

การวิเคราะห์สัญญาณภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต

IMAGE SIGNAL ANALYSIS VIA WAVELET TRANSFORMATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

35932
35932
35932

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหน.....

เลขทะเบียน..... 35932

พ.ศ.2543

วัน, เดือน, ปี - 3 ก.ค. 2543

ISBN 974-622-849-8

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMAGE SIGNAL ANALYSIS VIA WAVELET TRANSFORMATION

SIRIWAN BHUSAKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ISBN 974-622-849-8

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงในสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ศูนย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สัญญาณภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ท
นักศึกษา	นาวาอากาศโทหญิง ศิริวรรณ ภูเขาแก้ว
รหัสประจำตัว	36064040
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชม กิมปาน

บทคัดย่อ

การแปลงเวฟเล็ท เป็นเทคนิคใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณภาพ การแปลงเวฟเล็ทเป็นการแตกสัญญาณเดิม ให้ไปอยู่ในเซตของฟังก์ชันมูลฐาน ซึ่งเกิดจากเวฟเล็ท ต้นแบบที่นำมาย่อ/ขยาย ขนาด และเลื่อนตำแหน่งทางเวลา เพื่อวิเคราะห์แต่ละส่วนด้วยความละเอียดต่างๆ กัน ในทางปฏิบัติเราจะมอง เวฟเล็ทว่าเป็น ตัวกรอง แบบหนึ่ง

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบการบีบอัดข้อมูลภาพข้าราชการทหารในเครื่องแบบ สีขาว-ดำ gray scale 256 ระดับ โดยเลือกตัวกรองเวฟเล็ท ที่เหมาะสมเป็นต้นแบบ 6 ชนิด ได้แก่ Haar Wavelet filter, Villa1810 Wavelet filter, Adelson Wavelet filter, Antonini Wavelet filter, Odegard Wavelet filter และ Daubechies8 Wavelet filter. ตัวกรองเวฟเล็ททั้ง 6 ชนิดที่นำเสนอ นี้สามารถที่จะนำมาใช้เพื่อการบีบอัดข้อมูลภาพได้ทั้งหมด และเราทำการบีบอัดลดขนาดข้อมูลภาพที่อัตราส่วน 4 : 1 , 8 : 1 , 16 : 1 , 32 : 1 , 64 : 1 และ 128 : 1 ด้วย multiresolution 5 ระดับ ในการวิจัยนี้ใช้ ภาพต้นแบบ 3 ภาพ

1. ภาพ J3.pgm เป็นภาพตัวแทนข้าราชการทหารชายในเครื่องแบบ
2. ภาพ nid.pgm เป็นภาพตัวแทนข้าราชการทหารหญิงในเครื่องแบบ
3. ภาพ Lena.pgm ซึ่งเป็นภาพมาตรฐานสากล ใช้เปรียบเทียบเกี่ยวกับ image processing

สรุปผลงานวิจัยพบว่าควรใช้ Wavelet Filter ให้เหมาะสมกับลักษณะภาพ พบว่าขนาดของ compressed file เล็กมากดีต่อการส่งผ่านระบบเครือข่าย และประหยัดพื้นที่การเก็บข้อมูล ควรลดขนาดข้อมูลภาพที่ อัตราส่วน 32 : 1 โดยใช้ Odegard Wavelet Filter บีบอัดข้อมูลภาพข้าราชการทหารในเครื่องแบบ เมื่อคืนกลับภาพให้ภาพใกล้เคียงภาพต้นฉบับ

Thesis Title	Image Signal Analysis via Wavelet Transformation
Student	Wg.Cdr. Siriwan Bhusakaew
Student ID.	36064040
Degree	Master of Science
Programme	Computer Science and Information Technology
Year	2000
Thesis advisor	Assoc.Prof.Chom Kimpan

ABSTRACT

The Wavelet Transform(WT) is of interest for the image analysis. WT can be viewed as a signal decomposition onto a set of basis functions. In fact, basis functions called wavelets always underlie the wavelet analysis. They are obtained from a single prototype wavelet by dilations and contractions (scaling) as well as shifts. The prototype (mother) wavelet can be thought of as a bandpass filter.

This paper presents the compressing images of the military guy in uniform with gray scale 256 levels . We find out a suitable wavelet filters for compression the military guy in uniform images.

The result of utilizing 6 wavelet filters, namely: Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8 and Antonini Wavelet filters at 5 levels of multiresolution with various compression ratio 4 : 1 , 8 : 1 , 16 : 1 , 32 : 1 , 64 : 1 and 128 : 1 . This paper compared with the original 3 images

1. J3.pgm is represented to the military man in uniform.
2. nid.pgm is represented to the woman of the military in uniform.
3. Lena.pgm is the standard image for images processing

The results shows that the Odegard wavelet filters is the best of 6 wavelets function and suitable for compressing the gray scale image of the military in uniform. And we should compress to the ratio 32 : 1 with the Odegard wavelet filters shall have a good quality of the reconstruction image nearly the original image.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชม กิมปาน ที่ให้ความรู้ ดูแล เอาใจใส่ และให้คำปรึกษา ในแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ ให้โอกาสทางการศึกษา ขอขอบคุณ นาวาอากาศโท ปิยะ ภูเขาแก้ว นายภาสกร ภูเขาแก้ว นาวาอากาศตรี วิรัตน์ พึ่งสาระ และเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจและให้เวลาในการทำวิจัยตลอดมา

ศิริวรรณ ภูเขาแก้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตของปัญหา.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	1
1.4 แนวคิดในการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเวฟเล็ต.....	3
2.1 กล่าวทั่วไป.....	3
2.2 ทฤษฎีเวฟเล็ต.....	3
2.3 การวิเคราะห์ระดับความละเอียดของสัญญาณแบบหลายระดับ.....	7
2.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง.....	10
2.5 Two Dimension DWT.....	13
2.6 Biorthogonal wavelets.....	16
บทที่ 3 ผลการทดลอง.....	20
3.1 วิธีการทดลอง.....	20
3.2 ผลการใช้ Haar Wavelet Filter.....	34
3.3 ผลการใช้ Villa1810 Wavelet Filter.....	39
3.4 ผลการใช้ Adelson Wavelet Filter.....	44
3.5 ผลการใช้ Odegard Wavelet Filter.....	49
3.6 ผลการใช้ Daubechies 8 Wavelet Filter.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 ผลการใช้ Antonini Wavelet.....	59
บทที่ 4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	64
4.1 หลักเกณฑ์การวิเคราะห์.....	64
4.2 เปรียบเทียบการบีบอัดภาพด้วยอัตราส่วน 4 : 1, 8 : 1, 16 : 1, 32 : 1, 64 : 1, 128 : 1.....	71
4.3 สรุปผลการใช้ Wavelet Function ที่เหมาะสมที่สุดต่อการลดขนาดภาพ ใบหน้านุคคล.....	71
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผล.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเข้ารหัส dominant pass.....	24
3.2 การเข้ารหัส subordinate pass.....	25
3.3 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ Haar Wavelet Filter.....	35
3.4 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ Villa1810 Wavelet Filter.....	40
3.5 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ A delson Wavelet filter.....	45
3.6 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ Odegard Wavelet Filter.....	50
3.7 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ Daubechies 8 Wavelet Filter.....	55
3.8 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพ โดยใช้ Antonini Wavelet Filter.....	60
4.1 แสดงค่า เกณฑ์กลาง PSNR(dB) และ RMS error.....	64
4.2 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 4 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	65
4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 8 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	66
4.4 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 16 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	67
4.5 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 32 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	68
4.6 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 64 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	69
4.7 แสดงค่าเปรียบเทียบลดขนาด 128 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ก.....	70
4.8 ผลการทดลอง Wavelet Function ที่ให้ภาพคืนกลับดีที่สุด แสดงค่า PSNR(dB).....	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขอบเขตของการกำหนดหน้าต่างที่ใช้ในการคำนวณ Time-Frequency Plane.....	4
2.2 Bandwidth of STFT is uniform in frequency domain.....	4
2.3 Bandwidth of WT basis increases as frequencies increase.....	4
2.4 Pyramidal Decomposition Algorithm of DWT.....	7
2.5 ตัวอย่าง $\Psi_{1,1}$ และ $\Psi_{3,0}$ ของ Haar Wavelet.....	8
2.6 Piecewise approximation.....	9
2.7 The set of $\{\phi(2t-n)\}$ can be completely represented by the set of $\{\phi(t-n)\}$ plus $\{\psi(t-n)\}$	9
2.8 One-Step Decomposition Algorithm.....	11
2.9 One-Step Reconstruction.....	13
2.10 ขั้นตอน การกระจายแบบ 2 มิติ.....	14
2.11 (a) แสดง subband ผ่านการแปลงเวฟเลตระดับที่ 1 (b) แสดง subband หลังการแปลงเวฟเลต 2 ระดับ.....	15
2.12 การสร้างภาพกลับคืน.....	15
2.13 แสดงการแยก และการรวมสัญญาณสำหรับ 1 ขั้นตอน.....	16
3.1 ดันจบบั J3.pgm, nid.pgm, และLena512.pgm	21
3.2 ขั้นตอนการลดขนาดภาพ.....	22
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งผ่านการแปลงเวฟเลต 3 ระดับ.....	23
3.4 แสดง dominant pass algorithm.....	23
3.5 แสดง Set of subband ที่ได้จากการกระจาย Multiresolution 5 level.....	28
3.6 แสดง Haar Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟแสดงรูปร่าง Haar Wavelet Filter.....	34
3.7 แสดงรูป nid.pgm คืนกลับจากการประมวลด้วย Harr Wavelet Filter.....	36
3.8 แสดงรูป J3.pgm คืนกลับ จากการประมวลด้วย Harr Wavelet Filter.....	37
3.9 แสดงรูป Lena512.pgm คืนกลับ จากการประมวลด้วย Haar Wavelet Filter.....	38
3.10 แสดง Villa 1810 Wavelet Filter ที่ใช้ในการ Convoluted และกราฟแสดงรูปร่าง Villa1810 Wavelet Filter.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ผลการคืนกลับภาพ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter.....	41
3.12 ผลการคืนกลับภาพ j3.gm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter.....	42
3.13 ผลการคืนกลับภาพ Lena512.gm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter.....	43
3.14 แสดง Adelson Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และกราฟแสดงรูป Adelson Wavelet Filter.....	44
3.15 ผลการคืนกลับภาพ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter.....	46
3.16 ผลการคืนกลับภาพ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter.....	47
3.17 ผลการคืนกลับภาพ Lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter.....	48
3.18 แสดง Odegard Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และกราฟแสดงรูป Odegard Wavelet Filter.....	49
3.19 ผลการคืนกลับ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter.....	51
3.20 ผลการคืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter.....	52
3.21 ผลการคืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter.....	53
3.22 แสดง Daubechies8 Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และกราฟแสดงรูป Daubechies8 Wavelet Filter.....	54
3.23 ผลการคืนกลับ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8.....	56
3.24 ผลการคืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8.....	57
3.25 ผลการคืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8.....	58
3.26 แสดง Antonini Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และกราฟแสดงรูป Antonini Wavelet Filter.....	59
3.27 ผลการคืนกลับ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter.....	61
3.28 ผลการคืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter.....	62
3.29 ผลการคืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

เนื่องจาก กรมกำลั้งพลทหาร จำเป็นจะต้องจัดเก็บแฟ้มประวัติของข้าราชการทุกนาย ซึ่งมีจำนวนมาก ซึ่งประกอบด้วยภาพและ ตัวหนังสือ ปัจจุบันไม่ได้เก็บภาพด้วยคอมพิวเตอร์ จึงยังไม่สามารถนำภาพมาใช้ประกอบรวบรวมบนฐานข้อมูลกำลั้งพลทหาร ฉะนั้นการเรียกใช้ข้อมูลด้วยแบบฟอร์มประวัติย่อแบบ on-line ประกอบการพิจารณา เลื่อนยศ ปลด ย้าย ศึกษา คูงาน ปฏิบัติภารกิจเฉพาะ จึงยังไม่สามารถเห็นภาพกำลั้งพล เพื่อให้เกิดความถูกต้อง ชัดเจนในการบริหารกิจการกำลั้งพลฝ่ายอำนวยการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ และสามารถส่งผ่านสื่อ ไปยังหน่วยรับบริการข้อมูลได้รวดเร็ว ถูกต้อง ชัดเจน จึงต้องทำการบีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กที่สุด และมีคุณภาพดีที่สุด เมื่อมีการส่งผ่านสื่อ สามารถส่งข้อมูลภาพ และ ตัวอักษรได้เร็ว ลดความสิ้นเปลืองทั้งเวลาและเนื้อที่การจัดเก็บ โดยเมื่อคืนกลับภาพได้ภาพที่มีคุณภาพดี ข้าพเจ้าจึงนำเสนอทฤษฎีเวฟเล็ตเพื่อใช้ในการลดขนาดข้อมูลภาพ งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ เวฟเล็ตหลายชนิด ที่ multiresolution 5 ระดับ ทำการบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคล ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

นำภาพ ข้าราชการทหาร ชนิด ขาว-ดำ ในเครื่องแบบ ประดับเครื่องหมายยศ เครื่องหมายแสดงความสามารถ ถ่ายรูปหน้าตรง ไม่สวมหมวก ไม่สวมแว่นตา ทำการบีบอัดข้อมูลภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ Wavelet functions ชนิดต่าง 6 ชนิด คือ Haar , Villa1810 , Adelson , Odegard , Daubechies8, Antonini ที่ระดับ multiresolution 5 ระดับ ที่อัตราส่วนการบีบอัดที่ 4 ต่อ 1 8 ต่อ 1 16 ต่อ 1 32 ต่อ 1 64 ต่อ 1 และ 128 ต่อ 1 แล้ววิเคราะห์ผลจากการบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคลหา ตัวกรองเวฟเล็ตที่ดีที่สุดในงาน 6 ชนิด ที่สามารถลดขนาดได้มากและเมื่อคืนกลับภาพได้ภาพใกล้เคียงภาพต้นฉบับ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

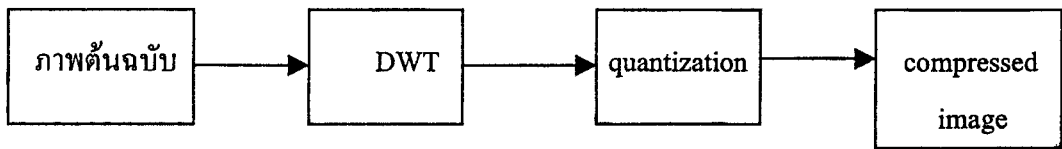
1.3.1 กองทัพสามารถจัดเก็บประวัติกำลั้งพลทหาร ทั้งภาพ และ ตัวหนังสือ ได้โดยสามารถ ใช้งานได้ในระบบเครือข่าย

1.3.2 หน่วยงานทั่วไปสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ implement ได้

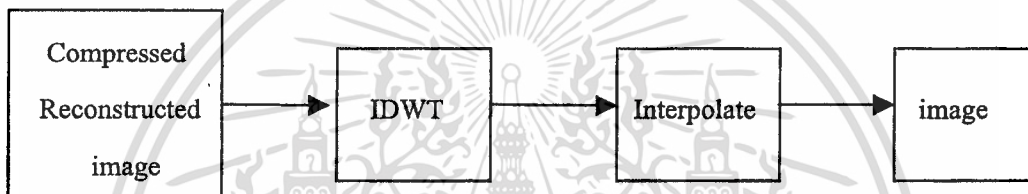
1.3.3 ผู้ที่ทำการวิจัยในอนาคตสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นภาพสีได้

1.4 แนวคิดในการวิจัย

1.4.1 Encoding คือ การนำภาพ มากระจายออกเพื่อเก็บ information ในรูปของ wavelet coefficients ที่ระดับ resolution ต่างๆ กัน แล้วทำการ quantize และ encode ด้วย embedded zerotree coding technique และเก็บภาพไว้ในรูปของ compressed form



1.4.2 Decoding คือการนำ compressed image มาทำ inverse wavelet transform แล้ว interpolate เพื่อสร้างภาพกลับคืนมา



1.4.3 ชนิดของ Wavelet function ที่ใช้มี 6 ชนิด

1.4.3.1 Haar Wavelet เป็น function ที่เหมาะสำหรับใช้ศึกษา

1.4.3.2 Daubechies 8 wavelet เป็น function ที่นิยมใช้แพร่หลาย Ingrid Daubechies, professor of mathematics at Princeton University, Who has worked with wavelet since 1985

1.4.3.3 Villa 1810 Wavelet เป็น function ที่ใช้ได้ผลดีกับสัญญาณภาพ

1.4.3.4 Antonini Wavelet (Antonini et al.) เป็น Function ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ใช้ได้กับสัญญาณภาพ และมี vanishing moment น้อยกว่า Villa1810 Wavelet

1.4.3.5 Adelson Wavelet จาก Edward Adelson et al. From MIT

1.4.3.6 Odegard Wavelet , new filterset (1997) from J.Odegard and S.Burrus

1.4.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการบีบอัด ทำการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยใช้ Wavelet ทั้ง 4 ชนิด ที่อัตราส่วน 2:1, 4:1, 8:1, 16:1, 32:1 64:1 และ 128:1 และเปรียบเทียบผล เลือก Wavelet ชนิดที่ให้ SNR (Signal to Noise Ratio) มากที่สุดในการบีบอัดข้อมูลสูงสุด 32:1

บทที่ 2

ทฤษฎีเวฟเลต

2.1 กล่าวทั่วไป

เวฟเลต มีลักษณะเสมือนคลื่นลูกเล็กๆ เพราะคลื่น (Wave) นั้นมีการแกว่งตัวเปลี่ยนแปลงค่ารอบศูนย์กลาง (center) ของค่าเฉลี่ย โดยที่เมื่อรวมพื้นที่ใต้ฟังก์ชันเข้าแล้วมีค่ารวมเท่ากับศูนย์ $\int \Psi(t) dt = 0$ เราสามารถแทน Function space ด้วย ฟังก์ชันมูลฐาน เวฟเลต (Wavelet basis function เวฟเลต (Wavelet) เปรียบเสมือน คลื่นลูกเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงแคบๆ สลายตัวในช่วงเวลาสั้นๆ มีคุณสมบัติคือ สามารถระบุตำแหน่งใน Frequency space ได้ด้วย จึงเหมาะสมในการใช้ระบุตำแหน่งทั้งทางเวลาและความถี่ เราจึงสามารถใช้เวฟเลตกับข้อมูลที่มีความแตกต่างชัดเจนได้ดี เช่น ขอบภาพ จึงเหมาะสมในการใช้เพื่อลดขนาดข้อมูลภาพก่อนการบันทึกข้อมูล ลดขนาดฐานข้อมูลภาพ การส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็กผ่านระบบเครือข่ายย่อมสะดวก และลดค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างมาก

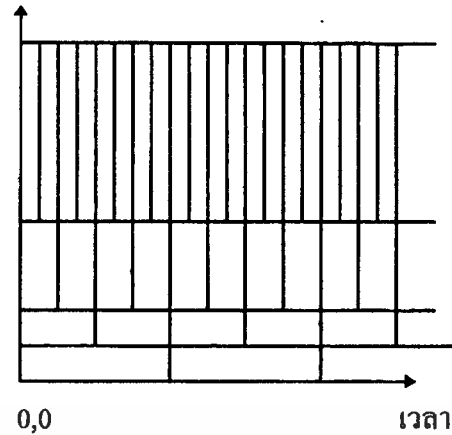
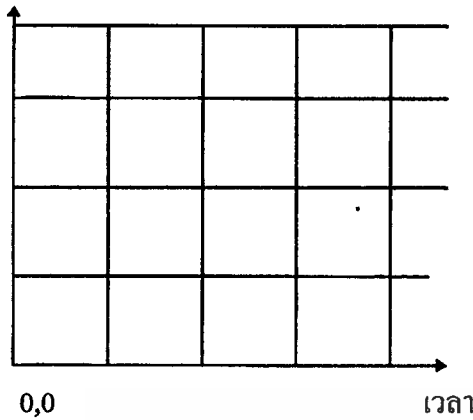
2.2 ทฤษฎี Wavelet

การแปลง Wavelet เป็นการพัฒนามาจาก STFT (Short Time Fourier Transforms) ที่ต่างกัน คือ การแปลง Wavelet ใช้ window ที่ปรับขนาดได้ตามช่วงความถี่ (Frequency Range) แต่ STFT วิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ Fixed Window จึงกำหนด เวลา-ความถี่ ได้เพียงค่าเดียวเท่านั้น ในการประมวลผลตลอดทั้ง Plane (รูปที่ 1a) ในขณะที่ Wavelet มีการแปลงโดยมี window หลายขนาด มีวิธีการวิเคราะห์ที่รู้จักกันในชื่อว่า Constant-Q (quality factor = $f_0/bw = w_c/2d$) หรือ Constant Relative Bandwidth Analysis ซึ่งวิธีนี้ใช้ ตัวกรองหลายตัว ซึ่งความละเอียดทางเวลาเพิ่มขึ้นตามจุดกลางของตัวกรอง (รูปที่ 1b) จากการวิเคราะห์ window หลายๆ ขนาด เราทราบว่า ความละเอียดด้านความถี่จะดีขึ้นในช่วงความถี่ต่ำ และความละเอียด ด้านเวลาจะดีขึ้นในช่วงความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า Wavelet มีการวิเคราะห์จาก Time-Frequency Window ที่สามารถปรับตัวเองได้เป็น Narrow Window ที่ จุดกลางของความถี่สูง และเป็น Widen Window ที่จุดกลางของความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้ Window จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับจุดกลางของความถี่

ถ้า scale มีค่ามาก wavelet scale ที่ได้จะเป็น mother wavelet ที่ยืดออกตามแกนเวลา ซึ่งคาบเวลาที่เวลาที่นานขึ้น นี้จะทำให้ความละเอียดตามแกนของเวลาลดลงดังช่องในคอนล่างของรูปที่ 2.1B และสำหรับที่ค่าของการ scale มีค่าน้อย จะได้ mother wavelet ที่ลดขนาดลงตามแกนของเวลา คาบเวลาที่ลดลงนี้จะทำให้มีความละเอียดตามแกนของเวลามากขึ้น แต่ความละเอียดทางความถี่จะลดลง ดังช่องในส่วนบนของรูป ช่องสี่เหลี่ยมที่แสดงใน รูปนี้ จะถูกกำหนดโดยขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ ω ความถี่ $\omega = \omega_0 / a$ 

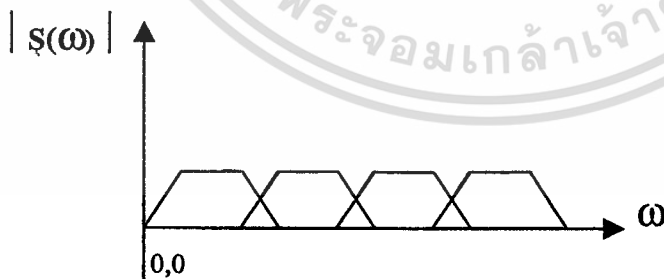
(a) SHORT TIME FOURIER TRANSFORMATION(STFT)

(b) WAVELET TRANSFORMATION(WT)

รูปที่ 2.1 ขอบเขตของการกำหนดหน้าตาต่างที่ใช้ในการคำนวณ Time-Frequency Plane

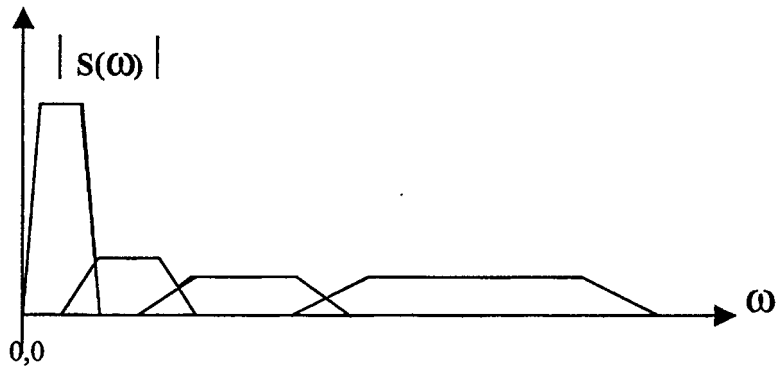
mother wavelet ที่ค่าของ scale และ translate ต่างๆ กัน จะสังเกตได้ว่าช่องสี่เหลี่ยมมีขนาดไม่เท่ากัน ที่ค่าของ scale ต่างๆ แต่ที่ระดับ scale เดียวกันแล้วนั้นขนาดของช่องจะเท่ากัน ซึ่งจะเปรียบเทียบได้กับตัวกรองสัญญาณแบบ แบนพาส (Band pass Filter) ที่มีค่าของ Constant-Q (quality factor = $f_0/bw = \omega_c/2d$: center frequency / bandwidth) ดังนั้นในส่วนบนของรูป 2.1 b ซึ่งจะหมายถึงความถี่สูง เพื่อให้ค่าของ Q คงที่ ค่าของ bandwidth จึงต้องมากด้วย ค่าของ center frequency ที่ต่ำลงมา สัมพันธ์กับค่าของ bandwidth ลดลงครึ่งหนึ่ง

เปรียบเทียบ function ที่ใช้ใน STFT กับ Wavelet



รูปที่ 2.2 Bandwidth of STFT is uniform in frequency domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 Bandwidth of WT basis increases as frequencies increase

Bandwidth Analysis ซึ่งวิธีนี้ใช้ ตัวกรองหลายระดับเพิ่มตามระดับเวลา โดยอิงจุดกลางของความถี่เป็น center (รูปที่ 1b) จากการวิเคราะห์ window หลายๆ ขนาด เราทราบว่า ความละเอียดด้านความถี่จะดีขึ้นในช่วงความถี่ต่ำ และความละเอียดด้านเวลาจะดีขึ้นในช่วงความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า Wavelet มีการวิเคราะห์จาก Time-Frequency Window ที่สามารถปรับตัวเองได้ เป็น Narrow Window ที่ จุดกลางของความถี่สูง และเป็น Widen Window ที่จุดกลางของความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้ Window จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับจุดกลางของความถี่ การแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของเวฟเล็ท ต้องสร้าง เซตของฟังก์ชันมูลฐาน ที่เรียกว่า เวฟเล็ท (wavelets) ก่อนเพื่อใช้เป็น ฟังก์ชันต้นแบบ หรือ แม่แบบ (Mother Wavelet : $\Psi(t)$)

Basis Function Form :

$$\Psi_{a,b}(t) = 1 / \sqrt{|a|} \cdot \Psi((t-b)/a) \quad (1.1)$$

ทำการย่อ / ขยาย มาตราส่วน (Scaling function) โดยให้ a คือ พารามิเตอร์ ย่อ/ขยาย และ b คือ พารามิเตอร์เลื่อนตำแหน่งตามลำดับ เมื่อค่า a มีขนาดใหญ่ Basis Function จะเป็นต้นแบบใช้ในการขยายขนาด (Low Frequency) และ เมื่อค่า a มีขนาดเล็ก Basis Function จะเป็นต้นแบบใช้ในการย่อขนาด (high frequency)

การขยาย (dilation) และการย่อ (contraction) โดยกระทำกับแม่แบบ ในโดเมนเวลา จะต้องสัมพันธ์กับการทำ dilation และการทำ Contraction ในโดเมนความถี่ด้วย การแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่อง(The Continuous Wavelet Transformation ,CWT) ของสัญญาณ $x(t)$ หาได้จาก inner product ของ $x(t)$ และ $\Psi_{a,b}(t)$ (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2 หน้า 569-589)

$$W_c(a,b) = \int x(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (1.2)$$

เมื่อ $*$ คือ Complex conjugation ดังนั้น $\Psi_{a,b}$ เป็นอิสระในแนวตั้งฉาก(Orthogonal) สัญญาณเดิม(Original signal) จะสามารถถูกสร้างกลับคืน(Reconstructed) ได้ ด้วยค่าความสัมพันธ์ผกผัน(Inverse Relationship) ดังนี้

$$x(t) = c \iint W_c(a,b) \Psi_{a,b}(t) da db \quad (1.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ c เป็นค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะ (constant of proportionality)

จากการพัฒนา Wavelet Function, $\Psi(t)$ ไปสู่ Multiresolution Analysis จึงต้องใช้ ฟังก์ชันมูลฐานเพิ่มขึ้นอีก คือ Scaling Function $\phi(t)$ Scaling Function ใช้ในการแปลงสัญญาณจากละเอียดไปจนถึงหยาบ ซึ่งในทางปฏิบัติเราแทน Scaling Function ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filtering) ในขณะที่ Wavelet Function ทำหน้าที่คล้ายตัวกรองความถี่สูง (Highpass Filtering) ซึ่ง Scaling Function มีรูปแบบดังนี้

Scaling Function Form :

$$\phi_{a,b}(t) = 1/\sqrt{|a|} \cdot \phi((t-b)/a) \quad (1.4)$$

(สังเกตว่า 1.1 และ 1.4 มีโครงสร้างเหมือนกัน)

การย่อ/ขยาย ต้นแบบ โดยกำหนดให้มีขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discretization of dilation and Translation Parameters) การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องมีข้อเสีย 2 ประการ คือ ความซ้ำซ้อน (Redundancy) และปฏิบัติจริงได้ยาก (Impracticality) ปัญหาทั้งสอง แก้ไขได้โดย การสุ่มพารามิเตอร์ สำหรับทำการย่อ/ขยาย และปรับตำแหน่ง (Dilation and Translation) แนวทางการแก้ปัญหาจึงนำไปสู่ Family of Wavelets และ Scaling Function ที่มีพารามิเตอร์ขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discrete parameter)

ให้ $a = a_0^m$ และ $b = kb_0 a_0^m$ หากค่า $\Psi(t)$ และ $\phi(t)$ จากสมการที่ 1.1 และ 1.4 ได้ว่า

$$\Psi_{mk}(t) = a_0^{-m/2} \Psi(a_0^{-m}t - kb_0), \quad (1.5)$$

$$\phi_{mk}(t) = a_0^{-m/2} \phi(a_0^{-m}t - kb_0), \quad (1.6)$$

เมื่อ m, k เป็นเลขจำนวนเต็ม และ a_0 มากกว่า 1 และ b_0 ไม่เท่ากับ 0

แทนค่าสมการ 1.5 ด้วยสมการ 1.2 ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเลตแบบเจาะจงเฉพาะค่า (Wavelet Coefficients in Discrete Form)

$$W_d(m,k) = a_0^{-m/2} \int x(t) \Psi(a_0^{-m}t - kb_0) dt \quad (1.7)$$

เราจะเลือก Wavelet family ที่สามารถสร้างสัญญาณเดิมกลับคืนได้อย่างถูกต้อง (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เวฟเลตฟามีลี ต้องสามารถสร้าง Orthonormal basis ใน $L^2(\mathbb{R})$ ได้ นั่นคือต้องมีลักษณะดังนี้

$$\int \Psi_{mk}(t) \Psi_{m'k'}^*(t) dt = 1, m=m', k=k' \text{ Or} \quad (1.8)$$

0, otherwise

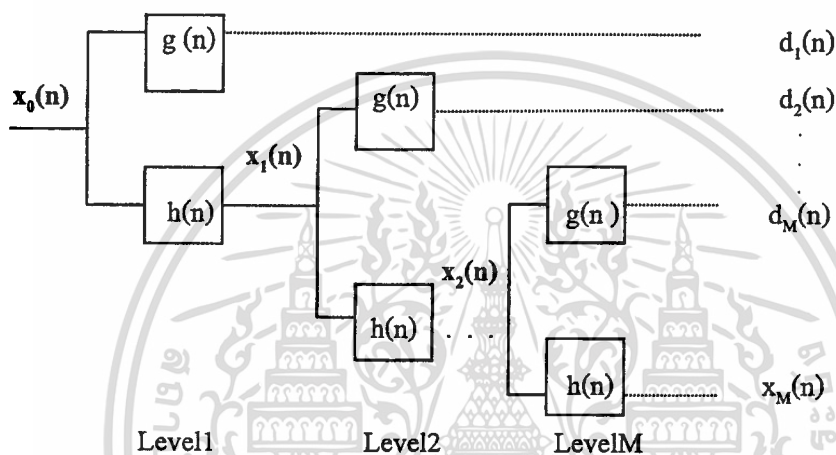
Orthonormality condition ใช้พารามิเตอร์ $a_0=2$ และ $b_0=1$ ซึ่งหมายถึงฟังก์ชันมูลฐานจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า dyadic scale (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3 หน้า 14-28)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์ระดับความละเอียดของสัญญาณแบบหลายระดับ (Multiresolution Analysis)

แนวคิดนี้ถูกนำเสนอโดย Mallat (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 4 หน้า 674-693) ซึ่งเป็นผู้ศึกษาวิธีการสร้าง Orthonormal wavelets จากสมมุติฐานว่า Original signal $x(t)$ สามารถ วัดค่าได้และมีพลังงานจำกัด (Finite energy) โดยการแยกสัญญาณ $x(t)$ ในแต่ละระดับออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าโดยประมาณส่วนหนึ่ง และสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ทอีกส่วนหนึ่ง โดยการทำ Convolve $x(t)$ ด้วย Wavelet Filters และ Scaling Filters



รูปที่ 2.4 Pyramidal Decomposition Algorithm of DWT

ซึ่งประกอบด้วย set ของพื้นที่ปริภูมิย่อยปิด (Closed Subspaces) $\{V_m \mid 0 \leq m \leq M\} \in L^2(\mathbb{R})$ ที่เราแสดงระดับความละเอียด (Resolution Level) ของสัญญาณเดิม ที่ $m=0$ และระดับความละเอียดต่ำสุดที่ $m=M$

พิจารณา เวฟเล็ทฟังก์ชัน

$$\Psi_{mk}(x_1) = a_0^{-m/2} \Psi(a_0^{-m}x - nb_0)$$

เมื่อให้ $a_0=2$ และ $b_0=1$ จะได้

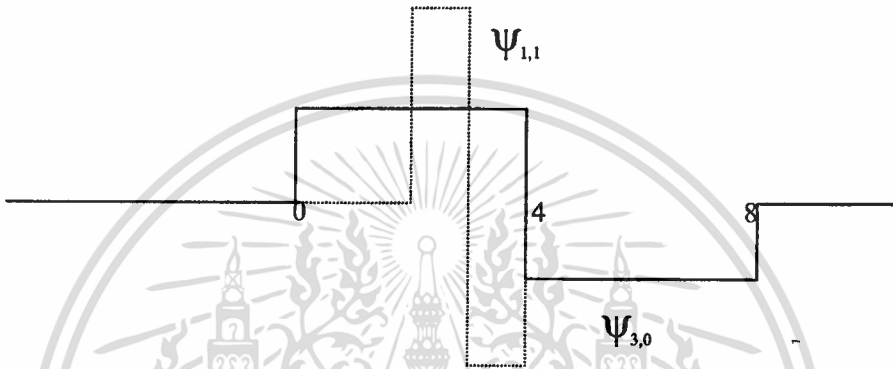
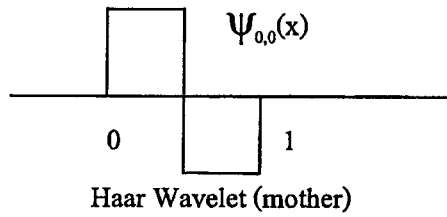
$$\Psi_{mn}(x) = 2^{-m/2} \Psi(2^{-m}x - n)$$

เป็นเวฟเล็ทฟังก์ชันที่สร้าง Orthonormal basis สำหรับฟังก์ชัน $L^2(\mathbb{R})$ ตัวอย่างของเวฟเล็ทฟังก์ชันที่อธิบายได้ง่ายคือ Haar Function

$$\Psi(x) = \begin{cases} 1; & 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1; & \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0; & x \text{ มีค่าเป็นอย่างอื่น} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต Haar Function ไม่ได้เป็นฟังก์ชัน ที่ระบุตำแหน่งทางเวลา และความถี่ได้ทันที แต่เราสามารถนำ Haar function เป็นตัวอย่างในการอธิบายให้เข้าใจได้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง $\Psi_{1,1}$ และ $\Psi_{3,0}$ ของ Haar Wavelet

ปริภูมิย่อย(subspaces)มีคุณสมบัติร่วมกันคือ

1. Causality (เหตุภาพ): ปริภูมิเวกเตอร์ V_{m+1} ที่ความละเอียดระดับ $m+1$ เป็นเซตย่อยของปริภูมิเวกเตอร์ V_m ที่ความละเอียดในระดับ

← หยาบมากกว่า(coarser)... $V_{m+1} \subset V_m \subset V_{m-1} \subset \dots$ ละเอียด. ดีขึ้น(finier) →

2. Completeness(ความสมบูรณ์): ปริภูมิเวกเตอร์ต้องเป็นจริงตามเงื่อนไข

$$\cup V_m = L^2(\mathbb{R})$$

$$\cap V_m = \{0\}$$

3. Scaling(ย่อและขยาย): ปริภูมิของสัญญาณ โดยประมาณสามารถคำนวณได้โดยการ Scaling แต่ละสัญญาณ โดยประมาณด้วยสัดส่วนของค่าความละเอียดทั้ง 2 ระดับ นั่นคือ ถ้า $x(t) \in V_m$ แล้วจะได้ว่า $x(2t) \in V_{m-1}$

4. Orthogonality(อิสระต่อกัน): $V_{m-1} = V_m \oplus W_m$ เมื่อ W_m เป็น Complement ของ v_m ใน V_{m-1} นั่นคือ $V_m \perp W_m$, หรืออีกนัยหนึ่ง V_{m-1} มีค่าเท่ากับ V_m รวมกับรายความละเอียดเพิ่มเติมอีกส่วนหนึ่งซึ่งสมนัยกับ W_m ด้วยคุณสมบัติ Orthogonality และ Causality สามารถนำ W_m ซึ่ง Span set

$L^2(\mathbb{R})$ มารวมเข้าด้วยกันได้โดยตรง (Direct sum) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$V_m = W_{m+1} \oplus W_{m+2} \oplus W_{m+3} \oplus \dots \quad (1.9)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

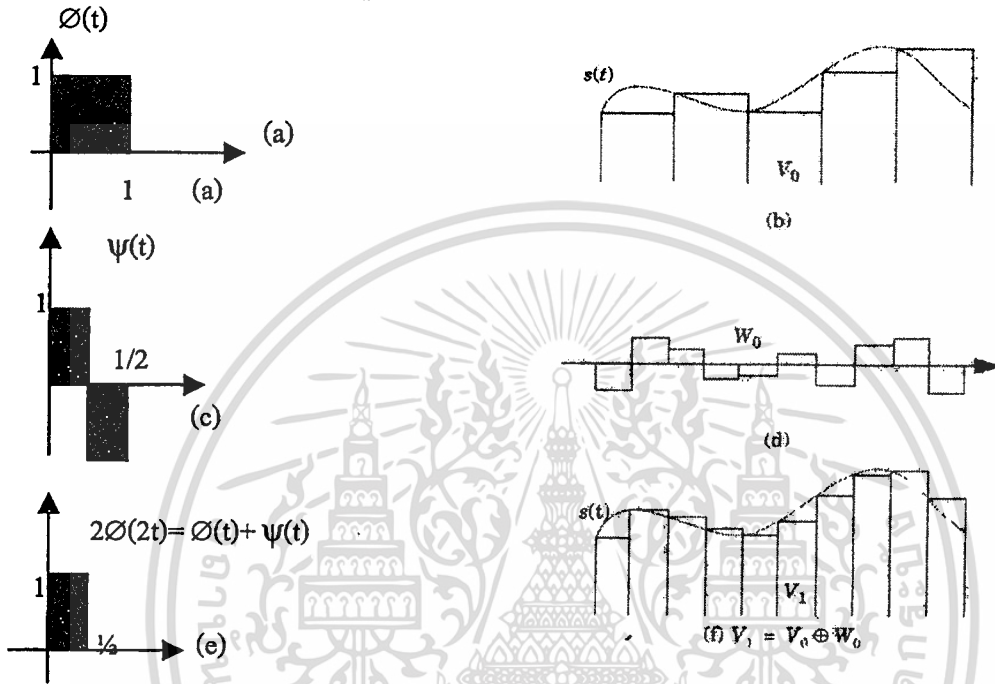
เราสามารถให้ความสัมพันธ์ของ Scaling Function $\varnothing(t)$ กับ V_m และ Wavelet Function

$\psi(t)$ กับ W_m จึงสามารถเขียน $\varnothing(t)$ ได้ว่า :

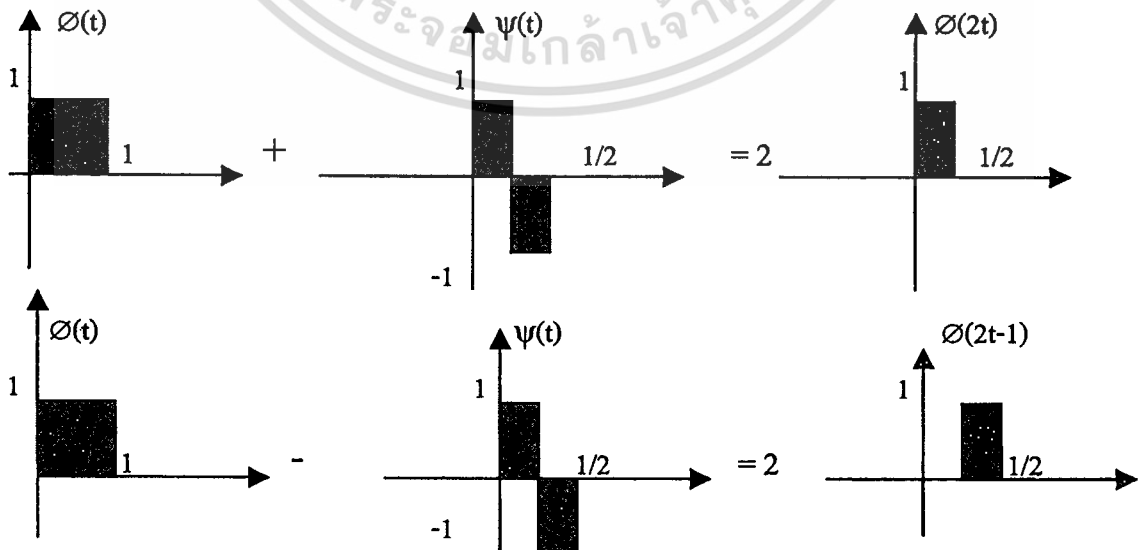
$$\varnothing(t) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \varnothing(2t-n) \tag{1.10}$$

โดยวิธีเดียวกันสามารถเขียน $\psi(t)$ ได้ว่า :

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \varnothing(2t-n) \tag{1.11}$$



รูปที่ 2.6 Piecewise approximation : (a) elementary function of V_0 , $\varnothing(t)$ (b) v_0 , (c) elementary function of W_0 , $\psi(t)$ that is orthogonal to $\varnothing(t)$, (d) W_0 , (e) elementary function of V_{-1} , (f) V_{-1} can be achieved by the coarse approximation V_0 plus the detail W_0



รูปที่ 2.7 The set of $\{\varnothing(2t-n)\}$ can be completely represented by the set of $\{\varnothing(t-n)\}$ plus $\{\psi(t-n)\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อชุดของค่าสัมประสิทธิ์ $h(n)$ เป็นผลตอบสนองของ หน่วย impulse ของ Lowpass filter ในขณะที่ $g(n)$ เป็น ผลตอบสนองของหน่วย impulse ของ highpass filter ซึ่งชุดของสัมประสิทธิ์ $g(n)$ หาได้จาก $h(n)$ ดังนี้ :

$$g(n) = (-1)^n h(1-n) \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (1.12)$$

ตัวกรอง(Filter) ทั้ง $h(n)$ และ $g(n)$ ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอนจึงจะสามารถคืนสภาพกลับได้อย่างสมบูรณ์(Perfect Reconstruction) ดังนี้:

$$\sum_n h(n) = \sqrt{2} \quad (1.13)$$

$$\sum_n h^2(n) = 1 \quad (1.14)$$

$$\sum_n h(n-2m) h(n-2k) = \delta(m-k) \quad (1.15)$$

เนื่องจากตัวกรอง เวฟเล็ท $g(n)$ จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขตามสมการ 1.14 และสมการ 1.15 ส่วนสมการ 1.13 แล้ว $g(n)$ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขใหม่

$$\sum_n g(n) = 0 \quad (1.16)$$

จากเงื่อนไข Orthogonality , $h(n)$ และ $g(n)$ ทั้ง 2 ตัวก็จะเป็นไปตามสมการ

$$\sum_n [h(m-2n) h(k-2n) + g(m-2n) g(k-2n)] = \delta(m-k) \quad (1.17)$$

$$\sum_n h(n-2k) g(n-2m) = 0 \quad (1.18)$$

สมการทั้งหมดตั้งแต่สมการ 1.10 จนถึง สมการ 1.18 จะอธิบายคุณสมบัติสำคัญของฟังก์ชันเหล่านี้

2.4 การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่อง(Discrete Wavelet Transforms (DWT))

การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องถูกพัฒนามาใช้กับสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง(Discrete time signal) ประกอบด้วยอนุกรมของ $h(n)$ และ $g(n)$ ที่มีค่าพารามิเตอร์ของ Dilation และ Translation โดยสุ่มสัญญาณมาเป็นช่วงเวลา

2.4.1 One - Dimentional DWT

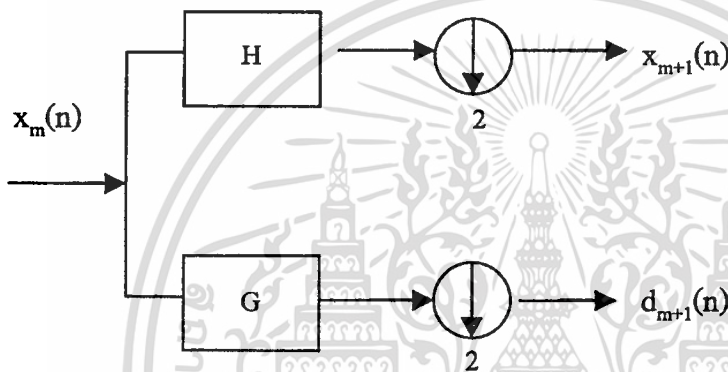
ค่าโดยประมาณของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความละเอียดลดลงครั้งหนึ่ง ทำได้โดยนำสัญญาณ $x(n)$ convolve ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) แล้วสุ่มตัวอย่างสัญญาณเว้นสัญญาณ เพื่อลดขนาดข้อมูลลงครั้งหนึ่ง วิธีนี้เป็นการแตกสัญญาณเดิมแบบพื้นฐานซึ่งมีผลให้สัญญาณมีความละเอียดลดลง ซึ่งสามารถใช้ประมวลผลคุณภาพแบบพีรามิดได้ ในขณะที่เดียวกันก็ Convolve ลำดับสัญญาณในแต่ละชั้นพีรามิดด้วย ตัวกรองความถี่สูง (Highpass Filter) เมื่อผ่านการประมวลผลก็จะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการแตกสัญญาณแบบพีรามิด

1. Convolution ด้วยตัวกรอง $h(n)$ หรือ $g(n)$
2. สุ่มตัวอย่างทีละ ลำดับ เว้นลำดับ

แต่ละบล็อกจะแยกออกโดยการ Convolve ด้วย Highpass Filter และ Lowpass Filter ถูกลงไปทีละ 2 ตำแหน่ง จะได้ข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ผ่าน High pass filter (G) คือ รายละเอียดของข้อมูลที่ resolution นั้น อีกส่วนที่ผ่าน Low pass filter (H) คือ ข้อมูลหยาบในระดับ resolution นั้น ซึ่งข้อมูลหยาบนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในระดับ resolution ถัดไป โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ไปจนถึงระดับที่ 3 ของความละเอียด (level 3 resolution)



รูปที่ 2.8 One-Step Decomposition Algorithm

ทั้งนี้สามารถคืนภาพกลับ (Reconstruction) ได้ทุกขั้นตอนเพราะเราเก็บค่า สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท และสัมประสิทธิ์ของค่าโดยประมาณของระดับต่ำสุด(M)ไว้ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า

DWT ของ $x(n)$ ประกอบด้วย ชุดของค่า สัมประสิทธิ์ (Coefficient set): $x_m, d_m; m=1, \dots, M$ การแยกสัญญาณ (Decomposition)

กำหนดให้ลำดับสัญญาณแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง $x(n) \in L^2(\mathbb{R})$ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณจากการคำนวณเวียนเกิดซ้ำ (Computed recursively)

$$x_{m+1}(n) = \sum_k h(k-2n) x_m(k); m=0,1,\dots,M-1 \quad (1.19)$$

เมื่อ $x_m(n)$ เป็นสัญญาณที่ได้จากระดับความละเอียดที่ m ; โดยที่ $x_0(n)$ เป็นสัญญาณเดิม ซึ่งได้ผลเท่ากับการทำการกรองความถี่ต่ำ (Lowpass filtering) ของ $x_m(n)$ แล้วสุ่มสัญญาณตัวอย่างทีละตัวเว้นตัวเอามาใช้ เพื่อลดขนาดข้อมูลลงครึ่งหนึ่งและสามารถเลือกคุณภาพของภาพเมื่อคืนสัญญาณกลับได้แบบพีรามิด โดยเลือกใช้ตัวกรองแบบ FIR (Finite Impulse Response) ของ $h(n)$ การกรองตามสมการ (1.19) สามารถแทนได้ด้วย matrix vector product :

$$x_{m+1} = H x_m \quad (1.20)$$

เมื่อ H มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \begin{bmatrix} | & | & | & | & | & | & | & | & | \\ h(L-1) & h(L-2) & \dots & \dots & \dots & h(0) & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & h(L-1) & \dots & \dots & h(2) & h(1) & h(0) & \\ | & | & | & | \dots & | & | & | & | & | \\ | & | & | & | \dots & | & | & | & | & | \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

และ $x_m = [\dots x_m(-1), x_m(0), x_m(1) \dots]^T$

Matrix H เป็นไปตามเงื่อนไข(ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 6)

$$HH^T = I \quad (1.22)$$

เมื่อ I คือ Identity Matrix และ $[.]^T$ คือ (Transposition operation) สังเกตว่า สมการ 1.22 และ 1.14 จะคล้ายกันการใช้อัลกอริทึม เดียวกันกับตัวกรองเวฟเล็ต ได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในระดับความละเอียดที่ต่ำกว่าอีกระดับหนึ่ง

$$d_{m+1}(n) = \sum_k g(k-2n) x_m(k) \quad (1.23)$$

เมื่อชุดสัมประสิทธิ์ $g(n)$ กำหนดจาก สมการ 1.12 ถ้าเราสร้าง matrix G ในทำนองเดียวกันกับสมการ 1.21 จะได้ว่า

$$GG^T = I \quad (1.24)$$

$$\text{และได้ } HG^T = 0 \quad (1.25)$$

เหมือนตามสมการที่ 1.18

การคืนกลับสัญญาณเดิม (Reconstruction)

จากคุณสมบัติของปริภูมิย่อย(subspaces)ที่ใช้แทนสัญญาณนั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$V_{m-1} = V_m \oplus W_m$ จึงสามารถนำมาประยุกต์เพื่อคืนกลับเป็นสัญญาณแต่ละระดับที่สูงกว่าได้โดยทำProjection จากปริภูมิย่อยที่อิสระต่อกัน ของระดับปัจจุบัน projections ของแต่ละ

สัญญาณลงบน V_m และ W_m หาได้โดย:

$$\overline{x_m} = H^T H x_m \text{ and } \overline{d_m} = G^T G x_m \quad (1.26)$$

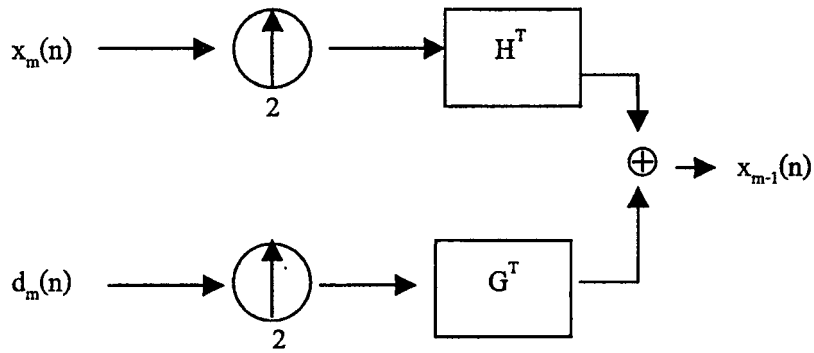
จากสมการ 1.9 และ 1.25 Projection เป็น orthonormal และ span ปริภูมิย่อยอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจากสมการ 1.26 และความสัมพันธ์ $\overline{x_m} = \overline{x_m} + \overline{d_m}$ จะได้ว่า

$$2[H^T H + G^T G] = I \quad (1.27)$$

จึงได้อัลกอริทึมการคืนกลับสัญญาณได้ตามรูป ดังนี้ :

$$x_{m-1}(n) = \sum_k [h(n-2k)x_m(k) + g(n-2k)d_m(k)] \quad (1.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 One-Step Reconstruction Algorithm

พิสูจน์สูตร (1.28) โดยแทนค่าสมการ 1.19 และ 1.23 ในสมการ 1.28 และนำเอาสมการ 1.17 มาพิจารณาด้วยโดยพิสูจน์จากทางขวาของสมการ 1.28

$$\begin{aligned}
 x_{m-1}(n) &= \sum_k [h(n-2k)x_m(k) + g(n-2k)d_m(k)] \\
 &= \sum_k \{ h(n-2k)[\sqrt{2} \sum_j h(j-2k)x_{m-1}(j)] + g(n-2k)[\sqrt{2} \sum_j g(j-2k)x_{m-1}(j)] \} \\
 &= \sum_k \sum_j [h(n-2k)h(j-2k) + g(n-2k)g(j-2k)]x_{m-1}(j) \\
 &= x_{m-1}(n)
 \end{aligned}$$

2.5 Two Dimension DWT

ให้ V_m^1 เป็น Set of subsequence ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข Multiresolution จะได้ Vector space V_m เป็น tensor product ของ subspace V_m^1 ใน $L^2(\mathbb{R})^2$

$$V_m = V_m^1 \otimes V_m^1 \quad (2.1)$$

เราสามารถจะสร้าง Scaling Function 2 มิติ ได้ดังนี้

$$\Phi(t_1, t_2) = \phi(t_1)\phi(t_2) \quad (2.2)$$

และ Wavelet functions 2 มิติ ได้เป็น

$$\psi^1(t_1, t_2) = \phi(t_1)\psi(t_2) \quad (2.3)$$

$$\psi^2(t_1, t_2) = \psi(t_1)\phi(t_2) \quad (2.4)$$

$$\psi^3(t_1, t_2) = \psi(t_1)\psi(t_2) \quad (2.5)$$

ฟังก์ชันทั้ง 4 นี้ เป็น Orthogonal ซึ่งกันและกัน

ฟังก์ชันมูลฐาน		สัมประสิทธิ์	คุณลักษณะเฉพาะทางความถี่
$\Phi(t_1, t_2)$	(Subband 0)	$X_m(n_1, n_2)$	Vertical Lowpass Horizontal Lowpass
$\Psi^1(t_1, t_2)$	(Subband 2)	$d_m^1(n_1, n_2)$	Vertical Highpass Horizontal Lowpass
$\Psi^2(t_1, t_2)$	(Subband 1)	$d_m^2(n_1, n_2)$	Vertical Lowpass Horizontal Highpass
$\Psi^3(t_1, t_2)$	(Subband 3)	$d_m^3(n_1, n_2)$	Vertical Highpass Horizontal Highpass

2.5.1 การกระจายฟังก์ชัน (Decomposition)

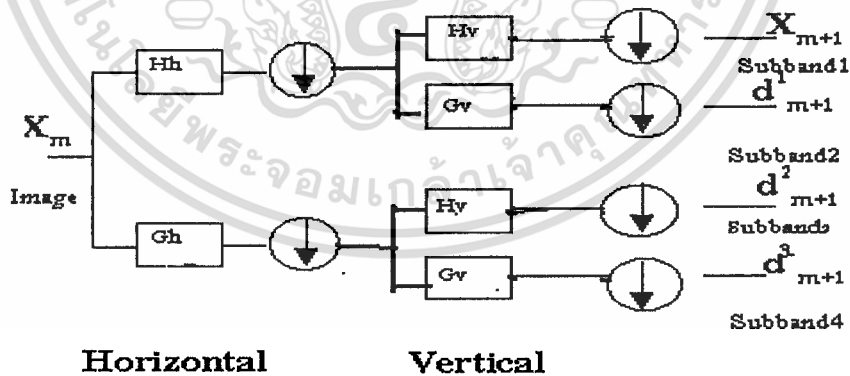
หาค่า โดยประมาณของ $X_m(n_1, n_2)$ และค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต $d_m^i(n_1, n_2)$, $i=1,2,3$ โดยการประสานสัญญาณ ของค่าโดยประมาณที่ระดับสูงกว่าด้วย Scaling Filter และ Wavelet Filter ทั้งทาง Horizontal และ Vertical ดังนี้

$$X_{m+1}(n_1, n_2) = \sum_k \sum_l X_m(k, l) h_n(l-2n_2) h_v(k-2n_1) \quad (2.6)$$

$$d_{m+1}^1(n_1, n_2) = \sum_k \sum_l X_m(k, l) h_n(l-2n_2) g_v(k-2n_1) \quad (2.7)$$

$$d_{m+1}^2(n_1, n_2) = \sum_k \sum_l X_m(k, l) g_n(l-2n_2) h_v(k-2n_1) \quad (2.8)$$

$$d_{m+1}^3(n_1, n_2) = \sum_k \sum_l X_m(k, l) g_n(l-2n_2) g_v(k-2n_1) \quad (2.9)$$

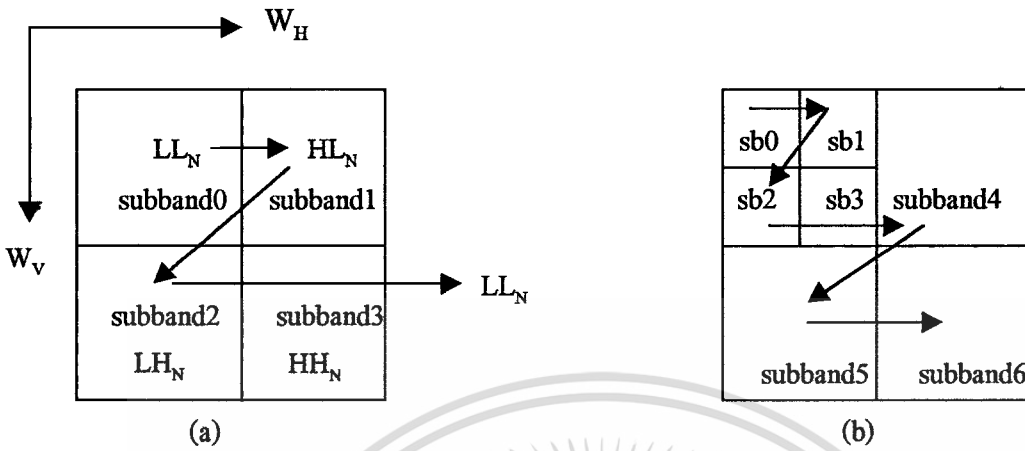


รูปที่ 2.10 ขั้นตอน การกระจายแบบ 2 มิติ

ทำการกระจายแบบ 1 มิติ 2 ระดับ การกระจายครั้งแรก โดย ทำการประสาน สัญญาณ กับ ตัวกรองมูลฐานในแนว Horizontal (ตามแนวนอนของภาพ) และการกระจายครั้งที่ 2 โดยทำการประสานสัญญาณ กับ ตัวกรองมูลฐานในแนว Vertical (ตามแนวตั้งของภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพหลังจากนำภาพผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ทแล้ว ภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนเรียกว่า subband เก็บค่า สัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่เป็นผลลัพธ์จากการ Convolve ด้วย Lowpass filter และ Highpass filter ตามรูปที่ 6



รูปที่ 2.11 (a) แสดง subband ผ่านการแปลงเวฟเลทระดับที่ 1
(b) แสดง subband หลังการแปลงเวฟเลท.2 ระดับ

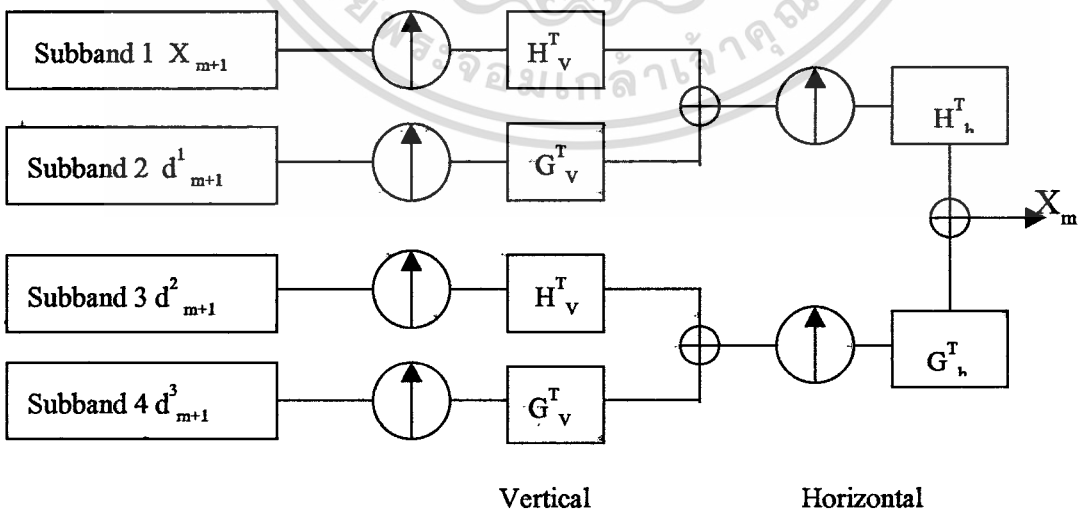
2.5.2 การสร้างภาพกลับคืน (Reconstruction)

อัลกอริทึมในการสร้างภาพกลับคืน ด้วยการคูณแมทริกส์ในแนวนอนและแนวตั้งเช่นเดียวกับการกระจายฟังก์ชัน

$$[H_v^T H_h^T H_h G_v + G_v^T H_h^T H_h G_v + H_v^T G_h^T G_h H_v + G_v^T G_h^T G_h G_v] = I \quad (2.10)$$

อัลกอริทึมในการสร้างภาพกลับคืนตามรูป 2.6 สามารถแสดงได้ด้วยรูปแบบของแมทริกส์ดังนี้

$$X_m = H_v^T H_h^T X_{m+1} + G_v^T H_h^T d_{m+1}^1 + H_v^T G_h^T d_{m+1}^2 + G_v^T G_h^T d_{m+1}^3 \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.12 การสร้างภาพกลับคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

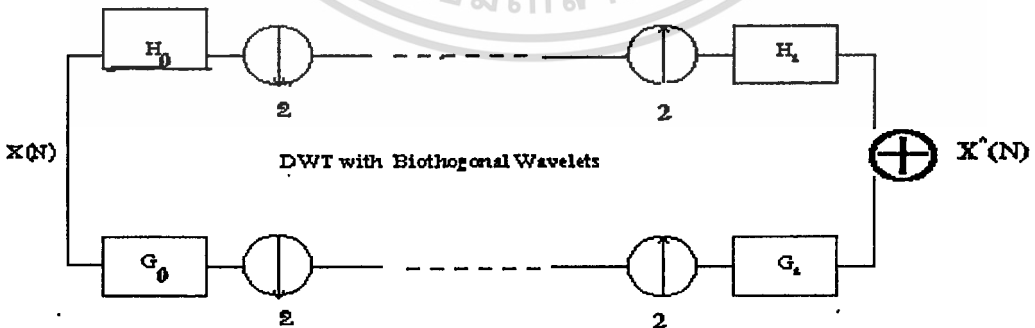
คุณภาพ ในการสร้างภาพกลับคืน ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง ว่ามีความถูกต้องสูงมากน้อยเพียงใด เช่น ถ้าใช้ ตัวกรอง Harr (Harr Filter) ($h=0.5,0.5$) ก็จะไม่มีการ error แต่ในทางปฏิบัติ ค่า error เล็กน้อยประมาณ 10^{-6} เท่าของสัญญาณนั้น เรายอมรับได้

2.6 Biorthogonal wavelets

Biorthogonal wavelets ช่วยสร้างภาพกลับคืนให้สมบูรณ์ ตัดความซ้ำซ้อน ด้วยการใช้ wavelet filters 2 ชุด ชุดหนึ่งสำหรับแยกตัวประกอบสัญญาณ (decomposition) และอีกชุดหนึ่งสำหรับ สร้างภาพกลับคืน (reconstruction) การใช้ตัวกรองขนาดสั้นจะช่วยทำให้ได้ผลลัพธ์จากการคำนวณรวดเร็วขึ้น แต่ถ้าตัวกรองสั้นเกินไปจะทำให้ได้สัญญาณไม่เพียงพอ สำหรับวิเคราะห์สัญญาณภาพ เราจึงมักใช้ตัวกรองเฟสเชิงเส้น ซึ่งเป็นตัวกรองอยู่ในกลุ่มฟังก์ชันพิเศษ เรียกว่า Biorthogonal bases ตัวกรองที่ใช้ในการแยกสัญญาณ เพื่อทำการวิเคราะห์ จะเป็นคนละชุดกับตัวกรองที่ใช้ในการคืนภาพ ในขั้นการสังเคราะห์

การแปลงเวฟเลตที่มีคุณสมบัติของ Biorthogonal นี้เกิดจากการใช้เวฟเลตแม่ ที่มีคุณสมบัติ orthogonal นั้นเอง (เอกสารอ้างอิง หมายเลข 11 หน้า 20-22)

นอกจากนี้ Biorthogonal wavelets ยังเป็นทั้ง symmetric และ compact support สำหรับ image processing แล้ว symmetric หรือ antisymmetric มีประโยชน์ในการคำนวณ Folding technique หลีกเลียงผลลัพธ์ที่มีสัมประสิทธิ์มากๆ ที่บริเวณขอบภาพ (การตัดสัญญาณคุณภาพของการคืนกลับภาพ (reconstructed images) วัดจาก PSNR = Peak Signal over Noise Ratio [Rioul, p.109])



รูปที่ 2.13 แสดงการแยก และการรวมสัญญาณสำหรับ 1 ขั้นตอน

Matrix format

$$H_0 G_1 = G_0 H_1 = 0 \quad (2.12)$$

$$H_0 H_1 = G_0 G_1 = I \quad (2.13)$$

$h_0(n)$ เป็นตัวกรองสเกลลิ่งเพื่อการวิเคราะห์

$h_1(n)$ เป็นตัวกรองสเกลลิ่งเพื่อการสังเคราะห์

จะได้ตัวกรองเวฟเล็ต

$$G_0(n) = (-1)^n h_1(1-n) \quad (2.14)$$

$$G_1(n) = (-1)^n h_0(1-n) \quad (2.15)$$

สำหรับเงื่อนไขการคืนสภาพสัญญาณ ที่สมบูรณ์ ใน Biorthogonal Bases คือ

$$[H_1 H_0 + G_1 G_0] = I \quad (2.16)$$



Different Transforms

The Fourier Transform

Kind of Decomposition	Frequency
Analyzing Function	Sines and cosines, which oscillate indefinitely
Variable	Frequency
Information	The frequencies that make up the signal
Suited for	Stationary signals (predictable : obeying constant laws)
Notes	With the fast fourier transform (FFT) it takes $\eta \log$ computations to compute the Fourier transform of a signal with η points.

The Windowed Fourier Transform

Kind of Decomposition	Time-Frequency
Analyzing Function	A wave limited in time, multiplied by trigonometric oscillations
Variable	Frequency; position of the window
Information	The small the window , the better time information one has, at the cost of losing information about low frequencies; large windows give better frequency information but less precision about time.
Suited for	Quasi-stationary signals (stationary at the scale of the window)
Notes	Sometimes this is called "short-time Fourier analysis," or, when A Gauassian is used as the envelope of the window ,the "Gabor transform." While the Fourier transform is orthogonal, the most obvious forms of windowed Fourier cannot be orthogonal.

Hubbard ,Barbara Burke ,

The world according to Wavelets : The story of a Mathematical Technique in the Making / Barbara Burke Hubbard. – 2nd ed. pp.249-251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Wavelet Transform

Kind of Decomposition	Time-scale
Analyzing Function	A wave limited in time, with a fixed number of oscillations; the wavelet is contracted or dilated to change the size of the "window" and thus the scale at which one looks at the signal. Since the number of oscillations does not change, the "frequency" of the wavelet changes as the scale changes.
Variable	Scale; position of the wavelet
Information	Small wavelets provide good time information but poorer frequency information. Large wavelets provide good frequency information but poorer information about time.
Suited for	Nonstationary signals, such as very brief signals and signals with interesting components at different scales (fractals, for example).
Notes	The wavelet transform can be continuous or discrete; orthogonal and biorthogonal wavelets are special cases of the discrete wavelet transform. With orthogonal wavelets, the transform of a signal with n points can be computed with $c n$ computations; the value of c depends upon the complexity of the wavelet.

Wavelet Packets

Kind of Decomposition	Time-frequency (with the possibility of also analyzing by scale)
Analyzing Function	Looks like a wavelet multiplied by trigonometric functions
Variables	Frequency, position, and the possibility of varying scale as well.
Suited for	Signals that combine nonstationary and stationary characteristics, such as fingerprints.
Notes	<p>With three independent parameters (position, frequency, and scale), wavelet packets form a redundant system. But one can easily extract from it an infinite number of orthogonal bases, which can be used in the compression algorithm, Best Basis, which seeks the best basis suited to a given signal.</p> <p>Wavelet packets are far more flexible than wavelets, but less is known about the interpretation of the coefficients.</p>

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

นำเสนอ Wavelet Transformation จาก Mother Wavelet 6 ชนิด จาก J. Villasenor, B. Belzer, J. Liao, "Wavelet Filter Evaluation for Image Compression." IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 2, pp. 1053-1060, August 1995 (<http://synergy.icsl.ucla.edu/~ipl/papers.html>).
ดังนี้

Haar Wavelet filter
Villa1810 Wavelet filter
Adelson Wavelet filter
Odegard Wavelet filter
Daubechies8 Wavelet filter
Antonini Wavelet filter

นำภาพต้นฉบับ (.pgm) ทำการประมวลผล ตามขั้นตอนดังนี้

1. เข้ารหัสภาพ
2. ถอดรหัสภาพ
3. เปรียบเทียบผลลัพธ์ หาค่า MSE, RMS error, PSNR
การแปลงเวฟเล็ต 2-dimension

1. ประมวลผลด้วยการแปลง Wavelet ใช้ Wavelet Filter 6 ชนิด

Haar , Villa1810, Adelson , Odegard, Daubechies8, Antonini Wavelet filter

2. แยกผลจากการแปลงออกเป็น subband จาก Y. Shoham and A. Gersho, "Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 36, No. 9, pp. 1445-1453, Sept 1988.

ทำการลดขนาดข้อมูล

1. รับค่าสัมประสิทธิ์ distortion แต่ละ subset ของ subband
2. กำหนด แสดงผลแต่ละ กลุ่ม Quantized Resolution เข้ารหัสที่ผ่านการ Quantized แล้วด้วย EZW (Embedded Zerotree Wavelet) และ Adaptive histogram, Linear Time Coding จาก an implementation of Alistair Moffat's linear time coding histogram (see) <http://www.cs.mu.oz.au/~alistair/papers.html>).

ใช้ 3 ภาพ ที่มี ขนาดความเข้มต่าง ๆ กัน เป็น ภาพต้นฉบับ



ภาพ J3.pgm

มี Contrast ไม่มาก พื้นภาพ
ปกติเป็นภาพข้าราชการทหารที่
คุณภาพปานกลาง แต่ พบว่ามี
จำนวนมากร้อยละ 70 ของภาพ
ทั้งหมด

ภาพ nid.pgm

เป็นภาพที่มี Contrast สีดำ
และตัวเสื้อสีขาว จึงสามารถ
ลดขนาดข้อมูลได้สูงถึง
128 : 1 พบร้อยละ 30 ของ
ภาพทั้งหมด

ภาพ Lena512.pgm

เป็นภาพมาตรฐานที่นักวิจัย
นานาชาติใช้เปรียบเทียบ
เมื่อทำงานด้าน Image
Processing

รูปที่ 3.1 ภาพต้นฉบับ J3.pgm, nid.pgm, และLena512.pgm

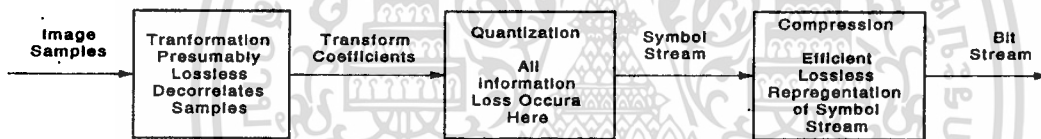
Quantizing Compression

Vector quantization using Embedded Zerotree Wavelet coding technique

ใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ระหว่าง subband มาช่วยพิจารณา ถ้าค่า wavelet coefficients ในระดับที่หยาบ(coarse) เป็นค่าที่ไม่มีนัยสำคัญแล้ว ค่า wavelet coefficients (ของ Orientation เดียวกัน) ใน ตำแหน่งที่สมนัยกัน ในระดับที่ละเอียดขึ้นก็จะเป็นค่าที่ไม่มีนัยสำคัญด้วย ดังนั้น เทคนิค EZW จึงเป็นเทคนิคที่อาศัยประโยชน์จากความสัมพันธ์ระหว่าง subbands มาช่วยในการพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตตัวที่ไม่มีนัยสำคัญในระดับ scale ต่าง ๆ ด้วย

การเข้ารหัสทำโดย 4 ขั้นตอน

1. discrete Wavelet transform
2. Zerotree coding
3. Successive approximation
4. Adaptive arithmetic coding



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการลดขนาดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจาก array เก็บค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งผ่านการแปลง Wavelet 3 ระดับ ของภาพขนาด

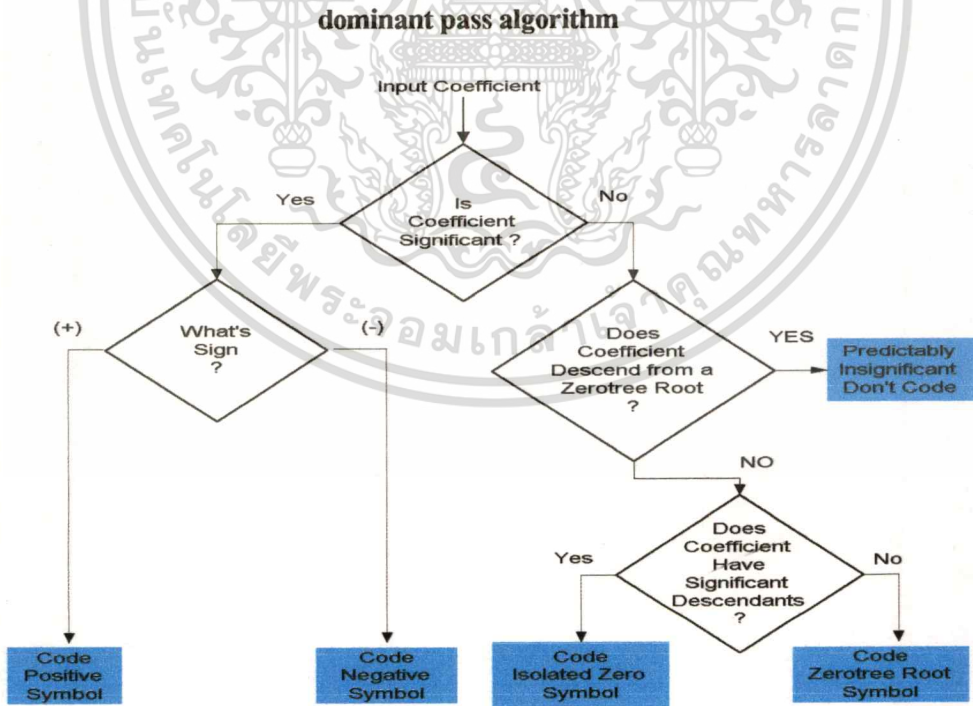
8 * 8

63	-34	49	10	7	13	-12	7
-31	23	14	-13	3	4	6	-1
15	14	3	-12	5	-7	3	9
-9	-7	-14	5	4	-2	3	2
-5	9	-1	47	4	6	-2	2
3	0	-3	2	3	-2	0	4
2	-3	6	-4	3	6	3	6
5	11	5	6	0	3	-4	4

LL
 LH3,LH2,LH1
 HL3,HL2,HL1
 HH3,HH2,HH1

รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งผ่านการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับ

การเข้ารหัสด้วย Embedded Zerotree Wavelet (EZW) ประกอบด้วย dominant pass และ subordinate pass



รูปที่ 3.4 แสดง dominant pass algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก array พบว่า the largest coefficient magnitude = 63 เราจะเลือก Threshold ระหว่าง (31.5 , 63] ให้ threshold = 32 สำหรับการทำ dominant pass รอบที่ 1 ผลการเข้ารหัสดังนี้

ตารางที่ 3.1 การเข้ารหัส dominant pass

Comment	Subband	Coefficient	Symbol	Reconstruction
	Value			Value
1	LL3	63	POS	48
	HL3	-34	NEG	-48
2	LH3	-31	IZ	0
3	HH3	23	ZTR	0
	HL2	49	POS	48
4	HL2	10	ZTR	0
	HL2	14	ZTR	0
	HL2	-13	ZTR	0
	LH2	15	ZTR	0

Comment	Subband	Coefficient	Symbol	Reconstruction
		Value		Value
5	LH2	14	IZ	0
	LH2	-9	IZ	0
	LH2	-7	ZTR	0
6	HL1	7	Z	0
	HL1	13	Z	0
	HL1	3	Z	0
	HL1	4	Z	0
7	LH1	47	POS	48
	LH1	-3	Z	0
	LH1	-2	Z	0

อธิบาย

comment 1 ค่า coefficient magnitude = 63 มากกว่า threshold = 32 และมีเครื่องหมาย + เราให้เป็น POS (positive symbol) และมีค่ากลางระหว่างช่วง $[32, 64) = 48$

comment 2 ค่า coefficient magnitude = 31 เป็น insignificant (ไม่สำคัญ) น้อยกว่า threshold 32 แต่มีรุ่นหลาน (descendant two generation down) ที่มี significant ใน subband ที่ LH1 มีค่า magnitude = 47 เราให้เป็น IZ (isolated Zero symbol)

comment 3 ค่า coefficient magnitude = 23 น้อยกว่า 32 และทุกค่าใน all descendant ทั้ง subband HH2 (3, -12, -14, 8) และ subband HH1 ไม่มีตัวใดมีค่ามากกว่า 32 (insignificant) เราให้เป็น ZTR (Zerotree symbol) และไม่ต้องกำหนดค่าให้ ทั้ง สอง subband HH2 และ HH1 ในขั้น First dominant pass

Comment 4 ค่า coefficient magnitude = 10 น้อยกว่า 32 และ ทุก descendant (-12,7,6,-1) ทุกตัวมีค่าต่ำกว่า 32 เราให้เป็น ZTR (Zerotree symbol)

Comment 5 ค่า coefficient magnitude = 14 น้อยกว่า 32 เป็น insignificant แต่มี รุ่นลูก (children -1, 47, -3,2) มีค่าเกิน threshold คือ 47 เป็น significant เราให้เป็น IZ (Isolated Zero symbol)

Comment 6 ไม่กำหนด Symbol ให้กับ Subband HH2 และ HH1 เพราะไม่มี descendant โอกาสของ subband HL1 จะเป็นได้คือ IZ , ZTR , Z (Zero)

Comment 7 ค่า coefficient magnitude = 47 เป็น significant เมื่อมากกว่า Threshold 32 ให้ เป็น POS ในรอบ dominant pass ต่อไปรอบที่ 2 จะให้ตำแหน่งนี้ มีค่าเป็น 0 ซึ่งในรอบที่ 2 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Threshold มีค่า 16 ตำแหน่งของ 47 มี parent เป็น 14 จึงกำหนดให้เป็น Zerotree symbol สรุปแล้ว
 ในการทำ dominant pass รอบแรกด้วย ค่า threshold = 32 ได้ significant 4 ตัว 63 , -34 , 49 , 47
 ชั้นที่ สอง subordinate pass ให้สัมพันธ์ทุกตัว ที่มีค่า [32 , 48) Lower interval เรา encode = 0
 (ค่า interval = 48) และ ตัวที่มีค่า [48 , 64) Upper interval เรา encode = 1

ตารางที่ 3.2 การเข้ารหัส subordinate pass

Coefficient Magnitude	Symbol	Reconstruction Magnitude
63	1	56
34	0	40
49	1	56
47	0	40

Boundary magnitude = 48

ตัวแรก 63 ผ่าน subordinate pass มาอยู่ใน Upper interval ได้ค่ากลาง 56

34 Lower interval ได้ค่ากลาง 40

49 upper interval ได้ค่ากลาง 56

47 Lower interval ได้ค่ากลาง 40

ต่อไปทำ dominant pass รอบที่ 2 ค่า Threshold = 16 ในขั้นนี้จะ SUM เฉพาะ Coefficient ที่เป็น insignificant ในรอบแรก ส่วนตัวที่พบว่าเป็น significant แล้ว จะให้เป็น 0

ในขั้นนี้ encode -31 ใน LH3 เป็น NEG (negative symbol) และ 23 ใน HH3 เป็น POS (positive symbol) 10 , 14 , -13 ใน HL2 เราให้เป็น Zerotree roots นอกนั้น เป็น insignificant ทำ subordinate pass ช่องห่าง interval [48 , 64) [32 , 48) [16 , 31)

จะได้ subordinated list (63 , 49 , 47 , 34 , 31 , 23)

จะได้ reconstructed magnitudes (60 , 52 , 44 , 36 , 28 , 20)

กระบวนการทำ Dominant pass และ subordinate pass จะดำเนินต่อไป และหยุดลงเมื่อพบเงื่อนไข bit allocate เกินกว่า target rate

เกณฑ์การวัดความเหมือนจริงของภาพ (Image Fidelity)

ในการลดข้อมูลภาพนั้น จะมีข้อมูลส่วนหนึ่งที่เกิดผิดพลาดหรือสูญหายไป ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลในตอนที่เราสร้างภาพกลับคืนมา (reconstruction) และค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ในช่วงหนึ่งที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นเกณฑ์การวัดความเหมือนจริงของภาพสามารถนำมาใช้ในการวัด

ประสิทธิภาพของระบบได้ ตัวอย่างเกณฑ์ที่นิยมใช้ ในการวัดคุณภาพของภาพคือ ค่า root-mean-square (rms) ของ error ระหว่างข้อมูลภาพอินพุตและภาพเอาต์พุต นอกจากนี้ยังมีค่า rms ของอัตรา

ส่วนของสัญญาณภาพรบกวนของภาพเอาร์ทพุท (Signal to Noise Ratio) เมื่อกำหนดให้ข้อมูลภาพอินพุทประกอบด้วยอาเรย์ขนาด $N \times N$ ของจุดภาพ $f(x,y)$ โดยที่ x,y มีค่าเป็น $0,1,\dots,N-1$ และแต่ละจุดภาพมีค่าของระดับสีเทาที่เป็นไปได้ 2^m เมื่อ m เป็นจำนวนบิตของเลขไบนารีสำหรับทุกค่าของ X และ Y ในช่วง $0,1,\dots,N-1$ ค่า error ระหว่างจุดภาพอินพุทและเอาร์ทพุทคือ

$$e(x,y) = g(x,y) - f(x,y)$$

เมื่อ $f(x,y)$ คือค่า input image ณ จุดใด ๆ

$g(x,y)$ คือค่า output image ณ จุด x,y ใด ๆ

ค่าเฉลี่ยของ error กำลังสองของภาพ (mean square error) คือ

$$\begin{aligned} e^2 &= \frac{1}{N^2} \sum_{X=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x,y) \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{X=0}^{N-1} \sum_{X=0}^{N-1} [g(x,y) - f(x,y)]^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า rms ของ error (e) จึงสามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$e_{rms} = \left[e^2 \right]^{1/2}$$

ค่า root mean square error เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความแตกต่างของข้อมูลอินพุทกับข้อมูลเอาร์ทพุท แต่เมื่อพิจารณาขนาดของข้อมูลเอาร์ทพุทต่อขนาดของสัญญาณรบกวน (noise) ก็จะได้เป็นค่า Signal-to-Noise Ratio (SNR) เมื่อกำหนดให้สัญญาณภาพเอาร์ทพุทแต่ละจุดประกอบด้วยสัญญาณอินพุท (f) บวกด้วยค่าสัญญาณรบกวน นั่นคือ

$$g(x,y) = f(x,y) + e(x,y)$$

ดังนั้นค่า mean square Signal-to-Noise ของข้อมูลภาพเอาร์ทพุท (g) สามารถหาได้โดยค่าเฉลี่ยของสัญญาณอินพุทกำลังสอง $g^2(x,y)$ หาค่าด้วยค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนกำลังสอง $e^2(x,y)$ ของข้อมูลภาพทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$(SNR)_{RMS} = \frac{\frac{1}{N^2} \sum_{X=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g^2(x,y)}{\frac{1}{N^2} \sum_{X=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x,y)}$$

ค่า rms ของ SNR จึงสามารถเขียนได้นี้

$$(SNR)_{RMS} = \left[\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g^2(x, y) / \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} [g(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

โดยที่เทอมส่วนของสมการข้างบนเป็นสมการของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในรูปของผลต่างระหว่างข้อมูลอินพุตกับข้อมูลเอาต์พุต

จากวิธีการที่ใช้ในการวัดความเหมือนจริงของภาพที่กล่าวมาข้างบนนี้ ไม่สามารถที่จะบ่งบอกหรือใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้แต่เพียงอย่างเดียว ในกรณีของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลหรือรับส่งสัญญาณ โดยมีสายตาของมนุษย์เป็นตัวรับภาพจากจอภาพอีกทีหนึ่ง อย่างเช่น Broadcast TV , picture phone, หรือ งานต่างๆ ที่มีการใช้ image processing เป็นต้น ระบบการมองเห็นของมนุษย์จะมีลักษณะคุณสมบัติพิเศษกล่าวคือ ระบบการมองเห็นของตาจะไวต่อความเข้มของแสงในลักษณะของ logarithmic ดังนั้น error ในบริเวณที่เป็น ที่มีคของภาพจะเห็นได้ชัดกว่า error ที่อยู่ในบริเวณที่สว่าง และระบบการมองเห็นยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของระดับสีที่เท่ากันด้วย error ที่อยู่บนขอบ หรือใกล้ๆ ขอบ ของวัตถุจะมีผลต่อการมองเห็นมากกว่า error ที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นฉากหลังของภาพ ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ว่าภาพสองภาพจะมีค่าของ rms error เท่ากัน แต่อาจจะปรากฏความแตกต่างของคุณภาพของการมองเห็นที่แตกต่างกันได้

$$PSNR = 20 \log((255/RMS)dB)$$

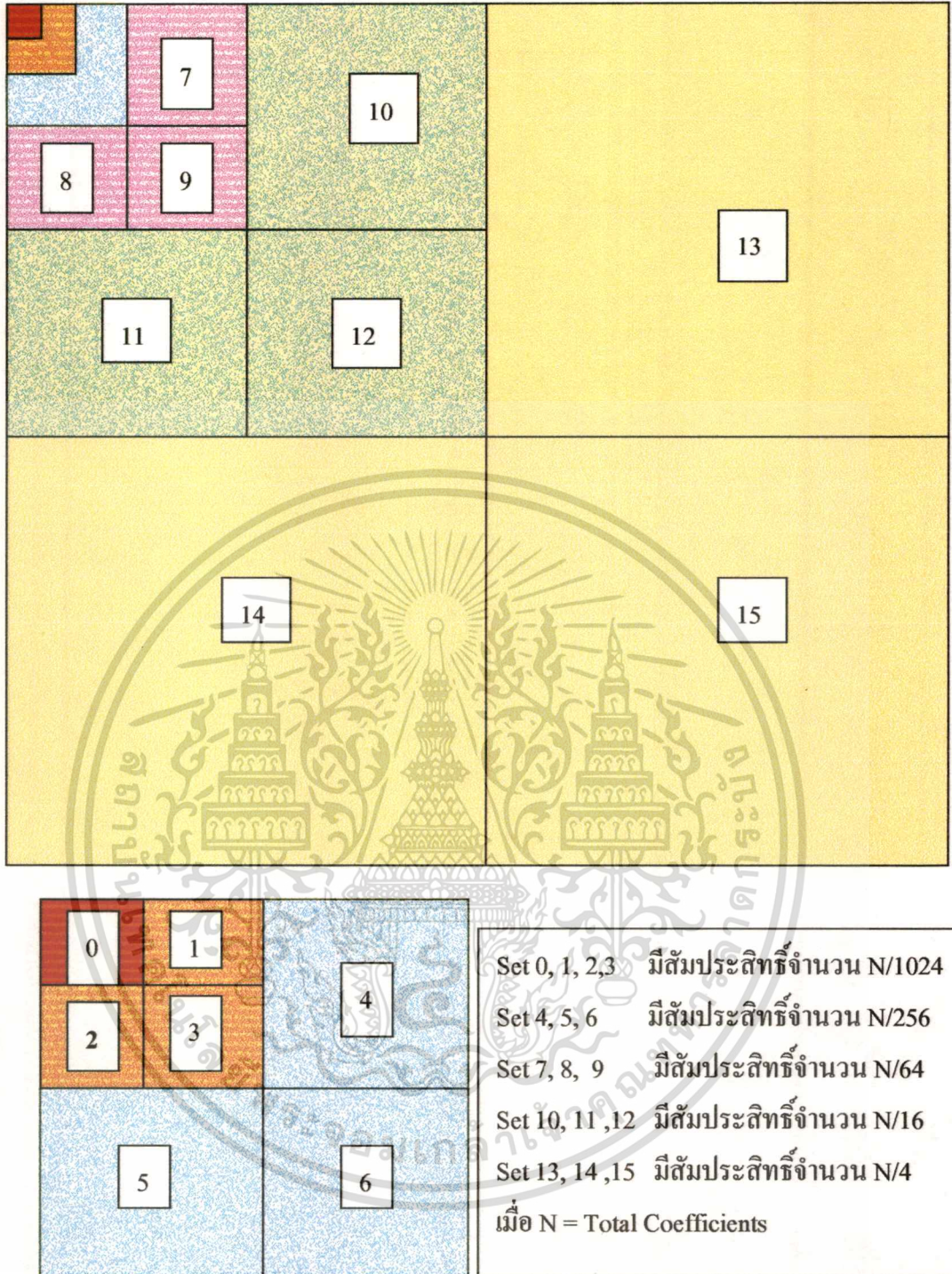
$$RMS \text{ error} = \sqrt{\text{Total distortion} / \text{Total Coefficients}}$$

$$\text{Total rate} = \sum \text{Rates} / 8 \text{ bits}$$

$$\text{Distortion} = \sum (\text{original pixel} - \text{new pixel})^2$$

$$\text{Total distortion} = \sum \text{distortion}$$

$$\text{Total Coefficients} = \text{row max} * \text{column max}$$



รูปที่ 3.5 แสดง Set of subbands ที่ได้จากการกระจาย Mutiresolution 5 level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลอง Antoninigard Wavelet Filter

File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255

Reading 497 x 721 image nid.pgm, writing Anid128.out

Compression ratio 128:1

Target rate = 2735 bytes

Set	Precision	Rate	Distortion		
0:	8	2639.30	7.17	33284.36	90.45
1:	5	1372.99	3.73	101600.62	276.09
2:	6	1233.15	3.35	93492.19	254.05
3:	6	1332.47	3.62	28182.22	76.58
4:	5	3286.85	2.30	133952.56	93.94
5:	5	2791.65	1.94	147085.72	102.14
6:	4	1767.49	1.27	128496.28	92.11
7:	3	2991.82	0.53	753256.12	133.51
8:	3	2648.08	0.47	589242.88	103.92
9:	2	904.26	0.16	518715.56	92.96
10:	1	439.51	0.02	1649688.75	73.50
11:	1	469.98	0.02	1098768.38	48.83
12:	0	0.00	0.00	381174.28	17.08
13:	0	0.00	0.00	870330.19	9.72
14:	0	0.00	0.00	615803.12	6.87
15:	0	0.00	0.00	225465.88	2.53

total rate = 2734.7

total dist = 7.36854e+06

total coeffs = 358337

RMS error = 4.53466

PSNR (transform domain) = 34.9999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลอง Villa1810 degard Wavelet Filter

Villa1810 Wavelet Filter

File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255

Reading 252 x 348 image j3.pgm, writing j3v4.out

Compression ratio 4:1

Target rate = 21860 bytes

Set	Precision	Rate	Distortion		
0:	9	796.47	9.05	1042.35	11.84
1:	9	840.51	9.55	36.32	0.41
2:	9	802.19	9.12	46.68	0.53
3:	9	862.12	9.80	11.42	0.13
4:	9	3112.49	8.84	49.46	0.14
5:	9	2809.78	7.98	115.86	0.33
6:	9	3011.77	8.56	18.38	0.05
7:	8	8761.25	6.42	515.95	0.38
8:	9	9131.23	6.64	161.84	0.12
9:	7	6917.60	5.19	443.56	0.33
10:	8	28278.86	5.16	942.90	0.17
11:	7	21873.96	3.99	1830.29	0.33
12:	6	20518.36	3.74	775.41	0.14
13:	5	36158.87	1.65	13674.94	0.62
14:	4	21304.05	0.97	14869.67	0.68
15:	3	9419.71	0.43	4541.88	0.21

total rate = 21824.9

total dist = 39076.9

total coeffs = 87696

RMS error = 0.667529

PSNR (transform domain) = 51.6414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลอง Odegard Wavelet Filter

File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255

Reading 497 x 721 image nid.pgm, writing odnid128.out

Compression ratio 128:1

Target rate = 2735 bytes

Set	Precision	Rate		Distortion	
0:	7	2302.39	6.26	117514.16	319.33
1:	5	1388.76	3.77	86187.06	234.20
2:	6	1227.65	3.34	73192.89	198.89
3:	5	1007.65	2.74	66952.88	181.94
4:	4	2400.98	1.68	328727.50	230.52
5:	4	1932.71	1.34	316564.00	219.84
6:	4	1777.16	1.27	105989.30	75.98
7:	3	3095.03	0.55	696373.88	123.43
8:	3	2756.62	0.49	470583.75	83.00
9:	2	949.56	0.17	425734.25	76.30
10:	1	490.29	0.02	1409981.25	62.82
11:	2	2254.68	0.10	503563.66	22.38
12:	0	0.00	0.00	366538.56	16.42
13:	0	0.00	0.00	884551.50	9.88
14:	0	0.00	0.00	624346.25	6.97
15:	0	0.00	0.00	271261.56	3.04

total rate = 2697.94

total dist = 6.74806e+06

total coeffs = 358337

RMS error = 4.33954

PSNR (transform domain) = 35.3819

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลอง Odegard Wavelet Filter

File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255

Reading 512 x 512 image lena512.pgm, writing leOd32.out

Compression ratio 32:1

Target rate = 8128 bytes

Set	Precision	Rate	Distortion		
0:	8	2099.55	8.20	8237.57	32.18
1:	6	1685.05	6.58	8843.45	34.54
2:	5	1166.43	4.56	19421.77	75.87
3:	6	1408.77	5.50	7061.47	27.58
4:	5	4211.83	4.11	74928.34	73.17
5:	5	3307.11	3.23	42704.14	41.70
6:	5	3046.91	2.98	47761.25	46.64
7:	4	9148.06	2.23	253048.25	61.78
8:	3	3773.72	0.92	395650.88	96.59
9:	3	4441.57	1.08	294509.31	71.90
10:	4	16747.54	1.02	558746.62	34.10
11:	3	6490.54	0.40	620872.44	37.90
12:	2	4378.48	0.27	761050.50	46.45
13:	1	3043.49	0.05	2326020.50	35.49
14:	0	0.00	0.00	1120573.88	17.10
15:	0	0.00	0.00	695825.62	10.62

total rate = 8118.63

total dist = 7.23526e+06

total coeffs = 262144

RMS error = 5.2536

PSNR (transform domain) = 33.7217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายผลการทดลอง

Image ขนาด $512 \times 512 = 262144$ pixels

Total Coefficients = 262144 bytes (Transformed Image)

Compression ratio = 32 : 1

Desired rate = $262144/32 = 8192$ bytes

Target rate = Desired rate - $4 * \text{number of subbands (decompose 5 levels = 16 subbands)}$

Target rate = $8192 - 64 = 8128$ bytes

Set 0 -15 แสดง subband 0 ถึง subband 15 รวม 16 subbands

Precision มีค่าตั้งแต่ 0-9 แสดงจำนวน bits ที่ใช้เข้ารหัส coefficient ในแต่ละ subband

Rate แสดงจำนวน bit ที่ใช้แทน coefficient ทั้งหมดในแต่ละ subband

Distortion คือ ค่า error ที่เกิดขึ้นในแต่ละ subband โดยใช้หลักการ minimization ด้วยวิธี

Lagrange multiplier

Total Rate \leq Target rate ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขว่าการ encoding พบค่าจำกัดของ budget หรือ distortion ก่อน

$$\text{Total rate} = \sum_0^{15} \text{rate}/8 = (2099.55 + 1695.05 + \dots)/8$$

$$\text{Total Dist} = \sum_0^{15} \text{distortion} = 8237.57 + 8843.45 + \dots$$

Total Coeffs = จำนวน transformed coefficients = 262144 bytes

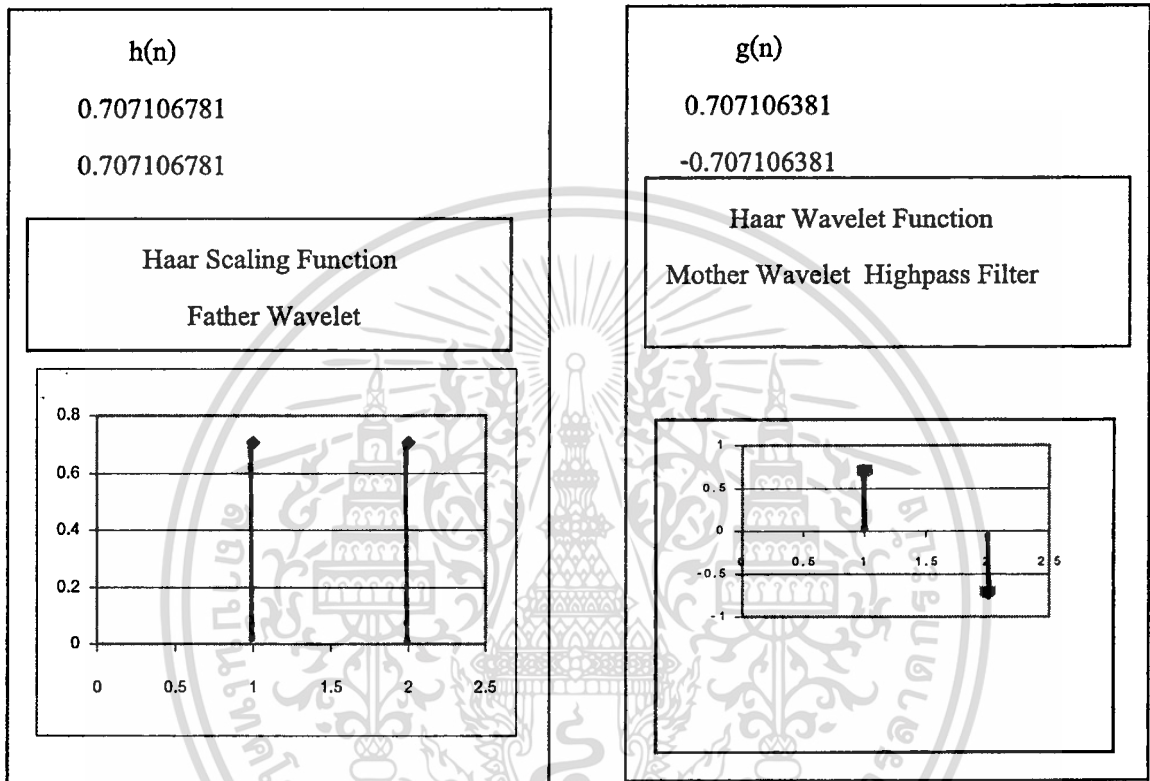
$$\text{RMS error} = \sqrt{\text{Total distortion} / \text{Total Coefficients}}$$

$$\text{PSNR} = 20 \log((255/\text{RMS}) / \log_{10}) \text{dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แสดงผลการใช้ Haar Wavelet Filter

- ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Haar Wavelet Filter
- Wavelet Filter แสดงกราฟไว้ในตัวอย่างบทที่ 2 ทฤษฎี Wavelet
- ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล



รูปที่ 3.6 แสดง Haar Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟแสดงรูปร่าง Haar Wavelet Filter

Haar filter เป็น function ที่ง่ายที่สุด เหมาะสำหรับการใช้ในการศึกษา เรียนรู้ สามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์ และสังเคราะห์สัญญาณได้ แต่ PSNR ไม่สูงนัก ทฤษฎีเวฟเล็ตเบื้องต้น ในตำราเกือบทุกเล่ม จะใช้เป็นตัวอย่างในการอธิบาย โดยเฉพาะการแตกกระจายสัญญาณออกเป็น ค่าโดยประมาณ กับส่วนรายละเอียดนั้น Haar สามารถอธิบายได้ชัดเจนเป็นอย่างดี

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพโดยใช้

Haar Wavelet

File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	178179	89145.7	44631.4	22311	11083.8	5519.11	2732.58
total dist	25482.8	232278	8.12E+05	1.95E+06	4.83E+06	1.06E+07	2.20E+07
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.266672	0.805115	1.50491	2.3299	3.66949	5.44848	7.83158
PSNR	59.6112	50.0136	44.5806	40.784	36.8387	33.4053	30.2538

File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43705.4	21832.7	10897.5	5410.79	2666.38	1301	610.766
total dist	3919.47	80434.3	460852	1.56E+06	3.65E+06	6.82E+06	1.18E+07
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.211409	0.957703	2.2924	4.22149	6.44878	8.8182	11.5838
PSNR	61.6283	48.5062	40.925	35.6215	31.9412	29.2232	26.8538

File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130749	65460.7	32675.7	16316.2	8111.57	4023.36	1981.29
total dist	83617.2	1.03E+06	3.68E+06	8.71E+06	1.77E+07	2.91E+07	4.84E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.564778	1.98278	3.74907	5.76465	8.20831	10.5355	13.5899
PSNR	53.0933	42.1853	36.6523	32.9153	29.8457	27.6777	25.4664

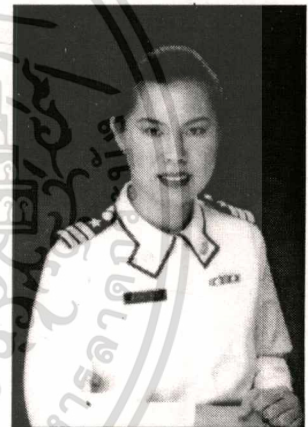
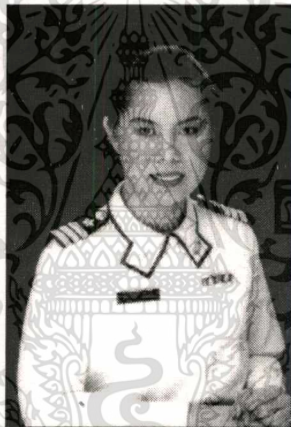
\

รูป nid.pgm มี contrast ระหว่าง พื้นภาพ และตัวภาพมาก จึงยังคงได้ภาพที่มีคุณภาพดี เมื่อทำการลดขนาด 128 : 1 โดยขนาดของข้อมูลเล็กมากแม้ใช้ Haar Wavelet Filler คืนกลับภาพ ภาพที่มี contrast อย่างนี้ดีมากต่อการบีบอัดข้อมูลภาพ



ภาพต้นฉบับ nid.pgm

ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1

ลดขนาด 8 : 1

ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1

ลดขนาด 64 : 1

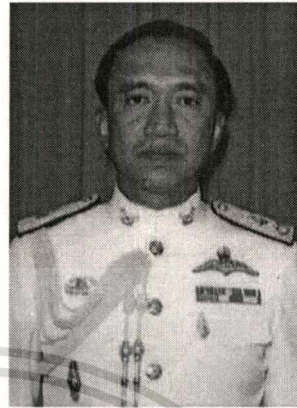
ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.7 แสดงรูป nid.pgm คืนกลับจากการประมวล ด้วย Haar Wavelet Filter เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

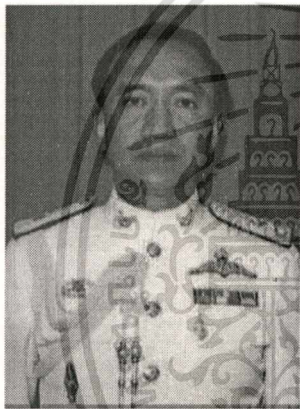
รูป J3.pgm มี contrast ระหว่าง พื้นภาพ และตัวภาพปานกลาง ทำการลดขนาดแล้วคืนกลับภาพด้วย Haar Wavelet Filter ซึ่งเป็น Filter ที่หายากสุด คุณภาพของข้อมูลภาพสำหรับส่งผ่านสื่อบนระบบเครือข่ายจึงอยู่ที่ลดลงได้เพียง 32 : 1



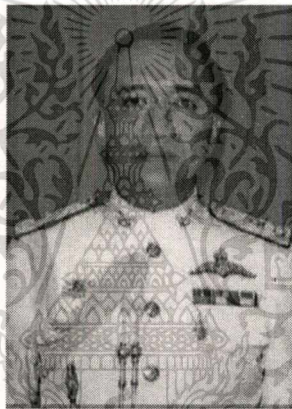
ภาพต้นฉบับ J3.pgm



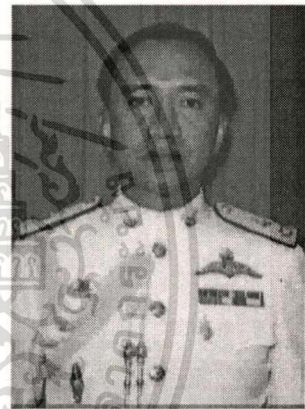
ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



ลดขนาด 8 : 1



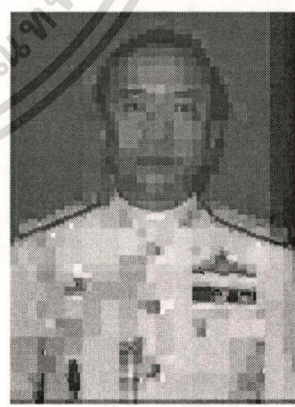
ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.8 แสดงรูป J3.pgm คืนกลับ จากการประมวล ด้วย Haar Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป Lena512.pgm เป็นภาพสากลที่นักวิจัยด้าน Image Processing ใช้ทำการประมวลผลแล้วถือเป็นต้นแบบเมื่อเปรียบระหว่างกัน ทำการลดขนาดแล้วคืนกลับภาพด้วย Haar Wavelet Filter ได้คุณภาพดีที่ขนาดลดลง 64 : 1



ภาพต้นฉบับ Lena512.pgm



ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.9 แสดงรูป Lena512.pgm คืนกลับ จากการประมวล ด้วย Haar Wavelet Filter.

3.3 แสดงผลการใช้ Villa1810 Wavelet Filter

ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Villa1810 Wavelet Filter

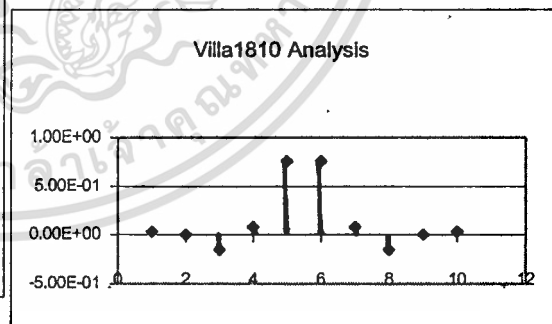
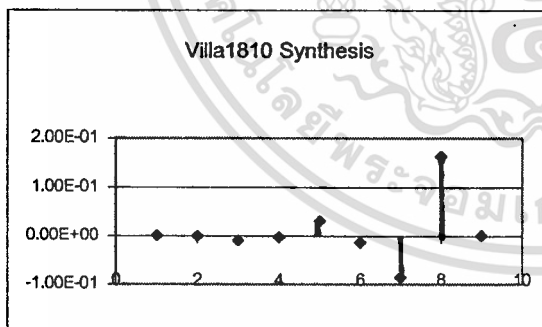
Wavelet Filter พร้อมกราฟ

ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล

// Unpublished 18/10 filter from Villasenor's group

```
Real Villa1810Synthesis [] = 9.544158682436510e-04, 2.727196296995984e-06,
-9.452462998353147e-03, -2.528037293949898e-03, 3.083373438534281e-02,
-1.376513483818621e-02, -8.566118833165798e-02, 1.633685405569902e-01,
6.233596410344172e-01, 6.233596410344158e-01, 1.633685405569888e-01,
-8.566118833165885e-02, -1.376513483818652e-02, 3.083373438534267e-02,
-2.528037293949898e-03, -9.452462998353147e-03, -2.727196296995984e-06,
9.544158682436510e-04};
```

```
Real Villa1810Analysis [] = 2.885256501123136e-02, 8.244478227504624e-05,
-1.575264469076351e-01, 7.6790484691438e-02, 7.589077294537618e-01,
7.589077294537619e-01, 7.679048884691436e-02, -1.575264469076351e-01,
8.244478227504624e-05, 2.885256501123136e-02};
```



รูปที่ 3.10 แสดง Villa1810 Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟแสดงรูปร่าง Villa1810 WaveletFilter

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพโดยใช้

Villa1810 Wavelet Filter

File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	178512	88974.8	44372.3	22277.6	11125.6	5504.81	2720.38
total dist	24763.4	1.69E+05	5.57E+05	1.12E+06	2.12E+06	4.31E+06	9.64E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.262881	0.686199	1.24628	1.7656	2.4317	3.46891	5.18696
PSNR	59.7356	51.4018	46.2185	43.193	40.4126	37.3269	33.8325

File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43636.1	21824.9	10886.9	5408.45	2673.7	1301.54	614.015
total dist	3923.96	3.91E+04	2.07E+05	7.38E+05	1.88E+06	4.30E+06	8.87E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.21153	0.667529	1.53768	2.90061	4.63488	7.0048	10.0573
PSNR	61.6234	51.6414	44.3935	38.881	34.81	31.2229	28.0811

File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255

อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130455	65376.6	32630.5	16315.4	8124.92	4019.72	1959.57
total dist	54960.9	6.27E+05	1.89E+06	4.10E+06	8.69E+06	1.83E+07	3.45E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.457886	1.54691	2.68796	3.95351	5.75686	8.35013	11.4644
PSNR	54.9157	44.3415	39.5424	36.1911	32.9271	29.6969	26.9437

รูปที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล หลาย ๆ อัตราส่วน และคืนกลับภาพด้วย Villa1810



ภาพต้นฉบับ nid.pgm



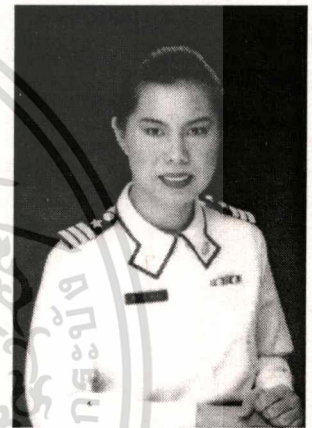
ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



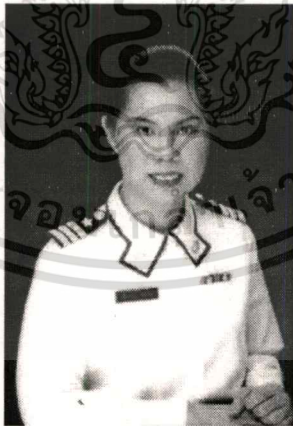
ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.11 ผลการ คืนกลับภาพ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล หลาย ๆ อัตราส่วน และคืนกลับภาพด้วย Villa1810



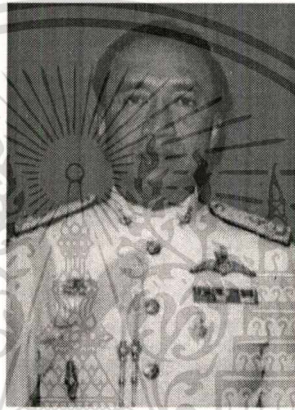
ภาพต้นฉบับ J3.pgm



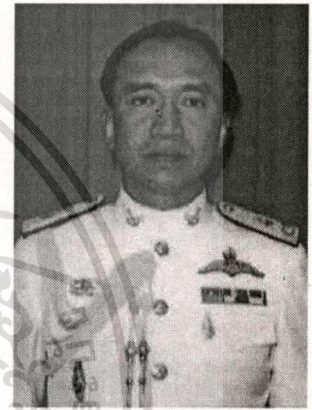
ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4:1



ลดขนาด 8:1



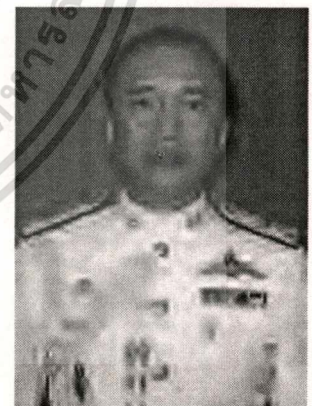
ลดขนาด 16:1



ลดขนาด 32:1



ลดขนาด 64:1



ลดขนาด 128:1

รูปที่ 3.12 ผลการ คืนกลับภาพ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล หลาย ๆ อัตราส่วน และคืนกลับภาพด้วย Villa1810



ภาพต้นฉบับ Lena512.pgm



ลดขนาด 2:1



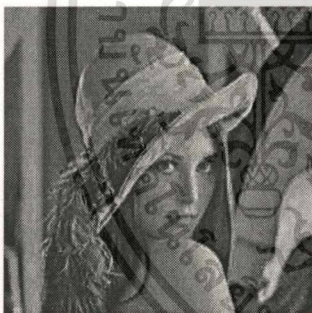
ลดขนาด 4:1



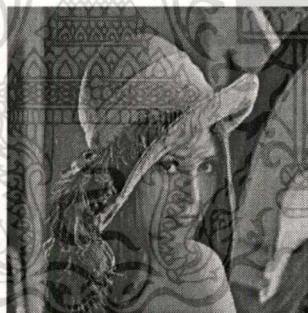
ลดขนาด 8:1



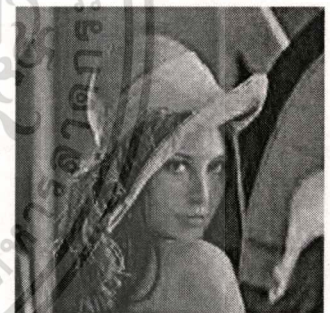
ลดขนาด 16:1



ลดขนาด 32:1



ลดขนาด 64:1



ลดขนาด 128:1

รูปที่ 3.13 ผลการ คืนกลับภาพ Lena512.gm จากการประมวลผลด้วย Villa1810 Wavelet Filter

3.4 แสดงผลการใช้ Adelson Wavelet Filter

Wavelet Filter พร้อมกราฟ

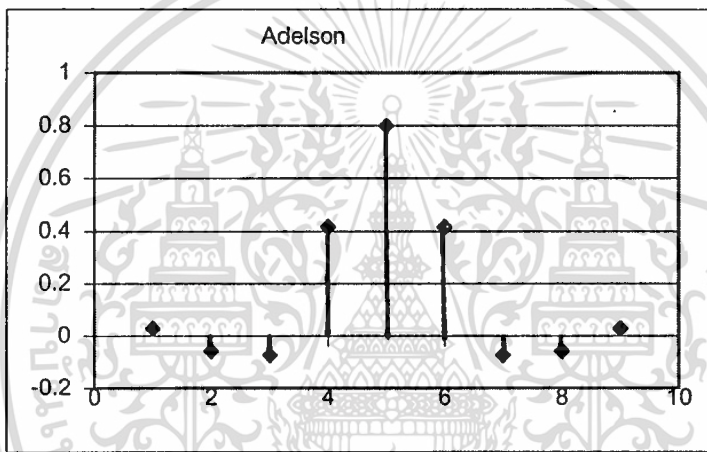
ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Adelson Wavelet Filter

รูปที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล ตามลำดับดังนี้

// Filter from Eero Simoncelli's PhD thesis -- used in Edward Adelson's EPIC wavelet coder

// These are probably the filter coefficients used in Shapiro's EZW paper

```
Real AdelsonCoeffs[] = { 0.028220367, -0.060394127, -0.07388188,
                        0.41394752, 0.7984298, 0.41394752,
                        -0.07388188, -0.060394127, 0.028220367 };
```



รูปที่ 3.14 แสดง Adelson Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟ แสดงรูป Adelson WaveletFilter

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อกินกลับภาพ

โดยใช้ Adelson Wavelet Filter

Adelson Wavelet Filter							
File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	176652	87268.7	44520.1	2.2241E+04	11083.3	5534.25	2711.36
total dist	23162.2	189571	5.69E+05	1.13E+06	2.10E+06	4.36E+06	9.40E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.25424	0.727344	1.26059	1.77597	2.42237	3.4865	5.12229
PSNR	60.0259	50.896	46.1194	43.1421	40.446	37.283	33.9415
Adelson Wavelet Filter							
File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43270.7	21756.6	10890.2	5.4150E+03	2666.61	1305.64	612.854
total dist	4249.51	48909.9	2.41E+05	7.45E+05	1.91E+06	3.98E+06	7.74E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.22013	0.746807	1.65638	2.91549	4.66927	6.73945	9.3931
PSNR	61.2772	50.6666	43.7476	38.8366	34.7458	31.5583	28.6746
Adelson Wavelet Filter							
File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130845	65460.2	32674.7	1.6316E+04	8106.19	4024.91	1957.75
total dist	53166.6	667114	2.06E+06	4.50E+06	8.95E+06	1.69E+07	2.99E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.450349	1.59525	2.80435	4.14393	5.84171	8.03776	10.6869
PSNR	55.0598	44.0742	39.1742	35.7826	32.8	30.0281	27.5537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

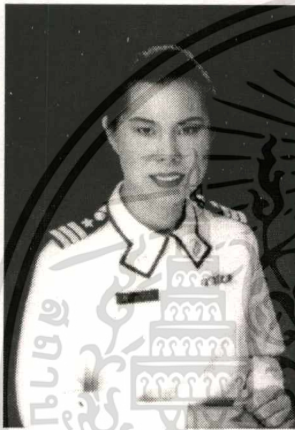
รูปที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Adelson Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ nid.pgm



ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



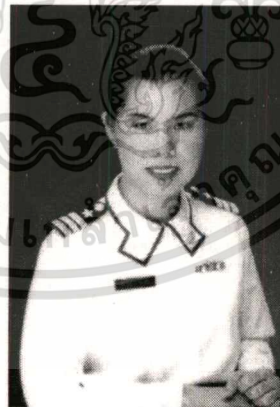
ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.15 ผลการ คืนกลับภาพ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Adelson Wavelet Filter



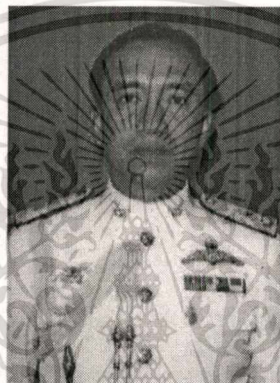
ภาพต้นฉบับ J3.pgm



ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4:1



ลดขนาด 8:1



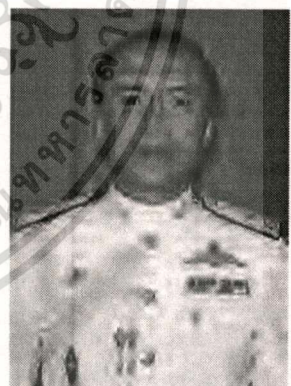
ลดขนาด 16:1



ลดขนาด 32:1



ลดขนาด 64:1



ลดขนาด 128:1

รูปที่ 3.16 ผลการ คืนกลับภาพ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Adelson Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ Lenna512.pgm



ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4 : 1



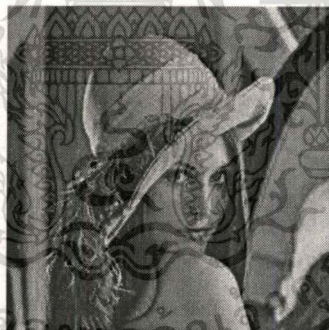
ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.17 ผลการ คืนกลับภาพ Lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Adelson Wavelet Filter

3.5 แสดงผลการใช้ Odegard Wavelet Filter

Wavelet Filter พร้อมกราฟ

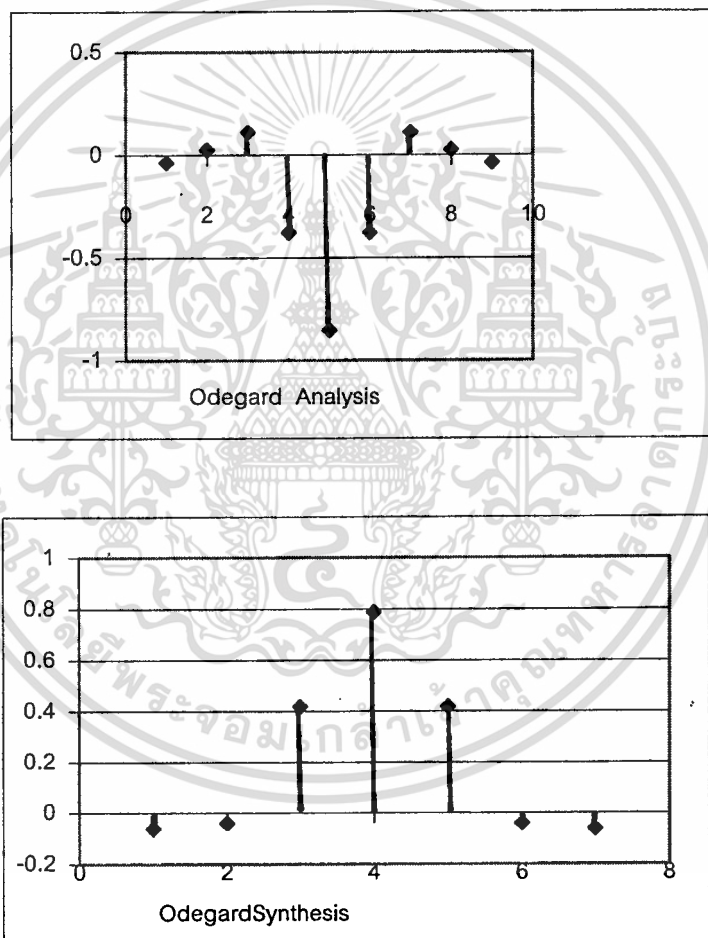
ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Odegard Wavelet Filter

ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล ตามลำดับดังนี้

// Odegard Wavelet Filter

```
Real OdegardAnalysis[] = { -0.0378285, 0.0238495, 0.110624, -0.377403, -0.852699,
-0.377403, +0.110624, +0.0238495, -0.0378285};
```

```
Real OdegardSynthesis[] = { -0.0645389, -0.0406894, +0.418092, +0.788486, +0.418092,
-0.0406894, -0.0645389};
```



รูปที่ 3.18 แสดง Odegard Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟแสดงรูป Odegard WaveletFilter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อคืนกลับภาพโดยใช้

Odegard Wavelet Filter

Odegard Wavelet Filter							
File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	178980	89000.1	44596.8	22264.7	11116.1	5504.9	2697.94
total dist	19036.6	1.89E+05	5.61E+05	1.06E+06	1.82E+06	3.42E+06	6.75E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.230488	0.725588	1.25176	1.72076	2.25153	3.09042	4.33954
PSNR	60.8778	50.917	46.1804	43.4164	41.0812	38.3305	35.3819
Odegard Wavelet Filter							
File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43396.2	21811.7	10892.6	5412.15	2666.42	1297.11	618.818
total dist	3.71E+03	43502.3	2.00E+05	6.19E+05	1.53E+06	3.08E+06	5.70E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.205796	0.704314	1.5109	2.65576	4.17568	5.93034	8.06168
PSNR	61.8621	51.1755	44.5461	39.647	35.7163	32.6692	30.0023
Odegard Wavelet Filter							
File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130841	65187	32675.3	16285.9	8118.63	4001.98	1965.49
total dist	48032.7	7.14E+05	1.92E+06	3.85E+06	7.24E+06	1.29E+07	2.19E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.428054	1.65018	2.70563	3.83317	5.2536	7.01332	9.14973
PSNR	55.5008	43.7802	39.4855	36.4596	33.7217	31.2123	28.9026

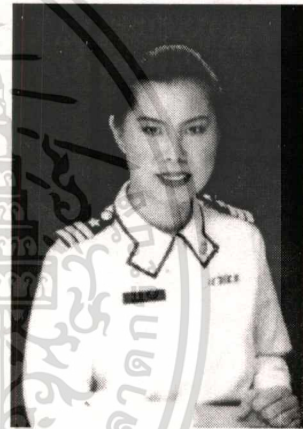
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Odegard Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ nid.pgm

ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1

ลดขนาด 8 : 1

ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1

ลดขนาด 64 : 1

ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.19 ผลการคืนกลับ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Odegard Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ J3.pgm



ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4 : 1



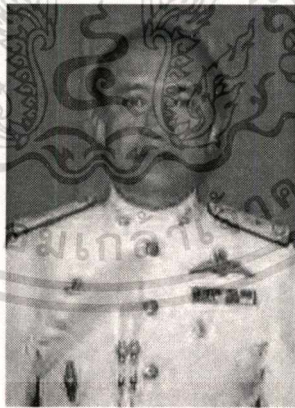
ลดขนาด 8 : 1



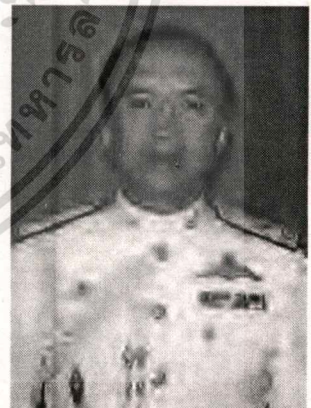
ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.20 ผลการ คืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Odegard Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ Lenna512.pgm



ลดขนาด 2:1



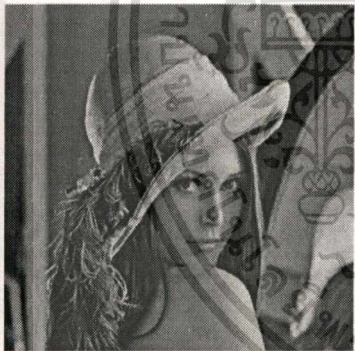
ลดขนาด 4 : 1



ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.21 ผลการ คืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Odegard Wavelet Filter

3.6 แสดงผลการใช้ Daubechies8 Wavelet Filter

Wavelet Filter พร้อมกราฟ

ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Daubechies8 Wavelet Filter

ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล ตามลำดับดังนี้

Daubechies-8 Wavelet Function

$h(n)$ Lowpass Filter

2.303778133

7.148465706

6.308807679

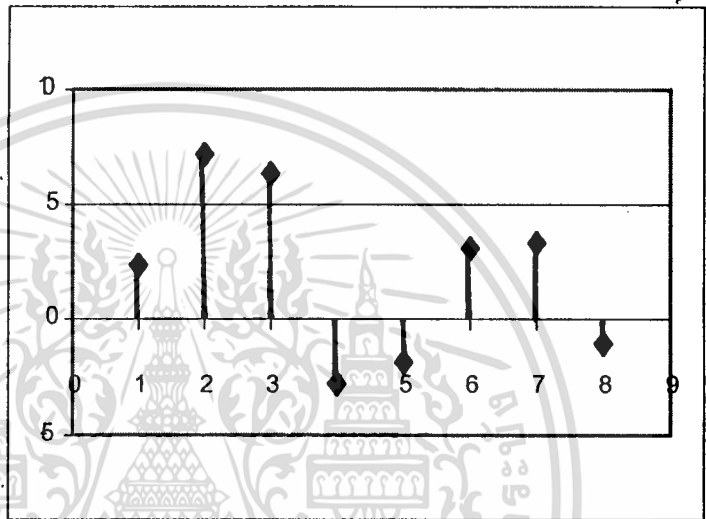
-2.798376942

-1.870348117

3.084138184

3.288301117

-1.059740179



$g(n)$ Highpass Filter

-1.059740179

-3.288301167

3.084138184

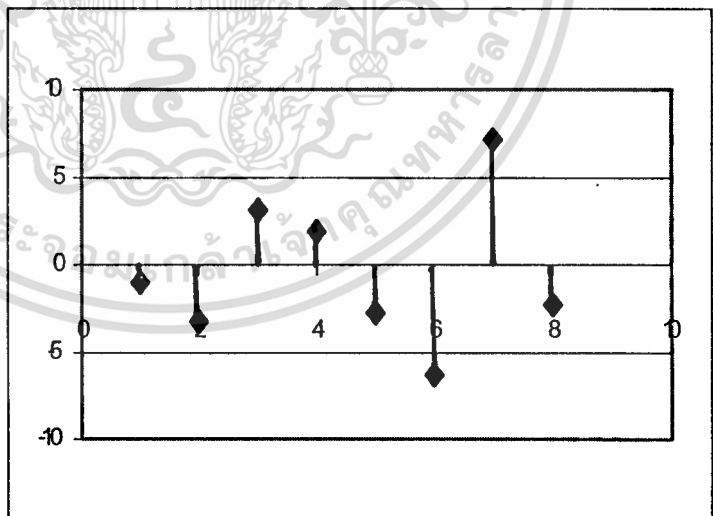
1.870348117

-2.798376942

-6.308807679

7.148465706

-2.303775813



รูปที่ 3.22 แสดง Daubechies8 Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และ กราฟ แสดงรูป

Daubechies8 WaveletFilter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Daubechies filter เป็น function ที่สังเคราะห์ มาจากคณิตศาสตร์ ซึ่ง Daubechies 2 filter ก็คือ Haar filter นั่นเอง สำหรับ Daubechies filter ที่ใช้กัน จะมีความยาวตั้งแต่ 2-20 ในกรณีนี้เราเลือกใช้ Daubechies-8 เพราะประหยัดเวลาในการคำนวณ และคุณภาพของสัญญาณดี

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อกู้กลับภาพโดยใช้

Daubechies8 Wavelet Filter

Daubechies8 Wavelet Filter							
File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	177747	88972.8	44690.4	22309.8	11123.4	5512.91	2695.3
total dist	22374.6	177904	598744	1.17E+06	2.34E+06	5.23E+06	1.23E+07
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.24988	0.704607	1.29263	1.80695	2.55617	3.82132	5.86099
PSNR	60.1762	51.1719	45.9013	42.9919	39.979	36.4865	32.7714
File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43580.7	21847.7	10890.5	5411.29	2666.06	1305.07	619.675
total dist	4789.98	62662	301238	923073	2.44E+06	5.47E+06	9.88E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.23371	0.845303	1.85338	3.24435	5.27006	7.89743	10.6166
PSNR	60.7573	49.5906	42.7715	37.9082	33.6945	30.1811	27.6111
File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130728	65336.3	32685.4	16307.5	8101.31	4022.46	1976.89
total dist	72426.4	758949	2.22E+06	4.87E+06	1.05E+07	1.97E+07	3.41E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.525628	1.70152	2.90775	4.31231	6.31965	8.67662	11.4007
PSNR	53.7172	43.5141	38.8597	35.4366	32.1169	29.3638	26.9922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Daubechies8 Wavelet Filter



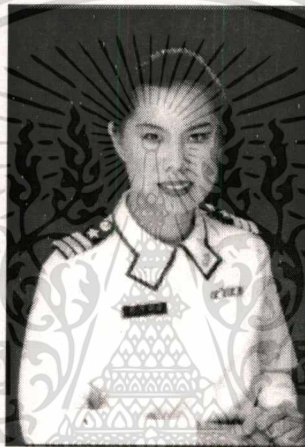
ภาพต้นฉบับ nid.pgm



ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



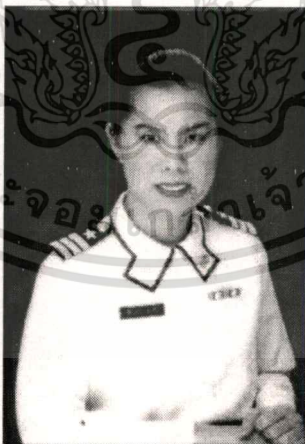
ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.23 ผลการ คืนกลับ nid.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Daubechies8 Wavelet Filter



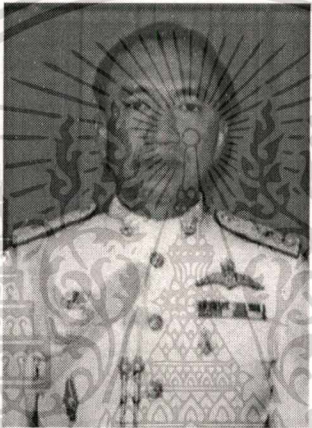
ภาพต้นฉบับ J3.pgm



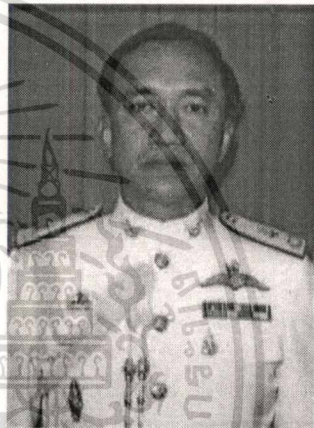
ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4:1



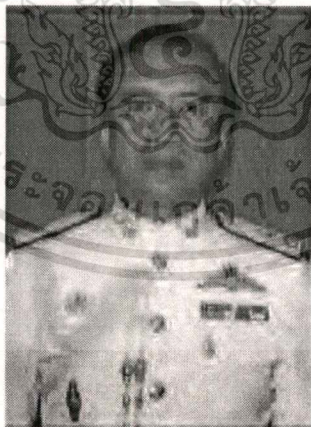
ลดขนาด 8:1



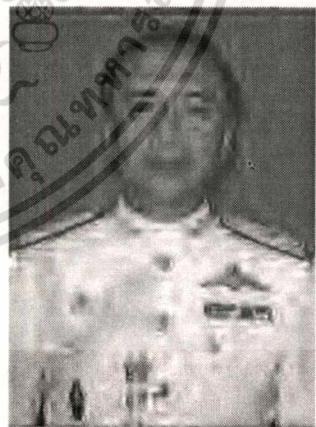
ลดขนาด 16:1



ลดขนาด 32:1



ลดขนาด 64:1



ลดขนาด 128:1

รูปที่ 3.24 ผลการ คืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Daubechies8 Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ Lena 512.pgm



ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4:1



ลดขนาด 8:1



ลดขนาด 16:1



รูปที่ 3.25 ผลการ คืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Daubechies8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ผลการใช้ Antonini Wavelet Filter

Wavelet Filter พร้อมกราฟ

ตารางการบีบอัดข้อมูล ด้วย Antonini Wavelet Filter

ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูล ตามลำดับดังนี้

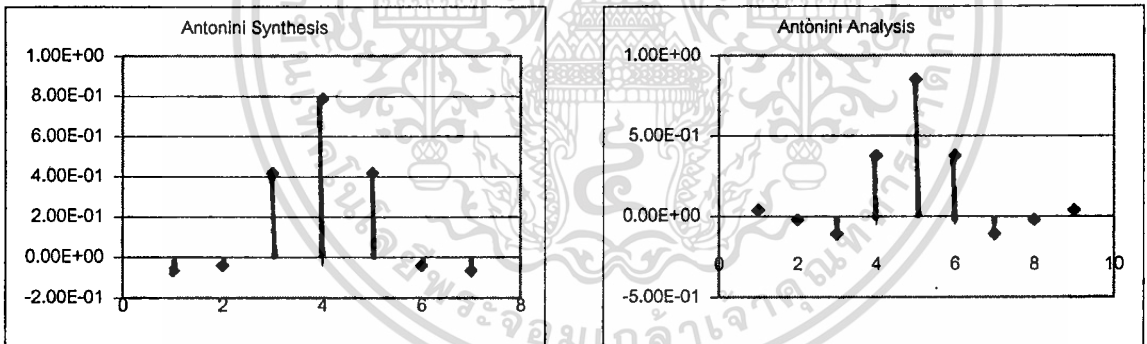
// 7/9 Filter from M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and

// I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform", IEEE

// Transactions on Image Processing", Vol. pp. 205-220, 1992.

Real AntoniniSynthesis [] = { -6.453888262893856e-02, -4.068941760955867e-02,
4.180922732222124e-01, 7.884856164056651e-01, 4.180922732222124e-01,
-4.068941760955867e-02, -6.453888262893856e-02 };

Real AntoniniAnalysis[] = { 3.782845550699535e-02, -2.384946501937986e-02,
-1.106244044184226e-01, 3.774028556126536e-01, 8.526986790094022e-01,
3.774028556126537e-01, -1.106244044184226e-01, -2.384946501937986e-02,
3.782845550699535e-02 };



รูปที่ 3.26 แสดง Antonini Wavelet Filter ที่ใช้ในการ convoluted และกราฟ แสดงรูป Antonini WaveletFilter

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบ, RMS error, PSNR(dB) ของภาพต่าง contrast เมื่อดึงกลับภาพโดยใช้

Antonini Wavelet Filter

Antonini Wavelet Filter							
File nid.pgm is of type PGM, is 497 x 721 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	178296	89242.4	44290.1	2.2327E+04	11123.2	5491.89	2734.7
total dist	19809.7	179348	5.40E+05	1.02E+06	1.80E+06	3.51E+06	7.37E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.235122	0.707461	1.22794	1.68768	2.23846	3.13007	4.53466
PSNR	60.7049	51.1367	46.3472	43.585	41.1318	38.2197	34.9999
File j3.pgm is of type PGM, is 252 x 348 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	43658.2	21786.9	10889.6	5.4145E+03	2667.05	1296.77	613.518
total dist	3215.04	41069	2.01E+05	6.23E+05	1.51E+06	3.37E+06	6.42E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.191471	0.684333	1.51435	2.66487	4.14718	6.19799	8.55914
PSNR	62.4887	51.4255	44.5263	39.6173	35.7757	32.2858	29.4822
File lena512.pgm is of type PGM, is 512 x 512 with max gray level 255							
อัตราส่วน	2 ต่อ 1	4 ต่อ 1	8 ต่อ 1	16 ต่อ 1	32 ต่อ 1	64 ต่อ 1	128 ต่อ 1
total rate	130192	65185.8	32697.2	1.63E+04	8123.07	4028.16	1968.69
total dist	58834.3	6.79E+05	1.87E+06	3.88E+06	7.53E+06	1.45E+07	2.49E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	0.473746	1.60935	2.66836	3.84756	5.35894	7.43846	9.74008
PSNR	54.6199	43.9978	39.6059	3.6427E+01	33.5492	30.7011	28.3596

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Antonini Wavelet Filter

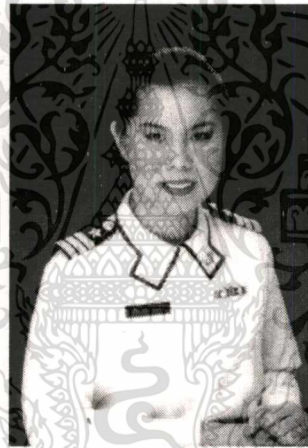


ภาพต้นฉบับ mid.pgm

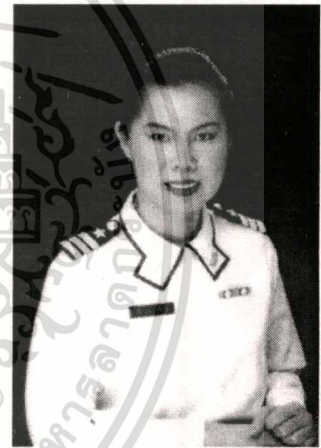
ลดขนาด 2 : 1



ลดขนาด 4 : 1



ลดขนาด 8 : 1



ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1



ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.27 ผลการ คืนกลับ mid.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Antonini Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ J3.pgm



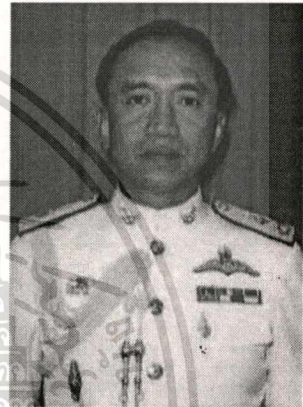
ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4 : 1



ลดขนาด 8 : 1



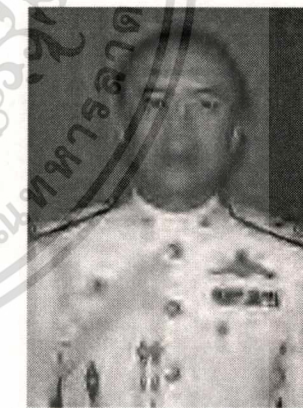
ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1



ลดขนาด 64 : 1

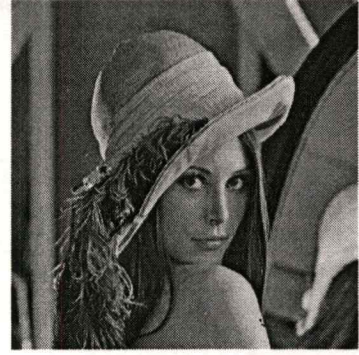


ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.28 ผลการ คืนกลับ j3.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล และคืนกลับภาพด้วย Antonini Wavelet Filter



ภาพต้นฉบับ Lenna512.pgm

ลดขนาด 2:1



ลดขนาด 4 : 1

ลดขนาด 8 : 1

ลดขนาด 16 : 1



ลดขนาด 32 : 1

ลดขนาด 64 : 1

ลดขนาด 128 : 1

รูปที่ 3.29 ผลการ คืนกลับ lena.pgm จากการประมวลผลด้วย Antonini Wavelet Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

4.1 หลักเกณฑ์การวิเคราะห์

ใช้เกณฑ์ Threshold RMS error และ PSNR^{*} ของ Dr. Geoff Davis, Dartmouth University

$$\text{Real rms} = \sqrt{\text{totalDist}/(\text{Real})\text{totalData}};$$

$$\text{Real psnr} = 20.0 * \log(255.0/\text{rms})/\log(10.0);$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเกณฑ์กลาง PSNR(dB) และ RMS error

อัตราการลดขนาดภาพ	PSNR(dB) ควรมากกว่า	RMS error ควรมีน้อยกว่า
4 : 1	43.71	1.66
8 : 1	39.42	2.73
16 : 1	36.18	3.96
32 : 1	33.17	5.60
64 : 1	30.22	7.86

- เอกสารอ้างอิง หมายเลข 1 Introduction to Document Image Processing Techniques, Ronald G. Mattesson, หน้า 240-242

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น, อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า เปรียบเทียบ ลดขนาด 4 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วย การแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบ ลดขนาด 4 ต่อ 1 เท่า RMS error < 1.66 PSNR >43.71						
File nid.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	89145.7	88974.8	87268.7	89000.1	88972.8	89242.4
total dist	232278	1.69E+05	189571	1.89E+05	177904	179348
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	0.805115	0.686199	0.727344	0.725588	0.704607	0.707461
PSNR	50.0136	51.4018	50.896	50.917	51.1719	51.1367
File j3.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	21832.7	21824.9	21756.6	21811.7	21847.7	21786.9
total dist	80434.3	3.91E+04	48909.9	43502.3	62662	41069
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	0.957703	0.667529	0.746807	0.704314	0.845303	0.684333
PSNR	48.5062	51.6414	50.6666	51.1755	49.5906	51.4255
File lena512.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	65460.7	65376.6	65460.2	65187	65336.3	65185.8
total dist	1.03E+06	6.27E+05	667114	7.14E+05	758949	6.79E+05
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	1.98278	1.54691	1.59525	1.65018	1.70152	1.60935
PSNR	42.1853	44.3415	44.0742	43.7802	43.5141	43.9978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบ ลดขนาด 8 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบ ลดขนาด 8 ต่อ 1 เท่า RMS error < 2.73 PSNR> 39.42

mid.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	44631.4	44372.3	44520.1	44596.8	44690.4	44290.1
total dist	8.12E+05	5.57E+05	5.69E+05	5.61E+05	598744	5.40E+05
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	1.50491	1.24628	1.26059	1.25176	1.29263	1.22794
PSNR	44.5806	46.2185	46.1194	46.1804	45.9013	46.3472

File j3.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	10897.5	10886.9	10890.2	10892.6	10890.5	10889.6
total dist	460852	2.07E+05	2.41E+05	2.00E+05	301238	2.01E+05
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	2.2924	1.53768	1.65638	1.5109	1.85338	1.51435
PSNR	40.925	44.3935	43.7476	44.5461	42.7715	44.5263

File lena512.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	32675.7	32630.5	32674.7	32675.3	32685.4	32697.2
total dist	3.68E+06	1.89E+06	2.06E+06	1.92E+06	2.22E+06	1.87E+06
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	3.74907	2.68796	2.80435	2.70563	2.90775	2.66836
PSNR	36.6523	39.5424	39.1742	39.4855	38.8597	39.6059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า เปรียบเทียบ ลคขนาด 16 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วย การแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบลดขนาดภาพที่ 16 ต่อ 1 เท่า $RMS\ error < 3.96$ $PSNR > 36.18$						
File nid.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	22311	22277.6	2.2241E+04	22264.7	22309.8	2.2327E+04
total dist	1.95E+06	1.12E+06	1.13E+06	1.06E+06	1.17E+06	1.02E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	2.3299	1.7656	1.77597	1.72076	1.80695	1.68768
PSNR	40.784	43.193	43.1421	43.4164	42.9919	43.585
File j3.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	5410.79	5408.45	5.4150E+03	5412.15	5411.29	5.4145E+03
total dist	1.56E+06	7.38E+05	7.45E+05	6.19E+05	923073	6.23E+05
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	4.22149	2.90061	2.91549	2.65576	3.24435	2.66487
PSNR	35.6215	38.881	38.8366	39.647	37.9082	39.6173
File lena512.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	16316.2	16315.4	1.6316E+04	16285.9	16307.5	1.63E+04
total dist	8.71E+06	4.10E+06	4.50E+06	3.85E+06	4.87E+06	3.88E+06
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	5.76465	3.95351	4.14393	3.83317	4.31231	3.84756
PSNR	32.9153	36.1911	35.7826	36.4596	35.4366	3.6427E+01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า เปรียบเทียบ ลดขนาด 32 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วย การแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบลดขนาดภาพที่ 32 ต่อ 1 เท่า RMS error < 5.60 PSNR > 33.17

File nid.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	11083.8	11125.6	11083.3	11116.1	11123.4	11123.2
total dist	4.83E+06	2.12E+06	2.10E+06	1.82E+06	2.34E+06	1.80E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	3.66949	2.4317	2.42237	2.25153	2.55617	2.23846
PSNR	36.8387	40.4126	40.446	41.0812	39.979	41.1318

File j3.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	2666.38	2673.7	2666.61	2666.42	2666.06	2667.05
total dist	3.65E+06	1.88E+06	1.91E+06	1.53E+06	2.44E+06	1.51E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	6.44878	4.63488	4.66927	4.17568	5.27006	4.14718
PSNR	31.9412	34.81	34.7458	35.7163	33.6945	35.7757

File lena512.pgm

Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	8111.57	8124.92	8106.19	8118.63	8101.31	8123.07
total dist	1.77E+07	8.69E+06	8.95E+06	7.24E+06	1.05E+07	7.53E+06
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	8.20831	5.75686	5.84171	5.2536	6.31965	5.35894
PSNR	29.8457	32.9271	32.8	33.7217	32.1169	33.5492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเปรียบเทียบ ลดขนาด 64 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบลดขนาดภาพที่ 64 ต่อ 1 เท่า RMS error < 7.86 PSNR > 30.22						
File nid.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	5519.11	5504.81	5534.25	5504.9	5512.91	5491.89
total dist	1.06E+07	4.31E+06	4.36E+06	3.42E+06	5.23E+06	3.51E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	5.44848	3.46891	3.4865	3.09042	3.82132	3.13007
PSNR	33.4053	37.3269	37.283	38.3305	36.4865	38.2197
File j3.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	1301	1301.54	1305.64	1297.11	1305.07	1296.77
total dist	6.82E+06	4.30E+06	3.98E+06	3.08E+06	5.47E+06	3.37E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	8.8182	7.0048	6.73945	5.93034	7.89743	6.19799
PSNR	29.2232	31.2229	31.5583	32.6692	30.1811	32.2858
File lena512.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	4023.36	4019.72	4024.91	4001.98	4022.46	4028.16
total dist	2.91E+07	1.83E+07	1.69E+07	1.29E+07	1.97E+07	1.45E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	10.5355	8.35013	8.03776	7.01332	8.67662	7.43846
PSNR	27.6777	29.6969	30.0281	31.2123	29.3638	30.7011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเปรียบเทียบ ทดขนาด 128 ต่อ 1 เมื่อลดขนาดภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต

Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, Antonini

เปรียบเทียบขนาดภาพที่ 128 ต่อ 1 เท่า						
File nid.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	2732.58	2720.38	2711.36	2697.94	2695.3	2734.7
total dist	2.20E+07	9.64E+06	9.40E+06	6.75E+06	1.23E+07	7.37E+06
total coeffs	358337	358337	358337	358337	358337	358337
RMS error	7.83158	5.18696	5.12229	4.33954	5.86099	4.53466
PSNR	30.2538	33.8325	33.9415	35.3819	32.7714	34.9999
File j3.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	610.76	614.015	612.854	618.818	619.675	613.518
total dist	1.18E+07	8.87E+06	7.74E+06	5.70E+06	9.88E+06	6.42E+06
total coeffs	87696	87696	87696	87696	87696	87696
RMS error	11.5838	10.0573	9.3931	8.06168	10.6166	8.55914
PSNR	26.8538	28.0811	28.6746	30.0023	27.6111	29.4822
File lena512.pgm						
Wavelet	Haar	Villa1810	Adelson	Odegard	Daubechies8	Antonini
total rate	1981.29	1959.57	1957.75	1965.49	1976.89	1968.69
total dist	4.84E+07	3.45E+07	2.99E+07	2.19E+07	3.41E+07	2.49E+07
total coeffs	262144	262144	262144	262144	262144	262144
RMS error	13.5899	11.4644	10.6869	9.14973	11.4007	9.74008
PSNR	25.4664	26.9437	27.5537	28.9026	26.9922	28.3596

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เปรียบเทียบการบีบอัดภาพด้วยอัตราส่วน 4 : 1, 8 : 1, 16 : 1, 32 : 1 64 : 1 และ 128 : 1

ผลการทดลอง Wavelet Function และเปรียบเทียบโดยสรุป

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลอง Wavelet Function ที่ให้ภาพคืนกลับดีที่สุดที่สุด แสดงค่า PSNR(dB)

อัตราการลดขนาดภาพ	ภาพ mid.pgm	ภาพ j3.pgm	ภาพ Lena512.pgm
4 : 1	Villa1810 51.40	Villa1810 51.64	Villa1810 44.34
8 : 1	Antonini 46.35	Odegard 40.55	Antonini 39.60
16 : 1	Antonini 43.59	Odegard 39.65	Odegard 36.46
32 : 1	Antonini 41.13	Antonini 35.78	Odegard 33.72
64 : 1	Odegard 38.33	Odegard 32.67	Odegard 31.21
128 : 1	Odegard 35.3819	-	-

4.3 สรุปผลการใช้ Wavelet Function ที่เหมาะสมที่สุดต่อการลดขนาดภาพใบหน้าบุคคล

จากผลการประมวล พบว่า Wavelet 3 ชนิด คือ Odegard, Antonini, และ Villa1810 ให้ภาพที่มีคุณภาพดี เมื่อผ่านขบวนการลดขนาดภาพ โดย นิยมลดขนาดภาพที่ 16 : 1 และ 32 : 1 แต่หากจำเป็นเมื่อต้องการลดขนาดลง สามารถทำได้ทั้ง 64 : 1 และ 128 : 1 ไม่นิยมใช้การลดขนาดที่ 2 : 1 (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 7) และสามารถ ใช้ 128 : 1 ได้ หากภาพมี Foreground และ Background เพียง 2 Tone เป็นส่วนมากของภาพ เช่น ภาพ ทหารหญิง ในเครื่องแบบเสื้อขาว

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการประมวลผล ลดขนาดภาพข้าราชการทหาร ในเครื่องแบบ gray scale 256 สี ด้วยการแปลงเวฟเล็ต 6 ชนิด ได้แก่ Haar, Villa1810, Adelson, Odegard, Daubechies8, และ Antonini Wavelet Function ทำการบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคล 3 ภาพ

nid.pgm ซึ่งเป็นภาพแทน ภาพข้าราชการทหารหญิงในเครื่องแบบ

J3.pgm ซึ่งเป็นภาพแทน ภาพข้าราชการทหารชายในเครื่องแบบ และ

Lena512.pgm ภาพมาตรฐานใช้เปรียบเทียบ การประมวลผลด้าน signal processing

ด้วย อัตราส่วนการลดขนาดภาพ 2 : 1, 4 : 1, 8 : 1, 16 : 1, 32 : 1, 64 : 1 และ 128 : 1 นั้น ปรากฏว่า Wavelet filter ที่เหมาะสมที่สุดในจำนวน 6 ชนิดกับการลดขนาดข้อมูลภาพข้าราชการทหารในเครื่องแบบ ที่อัตราส่วนการลดข้อมูล 4 : 1 คือ Villa1810 Wavelet filter

Wavelet filter ที่เหมาะสมกับการลดขนาดข้อมูลภาพข้าราชการทหารในเครื่องแบบ ที่อัตราส่วน 8 : 1, 16 : 1, 32 : 1 คือ Antonini Wavelet filter และ Odegard Wavelet filter

Wavelet filter ที่เหมาะสมกับการลดขนาดข้อมูลภาพข้าราชการทหารในเครื่องแบบ ที่อัตราส่วน 32 : 1 คือ Odegard Wavelet filter

การนำ Wavelet filter ชนิดใดไปใช้งานควรคำนึงถึงปริมาณที่ต้องใช้เก็บข้อมูลมากน้อย หรือขนาดเพิ่มข้อมูลภาพน้อยที่สุดที่ต้องส่งผ่านระบบเครือข่าย และระดับคุณภาพของภาพกลับคืนที่ต้องการใช้งาน ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้ Odegard Wavelet Filter ที่ขนาดการลดข้อมูล 32 ต่อ 1 เพื่อประหยัดเวลาในการประมวลผล และได้คุณภาพกลับคืนใกล้เคียงภาพต้นฉบับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้สามารถได้นำไปใช้ในระบบฐานข้อมูลเพิ่มประวัติกำลังพล ของกรมกำลังพลทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด และในระบบเชื่อมโยงเครือข่ายทหาร ผู้วิจัย คาดหวังว่า จะมีผู้พัฒนาต่อ ในเรื่อง ภาพสี RGB

บรรณานุกรม

- [1] Ronald G. Mattesson, "Introduction to document Image Processing Techniques" Page 240-242.
- [2] Olivier Rioul an Pierre Duhamel, "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.38, No.2, pp.569-586, March 1992.
- [3] Olivier Rioul, Martin Vetterli, "Wavelets and Signal Processing," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 14-28, October 1991.
- [4] Setephane G. Mallat," A theory for Multiresolution Signal Decomposition : the Wavelet Representation," *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Design*," Vol. 11, No. 7 pp. 674-693, 1993
- [5] Shie Qian and Dapang Chen "Joint Time Frequency Analysis", Prentice Hall.
- [6] Martin Vetterli and Cormac Herley," Wavelets and Filter Bangks : Theory and Design," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.40 No.9, 1992.
- [7] ชินภัทร นันทจิวากรชัย "การลดขนาดข้อมูลภาพโดยใช้เวฟเล็ททรานฟอร์ม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่รับการตีพิมพ์

1. ศิริวรรณ ภูเขาแก้ว, ดร.ชม กิมปาน, " การบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท " , วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 37 ปีที่ 13, หน้าที่ 94 - 105 , เมษายน - กรกฎาคม 2542 .





วิศวกรรมสาร มก.

เทคโนโลยีนานาชาติทางด้านสิ่งแวดล้อม WasteExpo'



กรรมวิธีการติดตามสายเส้นเพื่อการกำจัดสัญญาณรบกวนบนภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

Modelling of Distance Relays in EMTP

Future of Lignite Utilization in Thailand

การศึกษาสมบัติและปริมาณน้ำที่เกิดจากคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

การบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

การบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคล โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต (Human face Image Compression using Wavelets Transform)

ดร.ชม กัมปาน¹

น.ท.หญิง ศิริวรรณ ภูษานแก้ว²

บทคัดย่อ

การแปลงเวฟเล็ต เป็นเทคนิคใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณภาพการแปลงเวฟเล็ตเป็นการแตกสัญญาณเดิม ให้ไปอยู่ในเซตของฟังก์ชันมูลฐาน ซึ่งเกิดจากเวฟเล็ตต้นแบบตัวเดียวที่นำมาย่อ/ขยายขนาดและเลื่อนตำแหน่ง ทางเวลาเพื่อวิเคราะห์แต่ละส่วน ด้วยระดับความละเอียดต่าง ๆ กัน ในทางปฏิบัติ เราจะมองเวฟเล็ตว่าเป็นตัวกรองแบบหนึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบ การบีบอัดข้อมูล 32 เท่าของภาพใบหน้าบุคคล ชาย-ดำ โดยใช้ เวฟเล็ตต้นแบบ 4 แบบ ได้แก่ Antonini, Daubechies8, Haar, Villa1810 จากผลการทดลองปรากฏว่า Antonini เป็นเวฟเล็ตที่ให้ผลการบีบอัดข้อมูลภาพใบหน้าที่ดีที่สุด

Abstract

The Wavelet Transform (WT) is of interest for the analysis of Human image. WT can be viewed as a signal decomposition onto a set of basis functions. In fact, basis functions called wavelets always underlie the wavelet analysis. They are obtained from a single prototype wavelet by dilations and contractions (scaling) as well as shifts. The prototype (mother) wavelet can be thought of as a bandpass filter. This paper aims at to compress gray scale Human face images with ratio 32:1. By using four wavelet functions ; namely Antonini, Daubechies, Haar, and Villa1810, it was shown that an Antonini Wavelet filter is the best for Human Face Image Compression.

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

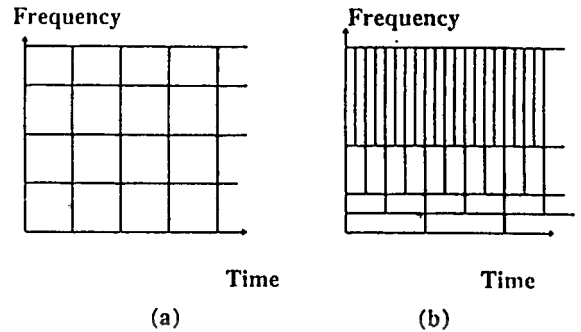
² นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. บทนำ

ปัจจุบัน Wavelet Transforms เป็นหัวข้อวิจัยที่นิยมมากในการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ และถูกมองว่าเป็นเทคนิคใหม่ อีกวิธีหนึ่งในการแสดงผลสัญญาณเพื่อวิเคราะห์เวลาความถี่จากการที่เทคนิคนี้สามารถกำหนดระดับคุณภาพของผลลัพธ์ได้จึงนับเป็นเครื่องมือที่ดีมากในการใช้ประโยชน์เข้ารหัสสัญญาณทั้งภาพและเสียงในบทความนี้นำเสนอทฤษฎีเบื้องต้นของ Wavelet การแปลง Wavelet แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transforms) และผลการบีบอัดข้อมูลการคืนกลับภาพใบหน้าบุคคล

2. ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory)

การแปลง Wavelet เป็นการพัฒนามาจาก STFT (Short Time Fourier Transforms) ที่ต่างกันคือ การแปลง Wavelet ใช้ window ที่ปรับขนาดได้ตามช่วงความถี่ (Frequency Range) แต่ STFT วิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ Fixed Window ในการประมวลผลตลอดทั้ง Plane (รูปที่ 1a) ในขณะที่ Wavelet มีการแปลงโดยมี window หลายขนาด มีวิธีการวิเคราะห์ที่รู้จักกันในชื่อ Constant-Q หรือ Constant Relative Bandwidth Analysis ซึ่งวิธีนี้ใช้ตัวกรองหลายระดับเพิ่มตามระดับเวลาโดยอิงจุดกลางของความถี่ center (รูปที่ 1b) จากการวิเคราะห์ window หลาย ๆ ขนาด เราทราบว่า ความละเอียดด้านความถี่จะดีขึ้นในช่วงความถี่ต่ำและความละเอียดด้านเวลาจะดีขึ้นในช่วงความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า Wavelet มีการวิเคราะห์จาก Time-Frequency Window ที่สามารถปรับตัวเองได้เป็น Narrow Window ที่จุดกลางของความถี่สูง และเป็น



(a) Short Time Fourier Transformation
(b) Wavelet Transformation

รูปที่ 1 การแปลง Short Time Fourier และ การแปลงเวฟเล็ต

Widen Window ที่จุดกลางของความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้ Window จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับจุดกลางของความถี่การแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของเวฟเล็ต ต้องสร้างเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน ที่เรียกว่า เวฟเล็ต (wavelets) ก่อนเพื่อใช้เป็นฟังก์ชันต้นแบบ หรือแม่แบบ (Mother Wavelet : $\Psi(t)$) Basis Function Form :

$$\Psi_{a,b}(t) = 1/\sqrt{|a|} \cdot \Psi((t-b)/a) \quad (1.1)$$

ทำการย่อ/ขยายมาตราส่วน (Scaling function) โดยให้ a คือ พารามิเตอร์ ย่อ/ขยาย และ b คือ พารามิเตอร์ เลื่อนตำแหน่งตามลำดับ เมื่อค่า a มีขนาดใหญ่ Basis Function จะเป็นต้นแบบใช้ในการขยายขนาด (Low Frequency) และเมื่อค่า a มีขนาดเล็ก Basis Function จะเป็นต้นแบบใช้ในการย่อขนาด (High Frequency) การขยาย (dilation) และการย่อ (Contraction) โดยกระทำกับแม่แบบในโดเมนเวลา จะต้องสัมพันธ์กับการทำ dilation และการทำ Contraction ในโดเมนความถี่ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (The Continuous Wavelet Transformation, CWT) ของสัญญาณ $x(t)$ หาได้จาก inner product ของ $x(t)$ และ

$\Psi_{a,b}(t)$ (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1)

$$W_c(a,b) = \int x(t)\Psi_{a,b}^*(t)dt \quad (1.2)$$

เมื่อ* คือ Complex conjugation ดังนั้น $\Psi_{a,b}$ เป็นอิสระในแนวตั้งฉาก (Orthogonal) สัญญาณเดิม (Original signal) จะสามารถถูกสร้างกลับคืน (Reconstructed) ได้ด้วยค่าความสัมพันธ์ผกผัน (Inverse Relationship) ดังนี้

$$x(t) = c \iint W_c(a,b)\Psi_{a,b}(t)da.db \quad (1.3)$$

เมื่อ c เป็นค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะ (constant of proportionality) จากการพัฒนา Wavelet Function, $\Psi(t)$ ไปสู่ Multiresolution Analysis จึงต้องใช้ฟังก์ชันมูลฐานเพิ่มขึ้นอีก คือ Scaling Function, $\phi(t)$

Scaling Function ใช้ในการแปลงสัญญาณจากละเอียดไปจนถึงหยาบซึ่งในทางปฏิบัติเราแทน Scaling Function ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filtering) ในขณะที่ Wavelet Function ทำหน้าที่คล้ายตัวกรองความถี่สูง (Highpass Filtering) ซึ่ง Scaling Function มีรูปแบบดังนี้

Scaling Function Form:

$$\phi_{a,b}(t) = 1/\sqrt{|a|} \cdot \phi((t-b)/a) \quad (1.4)$$

2.1 การย่อ/ขยาย ดันแบบ

โดยกำหนดให้มีขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discretization of dilation and Translation Parameters) การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง มีข้อเสีย 2 ประการ คือ ความซ้ำซ้อน (Redundancy) และปฏิบัติจริงได้ยาก (Impracticality) ปัญหาทั้งสองแก้ไขได้โดย การสุ่มพารามิเตอร์ สำหรับการย่อ/ขยาย และปรับตำแหน่ง (Dilation and Translation) แนวทางการแก้ปัญหา จึงนำไปสู่ Family of Wavelets และ

Scaling Function ที่มีพารามิเตอร์ขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discrete parameter)

ให้ $a = a_0^m$ และ $b = kb_0a_0^m$ หากค่า

$\Psi(t)$ และ $\phi(t)$ จากสมการที่ 1.1 และ 1.4 ได้ว่า

$$\Psi_{mk}(t) = a_0^{-m/2}\Psi(a_0^{-m}t-kb_0), \quad (1.5)$$

$$\phi_{mk}(t) = a_0^{-m/2}\phi(a_0^{-m}t-kb_0), \quad (1.6)$$

เมื่อ m,k เป็นเลขจำนวนเต็มและ ... มากกว่า 1 และ b_0 ไม่เท่ากับ 0

แทนค่าสมการ 1.5 ด้วยสมการ 1.2 ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตแบบเจาะจง ค่า (Wavelet Coefficients in Discrete Form) (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2):

$$W_d(m,k) = a_0^{-m/2} \int x(t)\Psi(a_0^{-m}t-kb_0)dt \quad (1.7)$$

เราจะเลือก Wavelet Family ที่สามารถสร้างสัญญาณเดิมกลับคืนได้อย่างถูกต้อง (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Wavelet Family ต้องสามารถสร้าง Orthonormal basis ใน $L^2(\mathbb{R})$ ได้ นั่นคือต้องมีลักษณะ ดังนี้

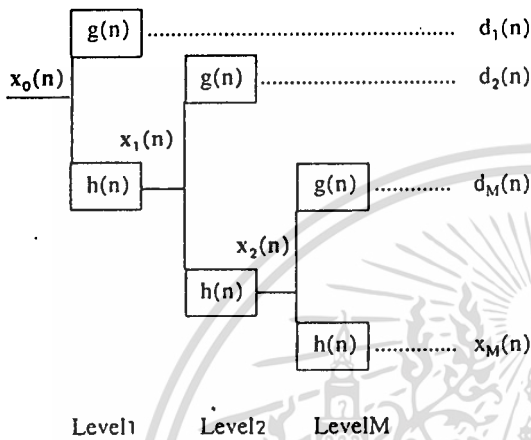
$$\int \Psi_{mk}(t)\Psi_{m'k'}^*(t)dt = 1 \text{ เมื่อ } m=m', k=k' \text{ หรือ } = 0, \text{ กรณีอื่น ๆ} \quad (1.8)$$

Orthonormality Condition ใช้พารามิเตอร์ $a_0=2$ และ $b_0=1$ ซึ่งหมายถึงฟังก์ชันมูลฐานจะเป็น dyadic scale (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3)

2.2 การวิเคราะห์ระดับความละเอียดของสัญญาณแบบหลายระดับ (Multiresolution Analysis)

แนวคิดนี้ถูกนำเสนอโดย Mallat (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 4) ซึ่งเป็นผู้ศึกษาวิธีการสร้าง Orthonormal Wavelets จากสมมุติฐานว่า Original Signal $x(t)$ สามารถวัดค่าได้และมีพลังงานจำกัด (Finite Energy) โดยการแยกสัญญาณ $x(t)$ ในแต่ละระดับออกเป็น 2 ส่วน

คือ ค่าโดยประมาณส่วนหนึ่ง และสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ทอีกส่วนหนึ่ง โดยการทำ Convolution $x(t)$ ด้วย Wavelet Filters และ Scaling Filters การวิเคราะห์ความละเอียดแบบหลายระดับ (Multiresolution Analysis)



รูปที่ 2 Pyramid Decomposition Algorithm DWT

ซึ่งประกอบด้วย set ของพื้นที่ปริภูมิย่อยปิด (Closed Subspaces) $\{v_m | 0 \leq m \leq M\} \in L^2(\mathbb{R})$ ที่เราแสดงระดับความละเอียด (Resolution Level) ของสัญญาณเดิม ที่ $m=0$ และระดับความละเอียดต่ำสุดที่ $m=M$ (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2)

2.3 ปริภูมิย่อย (Subspaces)

มีคุณสมบัติร่วมกันคือ

1. Causality (เหตุกภาพ) : ปริภูมิเวกเตอร์ V_{m+1} ที่ความละเอียดระดับ $m+1$ เป็นเซตย่อยของปริภูมิเวกเตอร์ V_m ที่ความละเอียดในระดับ m

หมายความว่า $V_{m+1} \subset V_m \subset V_{m-1} \subset \dots$ ละเอียดดีขึ้น

2. Completeness (ความสมบูรณ์) : ปริภูมิเวกเตอร์ต้องเป็นจริงตามเงื่อนไข

$$\cup V_m = L^2(\mathbb{R}) \rightarrow \cap V_m = \{0\}$$

3. Scaling (ย่อและขยาย): ปริภูมิของสัญญาณโดยประมาณสามารถคำนวณได้โดยการ Scaling แต่ละสัญญาณโดยประมาณ ด้วยสัดส่วนของค่าความละเอียดทั้ง 2 ระดับ นั่นคือ ถ้า $x(t) \in V_m$ แล้วจะได้ว่า $x(2t) \in V_{m-1}$

4. Orthogonality (อิสระต่อกัน):

$V_{m-1} = V_m \oplus W_m$ เมื่อ W_m คือ Complement ของ V_m ใน V_{m-1} นั่นคือ $V_m \perp W_m$ หรืออีกนัยหนึ่ง V_{m-1} มีค่าเท่ากับ V_m รวมกับรายความละเอียดเพิ่มเติมอีกส่วนหนึ่ง สมัยกับ W_m ด้วยคุณสมบัติ Orthogonality และ Causality สามารถนำ W_m ซึ่ง Span set $L^2(\mathbb{R})$ มารวมเข้าด้วยกันได้โดยตรง (Direct sum) ดังนั้น

$$V_m = W_{m+1} \oplus W_{m+2} \oplus W_{m+3} \oplus \dots \quad (1.9)$$

เราสามารถให้ความสัมพันธ์ของ Scaling Function, $\phi(t)$ กับ V_m และ Wavelet Function $\psi(t)$ กับ W_m จึงสามารถเขียน $\phi(t)$ ได้ว่า:

$$\phi(t) = 2 \sum_n h(n) \phi(2t-n) \quad (1.10)$$

โดยวิธีเดียวกันสามารถเขียน $\psi(t)$ ได้ว่า:

$$\psi(t) = 2 \sum_n g(n) \psi(2t-n) \quad (1.11)$$

เมื่อชุดของค่าสัมประสิทธิ์ $h(n)$ เป็นผลตอบสนองของหน่วย impulse ของ Lowpass filter ในขณะที่ $g(n)$ เป็นผลตอบสนองของหน่วย impulse ของ highpass filter ซึ่งชุดของสัมประสิทธิ์ $g(n)$ หาได้จาก $h(n)$ ดังนี้

$$g(n) = (-1)^n h(1-n) \quad (1.12)$$

ตัวกรอง (Filter) ทั้ง $h(n)$ และ $g(n)$ ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอนจึงจะสามารถคืนสภาพกลับได้อย่างสมบูรณ์ (Perfect Reconstruction) ดังนี้:

$$\sum_n h(n) = 1 \quad (1.13)$$

$$\sum_n h^2(n) = 1/2 \quad (1.14)$$

$$2 \sum_n h(n-2m)h(n-2k) = \delta(m-k) \quad (1.15)$$

$$\sum_n g(n) = 0 \quad (1.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไข Orthogonality, $h(n)$ และ $g(n)$ ทั้ง 2 ตัวก็จะเป็นไปตามสมการ

$$2\sum_n [h(m-2n)h(k-2n)+g(m-2n)g(k-2n)] = \delta(m-k) \quad (1.17)$$

$$\sum_n h(n-2k)g(n-2m) = 0 \quad (1.18)$$

สมการทั้งหมดตั้งแต่สมการ 1.10 จนถึงสมการ 1.18 จะอธิบายคุณสมบัติสำคัญของฟังก์ชันเหล่านี้

3. การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transforms (DWT))

การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องถูกพัฒนามาใช้กับสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Signal) ประกอบด้วยลำดับ ของ $h(n)$ และ $g(n)$ ที่มีค่าพารามิเตอร์ของ Dilation และ Translation โดยสุ่มสัญญาณ มาเป็นช่วงเวลา

3.1 One - Dimentional DWT

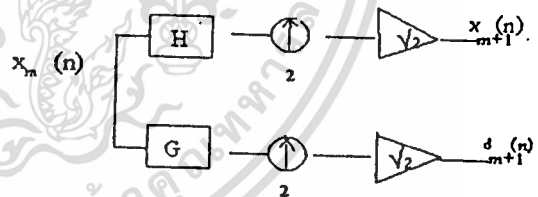
ค่าโดยประมาณของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความละเอียดลดลงครั้งหนึ่ง ทำได้โดยนำสัญญาณ $x(n)$ มา Convolve ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) แล้วสุ่มตัวอย่างสัญญาณเว้นสัญญาณ (Decimation) เพื่อลดขนาดข้อมูลลงครั้งหนึ่งวิธีนี้เป็นการแตกสัญญาณเดิมแบบพื้นฐาน ซึ่งมีผลให้สัญญาณมีความละเอียดลดลง ซึ่งสามารถใช้ประมวลผลคุณภาพแบบพีรามิดได้ ในขณะที่เดียวกันก็ Convolve ลำดับสัญญาณ ในแต่ละชั้นพีรามิดด้วย ตัวกรองความถี่สูง (Highpass Filter) เมื่อผ่านการประมวลผล ก็จะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท

ขั้นตอนการแตกสัญญาณแบบพีรามิด

1. Convolution ด้วยตัวกรอง $h(n)$ หรือ $g(n)$

2. สุ่มตัวอย่างทีละลำดับ เว้นลำดับ
3. ทำ Normalization ด้วย $\sqrt{2}$

แต่ละบล็อกจะแยกออกโดยการ Convolve ด้วย Highpass Filter และ Lowpass Filter เลื่อนไปที่ละ 2 ตำแหน่ง จะได้ข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ผ่าน Highpass Filter (G) คือรายละเอียดของข้อมูลที่ resolution นั้น อีกส่วนที่ผ่าน Lowpass Filter (H) คือข้อมูลหยาบใน ระดับ resolution นั้น ซึ่งข้อมูลหยาบนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ใน ระดับ resolution ถัดไป โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ไปจนถึงระดับที่ 3 ของความละเอียด (level 3 resolution) ทั้งนี้สามารถ คืนสภาพกลับ (Reconstruction) ได้ทุกขั้นตอน เพราะเราเก็บค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทและสัมประสิทธิ์ของค่าโดยประมาณของระดับต่ำสุด (M) ไว้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า DWT ของ $x(n)$ ประกอบด้วยชุดของค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient set): $x_m, d_m; m=1, \dots, M$



รูปที่ 3 One-Step Decomposition Algorithm

3.1.1 การแยกสัญญาณ (Decomposition)

กำหนดให้ลำดับสัญญาณแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง $x(n) \in L^2(\mathbb{R})$ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณจากการคำนวณเวียนเกิดซ้ำ (Computed Recursively)

$$x_{m+1}(n) = \sqrt{2} \sum_k h(k-2n)x_m(k); m=0, 1, \dots, M-1 \quad (1.19)$$

เมื่อ $x_m(n)$ เป็นสัญญาณที่ได้จากระดับความละเอียดที่ m ; โดยที่ $x_0(n)$ เป็นสัญญาณเดิม ซึ่งได้ผลเท่ากับการทำการกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filtering) ของ $x_m(n)$ แล้วสุ่มสัญญาณตัวอย่างทีละตัวเว้นตัวเอามาใช้เพื่อลดขนาดข้อมูลลงครึ่งหนึ่งและสามารถเลือกคุณภาพของภาพเมื่อคืนสัญญาณกลับได้แบบปิรามิด โดยเลือกใช้ตัวกรองแบบ FIR (Finite Impulse Response) ของ $h(n)$ การกรองตามสมการ (1.19) สามารถแทนได้ด้วย matrix vector product:

$$x_{m+1} = \sqrt{2} H x_m \quad (1.20)$$

เมื่อ H มีค่าเท่ากับ

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \\ h(L-1) & h(L-2) & \dots & \dots & h(0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h(L-1) & \dots & \dots & h(2) & h(1) & h(0) \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

และ $x_m = [\dots x_m(-1), x_m(0), x_m(1) \dots]^T$

Matrix H เป็นไปตามเงื่อนไข (ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 5)

$$2HH^T = I \quad (1.22)$$

เมื่อ I คือ Identity Matrix และ $[.]^T$ คือ (Transposition Operation) สังเกตว่า สมการ 1.22 และ 1.14 จะคล้ายกันการใช้อัลกอริทึมเดียวกันกับตัวกรองเวฟเล็ตได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในระดับความละเอียด ที่ต่ำกว่าอีกระดับหนึ่ง

$$d_{m+1}(n) = \sqrt{2} \sum_k g(k-2n)x_m(k) \quad (1.23)$$

เมื่อชุดสัมประสิทธิ์ $g(n)$ กำหนดจากสมการ 1.12 ถ้าเราสร้าง matrix G ในทำนองเดียวกันกับสมการ 1.21 จะได้ว่า

$$2GG^T = I \quad (1.24)$$

$$\text{และได้ } HG^T = 0 \quad (1.25)$$

เหมือนตามสมการที่ 1.18

3.1.2 การคืนกลับสัญญาณเดิม (Reconstruction)

จากคุณสมบัติของปริภูมิย่อย(subspaces) ที่ใช้แทนสัญญาณนั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m$$

จึงสามารถนำมาประยุกต์เพื่อคืนกลับเป็นสัญญาณแต่ละระดับที่สูงกว่าได้โดยทำ Projection จากปริภูมิย่อยอิสระต่อกัน ของระดับปัจจุบัน Projections ของแต่ละสัญญาณลงบน V_m และ W_m หาได้โดย

$$\bar{x}_m = 2H^T H x_m \text{ and } \bar{d}_m = 2G^T G x_m \quad (1.26)$$

จากสมการ 1.9 และ 1.25 Projection เป็น Orthonormal และ Span ปริภูมิย่อยอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจากสมการ 1.26 และความสัมพันธ์

$$x_m = \bar{x}_m + \bar{d}_m \text{ จะได้ว่า } 2[H^T H + G^T G] = I \quad (1.27)$$

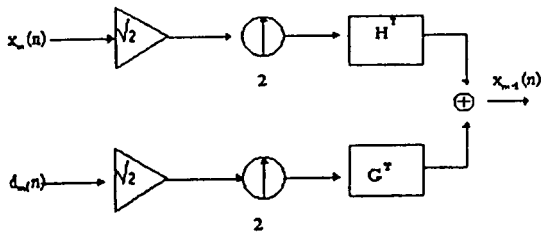
จึงได้อัลกอริทึมการคืนกลับสัญญาณได้ตามรูปดังนี้:

$$x_{m-1}(n) = \sqrt{2} \sum_k [h(n-2k)x_m(k) + g(n-2k)d_m(k)] \quad (1.28)$$

พิสูจน์สูตร (1.28) โดยแทนค่าสมการ 1.19 และ 1.23 ในสมการ 1.28 และนำเอาสมการ 1.17 มาพิจารณาด้วยโดยพิสูจน์ จากทางขวาของสมการ 1.28

$$\begin{aligned} x_{m-1}(n) &= \sqrt{2} \sum_k [h(n-2k)x_m(k) + g(n-2k)d_m(k)] \\ &= \sqrt{2} \sum_k \{h(n-2k)[\sqrt{2} \sum_j h(j-2k)x_{m-1}(j)] + g(n-2k)[\sqrt{2} \sum_j g(j-2k)x_{m-1}(j)]\} \\ &= 2 \sum_k \sum_j [h(n-2k)h(j-2k) + g(n-2k)g(j-2k)] x_{m-1}(j) \\ &= x_{m-1}(n) \end{aligned}$$

ช.ต.พ.



รูปที่ 4 One-Step Reconstruction Algorithm

3.2 Two Dimension DWT

ให้ V_m^1 เป็น Set of subsequence ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข Multiresolution จะได้ Vector space V_m เป็น tensor product ของ subspace V_m^1 ใน $L^2(\mathbb{R})^2$

$$V_m = V_m^1 \otimes V_m^1 \quad (2.1)$$

เราสามารถจะสร้าง Scaling Function 2 มิติ ได้ดังนี้

$$\Phi(t_1, t_2) = \phi(t_1)\phi(t_2) \quad (2.2)$$

และ Wavelet functions 2 มิติ ได้เป็น

$$\Psi^1(t_1, t_2) = \phi(t_1)\psi(t_2) \quad (2.3)$$

$$\Psi^2(t_1, t_2) = \psi(t_1)\phi(t_2) \quad (2.4)$$

$$\Psi^3(t_1, t_2) = \psi(t_1)\psi(t_2) \quad (2.5)$$

ฟังก์ชันทั้ง 4 นี้ เป็น Orthogonal ซึ่งกันและกัน

ตาราง สรุปฟังก์ชันมูลฐาน 2 มิติ, สัมประสิทธิ์ และคุณลักษณะเฉพาะทางความถี่

ฟังก์ชันมูลฐาน	สัมประสิทธิ์	คุณลักษณะเฉพาะทางความถี่
$\Phi(t_1, t_2)$	$X_m(n_1, n_2)$	Vertical Lowpass (Subband 1) Horizontal Lowpass
$\Psi^1(t_1, t_2)$	$d_m^1(n_1, n_2)$	Vertical Highpass (Subband 2) Horizontal Lowpass
$\Psi^2(t_1, t_2)$	$d_m^2(n_1, n_2)$	Vertical Lowpass (Subband 3) Horizontal Highpass
$\Psi^3(t_1, t_2)$	$d_m^3(n_1, n_2)$	Vertical Highpass (Subband 4) Horizontal Highpass

3.2.1 การกระจายฟังก์ชัน (Decomposition)

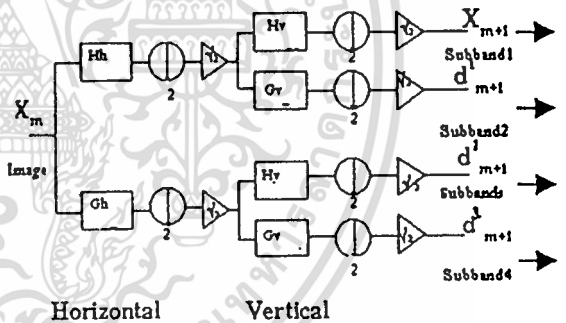
หาค่าโดยประมาณของ $x_m(n_1, n_2)$ และค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต $d_m^i(n_1, n_2), i = 1, 2, 3$ โดยการประสานสัญญาณของค่าโดยประมาณที่ระดับสูงกว่าด้วย Scaling Filter และ Wavelet Filter ทั้งทาง Horizontal และ Vertical ดังนี้

$$x_{m+1}(n_1, n_2) = 2 \sum_k \sum_l X_m(k, l) h_n (1-2n_2) h_v(k-2n_1) \quad (2.6)$$

$$d_{m+1}^1(n_1, n_2) = 2 \sum_k \sum_l X_m(k, l) h_n (1-2n_2) g_v(k-2n_1) \quad (2.7)$$

$$d_{m+1}^2(n_1, n_2) = 2 \sum_k \sum_l X_m(k, l) g_n (1-2n_2) h_v(k-2n_1) \quad (2.8)$$

$$d_{m+1}^3(n_1, n_2) = 2 \sum_k \sum_l X_m(k, l) g_n (1-2n_2) g_v(k-2n_1) \quad (2.9)$$

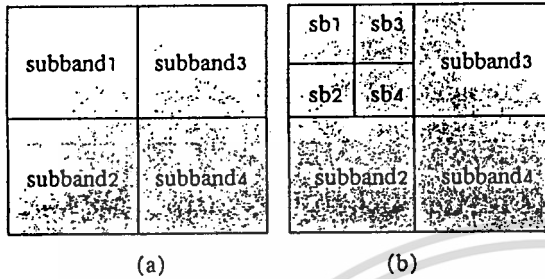


รูปที่ 5 ภาพการกระจาย 2 มิติ

ขั้นตอน การกระจายแบบ 2 มิติ

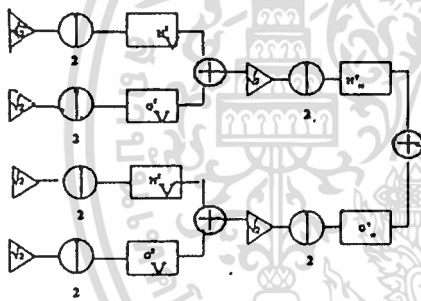
ทำการกระจายแบบ 1 มิติ 2 ระดับ การกระจายครั้งแรก โดยทำการประสานสัญญาณกับตัวกรองมูลฐานในแนว Horizontal (ตามแนวนอนของภาพ) และการกระจายครั้งที่ 2 โดยทำการประสานสัญญาณกับตัวกรองมูลฐานในแนว Vertical (ตามแนวตั้งของภาพ) หลังจากนั้นนำภาพ ผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ตแล้ว ภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนเรียกว่า

subband เก็บค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่เป็นผลลัพธ์จากการ Convolve ด้วย Lowpass Filter และ Highpass Filter ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6

- (a) แสดง subband ผ่านการแปลงเวฟเล็กระดับที่ 1
- (b) แสดง subband หลังการแปลงเวฟเล็กระดับที่ 2



รูปที่ 7 ขั้นตอนการคืนกลับภาพ

3.2.2 การสร้างภาพกลับคืน (Reconstruction)

อัลกอริทึมในการสร้างภาพกลับคืนด้วยการคูณเมทริกซ์ในแนวนอนและแนวตั้งเช่นเดียวกับการกระจายฟังก์ชัน

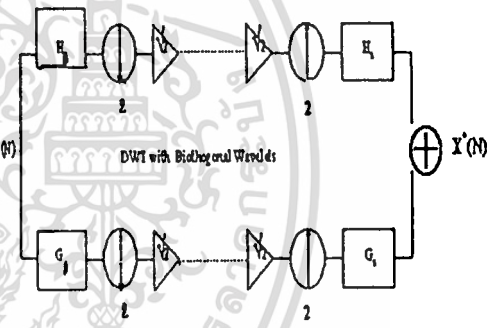
$$2[H_v^T H_v^T H_h H_v + G_v^T H_v^T H_h G_v + H_v^T G_v^T H_h H_v + G_v^T G_v^T H_h G_v] = I \tag{2.10}$$

อัลกอริทึมในการสร้างภาพกลับคืนตามสมการ 2.6 สามารถแสดงได้ด้วยรูปแบบของเมทริกซ์ ดังนี้

$$X_m = 2H_v^T H_v^T X_{m+1} + 2G_v^T H_v^T d_{m+1}^1 + 2H_v^T G_v^T d_{m+1}^2 + 2G_v^T G_v^T d_{m+1}^3 \tag{2.11}$$

4. Biorthogonal Wavelets

การใช้ตัวกรองขนาดสั้นจะช่วยทำให้ได้ผลลัพธ์จากการคำนวณรวดเร็วขึ้น แต่ถ้าตัวกรองสั้นเกินไปจะทำให้ได้สัญญาณไม่เพียงพอสำหรับวิเคราะห์สัญญาณภาพ เราจึงมักใช้ตัวกรองเฟสเชิงเส้น ซึ่งเป็นตัวกรองอยู่ในกลุ่มฟังก์ชันพิเศษ เรียกว่า Biorthogonal bases สำหรับ Biorthogonal ตัวกรองที่ใช้ในการแยกสัญญาณเพื่อทำการวิเคราะห์ จะเป็นคนละชุดกับตัวกรองที่ใช้ในการคืนภาพ ในขั้นการสังเคราะห์รูปที่ 8 แสดงการแยกและการรวมสัญญาณสำหรับ 1 ขั้นตอน



รูปที่ 8 DWT with Biorthogonal Wavelet Matrix format

$$H_0 G_1 = G_0 H_1 = 0 \tag{2.12}$$

$$2H_0 H_1 = 2G_0 G_1 = I \tag{2.13}$$

$h_0(n)$ เป็นตัวกรองสเกลลิงเพื่อการวิเคราะห์

$h_1(n)$ เป็นตัวกรองสเกลลิงเพื่อการสังเคราะห์จะได้ตัวกรองเวฟเล็ท

$$G_0(n) = (-1)^n h_1(1-n) \tag{2.14}$$

$$G_1(n) = (-1)^n h_0(i-n) \tag{2.15}$$

สำหรับเงื่อนไขการคืนสภาพสัญญาณที่สมบูรณ์ใน Biorthogonal Bases คือ

$$2[H_1 H_0 + G_1 G_0] = I \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองบีตอัดข้อมูลภาพใบหน้าบุคคลในอัตราส่วน 32:1 โดยใช้ Wavelet Function 4 ชนิด คือ Antonini, Daubechies8,

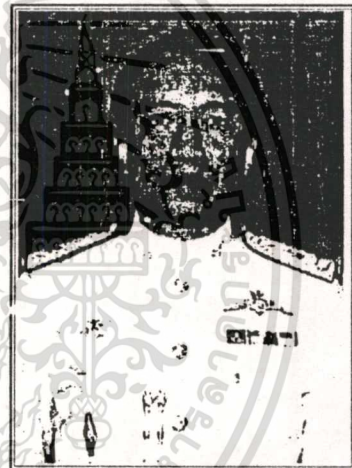
Haar และ Villa1810 ได้ผลปรากฏตามตารางค่า Filter Scaling Parameter $h(n)$ ดูได้จากผนวก 7. แนบท้าย ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า Wavelet $g(n)$ ได้จาก สมการที่ 1.12

$$g(n) = (-1)^n h(1-n) \quad (1.12)$$

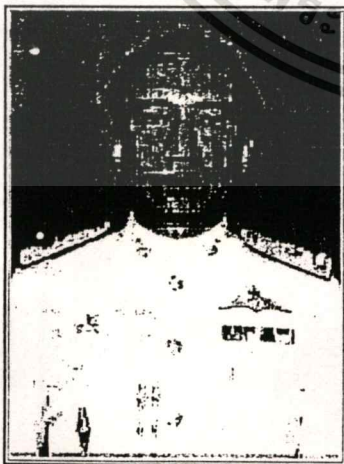
ผลการทดลอง/Wavelet Filter	Haar	Daubechies8	Antonini	Villa1810
Total rate	2666.38	2666.06	2667.05	2673.7
Total distortion	3.65E+06	2.44E+06	1.51E+06	1.88E+06
Total coefficients	87696	87696	87696	87696
RMS error	6.44878	5.27006	4.14718	4.63488
PSNR (transform domain)	31.9412	33.6945	35.7757	34.81



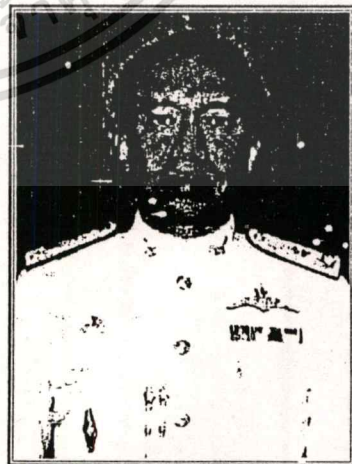
รูปที่ 9 ภาพต้นฉบับ



รูปที่ 9.1 ภาพที่ใช้ Daubechies8



รูปที่ 9.2 ภาพที่ใช้ Haar



รูปที่ 9.3 ภาพที่ใช้ Antcnini

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.4 ภาพที่ใช้ Villa1810

6. บทสรุป

เราสามารถนำเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตมาใช้วิเคราะห์ และสังเคราะห์สัญญาณได้ ทุกประเภท โดยการเลือกใช้ฟังก์ชันมูลฐานที่เหมาะสม จากการที่ Wavelet Transform สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบ Multiresolution เราจึงสามารถแยกข้อมูลออกได้เป็นส่วน ๆ ตามความต้องการ โดยที่ความถี่สูงควรพิจารณาที่ระดับความละเอียด (Resolution) สูงกว่าที่ความถี่ต่ำ โดยช่วงพิจารณาที่ความถี่สูงก็จะกว้างกว่าที่ความถี่ต่ำคุณสมบัตินี้จึงทำให้ Wavelet Transform เหมาะสมกับงานประมวลผลข้อมูลที่ไม่ต้องการรายละเอียดที่ความถี่สูง จากการทดลองใช้ Wavelet Function 4 ชนิด จะเห็นได้ว่า Antonini Wavelet เป็น function ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพจาก Filter Parameter 4 แบบ เพราะว่า Antonini Wavelet ให้ค่า Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) สูงสุด (35.77) โดยมี Vanishing Moment ของ parameter เพียง 7 และ 9 ตัวเท่านั้น การ

ลดขนาดข้อมูล 32 เท่า แล้วสามารถสร้างภาพกลับคืนได้ใกล้เคียงภาพเดิม ส่วนประกอบสำคัญของใบหน้า เช่น ขอบตา ขอบใบหน้า ทรงผม เราเก็บค่าด้วย Highpass Filter, $g(n)$ สำหรับส่วนอื่น ๆ ของใบหน้า มักเป็นสีพื้น มีระดับของ Gray Level ใกล้เคียงกัน เราได้เก็บด้วย Lowpass Filter, $h(n)$

7. **ผนวกแสดงค่า Filter Scaling Function $h(n)$ ที่ใช้ในการทดลองเรคานำพหุนหาค่า $g(n)$ ได้จาก $g(n) = (-1)^n h(1-n)$ ค่า $h(n)$ ทั้ง 4 แบบ เรียงตามลำดับดังนี้**

1. Haar

Real HaarCoeffs [] = {1.0/Sqrt2,1.0/Sqrt2};

2. Daubechies8

Real Daub8Coeffs [] =

$h_1 = 0.2303778133088964,$
 $h_2 = 0.7148465705529154,$
 $h_3 = 0.6308807679398587,$
 $h_4 = -0.0279837694168599,$
 $h_5 = -0.1870348117190931,$
 $h_6 = 0.0308413818355607,$
 $h_7 = 0.0328830116668852,$
 $h_8 = -0.0105974017850690$

3. Antonini

7/9 Filter from M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform", IEEE Transactions on Image; Processing", Vol. pp. 205-220, 1992.

AntoniniSynthesis[] =

{-6.453888262893856e-02,
-4.068941760955867e-02,
4.180922732222124e-01,
7.884856164056651e-01,

4.180922732222124e-01,
 -4.068941760955867e-02,
 -6.453888262893856e-02 };

AntoniniAnalysis[] =
 { 3.782845550699535e-02,
 -2.384946501937986e-02,
 -1.106244044184226e-01,
 3.774028556126536e-01,
 8.526986790094022e-01,
 3.774028556126537e-01,
 -1.106244044184226e-01,
 -2.384946501937986e-02,
 3.782845550699535e-02 };

4. Villa1810

//Unpublished 18/10 filter from
 Villasenor's group Villa1810Synthesis [] =
 { 9.544158682436510e-04,
 -2.727196296995984e-06,
 -9.452462998353147e-03,
 -2.528037293949898e-03,
 3.083373438534281e-02,
 -1.376513483818621e-02,
 -8.566118833165798e-02,
 1.633685405569902e-01,
 6.233596410344172e-01,
 6.233596410344158e-01,
 1.633685405569888e-01,
 -8.566118833165885e-02,
 -1.376513483818652e-02,
 3.083373438534267e-02,
 -2.528037293949898e-03,
 -9.452462998353147e-03,
 -2.727196296995984e-06,
 9.544158682436510e-04 };l

Villa1810Analysis[] =
 { 2.885256501123136e-02,
 .244478227504624e-05,
 -1.575264469076351e-01,
 7.679048884691438e-02,
 7.589077294537618e-01,
 7.589077294537619e-01,
 7.679048884691436e-02,
 -1.575264469076351e-01,
 8.244478227504624e-05,
 2.885256501123136e-02 };

8. ผนวกแสดงการคำนวณหาค่าผลลัพธ์

Total rate คือ อัตราการส่งข้อมูลที่ต้องการ เช่น ขนาดข้อมูล 87696 bytes ต้องการ compress 32 เท่า จะได้ค่า

Total rate = 87696/32 = 2740.5 bytes

Total distortion คือ ค่าผิดพลาดรวมทั้งหมดของทั้งภาพ

Total coefficient คือ ขนาดของข้อมูลภาพ

RMS error =

$\sqrt{\text{Total distortion/Total coefficient}}$

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)

PSNR = 20 log (255/RMS)dB

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Olivier Rioul and Pierre Duhamel, "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms," IEEE Transactions on Information Theory, Vol.38, No.2,pp.569-586, March 1992
 [2] Ali N. Akansu and Richard A. Haddad, Multiresolution Signal Decomposi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาวาอากาศโทหญิง ศิริวรรณ ญาแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด	21 กรกฎาคม 2498
การศึกษา	ศิลปศาสตรบัณฑิต (ภาษาอังกฤษ) มหาวิทยาลัยรามคำแหง English Instructor course Advanced, Defence Language Institute , Lackland Air Force Base, San Antonio, Texas, U.S.A. Branch Automation Officer / Communication in Battlefield, Computer Science School, Fort Gordon, Augusta, Georgia, U.S.A. Personnel Servey Team at the Personnel command controls, Army, Air Force, Navy, Washington D.C., U.S.A. Command Control Communication System, Software Engineering, Mc Lean, Verginia, U.S.A. Y2K coding fixed, Pheonix, Arizona, U.S.A.
ตำแหน่งปัจจุบัน	หัวหน้าแผนกกรรมวิธีข้อมูล กองกลาง กรมกำลังพลทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด