

การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ต
ร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์

IMPROVEMENT PERFORMANCE OF COMPRESSION SPEECH
SIGNALS USING WAVELET TECHNIQUE AND WIENER FILTER

วีระยุทธ คุณรัตนสิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ต
ร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์

วีระยุทธ คุณรัตนศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ตร่วมกับไวเนอร์ฟิลเตอร์ Improvement Performance of Compression Speech Signals using Wavelet Technique and Wiener Filter
ชื่อ – นามสกุล	นายวีระยุทธ คุณรัตน์ศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จกกรี ศรีนนท์ฉัตร
ปีการศึกษา	2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมพระยากุล)
.....	กรรมการ (ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล)
.....	กรรมการ (ดร.สุรินทร์ แห่งงาม)
.....	กรรมการ (ดร.จกกรี ศรีนนท์ฉัตร)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)
วันที่ 9 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2554

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ตร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์
ชื่อ - นามสกุล	นายวีระยุทธ คุณรัตนศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอ การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ตร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ทั้งนี้การบีบอัดสัญญาณเสียงนั้นมีจุดมุ่งหมายที่จะลดขนาดของสัญญาณเสียงให้มีขนาดเล็กที่สุดและขณะเดียวกันจะต้องรักษาคุณภาพของสัญญาณเสียงให้มีความใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด งานวิจัยทางด้านนี้ ได้มีการดำเนินการมากกว่า 20 ปีซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารมากมาย เช่น โทรศัพท์บ้านและโทรศัพท์มือถือที่มีอัตราการบีบอัดอยู่ที่ 64 และ 13.3 kb/s ตามลำดับ

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยนี้เริ่มด้วยการนำสัญญาณเสียงพูดที่เป็นเสียงพูดภาษาไทย “ศูนย์”, “หนึ่ง”, “สอง”, “สาม”, “สี่”, “ห้า”, “หก”, “เจ็ด”, “แปด”, “เก้า” ที่ต่อเนื่องกัน โดยรวบรวมจากผู้พูดชาย 5 คน หญิง 5 คน พูดคนละ 10 รอบ ทำให้ได้ข้อมูลเสียง 100 เสียง มาผ่านกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ต 3 ชนิด ได้แก่ Daubechies, Symlet และ Coiflet ซึ่งแต่ละชนิดทำการบีบอัดใน 5 ระดับของอัตราการบีบอัดสัญญาณ จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้ค่า SNR และ PSNR และอัตราการบีบอัดสัญญาณ ในขณะเดียวกันไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ถูกนำมาใช้เพื่อรักษาคุณภาพของสัญญาณเสียงให้เหมือนต้นฉบับ

ผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์มีค่า SNR เท่ากับ 15.62, 11.15 และ 9.34 ในระดับการบีบอัดที่ 1 ถึง 3 และมีค่า PSNR เท่ากับ 36.48, 36.48 และ 36.63 ในระดับการบีบอัดที่ 1 ถึง 3 ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพ SNR และ PSNR ดังกล่าวเป็นค่าสูงสุดที่ใช้ไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ในการรักษาคุณภาพของสัญญาณเสียง ดังนั้นเทียบกับการคืนกลับสัญญาณที่ไม่ผ่านไวน์เนอร์ฟิลเตอร์จะให้ค่าที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ : การประมวลสัญญาณเสียง การบีบอัดสัญญาณเสียงพูด เวฟเล็ต ไวน์เนอร์ฟิลเตอร์

Thesis Title	Improvement Performance of Compression Speech Signals using Wavelet Technique and Wiener Filter
Name - Surname	Mr. Weerayuth Khunrattanasiri
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Dr. Jakkree Srinonchat
Academic Year	2011

ABSTRACT

This thesis presents the improvement performance of speech compression using wavelet technique with wiener filter. According to the speech compression methods aim at reducing the transmission bit rate while preserving the quality and intelligibility of speech as the original speech. Speech compression research works have been done more than two decades. Those techniques are applied to the telecommunication systems, such as telephone and mobile phone systems which use the 64 and 13.3 kb/s for compression rate respectively.

In the experiment, the input speech signals is firstly recorded in Thai language, which are the word of numeric such as "zero", "one", "two", "three", "four", "five", "six", "seven", "eight", "nine". Those signals are collected in a continuous speech signal from 5 males and 5 females for 10 times. There are totally one hundred input speech signals. Those signals are next passed through the speech compression process using three wavelet families such as Daubechies, Symlet and Coiflet. Each wavelet family compressed the input speech signal into five levels. Finally, the Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) are used to compare the efficiency of each wavelet technique and compression rate. While the wiener filter is used to maintain the quality of the speech signal as similar as the original speech.

The results show that the efficiency of the compression signal with the wiener filter provides SNR 15.62, 11.15 and 9.34 in the first level to third level of wavelet compression technique. It also provides PSNR 36.48, 36.48 and 36.63 in the first level to third level of wavelet compression technique. Therefore the SNR and PSNR values, which used the wiener filter, provide the maximum values when are compared to the without wiener filter technique. Therefore, the SNR and PSNR values of the technique, which does not use wiener filters, provide the lower quality than using the wiener filters.

Keywords : Speech processing, Speech compression, Wavelet, Wiener Filter.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร. จักริ ศรินนทีฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและสนับสนุนในการทำวิจัย มาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ แง่มุมที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย และกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาส ในการรายงานผลการวิจัย และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งต่อไป

กราบขอบพระคุณ Dr. S. Danaher และทีมงานวิจัยที่ห้องวิจัยทางด้านการอิเล็กทรอนิกส์ และสื่อสารของ Northumbria University, UK ที่ช่วยให้คำแนะนำทางด้าน โปรแกรม

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน น้องนิสิตที่ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ที่ได้ช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาในการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จ การศึกษา

วีระยุทธ คุณรัตนศิริ

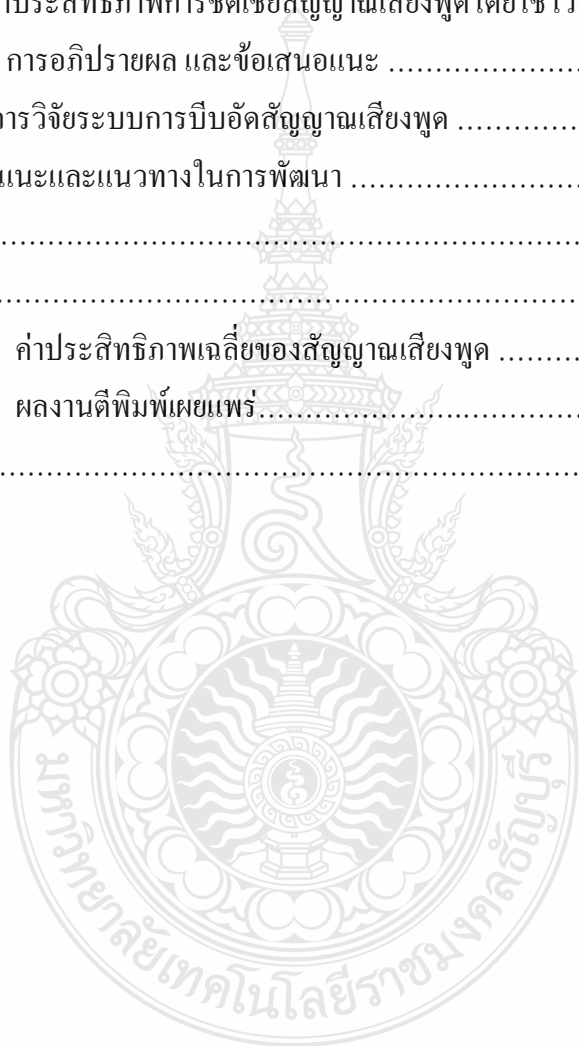


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	2
1.5 ข้อยกเว้นของการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คุณลักษณะเสียงพูดของมนุษย์	5
2.2 การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด	7
2.3 การแปลงเวฟเล็ต	13
2.4 การประเมินคุณภาพของเสียงพูด	34
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	43
3.1 การบันทึกสัญญาณเสียงพูด	44
3.2 การเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนเข้ากระบวนการบีบอัดสัญญาณ	46
3.3 การบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยการแปลงเวฟเล็ต	49
3.4 การคืนกลับสัญญาณเสียงพูด	50
3.5 การชดเชยสัญญาณเสียงพูด	52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6 การหาประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด	53
4 ผลการวิจัย	56
4.1 ผลการหาประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ต	56
4.2 ผลการหาประสิทธิภาพการชดเชยสัญญาณเสียงพูดโดยใช้ไวน์เนอร์ฟิลเตอร์	68
5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัยระบบการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด	70
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	71
รายการอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด	77
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	98
ประวัติผู้เขียน	132



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดด้วยสเกลลิงฟังก์ชันที่สเกล $j_0 = 0$	21
2.2 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดด้วยเวฟเล็ดฟังก์ชัน	21
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การกรองของฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Daubechies จำนวน 4 ค่า (D_4)	28
2.4 สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดและการแปลงเวฟเล็ดสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ ความถี่ต่ำและความถี่สูงของฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่แบบ Daubechies 9/7	30
2.5 สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดและการแปลงเวฟเล็ดสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ ความถี่ต่ำและความถี่สูงของฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่แบบ Le Gall 5/3	31
2.6 ค่า MOS ที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบต่าง ๆ	36
2.7 รายละเอียดวิธีการให้คะแนนในการวัด MOS	36
2.8 ตัวอย่างของค่า MOS ที่ใช้งานกับการบีบอัดข้อมูลประเภทต่าง ๆ	37
2.9 เปอร์เซนต์ความสำเร็จของเวฟเล็ดทั้ง 5 ชนิด	38
2.10 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากเวฟเล็ดทั้ง 6 ชนิด	39
2.11 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของเสียงพูดของเพศชาย	41
2.12 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของเสียงพูดของเพศหญิง	42
4.1 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน	59
4.2 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน	60
4.3 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ของผู้พูด จำนวน 10 คน	62
4.4 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน	63
4.5 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน	65
4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ของผู้พูด 10 คน	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	ค่าเฉลี่ยของ SNR ที่ได้จากเวฟเล็ทชนิดต่างๆ	68
4.8	ค่าเฉลี่ยของ PSNR ที่ได้จากเวฟเล็ทชนิดต่างๆ	68



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการรับส่งข้อมูลที่มีการบีบอัดสัญญาณ โดยใช้เวฟเล็ต.....	3
2.1 ลักษณะสัญญาณเสียงก้องหรือเสียงโหมยะ (Voiced).....	5
2.2 ลักษณะสัญญาณเสียงไม่ก้องหรือเสียงอโหมยะ (Unvoiced).....	6
2.3 สัญญาณเสียงอินพุตที่มีองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง.....	7
2.4 สัญญาณเสียงอินพุตที่ถูกตัดองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง.....	8
2.5 การปรับสัญญาณสู่แกนศูนย์.....	8
2.6 การกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน.....	9
2.7 การแบ่งส่วนย่อยของเสียงพูด โดยแบ่งเป็นเฟรม.....	10
2.8 ฟังก์ชันกรอบชนิด Hamming Window.....	12
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ต่างๆ.....	15
2.10 ระยะเวลาและความถี่การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันของการ แปลงเวฟเล็ต	18
2.11 การลดช่วงกว้างของความถี่ทีละครั้งหนึ่งสำหรับค่าแต่ละค่าสเกล.....	19
2.12 กราฟตัวอย่างของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ	24
2.13 คุณลักษณะของเวฟเล็ตแบบ Haar.....	25
2.14 รูปร่างของฟังก์ชันเวฟเล็ตชนิด Daubechies ที่จำนวนสัมประสิทธิ์ค่าต่างๆ.....	27
2.15 ขั้นตอนการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Multiresolution	33
2.16 การแบ่งสัดส่วนความถี่ในการกรองแต่ละลำดับชั้น.....	33
2.17 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ.....	33
2.18 ชนิดของเวฟเล็ตที่ถูกเลือกใช้งานของ Ranjan, S.....	38
2.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการรู้จำเสียงพูด	39
2.20 ค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดเสียงของเวฟเล็ตทั้ง 6 ชนิด.....	40
2.21 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของเวฟเล็ตแต่ละชนิด.....	40
2.22 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณภาพ ของเวฟเล็ตแต่ละชนิด.....	41
3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโครงสร้างทั้งระบบ.....	43
3.2 รายละเอียดของโปรแกรม โกลเวฟที่นำมาใช้ในการเก็บข้อมูล.....	45
3.3 รายละเอียดของการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง.....	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4	สัญญาณของขั้นตอนกรรมวิธีการปรับระดับของสัญญาณเสียงพูด 47
3.5	สัญญาณเสียงต้นฉบับ ของเสียง “ช่องนนทรี” 48
3.6	สัญญาณเสียงของคำ “ช่อง” 48
3.7	สัญญาณเสียงของคำ “นน” 48
3.8	สัญญาณเสียงของคำ “ทรี” 49
3.9	การแยกองค์ประกอบของความถี่ต่ำและความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ต 49
3.10	ขั้นตอนและองค์ประกอบของการแปลงวิธีเวฟเล็ต 49
3.11	สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ต 50
3.12	กระบวนการบีบอัดและการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด 51
3.13	การคืนกลับสัญญาณเสียงพูดที่มีการเติมค่าศูนย์ 51
3.14	สัญญาณเสียงพูดที่ถูกขจัดด้วยสัญญาณรบกวนชนิดเกาส์เซียนนอยส์ 52
3.15	สัญญาณเสียงพูดที่ถูกลดสัญญาณรบกวนโดยตัวกรองไวน์เนอร์ 53
3.16	สัญญาณเสียงก่อนและหลังในการส่งสัญญาณ โดยใช้เวฟเล็ต 54
3.17	เฟรมสถานะที่ถูกส่งพร้อมกับสัญญาณเสียงพูด 55
4.1	สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับของข้อมูลเสียง 0 ถึง 9 57
4.2	การกำจัดองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง 57
4.3	ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 60
4.4	ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 61
4.5	ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 63
4.6	ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 64
4.7	ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูด ของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 66
4.8	ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน 67

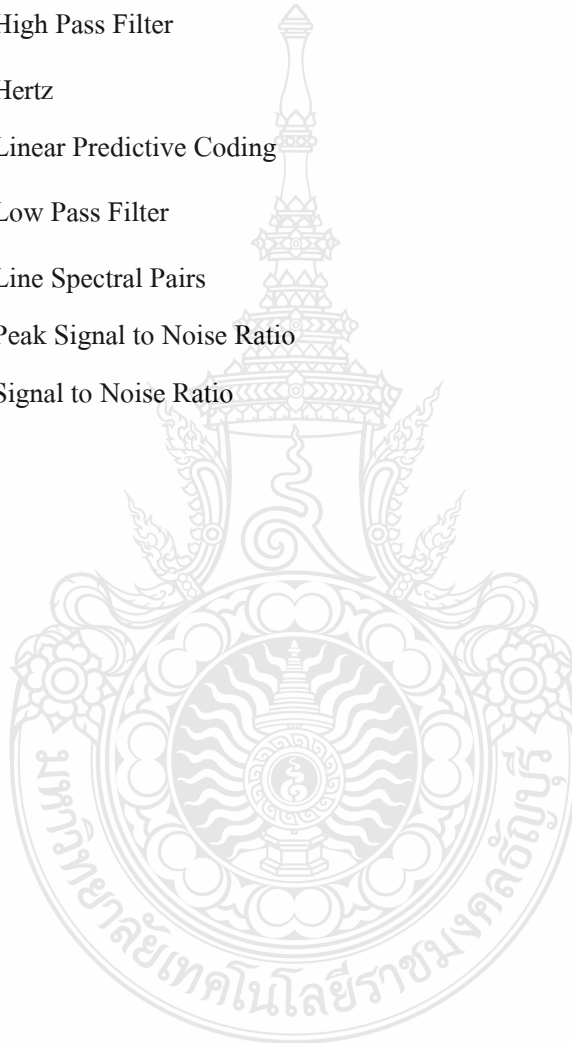
สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 Power Spectrum ของสัญญาณคี่นกลับที่ซัดเซด้วยเกาส์เซียนนอยส์	69
4.10 Power Spectrum ของสัญญาณคี่นกลับหลังผ่าน ไลน์เนอร์ฟิลเตอร์	69



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DB	Daubechies
DWT	Discrete Wavelet Transform
EPD	Endpoint Detection
HPF	High Pass Filter
Hz	Hertz
LPC	Linear Predictive Coding
LPF	Low Pass Filter
LSP	Line Spectral Pairs
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ตั้งแต่การพูดคุย การสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ การสื่อสารทางไกลทั้งภาพและเสียง หรือแม้กระทั่งการสื่อสารผ่านสังคมออนไลน์ องค์กรประกอบที่นำไปสู่กระบวนการสื่อสารได้นั้น ต้องประกอบไปด้วยผู้ส่ง ผู้รับ และช่องทางในการสื่อสาร ซึ่งถ้าพิจารณาในส่วนของช่องทางการสื่อสาร พบว่าในปัจจุบันมีการใช้งานช่องทางการสื่อสารที่มีการรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก ทำให้ช่องทางการสื่อสารไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการสื่อสารมากขึ้น ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านที่มีแนวคิดในการลดปริมาณข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการสื่อสารลง เพื่อให้สามารถใช้อัตราการรับส่งข้อมูลเท่าเดิม แต่สามารถรับส่งข้อมูลได้มากขึ้น ซึ่งสามารถเรียกแนวคิดในการลดปริมาณข้อมูลนี้ว่า การบีบอัดข้อมูล (Data Compression)

ในส่วนของการบีบอัดสัญญาณเสียงนั้น มีหลายเทคนิคที่ได้ถูกคิดค้นและนำมาประยุกต์ในงานวิจัยด้านการวิเคราะห์สัญญาณเสียง ซึ่งหนึ่งในเทคนิคที่นิยมใช้ได้แก่ การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งการบีบอัดสัญญาณโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตนั้น มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด อันได้แก่ การแปลงเวฟเล็ตชนิด Haar, ชนิด Daubechies เป็นต้น ซึ่งในแต่ละชนิดของเวฟเล็ตจะมีคุณลักษณะในการบีบอัดของสัญญาณที่แตกต่างกัน ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆ ที่ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตชนิดต่าง ๆ เช่น งานวิจัยของ Shivesh Ranjan และคณะ [1] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบีบอัดของสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตชนิดต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการรู้จำเสียงภาษาฮินดี งานวิจัยของ Yan Long และคณะ [2] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเล็ตในการประมวลผลสัญญาณเสียง โดยใช้ค่า SNR ในการหาค่าประสิทธิภาพ จากงานวิจัยที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยนำเอาวิธีการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตมาใช้ในการบีบอัดข้อมูลในการสื่อสาร ร่วมการส่งข้อมูลเฉพาะส่วนของสัญญาณเสียง เพื่อลดจำนวนข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการส่งมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการเพิ่มอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดด้วยวิธีเวฟเล็ต

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบวิธีการลดขนาดข้อมูลที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงพูด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด โดยใช้วิธีเวฟเล็ต

1.3.2 เปรียบเทียบผลการลดจำนวนข้อมูลการส่งข้อมูล กับการส่งข้อมูลเฉพาะข้อมูลเสียง

1.3.3 กลุ่มตัวอย่างเสียงพูด 10 คน เป็นชาย 5 คน หญิง 5 คน ผ่านไมโครโฟนบันทึกลงคอมพิวเตอร์

1.3.4 การบันทึกเสียงพูด ทำการบันทึกในห้องทำงานที่มีสภาพแวดล้อมปกติ จัดเก็บเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบโมโน ขนาด 8 บิต อัตราการสุ่มตัวอย่าง 8 กิโลเฮิร์ตซ์

1.3.5 ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการประมวลผลสัญญาณเสียง

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

1) โปรแกรมโกลด์เวฟ (GoldWave) ใช้ในการบันทึกสัญญาณเสียงโมโน ขนาด 8 บิต โดยใช้อัตราสุ่มข้อมูล 8,000 ข้อมูลต่อวินาที

2) โปรแกรม MATLAB ใช้ในการประมวลผลการบีบอัดสัญญาณเสียง

1.4.2 ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งออกได้ เป็น 4 ขั้นตอน

1) ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณเสียง

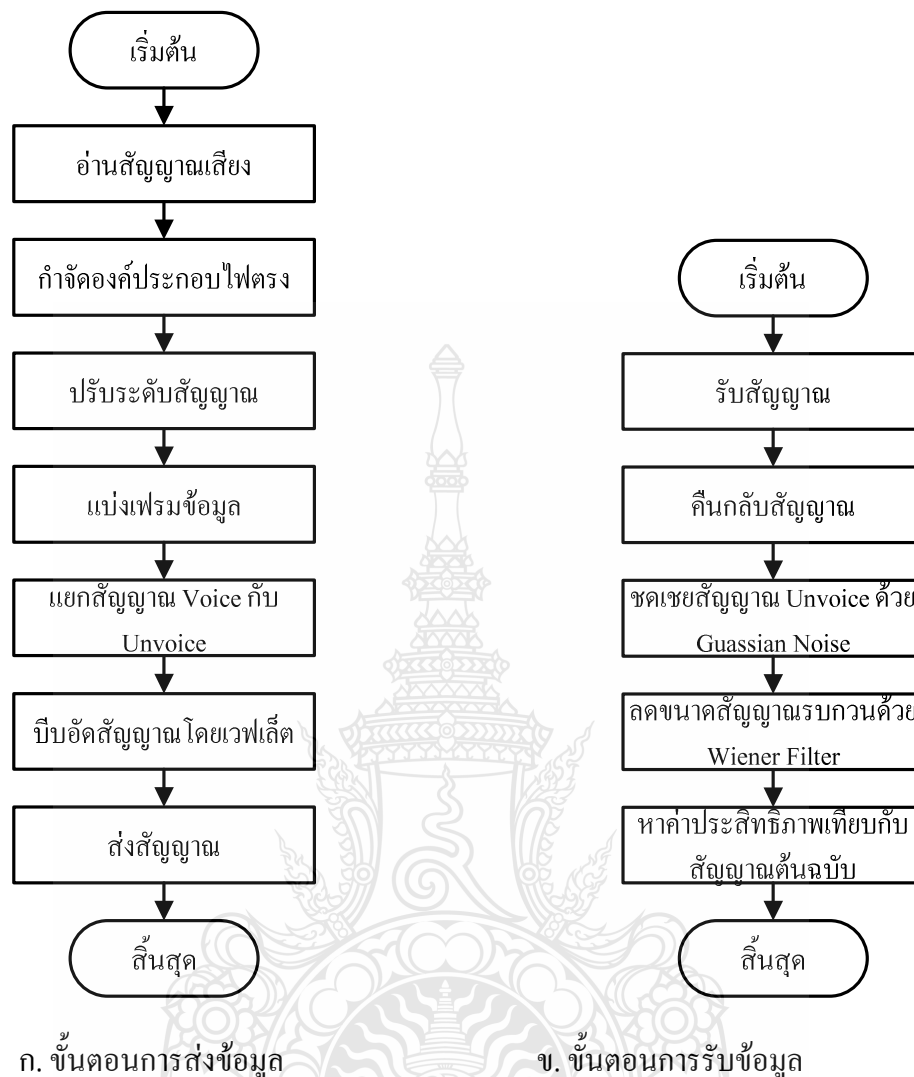
2) ขั้นตอนการเตรียมสัญญาณเสียงก่อนเข้ากระบวนการบีบอัดสัญญาณ

3) ขั้นตอนการแบ่งเฟรมข้อมูล

4) ขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณเสียง โดยการใช้การแปลงเวฟเล็ต

5) ขั้นตอนการคืนกลับสัญญาณเสียง

6) ขั้นตอนการชดเชยสัญญาณเสียง



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการรับส่งข้อมูลที่มีการบีบอัดสัญญาณโดยใช้เวฟเล็ด

1.5 ข้อจำกัดของการศึกษา

- 1.5.1 สภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการบันทึกเสียงไม่นำมาพิจารณาในการศึกษา
- 1.5.2 สำเนียงเสียงพูดและอายุของกลุ่มตัวอย่างไม่นำมาพิจารณาในการศึกษา
- 1.5.3 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล เช่น ไมโครโฟน และการ์ดเสียงของเครื่องคอมพิวเตอร์ ไม่ได้เป็นเงื่อนไขในการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 พัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดเสียงพูด โดยใช้เทคนิคเวฟเล็ต

1.6.2 เป็นแนวทางในการหาคะชยสัญญาณเสียงพูดด้วยเกาส์เซียนนอยส์ (Guassian Noise) ร่วมกับตัวกรองไวน์เนอร์ (Wiener Filter)

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาการบีบอัดเสียง เพื่อลดขนาดของข้อมูล และเวลาในการสื่อสารในชีวิตประจำวัน



บทที่ 2

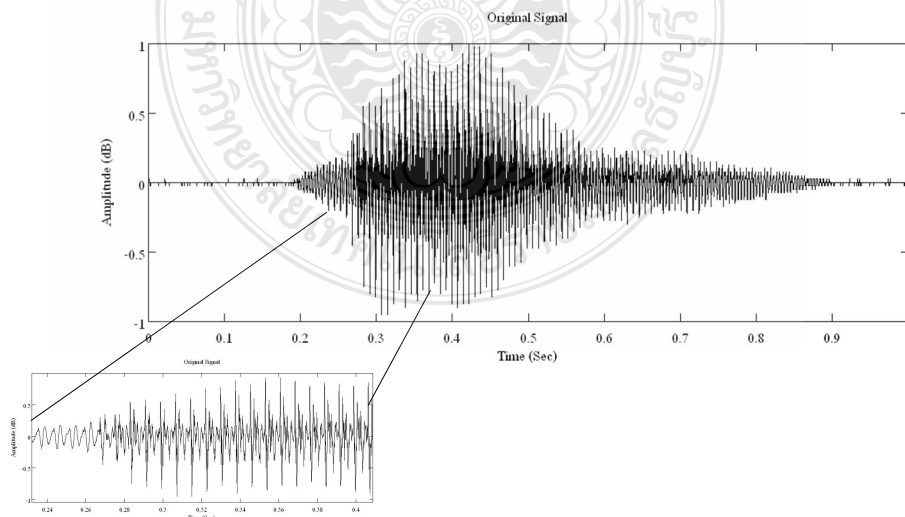
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ออกเป็นหัวข้อต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนเข้าสู่กระบวนการบีบอัด สัญญาณ การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform) การคืนกลับสัญญาณเสียง การชดเชยสัญญาณเสียง และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้

2.1 คุณลักษณะเสียงพูดของมนุษย์

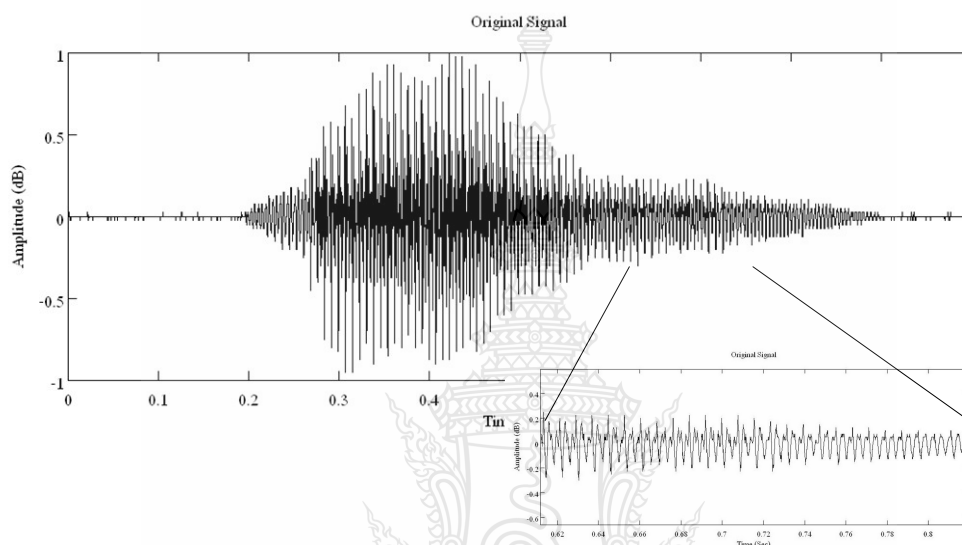
เสียงพูด [3] จะมีลักษณะเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) ซึ่งเกิดจากการสั่นของอนุภาคตัวกลาง นั่นคือ อากาศ และทิศทางการสั่นของอนุภาคจะอยู่ในทิศเดียวกันกับทิศทางของการเคลื่อนที่ คลื่นเสียงเป็นคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เสียงพูดแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามการกำเนิดเสียงหรือการกระตุ้น คือ

2.1.1 เสียงก้องหรือเสียงโฆมะ (Voiced) เกิดจากการบังคับอากาศให้ผ่านช่องสายเสียง ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความตึงหย่อนของเส้นเสียง โดยเส้นเสียงจะสั่นและเกิดเป็นพัลส์ (Pulse) ของอากาศ ไปกระตุ้นอวัยวะกำทอนเกิดเป็นเสียงก้อง ตัวอย่างเสียงก้องได้แก่ เสียงสระ เสียงพยัญชนะ ที่ต้องออกเสียงจากลำคอ (Voiced Consonants)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะสัญญาณเสียงก้องหรือเสียง โฆมะ (Voiced)

2.1.2 เสียงไม่ก้องหรืออโหษะ (Unvoiced หรือ Voiceless) เป็นเสียงที่ไม่เกิดจากการสั่นของเส้นเสียง แต่เกิดในช่องปากหรือโพรงจมูก โดยอวัยวะภายในช่องปาก ริมฝีปาก ซึ่งอาจขัดขวางการไหลของอากาศให้ผ่านได้เป็นช่องเล็กๆ ทำให้อากาศมีการไหลผ่านอย่างรวดเร็วและปั่นป่วนจนกระทั่งสร้างเป็นเสียงรบกวน ช่วงความถี่กว้าง (Broad-Spectrum Noise) ตัวอย่างเสียงไม่ก้องได้แก่ เสียงพยัญชนะที่ไม่ได้เกิดจากลำคอ (Voiceless Consonants)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะสัญญาณเสียงไม่ก้องหรือเสียงอโหษะ (Unvoiced)

2.2 การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด

ธรรมชาติของสัญญาณเสียงพูดมีลักษณะสัญญาณที่ไม่เสถียรและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Non-Stationary) ดังนั้นเมื่อต้องการนำสัญญาณเสียงพูดมาประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing) [4] จำเป็นต้องทำการแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงสั้นๆ (Short Time) เพื่อให้สัญญาณเสียงที่ได้มีความเสถียรและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Stationary) หลังจากนั้นจะนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้ไปประมวลผลต่อในขั้นตอนต่อไป โดยกรอบของเสียงพูด (Speech Frame) ควรมีความยาวประมาณ 10 – 30 มิลลิวินาที เพื่อให้สัญญาณเสียงพูดในแต่ละกรอบเป็นสัญญาณที่มีความเสถียรและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยการเหลื่อมกันของกรอบเสียง (Frame Overlap) ทำให้รอยต่อของลักษณะสำคัญของเสียงพูด (Feature) จากเฟรมของเสียงพูดหนึ่งไปยังอีกเฟรมของเสียงพูดหนึ่งให้เรียบขึ้น (Smooth) ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณเสียงพูดเบื้องต้น จะเป็นการปรับสัญญาณเสียงพูดให้มีความเหมาะสมในการนำสัญญาณไปวิเคราะห์ต่อไป

ในขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด ก่อนนำสัญญาณเข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 การบันทึกสัญญาณเสียง

สัญญาณเสียงพูดที่ใช้ในการบันทึกเสียงในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเลือกใช้การบันทึกข้อมูลเสียงพูดผ่านไมโครโฟนแบบโมนอด้วยอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) 8,000 เฮิร์ตซ์ ข้อมูลขนาด 8 บิตต่อหนึ่งข้อมูล ซึ่งไฟล์เสียงที่ได้จากการบันทึกถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์นามสกุลเวฟ (Wave Format)

2.2.2 การกรองสัญญาณเอซีผ่าน (AC-Coupling)

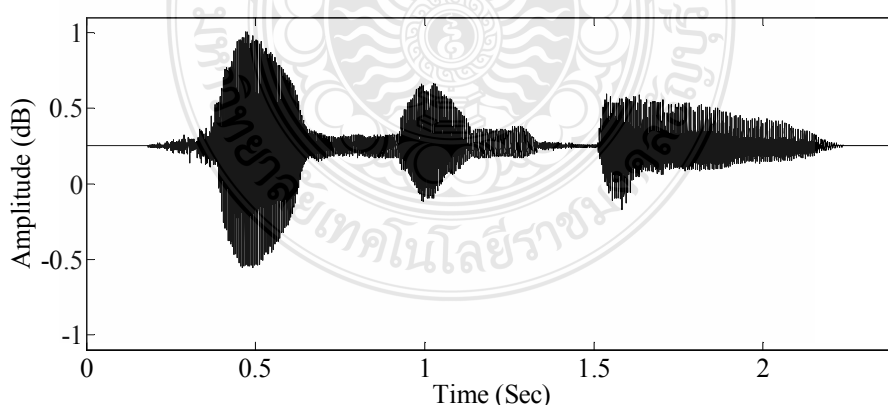
ก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผลสัญญาณ ขั้นตอนแรกต้องกำจัดองค์ประกอบของไฟตรง (DC Component) โดยผ่านตัวกรองสัญญาณ AC-Coupling ซึ่งทำหน้าที่กำจัดองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรงออกจากสัญญาณเสียงพูด โดยใช้สมการดังนี้

$$x(i) = x(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X(i) \quad (2.1)$$

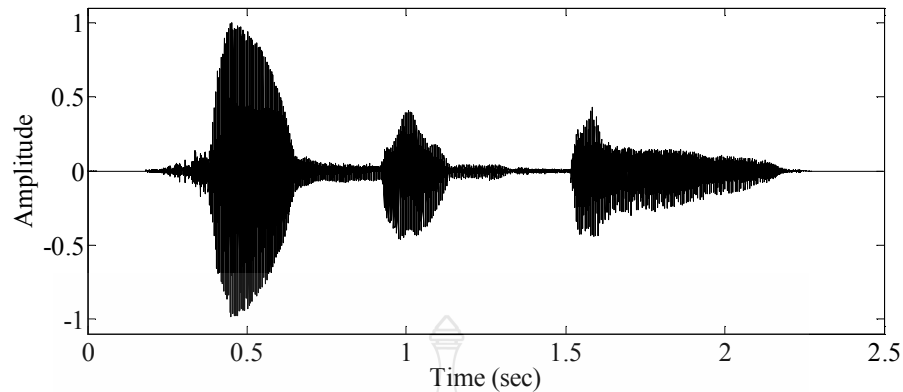
โดยที่ $x(i)$ คือ สัญญาณเสียงอินพุต

N คือ จำนวนข้อมูล

จากสมการที่ 2.1 เป็นการนำสัญญาณเสียงพูด ที่มีจำนวนข้อมูล N ตัว นำไปลบกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ ซึ่งส่งผลให้องค์ประกอบของสัญญาณไฟตรงที่รวมอยู่ในสัญญาณเสียงหายไป ดังภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4



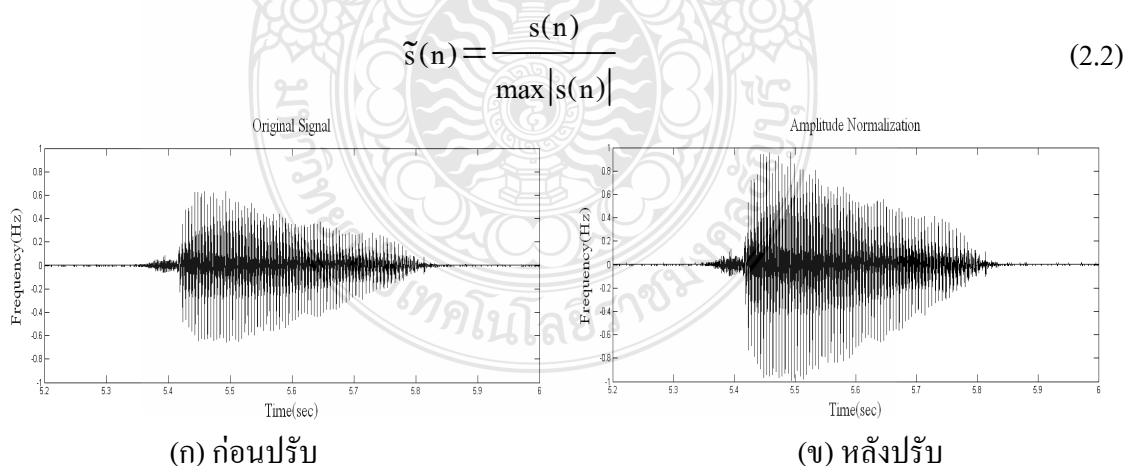
ภาพที่ 2.3 สัญญาณเสียงอินพุตที่มีองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง



ภาพที่ 2.4 สัญญาณเสียงอินพุตที่ถูกตัดองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง

2.2.3 การปรับระดับของสัญญาณเสียง (Amplitude Normalization)

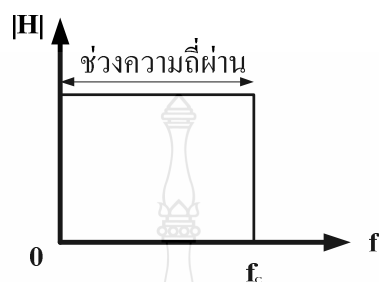
หลังจากการปรับคุณภาพสัญญาณเสียง เนื่องจากระดับของสัญญาณเสียงโดยปกติจะอยู่ระหว่าง -1 เดซิเบล (dB) ถึง $+1$ เดซิเบล ซึ่งเป็นระดับของสัญญาณที่ชัดเจน ดังนั้นก่อนนำสัญญาณไปประมวลผล ต้องทำให้สัญญาณอินพุตต้องมีค่าสูงสุด และต่ำที่สุดอยู่ในช่วงดังกล่าว โดยหลังจากสัญญาณผ่านกระบวนการ Pre-Emphasis แล้วระดับของสัญญาณจะมีค่าลดต่ำลง ดังนั้นในกระบวนการปรับระดับของสัญญาณเสียงจะต้องปรับให้สัญญาณสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วงระดับดังกล่าวโดยใช้สมการที่ 2.2 ซึ่งผลลัพธ์ของสัญญาณเสียงพูดแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การปรับสัญญาณสู่แกนศูนย์

2.2.4 กรรมวิธีการเน้นล่วงหน้า (Pre-Emphasis)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter: LPF) ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำการกรองเอาเฉพาะความถี่เสียงพูดซึ่งอยู่ในช่วง 0 – 4 kHz โดยทำการกำจัดความถี่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป



ภาพที่ 2.6 การกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

ตัวกรองที่สัญญาณความถี่ต่ำที่เลือกใช้ตัวกรองอันดับที่หนึ่ง (First-Order Filter) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปรับความลาดเอียงของขนาดสเปกตรัมของสัญญาณเสียงพูดให้มีขนาดใกล้เคียงกันในทุกย่านความถี่ โดยทำการปรับความลาดเอียงของสัญญาณเสียงพูดในช่วงความถี่สูง ให้เท่ากับสัญญาณเสียงพูดในช่วงความถี่ต่ำ โดยอาศัยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter: HPF) เพื่อให้อัตราส่วนของสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยตัวกรองอันดับที่หนึ่งดังกล่าวจะมีคุณลักษณะของฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนของ Z ดังสมการที่ 2.3

$$H(z) = 1 - az^{-1}, \quad 0.9 \leq a \leq 1.0 \quad (2.3)$$

โดย a เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองอันดับที่หนึ่ง

ซึ่งพบว่าสัญญาณเสียงพูดเอาต์พุตที่ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอนแล้วจะเป็นไปตามสมการที่ 2.4 ซึ่งจะสัมพันธ์กับสัญญาณเสียงพูดอินพุต

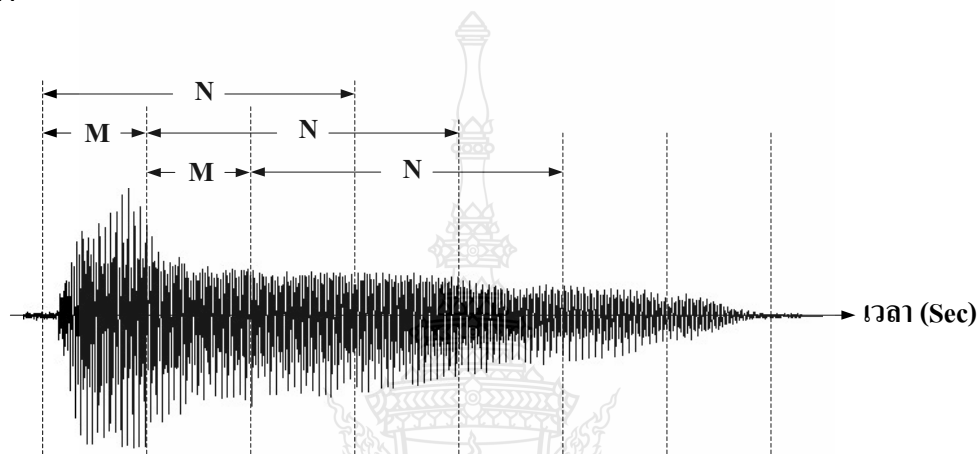
$$\tilde{s}(n) = s(n) - as(n-1) \quad (2.4)$$

โดย $\tilde{s}(n)$ เป็นสัญญาณเสียงพูดเอาต์พุตที่ผ่านกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้า

$s(n)$ เป็นสัญญาณเสียงพูดเอาต์พุต สุ่มตัวอย่างที่ n ก่อนผ่านกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้า

- a เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองอันดับที่หนึ่ง
 $s(n-1)$ เป็นสัญญาณเสียงพูดเอาต์พุต สุ่มตัวอย่างที่ $n-1$ ก่อนผ่านกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้า

2.2.5 การแบ่งส่วนย่อย (Frame Blocking) เป็นขั้นตอนที่จะนำสัญญาณเสียงที่ผ่านกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้ามาทำการแบ่งเป็นเฟรม เฟรมละ N ตัวอย่าง โดยแต่ละเฟรมที่อยู่ติดกันจะอยู่ห่างกัน M ตัวอย่าง



ภาพที่ 2.7 การแบ่งส่วนย่อยของเสียงพูด โดยแบ่งเป็นเฟรม

จากภาพที่ 2.7 พบว่าถ้าค่า $M < N$ จะมีส่วนซ้อนทับกันอยู่ $N - M$ ตัวอย่าง และทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์จากเฟรมหนึ่งไปยังอีกเฟรมหนึ่ง ถ้า $M \ll N$ สัญญาณที่อยู่ในช่วงระหว่างเฟรมสองเฟรมจะมีลักษณะสัญญาณที่ค่อนข้างราบรื่น ในทางกลับ ถ้า $M > N$ จะไม่มีเฟรมที่ติดกันเกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งจะส่งผลให้บางส่วนของสัญญาณเสียงพูดเกิดการสูญหาย นอกจากนี้ยังพบว่าในการนำสัญญาณไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป เฟรมที่ติดกันจะเกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งความผิดพลาดนี้จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อค่า M เพิ่มขึ้น

ดังนั้นกรณีที่ $M = (1/3)N$ เฟรมแรกประกอบด้วยตัวอย่างเสียงพูด N ตัวอย่าง ส่วนเฟรมที่สองเริ่มต้นหลังจากจุดเริ่มต้นของเฟรมแรก M ตัวอย่าง และพบว่าส่วนซ้อนทับ $N - M$ ตัวอย่าง ซึ่งในทำนองเดียวกัน เฟรมที่สามจะเริ่มต้นที่ตัวอย่างที่ $2M$ จากจุดเริ่มต้นของเฟรมแรก (หรือ M ตัวอย่างจากจุดเริ่มต้นของเฟรมที่สอง) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในประมวลผล

โดยให้ $x_1(n)$ เป็นตัวอย่างเสียงที่ n ของเฟรมที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.5

$$x_1(n) = \tilde{s}(M1+n) \quad (2.5)$$

- โดย M เป็นระยะห่างของแต่ละเฟรม
 l เป็นตัวระบุว่าเป็นเฟรมที่เท่าไร โดยที่ $l = 0, 1, \dots, L-1$
 L เป็นจำนวนเฟรมทั้งหมด
 n เป็นจำนวนตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละเฟรม โดยที่ $n = 0, 1, \dots, N-1$
 N เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดใน 1 เฟรม

นั่นคือ เฟรมแรกของเสียงพูด $x_0(n)$ ประกอบด้วยตัวอย่างเสียง

$$\tilde{s}(0), \tilde{s}(1), \dots, \tilde{s}(N-1)$$

เฟรมที่สองของเสียงพูด $x_1(n)$ ประกอบด้วยตัวอย่างเสียง

$$\tilde{s}(M), \tilde{s}(M+1), \dots, \tilde{s}(M+N-1)$$

เฟรมที่สามของเสียงพูด $x_2(n)$ ประกอบด้วยตัวอย่างเสียง

$$\tilde{s}(M(L-1)), \tilde{s}(M(L-1)+1), \dots, \tilde{s}(M(L-1)+N-1)$$

2.2.6 การลดขอบโดยใช้ Hamming Windowing เป็นขั้นตอนเพื่อลดความไม่ต่อเนื่องที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอย่างเสียงในแต่ละเฟรม โดยผลลัพธ์ของสัญญาณเสียงที่ผ่าน Hamming Windowing จะเป็นไปตามสมการที่ 2.6

$$\tilde{x}_1(n) = x_1(n)w(n) \quad (2.6)$$

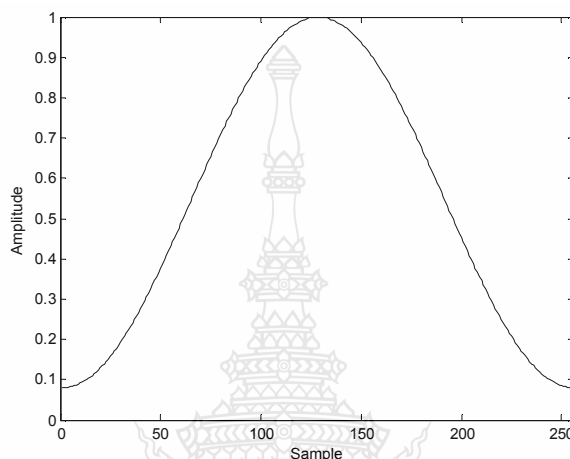
- โดย $w(n)$ เป็นฟังก์ชันหน้าต่างซึ่งทำหน้าที่ลดความไม่ต่อเนื่องของเฟรมที่ 1 ตัวอย่างที่ n
 l เป็นตัวระบุว่าเป็นเฟรมที่เท่าไร โดยที่ $l = 0, 1, \dots, L-1$
 L เป็นจำนวนเฟรมทั้งหมด
 n เป็นจำนวนตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละเฟรม โดยที่ $n = 0, 1, \dots, N-1$
 N เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดใน 1 เฟรม

โดยที่ฟังก์ชันหน้าต่าง Hamming Window: $w_H(n)$ มีรูปแบบของฟังก์ชันตามสมการที่ 2.7

$$w_H(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (2.7)$$

โดย n เป็นจำนวนตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละเฟรม

N เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดใน 1 เฟรม



ภาพที่ 2.8 ฟังก์ชันกรอบชนิด Hamming Window

2.2.7 การตัดหัวท้ายของสัญญาณเสียง (Endpoint Detection: EPD) เป็นการตัดบริเวณที่ไม่ใช่สัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเสียงที่ต้องการ ซึ่งโดยปกติจะอยู่ตรงบริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายของสัญญาณเสียง (Speech Waveform) ที่ได้บันทึกมา ซึ่งทำให้ข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์ในกระบวนการต่อไปมีปริมาณลดลง และทำให้ระบบการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดทำงานได้เร็วขึ้น โดยวิธีการตัดหัวท้ายของสัญญาณเสียงที่มีการใช้งานโดยทั่วไปมีดังนี้

2.2.7.1 วิธีการใช้ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) เริ่มต้นจากการหาค่าสัมบูรณ์ของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงแต่ละจุดที่ n ใดๆ ดังสมการที่ 2.8

$$E(n) = |s(n)| \quad (2.8)$$

เมื่อสัญญาณมีค่า $E(n)$ มากกว่าค่าที่กำหนด (Threshold) ติดกันมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้ (Duration Threshold) ถือได้ว่าเป็นช่วงเริ่มต้นของคำ และทำเช่นเดียวกันในส่วนท้ายของสัญญาณเสียงเพื่อหาจุดสิ้นสุดคำ ข้อดีของการใช้ค่าแอมพลิจูดในการตัดหัวท้าย คือ คำนวณง่ายและใช้เวลาน้อย แต่มีข้อเสีย คือ มีโอกาสตัดคำผิดพลาดได้ ถ้ามีสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดสูง

2.2.7.2 วิธีการใช้ค่าพลังงาน (Energy) โดยการหาค่าพลังงานของสัญญาณเสียงโดยทั่วไป จะใช้เทคนิคการแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นช่วงย่อย (Frame) จากนั้นจึงนำสัญญาณเสียงแต่ละช่วงย่อยมาหาค่าพลังงาน (Short-Time Energy) โดยใช้แนวคิดที่ว่า ส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง (Voiced) จะเป็นส่วนที่มีระดับพลังงานสูงกว่าส่วนที่ไม่ใช่สัญญาณเสียง (Unvoiced) ข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถลดการตัดคำผิดพลาดเมื่อมีสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดสูง แต่มีข้อเสียคือ จุดเริ่มต้นที่คำนวณได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากจุดเริ่มต้นจริงของสัญญาณเสียงพูด

2.2.7.3 วิธีการหาสเปกโตรแกรม (Spectrogram) เป็นการแสดงแผนภาพในแกนของความถี่และแกนเวลา โดยจะใช้หลักการแปลงฟูรีเยร์ เพื่อใช้ในการสร้างแผนภาพสเปกโตรแกรม ซึ่งจะทำให้ทราบว่าสัญญาณเสียงที่เวลาต่างๆ มีความถี่เป็นอย่างไร และเมื่อพิจารณาในแนวแกนแนช (z) ทำให้ทราบถึงค่าระดับพลังงานของสัญญาณเสียงที่ความถี่นั้นๆ ซึ่งจะบ่งบอกเป็นค่าสีต่างๆ บนแผนภาพ

2.2.7.4 วิธีการอัตราการตัดผ่านศูนย์ (Zero-Crossing Rate) เนื่องจากสัญญาณเสียงมีการเปลี่ยนแปลงผ่านแกนเวลา ซึ่งบริเวณที่เป็นสัญญาณเสียงจะมีอัตราการตัดกับแกนเวลาน้อยกว่าบริเวณที่ไม่ใช่สัญญาณเสียง และเนื่องจากบริเวณของสัญญาณเสียงส่วนใหญ่มีค่าพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ และบริเวณที่ไม่ใช่สัญญาณเสียงจะมีพลังงานอยู่ในช่วงความถี่สูง ประกอบกับวิธีการตัดผ่านศูนย์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความถี่ของสัญญาณเสียง ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการนี้มาหาขอบเขตของคำหรือพยางค์ของเสียงพูดได้ โดยสมการของวิธีอัตราการตัดผ่านศูนย์แสดงได้ดังสมการที่ 2.9

$$Z = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N |\text{Sign}(s(n)) - \text{Sign}(s(n-1))| \quad (2.9)$$

โดย

$$\text{Sign}(s(n)) = \begin{cases} 1 & ; s(n) > 0 \\ 0 & ; \text{Other..} \end{cases}$$

2.3 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงฟูรีเยร์ [5] เป็นที่นิยมใช้ในงานการประมวลผลสัญญาณ การแปลงฟูรีเยร์ เป็นการสร้างตัวแทนของสัญญาณอินพุตด้วยฟังก์ชันพื้นฐานของฟูรีเยร์นั่นคือ ฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างต่อเนื่อง (Continuous) มีความถี่คงที่ และมี

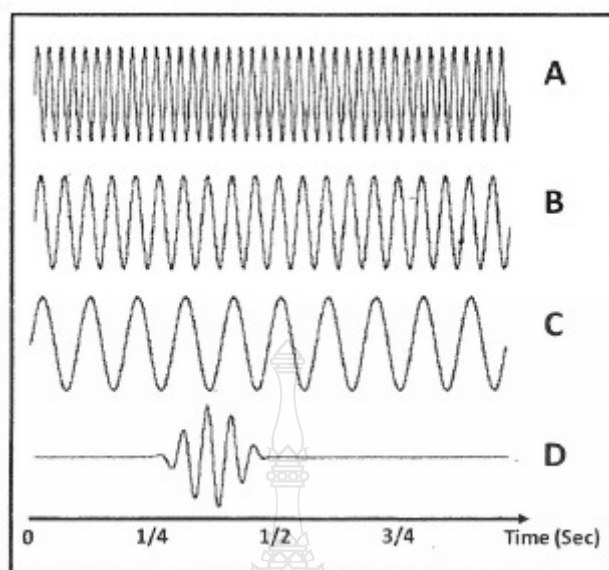
คุณสมบัติการวนซ้ำค่า (Periodic Property) โดยส่วนใหญ่สัญญาณที่ถูกแปลงด้วยการแปลงฟูรีเยร์ จะเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีความถี่คงที่

อย่างไรก็ดี สัญญาณในการประยุกต์ใช้งานจริงส่วนใหญ่ สัญญาณอินพุตสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในแต่ละช่วงเวลาได้เสมอ ตัวอย่างเช่น สัญญาณการตรวจสุขภาพของมนุษย์ สัญญาณตำแหน่งและความเร็วของวัตถุนเรศาร์ พฤติกรรมการลงทุนในตลาดหุ้น หรือแม้แต่ตำแหน่งกักเก็บน้ำมันใต้ดิน ตัวอย่างสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่และสัญญาณพัลส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในช่วงเวลาแสดงในภาพที่ 2.9

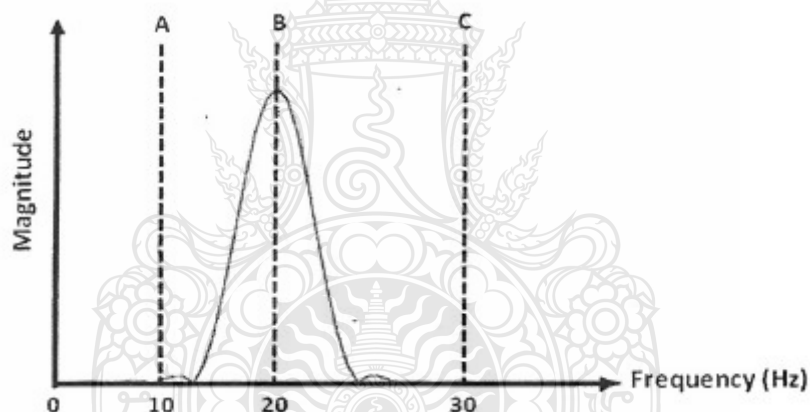
จากภาพที่ 2.9 เมื่อทดลองการหาค่าคอลลิเรชันระหว่างสัญญาณไซน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ (A, B, C) กับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะช่วงเวลา จะพบว่าสัญญาณไซน์ (B) มีความถี่เท่ากับสัญญาณพัลส์ (D) ทำให้ได้ค่าคอลลิเรชันสูงสุด เมื่อเทียบกับสัญญาณไซน์อื่นๆ (เช่น A และ C) ดังแสดงในภาพที่ 2.9(ข)

จะเห็นว่าถึงแม้สัญญาณไซน์ (B) จะมีค่าความสัมพันธ์กับสัญญาณพัลส์ (D) มากที่สุด เนื่องจากมีความถี่ที่เท่ากัน แต่ไม่สามารถที่จะเป็นตัวแทนค่าของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่ต่อเนื่องเช่น สัญญาณพัลส์ (D) ได้ดี แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การแปลงฟูรีเยร์ซึ่งในฟังก์ชันตัวแทนเป็นฟังก์ชันไซน์และโคไซน์เป็นฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าต่อเนื่องในแต่ละความถี่ ไม่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวแทนสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่ต่อเนื่อง เช่น สัญญาณพัลส์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสิ่งนี้เป็นข้อจำกัดของการแปลงความถี่ฟูรีเยร์สำหรับสัญญาณอินพุตก็คือสัญญาณที่มีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงแบบค่าเชิงสถิติไม่คงที่ (Non-Stationary Signal)

ดังนั้นเพื่อให้สามารถสร้างตัวแทนค่าของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่ต่อเนื่องได้ดี จำเป็นต้องสร้างฟังก์ชันตัวแทนที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต่อเนื่อง และทำการเลื่อนฟังก์ชันตัวแทนนี้ไปตามช่วงเวลา เพื่อให้สามารถสร้างตัวแทนค่าสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่ต่อเนื่องและเกิดในช่วงเวลาใดๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก) แสดงการเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นพัลส์



(ข) แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไซน์ความถี่ต่างๆ กับสัญญาณคลื่นพัลส์

ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่าง ๆ [5]

2.3.1 ประวัติและความเป็นมาของทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต (History of Wavelet Transform)

การวิเคราะห์เวฟเล็ตได้ถูกคิดค้นและพัฒนามาบนพื้นฐานของความคิดในรูปแบบที่แตกต่าง โดยเริ่มต้นจากงานของ Haar ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 อย่างไรก็ดี ทฤษฎีเวฟเล็ตที่เป็นผลงานที่โดดเด่นและเด่นชัดที่สุดได้แก่

- 1975 การค้นพบทฤษฎีการแปลงเวฟเลตสำหรับสัญญาณต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform ของ Zwing โดยเริ่มแรกเรียกว่า ทฤษฎีการแปลง Cochlear ซึ่งค้นพบในขณะที่กำลังศึกษาผลตอบสนองต่อสัญญาณเสียงของหู โดยมี Pierre Goupillaud, Grossmann and Morlet เป็นผู้พัฒนาต่อเนื่องมาจนกลายเป็น CWT (Continuous Wavelet Transform) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน
- 1983 ได้พัฒนาต่อมาเป็น Discrete Wavelets โดย Jan-Olov Stromberg
- 1988 Daubechies ได้เสนอ Orthogonal Wavelet with Compact Support
- 1989 Mallat นำเสนอ Multiresolution Framework
- 1993 Newland นำเสนอ Harmonic Wavelet Transform

หลังจากนั้นได้นำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเวฟเลตสามารถใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ หรือแม้กระทั่งการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือของ FBI หรือนำไปใช้ในการบีบอัดข้อมูลได้ดี บ่อยครั้งที่การแปลงเวฟเลตถูกนำไปเปรียบเทียบกับ การแปลงฟูรีเยร์ จุดแตกต่างหลักของการแปลงทั้งสอง คือ การแปลงเวฟเลตเป็นการพิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ผลลัพธ์การแปลงที่ได้ให้ข้อมูลทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่ ในขณะที่การแปลงฟูรีเยร์เป็นการพิจารณาความถี่โดยรวมตลอดสัญญาณอินพุต อย่างไรก็ตามก็มีความพยายามที่จะเปรียบเทียบการแปลงเวฟเลตกับการแปลงฟูรีเยร์ในช่วงเวลาสั้นๆ (Short-time Fourier Transform: STFT) ซึ่งพิจารณาข้อมูลทั้งเวลาและความถี่โดยอาศัยการเลื่อนหน้าต่างเพื่อทำการแปลง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลของการแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเทคนิคทั้งสองแล้ว การแปลงเวฟเลตจะให้ผลลัพธ์การเป็นตัวแทนสัญญาณได้ดีกว่า โดยผ่านทาง การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายความละเอียด (Multiresolution)

เวฟเลต เป็นการวิเคราะห์สัญญาณแบบ Multiresolution โดยการแปลงเวฟเลตจะได้ผลลัพธ์เป็น ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลต (Wavelet Coefficient) การแปลงเวฟเลตจะเป็นการแปลงค่าสัมประสิทธิ์ผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง แต่ฟังก์ชันหน้าต่างนี้สามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะวิเคราะห์ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างนี้ว่า “ฟังก์ชันเวฟเลต (Wavelet Function)”

ทฤษฎีเวฟเลตใช้ในการอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่เสมือนกับการแยกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งอยู่ในรูปของเวฟเลตที่ถูกปรับขนาดและเลื่อนตำแหน่ง และมีค่าถ่วงน้ำหนัก (สัมประสิทธิ์เวฟเลต) ต่างๆ กัน คุณอยู่กับเวฟเลตแต่ละตัว การทำส่วนการแปลง

กลับเวฟเลต (Inverse Wavelet Transform: IWT) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “การแปลงกลับเวฟเลต (Wavelet Reconstruction)”

ให้ $f(t)$ เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยหลายความถี่ ถ้าเราพิจารณาในรูปแบบ 2 มิติ โดยแกนหนึ่งเป็นแกนเวลา และแกนหนึ่งเป็นแกนของความถี่ ดังนั้นสามารถเขียนสมการสำหรับการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (CWT) ที่ใช้ในการแตกกระจายเวฟเลตของสัญญาณของฟังก์ชันใดๆ $f(t)$ ด้วยเวฟเลตแม่ $M(t)$ เป็นดังนี้

$$W_M(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) M^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.10)$$

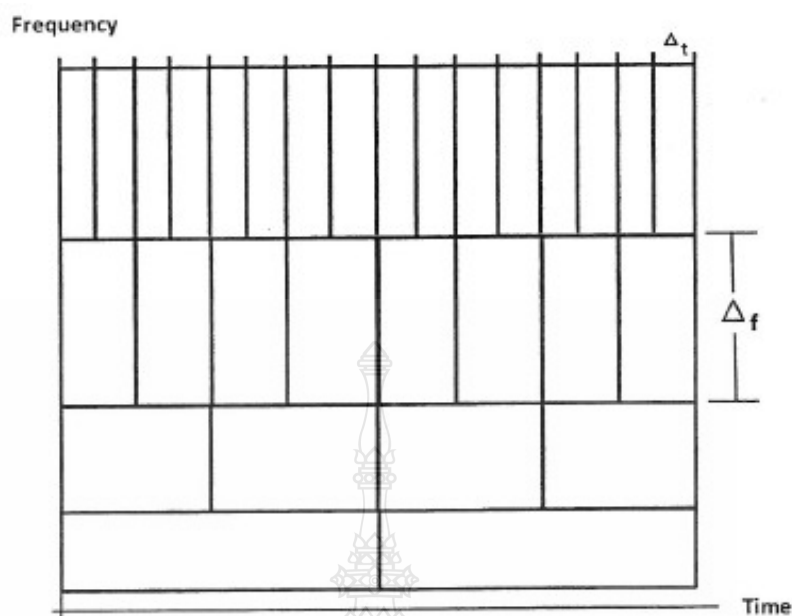
โดย * คือ Complex Conjugate ของ $M(t)$

$M(t)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตที่ได้เป็นผลลัพธ์

ค่า $M(t)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ ซึ่งอาจมองได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Cross-Correlation) ระหว่างสัญญาณที่พิจารณา $f(t)$ และฟังก์ชันเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) โดย $M(t)$ ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งด้วยพารามิเตอร์ b และสเกลความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กัน คือ ในช่วงเวลาความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลากการวิเคราะห์สั้นและในช่วงความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวนานขึ้นเป็นไปดังภาพที่ 2.10 ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะสัญญาณในทางปฏิบัติ

2.3.2 การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT)

การแปลงเวฟเลตสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform: CWT) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT) แต่ในที่นี้กล่าวเฉพาะการแปลงแบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น ฟังก์ชันการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องนี้เป็นการปรับค่าสเกลความถี่ (Scale) และค่าการเลื่อนตำแหน่ง (Translate) ที่ไม่ต่อเนื่องด้วย โดยการแปลงเวฟเลตจะทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแปลง $DWT_{j,k}$ จากการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต $f(x)$ กับฟังก์ชันเวฟเลตแม่ $M(x)$ ที่เลือกใช้ในแต่ละสเกล (j) และการเลื่อนตำแหน่ง (k) ดังสมการที่ 2.11 และสมการที่ 2.12



ภาพที่ 2.10 ระยะเวลาและความถี่การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันของการแปลงเวฟเล็ต [5]

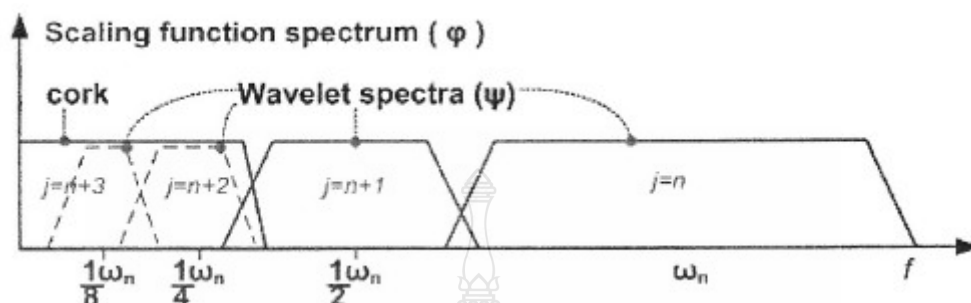
การเลื่อนตำแหน่ง (k) ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ซึ่งแน่นอนย่อมถูกจำกัดด้วยช่วงของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ $[0, N-1]$ แต่เมื่อพิจารณาขอบเขตการปรับความถี่ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ จะพบว่าเมื่อเราทำการปรับขนาดของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ในแกนเวลาด้วยน้ำหนักกำลังสอง (2^j) เทียบได้กับการลดขอบเขตช่วงของความถี่ลงครึ่งหนึ่ง จากคุณสมบัติฟูรีเยร์ในสมการที่ 2.13

$$DWT_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_{j,k}(x) \right] \quad (2.11)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) M(2^j x - k) \right] \quad (2.12)$$

$$F\{f(at)\} = \frac{1}{|a|} F\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (2.13)$$

ดังนั้นการยืดขยายฟังก์ชันเวฟเลตแม่ไปสองเท่าจะเป็นการลดช่วงกว้างของความถี่ที่วิเคราะห์ลงไปครึ่งหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การลดช่วงกว้างของความถี่ที่วิเคราะห์หนึ่งสำหรับค่าแต่ละค่าสเกล [5]

ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความถี่เวฟเลตย่อยลงไปในลักษณะที่ความถี่ถูกปรับลดลงทีละครึ่ง และต้องการวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ความถี่ศูนย์ $f = 0$ จำเป็นต้องทำการแบ่งช่วงความถี่ย่อยลงไปถึงจำนวนอนันต์ค่า จึงจะสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำลงไปจนครอบคลุมถึงความถี่ศูนย์ได้ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นใช้เวลานานเกินไป และถ้าเป็นในกรณีของสัญญาณไม่ต่อเนื่องนั้นเป็นไปได้เลยที่จะทำการวิเคราะห์ความถี่ศูนย์ได้ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ผ่านตำแหน่งความถี่ศูนย์ (Low-pass Spectrum) แยกออกจากช่วงความถี่สูง (High-Pass Spectrum) แทนการพยายามวิเคราะห์ความถี่ย่อยลงเป็นจำนวนอนันต์ครั้ง โดยฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่ต่ำจะเรียกว่า “สเกลลิงฟังก์ชัน (S(f): Scaling Function)” และฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่สูงจะเรียกว่า “เวฟเลตฟังก์ชัน (W(t): Wavelet Function)”

สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling Function)

คุณสมบัติของสเกลลิงฟังก์ชันจะต้องมีค่าโมเมนต์ที่ศูนย์ จะต้องไม่เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(t) dt = 1 \quad (2.14)$$

สามารถทำการแปลงสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำของเวฟเลต (DWT_s: Scaling Coefficients) ด้วยสเกลลิงฟังก์ชัน S(t) ดังแสดงในสมการที่ 2.15

$$DWT_S(j_0, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^{j_0/2} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) S(2^{j_0} x - k) \right] \quad (2.15)$$

โดย j_0 คือ ค่าสเกลความถี่สิ้นสุดของสเกลลิงฟังก์ชัน

k คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

เวฟเลตฟังก์ชัน (Wavelet Function)

$$DWT_w(j, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^{j/2} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W(2^j x - k) \right] \quad (2.16)$$

โดย j คือ ค่าสเกลความถี่เริ่มต้นที่ j_0

k คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตด้วยสเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเลตฟังก์ชันนี้ บางครั้งถูกเรียกว่า “การแยกองค์ประกอบความถี่ของเวฟเลต (Wavelet Decomposition)” ในบางครั้งสเกลลิงฟังก์ชันอาจเรียกว่า “ฟังก์ชันการประมาณค่า (Approximation Function)” ในขณะที่เวฟเลตฟังก์ชันอาจเรียกว่า “ฟังก์ชันรายละเอียด (Detail Function)” ได้เช่นกัน

ตัวอย่าง การแปลงเวฟเลตโดยใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar

$$F(x) = [1 \ 2 \ 3 \ 4]$$

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar

$$M_H(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.17)$$

ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar

$$S_H(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.18)$$

เวฟเล็ดฟังก์ชันแบบ Haar

$$W_H(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.19)$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดด้วยสเกลลิงฟังก์ชันที่สเกล $j_0 = 0$

สเกล (j)	ตำแหน่ง เลื่อน (k)	สัมประสิทธิ์เวฟเล็ด ($DWT_{j,k}$)
$j_0 = 0$	0	$DWT_s(0,0) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left[2^{0/2} \sum_{x=0}^3 f(x) S_{H^{-1},0}(2^0 x) \right]$ $= \frac{1}{\sqrt{4}} \left[(1 \ 2 \ 3 \ 4) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right] = \frac{1}{\sqrt{4}} [1(1) + 2(1) + 3(1) + 4(1)] = \frac{10}{\sqrt{4}}$
	> 0	ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดของสเกลลิงฟังก์ชันที่ $k > 0$ เป็นต้นไป ตัวฟังก์ชัน เวฟเล็ดขยายค่าออกนอกช่วงข้อมูล [0 0 0 0 1 1 1 1] จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณ
		$DWT_s = [DWT_s(0,0)] = [10/\sqrt{4}]$

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดด้วยเวฟเล็ดฟังก์ชัน

สเกล (j)	ตำแหน่ง เลื่อน (k)	สัมประสิทธิ์เวฟเล็ด ($DWT_{j,k}$)
$j_0 = 0$	0	$DWT_w(0,0) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left[2^{0/2} \sum_{x=0}^3 f(x) W_{H0,0}(2^0 x) \right]$ $= \frac{1}{\sqrt{4}} \left[(1 \ 2 \ 3 \ 4) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \right] = \frac{1}{2} [1(1) + 2(1) + 3(-1) + 4(-1)] = \frac{-4}{\sqrt{4}}$
	> 0	ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดของเวฟเล็ดฟังก์ชันที่สเกลมากกว่า '0' เป็นต้นไป ตัวฟังก์ชันเวฟเล็ดขยายค่าออกนอกช่วงข้อมูล [0 0 0 0 1 1 -1 -1] จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตด้วยเวฟเล็ตฟังก์ชัน (ต่อ)

สเกล (j)	ตำแหน่ง เลื่อน (k)	สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ($DWT_{j,k}$)
$j_0 = 1$	0	$DWT_w(1,0) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left[2^{1/2} \sum_{x=0}^3 f(x)_{H_{1,0}}(2^1 x) \right]$ $= \frac{1}{\sqrt{4}} (1 \ 2 \ 3 \ 4) \begin{pmatrix} \sqrt{2} \\ -\sqrt{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{4}} [1(\sqrt{2}) + 2(-\sqrt{2}) + 3(0) + 4(0)] = \frac{-\sqrt{2}}{\sqrt{4}}$
	1	$DWT_w(0,1) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left[2^{1/2} \sum_{x=0}^3 f(x)_{H_{1,1}}(2^1 x - 1) \right]$ $= \frac{1}{\sqrt{4}} (1 \ 2 \ 3 \ 4) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \sqrt{2} \\ -\sqrt{2} \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{4}} [1(0) + 2(0) + 3(\sqrt{2}) + 4(-\sqrt{2})] = \frac{-\sqrt{2}}{\sqrt{4}}$
	≥ 2	เวฟเล็ตฟังก์ชัน $W_{H_{1,k}}(2^1 x - k)$ ถูกเลื่อนตำแหน่งออกไปนอกขอบเขตของค่าช่วงข้อมูล $[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1]$ จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณ
		$DWT_w = [DWT_w(0,0), DWT_w(1,0), DWT_w(1,1)]$ $= \frac{1}{\sqrt{4}} [-4, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}]$

จากผลลัพธ์จะได้จำนวนสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจะมีจำนวน 4 ค่า เท่ากับจำนวนค่าของสัญญาณอินพุต คือ

$$DWT = [DWT_s(0,0), DWT_w(0,0), DWT_w(1,0), DWT_w(1,1)] = \frac{1}{\sqrt{4}} [10, -4, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}]$$

การแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse Discrete Wavelet Transform)

การแปลงกลับเวฟเล็ตเพื่อทำการสร้างคืน (Reconstruction) สัญญาณอินพุตต้นฉบับ $f(x)$ โดยการคำนวณผลรวมของความสัมพัทธ์ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตและฟังก์ชันการแปลง

สัมประสิทธิ์ทั้งจากทางสเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเลตฟังก์ชันที่แต่ละสเกล (j) และการเลื่อนตำแหน่ง (k) ดังแสดงในสมการที่ 2.20

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k DWT_s(j_0, k) 2^{j_0/2} S_{j_0, k}(2^{j_0} x - k) + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k DWT_w(j, k) 2^{j/2} W_{j, k}(2^j x - k) \quad (2.20)$$

ตัวอย่าง การแปลงกลับสัมประสิทธิ์เวฟเลต โดยใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar ผลลัพธ์การแปลงกลับสำหรับสเกลลิงฟังก์ชัน

$$F_{s(0,0)} = \frac{1}{\sqrt{4}} DWT_s(0,0) \cdot S_{0,0}(x) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left\{ \frac{10}{\sqrt{4}} [1,1,1,1] \right\} = \frac{1}{\sqrt{4}} [10,10,10,10]$$

ผลลัพธ์การแปลงกลับสำหรับเวฟเลตฟังก์ชัน

$$F_{w(0,0)} = \frac{1}{\sqrt{4}} DWT_w(0,0) \cdot W_{0,0}(x) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left\{ \frac{-4}{\sqrt{4}} [1,1,-1,-1] \right\} = \frac{1}{4} [-4,-4,4,4]$$

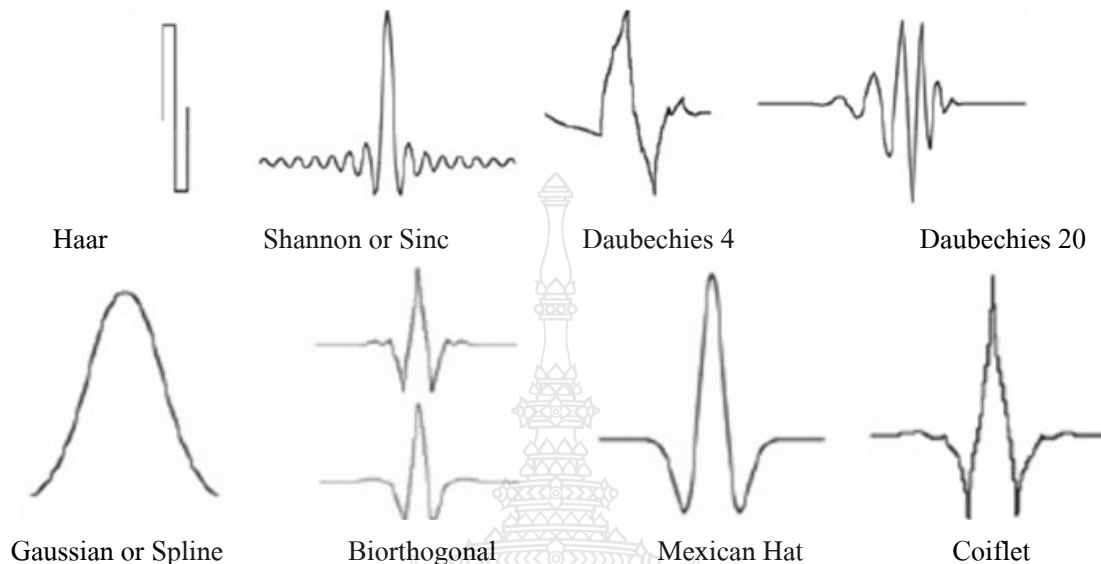
$$F_{w(1,0)} = \frac{1}{\sqrt{4}} DWT_w(1,0) \cdot W_{1,0}(x) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left\{ \frac{-\sqrt{2}}{\sqrt{4}} [\sqrt{2}, -\sqrt{2}, 0, 0] \right\} = \frac{1}{4} [-2, 2, 0, 0]$$

$$F_{w(1,1)} = \frac{1}{\sqrt{4}} DWT_w(1,1) \cdot W_{1,1}(x) = \frac{1}{\sqrt{4}} \left\{ \frac{-\sqrt{2}}{\sqrt{4}} [0, 0, \sqrt{2}, -\sqrt{2}] \right\} = \frac{1}{4} [0, 0, -2, 2]$$

2.3.3 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่เป็นฟังก์ชันต้นแบบที่จะถูกนำไปใช้เพื่อแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตสำหรับแต่ละสเกลและตำแหน่ง โดยมีผู้นำเสนอฟังก์ชันเวฟเลตแม่หลากหลายฟังก์ชัน ตัวอย่างเช่น

Haar, Daubachies, Gaussian or Spline, Biorthogonal, Mexican Hat, Coiflet Wavelet เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.11

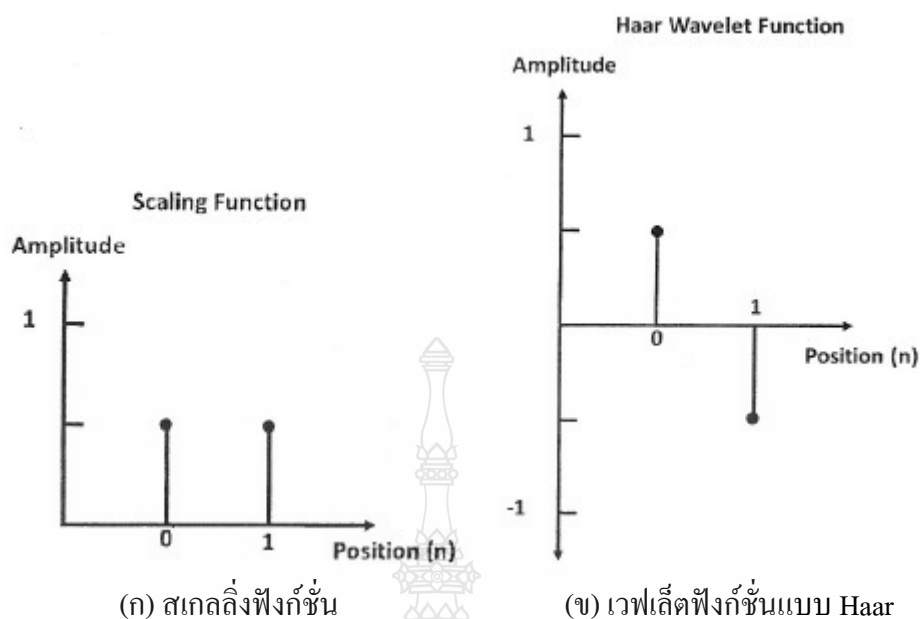


ภาพที่ 2.12 กราฟตัวอย่างของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ชนิดต่าง ๆ [5]

2.3.3.1 ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Haar (Haar Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Haar เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตที่นำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายที่สุด ใช้เวลาในการประมวลผลสั้นและใช้หน่วยความจำในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้อะเรย์ชั่วคราว (Temporary Array) ในการเก็บข้อมูลระหว่างการประมวลผล ดังเช่นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ตัวอื่นๆ นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Haar ยังมีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonality) นั่นคือ ฟังก์ชันเวฟเล็ตทุกฟังก์ชันจะตั้งฉากกันทั้งหมด โดยค่าของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Haar เป็นดังสมการที่ 2.21 และภาพที่ 2.13

$$g_H(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.21)$$



ภาพที่ 2.13 คุณลักษณะของเวฟเลตแบบ Haar [5]

ค่าของฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar จะทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าผลต่างของข้อมูลในตำแหน่งข้างเคียง โดยค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่ต่ำ และค่าผลต่างที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่สูง

อย่างไรก็ดีข้อจำกัดของฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar คือ ไม่สามารถรวบรวมค่าการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดขนาดใหญ่ (Sharp Spike) ไว้ในสัมประสิทธิ์ความถี่สูงได้ เมื่อการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นในบางลักษณะทำให้การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตด้วยฟังก์ชัน Haar ไม่สามารถแยกข้อมูลระหว่างความถี่ต่ำและความถี่สูงออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการบีบอัดสัญญาณและการกำจัดสัญญาณรบกวน และเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชัน Haar ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต่อเนื่อง (Continuous Signal) ที่มีค่าของอนุพันธ์ที่มีลำดับต่อเนื่อง (Continuous Derivatives)

2.3.3.2 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Daubechies (Daubechies Mother Wavelet)

ฟังก์ชันแม่ของการแปลงเวฟเลตแบบนี้ เรียกชื่อตามนักคณิตศาสตร์ผู้คิดค้น คือ “Ingrid Daubechies” เป็นหนึ่งในกลุ่มของฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) โดยเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ที่คุณสมบัติของฟังก์ชันถูกกำหนดด้วยจำนวนค่าของโมเมนต์ที่หายไป (Vanishing Moment) สูงสุด ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันพื้นฐาน D_M มีคุณสมบัติมีค่ากระชับ (Compact Support) ในช่วง $[0, 2r+1]$ และจะเข้าสู่ศูนย์เมื่อออกนอกช่วง

2. ค่าโมเมนต์ลำดับที่ $0 - r$ มีค่าเป็นศูนย์

$$\int_{-\infty}^{\infty} D_M(x) dx = \dots = \int_{-\infty}^{\infty} x^r D_M(x) dx = 0$$

3. ฟังก์ชันพื้นฐาน D_M มีค่าอนุพันธ์ต่อเนื่องได้จนถึงอนุพันธ์อันดับที่ $r/5$

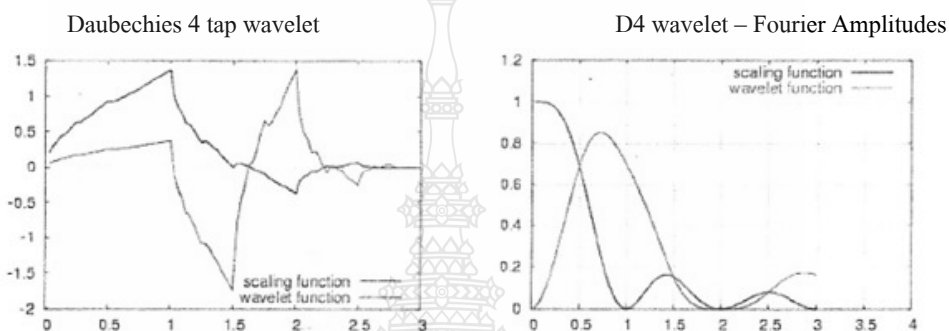
ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Daubechies มีตั้งแต่ $D_2 - D_{20}$ โดยค่าตัวเลขจะกำหนดจำนวนของสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของฟังก์ชันเวฟเล็ต Daubechies และแต่ละฟังก์ชันจะมีค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น D_2 หรือเทียบได้กับฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar ซึ่งมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 1 ค่า และเช่นเดียวกันกับ D_4 จะมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 2 ค่า

จำนวนค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแทนค่าสมการที่มีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (Polynomial) ของพฤติกรรมหรือข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการพิจารณา ตัวอย่างเช่น D_2 ที่มีเพียงโมเมนต์ค่าเดียวสามารถสร้างเป็นตัวแทนฟังก์ชันโพลิโนเมียลสำหรับหนึ่งสัมประสิทธิ์หรือแทนได้เพียงองค์ประกอบที่คงที่ของสัญญาณเท่านั้น ในขณะที่ D_4 สามารถเข้ารหัสฟังก์ชันโพลิโนเมียลได้ 2 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่และความสัมพันธ์เชิงเส้นขององค์ประกอบของสัญญาณและ D_6 ทำให้เราสามารถประมาณสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันโพลิโนเมียล 3 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่ ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น และความสัมพันธ์เชิงซ้อนกำลังสอง (Second Order Polynomial) ขององค์ประกอบของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์

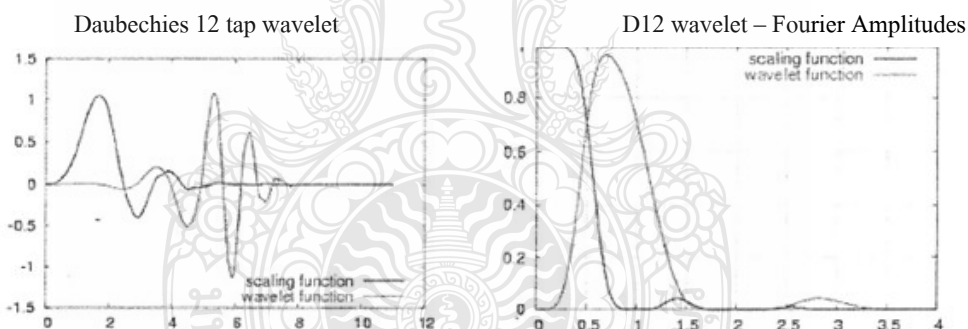
ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Daubechies นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies สำหรับ D_2, D_{12} และ D_{20} แสดงดังภาพที่ 2.14

ตัวอย่างฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Daubechies4 (D_4) จะมีสัมประสิทธิ์การกรองทั้งหมด 4 ค่า (4 Tap Filters) ซึ่งประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการกรองสัญญาณความถี่ต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการกรองสัญญาณความถี่สูงจำนวน 4 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 2.3

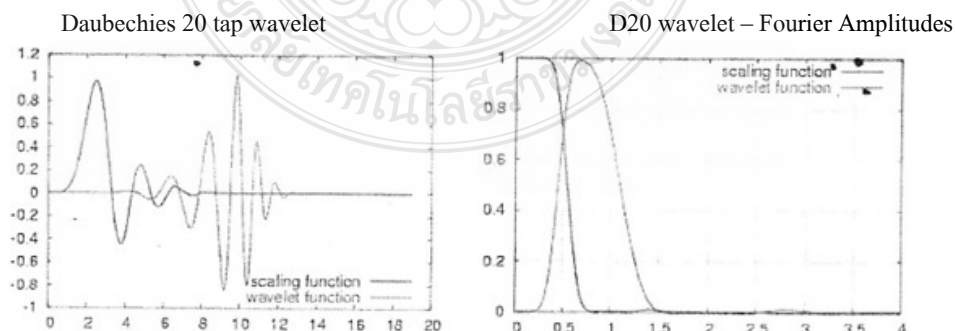
Daubechies สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัด (Finite Length Filter) ได้ง่าย ด้วยฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัดนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงตำแหน่งเฉพาะพื้นที่ได้ (Spatial Domain Localization) และยังมีคุณสมบัติที่สามารถวิเคราะห์ความถี่ต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันต่อการหาอนุพันธ์ต่อเนื่อง (Continuous Derivatives Analyze) และสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือเส้นขอบของวัตถุ (Edge Artifacts) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก) จำนวนสัมประสิทธิ์ 4 ตำแหน่ง (Tap) (ข) จำนวนสัมประสิทธิ์ความถี่ 4 ตำแหน่ง



(ค) จำนวนสัมประสิทธิ์ 12 ตำแหน่ง (Tap) (ง) จำนวนสัมประสิทธิ์ความถี่ 12 ตำแหน่ง



(จ) จำนวนสัมประสิทธิ์ 20 ตำแหน่ง (Tap) (ฉ) จำนวนสัมประสิทธิ์ความถี่ 20 ตำแหน่ง

ภาพที่ 2.14 รูปร่างของฟังก์ชันเวฟเลตชนิด Daubechies ที่จำนวนสัมประสิทธิ์ค่าต่างๆ [5]

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การกรองของฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies จำนวน 4 ค่า (D_4)

สัมประสิทธิ์การกรอง ความถี่ต่ำ (Scaling Function)	$h_0 = \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$	$h_1 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$	$h_2 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$	$h_3 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$
สัมประสิทธิ์การกรอง ความถี่สูง (Wavelet Function)	$g_0 = h_3$	$g_1 = -h_2$	$g_2 = h_1$	$g_3 = -h_0$

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลต มีลักษณะคล้ายกับการหาเฉลี่ยค่าของข้อมูลด้วยตัวถ่วงน้ำหนักซึ่งค่าตัวถ่วงน้ำหนัก คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเลตที่เลือกใช้นั่นเอง และด้วยการออกแบบที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Daubechies ทำให้สามารถรักษาแนวโน้มของข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่ความถี่ต่ำ ถึงแม้ว่าการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตด้วยเวฟเลตแบบ Daubechies อาจไม่สามารถให้ผลดีกว่าเวฟเลตแบบ Haar ได้ทุกรูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน แต่มีงานวิจัยที่ศึกษาพบว่าการแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเวฟเลตแบบ Daubechies ให้ผลการวิเคราะห์สัญญาณได้ดีในหลากหลายรูปแบบการทดลอง จากการศึกษาการรูปร่างของฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar เทียบกับฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies พบว่าสัญญาณที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (Sharp Spike) สามารถวิเคราะห์ได้ดีกว่าด้วยเวฟเลตแบบ Daubechies นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายโอนพลังงาน (Energy) ส่วนใหญ่ของสัญญาณไว้ในช่วงความถี่ต่ำและเหลือพลังงานปริมาณน้อยอยู่ในช่วงความถี่สูง ซึ่งแตกต่างจากฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ ซึ่งจะมีการถ่ายโอนพลังงานไปยังช่วงความถี่สูงมากกว่าเมื่อข้อมูลถูกบีบอัดในช่วงความถี่สูงนี้มักจะถูกตัดทิ้งเพื่อลดขนาดของข้อมูล

2.3.3.3 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Biorthogonal (Biorthogonal Mother Wavelet)

ในการแยกองค์ประกอบหรือการหาสัมประสิทธิ์การแปลงฟังก์ชันพื้นฐานส่วนใหญ่ มักจะมีคุณสมบัติตั้งฉาก แต่ในความเป็นจริงฟังก์ชันพื้นฐานการแปลงไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากเสมอไป ดังนั้นเพื่อความยืดหยุ่นในการสร้างฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตสามารถลดเงื่อนไขการตั้งฉาก เนื่องจากการออกแบบให้ฟังก์ชันเวฟเลตมีคุณสมบัติทั้งตั้งฉาก (Biorthogonal) กระจาย (Compactly Support) และสมมาตร (Symmetric) พร้อมๆ กันนั้นเป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติกระจายและสมมาตรมักจะต้องสูญเสียคุณสมบัติตั้งฉากไป แต่การสูญเสียนี้อาจไม่ส่งผลเสียร้ายแรงนัก ถ้าสามารถออกแบบฟังก์ชันการแปลงหลายระดับความละเอียด (Multi-resolution) เป็นฟังก์ชันชุดคู่ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก

(Primary Basis Function) และฟังก์ชันคู่เทียบ (Dual Basis Approximation Wavelet) 2 ชุด คือ $A_w(j), \tilde{A}_w(j)$ และฟังก์ชันเวฟเลตที่ใช้กรองสัญญาณความถี่สูง (Wavelet Function : Detail Wavelet ($D_w(j)$)) 2 ชุด คือ $D_w(j), \tilde{D}_w(j)$ โดยเป็นฟังก์ชันชุดคู่

1. มีคุณสมบัติการตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันคู่เทียบของตัวเอง

$$\langle A_w(t), \tilde{A}_w(t-k) \rangle = \delta(k)$$

$$\langle D_w(t), \tilde{D}_w(t-k) \rangle = \delta(k)$$

2. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเลตกรองความถี่ต่ำ $A_w(j)$ และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเลตกรองความถี่สูง $\tilde{D}_w(j)$

$$\langle A_w(t), \tilde{D}_w(t-k) \rangle = 0$$

3. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเลตกรองความถี่สูง $D_w(j)$ และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเลตกรองความถี่ต่ำ $\tilde{A}_w(j)$

$$\langle D_w(t), \tilde{A}_w(t-k) \rangle = 0$$

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีคุณสมบัติ Biorthogonal มีความสามารถในการรวบรวม (Capturing) ค่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วด้วยการใช้จำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อย ดังนั้นเทคนิคของการแปลงเวฟเลตแบบนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณ (Signal Approximation) สำหรับการประมาณสัญญาณนี้เป็นปัญหาที่สำคัญของการแทนสัญญาณด้วยองค์ประกอบจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่มีความเป็นไปได้ ซึ่งคุณสมบัติการลดขนาดของข้อมูลภาพด้วยการแทนด้วยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตจำนวนน้อย เป็นพื้นฐานการบีบอัดภาพด้วยเวฟเลต ตัวอย่างฟังก์ชันเวฟเลตแม่ เช่น Daubechies 9/7 ซึ่งนิยมใช้ในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบสูญเสียข้อมูล (Lossy Compression) และ LeGall 5/3 ซึ่งนิยมเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบไม่มีการสูญเสียข้อมูล (Lossless Compression) ในมาตรฐาน JPEG2000 และได้รับการยอมรับว่าเป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่ให้ผลการบีบอัดข้อมูลที่ดี

จะสังเกตได้ว่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงเวฟเลตของฟังก์ชันแม่แบบ Biorthogonal นี้จะมีจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ในการกรองสำหรับฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันคู่เทียบไม่เท่ากัน เช่น ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Daubechies 9/7 โดยจำนวนค่าสัมประสิทธิ์การกรองมีจำนวน 9 และ 7 ค่าเพื่อใช้ในการแปลงเวฟเลต (Decomposition Wavelet: Analysis Filter) และค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงกลับเวฟเลต (Reconstruction Wavelet: Synthesis Filter) ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การกรองของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Daubechies 9/7 และ Le Gall 5/3 แสดงในตารางที่ 2.4 และ 2.5

นอกจากนั้นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Biorthogonal ยังมีคุณสมบัติสมมาตรและกระชับ คุณสมบัติสมมาตรนี้เป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการสร้างฟังก์ชันการกรองเนื่องจากให้ผลลัพธ์ของฟังก์ชันการแปลงที่ให้ความสัมพันธ์ของเฟสเชิงเส้น (Linear Phase)

2.3.4 การสร้างเวฟเล็ตแม่แบบจากฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยม (Two-Scale Relation from Rectangular Pulse)

การสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบสามารถสร้างได้จากการถ่วงน้ำหนักของลำดับของพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีการสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งการออกแบบค่าถ่วงน้ำหนักสามารถออกแบบได้เช่นเดียวกับการออกแบบสัมประสิทธิ์การกรองสัญญาณ สมการฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ ดังสมการที่ 2.22

$$M(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_k P\left(\frac{2x}{s} - k\right) \quad (2.22)$$

$$P(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.23)$$

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและการแปลงเวฟเล็ตสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำและความถี่สูงของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies 9/7

K	Analysis Filter		Synthesis Filter	
	Approximation Wavelet : Low Pass Filter (Dual Function)	Detail Wavelet : High Pass Filter (Dual Function)	Approximation Wavelet : Low Pass Filter (Primary Function)	Detail Wavelet : High Pass Filter (Primary Function)
-4,4	0.026748757411	0	0	0.026748757411
-3,3	-0.016864118443	-0.091271763114	-0.091271763114	0.016864118443
-2,2	-0.078223266529	0.057543526229	-0.057543526229	-0.078223266529
-1,1	0.266864118443	-0.591271763114	0.591271763114	-0.266864118443
0	0.602949018236	1.11508705	1.11508705	0.602949018236

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดและการแปลงเวฟเล็ดสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำและความถี่สูงของฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่แบบ Le Gall 5/3

k	Lowpass Filter (h_k)	Highpass Filter (g_k)
0	6/8	1
± 1	2/8	1/2
± 2	-1/8	

1. ทำการแทนค่าฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ซึ่งอยู่ในรูปแบบของผลรวมของการถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยมในสมการแปลง

$$W_M(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2P} \sqrt{2t-n}$$

$$\begin{aligned} W_M(2^j x - k) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2P} \sqrt{2(2^j x - k) - n} \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2P} \sqrt{2^{j+1} x - 2k - n}; \quad m = 2k + n \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2P} \sqrt{2^{j+1} x - m}; \quad n = m - 2k \end{aligned}$$

2. นำฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่มาทำการแปลงเวฟเล็ด

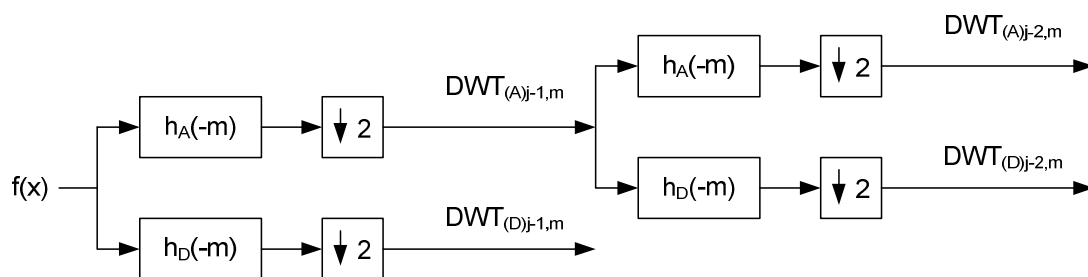
$$DWT_{j,k} = \frac{2^{j/2}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2P} \sqrt{2^{j+1} x - m}$$

3. ทำการจัดเรียงสมการใหม่จะพบว่า การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดเป็นการแปลงแบบเป็นลำดับที่เกิดจากการทำคอนโวลูชัน (Convolution) ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่กับ

