแปลงแซด การหน่วงแบบลบ ใช้แทนค่าต่อไปในระดับสัญญาณแทนค่าด้วย Z จะมีชนิดและการใช้งานที่เหมาะสมอย่างไรก็ตาม การใช้งานก็ไม่สามารถใช้งานได้เสมอไป

วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล สามารถออกแบบให้มีค่าของการคูณที่แน่นอน และมีหลักการในการพิจารณาที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2.2 วงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด หรือ FIR

คำว่า Fir ย่อมาจาก Finite Impulse Response ซึ่งหมายความว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดนั้นคือ หากเราป้อนสัญญาณอิมพัลส์ให้กับวงจรนี้แล้ว สัญญาณตอบสนองจะมีค่าจำกัด โดยสัญญาณเอาต์พุตของ วงจรระบบจะขึ้นอยู่กับสัญญาณเท่านั้น จึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบไม่มีการป้อนกลับ (non-recursive) หรือไม่ป้อนกลับเชิงเลข ซึ่งสามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k x(n-k) \quad (2.1)$$

โดยที่ b_k เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่แทนค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของวงจรกรองความถี่และในทางปฏิบัติค่าจะมีค่าคงที่ ไม่ถึงกับมีค่าอนันต์ ขึ้นกับอันดับของวงจรกรองความถี่ ที่ต้องการใช้จะได้

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n-k) \quad (2.2)$$

และจะได้สมการคอนโวลูชัน (convolution) เป็น

$$y(n) = \sum_{m=0}^{N-1} h(m)x(n-k) \quad (2.3)$$

เรานำมาเปลี่ยนค่าตัวแปรจะได้เป็น

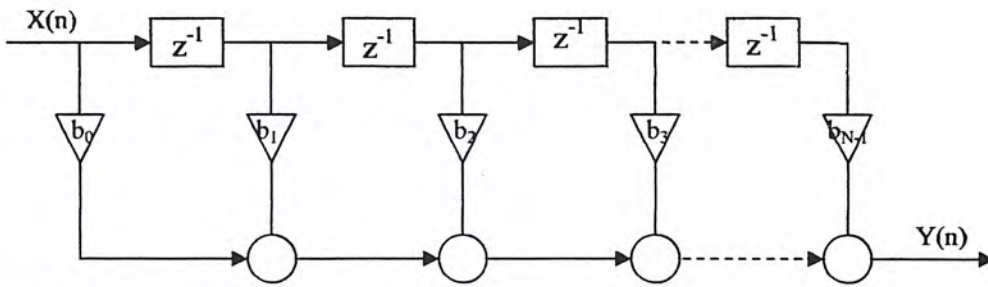
$$y(n) = \sum_{m=n}^{n-N+1} h(n-m)x(m) \quad (2.4)$$

เมื่อ $x(n)$ เป็นอินพุตและ $h(n)$ เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ลำดับที่ N (length- N impulse response) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับการแปลงแซด จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอน

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)z^{-n} \quad (2.5)$$

แทนค่า $z = e^{j\omega}$ จะได้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ป้อนกลับเชิงเลข

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)e^{-j\omega n} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR

2.3 วงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด หรือ IIR

คำว่า IIR ย่อมาจาก Infinite Impulse Response ซึ่งหมายความว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด หรือถึงอนันต์ (Infinite) ทั้งนี้ เพราะวงจรกรองความถี่ชนิดนี้มีคุณสมบัติประจำตัวที่สำคัญ คือ หากเราป้อนสัญญาณอิมพัลส์ให้กับวงจรนี้แล้ว สัญญาณตอบสนองจะไม่สิ้นสุด แต่จะมีไปจนถึงอนันต์ ดังนั้น อาจเรียกวงจรนี้ว่า วงจรกรองความถี่แบบป้อนกลับ (recursive filter) หรือป้อนกลับเชิงเลข เพราะสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาและสัญญาณเอาต์พุตก่อนหน้านั้นโดยทั่วไป ถ้าให้สัมประสิทธิ์ของวงจรกรองความถี่เชิงเลขมีจำนวนจำกัด อาจเขียนเป็นสมการผลต่างสืบเนื่องที่ M (M^{th} order differential equation) สำหรับวงจรกรองความถี่ระบบเวลาจริงได้

$$y(n) = \sum_{k=1}^M b_k y(n-k) - \sum_{k=1}^N a_k x(n-k) \quad (2.7)$$

ผลตอบสนองความถี่สามารถหาได้จากสมการผลต่างโดยจาก

$$y(n) + \sum_{k=1}^N a_k x(n-k) = \sum_{k=1}^M b_k y(n-k)$$

หรือฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

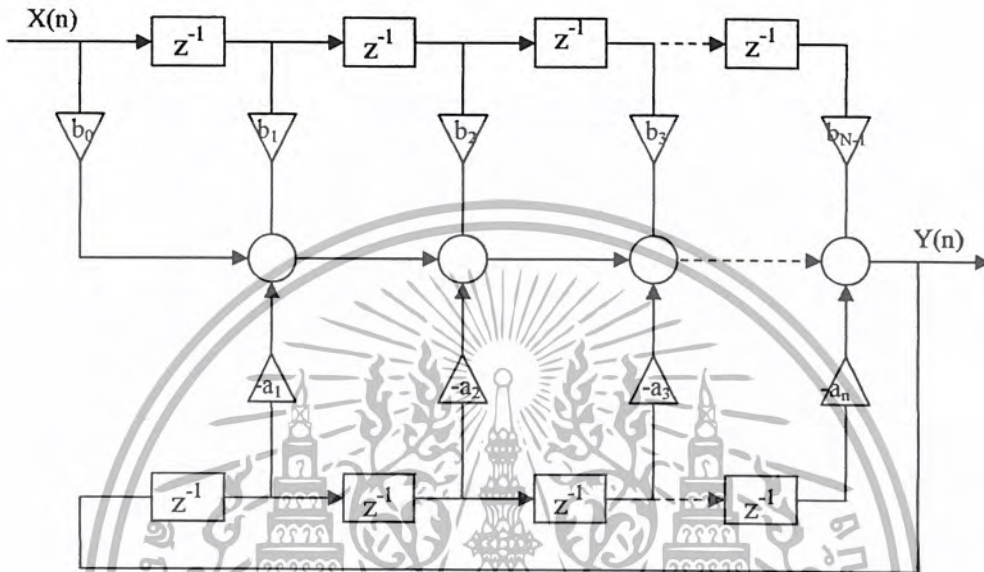
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}} \quad (2.8)$$

โดยในที่นี้ให้ $b_0 = 1$ และโดยการแทนค่าให้ $z = e^{j\omega}$ เราจะได้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่

ป้อนกลับเชิงเลขแบบทั่วไปคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k e^{-j\omega k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-j\omega k}} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบ IIR

2.4 ตัวกรองปรับตัวได้ (Adaptive Filter)

ตัวกรองปรับตัวได้มีความสามารถในการกรองสัญญาณ โดยมีลักษณะการปรับค่าสัมประสิทธิ์โดยอัตโนมัติ ซึ่งการออกแบบตามแนวความคิดที่ว่า จะบรรจุกลุ่มตัวแปร (Parameter) ที่ปรับค่าได้และค่า นั้นจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับการประมาณค่าคุณสมบัติทางสถิติของสัญญาณที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ทฤษฎีของตัวกรองปรับตัวได้จะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับทฤษฎีตัวกรองความถี่ดิจิทัลทั่วไป ในการออกแบบต้องการจะจัดกลุ่มของตัวแปรที่ดีที่สุดจากความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณที่เกี่ยวข้อง ให้เหมาะสมกับบรรทัดฐานและความต้องการปัญหาหลักของตัวกรองปรับตัวได้คือการหาอัลกอริทึม (Algorithm) ที่จะปรับค่าตัวแปรได้ดีในสถานการณ์ที่ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณ โดยทั่วไปนั้น ตัวกรองปรับตัวได้จะทำงานโดยใช้กระบวนการทำงานซ้ำๆ (Iterative) ในการกรองและปรับค่าตัวแปรไปในเวลาเดียวกัน ตัวกรองปรับตัวได้มีสองลักษณะคือ

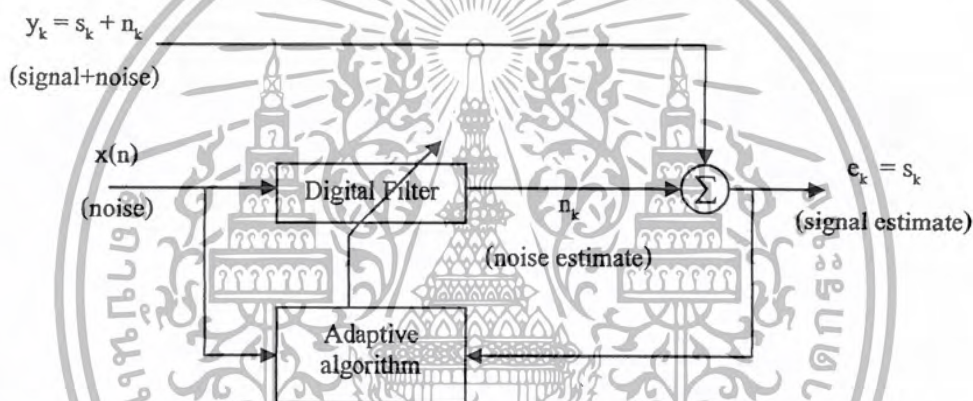
1. ตัวกรองปรับตัวได้แบบรูปเปิด (Open Loop) จะทำการเรียนรู้สถิติของสัญญาณที่เกี่ยวข้องและนำผลที่ได้ไปป้อนให้แก่อัลกอริทึม โดยไม่มีการป้อนกลับ (Non-Recursive) การกระทำลักษณะนี้เพื่อจะให้ได้ การกรองที่ดีจะต้องการกลุ่มตัวแปรจำนวนมากทำให้ต้องสร้างฮาร์ดแวร์ที่ซับซ้อนซึ่งมีราคาแพง ตัวกรองพวกนี้ได้แก่ ตัวกรองปรับตัวได้แบบเอฟไออาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวกรองปรับตัวได้แบบลูปปิด (Close Loop) จะทำการเรียนรู้สถิติของสัญญาณที่เกี่ยวข้องและปรับปรุงกลุ่มของค่าตัวแปรปัจจุบันจากสัญญาณที่เข้าใหม่และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการทำงานรอบที่แล้ว การทำงานเช่นนี้จะเป็นลักษณะของการป้อนกลับ (Recursive) มีข้อดีคือต้องการกลุ่มตัวแปรจำนวนน้อย ทำให้สามารถใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีความซับซ้อนไม่มากนักได้ ตัวกรองพวกนี้ได้แก่ ตัวกรองปรับตัวได้แบบไอไออาร์

แนวคิดของตัวกรองปรับตัวได้

ต่อไปจะแสดงแนวคิดของตัวกรองปรับตัวได้โดยใช้การอธิบายจากการประยุกต์ใช้เป็นตัวลดสัญญาณรบกวน (Noise Canceller) พบว่าประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนตัวกรองดิจิทัล (Digital Filter) และส่วนที่ใช้ปรับค่าสัมประสิทธิ์ (Adaptive Algorithm) ซึ่งจะใช้ในการปรับค่าหรือปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองดิจิทัล ดังรูป



รูปที่ 2.5 แสดงตัวลดสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 2.5 สัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ y_k และ $x(n)$ ถูกป้อนอย่างต่อเนื่องโดยสัญญาณ y_k ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการ s_k และสัญญาณรบกวน n_k โดยสมมติว่าสัญญาณ $x(n)$ เป็นสัญญาณที่จะใช้ในการตรวจสอบสัญญาณรบกวนที่ปะปนมาและมีความสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวน n_k จะพบว่าจากการนำสัญญาณ x_k ไปผ่านตัวกรองดิจิทัลเพื่อทำการประมาณค่าเป็นสัญญาณรบกวนโดยประมาณ n_k^1 ดังนั้นสัญญาณที่ต้องการจะหาได้จากการหักล้างของเอาต์พุตของตัวกรองดิจิทัลจากสัญญาณ y_k ตามสมการ

$$s_k^1 = y_k - n_k^1 = s_k^1 + n_k - n_k^1$$

วัตถุประสงค์ที่สำคัญใน Noise canceling ก็เพื่อจะสร้างค่าประมาณที่ดีที่สุดของสัญญาณที่ถูกรบกวน s_k^1 กลับมา

กรรมวิธีการพัฒนาอัลกอริทึมของตัวกรองปรับตัวได้แบบต่างๆ

ในการพัฒนาแต่ละอัลกอริทึมจะพบว่าแต่ละอัลกอริทึมมีคุณลักษณะเฉพาะตัว จึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำความเข้าใจในความสามารถและขีดจำกัดเพื่อให้การเลือกใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1. กรรมวิธีการแบบสโตแคสติก เกรเดียนท์ (Stochastic Gradient Apoproach)

เป็นกรรมวิธีที่วัดค่าความผิดพลาด โดยใช้ค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองและพยายามลดค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองโดยการทำการหาค่าจุดต่ำสุดบนเอร์เรอร์เพอร์ฟอร์แมนซ์เซอร์เฟซ (Error Performance Surface) ซึ่งจุดต่ำสุดจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าต่ำสุด การหาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์จะทำการแก้สมการของวินเนอร์และฮอปฟ์ (Weiner-Hopf Equation) อัลกอริทึมในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้คือลีสต์มีนสแควร์ (Least Mean Square) หรือเรียกอีกอย่างว่าแอลเอ็ม อัลกอริทึม (LMS Algorithm)

2. กรรมวิธีการประมาณแบบลีสต์สแควร์ (Least Square Estimation)

กรรมวิธีนี้ใช้วิธีการลดคอสต์ฟังก์ชัน (Cost Function) โดยอาจใช้วิธีการของรีเคอร์ซีฟ ลีสต์สแควร์ (Recursive Least Square:RLS) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 อัลกอริทึม ดังนี้

1. รีเคอร์ซีฟ ลีสต์สแควร์ อัลกอริทึมมาตรฐาน (Standard RLS Algorithm)
2. รีเคอร์ซีฟ ลีสต์สแควร์ อัลกอริทึมโดยการถอดราก (Square Root RLS Algorithm)
3. รีเคอร์ซีฟ ลีสต์สแควร์ อัลกอริทึมแบบเร็ว (Fast RLS Algorithm)

การวัดประสิทธิภาพในระบบปรับตัว

ในระบบปรับตัวทุกระบบมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวัดประสิทธิภาพ โดยทำเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมต่างๆ ในตัวกรองปรับตัวก็เช่นกัน นอกจากนี้จะต้องทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรองแล้ว ยังต้องทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมอีก เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ อัลกอริทึมที่ให้การตอบสนองที่ดี การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมมีหลายวิธีการดังจะกล่าวต่อไป

1. ความเร็วในการลู่เข้า (Convergence Rate)

อัตราการลู่เข้าของระบบปรับตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากซึ่งจะต้องทำการวัดเพื่อให้ได้ตามความต้องการของงานที่จะนำไปใช้ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเร็วในการลู่เข้านั้นสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้อย่างไรก็ตามการใช้อัลกอริทึมไม่จำเป็นต้องใช้อัลกอริทึมที่มีความเร็วสูงสุดเนื่องจากการเพิ่มความเร็วราคาในการสร้างเบาะความซับซ้อนของวงจรก็จะสูงขึ้นเช่นกัน การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้งานมากกว่า

2. ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error)

จะวัดในลักษณะของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด (Minimum Mean Square Error: MMSE) ซึ่งในการวัดความสามารถในการทำงานของระบบในการลดสัญญาณรบกวน (Eliminating Noise), ทำนายสัญญาณ (Signal Prediction) หรือแยกแยะระบบ (System Identifying) แล้วแต่ว่าเป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไรโดยทั่วไปแล้วค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างของตัวกรอง ความไวของสัมประสิทธิ์ ตลอดจนสัญญาณรบกวนต่างๆ ไป

3. ความถูกต้องในการประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation Accuracy)

ความถูกต้องในการประมาณค่าตัวแปรเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากเมื่อมีการนำระบบปรับตัวไปใช้ในการหาคุณลักษณะของระบบที่ไม่ทราบ (System Identifying) ซึ่งความถูกต้องในการประมาณค่าตัวแปรมีมาก จะทำให้ได้แบบจำลองระบบที่ต้องการใกล้เคียงความจริงมากขึ้น

4. ความซับซ้อนในการประมวลผล (Computation Complexity)

