


การลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัด  
โดยตัวกรองคาลมาน

NOISE REDUCTION IN SPEECH COMPRESSION BY KALMAN FILTER



เจษฎ์ รัศมียุทธอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัด  
โดยตัวกรองกาลมาน

เจษฎ์ รัศมียงทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

|                   |   |
|-------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยตัวกรองกาลมาน |
| ชื่อ - นามสกุล    | นายเจษฎ์ รัศมีรุ่งทอง   |
| สาขาวิชา          | วิศวกรรมไฟฟ้า   |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.                        |
| ปีการศึกษา        | 2555  |

## บทคัดย่อ

ในงานวิทยานิพนธ์ทางการบีบอัดสัญญาณเสียงมีวัตถุประสงค์คือ การทำให้สัญญาณเสียงมีขนาดเล็กลง แต่ยังคงรักษาคุณภาพของสัญญาณเสียงให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับต้นฉบับให้มากที่สุดซึ่งในขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณเสียงอาจจะเกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการขึ้นมาได้ และเป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัดจนนำไปสู่การทำให้คุณภาพสัญญาณเสียงลดลงได้วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ของตัวกรองกาลมานสำหรับลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด

สัญญาณเสียงพูดจะถูกส่งผ่านกระบวนการตัวกรองกาลมาน และจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะสัญญาณไวท์เกาส์เซียน ด้วยความถี่ 10 เฮิรตซ์ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 500 เฮิรตซ์ และ 1000 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ในการทดลองจะทำการปรับแต่งตัวแปรคงที่  $Q$  และ  $R$  ของคุณสมบัติของตัวกรองกาลมานซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนเกิดการแปรปรวนเกิดขึ้นในแบบจำลองเพื่อหาการลดลงของสัญญาณรบกวน ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการนำไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัด โดยนำสัญญาณเสียงซึ่งใช้เทคนิคในการบีบอัดแบบ Code Excite Linear Prediction คือสัญญาณเสียงพูดผู้ชาย 10 เสียง และสัญญาณเสียงพูดผู้หญิง 10 เสียง ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน

ผลการทดลองพบว่าสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนจะลดลงเมื่อค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในแบบจำลองตัวกรองกาลมานมีค่าใกล้เคียงกัน หรือมีค่าเท่ากันซึ่งจากผลการทดลองได้ผลว่าค่าที่  $Q$  และ  $R$  เท่ากับ 1 จะทำให้สัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนลดลงมากที่สุด และเมื่อนำตัวกรองกาลมานไปประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยเทคนิค CELP นั้นจากการทดลองพบว่าแบบจำลองตัวกรองกาลมานสามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัดโดยเทคนิค CELP ซึ่งผลการทดลองได้ผลว่าสัญญาณความถี่ต่ำถูกรองออกไปเป็นผลให้สัญญาณเสียงมีคุณภาพดีขึ้น

คำสำคัญ: ตัวกรองกาลมาน การประมาณค่า สัญญาณรบกวน

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Thesis Title</b>   | Noise Reduction In Speech Compression by Kalman Filter |
| <b>Name - Surname</b> | Mr. Jade Rassameyoungtong                              |
| <b>Program</b>        | Electrical Engineering                                 |
| <b>Thesis Advisor</b> | Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.          |
| <b>Academic Year</b>  | 2012   |

## ABSTRACT

The speech compression research aims to compress the speech signal while maintains the quality of the speech signal to similar as the original signal. Speech compression process, a noise might occur and effects to the quality of speech signal which can reduce the quality of the speech signal. This thesis provides the studying and exploring of Q and R parameters of Kalman filter for reducing the white Gaussian noise in speech compression.

Speech signal is passed through the Kalman filter and white Gaussian noise model at 10 Hz 50 Hz 100 Hz 500 Hz and 1000 Hz respectively. In the experiment, Q and R parameters of Kalman filter characteristics are adjusted, which effects to the unstable noise in the system, to reduce the noise. Moreover, it applied this technique to improve the quality of speech compression. The speech from Code Excite Linear Prediction speech compression, which constants of 10 male and 10 female speech signals, is tested with Kalman filter.

The results show the white Gaussian noise can be decreased when the Q and R parameters of Kalman filter is similar or equal. In the experiment, when Q and R are equal to 1, it can provide the maximum efficiency of white Gaussian noise reduction. In the condition of applying Kalman filter for improving the speech quality of CELP speech compression, this can reduce the low frequency noise and provides the better quality.

**Keywords:** kalman filter, estimation, noise



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและสนับสนุนในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. อำนวย เรืองวารี ดร. สุรินทร์ แหงมงาม และผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ อุดมทรรษากุล ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ที่ได้ช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาที่ทำวิจัยอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

เจษฎ์ รัศมียูงทอง

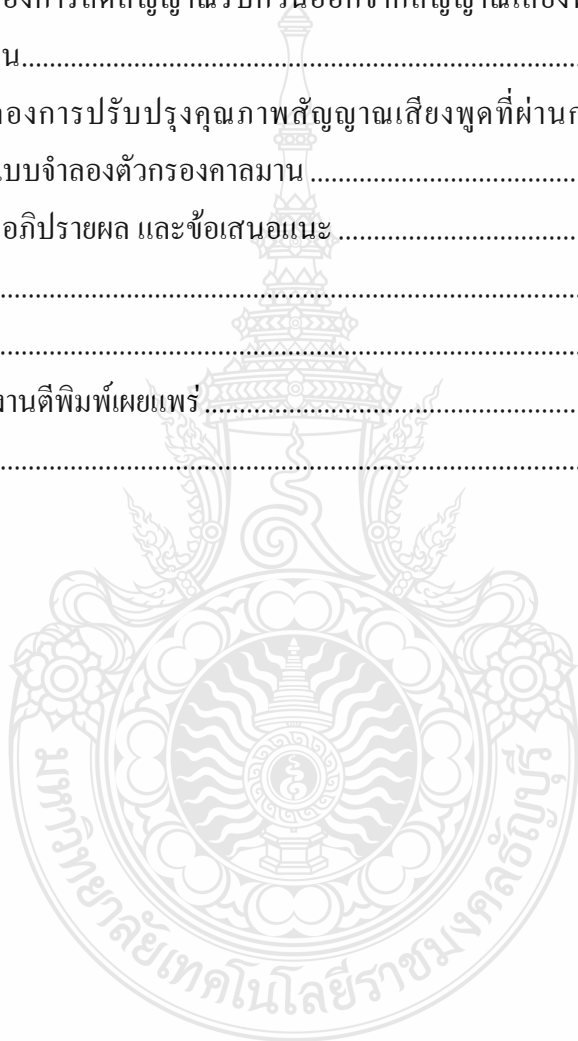


## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | จ    |
| สารบัญ.....   | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....  | ช    |
| สารบัญภาพ.....  | ฌ    |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....  | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....  | 2    |
| 1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....   | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 2    |
| 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 3    |
| 2.1 ตัวกรองกาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง.....   | 4    |
| 2.2 สัญญาณรบกวนย่านความถี่สุ่มแสงสีขาว (Random White Noise).....  | 5    |
| 2.3 หลักการทำงานของกาลมานฟิลเตอร์.....  | 6    |
| 2.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดด้วย CELP.....   | 11   |
| 2.5 การเข้ารหัสการทำนายพัลส์เชิงเส้น.....   | 12   |
| 2.6 คู่เส้นสเปกตรัม.....  | 18   |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 20   |
| 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....  | 23   |
| 3.1 ขั้นตอนการทดลองเทคนิคการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลด<br>สัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน..... | 23   |
| 3.2 เทคนิคการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียง.....   | 28   |
| 3.3 การทดลองปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยใช้เทคนิคการบีบอัด<br>สัญญาณแบบ CELP.....                                      | 29   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| 3.4 แบบจำลองตัวกรองกาลมานในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัด<br>โดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบ CELP..... | 32   |
| 4 ผลการวิจัย.....  | 34   |
| 4.1 ผลการทดลองการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัว<br>กรองกาลมาน.....                                    | 34   |
| 4.2 ผลการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีของ<br>CELP ด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน .....        | 43   |
| 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....  | 49   |
| รายการอ้างอิง.....   | 51   |
| ภาคผนวก.....   | 53   |
| ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....   | 54   |
| ประวัติผู้เขียน.....   | 77   |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |  | หน้า |
|----------|--|------|
| 2.1      | พารามิเตอร์และอัตราบิดที่ใช้ส่งข้อมูลของ FS1016 CELP .....           | 11   |
| 4.1      | การเปรียบเทียบค่าผิดพลาดแปรปรวนการปรับค่า $Q$ และ $R$ .....          | 42   |
| 4.2      | การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนกับเสียงพูดที่ใช้ทดลอง ..... | 44   |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1    | ลักษณะสัญญาณแบบคลื่นสุ่มแสงสีขาว.....   | 5    |
| 2.2    | การนำเอาตัวกรองกาลมานมาประยุกต์ใช้.....   | 7    |
| 2.3    | ลักษณะการทำงานของตัวกรองกาลมาน .....  | 8    |
| 2.4    | การทำงานสมการหลักของตัวกรองกาลมาน .....   | 9    |
| 2.5    | บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัส FS 1016 CELP .....   | 12   |
| 2.6    | การวางเรียงสลับของรากของพหุนามคู่เส้นสเปกตรัม $P(z)$ และ $Q(z)$ .....   | 19   |
| 2.7    | ความสัมพันธ์ระหว่างรากของ $A(z)$ กับรากของคู่เส้นสเปกตรัม $P(z)$ และ $Q(z)$ ..  | 20   |
| 3.1    | ขั้นตอนการทำงานของงานวิจัย การหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise .....  | 24   |
| 3.2    | ตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise.....   | 25   |
| 3.3    | ตัวอย่างสัญญาณรบกวนในระบบแบบ White Gaussian จากความถี่ Sine Wave 100 Hz ใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise .....                                | 26   |
| 3.4    | ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นใช้ในแบบจำลองการวัดแบบ White Gaussian จากความถี่ Sine Wave 100 Hz ใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise..... | 26   |
| 3.5    | การไหลข้อมูลของตัวกรองกาลมาน .....  | 27   |
| 3.6    | การปรับแต่งค่าคงที่ในงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise .....  | 28   |
| 3.7    | ขั้นตอนการทำงานของงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน โดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP .....   | 30   |
| 3.8    | ตัวอย่างเสียงพูดที่ยังไม่ได้ผ่านการบีบอัด .....   | 31   |
| 3.9    | ตัวอย่างเสียงพูดที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP .....   | 32   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.10 การไหลข้อมูลของตัวกรองกาลมานในการทดลองงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมานโดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP ..... | 33   |
| 4.1 ความสัมพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต $x_k H_k$ และ $z_k$ .....   | 38   |
| 4.2 ความสัมพันธ์ของ MEC และ EEC .....   | 41   |
| 4.3 ความสัมพันธ์สัญญาณเอาต์พุต กับ ค่าความแปรปรวน MEC และ EEC ของสัญญาณเสียงผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 .....  | 43   |
| 4.4 การวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางเวลาโดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 .....   | 45   |
| 4.5 ภาพขยายการวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางความถี่โดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 ในส่วนที่เป็นวงกลม.....   | 46   |
| 4.6 ภาพขยายการวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางเวลาโดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 ในส่วนที่เป็นลูกศร .....   | 47   |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด (Speech Processing) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบโทรคมนาคม ในทุกๆ วัน เช่น เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ระบบโทรศัพท์บ้าน และระบบสัญญาณเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (VoIP) การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสัญญาณ และการรับรู้ข้อมูลเสียงพูดที่ใช้ในการสื่อสารผ่านตัวกลาง เช่น อุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณข้อมูล การได้รับสัญญาณเสียงพูดกลับมา หรือนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้รับฟังหลังจากผ่านกระบวนการของตัวกลาง มีความสำคัญมากที่จะทำให้เข้าใจในข้อมูลนั้น ในความเป็นจริงสัญญาณเสียงจากต้นกำเนิดสัญญาณเสียงพูด จะมีความผิดเพี้ยน โดยการรบกวนของสัญญาณต่างๆ ที่เราไม่ต้องการ หรือเรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งสัญญาณรบกวนมีหลากหลายชนิด สัญญาณรบกวนเหล่านี้จะมีผลกระทบที่จะทำให้สัญญาณเสียงพูดมีความผิดเพี้ยนไปจากเดิมจนทำให้เราไม่สามารถเข้าใจในข้อมูลข่าวสารนั้นๆ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิคการลดสัญญาณรบกวนจากเสียงพูดโดยวิธีการของ ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ทั้งนี้ตัวกรองคาลมาน ได้ถูกประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ในส่วนของงานวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณนั้น ตัวกรองคาลมาน ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการคาดเดาพารามิเตอร์ของสัญญาณเสียงในสภาวะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน อีกทั้งได้ใช้ตัวกรองคาลมานสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ โดยใช้เทคนิค Adaptive-Content และประยุกต์ใช้ตัวกรองคาลมานกับระบบไม่เชิงเส้นของสัญญาณเสียง และ เทคนิคคาลมานยังได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงแต่ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวพบถึงปัญหาในส่วนของคุณภาพและการแทรกสอดสัญญาณรบกวนย่านความถี่ต่ำ ดังนั้นเพื่อพัฒนาตัวกรองคาลมานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ของตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ในตัวกรองคาลมานเพื่อลดสัญญาณรบกวน

ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ของตัวกรองคาลมานสำหรับลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน ในการบีบอัดสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงจะถูกส่งผ่านกระบวนการ ตัวกรองคาลมาน และจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะสัญญาณไวท์เกาส์เซียน สัญญาณรบกวนขาว (White Gaussian Noise) ให้เป็นสัญญาณรบกวนในระบบและเป็นสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองความผิดพลาดของสัญญาณเสียงและสัญญาณรบกวน โดยจะเปรียบเทียบผลจากความผิดพลาดในระบบการวัดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน

(Measurement Error Covariance; MEC) และผลของความผิดพลาดในประมาณค่าหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน (Estimation Error Covariance; EEC)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาทฤษฎีตัวกรองคาลมานและลดสัญญาณรบกวนไวท์เกาส์เซียน
- 1.2.2 ศึกษาการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดด้วยวิธีการของตัวกรองคาลมาน
- 1.2.3 ประยุกต์ใช้ตัวกรองคาลมานในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียง

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบตัวกรองคาลมานสำหรับลดสัญญาณเสียงรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน
- 1.3.2 เปรียบเทียบผลกระทบของการปรับตัวแปรคงที่พารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ที่จะทำให้สัญญาณรบกวนมีค่าลดลงมากที่สุด
- 1.3.3 ประยุกต์ใช้ตัวกรองคาลมานในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดแบบ CELP

## 1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา

- 1.4.1 กำเนิดสัญญาณรบกวนไวท์เกาส์เซียน ด้วยความถี่ 10 Hz, 100 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz
- 1.4.2 เปรียบเทียบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ การหาค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error; MSE)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เรียนรู้ทฤษฎีการทำงานตัวกรองคาลมาน
- 1.5.2 นำทฤษฎีและเทคนิคไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าแบบอื่นๆ
- 1.5.3 นำทฤษฎีและเทคนิคไปออกแบบเป็นอุปกรณ์ตัวกรองสัญญาณรบกวนไวท์เกาส์เซียนในระบบสื่อสาร และในระบบอุปกรณ์สัญญาณเสียงต่างๆ เช่น ไมโครโฟน



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวกรองกาลมานเป็นเทคนิคการประมาณค่าวิธีหนึ่ง ซึ่งได้รับความสนใจและมีการนำไปใช้ประยุกต์ใช้กับสาขาต่างๆ มากมาย เช่นในระบบนำร่องยานอวกาศ ระบบนำทาง ซึ่งเทคนิคตัวควบคุมเชิงเส้นส่วนใหญ่มักจะสมมุติให้มีการวัดหรือมีการประมาณค่าของตัวแปรสถานะทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัตินั้น การวัดค่าตัวแปรสถานะทั้งหมดเป็นไปได้และค่าที่ได้จากการวัดจะมีสัญญาณรบกวนและหรืออาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ด้วยเหตุนี้การประมาณค่าตัวแปรที่ไม่ได้วัดหรือวัดค่าไม่ได้จึงเป็นปัญหาที่ทำให้แบบจำลองแบบที่มีการประมาณค่าตัวแปรที่ไม่ได้วัดหรือวัดค่าไม่ได้ อาจจะได้ค่าไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการประมาณค่ามาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าตัวแปรสถานะ ที่ไม่ได้วัดหรือวัดค่าไม่ได้ และเพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน ซึ่งในใช้เทคนิคการประมาณค่าหรือเรียกกันทั่วไปว่า “ตัวกรอง” จะให้ค่าประมาณของค่ากระบวนการจริงจากการวัดกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวน และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกระบวนการที่เหมาะสม โดยเฉพาะการนำเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่ามาใช้

ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง คือตัวกรองกาลมานซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ให้ค่าประมาณของตัวแปรระบบที่กำลังถูกควบคุมโดยค่าการวัดของตัวตรวจจับที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองตัวกรองกาลมานมาประยุกต์ใช้ในการลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบค่า ที่จะเกิดขึ้นในระบบออกจากสัญญาณเสียงพูด ซึ่งในทฤษฎีแบบจำลองตัวกรองกาลมานสัญญาณที่ไม่ทราบค่า  $R$  เหล่านั้นจะมีความแปรปรวนมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นกับการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  เพื่อให้เกิดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มค่าในระบบ และในการประมาณค่าผิดพลาดต้องใช้การประมาณค่าผิดพลาดโดยคาดเดาความแปรปรวนจากการปรับแต่งค่าคงที่  $R$  เพื่อให้สัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบค่าว่าจะเกิดขึ้นสามารถวัดค่าได้ในการนำมาประมาณเพื่อแก้ไขความผิดพลาดของระบบ เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงพูดที่ประมาณค่าแก้ไขความผิดพลาดแล้วและได้สัญญาณเสียงพูดที่มีสัญญาณรบกวนแบบสุ่มน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการและแม่นยำต่อการวัด งานวิจัยนี้ได้หาความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรค่าคงที่ของแบบจำลองถึงค่าที่ดีที่สุดของการสุ่มเพื่อทำนายในการประมาณค่า

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีตัวกรองกาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนำมาใช้ประกอบในการวิจัยการลดสัญญาณรบกวนออกจากเสียงพูดด้วยเทคนิคการทำงานของตัวกรองกาลมาน (Kalman Filter) และการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP การประมาณพินซ์เชิงเส้น (Linear Predictive Coding) ด้วยเทคนิคการทำงานของ

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) วิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการตรวจสอบการเปรียบเทียบสัญญาณที่ผิดพลาดเพื่อวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณ (Means Square Error; MSE)

## 2.1 ตัวกรองคาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง [1-5]

ตัวกรองคาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง มีสมการที่สำคัญที่ใช้ในการประมาณค่าสถานะ ในการควบคุมการทำงานแบบสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Controlled Process) ซึ่งจะมีสมการที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับเรื่องของข้อมูลทางสถิติ และความน่าจะเป็นมาเกี่ยวข้องหรือเรียกว่า (Linear Stochastic Difference Equation) สมการที่ใช้ในกระบวนการทำงานของตัวกรองคาลมานมีดังนี้ สมการที่เกี่ยวข้องกับการรับค่าทางด้านอินพุตได้  $x \in \mathcal{R}^m$  ดังสมการที่ 2.1

$$x_{k+1} = A_k x_k + B u_k + w_k \quad (2.1)$$

สมการในการวัดค่าทางเอาต์พุต  $z \in \mathcal{R}^m$  ดังสมการที่ 2.2

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2.2)$$

เมทริกซ์  $A$  ขนาด  $n \times n$  ในสมการดิฟเฟอเรนเชียล ในสมการที่ 2.1 คือ เมทริกซ์ควบคุมการส่งผ่านค่าของตัวแปรทางอินพุตมีผลกับสถานะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลา  $k$  จากคาบเวลาของ  $k$  แปรเปลี่ยนเป็นคาบเวลา  $k+1$  เมทริกซ์  $B$  ขนาด  $n \times 1$  เกี่ยวข้องกับการควบคุมทางคาบเวลาทางด้าน อินพุตของฟังก์ชัน  $u_k \in \mathcal{R}$  มีผลกับสถานะ  $x$  เมทริกซ์  $H$  ขนาด  $m \times n$  จากสมการที่ 2.2 ซึ่งเป็นสมการในการวัดจะมีผลเกี่ยวข้องกับการวัดและตัวแปรของเอาต์พุต  $z_k$

$w_k$  คือตัวแปรสุ่มที่สมมุติให้เป็นฟังก์ชันของสัญญาณการรบกวนเข้ามาในระบบ ค่าความแปรปรวนนี้จะถูกปรับความแปรปรวนซึ่งจะขึ้นกับการปรับค่าคงที่  $Q$  ส่วนค่า  $v_k$  คือตัวแปรสุ่มสมมุติให้เป็นฟังก์ชันของสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การปรับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับการปรับค่าคงที่  $R$  ค่าสมมุติที่จะใช้ในการป้อนเข้าในระบบทั้งสอง จะมีลักษณะที่แยกความสัมพันธ์เป็นอิสระต่อกัน ฟังก์ชันของการอธิบายพฤติกรรมผลกระทบของสัญญาณรบกวน  $w_k$  และ  $v_k$  จะมีค่าเฉลี่ย (Mean) ของสัญญาณรบกวนทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์ และมีความสัมพันธ์เป็นอิสระต่อกัน ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย หรือ

โควาเรียนซ์ (Covariance) ของสัญญาณรบกวนเหล่านี้หาโดยใช้หลักการ การคาดคะเน (Expectation) ดังนี้ [19-21]

โควาเรียนซ์ของสัญญาณรบกวนภายในระบบแสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$Q = E[w(k)w(k)^T] \quad (2.3)$$

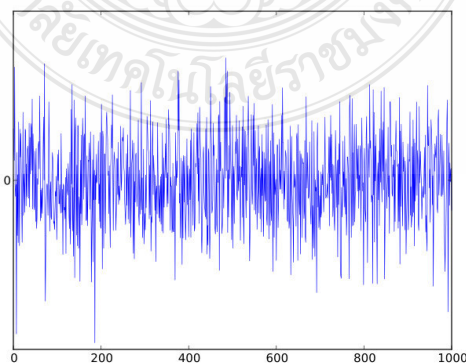
โควาเรียนซ์ของสัญญาณรบกวนขณะทำการแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$R = E[v(k)v(k)^T] \quad (2.4)$$

สัญลักษณ์ โดยทั่วไปของสัญญาณรบกวนในระบบ และสัญญาณรบกวนขณะทำการวัด จะแสดงเป็น  $p(w) \sim N(0, Q)$  และ  $p(v) \sim N(0, R)$  ตามลำดับ [3-5] สัญญาณรบกวนทั้งสองจะเป็นคลื่นรบกวนย่านความถี่แสงสีขาวและมีการเกิดขึ้นแบบสุ่ม

## 2.2 สัญญาณรบกวนย่านความถี่สุ่มแสงสีขาว (Random White Noise) [1-5]

เป็นขบวนการเกิดสัญญาณรบกวนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีเพาเวอร์สเปกตรัม (Power Spectrum) ค่าคงที่ทุกย่านความถี่ หรือส่วนประกอบสัญญาณจะมีทุกย่านความถี่และลักษณะการเกิดจะเกิดแบบสุ่ม (Random) หรือไม่มีรูปร่างสัญญาณที่แน่นอนในการพิจารณาสัญญาณรบกวนประเภทนี้ ไม่สามารถอธิบายเป็นสูตรคณิตศาสตร์เจาะจงลงไปได้ แต่เราจะอาศัยหลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการพิจารณา โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของสัญญาณ และการแปรปรวน (Variance) ของสัญญาณรอบๆ ค่าเฉลี่ยลักษณะของสัญญาณรบกวนชนิดนี้แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะสัญญาณแบบคลื่นสุ่มแสงสีขาว

โดยทฤษฎีแล้วค่าเฉลี่ยของสัญญาณจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าไม่เป็นศูนย์ ถ้าต้องการให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ก็ต้องหาค่าเฉลี่ยในระยะเวลาที่ยาวนาน จากกรณีที่สัญญาณรบกวนนี้เป็นตัวแปรสุ่มชนิดหนึ่งในการหาค่าเฉลี่ยเราจะใช้หลักสถิติเข้ามาช่วยดังนิยามต่อไปนี้

2.2.1 ค่าเฉลี่ย (Mean Value) โดยที่การหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $Z_n$  เป็นจำนวน  $N$  ครั้ง แสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$\hat{u} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_n \quad (2.5)$$

โดยที่สัญลักษณ์  $\hat{u}$  คือค่าประมาณของการเฉลี่ย  $N$  ครั้ง

2.2.2 ค่าคาดคะเน (Expected Value) คือค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ย แต่แตกต่างกันที่เป็นการหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $Z_n$  เป็นจำนวนอนันต์ครั้งแสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$E[z] = \hat{u}_z \quad (2.6)$$

2.2.3 ค่าเบี่ยงเบน (Variance and Covariance) ของตัวแปรสุ่ม  $Z_n$  เป็นดังสมการที่ 2.7

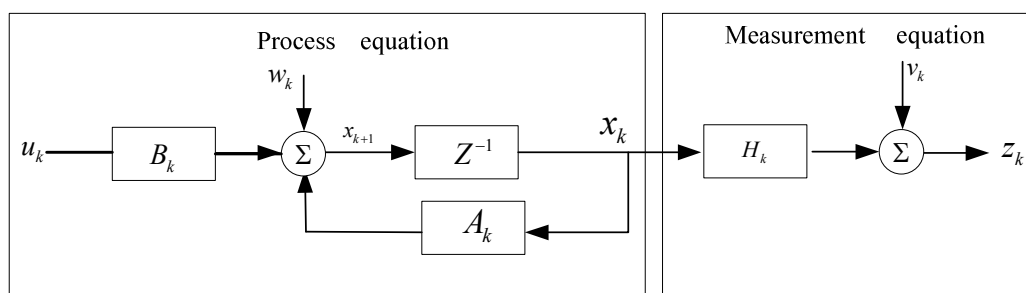
$$E[(y - u_y)^2] = \sigma_y^2 \quad (2.7)$$

และ

$$E[(y - u_y)(x - u_x)] = \sigma_{xy}$$

### 2.3 หลักการทำงานของคาลมานฟิลเตอร์

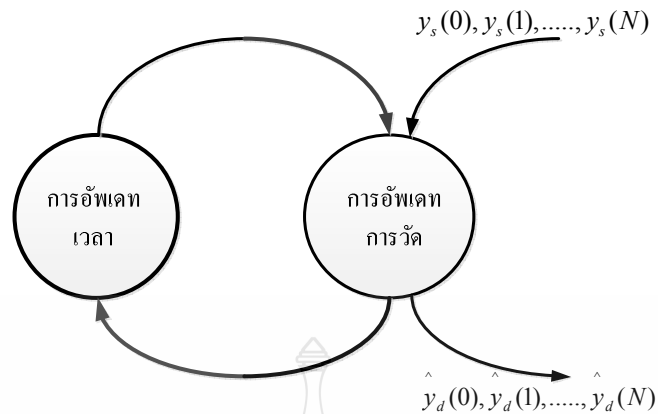
ภายในระบบใดๆ ก็ตามที่ทำงานภายใต้การรบกวนของสัญญาณรบกวนโดยทั่วไปหรือสัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่มีความถี่ในย่านความถี่แสงสีขาว ผลดังกล่าวจะทำให้เกิดผลเสียต่อข้อมูลทางด้าน เอาท์พุทของระบบ ดังนั้นถ้าต้องการทราบข้อมูลที่แท้จริง จำเป็นต้องใช้ตัวกรองสัญญาณที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ โดยเฉพาะตัวกรองสัญญาณแบบให้ผลได้ดีที่สุด (Optimum Filter) ซึ่งตัวกรองคาลมานมีคุณสมบัติดังกล่าว จากภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การนำเอาตัวกรองคาลมานมาประยุกต์ใช้

ตัวกรองคาลมานถูกสร้างขึ้นด้วยแนวคิดที่ว่าเมื่อข้อมูลการวัดที่เกิดขึ้นในระบบใดๆ มีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งเป็นสัญญาณแบบสุ่ม ที่ย่านความถี่ในย่านแสงสีขาวแนวทางที่จะทราบข้อมูลที่แท้จริงของระบบนั้น สามารถทำได้โดยการจำลองการทำงานของระบบนั้น โดยอาศัยข้อมูลจากการวัดขณะเดียวกันภายในระบบของตัวกรองคาลมานจะมีการคำนวณเพื่อหาตัวแปรสถานะของระบบนั้น จากนั้นจะนำข้อมูลที่วัดได้มาคำนวณเปรียบเทียบ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบผลของการเปรียบเทียบให้มีผลต่างน้อยที่สุดและข้อมูลทางเอาต์พุตที่ต้องการจะเกิดจากผลการประมาณค่าของตัวแปรสถานะของตัวกรองคาลมานนี้จากภาพที่ 2.2 จะสังเกตว่า  $u_k$  จะถูกป้อนให้กับตัวกรองคาลมานเพื่อเป็นข้อมูลทางอินพุตของระบบตัวกรองคาลมาน ส่วนข้อมูล  $x_k$  จะเป็นข้อมูลตัวแปรสถานะของระบบ ที่รวมกับสัญญาณรบกวนและจะถูกป้อนให้กับระบบตัวกรองคาลมานเพื่อเป็นข้อมูลทางการวัดและตัวกรองคาลมานจะนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับตัวแปรสถานะที่เกิดขึ้นจากการคำนวณภายใน โดยมีขั้นตอนในการคำนวณแบบรีเคอร์ซีฟ โดยขั้นแรกของการคำนวณจะเป็นการคำนวณเพื่อหาตัวแปรสถานะของระบบ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่ถูกกำหนด และจากนั้นจะคำนวณหาตัวแปรสถานะของระบบอีกครั้ง เมื่อมีข้อมูลการวัดเข้ามาและจะกลับมาคำนวณหาตัวแปรสถานะ ณ ที่เวลาช่วงถัดไป และคำนวณค่าตัวแปรสถานะเมื่อมีข้อมูลจากการวัด ณ ช่วงถัดไปนั้นด้วย เช่นเดียวกันดังนั้นการทำงานของตัวกรองคาลมานแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกคือการคำนวณตัวแปรสถานะเนื่องจากเวลาเปลี่ยนไปหรือการปรับปรุงเวลาในครั้งต่อไป (Time Update) โดยในแต่ละขั้นตอนการคำนวณหาตัวแปรสถานะของระบบจะมีการคำนวณหาค่าผิดพลาดจากการหาตัวแปรสถานะคือการหาความแปรปรวนผิดพลาด (Error Covariance) ในแต่ละส่วน

ในส่วนของการปรับปรุงเวลา (Time Update) จะทำหน้าที่เหมือนตัวคาดเดาล่วงหน้า (Predictor) และส่วนของการปรับปรุงเวลาค่าการวัด จะทำหน้าที่เหมือนตัวแก้ไข (Corrector) โดยสามารถเขียนแสดงขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 2.3 [6-8]



ภาพที่ 2.3 ลักษณะการทำงานของตัวกรองคาลมาน

สัญญาณจากภาพที่ 2.3 ตัวกรองคาลมานจะรับข้อมูลจากการวัดคือ  $y_s(0), y_s(1), \dots, y_s(N)$  และทำการคำนวณจะได้เอาท์พุต  $\hat{y}_d(0), \hat{y}_d(1), \dots, \hat{y}_d(N)$  โดยที่  $N$  คือจำนวนครั้งการสุ่มของสัญญาณ

ความสำคัญของสมการของคาลมานซึ่งแสดงและแบ่งการทำงานได้เป็นส่วนต่างๆ โดยเริ่มจากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งจะนำไปสู่สมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ตามทฤษฎีของตัวกรองคาลมานอัลกอริทึมดัง สมการที่ 2.5-2.9 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

การปรับปรุงเวลา (Time Update) ประกอบไปด้วยสมการที่ 2.8 และ 2.9

Project The State Ahead

$$\hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k \quad (2.8)$$

Project The Error Covariance Ahead

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k \quad (2.9)$$

การปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ประกอบไปด้วยสมการที่ 2.10 ถึง 2.12

Compute The Kalman Gain

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.10)$$

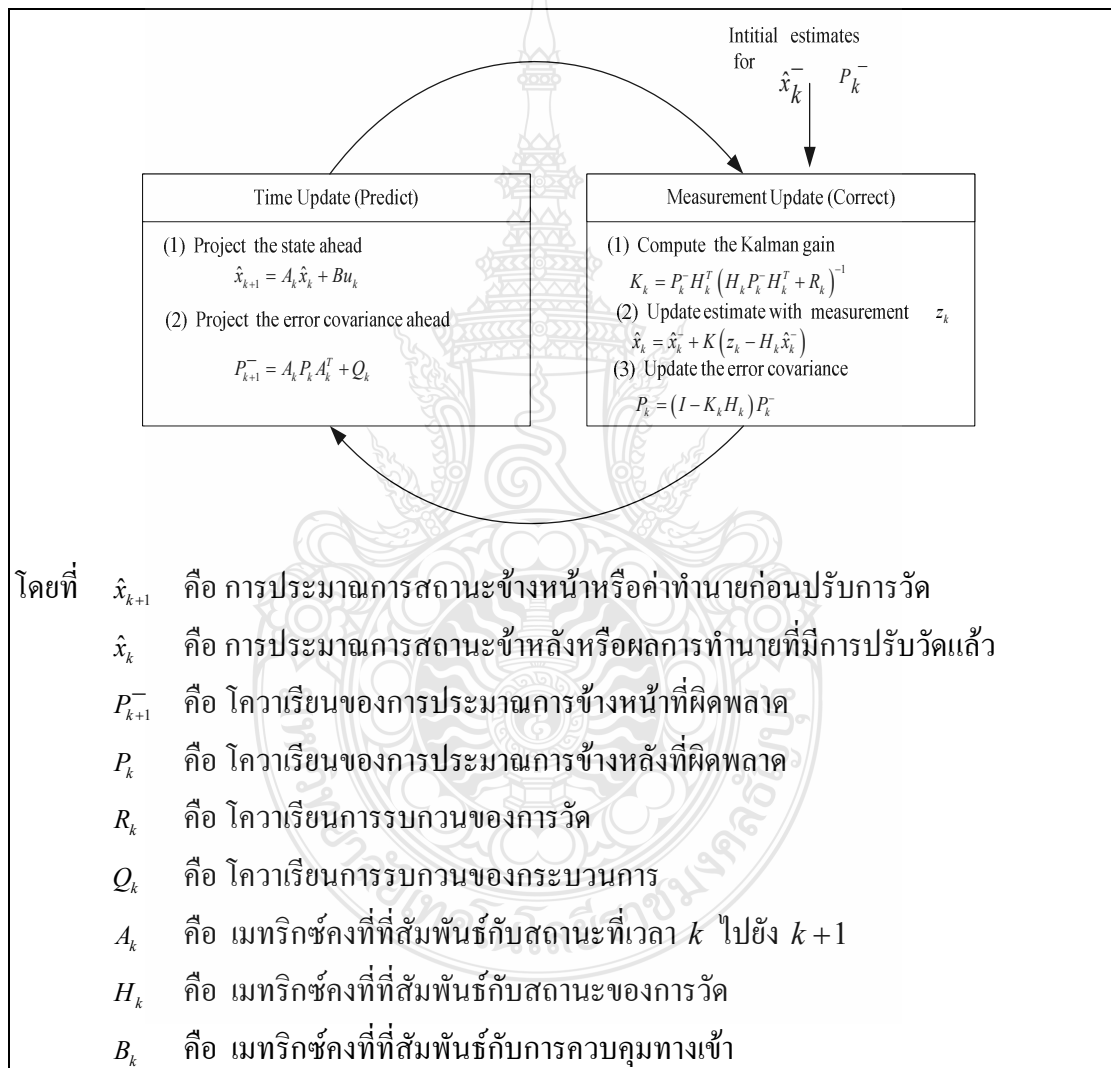
Update Estimate with Measurement  $z_k$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (2.11)$$

Update The Error Covariance

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (2.12)$$

วงจรการทำงานของสมการตัวกรองคาลมาน คือสมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การทำงานสมการหลักของตัวกรองคาลมาน

สมการที่ 2.5 ถึงสมการที่ 2.9 เป็นสมการรูปแบบทั่วไปของคาลมานฟิลเตอร์เมื่อมาประยุกต์ใช้ในการเป็นแบบจำลองประมาณค่า เนื่องจากเป็นการทำนายค่าแบบสุ่ม 1 มิติ ดังนั้นค่าคงที่  $A_k, B_k$  และ  $H_k$  จึงมีค่าเท่ากับ 1 และไม่มีตัวควบคุมทางเข้าค่า  $u_k$  จึงเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสมการรูปแบบโดยทั่วไปของคาลมานฟิลเตอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

การปรับปรุงเวลาประกอบไปด้วยดังสมการที่ 2.13-2.14

Project The State Ahead

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k \quad (2.13)$$

Project The Error Covariance Ahead

$$P_{k+1}^- = P_k + Q_k \quad (2.14)$$

การปรับปรุงการวัดประกอบไปด้วยดังสมการที่ 2.15-2.17

Compute The Kalman Gain

$$K_k = \frac{P_k^-}{(P_k^- + R_k)} \quad (2.15)$$

Update Estimate with Measurement  $z_k$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - \hat{x}_k^-) \quad (2.16)$$

Update The Error Covariance

$$P_k = (I - K_k) P_k^- \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$z_k = x_k + v_k \quad (2.18)$$

โดยที่  $z_k$  คือ ค่าพยากรณ์ของสัญญาณเสียงเอาต์พุตที่ได้แก้ไขความผิดพลาดจริง

$\hat{x}_k^-$  คือ ค่าการพยากรณ์ของสัญญาณเสียงอินพุตก่อนมีการปรับวัด

$\hat{x}_k$  คือ ค่าการพยากรณ์ของสัญญาณเสียงอินพุตหลังมีการปรับวัดแล้ว



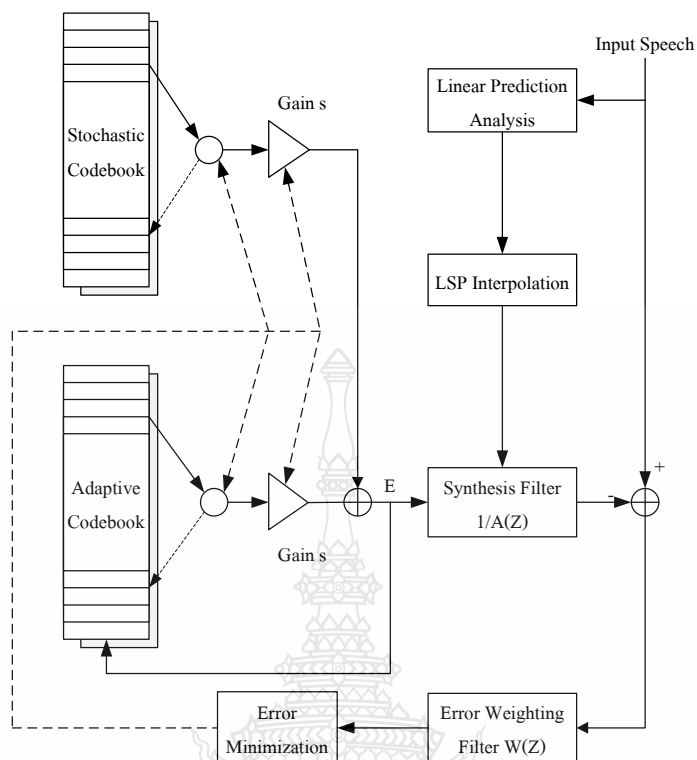
## 2.4 การเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดด้วย CELP

CELP ย่อมาจาก Code Excite Linear Prediction [9] เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียงซึ่งได้รับมาตรฐานมากในระดับสากล และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านงานประมวลผลมากมาย ซึ่งมาตรฐานของ CELP ยังสามารถแยกออกเป็นมาตรฐานย่อยอื่นๆ อีก แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะมาตรฐานของสถาปัตยกรรม Federal Standard 1016 CELP (FS1016 CELP) [10] ซึ่งมาตรฐานนี้ได้มีการพัฒนาร่วมกันระหว่างสหรัฐอเมริกาและห้องปฏิบัติการของ AT & Bell ซึ่งมาตรฐานนี้จะสามารถบีบอัดสัญญาณเสียงพูดที่ 4.8 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งจะเข้ารหัสโดยการแบ่งสัญญาณเสียงพูดเป็นเฟรม (Frame) ซึ่งในหนึ่งเฟรมจะใช้ อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) 8 kHz และขนาดเฟรม (Frame Size) 30 วินาที (ประมาณ 240 ตัวอย่างต่อ 1 เฟรม) ซึ่งพารามิเตอร์และความต้องการอัตราบิตในการส่งข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์และอัตราบิตที่ใช้ส่งข้อมูลของ FS1016 CELP [10]

| พารามิเตอร์              | บิตต่อเฟรม | บิตต่อวินาที   |
|--------------------------|------------|----------------|
| Adaptive Codebook        | 32         | 1066.67        |
| Adaptive Codebook gain   | 20         | 666.67         |
| Stochastic Codebook gain | 36         | 1200           |
| พารามิเตอร์ LSP          | 34         | 1133.33        |
| รวม                      | 142        | 4733.33 (4800) |

การเข้ารหัสของ FS1016 CELP เริ่มจากการนำสัญญาณเสียงแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกนำไปเข้ากระบวนการเข้ารหัส CELP บนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยการสังเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของเวกเตอร์คอนไคซ์เซชัน (Vector Quantization; VQ) และจากการทำนายพันธะเชิงเส้น (Linear Prediction) ซึ่งมีการกระตุ้นของสัญญาณด้วย Codebook ที่ใช้งาน 2 ส่วน คือ Adaptive Codebook และ Stochastic Codebook ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัส FS 1016 CELP [10]

Adaptive Codebook จะถูกนำมาสร้างสัญญาณกระตุ้นความถี่ต่ำและ Stochastic Codebook จะถูกนำมาเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างรูปแบบของคลื่นที่เกิดขึ้นจริงและส่วนขยายระยะที่เหมาะสมของการกระตุ้น

จากที่กล่าวข้างต้นนั้นการทำงานของ CELP จะต้องอาศัยพารามิเตอร์จากการเข้ารหัสการทำนายพัลส์เชิงเส้น เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ของวงจกรองสัญญาณที่ได้ไปใช้สังเคราะห์สัญญาณเสียงใน Adaptive Codebook ต่อไป

## 2.5 การเข้ารหัสการทำนายพัลส์เชิงเส้น

การทำนายพัลส์เชิงเส้น (Linear Predictive) [11-13] เป็นเทคนิคที่สำคัญทางด้านการวิเคราะห์เสียงเนื่องจากมีความแม่นยำสูงในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของเสียงพูดเมื่อเทียบกับความเร็วในการประมวลผล หลักการพื้นฐานของการทำนายพัลส์เชิงเส้นอาศัยแนวความคิดว่าตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดสามารถประมาณค่าได้จากผลรวมของตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดจากอดีต การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการทำนายโดยทั่วไปเรียกว่าการเข้ารหัสการทำนายพัลส์เชิงเส้น

(Linear Predictive Coding; LPC) ในด้านการประมวลผลสัญญาณเสียง การเข้ารหัสการทำนายพัลซเซเชิงเส้นถูกนำไปใช้ในสองแนวทาง ได้แก่

### 2.5.1 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงจะถูกนำไปใช้เป็นวงจรกรองวิเคราะห์การทำนายพัลซเซเชิงเส้น (LP Analysis Filter) เพื่อแยกส่วนซ้ำซ้อน (Redundancy) ของสัญญาณเสียงออก ส่วนที่เหลือเรียกว่าสัญญาณตกค้าง (Residual Signal)

### 2.5.1 การสังเคราะห์สัญญาณเสียงพูด

การสังเคราะห์สัญญาณเสียงพูดจะถูกนำไปใช้เป็นวงจรกรองการทำนายพัลซเซเชิงเส้นผกผัน (Inverse LP Filter) หรือวงจรกรองสังเคราะห์การทำนายพัลซเซเชิงเส้น (LP Synthesis Filter) โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองดังกล่าวแสดงกรอบสเปกตรัมของสัญญาณเสียงพูด วงจรกรองสังเคราะห์การทำนายพัลซเซเชิงเส้นแสดงช่องทางเดินเสียงของมนุษย์และใช้หาสัญญาณกระตุ้นที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์การเข้ารหัสการทำนายพัลซเซเชิงเส้นเริ่มต้นจากพิจารณากรอบสัญญาณเสียงที่มีตัวอย่าง  $N$  ตัวอย่าง คือ  $s_1, s_2, \dots, s_N$  โดยอ้างว่าตัวอย่างสัญญาณปัจจุบันสามารถทำนายได้จากผลรวมของตัวอย่างสัญญาณในอดีต  $p$  ตัวอย่าง ดังสมการที่ 2.19

$$\tilde{s}_n = -a_1 s_{n-1} - a_2 s_{n-2} - a_3 s_{n-3} - \dots - a_p s_{n-p} = -\sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} \quad (2.19)$$

เมื่อ  $p$  คืออันดับของการวิเคราะห์การทำนายพัลซเซเชิงเส้น และ  $a_1, a_2, \dots, a_p$  คือสัมประสิทธิ์การเข้ารหัสการทำนายพัลซเซเชิงเส้น กำหนด  $e_n$  แทนค่าผิดพลาดระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้ จะได้ตามสมการที่ 2.20 และสมการที่ 2.21

$$e_n = s_n - \tilde{s}_n \quad (2.20)$$

$$e_n = s_n + \sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} \quad (2.21)$$

สัญญาณ  $e_n$  เรียกว่าสัญญาณตกค้าง เนื่องจากสัญญาณ  $e_n$  ได้จากผลการลบสัญญาณ  $s_n$  ด้วย  $\tilde{s}_n$  และเนื่องด้วยค่าสหสัมพันธ์ช่วงสั้น (Short-Term Correlation) ระหว่างตัวอย่างของสัญญาณ

ตกค้างมีค่าต่ำ ดังนั้นประมาณได้ว่ากรอบสเปกตรัมกำลังของสัญญาณตกค้างมีลักษณะเรียบ เมื่อทำการแปลงแซด (Z-Transform) ของสมการที่ 2.22 ได้ค่าดังสมการที่ 2.23

$$E(z) = A(z) \cdot S(z) \quad (2.22)$$

โดยที่  $S(z)$  เป็นผลการแปลงแซดของสัญญาณเสียงและ  $E(z)$  และเป็นผลการแปลงแซดของสัญญาณตกค้างตามลำดับ

$$A(z) = 1 + \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} \quad (2.23)$$

โดยที่  $A(z)$  หรือวงจรกรองไวเทนนิง (Whitening Filter) มีหน้าที่แยกความสับสนสัมพันธ์ช่วงสั้นที่ปรากฏในสัญญาณเสียงพูด ซึ่งก็คือการทำให้สเปกตรัมเรียบ เนื่องจาก  $E(z)$  ประมาณได้ว่ามีสเปกตรัมเรียบ ดังนั้นสามารถออกแบบกรอบสเปกตรัมของสัญญาณช่วงสั้นได้จากการวิเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้นในรูปแบบออโพล (All-Pole Model) หรือรูปแบบออโตรีเกรสซีฟ (Autoregressive Model) ดังสมการที่ 2.24

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} \quad (2.24)$$

วงจรกรอง  $A(z)$  เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่าวงจรกรองผกผัน (Inverse Filter) เนื่องจากเป็นส่วนผกผันของรูปแบบออโพล  $H(z)$  ของสัญญาณเสียงพูด และรากของ  $A(z)$  ทำให้เกิดโพลใน  $H(z)$  นั่นคือตำแหน่งฟอร์แมนต์ของเสียงที่ได้จากช่องทางเดินเสียงที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน  $H(z)$

การหากรอบสเปกตรัมกำลังช่วงสั้นของเสียงพูดด้วยวิธีการวิเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้น คำนวณได้จาก  $H(z)$  บนวงกลมหนึ่งหน่วย (Unit Circle) โดยในขั้นแรกต้องหาสัมประสิทธิ์การทำนายพันธะเชิงเส้นของสัญญาณเสียงพูดก่อน โดยปกติหาได้จากการทำให้ค่าผิดพลาดการทำนายพันธะเชิงเส้นทั้งหมดยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.25 มีค่าต่ำที่สุด

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} e_n^2 \quad (2.25)$$

โดยที่ผลรวมของช่วง  $n_1$  ถึง  $n_2$  ที่คำนวณได้ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี [14] ได้แก่

1) วิธีอัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation) ในการวิเคราะห์การทำนายพัลเซเชิงเส้นช่วงสั้นสามารถหาได้โดยใช้การวิเคราะห์แบบหน้าต่างสัญญาณเสียงพูดและอ้างว่าตัวอย่างสัญญาณภายนอกหน้าต่างนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ ตามสมการที่ 2.26 แล้วจึงทำให้ได้ค่าผิดพลาดตามสมการที่ 2.25 มีค่าต่ำสุด

$$\sum_{k=1}^p r_{|i-k|} a_k = -r_i \quad \text{เมื่อ} \quad 1 \leq i \leq p \quad (2.26)$$

โดยที่  $r_k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตโนมัติสัมพันธ์อันดับที่  $k$  ของหน้าต่างสัญญาณเสียง โดยที่

$$r_k = \frac{1}{N} \sum_{n=k}^N w_n s_n w_{n-k} s_{n-k} \quad (2.27)$$

เมื่อ  $w_n$  คือ ฟังก์ชันหน้าต่างที่มีระยะเวลา  $N$  ตัวอย่าง

การหาค่าสัมประสิทธิ์การเข้ารหัสการทำนายพัลเซเชิงเส้นสามารถหาได้จากการแก้สมการที่ 2.26 ซึ่งมีจำนวน  $p$  สมการ สมการดังกล่าวเรียกว่าสมการยูล-วอล์กเกอร์ (Yule-Walker) สมการทั้งหมดสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$Ra = -r \quad (2.28)$$

โดยที่

$$R = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \cdots & r_{p-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \cdots & r_{p-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \cdots & r_{p-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p-1} & r_{p-2} & r_{p-3} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_p]^T \quad (2.30)$$

$$r = [r_1, r_2, \dots, r_p]^T \quad (2.31)$$

เมทริกซ์  $R$  เรียกว่า เมทริกซ์อัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation Matrix) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแบบโทพลิตซ์ (Toeplitz) โครงสร้างนี้รับรองว่าโพลของวงจรรองส่งเคราะห์การทำนายพัลระเชิงเส้น  $H(z)$  จะอยู่ในวงกลมหนึ่งหน่วย (Unit Circle) ดังนั้นจึงรับรองได้ว่าวงจรรองส่งเคราะห์  $H(z)$  ที่ได้จากวิธีอัตโนมัติสัมพันธ์นี้จะเสถียรเสมอ

สำหรับวิธีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การทำนายพัลระเชิงเส้นในสมการที่ 2.28 มีอยู่หลายวิธี และวิธีหนึ่งที่น่าใช้คือ วิธีการวนซ้ำของเลวินสัน-เดอบิน (Levinson-Durbin Algorithm)

ขั้นตอนวิธีการวนซ้ำของเลวินสัน-เดอบิน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น :  $E_0 = R(0)$  และ  $a_0 = 0$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)

$$k_m = \frac{R(m) - \sum_{i=1}^{m-1} a_{m-1} R(m-i)}{E_{m-1}} ; \quad m = 1, 2, 3, \dots, p$$

เมื่อ  $R(m)$  และ  $R(m-i)$  คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$R(m) = \sum_{n=m}^{N-1} x(n)x(n-m)$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายพัลระเชิงเส้น

ให้  $a_m(m) = k_m$

และ  $a_m(i) = a_{m-1}(i) - k_m a_{m-1}(m-i) ; 1 \leq i \leq m$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าผิดพลาดใหม่

$$E_m = (1 - k_m^2) E_{m-1}$$

$$m = m + 1$$

วนซ้ำขั้นที่ 2 ถึง 4 เมื่อ  $m < p$  เมื่อ  $m = p$  แล้ว  $a_i = a_p(i)$  โดยที่  $p$  คืออันดับของค่าสัมประสิทธิ์การ  
ทำนายพันธะเชิงเส้น

2) วิธีโคเวเรียนซ์ (Covariance Method) ในการวิเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้น ช่วง  
ของการรวมอยู่ในช่วง  $(p+1, N)$  ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้หน้าต่าง การทำให้ค่าผิดพลาดทั้งหมด  
ยกกำลังสองมีค่าต่ำที่สุดหาได้จากสมการจำนวน  $p$  ดังสมการที่ 2.32

$$\sum_{k=1}^p c_{ik} a_k = -c_{i0} \quad \text{เมื่อ } 1 \leq i \leq p \quad (2.32)$$

โดยที่

$$c_{ik} = \sum_{n=p+1}^N s_{n-i} s_{n-k} \quad (2.33)$$

สมการจำนวน  $p$  สมการ สามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ ได้ดังนี้

$$Ca = -c \quad (2.34)$$

โดยที่

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdots & c_{2p} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \cdots & c_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & c_{p3} & \cdots & c_{pp} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_p]^T \quad (2.36)$$

$$c = [c_{10}, c_{20}, \dots, c_{p0}]^T \quad (2.37)$$

เมทริก  $C$  เรียกว่า เมทริกซ์โคเวเรียนซ์ (Covariance Matrix) และเป็นเมทริกซ์สมมาตร นั่น  
คือ  $C_{1p} = C_{p1}$  แต่เมทริกซ์ไม่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบโทพลิตซ์ ดังนั้นการหาสัมประสิทธิ์การ  
เข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นด้วยวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีออสทสสัมพันธ์ และสัมประสิทธิ์  
การเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นที่ได้จากวิธีนี้จึงรับรองไม่ได้ว่าจะให้วงจรกรองสั้งเคราะห์ที่มี

ความเสถียรเสมอ นอกจากนี้โครงสร้างที่สมมาตรทำให้การคำนวณบางส่วนสามารถใช้เทคนิคการคำนวณให้เร็วขึ้นได้ แต่ยังไม่เร็วเทียบเท่าวิธี Levinson-โคบิน

เนื่องจากพารามิเตอร์ LPC มีความเสถียรของสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการใช้สัญญาณเสียงได้ ดังนั้นจึงได้นำค่าพารามิเตอร์จาก LPC ไปพัฒนาต่อยอดด้วย LSP

## 2.6 คู่เส้นสเปกตรัม

คู่เส้นสเปกตรัม (Line Spectral Pairs; LSP) [11-13] หรือความถี่เส้นสเปกตรัม (Line Spectral Frequency; LSF) เป็นพารามิเตอร์รูปแบบหนึ่ง que พัฒนามาจากพารามิเตอร์การทำนายพัลส์เชิงเส้น เนื่องจากพารามิเตอร์การทำนายพัลส์เชิงเส้นในขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์อาจทำให้เกิดความไม่เสถียรของสัญญาณได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเสียง ในขณะที่พารามิเตอร์คู่เส้นสเปกตรัมมีคุณสมบัติที่เด่นคือ ค่าพารามิเตอร์อยู่ภายในขอบเขตที่จำกัด มีการเรียงลำดับของค่าพารามิเตอร์ และสามารถตรวจสอบเสถียรภาพของวงจรกรองได้ง่าย นอกจากนี้คู่เส้นสเปกตรัมยังแสดงในรูปแบบเชิงความถี่จึงสามารถนำไปใช้ในการหาคุณสมบัติที่แน่นอนในระบบการรับรู้ของคนได้

ในการคำนวณหาคู่เส้นสเปกตรัมเริ่มต้นจากพหุนามอันดับ  $M$  ของวงจรกรองผกผันในเชิงซัดดิงสมการที่ 2.14 โดยทำการแยกส่วนสมการดังกล่าวเป็นพหุนามอันดับ  $M+1$  จำนวน 2 พหุนามดังสมการที่ 2.38 และสมการที่ 2.39

$$P(z) = A(z) + z^{-(M+1)} A(z^{-1}) \quad (2.38)$$

$$Q(z) = A(z) - z^{-(M+1)} A(z^{-1}) \quad (2.39)$$

โดยพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  มีความสัมพันธ์กับ  $A(z)$  ตามสมการที่ 2.40

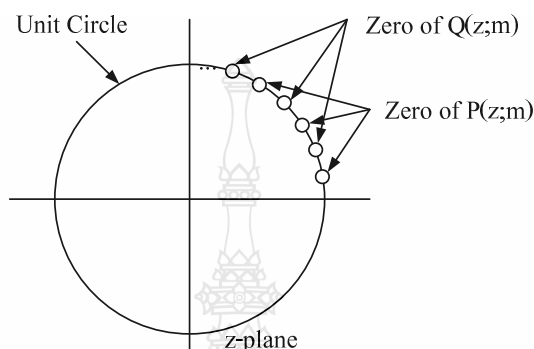
$$A(z) = \frac{P(z) + Q(z)}{2} \quad (2.40)$$

พหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  สอดคล้องกับรูปแบบช่องทางเดินเสียงที่ไร้การสูญเสียขณะที่ช่องระหว่างเส้นเสียง (Glottis) ปิดและเปิดตามลำดับ และรากของพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  เรียกว่าความถี่เส้นสเปกตรัม โดยพหุนามทั้งสองมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้



1) ราก (Zeroes) ทั้งหมดของพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  นั้นจะตั้งอยู่บนวงกลมหนึ่งหน่วยเสมอ

2) ราก (Zeroes) ของพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  จะวางเรียงสลับกันตามลำดับจากน้อยไปหามาก ดังแสดงในภาพที่ 2.3

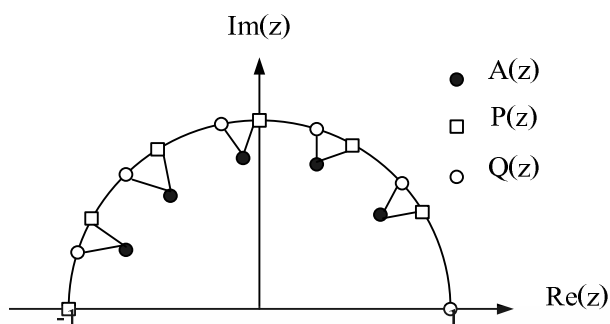


ภาพที่ 2.6 การวางเรียงสลับของรากของพหุนามคู่เส้นสเปกตรัม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  [12]

ภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นได้ว่าวงจรรองพหุนาม  $A(z)$  จะมีเฟสต่ำสุด ถ้าคู่เส้นสเปกตรัมของ  $A(z)$  สอดคล้องกับคุณสมบัติทั้งสองนี้ ดังนั้นวงจรรังเคราะห์การเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นสามารถยืนยันได้ว่ามีเสถียรภาพ โดยการทำการประมวลผลพารามิเตอร์การเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นในรูปแบบคู่เส้นสเปกตรัม [12]

เมื่อพิจารณารากของพหุนามทั้งสองพบว่าพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  มีรากจริงอยู่ที่  $-1$  และ  $1$  ตามลำดับ สำหรับรากอื่นๆ อยู่บนวงกลมหนึ่งหน่วยโดยวางเรียงสลับกันตามคุณสมบัติของพหุนามทั้งสอง และรากทั้งสองของพหุนามมีลักษณะเป็นคู่เชิงซ้อนสังยุค ดังนั้นในการเก็บรากของพหุนามเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์จึงเก็บเพียง  $M$  ค่า

เนื่องจากรากของพหุนาม  $A(z)$  แสดงตำแหน่งฟอร์แมนต์ของเสียงพูด และพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  สัมพันธ์กับ  $A(z)$  ตามสมการที่ 2.38 - 2.40 ดังนั้นรากของพหุนามทั้งสองจึงสัมพันธ์กับฟอร์แมนต์ด้วย โดยรากของพหุนาม  $A(z)$  แต่ละอันจะจับคู่กับรากของพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  อย่างละหนึ่งราก ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างรากของ  $A(z)$  กับรากของกลุ่มเส้นสเปกตรัม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  [13]

ภาพที่ 2.7 รูปวงกลมสีดำจะเป็นรากของพหุนาม  $A(z)$  ส่วนรูปสี่เหลี่ยมและรูปวงกลมสีขาวเป็นรากของพหุนาม  $P(z)$  และ  $Q(z)$  ตามลำดับ

การเกาะกลุ่มของรากหรือความถี่เส้นสเปกตรัมจำนวน 2 หรือ 3 รากจะกำหนดลักษณะความถี่ฟอร์แมนต์และขนาดแบนด์วิดท์ของฟอร์แมนต์ โดยขึ้นกับความชิดของกลุ่มรากดังกล่าว ถ้ารากชิดกันมากจะทำให้เกิดฟอร์แมนต์และมีแบนด์วิดท์แคบ ในทางตรงข้ามกลุ่มรากจะแสดงถึงสเปกตรัมที่มีแบนด์วิดท์กว้างคือไม่เกิดฟอร์แมนต์ นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของเส้นสเปกตรัมคือความไวทางสเปกตรัมของกลุ่มเส้นสเปกตรัมมีลักษณะเฉพาะที่ คือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มเส้นสเปกตรัมใดๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมกำลังของการเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นเฉพาะบริเวณรอบๆ เท่านั้น ทำให้สามารถทำการประเมินค่า (Quantization) ได้อย่างอิสระโดยไม่มีผลกระทบจากการลดทอนเนื่องจากการประเมินค่าจากสเปกตรัมหนึ่งไปสู่สเปกตรัมอื่นๆ

## 2.7 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางการกรองสัญญาณรบกวนโดยวิธีการตัวกรองสัญญาณรบกวนของตัวกรองคาลมานได้มีการพัฒนาวิธีการและนำไปประยุกต์ในสาขาต่างๆ อย่างแพร่หลาย และมีความแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยนั้นๆ ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กำลังศึกษาซึ่งเกี่ยวข้องกับการกรองสัญญาณรบกวน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.7.1 ในงานวิจัยของ [8] ได้นำเสนอในหัวข้อ “Design Analysis Speech Processing Using Kalman Filter” งานวิจัยนี้แนะนำเสนอกับการออกแบบตัวกรองคาลมานจากสมการหลักของตัวกรองคาลมานโดยใช้ผ่านตัวกรองคาลมานถึง 5 ชั้นและทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงพูดที่ได้จากการประมวลสัญญาณทางด้านอินพุต กับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเมื่อผ่านตัวกรองคาลมานแล้วซึ่ง

งานวิจัยนี้พบว่าสัญญาณทางด้านอินพุต กับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตรูปแบบของสัญญาณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกันแล้วมีความคล้ายกันถึงแม้จะผ่านตัวกรองกาลมานถึง 5 ชั้น

2.7.2 งานวิจัยของ [16] ได้นำเสนอในหัวข้อ “Estimation of Short-Term Predictor Parameters of Speech under Noisy Conditions” ในงานวิจัยนี้แนะนำเทคนิคการ (MAP) และ (MMSE) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคาดเดาภายใต้การเกิดสถานะสัญญาณรบกวนเพื่อส่งค่าการคาดเดาให้กับตัวกรอง DFT และตัวกรองกาลมานเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมาณค่าของทั้งสองแบบซึ่งงานวิจัยนี้พบว่า เทคนิค MMSE จะได้ผลของสัญญาณ SNR ดีกว่าเทคนิค MAP

2.7.3 งานวิจัยของ [17] นำเสนอในหัวข้อ “Double Clustering Algorithm applied to Speaker Dependent Information” ได้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างการบีบอัดข้อมูลให้มีค่า Bit Rate ต่ำลงด้วยการใช้ LPC-10 แบบใหม่ โดยพบว่าค่าพารามิเตอร์ LPC ที่ใช้ทั่วไปจะให้ค่าการควอนไทซ์ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้นในกรณีที่ระดับความแตกต่างของสัญญาณเสียงพูดมีระดับต่ำ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความผิดพลาดของการควอนไทซ์ จึงได้นำเสนอวิธีการโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ LPC เป็นพารามิเตอร์ LSP เพื่อจะสร้าง Code Vector ของการแบ่งลำดับชั้นใน Vector Quantization เพื่อที่จะใช้เข้ารหัสสัญญาณ เสียงพูดใหม่ เรียกว่า LPC-10 จากผลทดลองพบว่าสามารถลดจำนวนบิตของสัญญาณเสียงพูดในบิตสัญญาณเสียงพูด p1-p4 ได้ 4 บิต และอัตราการส่งข้อมูลลดลง 2-66%

2.7.4 งานวิจัยของ [18] นำเสนอในหัวข้อ “Novel Technique for Tonal Language Speech Compression Based on Bitrate Scalable MP-CELP Coder” งานวิจัยนี้เสนอการเข้ารหัสเสียงพูดมาตรฐาน MPEG-4 ด้วยการจำลองตัวเข้ารหัสและตัวถอดรหัส MP-CELP โดยใช้เสียงพูดภาษาอังกฤษและเสียงพูดภาษาไทย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเสียงพูดภาษาไทยที่ผ่านการเข้ารหัสและถอดรหัสที่จำลองขึ้น มีคุณภาพด้อยกว่าเสียงพูดภาษาอังกฤษ ซึ่งใช้ค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนในการวัดผล

2.7.5 งานวิจัยของ [19] นำเสนอในหัวข้อ “A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition” เป็นการแปลงเวฟเล็ตเพื่อช่วยลดการประมวลผลในขั้นตอนการรู้จำเสียงพูดภาษาฮินดี โดยใช้การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตชนิดต่างๆ เช่น Daubechies, Coiflet และ Mayer Wavelet เป็นต้น เพื่อลดขนาดข้อมูลเสียงก่อนนำเข้าสู่กระบวนการสกัดค่าคุณลักษณะ โดยใช้ Linear Predictive Coding (LPC) ร่วมกับการอัลกอริทึม K-Mean เพื่อใช้ในการรู้จำเสียงพูดโดยใช้หมวดค่าในการทดสอบคือ ตัวเลขศูนย์ ถึง เก้า ในภาษาฮินดี (Hindi Language) ซึ่งใช้วัดประสิทธิภาพของเวฟเล็ตชนิดต่างๆ จากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการรู้จำเสียงพูดโดย

แยกเป็นแต่ละคำและแยกตามชนิดของเวฟเล็ด ในการหาค่าประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จที่เกิดจากกระบวนการรู้จำ ซึ่งเลือกใช้กลุ่มคำ “One” ถึง “Ten” ในภาษาฮินดี

ในการนำเสนองานวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ของแบบจำลองตัวกรองกาลมานเพื่อจำลองการลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน ที่เกิดขึ้นกับสัญญาณเสียงพูด และนำผลของการหาความสัมพันธ์  $Q$  และ  $R$  มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP เพื่อเพิ่มคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP โดยที่การเลือกใช้เทคนิคตัวกรองกาลมานเนื่องจากตัวกรองกาลมานเป็นแบบจำลองที่ใช้เทคนิคของการประมาณค่าที่มีตัวแปรและหน่วยความจำในการทำงานน้อยและเหมาะที่จะนำมาออกแบบในการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ ประมวลผลที่มีขนาดเล็กเช่นการเพิ่มคุณภาพสัญญาณเสียงพูดในไมโครโฟนเป็นต้นในงานวิจัยตัวกรองกาลมานได้มุ่งเน้นปรับปรุงการคาดเดาสัญญาณสำหรับการวัดเพื่อที่จะใช้ในการคาดเดาสัญญาณรบกวนในระบบได้อย่างถูกต้อง



## บทที่ 3

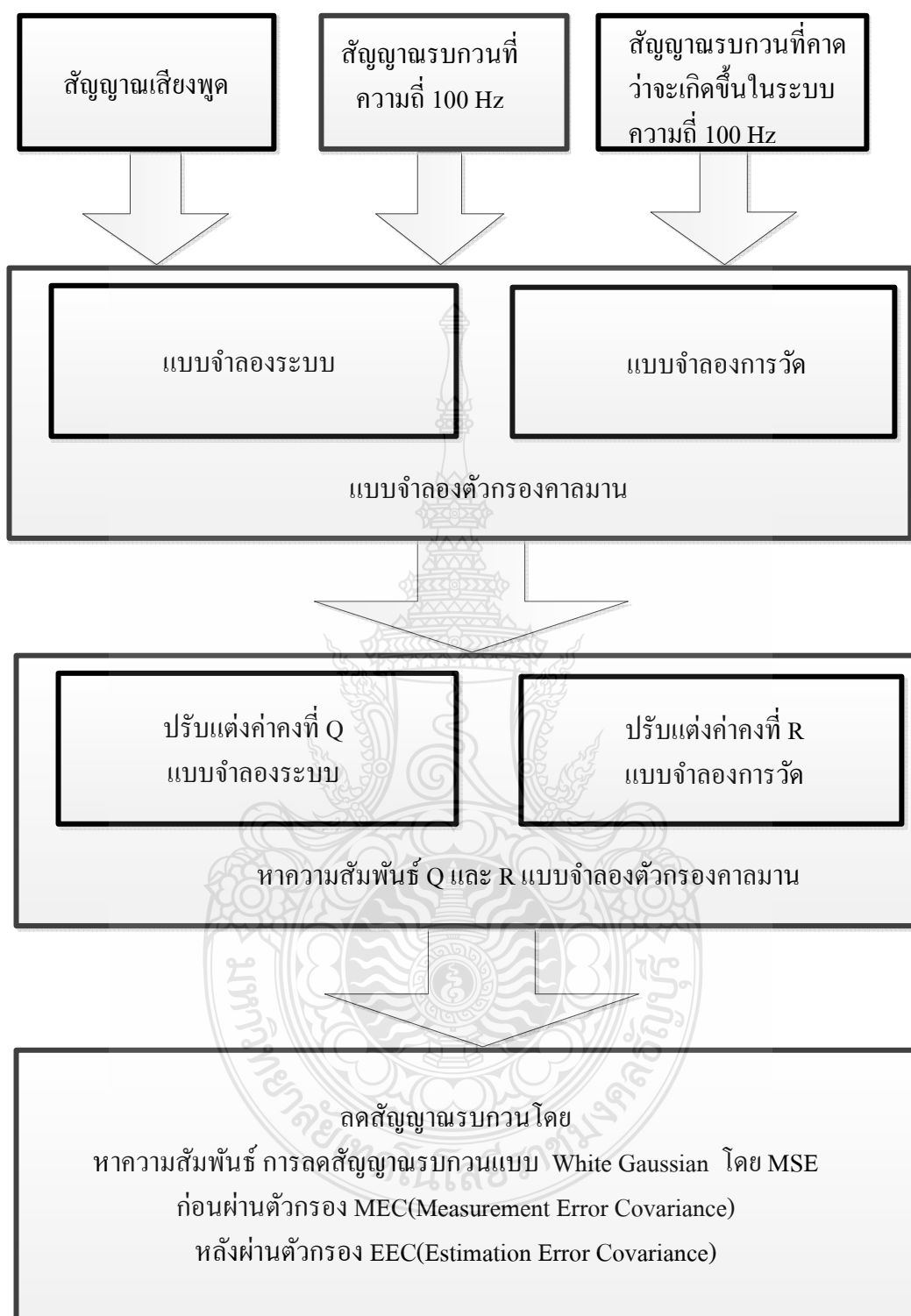
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้นำเสนอแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนโดยการทดลองส่วนแรกนำเสนอเทคนิคการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน ซึ่งในขั้นตอนของเทคนิคการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดนั้นจะมีขั้นตอนการทดลองโดยการนำเสียงพูดมาจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในระบบและจะจำลองสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในระบบขึ้นมาเพื่อนำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าในแบบจำลองในการวัดซึ่งมีลักษณะของสัญญาณเป็นแบบ White Gaussian Noise โดยจะนำมาป้อนเข้าไปในแบบจำลองตัวกรองกาลมาน

ในการทดลองส่วนที่สองจะนำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมานโดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ถูกบีบอัดสัญญาณโดยเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดวิธีการของ CELP โดยจะจัดเตรียมสัญญาณเป็นเสียงพูดผู้หญิงและสัญญาณเสียงพูดผู้ชายจำนวนอย่างละ 10 สัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดมาแล้วนำมาใช้ผ่านแบบจำลองตัวกรองกาลมาน โดยใช้ความสัมพันธ์จากเทคนิคการทดลองครั้งแรกเพื่อกำหนดค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ซึ่งในการทดลองส่วนที่สองได้จัดเตรียมสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับที่ไม่ผ่านการบีบอัดนำมาเป็นสัญญาณในแบบจำลองในการวัดเพื่อให้แบบจำลองตัวกรองกาลมานในแบบจำลองการวัดทำการวัดค่าและหาผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดผู้หญิงและเสียงพูดผู้ชายที่ได้ผ่านการบีบอัดจากเทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบ CELP เพื่อที่จะดูผลว่าคุณภาพสัญญาณจะดีขึ้นได้อย่างไร

#### 3.1 ขั้นตอนการทดลองเทคนิคการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ $Q$ และ $R$ ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน

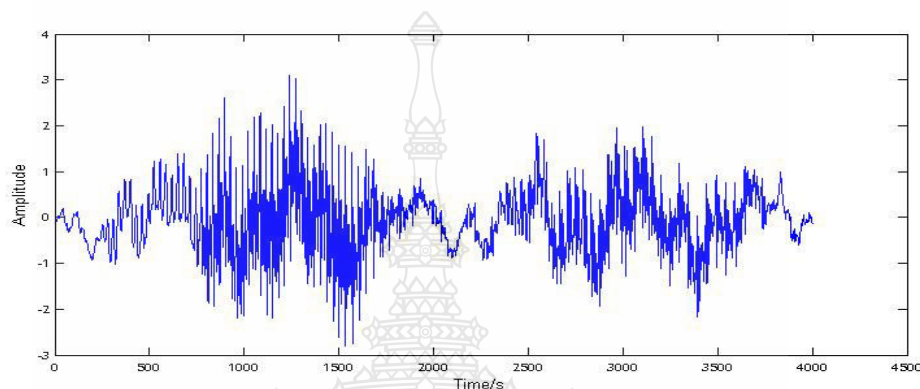
ขั้นตอนการทดลองส่วนแรกนำเสนอเทคนิคการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน จะแสดงดังภาพที่ 3.1 ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของงานวิจัย การหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise

### 3.1.1 สัญญาณเสียงพูด

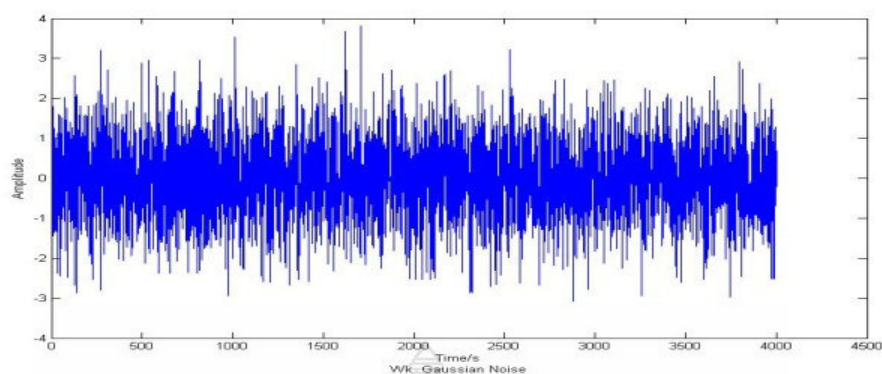
สัญญาณเสียงพูดที่ใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงที่นำมาทดลอง จะมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) อยู่ที่ 8000 Hz โดยข้อมูลมีขนาด 8 บิต ใช้ช่องสัญญาณเดี่ยว (Mono) โดยรูปแบบจะเป็นมาตรฐานของระบบพีซีเอ็ม (Pulse-Code Modulation; PCM)



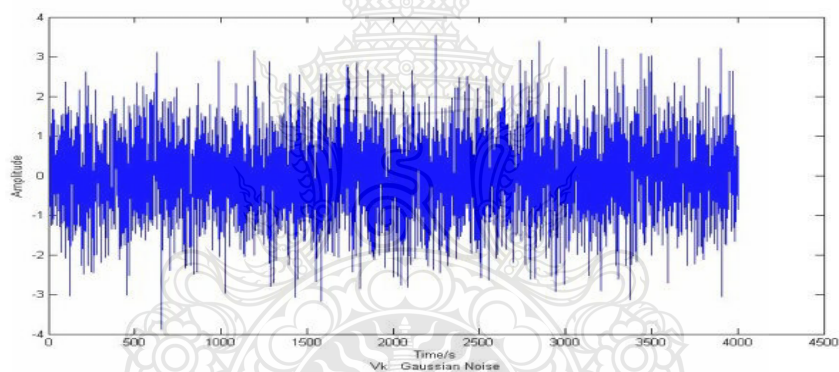
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise

### 3.1.2 สัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบและสัญญาณสำหรับใช้ในแบบจำลองการวัด

สัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบการทดลองการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise โดยใช้ความถี่ Sine Wave ในย่านความถี่ 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz เพื่อทำเป็นสัญญาณรบกวน White Gaussian Noise นำมาทดสอบในระบบตัวกรองคาถมาน ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างรูปสัญญาณ Sine Wave ในย่านความถี่ 100 Hz ที่นำมาใช้ทำให้เกิดเป็นสัญญาณในลักษณะ White Gaussian Noise เพื่อนำมาเป็นสัญญาณรบกวนในระบบ และสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบการวัดของตัวกรองคาถมานในการทดลองงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise ซึ่งสัญญาณรบกวนเป็นแบบสุ่มแสดงได้ดังภาพที่ 3.3 -3.4



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนในระบบแบบ White Gaussian จากความถี่ Sine Wave 100 Hz ใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise

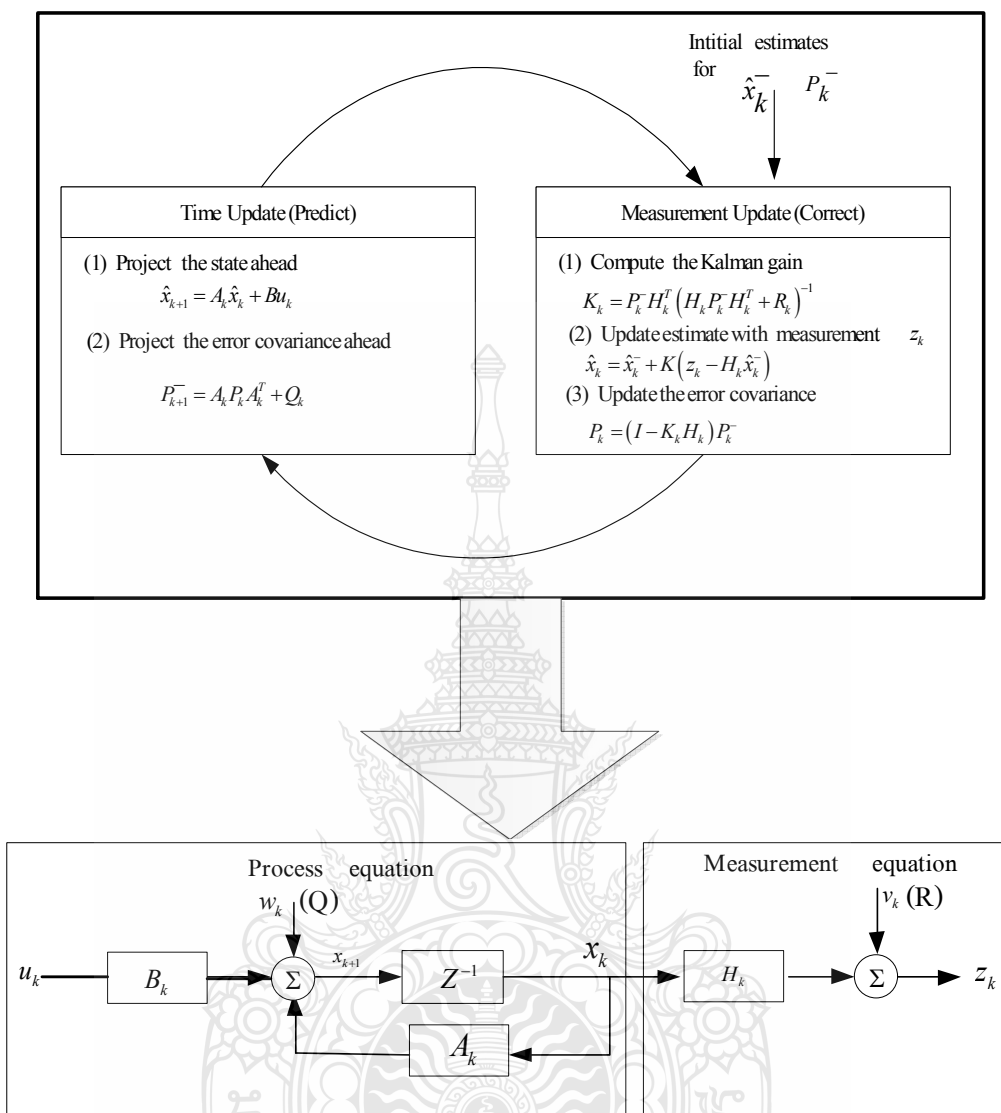


ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นใช้ในแบบจำลองการวัดแบบ White Gaussian จากความถี่ Sine Wave 100 Hz ใช้สำหรับงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise

### 3.1.3 แบบจำลองตัวกรองคาลมาน

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 นำไปสู่วงจรการทำงานของสมการตัวกรองคาลมาน คือสมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) นำมาแสดงเป็นแสดงการไหลของข้อมูลดังภาพที่ 3.5

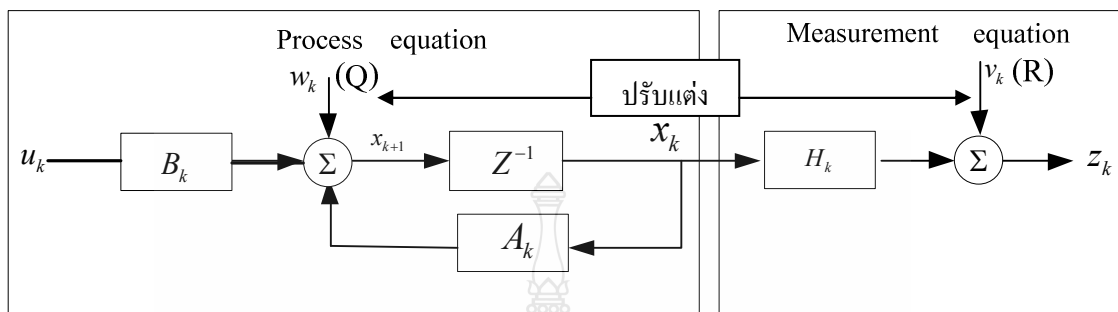




ภาพที่ 3.5 การไหลของข้อมูลของตัวกรองคาลมาน

สัญญาณรบกวนที่สมมุติขึ้นมานั้นเป็นสัญญาณแบบ White Gaussian Noise จะถูกแทนค่าแทนด้วยตัวแปร  $w_k$  ในแบบจำลองระบบดังภาพที่ 3.5 ในแบบจำลองการวัดสัญญาณจะถูกแทนค่าการคาดการณ์ว่าจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแทนด้วยตัวแปร  $v_k$  ในการทดลองนี้จะสร้างสัญญาณรบกวนของทั้งสองค่าคือสัญญาณรบกวนในระบบทางด้านอินพุต และสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเหมือนสัญญาณทางด้านอินพุต แบบ White Gaussian Noise จากความถี่ที่แตกต่างกันคือความถี่ 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz ตามลำดับ หลังจากนั้นจะปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  ซึ่งจะมีผลที่จะทำให้สัญญาณรบกวนของระบบมีความแปรปรวนไปตามการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  และการ

ปรับแต่งค่าคงที่  $R$  ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในแบบจำลองการวัดดังแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การปรับแต่งค่าคงที่ในงานวิจัยการหาความสัมพันธ์ ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise

### 3.2 เทคนิคการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียง

หลังจากการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  เพื่อหาความสัมพันธ์และลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise ออกจากสัญญาณเสียงพูด เพื่อที่จะหาผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของสัญญาณในการประมาณค่าผิดพลาดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน และความคลาดเคลื่อนผิดพลาดหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน ในวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error; MSE) ในการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียง เพื่อหาคุณภาพสัญญาณเสียงที่เปลี่ยนแปลงและทำให้สัญญาณรบกวนลดน้อยลง

#### 3.2.1 การหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

MSE เป็นการหาค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณเสียงก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน และความคลาดเคลื่อนผิดพลาดหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน โดยสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3.1

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (s_i - p_i)^2 \quad (3.1)$$

โดยที่  $s_i$  คือ สัญญาณเดิมก่อนการแก้ไขความคลาดเคลื่อน

$p_i$  คือ สัญญาณเสียงที่ถูกแก้ไขความคลาดเคลื่อนแล้ว

ในการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ White Gaussian Noise จากสมการที่ 2.1-2.2 ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคในการเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนก่อนการวัด และความคลาดเคลื่อนหลังจากการวัดโดยใช้เทคนิคของ MSE จากสมการที่ 3.1 และจากภาพที่ 3.5 ได้นำเสนอสมการสำหรับการเปรียบเทียบความผิดพลาดแปรปรวนของระบบก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน คือ สมการที่ 3.3

Covariance of Error before Filtering (Measurement Error)

$$\text{Measurement Error} = x_k H_k - (x_k H_k + v_k) \quad (3.2)$$

$$MEC = \frac{\sum (x_k H_k - (x_k H_k + v_k)) \times (x_k H_k - (x_k H_k + v_k))}{\text{Length}(x_k H_k - (x_k H_k + v_k))} \mathbf{Z} \quad (3.3)$$

และค่าความแปรปรวนการประมาณความผิดพลาดหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน คือสมการที่ 3.5

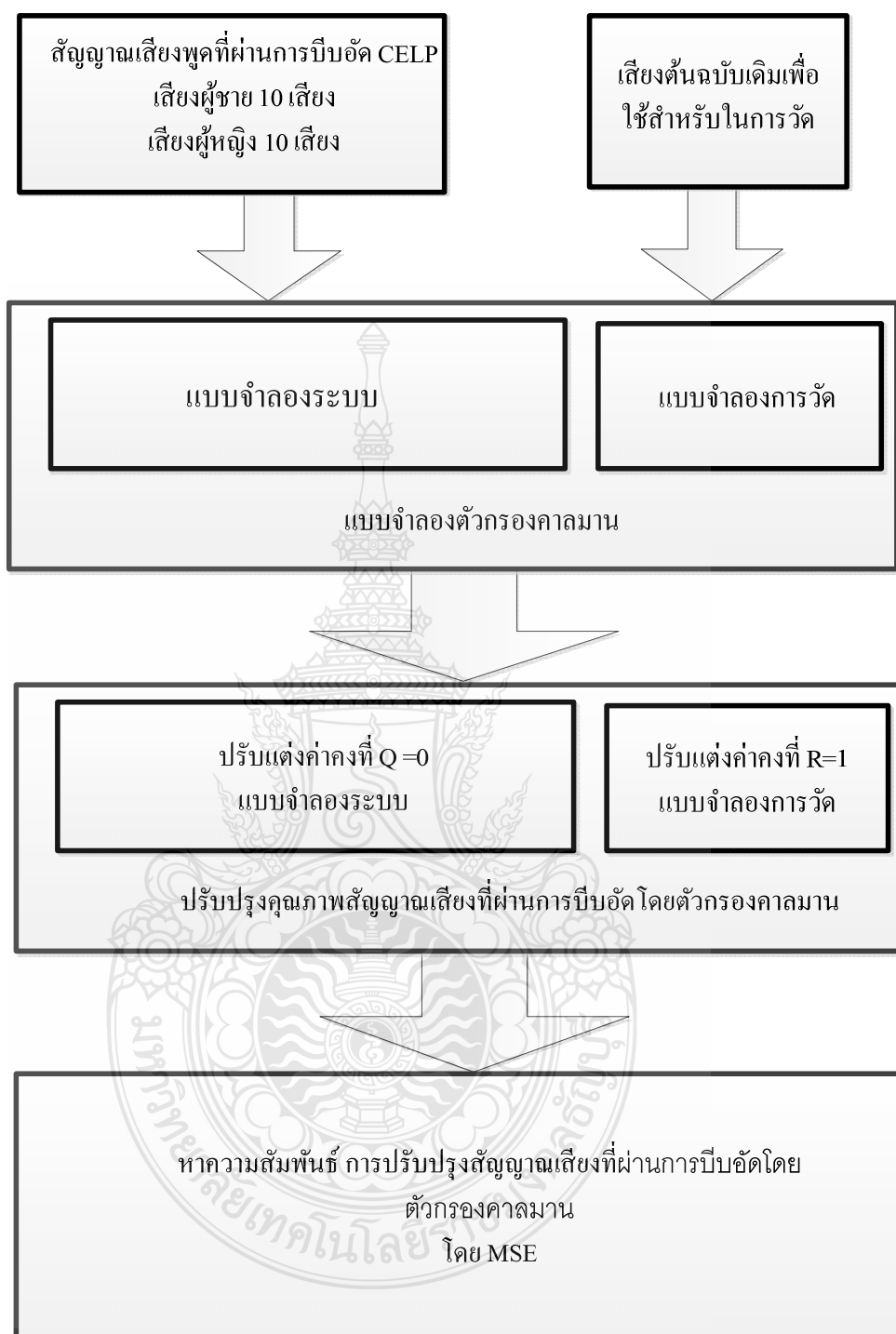
Covariance of Error after Filtering (Estimation Error)

$$\text{Estimation Error} = x_k H_k - z_k \quad (3.4)$$

$$EEC = \frac{\sum ((x_k H_k - z_k) \times (x_k H_k - z_k))}{\text{Length}(x_k H_k - z_k)} \quad (3.5)$$

### 3.3 การทดลองปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบ CELP

ขั้นตอนการทดลองส่วนที่สองนำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองคาลมาน โดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP จะแสดงดังภาพที่ 3.7 ดังนี้



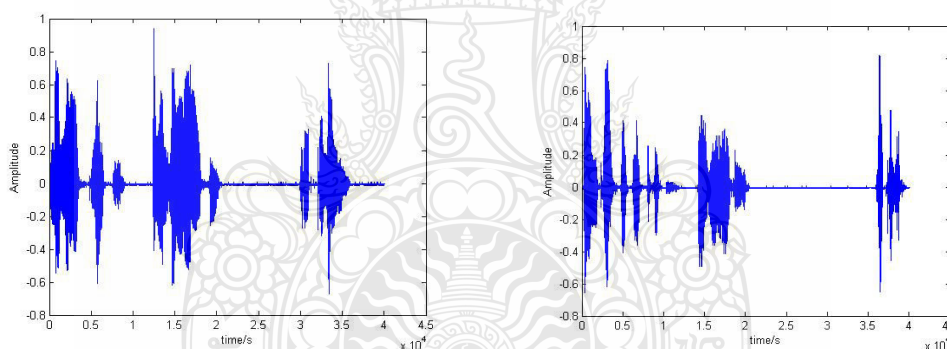
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองคาถมาน โดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP

### 3.3.1 เตรียมสัญญาณเสียงพูด

เตรียมสัญญาณเสียงพูดที่ยังไม่ได้ผ่านการบีบอัด และสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดแล้ว โดยวิธีการของ CELP จะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 20 เสียง ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงภาษาอังกฤษ และแต่ละสัญญาณเสียงเป็นประโยคคำพูดที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกลุ่มตามเวลาและแยกเป็นสัญญาณเสียงของผู้ชายและผู้หญิงได้ดังนี้

- 1) เสียงผู้ชายที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP เวลา 4 วินาที 10 เสียง
- 2) เสียงผู้หญิงที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP ที่เวลา 4 วินาที 10 เสียง
- 3) เสียงผู้ชายที่เป็นเสียงต้นฉบับที่ยังไม่ผ่านการบีบอัด เวลา 4 วินาที 10 เสียง
- 4) เสียงผู้หญิงที่เป็นเสียงต้นฉบับที่ยังไม่ผ่านการบีบอัดเวลา 4 วินาที 10 เสียง

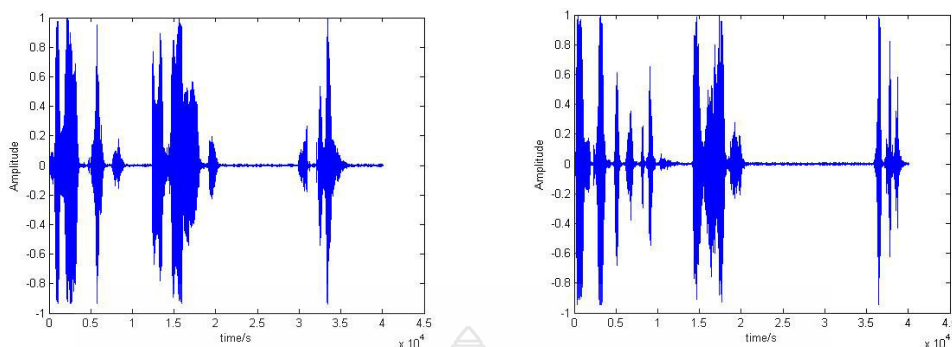
สัญญาณเสียงที่นำมาทดลอง จะมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) อยู่ที่ 8000 Hz โดยแต่ละข้อมูลมีขนาด 8 บิต ใช้ช่องสัญญาณเดียว (Mono) โดยรูปแบบจะเป็นมาตรฐานของระบบพีซีเอ็ม (Pulse-Code Modulation; PCM)



(ก) เสียงพูดของผู้หญิง

(ข) เสียงพูดของผู้ชาย

ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างเสียงพูดที่ยังไม่ได้ผ่านการบีบอัด



(ก) เสียงพูดของผู้หญิง

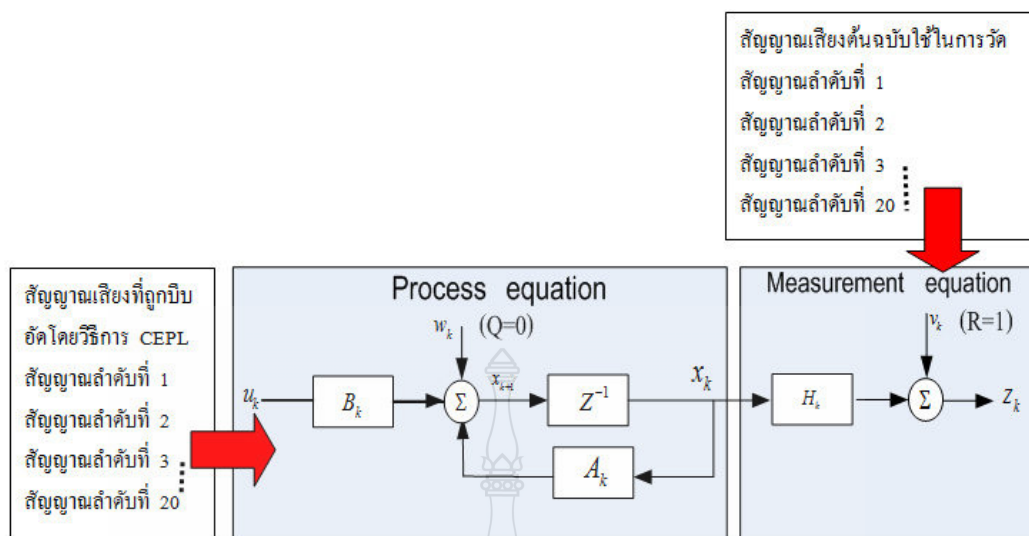
(ข) เสียงพูดของผู้ชาย

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างเสียงพูดที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP

### 3.4 แบบจำลองตัวกรองกาลมานในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบ CELP

จากภาพที่ 3.5 แสดงการไหลข้อมูลของตัวกรองกาลมาน ซึ่งในการทดลองงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน โดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ผ่านเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP นั้น ในแบบจำลองการทดลองนี้จะไม่จำลองการเกิดสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบโดยจะทำการกำหนดค่าคงที่  $Q$  ให้มีค่าเท่ากับศูนย์และใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับที่ไม่ได้ผ่านการบีบอัดเป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับป้อนเข้าไปในแบบจำลองการวัดเพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP โดยจะกำหนดค่าความแปรปรวนซึ่งกำหนดค่าคงที่  $R$  มีค่าเท่ากับหนึ่งเป็นผลมาจากผลการทดลองในขั้นตอนแรก การดำเนินการทดลองจะแสดงการไหลข้อมูลของสัญญาณเสียงที่ 1 ที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP คู่กับสัญญาณเสียงต้นฉบับที่จะใช้สำหรับในแบบจำลองการวัดเพื่อจะนำไปเปรียบเทียบเพื่อประมาณค่าที่ถูกต้องของแบบจำลองการวัดตัวกรองกาลมาน และลำดับต่อมา กำหนดการไหลข้อมูลของสัญญาณเสียงที่ 2 ที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP คู่กับสัญญาณเสียงต้นฉบับที่ใช้สำหรับในแบบจำลองการวัด เป็นลำดับที่ 2 ตามลำดับจนครบทั้งสัญญาณเสียงพูดของผู้หญิงและสัญญาณเสียงพูดของผู้ชายจนครบทั้งหมด 20 เสียงพูด ดังภาพการไหลของข้อมูลภาพที่

3.10



ภาพที่ 3.10 การไหลข้อมูลของตัวกรองคาลมานในการทดลองงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองคาลมานโดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP

ในการทดลองงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดด้วยแบบจำลองตัวกรองคาลมานโดยการใช้สัญญาณเสียงพูดที่ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีการของ CELP จะใช้เทคนิค การหาค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนกำลังสอง ดังสมการที่ 3.1 ในการเปรียบเทียบผลของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP กับสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านตัวกรองคาลมานด้วยเช่นเดียวกัน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

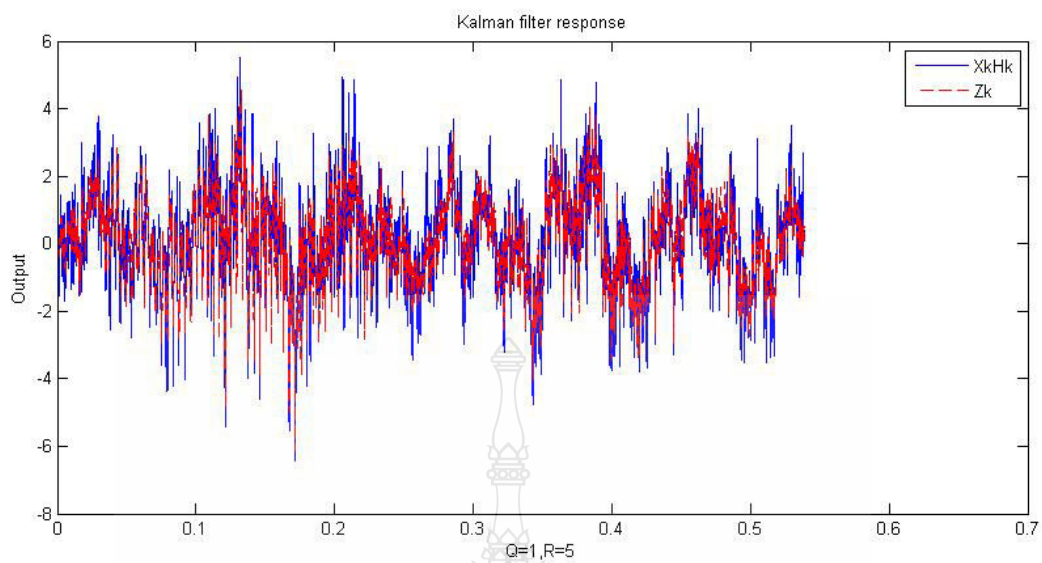
ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นผลการทดลองของการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูด โดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการปรับแต่ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  โดยนำเสนอเทคนิคในการเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนการกรอง MEC ดังสมการที่ 3.3 และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC ดังสมการที่ 3.5 โดยใช้ เทคนิคของ MSE จาก สมการที่ 3.1

ในส่วนที่สองจะเป็นการนำเสนอผลการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP มาแล้วโดยนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP นำมาเป็นสัญญาณอินพุตให้แบบจำลองตัวกรองกาลมาน โดยจะหาผลการทดลองว่าสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP เมื่อผ่านแบบจำลองตัวกรองกาลมานมาแล้วนั้น ผลสัญญาณที่ได้จะมีคุณภาพดีขึ้นได้อย่างไร ซึ่งจะใช้ การเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนการกรอง MEC ดังสมการที่ 3.3 และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC ดังสมการที่ 3.5 โดยใช้ เทคนิคของ MSE จาก สมการที่ 3.1 เช่นเดียวกับการทดลองในส่วนแรก ซึ่งผลการดำเนินการวิจัยและการทดสอบ การทดลองของการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน และการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีของ CELP ด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน มีดังต่อไปนี้

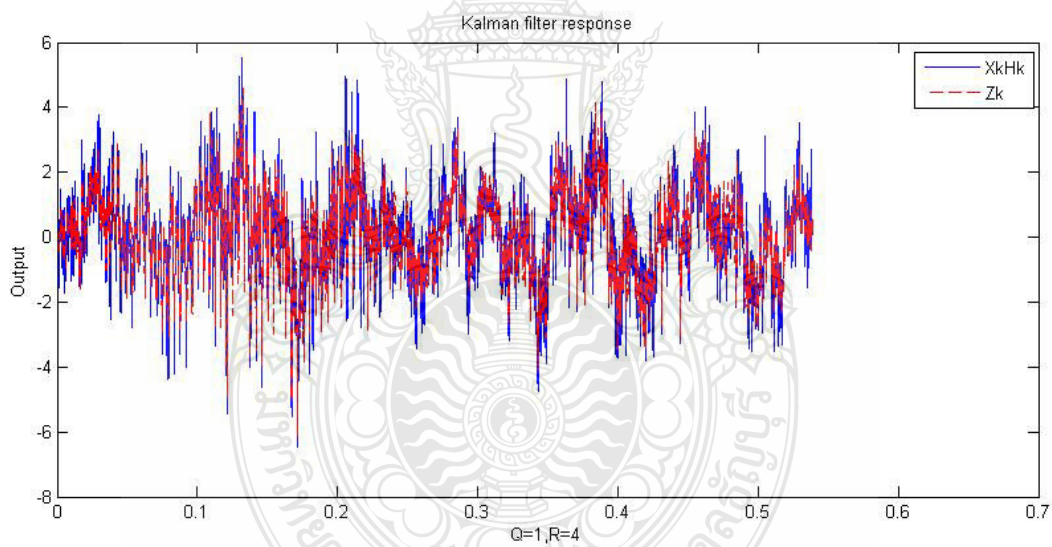
#### 4.1 ผลการทดลองการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน

จากภาพที่ 3.6 จะการแสดงการไหลของข้อมูลตัวกรองกาลมานซึ่งผลการทดลองแสดงกราฟความสัมพันธ์ของ สัญญาณเอาต์พุต  $x_k H_k$  ของไดอะแกรม Process Equation ก่อนผ่านการกรองด้วยกราฟสีน้ำเงิน สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านการกรองหรือแก้ไขความผิดพลาดแล้วคือ  $z_k$  ด้วยกราฟสีแดง แสดงดังภาพที่ 4.1

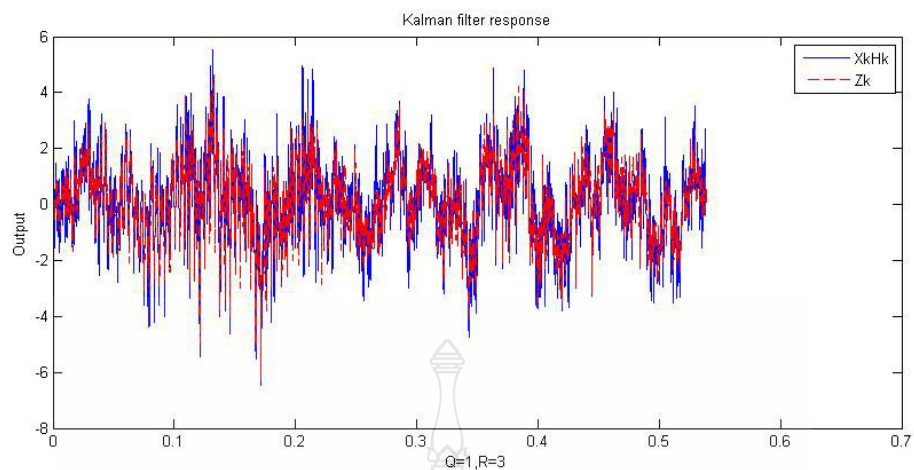




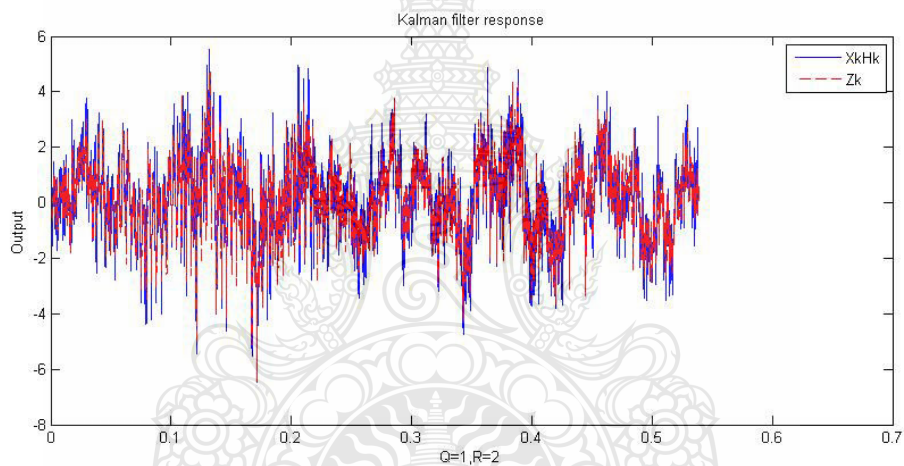
(ก) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q=1, R=5$ )



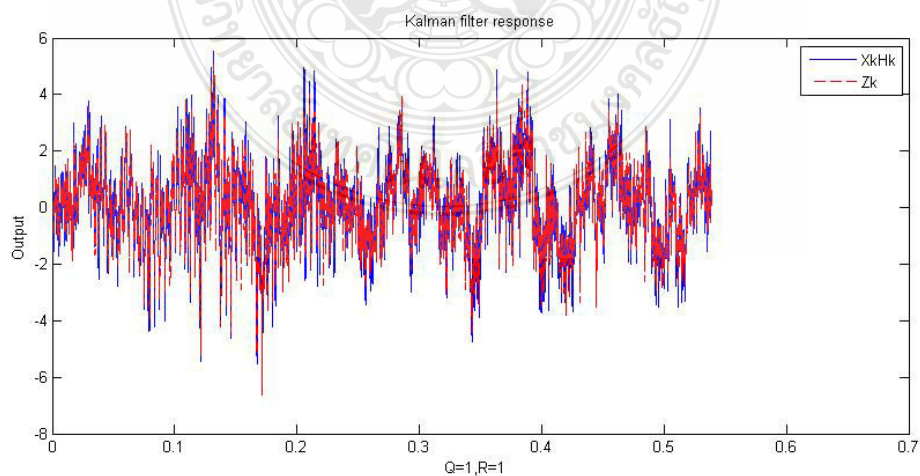
(ข) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q=1, R=4$ )



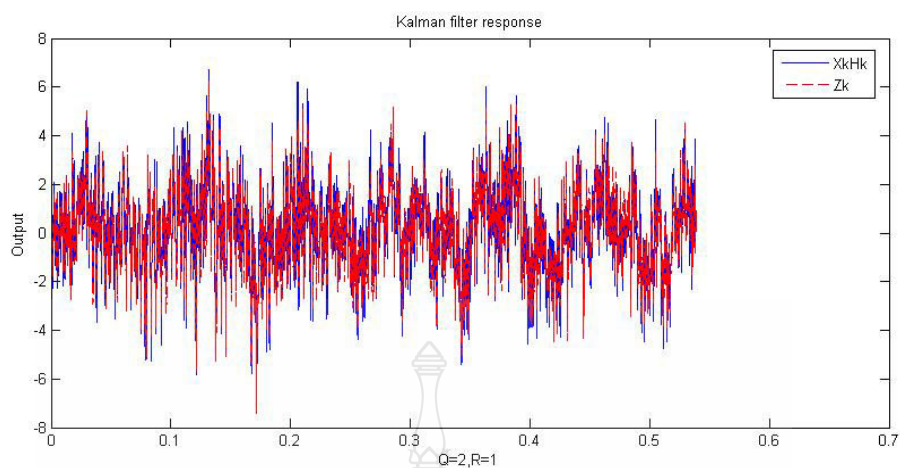
(ค) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q = 1, R = 3$ )



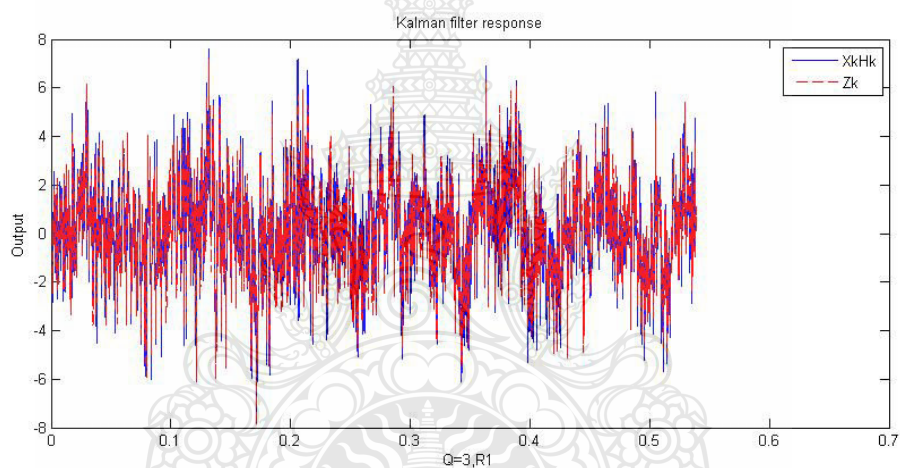
(ง) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q = 1, R = 2$ )



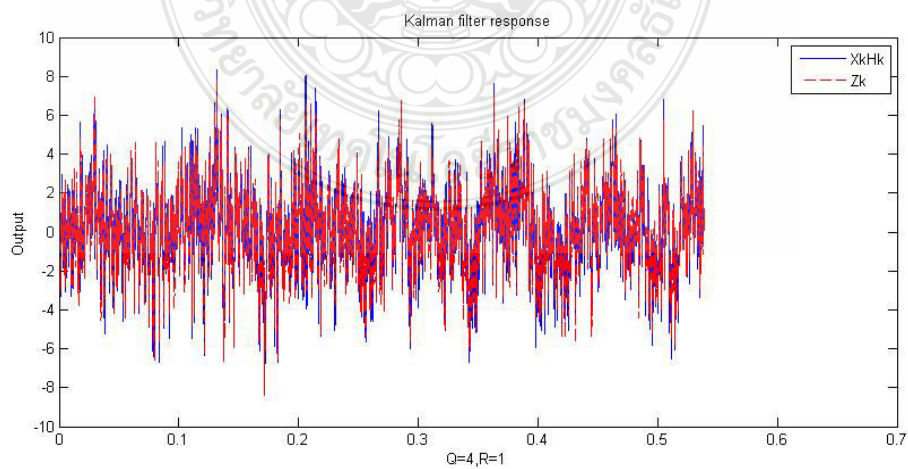
(จ) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q = 1, R = 1$ )



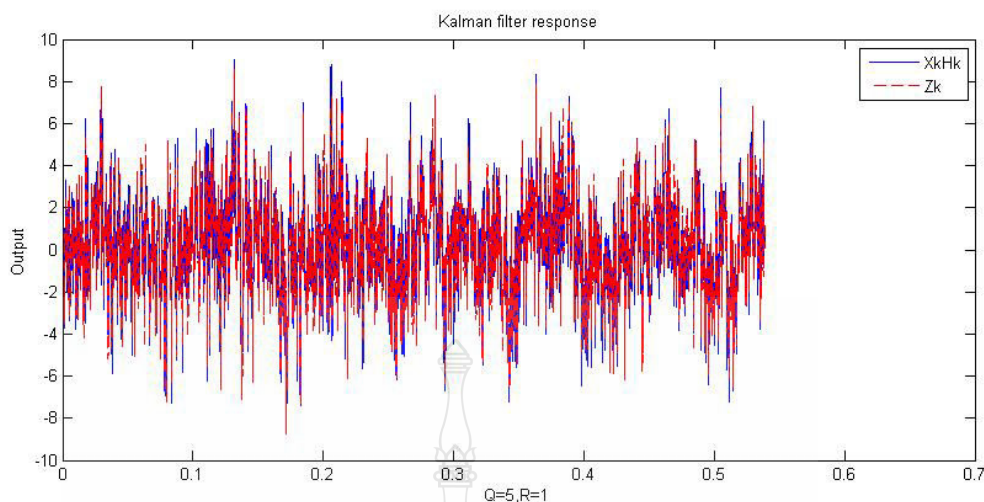
(ก) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ  $(Q = 2, R = 1)$



(ข) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ  $(Q = 3, R = 1)$



(ค) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ  $(Q = 4, R = 1)$

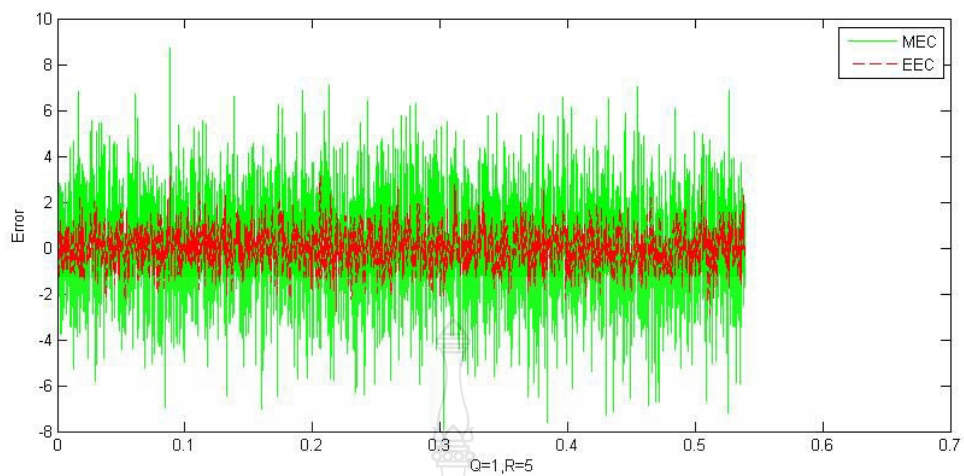


(ฉ) สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อ ( $Q = 5, R = 1$ )

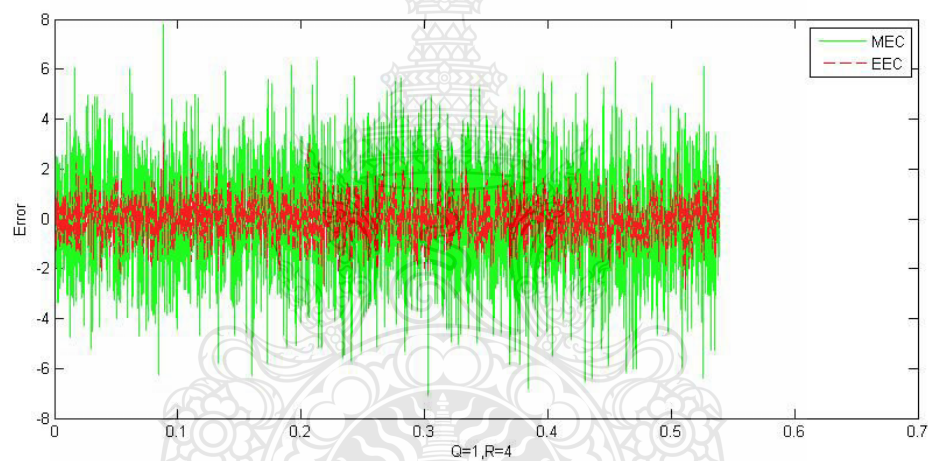
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต  $x_k H_k$  และ  $z_k$

จากภาพที่ 3.6 การไหลของข้อมูลตัวกรองคาลมาน และจากภาพ 4.1 เป็นผลการทดลองจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต  $x_k H_k$  ของไดอะแกรม Process Equation ก่อนผ่านการกรองด้วยกราฟสีน้ำเงิน สัญญาณเอาต์พุตของไดอะแกรม Measurement Equation ที่ผ่านการกรองหรือแก้ไขความผิดพลาดแล้วคือ  $z_k$  ด้วยกราฟเส้นปะสีแดง โดยความสัมพันธ์จากภาพที่ 4.1 จะแสดงผลว่าเมื่อตัวกรองคาลมานสามารถประมาณค่าเอาต์พุต  $z_k$  ที่ถูกต้องโดยจะแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณอินพุต  $x_k H_k$  จะทำให้สัญญาณซ้อนทับกันพอดีหรือมีกราฟที่แตกต่างกันน้อย ซึ่งหากจะนำสัญญาณมาวิเคราะห์ทางเทคนิคการมองเห็น จะไม่สามารถมาบอกได้ว่าแต่ละระดับของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องมีความแตกต่างกันมากเท่าไรหรือพอที่จะสรุปได้ว่าสัญญาณทางด้านเอาต์พุตสัญญาณรบกวนน้อยลงหรือไม่ เพื่อให้สังเกตเห็นถึงความแตกต่างได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณเสียสัญญาณไม่ต่อเนื่องนี้ มาในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยใช้เทคนิค การเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนการกรอง MEC ดังสมการที่ 3.3 และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังการกรอง EEC ดังสมการที่ 3.5 โดยใช้เทคนิคของ MSE จาก สมการที่ 3.1 แสดงได้ดังภาพที่ 4.2

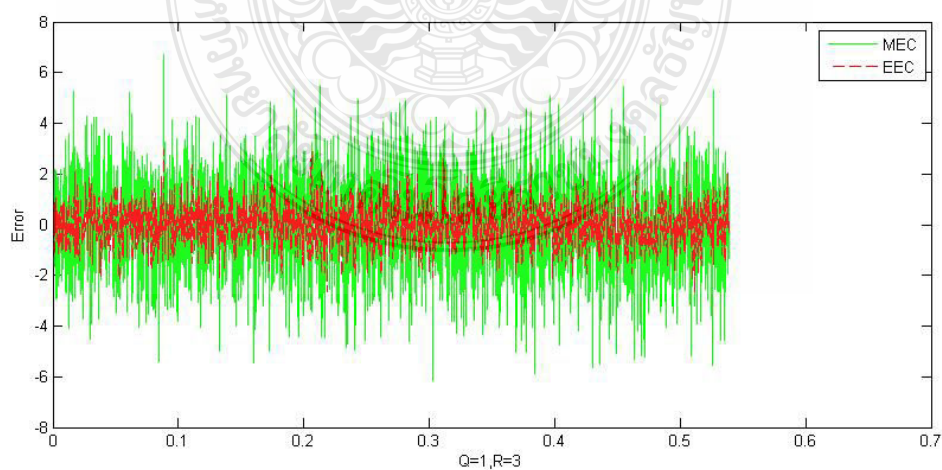




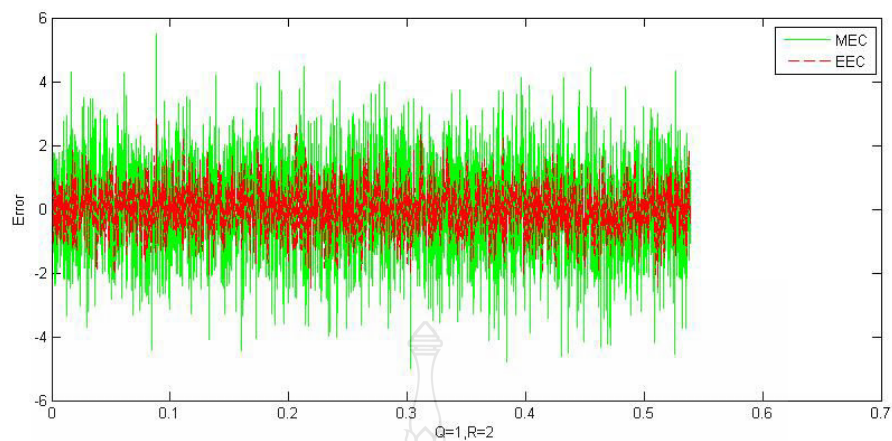
(ก) เปรียบเทียบ MEC=5.0115 และ EEC=0.6512 เมื่อ  $(Q = 1, R = 5)$



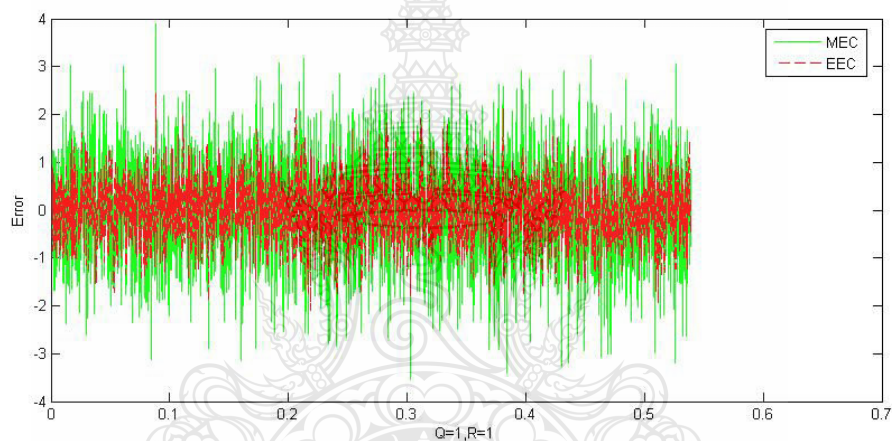
(จ) เปรียบเทียบ MEC=4.0092 และ EEC=0.6156 เมื่อ  $(Q = 1, R = 4)$



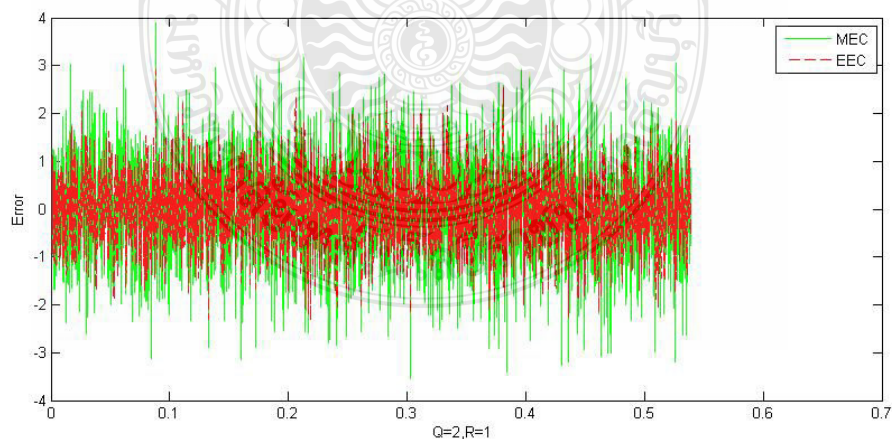
(ค) เปรียบเทียบ MEC=3.0069 และ EEC=0.5663 เมื่อ  $(Q = 1, R = 3)$



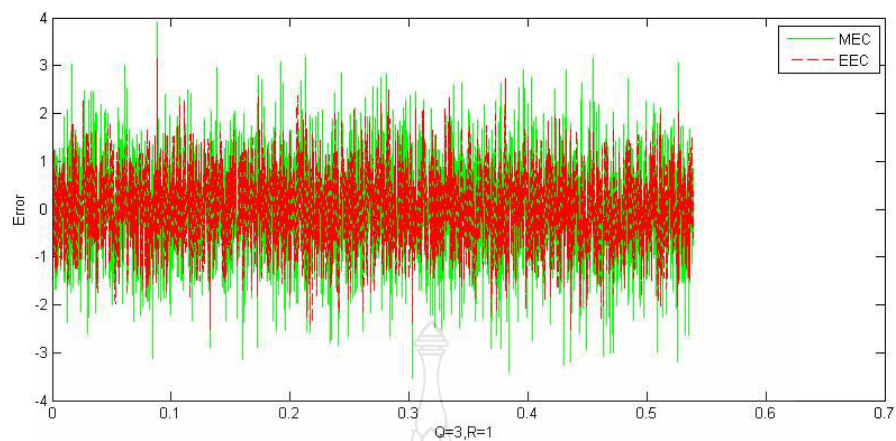
(ง) เปรียบเทียบ MEC=2.0046 และ EEC=0.4920 เมื่อ  $(Q = 1, R = 2)$



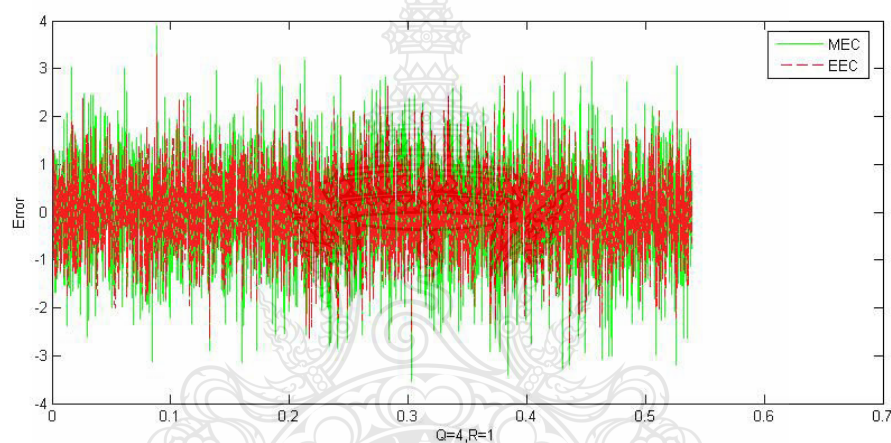
(จ) เปรียบเทียบ MEC=1.0023 และ EEC=0.3622 เมื่อ  $(Q = 1, R = 1)$



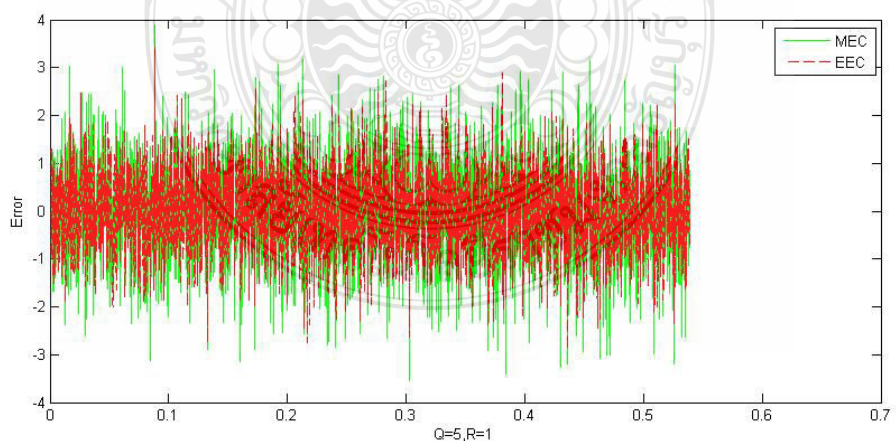
(ฉ) เปรียบเทียบ MEC=1.0023 และ EEC=0.4906 เมื่อ  $(Q = 2, R = 1)$



(จ) เปรียบเทียบ MEC=1.0023 และ EEC=0.5655 เมื่อ ( $Q = 3, R = 1$ )



(ข) เปรียบเทียบ MEC=1.0023 และ EEC=0.6164 เมื่อ ( $Q = 4, R = 1$ )



(ค) เปรียบเทียบ MEC=1.0023 และ EEC=0.6541 เมื่อ ( $Q = 5, R = 1$ )

ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของ MEC และ EEC

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าผิดพลาดแปรปรวนการปรับค่า  $Q$  และ  $R$

| Covariance | Q=1,R=5 | Q=1,R=4 | Q=1,R=3 | Q=1,R=2 | Q=1,R=1 | Q=2,R=1 | Q=3,R=1 | Q=4,R=1 | Q=5,R=1 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MEC        | 5.0115  | 4.0092  | 3.0069  | 2.0046  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  |
| EEC        | 0.6512  | 0.6156  | 0.5663  | 0.4920  | 0.3622  | 0.4906  | 0.5655  | 0.6164  | 0.6541  |

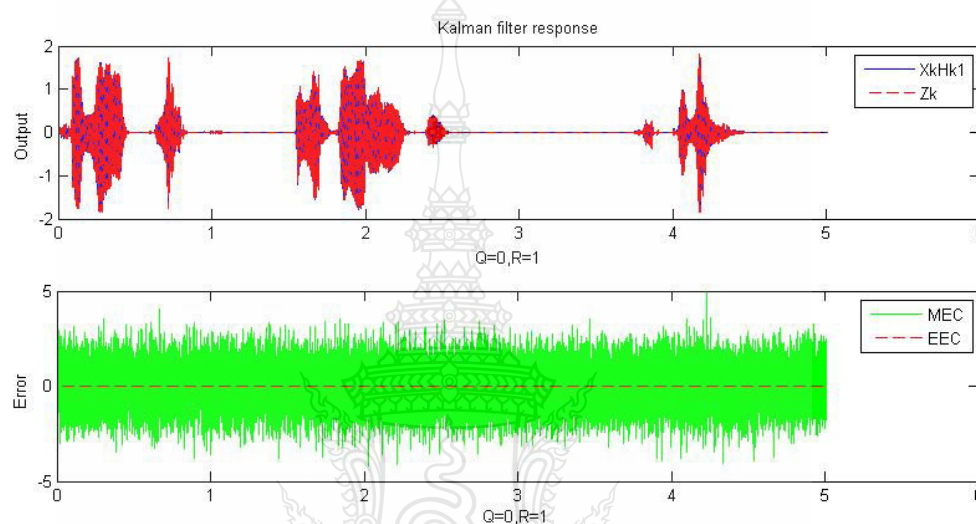
จากการแสดงผลการเปรียบเทียบของค่า MEC และ EEC เป็นกราฟดังภาพที่ 4.2 ผลของการปรับค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการวิเคราะห์สัญญาณโดยเทคนิค การเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนผ่านการกรอง MEC และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากผ่านการกรอง EEC โดยนำเสนอเป็นค่าความแปรปรวนนั้น จะสังเกตได้ว่าเมื่อ  $Q=1, R=5$ ,  $Q=1, R=4$ ,  $Q=1, R=3$ ,  $Q=1, R=2$  สัญญาณ EEC จะมีผลต่างของกราฟกับ MEC มากซึ่งแสดงว่าสัญญาณที่แก้ไขความคลาดเคลื่อนของสัญญาณได้น้อย แต่เมื่อ  $Q=1, R=1$ ,  $Q=2, R=1$ ,  $Q=3, R=1$ ,  $Q=4, R=1$ ,  $Q=5, R=1$  จะพบว่าสัญญาณ EEC จะมีผลต่างของกราฟกับ MEC น้อยลงซึ่งแสดงว่าสัญญาณที่แก้ไขความคลาดเคลื่อนของสัญญาณได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อนำผลจากการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อ  $Q=1, R=5$  จะทำให้ค่าความผิดพลาดความแปรปรวนก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน MEC มีค่าสูงที่สุดคือค่า 5.0115 และค่าการประมาณความผิดพลาดหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน EEC มีค่าผิดพลาดคือ 0.6512 ซึ่งจะมีค่ามากที่สุด เมื่อปรับแต่งค่าคงที่  $R$  จะทำให้เกิดความแปรปรวน MEC และ EEC จนเมื่อค่าคงที่  $Q=1$ ,  $R=1$  จะได้ค่าความแปรปรวนของ MEC และ EEC มีค่าน้อยที่สุดคือ MEC=1.0023 และ EEC=0.3622 และเมื่อทำการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  ต่อไปเป็น  $Q=1$  จนถึง 5 และให้ค่าคงที่  $R=1$  จะสังเกตเห็นว่า MEC มีค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนแทบไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงใดๆ ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ตลอด ส่วน EEC จะเกิดความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้นซึ่งในการวิเคราะห์การทดลองนี้จะพิจารณาจาก EEC เป็นตัวชี้วัดตัวกรองถึงผลของการแก้ความผิดพลาดของตัวกรองถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าการวัดค่าของตัวกรองโดยการตั้งความแปรปรวนได้ถูกต้องโดยผลของ EEC ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยความแปรปรวนในการประมาณค่า จากสมการ 3.4 และสมการที่ 3.5 ซึ่งจะเป็นการนำสัญญาณมาเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุต  $x_k H_k$  ก่อนผ่านการกรองของตัวกรองคาลมานในระบบการวัด และ สัญญาณเอาต์พุต  $z_k$  ที่ประมาณค่าได้แล้วเมื่อมี EEC น้อยแสดงว่าผลต่างของอินพุต ก่อนผ่านการกรองของตัวกรองคาลมานในระบบการวัด และ เอาต์พุตต่างกันน้อยแสดงว่าตัวกรองคาลมานสามารถประมาณแก้ไขสัญญาณได้ถูกต้อง ซึ่งความผิดพลาดน้อยการแก้ประมาณความผิดพลาดเล็กน้อยด้วยเป็นผลให้เข้าใจได้ว่าสัญญาณที่นำมาใช้ในตัวกรองคาลมานในระบบการวัดมีความถูกต้อง



## 4.2 ผลการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีของ CELP ด้วยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน

จากขั้นตอนการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดย CELP โดยวิธีการตัวกรองกาลมาน จะแสดงการไหลของข้อมูลดังภาพที่ 3.10

งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดย CELP โดยวิธีการตัวกรองกาลมานเสียงแสดงผลการทดลองได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์สัญญาณเอาต์พุตกับค่าความแปรปรวน MEC และ EEC ของสัญญาณเสียงผู้หญิงเสียงพูดที่ 1

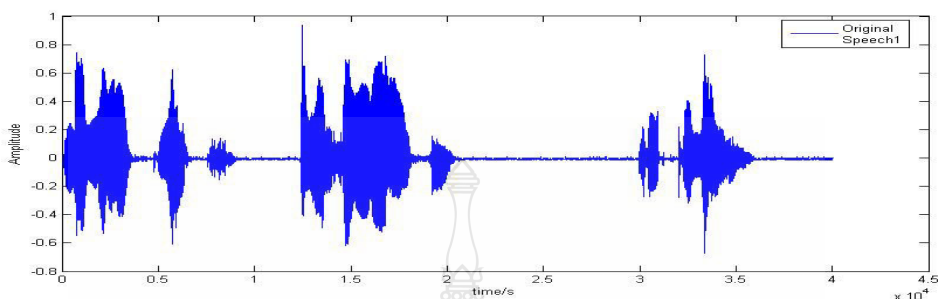
จากภาพที่ 4.3 เมื่อนำสัญญาณเสียงผู้หญิงเสียงพูดที่หนึ่ง นำมาผ่านตัวกรองกาลมาน โดยให้ปรากฏว่าค่า EEC ค่าความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถแสดงค่าออกมาได้ดังตารางการวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิค การเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนการกรอง MEC ดังสมการที่ 3.3 โดยสัญญาณ  $x_k H_k$  และ  $z_k$  มีความคลาดเคลื่อนน้อยและซ้อนทับกันสนิท เมื่อพิจารณาการประมาณค่าแก้ไข ความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC ดังสมการที่ 3.5 โดยซึ่งในการทดลองทั้งหมดของสัญญาณเสียงพูดผู้หญิงและสัญญาณเสียงพูดของผู้ชายทั้งหมด 20 สัญญาณเสียงพูดนั้นเป็นผลเช่นเดียวกันคือค่า EEC ค่าความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถแสดงค่าออกมาว่ามีการแก้ไขสัญญาณให้ถูกต้องได้ ดังผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนกับเสียงพูดผู้หญิงและสัญญาณเสียงพูดผู้ชายที่ใช้ทดลอง ทั้งหมด 20 สัญญาณเสียงพูด

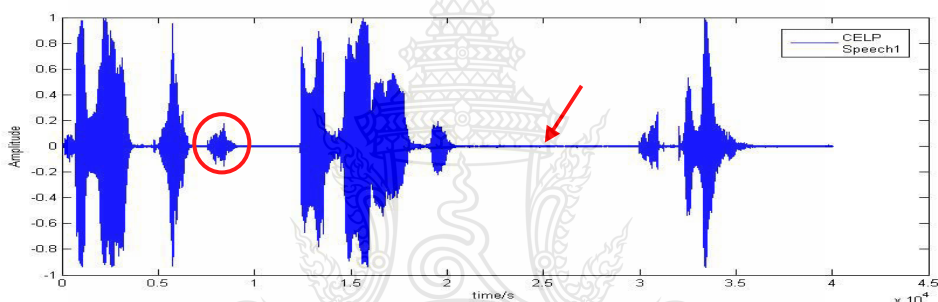
| สัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัด CELP | สัญญาณเสียงต้นฉบับ | Kalman | MeasErrCov | EstErrCov |
|------------------------------|--------------------|--------|------------|-----------|
| Q=0,R=1                      |                    | MSE    | MEC        | EEC       |
| CELP ลำดับที่1               | ลำดับที่1          | 0.1137 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่2               | ลำดับที่2          | 0.1159 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่3               | ลำดับที่3          | 0.1481 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่4               | ลำดับที่4          | 0.1614 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่5               | ลำดับที่5          | 0.1142 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่6               | ลำดับที่6          | 0.1273 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่7               | ลำดับที่7          | 0.1418 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่8               | ลำดับที่8          | 0.1239 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่9               | ลำดับที่9          | 0.1267 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่10              | ลำดับที่10         | 0.1698 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่11              | ลำดับที่11         | 0.0253 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่12              | ลำดับที่12         | 0.031  | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่13              | ลำดับที่13         | 0.0323 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่14              | ลำดับที่14         | 0.0494 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่15              | ลำดับที่15         | 0.0614 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่16              | ลำดับที่16         | 0.0405 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่17              | ลำดับที่17         | 0.0525 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่18              | ลำดับที่18         | 0.0286 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่19              | ลำดับที่19         | 0.0159 | 0.9997     | 0         |
| CELP ลำดับที่20              | ลำดับที่20         | 0.04   | 0.9997     | 0         |

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP มาแล้ว โดยนำสัญญาณเสียงที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP มาเป็นสัญญาณอินพุตให้แบบจำลองตัวกรองกาลมาน โดยจะหาผลการทดลองว่าสัญญาณเสียงที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP เมื่อผ่านแบบจำลองตัวกรองกาลมานมาแล้วนั้น

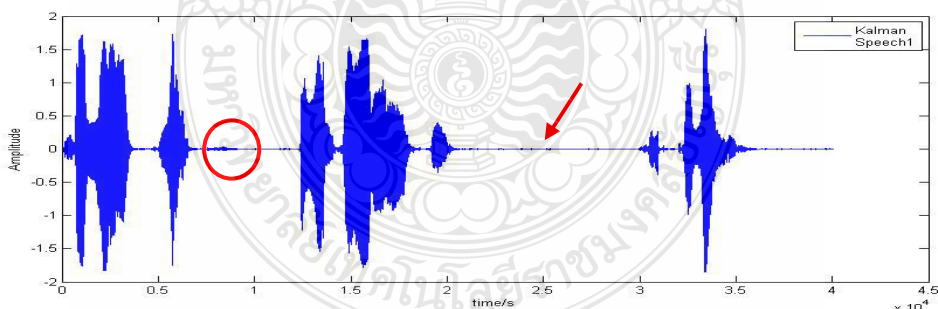
ผลสัญญาณที่ได้จะมีคุณภาพดีขึ้นได้อย่างไร โดยนำมาแสดงเป็นความสัมพันธ์ แบบกราฟทางเวลา (Time Domain) ได้ดังภาพที่ 4.4



(ก) สัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงต้นฉบับ



(ข) สัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านการบีบอัดแบบ CELP

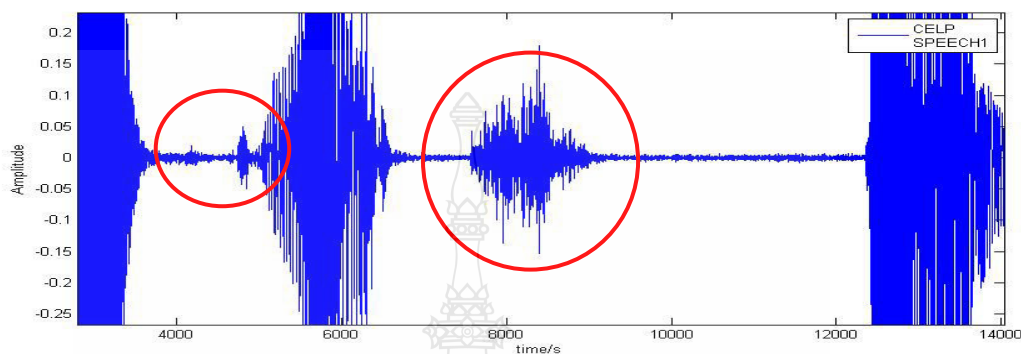


(ค) สัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านตัวกรองกาลมาน

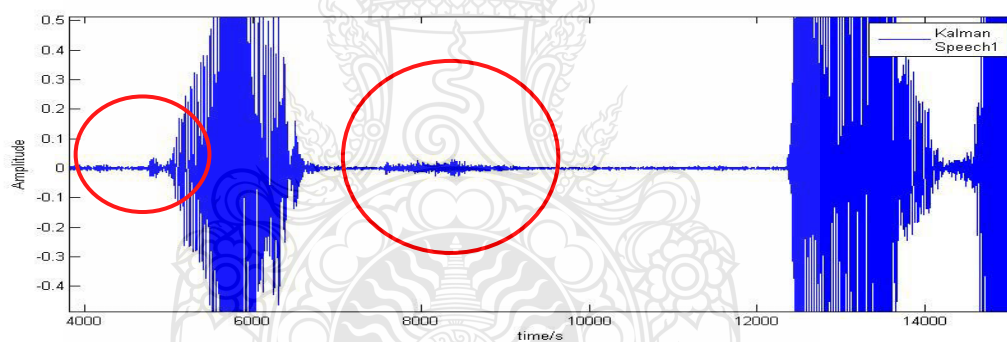
ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางเวลาโดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1

จากภาพที่ 4.4 (ข) และ(ค) เมื่อนำสัญญาณของการทดลองมาแสดงเป็น กราฟทางความถี่ ณ จุดที่เป็นวงกลมสีแดงแสดงให้เห็นว่าสัญญาณความถี่ต่ำบางความถี่ได้ถูกลดทอนลงไปและส่วนที่เป็น

ลูกศรสีแดงแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ CELP เมื่อผ่านตัวกรองกาลมานในภาพที่ 4.4 (ค) มีความราบเรียบกว่าสัญญาณญาณ ภาพที่ 4.4 (ข) ซึ่งสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำได้ถูกลดทอนลงไปเช่นกันนำกราฟมาขยายให้ชัดเจนขึ้นจากดั่งภาพที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.6



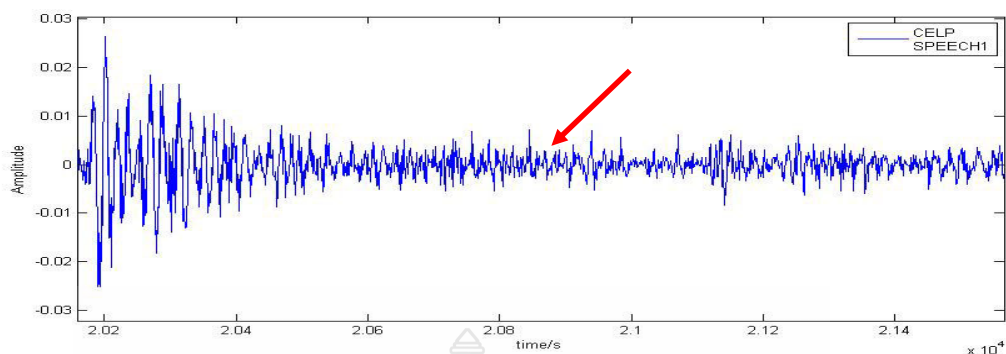
(ค) ภาพขยายสัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านการบีบอัดแบบ CELP ในส่วนที่เป็นวงกลม



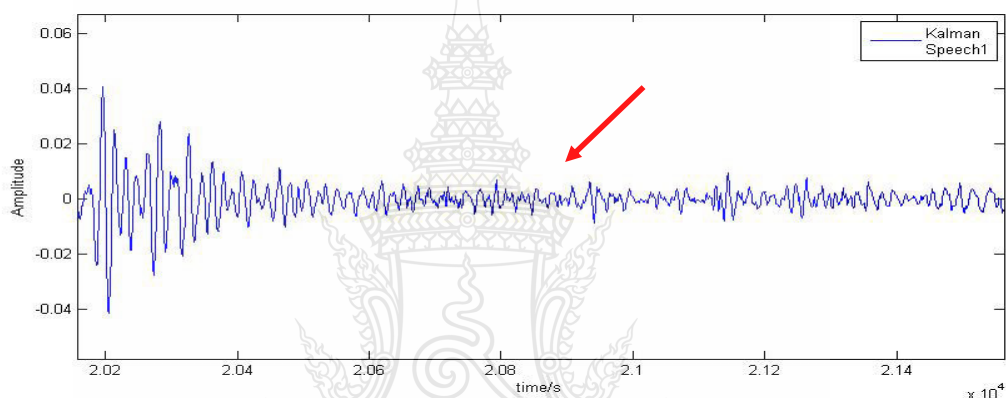
(ข) ภาพขยายสัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านตัวกรองกาลมาน

ภาพที่ 4.5 ภาพขยายการวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางความถี่ โดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 ในส่วนที่เป็นวงกลม

จากภาพที่ 4.5 เมื่อนำมาขยายสัญญาณเสียงมาขยายพบว่าสัญญาณเสียงบางความถี่ได้ถูกลดทอนหรือถูกรองออกไปเมื่อผ่านตัวกรองกาลมาน



(ก) ภาพขยายสัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านการบีบอัดแบบ CELP ในส่วนที่เป็นลูกศร



(ข) ภาพขยายสัญญาณเสียงพูดที่ 1 สัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ผ่านตัวกรองคาลมาน ในส่วนที่เป็นลูกศร

ภาพที่ 4.6 ภาพขยายการวิเคราะห์สัญญาณจากกราฟทางเวลาโดยเสียงพูดผู้หญิงเสียงพูดที่ 1 ในส่วนที่เป็นลูกศร

จากภาพที่ 4.6 เมื่อนำสัญญาณเสียงพูดมาขยายพบว่าสัญญาณความถี่ต่ำได้ถูกลดทอนหรือถูกรองออกไปเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน เมื่อดูจากลูกศรจะเห็นว่า กราฟความหนาแน่นของสัญญาณความถี่ต่ำได้มีปริมาณน้อยลง

จากตารางผลการทดลองที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำผลการทดลองของสัญญาณเสียงพูดผู้หญิงที่ 1 เป็นสัญญาณที่ถูกบีบอัดโดยวิธีการของ CELP เมื่อนำมาป้อนเป็นสัญญาณ อินพุตให้กับตัวกรองคาลมานเพื่อหาคุณภาพสัญญาณเสียงพูดนั้น โดยจากการดูตัวแปรในการประมาณค่าของ MEC และ EEC จะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำผลการทดลองมาแสดงเป็นกราฟจะเห็นการ

เปลี่ยนแปลงของสัญญาณดังภาพที่ 4.4-4.6 สัญญาณบางความถี่และสัญญาณความถี่ต่ำถูกลดทอน และถูกรองออกไป จากการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP มาแล้วโดยนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดยวิธีการของ CELP มาเป็นสัญญาณอินพุตให้แบบจำลองตัวกรองกาลมาน นั้นผู้วิจัยได้นำสัญญาณมาทดสอบในการฟังเสียงจะพบว่าสัญญาณเสียงพูดที่เป็นเอาต์พุตเป็นสัญญาณที่ได้จากการกรองแล้วนั้น สัญญาณเสียงมีความทึ่ม และสัญญาณรบกวนได้ถูกลดทอนลงไปจริง



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองได้ศึกษาและสรุปงานวิจัยโดยแบ่งผลงานวิจัยเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งคือเป็นผลการทดลองของการหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงพูดโดยแบบจำลองตัวกรองกาลมาน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  โดยได้จำลองการเกิดสัญญาณรบกวนแปรปรวนที่เกิดขึ้นในระบบและจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนแปรปรวนนำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงนำมาใช้ในแบบจำลองการวัดของตัวกรองกาลมานในการประมาณค่าสัญญาณที่ถูกต้องสำหรับเป็นเอาต์พุตที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด โดยได้นำเสนอเทคนิคในการเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนการกรอง MEC ดังสมการที่ 3.3 และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC ดังสมการที่ 3.5 โดยใช้ เทคนิคของ MSE จาก สมการที่ 3.1

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 พบว่าผลของการปรับค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  โดยใช้การวิเคราะห์สัญญาณโดยเทคนิค การเปรียบเทียบผลของความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในการวัดก่อนผ่านการกรอง MEC และความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากผ่านการกรอง EEC โดยจากผลการทดลองในบทที่ 4 เมื่อ  $Q=1, R=5$  จะทำให้ค่าความผิดพลาดความแปรปรวนก่อนผ่านตัวกรองกาลมาน MEC มีค่าสูงที่สุดคือค่า 5.0115 และค่าการประมาณความผิดพลาดหลังจากผ่านตัวกรองกาลมาน EEC มีค่าผิดพลาดคือ 0.6512 ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อปรับแต่งค่าคงที่  $R$  จะทำให้เกิดความแปรปรวน MEC และ EEC จนเมื่อค่าคงที่  $Q=1, R=1$  จะได้ค่าความแปรปรวนของ MEC และ EEC มีค่าน้อยที่สุดคือ MEC=1.0023 และ EEC=0.3622 ซึ่งเมื่อมี EEC น้อยแสดงว่าผลต่างของอินพุต ก่อนผ่านการกรองของตัวกรองกาลมานในระบบการวัดและ เอาต์พุตต่างกันน้อยแสดงว่าตัวกรองกาลมานสามารถประมาณแก้ไขสัญญาณ ได้ถูกต้อง ซึ่งความผิดพลาดน้อยการแก้ไขประมาณความผิดพลาดเลขน้อยด้วยเป็นผลให้เข้าใจได้ว่าสัญญาณที่นำมาใช้ในตัวกรองกาลมานในระบบการวัดมีความถูกต้อง

สรุปได้ว่าการประมาณค่าความแปรปรวนโดยการปรับแต่งค่าคงที่ของ  $Q$  และ  $R$  ควรจะมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากันจะทำให้สัญญาณความแปรปรวนที่เกิดขึ้นที่ใช้ในการจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนและการวัดของแบบจำลองในการของตัวกรองกาลมาน ทำให้เกิดการประมาณค่าสัญญาณเอาต์พุต ให้ถูกต้องเหมือนสัญญาณทางด้านอินพุตก่อนที่จะเกิดสัญญาณรบกวนได้

ข้อเสนอแนะในการทดลองจะพบว่าค่าคงที่จะเกิดการปรับโดยการสุ่มค่าที่มีความแปรปรวนเพื่อจะให้ใกล้เคียงการเกิดของการรบกวนของสัญญาณทางด้านอินพุต ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับตัวกรองคาลมาน สามารถที่จะเพิ่มในการตรวจจับความแปรปรวนแบบอัตโนมัติในการปรับแต่งค่าคงที่เพื่อที่จะทำให้เกิดความแม่นยำในการประมาณค่าได้ จากงานวิจัยนี้พบว่าตัวแปรอื่นในแบบจำลองตัวกรองคาลมาน มีส่วนที่จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกรองคาลมานได้เช่นเดียวกัน

งานวิจัยในส่วนที่สองจากตารางผลการทดลอง 4.2 คืองานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดโดย CELP โดยวิธีการตัวกรองคาลมาน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สัญญาณเสียงพูดปกติที่ถูกบีบอัดแล้วด้วยวิธีการบีบอัดสัญญาณโดยวิธีการของ CELP มาเป็นสัญญาณอินพุตให้กับแบบจำลองตัวกรองคาลมาน และใช้สัญญาณเสียงพูดปกติที่ไม่ได้ถูกบีบอัดมาเป็นสัญญาณสำหรับใช้ในการวัด และปรับความแปรปรวนค่าคงที่  $Q=0$  และ  $R=1$  จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าเมื่อนำสัญญาณเสียงผู้หญิงเสียงพูดที่หนึ่ง ผ่านตัวกรองคาลมานโดยให้สัญญาณรบกวนโดยค่าคงที่ปรากฏว่าค่า EEC ค่าความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าหลังจากการกรอง EEC มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถแสดงค่าออกมา แต่เมื่อนำมาแสดงเป็นสัญญาณทางเวลาดังภาพที่ 4.3 -4.6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณความถี่ต่ำถูกลดทอนลง ไปและ สัญญาณความถี่ต่ำแบบเกาส์เซียนได้ถูกลดลงไปได้จากภาพที่ 4.4-4.5 ถ้านำสัญญาณมาแสดงผลโดยการฟังสัญญาณเสียงพูดเพื่อเทียบกับสัญญาณของ CELP จะพบว่าสัญญาณจะมีลักษณะเป็นเสียงหึ่ง และสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนถูกลดทอนลง

สรุปได้ว่าในการใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับมาเป็นสัญญาณในการวัดค่าของแบบจำลองตัวกรองคาลมานและใช้ค่าคงที่ความแปรปรวนในการวัด  $R=1$  จะเพิ่มคุณภาพสัญญาณเสียงพูดได้โดยจะลดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำออกไปได้โดยดูผลจากการทดลองดังภาพที่ 4.4-4.5

ข้อเสนอแนะในการทดลองจากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 ผลของการประมาณค่าความแปรปรวน EEC ไม่แสดงค่าออกมาอาจจะเป็นไปได้ว่าสัญญาณที่นำมาทดลองมีความผิดเพี้ยนน้อยอยู่แล้วจนทำให้ ECC ไม่สามารถบอกค่าออกมาได้ จากการวิจัยพบว่าตัวแปรในแบบจำลองตัวกรองคาลมานจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่า ECC โดยการเปลี่ยนหรือปรับค่าตัวแปรเช่นการปรับอินพุตในการรับของมุล ดังภาพที่ 2.4



## รายการอ้างอิง

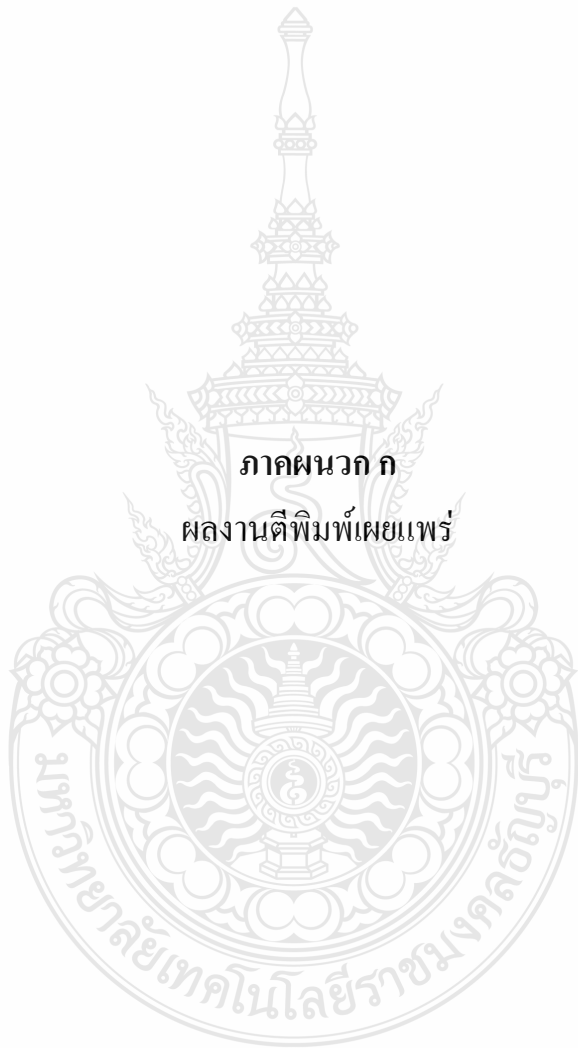
- [1] Greg Welch and Gary Bishop. "An Introduction to the Kalman Filter," **Department of Computer Science**, University of North Carolina at Chapel Hill, September 17, 1997.pp. 1-16.
- [2] Mohinder s. Grewal and Angus P. Andrews, **Kalman Filtering Theory and Practice Using Matlab**, New York , 2001.
- [3] Frank L.Lewis, **Optimal Estimation With an Introduction To Stochastic Control Theory**. U.S.A.:John Wiley&Sone.,1986.
- [4] Jerry M.Mendel, **Lessos in Estimation Theory For Signal Processing,Communications,and Control**.U.S.A.:Prentice-hall Inc.,1993.
- [5] Robert Grover Brown.,Patrick Y.C. Hwang., **Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filter**.U.S.A.:John Wiley&Sons.,1997.
- [6] Jinachitra, P. "Noisy Speech Segmentation Using Non-Linear Observation Switching State Space Model and Unscented Kalman Filtering," **ICASSP 2006**, IEEE International, vol. 1, 2006. pp. 1.
- [7] Subasingha, S.; Murth, M.N.; Vang Andersen, s. "Gaussian Mixture Kalman Predictive coding of LSFS," **IEEE International ICASSP 2008**, 2008. pp. 4777-4780.
- [8] Vineela Murikpudi, K. Phani Srinivas, D. S. Ramkiran, Prof. Habibulla Khan, G.Mrudula, K.Sudhakar Babu, T.Raghavendra Vishnu. "Design and Analysis of Speech Processing Using Kalman Filtering," **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, 2005-2011. pp. 120-127.
- [9] B.Dennis, "Details to assist in implementation of Federal Standard 1016 CELP," **National Communication Bulletin 92-1**, The Manager National Communications system, 1992.
- [10] A.N.Suen, J.F. Wang and T. C. Yao. "Dynamic partial search scheme for stochastic codebook of FS1016 CELP coder," **IEEE Proc. -Image Signal Process**, Vol. 142, China, February 1, 1995, pp. 52-58.

- [11] สุทธิ ทับทองดี, การพัฒนาเทคนิคสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดภาษาไทย ในมาตรฐาน **LPC-10**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552
- [12] Osman M.A. and Hussein, N., "Speech compression using LPC and wavelet," **2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET)**, April 2010, Chengdu China, 2010. pp. V7-92-V7-99.
- [13] จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร, การวิเคราะห์แนวทางเดินเสียงพูดในรูปแบบของสัมประสิทธิ์คู่เส้นสเปกตรัมร่วมกับ **Double Clustering**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [14] เอกชัย เนาวนิช, โปรแกรมฝึกร้องเสียงพยางค์ภาษาไทยสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยินโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [15] T.Kishore Kumar. "Optimum Cascaded Design for Speech Enhancement Using Kalman Filter," **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 2008. pp. 355-359.
- [16] Kuropatwinski, M.; Kleijin, W. "Estimation of the short-term predictor of speech under noisy conditions, " **IEEE Transactions**, vol.14, 2006. pp.1645-1655.
- [17] Srinonchat, J., et al. "Double Clustering Algorithm applied to Speaker Dependent Information," **9th International conference on Speech and Computer (SPECOM 2004)**, 2004. pp. 37-376.
- [18] Somchai. Jitapunkul, S. Chompun, and D. Tancharoen. "Novel Technique For Tonal Language Speech Compression Based on Bitrate Scalable MP-CELP Coder," **International Conference on Coding and Computing**, 2001, April 2001. pp. 461-464.
- [19] Shivesh Ranjan, "A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition," **International Conference on Signal Acquisition and Processing (ICSAP 2010)**, Feb 2010, Bangalore India, 2010. pp. 345-348.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1  
 1<sup>st</sup> Conference on Graduate Student Network of Thailand  
 (GS-NETT 2012)

“บัณฑิตศึกษาไทย ใฝ่วิจัยสหวิทยาการ”

18 ธันวาคม 2555

ณ ศูนย์ประชุมธรรมศาสตร์ รัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



สำนักงานบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

**รายชื่อคณะกรรมการจัดการประชุม  
การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1**

**คณะกรรมการที่ปรึกษา**

อธิการบดีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง  
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์รังสิต  
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

**คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ**

| รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง          |  | ประธานกรรมการ    |
|--|--|------------------|
| ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการและวิจัย  |  | รองประธานกรรมการ |
| ศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา ชันฉวีชัย             | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร.พิณทิพย์ หวยเจริญ           | ข้าราชการบำนาญ                                 | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร.ทีรณ พงศ์พัฒน์              | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ อภรณ์สุวรรณ           | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร. ศิวลักษณ์ โรจนกิจอำนวย     | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร.ปวีดา วิบูลย์สวัสดิ์        | ที่ปรึกษาสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย        | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ               | ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                   | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล       | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร                 | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ นพ.สุรศักดิ์ ฐานิพานิชกุล      | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ทพ. ดร. สิทธิชัย ชูทองแก้ว     | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ พิเศษ ดร. ศุภชลาศัย มณีรัตน์   | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     | กรรมการ          |
| ศาสตราจารย์ ดร. เสกสรรค์ ภู่ขาว            | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         | กรรมการ          |
| รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ อภิลักษณ์เสนา    | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     | กรรมการ          |
| รองศาสตราจารย์ ดร. พงศพร นิลประทีปสุโขทัย  | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     | กรรมการ          |
| รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาวดี บุญอึ้ง         | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          | กรรมการ          |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัทวีวระ ปิยะฉะยกุล  | ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                   | กรรมการ          |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรอรรถมา ใจเฉลิมเกษม | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           | กรรมการ          |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิงจักร ทิมพิสัยกุล | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | กรรมการ          |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัญญา สีนวาลัย      | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       | กรรมการ          |
| อาจารย์ ดร. จักรวาล คุณะศิลป์              | มหาวิทยาลัยบูรพา                               | กรรมการ          |
| อาจารย์ ดร. ชันยวัฑฒ์ สมใจทวีพร            | สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์                    | กรรมการ          |
| ผู้อำนวยการสำนักงานบริหารการวิจัย          | กรรมการและเลขานุการ                            |                  |
| นางบุญฉวี วชิราธาดา                        | ผู้ช่วยเลขานุการ                               |                  |
| นางสาวเพ็ญภาณุจันต์ สามีภานนท์             | ผู้ช่วยเลขานุการ                               |                  |

#### คณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุม

|  |                  |
|--|------------------|
| รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง                      | ที่ปรึกษา        |
| ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการและวิจัย              | ประธานคณะกรรมการ |
| รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะรัฐศาสตร์                       | คณะกรรมการ       |
| รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะสาธารณสุขศาสตร์                 | คณะกรรมการ       |
| รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี     | คณะกรรมการ       |
| รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะทันตแพทยศาสตร์              | คณะกรรมการ       |
| รองคณบดีฝ่ายวางแผนและวิจัย วิทยาลัยนวัตกรรมการ         | คณะกรรมการ       |
| ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษาและวิจัย คณะศิลปศาสตร์      | คณะกรรมการ       |
| ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | คณะกรรมการ       |
| ผู้อำนวยการโครงการปริญญาโท คณะวารสารศาสตร์และ          | คณะกรรมการ       |
| สื่อสารมวลชนผู้อำนวยการโครงการบัณฑิตศึกษา              |                  |
| สาขาเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ผู้ช่วยผู้อำนวยการ    | คณะกรรมการ       |
| โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาชีวเวชศาสตร์ คณะสหเวชศาสตร์     |                  |
| ผู้อำนวยการกองกิจการนักศึกษา                           | คณะกรรมการ       |
| หัวหน้างานประชาสัมพันธ์                                | คณะกรรมการ       |
| ผู้อำนวยการสำนักงานบริหารการวิจัย                      | เลขานุการ        |
| หัวหน้างานส่งเสริมและเผยแพร่งานวิจัย                   | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| นายทศพร สมใจ   | ผู้ช่วยเลขานุการ |

#### คณะกรรมการอำนวยการจัดประชุมวิชาการ

|                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| นางสาวอังฉรา จินดาวีร์ตัน   | ประธานกรรมการ                   |
| นางสาวทัศนีย์ คาวเรือง      | กรรมการ                         |
| นางสาวบุญจรรณ ประจวบสก      | กรรมการ                         |
| นางวิลาวัลย์ กางกร          | กรรมการ                         |
| นายอุทัย ชันธมาสัย          | กรรมการ                         |
| นางสาวชินทมา เพ็ญศรี        | กรรมการ                         |
| นางสาวเดือนกัญญา สาริมาภรณ์ | กรรมการ                         |
| นางสาวณิภาภรณ์ วงษ์เศรษฐ์   | กรรมการ                         |
| นางสาวสุปราณี ปราชญ์วิเศษ   | กรรมการ                         |
| นางสาวปิยนดา พุทธิรัตน์     | กรรมการ                         |
| นางสาวศิริรัตน์ จำปาสด      | กรรมการ                         |
| นายรติ สมันตรัฐ             | กรรมการ                         |
| นายวัฒนา แก้วทอง            | กรรมการ                         |
| นายวิระศักดิ์ คงแก้ว        | กรรมการและที่ปรึกษาคณะที่ปรึกษา |
| นางบุญถม วชิราธาดา          | กรรมการและเลขานุการ             |
| นายเดวิดศักดิ์ โขยา         | ผู้ช่วยเลขานุการ                |
| นายทศพร สมใจ                | ผู้ช่วยเลขานุการ                |





ผศ.อุกฤษฏ์ สุทธิธัญญ์  
 ผศ.ดร.พระระพีพัฒน์ ภาสบุตร  
 ผศ.ดร. พรพรรณ วีระปรียากร  
 ผศ. กนกพันธ์ โลภุตรวงศ์  
 ดร.นฤมล ทั้บุญพล  
 ดร.วราภรณ์ กลิ่นบุญ  
 ดร.ณัฐ มากุล  
 ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาก  
 ทพญ.ดร.กมลพรรณ ภัคดี  
 ดร.ฉันทวิทย์ สมใจทวีพร  
 ดร.ธีรพงษ์ เวศพันธุ์  
 ดร.ธีรวิทย์ ประมวลรัฐการ  
 ดร.ภาสกร ชินสมุทร  
 ดร.อาทิตย์ ใต้พิภพ  
 ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประทีปพงษ์  
 ดร.วิรัช โยธินันท์  
 ดร. กฤษ เจียมจิโรจน์  
 ดร. สัมปณันท์ เอกอำพน  
 ดร.ณภัทน์ พงษ์ศิริวิไล  
 ดร.สโรชา เจริญชัย  
 ดร. ชรินทร์ นิกขสิษฐ์  
 ดร.วราณี เอกศิลป์  
 ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ  
 ดร. สมชาย ศรียาน  
 อาจารย์เสกสรรค์ สุทธิสงค์  
 อาจารย์วิษระ ลอยสมุทร  
 อาจารย์จตุพร สดากุลเจริญ

มหาวิทยาลัยรังสิต  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์  
 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย  
 ผู้ประเมินภายนอก  
 มหาวิทยาลัยศิลปากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 มหาวิทยาลัยศิลปากร  
 มหาวิทยาลัยรังสิต  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย  
 มหาวิทยาลัยรังสิต  
 มหาวิทยาลัยรังสิต



| เวลา             | รหัสบทความ               | ผลงาน – ผู้นำเสนอ   |
|------------------|--------------------------|---|
| 10.45 - 11.00 น. | Thesis 002               | การวิเคราะห์การพาความร้อนแบบธรรมชาติภายในวัสดุไดอิเล็กตริกที่ขับเคลื่อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (ทฤษฎีและการทดลอง)<br>นางวรรณภรณ์ กลิ่นบุญ<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 11.00 - 11.15 น. | Sci-Tech 033             | การใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์ Q และ R ของตัวกรองคาบสมุทรสำหรับลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนในการบีบอัดสัญญาณเสียง<br>คุณแจษฎ์ วัชรโยธอง<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์                              |
| 11.15 - 11.30 น. | Sci-Tech 034             | การพัฒนาเทคนิคการแยกแยะเสียงโห่และเสียงโห่แบบฐานเวลาจริงโดยใช้บอร์คอปทีฟเจือ<br>เฉลิมเกียรติ สุทธธา<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์  |
| 11.30 - 11.45 น. | Sci-Tech 007             | An Analysis of Load Flow Study in a Semiconductor Plant<br>Prayod Boonkham<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์   |
| 11.45 - 12.00 น. | Sci-Tech 009             | การศึกษาตัววางลวดสำหรับการวางลวดของแผงบนแขนยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบพลศาสตร์ชัดเจนและการทดลอง<br>ชวรัชชัย บุญเรือง<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์                       |
| 12.00 - 13.00 น. | พักรับประทานอาหารกลางวัน |   |
| 13.00 - 13.15 น. | Thesis 009               | Performance Evaluation and Improvement of the Low Extra Delay Background Transport Congestion Control Algorithm<br>Arnuda James Abu<br>สถาบันเทคโนโลยีอานามชาติสิงคโปร์                   |
| 13.15 - 13.30 น. | Thesis 013               | ผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสที่มีผลต่อพฤติกรรมการสั่นของอ็อกซิเจนในเคมีซิลิกอน<br>นายนิติกร นรภัยพิททท<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์  |
| 13.30 - 13.45 น. | Sci-Tech 010             | ผลกระทบของแรงสัมผัสที่มีผลต่อการไหลกลับพัทธ์และทิศทางของรอยร้าวร่วมกับ<br>การขัดถู<br>นายนิติกร นรภัยพิททท<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์   |
| 13.45 - 14.00 น. | Sci-Tech 011             | ผลกระทบของการอบรูปโลหะที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ<br>นิพนธ์ ทวีจันทร์<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์  |
| 14.00 - 14.15 น. | Sci-Tech 012             | พฤติกรรมและกลไกการขยายตัวของรอยร้าวในโพลีเอทิลีนคอลไวด์แบบเซลล์ปิด<br>นิยมน พัททงศกร<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์   |
| 14.15 - 14.30 น. | Sci-Tech 013             | การหาค่าพารามิเตอร์ของถ่านเมมเบรนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยกฎอนุรักษพลังงาน<br>ศิริลักษณ์ เกิดแล้ว<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์   |



Sci-Tech 033

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ของตัวกรองคาลมานสำหรับลดสัญญาณรบกวน แบบไวท์เกาส์เซียนในการบีบอัดสัญญาณเสียง

Exploiting  $Q$  and  $R$  covariance of Kalman Filter for White Gaussian Noise Reduction in Speech Compression

เจษฎ์ วัชรวิฑูรย์<sup>1\*</sup> และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ห้องปฏิบัติการวิจัยการประมวลผลสัญญาณ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 30 ม.ล. คลองจอก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110  
E-Mail: (jake01.mts34, jkkbee\_s)@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ของตัวกรองคาลมานสำหรับลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนในการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยสัญญาณเสียงพูดจะถูกส่งผ่านกระบวนการตัวกรองคาลมานและจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะสัญญาณไวท์เกาส์เซียน ด้วยความถี่ 10 Hz 50 Hz 100 Hz 500 Hz และ 1000 Hz ตามลำดับ ในการทดลองจะทำการการปรับแต่งตัวแปรของ  $Q$  และ  $R$  จะทำให้สัญญาณรบกวนเกิดการแปรปรวนซึ่งผลที่ได้คือ ค่าของ  $Q$  และ  $R$  จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อค่าของความแปรปรวนมีค่าที่เท่ากัน จากผลการทดลองพบว่าความแปรปรวนความผิดพลาดในการวัดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน จะมีค่า 1.0023 และ ค่าความแปรปรวนความผิดพลาดในการประมาณจะมีค่าน้อยที่สุดหลังจากผ่านตัวกรองคาลมานมีค่าเท่ากับ 0.3662

#### Abstract

This article presents an exploiting  $Q$  and  $R$  covariance of kalman filter for white gaussian noise reduction in speech compression. Speech input signal is pass through the kalman filter and also noise is created in the format of white gaussian noise which are 10 Hz 50 Hz 100 Hz 500 Hz and 1000 Hz respectively. In the experiment, the adjusting  $Q$  and  $R$  covariance make the noise covariance. The minimum noise covariance will occurs when the  $Q$  and  $R$  covariance are the same. The results show that the minimum measurement error covariance is 1.0023 and the minimum estimate error covariance is 0.3662 when the  $Q$  and  $R$  covariance are the same.

**Keywords:** Kalman Filter, White Gaussian Noise Reduction

#### 1. คำนำ

การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด (Speech processing) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบโทรคมนาคม ในทุก ๆ วัน เช่น เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ระบบโทรศัพท์บ้าน และระบบสัญญาณเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (VoIP) การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสัญญาณ และการรับรู้ข้อมูลเสียงพูดที่ใช้ในการสื่อสารผ่านตัวกลาง เช่น อุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณข้อมูล การได้รับสัญญาณเสียงพูดกลับมาหรือนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้รับฟังหลังจากผ่านการกระบวนการส่งผ่านตัวกลาง มีความสำคัญมาก ที่จะทำให้สัญญาณที่รับมาได้อัตโนมัติครบถ้วนและถูกต้องในข้อมูลนั้น ในความเป็นจริงสัญญาณเสียงจากต้นกำเนิดสัญญาณเสียงพูด จะมี



ความผิดพลาดโดยการรบกวน ของสัญญาณต่างๆ ที่เราไม่ต้องการ หรือเรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งสัญญาณรบกวนมีหลากหลายชนิด สัญญาณรบกวนเหล่านี้จะมีผลกระทบที่จะทำให้สัญญาณเสียงพูดมีความผิดพลาดไปจากเดิมจนทำให้เราไม่สามารถเข้าใจในข้อมูลข่าวสารนั้นๆ จุดมุ่งหมายของบทความนี้ นำเสนอการลดสัญญาณรบกวนออกจากเสียงพูดโดยวิธีการของ คัลมาน คาลมาน (Kalman) ทั้งนี้คัลมานคาลมาน [1] ได้ถูกประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ในส่วนของงานวิจัยทางการประมวลผลสัญญาณนั้น คัลมานคาลมานได้ถูกประยุกต์ใช้ใน [2] ซึ่งใช้ในการคาดเดาพารามิเตอร์ของสัญญาณเสียงในสภาวะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน อีกทั้งใน [3] ใช้คัลมานคาลมานสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณวีดีโอโดยให้เทคนิค Adaptive-content ใน [4] ได้ใช้คัลมานคาลมานกับระบบไม่เชิงเส้นของสัญญาณเสียง และใน [5-6] เทคนิค คาลมานได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงแต่ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวพบถึงปัญหาในส่วนของคุณภาพและการแทรกสอดสัญญาณรบกวนอันความถี่ต่ำ ดังนั้นเพื่อพัฒนาคัลมานคาลมานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ของคัลมานคาลมาน  $Q$  และ  $R$  ในคัลมานคาลมานเพื่อลดสัญญาณรบกวน

ในบทความนี้นำเสนอการลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนโดยคัลมานคาลมาน ซึ่งสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียนเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในทุกย่านความถี่ที่ไม่สามารถคาดเดาได้ ทฤษฎีคัลมานคาลมานมีความแตกต่างจากคัลมานคาลมานโดยจะใช้การคาดเดาสัญญาณรบกวนที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นจริง เข้าไปยังคัลมานคาลมานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในการแก้ไขข้อผิดพลาดในการประมาณค่าตามทฤษฎีคัลมานคาลมานให้ถูกต้อง โดยสัญญาณเสียงพูดจะถูกส่งผ่านกระบวนการ คัลมานคาลมาน และจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน ให้เป็นสัญญาณรบกวนในระบบและจำลองสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเป็นลักษณะสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน ที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อใช้ทำการทดลองและทำการเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการตรวจสอบจากความแปรปรวนความผิดพลาดด้วยสมการความแปรปรวนความผิดพลาดในการวัดก่อนผ่านคัลมานคาลมาน (Measurement Error Covariance; MEC) และความแปรปรวนความผิดพลาดในการประมาณค่าหลังจากผ่านคัลมานคาลมาน (Estimation Error Covariance; EEC)

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 สมการคัลมานคาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง

คัลมานคาลมาน แบบไม่ต่อเนื่อง มีสมการที่สำคัญที่ใช้ในการประมาณค่าสถานะ ในการควบคุมการทำงานแบบสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Discrete time controlled process) ซึ่งสมการนี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับเรื่องของข้อมูลทางสถิติ และความน่าจะเป็น หรือเรียกว่า (linear stochastic differential equations) สมการที่ใช้ในกระบวนการทำงานของคัลมานคาลมาน มีดังนี้ [5-9] สมการที่เกี่ยวข้องกับการรับค่าทางด้านอินพุต  $x \in \mathbb{R}^n$  ได้จากสมการนี้คือ

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k \quad (1)$$

สมการในการวัดค่าทางเอาต์พุต  $z \in \mathbb{R}^m$  ได้จากสมการนี้คือ

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2)$$

$w_k$  คือตัวแปรสุ่มที่สมมติให้เป็นฟังก์ชันของสัญญาณการรบกวนเข้ามาในระบบ ค่าความแปรปรวนนี้จะถูกปรับความแปรปรวนขึ้นกับการปรับค่าคงที่  $Q$  ส่วนค่า  $v_k$  คือตัวแปรสุ่มสมมติให้เป็นฟังก์ชันของสัญญาณรบกวนเข้ามาใน





Sci-Tech 033

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งประเทศไทย 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ระบบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง การปรับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงนี้ จะขึ้นกับการปรับค่าคงที่  $R$  ค่าสมมุติที่ใช้ในการป้อนเข้าในระบบทั้งสอง จะมีลักษณะที่แยกความสัมพันธ์เป็นอิสระต่อกัน ฟังก์ชันของการสมมุติการรบกวนทั้งสองอันเป็นลักษณะการรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน แสดงได้ดังนี้

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad (3)$$

$$p(v) \sim N(0, R) \quad (4)$$

เมทริกซ์  $A$  ขนาด  $n \times n$  ในสมการดิฟเฟอเรนเชียล ในสมการที่ (1) คือ เมทริกซ์ควบคุมการส่งผ่านค่าของตัวแปรทางอินพุตมีผลกับสถานะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลา  $k$  จากคาบเวลาของ  $k$  แปรเปลี่ยนเป็นคาบเวลา  $k+1$  เมทริกซ์  $B$  ขนาด  $n \times 1$  เกี่ยวข้องกับการควบคุมทางคาบเวลาทางด้าน อินพุตของฟังก์ชัน  $u \in \mathbb{R}$  มีผลกับสถานะ  $x$  เมทริกซ์  $H$  ขนาด  $n \times n$  จากสมการที่ (2) ซึ่งเป็นสมการในการวัดจะมีผลเกี่ยวข้องกับการวัดและตัวแปรของเอาต์พุต  $z_k$

ความสำคัญของสมการของตัวกรองคาลมาน จะแสดงและแบ่งการทำงานได้เป็นส่วนต่างๆดังนี้ โดยเริ่มจากสมการ (1) และ(2)ซึ่งจะนำไปสู่สมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ตามทฤษฎีของตัวกรองคาลมาน อัลกอริทึม (5-9) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

1. การปรับปรุงเวลา (Time Update) ประกอบด้วยสมการ  
Project the state ahead

$$\hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k \quad (5)$$

Project the error covariance ahead

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k' + Q_k \quad (6)$$

2. การปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ประกอบด้วยสมการ

Compute the Kalman gain

$$K_k = P_k H_k' (H_k P_k H_k' + R_k)^{-1} \quad (7)$$

Update estimate with measurement  $z_k$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (8)$$

Update the error covariance

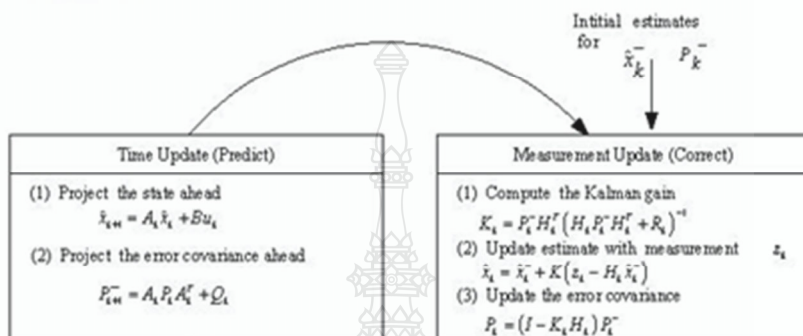
$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (9)$$

วงจรการทำงานของสมการตัวกรองคาลมาน คือสมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ดังในรูปที่ 1



Sci-Tech 033

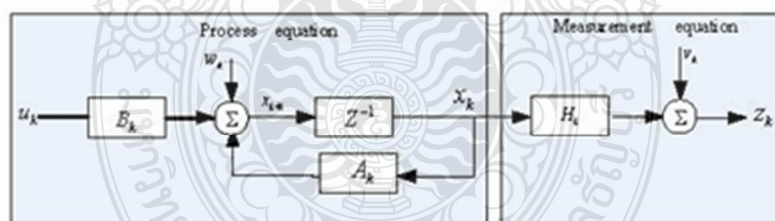
การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษามหานครครั้งที่ 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



รูปที่ 1 แสดงสมการหลักของตัวกรองคาลมาน

## 2.2 สมการในการหาค่าการลดสัญญาณรบกวน

จากสมการที่ (1) และ (2) นำมาแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานการไหลข้อมูลของตัวกรองคาลมานได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะแสดงการหาค่าของความผิดพลาดในการวัดก่อนผ่านการกรองจากสมการ (10) และการหาค่าความผิดพลาดในการประมาณหลังจากผ่านการกรองสัญญาณรบกวน จากสมการ (12)



รูปที่ 2 การไหลข้อมูลของตัวกรองคาลมานฟิลเตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการลดสัญญาณรบกวนของตัวกรองคาลมาน ซึ่งจากรูปที่ 2 จะแสดงการลดสัญญาณรบกวนของตัวกรองคาลมาน โดยการตรวจสอบจากความแปรปรวนความผิดพลาดด้วยสมการความแปรปรวนความผิดพลาดในการวัดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน (Measurement Error Covariance; MEC) และความแปรปรวนความผิดพลาดในการประมาณค่าหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน (Estimation Error Covariance; EEC) สมการทั้งสองแสดงได้ดังนี้



Covariance of error before filtering (Measurement error)

$$\text{Measurement Error} = x_k H_k - (x_k H_k + v_k) \quad (10)$$

$$MBC = \frac{\sum (x_k H_k - (x_k H_k + v_k)) \times (x_k H_k - (x_k H_k + v_k))}{\text{Length}(x_k H_k - (x_k H_k + v_k))} \quad (11)$$

Covariance of error after filtering (Estimation error)

$$\text{Estimation Error} = x_k H_k - z_k \quad (12)$$

$$EBC = \frac{\sum ((x_k H_k - z_k) \times (x_k H_k - z_k))}{\text{Length}(x_k H_k - z_k)} \quad (13)$$

### 3. การทดลอง

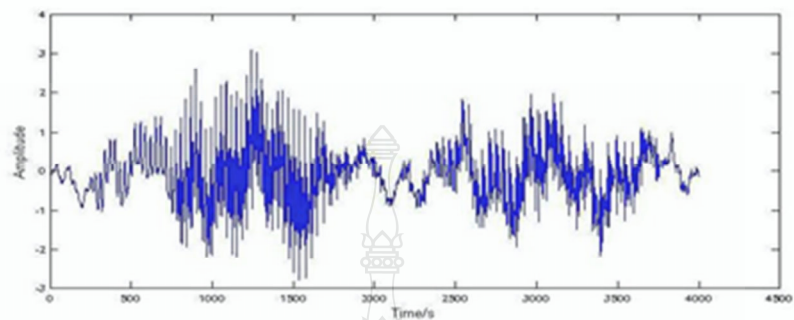
ลำดับของสัญญาณเสียงพูดที่เรียงกันจะถูกแทนด้วยตัวแปร  $x_k$  ผ่านเข้ามาในระบบรูปที่ 3 ซึ่งสัญญาณรบกวนจะถูกสมมติขึ้นมาและจะถูกรวมกับสัญญาณทางด้านอินพุต สัญญาณรบกวนที่สมมติขึ้นมาเป็นสัญญาณแบบไวท์ เกทที่เชื่อม เป็นสัญญาณรบกวนที่เรียงกันมา แทนด้วยตัวแปร  $w_k$  รูปที่ 4 ในช่วงของสมการในการวัด (Measurement Update) สัญญาณจะถูกแทนค่าโดยการคาดการณ์ว่ามีสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกทที่เชื่อมเกิดขึ้นแทนด้วยตัวแปร  $v_k$  รูปที่ 5 ในการทดลองนี้จะสร้างสัญญาณรบกวนของ ทั้งสองค่าคือสัญญาณรบกวนในระบบทางด้านอินพุต และสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเหมือนสัญญาณทางด้านอินพุต ด้วยความถี่ที่แตกต่างกันคือ ความถี่ 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz ตามลำดับ หลังจากนั้นจะปรับความแปรปรวนของค่าคงที่  $Q$  ซึ่งจะมีผลที่จะทำให้สัญญาณรบกวนของระบบมีความแปรปรวนไปตามการปรับแต่งค่า  $Q$  และปรับแต่งค่าคงที่  $R$  ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการแปรปรวนของสัญญาณรบกวนในการวัดแปรปรวนไปตามการปรับแต่งค่าคงที่  $R$  ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดความแปรปรวนของระบบได้จากสมการ (11) และ (13)

ในการสร้างสัญญาณรบกวน ไวท์เกทที่เชื่อม ให้เป็นสัญญาณรบกวนที่อิสระต่อกันของทั้งสัญญาณรบกวนทางด้านอินพุตและสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ทั้งนี้รูปที่ 4 – 5 เป็นตัวอย่างของการสร้างสัญญาณรบกวนที่ 100 Hz และรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดที่ใช้ในการทดลอง

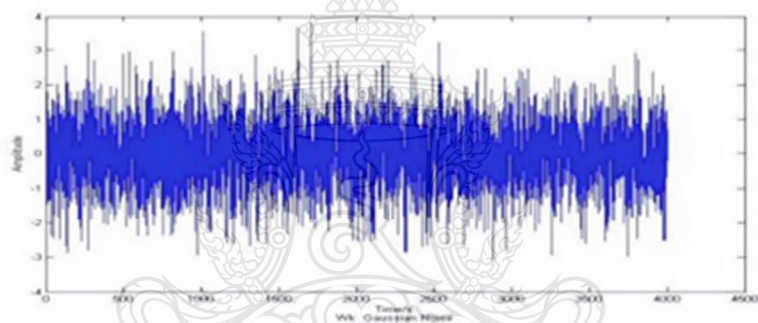
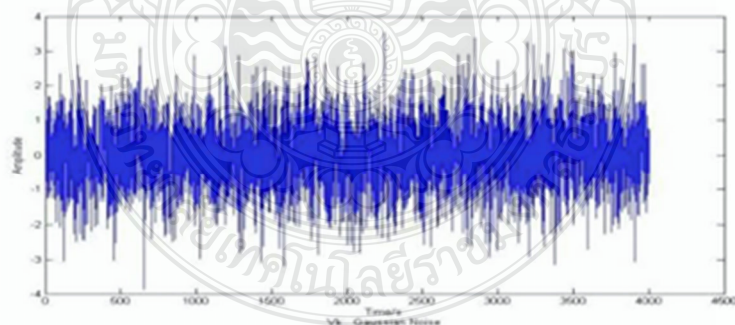


Sci-Tech 033

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติครั้งที่ 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



รูปที่ 3 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ทดสอบในระบบ

รูปที่ 4 สัญญาณ  $w_k$  White Gaussian Noiseรูปที่ 5 สัญญาณ  $v_k$  White Gaussian Noise





Sci-Tech 033

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนแปรปรวน

| Covariance | Q-1,R-5 | Q-1,R-4 | Q-1,R-3 | Q-1,R-2 | Q-1,R-1 | Q-2,R-1 | Q-3,R-1 | Q-4,R-1 | Q-5,R-1 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MEC        | 5.0115  | 4.0092  | 3.0069  | 2.0046  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  | 1.0023  |
| EBC        | 0.6512  | 0.6156  | 0.5663  | 0.4920  | 0.3622  | 0.4906  | 0.5655  | 0.6164  | 0.6541  |

จากตารางการที่ 1 ผลของการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  จะทำให้ค่าความผิดพลาดแปรปรวนในการวัดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน MEC มีค่าสูงที่สุดคือค่า 5.0115 และค่าผิดพลาดแปรปรวนในการประมาณหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน EEC มีค่าผิดพลาดคือ 0.6512 ค่าผิดพลาดแปรปรวนในการวัดก่อนผ่านตัวกรองคาลมาน MEC และค่าผิดพลาดแปรปรวนในการประมาณหลังจากผ่านตัวกรองคาลมาน EEC จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ  $Q$  และ  $R$  มีค่าคงที่เท่ากับค่าเท่ากับ 1 ซึ่งจะทำได้ MEC มีค่าเท่ากับ 1.0023 และ EEC มีค่าเท่ากับ 0.3622

#### 4. ผลการทดลอง

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการปรับแต่งค่าคงที่  $Q$  จะมีผลต่อการแปรปรวนของสัญญาณรบกวนในระบบ และการปรับแต่งค่าคงที่  $R$  จะมีผลต่อการแปรปรวนของสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในระบบ จะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนในการประมาณค่าสัญญาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้นสามารถทำให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดได้ จากการทดลอง สัญญาณด้านอินพุตคือสัญญาณเสียงและเมื่อผ่านตัวกรองคาลมานจะทำให้สัญญาณรบกวนมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดถ้ามีการปรับแต่งค่าคงที่ของสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยให้ค่าความแปรปรวนของระบบใกล้เคียงกัน หรือเท่ากับกับค่าคงที่การแปรปรวนคือการทำให้ค่าคงที่  $Q$  ให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าคงที่ความแปรปรวน  $R$  ซึ่งจะทำได้สามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้ตามสมการการหาค่าผิดพลาดความแปรปรวน คือ สมการที่ (11) และสมการที่ (13)

#### 5. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอการใช้ประโยชน์ตัวพารามิเตอร์  $Q$  และ  $R$  ของตัวกรองคาลมานสำหรับลดสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกทที่เขียนในการบีบอัดสัญญาณเสียง เทคนิคนี้จะใช้หลักการหลักในการลดสัญญาณรบกวนคือสมการปรับปรุงข้อมูลทางเวลา (time update) และสมการปรับปรุงข้อมูลในการวัด (measurement update) โดยที่ค่าคงที่  $Q$  และ  $R$  เป็นตัวแปรสำคัญในการที่จะควบคุมคุณภาพสัญญาณเสียงกล่าวคือสัญญาณรบกวนจะมีค่าลดลง และมีความผิดพลาดน้อยถ้าค่าคงที่ความแปรปรวนใกล้เคียงกันหรือมีค่าเท่ากันโดยดูจากผลการหาค่าความแปรปรวนความผิดพลาดในการประมาณค่าคือ EEC ซึ่งผลการทดลองจะมีค่าเท่ากับ 0.3662 ดังนั้นพหุคูณตัวกรองคาลมาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพในการบีบอัดสัญญาณเสียง การเพิ่มประสิทธิภาพของเสียง และการลดสัญญาณรบกวนให้น้อยลงออกจากสัญญาณภาพและเสียงต่อไปได้

#### เอกสารอ้างอิง

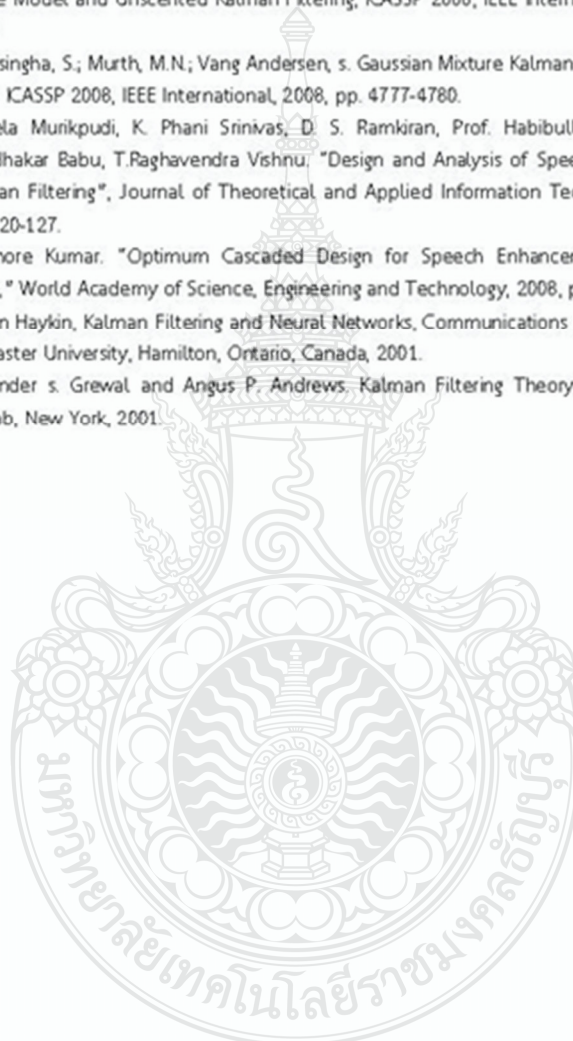
- [1] Greg Welch and Gary Bishop, An Introduction to the Kalman Filter, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill, September 17, 1997, pp. 1-16.
- [2] Kuropatwinski, M.; Kleijin, W., Estimation of the short-term predictor of speech under noisy conditions, IEEE Transactions, vol.14, 2006, pp.1645-1655.



Sci-Tech 033

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัย 1  
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

- [3] Tai-Wai Chan, Au, O.C.; Tak-Song Chong, Wing-San Chau., A novel content-adaptive video denoising filter, ICASSP'05. IEEE International, Vol.2, 2005, pp.ii/649-ii/652.
- [4] Jinachitra, P., Noisy Speech Segmentation Using Non-Linear Observation Switching State Space Model and Unscented Kalman Filtering, ICASSP 2006, IEEE International, vol. 1, 2006, pp. 1
- [5] Subasingha, S.; Murth, M.N.; Vang Andersen, s. Gaussian Mixture Kalman Predictive coding of LSFS, ICASSP 2008, IEEE International, 2008, pp. 4777-4780.
- [6] Vineela Munkpudi, K. Phani Srinivas, D. S. Ramkiran, Prof. Habibulla Khan, G.Mrudula, K.Sudhakar Babu, T.Raghavendra Vishnu, "Design and Analysis of Speech Processing Using Kalman Filtering", Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2005-2011, pp. 120-127.
- [7] T.Kishore Kumar. "Optimum Cascaded Design for Speech Enhancement Using Kalman Filter," World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008, pp. 355-359.
- [8] Simon Haykin, Kalman Filtering and Neural Networks, Communications Research Laboratory McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 2001.
- [9] Mohinder s. Grewal and Angus P. Andrews. Kalman Filtering Theory and Practice Using Matlab, New York, 2001.





**EDSSC2012**

*The 8<sup>th</sup>  
 IEEE International Conference  
 on Electron Devices and Solid-State Circuits*

**Conference Proceedings**

- Message
- Committee
- Technical Program
- Venue Map



**December 3-5, 2012**  
*The Maha Chulalongkorn Lecture Hall  
 Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand*



## Committee

### General Co-Chairs:

- |                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| - Somsak Panyakeow        | Chulalongkorn University, Thailand    |
| - Juin J. Liou            | University of Central Florida, U.S.A. |
| - Pansak Siriratchatapong | NECTEC, Thailand                      |

### Technical Program Co Chairs:

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| - Ekachai Leelarasmee | Chulalongkorn University, Thailand      |
| - Hei Wong            | City University of Hong Kong, Hong Kong |

### Secretariat:

- |                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| - Thavatchai Tayjasanant | Chulalongkorn University, Thailand |
|--------------------------|------------------------------------|

### Publicity Co chairs:

- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| - Wai Tung NG | U. of Toronto, Canada |
|---------------|-----------------------|

### Publication Co Chairs:

- |                |   |
|----------------|---|
| - Alex ongpeeh | Dhurakijpundit University, Thailand               |
| - Mansun Chan  | Hong Kong U. of Science and Technology, Hong Kong |

### Technical Program Committee:

- |                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| - Mana Sriyudthsak        | Chulalongkorn University, Thailand |
| - Songphol Kanjanachuchai | Chulalongkorn University, Thailand |
| - Wanlop Surakampontorn   | KMITL, Thailand                    |
| - Preecha Yupapin         | KMITL, Thailand                    |
| - Apinunt Thanachayanont  | KMITL, Thailand                    |
| - Chiranut Sa-Ngiamsak    | KKU, Thailand                      |
| - Apisak Worapishet       | MUT, Thailand                      |
| - Sarun Sumriddetchkajorn | NECTEC, Thailand                   |
| - Wibool Piyawattanametha | NECTEC, Thailand                   |
| - Suwat Sopitpan          | TMEC, Thailand                     |

### Local Arrangement Committee:

- |                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| - Choopol Antarasena        | Chulalongkorn University, Thailand |
| - Arporn Teeramongkonrasmee | Chulalongkorn University, Thailand |
| - Wanchalerm Pora           | Chulalongkorn University, Thailand |
| - Suwaree Suraprapapich     | Seagate, Thailand                  |

## Steering-committee

### International Steering Committee:

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| - Jianguo Ma                | Tianjin University, China                   |
| - Jan Van der Spiegel       | University of Pennsylvania, U.S.A.          |
| - Krishna Shenai            | University of Toledo, U.S.A.                |
| - Hiroshi Iwai              | Tokyo Institute of Technology, Japan        |
| - Simon Deleonibus          | CEA-LETI, France                            |
| - Siegfried Selberhers      | Vienna University of Technology, Austria    |
| - Te-Kuang Chiang           | National University of Kaohsiung, Taiwan    |
| - Zhou Xing                 | Nanyang Technological University, Singapore |
| - W. K. Yeh                 | National University of Kaohsiung, Taiwan    |
| - Chao-Sung LAI             | Chang Gung University, Taiwan               |
| - Tian-Ling Ren             | Tsinghua University, China                  |
| - Albert Wang               | University of California Riverside, U.S.A.  |
| - Ming Dou Ker              | National Chiao-Tugn University, Taiwan      |
| - Yeong-Her Wang            | National Cheng Kung University, Taiwan      |
| - Yan Zhao                  | Chulalongkorn University, Thailand          |
| - Mana Sriyudthsak          | Chulalongkorn University, Thailand          |
| - Wanlop Surakamponorn      | KMITL, Thailand                             |
| - Prabhas Chongsatitwattana | Chulalongkorn University, Thailand          |
| - Arnel Salvador            | Philippines                                 |
| - Yoon Soon Fatt            | Singapore                                   |
| - Chua Soo-Jin              | Singapore                                   |
| - Chantal Fontaine          | France                                      |
| - Wilson Walery Wenas       | Indonesia                                   |
| - Ikuo Suemune              | Japan                                       |
| - Charles Tu                | U.S.A.                                      |
| - Suwit Kiravittaya         | Naresuan University, Thailand               |
| - Yongfeng Mei              | China                                       |
| - Seeram Ramakrishna        | Singapore                                   |
| - Authong H.W.. Choi        | The University of Hong Kong, Hong Kong      |
| - Kong-pang Pun             | The Chinese University of Hong Kong         |
| - P. T. Lai                 | The University of Hong Kong, Hong Kong      |

**Poster Session December 4, Tuesday (17:15 - 18:15)****Venue: Room 101**

|            |   |
|------------|---|
| <b>P01</b> | <b>Influence of under-bump metallurgy and solder alloys on the crack in the wafer level chip scale packaging</b><br>J. H. Lu, M. Xu, H. Zhang, H. L. Lu and D.W. Zhang, <i>Fudan University, China</i>  |
| <b>P02</b> | <b>Reliability study of zinc oxide thin-film transistor with high-K gate dielectric</b><br>D. Han, Y. Geng, J. Cai, W. Wang, L. Wang, Y. Tian, Y. Wang and L. Liu, <i>Peking University, China</i> ; S. Zhang, <i>Peking University, China</i>                                  |
| <b>P03</b> | <b>Analytical modelling of current in higher width graphene nanoribbon field effect transistor</b><br>T. Muntasir, S. D. Gupta, Md. S. Islam, <i>Bangladesh University, Bangladesh</i>  |
| <b>P05</b> | <b>Design of driving transistor in a-Si:H TFT gate driver circuit</b><br>C. Zheng, C. Liao, J. Li and S. Zhang, <i>Peking University, China</i>   |
| <b>P06</b> | <b>Improvement of SiGe HBT frequency performance including NBR current</b><br>H. Kaatuzian, H. Davoodi, <i>Amirkabir University, Iran</i>   |
| <b>P07</b> | <b>Energy capacity of voltage dependent capacitor for the calculation of MOSFET's switching losses</b><br>Y. Kulvitit, <i>Chulalongkorn University, Thailand</i>  |
| <b>P08</b> | <b>Feedback compensator design for a two-switch forward converter</b><br>V. Wuti, T. Kerdpol, and C. Bunlaksananusorn, <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>   |
| <b>P10</b> | <b>Communication circuit for series connected solar panels</b><br>P. Sirinamaratana, E. Leelarammee, <i>Chulalongkorn University, Thailand</i>  |
| <b>P11</b> | <b>Simple quadrature sinusoidal oscillator with orthogonal control using single active element</b><br>T. Pourak, P. Suwanjan, W. Jaikla, <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand</i> ; S. Maneewan, <i>Buriram Rajabhat University, Thailand</i> |
| <b>P12</b> | <b>A VCO based continuous time delta sigma ADC with 10MHz BW 55dB SNR and 42dB SNDR</b><br>X. L. Zhang, J. Z. Chen, Z. T. Xu, Q. Yu, Y. Liu, <i>University of Electronic Science and Technology of China, China</i>   |
| <b>P13</b> | <b>1.2 V folded down-conversion wideband mixer in 65-nm CMOS</b><br>N. M. Amin, Z. G. Wang, B. Kuan, Z. Li, <i>Southeast University, China</i>  |
| <b>P15</b> | <b>A 14-bit column-level ADC for IRFPA</b><br>Y. Zhang, W. Lu, Y. Chang, H. Chu, G. Wang, Y. Zhang, Z. Chen, <i>Peking University, China</i>  |
| <b>P16</b> | <b>Contacts charge transport and additional noise properties of semiconductor CdTe sensors</b><br>O. Sik, I. Grmela, J. Sikula, <i>Brno University of Technology, Czech</i>   |
| <b>P17</b> | <b>A MISO current-mode biquad filter using a minimum number of active and passive components</b><br>A. Koomchaya, P. Suwanjan, W. Jaikla, <i>King Mongkut's Institute of Technology, Thailand</i> ; S. Maneewan, <i>Buriram Rajabhat University, Thailand</i>                   |
| <b>P18</b> | <b>A low-power low-noise VCO with nearly constant kvco for UHF RFID transceivers</b><br>S. Liu, X. Wang, X. Chen, X. Fan, H. Zhang, <i>Chinese Academy of Sciences, China</i>   |
| <b>P19</b> | <b>A hardware design of MS/MMS-based LDPC decoder</b><br>I. Tanyanon, S. Choomchuay, <i>King Mongkut's Institute of Technology, Thailand</i>  |
| <b>P20</b> | <b>The correlated noise reducing model using a Kkalman filter for speech vector quantization</b><br>J. Rassameyoungtong, J. Srinonchat, <i>Rajamangala University, Thailand</i>   |
| <b>P21</b> | <b>Laser diode modulation under large signal conditions</b><br>A. Ahmadian, <i>Sharif University of Technology, Iran</i>  |
| <b>P22</b> | <b>Ripple carry adder using five input majority gates</b><br>B. Bishnoi, M. Girdhar, B. Ghosh, M. Nagnaria, <i>Jodhpur Institute of Technology, India</i>   |
| <b>P23</b> | <b>Design and improve the performance of OTA low pass filter with fractional-order step</b><br>T. Sukkung, V. Piramanchai, C. Suppitaksakul, W. Loedhammacakka, <i>Rajamangala University, Thailand</i>   |

# The Correlated Noise Reducing Model Using A Kalman Filter for Speech Vector Quantization

Jade Rassameyoungtong<sup>1</sup>

Department of Electronics and Telecommunication  
Engineering, Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi 39 moo1, Rangsit-Nakorn Nayok Road, Klong  
Hok, Thanyaburi, Rathumtani 12110, Thailand  
Tel. +66-(0)81-279-6373,  
E-Mail:jade01.mtts34@hotmail.com

Jakkree Srinonchat<sup>2</sup>

Department of Electronics and Telecommunication  
Engineering, Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi 39 moo1, Rangsit-Nakorn Nayok Road, Klong  
Hok, Thanyaburi, Rathumtani 12110, Thailand  
Tel. +66-(0)2-549-3588,  
E-Mail:jakkree\_s@hotmail.com

**Abstract**—The kalman filter is a recursive predictive filter that is based on the use of state space techniques and recursive algorithms. The advantage of kalman filter is, it estimates the state of dynamic system which can be disturbed by some noise. Thus this article presents the correlated noise reducing model using a kalman filter for speech vector quantization. The  $Q$  and  $R$  covariance constant parameters are investigated to provide the optimal performance with minimum noise of speech vector quantization signal. The results show that this model provides the minimum error as 1.6823 and 0.3623 for measurement error covariance and estimation error covariance respectively.

**Keywords**- kalman filter; noise reduction; Speech processing; covariance constant; recursive algorithms

## I. INTRODUCTION

Speech processing is recently used widely in many area especially in communication system such as network wireless, cellular telephone, telephony system and video over internet protocol system of data communication system. Speech signal in the process associated with production and perception of the noise and the speech sound. In order to noise signal, it occurs from the background and source production such as an environment or equipment.

The kalman filter is one of the algorithms which is used to reduce noise signal. The kalman filter is a recursive predictive filter that is based on the use of state space techniques and recursive algorithms. It estimates the state of dynamic system can be disturbed by some noise. In [1] proposes a simple non-linear content adaptive filter for video denoising. It results show that it could outperform conventional denoising algorithms like low-pass filter, median filter and wiener filter. The following research [2] presents Estimation of the short-term predictor parameters of speech under noisy conditions. It shows that it does not leave residual noise during silence frame. Moreover [3] proposes a noisy speech segmentation using non-linear observation switching state space model and unscented kalman filtering. The results have shown significant improvement over the uncompensated algorithms especially under stationary noises and two mixture components. Also [4] presents a gaussian mixture kalman predictive coding of LSFS. It shows the features better performance without any large increases in runtime complexity. However, these

techniques can be potentially extended to other quantization schemes such as the assumption of the correlated noise model can be incorporated into variety of vector quantization schemes.

Therefore this article presents the correlated noise reducing model using a kalman filter for vector quantization of speech processing. The steady-state kalman filter is simulated to reduce noise from speech signal by tuning noise covariance. Measurement Error Covariance ( $Q$ ) and Estimation Error Covariance ( $R$ ) are used to measure the quality of the system.

## II. THE DISCRETE KALMAN FILTER

The discrete kalman filter [5-9] estimates the process using a form of differential equation. Differential equations involving random processes are called stochastic differential equation equations. The linear stochastic differential equation estimate provides the optimal solution to the discrete estimation problems.

$$x_{k+1} = Ax_k + Bw_k + w_k \quad (1)$$

with a measurement  $z \in \mathbb{R}^m$  that is

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2)$$

The random  $w_k$  is variable process noise with covariance  $Q$  and the random  $v_k$  is variable measurement noise with covariance  $R$ . Both assume of covariance, they are independent of each other, white noise and with normal probability distributions.

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad (3)$$

$$p(v) \sim N(0, R) \quad (4)$$

The  $n \times n$  matrix  $A$  in the difference equation (1) is transition matrix of the state at time step  $k$  from  $k$  time to

$k+1$  time, in the absence of either a driving function or process noise. The  $n \times 1$  matrix  $B$  relates the control input  $u \in \mathcal{R}$  to the state  $x$ . The  $m \times n$  matrix  $H$  in the measurement equation (2) relates the state to the measurement output  $z_k$ .

**III. THE CONVENTIONAL ORIGIN OF THE FILTER**

Super minus process is defined by  $\hat{x}_k^+ \in \mathcal{R}^n$  for a priori state estimate at step  $k$  given knowledge of the process prior to step  $k$ , and  $\hat{x}_k^- \in \mathcal{R}^n$  for a posteriori state estimate at step  $k$  given measurement  $z_k$  which can define a priori and a posteriori estimate errors as below.

$$e_k^+ = z_k - \hat{x}_k^+ \tag{5}$$

$$e_k^- = \hat{x}_k - \hat{x}_k^- \tag{6}$$

The a priori estimate error covariance is

$$P_k^+ = E[e_k^+ e_k^{+T}] \tag{7}$$

And the a posteriori estimate error covariance is

$$P_k^- = E[e_k^- e_k^{-T}] \tag{8}$$

To derive the equations for the kalman filter, it can begin with the goal of finding an equation that compares a posteriori state estimate  $\hat{x}_k^-$  as a linear combination of a priori estimate  $\hat{x}_k^+$  and a weighted difference between an actual measurement  $z_k$  and a measurement prediction  $H_k \hat{x}_k^+$  shown below in (9). Some justification for (9) is given in the probabilistic origins of the filter found below.

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_k^+ + K(z_k - H_k \hat{x}_k^+) \tag{9}$$

The difference  $(z_k - H_k \hat{x}_k^+)$  in (9) is called the measurement innovation, or the residual. The residual reflects the discrepancy between the predicted measurement  $H_k \hat{x}_k^+$  and the actual measurement  $z_k$ .

A residual of zero means that the two are in complete agreement. The  $n \times n$  matrix  $K$  in (9) is chosen to be the gain or blending factor that minimizes the a posteriori error covariance (8) This minimization can be accomplished by first substituting (9) into the above definition for  $e_k^-$ , substituting that into (8), performing the indicated expectations, taking the derivative of the trace of the result with respect to  $K$ , setting that result equal to zero, and then solving for  $K$ .

$$K_k = P_k^+ H_k^T (H_k P_k^+ H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$P_k^- = \frac{P_k^+ H_k^T}{H_k P_k^+ H_k^T + R_k} \tag{10}$$

From (10) that as the measurement error covariance  $R_k$  approaches zero, the gain  $K$  weights the residual more heavily. Specifically,

$$\lim_{R_k \rightarrow 0} K_k = H_k^{-1} \tag{11}$$

On the other hand, as the a priori estimate error covariance  $P_k^+$  approaches zero, the gain  $K$  weights the residual less heavily. Specifically,

$$\lim_{P_k^+ \rightarrow 0} K_k = 0 \tag{12}$$

Another way of thinking about the weighting by  $K$  is that as the measurement error covariance  $R_k$  approaches zero, the actual measurement  $z_k$  is "trusted" more and more, while the predicted measurement  $H_k \hat{x}_k^+$  is trusted less and less. On the other hand, as the a priori estimate error covariance  $P_k^+$  approaches zero the actual measurement  $z_k$  is trusted less and less, while the predicted measurement  $H_k \hat{x}_k^+$  is trusted more and more. The justification for (9) is rooted in the probability of the a priori estimate  $\hat{x}_k^+$  conditioned on all prior measurements  $z_k$  is the Bayes' rule. For now let it suffice to point out that the kalman filter maintains the first two moments of the state distribution

$$E[x_k] = \hat{x}_k \tag{13}$$

$$E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k^T)] = P_k \tag{14}$$

The posteriori state estimates (9) reflects the first moment. It is normally distributed if the conditions of (3) and (4) are met. The posteriori estimates error covariance (8) reflects the variance of the state distribution. In other words, it is the second non-central moment

$$p(x_k | z_k) = N(E[x_k] | E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k^T)]) = N(\hat{x}_k, P_k) \tag{15}$$



IV. THE DISCRETE KALMAN FILTER CYCLE

The kalman filter estimates the previous process using a feedback contro. It estimates the process at the same time and then it get the feedback in form of noisy measurements. From these equations are use to separate two groups. The first group is called time update equation and The second group is called measurement update equation.

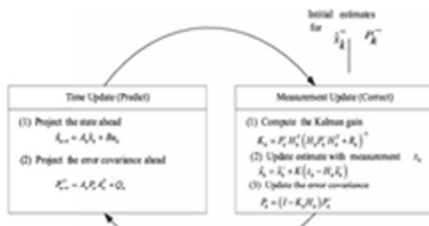


Figure 1. The discrete Kalman filter cycle.

The first group of equations shows the responsibilities of the time update equations which are the projecting forward in time the current state and error covariance estimates to obtain the priori estimates for the next time step. The second group of equations show the measurement update equation which are responsible for the feedback loop. It incorporates a new measurement into the a priori estimate to obtain an improved a posteriori estimate. The discrete kalman filter cycle shows in Fig. 1. The current state estimate shows in equation (16) and also the measurement update adjusts the projected estimate by an actual measurement at that time as show in equation (17).

$$\hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B u_k \tag{16}$$

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k \tag{17}$$

The state and covariance estimates from time step  $k$  to step  $k+1$ .  $A$  and  $B$  are from (1), while  $Q$  is from (3). Initial conditions for the filter are discussed in the earlier references [5-9].

$$K_k = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_k)^{-1} \tag{18}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k + K (z_k - H_k \hat{x}_k) \tag{19}$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \tag{20}$$

The first task during the measurement update is to compute the kalman gain  $K_k$ . Notice that the equation given here as

(18) is the same as (10). The next step is to actually measure the process to obtain  $z_k$ , and then to generate a posteriori state estimate by incorporating the measurement as in (19). Again (19) is simply (9) and (18) repeated here for completeness. The final step is to obtain a posteriori error covariance estimate via (20). The measurement update equations (18-20),

V. REDUCE NOISE PROCESS

From equation (1-2) can show in the fig 2. It is the signal flow of the kalman filter. It shows the error result using equation error before filtering by equation (21) and error after filtering by equation (23).

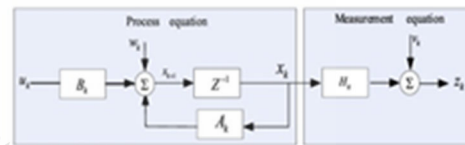


Figure 2. The signal flow of the kalman filter.

Kalman filter reduces the noise and measure the error by using the equation (22) and (24).

Covariance of before filtering (measurement error)

$$\text{Measurement Error} = x_k H_k - (x_k H_k + v_k) \tag{21}$$

$$MEC = \frac{\sum (x_k H_k - (x_k H_k + v_k)) \times (x_k H_k - (x_k H_k + v_k))}{\text{Length}(x_k H_k - (x_k H_k + v_k))} \tag{22}$$

Covariance of error after filtering (estimation error)

$$\text{Estimation Error} = x_k H_k - z_k \tag{23}$$

$$EEC = \frac{\sum ((x_k H_k - z_k) \times (x_k H_k - z_k))}{\text{Length}(x_k H_k - z_k)} \tag{24}$$

VI. EXPERIENTIAL

The sequence of speech inputs defined as  $u_k$  is passed through the system. The gaussian white noise defensed as  $w_k$  is the sequence noise input of the system and  $v_k$  is noise measurment. Estimator both noise by frequency 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz and 1000 Hz respective. Tuning constant covariance process noise  $Q$  and constant covariance system noise  $R$ . Compare error from equations (21-24).



Figure 3. Measurement Error Covariance

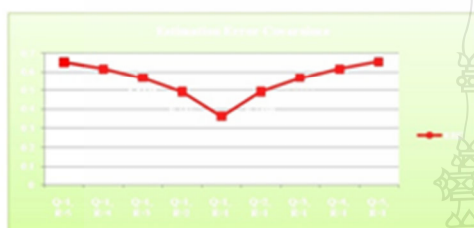


Figure 4. Estimation Error Covariance

In the experiment, it used different noise frequency to test the system. It shows that when  $Q$  and  $R$  covariance constant parameters are equal to one. It will provide the minimum error as 1.0023 and 0.3622 for MEC and EEC respectively. In Fig. 3-4 show only the result of 10 Hz testing and the kalman filter process could be tuned to provide optimal performance.

#### VII. CONCLUSIONS

This article presents the correlated noise reducing model using a kalman filter for speech vector quantization. It can be divided into two groups of equation namely the time update and the measurement update equation. The  $Q$  and  $R$  covariance constant are the main factor parameters to reduce noise and maintain quality of the speech vector quantization signal. The measurement error covariance and estimation error covariance techniques show the minimum error when  $Q$  and  $R$  covariance constant parameters are both equal to one. Therefore this kalman filter model able to apply to speech compression and speech recognition method for reducing the noise speech signal.

#### REFERENCES

- [1] Tai-Wai Chan, Au, O.C.; Tak-Song Chong; Wing-San Chan. "A novel content-adaptive video denoising filter," ICASSP'05. IEEE International, Vol.2, 2005, pp.1649-1652.
- [2] Kurpatovskii, M.; Klutjka, W. "Restoration of the short-term predictor of speech under noisy conditions," IEEE Transactions, vol.14, 2006, pp.1649-1653.
- [3] Hasehira, P. "Noisy Speech Segmentation Using Non-Linear Observation Switching State Space Model and Unscented Kalman Filtering," ICASSP 2006, IEEE International, vol. 1, 2006, pp. 1.
- [4] Subasingha, S.; Murth, M.N.; Vang Andersen, s. "Gaussian Mixture Kalman Predictive coding of LSFS," ICASSP 2008, IEEE International, 2008, pp. 4777-4780.
- [5] Vineela Murikpodi, K. Phani Srinivas, D. S. Ramkiran, Prof. Habibulla Khan, G.Mrudula, K.Sudhakar Babu, T.Raghavendra Vishnu. "Design and Analysis of Speech Processing Using Kalman Filtering," Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2005-2011, pp. 120-127.
- [6] T.Kishore Kumar. "Optimum Cascaded Design for Speech Enhancement Using Kalman Filter," World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008, pp. 355-359.
- [7] Greg Welch and Gary Bishop. "An Introduction to the Kalman Filter," Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill, September 17, 1997, pp. 1-16.
- [8] Simon Haykin, Kalman Filtering and Neural Networks, Communications Research Laboratory McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 2001.
- [9] Mohinder s. Grewal and Angus P. Andrews. Kalman Filtering Theory and Practice Using Matlab, New York, 2001.

## ประวัติผู้เขียน

|                  |   |
|------------------|---|
| ชื่อ – นามสกุล   | นายเจริญ รัศมีdungทอง   |
| วัน เดือน ปีเกิด | 18 มีนาคม 2520  |
| ที่อยู่          | 65/47 หมู่ 5 ตำบล ลำโพ อำเภอ บางบัวทอง จังหวัด นนทบุรี 11110  |
| การศึกษา         |   |
| 2553 – ปัจจุบัน  | กำลังศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 2542 – 2546      | ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้าสื่อสาร ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี                                |
| 2542 – 2539      | ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ  |
| 2538 – 2536      | ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ โรงเรียนช่างฝีมือทหาร   |
| ประวัติการทำงาน  |   |
| 2551 – ปัจจุบัน  | ตำแหน่ง Operation Manager บริษัทยูนิคอมเอ็นจิเนียริงจำกัด   |
| 2548 – 2550      | ตำแหน่ง Senior Engineer บริษัทยูนิคอมเอ็นจิเนียริงจำกัด   |
| 2547 – 2548      | ตำแหน่ง Field Engineer บริษัทยูนิคอมเอ็นจิเนียริงจำกัด  |
| 2538 – 2546      | รับราชการ ตำแหน่งนายช่าง อิเล็กทรอนิกส์ แผนกปฏิบัติการโทรคมนาคมที่ 1 ศูนย์การโทรคมนาคมทหาร กรมการสื่อสารทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด    |