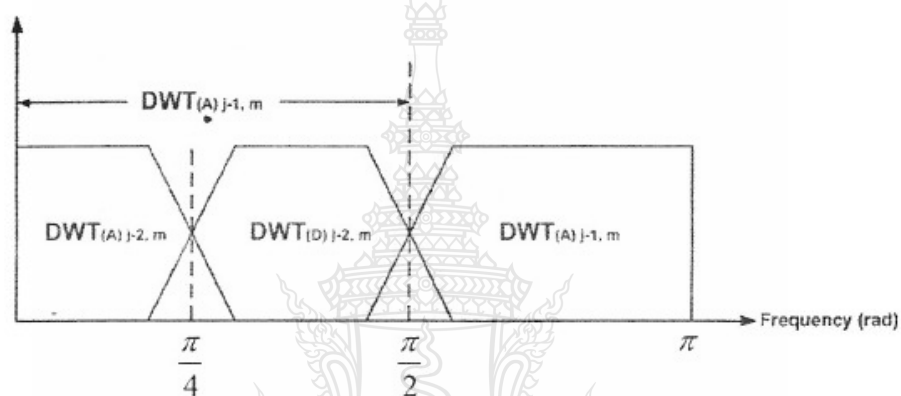
สัมประสิทธิ์เวฟเลตที่สเกลก่อนหน้า และทำการลดการสุ่มตัวอย่าง (Down Sampling) ด้วย
องค์ประกอบ (Factor) ของสอง

$$\begin{aligned}
 DWT_{j,k} &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} 2^{-\frac{j+1}{2}} f(x) h_{m-2k} P(2^{j+1} x - m) \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \frac{2^{-\frac{j+1}{2}}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) P(2^{j+1} x - m) \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} DWT_{j+1,m} \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{(-2k-(-m))} DWT_{j+1,m} \\
 &= h_{-m} * DWT_{j+1,m} \quad \left| \begin{array}{l} m = 2k, k \geq 0 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

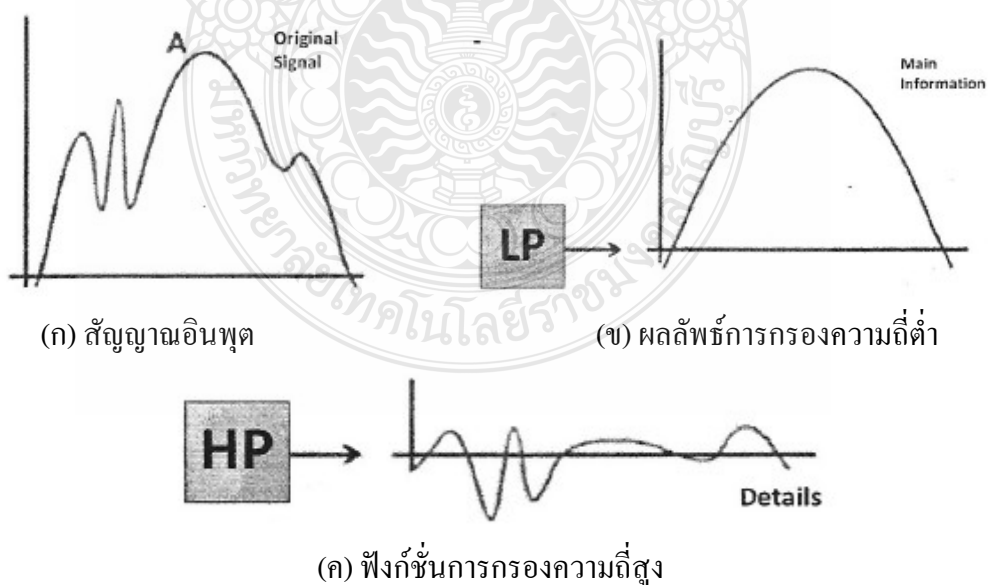
ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวถ่วงน้ำหนักในฟังก์ชันเวฟเลตแม่นี้จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองสัญญาณนั่นเอง และการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตจะทำการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณกับตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Approximation Function: $h_A(-m)$) และตัวกรองความถี่สูง (Detail Function: $h_D(-m)$) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองนี้จะถูกลดความละเอียดลงครึ่งหนึ่ง จึงทำให้ความละเอียด (Resolution) ของผลลัพธ์เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ และสามารถทำการแปลงต่อไปอย่างเป็นลำดับของความละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 2.15 – 2.17 ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดขึ้นในช่วงความถี่เฉพาะที่สนใจ



ภาพที่ 2.15 ขั้นตอนการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทแบบ Multiresolution [5]



ภาพที่ 2.16 การแบ่งสัดส่วนความถี่ในการกรองแต่ละลำดับชั้น [5]



ภาพที่ 2.17 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ทแบบหลายระดับ [5]

2.4 การประเมินคุณภาพของเสียงพูด

คุณภาพในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด [6] จะพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น อัตราการบีบอัดสัญญาณ คุณภาพเสียงที่ผ่านการบีบอัด (Speech Quality) ความซับซ้อนของการบีบเข้ารหัสสัญญาณ (Complexity มีหน่วยเป็น Million Instructions per Second: MIPS) ค่าประวิงเวลา (Delay Time) ความทนทานต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณ (Robustness) หรือการสอดแทรกที่เกิดจากเสียงอื่นๆ (Acoustic Interferences) เช่น เสียงรบกวน (Noise) สัญญาณ DTMF ในระบบโทรศัพท์ สัญญาณของโมเด็ม เป็นต้น ในการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลได้แบ่งคุณภาพของเสียงพูดออกเป็น 4 ระดับ คือ

- ระดับกระจายเสียง เสียงพูดในระดับนี้จะอ้างถึงเสียงพูดบรรยายที่มีคุณภาพสูง โดยปกติจะมีอัตราการเข้ารหัสตั้งแต่ 64 kbps ขึ้นไป
- ระดับเครือข่าย คุณภาพเสียงจะสามารถเทียบได้กับเสียงพูดในระบบอนาลอก ในช่วงความถี่ 200 – 3200 เฮิรตซ์ โดยปกติจะมีอัตราการเข้ารหัสตั้งแต่ 16 kbps ขึ้นไป
- ระดับสื่อสาร ยอมให้คุณภาพเสียงลดลงได้บ้าง แต่ยังคงความเป็นธรรมชาติของเสียงอยู่ มีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้ในการสื่อสาร สามารถสร้างได้โดยอัตราการเข้ารหัสตั้งแต่ 4.8 kbps ขึ้นไป แต่ปัจจุบันมีเป้าหมายให้ลดลงมาที่ 4.0 kbps
- ระดับสังเคราะห์ สามารถรับฟังได้เข้าใจ แต่ไม่เป็นธรรมชาติ และสูญเสียคุณสมบัติในการรู้จำของเสียงพูด มีอัตราการเข้ารหัสต่ำกว่า 4.0 kbps

2.4.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณเชิงวัตถุ (Objective Measurement)

การวัดคุณภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียง เป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีความยุ่งยาก ซึ่งวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย คือ การใช้ค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน Signal-to-Noise Ratio: SNR และการใช้ค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการวัดค่าเชิงวัตถุ (Objective Measurement) ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณ

2.4.1.1 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio)

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (บางครั้งอาจเขียนเป็น SNR หรือ S/N) เป็นการวัดที่มีใช้ในงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อหาปริมาณของสัญญาณที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งค่า SNR หาได้จากอัตราส่วนของพลังงานของสัญญาณเทียบกับพลังงานของสัญญาณที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวน ค่าอัตราส่วนของสัญญาณมีค่ามากกว่า 1:1 จะ

หมายถึงว่าสัญญาณมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวน ซึ่ง SNR สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสัญญาณประเภทต่างๆ เช่น การหาระดับของไอโซโทปในแกนน้ำแข็ง หรือสัญญาณชีพระหว่างเซลล์

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_c^2} \right| \quad (2.24)$$

โดย σ_x^2 คือ ค่ากำลังสองสมบูรณ์ของสัญญาณเสียง
 σ_c^2 คือ ค่ากำลังสองสมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับกับสัญญาณเสียงคืนกลับ

2.4.1.2 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise Ratio)

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุดเป็นค่าในทางวิศวกรรมศาสตร์ที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังสูงสุดของสัญญาณ เทียบกับพลังงานที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไปจากเดิม ส่วนใหญ่แล้ว PSNR จะถูกนำเสนอในรูปแบบของลอการิทึม

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x - r\|^2} \quad (2.25)$$

โดย N คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ
 X คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองสูงสุด
 $\|x - r\|^2$ คือ ความแตกต่างของค่าพลังงานระหว่างสัญญาณต้นฉบับและสัญญาณที่ถูกคืนกลับ

2.4.2 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณเชิงผู้ฟัง (Subjective Measurement)

วิธีการวัดประสิทธิภาพสัญญาณเสียงอีกแบบหนึ่งใช้การรับรู้ และความรู้สึกรับรู้ของมนุษย์เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน คือ การวัดประสิทธิภาพสัญญาณเชิงผู้ฟัง ซึ่งนิยมใช้ค่า Mean Opinion Score: MOS เป็นวิธีที่แพร่หลายในการทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพของสัญญาณเสียง

2.4.2.1 Mean Opinion Score: MOS

ในระบบมัลติมีเดีย (สัญญาณเสียง, สัญญาณเสียงจากโทรศัพท์ หรือสัญญาณวิดีโอ) ที่มีการบีบอัดสัญญาณเสียง เพื่อมุ่งเน้นให้ใช้แบนด์วิดท์ที่ลดลง โดยค่า Mean Opinion Score มีวัตถุประสงค์เพื่อชี้วัดคุณภาพที่ได้จากการรับรู้ของสัญญาณเสียงเมื่อผ่านกระบวนการบีบอัด หรือผ่านกระบวนการรับส่งข้อมูล ซึ่งค่า MOS มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 โดยค่า 1 เป็นค่าเสียงมีคุณภาพในการ

รับรู้ที่น้อยที่สุด และค่า 5 จะมีคุณภาพของเสียงในการรับรู้ที่ดีที่สุด ซึ่งค่า MOS เป็นวิธีการประเมินคุณภาพเสียงวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียงระหว่างเสียงพูดต้นแบบกับเสียงพูดที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล หรือผ่านกระบวนการรับส่งข้อมูล โดยใช้การรับรู้และความรู้สึกของมนุษย์เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน (Subjective Measurement)

ตารางที่ 2.6 ค่า MOS ที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบต่าง ๆ

ช่วงคะแนน	การใช้งาน
4.5-5.0	Broadcast Quality
4.0-4.5	Network or Toll Quality
3.5-4.0	Communication Quality
2.5-3.5	Synthetic Quality

วิธีการประเมินหรือวัดคุณภาพเสียงนั้นจะใช้คนประมาณ 12-24 คน ทดสอบคุณภาพเสียงด้วยการฟัง โดยที่แต่ละคนจะให้คะแนนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1-5 ตามคุณภาพของสัญญาณที่ตัวเองรู้สึก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยแต่ละเสียงพูดว่าอยู่ในระดับใด

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดวิธีการให้คะแนนในการวัด MOS

คะแนน	คุณภาพของเสียง
5	ดีมาก (คุณภาพเสียงชัดเจนและเข้าใจง่าย)
4	ดี (คุณภาพเสียงดีและเข้าใจง่าย แต่อาจได้ยินเสียงรบกวนบ้าง)
3	พอใช้ (คุณภาพเสียงดีและเข้าใจ ได้แต่อาจต้องการอาศัยความตั้งใจ หรือบางที่ต้องขอให้พูดซ้ำ)
2	เลว (คุณภาพเสียงดีและเข้าใจได้ก็ต่อเมื่อมีความตั้งใจมาก ๆ และบ่อยครั้งที่ต้องขอให้พูดซ้ำ)
1	เลวมาก (ฟังไม่รู้เรื่องเลย)

ค่า MOS เป็นค่าเฉลี่ยของคะแนนรายบุคคล ซึ่งสามารถอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 (แย่ที่สุด) ถึง 5 (ดีที่สุด) ระบบการบีบอัดเสียงและการประมวลผลสัญญาณเสียงซึ่งถูกใช้ในการสื่อสารทางเสียงสามารถทำให้ใช้แบนด์วิดท์ที่ลดลง แต่ยังคงรักษาสมดุลระหว่างคุณภาพของสัญญาณเสียงเมื่อเทียบกับการใช้แบนด์วิดท์ที่ลดลง การบีบอัดสัญญาณที่ดีจะต้องทำให้ใช้งาน แบนด์วิดท์ได้ประหยัดที่สุด แต่คุณภาพเสียงลดลง

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างของค่า MOS ที่ใช้งานกับการบีบอัดข้อมูลประเภทต่างๆ [7]

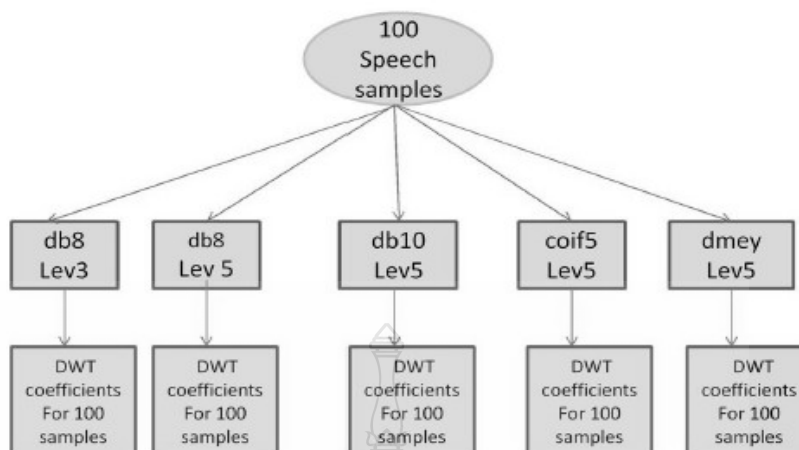
การบีบอัดข้อมูล	อัตราการบีบอัด (kbit/s)	Mean Opinion Score (MOS)
G.711 (ISDN)	64	4.3
iLBC	15.2	4.14
AMR	12.2	4.14
G.729	8	3.92
G723.1 r63	6.3	3.9
GSM EFR	12.2	3.8
G.726 ADPCM	32	3.8
G.729a	8	3.7
G.723 r53	5.3	3.62
G.728	16	3.61
GSM FR	12.2	3.5

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยทางการประมวลผลสัญญาณเสียงพูดได้มีการพัฒนาหลากหลายรูปแบบและหลายแนวทาง ทั้งความแม่นยำในการรู้จำ ความซับซ้อนในการประมวลผล ความรวดเร็วในการตัดสินใจ รวมไปถึงจำนวนของสัญญาณที่นำมาทดสอบ จึงแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยนั้นๆ ตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมานำมาเสนอนี้ จึงได้คัดเลือกเฉพาะงานที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กำลังทำอยู่ดังต่อไปนี้

2.5.1 งานวิจัยเรื่อง“A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition” ปี ค.ศ.2010

เป็นงานวิจัยของ Ranjan, S. [1] ซึ่งทำการวิจัยเรื่องการแปลงเวฟเล็ตเพื่อช่วยลดการประมวลผลในขั้นตอนการรู้จำเสียงพูดภาษาฮินดี โดยใช้การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตชนิดต่างๆ เช่น Daubechies, Coiflet และ Mayer Wavelet เป็นต้น เพื่อลดขนาดข้อมูลเสียงก่อนนำเข้าผู้กระบวนการสกัดค่าคุณลักษณะโดยใช้ Linear Predictive Coding (LPC) ร่วมกับการอัลกอริทึม K-Mean เพื่อใช้ในการรู้จำเสียงพูด โดยใช้หมวดค่าในการทดสอบคือ ตัวเลขศูนย์ ถึง เก้า ในภาษาฮินดี (Hindi Language) ซึ่งใช้วัดประสิทธิภาพของเวฟเล็ตชนิดต่างๆ จากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการรู้จำเสียงพูดโดยแยกเป็นแต่ละคำและแยกตามชนิดของเวฟเล็ต

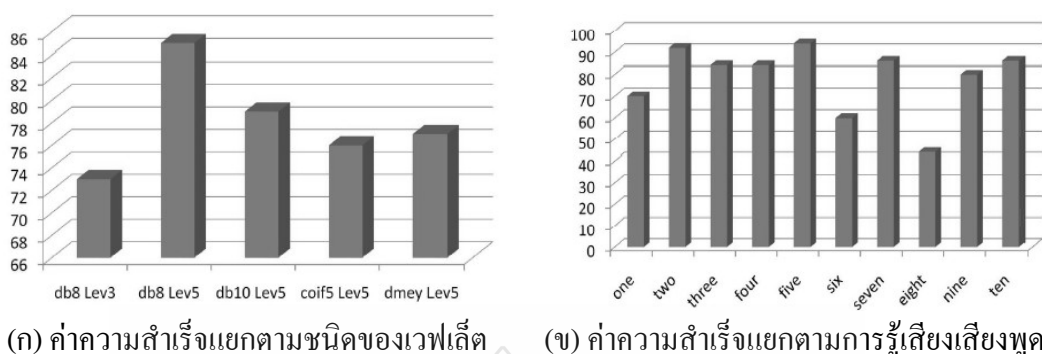


ภาพที่ 2.18 ชนิดของเวฟเล็ตที่ถูกเลือกใช้งานของ Ranjan, S. [1]

ในการหาค่าประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จที่เกิดจากกระบวนการรู้จำ ซึ่งเลือกใช้กลุ่มคำ “One” ถึง “Ten” ในภาษาฮินดี ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของเวฟเล็ตทั้ง 5 ชนิด

Hindi Word	Db 8 Level 3	Db 8 Level 5	Db 10 Level 5	Coif 5 Level 5	Dmeyer Level 5
One (“ek”)	90	70	50	70	70
Two (“do”)	90	100	100	70	100
Three (“teen”)	100	80	90	90	60
Four (“char”)	50	100	80	100	90
Five (“panch”)	80	100	100	100	90
Six (“chhae”)	30	60	70	70	70
Seven (“saat”)	70	90	90	100	100
Eight (“aath”)	50	60	30	20	60
Nine (“nau”)	80	90	90	90	50
Ten (“dus”)	90	100	90	50	100



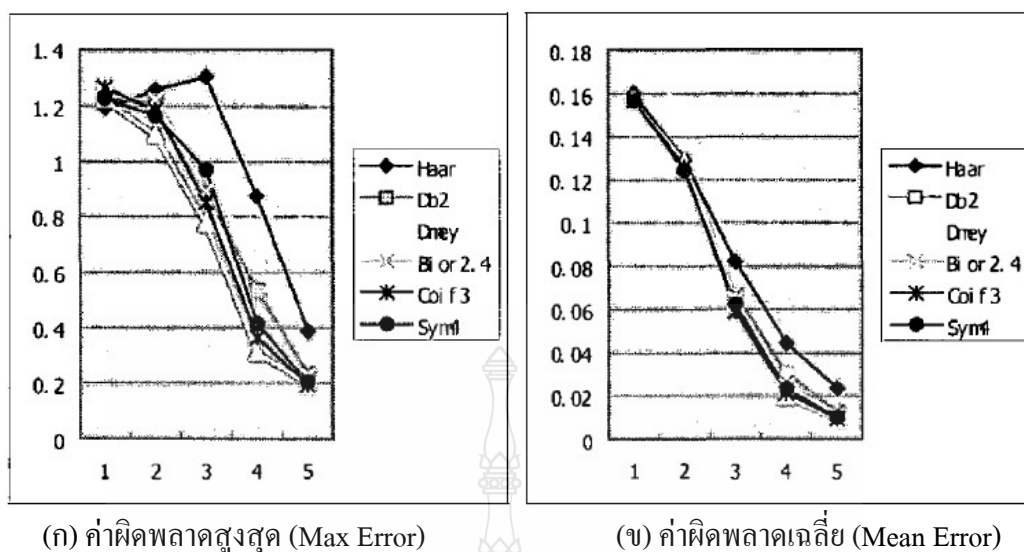
ภาพที่ 2.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการรู้จำเสียงพูด [1]

2.5.2 งานวิจัยเรื่อง “Selection of The Best Wavelet Base for Speech Signal” ปี ค.ศ.2004

เป็นงานวิจัยของ Yan Long Liu Gang Guo Jun [2] ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกเวฟเลตที่เหมาะสมในการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเลต 6 ชนิด ได้แก่ Haar, Daubechies, Discrete Meyer, Biorthogonal, Coiflets, Symlets ซึ่งใช้การหาประสิทธิภาพจากค่าผิดพลาดเฉลี่ย และค่าผิดพลาดสูงสุดในการเปรียบเทียบ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้พบว่า ค่าผิดพลาดที่ได้จากเวฟเลตชนิด DMeyer มีค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 2.9 เนื่องจากมีค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุด ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิจัยด้านการวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูด นอกจากนี้จากผลการวิจัยยังพบว่าเวฟเลตชนิด Haar ไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูด เนื่องจากมีที่ผิดพลาดสูง ในแต่ละระดับของเวฟเลตชนิด Haar

ตารางที่ 2.10 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากเวฟเลตทั้ง 6 ชนิด

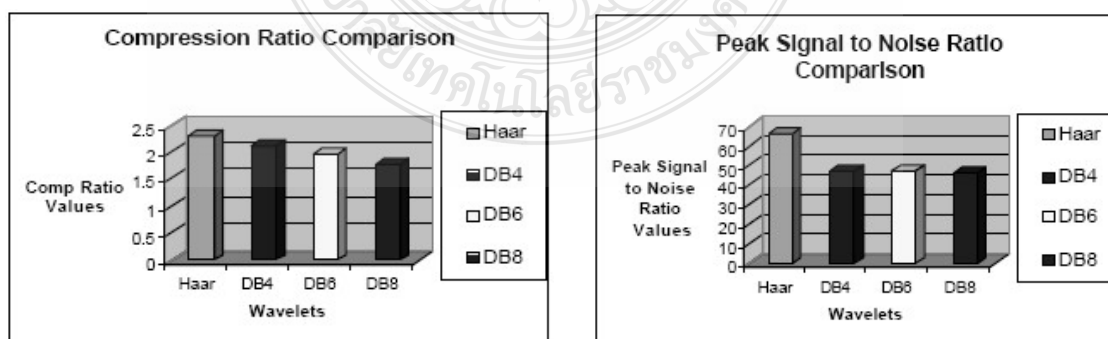
		Haar	Db 2	Dmeyer	Bior 2.4	Coif 3	Sym 4
Level 1	MaxEr	1.1923	1.2219	1.2219	1.2364	1.2637	1.2264
	MeanEr	0.1600	0.1575	0.1570	0.1571	0.1571	0.1572
Level 2	MaxEr	1.2560	1.2202	1.0926	1.2210	1.1872	1.1661
	MeanEr	0.1293	0.1236	0.1290	0.1248	0.1263	0.1247
Level 3	MaxEr	1.3023	0.8869	0.7737	0.8914	0.8505	0.9707
	MeanEr	0.0822	0.0668	0.0629	0.0645	0.0589	0.0622
Level 4	MaxEr	0.8745	0.5332	0.3094	0.3871	0.3649	0.4141
	MeanEr	0.0445	0.0304	0.0195	0.0245	0.0211	0.0231
Level 5	MaxEr	0.3894	0.2358	0.1975	0.2285	0.1958	0.2054
	MeanEr	0.0235	0.0126	0.0093	0.0110	0.0096	0.0100



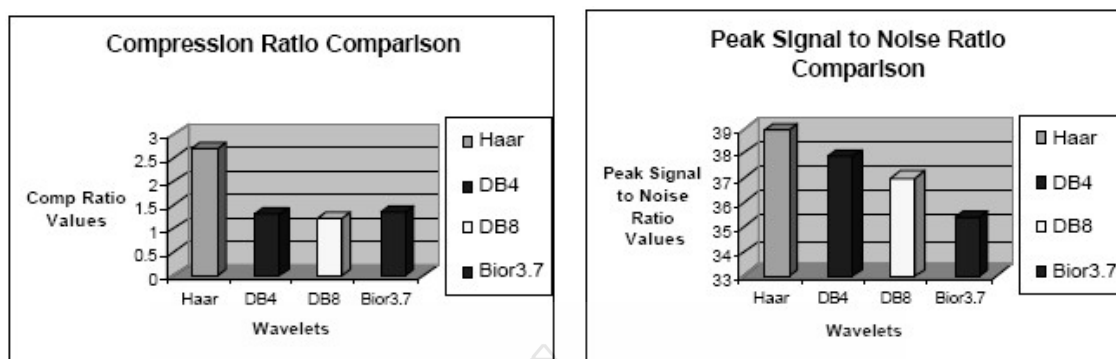
ภาพที่ 2.20 ค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดเสียงของเวฟเล็ตทั้ง 6 ชนิด [2]

2.5.3 งานวิจัยเรื่อง “Speech and Image Compression Using Discrete Wavelet Transform” ปี ค.ศ. 2005

เป็นงานวิจัยของ Junejo, N. Ahmed, N. Unar, M.A. Rajput, A.Q.K. [8] ทำการหาประสิทธิภาพบีบอัดสัญญาณเสียงพูดและสัญญาณภาพ โดยใช้ค่า SNR, ค่า PSNR, ค่า Retained Energy: RSE และค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณ (Compression Ratio) ซึ่งจากผลงานวิจัยพบว่าเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องเหมาะสำหรับการประมวลผลสัญญาณภาพและเสียงที่เป็นแบบ Non-Stationary โดยเวฟเล็ตชนิด Haar มีประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงที่ดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า SNR ที่มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเวฟเล็ตชนิดอื่นๆ คือ ค่า SNR = 2.31 ในการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด และ SNR = 2.67 ในการประมวลผลสัญญาณภาพ



ภาพที่ 2.21 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ของเวฟเล็ตแต่ละชนิด [8]



ภาพที่ 2.22 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณภาพ ของเวฟเลตแต่ละชนิด [8]

2.5.4 งานวิจัยเรื่อง “Speech Compression using Discrete Wavelet Transform” ปี ค.ศ. 2003

เป็นงานวิจัยของ A. Mawla และคณะ [9] ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับการหาประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง โดยทำการหาค่าประสิทธิภาพจาก SNR: Signal-to-Noise Ratio, PSNR: Peak Signal-to-Noise Ratio และ NRMSE: Normalized Root Mean Square Error โดยทำการทดสอบกับเสียงพูดขนาด 8 บิต ที่ความถี่ 8 kHz จากผลการวิจัยพบว่าเวฟเลตชนิด Daubechies 10 (db10) ให้ค่า SNR และ PSNR ที่สูงที่สุดทั้งเสียงพูดของเพศชายและเพศหญิง นอกจากนี้ยังให้อัตราการบีบอัดของเพศชายสูงถึง 4.31

ตารางที่ 2.11 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ของเสียงพูดของเพศชาย [9]

Wavelet	SNR	PSNR	NRMSE	Compression Ratio
Haar	11.0629	32.6760	0.2905	4.2132
Db2	13.5463	34.9784	0.2229	4.1973
Db4	15.8458	35.7811	0.2032	4.2685
Db6	16.4659	95.3953	0.2011	4.2750
Db8	16.7117	35.6370	0.2066	4.2685
Db10	17.9800	35.9800	0.2016	4.3100

ตารางที่ 2.12 ค่าประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ของเสียงพูดของเพศหญิง [9]

Wavelet	SNR	PSNR	NRMSE	Compression Ratio
Haar	11.1069	29.4633	0.2966	4.1149
Db2	13.6546	31.6625	0.2303	4.1190
Db4	15.1925	32.7288	0.2037	4.1190
Db6	15.1205	33.1249	0.1873	4.1289
Db8	15.1452	33.1309	0.1877	4.1027
Db10	15.2194	33.2194	0.1829	4.1787

2.5.5 งานวิจัยเรื่อง “การรู้จำเสียงพูดคำไทยด้วยวิธีการเอ็มเอ็ฟซีซีและโครงข่ายประสาทเทียม” ปี พ.ศ. 2550

เป็นงานวิจัยของ จักรพันธ์ จิตรทรัพย์ [10] ซึ่งทำการศึกษาการรู้จำเสียงพูดคำไทยด้วยวิธีการเอ็มเอ็ฟซีซีและโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้การดึงคุณลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงทั้งในระดับคำ และระดับพยางค์ด้วยวิธี MFCC จากนั้นจะนำคุณลักษณะเด่นของเสียงที่ได้ไปเข้าแบบจำลองการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียมประเภทเพอเซปตรอนหลายชั้นและมีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ ซึ่งผลของวิธีการนี้ทำให้ได้ความถูกต้องของการรู้จำ 94.375%

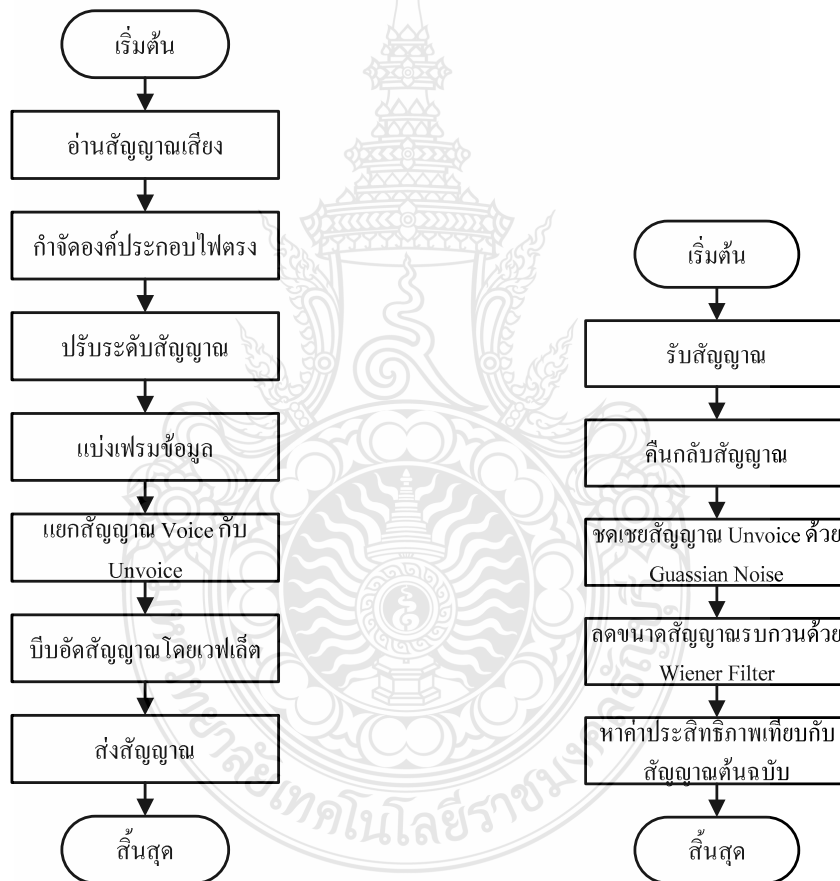
2.5.6 งานวิจัยเรื่อง “Double Clustering Algorithm applied to Speaker Dependent Information” ปี ค.ศ. 2004

เป็นงานวิจัยของ Jakkree Srinonchat [11] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างการบีบอัดข้อมูลให้มีค่า Bit Rate ต่ำลงด้วยการใช้ LPC-10 แบบใหม่ โดยพบว่าค่าพารามิเตอร์ LPC ที่ใช้ทั่วไปจะให้ค่าการควอนไทซ์ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้นในกรณีที่ระดับความแตกต่างของสัญญาณเสียงพูดมีระดับต่ำ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความผิดพลาดของการควอนไทซ์ จึงได้นำเสนอวิธีการโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ LPC เป็นพารามิเตอร์ LSP เพื่อจะสร้าง Codevector ของการแบ่งลำดับชั้นใน Vector Quantization เพื่อที่จะใช้เข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดใหม่ เรียกว่า LPC-10 จากผลทดลองพบว่าสามารถลดจำนวนบิตของสัญญาณเสียงพูดในบิตสัญญาณเสียงพูด p1-p4 ได้ 4 บิต และอัตราการส่งข้อมูลลดลง 2-66%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในส่วนนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การบันทึกเสียง การเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนการบีบอัดสัญญาณ กระบวนการบีบอัดเสียง กระบวนการคืนกลับสัญญาณจากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดและการชดเชยสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงพูดที่ใกล้เคียงกับสัญญาณต้นฉบับ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้



(ก) ขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณฝั่งผู้ส่ง

(ข) ขั้นตอนการคืนกลับสัญญาณฝั่งผู้รับ

ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโครงสร้างทั้งระบบ

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งออกได้ เป็น 4 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณเสียงพูด
2. ขั้นตอนการเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนเข้ากระบวนการบีบอัดสัญญาณ
3. ขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยการแปลงเวฟเล็ด
4. ขั้นตอนการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด
5. ขั้นตอนการชดเชยสัญญาณเสียงพูด
6. ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของการบีบอัดเสียงพูด

3.1 การบันทึกสัญญาณเสียงพูด

การประมวลผลสัญญาณเสียงพูดนั้น จำเป็นที่ต้องเข้าใจโครงสร้างของสัญญาณเสียงที่จะนำเข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณ ซึ่งสัญญาณเสียงพูดนั้นได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ส่วนของ Voiced เกิดขึ้นจากการดันอากาศผ่านช่องสายเสียง (Glottis) ด้วยแรงดึงของคอर्डเสียง (Vocal Cord) ที่ทำการปรับคอर्डก็เพื่อที่จะทำให้เกิดการสั่นที่เหมาะสม จึงทำให้เกิดสัญญาณเสียงพูดแบบคาบในอากาศซึ่งทำให้ช่องทางเดินของเสียงสั่น อีกส่วนคือ Unvoiced เกิดขึ้นโดยใช้รูปแบบที่จำกัดในช่องสายเสียงและผลักดันอากาศผ่านเข้าไปด้วยความเร็วที่สูงขึ้น เพื่อสร้างแรงหมุน ซึ่งเป็นการสร้างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้างนั่นเอง และส่วนสุดท้าย คือ Plosive เกิดจากเสียงที่ทำการปิดล้อมอย่างสมบูรณ์ของช่องเสียงและสร้างแรงดันหลังการปิดของช่องเสียงและปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใด

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลกลุ่มตัวอย่างนั้น จะเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานสามารถนำมาทำการบันทึกและทดสอบได้จริง และอุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์สามารถใช้งานได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา (Laptop Computer) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
 - หน่วยประมวลผลกลาง : Intel Core2 Duo SP9400 2.4 GHz
 - หน่วยความจำหลัก : 4 GB
 - หน่วยบันทึกข้อมูลแบบจานแข็ง : 320 GB
 - การ์ดเสียง : SoundMAX บริษัท Analog Devices
- 2) ไมโครโฟน ยี่ห้อ Philips PC Microphone รุ่น SHM1000
- 3) โปรแกรมโอเอสพี เวอร์ชัน 5.55 บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP

หลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการบันทึกข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นผู้ชาย 5 คน และกลุ่มตัวอย่างผู้หญิง 5 คน โดยแต่ละคนจะทำการพูดข้อมูลที่ระบุไว้จำนวน 10 คำ

3.1.2 ขั้นตอนในการบันทึกข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

ในส่วนนี้จะทำการกำหนดค่าของสัญญาณเสียงพูด โดยจะทำการบันทึกสัญญาณเสียงพูดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งสามารถกำหนดผ่านโปรแกรมโกลด์เวฟ เวอร์ชัน 5.55 ก่อนทำการบันทึกข้อมูล โดยโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รายละเอียดของโปรแกรมโกลด์เวฟที่นำมาใช้ในการเก็บข้อมูล

นามสกุลของไฟล์ที่ได้จากการบันทึกข้อมูลสัญญาณเสียงพูด จะอยู่ในรูปของไฟล์ .wav ซึ่งเป็นประเภทของไฟล์สัญญาณเสียงประเภทหนึ่ง โดยกำหนดให้มีอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) อยู่ที่ 8000 เฮิรตซ์ โดยแต่ละข้อมูลมีขนาด 8 บิต ใช้ช่องสัญญาณเดี่ยว (Mono) โดยรูปแบบจะเป็นมาตรฐานของระบบพีซีเอ็ม (Pulse-Code Modulation; PCM) ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 รายละเอียดของการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

3.2 การเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนเข้ากระบวนการบีบอัดสัญญาณ

ก่อนการนำสัญญาณเข้าสู่กระบวนการบีบอัดเสียง จะต้องทำการปรับคุณภาพของสัญญาณให้เหมาะสม เนื่องจากเสียงที่ได้จากการบันทึกเสียงอาจมีสัญญาณอื่นๆ มาร่วมอยู่กับสัญญาณเสียงพูด ซึ่งจะทำให้สัญญาณเสียงพูดมีความผิดเพี้ยนและไม่เหมาะที่จะทำไปประมวลผลสัญญาณต่อไป ดังนั้นจำเป็นต้องทำอย่างอื่นที่ต้องกำจัดสัญญาณเหล่านั้นออกไปเพื่อลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนการปรับสัญญาณ ดังต่อไปนี้

3.2.1 การปรับสัญญาณสู่แกนศูนย์

การปรับสัญญาณสู่แกนศูนย์ เป็นการปรับสัญญาณที่อยู่นอกแกนศูนย์กลับเข้าสู่แกนศูนย์ ซึ่งก็คือ กระบวนการในการกรองสัญญาณเอซีผ่าน (AC-Coupling) และกำจัดองค์ประกอบของสัญญาณดีซีออกไปโดยใช้สมการที่ 3.1

$$\tilde{s}(n) = s(n) - \text{mean}(s(n)) \quad (3.1)$$

โดยที่ $s(n)$ คือ สัญญาณเสียงพูดอินพุต

$\tilde{s}(n)$ คือ สัญญาณเสียงพูดเอาต์พุตที่จะนำเข้าสู่กระบวนการ Pre-emphasis ต่อไป

3.2.2 การปรับระดับของสัญญาณเสียงพูด (Amplitude Normalization)

ขั้นตอนนี้จะทำการปรับแอมพลิจูดของสัญญาณให้อยู่ในช่วง -1 เดซิเบล ถึง 1 เดซิเบล พร้อมกับการกรองสัญญาณรบกวนที่เป็นความถี่ต่ำออกไป ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3

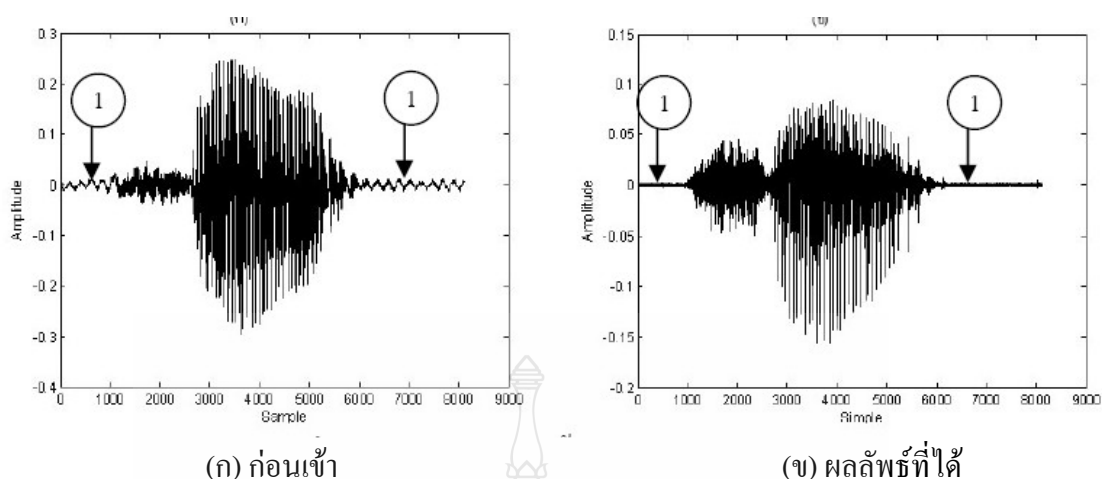
$$H(z) = 1 - az^{-1} \quad (3.2)$$

$$\tilde{s}(n) = s(n) - as(n-1) \quad (3.3)$$

โดย a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรอง

$s(n-1)$ คือ สัญญาณเสียงพูดอินพุตที่ $n-1$

จากภาพที่ 3.4 (ก) แสดงการบริเวณสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ ซึ่งถูกกำจัดออกไปด้วยกระบวนการนี้ ผลลัพธ์จากการกำจัดสัญญาณรบกวนแสดงดังภาพที่ 3.4 (ข)



ภาพที่ 3.4 สัญญาณที่ผ่านกระบวนการปรับระดับของสัญญาณเสียงพูด [11]

3.2.3 การหาจุดสิ้นสุดของสัญญาณเสียงพูด

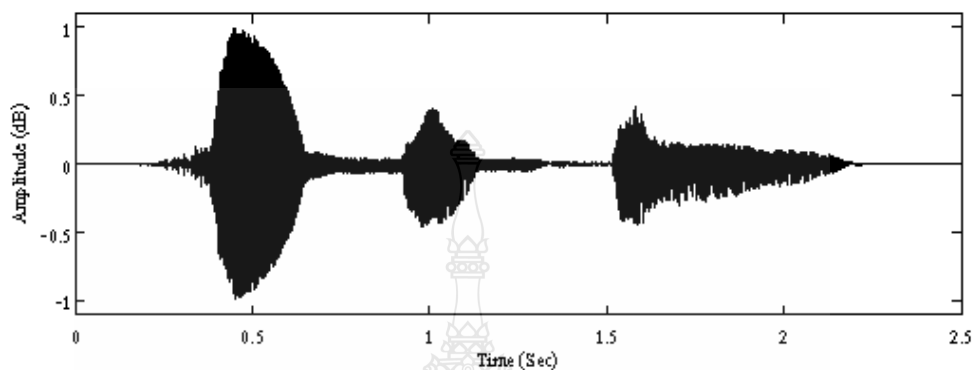
การตัดหัวท้ายของคำของหน่วยเสียงพยัญชนะไทยนั้น มีความสำคัญมาก เนื่องจากช่วงหน่วยเสียงพยัญชนะต้นจะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 46 มิลลิวินาที ถึง 335 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมากหากกระบวนการตัดคำผิดพลาดจะส่งผลให้ กระบวนการบีบอัดสัญญาณมีองค์ประกอบของเสียงที่หายไป

การหาค่าพลังงานนิยมใช้ในการตัดคำนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในเอกสารฉบับนี้เลือกใช้การตัดคำด้วยค่าสัมบูรณ์พลังงาน (Absolute Short-Term Energy) โดยนำสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านการปรับสัญญาณจากหัวข้อที่ผ่านมา มาวางกรอบสัญญาณหน้าต่าง $w(n)$ แบบสี่เหลี่ยมกว้าง 128 ตัวอย่างแล้วหาค่าพลังงานในแต่ละกรอบสัญญาณหน้าต่างที่ไม่เหลื่อมกันตลอดคำพูด โดยเลือกค่าที่ได้สูงสุดเป็น E_{\max} ส่วน E_{\min} หาได้ในลักษณะทำนองเดียวกันกรอบสัญญาณหน้าต่างแรกหรือ $(128/8000) \times 1000 = 16$ มิลลิวินาที โดยสมมุติให้ช่วงนี้เป็นช่วงเสียงเงียบไม่มีเสียงพูด หลังจากนั้นทำการหารระดับอ้างอิง T_{upper} และ T_{lower} โดยค่าของ T_{upper} และ T_{lower} ที่ใช้ในการวิจัยมีสมการดังต่อไปนี้

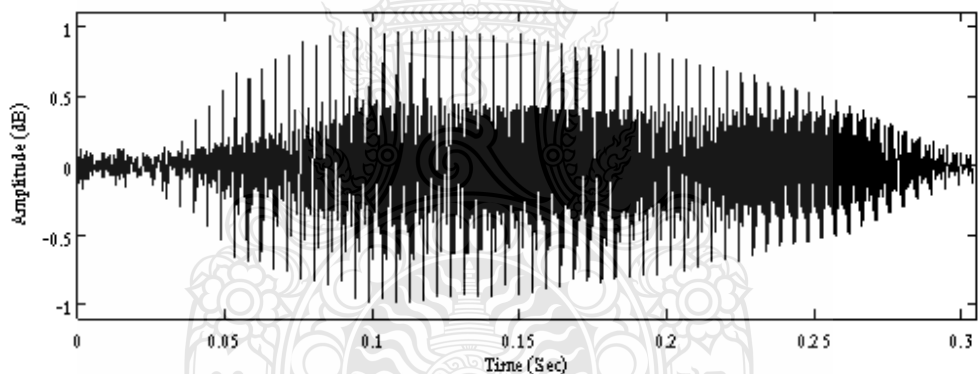
$$T_{\text{upper}} = 0.007(E_{\max} - E_{\min}) + E_{\min} \quad (3.4)$$

$$T_{\text{lower}} = 0.006(E_{\max} - E_{\min}) + E_{\min} \quad (3.5)$$

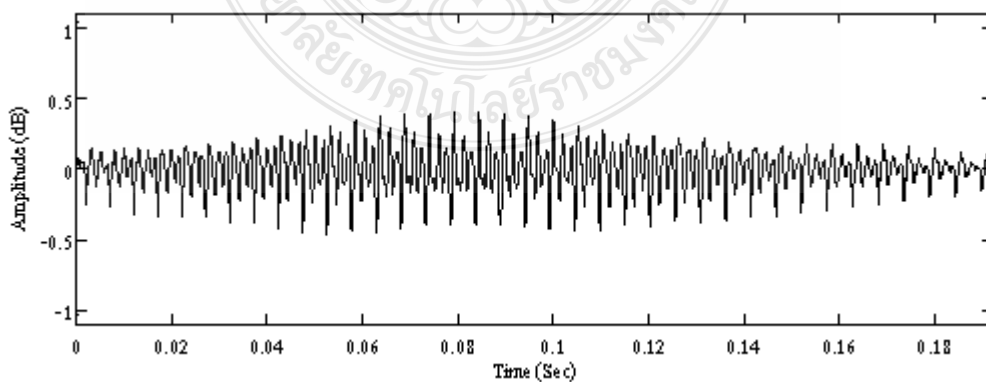
โดยในขั้นตอนการหาจุดสิ้นสุดของสัญญาณเสียงพูดจะทำการแยกเสียงพูดออกเป็นเสียงสั้นๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 คือเสียงพูดของคำว่า “ช่องนนทรี” เมื่อผ่านกระบวนการหาจุดสิ้นสุดแล้ว จะได้เสียงพูด 3 ส่วน คือ “ช่อง”, “นน”, “ทรี” ซึ่งแสดงลักษณะสัญญาณเสียงดังภาพที่ 3.5 – 3.8



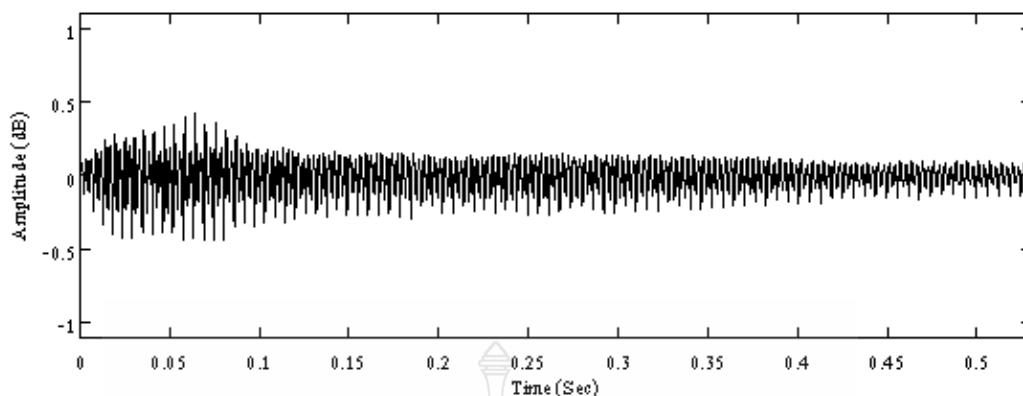
ภาพที่ 3.5 สัญญาณเสียงต้นฉบับของเสียง “ช่องนนทรี”



ภาพที่ 3.6 สัญญาณเสียงของคำ “ช่อง”



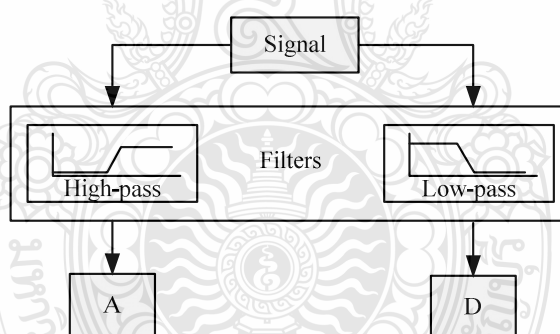
ภาพที่ 3.7 สัญญาณเสียงของคำ “นน”



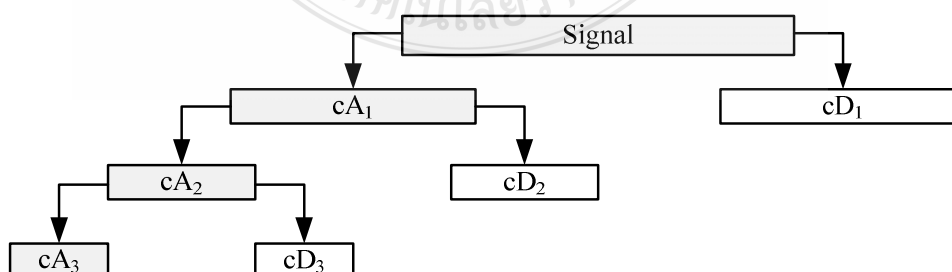
ภาพที่ 3.8 สัญญาณเสียงของคำ “ทรี”

3.3 การบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยการแปลงเวฟเล็ต

ในกระบวนการบีบอัดโดยใช้เวฟเล็ตนั้น จะทำการแยกสัญญาณออกเป็นค่าสัมประสิทธิ์ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ (Approximate Coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Detail Coefficient) โดยนำข้อมูลเหล่านี้ไปประมวลผลในกระบวนการอื่นต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วง” (Discrete Wavelet Transform: DWT)

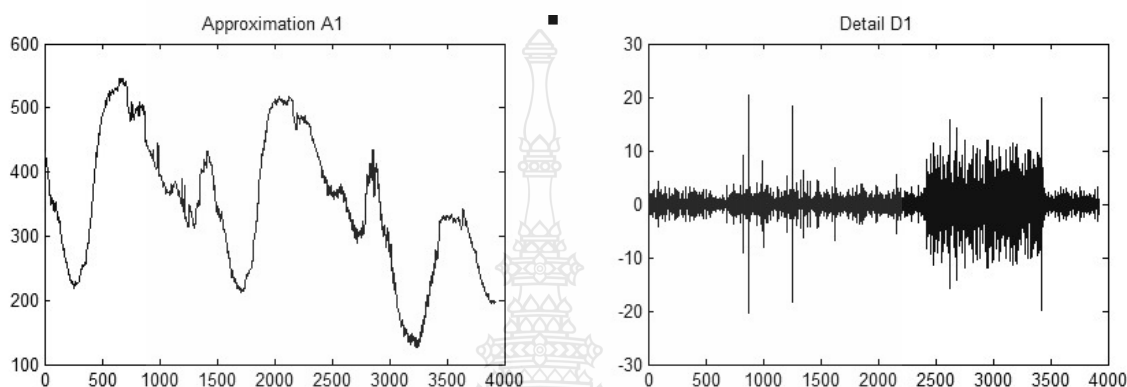


ภาพที่ 3.9 การแยกองค์ประกอบของความถี่ต่ำและความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ต



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนและองค์ประกอบของการแปลงเวฟเล็ต

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด มาพล็อตเป็นกราฟ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของสัญญาณในความถี่ต่ำ ซึ่งในสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ความถี่ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสื่อสารจะอยู่ในช่วงของความถี่ต่ำ ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การประมาณในภาพที่ 3.11(ก) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Detail Coefficient) เป็นองค์ประกอบของความถี่สูง มีลักษณะของสัญญาณรบกวนเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 3.11(ข)



(ก) สัมประสิทธิ์การประมาณ

(ข) สัมประสิทธิ์รายละเอียด

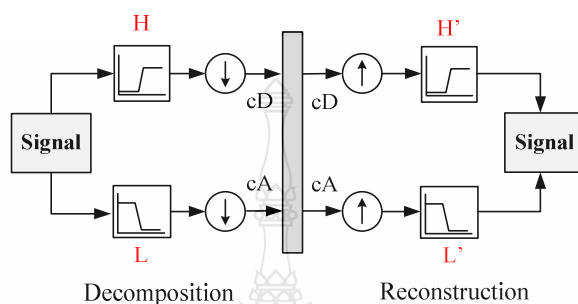
ภาพที่ 3.11 สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ต

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เวฟเล็ต 3 ชนิด [26] อันได้แก่ Daubechies, Symlet และ Coiflets เนื่องจากเป็นเวฟเล็ตที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน คือ เป็นเวฟเล็ตแบบตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในการบีบอัดสัญญาณโดยเวฟเล็ตของการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ เนื่องจากในคุณลักษณะของสัญญาณเสียงพูดนั้นสัญญาณส่วนใหญ่เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การประมาณเป็นค่าที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) ในกระบวนการการบีบอัดโดยการแปลงเวฟเล็ต ดังภาพที่ 3.11(ก)

3.4 การคืนกลับสัญญาณเสียงพูด

เมื่อได้รับสัญญาณเสียงพูดที่ถูกส่งมาเฉพาะส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง ซึ่งจะมีเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียดจะถูกตัดทิ้งไป จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้มาทำการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด ดังขั้นตอนในภาพที่ 3.12 แต่เนื่องจากในกระบวนการส่งสัญญาณเสียงพูดในงานวิจัยนี้ จะทำการส่งสัญญาณเสียงพูดเฉพาะส่วนที่เป็นเสียงเท่านั้น ดังนั้นใน

ส่วนของสัญญาณที่ไม่เป็นเสียง จะไม่ถูกส่งไปด้วย ดังนั้นในขั้นตอนการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด จะนำค่าสัมประสิทธิ์เชิงประมาณของเฟรมที่เป็นสัญญาณเสียงพูด มารวมเข้ากับส่วนของสัญญาณที่ไม่เป็นเสียง ซึ่งจะถูกแทนค่าด้วยค่าศูนย์ ในกระบวนการที่เรียกว่า การเติมศูนย์ (Zero-Padding) ดังภาพที่ 3.12 ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ผ่านกระบวนการนี้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ

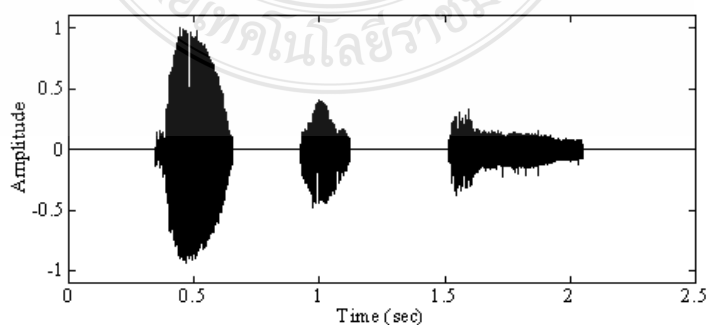


ภาพที่ 3.12 กระบวนการบีบอัดและการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด

การเติมศูนย์ (Zero Padding) คือ การเติมจุดในการคำนวณให้มากขึ้น เพื่อช่วยในการเพิ่มความหนาแน่น (Density) ของการแสดงผลสเปกตรัม แต่ไม่ได้เป็นการเพิ่มความละเอียด (Resolution) ในการวิเคราะห์สเปกตรัม ซึ่งทำการเชื่อมโยงความยาวของสัญญาณ N เข้ากับสัญญาณ $M > N$ โดยที่ M ต้องเป็นเป็นพหุคูณที่เกิดจาก N ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{ZeroPad}_{M,m}(x) \triangleq \begin{cases} x(m), & 0 \leq m \leq N-1 \\ 0, & N \leq m \leq M-1 \end{cases} \quad (3.6)$$

จากนิยามของการเติมศูนย์ เมื่อสัญญาณ $x(n)$ เริ่มต้นที่เวลา 0 และขยายไปถึง N ตัวอย่าง (Samples)

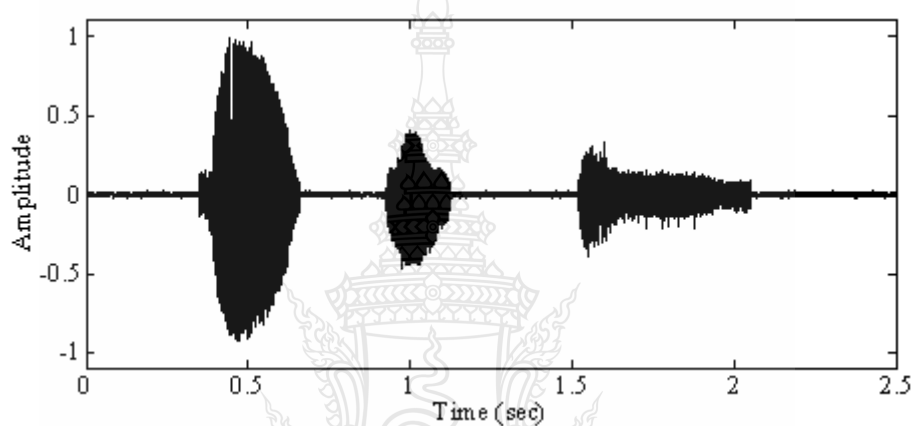


ภาพที่ 3.13 การคืนกลับสัญญาณเสียงพูดที่มีการเติมค่าศูนย์

3.5 การชดเชยสัญญาณเสียงพูด

เมื่อได้รับสัญญาณเสียงพูดจากระบวนการคืนกลับสัญญาณโดยใช้เวฟเล็ตแล้ว แต่เนื่องจากสัญญาณที่ไม่ใช่เสียงนั้นถูกทดแทนด้วยศูนย์ ซึ่งจะทำให้ทั้งคุณลักษณะของสัญญาณในโดเมนของเวลา และจากการรับฟังมีลักษณะของเสียงใกล้เคียงกับเสียงที่เกิดจากการสังเคราะห์ ซึ่งจะทำให้เสียงมีลักษณะไม่เหมือนเสียงพูดของมนุษย์โดยทั่วไป ดังนั้นจึงต้องทำการชดเชยสัญญาณเสียงพูดที่ได้ โดยการเติมสัญญาณรบกวนชนิดเกาส์เซียนนอยส์

3.5.1 การชดเชยสัญญาณเสียงพูดด้วยเกาส์เซียนนอยส์

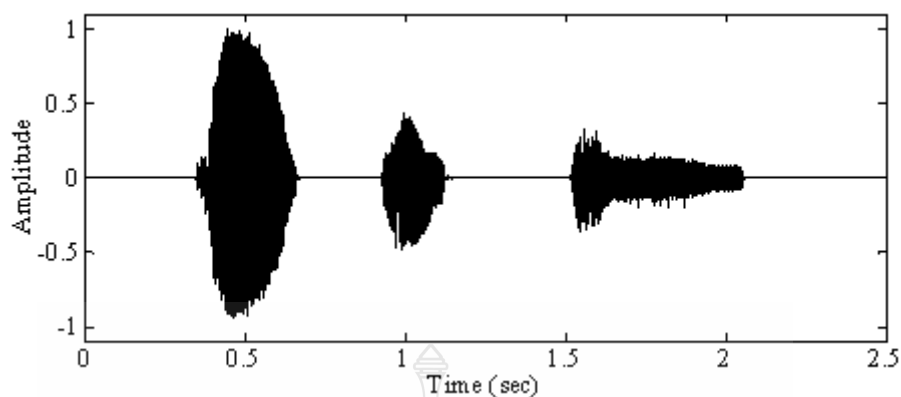


ภาพที่ 3.14 สัญญาณเสียงพูดที่ถูกชดเชยด้วยสัญญาณรบกวนชนิดเกาส์เซียนนอยส์

3.5.2 ตัวกรองไวน์เนอร์ (Wiener Filter)

ในการประมวลผลสัญญาณเสียงไวน์เนอร์ ถูกค้นคิดขึ้นโดย Norbert Wiener ในปี 1940 และเผยแพร่ในปี 1949 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดสัญญาณรบกวนในกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียง ต่อมา Kolmogorov ได้คิดค้น Discrete-Time Equivalent ในปี ค.ศ.1941 โดยตัวกรองไวน์เนอร์ไม่เป็น Adaptive Filter เนื่องจากตัวกรองชนิดนี้จะต้องมีอินพุตที่มีลักษณะเป็น Stationary

หลังจากการเพิ่มสัญญาณรบกวนชนิดเกาส์เซียนนอยส์เข้ากับสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการคืนกลับสัญญาณ โดยการแปลงเวฟเล็ตดังภาพที่ 3.14 ก็จะทำการลดขนาดของสัญญาณรบกวนลงโดยใช้ตัวกรองไวน์เนอร์ ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้มีลักษณะดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 สัญญาณเสียงพูดที่ถูกลดสัญญาณรบกวนโดยตัวกรองไวน์เนอร์

3.6 การหาประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด

การพิจารณาคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดมีการใช้สมการต่างๆ เพื่อหาประสิทธิภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการหาประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงพูดจะพิจารณาค่าของสัญญาณต้นฉบับเทียบกับค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ซึ่งในกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดจะเกิดการสูญเสียขึ้น ทำให้ต้องหาคุณภาพของสัญญาณ โดยในการประมวลผลสัญญาณเสียงนิยมใช้ค่า SNR และค่า PSNR ซึ่งนำมาเป็นตัวเลือกในการหาประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงพูด

3.6.1 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

SNR คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน มีหน่วยเป็นเดซิเบล ซึ่งค่า SNR นิยมใช้ในการหาประสิทธิภาพของสัญญาณประเภทต่างๆ เนื่องจากง่ายต่อการหาประสิทธิภาพของสัญญาณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_c^2} \right| \quad (3.7)$$

โดยที่ σ_x^2 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณเสียง

σ_c^2 คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับเทียบกับสัญญาณคืนกลับ

3.6.2 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR)

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด เป็นค่าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้าน การประมวลผลสัญญาณทั้งภาพและเสียง ซึ่งเป็นการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างค่า

กำลังสูงสุดของสัญญาณ และความแตกต่างของสัญญาณเสียงที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน เมื่อเทียบกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) โดยค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด สามารถบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ โดยสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3.8

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x-r\|^2} \quad (3.8)$$

โดยที่ N คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

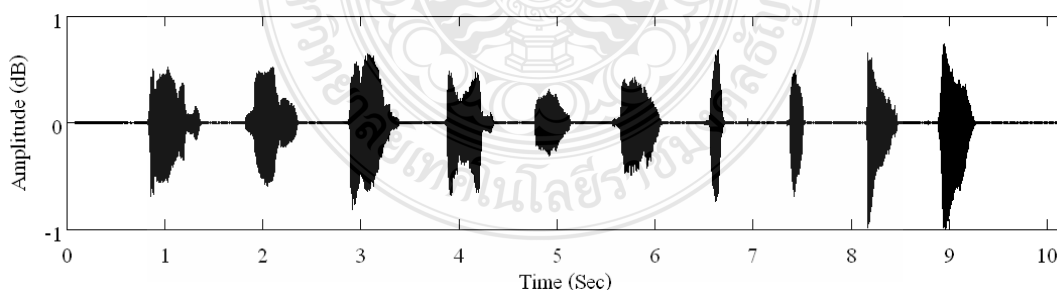
X คือ ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณเสียงต้นฉบับ

$\|x-r\|^2$ คือ ความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับกับสัญญาณเสียงคืนกลับ

3.6.3 อัตราการบีบอัดสัญญาณ (Compression Ratio)

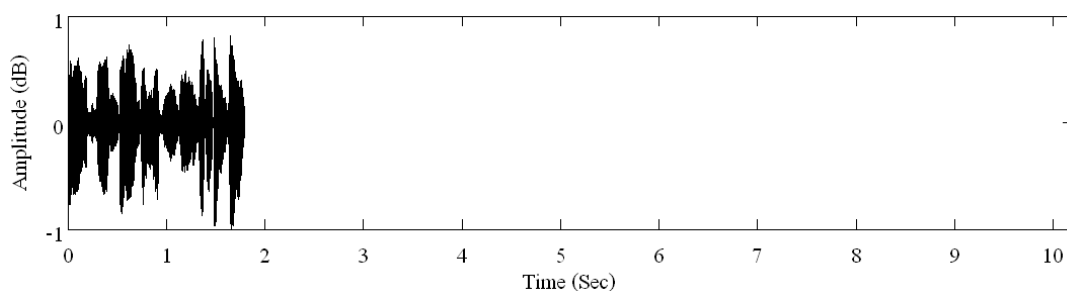
อัตราการบีบอัดสัญญาณ คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณอินพุตเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขนาดความยาวที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการนำเอาค่าของเฟรมที่บอกสถานะที่แสดงว่าเป็นเฟรมเสียงพูด หรือไม่เป็นเฟรมของเสียงพูดมารวมในการคำนวณหาอัตราการบีบอัดสัญญาณ ซึ่งหาได้จากสมการ 3.9

$$\text{Compression Ratio} = \frac{\text{Size of Original Signal}}{\text{Size of Sending Data} + \text{Size of Status Frame}} \quad (3.9)$$

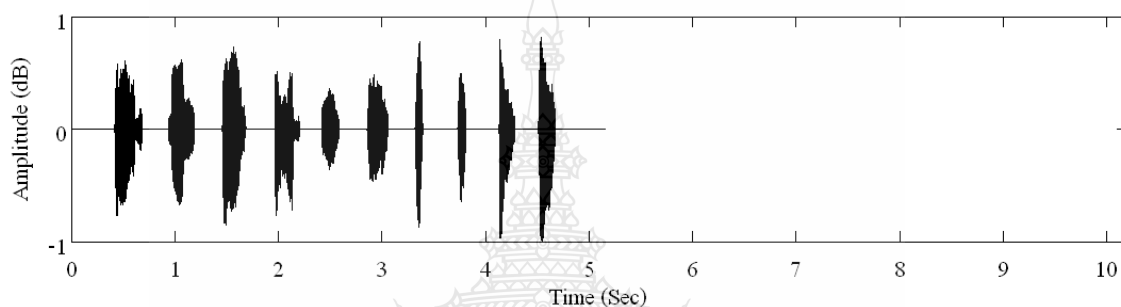


(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

ภาพที่ 3.16 สัญญาณเสียงก่อนและหลังในการส่งสัญญาณโดยใช้เวฟเล็ต



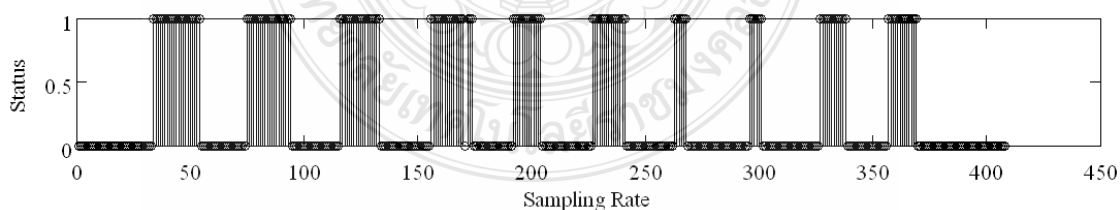
(ข) สัญญาณที่ถูกส่งเฉพาะสัญญาณเสียงเท่านั้น ใช้การบีบอัดโดยเวฟเล็กระดับที่ 1



(ค) สัญญาณเสียงคืนกลับ ใช้การบีบอัดโดยเวฟเล็กระดับที่ 1

ภาพที่ 3.16 สัญญาณเสียงก่อนและหลังในการส่งสัญญาณโดยใช้เวฟเล็ต (ต่อ)

เฟรมสถานะที่ทำการส่งพร้อมกับข้อมูลเสียง ใช้ในการแสดงสถานะของแต่ละเฟรมว่าเป็นเฟรมเสียงหรือไม่เป็นเฟรมเสียง ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้เฟรมขนาดเท่ากับ 200 Sample ต่อหนึ่งเฟรม ตัวอย่างเสียงที่เลือกใช้คือเสียง “ศูนย์” ถึง “เก้า” รวมทั้งสิ้น 10 เสียงแสดงดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 เฟรมสถานะที่ถูกส่งพร้อมกับสัญญาณเสียงพูด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ตร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ทำการหาประสิทธิภาพจากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด เปรียบเทียบกับเวฟเล็ตชนิดต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ผ่านไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ซึ่งผลการดำเนินการวิจัยและการทดสอบการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด มีดังต่อไปนี้

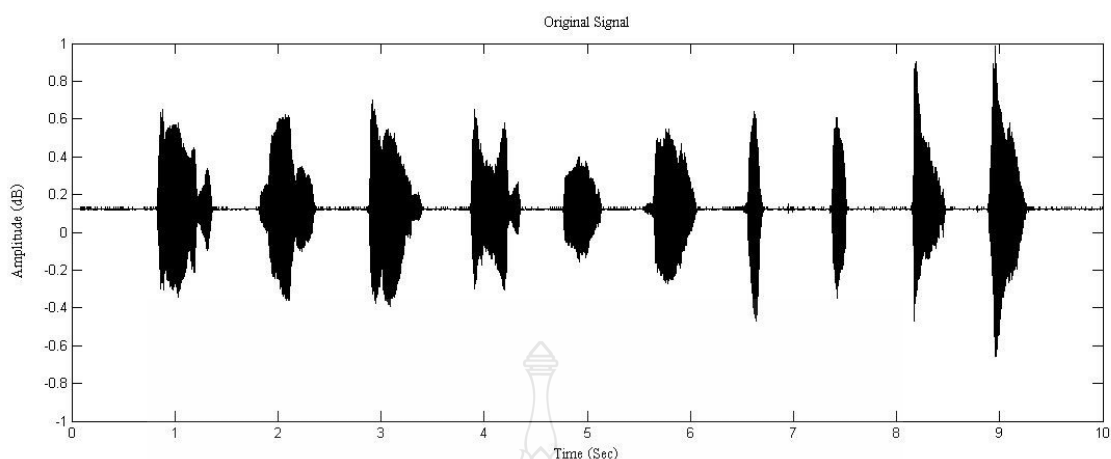
4.1 ผลการหาประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ต

จากการทดลองได้ใช้เสียงพูด ในการทดสอบหาประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด โดยใช้เวฟเล็ต จำนวน 10 คน ประกอบด้วยเพศชาย จำนวน 5 คน และเพศหญิง (ญ) จำนวน 5 คน อายุระหว่าง 19 - 22 ปี ซึ่งประกอบด้วย

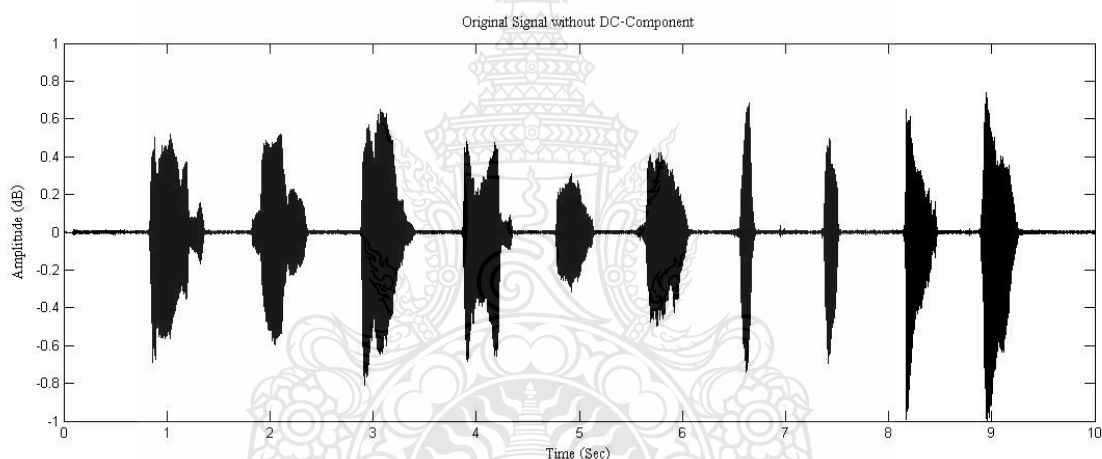
เสียงพูดตัวเลข “ศูนย์”, “หนึ่ง”, “สอง”, “สาม”, “สี่”, “ห้า”, “หก”, “เจ็ด”, “แปด”, “เก้า”

โดยในการบันทึกเสียงพูดจะใช้สถานที่บันทึกเสียงที่เดียวกัน และความถี่ในการบันทึกเสียงพูด 8 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 8 บิต แบบโมโน โดยทำการจัดเก็บไฟล์เสียงในรูปแบบ WAV ไฟล์

จากข้อมูลดังกล่าวมาจะทำการปรับสัญญาณให้พร้อมก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหาแบ่งเฟรมข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณนั้น เนื่องจากสัญญาณที่ได้ในบางกรณีมีการรวมตัวของสัญญาณที่มีองค์ประกอบไปตรง ซึ่งเกิดได้จากหลายกรณี เช่น อุปกรณ์บันทึกเสียงที่ไม่มีคุณภาพหรือสถานะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้มีองค์ประกอบของสัญญาณไปตรงได้ ดังภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4.1 สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับของข้อมูลเสียง 0 ถึง 9



ภาพที่ 4.2 การกำจัดองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรง

เมื่อได้สัญญาณที่ปราศจากองค์ประกอบของสัญญาณไฟตรงแล้ว นำสัญญาณที่ได้มาทำการแบ่งเฟรมข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้การแบ่งเฟรมข้อมูล 200 ตัวอย่าง (Sample) ต่อหนึ่งเฟรม จากนั้นนำเฟรมข้อมูลที่ได้เข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณโดยใช้เวฟเล็ต 3 ตระกูลอันได้แก่ Daubechies, Symlets, Coiflets การที่เลือกใช้เวฟเล็ต 3 ตระกูลนี้ในการเปรียบเทียบเนื่องจากทั้งสามตระกูลนี้เป็นเวฟเล็ตมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติการบีบอัดได้ง่าย [26] ซึ่งในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงพูดนั้น นิยมใช้ค่าทางคณิตศาสตร์เพื่อวัดหาคุณภาพของสัญญาณเสียงพูด อันได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย [1] ค่าผิดพลาดเฉลี่ยและค่าผิดพลาดสูงสุด [2] แต่จากคุณลักษณะของสัญญาณเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ค่าที่ได้จากค่าที่กล่าวมามีค่า

ประสิทธิภาพไม่เที่ยงตรง จึงมีการนำค่า SNR และ PSNR มาใช้ในการหาประสิทธิภาพของสัญญาณเสียง [8]

โดยงานวิจัยนี้ทำการหาประสิทธิภาพเวฟเล็ตทั้ง 3 ตระกูล ที่กล่าวมา ซึ่งแต่ละตระกูลของเวฟเล็ต แบ่งออกเป็นตระกูลย่อย เช่น Daubechies แบ่งออกเป็น Daubechies1, Daubechies2, Daubechies3, ... เป็นต้น ซึ่งในเวฟเล็ตตระกูลต่าง ๆ หาประสิทธิภาพตระกูลละ 5 ระดับ ในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยเทคนิคเวฟเล็ต

ตารางที่ ก.1 ถึงตารางที่ ก.10 ในภาคผนวก ก แสดงค่าเฉลี่ยของเสียงพูด ของผู้พูดทั้งหมด 10 คน ซึ่งพูดประโยคตัวอย่าง คือ คำว่า “ศูนย์” ถึงคำว่า “เก้า” โดยพูดทั้งหมดหมด 10 รอบ ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพที่วัดจากค่า SNR, PSNR และอัตราการบีบอัด โดยที่ค่า SNR , PSNR จะแสดงลงถึงประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงต้นฉบับเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงที่คืนกลับ ซึ่งถ้าค่าได้ที่มีค่ามาก จะหมายถึงสัญญาณเสียงพูดมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับมากนั่นเอง ส่วนค่าอัตราการบีบอัดเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนการลดลงของข้อมูลที่ถูกบีบอัดเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นฉบับ ซึ่งค่าอัตราการบีบอัดมาก มีความหมายว่าสามารถลดข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ ก.11 ถึง ตารางที่ ก.20 ในภาคผนวก ก แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของผู้พูดทั้งหมด 10 คน ซึ่งพูดประโยคตัวอย่าง คือ คำว่า “ศูนย์” ถึงคำว่า “เก้า” โดยพูดทั้งหมดหมด 10 รอบ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงให้เห็นค่าการกระจายตัวของค่าประสิทธิภาพที่วัดจากค่า SNR, PSNR และอัตราการบีบอัดข้อมูล ซึ่งถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก แสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้มีการกระจายตัว หรือมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทีมาก ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถหาได้จากสูตรคือ

$$\sigma = \text{S.D.} = \sqrt{\frac{\sum X - \bar{X}}{N}}$$

โดยที่ $\sigma = \text{S.D.}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ค่าประสิทธิภาพที่วัดจากค่า SNR, PSNR และค่าอัตราการบีบอัด

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพที่วัดจากค่า SNR, PSNR และค่าอัตราการบีบอัด

N คือ จำนวนข้อมูล

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	15.069	11.547	8.6251	5.6848	8.2684
Db4	13.640	10.251	9.0519	5.5259	8.7338
Db6	15.245	12.324	9.5605	3.9119	5.579
Db8	15.863	11.339	9.1688	3.0654	3.4697
Db10	15.433	10.929	8.351	3.2436	3.3065
Symlet 1	14.164	10.143	9.0025	9.0353	6.3398
Symlet 2	15.069	11.547	8.6251	5.6848	8.2684
Symlet 3	15.994	10.565	10.34	6.9487	10.045
Symlet 4	15.639	11.321	9.3393	7.5776	9.7008
Symlet 5	15.445	9.8416	10.123	7.9425	10.487
Coiflet 1	15.186	10.263	8.0999	6.4007	9.3722
Coiflet 2	15.474	11.197	10.014	7.8534	9.7721
Coiflet 3	15.126	10.857	10.446	8.9818	7.9521
Coiflet 4	16.065	11.227	11.527	9.164	8.9309
Coiflet 5	15.194	12.598	9.9566	9.7844	8.1576

จากตารางแสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย SNR ของผู้พูดจำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก.20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet4 มีค่า SNR ที่ค่ามากที่สุด คือ 16.065

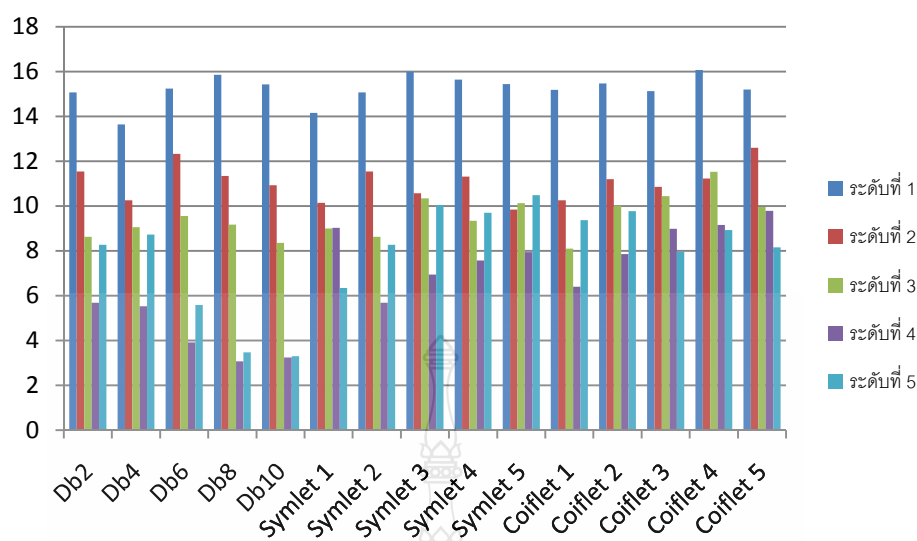
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 12.598

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet4 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 11.527

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 9.7844

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Symlet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 10.487

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 จะทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า SNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย SNR สัญญาณเสียงพูดของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงค่า SNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ จะมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด โดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	15.061	11.546	8.6635	5.6871	8.3162
Db4	13.594	10.65	8.9528	5.5133	8.7521
Db6	15.333	12.475	8.8712	3.9159	5.57
Db8	15.309	11.634	9.1185	3.0735	3.4714
Db10	14.991	10.943	8.2205	3.2543	3.3132
Symlet 1	14.169	10.498	8.94	8.9938	6.4768
Symlet 2	15.451	11.567	8.5791	5.6861	8.2661
Symlet 3	15.645	10.476	10.125	6.9328	10.05
Symlet 4	15.193	11.353	9.4708	7.7302	9.7458
Symlet 5	16.253	10.126	10.264	7.9046	10.51

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน (ต่อ)

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Coiflet 1	15.392	10.302	7.949	6.3959	9.3587
Coiflet 2	15.32	11.379	9.7646	7.7185	9.7999
Coiflet 3	15.572	10.839	10.433	9.0751	7.6616
Coiflet 4	15.478	11.02	11.324	9.1948	8.9105
Coiflet 5	15.542	12.515	9.9396	9.8985	8.1934

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย SNR ของผู้พูดที่ผ่านกระบวนการเติมสัญญาณรบกวนชนิดเกาส์เซียน จำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก.20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Symlet5 มีค่า SNR ที่ค่ามากที่สุด คือ 16.253

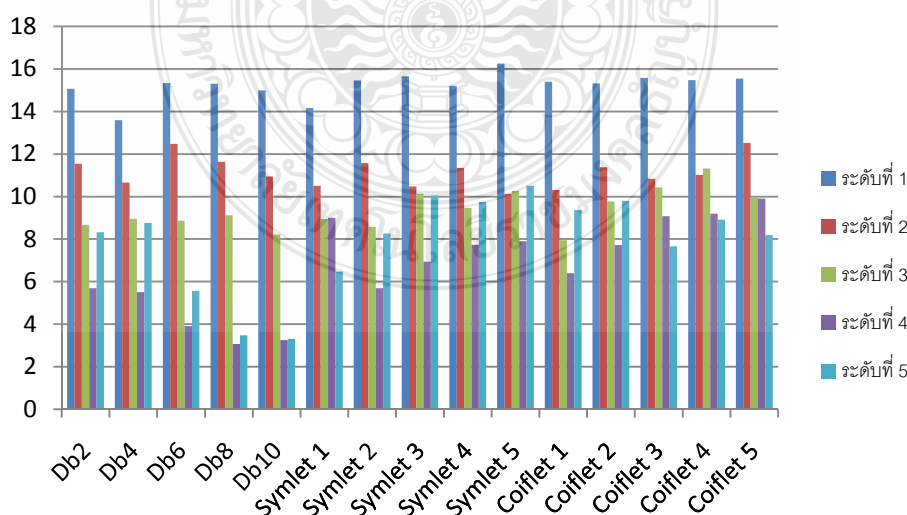
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 12.515

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet4 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 11.324

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 9.8985

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Symlet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 10.51

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า SNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะสมในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย SNR สัญญาณเสียงพูด ของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่า SNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการเกาส์เซียนนอยส์ ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย SNR ของสัญญาณเสียงพูดของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูด จำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	15.484	12.027	8.6399	5.6838	7.9149
Db4	14.034	10.267	9.2343	5.4861	8.622
Db6	16.155	12.244	8.4906	3.8939	5.568
Db8	16.326	11.408	9.4411	3.0541	3.463
Db10	16.042	10.737	7.9917	3.2343	3.2808
Symlet 1	14.181	10.261	8.814	7.4316	3.5625
Symlet 2	15.599	11.86	8.5908	5.6459	8.0229
Symlet 3	16.053	10.572	10.548	6.9217	9.5918
Symlet 4	15.702	12.163	9.0956	7.6903	9.5181
Symlet 5	15.196	9.8004	9.7155	8.0174	10.383
Coiflet 1	15.082	10.402	8.0928	6.4707	9.3079
Coiflet 2	15.986	11.496	9.737	8.0766	9.9212
Coiflet 3	16.16	10.751	10.554	9.0695	7.5938
Coiflet 4	16.358	11.217	11.028	9.2429	9.1518
Coiflet 5	15.929	12.019	10.159	9.6077	8.3368

จากตารางที่ 4. 3 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย SNR ของผู้พูดที่ผ่านกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์จำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก. 20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet4 มีค่า SNR ที่ค่ามากที่สุด คือ 16.358

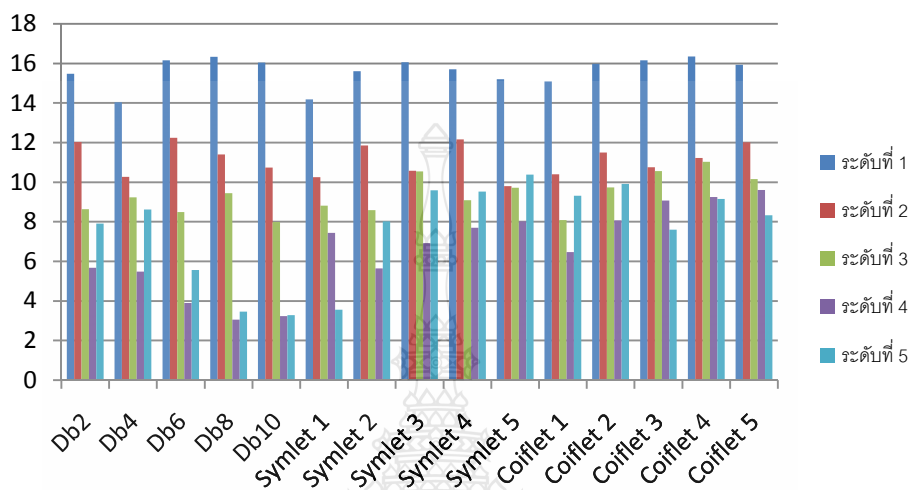
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db6 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 12.244

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet4 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 10.554

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 9.6077

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Symlet5 มีค่า SNR มีค่ามากที่สุด คือ 10.383

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 จะทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า SNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย SNR สัญญาณเสียงพูดของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงค่า SNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด โดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	36.45	36.469	36.751	37.157	36.819
Db4	36.545	36.468	36.739	37.123	36.799
Db6	36.469	36.559	36.806	37.362	37.142
Db8	36.439	36.562	36.664	37.511	37.433
Db10	36.449	36.582	36.89	37.471	37.462
Symlet 1	36.445	36.337	36.15	36.807	37.061
Symlet 2	36.45	36.469	36.751	37.157	36.819
Symlet 3	36.52	36.294	36.578	36.995	36.652
Symlet 4	36.498	36.435	36.718	36.962	36.648

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูดของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน (ต่อ)

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Symlet 5	36.509	36.269	36.565	36.886	36.522
Coiflet 1	36.473	36.483	36.914	37.03	36.743
Coiflet 2	36.492	36.5	36.585	36.932	36.564
Coiflet 3	36.461	36.618	36.365	36.784	36.915
Coiflet 4	36.466	36.529	36.424	36.661	36.623
Coiflet 5	36.48	36.566	36.434	36.609	36.807

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย PSNR ที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก.20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db4 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.545

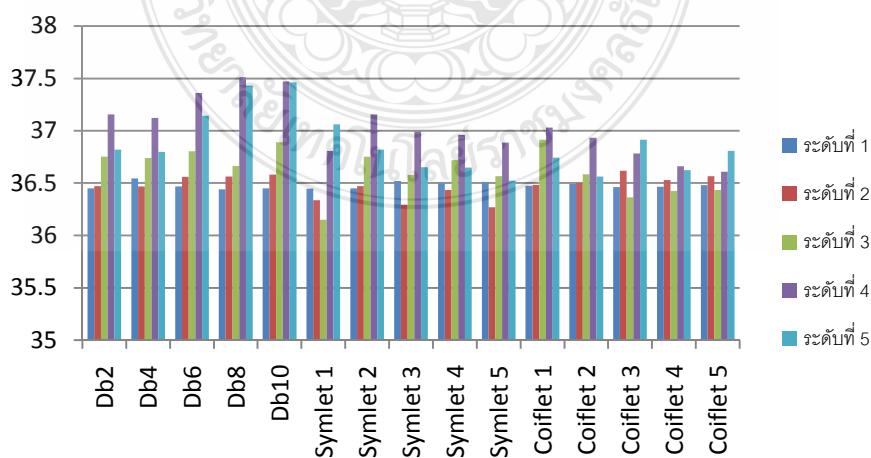
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet3 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.618

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet1 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.914

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db8 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.511

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db10 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.462

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 จะทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า PSNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR สัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการเติมศูนย์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงค่า PSNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูดของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	36.451	36.467	36.75	37.158	36.821
Db4	36.546	36.464	36.737	37.123	36.799
Db6	36.467	36.557	36.804	37.361	37.143
Db8	36.438	36.562	36.661	37.509	37.432
Db10	36.448	36.579	36.888	37.469	37.461
Symlet 1	36.44	36.337	36.144	36.806	37.064
Symlet 2	36.446	36.467	36.751	37.157	36.821
Symlet 3	36.517	36.289	36.578	36.996	36.654
Symlet 4	36.493	36.431	36.717	36.962	36.649
Symlet 5	36.506	36.267	36.568	36.887	36.523
Coiflet 1	36.471	36.481	36.911	37.032	36.744
Coiflet 2	36.488	36.499	36.583	36.933	36.566
Coiflet 3	36.458	36.615	36.363	36.783	36.915
Coiflet 4	36.46	36.527	36.42	36.656	36.624
Coiflet 5	36.477	36.566	36.431	36.604	36.806

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย PSNR ที่ผ่านกระบวนการเติมเกาส์เซียนนอยส์ของผู้พูดจำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก.20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db4 มีค่า PSNR ที่ค่ามากที่สุด คือ 36.546

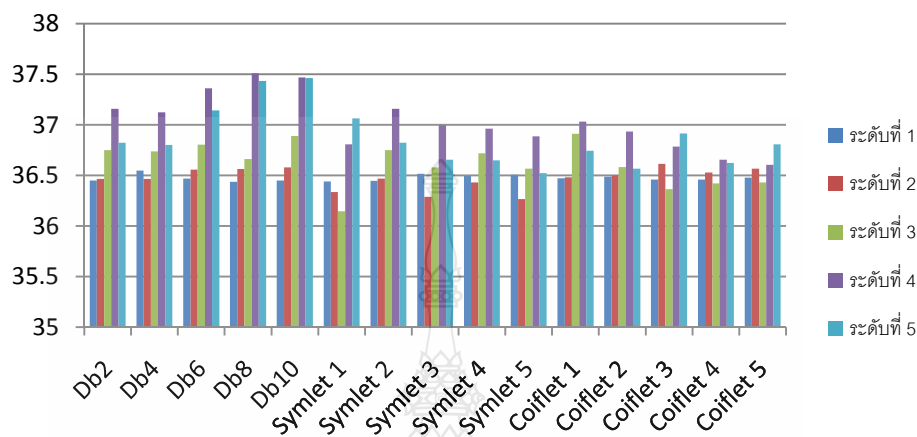
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet3 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.615

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet1 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.911

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db8 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.509

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db10 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.461

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 จะทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า PSNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย PSNR สัญญาณเสียงพูด ของการเติมเกาส์เซียนนอยส์ ของผู้พูดจำนวน 10 คน

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงค่า PSNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการเติมเกาส์เซียนนอยส์ ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูดของกระบวนการ ไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Db2	36.455	36.476	36.758	37.168	36.887
Db4	36.55	36.467	36.738	37.126	36.818
Db6	36.476	36.562	36.808	37.365	37.146
Db8	36.447	36.563	36.665	37.513	37.434
Db10	36.461	36.571	36.9	37.472	37.467
Symlet 1	36.445	36.338	36.15	36.926	37.43
Symlet 2	36.453	36.478	36.757	37.168	36.913
Symlet 3	36.522	36.3	36.579	36.999	36.695
Symlet 4	36.498	36.437	36.722	36.966	36.667

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR ของสัญญาณเสียงพูดของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน (ต่อ)

	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Symlet 5	36.505	36.277	36.57	36.888	36.535
Coiflet 1	36.473	36.482	36.916	37.033	36.782
Coiflet 2	36.502	36.506	36.591	36.932	36.576
Coiflet 3	36.467	36.619	36.364	36.789	36.922
Coiflet 4	36.466	36.529	36.428	36.658	36.622
Coiflet 5	36.482	36.566	36.442	36.615	36.813

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย PSNR ที่ผ่านกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ของผู้พูดจำนวน 10 คน ซึ่งได้จากตารางที่ ก.1 ถึง ก.20 ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db4 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.55

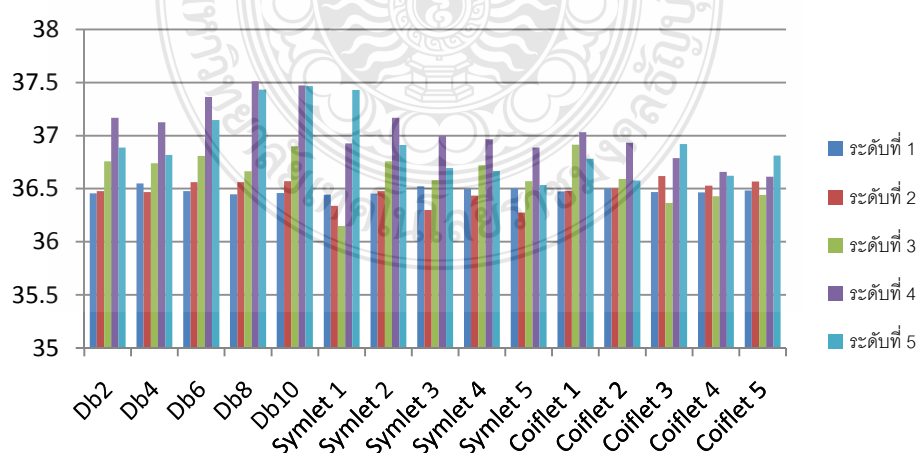
ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet3 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.619

ในระดับที่ 3 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet1 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 36.916

ในระดับที่ 4 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db8 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.513

ในระดับที่ 5 ของการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตชนิด Db10 มีค่า PSNR มีค่ามากที่สุด คือ 37.467

ซึ่งสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ายิ่งทำการบีบอัดข้อมูลในระดับที่สูงขึ้น ดังได้แก่ ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 จะทำให้ค่าคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ค่า PSNR จะมีค่าที่ลดลง [26, 27] ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร



ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย PSNR สัญญาณเสียงพูด ของกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ของผู้พูด 10 คน

จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงค่า PSNR ของสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงในทุกๆ ระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยเฉพาะในระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่น้อย

4.2 ผลการหาประสิทธิภาพการลดเสียงสัญญาณเสียงพูดโดยใช้ไวน์เนอร์ฟิลเตอร์

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าประสิทธิภาพที่ได้จากค่า SNR และ PSNR ของเวฟเล็ตชนิดต่างๆ มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดพบว่าค่า SNR และค่า PSNR ที่ได้จากไวน์เนอร์ฟิลเตอร์นั้นมีค่าประสิทธิภาพที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ขั้นตอน คือ การเติมศูนย์, การเติมเกาส์เซียนนอยส์ และไวน์เนอร์ แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

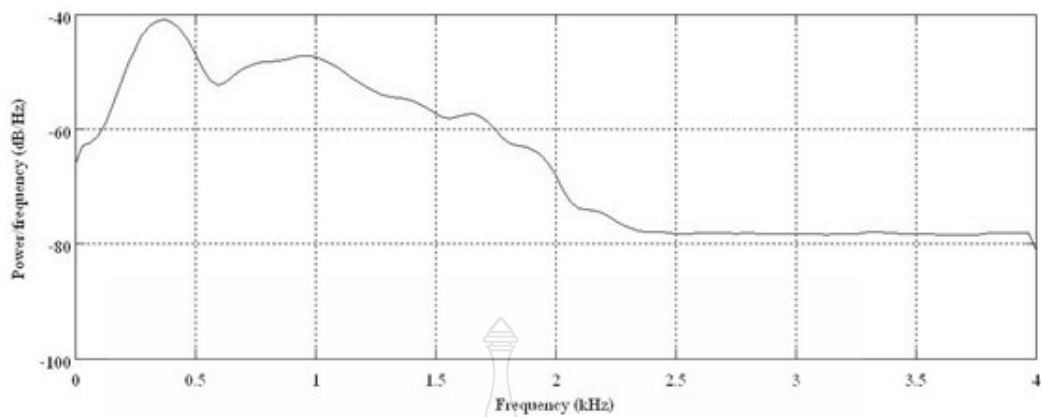
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของ SNR ที่ได้จากเวฟเล็ตชนิดต่างๆ

Signal-to-Noise Ratio : SNR								
ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	Noise	wiener
15.2403	15.2202	15.6191	11.0635	11.1548	11.1483	9.4820	9.3744	9.3422

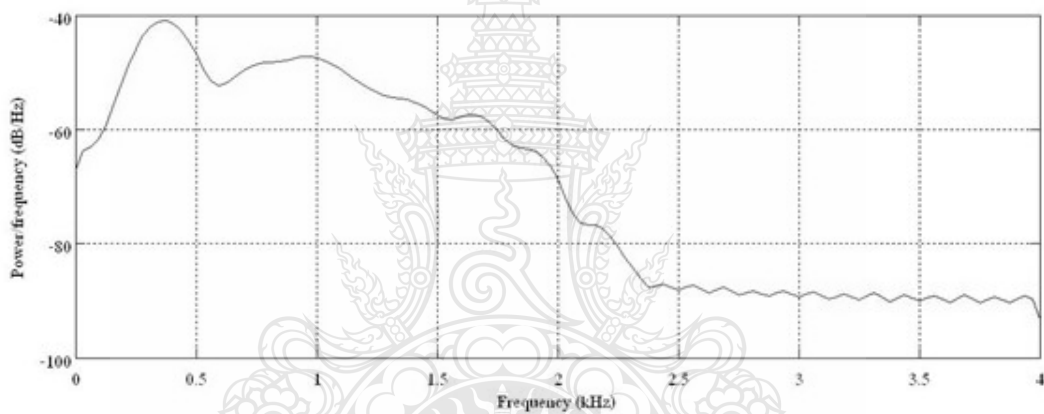
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของ PSNR ที่ได้จากเวฟเล็ตชนิดต่างๆ

Peak Signal-to-Noise Ratio : PSNR								
ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	Wiener
36.4764	36.4739	36.4803	36.4760	36.4739	36.4780	36.6223	36.6205	36.6258

นอกจากการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงพูดโดยใช้ค่า SNR, PSNR และอัตราการบีบอัดสัญญาณแล้ว ถ้าพิจารณาค่าพลังงานของสัญญาณเสียง (Power Spectrum) ของสัญญาณเสียงพูด พบว่าพลังงานของสัญญาณเสียงที่เพิ่มสัญญาณเกาส์เซียนนอยส์เข้ากับสัญญาณเสียงที่คืนกลับนั้นมีค่าพลังงานที่ต่ำกว่าระดับพลังงานของสัญญาณเสียงที่ผ่านไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ นอกจากนี้ถ้าคุณลักษณะของสัญญาณเสียงพูดจากกราฟของ Power Spectrum ที่ผ่านไวน์เนอร์ฟิลเตอร์พบว่าคุณลักษณะของสัญญาณมีความราบเรียบ (Smooth) ขึ้นเมื่อเทียบกับสัญญาณที่ลดเสียงด้วยเกาส์เซียนนอยส์เพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4.9 Power Spectrum ของสัญญาณคืนกลับที่ซัดเซด้วยเกาส์เซียนนอยส์



ภาพที่ 4.10 Power Spectrum ของสัญญาณคืนกลับหลังผ่านไวน์เนอร์ฟิลเตอร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคเวฟเล็ตร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยระบบการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตร่วมกับไวน์เนอร์ฟิลเตอร์ ซึ่งปกติแล้วในกระบวนการส่งสัญญาณเสียงที่มีการบีบอัดนั้น เพื่อต้องการให้สัญญาณเสียงพูดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ แต่มีขนาดของสัญญาณเสียงพูดที่ลดลงจากการบีบอัดสัญญาณ จึงทำการชดเชยสัญญาณเสียงพูดโดยการเติมศูนย์ เข้ากับส่วนของสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณเสียง แต่เนื่องจากคุณภาพของสัญญาณจะมีลักษณะที่แตกต่างจากสัญญาณเสียงพูด (ไม่เสมือนจริง) ซึ่งทำการชดเชยสัญญาณเสียงในส่วนที่เป็นศูนย์ด้วยสัญญาณเกาส์เซียนนอยส์ ซึ่งจะทำให้สัญญาณเสียงพูดมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับเสียงพูดจริงๆ แต่การเพิ่มสัญญาณรบกวนก็จะทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่ได้มีคุณภาพของเสียงที่ไม่ดีมากนัก หากมีสัญญาณรบกวนมากเกินไป ดังนั้นจึงทำการปรับระดับของสัญญาณรบกวนให้ลดลง โดยนำสัญญาณเสียงที่ทำการชดเชยด้วยสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองที่เรียกว่า ตัวกรองไวน์เนอร์ ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ได้มีระดับของสัญญาณรบกวนที่ลดลง

ในการหาประสิทธิภาพของสัญญาณ โดยใช้ค่า SNR และ PSNR นั้น พบว่าการใช้ค่า SNR ในการหาประสิทธิภาพ เพื่อหาคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการเติมศูนย์ การเติมเกาส์เซียนนอยส์ และการผ่านตัวกรองไวน์เนอร์ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงมาก ทำให้ระบุนิคมของการบีบอัดโดยใช้เวฟเล็ตได้ยากดังภาพที่ 4.3 – 4.5 ซึ่งแตกต่างจากการใช้ค่า PSNR ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่มีเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่มาก จากภาพที่ 4.6 – 4.8

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังพบว่าสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการตัวกรองไวน์เนอร์ มีค่าประสิทธิภาพของสัญญาณโดยวัดจาก SNR และ PSNR ที่มากกว่าสัญญาณเสียงพูดที่ถูกคืนกลับสัญญาณโดยเวฟเล็ตโดยการเติมศูนย์ในส่วนของสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณเสียง ดังตารางที่ 4.27 และตารางที่ 4.28 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพ SNR เท่ากับ 15.6191, 11.1483 และ 9.3422 ในการบีบอัดในระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 3 และให้ค่าประสิทธิภาพ PSNR เท่ากับ 36.4803, 36.4780 และ 36.6258 ในการ

บีบอัดในระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 3 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าพลังงานที่ดูจาก Power Spectrum พบว่า คุณลักษณะของสัญญาณเสียงที่ผ่านตัวกรองไวน์เนอร์มีพลังงานที่สูงขึ้นและมีราบเรียบของสัญญาณที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

5.2.1 ควรนำหลักการบีบอัดเสียงพูดโดยการแปลงเวฟเล็ทและการชดเชยสัญญาณเสียงพูดที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในตัวประมวลผลสัญญาณ เช่น บอร์ดเอฟพีจีเอ (FPGA) หรือบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เพื่อหาคุณภาพที่ได้จากอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริง

5.2.2 ควรทดลองหาประสิทธิภาพของการบีบอัดอื่น ๆ เทียบกับการบีบอัดโดยใช้เวฟเล็ท เพื่อหาว่าวิธีใด ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในงานด้านการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด



รายการอ้างอิง

- [1] Ranjan, S., “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
- [2] Yan Long Liu and Gang Guo Jun, “Selection of The Best Wavelet Base for Speech Signal,” **Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing**, Oct 2004, Beijing China, 2004: pp 218-221
- [3] เอกชัย เนาวนิช. โปรแกรมฝึกออกเสียงพยัญชนะไทยสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยินโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [4] จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร. การวิเคราะห์แนวทางเดินเสียงพูดในรูปแบบของสัมประสิทธิ์คู่เส้นสเปกตรัมร่วมกับ Double Clustering. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [5] อรรถจักร จิตต์โสภักตร์. **Digital Image Processing**, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท สงวนวงกิจ พรินท์ แอนด์ มีเดีย, 2552: หน้า 200-222.
- [6] สุทธิ ทับทองดี. การพัฒนาเทคนิคสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดภาษาไทย ในมาตรฐาน LPC-10. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [7] Wikipedia, Mean opinion score - Wikipedia, the free encyclopedia (Online), 2011. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_opinion_score (13 April 2011).
- [8] Junejo, N. Ahmed, N. Unar, M.A. Rajput, A.Q.K., “Speech and Image Compression Using Discrete Wavelet Transform,” **IEEE/Sarnoff Symposium on Advances in Wired and Wireless Communication**, April 2005, Princeton NJ, 2005: pp 45–48.
- [9] A. Mawla, et al., “Speech Compression using Discrete Wavelet Transform,” **Proceedings. 4th National Conference on Telecommunication Technology (NCTT 2003)**, Jan 2003, Serdang Malaysia, 2003. pp 1–4
- [10] จักรพันธ์ จิตรทรัพย์. การรู้จำเสียงคำไทยด้วยวิธีการเอ็มเอฟซีซี และโครงข่ายประสาทเทียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.