ความซับซ้อนในการประมวลผลมีความสำคัญมากในการนำระบบปรับตัวไปใช้งานจริง โดยทั่วไปต้องการความซับซ้อนในการประมวลผลที่ต่ำ ทำให้การสร้างมีราคาถูก นอกจากนั้นหากนำไปโปรแกรมลงในตัวประมวลผลสัญญาณสำเร็จรูปแล้วนั้นก็ต้อคำนึงถึงความสามารถในการทำงานของตัวประมวลผลเปรียบเทียบกับความซับซ้อนในการประมวลผลของอัลกอริทึมด้วย

5. เสถียรภาพ (Stability)

ความมีเสถียรภาพของระบบมีความสำคัญอย่างมากในการใช้งานตัวกรองปรับตัวได้ โดยเฉพาะตัวกรองแบบไอ ไออาร์ เนื่องจากอาจเกิดการเลื่อนของโพลออกนอกวงกลมหนึ่งหน่วย ทำให้เกิดการออสซิลเลตและทำให้ค่าลู่ออก (Diverge) จนไม่สามารถทำงานได้ การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของตัวกรองด้วย

6. ความทนของระบบ (Robustness)

เนื่องจากค่าอินพุทของตัวกรองปรับตัวได้มักมีค่าต่างๆ ที่ไม่แน่นอนจึงมีความจำเป็นที่ตัวกรองจะต้องมีความทนต่อความแปรปรวนของสัญญาณ โดยทั่วไปความทนของระบบเป็นค่าที่ยากต่อการวัดในการทดลอง โดยทั่วไปจึงไม่ทำการวัดคุณลักษณะนี้

การประยุกต์ใช้งานตัวกรองปรับตัวได้

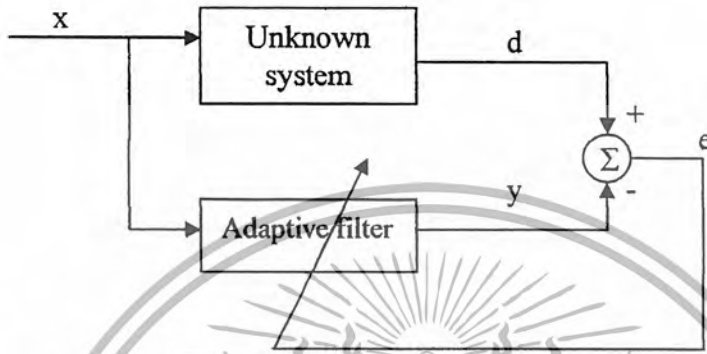
ตัวกรองปรับตัวได้มีคุณสมบัติในการปรับตัวได้อย่างอัตโนมัติทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์หลายๆ อย่าง ต่อไปจะทำการอธิบายตัวอย่างการนำตัวกรองปรับตัวได้ไปประยุกต์ใช้งาน

1. การประยุกต์ในการจำลองคุณลักษณะของระบบที่ไม่ทราบ (System Identification)

สมมติว่ามีระบบที่ไม่เป็นที่รู้จักและต้องการพิจารณาผลตอบสนองของระบบนั้นต่อสัญญาณที่ป้อนให้กับระบบ โดยสมมติว่าระบบนี้ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและมีคุณสมบัติเชิงเส้นและต้องการที่จะพัฒนาแบบจำลอง (Model) สำหรับระบบนี้โดยใช้ตัวกรองปรับตัว เพื่อที่จะสร้างสัญญาณเอาต์พุตให้เหมือนกับเอาต์พุตของระบบที่ไม่เป็นที่รู้จัก โดยการป้อนอินพุตที่เหมือนกันให้แก่ระบบทั้งสองและทำการเปรียบเทียบเอาต์พุตทั้งสองเพื่อสร้างสัญญาณผิดพลาด ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง อาจกล่าวได้ว่าการทำงานของตัวกรองปรับตัวเป็นการพยายามปรับผลตอบสนองให้เหมือนกับผลตอบสนองของระบบที่ไม่เป็นที่รู้จัก เพื่อที่จะทำให้สัญญาณผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการที่ถูกใช้บ่อยๆ ในทางปฏิบัติสำหรับการทำให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง และสำหรับในกรณีที่สัญญาณอินพุตของระบบที่ไม่เป็นที่รู้จักนั้นคงที่และระบบที่ไม่เป็นที่รู้จักไม่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขใดๆ ของการรับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเวลาจะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงสู่ศูนย์ (Convergence) ในขณะนั้นเองกล่าวได้ว่าตัวกรองสำหรับตัวทำการจำลองคุณลักษณะของระบบที่ไม่ทราบได้แล้ว



รูปที่ 2.6 แสดงการประยุกต์ใช้ตัวกรองปรับตัวในการจำลองคุณลักษณะของระบบที่ไม่ทราบ

2. การพัฒนาอีควาไลเซอร์แบบปรับตัวได้ (Adaptive Equalization)

ระบบการส่งข้อมูลทั่วไปจะพยายามใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณที่อยู่ให้มีประสิทธิภาพที่สุด โดยออกแบบระบบการส่งข้อมูลด้วยอัตราสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ภายใต้ความน่าเชื่อถือที่กำหนด ซึ่งปกติถูกวัดอยู่ในรูปของอัตราการผิดพลาดหรือความน่าจะเป็นเฉลี่ยของการผิดพลาดของสัญลักษณ์ (Average probability of symbol error) การส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านช่องทางสื่อสารแบบเชิงเลขถูกจำกัดด้วยองค์ประกอบสองอย่าง

1. การแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ เกิดเป็นการแทรกซ้อนของสัญลักษณ์ที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นผลมาจากการเบี่ยงเบนของการตอบสนองความถี่ในช่องทาง
2. การรบกวนจากเทอร์มอลนอยส์ เกิดจากสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากอุณหภูมิ ซึ่งโดยทั่วไปมักเกิดในอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบสื่อสาร

สำหรับช่องทางสื่อสารที่จำกัดเช่น โทรศัพท์ปกติจะพบว่าการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้พิจารณาในการกำหนดอัตราส่งของข้อมูล

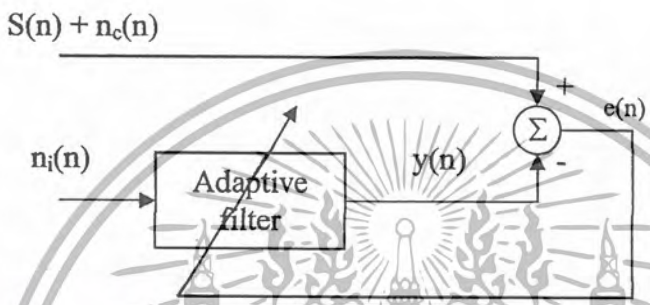
เพื่อที่จะแก้ปัญหาการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ต้องมีตัวกรองโดยถ้าคุณลักษณะของช่องสัญญาณเป็นที่รู้อย่างแน่นอนแล้ว จะสามารถออกแบบตัวกรองทั้งภาคส่งและภาครับได้ ซึ่งจะลดผลของการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ลงได้และยังช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นมาแต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เราพบว่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณสื่อสารนั้นเป็นแบบสุ่มฉะนั้นการใช้ตัวกรองภาคส่งและภาครับที่ออกแบบ โดยคุณลักษณะของช่องสัญญาณเฉลี่ยจะไม่เพียงพอที่จะลดการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อีควาไลเซอร์แบบปรับตัวได้ ซึ่งจะลดการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือขึ้น โดยพื้นฐานสำหรับการอควไลซ์ของระบบการส่งข้อมูลที่มีอยู่ คือการเพิ่มขนาดสัญญาณที่บางย่าน (Pre-Equalization) ที่ภาคส่งและการลดขนาดสัญญาณที่บางย่าน (Post-Equalization) ที่ภาครับ

3. การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Cancellation)

กานำตัวกรองปรับตัวได้มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนนั้นโดยใช้สัญญาณรบกวนที่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวนที่ปนมาในสัญญาณไม่ต้องการ ในการกำจัดสัญญาณรบกวน โดยการป้อนสัญญาณและโครงสร้างของระบบกำจัดสัญญาณรบกวนเป็นไปตามรูป



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างระบบกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองปรับตัวได้

จากรูปป้อนสัญญาณรบกวน $n_c(n)$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวน $n_e(n)$ ให้แก่ระบบจะได้เอาที่พูดของตัวกรองปรับตัว $y(n)$ แล้วจึงนำไปหักล้างกับสัญญาณรบกวน $n_c(n)$ ซึ่งจะปนอยู่กับสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวกรองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในการปรับค่าสัมประสิทธิ์อีกทีหนึ่ง

4. การพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพสาย (Adaptive Line Enhancer)

อุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพสาย เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้แยกสัญญาณแบนด์แคบซึ่งฝังอยู่ในสัญญาณแบนด์กว้าง ซึ่งขึ้นกับการใช้งาน สัญญาณที่ต้องการจะแยกออกอาจเป็นสัญญาณที่สนใจหรือสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการอย่างของการใช้เช่น การทคตสัญญาณรบกวนความถี่ 50-60 Hz ออกจากสัญญาณของอุปกรณ์ทางการแพทย์

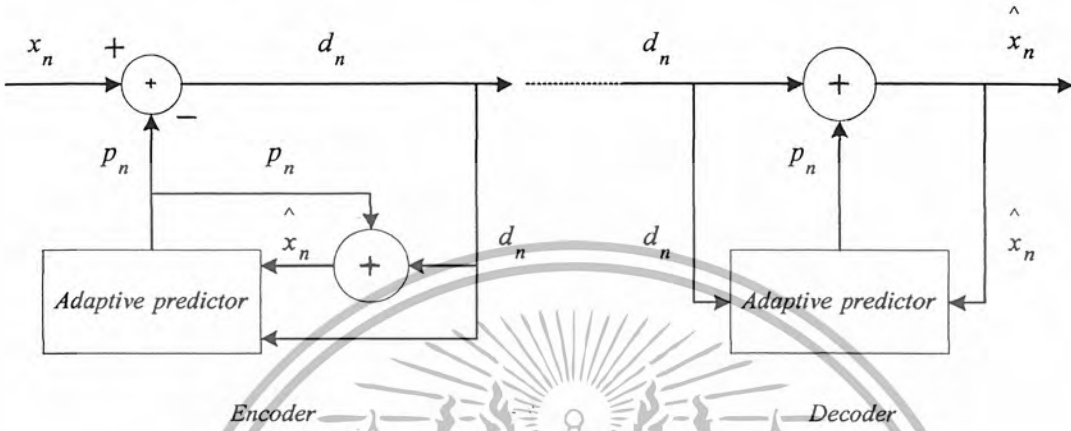
2.5 ตัวกรองปรับตัวได้แบบเฟอไออาร์ (Adaptive FIR filter)

ในการศึกษาตัวกรองปรับตัวนั้น โดยทั่วไปมักจะเริ่มจากการศึกษาตัวกรองปรับตัวได้แบบเฟอไออาร์เสียก่อน เนื่องจากตัวกรองปรับตัวแบบเฟอไออาร์มีคุณสมบัติทางประการที่ดีกว่า กล่าวคือ เสถียรภาพของระบบที่ดีกว่าเนื่องจากสัมประสิทธิ์ของตัวกรองที่มีค่าจำกัด อัลกอริทึมที่ใช้ในการปรับตัวก็ง่ายกว่า นอกจากนั้นแล้วประสิทธิภาพของตัวกรองก็สามารถมองได้ในลักษณะของการลู่เข้าสู่และเสถียรภาพ

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การหาอัลกอริทึมสำหรับตัวกรองปรับตัวแบบเอฟไออาร์โดยใช้อัลกอริทึมแบบลิสต์มินสแควร์หรืออัลกอริทึมแบบแอลเอ็มเอส



Encoder Decoder
รูปที่ 3.1 บล็อกโคแอดแดร็ทของเอ็ดจีซีเอ็มที่ใช้ในการทดลอง

ต่อไปจะแสดงการหาอัลกอริทึมสำหรับตัวกรองปรับตัวแบบเอฟไออาร์โดยใช้อัลกอริทึมแบบลิสต์มินสแควร์หรืออัลกอริทึมแบบแอลเอ็มเอส

ตัวอย่างแบบเอฟไออาร์ ซึ่งมีสัญญาณอินพุตเป็น $x(n)$ มีสมการทั่วไปคือ

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i(n)x(n-i) \quad (2.10)$$

ให้สัญญาณที่ต้องการเป็นแล้วสัญญาณความผิดพลาดสามารถนิยามโดย

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2.11)$$

สำหรับความต้องการโดยทั่วไปของตัวกรองปรับตัว การเลือกสัมประสิทธิ์ $w_i(n)$ นั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการลดสัญญาณความผิดพลาดให้น้อยที่สุด โดยยึดเอาค่าเฉลี่ยกำลังสองในการเปรียบเทียบ

โดยทั่วไปของตัวกรองปรับตัว การเลือกสัมประสิทธิ์แบบ สต็ปเปสท์ เดสเซนท์ (Steepest Descent) ซึ่งก็คือ

$$W(n+1) = W(n) - \mu \nabla e^2(n) \quad (2.12)$$

เมื่อ $W(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)]^T$ เป็นเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ μ เป็นค่าขนาดสเกล และ ∇ เป็นค่าเกรเดียนท์เวกเตอร์ซึ่งกำหนดโดย

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial w_0} \quad \frac{\partial}{\partial w_1} \quad \dots \quad \frac{\partial}{\partial w_{N-1}} \right]^T \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเกรเดียนต์ตัวที่ i ของเกรเดียนต์เวกเตอร์ $\nabla e^2(n)$ คือ

$$\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_i} = 2e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial w_i} \quad (2.14)$$

แทนค่า $e(n) = d(n) - y(n)$ ลงในสมการข้างต้นจะได้เป็น

$$\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_i} = -2e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial w_i} \quad (2.15)$$

แทนค่าสมการที่ (2.10) ลงในสมการข้างต้นจะได้เป็น

$$\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_i} = -2e(n)x(n-i) \quad (2.16)$$

ดังนั้นจากสมการข้างต้นจะพบว่า

$$\nabla e^2(n) = -2w(n)X(n) \quad (2.17)$$

เมื่อ $X(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T$ หลังจากทำการแทนค่าจะได้สมการปรับสัมประสิทธิ์เป็น

$$W(n+1) = W(n) + 2\mu e(n)X(n) \quad (2.18)$$

จากสมการทั้งหมดเราจะได้อัลกอริทึมโดยสรุปเป็น

อินพุต : เวกเตอร์สัมประสิทธิ์ $W(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)]^T$

อินพุตเวกเตอร์ $X(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T$

สัญญาณที่ต้องการ $d(n)$

เอาต์พุต : ฟิลเตอร์เอาต์พุต $y(n)$

เวกเตอร์สัมประสิทธิ์ที่ปรับแล้ว $W(n+1)$

1. การกรองสัญญาณ

$$y(n) = W^T(n)X(n)$$

2. กระทบราคาความผิดพลาด

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

3. การปรับสัมประสิทธิ์

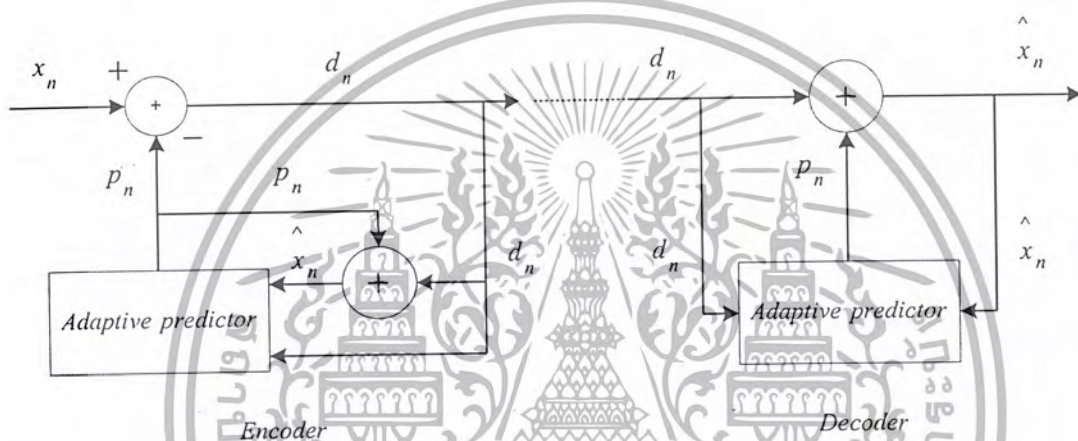
$$W(n+1) = W(n) + 2\mu e(n)X(n)$$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

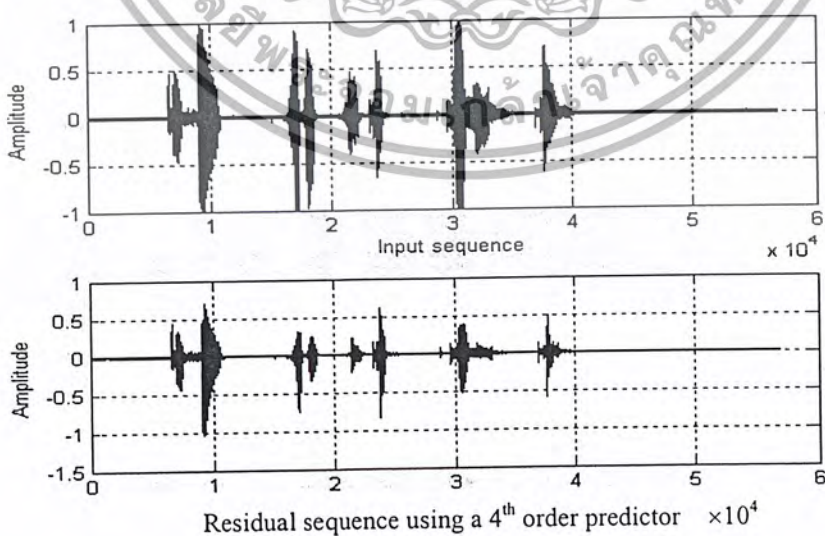
4.1 จำลองการทำงานของฟังก์ชันการทำนายด้วยโปรแกรม MATLAB

การศึกษาถึงคุณสมบัติของตัวทำนาย ซึ่งมีการทำงานตามรูปที่ 4.1 และ 4.2 การจำลองการทำงานของฟังก์ชันการทำนายในวงจรเอ็ดพีซีเอ็มที่ตัดส่วนของการควอนไทซ์ออก ใช้ความถี่สัญญาณเบสแบนด์ที่ 1000 เฮิรตซ์ และใช้ความถี่ในการสุ่ม 8000 เฮิรตซ์ โดยใช้เสียงพูดของผู้ชายด้วยประโยคที่ว่า “ระบบทำนายสัญญาณเสียง”



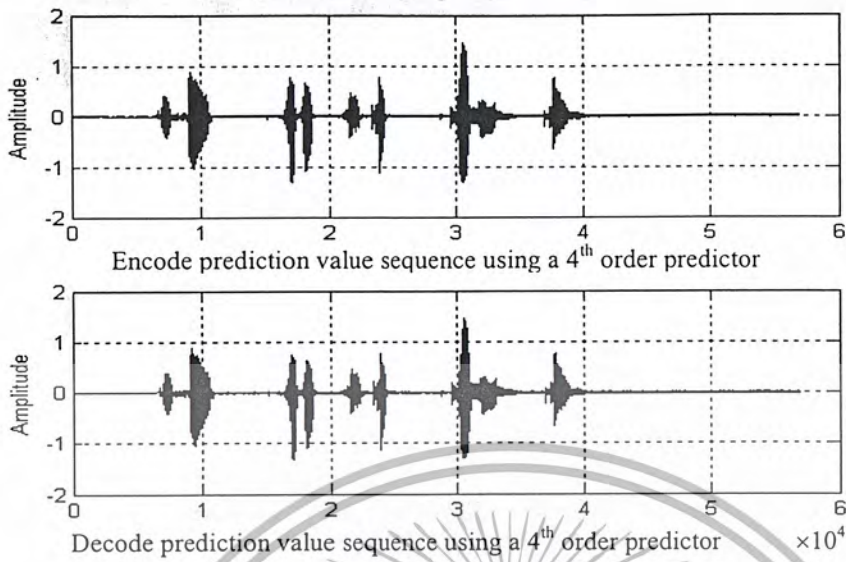
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของเอ็ดพีซีเอ็มที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ถ้าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.01

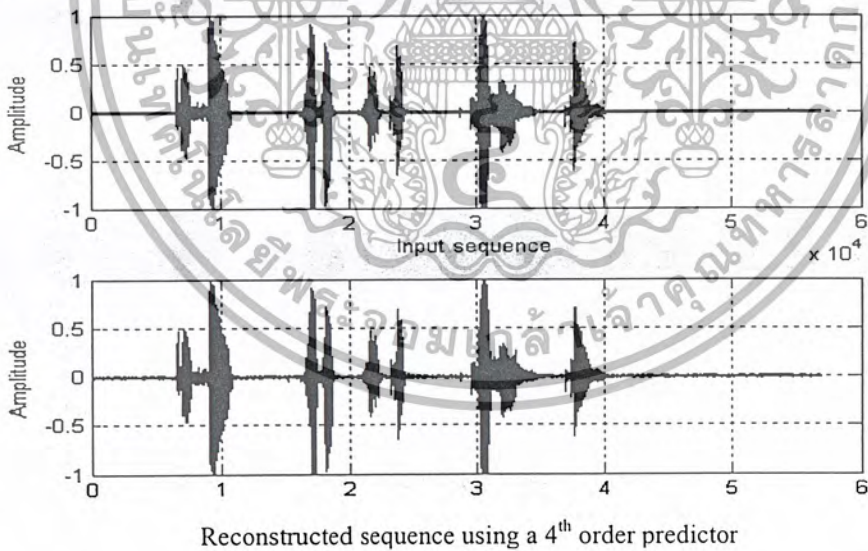


รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



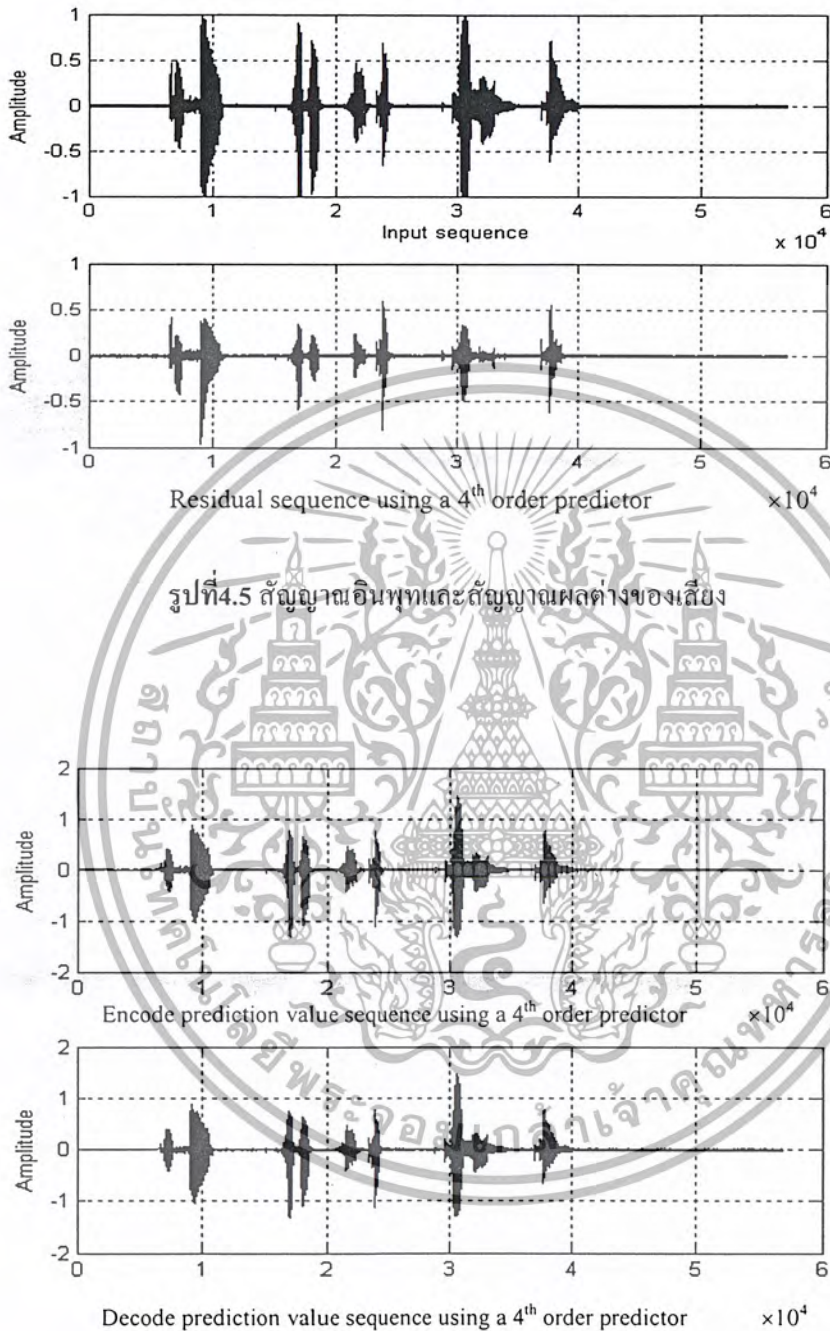
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส



รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

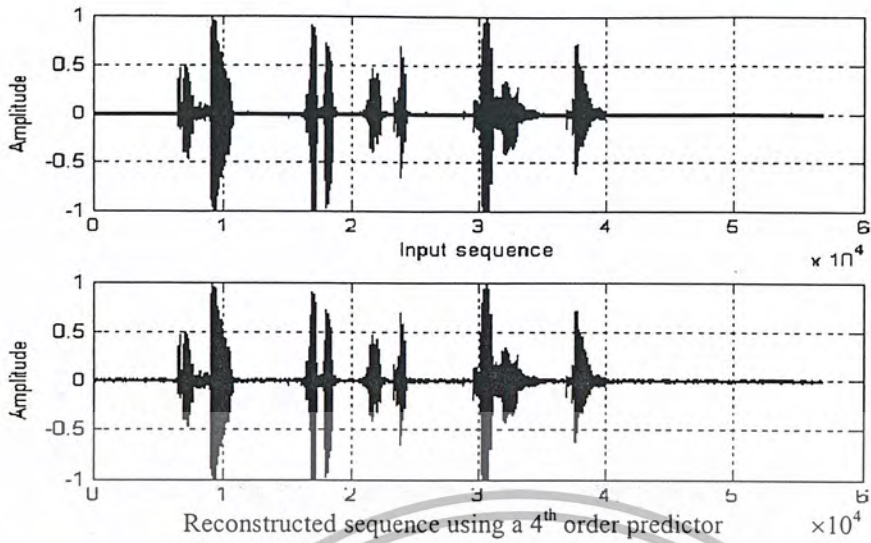
4.1.2 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูเข้า 0.03



รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

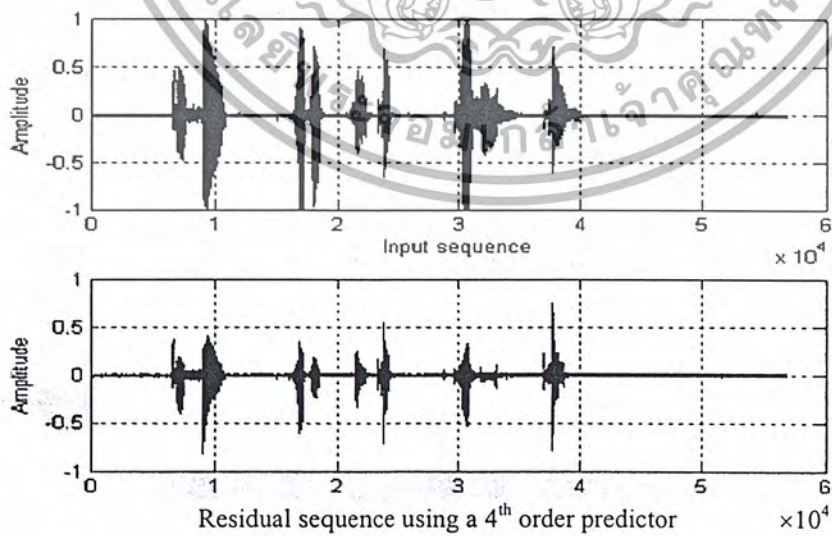
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



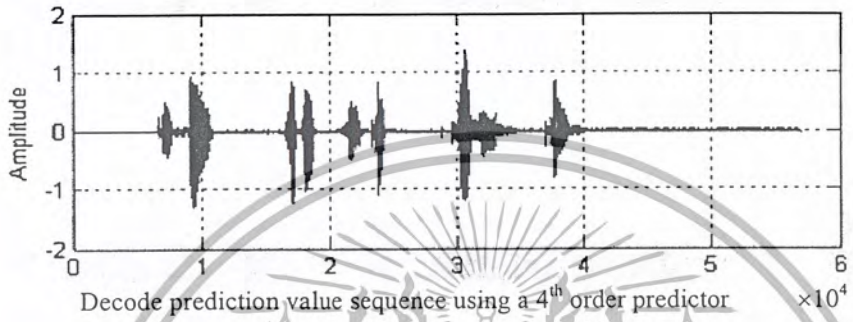
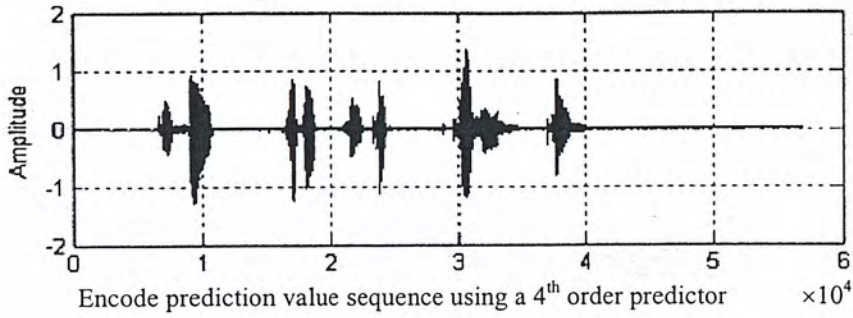
รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านออร์ทัส

4.1.3 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูเข้า 0.06

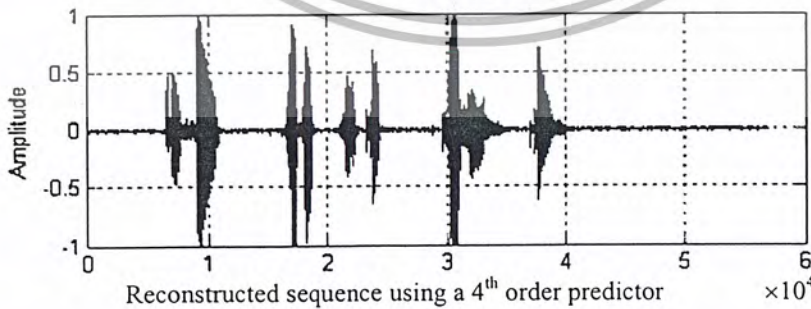
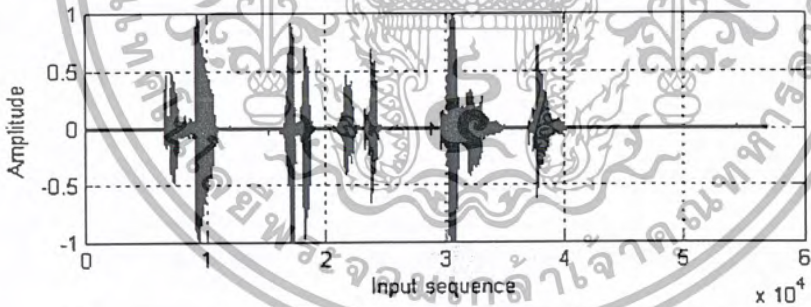


รูปที่ 4.8 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



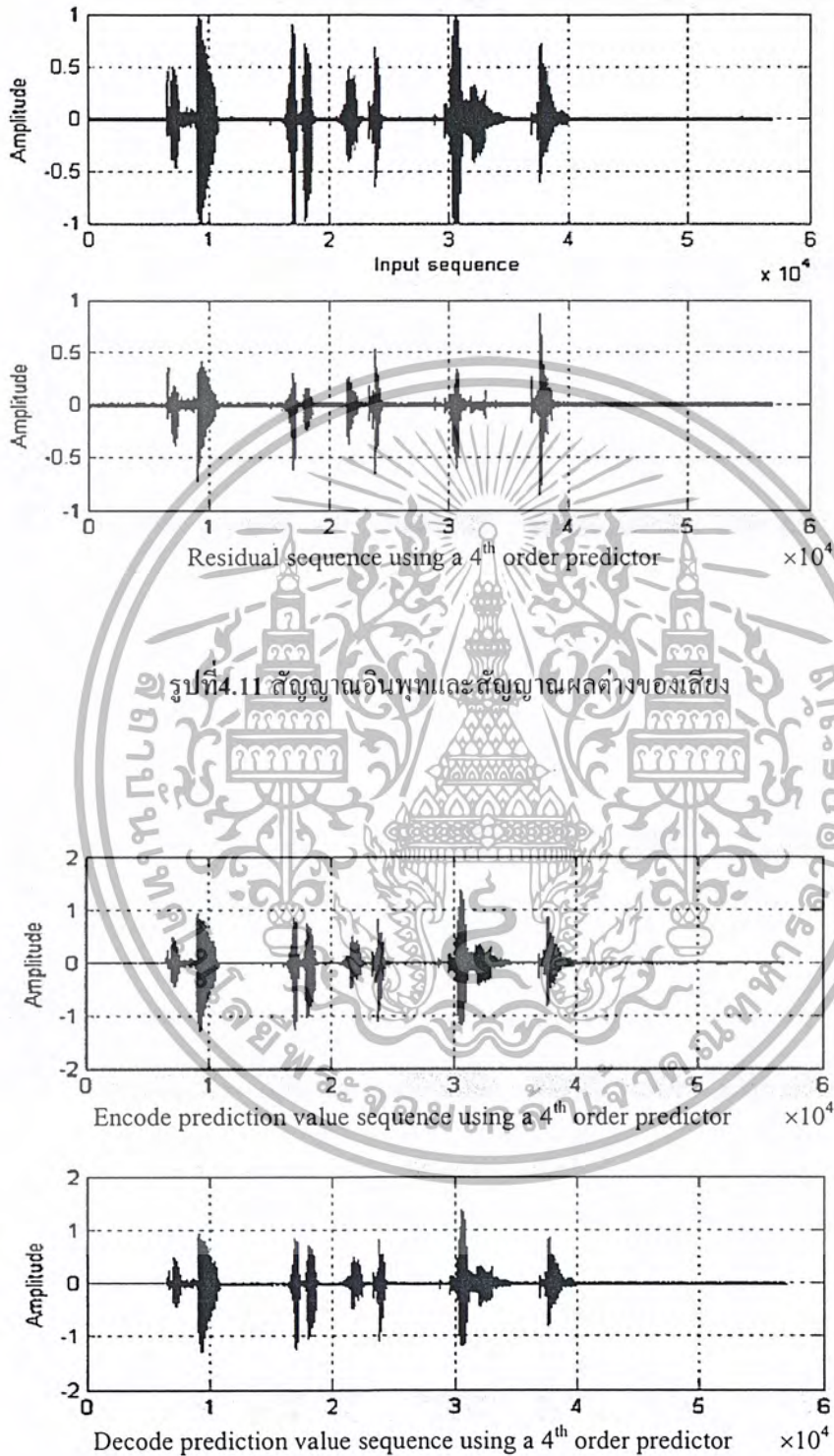
รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส



รูปที่ 4.10 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

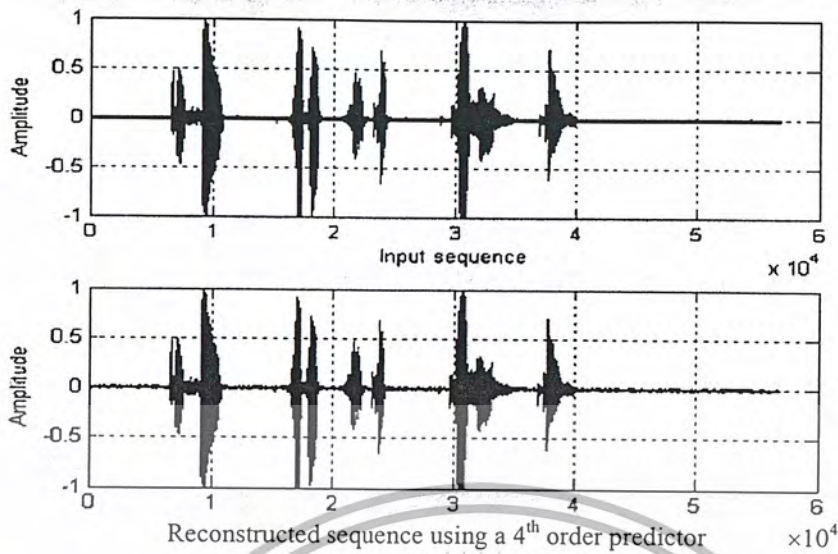
4.1.4 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูเข้า 0.08



รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

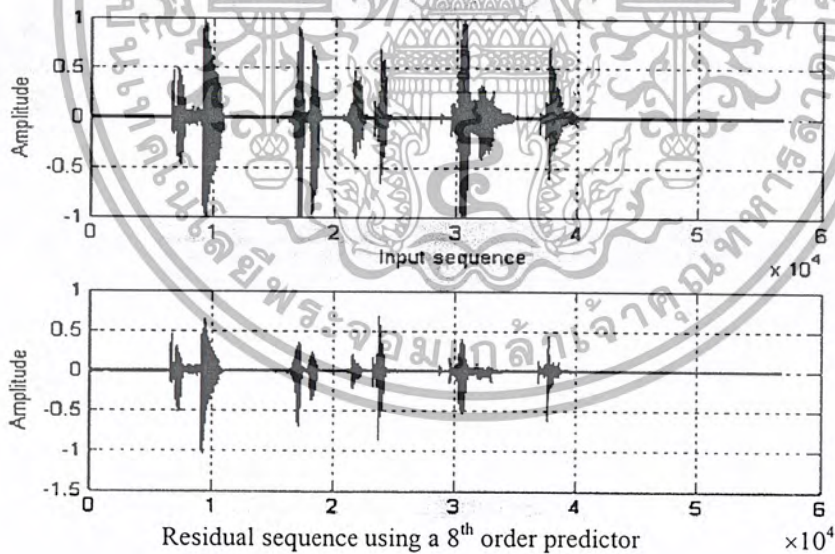
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



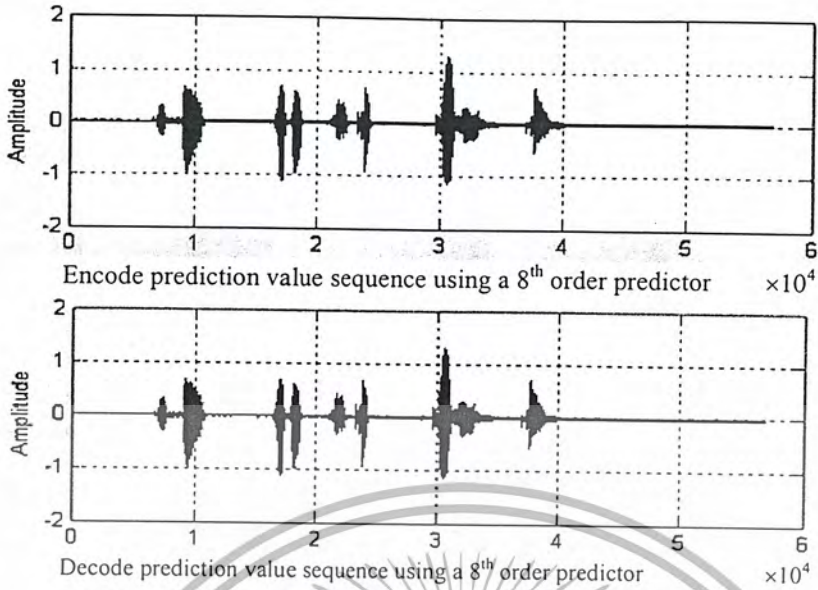
รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจากด้านถอครหัส

4.1.5 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การสุ่มเข้า 0.01

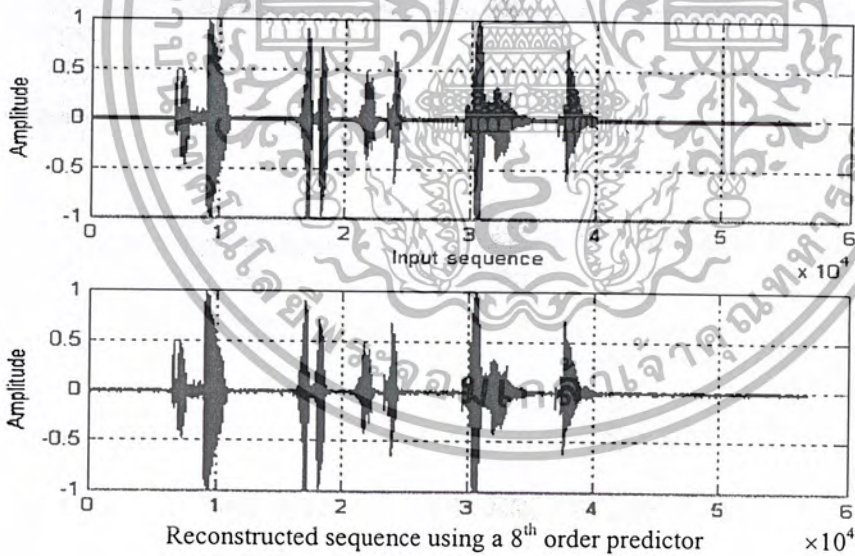


รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



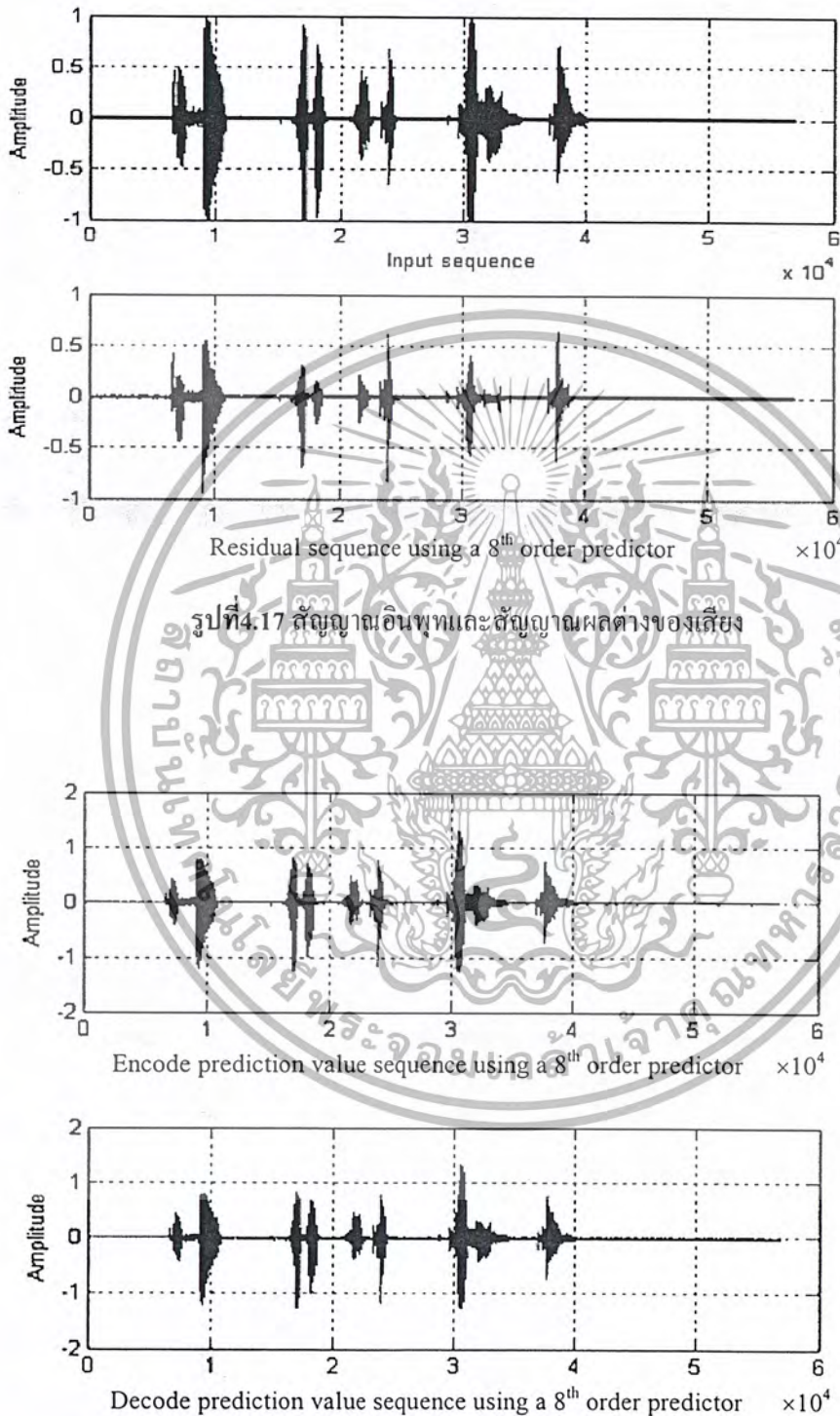
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากการทำนายค่าเข้าหัตและถอดรหัส



รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

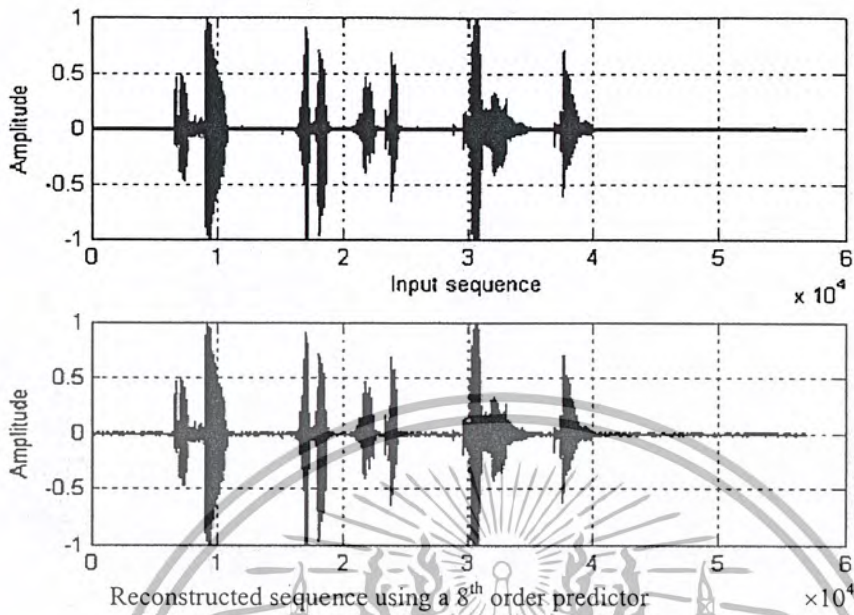
4.1.6 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.03



รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

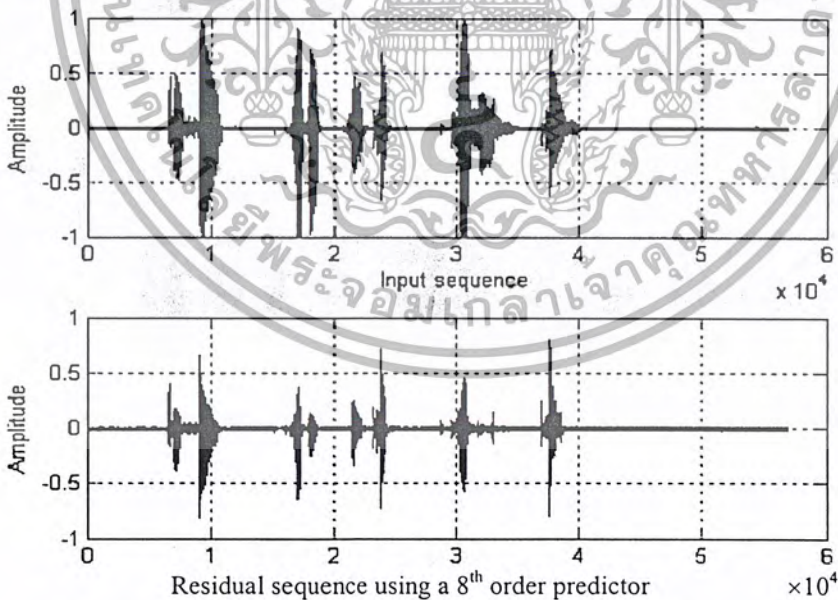
รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



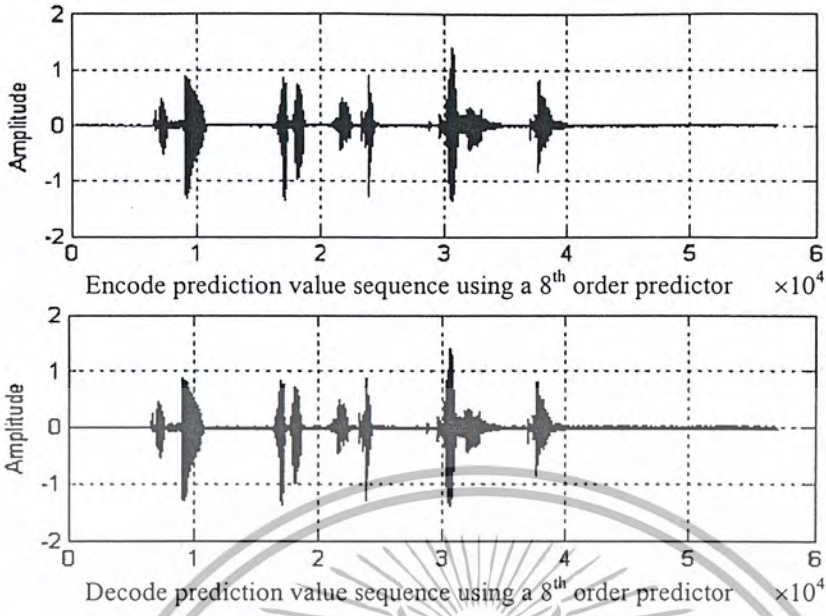
รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านลอกรหัส

4.1.7 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.06

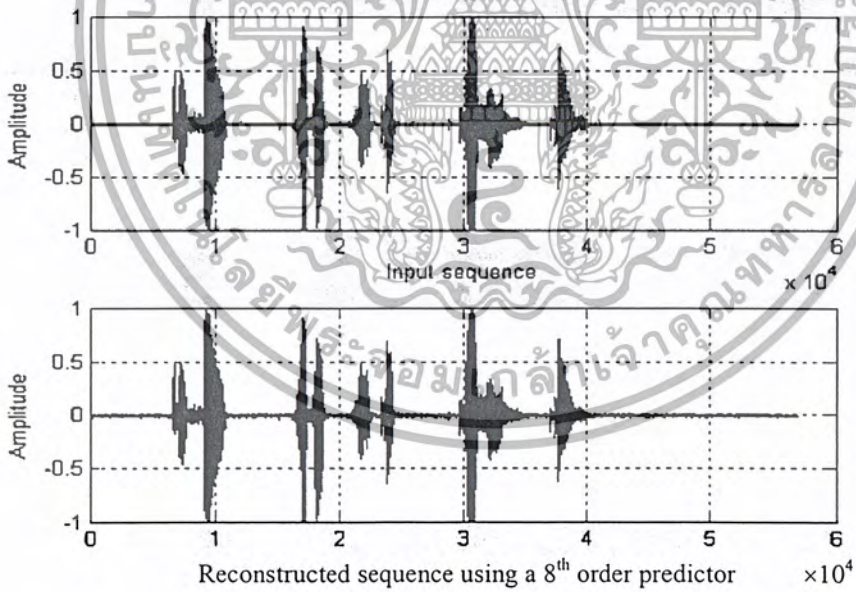


รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



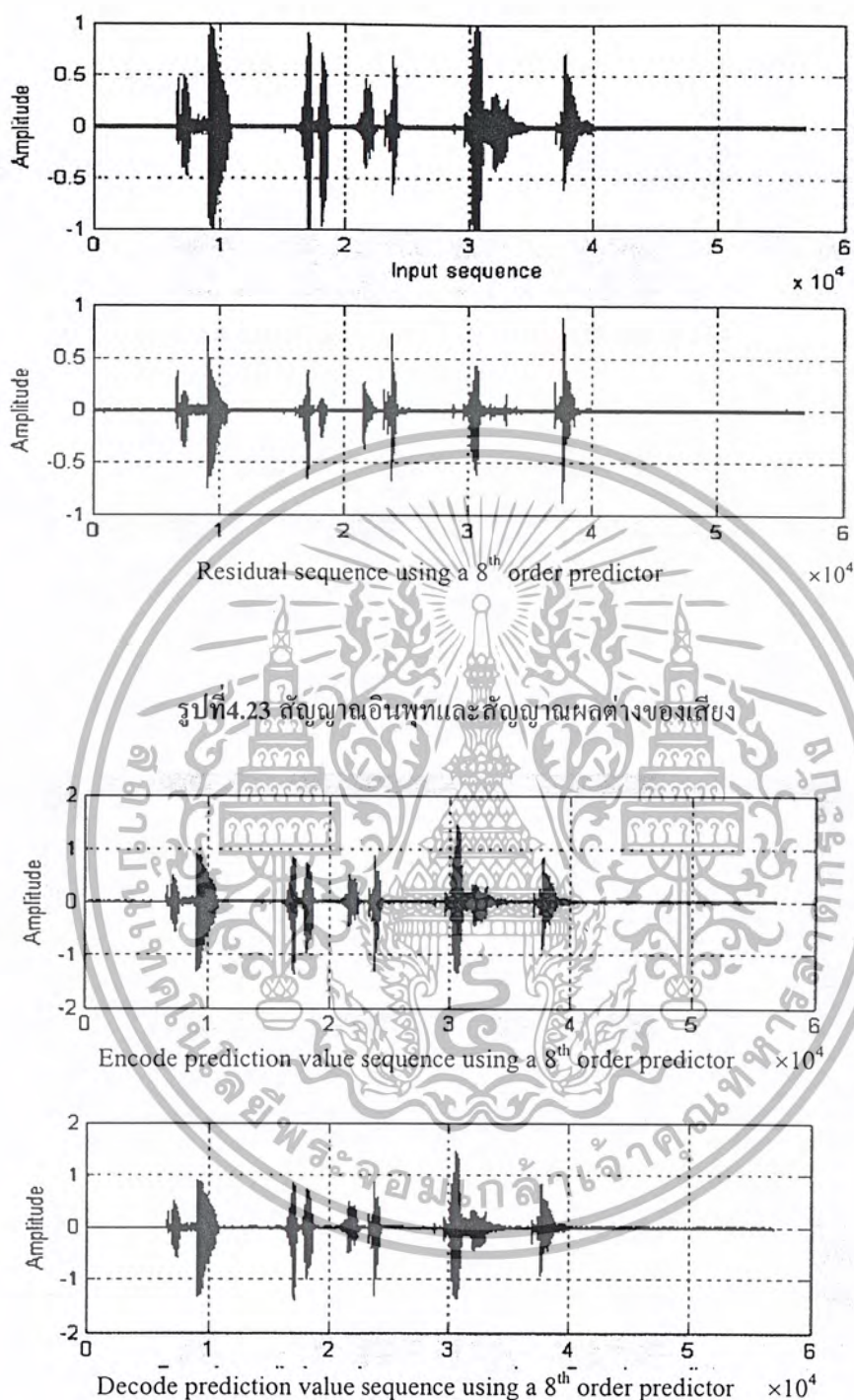
รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส



รูปที่ 4.22 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

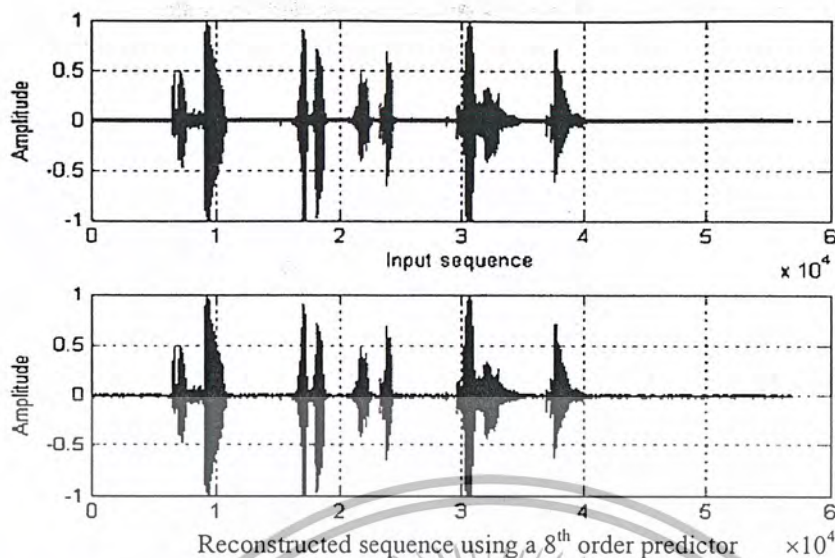
4.1.8 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



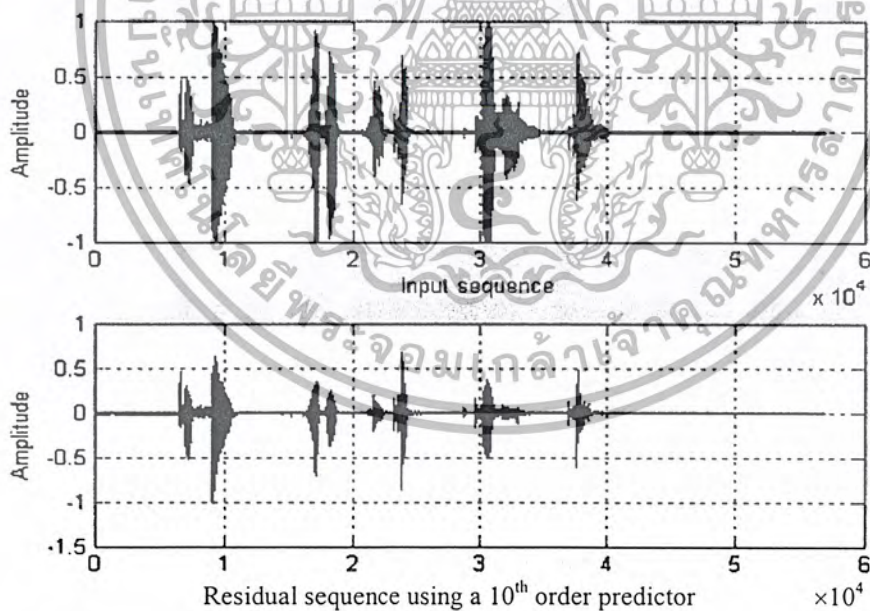
รูปที่ 4.24 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



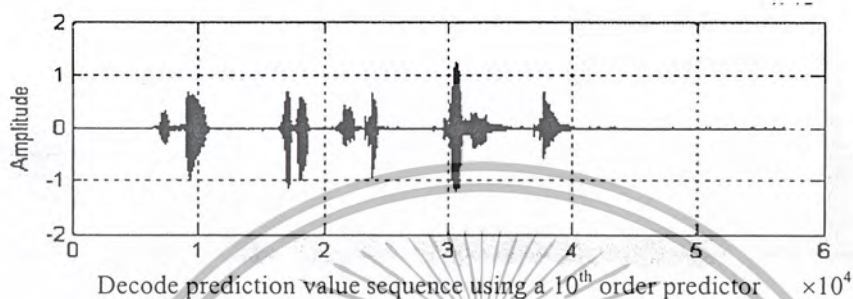
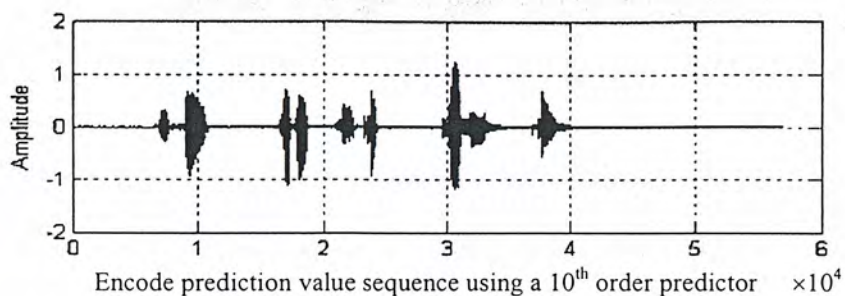
รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถดถอยหัด

4.1.9 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการถ่ายโอน อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.01

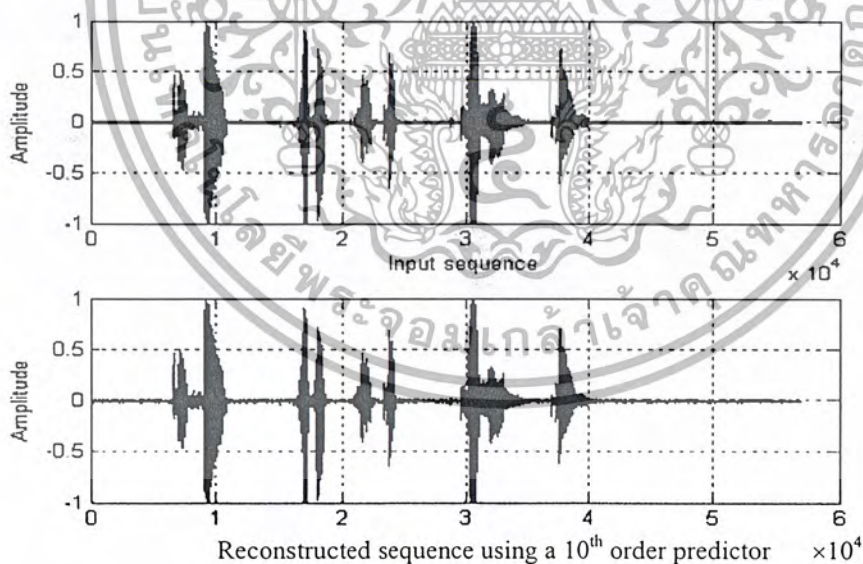


รูปที่ 4.26 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



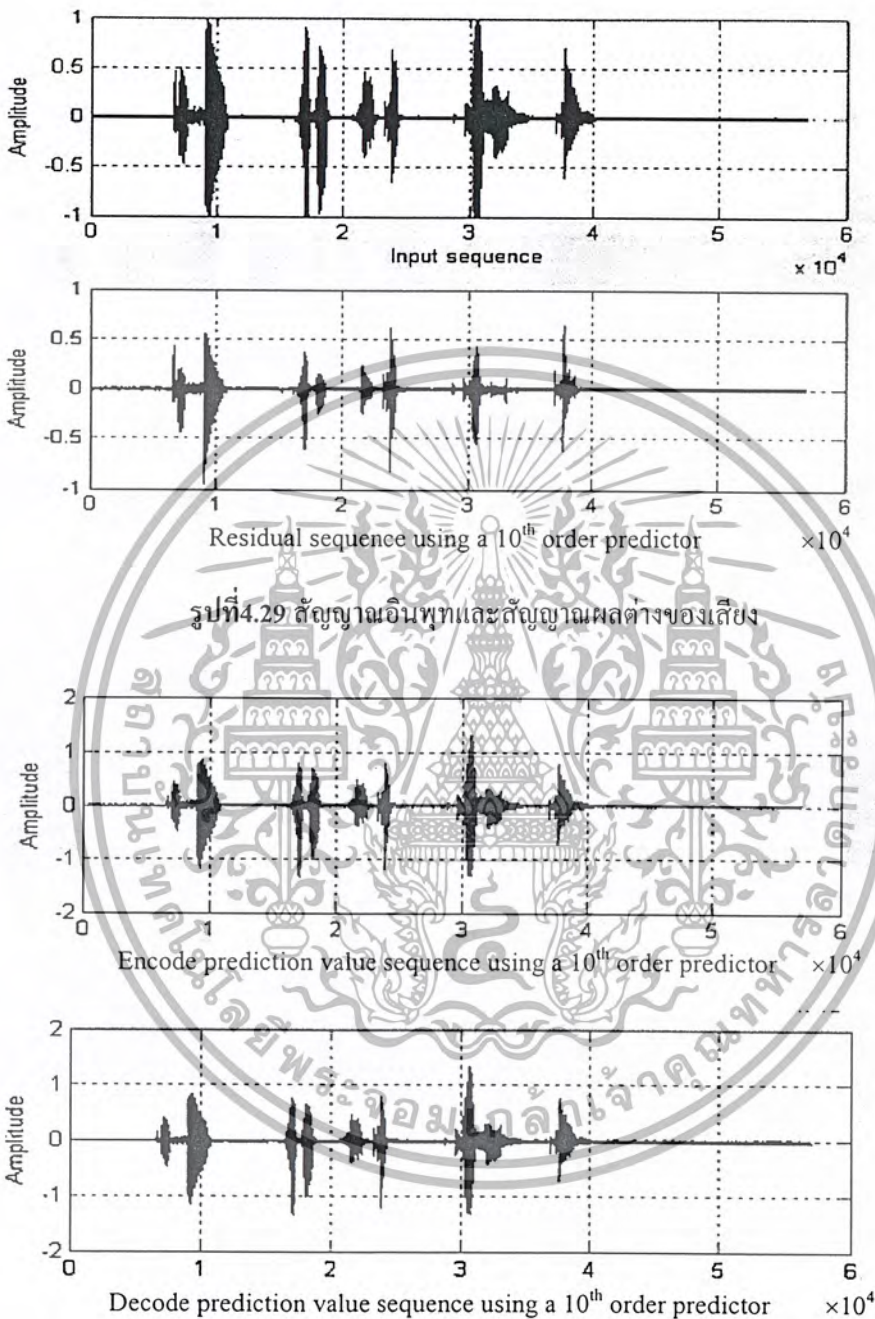
รูปที่ 4.27 สัญญาณที่ได้จากการทำนายค่าเข้ารหัสและถอดรหัส



รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

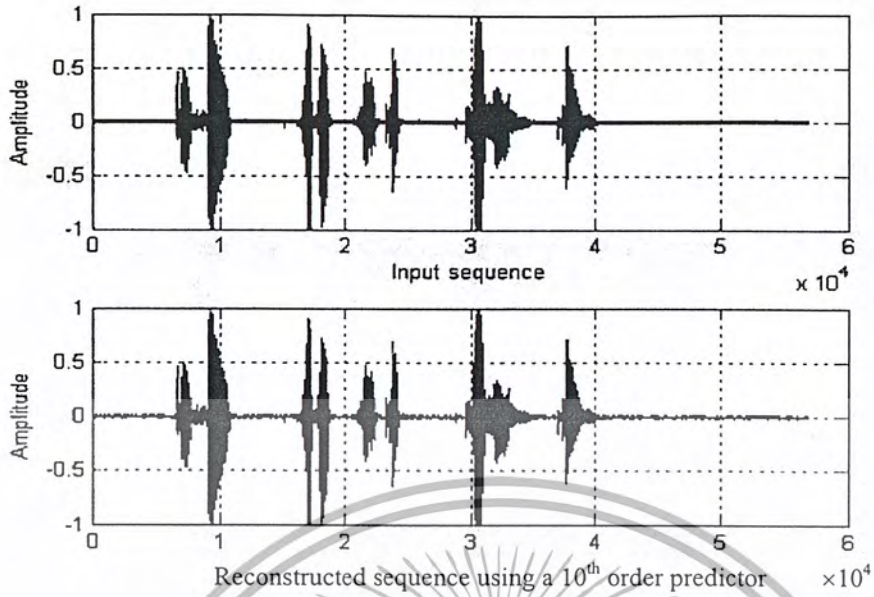
4.1.10 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.03



รูปที่ 4.29 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

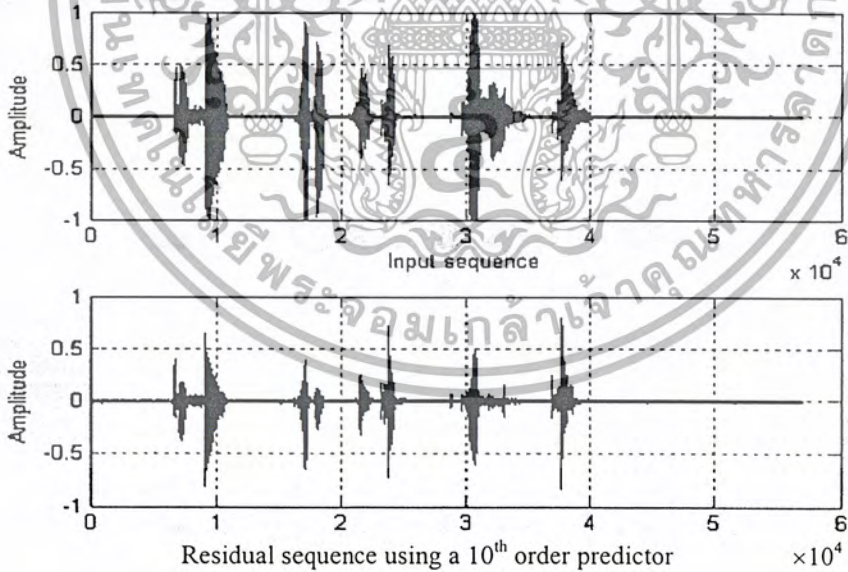
รูปที่ 4.30 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



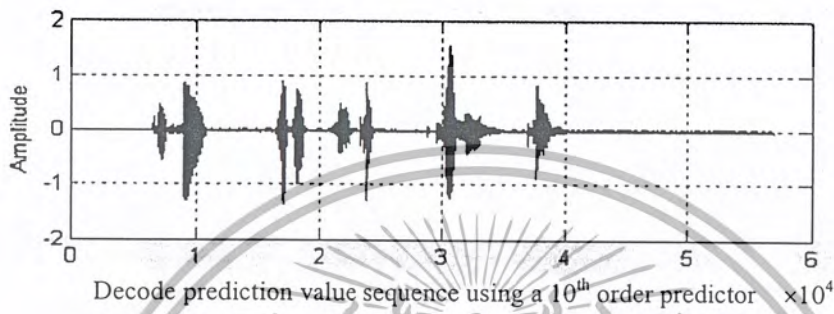
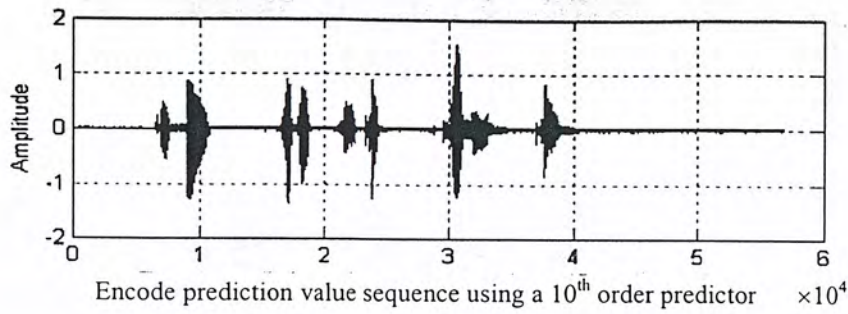
รูปที่ 4.31 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางค่านถอครหัส

4.1.11 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทํานาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การดูเข้า 0.06

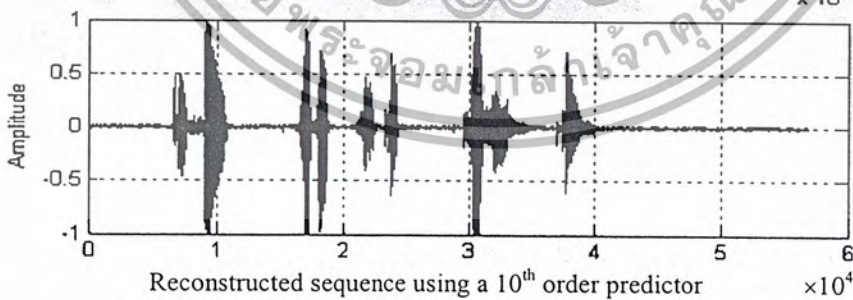
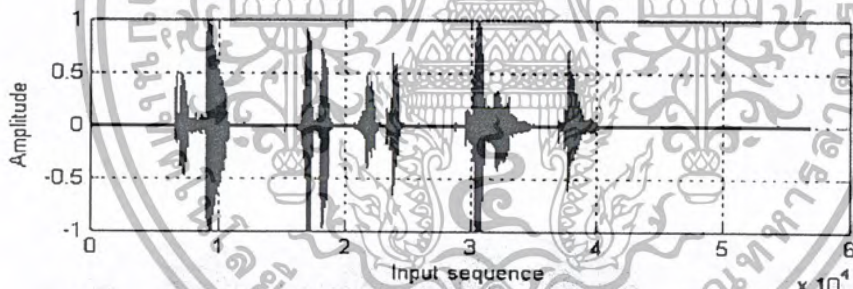


รูปที่ 4.32 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'



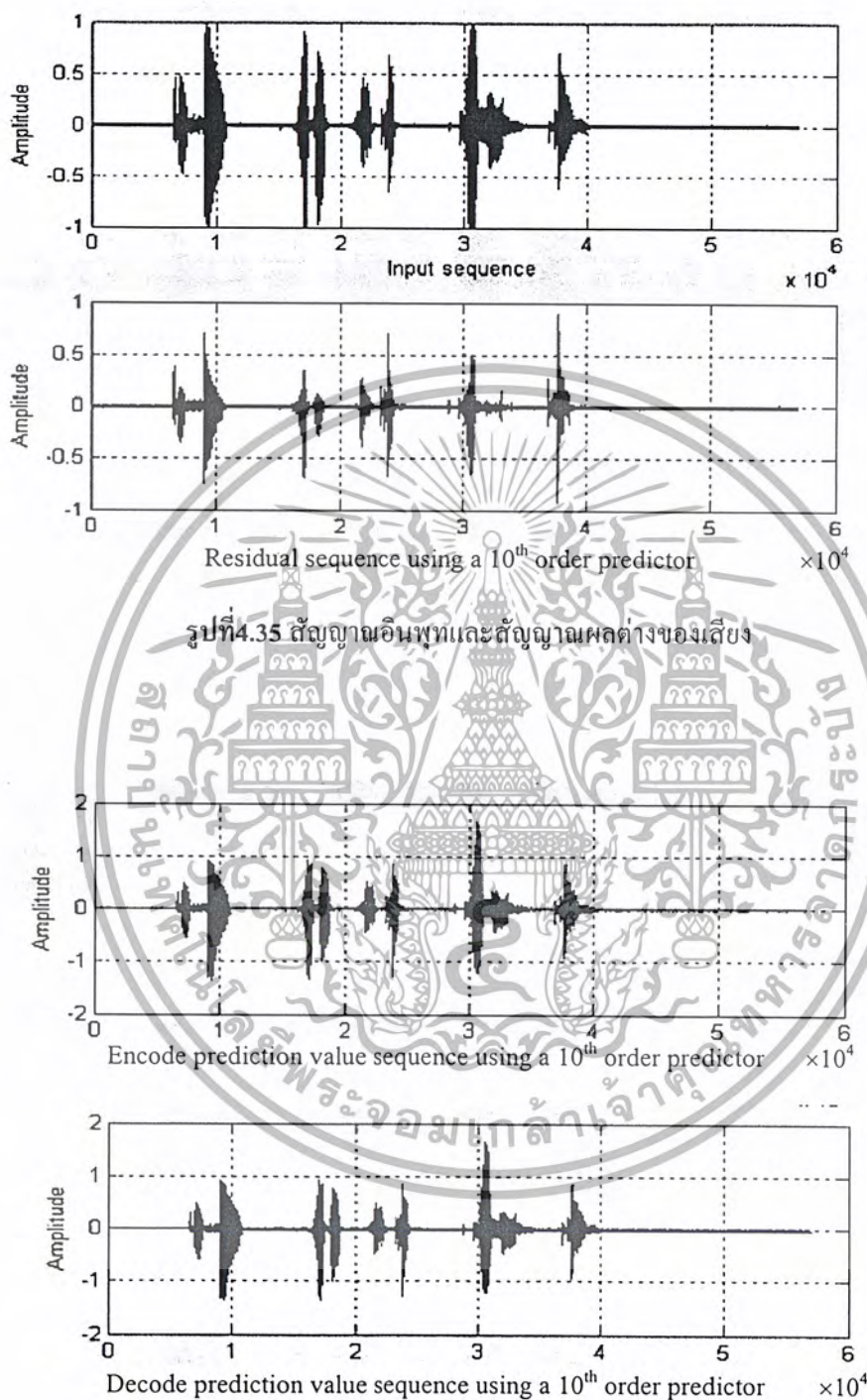
รูปที่ 4.33 สัญญาณที่ได้จากการทำนายด้านเข้ารหัสและถอดรหัส



รูปที่ 4.34 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

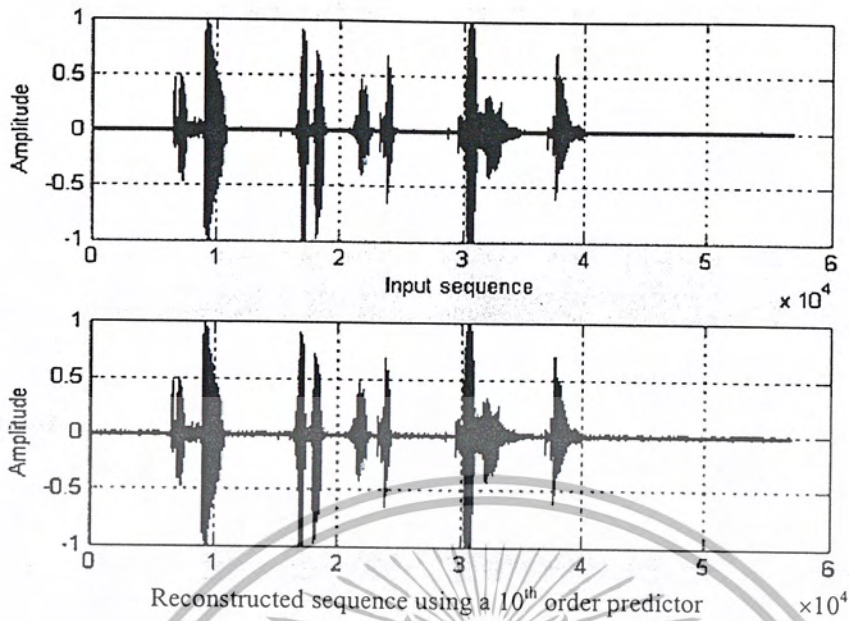
4.1.12 ผลตอบสนองของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.08



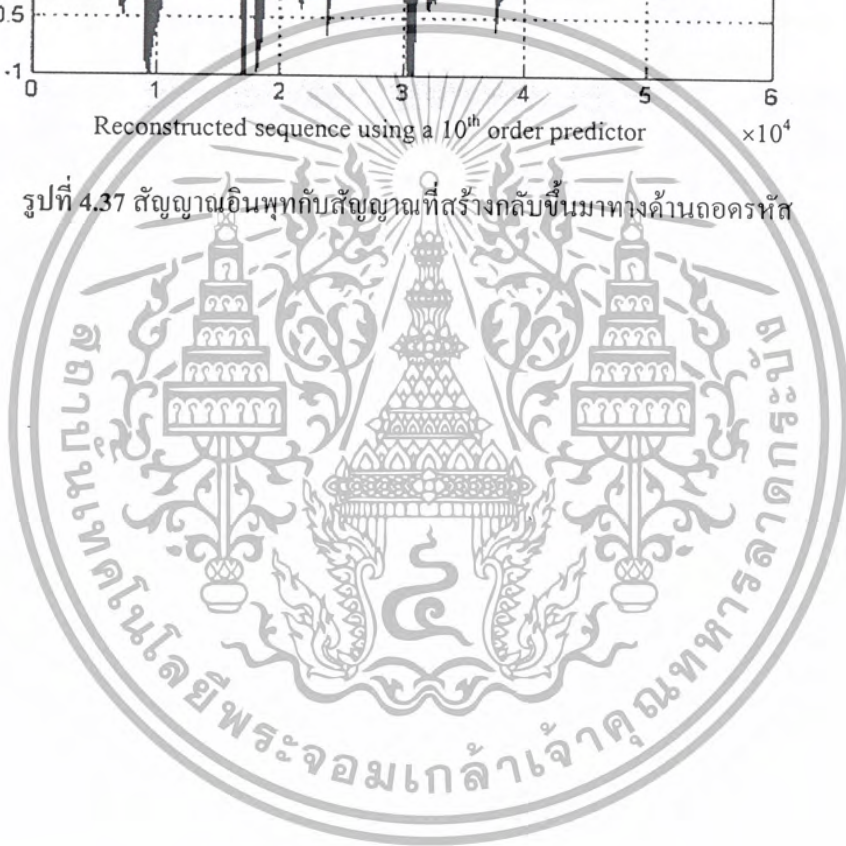
รูปที่ 4.35 สัญญาณอินพุตและสัญญาณผลต่างของเสียง

รูปที่ 4.36 สัญญาณที่ได้จากการทำนายค่านำเข้ารหัสและถอดรหัส

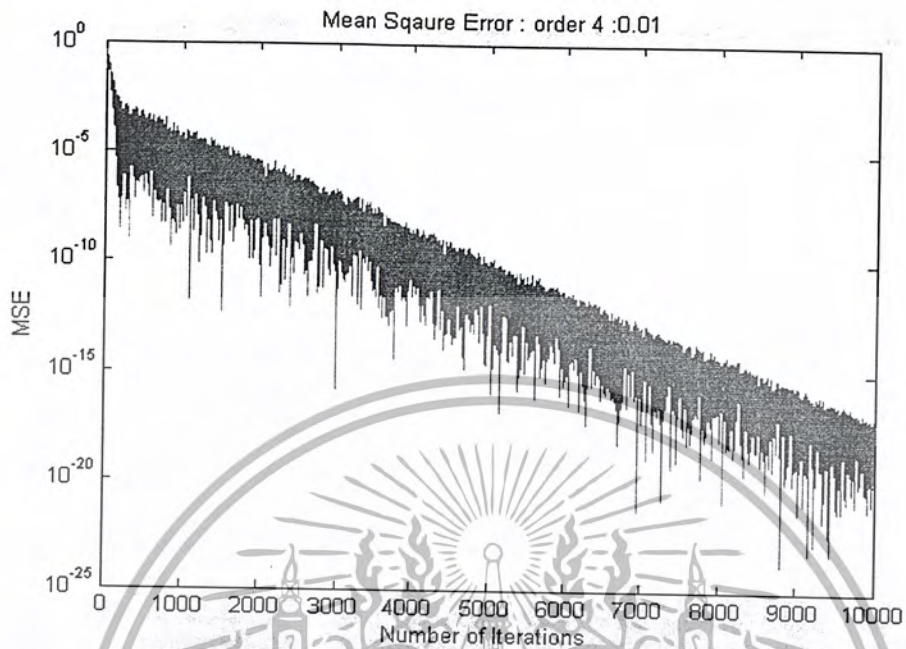
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



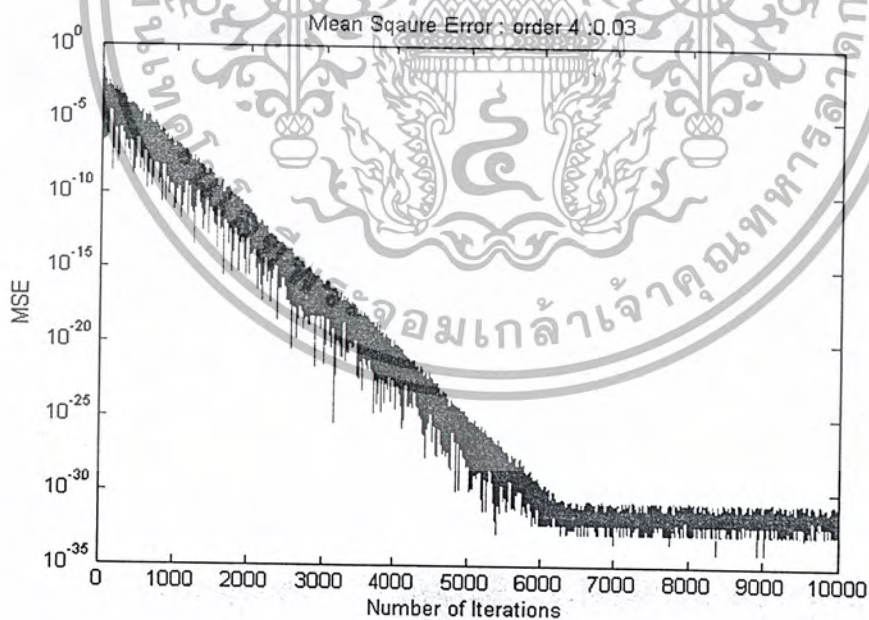
รูปที่ 4.37 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่สร้างกลับขึ้นมาทางด้านออครัทส์



4.1.13 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย

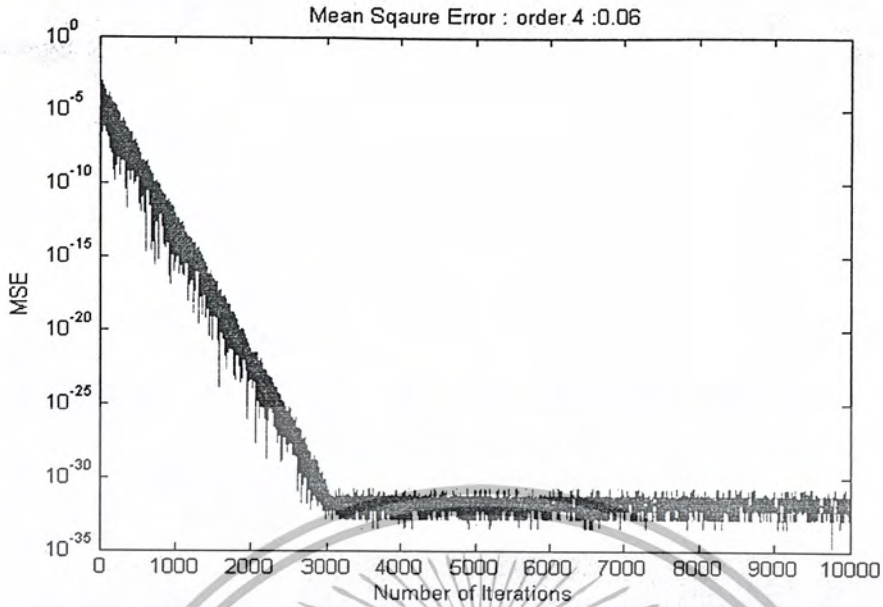


รูปที่ 4.38 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.01

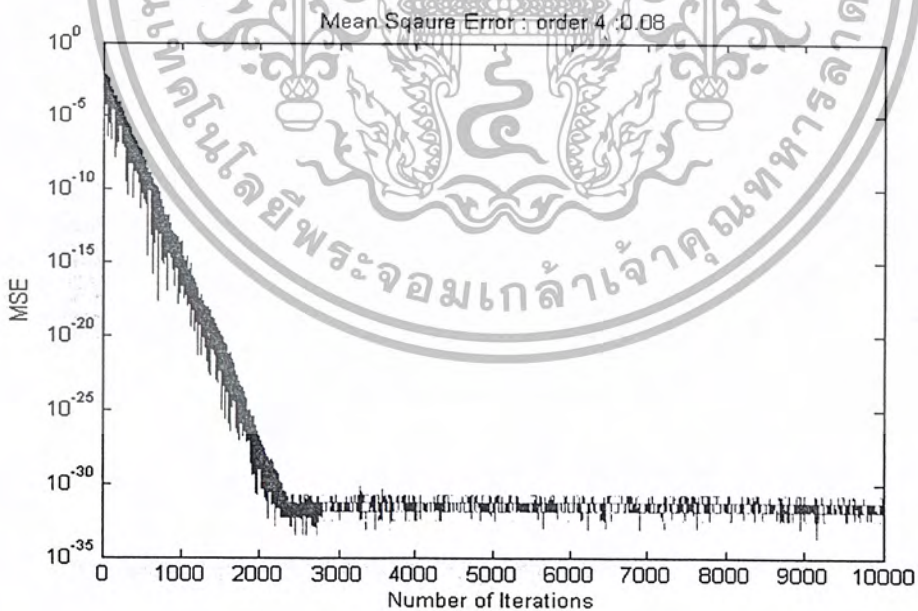


รูปที่ 4.39 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

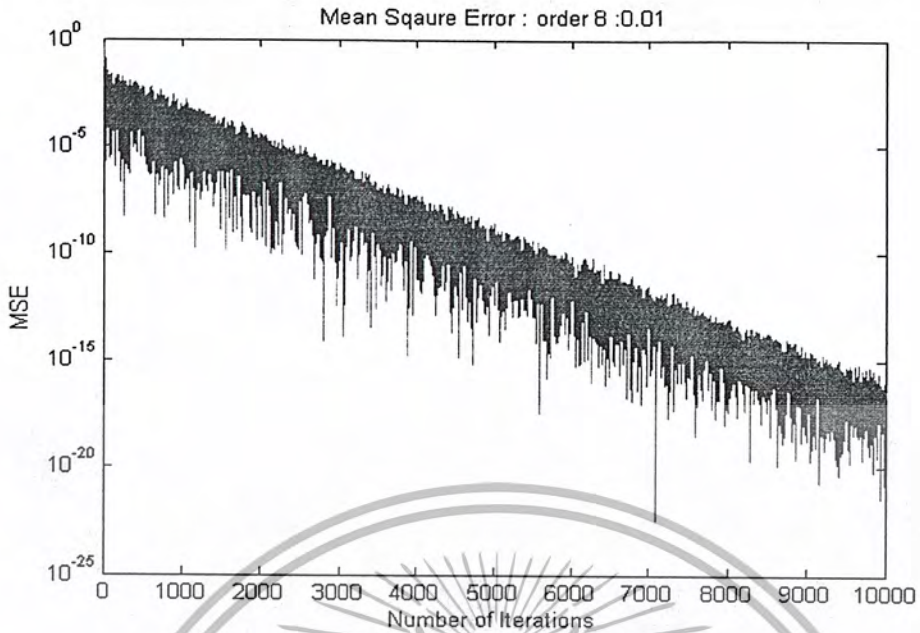


รูปที่ 4.40 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.06

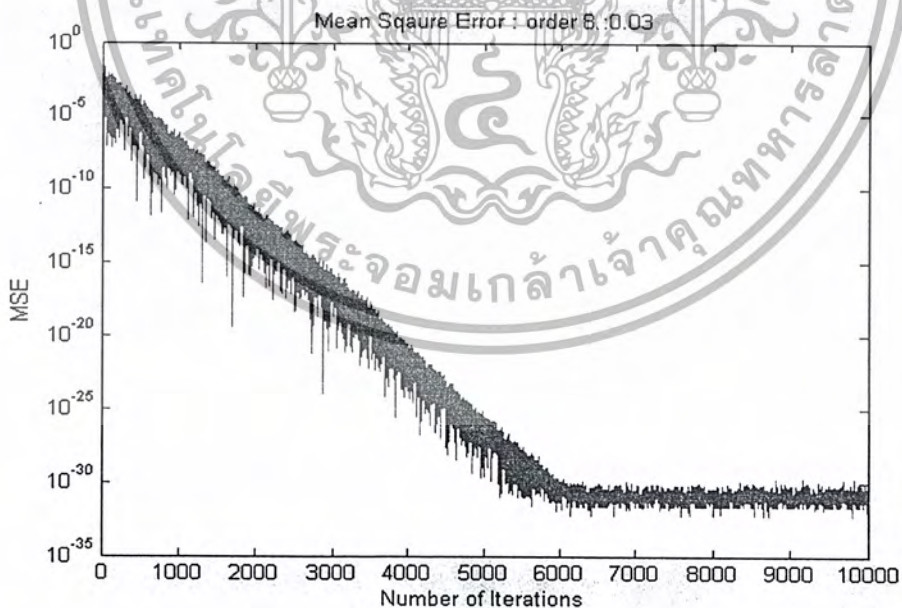


รูปที่ 4.41 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

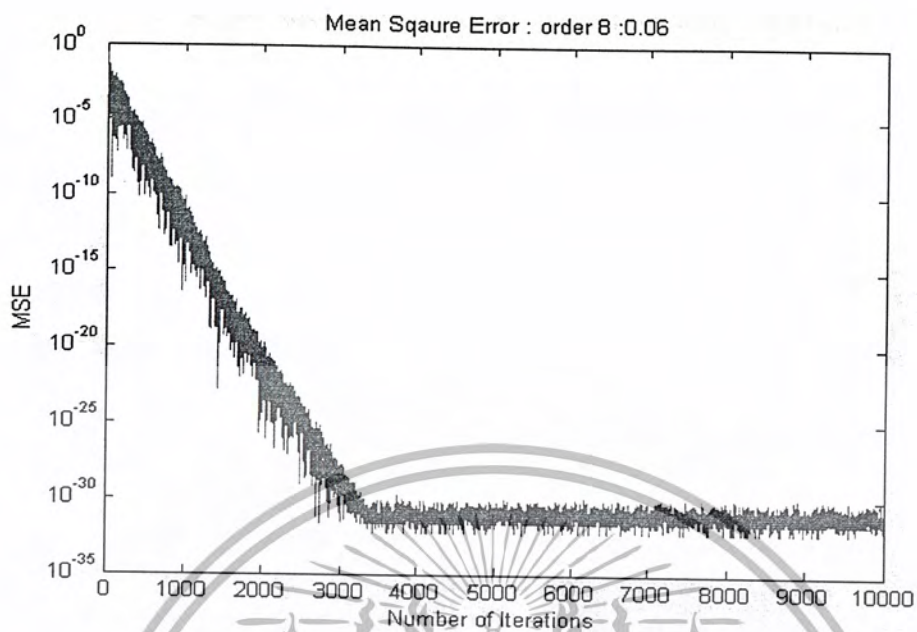


รูปที่ 4.42 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.01

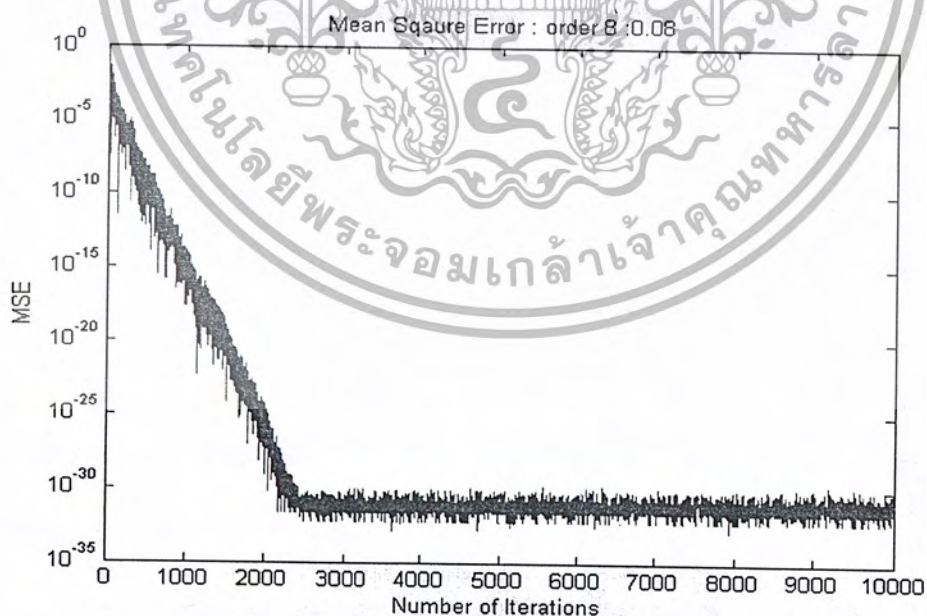


รูปที่ 4.43 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้า 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

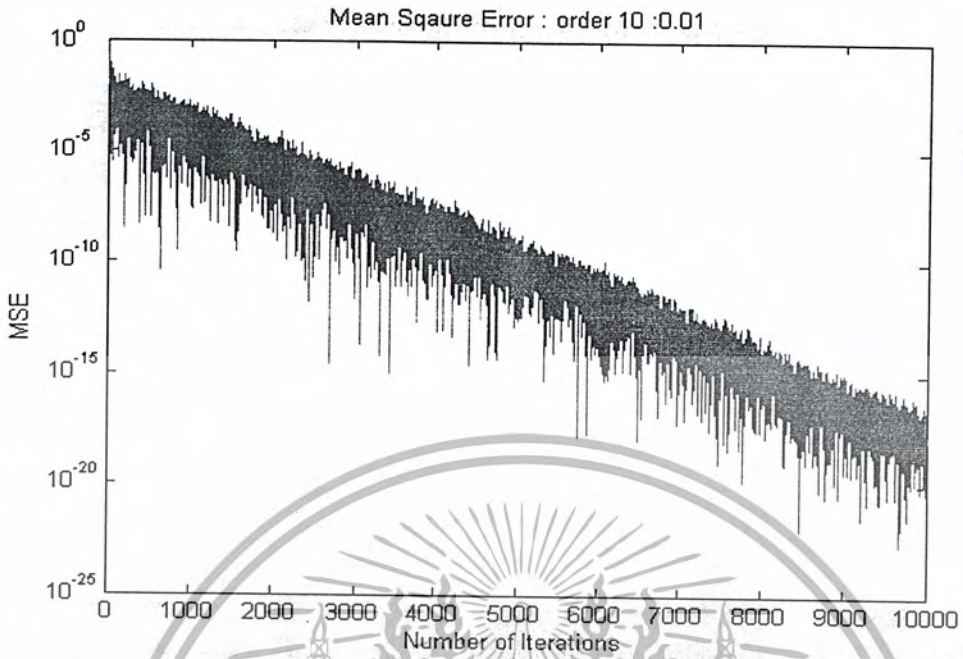


รูปที่ 4.44 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำงาน อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การสุ่มเข้า 0.06

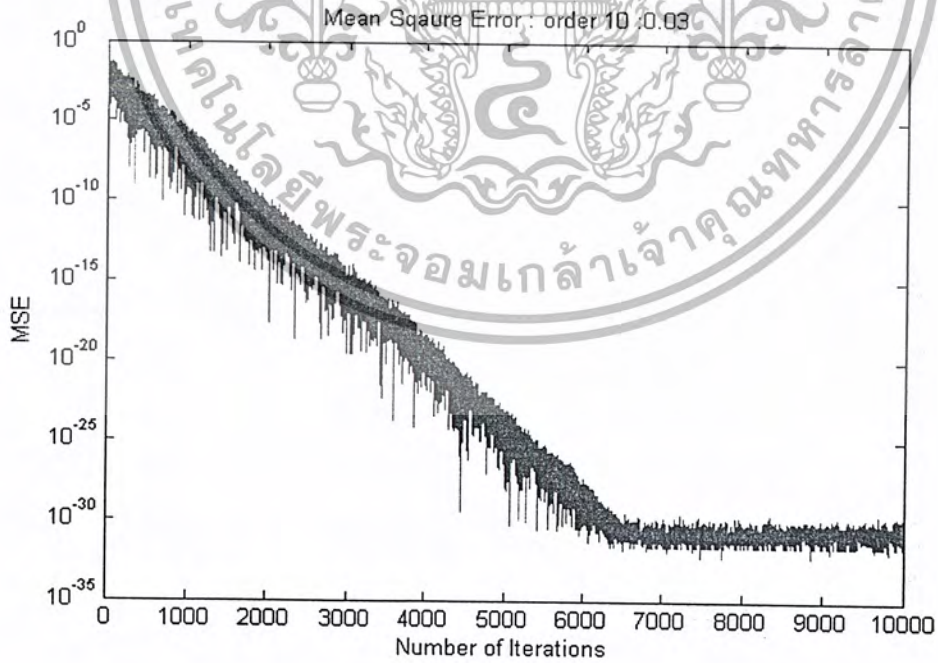


รูปที่ 4.45 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำงาน อันดับ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การสุ่มเข้า 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

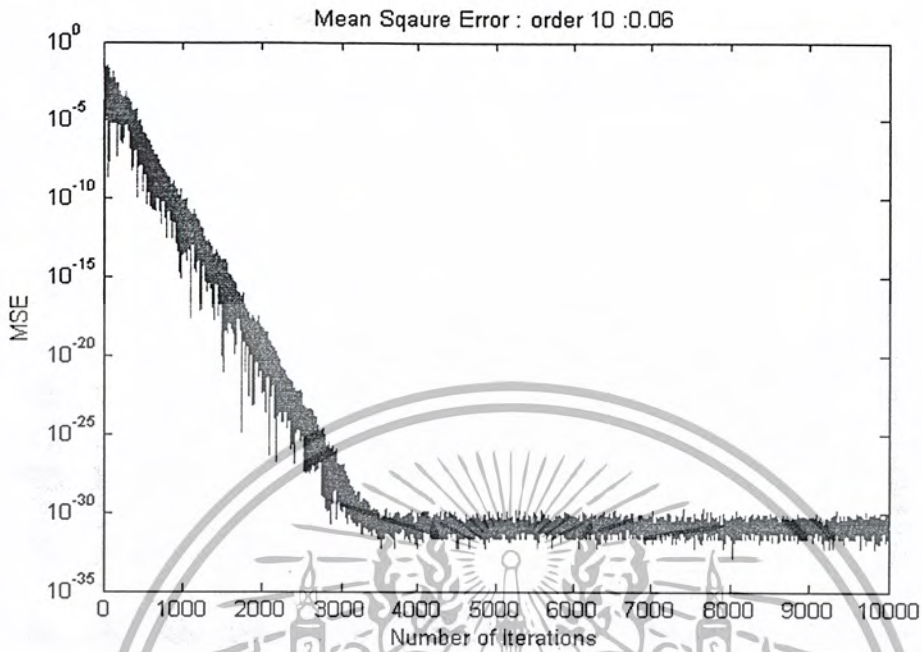


รูปที่ 4.46 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การลงโทษ 0.01

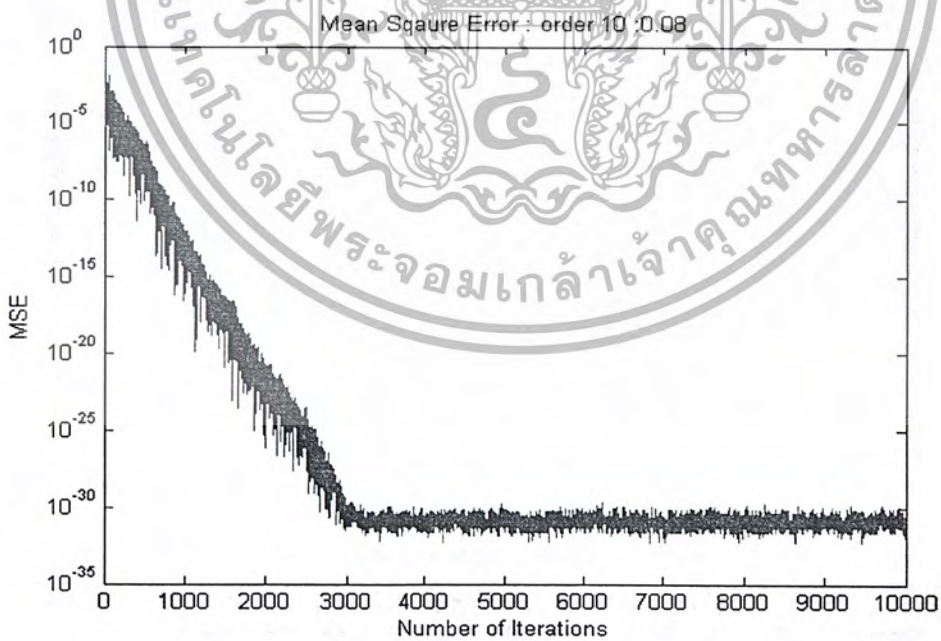


รูปที่ 4.47 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การลงโทษ 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

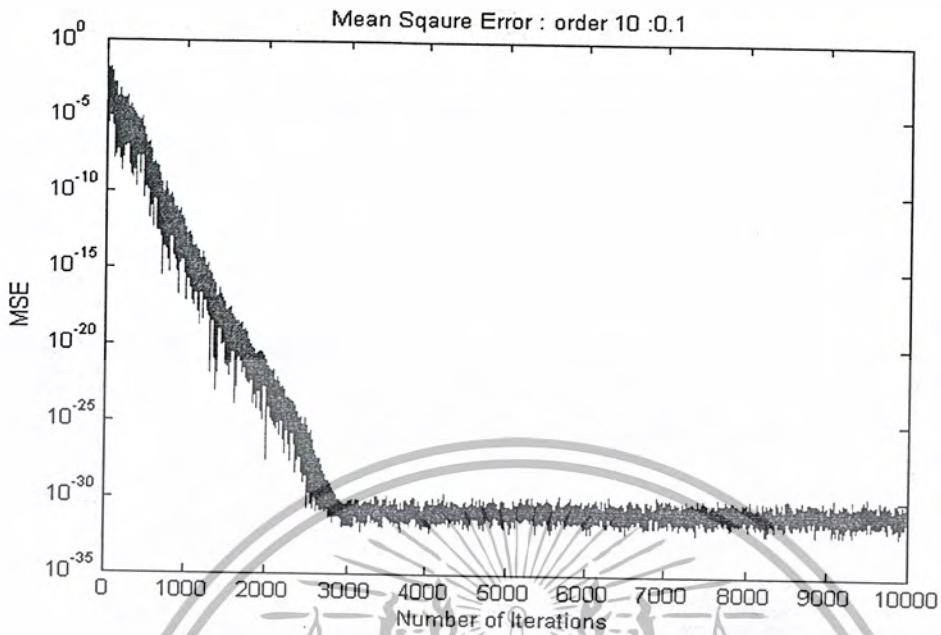


รูปที่ 4.48 ค่าเอ็มเอสไอของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.06

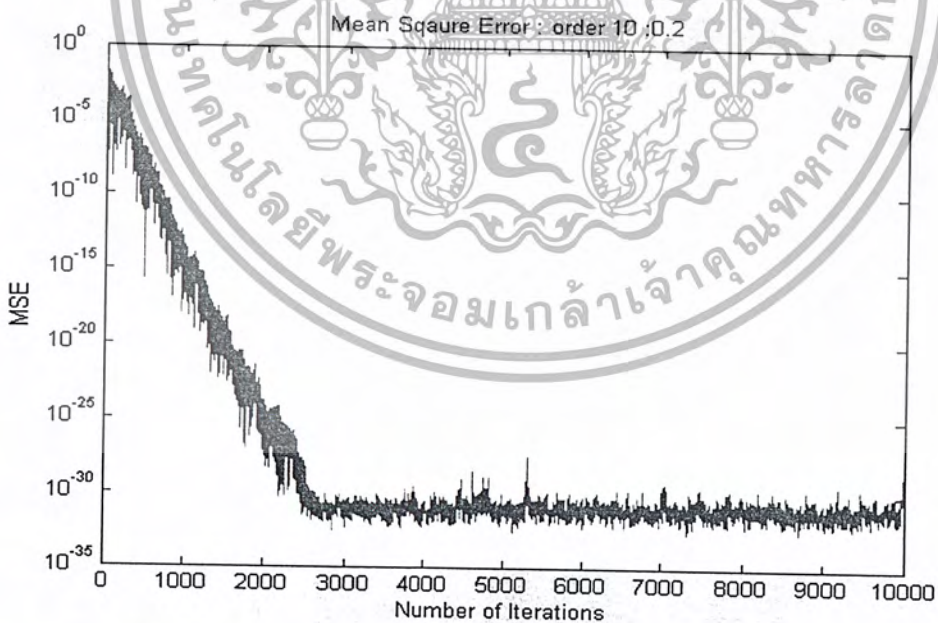


รูปที่ 4.49 ค่าเอ็มเอสไอของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

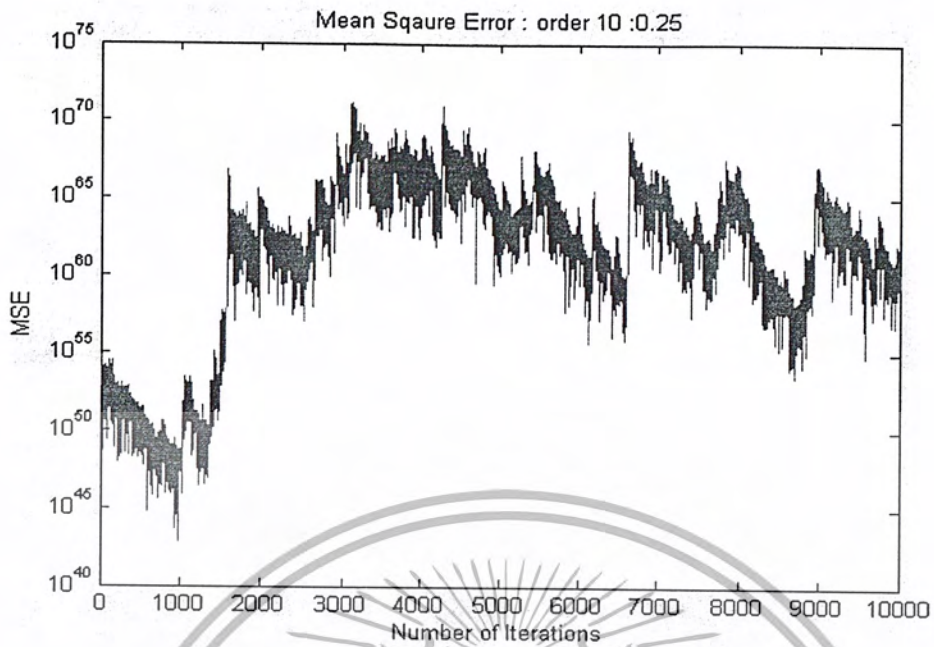


รูปที่ 4.50 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.1



รูปที่ 4.51 ค่าเอ็มเอสอีของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงเข้า 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 ค่าเอ็มเอสของฟังก์ชันการทำนาย อันดับ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วง 0.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบวงจรกรองความถี่ให้มีผลตอบสนองเชิงเส้นทำได้ง่าย คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบและสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาพแวดล้อม หรือตามอุณหภูมิ หรือตามระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้ (adaptive filter) ทำได้ง่าย ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยคำนึงถึงความยาวของคำ (wordlength) ของตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้และยังสามารถออกแบบให้มีความถี่ตามที่ต้องการได้

ในปัจจุบันถ้าพิจารณาในแง่ของเสถียรภาพของวงจรกรองความถี่ ความเชื่อถือได้ ราคา หรือขนาดของวงจรกรองความถี่เชิงเลข สิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนา ปรับปรุง และมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของวงจรกรองความถี่แบบอนาล็อก (Analog filter) จะเห็นว่าการกรองสัญญาณหรือในที่นี้ นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเป็นการทำนายจากฟังก์ชันการทำนายแบบปรับเปลี่ยนสัมประสิทธิ์ ซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการปรับเปลี่ยนแบบแอสเอ็มเอสเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการบีบอัดข้อมูลเสียงได้ ในส่วนของฟังก์ชันการทำนายที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ความถี่เบสแบนด์ 1,000 เฮิรตซ์และใช้ความถี่ในการสุ่ม 8,000 เฮิรตซ์ โดยใช้เสียงพูดของผู้ชายด้วยประโยคที่ว่า “ระบบทำนายสัญญาณเสียง” ทำการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้ในวงจรเอดีพีซีเอ็ม โดยตัดส่วนการควอนไทซ์ออกไป อัลกอริทึมซึ่งได้ผลว่าฟังก์ชันการทำนายอันดับที่สูงๆนั้นจะให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าแต่ต้องเลือกค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้าที่เหมาะสมกับอันดับนั้นๆ โดยเปรียบเทียบได้จากกราฟ เอ็มเอสอี ตั้งแต่ รูปที่ 4.38 จนกระทั่งถึง รูปที่ 4.52 จะเห็นว่าแอสเอ็มเอสอัลกอริทึมเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้าให้เหมาะสมจะให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดและสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ก็จะได้สัญญาณที่เหมือนสัญญาณอินพุทมากที่สุด จากรูปที่ 4.52 จะเห็นได้ว่ากำหนดค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้ามากเกินไปกราฟที่ได้ก็จะลู่ออกส่งผลให้สัญญาณที่กู้คืนได้ก็จะผิดเพี้ยนจากสัญญาณต้นฉบับเดิม

สรุปคือการทำนายโดยใช้แอสเอ็มเอส อัลกอริทึมมีตัวแปรที่สำคัญคือค่าสัมประสิทธิ์การลู่เข้าจะต้องกำหนดให้มีค่าที่เหมาะสมตามอันดับของฟังก์ชันการทำนายและแอมพลิจูดของสัญญาณมิฉะนั้นจะทำให้ฟังก์ชันการทำนายขาดเสถียรภาพหรือลู่ออกดังกราฟ เอ็มเอสอี รูปที่ 4.52

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ ข้อปรึกษา ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆจาก ผศ.อัครพล ตริรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร อาจารย์ศรวิวัฒน์ จิวปรีชา และทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ได้คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด อานิสงส์จากคุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้เขียนขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปาริฉัตร กมลอารี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ “วิศวกรรมสื่อสาร” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] Alan V.Oppenheim , Alan S.Willky “Signals and System”
- [3] S.Heykin , “Adaptive Filter”, Prentice Hall , 2002
- [4] A.M.Kondozi “Digital Speech Coding for Low Bit Rate Communication System”
- [5] K.Takahashi , “Analysis of the Convergence Condition of LMS Adaptive Digital Filter Using Distributed Arithmetic”, IEICE Trans.Fundamental, vol.E85-A, no.6, pp.1249-1256, June 2002