- [11] 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
- [12] Jia, H., et al. "A Modified Speech Enhancement Algorithm Based on the Subspace," **Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, 2009. (KAM '09)**, Dec 2009, Wuhan China, 2009. pp 344–347
- [13] Zhiyong He Maoqing Zhang. "Detection and Removal of Impulsive White Noise from Noisy Speech," **6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)**, Sep 2010, Chengdu China, 2010. pp 1-4
- [14] Maithani, S. and Tyagi, R. "Noise Characterization and Classification for Background Estimation," **International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN '08)**, Jan 2008, Chennai China, 2008. pp 208-213
- [15] Wonyong Chong Jongsoo Kim. "Speech and Image Compressions by DCT, Wavelet, and Wavelet Packet," **Proceedings of 1997 International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS)**, Sep 1997, Singapore. pp 1353-1357
- [16] E. Ggee, W. J. and Phillips, W. Robertson. "Comparing Audio Compression using Wavelets with Other Audio Compression Schemes," **IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**, May 1999, Edmonton, Alta, 1999. pp 698-701
- [17] Hosny, N.M. El-Ramly and S.H. El-Said, M.H., "Novel Techniques for Speech Compression using Wavelet Transform," **The Eleventh International Conference on Microelectronics (ICM '99)**, Nov 1999, Cairo Egypt, 1999. pp 225-229
- [18] 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
- [19] Rufiner, H.L. and Goddard C.J. "A method of wavelet selection in phoneme recognition," **Proceedings of the 40th Midwest Symposium on Circuits and Systems**, Aug 1997, Sacramento CA, 1997. pp 889-891

- [20] Hosny, N.M., et al. "Novel techniques for speech compression using wavelet transform," **The Eleventh International Conference on Microelectronics (ICM '99)**, Nov 1999, Cairo Egypt, 1999. pp 225-229
- [21] Agbinya, J.I. "Discrete wavelet transform techniques in speech processing," **Proceedings in Digital Signal Processing Applications (TENCON '96)**, Nov 1996, Perth WA, 1996. pp 514-519
- [22] ภาณี น้อยยิ่ง. การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ทางเวลาระหว่างสัญญาณ ECG และ PCG โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [23] โอฬาร จรุงพรสวัสดิ์. การประมาณสัญญาณรบกวนเพื่อให้การทำความเข้าใจของเสียงพูดมีความแม่นยำในสภาพแวดล้อมทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- [24] Priyabrata Sinha. **Speech Processing in Embedded Systems**, Springer Science+Business Media, 2010.
- [25] Lan McLoughlin, **Applied Speech and Audio Processing with MATLAB Examples**, Cambridge University Press, 2009.
- [26] Khunrattanasiri, W., Srinonchat, J. "Comparison Efficiency of Speech Compression using Wavelet Technique," Joint International Conference on Information & Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE 2011) , Dec 2010, Luangprabang, Lao PDR, 2010, pp 242-246.
- [27] วีระยุทธ คุณรัตนศิริ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร. "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงพูดโดยใช้เทคนิคเวฟเล็ต". การประชุมเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 (EENET 2011). 9-11 มีนาคม 2554, กรุงเทพฯ, ไทย หน้า 339-342.
- [28] วีระยุทธ คุณรัตนศิริ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร. "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเสียงร่วมกับการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยการแปลงเวฟเล็ต". การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 3 (ECTI-CARD 2011). 4-6 พฤษภาคม 2554, กรุงเทพฯ, ไทย, หน้า 382-385.

- [29] Li Yang, et al. "The Performance Analysis of Concatenated Turbo Coding Scheme over the DVB-T Transmission Channel," **International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM '08)**, Oct 2008, Beijing China, 1993. pp 1-4.
- [30] A. Erell, M. Weintraub. "Energy Conditioned Spectral Estimation for Recognition of Noisy Speech," **IEEE Transactions on Speech and Audio Processing**. Jan 1993, Menlo Park, CA, 1993. pp 84–89.
- [31] Brinkworth, R.S.A. and O'Carroll, D.C. "Bio-inspired model for robust motion detection under noisy conditions," **Proceedings in International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2010)**. July 2010, SA Australia, 2010. pp 1–8.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

คำประสิทธิ์ภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด

ตารางที่ ก.1 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 1

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	13.80	13.90	14.38	11.18	11.08	13.87	8.87	9.17	9.36
	PSNR	37.13	37.14	37.14	37.24	37.24	37.25	37.36	37.37	37.37
	Compression	4.02	4.02	4.02	7.66	7.66	7.66	14.25	14.25	14.25
Db4	SNR	12.45	12.09	12.68	8.17	8.09	8.12	11.43	11.18	12.14
	PSNR	37.19	37.20	37.21	37.13	37.12	37.12	37.25	37.25	37.25
	Compression	3.94	3.94	3.94	7.26	7.26	7.26	12.53	12.53	12.53
Db6	SNR	16.23	16.36	17.23	11.06	11.23	11.33	13.80	11.52	11.17
	PSNR	37.14	37.14	37.15	37.26	37.25	37.26	37.28	37.28	37.28
	Compression	3.87	3.87	3.87	6.90	6.90	6.90	11.49	11.49	11.49
Db8	SNR	17.05	15.99	16.04	9.61	9.99	9.66	10.85	10.57	11.56
	PSNR	37.16	37.16	37.18	37.27	37.27	37.27	37.23	37.23	37.23
	Compression	3.80	3.80	3.80	6.57	6.57	6.57	10.34	10.34	10.34
Db10	SNR	14.89	14.81	16.87	10.37	10.03	9.98	9.59	9.43	8.91
	PSNR	37.24	37.24	37.25	37.20	37.20	37.18	37.58	37.58	37.60
	Compression	3.73	3.73	3.73	6.27	6.27	6.27	9.62	9.62	9.62
Symlet 1	SNR	14.55	14.53	13.82	8.87	8.70	9.03	9.57	9.42	9.30
	PSNR	37.15	37.15	37.14	36.99	36.99	37.00	36.82	36.82	36.82
	Compression	4.06	4.06	4.06	7.96	7.96	7.96	15.30	15.30	15.30
Symlet 2	SNR	13.80	14.02	14.82	11.18	11.05	12.76	8.87	8.66	9.15
	PSNR	37.13	37.14	37.14	37.24	37.24	37.25	37.36	37.36	37.37
	Compression	4.02	4.02	4.02	7.66	7.66	7.66	14.25	14.25	14.25
Symlet 3	SNR	16.85	18.19	16.49	8.53	8.49	8.58	10.23	10.25	10.86
	PSNR	37.19	37.19	37.19	37.03	37.03	37.05	37.16	37.16	37.16
	Compression	3.98	3.98	3.98	7.53	7.53	7.53	13.34	13.34	13.34
Symlet 4	SNR	14.09	15.04	14.23	9.63	9.65	10.04	10.14	10.40	9.69
	PSNR	37.23	37.23	37.23	37.14	37.13	37.14	37.30	37.30	37.31
	Compression	3.94	3.94	3.94	7.26	7.26	7.26	12.53	12.53	12.53
Symlet 5	SNR	16.87	19.00	16.92	7.04	6.99	7.27	10.33	10.70	9.86
	PSNR	37.25	37.25	37.24	36.85	36.85	36.86	37.12	37.14	37.12
	Compression	3.91	3.91	3.91	7.14	7.14	7.14	12.16	12.16	12.16
Coiflet 1	SNR	14.93	16.56	14.33	9.80	9.84	9.73	11.21	10.78	11.20
	PSNR	37.17	37.17	37.17	37.13	37.13	37.13	37.46	37.45	37.46
	Compression	3.98	3.98	3.98	7.53	7.53	7.53	13.34	13.34	13.34
Coiflet 2	SNR	14.73	15.10	15.75	9.40	9.37	9.59	10.32	9.95	10.08
	PSNR	37.20	37.19	37.22	37.24	37.24	37.25	37.12	37.12	37.13
	Compression	3.87	3.87	3.87	6.90	6.90	6.90	11.49	11.49	11.49
Coiflet 3	SNR	13.69	14.61	15.23	8.71	8.81	8.62	8.54	8.50	8.74
	PSNR	37.19	37.19	37.19	37.27	37.26	37.27	36.98	36.98	36.98
	Compression	3.77	3.77	3.77	6.47	6.47	6.47	10.09	10.09	10.09
Coiflet 4	SNR	17.29	15.67	18.34	9.18	9.16	9.51	8.38	8.28	8.27
	PSNR	37.24	37.24	37.24	37.23	37.23	37.21	37.12	37.11	37.13
	Compression	3.67	3.67	3.67	6.00	6.00	6.00	8.80	8.80	8.80
Coiflet 5	SNR	15.65	16.32	16.04	11.47	11.07	10.38	9.01	9.15	9.20
	PSNR	37.24	37.24	37.24	37.27	37.27	37.26	37.01	37.01	37.02
	Compression	3.57	3.57	3.57	5.67	5.67	5.67	7.96	7.96	7.96

ตารางที่ ก.2 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 2

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	13.44	13.53	13.53	10.36	10.24	10.55	7.79	7.84	7.87
	PSNR	37.14	37.14	37.15	37.22	37.21	37.23	37.39	37.39	37.40
	Compression	4.16	4.16	4.16	7.93	7.93	7.93	14.72	14.72	14.72
Db4	SNR	11.80	11.55	12.13	8.61	8.56	8.58	11.05	10.73	11.69
	PSNR	37.22	37.22	37.23	37.13	37.13	37.13	37.27	37.26	37.26
	Compression	4.08	4.08	4.08	7.51	7.51	7.51	12.95	12.95	12.95
Db6	SNR	15.77	15.89	16.51	12.39	13.22	13.23	13.43	10.98	10.66
	PSNR	37.17	37.17	37.18	37.26	37.26	37.26	37.29	37.29	37.29
	Compression	4.01	4.01	4.01	7.14	7.14	7.14	11.87	11.87	11.87
Db8	SNR	16.56	15.44	15.51	10.08	10.46	10.09	10.45	10.03	11.18
	PSNR	37.17	37.17	37.19	37.30	37.30	37.30	37.23	37.23	37.22
	Compression	3.93	3.93	3.93	6.80	6.80	6.80	10.69	10.69	10.69
Db10	SNR	14.58	14.43	16.41	10.61	10.30	10.24	9.70	9.56	9.07
	PSNR	37.23	37.24	37.25	37.27	37.26	37.25	37.56	37.56	37.58
	Compression	3.86	3.86	3.86	6.49	6.49	6.49	9.95	9.95	9.95
Symlet 1	SNR	14.45	14.35	13.35	9.45	9.30	9.50	10.41	10.47	11.14
	PSNR	37.15	37.14	37.14	37.01	37.01	37.01	36.81	36.81	36.81
	Compression	4.20	4.20	4.20	8.23	8.23	8.23	15.80	15.80	15.80
Symlet 2	SNR	13.44	13.53	14.43	10.36	10.14	10.88	7.79	7.74	7.82
	PSNR	37.14	37.14	37.15	37.22	37.22	37.23	37.39	37.39	37.40
	Compression	4.16	4.16	4.16	7.93	7.93	7.93	14.72	14.72	14.72
Symlet 3	SNR	16.60	17.35	16.30	9.22	9.16	9.18	9.97	10.04	10.78
	PSNR	37.20	37.20	37.19	37.05	37.05	37.07	37.19	37.19	37.19
	Compression	4.12	4.12	4.12	7.78	7.78	7.78	13.78	13.78	13.78
Symlet 4	SNR	13.85	13.95	14.00	9.40	9.39	9.79	9.58	9.81	9.13
	PSNR	37.22	37.22	37.22	37.18	37.17	37.18	37.35	37.35	37.36
	Compression	4.08	4.08	4.08	7.51	7.51	7.51	12.95	12.95	12.95
Symlet 5	SNR	16.27	18.37	16.74	7.58	7.51	7.89	10.36	10.75	9.99
	PSNR	37.24	37.24	37.23	36.86	36.86	36.87	37.14	37.15	37.14
	Compression	4.05	4.05	4.05	7.38	7.38	7.38	12.57	12.57	12.57
Coiflet 1	SNR	13.80	14.89	13.81	10.09	10.13	10.03	10.84	10.40	10.82
	PSNR	37.18	37.18	37.17	37.12	37.12	37.12	37.51	37.51	37.51
	Compression	4.12	4.12	4.12	7.78	7.78	7.78	13.78	13.78	13.78
Coiflet 2	SNR	14.82	14.37	15.40	9.48	9.57	10.42	10.05	9.70	9.85
	PSNR	37.19	37.19	37.22	37.24	37.24	37.25	37.15	37.15	37.16
	Compression	4.01	4.01	4.01	7.14	7.14	7.14	11.87	11.87	11.87
Coiflet 3	SNR	13.34	14.24	14.88	8.54	8.67	8.50	8.54	8.45	8.78
	PSNR	37.20	37.19	37.19	37.34	37.33	37.34	36.99	36.99	36.99
	Compression	3.90	3.90	3.90	6.69	6.69	6.69	10.43	10.43	10.43
Coiflet 4	SNR	16.91	15.02	15.67	9.20	9.21	9.55	11.54	10.06	9.58
	PSNR	37.24	37.23	37.24	37.28	37.28	37.26	37.07	37.06	37.07
	Compression	3.80	3.80	3.80	6.21	6.21	6.21	9.10	9.10	9.10
Coiflet 5	SNR	15.56	16.25	15.95	11.88	11.49	10.74	8.50	8.53	8.54
	PSNR	37.23	37.23	37.23	37.32	37.31	37.30	37.01	37.00	37.02
	Compression	3.70	3.70	3.70	5.87	5.87	5.87	8.23	8.23	8.23

ตารางที่ ก.3 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 3

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	13.30	13.35	13.27	10.56	10.44	10.97	8.00	8.05	8.05
	PSNR	37.09	37.10	37.10	37.18	37.17	37.19	37.35	37.36	37.36
	Compression	4.09	4.09	4.09	7.80	7.80	7.80	14.49	14.49	14.49
Db4	SNR	13.35	12.79	12.60	8.43	8.39	8.41	10.68	10.37	11.34
	PSNR	37.16	37.17	37.17	37.15	37.14	37.15	37.28	37.28	37.28
	Compression	4.01	4.01	4.01	7.39	7.39	7.39	12.74	12.74	12.74
Db6	SNR	16.15	16.23	16.98	11.31	11.49	11.51	12.72	10.26	9.94
	PSNR	37.12	37.12	37.13	37.27	37.27	37.27	37.33	37.33	37.34
	Compression	3.94	3.94	3.94	7.02	7.02	7.02	11.68	11.68	11.68
Db8	SNR	16.68	15.54	16.10	10.25	10.59	10.48	9.80	9.42	10.48
	PSNR	37.12	37.12	37.14	37.26	37.26	37.27	37.26	37.26	37.26
	Compression	3.87	3.87	3.87	6.69	6.69	6.69	10.52	10.52	10.52
Db10	SNR	15.41	14.98	16.69	10.92	10.59	10.48	9.31	9.16	8.66
	PSNR	37.19	37.20	37.20	37.23	37.23	37.21	37.58	37.58	37.60
	Compression	3.80	3.80	3.80	6.38	6.38	6.38	9.79	9.79	9.79
Symlet 1	SNR	13.88	13.81	12.95	10.21	10.46	10.47	9.35	9.28	8.92
	PSNR	37.10	37.09	37.09	37.01	37.01	37.01	36.80	36.80	36.80
	Compression	4.13	4.13	4.13	8.10	8.10	8.10	15.56	15.56	15.56
Symlet 2	SNR	13.30	13.22	13.98	10.56	10.21	11.23	8.00	7.96	8.01
	PSNR	37.09	37.09	37.10	37.18	37.17	37.19	37.35	37.35	37.36
	Compression	4.09	4.09	4.09	7.80	7.80	7.80	14.49	14.49	14.49
Symlet 3	SNR	15.93	16.67	15.59	8.64	8.63	8.72	9.87	9.95	10.61
	PSNR	37.20	37.19	37.19	36.99	36.99	37.00	37.17	37.17	37.18
	Compression	4.05	4.05	4.05	7.66	7.66	7.66	13.56	13.56	13.56
Symlet 4	SNR	13.56	13.43	14.09	9.86	9.88	10.35	9.60	9.83	9.16
	PSNR	37.19	37.19	37.19	37.10	37.10	37.11	37.32	37.33	37.33
	Compression	4.01	4.01	4.01	7.39	7.39	7.39	12.74	12.74	12.74
Symlet 5	SNR	16.54	18.66	16.69	7.48	7.50	7.73	9.85	10.23	9.51
	PSNR	37.21	37.21	37.20	36.87	36.87	36.88	37.15	37.16	37.15
	Compression	3.98	3.98	3.98	7.26	7.26	7.26	12.37	12.37	12.37
Coiflet 1	SNR	13.52	14.71	13.74	9.94	9.97	9.83	10.61	10.18	10.58
	PSNR	37.12	37.12	37.11	37.16	37.16	37.16	37.52	37.51	37.52
	Compression	4.05	4.05	4.05	7.66	7.66	7.66	13.56	13.56	13.56
Coiflet 2	SNR	15.35	14.41	16.08	8.89	8.93	8.77	9.84	9.50	9.61
	PSNR	37.17	37.16	37.19	37.23	37.23	37.24	37.15	37.15	37.16
	Compression	3.94	3.94	3.94	7.02	7.02	7.02	11.68	11.68	11.68
Coiflet 3	SNR	13.79	14.73	15.87	8.69	8.80	8.67	9.00	8.69	9.46
	PSNR	37.16	37.15	37.16	37.31	37.30	37.31	36.95	36.94	36.95
	Compression	3.83	3.83	3.83	6.58	6.58	6.58	10.26	10.26	10.26
Coiflet 4	SNR	17.61	15.53	16.63	9.67	9.62	10.10	9.23	9.11	9.68
	PSNR	37.21	37.21	37.21	37.24	37.24	37.22	37.04	37.04	37.05
	Compression	3.73	3.73	3.73	6.11	6.11	6.11	8.96	8.96	8.96
Coiflet 5	SNR	15.72	16.19	16.21	11.59	11.18	10.46	8.39	8.45	8.41
	PSNR	37.19	37.19	37.19	37.31	37.31	37.30	36.99	36.99	37.00
	Compression	3.63	3.63	3.63	5.77	5.77	5.77	8.10	8.10	8.10

ตารางที่ ก.4 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 4

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	15.51	14.94	15.25	11.32	11.30	11.70	9.16	9.31	9.01
	PSNR	36.11	36.12	36.11	36.07	36.07	36.05	36.35	36.34	36.35
	Compression	4.35	4.35	4.35	8.28	8.28	8.28	15.34	15.34	15.34
Db4	SNR	15.96	15.01	15.80	9.92	9.98	9.95	7.12	7.10	7.30
	PSNR	36.20	36.19	36.21	36.16	36.17	36.16	36.46	36.46	36.47
	Compression	4.27	4.27	4.27	7.84	7.84	7.84	13.50	13.50	13.50
Db6	SNR	13.77	14.35	14.37	12.07	11.84	11.95	6.58	6.71	6.53
	PSNR	36.14	36.13	36.13	36.23	36.22	36.23	36.63	36.63	36.63
	Compression	4.19	4.19	4.19	7.45	7.45	7.45	12.38	12.38	12.38
Db8	SNR	19.10	20.54	21.44	11.46	11.77	11.49	8.00	7.93	8.30
	PSNR	36.05	36.05	36.05	36.16	36.17	36.18	36.42	36.41	36.42
	Compression	4.11	4.11	4.11	7.10	7.10	7.10	11.15	11.15	11.15
Db10	SNR	18.12	17.44	17.27	10.02	10.07	10.11	6.74	6.72	6.91
	PSNR	35.96	35.95	35.97	36.28	36.28	36.29	36.53	36.52	36.53
	Compression	4.04	4.04	4.04	6.78	6.78	6.78	10.38	10.38	10.38
Symlet 1	SNR	15.11	15.48	15.46	12.42	12.98	12.16	10.12	10.23	10.02
	PSNR	36.08	36.08	36.08	36.00	36.00	35.99	35.81	35.79	35.79
	Compression	4.39	4.39	4.39	8.59	8.59	8.59	16.47	16.47	16.47
Symlet 2	SNR	15.51	18.52	16.32	11.32	11.37	11.70	9.16	9.33	8.97
	PSNR	36.11	36.11	36.12	36.07	36.06	36.05	36.35	36.35	36.35
	Compression	4.35	4.35	4.35	8.28	8.28	8.28	15.34	15.34	15.34
Symlet 3	SNR	15.26	14.73	15.37	11.92	11.37	12.59	10.39	10.37	10.53
	PSNR	36.17	36.16	36.18	35.83	35.82	35.83	36.23	36.23	36.24
	Compression	4.31	4.31	4.31	8.13	8.13	8.13	14.36	14.36	14.36
Symlet 4	SNR	17.68	16.94	16.18	12.60	12.67	14.76	8.84	8.79	8.68
	PSNR	36.14	36.14	36.14	35.98	35.98	35.99	36.37	36.37	36.37
	Compression	4.27	4.27	4.27	7.84	7.84	7.84	13.50	13.50	13.50
Symlet 5	SNR	20.27	20.12	16.46	9.02	9.16	9.12	10.09	10.14	9.72
	PSNR	36.15	36.15	36.16	36.05	36.05	36.05	36.26	36.26	36.27
	Compression	4.23	4.23	4.23	7.71	7.71	7.71	13.11	13.11	13.11
Coiflet 1	SNR	18.05	17.09	18.21	9.84	9.78	10.24	5.66	5.69	5.66
	PSNR	36.14	36.14	36.15	36.21	36.21	36.21	36.63	36.63	36.63
	Compression	4.31	4.31	4.31	8.13	8.13	8.13	14.36	14.36	14.36
Coiflet 2	SNR	16.16	16.03	16.47	14.66	15.65	14.70	8.90	8.88	8.88
	PSNR	36.11	36.11	36.12	36.07	36.07	36.08	36.34	36.34	36.34
	Compression	4.19	4.19	4.19	7.45	7.45	7.45	12.38	12.38	12.38
Coiflet 3	SNR	15.58	16.21	15.51	12.45	11.70	10.89	13.92	14.20	13.87
	PSNR	36.05	36.05	36.05	36.26	36.26	36.28	35.96	35.96	35.96
	Compression	4.07	4.07	4.07	6.99	6.99	6.99	10.88	10.88	10.88
Coiflet 4	SNR	15.69	17.45	15.84	9.88	9.90	9.82	12.16	12.08	12.54
	PSNR	36.06	36.05	36.04	36.20	36.20	36.21	35.97	35.98	35.97
	Compression	3.97	3.97	3.97	6.49	6.49	6.49	9.50	9.50	9.50
Coiflet 5	SNR	15.10	16.60	15.91	10.37	10.30	10.82	10.87	10.87	10.72
	PSNR	36.05	36.05	36.05	36.28	36.28	36.28	36.04	36.03	36.04
	Compression	3.86	3.86	3.86	6.13	6.13	6.13	8.59	8.59	8.59

ตารางที่ ก.5 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 5

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	20.10	18.22	21.28	11.22	11.26	11.16	11.08	10.76	10.63
	PSNR	34.84	34.84	34.84	34.56	34.57	34.58	34.78	34.77	34.78
	Compression	4.85	4.85	4.85	9.20	9.20	9.20	16.97	16.97	16.97
Db4	SNR	15.05	15.15	14.75	13.47	16.09	13.43	8.76	8.81	8.69
	PSNR	34.88	34.88	34.88	34.70	34.69	34.70	35.02	35.01	35.02
	Compression	4.76	4.76	4.76	8.72	8.72	8.72	14.95	14.95	14.95
Db6	SNR	17.51	17.10	17.31	12.39	12.37	12.42	8.46	9.25	7.91
	PSNR	34.77	34.76	34.78	34.71	34.70	34.70	35.10	35.10	35.11
	Compression	4.67	4.67	4.67	8.29	8.29	8.29	13.73	13.73	13.73
Db8	SNR	16.13	15.43	15.99	12.09	11.90	11.86	9.16	9.45	9.09
	PSNR	34.68	34.68	34.68	34.70	34.70	34.70	34.96	34.95	34.96
	Compression	4.58	4.58	4.58	7.90	7.90	7.90	12.37	12.37	12.37
Db10	SNR	15.94	14.81	16.66	12.74	13.19	12.96	10.35	9.45	9.35
	PSNR	34.63	34.62	34.64	34.79	34.79	34.78	34.96	34.95	34.97
	Compression	4.50	4.50	4.50	7.54	7.54	7.54	11.52	11.52	11.52
Symlet 1	SNR	17.19	15.68	18.32	10.08	10.16	10.29	10.96	10.42	9.60
	PSNR	34.79	34.78	34.80	34.73	34.73	34.74	34.46	34.45	34.44
	Compression	4.90	4.90	4.90	9.55	9.55	9.55	18.20	18.20	18.20
Symlet 2	SNR	20.10	21.22	19.93	11.22	11.40	11.24	11.08	10.45	10.58
	PSNR	34.84	34.84	34.84	34.56	34.57	34.58	34.78	34.78	34.78
	Compression	4.85	4.85	4.85	9.20	9.20	9.20	16.97	16.97	16.97
Symlet 3	SNR	16.33	15.98	17.97	11.72	11.63	12.10	9.93	9.82	9.88
	PSNR	34.84	34.84	34.85	34.51	34.50	34.51	34.79	34.79	34.79
	Compression	4.80	4.80	4.80	9.04	9.04	9.04	15.90	15.90	15.90
Symlet 4	SNR	18.36	17.36	19.21	12.04	12.20	13.38	11.73	12.07	10.87
	PSNR	34.79	34.78	34.79	34.60	34.60	34.61	34.83	34.83	34.83
	Compression	4.76	4.76	4.76	8.72	8.72	8.72	14.95	14.95	14.95
Symlet 5	SNR	14.36	14.65	15.54	16.01	15.04	15.37	10.88	11.32	10.95
	PSNR	34.81	34.81	34.81	34.62	34.61	34.63	34.84	34.84	34.85
	Compression	4.71	4.71	4.71	8.57	8.57	8.57	14.52	14.52	14.52
Coiflet 1	SNR	19.53	20.56	16.85	11.54	11.51	11.37	7.16	7.20	7.25
	PSNR	34.80	34.80	34.79	34.64	34.63	34.64	35.09	35.09	35.08
	Compression	4.80	4.80	4.80	9.04	9.04	9.04	15.90	15.90	15.90
Coiflet 2	SNR	19.56	19.99	18.84	12.20	11.98	13.85	14.60	13.45	13.58
	PSNR	34.77	34.77	34.78	34.70	34.70	34.70	34.76	34.76	34.76
	Compression	4.67	4.67	4.67	8.29	8.29	8.29	13.73	13.73	13.73
Coiflet 3	SNR	18.73	17.33	20.75	13.18	13.27	15.18	9.01	9.06	8.95
	PSNR	34.68	34.67	34.71	34.74	34.74	34.76	34.73	34.73	34.73
	Compression	4.54	4.54	4.54	7.78	7.78	7.78	12.08	12.08	12.08
Coiflet 4	SNR	18.07	17.17	20.59	11.69	11.71	13.65	12.45	12.33	11.82
	PSNR	34.67	34.67	34.67	34.74	34.74	34.75	34.83	34.83	34.84
	Compression	4.42	4.42	4.42	7.22	7.22	7.22	10.55	10.55	10.55
Coiflet 5	SNR	19.08	17.87	18.87	15.02	14.83	14.83	10.76	10.74	11.59
	PSNR	34.63	34.62	34.62	34.68	34.69	34.70	34.85	34.85	34.87
	Compression	4.31	4.31	4.31	6.83	6.83	6.83	9.55	9.55	9.55

ตารางที่ ก.6 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 6

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	16.96	19.26	20.17	15.16	15.81	16.97	6.62	6.68	6.68
	PSNR	36.54	36.55	36.55	36.67	36.66	36.67	37.05	37.05	37.06
	Compression	4.95	4.95	4.95	9.38	9.38	9.38	17.30	17.30	17.30
Db4	SNR	13.71	13.73	15.75	11.45	11.68	11.47	7.12	7.17	7.15
	PSNR	36.67	36.67	36.67	36.73	36.73	36.74	36.98	36.98	36.99
	Compression	4.85	4.85	4.85	8.89	8.89	8.89	15.24	15.24	15.24
Db6	SNR	15.48	15.30	17.00	15.24	15.35	13.19	8.06	8.37	8.23
	PSNR	36.55	36.56	36.56	36.67	36.67	36.67	37.12	37.12	37.12
	Compression	4.76	4.76	4.76	8.45	8.45	8.45	13.99	13.99	13.99
Db8	SNR	15.55	14.67	15.74	11.76	12.15	12.32	8.64	8.96	8.96
	PSNR	36.57	36.56	36.56	36.76	36.75	36.77	36.87	36.87	36.87
	Compression	4.67	4.67	4.67	8.05	8.05	8.05	12.61	12.61	12.61
Db10	SNR	15.04	14.56	14.47	9.60	9.61	9.58	5.89	5.91	5.90
	PSNR	36.56	36.57	36.56	36.77	36.77	36.75	37.14	37.14	37.14
	Compression	4.59	4.59	4.59	7.69	7.69	7.69	11.75	11.75	11.75
Symlet 1	SNR	14.38	14.70	16.86	11.20	11.37	11.11	6.34	6.32	6.15
	PSNR	36.50	36.50	36.51	36.56	36.56	36.55	35.95	35.94	35.96
	Compression	4.99	4.99	4.99	9.74	9.74	9.74	18.55	18.55	18.55
Symlet 2	SNR	16.96	16.82	17.94	15.16	15.09	15.36	6.62	6.66	6.68
	PSNR	36.54	36.53	36.55	36.67	36.66	36.68	37.05	37.05	37.05
	Compression	4.95	4.95	4.95	9.38	9.38	9.38	17.30	17.30	17.30
Symlet 3	SNR	14.39	14.42	13.99	12.73	12.37	12.21	7.73	7.84	7.60
	PSNR	36.67	36.68	36.69	36.45	36.44	36.43	36.83	36.83	36.83
	Compression	4.90	4.90	4.90	9.21	9.21	9.21	16.21	16.21	16.21
Symlet 4	SNR	16.08	14.90	17.63	12.86	13.17	13.92	7.00	6.96	6.96
	PSNR	36.62	36.62	36.63	36.70	36.70	36.70	37.01	37.01	37.02
	Compression	4.85	4.85	4.85	8.89	8.89	8.89	15.24	15.24	15.24
Symlet 5	SNR	12.86	13.27	13.12	10.37	10.36	10.32	11.55	10.81	9.86
	PSNR	36.60	36.60	36.60	36.48	36.47	36.48	36.84	36.83	36.84
	Compression	4.81	4.81	4.81	8.74	8.74	8.74	14.80	14.80	14.80
Coiflet 1	SNR	16.86	15.94	17.12	10.54	10.60	11.25	5.58	5.59	5.57
	PSNR	36.59	36.58	36.59	36.74	36.73	36.71	37.19	37.19	37.19
	Compression	4.90	4.90	4.90	9.21	9.21	9.21	16.21	16.21	16.21
Coiflet 2	SNR	14.13	14.12	14.28	11.33	11.93	12.38	8.25	8.35	8.24
	PSNR	36.62	36.62	36.63	36.69	36.69	36.69	36.83	36.83	36.84
	Compression	4.76	4.76	4.76	8.45	8.45	8.45	13.99	13.99	13.99
Coiflet 3	SNR	15.48	16.46	15.92	9.96	9.99	9.96	12.47	12.88	12.43
	PSNR	36.60	36.60	36.62	36.72	36.72	36.72	36.47	36.47	36.46
	Compression	4.63	4.63	4.63	7.93	7.93	7.93	12.31	12.31	12.31
Coiflet 4	SNR	16.45	16.08	15.89	10.73	10.62	10.24	12.42	12.83	11.64
	PSNR	36.56	36.56	36.58	36.71	36.70	36.72	36.48	36.47	36.46
	Compression	4.51	4.51	4.51	7.36	7.36	7.36	10.76	10.76	10.76
Coiflet 5	SNR	14.64	14.85	16.65	9.89	9.92	9.68	11.03	10.79	11.29
	PSNR	36.55	36.54	36.56	36.75	36.75	36.76	36.51	36.50	36.50
	Compression	4.39	4.39	4.39	6.96	6.96	6.96	9.74	9.74	9.74

ตารางที่ ก.7 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 7

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	14.62	14.95	13.64	9.50	9.45	9.54	9.13	9.20	9.02
	PSNR	36.02	36.02	36.02	35.83	35.83	35.85	36.25	36.25	36.25
	Compression	5.63	5.63	5.63	10.65	10.65	10.65	19.54	19.54	19.54
Db4	SNR	15.30	16.97	15.19	10.33	10.28	10.66	9.79	9.37	9.35
	PSNR	36.03	36.03	36.03	35.81	35.81	35.82	36.16	36.16	36.16
	Compression	5.52	5.52	5.52	10.10	10.10	10.10	17.24	17.24	17.24
Db6	SNR	11.87	11.76	13.75	11.21	11.10	11.54	11.29	10.24	9.16
	PSNR	35.96	35.96	35.99	35.86	35.86	35.87	36.14	36.14	36.13
	Compression	5.42	5.42	5.42	9.60	9.60	9.60	15.84	15.84	15.84
Db8	SNR	11.84	11.96	14.24	11.74	11.69	12.69	8.56	8.53	8.56
	PSNR	35.91	35.92	35.93	35.80	35.80	35.80	35.97	35.97	35.98
	Compression	5.32	5.32	5.32	9.15	9.15	9.15	14.29	14.29	14.29
Db10	SNR	15.41	15.00	14.57	11.96	12.21	11.78	9.34	9.46	9.24
	PSNR	35.92	35.92	35.95	35.97	35.97	35.95	36.24	36.24	36.25
	Compression	5.23	5.23	5.23	8.74	8.74	8.74	13.32	13.32	13.32
Symlet 1	SNR	12.29	12.38	12.19	8.84	8.73	8.93	8.51	8.35	8.32
	PSNR	35.98	35.98	35.98	35.69	35.68	35.69	36.01	36.00	36.00
	Compression	5.68	5.68	5.68	11.05	11.05	11.05	20.94	20.94	20.94
Symlet 2	SNR	14.62	15.02	14.33	9.50	9.53	9.55	9.13	9.21	9.06
	PSNR	36.02	36.02	36.02	35.83	35.83	35.85	36.25	36.25	36.25
	Compression	5.63	5.63	5.63	10.65	10.65	10.65	19.54	19.54	19.54
Symlet 3	SNR	16.90	14.65	14.44	10.71	9.47	8.77	11.64	10.36	11.74
	PSNR	36.02	36.02	36.03	35.67	35.66	35.66	36.05	36.06	36.05
	Compression	5.58	5.58	5.58	10.46	10.46	10.46	18.32	18.32	18.32
Symlet 4	SNR	13.69	12.84	13.98	10.03	9.82	10.65	8.92	9.13	8.76
	PSNR	35.97	35.97	35.97	35.76	35.75	35.75	36.19	36.18	36.20
	Compression	5.52	5.52	5.52	10.10	10.10	10.10	17.24	17.24	17.24
Symlet 5	SNR	13.46	13.51	13.39	8.06	8.04	8.12	10.41	10.67	9.63
	PSNR	35.97	35.97	35.97	35.66	35.65	35.66	35.93	35.92	35.93
	Compression	5.47	5.47	5.47	9.93	9.93	9.93	16.75	16.75	16.75
Coiflet 1	SNR	13.66	13.11	12.99	9.99	10.26	10.92	7.72	7.73	7.76
	PSNR	36.01	36.00	36.00	35.75	35.75	35.75	36.32	36.32	36.32
	Compression	5.58	5.58	5.58	10.46	10.46	10.46	18.32	18.32	18.32
Coiflet 2	SNR	13.70	14.05	13.94	12.17	12.28	12.08	9.65	9.76	9.46
	PSNR	35.99	35.99	35.99	35.84	35.83	35.86	35.99	35.99	36.00
	Compression	5.42	5.42	5.42	9.60	9.60	9.60	15.84	15.84	15.84
Coiflet 3	SNR	15.04	15.62	15.69	11.11	11.56	11.06	10.12	9.97	10.05
	PSNR	35.94	35.94	35.95	36.15	36.14	36.14	35.86	35.87	35.87
	Compression	5.27	5.27	5.27	9.01	9.01	9.01	13.95	13.95	13.95
Coiflet 4	SNR	14.82	14.86	15.25	12.10	12.34	11.26	11.77	11.94	11.53
	PSNR	35.90	35.90	35.91	35.91	35.91	35.93	35.93	35.92	35.93
	Compression	5.14	5.14	5.14	8.37	8.37	8.37	12.21	12.21	12.21
Coiflet 5	SNR	14.30	14.69	14.53	13.22	12.82	12.73	9.77	9.71	9.81
	PSNR	35.94	35.94	35.95	35.98	35.99	35.99	35.86	35.84	35.85
	Compression	5.00	5.00	5.00	7.91	7.91	7.91	11.05	11.05	11.05

ตารางที่ ก.8 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 8

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	13.91	13.60	13.91	12.08	12.15	11.90	5.64	5.67	5.46
	PSNR	36.37	36.36	36.38	36.62	36.61	36.62	37.10	37.10	37.12
	Compression	4.59	4.59	4.59	8.73	8.73	8.73	16.16	16.16	16.16
Db4	SNR	12.14	12.19	13.47	11.25	11.05	11.20	5.81	5.88	5.89
	PSNR	36.59	36.59	36.58	36.59	36.59	36.58	37.06	37.05	37.05
	Compression	4.51	4.51	4.51	8.27	8.27	8.27	14.22	14.22	14.22
Db6	SNR	14.24	15.04	14.72	10.81	11.52	10.48	4.83	4.86	4.82
	PSNR	36.46	36.46	36.46	36.73	36.72	36.74	37.18	37.18	37.18
	Compression	4.42	4.42	4.42	7.86	7.86	7.86	13.05	13.05	13.05
Db8	SNR	12.63	12.42	12.31	10.45	10.53	9.89	7.72	7.83	7.35
	PSNR	36.45	36.44	36.45	36.78	36.78	36.78	36.91	36.91	36.91
	Compression	4.34	4.34	4.34	7.49	7.49	7.49	11.76	11.76	11.76
Db10	SNR	15.89	14.83	15.76	8.87	8.50	8.61	5.82	5.88	5.78
	PSNR	36.44	36.44	36.43	36.77	36.77	36.77	37.07	37.07	37.08
	Compression	4.26	4.26	4.26	7.15	7.15	7.15	10.94	10.94	10.94
Symlet 1	SNR	12.60	12.19	12.37	10.02	10.38	11.16	7.61	7.42	7.39
	PSNR	36.41	36.40	36.42	36.34	36.34	36.35	36.04	36.03	36.03
	Compression	4.64	4.64	4.64	9.06	9.06	9.06	17.34	17.34	17.34
Symlet 2	SNR	13.91	12.99	14.54	12.08	12.83	12.08	5.64	5.64	5.43
	PSNR	36.37	36.36	36.37	36.62	36.61	36.62	37.10	37.10	37.12
	Compression	4.59	4.59	4.59	8.73	8.73	8.73	16.16	16.16	16.16
Symlet 3	SNR	15.76	14.58	17.32	12.86	14.58	13.72	7.38	7.40	7.29
	PSNR	36.49	36.48	36.49	36.43	36.43	36.45	36.93	36.93	36.94
	Compression	4.55	4.55	4.55	8.57	8.57	8.57	15.13	15.13	15.13
Symlet 4	SNR	16.73	16.68	15.61	11.73	12.24	11.93	6.58	6.52	6.72
	PSNR	36.48	36.47	36.47	36.58	36.59	36.59	37.04	37.04	37.05
	Compression	4.51	4.51	4.51	8.27	8.27	8.27	14.22	14.22	14.22
Symlet 5	SNR	13.64	14.15	13.70	9.87	11.85	9.45	8.14	8.15	8.10
	PSNR	36.42	36.41	36.42	36.33	36.32	36.32	36.79	36.79	36.80
	Compression	4.46	4.46	4.46	8.13	8.13	8.13	13.81	13.81	13.81
Coiflet 1	SNR	13.87	14.38	15.54	9.17	9.21	9.17	4.50	4.51	4.48
	PSNR	36.45	36.45	36.46	36.74	36.74	36.74	37.21	37.21	37.22
	Compression	4.55	4.55	4.55	8.57	8.57	8.57	15.13	15.13	15.13
Coiflet 2	SNR	15.48	15.16	15.47	13.98	14.31	13.27	7.51	7.44	7.39
	PSNR	36.47	36.47	36.46	36.54	36.54	36.55	36.90	36.90	36.91
	Compression	4.42	4.42	4.42	7.86	7.86	7.86	13.05	13.05	13.05
Coiflet 3	SNR	13.16	13.05	13.14	9.91	10.21	10.25	12.95	12.54	12.75
	PSNR	36.46	36.45	36.45	36.76	36.75	36.75	36.43	36.42	36.43
	Compression	4.30	4.30	4.30	7.38	7.38	7.38	11.47	11.47	11.47
Coiflet 4	SNR	13.78	14.02	13.87	10.37	10.33	10.69	12.18	12.63	12.26
	PSNR	36.40	36.40	36.40	36.62	36.62	36.62	36.38	36.37	36.39
	Compression	4.19	4.19	4.19	6.84	6.84	6.84	10.02	10.02	10.02
Coiflet 5	SNR	12.26	12.52	12.65	11.42	12.29	10.59	11.05	10.94	11.37
	PSNR	36.52	36.51	36.50	36.63	36.63	36.63	36.48	36.48	36.49
	Compression	4.08	4.08	4.08	6.47	6.47	6.47	9.06	9.06	9.06

ตารางที่ ก.9 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 9

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	15.11	14.71	14.56	11.66	11.52	11.35	12.23	12.20	12.62
	PSNR	37.02	37.02	37.03	36.98	36.98	36.97	37.33	37.33	37.34
	Compression	4.19	4.19	4.19	7.97	7.97	7.97	14.80	14.80	14.80
Db4	SNR	13.34	14.00	14.85	10.98	11.21	11.16	9.57	9.63	9.84
	PSNR	37.15	37.15	37.15	37.11	37.11	37.10	37.49	37.48	37.49
	Compression	4.11	4.11	4.11	7.55	7.55	7.55	13.01	13.01	13.01
Db6	SNR	16.26	15.72	17.50	12.82	12.77	12.93	8.22	8.24	8.28
	PSNR	37.12	37.12	37.13	37.22	37.22	37.22	37.53	37.53	37.53
	Compression	4.03	4.03	4.03	7.18	7.18	7.18	11.94	11.94	11.94
Db8	SNR	14.91	14.75	17.47	13.26	14.10	13.70	10.48	10.50	10.80
	PSNR	37.04	37.04	37.06	37.27	37.27	37.26	37.40	37.40	37.40
	Compression	3.96	3.96	3.96	6.84	6.84	6.84	10.75	10.75	10.75
Db10	SNR	15.18	15.47	16.55	13.23	13.76	13.26	7.47	7.44	7.40
	PSNR	37.04	37.04	37.07	37.25	37.25	37.24	37.57	37.57	37.57
	Compression	3.88	3.88	3.88	6.53	6.53	6.53	10.00	10.00	10.00
Symlet 1	SNR	14.93	16.58	14.45	10.55	12.33	10.56	9.38	9.59	9.56
	PSNR	37.03	37.03	37.03	36.90	36.90	36.90	36.94	36.94	36.95
	Compression	4.23	4.23	4.23	8.28	8.28	8.28	15.89	15.89	15.89
Symlet 2	SNR	15.11	15.11	14.98	11.66	12.07	11.37	12.23	12.39	12.52
	PSNR	37.02	37.01	37.02	36.98	36.98	36.97	37.33	37.33	37.34
	Compression	4.19	4.19	4.19	7.97	7.97	7.97	14.80	14.80	14.80
Symlet 3	SNR	15.64	14.73	16.94	10.00	9.83	10.29	13.20	13.12	12.57
	PSNR	37.10	37.10	37.12	36.89	36.88	36.89	37.07	37.06	37.06
	Compression	4.15	4.15	4.15	7.83	7.83	7.83	13.85	13.85	13.85
Symlet 4	SNR	17.05	16.37	17.62	11.45	11.12	11.18	11.48	11.48	11.82
	PSNR	37.08	37.06	37.07	37.04	37.02	37.04	37.22	37.21	37.22
	Compression	4.11	4.11	4.11	7.55	7.55	7.55	13.01	13.01	13.01
Symlet 5	SNR	13.89	13.43	14.57	12.76	12.29	12.16	11.41	11.63	11.32
	PSNR	37.09	37.08	37.10	36.97	36.96	36.99	37.23	37.23	37.23
	Compression	4.07	4.07	4.07	7.42	7.42	7.42	12.63	12.63	12.63
Coiflet 1	SNR	15.07	13.97	15.39	11.75	11.79	11.09	8.17	8.27	8.08
	PSNR	37.03	37.02	37.04	37.14	37.14	37.14	37.54	37.54	37.54
	Compression	4.15	4.15	4.15	7.83	7.83	7.83	13.85	13.85	13.85
Coiflet 2	SNR	14.95	14.38	15.62	9.82	9.89	9.82	12.01	12.02	11.63
	PSNR	37.09	37.10	37.10	37.11	37.11	37.12	37.34	37.33	37.33
	Compression	4.03	4.03	4.03	7.18	7.18	7.18	11.94	11.94	11.94
Coiflet 3	SNR	15.94	15.70	16.64	13.37	13.42	12.92	10.21	10.24	10.42
	PSNR	37.07	37.07	37.08	37.24	37.24	37.23	37.09	37.08	37.07
	Compression	3.92	3.92	3.92	6.73	6.73	6.73	10.49	10.49	10.49
Coiflet 4	SNR	15.84	14.79	15.94	16.44	14.25	14.31	14.24	12.72	12.15
	PSNR	37.08	37.07	37.09	37.09	37.10	37.09	37.15	37.15	37.15
	Compression	3.82	3.82	3.82	6.24	6.24	6.24	9.15	9.15	9.15
Coiflet 5	SNR	14.49	14.24	14.65	15.68	16.09	15.09	10.22	10.34	10.38
	PSNR	37.13	37.13	37.15	37.12	37.13	37.13	37.33	37.33	37.33
	Compression	3.72	3.72	3.72	5.90	5.90	5.90	8.28	8.28	8.28

ตารางที่ ก.10 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 10

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	13.93	14.15	14.85	12.43	12.20	12.25	7.73	7.75	7.70
	PSNR	36.22	36.22	36.22	36.33	36.33	36.35	36.55	36.54	36.55
	Compression	4.57	4.57	4.57	8.68	8.68	8.68	16.06	16.06	16.06
Db4	SNR	13.31	12.46	13.12	9.90	11.17	9.68	9.18	9.28	8.95
	PSNR	36.37	36.38	36.38	36.17	36.15	36.16	36.43	36.43	36.42
	Compression	4.48	4.48	4.48	8.23	8.23	8.23	14.14	14.14	14.14
Db6	SNR	15.17	15.57	16.19	13.94	13.86	13.86	8.22	8.28	8.21
	PSNR	36.25	36.25	36.26	36.40	36.40	36.40	36.45	36.45	36.46
	Compression	4.40	4.40	4.40	7.82	7.82	7.82	12.97	12.97	12.97
Db8	SNR	18.18	16.35	18.41	12.69	13.15	11.91	8.03	7.96	8.12
	PSNR	36.24	36.23	36.24	36.30	36.31	36.31	36.39	36.38	36.40
	Compression	4.32	4.32	4.32	7.45	7.45	7.45	11.69	11.69	11.69
Db10	SNR	13.86	13.58	15.14	10.98	11.17	10.38	9.29	9.18	8.69
	PSNR	36.27	36.26	36.28	36.29	36.29	36.29	36.68	36.67	36.69
	Compression	4.24	4.24	4.24	7.11	7.11	7.11	10.88	10.88	10.88
Symlet 1	SNR	12.24	11.98	12.03	9.80	10.57	9.40	7.78	7.89	7.73
	PSNR	36.27	36.26	36.26	36.14	36.14	36.14	35.88	35.87	35.88
	Compression	4.61	4.61	4.61	9.01	9.01	9.01	17.23	17.23	17.23
Symlet 2	SNR	13.93	14.06	14.72	12.43	11.99	12.43	7.73	7.75	7.69
	PSNR	36.22	36.22	36.22	36.33	36.33	36.35	36.55	36.55	36.55
	Compression	4.57	4.57	4.57	8.68	8.68	8.68	16.06	16.06	16.06
Symlet 3	SNR	16.29	15.15	16.11	9.34	9.23	9.56	13.06	12.09	13.61
	PSNR	36.31	36.31	36.30	36.08	36.08	36.10	36.36	36.36	36.36
	Compression	4.52	4.52	4.52	8.53	8.53	8.53	15.04	15.04	15.04
Symlet 4	SNR	15.30	14.42	14.49	13.60	13.39	15.62	9.53	9.72	9.17
	PSNR	36.26	36.25	36.26	36.27	36.26	36.27	36.54	36.54	36.54
	Compression	4.48	4.48	4.48	8.23	8.23	8.23	14.14	14.14	14.14
Symlet 5	SNR	16.27	17.38	14.84	10.22	12.52	10.56	8.22	8.26	8.23
	PSNR	36.35	36.35	36.33	36.01	36.02	36.03	36.35	36.35	36.36
	Compression	4.44	4.44	4.44	8.09	8.09	8.09	13.73	13.73	13.73
Coiflet 1	SNR	12.55	12.71	12.84	9.97	9.94	10.39	9.55	9.14	9.53
	PSNR	36.25	36.25	36.24	36.20	36.20	36.21	36.67	36.67	36.67
	Compression	4.52	4.52	4.52	8.53	8.53	8.53	15.04	15.04	15.04
Coiflet 2	SNR	15.86	15.58	18.02	10.05	9.89	10.07	9.01	8.60	8.64
	PSNR	36.29	36.29	36.31	36.32	36.32	36.33	36.26	36.26	36.27
	Compression	4.40	4.40	4.40	7.82	7.82	7.82	12.97	12.97	12.97
Coiflet 3	SNR	16.51	17.76	17.95	12.65	11.97	11.46	9.69	9.80	10.08
	PSNR	36.27	36.27	36.28	36.39	36.39	36.40	36.19	36.19	36.19
	Compression	4.28	4.28	4.28	7.33	7.33	7.33	11.41	11.41	11.41
Coiflet 4	SNR	14.19	14.17	15.54	13.00	13.06	13.06	10.90	11.26	10.79
	PSNR	36.29	36.28	36.29	36.27	36.27	36.28	36.28	36.27	36.28
	Compression	4.17	4.17	4.17	6.81	6.81	6.81	9.96	9.96	9.96
Coiflet 5	SNR	15.13	15.89	17.83	15.43	15.18	14.88	9.96	9.88	10.28
	PSNR	36.31	36.31	36.32	36.31	36.32	36.32	36.28	36.28	36.30
	Compression	4.06	4.06	4.06	6.44	6.44	6.44	9.01	9.01	9.01

ตารางที่ ก.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 1

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	3.57	3.76	5.13	6.18	6.12	12.15	3.88	4.54	5.13
	PSNR	0.56	0.56	0.55	0.66	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.41	0.41	0.41	0.73	0.73	0.73
Db4	SNR	3.37	2.56	2.78	2.01	2.05	2.17	5.96	5.01	8.30
	PSNR	0.59	0.59	0.57	0.59	0.60	0.60	0.68	0.67	0.69
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.39	0.39	0.39	0.65	0.65	0.65
Db6	SNR	5.00	4.60	4.74	5.12	5.48	5.33	13.64	6.46	5.20
	PSNR	0.57	0.56	0.56	0.60	0.60	0.61	0.65	0.65	0.65
	Compression	0.21	0.21	0.21	0.37	0.37	0.37	0.60	0.60	0.60
Db8	SNR	6.70	5.37	5.73	2.94	3.44	3.30	5.29	5.01	6.65
	PSNR	0.52	0.52	0.52	0.58	0.59	0.59	0.69	0.69	0.68
	Compression	0.21	0.21	0.21	0.35	0.35	0.35	0.55	0.55	0.55
Db10	SNR	4.15	3.00	7.43	3.94	3.44	3.32	5.24	4.89	3.78
	PSNR	0.50	0.49	0.49	0.57	0.58	0.57	0.66	0.66	0.65
	Compression	0.20	0.20	0.20	0.34	0.34	0.34	0.51	0.51	0.51
Symlet 1	SNR	6.35	6.53	4.85	5.22	4.79	5.50	6.13	5.67	5.27
	PSNR	0.56	0.56	0.57	0.68	0.68	0.67	0.79	0.78	0.78
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.43	0.43	0.43	0.78	0.78	0.78
Symlet 2	SNR	3.57	3.89	5.95	6.18	5.93	8.69	3.88	3.42	4.65
	PSNR	0.56	0.56	0.55	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.41	0.41	0.41	0.73	0.73	0.73
Symlet 3	SNR	4.80	6.82	4.37	2.66	2.58	2.47	4.30	4.34	5.71
	PSNR	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53	0.56	0.56	0.55
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.40	0.40	0.40	0.69	0.69	0.69
Symlet 4	SNR	4.65	6.61	3.79	4.47	4.27	5.94	5.24	5.58	4.72
	PSNR	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.67	0.64	0.64	0.65
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.39	0.39	0.39	0.65	0.65	0.65
Symlet 5	SNR	4.45	8.93	4.74	2.78	2.68	3.23	4.54	5.37	3.76
	PSNR	0.52	0.52	0.51	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63
	Compression	0.21	0.21	0.21	0.38	0.38	0.38	0.63	0.63	0.63
Coiflet 1	SNR	5.04	7.22	4.32	3.42	3.52	3.28	4.91	3.97	5.00
	PSNR	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.53
	Compression	0.22	0.22	0.22	0.40	0.40	0.40	0.69	0.69	0.69
Coiflet 2	SNR	3.66	4.64	5.09	3.62	3.48	4.16	4.56	4.01	4.04
	PSNR	0.57	0.58	0.58	0.65	0.65	0.66	0.65	0.66	0.65
	Compression	0.21	0.21	0.21	0.37	0.37	0.37	0.60	0.60	0.60
Coiflet 3	SNR	2.58	4.38	4.58	1.78	1.84	1.81	3.31	3.27	3.57
	PSNR	0.56	0.56	0.53	0.55	0.54	0.55	0.69	0.69	0.69
	Compression	0.21	0.21	0.21	0.35	0.35	0.35	0.53	0.53	0.53
Coiflet 4	SNR	10.01	5.76	10.24	1.93	1.99	2.64	2.96	2.90	2.95
	PSNR	0.50	0.50	0.49	0.56	0.56	0.55	0.76	0.76	0.75
	Compression	0.20	0.20	0.20	0.32	0.32	0.32	0.47	0.47	0.47
Coiflet 5	SNR	3.83	5.11	3.86	6.28	5.58	4.33	4.33	4.61	4.55
	PSNR	0.48	0.48	0.48	0.61	0.61	0.62	0.80	0.80	0.82
	Compression	0.20	0.20	0.20	0.31	0.31	0.31	0.43	0.43	0.43

ตารางที่ ก.12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 2

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	3.15	3.20	3.66	5.38	5.27	5.84	2.50	2.60	2.95
	PSNR	0.56	0.56	0.56	0.65	0.66	0.65	0.67	0.66	0.67
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.90	0.90	0.90	1.60	1.60	1.60
Db4	SNR	3.18	2.38	2.62	2.25	2.35	2.35	6.01	5.02	8.35
	PSNR	0.59	0.60	0.57	0.59	0.60	0.60	0.68	0.68	0.69
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.86	0.86	0.86	1.43	1.43	1.43
Db6	SNR	5.29	4.94	5.14	5.98	7.44	7.20	13.67	6.23	4.90
	PSNR	0.58	0.57	0.57	0.60	0.60	0.61	0.66	0.66	0.65
	Compression	0.47	0.47	0.47	0.81	0.81	0.81	1.32	1.32	1.32
Db8	SNR	6.93	5.53	5.97	2.91	3.36	3.23	5.01	4.52	6.47
	PSNR	0.52	0.52	0.53	0.58	0.58	0.59	0.69	0.69	0.68
	Compression	0.46	0.46	0.46	0.78	0.78	0.78	1.19	1.19	1.19
Db10	SNR	4.28	3.19	7.66	3.70	3.18	3.06	5.20	4.85	3.72
	PSNR	0.50	0.49	0.49	0.56	0.57	0.56	0.66	0.66	0.65
	Compression	0.45	0.45	0.45	0.74	0.74	0.74	1.12	1.12	1.12
Symlet 1	SNR	6.32	6.45	4.38	5.19	4.82	5.46	7.11	7.17	8.96
	PSNR	0.56	0.56	0.57	0.68	0.68	0.67	0.78	0.77	0.78
	Compression	0.49	0.49	0.49	0.93	0.93	0.93	1.71	1.71	1.71
Symlet 2	SNR	3.15	3.16	5.60	5.38	4.83	6.32	2.50	2.34	2.79
	PSNR	0.56	0.56	0.55	0.65	0.65	0.65	0.67	0.67	0.67
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.90	0.90	0.90	1.60	1.60	1.60
Symlet 3	SNR	4.87	6.74	4.41	2.98	2.88	2.58	4.27	4.33	5.72
	PSNR	0.55	0.55	0.55	0.54	0.53	0.53	0.56	0.57	0.56
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.89	0.89	0.89	1.51	1.51	1.51
Symlet 4	SNR	4.32	4.33	3.63	4.52	4.32	6.01	5.29	5.64	4.71
	PSNR	0.49	0.50	0.50	0.68	0.68	0.69	0.65	0.65	0.67
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.86	0.86	0.86	1.43	1.43	1.43
Symlet 5	SNR	4.31	9.00	4.73	3.23	3.11	3.72	4.55	5.38	3.79
	PSNR	0.52	0.52	0.51	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.64
	Compression	0.47	0.47	0.47	0.84	0.84	0.84	1.39	1.39	1.39
Coiflet 1	SNR	3.52	5.72	4.18	3.22	3.34	3.09	5.11	4.18	5.19
	PSNR	0.54	0.55	0.54	0.54	0.55	0.53	0.53	0.53	0.52
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.89	0.89	0.89	1.51	1.51	1.51
Coiflet 2	SNR	3.75	3.34	4.90	3.81	3.90	6.36	4.59	4.03	4.06
	PSNR	0.57	0.58	0.58	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.66
	Compression	0.47	0.47	0.47	0.81	0.81	0.81	1.32	1.32	1.32
Coiflet 3	SNR	2.53	4.42	4.71	1.92	1.97	1.93	3.31	3.21	3.62
	PSNR	0.56	0.56	0.53	0.56	0.55	0.55	0.69	0.69	0.69
	Compression	0.45	0.45	0.45	0.77	0.77	0.77	1.17	1.17	1.17
Coiflet 4	SNR	9.90	5.08	6.30	1.92	1.97	2.62	10.43	6.39	5.05
	PSNR	0.50	0.50	0.49	0.56	0.56	0.56	0.73	0.74	0.72
	Compression	0.44	0.44	0.44	0.71	0.71	0.71	1.03	1.03	1.03
Coiflet 5	SNR	3.82	5.12	3.88	6.07	5.39	4.16	3.56	3.70	3.50
	PSNR	0.48	0.48	0.47	0.60	0.60	0.61	0.80	0.80	0.82
	Compression	0.43	0.43	0.43	0.68	0.68	0.68	0.93	0.93	0.93

ตารางที่ ก.13 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 3

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	3.09	3.06	3.51	5.47	5.36	6.02	2.47	2.57	2.91
	PSNR	0.57	0.56	0.56	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.57	0.57	0.57	1.01	1.01	1.01
Db4	SNR	5.20	4.05	2.70	2.04	2.12	2.17	6.28	5.31	8.57
	PSNR	0.59	0.59	0.58	0.59	0.60	0.60	0.69	0.69	0.70
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.54	0.54	0.54	0.90	0.90	0.90
Db6	SNR	5.02	4.65	4.76	5.03	5.37	5.25	14.00	6.64	5.36
	PSNR	0.57	0.57	0.57	0.60	0.60	0.61	0.68	0.68	0.67
	Compression	0.29	0.29	0.29	0.51	0.51	0.51	0.83	0.83	0.83
Db8	SNR	6.84	5.46	5.74	3.08	3.46	3.64	5.24	4.72	6.70
	PSNR	0.52	0.53	0.53	0.59	0.59	0.59	0.70	0.71	0.70
	Compression	0.29	0.29	0.29	0.49	0.49	0.49	0.75	0.75	0.75
Db10	SNR	4.44	3.06	7.49	3.61	3.13	3.00	5.45	5.10	4.00
	PSNR	0.51	0.50	0.50	0.56	0.56	0.55	0.66	0.66	0.65
	Compression	0.28	0.28	0.28	0.47	0.47	0.47	0.70	0.70	0.70
Symlet 1	SNR	6.42	6.51	4.36	6.07	6.64	6.52	6.04	5.59	5.03
	PSNR	0.57	0.57	0.57	0.68	0.68	0.67	0.77	0.77	0.77
	Compression	0.31	0.31	0.31	0.59	0.59	0.59	1.08	1.08	1.08
Symlet 2	SNR	3.09	3.03	5.54	5.47	4.86	6.41	2.47	2.33	2.76
	PSNR	0.57	0.56	0.56	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.57	0.57	0.57	1.01	1.01	1.01
Symlet 3	SNR	5.64	7.39	5.23	2.60	2.50	2.36	4.31	4.36	5.78
	PSNR	0.55	0.55	0.54	0.55	0.54	0.54	0.56	0.56	0.56
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.56	0.56	0.56	0.95	0.95	0.95
Symlet 4	SNR	4.06	3.91	3.68	4.55	4.35	6.00	5.28	5.63	4.69
	PSNR	0.50	0.51	0.51	0.67	0.67	0.67	0.64	0.64	0.65
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.54	0.54	0.54	0.90	0.90	0.90
Symlet 5	SNR	4.27	8.91	4.74	3.08	3.11	3.49	4.67	5.52	3.89
	PSNR	0.52	0.52	0.51	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64
	Compression	0.29	0.29	0.29	0.53	0.53	0.53	0.87	0.87	0.87
Coiflet 1	SNR	3.62	5.83	4.21	3.29	3.41	3.18	5.35	4.45	5.45
	PSNR	0.55	0.56	0.55	0.54	0.55	0.53	0.54	0.54	0.53
	Compression	0.30	0.30	0.30	0.56	0.56	0.56	0.95	0.95	0.95
Coiflet 2	SNR	4.56	3.38	5.45	2.85	2.83	2.84	4.72	4.15	4.21
	PSNR	0.58	0.58	0.58	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66
	Compression	0.29	0.29	0.29	0.51	0.51	0.51	0.83	0.83	0.83
Coiflet 3	SNR	2.67	4.43	5.00	1.78	1.84	1.78	4.18	3.60	4.93
	PSNR	0.56	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.68	0.68	0.68
	Compression	0.28	0.28	0.28	0.48	0.48	0.48	0.73	0.73	0.73
Coiflet 4	SNR	10.21	5.56	6.83	2.26	2.27	2.93	4.00	3.97	5.30
	PSNR	0.50	0.51	0.49	0.55	0.55	0.55	0.73	0.74	0.72
	Compression	0.28	0.28	0.28	0.45	0.45	0.45	0.64	0.64	0.64
Coiflet 5	SNR	3.85	5.12	3.88	6.19	5.50	4.26	3.48	3.65	3.42
	PSNR	0.48	0.49	0.48	0.60	0.60	0.61	0.79	0.79	0.81
	Compression	0.27	0.27	0.27	0.42	0.42	0.42	0.59	0.59	0.59

ตารางที่ ก.14 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 4

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	4.58	4.21	4.40	2.50	2.56	3.32	3.47	3.60	3.31
	PSNR	0.51	0.51	0.52	0.57	0.57	0.57	0.53	0.54	0.53
	Compression	0.54	0.54	0.54	1.00	1.00	1.00	1.78	1.78	1.78
Db4	SNR	6.29	4.07	5.26	2.79	2.94	2.55	2.56	2.40	2.97
	PSNR	0.42	0.42	0.42	0.60	0.60	0.60	0.53	0.53	0.52
	Compression	0.53	0.53	0.53	0.95	0.95	0.95	1.58	1.58	1.58
Db6	SNR	4.04	4.73	4.77	5.86	5.66	5.48	4.12	4.37	3.96
	PSNR	0.55	0.56	0.56	0.52	0.53	0.51	0.61	0.61	0.60
	Compression	0.52	0.52	0.52	0.91	0.91	0.91	1.46	1.46	1.46
Db8	SNR	6.05	7.86	7.88	3.04	3.47	3.10	3.58	3.47	4.03
	PSNR	0.50	0.50	0.50	0.58	0.58	0.57	0.62	0.62	0.61
	Compression	0.51	0.51	0.51	0.87	0.87	0.87	1.33	1.33	1.33
Db10	SNR	8.04	6.37	3.71	2.83	2.86	3.19	2.88	2.72	3.28
	PSNR	0.46	0.46	0.46	0.44	0.44	0.44	0.60	0.60	0.60
	Compression	0.50	0.50	0.50	0.83	0.83	0.83	1.24	1.24	1.24
Symlet 1	SNR	4.33	5.55	5.51	5.39	6.97	5.06	3.86	4.28	3.97
	PSNR	0.53	0.52	0.53	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.62
	Compression	0.54	0.54	0.54	1.04	1.04	1.04	1.90	1.90	1.90
Symlet 2	SNR	4.58	10.30	5.24	2.50	2.57	3.27	3.47	3.83	3.30
	PSNR	0.51	0.51	0.52	0.57	0.56	0.57	0.53	0.53	0.53
	Compression	0.54	0.54	0.54	1.00	1.00	1.00	1.78	1.78	1.78
Symlet 3	SNR	5.66	4.66	5.25	5.44	4.27	7.44	2.92	2.87	3.35
	PSNR	0.53	0.53	0.53	0.45	0.44	0.45	0.50	0.50	0.50
	Compression	0.53	0.53	0.53	0.99	0.99	0.99	1.68	1.68	1.68
Symlet 4	SNR	6.41	4.80	4.69	4.74	4.93	9.49	4.18	4.10	3.89
	PSNR	0.51	0.51	0.51	0.64	0.64	0.63	0.60	0.61	0.60
	Compression	0.53	0.53	0.53	0.95	0.95	0.95	1.58	1.58	1.58
Symlet 5	SNR	7.81	7.09	3.63	1.46	1.49	1.54	3.15	3.36	2.63
	PSNR	0.50	0.49	0.50	0.65	0.64	0.64	0.59	0.59	0.58
	Compression	0.52	0.52	0.52	0.94	0.94	0.94	1.54	1.54	1.54
Coiflet 1	SNR	6.00	4.85	5.83	3.08	3.04	3.54	1.31	1.31	1.37
	PSNR	0.49	0.49	0.49	0.54	0.54	0.53	0.49	0.50	0.50
	Compression	0.53	0.53	0.53	0.99	0.99	0.99	1.68	1.68	1.68
Coiflet 2	SNR	4.43	5.10	5.50	3.37	4.62	3.93	3.81	3.85	3.95
	PSNR	0.50	0.49	0.51	0.52	0.52	0.53	0.59	0.59	0.59
	Compression	0.52	0.52	0.52	0.91	0.91	0.91	1.46	1.46	1.46
Coiflet 3	SNR	2.44	3.88	4.73	7.32	5.31	4.23	4.99	4.88	4.96
	PSNR	0.47	0.47	0.48	0.46	0.46	0.46	0.50	0.50	0.49
	Compression	0.51	0.51	0.51	0.85	0.85	0.85	1.30	1.30	1.30
Coiflet 4	SNR	3.49	6.60	2.78	2.25	2.12	1.91	4.08	4.14	5.27
	PSNR	0.48	0.47	0.45	0.58	0.58	0.57	0.59	0.59	0.61
	Compression	0.49	0.49	0.49	0.79	0.79	0.79	1.14	1.14	1.14
Coiflet 5	SNR	2.97	5.84	4.82	3.48	3.32	4.51	4.66	4.69	4.28
	PSNR	0.40	0.40	0.40	0.48	0.48	0.49	0.66	0.67	0.67
	Compression	0.48	0.48	0.48	0.75	0.75	0.75	1.04	1.04	1.04

ตารางที่ ก.15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 5

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	6.54	4.58	9.57	2.54	2.42	2.23	5.51	4.64	4.54
	PSNR	0.65	0.65	0.64	0.74	0.75	0.76	0.87	0.87	0.87
	Compression	0.97	0.97	0.97	1.79	1.79	1.79	3.16	3.16	3.16
Db4	SNR	5.37	5.08	3.54	4.53	9.01	4.06	2.95	2.97	2.98
	PSNR	0.59	0.59	0.59	0.75	0.75	0.75	0.73	0.73	0.73
	Compression	0.95	0.95	0.95	1.70	1.70	1.70	2.81	2.81	2.81
Db6	SNR	5.36	4.80	4.46	2.74	2.55	3.55	5.04	7.30	3.70
	PSNR	0.60	0.59	0.59	0.68	0.68	0.69	0.84	0.84	0.84
	Compression	0.93	0.93	0.93	1.62	1.62	1.62	2.60	2.60	2.60
Db8	SNR	2.75	1.75	2.14	4.26	4.05	3.79	3.80	4.60	4.11
	PSNR	0.67	0.67	0.68	0.79	0.80	0.80	0.74	0.74	0.73
	Compression	0.91	0.91	0.91	1.55	1.55	1.55	2.36	2.36	2.36
Db10	SNR	4.96	2.93	4.82	4.60	5.02	4.51	6.70	4.43	4.85
	PSNR	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69	0.68	0.79	0.78	0.79
	Compression	0.90	0.90	0.90	1.48	1.48	1.48	2.21	2.21	2.21
Symlet 1	SNR	6.30	3.11	6.24	1.98	2.04	2.38	7.64	6.24	4.84
	PSNR	0.65	0.65	0.64	0.67	0.67	0.67	0.78	0.80	0.77
	Compression	0.98	0.98	0.98	1.85	1.85	1.85	3.36	3.36	3.36
Symlet 2	SNR	6.54	10.86	8.69	2.54	2.62	2.33	5.51	4.10	4.43
	PSNR	0.65	0.65	0.64	0.74	0.73	0.75	0.87	0.87	0.87
	Compression	0.97	0.97	0.97	1.79	1.79	1.79	3.16	3.16	3.16
Symlet 3	SNR	4.85	4.12	5.50	3.25	3.36	3.68	4.17	4.10	3.46
	PSNR	0.65	0.65	0.65	0.70	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72
	Compression	0.96	0.96	0.96	1.76	1.76	1.76	2.98	2.98	2.98
Symlet 4	SNR	5.78	4.52	5.74	3.60	3.93	5.89	5.61	6.44	4.32
	PSNR	0.67	0.67	0.64	0.82	0.81	0.82	0.85	0.85	0.85
	Compression	0.95	0.95	0.95	1.70	1.70	1.70	2.81	2.81	2.81
Symlet 5	SNR	3.09	3.25	4.56	6.93	4.04	4.48	5.22	6.76	5.69
	PSNR	0.60	0.60	0.59	0.71	0.71	0.71	0.75	0.75	0.77
	Compression	0.94	0.94	0.94	1.67	1.67	1.67	2.74	2.74	2.74
Coiflet 1	SNR	5.83	7.72	2.95	2.57	3.00	2.48	2.03	2.02	2.15
	PSNR	0.65	0.65	0.64	0.71	0.72	0.72	0.77	0.78	0.78
	Compression	0.96	0.96	0.96	1.76	1.76	1.76	2.98	2.98	2.98
Coiflet 2	SNR	4.64	4.83	5.70	3.16	3.11	7.25	9.38	7.66	8.30
	PSNR	0.62	0.62	0.64	0.81	0.81	0.82	0.78	0.78	0.77
	Compression	0.93	0.93	0.93	1.62	1.62	1.62	2.60	2.60	2.60
Coiflet 3	SNR	5.45	3.40	5.01	4.69	4.73	7.55	2.14	2.11	2.22
	PSNR	0.62	0.63	0.63	0.80	0.80	0.79	0.77	0.76	0.77
	Compression	0.91	0.91	0.91	1.52	1.52	1.52	2.31	2.31	2.31
Coiflet 4	SNR	4.77	3.85	8.15	3.68	3.81	7.00	6.14	5.90	5.12
	PSNR	0.68	0.68	0.68	0.78	0.79	0.77	0.80	0.80	0.79
	Compression	0.88	0.88	0.88	1.42	1.42	1.42	2.04	2.04	2.04
Coiflet 5	SNR	4.02	3.43	8.13	6.15	5.77	5.91	3.80	3.73	5.55
	PSNR	0.69	0.69	0.70	0.73	0.73	0.72	0.78	0.78	0.78
	Compression	0.86	0.86	0.86	1.35	1.35	1.35	1.85	1.85	1.85

ตารางที่ ก.16 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 6

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	2.64	6.44	5.61	5.17	6.15	9.36	2.54	2.64	2.69
	PSNR	0.64	0.64	0.64	0.69	0.70	0.68	0.74	0.74	0.73
	Compression	0.74	0.74	0.74	1.37	1.37	1.37	2.40	2.40	2.40
Db4	SNR	4.00	4.60	5.92	2.18	2.37	2.90	2.90	2.94	3.09
	PSNR	0.71	0.72	0.68	0.67	0.67	0.68	0.62	0.62	0.63
	Compression	0.73	0.73	0.73	1.30	1.30	1.30	2.15	2.15	2.15
Db6	SNR	2.75	2.39	4.21	7.02	7.47	3.19	6.78	7.72	7.10
	PSNR	0.66	0.66	0.65	0.65	0.66	0.66	0.58	0.58	0.58
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.24	1.24	1.24	1.98	1.98	1.98
Db8	SNR	7.70	5.37	7.73	4.50	4.76	6.70	3.95	5.09	4.66
	PSNR	0.73	0.74	0.73	0.69	0.70	0.69	0.59	0.59	0.60
	Compression	0.70	0.70	0.70	1.18	1.18	1.18	1.80	1.80	1.80
Db10	SNR	3.49	2.61	1.86	2.41	2.48	1.99	1.63	1.63	1.63
	PSNR	0.70	0.71	0.69	0.64	0.64	0.66	0.61	0.60	0.61
	Compression	0.69	0.69	0.69	1.13	1.13	1.13	1.69	1.69	1.69
Symlet 1	SNR	2.56	3.90	7.57	2.03	2.40	2.04	4.07	4.18	3.29
	PSNR	0.67	0.68	0.68	0.64	0.63	0.64	0.89	0.90	0.89
	Compression	0.75	0.75	0.75	1.42	1.42	1.42	2.56	2.56	2.56
Symlet 2	SNR	2.64	4.65	3.19	5.17	5.61	5.88	2.54	2.59	2.67
	PSNR	0.64	0.64	0.64	0.69	0.68	0.67	0.74	0.74	0.73
	Compression	0.74	0.74	0.74	1.37	1.37	1.37	2.40	2.40	2.40
Symlet 3	SNR	3.83	3.63	3.61	3.22	3.02	2.84	2.45	2.81	2.14
	PSNR	0.64	0.64	0.63	0.67	0.67	0.66	0.75	0.75	0.75
	Compression	0.73	0.73	0.73	1.34	1.34	1.34	2.27	2.27	2.27
Symlet 4	SNR	3.85	2.45	4.49	4.38	5.10	5.07	1.70	1.67	1.68
	PSNR	0.67	0.68	0.66	0.79	0.79	0.75	0.71	0.71	0.71
	Compression	0.73	0.73	0.73	1.30	1.30	1.30	2.15	2.15	2.15
Symlet 5	SNR	2.53	3.15	2.65	2.06	1.92	1.72	7.87	6.46	4.52
	PSNR	0.72	0.72	0.72	0.69	0.68	0.67	0.75	0.76	0.74
	Compression	0.72	0.72	0.72	1.28	1.28	1.28	2.09	2.09	2.09
Coiflet 1	SNR	3.87	2.49	5.62	2.48	2.33	3.35	1.50	1.50	1.41
	PSNR	0.64	0.65	0.65	0.57	0.58	0.57	0.62	0.63	0.63
	Compression	0.73	0.73	0.73	1.34	1.34	1.34	2.27	2.27	2.27
Coiflet 2	SNR	4.15	4.03	4.01	3.56	5.75	6.35	2.60	2.70	2.62
	PSNR	0.76	0.75	0.75	0.76	0.77	0.76	0.65	0.65	0.65
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.24	1.24	1.24	1.98	1.98	1.98
Coiflet 3	SNR	3.59	4.73	2.95	1.91	2.00	1.90	4.66	5.08	5.12
	PSNR	0.70	0.69	0.68	0.62	0.62	0.63	0.65	0.64	0.66
	Compression	0.69	0.69	0.69	1.17	1.17	1.17	1.76	1.76	1.76
Coiflet 4	SNR	6.03	5.14	3.67	2.64	2.51	2.18	6.55	7.43	4.52
	PSNR	0.69	0.69	0.68	0.71	0.72	0.73	0.79	0.80	0.80
	Compression	0.68	0.68	0.68	1.09	1.09	1.09	1.56	1.56	1.56
Coiflet 5	SNR	2.95	3.09	4.70	1.65	1.72	1.45	4.45	4.33	5.39
	PSNR	0.66	0.66	0.66	0.60	0.60	0.60	0.71	0.72	0.73
	Compression	0.66	0.66	0.66	1.03	1.03	1.03	1.42	1.42	1.42

ตารางที่ ก.17 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 7

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	4.46	5.39	3.08	3.41	3.45	3.18	3.81	3.94	3.67
	PSNR	0.38	0.38	0.39	0.57	0.57	0.56	0.57	0.57	0.57
	Compression	0.26	0.26	0.26	0.47	0.47	0.47	0.83	0.83	0.83
Db4	SNR	5.43	8.09	4.37	2.84	2.81	3.06	4.75	3.71	3.51
	PSNR	0.44	0.44	0.43	0.48	0.48	0.48	0.57	0.57	0.58
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.45	0.45	0.45	0.74	0.74	0.74
Db6	SNR	1.79	1.97	3.70	3.00	2.93	2.86	8.51	5.23	2.96
	PSNR	0.39	0.40	0.40	0.46	0.46	0.46	0.52	0.51	0.53
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.43	0.43	0.43	0.68	0.68	0.68
Db8	SNR	2.10	2.14	6.76	4.85	4.84	5.92	2.50	2.44	2.43
	PSNR	0.44	0.44	0.43	0.53	0.52	0.52	0.65	0.65	0.65
	Compression	0.24	0.24	0.24	0.41	0.41	0.41	0.62	0.62	0.62
Db10	SNR	5.42	4.96	3.07	5.83	6.37	5.40	2.88	3.04	2.91
	PSNR	0.39	0.38	0.37	0.54	0.54	0.53	0.52	0.53	0.53
	Compression	0.24	0.24	0.24	0.39	0.39	0.39	0.58	0.58	0.58
Symlet 1	SNR	2.31	2.75	2.60	4.39	4.08	4.60	3.52	3.38	3.29
	PSNR	0.36	0.37	0.36	0.51	0.51	0.52	0.74	0.74	0.75
	Compression	0.26	0.26	0.26	0.49	0.49	0.49	0.88	0.88	0.88
Symlet 2	SNR	4.46	5.44	4.34	3.41	3.31	3.18	3.81	3.86	3.72
	PSNR	0.38	0.38	0.38	0.57	0.57	0.55	0.57	0.56	0.57
	Compression	0.26	0.26	0.26	0.47	0.47	0.47	0.83	0.83	0.83
Symlet 3	SNR	8.04	3.81	2.37	8.39	5.11	3.50	7.66	4.49	8.18
	PSNR	0.39	0.40	0.40	0.46	0.46	0.46	0.63	0.62	0.62
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.47	0.47	0.47	0.78	0.78	0.78
Symlet 4	SNR	4.40	2.97	5.14	4.80	4.53	6.26	4.43	5.07	4.15
	PSNR	0.37	0.37	0.36	0.53	0.53	0.52	0.65	0.65	0.65
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.45	0.45	0.45	0.74	0.74	0.74
Symlet 5	SNR	4.07	4.45	3.97	1.37	1.35	1.45	5.33	6.06	3.49
	PSNR	0.35	0.35	0.34	0.39	0.40	0.41	0.63	0.63	0.63
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.44	0.44	0.44	0.72	0.72	0.72
Coiflet 1	SNR	2.73	2.41	1.93	3.73	4.28	5.36	1.94	1.95	2.06
	PSNR	0.38	0.38	0.38	0.49	0.49	0.48	0.54	0.55	0.54
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.47	0.47	0.47	0.78	0.78	0.78
Coiflet 2	SNR	2.26	3.06	3.03	5.46	6.01	5.27	3.40	3.88	3.03
	PSNR	0.39	0.38	0.37	0.49	0.49	0.48	0.62	0.62	0.62
	Compression	0.25	0.25	0.25	0.43	0.43	0.43	0.68	0.68	0.68
Coiflet 3	SNR	3.75	4.54	4.16	4.23	5.16	4.59	3.13	2.82	3.05
	PSNR	0.42	0.42	0.42	0.45	0.45	0.46	0.62	0.61	0.62
	Compression	0.24	0.24	0.24	0.40	0.40	0.40	0.61	0.61	0.61
Coiflet 4	SNR	3.47	3.65	3.69	4.82	5.24	3.17	3.66	3.88	3.42
	PSNR	0.42	0.42	0.41	0.50	0.50	0.50	0.57	0.56	0.56
	Compression	0.24	0.24	0.24	0.38	0.38	0.38	0.54	0.54	0.54
Coiflet 5	SNR	1.47	2.28	1.87	4.45	3.61	3.45	3.09	3.27	3.33
	PSNR	0.37	0.38	0.37	0.44	0.43	0.43	0.68	0.69	0.67
	Compression	0.23	0.23	0.23	0.36	0.36	0.36	0.49	0.49	0.49

ตารางที่ ก.18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 8

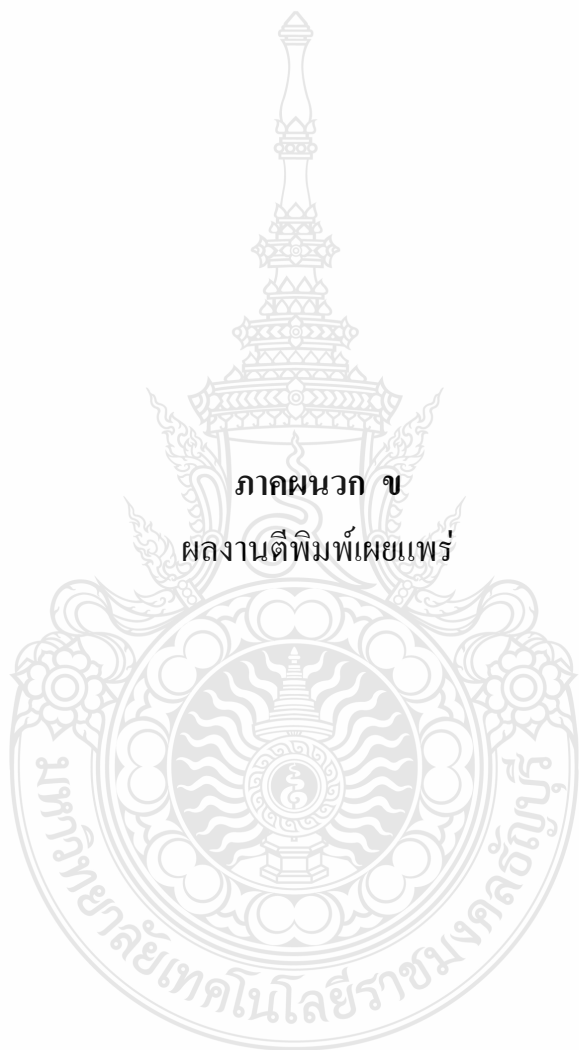
ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	3.34	3.42	2.97	3.47	3.52	3.16	2.58	2.60	2.31
	PSNR	0.26	0.26	0.27	0.31	0.31	0.31	0.41	0.41	0.40
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.64	0.64	0.64	1.13	1.13	1.13
Db4	SNR	3.17	3.23	6.83	2.35	2.23	3.07	1.39	1.44	1.48
	PSNR	0.25	0.25	0.25	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.61	0.61	0.61	1.01	1.01	1.01
Db6	SNR	4.56	5.96	6.50	4.32	5.78	3.79	1.31	1.35	1.31
	PSNR	0.28	0.28	0.28	0.31	0.32	0.31	0.40	0.41	0.40
	Compression	0.33	0.33	0.33	0.58	0.58	0.58	0.93	0.93	0.93
Db8	SNR	2.28	2.06	1.86	6.43	6.72	4.99	3.96	4.18	3.10
	PSNR	0.30	0.30	0.30	0.34	0.34	0.34	0.46	0.46	0.47
	Compression	0.32	0.32	0.32	0.55	0.55	0.55	0.84	0.84	0.84
Db10	SNR	7.04	4.28	5.27	3.95	2.84	3.18	2.02	2.07	1.95
	PSNR	0.21	0.22	0.23	0.35	0.36	0.35	0.40	0.41	0.39
	Compression	0.32	0.32	0.32	0.53	0.53	0.53	0.79	0.79	0.79
Symlet 1	SNR	2.37	1.75	2.06	4.12	5.05	7.35	4.54	4.40	4.12
	PSNR	0.29	0.29	0.31	0.38	0.38	0.38	0.61	0.61	0.61
	Compression	0.35	0.35	0.35	0.66	0.66	0.66	1.21	1.21	1.21
Symlet 2	SNR	3.34	1.81	4.31	3.47	4.72	3.44	2.58	2.61	2.24
	PSNR	0.26	0.26	0.28	0.31	0.32	0.31	0.41	0.41	0.40
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.64	0.64	0.64	1.13	1.13	1.13
Symlet 3	SNR	4.70	3.75	7.03	4.41	9.26	5.98	3.19	3.28	3.01
	PSNR	0.32	0.32	0.30	0.29	0.29	0.29	0.35	0.35	0.34
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.63	0.63	0.63	1.07	1.07	1.07
Symlet 4	SNR	6.47	7.37	4.06	3.83	5.49	4.37	4.10	3.83	4.62
	PSNR	0.29	0.30	0.31	0.34	0.34	0.35	0.42	0.42	0.42
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.61	0.61	0.61	1.01	1.01	1.01
Symlet 5	SNR	4.21	6.78	4.02	4.53	10.80	3.59	2.82	2.82	2.52
	PSNR	0.30	0.29	0.29	0.55	0.56	0.55	0.46	0.46	0.45
	Compression	0.33	0.33	0.33	0.60	0.60	0.60	0.98	0.98	0.98
Coiflet 1	SNR	2.46	3.46	4.16	2.79	2.87	2.69	0.72	0.73	0.69
	PSNR	0.27	0.27	0.27	0.36	0.36	0.35	0.31	0.31	0.30
	Compression	0.34	0.34	0.34	0.63	0.63	0.63	1.07	1.07	1.07
Coiflet 2	SNR	6.53	5.54	6.92	5.05	5.45	3.67	2.89	2.65	2.70
	PSNR	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.41	0.41	0.41
	Compression	0.33	0.33	0.33	0.58	0.58	0.58	0.93	0.93	0.93
Coiflet 3	SNR	2.66	2.55	2.13	4.01	4.52	4.52	4.56	4.30	4.12
	PSNR	0.32	0.31	0.32	0.36	0.37	0.35	0.45	0.47	0.46
	Compression	0.32	0.32	0.32	0.54	0.54	0.54	0.82	0.82	0.82
Coiflet 4	SNR	2.99	3.77	3.15	2.70	2.41	3.42	6.04	6.30	5.68
	PSNR	0.34	0.35	0.35	0.41	0.41	0.42	0.51	0.51	0.50
	Compression	0.31	0.31	0.31	0.50	0.50	0.50	0.73	0.73	0.73
Coiflet 5	SNR	2.62	2.97	3.16	5.86	7.73	3.89	4.94	5.02	5.17
	PSNR	0.29	0.29	0.31	0.39	0.38	0.40	0.44	0.43	0.42
	Compression	0.31	0.31	0.31	0.48	0.48	0.48	0.66	0.66	0.66

ตารางที่ ก.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 9

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	4.86	4.07	3.58	3.87	3.65	3.31	6.64	6.37	8.01
	PSNR	0.59	0.60	0.57	0.63	0.63	0.65	0.72	0.72	0.72
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.75	0.75	0.75	1.34	1.34	1.34
Db4	SNR	4.23	5.03	5.32	3.09	3.54	3.76	5.07	5.08	5.57
	PSNR	0.60	0.60	0.62	0.67	0.68	0.68	0.66	0.66	0.67
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.72	0.72	0.72	1.19	1.19	1.19
Db6	SNR	5.90	5.39	8.01	3.93	3.35	4.07	3.32	3.40	3.44
	PSNR	0.63	0.63	0.62	0.62	0.63	0.63	0.60	0.60	0.61
	Compression	0.39	0.39	0.39	0.68	0.68	0.68	1.10	1.10	1.10
Db8	SNR	3.00	3.34	4.44	4.55	5.67	4.62	3.57	3.71	4.52
	PSNR	0.60	0.59	0.61	0.59	0.59	0.59	0.67	0.67	0.68
	Compression	0.38	0.38	0.38	0.65	0.65	0.65	1.00	1.00	1.00
Db10	SNR	2.88	2.85	3.47	5.76	7.02	5.95	2.42	2.33	2.17
	PSNR	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.59	0.66	0.66	0.67
	Compression	0.38	0.38	0.38	0.62	0.62	0.62	0.93	0.93	0.93
Symlet 1	SNR	4.80	8.89	3.13	4.00	8.66	3.74	6.53	6.96	6.60
	PSNR	0.60	0.59	0.58	0.68	0.69	0.69	0.96	0.96	0.96
	Compression	0.41	0.41	0.41	0.78	0.78	0.78	1.43	1.43	1.43
Symlet 2	SNR	4.86	6.17	5.00	3.87	4.82	3.33	6.64	6.66	7.63
	PSNR	0.59	0.60	0.57	0.63	0.63	0.64	0.72	0.72	0.72
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.75	0.75	0.75	1.34	1.34	1.34
Symlet 3	SNR	5.76	4.17	6.87	2.72	2.70	3.23	6.00	5.41	4.64
	PSNR	0.62	0.63	0.63	0.62	0.63	0.63	0.73	0.73	0.73
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.74	0.74	0.74	1.26	1.26	1.26
Symlet 4	SNR	4.67	4.24	6.07	2.60	2.36	2.32	3.28	3.16	3.83
	PSNR	0.56	0.58	0.56	0.64	0.64	0.65	0.73	0.73	0.73
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.72	0.72	0.72	1.19	1.19	1.19
Symlet 5	SNR	2.32	2.09	3.32	6.13	5.19	3.92	5.60	5.89	5.49
	PSNR	0.60	0.60	0.61	0.70	0.71	0.71	0.78	0.78	0.78
	Compression	0.39	0.39	0.39	0.70	0.70	0.70	1.16	1.16	1.16
Coiflet 1	SNR	4.09	2.96	4.97	5.96	6.18	2.94	3.33	3.47	3.11
	PSNR	0.57	0.57	0.56	0.56	0.57	0.56	0.63	0.63	0.63
	Compression	0.40	0.40	0.40	0.74	0.74	0.74	1.26	1.26	1.26
Coiflet 2	SNR	5.07	3.56	5.04	3.02	3.10	3.05	6.77	6.84	5.97
	PSNR	0.60	0.60	0.60	0.67	0.68	0.68	0.67	0.67	0.67
	Compression	0.39	0.39	0.39	0.68	0.68	0.68	1.10	1.10	1.10
Coiflet 3	SNR	2.93	2.71	3.85	3.50	3.81	2.71	2.96	3.23	3.53
	PSNR	0.62	0.62	0.63	0.68	0.68	0.67	0.80	0.81	0.81
	Compression	0.38	0.38	0.38	0.64	0.64	0.64	0.98	0.98	0.98
Coiflet 4	SNR	3.88	3.18	3.25	8.97	4.32	4.59	8.15	5.39	3.96
	PSNR	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63	0.64	0.75	0.75	0.74
	Compression	0.37	0.37	0.37	0.60	0.60	0.60	0.86	0.86	0.86
Coiflet 5	SNR	3.85	3.50	3.18	5.43	6.90	4.84	2.64	2.89	2.84
	PSNR	0.63	0.64	0.63	0.58	0.58	0.60	0.70	0.70	0.71
	Compression	0.36	0.36	0.36	0.56	0.56	0.56	0.78	0.78	0.78

ตารางที่ ก.20 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเสียงพูด ของคนที่ 10

ชนิดเวฟ เล็ต	ประสิทธิภาพ	Signal-to-Noise Ratio : SNR								
		ระดับที่ 1			ระดับที่ 2			ระดับที่ 3		
		zero	noise	wiener	zero	noise	wiener	zero	noise	wiener
Db2	SNR	4.29	5.19	6.02	5.78	5.23	5.56	2.47	2.46	2.39
	PSNR	1.07	1.07	1.07	1.15	1.15	1.17	1.27	1.28	1.28
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.32	1.32	1.32	2.34	2.34	2.34
Db4	SNR	3.98	2.84	3.74	3.99	7.75	3.57	4.93	5.05	4.57
	PSNR	1.06	1.07	1.06	1.02	1.02	1.03	1.05	1.05	1.06
	Compression	0.70	0.70	0.70	1.26	1.26	1.26	2.09	2.09	2.09
Db6	SNR	3.40	4.53	4.59	5.49	5.43	4.75	3.27	3.47	3.06
	PSNR	1.09	1.09	1.11	1.14	1.15	1.14	1.13	1.13	1.13
	Compression	0.69	0.69	0.69	1.20	1.20	1.20	1.93	1.93	1.93
Db8	SNR	5.89	4.30	6.63	5.04	5.16	4.40	2.61	2.58	3.04
	PSNR	1.14	1.14	1.15	1.10	1.11	1.09	1.18	1.18	1.17
	Compression	0.67	0.67	0.67	1.14	1.14	1.14	1.75	1.75	1.75
Db10	SNR	2.06	1.64	3.11	3.49	4.01	3.28	5.33	4.97	3.89
	PSNR	1.21	1.21	1.20	1.13	1.13	1.12	1.24	1.24	1.24
	Compression	0.66	0.66	0.66	1.09	1.09	1.09	1.64	1.64	1.64
Symlet 1	SNR	2.18	2.22	2.72	5.29	7.33	4.19	4.07	4.59	4.04
	PSNR	1.11	1.11	1.10	1.08	1.08	1.07	1.46	1.47	1.46
	Compression	0.72	0.72	0.72	1.37	1.37	1.37	2.49	2.49	2.49
Symlet 2	SNR	4.29	4.44	5.19	5.78	4.90	5.77	2.47	2.43	2.39
	PSNR	1.07	1.07	1.07	1.15	1.16	1.17	1.27	1.27	1.28
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.32	1.32	1.32	2.34	2.34	2.34
Symlet 3	SNR	4.39	3.95	4.88	1.16	1.03	1.23	8.46	6.34	9.19
	PSNR	1.15	1.15	1.15	1.13	1.14	1.14	1.10	1.10	1.11
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.30	1.30	1.30	2.21	2.21	2.21
Symlet 4	SNR	5.77	4.77	4.11	4.92	4.79	7.50	5.39	5.71	4.83
	PSNR	1.12	1.12	1.12	1.15	1.15	1.15	1.23	1.22	1.23
	Compression	0.70	0.70	0.70	1.26	1.26	1.26	2.09	2.09	2.09
Symlet 5	SNR	3.67	7.59	3.18	5.47	11.12	6.19	3.22	3.28	3.02
	PSNR	1.15	1.15	1.13	1.04	1.04	1.04	1.17	1.17	1.16
	Compression	0.69	0.69	0.69	1.24	1.24	1.24	2.03	2.03	2.03
Coiflet 1	SNR	2.44	2.52	3.98	1.82	1.82	2.49	5.12	4.04	5.11
	PSNR	1.13	1.13	1.13	1.18	1.18	1.17	1.13	1.14	1.14
	Compression	0.71	0.71	0.71	1.30	1.30	1.30	2.21	2.21	2.21
Coiflet 2	SNR	3.07	2.95	4.88	2.03	1.83	2.09	5.35	4.58	4.84
	PSNR	1.11	1.10	1.12	1.05	1.05	1.05	1.23	1.22	1.24
	Compression	0.69	0.69	0.69	1.20	1.20	1.20	1.93	1.93	1.93
Coiflet 3	SNR	3.05	4.65	5.11	7.60	5.84	5.21	4.34	4.34	4.54
	PSNR	1.14	1.14	1.14	1.08	1.08	1.07	1.15	1.15	1.14
	Compression	0.67	0.67	0.67	1.13	1.13	1.13	1.71	1.71	1.71
Coiflet 4	SNR	2.92	2.65	4.88	3.94	4.32	5.27	2.77	3.26	2.65
	PSNR	1.19	1.19	1.19	1.14	1.14	1.12	1.21	1.21	1.20
	Compression	0.65	0.65	0.65	1.05	1.05	1.05	1.51	1.51	1.51
Coiflet 5	SNR	2.75	3.47	8.37	6.14	5.33	4.49	3.08	3.15	3.47
	PSNR	1.17	1.18	1.18	1.25	1.25	1.24	1.27	1.26	1.27
	Compression	0.63	0.63	0.63	0.99	0.99	0.99	1.37	1.37	1.37



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

● ● ● | **JICTEE-2010**
Programs and
Abstracts



Copyright.. JICTEE-2010

CALL FOR PAPER



Joint International Conference on
Information & Communication Technology
Electronic and Electrical Engineering

22 - 24 December 2010 Luangprabang, Lao PDR.

ADVISORY COMMITTEE
Saykhong Saynasinh, NUOL
Monai Krairiksh, ECTI
Somkiat Wattanasirichaigoon, ThaiBME
Khamphay Sisavanh, Souphanouvong Univ.

CONFERENCE CHAIR
Somsak Choomchuy

CONFERENCE CO-CHAIRS
Kazuhiko Hamamoto
Kosin Chummongthai
Boualinh Soysouvanh
Vixay Chansavang

PROGRAM COMMITTEE
Junichi Takada, TIT, Japan
Tetsuji Ikegami, Meiji Univ., Japan
Toshio Wakabayashi, Tokai Univ., Japan
Yoshikazu Miyanaga, Hokkaido Univ., Japan
Chuwong Pongchareonpanich, KMITL
Prakasit Tunti-a-longkam, KMUTNB
Preecha Yupapin, KMITL
Athikom Roeksabutr, MUT
Khamphoui Southisombath, NUOL
Chuchart Pintavirooj, KMITL
Takao Onoye, Osaka Univ., Japan
Chiranut Sa-ngiamsak, KKKU
Osamu Ono, Meiji Univ. Japan
Surapan Aiphaiboon, KMITL
Supaporn Kiattisin, UTCC
Phoumy Indarack, NUOL
Somsak Mitatha, KMITL
Yongyuth Permpoontanalarp, KMUTT
Krisana Chinmasarn, BUU
Suparek Janjarasjitt, UBU
Minoru Okada, NIST, Japan
Tru Hoang Cao, HCMUT, Vietnam
Noriyuki Komine, Tokai Univ., Japan
Poramate Manoonpong, Germany
Yusaku Fujii, Gunma Univ., Japan
Marzuki Bin Khalid, UTM, Malaysia
Sibounheng Ratsaphong, SU, Lao PDR
Anantawat Kunakorn, KMITL
Wiboon Prompanich, KMITL

CO-ORGANIZED BY:
National University of Laos (NUOL)
International College, KMITL, Thailand
Faculty of Engineering, KMITL, Thailand
Souphanouvong University
ThaiBME, Thailand

Technical Collaboration with:
IEEE-EMBS, Thailand
ECTI, Thailand
Tokai University, Japan
JSST, Japan

<http://www.jictee.org/jictee2010/>

Information Communication Technology has become a dramatic component in the modern human life-style. It has been adopted as a one important tool in the strategic plan of many countries development regimes. With such a realization together with the promotion and adoption of ICT, the Joint International Conference on ICT (JICT) is intended to circulate in the lower Mekong Sub-region where situated the ICT development-needed societies. The first JICT was organized in 2007 in Vientiane. The second JICT joined with ISCIT-2008. As Lao PDR is lately recognized as a power generator of the South East Asia, electronic and electrical engineering is more emerge. The JICT is expanded to JICTEE and will be organized in **Luangprabang**, the world's heritage of Lao PDR. Prospective authors are invited to submit papers reporting original work and tutorial overviews in the following areas of interest (but not limited to).

<p>1. Computer and Information</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1 Artificial Intelligence and Applications 1.2 Computer Networks; Protocols & QOS 1.3 Computer Systems and Applications 1.4 Internet Technologies and Applications 1.5 Distributed & Grid Computing 1.6 Data/Network Security 1.7 Storage Systems and Techniques 1.8 Data Retrieval & Data Mining 1.9 System Modelling and Simulations 2.10 Multimedia Services & Technology <p>2. Communication Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Communication Theory 2.2 LAN/MAN/WAN/PAN 2.3 Multimedia Services and Technologies 2.4 Network Management and Design 2.5 Intelligent Communication Systems and Network Protocols 2.6 Signal Processing for Communications 2.7 Wireless/Mobile Communications 2.8 Wideband Communications 2.9 Ubiquitous Communications 2.10 Optical Communications 2.11 Circuit & System for Communications 2.12 RF & Mixed Signal Circuits 	<p>3. Image & Signal Processing</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Adaptive, Mixed Signal Processing 3.2 Speech & Video Processing and Coding 3.3 Filters and Multirate Signal Processing 3.4 Video and Multimedia Technology & Communications 3.5 Security Signal Processing 3.6 Optical Signal Processing 3.7 Audio/Acoustic Signal Processing 3.8 Biomedical Signal & Image Processing 3.9 Bioinformatics & Medical Informatics 3.10 Telemedicine & Healthcare Services <p>4. Electronic & Electrical Eng.</p> <ul style="list-style-type: none"> 4.1 Machine Intelligent 4.2 Fuzzy Logic & Neural Network 4.3 VLSI Design & System 4.4 Nano Technology 4.5 Control & Instrumentations 4.6 Power Electronics 4.7 Power Grid & Distributions 4.8 Fault Tolerances & Load Balances <p>5. Others</p>
--	---

Important Dates:
Special Session Proposal due: **August 15, 2010**
Deadline for Submission of Full Paper: **September 30, 2010 (Extended)**
Notification of Acceptance: **October 25, 2010**
Deadline for Submission of Camera Ready Paper: **November 15, 2010**
Conference Dates: **December 22-24, 2010**

Paper Submissions:
Manuscripts must be arranged within 5 pages of PDF format and submitted electronically via the conference website: <http://www.jictee.org/jictee2010/>. Other up to date information of JICTEE-2010 can also be found in the website.





Luang Prabang, Lao PDR.

Organizing Committee

Advisory Committee

Saykhong Saynasinh Vice President, NUOL, Laos

Monai Krairiksh President ECTI, Thailand

Somkiat Wattanasirichaigoon President, ThaiBME

Khamphay Sisavanh Souphanouvong Univ., Laos

Conference Chair

Somsak Choomchuay KMITL, Thailand

Conference Co-chairs

Kazuhiko Hamamoto Tokai University, Japan

Kosin Chumnongthai KMUTT, Thailand

Boualinh Soysouvanh NUOL, Laos

Program Committee

Junichi Takada TIT, Japan

Tetsuji Ikegami Meiji Univ., Japan

Toshio Wakabayashi Tokai University, Japan

Yoshikazu Miyanaga Hokaido Univ., Japan

Chuwong Pongchareonpanich KMITL, Thailand

Prakasit Tunti-a-longkarn KMUTNB, Thailand

Preecha Yupapin KMITL, Thailand

Athikom Roeksabutr MUT, Thailand

Khamphoui Southisombath NUOL, Laos



JICTEE - 2010

Organizing Committee

Program Committee

Chuchart Pintavirooj KMITL, Thailand
 Osamu Ono Meiji Univ., Japan
 Chiranut Sa-ngiamsak KKU, Thailand
 Surapan Aiphaiboon KMITL, Thailand
 Supaporn Kiattisin UTCC, Thailand
 Phoumy Indarack NUOL, Laos
 Somsak Mitatha KMITL, Thailand
 Yongyuth Permpoontanalarp KMUTT, Thailand
 Krisana Chinnasarn BUU, Thailand
 Suparek Janjarasjitt UBU, Thailand
 Minoru Okada Nara Inst. of Science & Technology, Japan
 Tru Hoang Cao HCMUT, Vietnam
 Noriyuki Komine Tokai Univ., Japan
 Poramate Manoonpong Germany
 Yusaku Fujii Gunma Univ., Japan
 Marzuki Bin Khalid UTM, Malaysia
 Anantawat Kunakorn KMITL, Thailand
 Wiboon Prompanich KMITL, Thailand

Comparison Efficiency of Speech Compression using Wavelet Technique

Weerayuth Khunrattanasiri¹, Jakkree Srinonchat²

Signal Processing Research Laboratory
Department of Electronics and Telecommunication Engineering
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand, 12110
¹weerayuth.k@rmutsb.ac.th
²jakkree.s@en.rmutt.ac.th

Abstract— The propose of speech compression is to reduce the size of speech signal and maintain the quality of speech signal as same as the original signal. Appropriate techniques for compression the speech signal is the most important. This paper presents a comparison performance using discrete wavelet transform techniques. There are many types in Discrete Wavelet Transform (DWT). Daubechies, Symlet and Coiflets are utilized to benchmark the performance of each others. The recorded speech signals are analysed in time domain and frequency domain. When apply the wavelet transform, there are two compositions, low and high frequency. This research used only the low frequencies. The recorded signal is compressed by DWT to frequency domain. Then, a compressed signal is inverted DWT back to speech signal in time domain. The original signal and the compressed signal in time domain are compared to calculate the error. The loss of speech signal was computed by the Signal to Noise Ratio (SNR) and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). The results showed that the Coiflet5 type has the best performance SNR=34.12 dB in the first level and SNR=19.68 dB in the second level. For the Daubechies1, wavelet transform of SNR and PSNR values were 1.45 dB for level 4 and 0.64 dB for level 5 respectively.

Keywords— Speech Signal, Wavelet Analysis, Wavelet Decomposition, Frequency Spectrum

I. INTRODUCTION

In speech signal processing, the amount of data analysed require a long time process. To process audio signals faster, a popular method is to reduce the size of the speech signal input. The wavelet transform is a well-known technique for reducing the size of speech signal. Currently, the wavelet transform has a many types. Each type of wavelet has several levels. The type of wavelet has a difference quality and difference compression ratio. Shivesh Ranjan [1] introduced their research in "A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition". The DWT and K-Mean method were employed for the Hindi language recognition. Yan Long et al. [2] presented "The Best wavelet base for speech signal" to find the best wavelet from many types. Noman Junejo et al. [3] researched on speech and image compression using DWT to determine the efficiency of the wavelet.

Therefore, this research presents a performance comparison of three types of wavelet transform in 5 levels in Thai language. After the process, the suitable type of wavelet is carried out for Thai speech signal processing. It also shows the characteristics of the speech signal in time domain and frequency domain.

II. PRINCIPLES OF DISCRETE WAVELET TRANSFORM

A. Speech signal compression using wavelet.

The DWT consists of 2 stages. Firstly, the wavelet decomposition splits a signal in time domain into two coefficients as shown in Fig. 1 and 2. The speech coefficients are derived into low and high frequency components which contains of 50% each. Then each level of wavelet compression will reduced the speech components 50% as shown in Fig 2. This is the reason to increase the compression ratio. Finally, the reconstruction process, the compressed signal is converted it back to speech signal in time domain as shown in Fig. 3

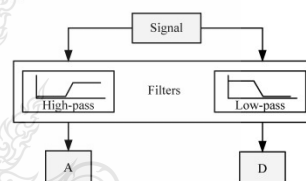


Fig. 1 Wavelet Decomposition [9]

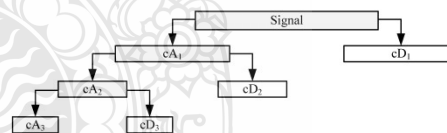


Fig. 2 Coefficient of Wavelet Decomposition [9]

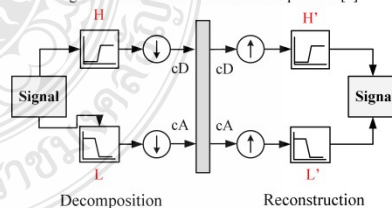


Fig. 3 Wavelet Decomposition and Wavelet Reconstruction [9]

At present, DWT has been developed in various kinds. The separation of the characteristics provides a Fortune Enable. Each type of wavelet transform has different characteristics. They can be separated out in Table I.

TABLE I
Feature of wavelet types [1]

	Symmetry	Orthogonal	Bi-orthogonal
Haar	Y	Y	Y
Daubechies	N	Y	Y
Coiflet	N	Y	Y
Symlet	N	Y	Y

A2. The efficiency of compression by using wavelet.

To determine the compression efficiency, the speech signals can be tested for performance in several ways. The distortion between the original signal and the reconstructed signal in time domain is compared by SNR and PSNR in equation (1) and (2) respectively. Then, the quality of the speech signal from the compression and the error can be computed for choosing the appropriate wavelet in speech processing as described in equation (1) and equation (2).

1. Signal to Noise Ratio (SNR)

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right| \quad (1)$$

σ_x^2 is the mean square of speech signal.

σ_e^2 is the mean square difference between the original and reconstructed signal [3].

2. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x-r\|^2} \quad (2)$$

N is the length of the speech signal reconstruction.

X is the maximum of mean square of original signal.

$\|x-r\|^2$ is the difference of energy between the original signal and the reconstruction signal.

III. THE RESULTS OF COMPRESSED SIGNAL BY WAVELET.

In this experiment, the sound samples of 1 person were recorded in five times used as the set of original data. The mono sound was recorded at 8 kHz and data size of 8 bits. The voice samples used in the experiment were "zero" in Thai language. MATLAB[®] program was used to process and compress the set of original speech signals. In the first step, the original speech signals (as displayed in Fig. 4) were removed of their DC components (DC-Coupling as presented in Fig. 5) to the reference axis as described in equation (3).

$$\sim s(n) = s(n) - \text{mean}(s(n)) \quad (3)$$

where $s(n)$ is a speech signal input at n .

$\sim s(n)$ is a speech signal output through pre-emphasis process.

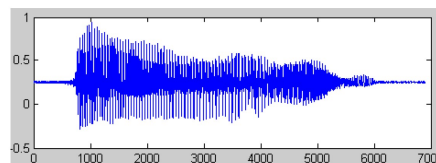


Fig. 4 A Original Speech Signal.

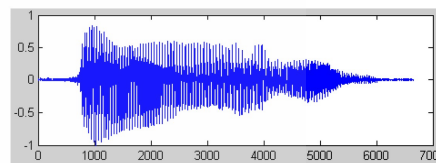


Fig. 5 A Original Signal (in Fig.4) without DC-Component.

The signal is processed by pre-emphasis. To the Signal to Noise Ratio was improved by the first order of digital filter, $H(z)$ as described in equation (4) and equation (5) [10].

$$H(z) = 1 - aZ^{-1} \quad (4)$$

$$\sim s(n) = s(n) - as(n-1) \quad (5)$$

a is the coefficient value of filter.

$s(n-1)$ is a speech signal input at $n-1$.

When the speech signals pass through pre-Emphasis process, the SNR and PSNR of improved signal are higher than the original signal as shown in Fig. 6. At this point, the speech signal is ready to be imported through the process of compression procedure.

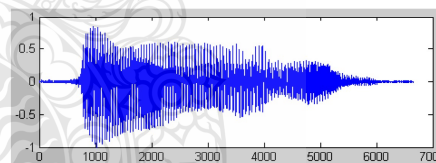


Fig. 6 Speech signal through Pre-Emphasis process.

In the process of speech signal processing, this article presents the analysis of time domain and frequency domain. In the time domain will know the details of the energy in various periods to determine the distortion of the signal compared to the original signal. In the frequency domain, Shows the frequency of losses incurred in the process of compression. This experiment used three types of wavelet such as Daubechies, Symlet and Coiflets because they have the similar properties. Each type of wavelet is analysed from level 1 to level 5. The original speech signals are passed through the compression process. Then, they will be reversed back to speech signal in time domain. Using the SNR, PSNR, the compression performance is compared.

B1. Comparison of time efficiency.

From the experiment, the amplitude of the signal through the wavelet transform at level 1 to level 3 of each type of wavelet remain characteristic and amplitude similar to the original signal which can be applied to the analysis of the data. However, the signal onset is any more distortion when using compression rates higher. Loss of amplitude caused by decomposition process of high-frequency and low frequency of wavelet transform which reduced the amount of data. Additionally, some elements of speech signal are missing. As a result, wavelet transform from the forth level onwards of 3 type of wavelet is distorted from the original signal. Therefore, it is not suitable for application to the data analysis such as speech recognition, etc. The original speech signal and speech signal through wavelet transform as shown in Fig 7 and Fig 8.

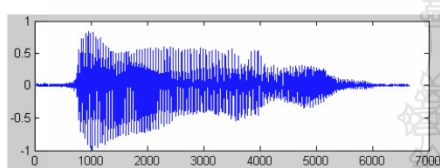


Fig. 7 The audio source adjusted before compression process.

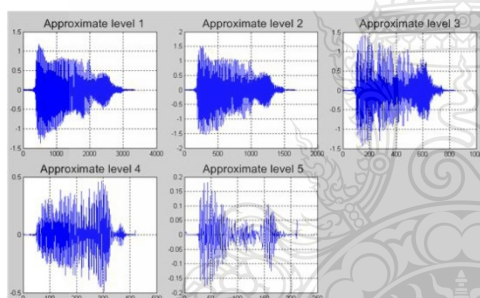


Fig. 8 Speech signals from the back of the wavelet type Daubechies3 from level 1 to 5 in the temporal domain.

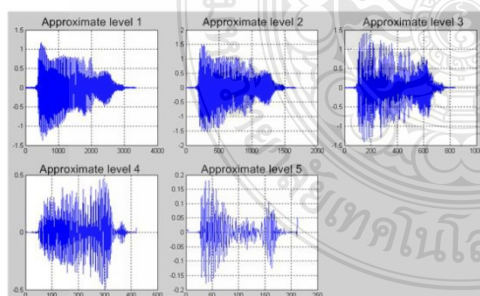


Fig. 9 Speech signals from the back of the wavelet type Symlet3 from level 1 to 5 in the temporal domain.

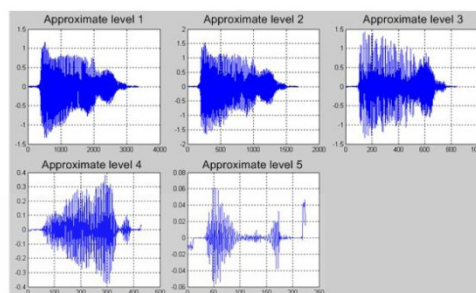


Fig. 10 Speech signals from the back of the wavelet type Coiflets3 from Level 1 to 5 in the temporal domain.

B2. Comparison of frequency efficiency.

The converting process is IDWT to transform them back to speech signal from frequency analysis. The wavelet levels 1-3 loss at low frequency only slightly. The speech signal in the process of returning the signal SNR and PSNR values were significant. However, wavelet level 4 or above level has the frequency components of the signal lower than levels 1-3. Result is not suitable to be used in signal levels from 4 onwards is used. The Loss frequency of wavelet at different levels is shown in Fig 11 to 13.

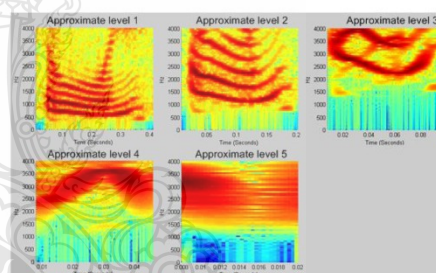


Fig. 11 Speech signals from the back of the wavelet type Daubechies3 from levels 1 to 5 in the frequency domain.

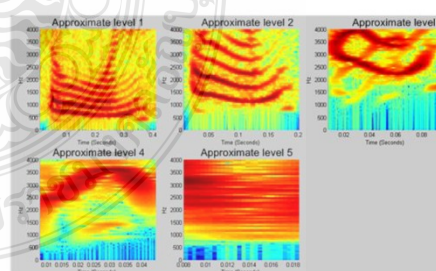


Fig. 12 Speech signals from the back of the wavelet type Symlet3 from level 1 to 5 in the frequency domain.

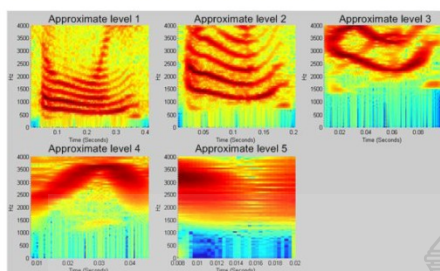


Fig. 13 Speech signals from the back of the wavelet type Coiflets3 from level 1 to 5 in the frequency domain.

The original signal and the reconstructed signal were calculated to calculate of the SNR and PSNR in the three types of wavelet from level 1 to level 5 as shown in Fig14 to Fig 19.

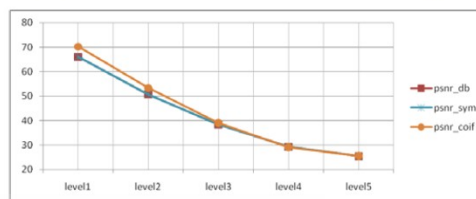


Fig. 17 The PSNR at level 3 from a compressed speech signal.

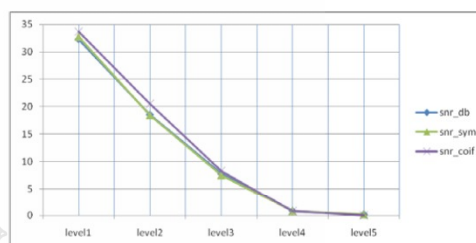


Fig. 18 The SNR at level 5 from a compressed speech signal.

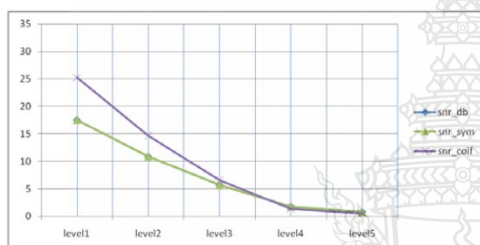


Fig. 14 The SNR at level 1 from a compressed speech signal.

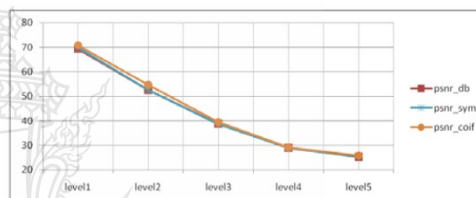


Fig. 19 The PSNR at level 5 from a compressed speech signal.

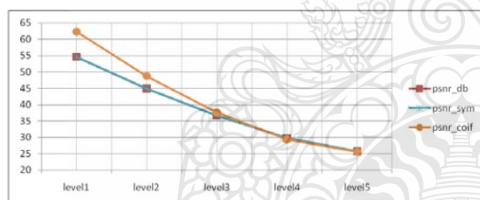


Fig. 15 The PSNR at level 1 from a compressed speech signal.

From experiments, the averaged SNR and PSNR of the speech signal made by wavelet compression were computed. The speech types of same person 5 times were employed. The average of SNR is shown in Table II and the average of PSNR is shown in Table III.

TABLE II

The averaged SNR of the speech signal (test five times) in the same people obtained from the wavelet in different levels.

Family	type	level1	level2	level3	level4	level5
1	snr_db	17.06915	10.48913	5.16343	1.44994	0.63803
	snr_sym	17.06915	10.48913	5.16343	1.44994	0.63803
	snr_coif	24.30731	14.32587	6.04259	1.22553	0.36892
2	snr_db	23.97452	14.11494	6.02365	1.22757	0.40935
	snr_sym	23.97452	14.11494	6.02365	1.22757	0.40935
	snr_coif	31.01465	17.55376	6.64992	0.91888	0.15552
3	snr_db	28.18615	16.13170	6.40077	1.07274	0.24040
	snr_sym	28.18615	16.13170	6.40077	1.07274	0.24040
	snr_coif	33.14128	18.75659	6.75712	0.73288	0.07455
4	snr_db	30.73129	17.36133	6.60803	0.93374	0.17588
	snr_sym	30.69981	17.37140	6.59407	0.95169	0.16128
	snr_coif	33.83575	19.33362	6.89035	0.62513	0.03367
5	snr_db	32.14568	18.13305	6.68528	0.84339	0.11147
	snr_sym	32.03705	18.11078	6.66552	0.84390	0.11962
	snr_coif	34.12055	19.67734	6.83441	0.56541	0.01855

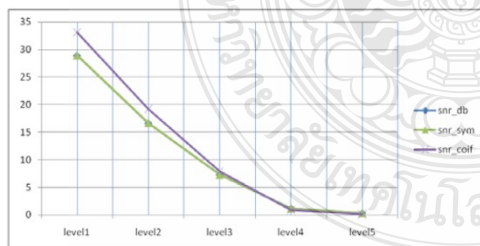


Fig. 16 The SNR at level 3 from a compressed speech signal.

TABLE III
The averaged PSNR of the speech signal (test five times) in the same people obtained from the wavelet in different levels.

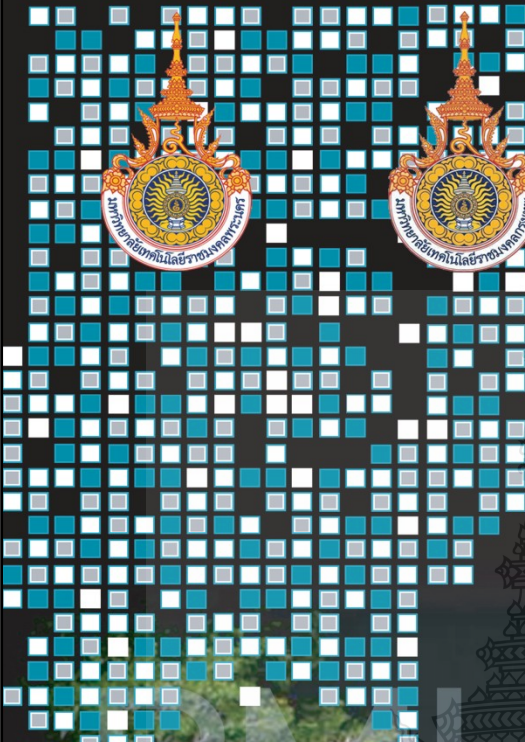




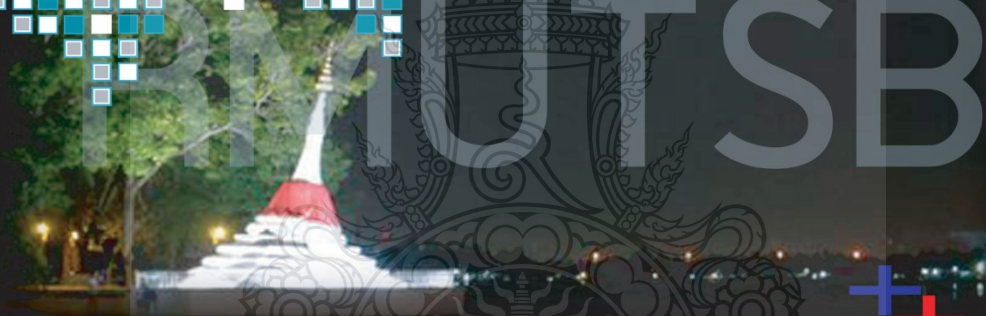
Family	type	level1	level2	level3	level4	level5
1	psnr_db	57.82200	48.23094	39.89346	33.16670	29.33857
	psnr_sym	57.82200	48.23094	39.89346	33.16670	29.33857
	psnr_coif	65.06164	52.07211	40.78444	32.96593	29.11665
2	psnr_db	64.72810	51.85970	40.75959	32.95617	29.13355
	psnr_sym	64.72810	51.85970	40.75959	32.95617	29.13355
	psnr_coif	71.77120	55.30738	41.40650	32.69448	28.97307
3	psnr_db	68.94048	53.87794	41.14262	32.81314	28.98813
	psnr_sym	68.94048	53.87794	41.14262	32.81314	28.98813
	psnr_coif	73.90004	56.51611	41.52839	32.53758	28.96079
4	psnr_db	71.48636	55.11053	41.35578	32.68590	28.94701
	psnr_sym	71.45488	55.12060	41.34182	32.70385	28.93242
	psnr_coif	74.59672	57.10051	41.67917	32.46450	28.98750
5	psnr_db	72.90149	55.88372	41.43598	32.60729	28.90588
	psnr_sym	72.79285	55.86145	41.41622	32.60780	28.91402
	psnr_coif	74.88374	57.45011	41.63780	32.43917	29.03891

IV. CONCLUSIONS

This work presents the comparison of wavelet compression performance specially in speech signal. Three types of wavelet techniques are selected to process, Daubechies, Symlet and Coiflets. Each types of wavelet compressed the speech signal into 5 levels. The results shown that the 4th and 5th level provide the large distortion when compared to the original signal in time and frequency domain. This makes the speech signal is not suitable for adoption. The 1st to 3rd level are selected to do the compression process. The Coiflets5 in level 1 and level 2 provided the SNR=34.12055 and SNR=19.67734 respectively which are the best value compared to other types of wavelet. While, the level 4 and 5 of Daubechies1 wavelet transform provided the highest SNR=1.44994 and SNR=0.63803 respectively. The aim of this experiment is to apply those techniques for speech compression especially in data storage and telecommunication system. The future work is to reduce the PCM signal from 64K to 13-16K for use in telephone communication systems.


V. REFERENCES

- [1] Shivesh Ranjan, "A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition", International Conference on Signal Acquisition and Processing (ICSAP 2010)
- [2] Yan, L., G. Liu, "Selection of The Best Wavelet Base for Speech Signal", Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.
- [3] Junejo, N., N. Ahmed, "Speech and Image Compression Using Discrete Wavelet Transform". Advances in Wired and Wireless Communication, 2005.
- [4] Rufiner, H. L. and J. Goddard C, "A method of wavelet selection in phoneme recognition", Circuits and Systems, 1997.
- [5] Najih, A. M. M. A., A. R. bin Ramli, "Speech compression using discrete wavelet transform", Telecommunication Technology, 2003. NCTT 2003 Proceedings.
- [6] Hosny, N. M., S. H. El-Ramly, "Novel techniques for speech compression using wavelet transform", Microelectronics, 1999. ICM '99.
- [7] Agbinya, J. I., "Discrete wavelet transform techniques in speech processing", TENCON '96.
- [8] J.Srinonchat, S.Danaher, J.I.H.Allen, "Double Clustering Algorithm applied to Speaker Dependent Information", SPECOM'2004.
- [9] M.Misiti, Y.Misiti, G.Oppenheim, J.Poggi, "Wavelet Toolbox 4 User's Guide", The MathWork, Inc., 2007.
- [10] E.Naowanich, "Thai Consonant Pronunciation Program for Hearing-Impair Person Using Artificial Neural Network", Computer Science, Computer Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2007.

ARIT NTSB

- Group 1** Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.
- Group 2** Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy Generating Systems.
- Group 3** Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies.
- Group 4** Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies, Antennas, Microwave Theory and Techniques.
- Group 5** Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.
- Group 6** Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.



ELECTRONICAL ENGINEERING NETWORK 2011

Between 9-11 March 2011

At ARIT Nonthaburi Campus
(North Zone) Rajamangala University
of Technology Suvarnabhumi



ประธานจัดงาน

รองศาสตราจารย์ ดร. วิจัย นันทนบุรี

คณะกรรมการเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ดร.โกศล ตรีวัฒน์	ไอสารโพธิ์	มทร.ธัญบุรี	เขตพื้นที่ภาคพายัพ
ม.ศ.ประเสริฐ	เดือนพิมพ์ไวย	ศูนย์กลาง	มทร.อีสาน
ม.ศ.ประวิทย์	เปรียบเหมือน	มทร.อีสาน	วิทยาเขตขอนแก่น
อ.เอกพล	อนุสรณ์	มทร.กรุงเทพ	
ดร.สุวิภา	แก้วอาษา	มทร.อีสาน	วิทยาเขตสกลนคร
อ.ประภาจิต	ศรีระแก้ว	มทร.ธัญบุรี	พื้นที่สีเขียว
อ.กัทนะ	อมทอง	มทร.ธัญบุรี	เขตพื้นที่ตาก
อ.คณิศา	ปานทองคำ	มทร.ศรีวิชัย	วิทยาเขตภาคใต้
อ.วิรัช	มาลาเวช	มทร.ศรีวิชัย	
อ.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว	มทร.พระนคร	ศูนย์พระนครเหนือ
อ.ประยงค์	ทองสุข	มทร.ตะวันออก	
อ.สมควร	นันทินา	มทร.รัตนโกสินทร์	วิทยาเขตจันทบุรี
ม.ศ.ดร.ประมุข	อุทัยทอง	มทร.สุพรรณบุรี	วิทยาเขตวังไกลกังวล
		มทร.สุพรรณบุรี	ศูนย์นนทบุรี

คณะกรรมการดำเนินงานจัดการประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ดร.กฤษณ์ชัย	ภูมิศักดิ์พิชญ์	มทร.ธัญบุรี	
ดร.อุเทน	คำนำ	มทร.ธัญบุรี	เขตพื้นที่ภาคพายัพ
ม.ศ.ดร.ธวัช	เกิดชื่น	ศูนย์กลาง	มทร.อีสาน
ม.ศ.วิสิทธิ์	พงษ์ศุภธัญ	มทร.ศรีวิชัย	วิทยาเขตภาคใต้
อ.ชาญฤทธิ์	ธราสันติสุข	มทร.กรุงเทพ	
อ.ธวัชชัย	สิมมา	มทร.อีสาน	วิทยาเขตขอนแก่น
อ.ดำรง	แจ่มเชื้อ	มทร.ตะวันออก	วิทยาเขตจันทบุรี
อ.วิเศษชัย	ทิพย์ประเสริฐ	มทร.ธัญบุรี	พื้นที่สีเขียว
อ.ณรงค์ฤทธิ์	พิมพ์คำวงศ์	มทร.ธัญบุรี	เขตพื้นที่ตาก
อ.สุกสิรา	ศรีแสน	มทร.ศรีวิชัย	
		วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	
อ.ทอง	ถนอมทอง	มทร.พระนคร	ศูนย์พระนครเหนือ
อ.กาญจนา	แสนพวง	มทร.อีสาน	วิทยาเขตสกลนคร
อ.อนุชิต	อุไรรัตน์	มทร.รัตนโกสินทร์	วิทยาเขตวังไกลกังวล
อ.ไชยวัฒน์	บุญมี	มทร.สุพรรณบุรี	ศูนย์นนทบุรี

ขอเชิญเข้าร่วมและส่งบทความวิจัย เพื่อนำเสนอในงานประชุมเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 ประจำปี 2554 (Electrical Engineering Network 2011 of Rajamangala University of Technology, EENET 2011)

ณ อาคารศูนย์วิทยบริการและสารสนเทศ (ARIT) ศูนย์นนทบุรี เขตเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กลุ่มของการนำเสนอบทความ

- Group 1** Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.
- Group 2** Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy Generating Systems.
- Group 3** Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies.
- Group 4** Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies, Antennas, Microwave Theory and Techniques.
- Group 5** Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.
- Group 6** Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.

วันสุดท้ายของการส่งบทความ	9 มกราคม 2554
ประกาศผลบทความที่ผ่านการคัดเลือก	1 กุมภาพันธ์ 2554
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์	8 กุมภาพันธ์ 2554
ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน	1-15 กุมภาพันธ์ 2554
วันจัดประชุมสัมมนา EENET	9-11 มีนาคม 2554



คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

7/1 ถนนนนทบุรี 1 ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

ติดต่อ: eenet2011@rmutsb.ac.th

eenet2011@gmail.com

โทร: 029691369-74 ต่อ 2352

โทรสาร: 029691369-74 ต่อ 2371



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



เกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดิพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กิจจา ลักษณ์อำนวยการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กิตติวงศ์ สุธรรมโน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
กิตติวุฒิ จีนะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
เกษม เนื้อแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
โกศล นิธิโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
จงเจริญ คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จรินทร์ จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จัดจตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
เจนฎา พรหมเกษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เฉลิมชาติ มานพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เฉลิมพล เรื่องพัฒนามาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เฉลิมวิว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ชลลกร สุวรรณสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาอุชัย เลขธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชาอุฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาอุวิทย์ คังสิริวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ชูศักดิ์ กมลขันดิฐร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ไชยยันต์ บุญมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ฉัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ฉรงค์ นันทฤศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ฉรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ฉัฐพงษ์ สนองคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



ณัฐพงษ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ณัฐพล หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คุณพล คำปี่ญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
คุณชัยเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
คุณจิต อุทิศสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
คะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เฉลิมศักดิ์ แสนเพียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เดือนใจ อาชีวะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ทอง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ทัศนะ อมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ธงชัย กล้ายกลิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ชนวัฒน์ ฉลาดสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ธานี สมวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ธีรพล เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นคร ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นครินทร์ ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นพพร พัชรประทีติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นักภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
นราวิทย์ กิจเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นรินทร์ หลีกทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นาคยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศรีราชา
นิติพงษ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นิติพงษ์ สมไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นิพนธ์ วงศ์ท่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นิพนธ์ สุนทรหุด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
นิลมิต นิลาส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



นิวัตร จารุวาระกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
บุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปฎิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประกาศิต ศรีทะแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ประคินฐ์ เตือนหมั่น ไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ประคินฐ์ แสงยศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประทีป แสงคิ้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประวิช เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ปราโมทย์ อนันต์ราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปรีชา สาตะรังษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศส.ณัฐวุฒิ โสมะเกษศรีรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พร้อมศักดิ์ อภิรติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พันธ์ พิริยะวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
พิชัย เพ่งพันธุ์พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิชัย อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
พินิจ ศรีชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พิสิทธิ วิตุทธิณธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
พิสิษฐ์ ลีวัชณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พีรพล จิราพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ภัควัฒน์ จันทรศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ภาณุมาศ แสนพวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มงคล คำบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
มังกร ศรีจันทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มาณพ ธนะคำดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มาลียา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



มีชัย แจ่มไต้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ยุทธนา กันทะพะยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ยุทธนา จำสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รัก สกุลหงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เรวัต ธรรมสนธิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วณพันธ์ วิยวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
วรรณรีย์ วงศ์ไครรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วิรัช สิมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วันชัย ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วารุณี กรุคพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วารุณี ศรีสงคราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วิจิตร กิมเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิชัย ศุภศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิชา จันทิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิชิด สุทธิพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วิเชียร ททัษณ์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิบูลย์ ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิรัตน์ นักรองดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วิวัฒน์ เจริญสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วีระ ธัญภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระชัย จรบูรณย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระยุทธ รัตนคุณศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วุฒิชัย ส่งงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วุฒิพล ชาราธีรเศรษฐ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศรีศักดิ์ น้อยไรรุณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



ศักดิ์ชัย ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ศิริชัย แดงอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริชัย ลาภาสระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ศุภลักษณ์ ศรีศา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมเกียรติ อุดมพรมษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมชัย ทวีอุว ไรคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมชาย เปียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมนึก เกรือสอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สยาม ประจวบตะศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สรรรพพล คุ้มทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สรายุทธ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สันติ อัสวีพรังค์ธร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
สันติภาพ โคลทะเล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สาคร ปันดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สาธิต ฝูงสว่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สายชล ชุคเจ็อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สำเริง สันทำไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สิงห์ทอง พัฒนาเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สุภม จุฬาลงศิริรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุชาติ จันทร์จรมานิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุทินันท์ ดันโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
สุพจน์ จันทร์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สุรเชษฐ์ เฉลยฟัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สุรพันธ์ โล่ห์เพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรสิทธิ์ แสนทอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3



สุรินทร์ แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ศุวัญญา ศิริศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
องอาจ แสกลใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อนนต์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
อนันต์ ไสภิก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อโนชา รุ่งโรจน์วัฒน์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อัศวิน แก้วสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ชอปกุณ ไชยวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อากาศพล มหาวีระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อินฉา บุญอุอรุณเนตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อุดม เกรือเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ
อุรา ดันมีแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เอกชัย ชัยดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
เอกวิทย์ หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร



 <div style="text-align: center;"> สารบัญ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 </div> 		
ET4_3	การศึกษาการแยกแยะสัญญาณคลื่น ไฟฟ้าหัวใจภายนอกร่างกายสำหรับทารกในครรภ์	308
ET4_4	การศึกษาการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนาระบบการวินิจฉัยสภาวะตัวเหลืองในทารก	312
ET4_5	การออกแบบและสร้างเครื่องรับส่ง 16 QAM-OFDM ดันแบบบนบอร์ด FPGA	316
ET4_6	การศึกษาฟังก์ชันถ่ายโอนระบบให้ความร้อนในเตาเผาปลุกผลึก	320
ET4_7	การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการคัดกรองภาวะเซลล์ก่อนมะเร็ง โดยวิธีอิมมูโนฟลูออเรสเซนซ์แบบโทรสโคป	324
ET4_8	ระบบแจ้งอุบัติเหตุรถยนต์ผ่านทางโทรศัพท์มือถือ	328
ET4_9	สายอากาศของเปิดแถบความถี่กว้างมากที่กระตุ้นด้วยสายส่งแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม	332
ET4_10	ชุดควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สายผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์	336
ET4_11	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดคุณลักษณะของสัญญาณที่เป็นเสียงและเสียงรบกวน	340
ET4_12	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงพูด โดยใช้เทคนิคเวฟเล็ต	344
ET4_13	เครื่องค้นแบบรบกวนสัญญาณ โทรศัพท์เคลื่อนที่	348
ET4_14	สายอากาศแพนรูปตัว G ย่านความถี่แถบคู่ที่ป้อนสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม	352
ET4_15	เปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดรูปเลขเก้าสำหรับการใช้งานในเครือข่ายไร้สายโดยใช้วัสดุฐานรองแบบ RT-Duroid และ FR4	356
ET4_16	The current density effect on plasma parameters	362
ET4_17	การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพนซ์สำหรับระบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย	482
ET4_18	การพัฒนาตัวปล่อยคลื่นความถี่ 2.45 GHz สำหรับการประยุกต์รักษาเนื้อเยื่อด้วยความร้อน	486
CP5_1	Home Electrical Device Control System with Wireless Low Rate Network	365
CP5_2	การศึกษาการตรวจจับสัญญาณกลั่นเนื้อตาสำหรับใช้เชื่อมค่อนมนุษย์กับคอมพิวเตอร์	369
CP5_3	การรู้จำตัวอักษรอังกฤษ-ไทยโดยใช้วิธีทางสถิติร่วมกับซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีน	373
CP5_4	การเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจหาป้ายจำกัดความเร็วในเงื่อนไขที่ถูกสภาพแวดล้อมบดบัง	377

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9 - 11 มีนาคม 2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงพูดโดยใช้เทคนิคเวฟเล็ต

Comparison Efficiency of Speech Compression using Wavelet Technique

วีระยุทธ คุณรัตนศิริ¹ และจักรี ศรีนนท์จักร²

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

7/1 ถ.นนทบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 E-mail: weerayuth.k@rmutsb.ac.th

²ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การบีบอัดสัญญาณเสียงมีจุดประสงค์ที่จะลดขนาดของสัญญาณเสียงและรักษาคุณภาพของสัญญาณเสียงให้มีลักษณะเหมือนกับเสียงต้นฉบับมากที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมในการบีบอัดสัญญาณเสียงจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ต ทั้งนี้เวฟเล็ตมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและหลายระดับ (Level) ในการบีบอัดสัญญาณ ในบทความนี้ได้เลือกเวฟเล็ต 3 ชนิด ได้แก่ Daubechies, Symlet, Coiflets เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเล็ตทั้งสามชนิดๆ ละ 5 ระดับ ซึ่งงานวิจัยได้วิเคราะห์สัญญาณเสียงทั้งโดเมนเวลา และโดเมนทางความถี่ ซึ่งกระบวนการแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต นั้นมีการแยกออกเป็นองค์ประกอบของความถี่ต่ำและความถี่สูง โดยงานวิจัยนี้เลือกให้เฉพาะความถี่ต่ำ หลังจากที่ได้สัญญาณที่ถูกบีบอัดแล้ว จะทำการแปลงสัญญาณที่บีบอัดคืนกลับเป็นสัญญาณเสียง เพื่อคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณโดยวัดจากค่า SNR, PSNR และอัตราบีบอัดสัญญาณเสียง จากการทดลองเห็นได้ว่า เวฟเล็ตชนิด Daubechies3 ในระดับที่ 2 มีค่า SNR และค่า PSNR ที่ดีที่สุดคือเท่ากับ 51.2578 dB ส่วนชนิด Daubechies1 และ Symlet1 ได้ค่าอัตราการบีบอัดเท่ากับ 3.9978

คำสำคัญ: สัญญาณเสียงพูด, การวิเคราะห์เวฟเล็ต, สเปกตรัมเชิงความถี่

Abstract

The propose of speech compression is to reduce the speech signal to low bit rate while maintain the quality of speech signal as same as the original. Therefore the technique that uses to compress the signal is so important. This article presents a comparison performance of wavelet technique for speech compression. The Daubechies, Symlet, and Coiflets wavelet technique is selected to perform in this experiment. These techniques have compressed each speech signal into five levels in condition of

time domain and frequency domain analysis. However, the wavelet technique is separated signal to be low and high frequencies section. This experiment selected only the low frequency to process. Speech signal is then decompressed and measured the quality of speech using the Signal to Noise Ratio (SNR), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). Also the compression rate is calculated. The results show that Daubechies 3 level 2 provides 51.2578 dB of SNR and PSNR. Also the Symlet1 and Daubechies1 give 3.9978 of compression ratio.

Keywords: Speech Signal, Wavelet Analysis, Frequency Spectrum

1. บทนำ

ในการนำสัญญาณเสียงไปประยุกต์ใช้ในการรู้จำ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการประมวลผล จึงเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดขนาดของสัญญาณเสียงที่เป็นสัญญาณอินพุตลง โดยเวฟเล็ตเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยม แต่ปัจจุบันมีเวฟเล็ตหลายชนิด [1] โดยในเวฟเล็ตแต่ละชนิด ยังมีหลายระดับ ซึ่งทำให้ได้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเล็ต 3 ชนิด ชนิดละ 5 ระดับ ตั้งแต่ระดับที่ 1-5 เพื่อให้สามารถเลือกเวฟเล็ตได้เหมาะสมกับการประมวลผลสัญญาณเสียง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นคุณลักษณะของสัญญาณเสียงในโดเมนเวลา เพื่อแสดงถึงการสูญเสียของแอมพลิจูดหรือพลังงาน และโดเมนของความถี่เพื่อแสดงถึงการสูญเสียเชิงความถี่ของสัญญาณเสียง

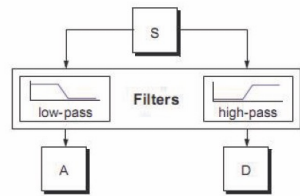
2. หลักการ

2.1 การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยเวฟเล็ต

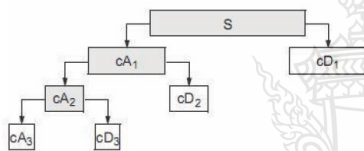
การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT) ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือ การแยกองค์ประกอบ (Wavelet Decomposition) ซึ่งจะทำให้การแยกออกเป็นค่าสัมประสิทธิ์ 2 ตัว ได้แก่ Approximate Coefficient ก็คือองค์ประกอบที่ได้จากความถี่ต่ำ และ Detail Coefficient ก็คือองค์ประกอบที่ได้จาก

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9 - 11 มีนาคม 2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ความถี่สูง โดยการบีบอัดข้อมูลของเวฟเลตในแต่ละระดับ จะทำการลดจำนวนข้อมูลลงครึ่งหนึ่ง เนื่องจากมีการแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ Approximate และ Detail อย่างละ 50% ดังนั้นในทุกระดับของการบีบอัดสัญญาณ โดยเวฟเลตที่เพิ่มสูงขึ้น จำนวนข้อมูลจะลดลงครึ่งหนึ่งในทุก ๆ ระดับ อีกขั้นตอนหนึ่งก็คือการคืนกลับสัญญาณเสียง (Wavelet Reconstruction) เป็นขั้นตอนที่นำสัญญาณที่ได้จากการบีบอัดแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียง ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 การแยกองค์ประกอบโดยเวฟเลต



รูปที่ 2 ขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยเวฟเลต

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเวฟเลตออกมาหลายชนิด โดยแบ่งแยกตามลักษณะงานต่างๆ ซึ่งในแต่ละชนิดของเวฟเลตจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกออกได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเวฟเลตชนิดต่างๆ [1]

	Compact Support	Symmetry	Orthogonal	Bi-orthogonal
Haar	Y	Y	Y	Y
Db	Y	N	Y	Y
Coif	Y	N	Y	Y
Sym	Y	N	Y	Y
Meyer	N	Y	Y	Y
Bior	Y	N	N	Y

2.2 การหาประสิทธิภาพของการบีบอัดโดยใช้เวฟเลต

ในการหาประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยวิธีเวฟเลต สามารถทดสอบหาประสิทธิภาพได้หลายวิธี ในงานด้านการประมวลผลสัญญาณเสียงนิยมใช้การหาค่าผิดพลาด SNR และ PSNR

ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อผิดพลาดระหว่างสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งจะทำการทราบถึงคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ลดลงจากการบีบอัดสัญญาณเสียง นอกจากนี้ยังสามารถหาอัตราการบีบอัดของสัญญาณเสียงที่ได้จากกระบวนการเวฟเลต ดังสมการต่อไปนี้

- 1. Signal to Noise Ratio : SNR

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_s^2}{\sigma_e^2} \right| \quad (1)$$

- 2. Peak Signal to Noise Ratio :PSNR

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x-r\|^2} \quad (2)$$

โดย N คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

X คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสูงสุด

$\|x-r\|^2$ คือ ความแตกต่างของค่าพลังงานระหว่าง

สัญญาณต้นฉบับและสัญญาณที่ถูกคืนกลับ

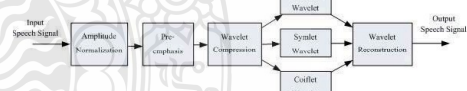
- 3. อัตราการบีบอัดสัญญาณ (Compression Ratio)

$$C = \frac{Length(x(n))}{Length(cWC)} \quad (3)$$

โดย cWC คือ ความยาวของข้อมูลสัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัดแล้ว

3. ผลการทดลองการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยวิธีเวฟเลต

ในการทดลองนี้ทำการบันทึกเสียงแบบโมโน ที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีขนาดข้อมูลละ 8 บิต ค่าตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ “ศูนย์” และใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลและบีบอัดสัญญาณเสียง โดยก่อนเข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงจะทำการปรับค่าสัญญาณเสียงอินพุตให้เหมาะสม ดังรูปที่ 1



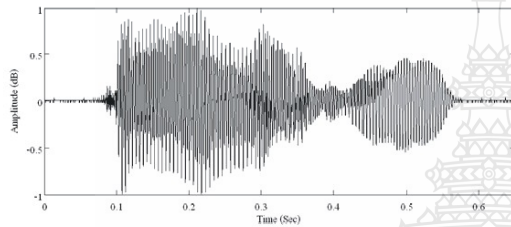
รูปที่ 3 ขั้นตอนการบีบอัดเสียงโดยเวฟเลต

ในขั้นตอนของการประมวลผลสัญญาณเสียง สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งโดเมนเชิงเวลา (Time Domain) ซึ่งจะให้รายละเอียดของค่าพลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และโดเมนเชิงความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งแสดงองค์ประกอบของความถี่ โดยในการบีบอัดเสียงจะมีการสูญเสียสัญญาณเชิงความถี่ที่เกิดขึ้น ในการทดลองเลือกใช้เวฟเลต 3 ชนิด คือ Daubechies, Symlet, Coiflets โดยในแต่ละชนิดทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ระดับ 1 ถึงระดับที่ 5 เมื่อได้สัญญาณที่บีบอัดแล้ว ก็จะนำเข้าสู่กระบวนการหาประสิทธิภาพของสัญญาณ โดยใช้ค่า SNR, PSNR และอัตราการบีบอัดสัญญาณ

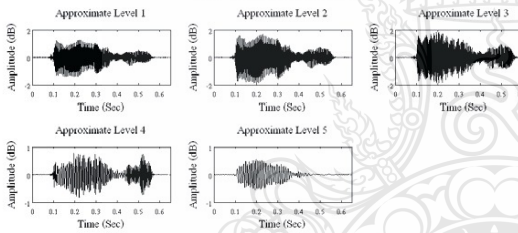
การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9 - 11 มีนาคม 2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเวลา

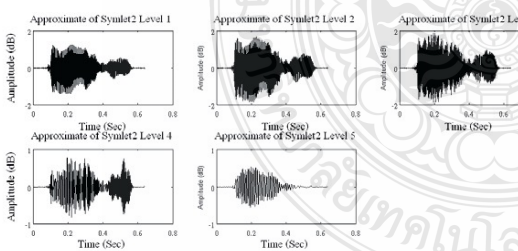
จากการทดลองพบว่าหลังจากทำการบีบอัดสัญญาณเสียงแล้วทำการแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงคืนฉบับ พบว่าค่าแอมพลิจูดหรือค่าพลังงานที่ได้จากสัญญาณเสียงที่แปลงกลับในโดเมนเชิงเวลา มีค่าลดต่ำลง อันเนื่องจากการแยกองค์ประกอบของความถี่และความถี่สูงในกระบวนการของเวฟเลต ซึ่งทำให้จำนวนข้อมูลลดลงส่งผลให้เวฟเลตตั้งแต่ระดับที่สี่เป็นต้นไปของเวฟเลตทั้งสามชนิด มีลักษณะของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณต้นฉบับเป็นอย่างมาก ดังแสดงรูปที่ 4 และสัญญาณคืนกลับในโดเมนของเวลาของเวฟเลตทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 7



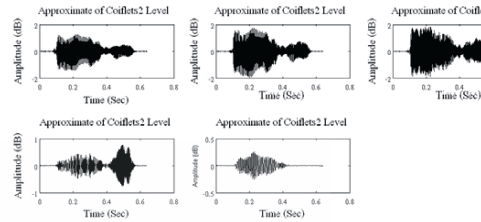
รูปที่ 4 สัญญาณเสียงต้นฉบับ



รูปที่ 5 สัญญาณเสียงที่ได้จากการคืนกลับสัญญาณของเวฟเลตชนิด Daubechies2 ระดับที่ 1 ถึง 5 ในโดเมนเชิงเวลา



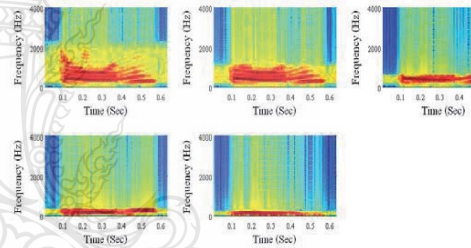
รูปที่ 6 สัญญาณเสียงที่ได้จากการคืนกลับสัญญาณของเวฟเลตชนิด Symlet2 ระดับที่ 1 ถึง 5 ในโดเมนเชิงเวลา



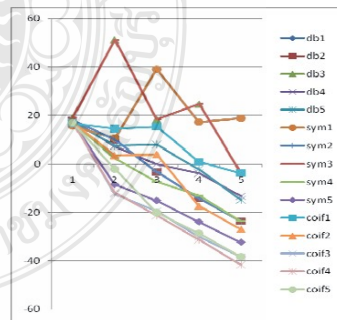
รูปที่ 7 สัญญาณเสียงที่ได้จากการคืนกลับสัญญาณของเวฟเลตชนิด Coiflets2 ระดับที่ 1 ถึง 5 ในโดเมนเชิงเวลา

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความถี่

จากกระบวนการแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียง ในการวิเคราะห์เชิงความถี่ พบว่าในเวฟเลตระดับที่สูงขึ้น องค์ประกอบของสัญญาณเชิงความถี่มีผลต่ำลง โดยสังเกตที่เวฟเลตระดับที่ 4 ของทุกชนิด พบว่ามีการสูญเสียเชิงความถี่ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่ 1-3 ส่งผลให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ในกระบวนการถัดไปได้ ดังรูปที่ 8



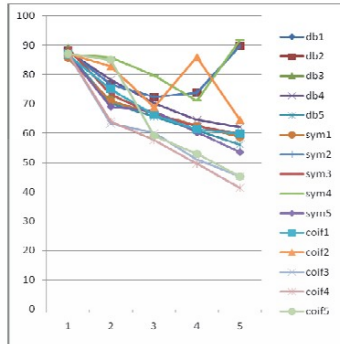
รูปที่ 8 สัญญาณเสียงที่ได้จากการคืนกลับสัญญาณของเวฟเลตชนิด Daubechies2 ระดับที่ 1 ถึง 5 ในโดเมนเชิงความถี่



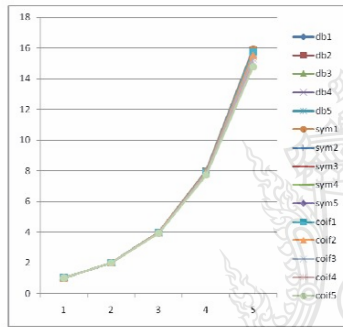
รูปที่ 9 ค่า SNR ที่ได้จากการบีบอัดสัญญาณเสียง

ET4_12

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9 - 11 มีนาคม 2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



รูปที่ 10 ค่า PSNR ที่ได้จากการบีบอัดสัญญาณเสียง



รูปที่ 11 อัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงต้นฉบับเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงที่แปลงกลับ

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบีบอัดเสียงโดยใช้เวฟเลต 3 ชนิดคือ Daubechies, Symlet, Coiflets โดยแต่ละชนิด ๆ ละ 5 ระดับ พบว่าในการบีบอัดเสียงในตั้งแต่ระดับที่ 4 ขึ้นไปของเวฟเลตทุกชนิด มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ ทั้งในโดเมนเชิงเวลาและโดเมนเชิงความถี่ ซึ่งทำให้สัญญาณเสียงที่ได้ในระดับดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน ในงานวิจัยนี้เลือกทดสอบการบีบอัดสัญญาณเสียงในระดับที่ 1 ถึง 3 จากการหาประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียง พบว่า เวฟเลตชนิด Daubechies3 ในระดับที่ 2 มีค่า SNR และ PSNR เท่ากับ 51.2578 dB ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเวฟเลตชนิดอื่น ๆ ส่วนอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงที่ดีที่สุด ได้แก่ เวฟเลตชนิด Daubechies1 และ Symlet1

ในระดับที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 3.9978 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นฉบับ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Yan, L., G. Liu, "Selection of The Best Wavelet Base for Speech Signal", Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.
 [2] Rufiner, H. L. and J. Goddard C, "A method of wavelet selection in phoneme recognition", Circuits and Systems, 1997.
 [3] Najih, A. M. M. A., A. R. bin Ramli, "Speech compression using discret wavelet transform", Telecommunication Technology, 2003. NCTT 2003 Proceedings.
 [4] Hosny, N. M., S. H. El-Ramly, "Novel techniques for speech compression using wavelet transform", Microelectronics, 1999. ICM '99.
 [5] Junejo, N., N. Ahmed, "Speech and Image Compression Using Discrete Wavelet Transform". Advances in Wired and Wireless Communication, 2005.
 [6] Agbinya, J. I., "Discrete wavelet transform techniques in speech processing", TENCON '96.
 [8] J.Srinonchat, S.Danaher, J.I.H.Allen, "Double Clustering Algorithm applied to Speaker Dependent Information", SPECOM'2004.



นายวีระยุทธ ภูธรรัตนศิริ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม พ.ศ. 2550 จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ปัจจุบันกำลังศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ คือ การประมวลผลสัญญาณเสียง



จักรี ศรีนนท์จักรี จบการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ในปี พ.ศ. 2538 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และจบการศึกษาระดับปริญญาโทและเอก จาก Northumbria University, UK ในปี พ.ศ.2544 และพ.ศ.2548 ตามลำดับ ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาเอกวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ผู้สอนที่ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ คือ การประมวลผลสัญญาณ การบีบอัดสัญญาณเสียงและภาพ โครงสร้างจำลองระบบประสาทเทียม

ET4_12



ECTI-CARD 2011

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 3

- เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา
- ระบบรักษาความปลอดภัย การควบคุมการเข้าถึง การยืนยันตัวตน ระบบตรวจจับ
- การสื่อสาร การสนับสนุนผู้ใช้ตามบ้าน เครือข่ายสังคม เครือข่ายไร้สาย
- การเรียนรู้การสอนทางไกล การศึกษามันนิ่ง คอมพิวเตอร์อนิเมชัน
- การประหยัดพลังงาน การจัดการพลังงานบ้านอัตโนมัติ
- การขนส่ง การควบคุมจราจร การจัดการอุตสาหกรรม
- ธุรกิจการธนาคาร การท่องเที่ยว และการโรงแรม
- การกู้ภัย ระบบเตือนภัย และการพยากรณ์
- เกษตรกรรม อุตสาหกรรมเกษตร



RSU มหาวิทยาลัยรังสิต
RANGSIT UNIVERSITY



หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยรังสิต

จัดทำและดำเนินงานโดย
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรังสิต

ECTI-CARD 2011

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 3
กรุงเทพมหานคร 4-6 พฤษภาคม 2554

งานประชุมวิชาการ ECTI-CARD จัดขึ้นโดยสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ แห่งประเทศไทย จุดมุ่งหมายหลักของการจัดงานเพื่อรวบรวมผลงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ นวัตกรรม และสิ่งประดิษฐ์ ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ สำหรับนักวิจัย ผู้พัฒนา และผู้ใช้งาน หรือนักเรียนที่จะนำงานที่ตีพิมพ์ไปพัฒนาต่อยอดหรือพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์

บทความที่ได้รับการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จากคุณภาพ ความสมบูรณ์ของงาน ประสิทธิภาพ และการนำไปใช้งานจริง บทความที่ได้รับการคัดเลือก จะนำเสนอในงานประชุม และตีพิมพ์ใน ECTI-CARD Proceedings ซึ่งสามารถสืบค้นได้ฐานข้อมูลของสมาคม ECTI

Steering Committee

รศ.ดร.ประยุทธ์ อัครอดทนสิน (KMUTNB)
รศ.ดร.โกสินทร์ จันทไทย (KMUTT)
รศ.ดร.วุฒิพงษ์ อารีกุล (KU)

General Chair

ศ.ดร.โรมันโย ไทรฤกษ์ (KMUTL)

General Co-Chair

ดร.สมบุญ ศรีสาคร (RSU)

Technical Program Chair

ผศ.ดร.รัชชัย แสงอุทุม (RSU)

Technical Program Committee

รศ.วรงค์ดี นริศนารณณ์ (RSU)
Dr.Jin-man Yang (RSU)
ดร.ธรรมาภรณ์ สุสำภา (RSU)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ (RSU)
รศ.सानา เสงงาม (RSU)
รศ.ดร.เอกชัย แสงจันทร์ (CMU)
ดร.วุฒิต ศิลป์ศรีกุล (NCU)
ผศ.ดร.สรฤกษ์ ศรีเกษม (RTAFA)
ดร.เอกรัตน์ บุญญา (MUT)
ผศ.ดร.ชาญชัย ทองเสภา (SUT)
ผศ.ดร.รังสรรค์ ชัยศรีเจริญ (MFU)

Local Arrangement Chair

ผศ.สิณี สุขกรมใส (RSU)

Publication Chair

ดร.สุวรรณ จินทร์อินทร์ (RSU)

Publicity Chair

สรารุจ จินทร์ผิง (RSU)

Finance Chairs

ไชยรัช เมฆแก้ว (RSU)
รุจิพรรณ สัมปັນนา (BU)
ไพริน แก้วถวาย (ECTI)

General Secretary

ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล (RSU)

General Assistant Secretary

ดร.ไพศาล จามจรพยากรณ์ (RSU)

หัวข้อบทความ

ประกอบด้วย 10 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 : เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา
- กลุ่มที่ 2 : เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา
- กลุ่มที่ 3 : การประยุกต์พลังงาน การจัดการพลังงานบ้านอัตโนมัติ
- กลุ่มที่ 4 : การเรียนการสอนทางไกล การศึกษานับถ่วง คอมพิวเตอร์แอนิเมชัน
- กลุ่มที่ 5 : การกู้ภัย ระบบเตือนภัย และพยากรณ์
- กลุ่มที่ 6 : การสื่อสาร การสนับสนุนผู้ใช้ตามบ้าน เครือข่ายสังคม เครือข่ายไร้สาย
- กลุ่มที่ 7 : การขนส่ง การควบคุมจราจร การจัดการอุตสาหกรรม
- กลุ่มที่ 8 : ธุรกิจการธนาคาร การท่องเที่ยว และการโรงแรม
- กลุ่มที่ 9 : ระบบความปลอดภัย การควบคุมการเข้าถึง การยืนยันตัวตน ระบบตรวจจับ
- กลุ่มที่ 10 : อื่น ๆ

การส่งบทความ

- เป็นบทความฉบับสมบูรณ์ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษไม่เกิน 6 หน้า A4 ในรูปแบบมาตรฐาน 2 คอลัมน์ของ IEEE โดยจะต้องกล่าวถึงที่มาและผลที่ได้ รายละเอียด และ/หรือ การนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อใดหัวข้อหนึ่งหรือมากกว่า จากกลุ่มที่กำหนดไว้
- จะต้องส่งบทความทางอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์การประชุม www.ecticard2011.org

กำหนดการรับบทความ

- ส่งบทความฉบับสมบูรณ์ : 15 มกราคม 2554
- แจ้งผลการตอบรับบทความ : 28 กุมภาพันธ์ 2554
- ลงทะเบียนล่วงหน้า : 21 มีนาคม 2554
- ส่งบทความฉบับตีพิมพ์ : 21 มีนาคม 2554

สอบถามรายละเอียด

ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 เมืองเอก ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
Web : www.ecticard2011.org
E-mail : duang-arthit@rsu.ac.th
Tel : 02-9972200-30 ต่อ 3553, 1595



มหาวิทยาลัยรังสิต
RANGSIT UNIVERSITY



หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยรังสิต

กลุ่มที่ 10 : อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

AREA 10 : Others

ระบบเฝ้าดูอุณหภูมิและความชื้นในคลังสินค้าอาหารสด	
นภดล บิลสมัน, วรพล สีลาเกียรติสกุล.....	306
ตู้ปลาอัจฉริยะ เวอร์ชัน 2	
ศิริชัย เต็มโชคเกษม, สุรเชษฐ์ ไทวราภา.....	312
การสร้างสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรมด้วยวิธีตรวจสอบพาริตีบิตโดยใช้ซอฟต์แวร์สำหรับระบบควบคุมซีเอ็นซี	
อภิสิทธิ์ ต้นตระกูลศิลป์.....	318
การพัฒนากระบวนการเคลื่อนที่โดยใช้ตัวประมวลผลเชิงเลขสำหรับเครื่องกัดอัตโนมัติ	
อุดม โกมินทร์.....	324
ระบบฐานข้อมูลความรู้ภารกิจงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของกรมสรรพากร	
วิบูลย์ คำสมบัติ, สุพุมล กิตติสิน.....	330
ระบบสนับสนุนการคืนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาที่ยื่นแบบผ่านอินเทอร์เน็ต	
สุกิดา บรรเทาทุกข์, สุพุมล กิตติสิน.....	336
การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความสูงของเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็ก	
กิตติพงษ์ จาตุรงค์, สุคนธ์ พันธุ์เนตร.....	342
ระบบช่วยในการตัดสินใจเลือกเรียนสาขาวิชา	
ทรงพล รื่นสุข.....	348
การพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์ฟลายบาร์สำหรับเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็ก	
พีรพัฒน์ จันทร์จารุภรณ์, สุคนธ์ พันธุ์เนตร.....	353
การพัฒนาเครื่องกัด ซีเอ็นซี ขนาดเล็กสำหรับกรมอาชีวศึกษา	
อภิสิทธิ์ ต้นตระกูลศิลป์.....	359
การประยุกต์แผนที่กูเกิ้ลเพื่อการแสดงผลแบบพลวัต	
Chaiyapom Khemapatapan, Pichit Kongsombat.....	365
การพัฒนาส่วนติดต่ออินพุตและเอาต์พุตสำหรับเครื่องจักร CNC ด้วย FPGA	
ธีรพงศ์ ฟองจันทร์, อภิสิทธิ์ ต้นตระกูลศิลป์, อุดม โกมินทร์, ภาณุพันธ์ ขวัญสุด, กมลวรรณ ต้นโถง.....	371
การกำหนดตารางการทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติให้ Rational Functional Tester โดยใช้ Microsoft Excel	
เมธินทร์ วรรณศาสตร์, ศุภกร กังพิศดาร.....	377
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเสียงร่วมกับการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยการแปลงเวฟเลต	
วีระยุทธ คุณรัตน์ศิริ, จักรี ศรีนนท์ฉัตร.....	382
วงจรขับหลอด High Power LED ด้วยวงจร SEPIC Converter และปรับความสว่างได้ที่มีขนาดเล็กและราคาถูก	
สันติชัย หนองเวียงจันทร์, ธวัชชัย ทองเหลี่ยม, ศัญญา ควรรคิต.....	386

คณะกรรมการ

Steering Committee

รศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกผาดิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วุฒิพงศ์	อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

General Chair

ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
------------	---------	--

General Co-Chair

ดร.สมบูรณ์	ศุขสาตร	มหาวิทยาลัยรังสิต
------------	---------	-------------------

Technical Program Chair

ผศ.ดร.รัชชัย	แสงอุดม	มหาวิทยาลัยรังสิต
--------------	---------	-------------------

Technical Program Committee

รศ.วรงค์ดี	นิรัคชนาภรณ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.โอภาส	จุฑาทิพย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
Dr.Jin-man	Yang	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.เอกรินทร์	วาสนาสง	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ธรรมบุญ	สุสำภา	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.วิศิษฐ์	อัญญาวัฒนา	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.อังคณา	พันธุ์หล่อ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.วรรณิ	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.สมาน	เสนงาม	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.วราพร	ลักษณะลัย	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.เอกชัย	แสงอินทร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.ชุมพล	อันตรเสน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.วฤต	ศิลป์ศรีกุล	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
ผศ.ดร.พีรวัฒน์	วัฒน์พงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นอ.ศ.ดร.สรกฤต	ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศ
ผศ.ดร.ทิววงศ์	พงศ์เจริญพานิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร.เอกรัฐ	บุญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.จักรกฤต	ดรกรพณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.ชาญชัย	ทองโสภกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.จิรัฐภูมิ	เหมือนชู	มหาวิทยาลัยเอเชียน

คณะกรรมการ

ผศ.ดร.รังสรรค์	ชัยศรีเจริญ	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ดร.ภัควัฒน์	จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Local Arrangement Chair

ผศ.สินี	สุภกรมไธ	มหาวิทยาลัยรังสิต
---------	----------	-------------------

Publication Chairs

ดร.สุวรรณ	จันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.จตุพล	ศรีวิภาศ	มหาวิทยาลัยรังสิต

Publicity Chair

อ.สราวุธ	จันทร์ผง	มหาวิทยาลัยรังสิต
----------	----------	-------------------

Finance Chairs

อ.ไชยรัช	เมฆแก้ว	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.จุฬิพรรณ	สัมปณณา	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ไพริน	แก้วกวย	สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ

General Secretary

ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์	ศรีมุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
------------------	--------	-------------------

General Assistant Secretary

ดร.ไพศาล	งามจรยาภรณ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
----------	-------------	-------------------

รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

ผู้พิจารณาบทความ

ดร.สมบูรณ์	ศุขสาคร	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.โอภาส	จุฑาทิพย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ไพศาล	งามจรยาภรณ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.วรศักดิ์	นิรัคมนาภรณ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.รัชชัย	แสงอุดม	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.สราวุธ	จันทร์ผง	มหาวิทยาลัยรังสิต
Dr.Jin-man	Yang	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์	ศรีมูล	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.สุวรรณ	จันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.เอนก	กนกอภิวัฒน์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.พหล	สมบูรณ์ธรรม	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.สมหมาย	บัวแย้มแสง	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.อภิรักษ์	ภัคศิวงษ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.จตุพล	ศรีวิลาศ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ธรรมบุญญ	สุสำภา	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.วิศิษฐ์	อ้อยงวัฒนา	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.สมาน	เสนงาม	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.วรรณิ	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.จตุพร	ศตกุลเจริญ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.सानนท์	ฉิมมณี	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.สุนา	เกษมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.วฤต	ศิลป์ศรีกุล	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
ดร.สุรชัย	สานติสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
ดร.คมศักดิ์	เมฆสมุทร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.พีรวัฒน์	วัฒน์พงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ชัยพร	ใจแก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุติวรรณ	ศรีนาค	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.มนตรีชัย	โสพิศภมล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อนันต์	ผลเพิ่ม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.อภิรักษ์	จันทร์สร้าง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นอ.ดร.สรกฤษ	ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศ
ผศ.ดร.ทวงศ์	พงศ์เจริญพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร.เอกรัฐ	บุญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.จักรกฤษ	ดรกรพณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

ผู้พิจารณาบทความ

ดร. โชคชัย	แสงดาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.สมมาตร	แสงเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.ธีรวิศุทธิ์	เลาหะเพ็ญแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.วรพล	ลีลาเกียรติลกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.ศุภกร	กังพิศดาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.อนุรี	หล่อสวัศศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.ธนทรศน์	แช่ลิ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.วุฒิพร	เลิศวาสนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.วินัย	ศิลารวม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.ชาญชัย	ทองโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.จิรัฐฎี	เหมื่อนงู	มหาวิทยาลัยเอเซีย
ดร.สุธาสิณี	ละมุนตรี	มหาวิทยาลัยเอเซีย
ผศ.ดร.พรรณณมล	เต็มดี	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ผศ.ดร.รังสรรค์	ชัยศรีเจริญ	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ดร.ศรารุช	ชัยมูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.ณรงค์ฤทธิ์	วรารักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ภัควัฒน์	จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเสียงร่วมกับการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยการแปลงเวฟเลต

วิระยุทธ คุณรัตน์ศิริ

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

t_wyk@hotmail.com

จักรี ศรีนนท์ฉัตร

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการประมวลผลสัญญาณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในการรับส่งข้อมูลเสียงนั้นมีความประสงค์เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลให้มากขึ้น โดยใช้ระยะเวลาและความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่าเดิม ซึ่งเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้เหตุผลดังกล่าวมาประสบความสำเร็จ การบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยวิธีเวฟเลต เป็นวิธีการหนึ่งได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถบีบอัดสัญญาณเสียงพูดได้ทั้งแบบมีการสูญเสีย (Lossy) และแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless) โดยทั่วไปแล้วสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์นั้นจะประกอบด้วยส่วนของสัญญาณที่เป็นเสียง (Voiced) และส่วนของสัญญาณที่ไม่เป็นเสียง (Unvoiced) ซึ่งจากคุณลักษณะของสัญญาณเสียงดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะเลือกส่งข้อมูลเฉพาะส่วนที่เป็นสัญญาณเสียงเท่านั้น ซึ่งทำให้ลดปริมาณข้อมูลในกระบวนการส่ง โดยงานวิจัยนี้จะทำเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงที่บีบอัดระหว่างการส่งสัญญาณเสียงพูดที่มีการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดทั้งหมด (สัญญาณเสียงพูดและส่วนที่ไม่ใช่สัญญาณเสียงพูด) กับการส่งสัญญาณเสียงพูดที่มีการบีบอัดเฉพาะสัญญาณที่เป็นเสียงพูดเท่านั้น และทำการหาประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงพูดโดยใช้ค่า SNR และ PSNR ร่วมกับการหาอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด จากงานวิจัยพบว่า การส่งสัญญาณเฉพาะสัญญาณเสียงพูดมีอัตราการบีบอัดที่ 4.64 เท่าของสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ โดยที่มีค่า SNR = 18.62 และค่า PSNR = 32.7 ซึ่งใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ

Abstract

The transmission of voice data is intended to provide more data to send that the same duration and speed of data transfer. One of the compression techniques is a wavelet method. It can be compressed speech signal both lossy and lossless compression. Typically, the human speech signal consists of a voice and unvoiced. This article provides an idea to choose only the transmission of voice for reducing the speech data. This research will be compared the performance between the original speech signal and the compression speech signal. The efficiency is calculated by using the SNR, PSNR and the compression ratio for speech signal. The experimental results

show that the transmission with voice data has a compression rate 4.64 of original signal and a SNR value is 18.62 and PSNR is 32.7, which approximate to the entire signal.

คำสำคัญ

การแปลงเวฟเลต, อัตราการบีบอัดสัญญาณ, เอสเอ็นอาร์, พีเอสเอ็นอาร์

1. บทนำ

ในการบีบอัดสัญญาณเสียงในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ อยู่หลายเทคนิค ซึ่งเวฟเลตเป็นหนึ่งในเทคนิคที่เลือกใช้ในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด มีงานวิจัยต่าง ๆ ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของเวฟเลต เช่น งานวิจัยของ Shivesh Ranjan [1] ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเลตชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการรู้จำเสียงพูด (Speech Recognition), Yan Long และคณะ [2] ได้คำนวณเรนจ์ของเวฟเลตที่ดีที่สุดในงานด้านการประมวลผลสัญญาณเสียงพูด โดยสรุปว่าเวฟเลตแบบ Mayer เป็นเวฟเลตที่ดีที่สุดโดยใช้ค่า SNR และ PSNR เพื่อหาประสิทธิภาพของสัญญาณ และงานวิจัยของ Noman Junejo และคณะ ทำการวิจัยหาประสิทธิภาพของการบีบอัดโดยวิธีเวฟเลตกับการประมวลผลสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงซึ่งใช้ค่า SNR และ PSNR เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yan Long และคณะ

เนื่องจากสัญญาณเสียงมีลักษณะเป็นกลุ่มข้อมูลเสียง (Voice data) และกลุ่มข้อมูลที่ไม่เป็นเสียง (Unvoiced) ซึ่งช่องว่างระหว่างการพูด หรือช่องว่างระหว่างคำ ส่งผลให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะเลือกทำการส่งที่บีบอัดเฉพาะกลุ่มข้อมูลที่เป็นข้อมูลเสียงเท่านั้น เพื่อให้ลดขนาดของข้อมูลในการส่งข้อมูลลง

2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

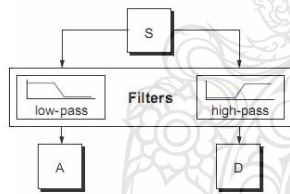
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด มีการนำเอาเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดขนาดของข้อมูลเสียง ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่จะใช้ในการส่งลดลง แต่ในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดส่วนใหญ่จะทำการบีบอัดข้อมูลเสียงพูดตลอดช่วงสัญญาณเสียง ซึ่งอันที่จริงสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์มีลักษณะเป็นกลุ่มของสัญญาณเสียง

ไม่ได้เป็นกลุ่มของข้อมูลเสียงพูดที่ติดกัน จะมีการเว้นระยะห่างของกลุ่มข้อมูลเสียง เช่น มีการหยุดพัก เว้นช่วงคำในการพูด เป็นต้น ผู้วิจัยจึงนำลักษณะการพูดที่มีการเว้นช่วงของพยางค์ มาใช้ในการวิจัย เพื่อที่จะทำการส่งเฉพาะข้อมูลเสียงพูดเท่านั้น และในส่วนของที่ไม่ใช่เสียงพูดจะทดแทนด้วยค่าศูนย์ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการส่งที่ส่งทั้งสัญญาณเสียงพูด เปรียบเทียบกับการส่งสัญญาณเฉพาะสัญญาณที่เป็นเสียงพูด

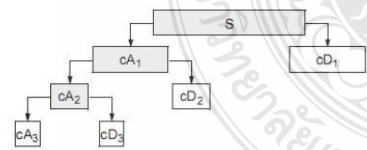
3. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การบีบอัดสัญญาณเสียงโดยเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT) ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ การแยกองค์ประกอบ (Wavelet Decomposition) ซึ่งจะทำการแยกออกเป็นค่าสัมประสิทธิ์ 2 ตัว อันได้แก่ Approximate Coefficient ก็คือองค์ประกอบที่ได้จากสัญญาณเสียงพูดความถี่ต่ำ และ Detail Coefficient คือองค์ประกอบที่ได้จากสัญญาณเสียงพูดความถี่สูง โดยการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ตนั้น ในแต่ละระดับของการบีบอัดจะทำให้จำนวนข้อมูลลดลงครึ่งหนึ่ง อันเกิดจากขบวนการแยกองค์ประกอบของสัญญาณเสียงพูดออกเป็น 2 ส่วน คือ Approximate และ Detail ดังนั้นในทุกๆระดับของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเล็ตที่ระดับที่สูงขึ้น จะทำให้จำนวนข้อมูลลดลงครึ่งหนึ่งในทุก ๆ ระดับ หลังจากทำการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ขั้นตอนถัดมาก็จะทำการคืนกลับสัญญาณเสียงพูด (Wavelet Reconstruction) ซึ่งจะนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้จากการบีบอัดสัญญาณมาทำการแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงพูด ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 การแยกองค์ประกอบโดยเวฟเล็ต



รูปที่ 2 สัมประสิทธิ์การแยกองค์ประกอบโดยเวฟเล็ต

3.2 การหาประสิทธิภาพการบีบอัดโดยใช้เวฟเล็ต

ในการหาค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีเวฟเล็ต สามารถทำการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพได้หลายวิธี โดยในงานวิจัยด้านการประมวลผลสัญญาณเสียงและสัญญาณเสียงพูด นิยมใช้การหาค่าประสิทธิภาพจากค่า SNR (Signal to Noise Ratio) และ PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งจะทำการทราบถึงคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องจากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด นอกจากนี้ยังสามารถหาอัตราการบีบอัดของสัญญาณเสียงพูดโดยเวฟเล็ต ดังสมการที่ 3

- 1. Signal to Noise Ratio : SNR

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right| \tag{1}$$

โดย σ_x^2 คือ ค่ากำลังสองสมบูรณของสัญญาณเสียงพูด

σ_e^2 คือ ค่ากำลังสองสมบูรณของความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับกับสัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการคืนกลับ

- 2. Peak Signal to Noise Ratio :PSNR

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x - \hat{x}\|^2} \tag{2}$$

โดย N คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

X คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองสูงสุด

$\|x - \hat{x}\|^2$ คือ ความแตกต่างของค่าพลังงานระหว่างสัญญาณต้นฉบับและสัญญาณที่ถูกคืนกลับ

- 3. อัตราการบีบอัดสัญญาณ (Compression Ratio) [5]

$$C = \frac{Length[x(n)]}{Length[cWc]} \tag{3}$$

โดย x(n) คือ ความยาวของสัญญาณเสียงต้นฉบับ

cWc คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัด

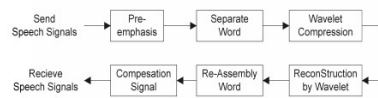
- 4. ตัวกรองไวเนอร์ (Wiener Filter)

ในการประมวลผลสัญญาณเสียง Wiener Filter ถูกคิดค้นขึ้นโดย Norbert Wiener ในปี 1940 และเผยแพร่ในปี 1949 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดสัญญาณรบกวนในกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียง ในเวลาต่อมา Kolmogorov ได้คิดค้น Discrete-time Equivalent ในปี 1941 โดย Wiener Filter จัดไม่จัดเป็นตัวกรองแบบ Adaptive Filter อันเนื่องมาจากรองรับนี้จะต้องมีอินพุตที่มีลักษณะเป็น Stationary

4. รายละเอียดการพัฒนา

ในการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีเวฟเล็ตนั้น ขั้นตอนแรกจะทำการปรับแต่งสัญญาณเสียงพูดอินพุตที่ได้จากการบันทึกเสียงให้มีคุณภาพที่ดีก่อนเข้าสู่กระบวนการอื่น ๆ ต่อไป โดยทำการกำจัดองค์ประกอบของ

สัญญาณไฟตรง และทำการปรับขนาดของสัญญาณเสียงพูดให้มีขนาดแอมพลิจูดที่เหมาะสมก่อน จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเลตชนิด Daubechies 4 ระดับที่ 1 [8] และเมื่อสัญญาณเสียงพูดถึงฝั่งผู้รับ ก็จะทำการคืนกลับสัญญาณเสียงพูดโดยวิธีเวฟเลต (Wavelet Reconstruction) โดยส่วนของสัญญาณเสียงพูดที่เป็น Unvoiced จะทำการชดเชยโดยการเติมศูนย์ (Zero Padding) และทำการชดเชยสัญญาณที่เติมศูนย์ด้วยสัญญาณรบกวนชนิด Write Noise และปรับลดขนาดของสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองชนิด Wiener Filter ซึ่งขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

5. การทดสอบการใช้งาน

ในการวิจัยนี้เลือกใช้กลุ่มของข้อมูลเสียง 10 คน โดยทำการเก็บตัวอย่างเสียงคนละ 5 รอบต่อหนึ่งคำ ซึ่งทำการบันทึกเสียงพูดในรูปแบบโมโน ความถี่ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ขนาดข้อมูล 8 บิต โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผล ซึ่งในขั้นตอนแรกหลังจากทำการบันทึกเสียงแล้ว จะนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดองค์ประกอบไฟตรง ดังสมการที่ 4

$$-s(n) = s(n) - \text{mean}(s(n)) \tag{4}$$

โดย

$s(n)$ คือ สัญญาณเสียงอินพุต

$-s(n)$ คือ สัญญาณเสียงเอาต์พุตที่จะนำเข้าสู่กระบวนการ

Pre-emphasis ต่อไป

จากนั้นจะนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้เข้าสู่กระบวนการ Pre-emphasis เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณก่อนเข้าสู่กระบวนการบีบอัด

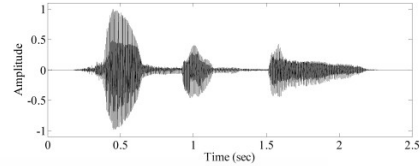
$$H(z) = 1 - aZ^{-1} \tag{5}$$

$$-s(n) = s(n) - as(n-1) \tag{6}$$

โดย a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรอง

$s(n-1)$ คือ สัญญาณเสียงอินพุตที่ $n-1$

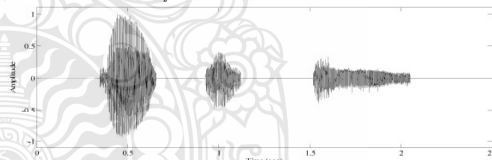
สัญญาณเสียงพูดที่ผ่านกระบวนการกำจัดองค์ประกอบไฟตรงและผ่านกระบวนการ Pre-emphasis แสดงดังรูปที่ 4



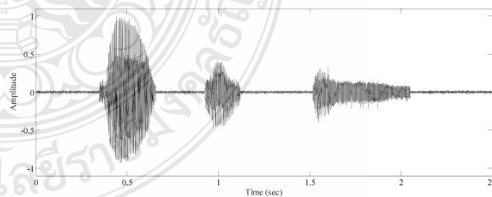
รูปที่ 4 สัญญาณเสียงต้นฉบับที่กำลังองค์ประกอบสัญญาณไฟตรง

ขั้นตอนต่อมาทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นพรม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงาน โดยวิธี Short-time Energy เพื่อแยกแยะระหว่างสัญญาณเสียงพูด (Voiced) และสัญญาณที่ไม่ใช่เสียงพูด (Unvoiced) เมื่อสามารถแยกแยะสัญญาณเสียงพูดได้แล้ว จะนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่กระบวนการบีบอัดเสียงพูดโดยเวฟเลต ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ชนิด Daubechies4 ระดับที่ 1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพของสัญญาณที่ดีที่สุด จากงานวิจัย [8] ส่วนสัญญาณที่ไม่ใช่เสียงก็จะไม่ทำการบีบอัดสัญญาณใด ๆ

เมื่อสัญญาณถึงฝั่งผู้รับ ระบบจะทำการคืนกลับสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเลต ส่วนสัญญาณที่ไม่ใช่เสียงพูดจะแทนด้วยค่าศูนย์ (Zero-padding) แสดงดังรูปที่ 5 แต่เนื่องจากสัญญาณเสียงพูดที่ได้จากกระบวนการเติมศูนย์จะมีคุณภาพสัญญาณเสียงที่แตกต่างจากเสียงพูดโดยทั่วไป (จากการฟังทดสอบ) ดังนั้นจึงทำการชดเชยสัญญาณด้วย White Noise เพื่อให้สัญญาณเสียงมีลักษณะใกล้เคียงกับเสียงพูดมนุษย์มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 6 แต่เนื่องจากการเพิ่มสัญญาณรบกวนจะทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงพูดลดลง จึงนำสัญญาณเสียงพูดที่ได้ผ่านตัวกรองชนิด Wiener filter เพื่อทำปรับลดขนาดของสัญญาณรบกวนลง โดยแสดงผลดังรูปที่ 7

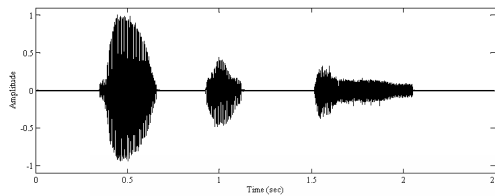


รูปที่ 5 การแทนสัญญาณ Unvoiced ด้วย Zero-padding



รูปที่ 6 การชดเชยสัญญาณด้วยสัญญาณรบกวน (White Noise)

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6



รูปที่ 7 การลดขนาดของสัญญาณรบกวนด้วย Wiener Filter

5.1 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งการหาประสิทธิภาพของกระบวนการส่งสัญญาณเสียงพูดออกเป็น 2 กรณี คือ 1. กรณีที่ส่งสัญญาณเสียงทั้ง Voiced และ Unvoiced และ 2. กรณีที่ส่งสัญญาณเสียงพูดเฉพาะ Voiced เท่านั้น โดยทั้ง 2 กรณีจะทำการหาค่า SNR, PSNR และอัตรา การบีบอัดสัญญาณเสียงพูด ซึ่งจากผลการทดลองดังตารางที่ 1 พบว่าค่า SNR และ PSNR ของทั้งสองกรณีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีที่ส่ง สัญญาณเสียงเฉพาะ Voiced จะมีอัตราการบีบอัดที่ต่ำกว่า คือ 4.6351 ซึ่งให้ผลลัพท์ดีกว่ากรณีทีหนึ่งถึง 2 เท่า ส่วนในการปรับขนาดของ สัญญาณรบกวนด้วย Wiener Filter จะมีค่า SNR และ PSNR ที่แตกต่าง จากสัญญาณในขั้นตอนการขจัดด้วย White Noise เพียงเล็กน้อย แต่ จะให้ลักษณะของสัญญาณเสียงพูดที่ได้จากการฟังที่ดีขึ้น

ตารางที่ 1. ประสิทธิภาพของผลลัพท์การบีบอัดสัญญาณ ของทั้งสองกรณี

การคืนกลับ สัญญาณ	การรับข้อมูล			
	กรณีส่งข้อมูล Voice และ Unvoiced	กรณีส่ง Voice อย่างเดียว		
		Zero- padding	White Noise	Wiener filter
SNR	18.6771	19.6798	19.5713	18.6182
PSNR	33.3084	32.6916	32.6928	32.6991
Compression Ratio	1.9068	4.6351	4.6351	4.6351

6. บทสรุป

จากงานวิจัยพบว่าการส่งข้อมูลเฉพาะสัญญาณเสียงพูด มีประสิทธิภาพ เมื่อวัดจากค่า SNR และ PSNR ที่ใกล้เคียงกับการส่งสัญญาณเสียงพูด ในกรณีที่ส่งทั้งสัญญาณเสียงพูด Voiced และ Unvoiced ไปด้วยกัน ซึ่ง มีค่า SNR = 18.62 และค่า PSNR = 32.7 แต่จะเห็นได้ว่าอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของข้อมูลที่ใช้ Daubechies 4 ระดับที่ 1 มีค่าอัตรา การบีบอัดเพียง 1.91 เท่าของสัญญาณเสียงต้นฉบับ ในขณะที่การ ส่งสัญญาณเฉพาะสัญญาณเสียง (Voiced) มีอัตราการบีบอัดอยู่ที่ 4.64 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพของการบีบอัดดีกว่าแบบเดิมถึง 2 เท่าซึ่ง

ยังคงให้คุณภาพของสัญญาณเสียงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอัตราการบีบอัด สัญญาณเสียงพูดจะขึ้นกับลักษณะการพูดของผู้พูดแต่ละบุคคล

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Yan, L., G. Liu, "Selection of The Best Wavelet Base for Speech Signal", Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.

[2] Rufiner, H. L. and J. Goddard C, "A method of wavelet selection in phoneme recognition", Circuits and Systems, 1997.

[3] Najih, A. M. M. A., A. R. bin Ramli, "Speech compression using discrete wavelet transform", Telecommunication Technology, 2003. NCTT 2003 Proceedings.

[4] Hosny, N. M., S. H. El-Ramly, "Novel techniques for speech compression using wavelet transform", Microelectronics, 1999. ICM '99.

[5] Junejo, N., N. Ahmed, "Speech and Image Compression Using Discrete Wavelet Transform". Advances in Wired and Wireless Communication, 2005.

[6] J.Srinonchat, "New Technique to Reduce Bit Rate of LPC-10 Speech Coder", TENCON 2006.

[7] W. Khunrattanasiri, J. Srinonchat, "Comparison Efficiency of Speech Compression using Wavelet Technique", Joint International Conference on Information & Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE 2011).

[8] H. Jia, X. Zhang, C.jin, "A Modified Speech Enhancement Algorithm Based on the Subspace", International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, 2009.

[9] Z. He, M.Zhang, "Detection and Removal of Impulsive White Noise from Noisy Speech", International Cooperation Program Project, 2010.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายวีระยุทธ คุณรัตนศิริ
วัน เดือน ปีเกิด	27 สิงหาคม 2521
ที่อยู่	166/16 ถนนเพชรเกษม แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ปี พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2543
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2549 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี พ.ศ. 2547 -2549 วิศวกรระบบเครือข่าย สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2544 – 2547 อาจารย์ประจำ แผนกอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม