สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

IMAGE COMPRESSION USING WAVELET TRANSFORM

T 046460

โดย

นายธีรภัทร เผือกแก้ว

นายธีรภัทร์ ปัญญาคำ

นางสาวนวลพรรณ ทรงจิตรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46460
วัน, เดือน, ปี - 2 มิ.ย. 2546
.b.....
.....

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

IMAGE COMPRESSION USING WAVELET TRANSFORM

โดย

นายธีรภัทร เผือกแก้ว 41014190

นายธีรภัทร์ ปัญญาคำ 41014191

นางสาวนวลพรรณ ทรงจิตรัตน์ 41014215

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต**

Image compression using wavelet transform

ผู้จัดทำ

1. นายธีรภัทร เผือกแก้ว 41014190

2. นายธีรภัทร์ ปัญญาคำ 41014191

3. นางสาวนวลพรรณ ทรงจิตรัตน์ 41014215

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

Image compression using wavelet transform

โดย นายธีรภัทร เผือกแก้ว 41014190
นายธีรภัทร์ ปัญญาคำ 41014191
นางสาวนวลพรรณ ทรงจิตรัตน์ 41014215

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรูปภาพดิจิตอลได้เป็นข้อมูลที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในโลกของการสื่อสารข้อมูลดิจิตอล ไม่ว่าจะเป็นอินเตอร์เน็ทบนเครื่องคอมพิวเตอร์หรือแม้แต่บนเครื่องโทรศัพท์มือถือ ดังนั้นการสื่อสารข้อมูลรูปภาพดิจิตอลที่ดีควรมีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลได้รวดเร็วและสามารถจัดเก็บข้อมูลรูปภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดความสนใจในการปรับปรุงวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยให้มีการสูญเสียความคมชัดของภาพน้อยที่สุด

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งเป็นเทคนิควิธีการหนึ่งในการบีบอัดข้อมูลรูปภาพที่เป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน

ABSTRACT

Today digital images are very popular and widespread used in the digital data communication such as Internet on computer or even on mobile phone. So digital image communication should be able to be transmitted in a fast speed and be stored efficiently. As a result, there is renewed interest in improving algorithms for the compression of image data without losing much of the image quality.

This project presents wavelet transform which is a very popular method to compress data nowadays.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	**3**
2.1 ข้อมูลภาพ	3
2.2 ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต	4
2.2.1 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ต	4
2.2.2 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด	6
2.3 การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์	9
2.4 การแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์	11
2.5 การแปลงเวฟเล็ตในลักษณะ 2 มิติ	12
2.5.1 การแปลงโดยใช้ฮาร์เวฟเล็ต	16
2.5.2 การแปลงโดยใช้ดาบีชีเวฟเล็ต	17
2.6 การเข้ารหัสโดยใช้เวฟเล็ตซีโร่ทรี	18
2.6.1 การกำหนดสัญลักษณ์ให้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต	18
2.6.2 การจัดระดับค่าแบบการประมาณต่อเนื่อง	20
2.6.3 การเข้ารหัสสัญลักษณ์และการถอดรหัสสัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต	21
2.7 การลดข้อมูล	21
2.7.1 เอนโทรปีและคาต้าโมเดลลิ่ง	22
2.7.2 การเข้ารหัสเลขคณิต	23
2.8 การวัดประสิทธิภาพของภาพภายหลังการบีบอัดข้อมูลภาพ	27
2.8.1 ค่าความผิดพลาด	27
2.8.2 อัตราบิต	28
2.8.3 อัตราการลดข้อมูล	29
บทที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของการบีบอัดข้อมูลรูปภาพ	**30**
3.1 การคำนวณการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ	30
3.2 การกำหนดรหัสสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต	35
3.3 การเข้ารหัสเลขคณิต	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	**45**
4.1 การทดลองเปรียบเทียบรูปภาพที่ได้ภายหลังการบีบอัดโดยใช้เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างๆ กัน	46
4.2 การทดลองการเปรียบเทียบรูปภาพที่ได้ภายหลังการบีบอัดโดยใช้ชนิดของเวฟเล็ตต่างๆ กัน	48
4.3 การทดลองการเปรียบเทียบคุณภาพของการบีบอัดระหว่างเวฟเล็ตชนิดต่างๆ กับเจเพก	61
4.4 การทดลองการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของภาพที่มีขนาดแตกต่างกัน	70
4.5 การทดลองการเปรียบเทียบภาพที่ต่างกันภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตชนิดอื่นๆ	75
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	**102**
ภาคผนวก ก การใช้งานโปรแกรม	
ภาคผนวก ข โปรแกรม	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนในการบีบอัดข้อมูลภาพ 1

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของภาพดิจิตอล 3

รูปที่ 2.2 แสดงจุดภาพของภาพแต่ละชนิด 4

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแบบดาบีชี 20 5

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่างๆ กัน 5

รูปที่ 2.5 ลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต 6

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการกระจายของสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ 9

รูปที่ 2.7 แสดงการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ 10

รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์มของโครงสร้างแบบต้นไม้แบบไดดิก 10

รูปที่ 2.9 แสดงการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ 11

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของอินเวอร์สดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์มของโครงสร้างแบบต้นไม้แบบไดดิก 12

รูปที่ 2.11 แสดงหลักการแปลงโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ 12

รูปที่ 2.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบระดับเดียว 14

รูปที่ 2.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ 15

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของการสเกลในรูปแบบสับทรี 18

รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ของโหนดแม่ที่อยู่ระดับก่อนหน้าและโหนดลูกที่อยู่ระดับต่ำลงมา 19

รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการสแกนแบบซิกแซกหรือแบบตัวซี 20

รูปที่ 2.17 แสดงการควอนไทซ์ค่าสัมประสิทธิ์และการกำหนดสัญลักษณ์ 21

รูปที่ 2.18 แสดงการแบ่งช่วงของขอบเขตปัจจุบันบนพื้นฐานของความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์ a_i 24

รูปที่ 2.19 แสดงการแบ่งขอบเขตของข้อมูลตามตัวอย่าง 26

รูปที่ 3.1 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 35

รูปที่ 4.1 แสดงภาพต้นแบบ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 46

รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบรูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างๆ กัน 47

รูปที่ 4.3 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 48

รูปที่ 4.4 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 49

รูปที่ 4.5 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 49

รูปที่ 4.6 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 50

รูปที่ 4.7 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 50

รูปที่ 4.8 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 51

รูปที่ 4.9 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 52
รูปที่ 4.11 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 52
รูปที่ 4.12 แสดงภาพต้นแบบ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 53
รูปที่ 4.13 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 54
รูปที่ 4.14 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 54
รูปที่ 4.15 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 55
รูปที่ 4.16 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 55
รูปที่ 4.17 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 56
รูปที่ 4.18 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 56
รูปที่ 4.19 แสดงภาพต้นแบบ X-ray ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 57
รูปที่ 4.20 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 58
รูปที่ 4.21 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ 58
รูปที่ 4.22 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 59
รูปที่ 4.23 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 59
รูปที่ 4.24 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 60
รูปที่ 4.25 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10 60
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ Lena ด้วยวิธีการต่างๆ 62
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ Lena ด้วยวิธีการต่างๆ 62
รูปที่ 4.28 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 63
รูปที่ 4.29 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG 63
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ Baboon ด้วยวิธีการต่างๆ 65
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ Baboon ด้วยวิธีการต่างๆ 65
รูปที่ 4.32 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 66
รูปที่ 4.33 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG 66
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ X-ray ด้วยวิธีการต่างๆ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ X-ray ด้วยวิธีการต่างๆ 68
รูปที่ 4.36 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 69
รูปที่ 4.37 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG 69
รูปที่ 4.38 แสดงภาพ Lena ขนาด 512 x 512 จุดภาพภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 70
รูปที่ 4.39 แสดงภาพ Lena ขนาด 512 x 512 จุดภาพภายหลังการบีบอัดที่ 70% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 71
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน 72
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน 72
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบีบอัดกับค่า PSNR ของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน 73
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบีบอัดกับอัตราการบีบอัดของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน 73
รูปที่ 4.44 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 % 79
รูปที่ 4.45 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 % 79
รูปที่ 4.46 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 50 % 80
รูปที่ 4.47 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 100 % 80
รูปที่ 4.48 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 % 81
รูปที่ 4.49 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 100 % 81
รูปที่ 4.50 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต ที่ 50% 82
รูปที่ 4.51 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100% 82
รูปที่ 4.52 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 50 % 83
รูปที่ 4.53 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 100% 83
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Lena โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 84
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Lena โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 84
รูปที่ 4.56 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 % 86

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.57 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 % 86

รูปที่ 4.58 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 50 % 87

รูปที่ 4.59 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 100 % 87

รูปที่ 4.60 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 % 88

รูปที่ 4.61 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 100 % 88

รูปที่ 4.62 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต ที่ 50% 89

รูปที่ 4.63 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100% 89

รูปที่ 4.64 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 50% 90

รูปที่ 4.65 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 100% 90

รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Baboon โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 91

รูปที่ 4.67 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Baboon โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 91

รูปที่ 4.68 แสดงภาพต้นแบบ Black and White ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 92

รูปที่ 4.69 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 % 94

รูปที่ 4.70 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 % 94

รูปที่ 4.71 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 50 % 95

รูปที่ 4.72 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 100 % 95

รูปที่ 4.73 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 % 96

รูปที่ 4.74 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 100% 96

รูปที่ 4.75 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 50% 97

รูปที่ 4.76 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100% 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.77 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 50% 98

รูปที่ 4.78 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 100% 98

รูปที่ 4.79 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Black and White โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 99

รูปที่ 4.80 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Black and White โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งขอบเขตตามความน่าจะเป็นสะสม 26

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพจากจำนวนบิตต่อจุดภาพ 29

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญและไม่สำคัญในเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี 36

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีค่านัยสำคัญ 36

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีค่านัยสำคัญครั้งที่สอง 37

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลัง การบีบอัดภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 61

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลัง การบีบอัดภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 64

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลัง การบีบอัดภาพ X-ray ขนาด 256 x 256 จุดภาพ 67

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Lena โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 78

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Baboon โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 85

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัด ภาพ Black and White โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญผังงาน

	หน้า
ผังงานที่ 3.1 แสดงการทำงานการแปลงเวฟเล็ต	33
ผังงานที่ 3.2 แสดงการทำงานการแปลงกลับเวฟเล็ต	34
ผังงานที่ 3.3 แสดงวิธีการเข้ารหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี	39
ผังงานที่ 3.4 แสดงวิธีการกำหนดสัญลักษณ์ในส่วนแรก	40
ผังงานที่ 3.5 แสดงวิธีการกำหนดสัญลักษณ์ในส่วนที่สอง	41
ผังงานที่ 3.6 แสดงวิธีการถอดรหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี	42
ผังงานที่ 3.7 แสดงวิธีการเข้ารหัสเลขคณิต	43
ผังงานที่ 3.8 แสดงวิธีการถอดรหัสเลขคณิต	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

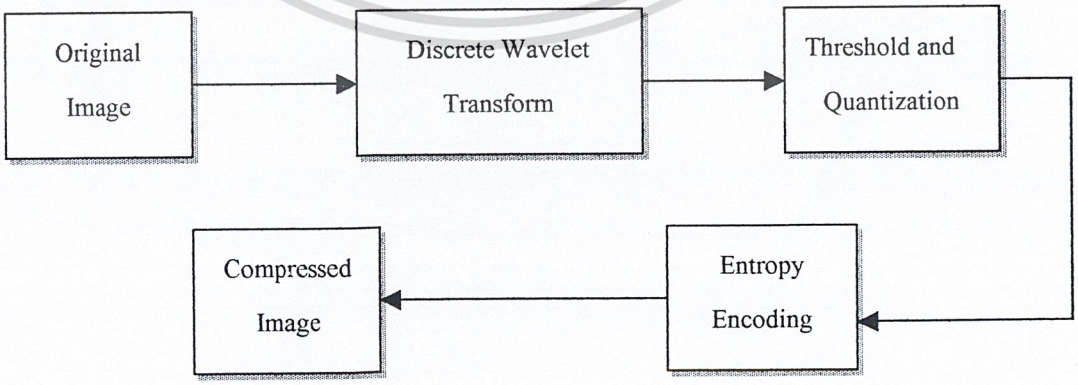
บทที่ 1

บทนำ

ภาพดิจิตอล (Digital Images) ได้กลายมาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโลกของข้อมูลข่าวสาร การเติบโตของอินเตอร์เน็ตประกอบกับประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าของกล้องดิจิตอล สแกนเนอร์(scanner) และปริ้นเตอร์(printer) ได้นำไปสู่การใช้กล้องดิจิตอลอย่างกว้างขวาง

ภาพดิจิตอลจะแสดงด้วยภาพในแกน 2 มิติที่ประกอบด้วยชุดบิตของข้อมูล ตัวอย่างเช่น ภาพระดับ สีเทา (Gray Scale) ที่ประกอบด้วยอาเรย์ของข้อมูลที่ได้มาจากการสุ่มขนาด 256 x 256 ซึ่งในแต่ละการสุ่มจะประกอบด้วยค่าความเข้มจำนวน 8 บิต เมื่อพิจารณาภาพในรูปแบบปกติ คือพิจารณาจากด้านซ้ายไปด้านขวาและจากด้านบนลงด้านล่าง และทำการสุ่มตัวอย่างแต่ละจุดซึ่งจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบแต่ละจุดที่ทำการสุ่มนี้จะเรียกว่า จุดภาพ หรือ พิกเซล (pixel) ค่าดิจิตอลของแต่ละจุดภาพจะแสดงการวัดปริมาณของความสว่างสีหรือการกระจายสเปกตรัมที่แต่ละจุดของภาพ ข้อมูลเหล่านี้โดยปกติแล้วจะถูกเก็บอยู่ในรูปของเมตริกซ์ (matrix) การใช้จุดภาพจำนวนมากในการแทนภาพนั้นๆ จะยิ่งเพิ่มรายละเอียดของภาพให้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะยิ่งใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลมากขึ้น และต้องการแบนด์วิธ(bandwidth) ที่กว้างขึ้นรวมถึงเวลาที่เพิ่มขึ้นในการส่งข้อมูลภาพนั้นด้วย

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการคิดค้นเทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) ขึ้นซึ่งมีผลอย่างยิ่งสำหรับทั้งประสิทธิภาพในการเก็บบันทึกภาพและความเร็วในการส่งภาพนั้นๆ ด้วย เทคนิคในการบีบอัดภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การบีบอัดข้อมูลภาพแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Compression) ซึ่งเป็นการบีบอัดข้อมูลภาพที่สามารถนำเอาข้อมูลภาพนั้นกลับมาได้ใหม่อย่างสมบูรณ์ คือเหมือนกับภาพดั้งเดิมก่อนการบีบอัด และอีกประเภทหนึ่งก็คือ การบีบอัดข้อมูลภาพแบบมีการสูญเสีย (Lossy Compression) ซึ่งจะเกิดความเพี้ยน (distortion) กับข้อมูลภาพที่ถูกสร้างกลับขึ้นมาใหม่ แต่ให้อัตราส่วนการบีบอัดข้อมูลภาพที่สูงกว่าการบีบอัดข้อมูลภาพแบบไม่มีการสูญเสีย



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนในการบีบอัดข้อมูลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพโดยการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) ซึ่งเป็นการบีบอัดข้อมูลภาพแบบมีการสูญเสียมาใช้ และนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตมาทำการจัดระดับและนำข้อมูลที่ได้มาผ่านการเข้ารหัสต่อไป ดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

2.1 ข้อมูลภาพ (Images)

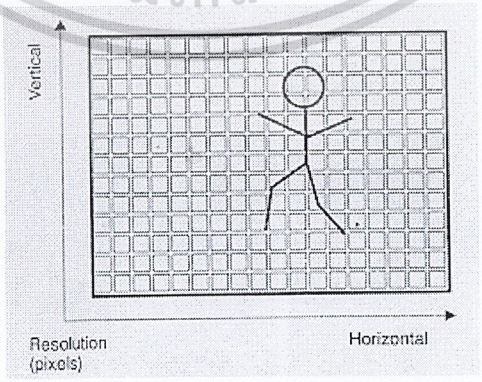
ข้อมูลภาพมีอยู่มากมายหลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทจะมีวิธีการในการบีบอัดภาพแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างเช่น

ภาพไบนารี (bi-level หรือ binary images) เป็นภาพที่ถูกแสดงด้วยระดับความเข้มเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น ซึ่งระดับแรกจะแสดงถึงข้อมูล (information) และอีกระดับจะแสดงถึงพื้นหลัง (background) ดังนั้น แต่ละจุดภาพจะประกอบด้วยบิตเดี่ยวที่มีค่าเป็น 1 หรือ 0 จุดภาพที่ประกอบด้วยบิตเดี่ยวเหล่านี้เหมาะสำหรับ ที่จะใช้ในการแสดงข้อความ (text) เส้นร่าง (line drawings)และภาพประกอบ (illustrations) ตัวอย่างที่เห็นชัดของภาพไบนารีนี้ก็คือการส่งข้อความอักษรขาวและดำผ่านเครื่องโทรสาร (FAX) เป็นต้น

ภาพระดับสีเทา (gray-scale images) เป็นที่ภาพถูกแสดงด้วยความเข้มหลายระดับ คือ เป็นภาพที่มีการไล่ความเข้มตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีดำ โดยทั่วไปแต่ละจุดภาพจะประกอบด้วยบิตจำนวน N บิต ตั้งแต่ 8 บิตขึ้นไป ภาพระดับสีเทานี้เหมาะสำหรับที่จะใช้ในการแสดงภาพถ่ายโมโนโครม(monochrome photographs) และภาพทางการแพทย์ (medical images) ซึ่งให้ความสำคัญกับการไล่ความเข้มแสดงระดับของภาพ

ภาพสี (color images) เป็นภาพที่ถูกแสดงด้วยความเข้มหลายระดับและใช้การกรองระดับความสว่างของแต่ละสีพื้นฐานที่มีอยู่ด้วยกัน 3 สี คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินซึ่งจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ R(red) G(green) และ B(blue) ตามลำดับ ดังนั้นในแต่ละจุดภาพจะประกอบด้วยค่า 3 ค่าที่แสดงแต่ละความเข้มของสีพื้นฐาน นั่นคือ แต่ละจุดภาพจะประกอบด้วยจำนวนบิตตั้งแต่ 24 บิตขึ้นไป ภาพสีนี้ก็เป็นภาพโดยทั่วไปที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการมองเห็น

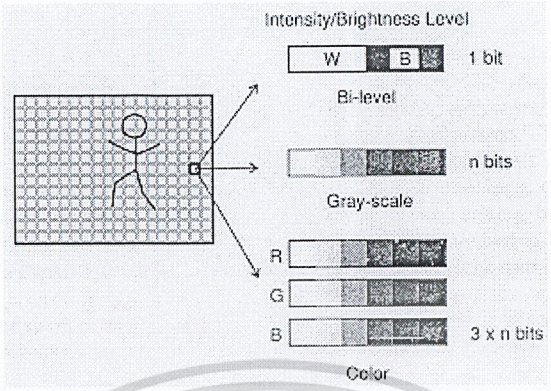
นอกจากนี้ยังมีภาพหลายสเปกตรัม (multispectral images) ที่ประกอบด้วยข้อมูลที่อยู่นอกเหนือจากสเปกตรัมของแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ เช่น ภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อใช้ในการควบคุม การติดต่อระหว่างโลกและอวกาศซึ่งใช้การแพร่กระจายรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของภาพดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาพสามารถเขียนให้อยู่ในฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ด้วยฟังก์ชัน f (x,y) โดยที่ตัวแปร x และ y แสดงตำแหน่งของฟังก์ชันตามแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงจุดภาพของภาพแต่ละชนิด

2.2 ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต

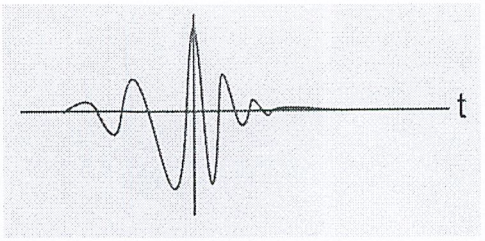
การแปลงเวฟเล็ต (wavelet transform) เป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ลักษณะของสัญญาณซึ่งมีประโยชน์มากในงานทางด้านการประมวลผลของสัญญาณ (signal processing) ทฤษฎีเวฟเล็ตสามารถนำมาประยุกต์เพื่ออธิบายลักษณะของสิ่งต่าง ๆหรือระบบใด ๆได้ เช่น อธิบายการแก้ปัญหาสมการดิฟเฟอเรนเชียล (differential equation) ที่จำลองระบบใดระบบหนึ่ง การเต้นของหัวใจ การไหลเวียนของเลือดผ่านร่างกาย การหาขอบภาพ การลดขนาดข้อมูล (ภาพหรือสัญญาณ) และใช้แก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมการแพทย์

2.2.1 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ต (wavelet transform)

เมื่อใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform)ในการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะบางช่วงเวลาและความถี่เท่านั้นจะเสียเวลาในการคำนวณมากเพราะต้องคำนวณใหม่ตลอดย่าน ดังนั้นจึงมีการพัฒนา การแปลงที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่สนใจเท่านั้น ทำให้สามารถพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเฉพาะช่วงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การแปลงที่พัฒนาขึ้นนี้เรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ต”

การแปลงเวฟเล็ตจะใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหรือระบบนั้น ๆโดยเฉพาะสัญญาณนี้จะเป็นคลื่นเล็ก ๆที่เรียกว่า เวฟเล็ต ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (oscillatary) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นเวฟเล็ตชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเล็ตแบบดาบีชี 20 (Daubechies 20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

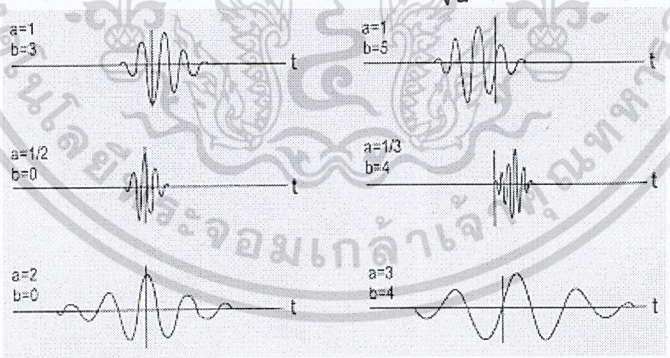


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแบบดาบีชี 20

การนำเวฟเล็ตหลาย ๆอันมารวมกันเป็นกลุ่มเพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของสัญญาณใด ๆโดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละตัวจะมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่าเวฟเล็ตแม่ (mother wavelets) คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันจะอยู่ภายในเซตของเวฟเล็ตนี้ โดยแต่ละคลื่นจะเกิดจากการสเกล (scaling : "a") และการเลื่อนตำแหน่ง (translation : "b") ดังนั้น ถ้าให้ $\Psi(t)$ เป็นฟังก์ชัน เวฟเล็ตแม่สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปของเวฟเล็ตที่ตำแหน่ง "a" และ "b" ใดๆ ที่สัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$\Psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\Psi\frac{t-b}{a} \qquad (2.1)$$

Ψ (t) จะเป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์ "a" และ "b" ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเล็ตถูกสเกลไปแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (normalize) ด้วยค่า $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ

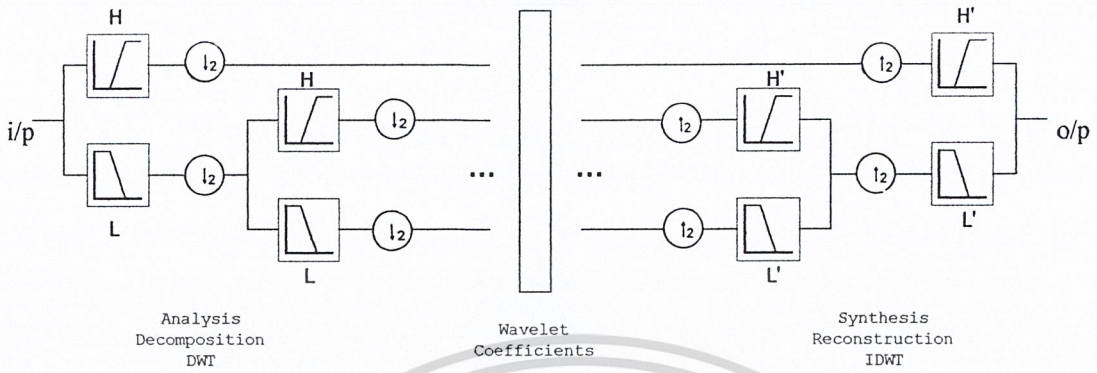


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่างๆ กัน

ทฤษฎีเวฟเล็ตจะใช้ในการอธิบายถึงสิ่งใดสิ่งหนึ่งเสมือนการแตกสิ่งนั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ที่สัมพันธ์กันโดยที่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเวฟเล็ตที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ สามารถสร้างขึ้นมาได้โดยมีฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis Function) การแตกกระจายเวฟเล็ต (Wavelet Decomposition) ก็คือการทำการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT) นั่นเอง ในทำนองเดียวกันการรวมกลับเวฟเล็ต (Wavelet Reconstruction) จะเป็นการแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse Wavelet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transform : IWT) ซึ่งเป็นการนำส่วนประกอบย่อยๆ เหล่านี้มารวมกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิม ดังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต

2.2.2 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Signal Analysis with Multiresolution)

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis : MRA) จะเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี b หลายๆ ตำแหน่งมารวมกันเกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันจะเกิดเป็นสัญญาณอินพุตจริง

ก่อนที่จะศึกษาถึงการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด จะขอกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของปริภูมิเวกเตอร์ (vector space) ก่อน เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

ปริภูมิเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ คือ ปริภูมิของสัญญาณใด ๆที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณพื้นฐานย่อย ๆที่เรียกว่าฟังก์ชันพื้นฐาน (basis function : b.f.) ถ้ากำหนดให้ a,b เป็นจำนวนจริงใดๆ และ i, j เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (unit vector) ในปริภูมิเวกเตอร์ (vector space : V) ดังนั้นถ้า ai+bj $\in$ V จะได้ว่า เวกเตอร์ใด ๆที่ประกอบขึ้นจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยหนึ่งตัวหรือหลายตัว แล้วเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ V นี้ โดยที่เวกเตอร์หนึ่งหน่วย i , j จะเป็นลักษณะเชิงตั้งฉาก (orthogonal) ซึ่งกันและกัน ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจมองได้ว่า i,j คือฟังก์ชันพื้นฐานที่เป็นสัญญาณเล็ก ๆที่นำมาประกอบกันเป็นสัญญาณใด ๆ

สมมติให้ V_j เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียด ต่าง ๆได้สรุปลักษณะคุณสมบัติได้ดังนี้

MRA 1) $V_{-\infty} \ldots \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \ldots \subset V_{\infty}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MRA 2) $Close_{L^2}\left(\bigcup_{j\in ZZ} V_j\right) = L^2(IR)$; $j \in ZZ$; ZZ= เซตของจำนวนเต็ม ; IR เป็นเซตของจำนวนจริง

MRA 3) $\left(\bigcap_{j\in ZZ} V_j\right) = \{0\}$

MRA 4) $V_j \oplus W_j = V_{j+1}$; $j \in ZZ$

MRA 5) $f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1}$; $j \in ZZ$

พิจารณาปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j จะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่จะประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณของ f(t) เมื่อ $f(t) \in V_j$ ซึ่งเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านี้ว่า ฟังก์ชันสเกลลิ่ง (scaling function : $\phi(t)$) ซึ่งจัดเป็นฟังก์ชันพื้นฐานย่อย ๆที่จะเกิดที่เวลาต่าง ๆกันภายใน V_j เดียวกัน ฟังก์ชันสเกลลิ่งที่ระดับปริภูมิสูง (ระดับความละเอียดสูง) จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นความสัมพันธ์กันระหว่างฟังก์ชันสเกลลิ่งของแต่ละปริภูมิเป็นดังนี้

$$f(x) \in V_0 \Leftrightarrow f(2x) \in V_1 \quad \text{เมื่อ } j \in ZZ \tag{2.2}$$

จากสมการที่ 2.2 สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิ่งภายในปริภูมิใด ๆได้ดังนี้

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\phi(2^j t - k) \quad \text{เมื่อ } j,k \in ZZ \tag{2.3}$$

จากสมการที่ 2.3 จะพบว่าระดับความละเอียดต่ำลงมาหนึ่งระดับ ฟังก์ชันพื้นฐานจะมีความถี่ลดลงมาครั้งละสองเท่า อาศัยลักษณะคุณสมบัติการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด จะทำให้สามารถทำการประมาณสัญญาณ $f(t) \in L^2(IR)$ ไปอยู่ในปริภูมิที่ระดับความละเอียด j ใด ๆได้ดังนี้

$$f_j(t) = \sum_k c^j{}_k \phi_{j,k}(t) \tag{2.4}$$

โดยที่ $c^j{}_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ที่คูณกับฟังก์ชันสเกลลิ่งที่ตำแหน่ง k ใด ๆแล้วประกอบขึ้นเป็น f(t) ที่ระดับความละเอียด j นั้น ๆ

จาก MRA4) การวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่ำลงมาจะทำให้พลังงานหรือสัญญาณบางส่วนหายไปอยู่ในอีกปริภูมิหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ปริภูมิของเวกเตอร์เวฟเล็ต (wavelet vector space : W_j) ปริภูมินี้จะคล้ายกับปริภูมิของเวกเตอร์ ดังนั้นสัญญาณภายใน W_j จะประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานเช่นเดียวกัน จะเรียกว่าฟังก์ชันเวฟเล็ต (wavelet function : $\Psi(t)$) ดังนั้นสามารถเขียนสมการฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดใด ๆได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\,\Psi(2^{j}t - k) \quad \text{เมื่อ } j,k \in ZZ \tag{2.5}$$

จากสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นลักษณะของสัญญาณที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่อย่างต่อเนื่องจะเปลี่ยนฟังก์ชันเวฟเล็ต $\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\,\Psi(2^{j}t - k)$ ที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่ โดยที่ $a = 2^{-j}$ และ $b = 2^{-j}k$

ถ้ากำหนดให้ $g_j(t)$ เป็นสัญญาณที่เกิดจากฟังก์ชันพื้นฐานและ $\Psi_{j,k}(t)$ ภายในปริภูมิเดียวกันมารวมกันเป็นสัญญาณใด ๆ จะได้ว่า

$$g_j(t) = \sum_{j,k} d^{j}_{k}\,\Psi_{j,k}(t) \tag{2.6}$$

โดย d^{j}_{k} เป็นสัมประสิทธิ์ที่คูณกับฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ตำแหน่งนั้น ๆเพื่อเกิดเป็นสัญญาณ $g_j(t)$ ดังนั้นจากความสัมพันธ์ $V_j \oplus W_j = V_{j+1}$ และจากสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.6 จะได้ว่า

$$f_{j+1} = f_j \oplus g_j \tag{2.7}$$

สมมติให้ $f(t) \in V_{j+1}$ จะสามารถแตกกระจายให้ $f(t)$ มีความละเอียดน้อยลงได้จากสมการ $V_j \oplus W_j = V_{j+1}$ ซึ่งในขณะเดียวกัน V_j สามารถแตกกระจายต่อไปได้เรื่อย ๆจนกระทั่ง $j = 0$ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$V_{j+1} = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \ldots \oplus W_j \tag{2.8}$$

ในทำนองเดียวกัน f_{j+1} ก็สามารถแตกกระจายเป็น f_j และ g_j ได้เช่นเดียวกัน f และ g ที่ลดระดับความละเอียดลงมาจะมีความถี่ของฟังก์ชันพื้นฐานลดลงครั้งละ 2 เท่าเสมอ และเราสามารถแจกแจงสัญญาณ f(t) ที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันสเกลลิ่งและฟังก์ชันเวฟเล็ตได้ดังนี้

$$f(t) = f_j \oplus g_j \oplus g_{j+1} \oplus \ldots \oplus g_{\infty} \tag{2.9}$$

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(k)\phi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=-\infty}^{\infty} d_j(k)\,\Psi_{j,k}(t) \tag{2.10}$$

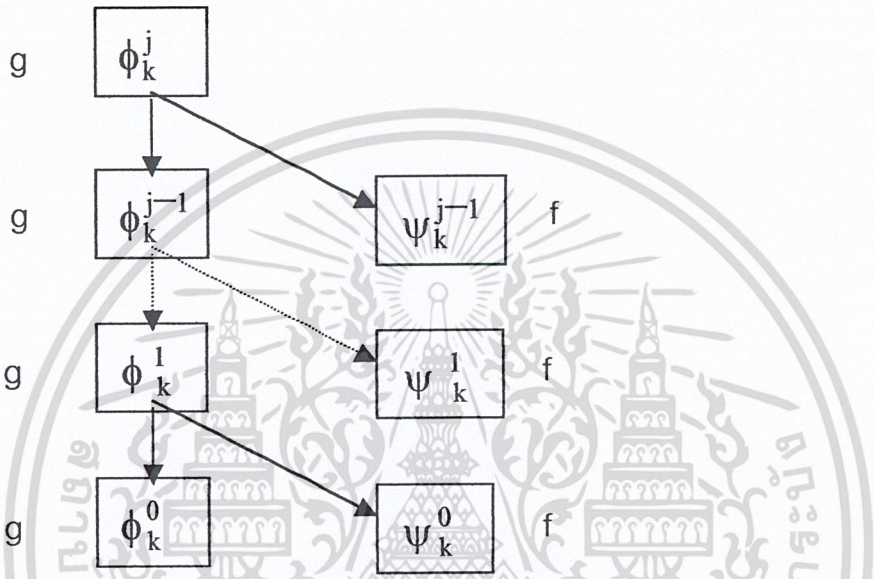
ดังนั้นสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตสามารถคำนวณจากผลคูณภายใน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c_j(k) = \langle f(t), \phi_{j,k}(t) \rangle \quad (2.11)$$

$$d_j(k) = \langle f(t), \Psi_{j,k}(t) \rangle \quad (2.12)$$

สัมประสิทธิ์ในการกระจายของเวฟเล็ตจะถูกเรียกว่า ดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์ม(discrete wavelet transform)ของ f(t)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการกระจายของสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ

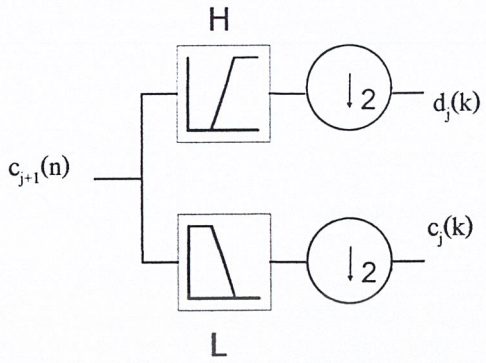
2.3 การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ (Analysis Filter Banks)

ขบวนการแปลงเวฟเล็ตจะมีลักษณะคล้ายกับขบวนการออคเทฟฟิลเตอร์แบงค์ (octave filter banks) เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (window function) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครั้งละสองเท่า ซึ่งเปรียบเสมือนการนำสัญญาณอินพุตผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีแบนด์วิธที่มีอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนกับแบนด์วิธของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจะสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงค์มาใช้ในการสร้างการแปลงเวฟเล็ตในทางปฏิบัติได้

ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ (two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วนโดยแบ่งเป็นส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณจึงประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (lowpass filter : L) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (highpass filter : H) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ (two-channel analysis filter banks) และเป็นโครงสร้างที่กลับกันกับการสังเคราะห์การสร้างกลับฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ (reconstruction two-channel synthesis filter banks) ดังรูปที่ 2.9 โดยที่ตัวกรองการกระจาย (decomposition) ความถี่ต่ำและความถี่สูง คือ L และ H กับตัวกรองการสร้างกลับ (reconstruction) ความถี่ต่ำและความถี่สูง คือ

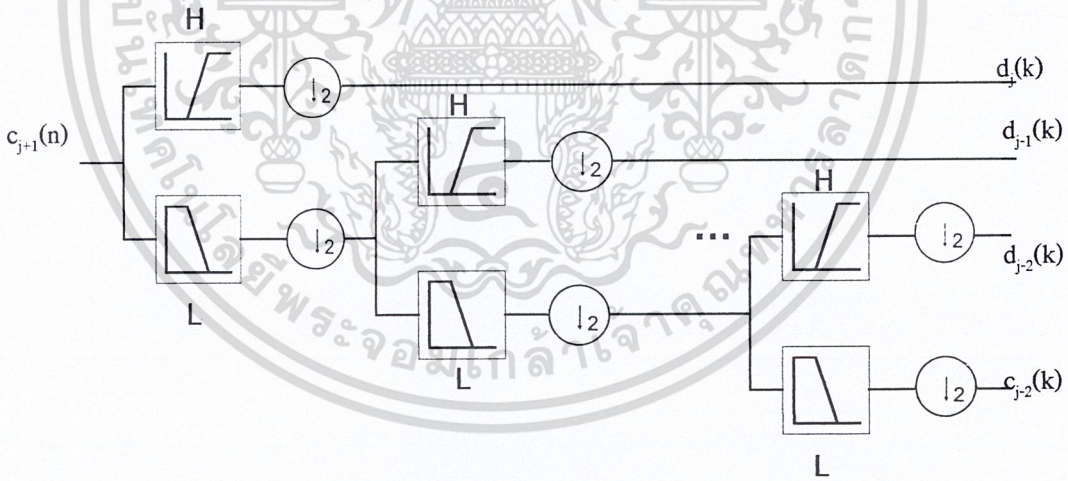
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความถี่สูง คือ L' และ H' มีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เรียกว่า วงจรควอดราเจอร์มิเรอร์ฟิลเตอร์ (quadrature mirror filters : QMF)



รูปที่ 2.7 แสดงการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของการวิเคราะห์ออดเทฟฟิลเตอร์แบงค์ จะเป็นโครงสร้างแบบต้นไม้ (tree structure) ซึ่งเป็นการสร้างเอาฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณมาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง ในกรณีที่ทำการแปลงเวฟเล็ตซ้ำในแนวของความถี่ต่ำ จะเป็นลักษณะของโครงสร้างแบบต้นไม้แบบไดดิก (dyadic tree structure) ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งโครงสร้างในรูปนี้จะเป็นการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์ม



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์มของโครงสร้างแบบต้นไม้แบบไดดิก

จากสมการที่ (2.11) ถ้า $\phi(t) = \sum_n h(n)\sqrt{2}\,\phi(2t-n)$ นำไปทำการสเกลและเลื่อนตำแหน่ง พร้อมทั้งเปลี่ยนค่าตัวแปรโดยให้ $m = 2k+n$ จะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต คือ

$$c_j(k) = \sum_m h_0(m-2k)c_{j+1}(m) \qquad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

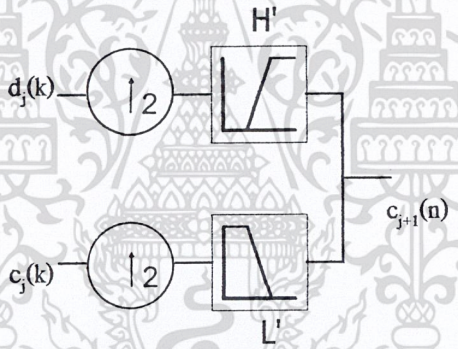
และในทำนองเดียวกับสมการที่ (2.12) จะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตอีกตัวหนึ่ง คือ

$$d_j(k) = \sum_m h_1(m-2k)c_{j+1}(m) \qquad (2.14)$$

เมื่อกำหนดให้ h_0 เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน และ h_1 เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่สูงผ่าน

2.4 การแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ (Synthesis Filter Banks)

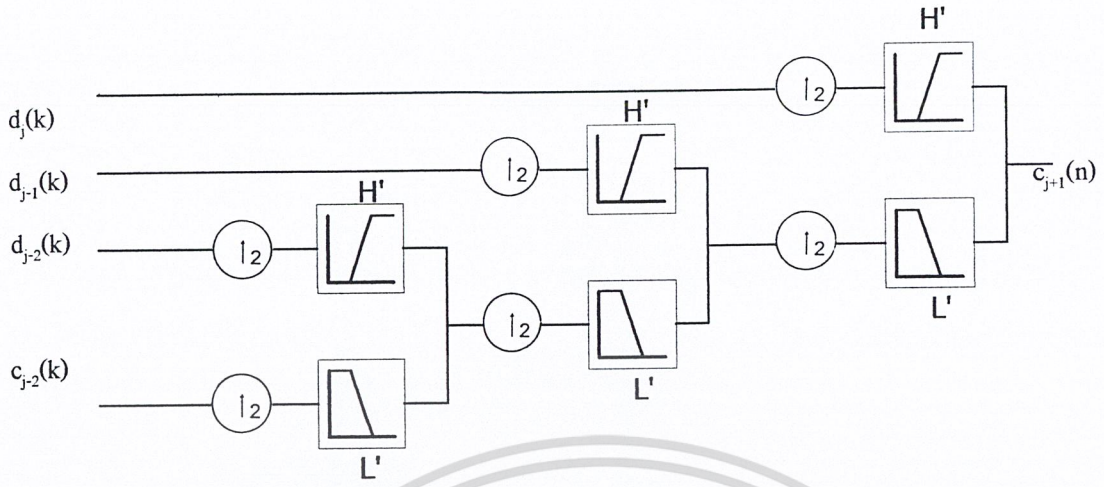
การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์มเป็นการแตกกระจายสัญญาณลงไปในสเปซของ V_j และ W_j ซึ่งทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้น การรวมสัญญาณในสเปซ V_j และ W_j กลับไปเป็นสเปซ V_{j+1} ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ f(t) จากระดับ j ไปเป็นระดับ j+1 วิธีการดังกล่าวนี้จะเหมือนกับขบวนการการสังเคราะห์การสร้างกลับฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการหาค่าของ $c_{j+1}(n)$ จากค่า $c_j(k)$ และ $d_j(k)$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของฟิลเตอร์แบงค์ที่มีโครงสร้างแบบต้นไม้ เพื่อทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ $c_j(k)$ และ $d_j(k)$ กลับมาเป็น $c_{j+1}(n)$ อีกครั้ง ขบวนการนี้เรียกว่า การแปลงกลับเวฟเล็ต จากกระบวนการแปลงเวฟเล็ตและการแปลงกลับเวฟเล็ตจะสังเกตได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงกลับจะมีค่าประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของการแปลงเวฟเล็ต โดยที่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) จะเป็นในลักษณะการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์แบงค์ (perfectly reconstruction filter banks) จากที่กล่าวมานี้จะใช้เฉพาะในกรณีของออร์ทอนอร์มอลเวฟเล็ต(orthonormal wavelet) หรือ ออร์ทอนอร์มอลฟิลเตอร์แบงค์(orthonormal filter banks) เท่านั้น

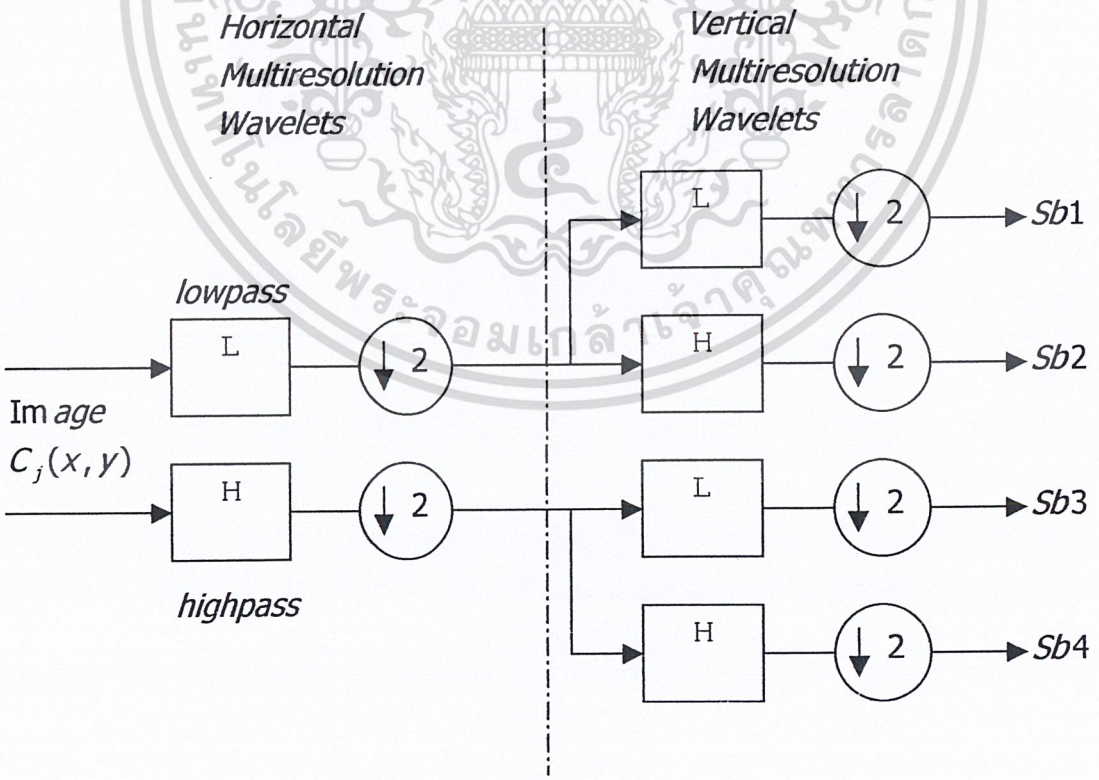
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของอินเวอร์สดิสครีตเวฟเล็ตทรานสฟอร์มของโครงสร้างแบบต้นไม้แบบไดดิก

2.5 การแปลงเวฟเล็ตในลักษณะ 2 มิติ (Wavelet Transform in Two Dimensions)

ข้อมูลภาพเป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นสองมิติและเก็บค่าของแต่ละจุดภาพในรูปของเมตริกซ์ ดังนั้น วิธีการโดยทั่วไปในการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพคือ ทำการแปลงแถว (rows) ของภาพก่อนแล้วจึงทำการแปลงหลัก (columns) ของภาพในแถวที่ได้รับการแปลงแล้ว ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงหลักการแปลงโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ เมื่อเรามองการทำงานของฮาร์เวฟเล็ต (Haar Wavelets) เหมือนกับเป็นการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ซึ่งวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรที่กรองให้ข้อมูลความถี่ต่ำสามารถผ่านไปได้ เช่น ข้อมูลที่มีรายละเอียดต่ำ เป็นต้น ส่วนวงจรกรองความถี่สูงผ่านเป็นวงจรที่กรองให้ข้อมูลความถี่สูงผ่านออกไป เช่นข้อมูลที่มีรายละเอียดสูง เป็นต้น

ให้ $n = 2^m$ และ $m > 0$ เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีลำดับเป็นช่วงและ N เป็นจำนวนข้อมูล

$$..., x_1, x_2, \dots x_n, x_1, x_2, \dots x_n, x_1x_2, \dots x_n, \dots$$

ซึ่ง $x_0 \equiv x_n$, $x_{-1} \equiv x_{n-1}$, $x_{n+1} \equiv x_1$, $x_{n+2} \equiv x_2$ อย่างนี้ไปเรื่อยๆ เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์ $c_k = 0$ สำหรับ $k < 0$ หรือ $k \geq N$ และโอเปอเรเตอร์ $L_n : R^n \leftrightarrow R^{n/2}$ โดย

$$(L_n x)_i = \sum_{j=1}^{n} c_{j-2i+1} x_j \text{ , } i = 1,\dots,\frac{n}{2} \qquad (2.15)$$

โอเปอเรเตอร์ L_n จะเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

และเมื่อกำหนดโอเปอเรเตอร์ $H_n : R^n \leftrightarrow R^{n/2}$ โดย

$$(H_n x)_i = \sum_{j=1}^{n} (-1)^{j+1} c_{2i-j} x_j \text{ , } i = 1,\dots,\frac{n}{2} \qquad (2.16)$$

โอเปอเรเตอร์ H_n จะเรียกว่า วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และการทำงานร่วมกันของวงจรกรองความถี่ทั้งสองจะเรียกว่า วงจรควอดราเจอร์มิเรอร์ฟิลเตอร์

การแสดงผลในรูปแบบเมตริกซ์ เมื่อกำหนด L_n [i,j] ซึ่ง i,j เป็นองค์ประกอบในเมตริกซ์ของโอเปอเรเตอร์ L_n เมื่อส่งผ่านชุดข้อมูลที่เรียงตามลำดับ (x)

$$L_n[i,j] = .. \begin{cases} c_{j-2i+1} & \text{if} \quad 0 \leq j-2i+1 \leq N-1 \\ c_{j-2i+1+n} & \text{if} \quad j-2i+1 < 0 \\ 0 & \text{if} \quad j-2i+1 \geq N \end{cases} \qquad (2.17)$$

เช่นเดียวกับ H_n [i,j] ซึ่ง i,j เป็นองค์ประกอบในเมตริกซ์ของโอเปอเรเตอร์ H_n ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

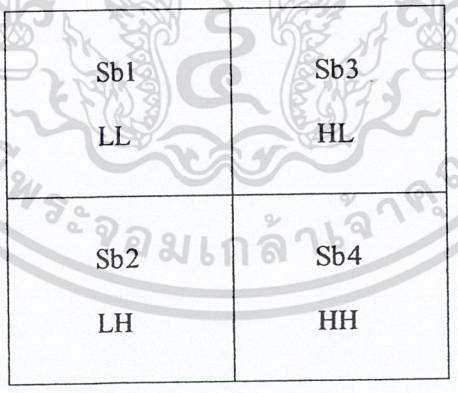
$$H_n[i,j] = \begin{cases} (-1)^{j+1} c_{2i-j+1} & \text{if } 0 \le 2i-j \le N-1 \\ (-1)^{j+1} c_{2i-j+n} & \text{if } 2i-j < 0 \\ 0 & \text{if } 2i-j \ge N \end{cases} \qquad (2.18)$$

$L_n[i,j]$ และ $H_n[i,j]$ เป็นเมตริกซ์สำหรับ i = 1,2,...,n/2 และ j = 1,2,...,n ดังนั้น L_n และ H_n เป็นเมตริกซ์ขนาด n/2 x n

ตัวอย่างเช่น การสร้างเมตริกซ์ L_n และ H_n ในกรณีที่ n = 8 และ N = 6 (ดังนั้นค่าของสัมประสิทธิ์ คือ $c_0, c_1, \ldots, c_5$) เมตริกซ์ L_n และ H_n สามารถแสดงได้ดังนี้

$$L_n = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 \\ c_4 & c_5 & 0 & 0 & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 \\ c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & 0 & 0 & c_0 & c_1 \end{bmatrix}$$

$$H_n = \begin{bmatrix} c_1 & -c_0 & 0 & 0 & c_5 & -c_4 & c_3 & -c_2 \\ c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & 0 & 0 & c_5 & -c_4 \\ c_5 & -c_4 & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & -c_4 & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 \end{bmatrix}$$

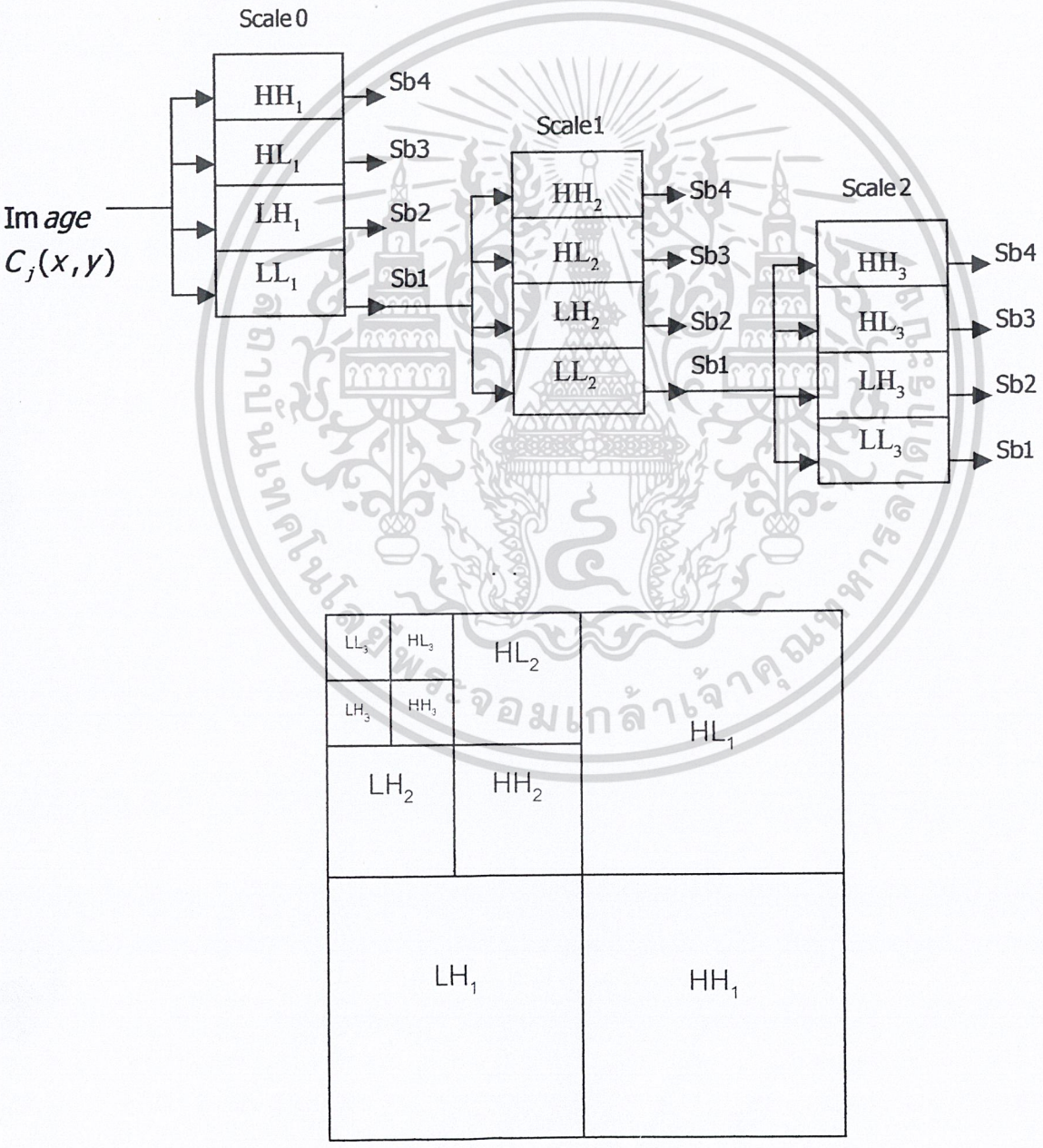


รูปที่ 2.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบระดับเดียว

จากรูปที่ 2.12 สามารถอธิบายได้ว่าการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติ จะเป็นการทำการแปลงในแนวแกนนอนตามจำนวนแถวของจุดภาพซึ่งทำให้ภาพถูกแบ่งออกเป็น 2 สับแบนด์(subband) จากนั้นจะทำการแปลงในแนวแกนตั้ง ตามจำนวนคอลัมน์ของจุดภาพ ดังนั้นภาพในลักษณะ 2 มิติ เมื่อนำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตหนึ่งครั้งจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบนด์ ซึ่งถือว่าเป็นการแปลงเวฟเล็ตแบบระดับเดียว (single level) สับแบนด์แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sb1) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย LL สับแบนด์ที่ 2 (Sb2) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวนอน และกรองความถี่สูงผ่านในแนวตั้งแทนด้วย LH สับแบนด์ที่ 3 (Sb3) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านในแนวนอน และกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวตั้งแทนด้วย HL และสับแบนด์สุดท้าย (Sb4) จะเป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย HH ดังนั้นจะถือว่าข้อมูลในสับแบนด์ที่ 1 เป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นส่วนที่แสดงรายละเอียดของภาพจะเป็นข้อมูลในสับแบนด์ที่ 2 ,3 และ 4 และถ้านำเอาสับแบนด์ที่ 1 ไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกภาพได้ออกเป็นหลายสับแบนด์เพิ่มมากขึ้น เรียกว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ (multilevel) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นความถี่สูง คือส่วนที่เป็นรายละเอียดหรือขอบภาพในภาพ และส่วนที่เป็นความถี่ต่ำคือข้อมูลส่วนที่เป็นพื้นของภาพ ซึ่งจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสของแต่ละช่วงความถี่จะไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าต้องการลดข้อมูลให้ได้มาก ค่าส่วนที่เป็นความถี่สูงจะถูกตัดทิ้งไปเป็นส่วนใหญ่ ทำให้รายละเอียดส่วนที่เป็นขอบภาพหายไป ภาพที่ได้จะเบลอ (Blur) และขาดความคมชัด

2.5.1 การแปลงโดยใช้ฮาร์เวฟเล็ต (Haar Wavelets)

ฮาร์ฟังก์ชัน เป็นฟังก์ชันที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยมีฟังก์ชันสเกลลิ่งเขียนได้ดังสมการที่ (2.19)

$$\phi(t) = \begin{cases} 1 & \text{for} 0 \le t \le 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.19}$$

สมการที่ (2.19) เมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งและทำการสเกล จะทำให้รูปคลื่นของฟังก์ชันมีการเปลี่ยนแปลงดังสมการที่ (2.20)

$$\phi_{j,k}(t) = \phi(2^j t - k) \tag{2.20}$$

ในทำนองเดียวกันฟังก์ชันเวฟเล็ต แสดงดังสมการที่ (2.21)

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{if} 0 \le t < 1/2 \\ -1 & \text{if} 1/2 \le t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.21}$$

สมการที่ (2.21) เรียกว่า เวฟเล็ตแม่ ดังนั้น เมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งและทำการสเกลเวฟเล็ตแม่ จะเขียนสมการได้เป็น

$$\Psi_{j,k}(t) = \Psi(2^j t - k) \tag{2.22}$$

เมื่อกำหนด N = 2 จะได้ค่าการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ คือ

$$c_0^2 + c_1^2 = 1 \,,\ \sqrt{2} = c_0 + c_1 \tag{2.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดังนั้นจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ c_0, c_1 ได้ดังนี้

$$c_0 = c_1 = 1/\sqrt{2} \tag{2.24}$$

2.5.2 การแปลงโดยใช้ดาบีชีเวฟเล็ต (Daubechies Wavelets)

จากการแปลงโดยใช้ฮาร์เวฟเล็ตจะกำหนดให้ N = 2 แต่ถ้า N > 2 จะใช้เงื่อนไขในการหาค่าสัมประสิทธิ์เงื่อนไขอื่น เช่น ดาบีชีเวฟเล็ต ซึ่งกำหนด

$$c_3 - c_2 + c_1 - c_0 = 0 \tag{2.25}$$

$$c_3 - 2c_2 + 3c_1 - 4c_0 = 0 \tag{2.26}$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของดาบีชีเวฟเล็ตได้คือ

$$c_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, c_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$
$$c_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, c_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \tag{2.27}$$

สัมประสิทธิ์ที่ได้นี้เรียกว่า D4 ดาบีชีเวฟเล็ต แต่ถ้าต้องการจำนวนสัมประสิทธิ์ที่เพิ่มขึ้นอาจจะใช้ชนิดของสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า D6 ดาบีชีเวฟเล็ต ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

$$1^2 c_5 - 2^2 c_4 + 3^2 c_3 - 4^2 c_2 + 5^2 c_1 - 6^2 c_0 = 0 \tag{2.28}$$

และนำเงื่อนไขนี้ไปใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ต่อไป

เวฟเล็ตฟังก์ชันแบบดาบีชีทุกชนิดมีคุณสมบัติในการจำกัดค่าที่ไม่เป็นศูนย์ให้มีค่าเข้าใกล้ช่วงที่เราต้องการ (compact support) สำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพแล้ว ต้องการให้แต่ละจุดภาพที่ความถี่สูงมีค่าเป็นศูนย์เป็นจำนวนมากจึงจะทำให้อัตราการบีบอัดภาพมีอัตราสูง

ดาบีชีเวฟเล็ตจะเหมาะสมในการใช้บีบอัดภาพที่มีพื้นที่ที่มีความราบเรียบเป็นพื้นที่กว้าง ยกตัวอย่าง เช่น ภาพที่แต่ละส่วนค่อนข้างที่จะมีโทนสีใกล้เคียงกันหรือมีโทนสีเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นจึงจะเหมาะสมกับเวฟเล็ตชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

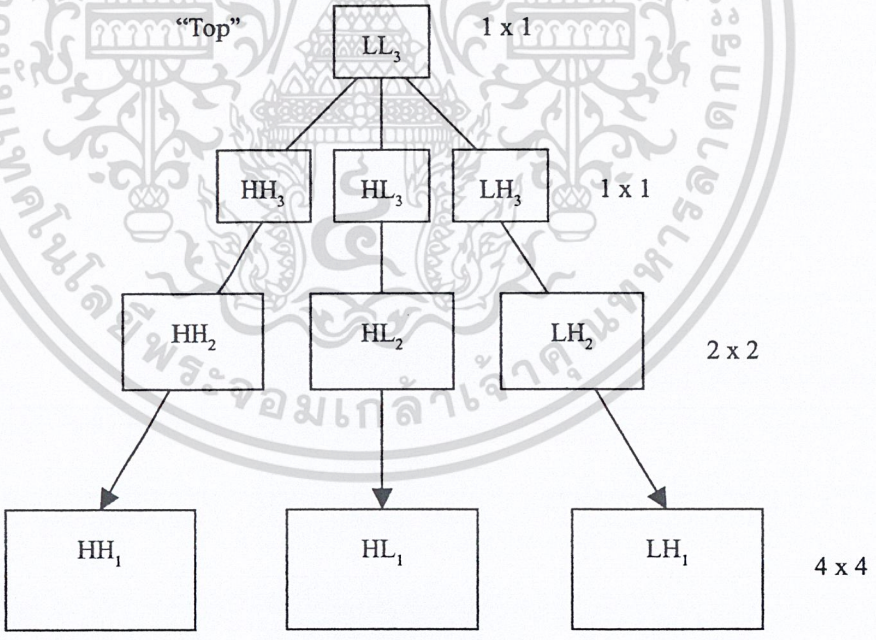
46460

2.6 การเข้ารหัสโดยใช้เวฟเล็ตซีโร่ทรี (Wavelet Zerotrees)

ในขั้นตอนนี้ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตจะถูกนำไปกำหนดรหัสโดยการเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลในระดับต่างๆ เพื่อกำหนดความสำคัญ (significant) แล้วนำมาจัดระดับข้อมูลด้วยการควอนไทซ์แบบการประมาณต่อเนื่อง (Successive Approximation Quantization : SAQ) เรียกวิธีการนี้ว่าเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี (Embedded Zerotrees Wavelet : EZW)

2.6.1 การกำหนดสัญลักษณ์ให้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

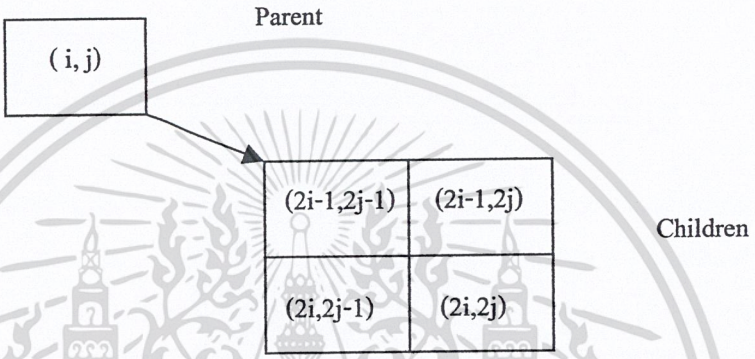
จากรูปที่ 2.14 เป็นการกระจายการสเกลสำหรับการกำหนดสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในรูปแบบสับทรี (subtree structure) LL_3 ถือว่าเป็นสับแบนด์ที่มีสเกลหยาบที่สุด (coarse scale) และเรียกสัมประสิทธิ์ในสเกลนี้ว่า แหล่งกำเนิดหรือโหนดแม่ (parent) ส่วน HL_3 , HH_3 และ LH_3 เป็บสับแบนด์สเกลที่ละเอียดขึ้นมา เรียกสัมประสิทธิ์เหล่านี้ว่า โหนดลูก (children) และสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ละเอียดขึ้นมาอีกคือ HL_2 , HH_2 และ LH_2 จะเรียกว่า โหนดสืบทอด (descendant) โดยความสัมพันธ์นี้จะเกิดไปเรื่อย ๆจนถึงระดับสับแบนด์สเกลที่ละเอียดสูงสุด



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของการสเกลในรูปแบบสับทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

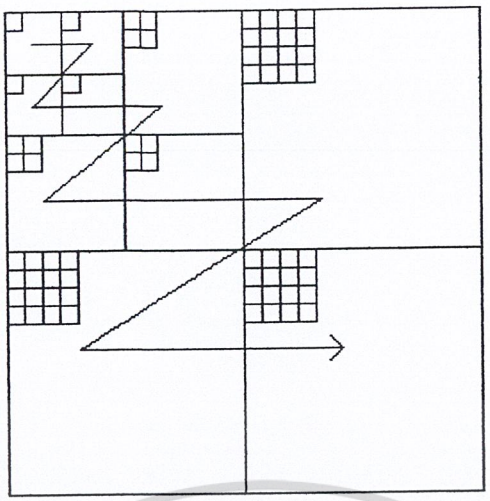
จากรูปสับทรีของซีโร่ทรี ด้านบน (Top) หมายถึงส่วนบนของรูปที่ 2.14 ส่วนด้านล่าง (Bottom) หมายถึงส่วนล่างของรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นส่วนของสัมประสิทธิ์ที่แสดงรายละเอียดสูงอยู่ เมื่อมองรูปจากด้านบนลงด้านล่าง แต่ละบล็อคของระดับที่อยู่ต่ำลงไปในแต่ละสับแบนด์จะมีจำนวนแถวและหลักเป็น 2 เท่าของบล็อคที่อยู่ระดับเหนือกว่า ดังนั้นระดับที่อยู่ต่ำกว่าจะมีจำนวนสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของระดับก่อนหน้านี้ โหนดแม่ที่ตำแหน่ง (i,j) จะมีโหนดลูก 4 ตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆดังนี้คือ (2i-1,2j-1) , (2i-1,2j) , (2i,2j-1) และ (2i,2j) แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ของโหนดแม่ที่อยู่ระดับก่อนหน้าและโหนดลูกที่อยู่ระดับต่ำลงมา

การกำหนดสัญลักษณ์ให้กับตัวสัมประสิทธิ์นั้น ขั้นตอนแรกจะตั้งค่าแต่ละองค์ประกอบของสัญลักษณ์เริ่มต้นที่ 0 ซึ่งแสดงว่าองค์ประกอบของสัญลักษณ์นั้นยังไม่ได้ถูกกำหนดค่าความสำคัญ การกำหนดค่าความสำคัญนั้นจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ X และค่าเทรชโฮล τ ถ้า $|X| > \tau$ สัมประสิทธิ์ในลักษณะนี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญสูง (significant coefficient) ภายในเงื่อนไขของ $|X|$ นอกจากนั้นเรียกว่า สัมประสิทธิ์ตัวไม่สำคัญ (insignificant coefficient) ซึ่งสัมประสิทธิ์ตัวไม่สำคัญ ($|X| \leq \tau$) จะถูกจัดค่าให้เป็นศูนย์ การกำหนดสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์ทำได้โดยนำสัมประสิทธิ์มาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลซึ่งจะใช้การสแกนค่าของสัมประสิทธิ์แบบซิกแซก (zigzag) หรือตัวซี (Z-SCAN) ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการสแกนแบบซิกแซกหรือแบบตัวซี

การกำหนดสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์นั้นแบ่งได้เป็น 5 สัญลักษณ์ คือ

1. POS (positive) เป็นสัมประสิทธิ์ตัวสำคัญและเป็นสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวก

2. NEG (negative) เป็นสัมประสิทธิ์ตัวสำคัญและเป็นสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นลบ

3. IZ (isolated zero) เป็นสัมประสิทธิ์ตัวไม่สำคัญ แต่มีสเกลใดสเกลหนึ่งในโหนดลูกและ โหนดสืบทอดมีค่าของสัมประสิทธิ์มากกว่าค่าเทรชโฮลเพียงหนึ่งตัว

4. ZTR (zerotree root) เป็นสัมประสิทธิ์ตัวไม่สำคัญ และสเกลสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของโหนดแม่ , โหนดลูก และโหนดสืบทอด มีค่าของสัมประสิทธิ์น้อยกว่าค่าเทรชโฮลดังนั้นจะจัดค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดในสเกลให้มีค่าเป็นศูนย์ ลักษณะดังกล่าวจะเกิดเป็นกลุ่มของศูนย์หรือเรียกว่าซีโร่ทรีรูท

5. Z เป็นสัมประสิทธิ์ตัวไม่สำคัญของโหนดลูกในซีโร่ทรีรูท

แต่ในการกำหนดสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์นั้นจะมีสัญลักษณ์ในการเข้ารหัสเพียง 4 ตัวเท่านั้น คือ POS, NEG, IZ และ ZTR

2.6.2 การจัดระดับค่าแบบการประมาณต่อเนื่อง (Successive Approximation Quantization : SAQ)

ค่าสัมประสิทธิ์จากการควอนไทซ์จะสัมพันธ์กับค่าเทรชโฮลต่อการทำสแกนข้อมูลสัมประสิทธิ์หนึ่งครั้ง นั่นคือ

$$\tau_i = \frac{\tau_{i-1}}{2} \text{ , } i = 1,2,\ldots \qquad (2.29)$$

เมื่อ τ เป็นค่าเทรชโฮลและ i เป็นจำนวนครั้งการสแกนข้อมูลสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

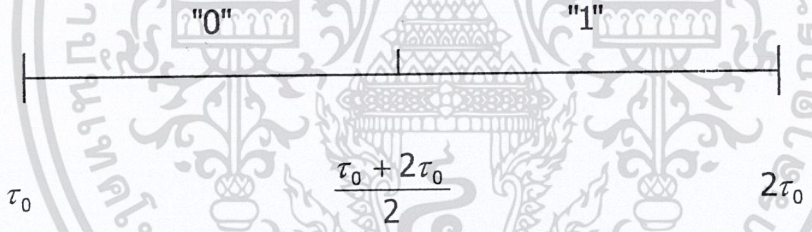
โดยค่าเทรชโฮลเริ่มต้น (τ_0) หาได้จากครึ่งหนึ่งของค่าสัมประสิทธิ์ที่สูงสุดในการแปลงเวฟเล็ต ($|X|_{max} < 2\tau_0$) และค่าของ τ_0 ควรอยู่ในรูปของเลขยกกำลังสอง คือ

$$\tau_0 = M2^{E} \qquad (2.30)$$

เมื่อ M เป็นค่าคงที่และ E เป็นจำนวนเต็ม

2.6.3 การเข้ารหัสสัญลักษณ์และการถอดรหัสสัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

การจัดการกับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือ ขบวนการโดมิแนนท์ (dominant pass) และขบวนการสับออร์ดิเนท (subordinate pass) โดยเริ่มจากขบวนการโดมิแนนท์ทำการกำหนดสัญลักษณ์ {POS,NEG,IZ,ZTR} ให้กับสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทำซีสแกน สัมประสิทธิ์ที่เป็นสัญลักษณ์ POS หรือ NEG จะถูกนำมาทำต่อด้วยขบวนการสับออร์ดิเนท ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้เข้ารหัสในสับออร์ดิเนทจะใช้ตัวเลขฐานสอง คือ แทน “1” เพื่อชี้ค่าจริงของสัมประสิทธิ์ว่ามีค่าในช่วงบนจากค่ากลางระหว่างค่าเทรชโฮล และแทน “0” เพื่อชี้ค่าจริงของสัมประสิทธิ์ว่าอยู่ในช่วงล่างของค่ากลางระหว่างค่าเทรชโฮล ดังรูปที่ 2.16 ส่วนการถอดรหัสจะทำตรงข้ามกับการเข้ารหัส



รูปที่ 2.17 แสดงการควอนไทซ์ค่าสัมประสิทธิ์และการกำหนดสัญลักษณ์

2.7 การลดข้อมูล (Compression)

การลดข้อมูลหรือการบีบอัดข้อมูลจะเป็นการลดหรือกำจัดข้อมูลส่วนเกินออก การลดข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การลดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย (lossless compression) ซึ่งจะนำเอาประโยชน์ของส่วนเกินของข้อมูล (redundancy) มาใช้ และอีกวิธีหนึ่งคือการลดข้อมูลแบบยอมให้มีการสูญเสียได้ (lossy compression) เป็นการลดข้อมูลซึ่งก่อให้เกิดความเพี้ยนของข้อมูล แต่ก็มีอัตราการลดข้อมูลสูงกว่าการลดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสียมาก

สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้การเข้ารหัสเลขคณิตซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการลดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เอนโทรปี (Entropy) และดาต้าโมเดลลิ่ง (Data modeling)

กำหนดให้ A เป็นเหตุการณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็น P(A) ข้อมูลของ A จะแสดงได้เป็น

$$i(A) = \log_x \frac{1}{P(A)} = -\log_x P(A) \qquad (2.31)$$

จากสมการจะแสดงว่าเมื่อ P(A) มีค่าน้อยแล้ว ค่าของ i(A) จะมาก และเมื่อ P(A) = 1 จะให้ค่า i(A) = 0 เหตุการณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำจะใช้แทนข้อมูลที่มีรายละเอียดมาก และในทางกลับกันเหตุการณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงจะแทนข้อมูลที่มีรายละเอียดน้อย

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดเหตุการณ์สุ่ม A_j เรียกว่า แหล่งกำเนิด (source) สมมติให้มีเซตของเหตุการณ์ A_j ที่เกิดขึ้นด้วยค่าความน่าจะเป็น $P(A_j)$ เอนโทรปีของแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล แสดงได้ดังสมการ

$$H = \sum P(A_j)\, i(A_j) \qquad (2.32)$$

สำหรับข้อมูลภาพ เราจะเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิด สมมติให้ A_j , j = 1 , ... , n แสดงลำดับของจุดภาพในภาพใดๆ และให้ x เป็นฟังก์ชันล็อกพื้นฐานในสมการที่ (2.31) มีค่าเท่ากับ 2 ค่าเอนโทรปีของภาพเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของจำนวนบิตของจุดภาพ

ในความเป็นจริงเราไม่สามารถรู้ค่าที่แท้จริงของ $P(A_j)$ ได้ จึงต้องอาศัยการประมาณค่า $P(A_j)$ จากนั้นจึงจะสามารถนำไปคำนวณหาค่าเอนโทรปีของภาพได้

ตัวอย่างเช่น ให้ลำดับของจุดภาพที่เข้ามาเป็น

1 2 1 2 3 3 3 3 1 2 3 3 3 3 1 2 3 3 1 2

เมื่อมองค่าที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งจะสังเกตเห็นว่ามีสัญลักษณ์เพียง 3 ตัว คือ 1 2 และ 3 และสามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นได้

$$P(1) = 5/20 = 0.25 \; ; \; P(2) = 5/20 = 0.25 \; ; \; P(3) = 10/20 = 0.5$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าเอนโทรปีได้ดังนี้

$$-(0.25 \log_2 (1/4) + 0.25 \log_2 (1/4) + 0.5 \log_2 (1/2)) = 1.5 \text{ บิตต่อสัญลักษณ์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ามองลำดับของค่าที่เข้ามาโดยพิจารณาทีละ 2 ตัว จะพบว่ามีโครงสร้างของสัญลักษณ์เกิดขึ้นเพียง 2 โครงสร้าง คือ 12 และ 33 ดังนั้นสัญลักษณ์ที่เกิดขึ้นจึงมีเพียงแค่ 2 สัญลักษณ์

$$P(12) = 5/10 = 0.5$$

$$P(33) = 5/10 = 0.5$$

ค่าเอนโทรปีที่คำนวณได้คือ

$$-(0.5 \log_2 (1/2) + 0.5 \log_2 (1/2)) = 1 \text{ บิตต่อสัญลักษณ์}$$

ในกรณีแรกจะต้องใช้จำนวนบิตทั้งหมด (1.5)(20) = 30 บิตในการเข้ารหัสข้อมูล แต่ในกรณีที่ 2 จะใช้จำนวนบิตเพียงแค่ 10 บิตเท่านั้น ขบวนการที่นำเอาข้อมูลข่าวสารมาเปลี่ยนเป็นรูปแบบใหม่ เรียกว่าดาต้าโมเดลลิ่ง

เอนโทรปีเป็นพื้นฐานสำหรับการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน (Huffman coding) และการเข้ารหัสเลขคณิต (Arithmatic coding) ซึ่งเทคนิคการเข้ารหัสทั้งสองแบบนี้จะกำหนดบิตเรท (bit rate) ต่ำให้กับ ข้อมูลที่มีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดข้อมูลนั้นสูง และกำหนดบิตเรทสูงให้กับข้อมูลที่มีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดข้อมูลต่ำ

2.7.2 การเข้ารหัสเลขคณิต (Arithmatic Coding)

ในการเข้ารหัสเลขคณิตนั้นข่าวสารต้นแบบจะถูกแทนด้วยช่วงระยะห่างของจำนวนจริงระหว่าง 0 และ 1 โดยข้อมูลแต่ละตัวของข่าวสารจะทำให้ช่วงระยะห่างนั้นแคบลง ซึ่งระยะห่างที่ลดลงนี้จะทำให้ใช้จำนวนบิตเพิ่มมากขึ้น ตัวข้อมูลที่ต่อเนื่องกันของข่าวสารจะลดขนาดของระยะห่างตามความน่าจะเป็นของข้อมูล ข่าวสารที่มีความน่าจะเป็นสูงจะทำให้ระยะห่างถูกลดลงได้น้อยกว่าข่าวสารที่มีความน่าจะเป็นต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ข่าวสารที่มีความน่าจะเป็นสูงใช้จำนวนบิตในการเข้ารหัสที่น้อยกว่า

วิธีการเข้ารหัสแบบพื้นฐานมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะทำการกำหนดช่วงขอบเขตเริ่มต้น [L,H) ให้เป็น [0,1)

ขั้นตอนที่ 2 นำสัญลักษณ์ของข้อมูลมาพิจารณา โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ

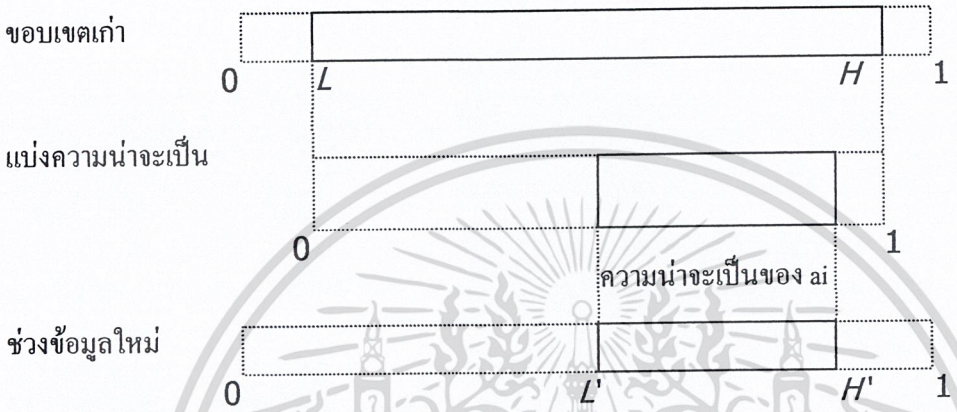
1. ทำการแบ่งช่วงขอบเขตปัจจุบันให้เป็นช่วงของขอบเขตย่อย ตามความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์
2. เลือกช่วงของขอบเขตย่อยที่สอดคล้องกับสัญลักษณ์ที่พบในข้อมูลแล้วนำช่วงของขอบเขตดังกล่าวมาเป็นช่วงขอบเขตปัจจุบันแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำในขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะสิ้นสุดชุดของข้อมูลที่จะนำมาเข้ารหัส หรือเมื่อพบอักษรที่แสดงถึงจุดสิ้นสุดของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 2.18

ขั้นตอนที่ 3 เอาต์พุตที่ได้จากการเข้ารหัส คือ ค่าของช่วงขอบเขตสุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 โดยนำค่าของขอบเขตดังกล่าวมาแปลงเป็นรหัสไบนารี



รูปที่ 2.18 แสดงการแบ่งช่วงของขอบเขตปัจจุบันบนพื้นฐานของความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์ a_i

จำนวนบิตของรหัสไบนารีที่ใช้แทนช่วงขอบเขตสามารถพิจารณาได้จากผลคูณของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสัญลักษณ์ให้มีค่าเท่ากับ p ที่เกิดจากลำดับของสัญลักษณ์ข้อมูล จำนวนบิตของรหัสจะเท่ากับ $-\log_2 p$ บิต

ในขั้นตอนที่ 2 จะทำการคำนวณขนาดของขอบเขตของสัญลักษณ์ a_i ที่ปรากฏขึ้นโดยทำการหาค่าความน่าจะเป็นสะสม 2 ตัว คือ $P_c = \sum_{k=1}^{i-1} p_k$ และ $P_N = \sum_{k=1}^{i} p_k$ และนำมาคำนวณหาช่วงขอบเขตใหม่ได้ดังนี้

$$[L+P_c(H - L),L+ P_N(H - L)) \qquad (2.33)$$

กระบวนการจะเริ่มจากข้อมูลต้นแบบที่ไม่ได้มีการเรียงลำดับความน่าจะเป็น จากนั้นจะทำการแบ่งช่วงระยะห่างระหว่าง 0 กับ 1 เป็นช่วงย่อย ๆตามความน่าจะเป็นสะสม (cumulative probability) อาทิเช่น กำหนดให้ข้อมูลต้นแบบ คือ S = {A,B,C,D,#} มีความน่าจะเป็น P = {0.3,0.1,0.2,0.3,0.1} ตามลำดับ การแบ่งช่วงระยะห่างระหว่าง 0 กับ 1 แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการเข้ารหัส AABD# แสดงไว้ในรูปที่ 2.19 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. A ตัวแรกจะลดขอบเขตของระยะห่างระหว่าง 0 กับ 1 ลงเป็น [0,0.3)
2. A ตัวที่สองจะลดขอบเขตของระยะห่างระหว่าง 0 กับ 0.3 ลงเป็น [0,0.09)
3. B จะลดขอบเขตของระยะห่างระหว่าง 0 กับ 0.09 ลงเป็น [0.027,0.036)
4. D จะลดขอบเขตของระยะห่างระหว่าง 0.027 กับ 0.036 ลงเป็น [0.0324,0.0351)
5. # จะลดขอบเขตของระยะห่างระหว่าง 0.0324 กับ 0.0351 ลงเป็น [0.03483,0.0351)

โดยที่ [0,0.3) หมายถึงระยะห่างที่อยู่ในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 0 และน้อยกว่า 0.3 เป็นต้น

ดังนั้นข้อมูล AABD# จะสามารถเข้ารหัสได้โดยการแทนช่วงระยะห่างหรือตัวเลขจำนวนใด ๆที่อยู่ในช่วง [0.03483,0.0351) ค่าความน่าจะเป็นของการเข้ารหัสของข้อมูลนี้คือ

$$(0.3)^2 \times (0.1) \times (0.3) \times (0.1) = 0.00027$$

จำนวนบิตของข้อมูลที่จะใช้แทนกลุ่มของสัญลักษณ์ข้อมูลนี้จะเท่ากับ

$$\lceil -\log_2(0.00027) \rceil = \lceil 11.854 \rceil = 12 \text{ บิต}$$

ดังนั้นเลือกข้อมูลในช่วง [0.03483,0.0351) มาแปลงเป็นไบนารี โดยเลือกค่ากลางในช่วงนี้จะได้เท่ากับ 0.034965 นำมาแปลงเป็นเลขไบนารีจะได้ $(0.00001000111100110\ldots)_2$ แต่จะนำมาเพียง 12 บิตเท่านั้นที่ใช้แทนข้อมูลที่นำมาเข้ารหัส ดังนั้น จะได้รหัสที่ใช้แทนข้อมูล AABD# คือ 0000 1000 1111

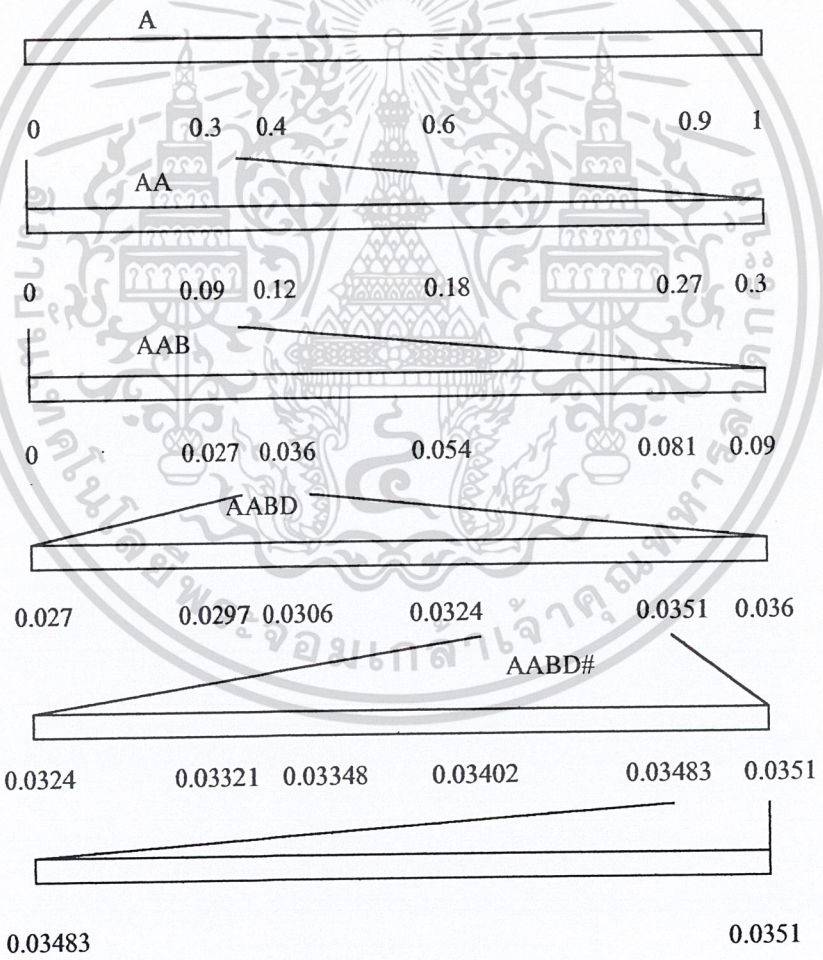
ถ้าเราจะพิจารณากำหนดรหัสให้กับสัญลักษณ์ S โดยกำหนดให้ใช้รหัสตัวละ 3 บิต (ความน่าจะเป็นของการเกิดแต่ละสัญลักษณ์เท่ากับ 1 ดังนั้นสัญลักษณ์จำนวน 5 ตัวจะสามารถกำหนดรหัสได้ต่ำสุดเท่ากับ $\lceil -\log_2(1/5) \rceil = \lceil 2.321 \rceil = 3$ บิต)

ดังนั้นจะได้ขนาดของข้อมูล AABD# เป็น 15 บิต (3 x 5) จากตัวอย่างจะเห็นว่าข้อมูลจะถูกลดลงมา 3 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลต้นแบบ	ความน่าจะเป็น (Probability)	ความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability)	ขอบเขต (Range)
A	0.3	0.3	[0-0.3)
B	0.1	0.4	[0.3-0.4)
C	0.2	0.6	[0.4-0.6)
D	0.3	0.9	[0.6-0.9)
#	0.1	1.0	[0.9-1.0)

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งขอบเขตตามความน่าจะเป็นสะสม



รูปที่ 2.19 แสดงการแบ่งขอบเขตของข้อมูลตามตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่าตัวถอดรหัสได้รับข้อมูลรหัสเป็น i = 0.0350 ดังนั้นกระบวนการถอดรหัสจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากแบ่งช่วง [0,1) ตามความน่าจะเป็นแล้วพบว่า i = 0.0350 อยู่ในช่วง [0,0.3) ซึ่งเป็นช่วงของตัวอักษร A ดังนั้นจะได้อักษรตัวแรกคือ A จากนั้นจะลดขอบเขตของ [0,1) ลงเป็น [0,0.3)
2. แบ่งช่วง [0,0.3) ตามความน่าจะเป็นแล้วพบว่า i = 0.0350 อยู่ในช่วง [0,0.09) ซึ่งเป็นช่วงของตัวอักษร A ดังนั้นจะได้อักษรตัวที่สองคือ A จากนั้นจะลดขอบเขตของ [0,0.3) ลงเป็น [0,0.09)
3. แบ่งช่วง [0,0.09) ตามความน่าจะเป็นแล้วพบว่า i = 0.0350 อยู่ในช่วง [0.027,0.036) ซึ่งเป็นช่วงของตัวอักษร B ดังนั้นจะได้อักษรตัวที่สามคือ B จากนั้นจะลดขอบเขตของ [0,0.09) ลงเป็น [0.027,0.036)
4. แบ่งช่วง [0.027,0.036) ตามความน่าจะเป็นแล้วพบว่า i = 0.0350 อยู่ในช่วง [0.0324,0.0351) ซึ่งเป็นช่วงของตัวอักษร D ดังนั้นจะได้อักษรตัวที่สี่คือ D จากนั้นจะลดขอบเขตของ [0.027,0.036) ลงเป็น [0.0324,0.0351)
5. แบ่งช่วง [0.0324,0.0351) ตามความน่าจะเป็นแล้วพบว่า i = 0.0350 อยู่ในช่วง [0.03483,0.0351) ซึ่งเป็นช่วงของตัวอักษร # ดังนั้นจะได้อักษรตัวสุดท้ายคือ # จากนั้นจะลดขอบเขตของ [0.0324,0.0351) ลงเป็น [0.03483,0.0351)

2.8 การวัดประสิทธิภาพของภาพภายหลังการบีบอัดข้อมูลภาพ

การวัดประสิทธิภาพของภาพภายหลังการบีบอัดข้อมูลภาพถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากข้อมูลภาพบางชนิดให้ความสำคัญกับรายละเอียดของภาพมาก ถ้าหากเกิดความผิดพลาดเกินค่าที่สามารถยอมรับได้ ข้อมูลภาพนั้นจะเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพมีอยู่หลายเกณฑ์ด้วยกัน ได้แก่

2.8.1 ค่าความผิดพลาด (error)

ในการลดข้อมูลภาพนั้นจะมีข้อมูลส่วนหนึ่งที่เกิดผิดพลาดหรือสูญเสียไป ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลในตอนที่สร้างภาพกลับคืนมา และค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ในช่วงหนึ่งที่ยอมรับได้ ดังนั้นเกณฑ์การวัดความเหมือนจริงของภาพสามารถนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของภาพได้ ตัวอย่างเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดความเหมือนจริงของภาพ คือ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของจุดภาพ (average pixel error) สามารถวัดได้จาก

$$\text{Average pixel error} = \frac{1}{N_{Rows} N_{Cols}} \sum_{i=1}^{N_{Rows}} \sum_{j=1}^{N_{Cols}} \left| f_{i,j} - d_{i,j} \right| \qquad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอีกค่าหนึ่งคือค่าระหว่างข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR : peak signal-to-noise ratio) ซึ่งสามารถหาได้จากรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (rms : root mean square error)

$$\text{rms} = \sqrt{\frac{1}{N_{Rows} N_{Cols}} \sum_{i-1}^{N_{Rows}} \sum_{j=1}^{N_{Cols}} \left| f_{i,j} - d_{i,j} \right|^2} \qquad (2.35)$$

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{M_{Graylevel}}{rms} \right) \qquad (2.36)$$

โดยที่ N_{Rows} และ N_{Cols} เป็นจำนวนของแถวและหลักในเมตริกซ์ตามลำดับ ค่า $M_{Graylevel}$ เป็นค่าสูงสุดของระดับสีเทา ซึ่งในกรณีของภาพ 8 บิต จะใช้ค่าเท่ากับ 255 ค่า $f_{i,j}$ เป็นค่าจุดภาพของภาพต้นแบบที่แถว i และหลัก j และค่า $d_{i,j}$ เป็นค่าจุดภาพของภาพที่ผ่านการบีบอัดแล้ว

จากวิธีการที่ใช้ในการวัดความเหมือนจริงของภาพที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่สามารถที่จะบ่งบอกหรือใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้แต่เพียงอย่างเดียว ในกรณีของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลหรือรับส่งสัญญาณ โดยมีสายตาของมนุษย์เป็นตัวรับภาพซึ่งระบบการมองเห็นของสายตาจะไวต่อความเข้มแสงในลักษณะของล็อก (logarithmic) ดังนั้น ความผิดพลาดในบริเวณที่เป็นที่มืดของภาพจะเห็นได้ชัดเจนกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในบริเวณที่สว่าง และระบบการมองเห็นยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของระดับสีเทาด้วย ความผิดพลาดที่อยู่บนขอบหรือใกล้ๆ ขอบของวัตถุจะมีผลต่อการมองเห็นมากกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นฉากหลังของภาพ ด้วยเหตุนี้เอง ถึงแม้ว่าภาพจะมีค่าของ rms ในความผิดพลาดที่เท่ากัน แต่อาจจะปรากฏความแตกต่างของคุณภาพของการมองเห็นที่แตกต่างกันได้

2.8.2 อัตราบิต (Bit Rate)

อัตราบิต (bit rate) คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนบิตต่อจุดภาพ (bit per pixel ,bpp) ของภาพที่โดนลดขนาดข้อมูล โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตของข้อมูลทั้งหมดของภาพที่ถูกลดข้อมูลต่อจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพต้นแบบ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{bpp} = \frac{\text{Encoded number of bits}}{\text{Number of pixels}} \qquad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราบิตสามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของภาพได้ดังตารางต่อไปนี้

จำนวนบิตต่อจุดภาพ (bpp)	คุณภาพของภาพ
0.25 – 0.5	ปานกลางถึงดี
0.5 – 0.75	ดีถึงดีมาก
0.75 – 1.0	ดีเยี่ยม
1.5 – 2.0	ภาพที่ได้มีความใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมาก

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพจากจำนวนบิตต่อจุดภาพ

2.8.3 อัตราการลดข้อมูล (Compression Ratio : CR)

อัตราการลดข้อมูล คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้แทนภาพต้นแบบ และจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้แทนภาพที่ถูกลดข้อมูล โดยสามารถหาได้ดังสมการ

$$CR = \frac{\text{Original data size}}{\text{Compressed data size}} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการทำงานของการบีบอัดข้อมูลรูปภาพ

ในการบีบอัดข้อมูลภาพโดยทั่วๆ ไปสามารถที่จะแยกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ดาต้าโมเดลลิ่ง (data modeling) คือ การนำเอาข้อมูลข่าวสารมาเปลี่ยนเป็นรูปแบบใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเดิม เพื่อที่จะใช้รูปแบบใหม่เหล่านี้ในการกำจัดหรือลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลบางประการลงได้ โดยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีของการแปลงเวฟเล็ต

และอีกขั้นตอนหนึ่ง คือ การเข้ารหัส (code packing) โดยจะนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทำดาต้าโมเดลลิ่งมาจัดกลุ่มของสัมประสิทธิ์เพื่อที่จะให้ได้สัญลักษณ์ของข้อมูลที่มาแทนค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้น ซึ่งอาศัยวิธีการจัดระดับค่าแบบการประมาณต่อเนื่อง (SAQ) สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตจะถูกจัดค่าตามระดับบิต โดยจะเริ่มจากระดับบิตที่มีนัยสำคัญก่อน เรียกวิธีดังกล่าวว่า เอ็มเบดอิดซีโร่ทรี (Embedded zerotree)

ขั้นตอนสุดท้าย คือ การนำเอาลำดับของข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มของสัมประสิทธิ์มาทำการเข้ารหัสในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้การเข้ารหัสเลขคณิต ซึ่งเป็นการลดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย

3.1 การคำนวณการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ

จากสมการที่ (2.13) $$c_j(k) = \sum_m h_0(m-2k)c_{j+1}(m)$$

และสมการที่ (2.14) $$d_j(k) = \sum_m h_1(m-2k)c_{j+1}(m)$$

นำทั้งสองสมการดังกล่าวมาใช้ในการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการกรองความถี่ต่ำผ่าน (h_0) และการกรองความถี่สูงผ่าน (h_1) คือสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตฟังก์ชัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการคำนวณดังตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยจะใช้ฟังก์ชันฮาร์เป็นเวฟเล็ตฟังก์ชันเพื่อความสะดวกในการคำนวณ

จากสัมประสิทธิ์ของฮาร์เวฟเล็ต กำหนดให้สัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (h_0) และสัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่สูงผ่าน (h_1) เป็นดังนี้

$$h_0 = \{\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}},\} \text{และ } h_1 = \{\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลภาพมีขนาด 4 พิกเซล คือ 9, 7, 3 และ 5

จะได้ว่า

$$c_1(k) = \sum_{m=0}^{3} h_0(m-2k)c_2(m)$$

ดังนั้น

$$c_1(0) = h_0(0)c_2(0)+h_0(1)c_2(1)+h_0(2)c_2(2)+h_0(3)c_2(3)$$
$$= \frac{9}{\sqrt{2}} + \frac{7}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{16}{\sqrt{2}}$$

และ

$$c_1(1) = h_0(-2)c_2(0)+h_0(-1)c_2(1)+h_0(0)c_2(2)+h_0(1)c_2(3)$$
$$= \frac{3}{\sqrt{2}} + \frac{5}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{8}{\sqrt{2}}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$d_1(k) = \sum_{m=0}^{3} h_1(m-2k)c_2(m)$$
$$d_1(1) = h_1(0)c_2(0)+h_1(1)c_2(1)+h_1(2)c_2(2)+h_1(3)c_2(3)$$
$$= \frac{9}{\sqrt{2}} - \frac{7}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{2}{\sqrt{2}}$$

และ

$$d_1(1) = h_1(-2)c_2(0)+h_1(-1)c_2(1)-h_1(0)c_2(2)+h_1(1)c_2(3)$$
$$= \frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{5}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{-2}{\sqrt{2}}$$

ดังนั้นจะได้ผลการแปลงเวฟเล็ต คือ $\{ \frac{16}{\sqrt{2}}, \frac{8}{\sqrt{2}}, \frac{2}{\sqrt{2}}, \frac{-2}{\sqrt{2}} \}$

และเมื่อทำการแปลงเวฟเล็ตอีกจะได้ว่า

$$c_0(k) = \sum_{m=0}^{1} h_0(m-2k)c_1(m)$$
$$c_0(0) = h_0(0)c_1(0)+h_0(1)c_1(1)$$
$$= \frac{16}{2} + \frac{8}{2} = 12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

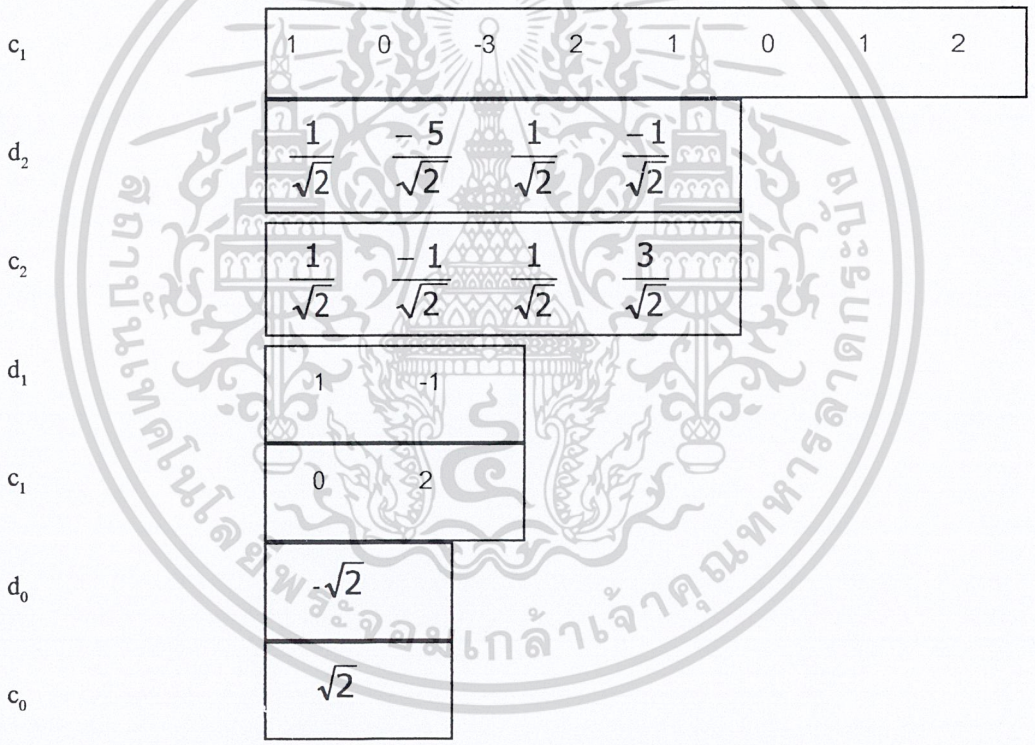
$$d_0(k) = \sum_{m=0}^{1} h_1(m-2k)c_1(m)$$

$$d_0(0) = h_1(0)c_1(0)+h_1(1)c_1(1)$$

$$= \frac{16}{2} - \frac{8}{2} = 4$$

ผลสุดท้ายจะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต คือ $\{12,4,\frac{2}{\sqrt{2}},\frac{-2}{\sqrt{2}}\}$

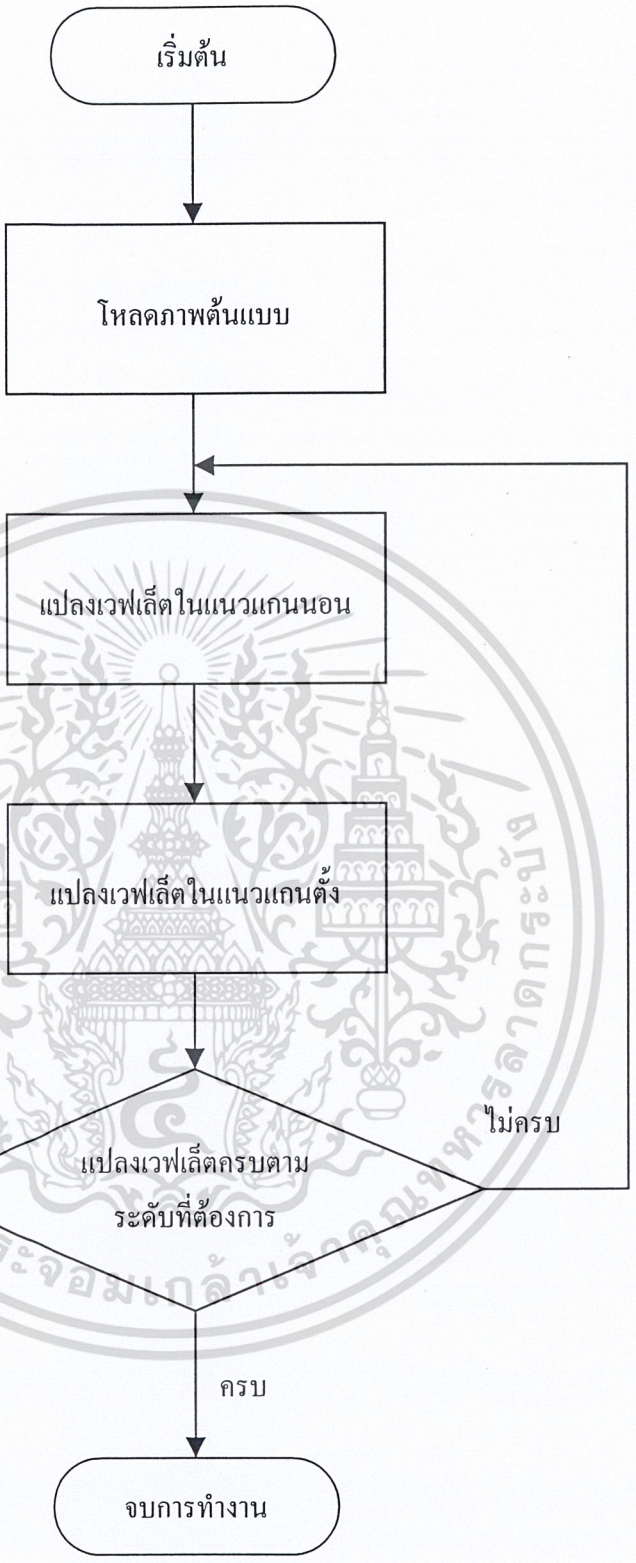
ตัวอย่างที่ 2 สมมติข้อมูลภาพมีขนาด 8 จุดภาพ คือ 1, 0, -3, 2, 1, 0, 1 และ 2 ข้อมูลภาพดังกล่าวสามารถแสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องได้ดังนี้



จะได้สัมประสิทธิ์ของข้อมูลหลังการแปลงเวฟเล็ตคือ $\{\sqrt{2},-\sqrt{2},1,-1,\frac{1}{\sqrt{2}},\frac{-5}{\sqrt{2}},\frac{1}{\sqrt{2}},\frac{-1}{\sqrt{2}}\}$

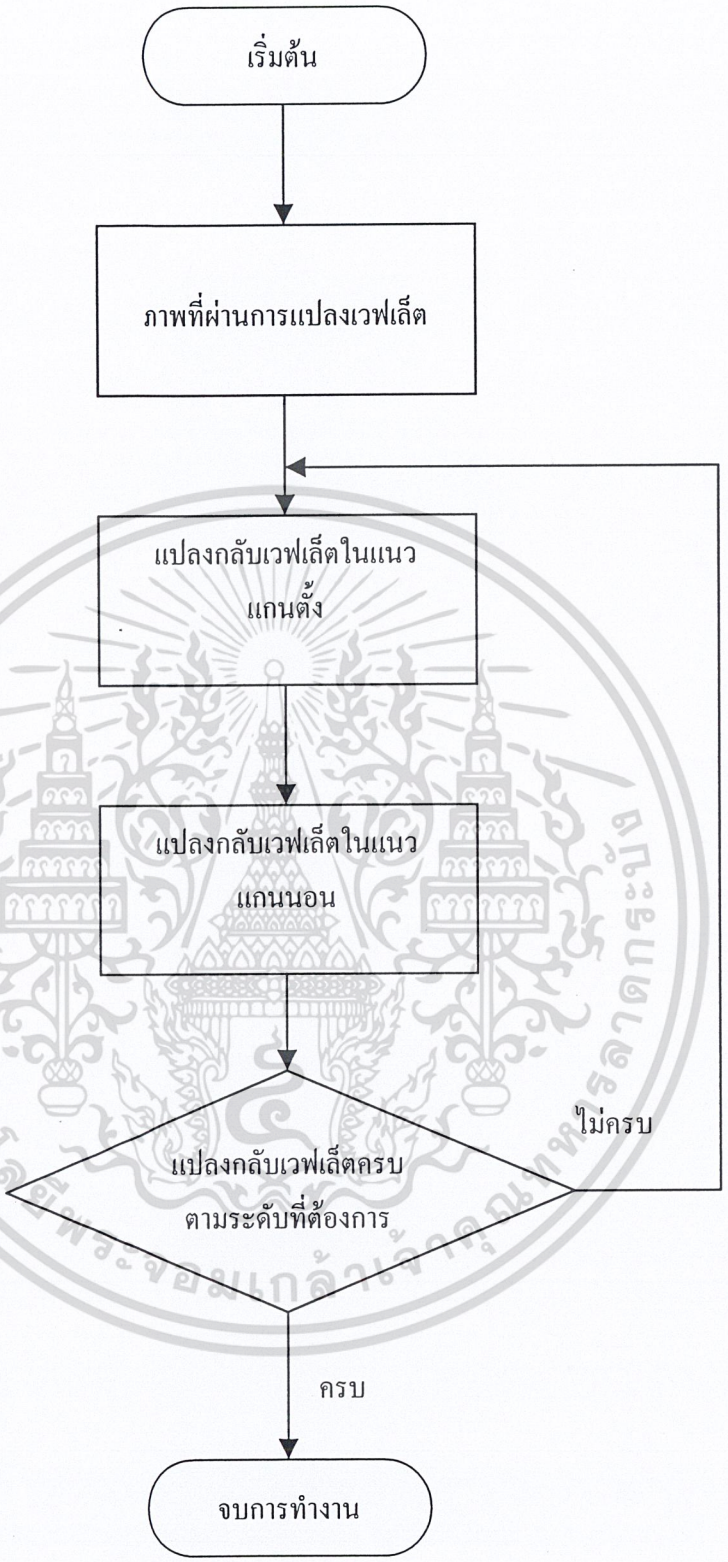
วิธีการแปลงเวฟเล็ตและการแปลงกลับเวฟเล็ตแสดงได้ดังผังงานที่ 3.1 และผังงานที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.1 แสดงการทำงานการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.2 แสดงการทำงานการแปลงกลับเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การกำหนดรหัสสัญลักษณ์ให้กับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

จากหัวข้อที่ 2.6 ในบทที่ 2 การเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี (EZW) ที่มีกระบวนการจัดสัมประสิทธิ์เป็นโดมิแนนท์ และ สับออร์ดิเนท สามารถที่จะเขียนเป็นผังงานได้ดังผังงานที่ 3.4 และผังงานที่ 3.5 ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการนำข้อมูลสัมประสิทธิ์มาจัดการเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี ได้ดังนี้

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	8	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

รูปที่ 3.1 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต

พิจารณารูปที่ 3.1 ที่เกิดจากการแปลงเวฟเล็ตของภาพขนาด 8x8 จุดภาพเป็น 3 ระดับ ค่าสัมประสิทธิ์จากการแปลงที่มีค่าสูงสุด คือ 63 เลือกค่าเทรชโฮลเริ่มต้น (τ_0) จากครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด คือ $\tau_0 = \frac{63}{2} = 31.5$ จากนั้นเลือกค่าเทรชโฮลรูปสองยกกำลัง นั่นคือ $\tau_0 = 2^5 = 32$

เริ่มต้นจะทำขบวนการโดมิแนนท์ก่อนคือ ทำการสแกนค่าสัมประสิทธิ์ตามรูปที่ 3.1 โดยทิศทางของการสแกนจะมีลักษณะเป็นแบบตัวซี (ดังในรูปที่ 2.16) ซึ่งจะพบค่าสัมประสิทธิ์ตัวแรกมีขนาดเท่ากับ 63 โดยมีค่าของสัมประสิทธิ์มากกว่าค่าเทรชโฮลเริ่มต้น ซึ่งจะถือว่าเป็นค่านัยสำคัญ และจะกำหนดสัญลักษณ์เป็น POS เพราะค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก เมื่อสแกนต่อไปจะพบสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ –34 และมีค่าสัมบูรณ์ที่มากกว่าค่าเทรชโฮลเริ่มต้นแต่ค่าเป็นลบจะถูกกำหนดด้วยสัญลักษณ์เป็น NEG ถ้าสแกนต่อ ค่าสัมบูรณ์ของ –31 น้อยกว่าค่าเทรชโฮลเริ่มต้น แต่เมื่อมองในสับแบนด์สเกลของสัมประสิทธิ์ของทั้งโหนดลูกและโหนดสืบทอดแล้วมีสัมประสิทธิ์บางตัวมากกว่าค่าเทรชโฮลเริ่มต้น ดังนั้นตำแหน่งนี้จะถูกกำหนดให้แทนด้วยสัญลักษณ์ ไอโซเลทซีโร่ (IZ) จากนั้นค่า 23 ที่ถูกสแกนต่อมามีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮล รวมทั้งสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของสับแบนด์ในโหนดลูก และโหนดสืบทอดมีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮล ตำแหน่งนี้ก็จะถูกกำหนดด้วยรากซีโร่ทรี (ZTR) ทำให้ไม่ต้องพิจารณาสัมประสิทธิ์ในโหนดลูกและโหนดสืบทอดของโดมิแนนท์นี้อีก แล้วทำการสแกนต่อไปอีกโดยจะพิจารณาตามหลักการที่เหมือนกันกับหลักการที่กล่าวมาข้างต้น โดยสามารถสรุปเป็นตารางของขบวนการทำโดมิแนนท์ในการสแกนหนึ่งครั้ง ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญและไม่สำคัญในเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

Subband	ค่าของสัมประสิทธิ์	Symbol	ค่าที่สร้างกลับ
LL3	63	POS	48
HL3	-34	NEG	-48
LH3	-31	IZ	0
HH3	23	ZTR	0
HL2	49	POS	48
HL2	10	ZTR	0
HL2	14	ZTR	0
HL2	-13	ZTR	0
LH2	15	ZTR	0
LH2	14	IZ	0
LH2	-9	ZTR	0
LH2	-7	ZTR	0
HL1	7	Z	0
HL1	13	Z	0
HL1	3	Z	0
HL1	4	Z	0
LH1	-1	Z	0
LH1	47	POS	48
LH1	-3	Z	0
LH1	-2	Z	0

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีค่านัยสำคัญ

ขนาดของสัมประสิทธิ์	Symbol	ขนาดสัมประสิทธิ์ที่สร้างกลับ
63	1	56
34	0	40
49	1	56
47	0	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ที่เป็นตัวนัยสำคัญ (POS และ NEG) จะมาเข้าขบวนการสับออร์ดิเนทโดยจะนำมาทำการควอนไทซ์ โดยหาค่ากลางจาก $\frac{\tau_0 + 2\tau_0}{2} = \frac{32 + 64}{2} = 48$ ดังนั้นค่า 63 จะมากกว่าค่ากลางคือ 48 และถูกกำหนดสัญลักษณ์ด้วย "1" และค่าสัมบูรณ์ของ –34 จะน้อยกว่า 48 ถูกกำหนดสัญลักษณ์ด้วย "0" ดัง ตารางที่ 3.2

เมื่อทำการสแกนครั้งที่สองในขบวนการโดมิแนนท์ ค่าเทรชโฮลจะถูกกำหนดใหม่จากสมการที่ 2.29 คือ $\tau_1 = \frac{\tau_0}{2} = 16$ สัมประสิทธิ์ตัวที่ถูกกำหนดสัญลักษณ์ POS หรือ NEG จะถูกสแกนข้ามและแทนค่าเป็นศูนย์เพื่อให้เกิดกลุ่มข้อมูลที่เป็นศูนย์เพิ่มขึ้น ส่วนในขบวนการสับออร์ดิเนทครั้งที่สองสัมประสิทธิ์ที่มากกว่าค่า τ_1 ก็จะถูกนำมาจัดค่าระดับใหม่ จะกระทำเช่นนี้จนกระทั่งได้เงื่อนไขตามต้องการจึงจะหยุดทำการสแกนข้อมูล ผลที่ได้จากตัวอย่างข้างต้นสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีค่านัยสำคัญครั้งที่สอง

ขนาดของสัมประสิทธ์	Symbol	ขนาดสัมประสิทธิ์ที่สร้างกลับ
63	11	60
34	00	36
49	10	52
47	01	44
31	1	28
23	0	20

จากผลในตารางที่ 3.1 และ 3.2 จะนำสัญลักษณ์มาจัดเรียงตามลักษณะการสแกนแบบตัวซี (Z) คือขบวนการโดมิแนนท์จะได้ลำดับของสัญลักษณ์ดังนี้

ลำดับของสัญลักษณ์ในโดมิแนนท์ = { POS, NEG, IZ, ZTR, POS, ZTR,ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, IZ,
ZTR, ZTR, Z, Z, Z, Z, Z, POS, Z, Z }

และลำดับของสัญลักษณ์ในขบวนการของสับออร์ดิเนทจะได้ดังนี้

ลำดับของสัญลักษณ์ในสับออร์ดิเนท = { 1, 0, 1, 0 }

เมื่อนำลำดับของสัญลักษณ์ทั้งโดมิแนนท์และสับออร์ดิเนทมารวมกัน จะได้ลำดับของสัญลักษณ์ใหม่คือ

ลำดับของสัญลักษณ์ = { POS, 1, NEG, 0, IZ, ZTR, POS, 1, ZTR,ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, IZ,
ZTR, ZTR, Z, Z, Z, Z, Z, POS, 0, Z, Z }

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลำดับของชุดสัญลักษณ์นี้เกิดจากการทำกระบวนการของโดมิแนนท์และสับออร์ดิเนทหนึ่งครั้ง เพื่อให้ชุดข้อมูลมีรหัสสัญลักษณ์น้อยลง โดยการแทนสัญลักษณ์ { POS, NEG, IZ, ZTR } ด้วย { 01, 10, 11, 00 } ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ลำดับของสัญลักษณ์ใหม่ คือ

ลำดับของสัญลักษณ์ = { 01, 1, 10, 0, 11, 00, 01, 1, 00, 00, 00, 00, 11, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 01, 0,11,11 }

และเมื่อทำขบวนการของโดมิแนนท์และสับออร์ดิเนทครั้งที่สอง ผลที่ได้ในตารางที่ 3.1 จะถูกนำมาจัดเรียงอีก คือ

ลำดับของสัญลักษณ์ในโดมิแนนท์ (ครั้งที่ 2) = { NEG, POS, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR }

ลำดับของสัญลักษณ์ในสับออร์ดิเนทครั้งที่ 2 = { 1, 0 }

จากขบวนการโดมิแนนท์และสับออร์ดิเนทครั้งที่สองรวมกันเป็นลำดับของสัญลักษณ์ทั้งหมดคือ

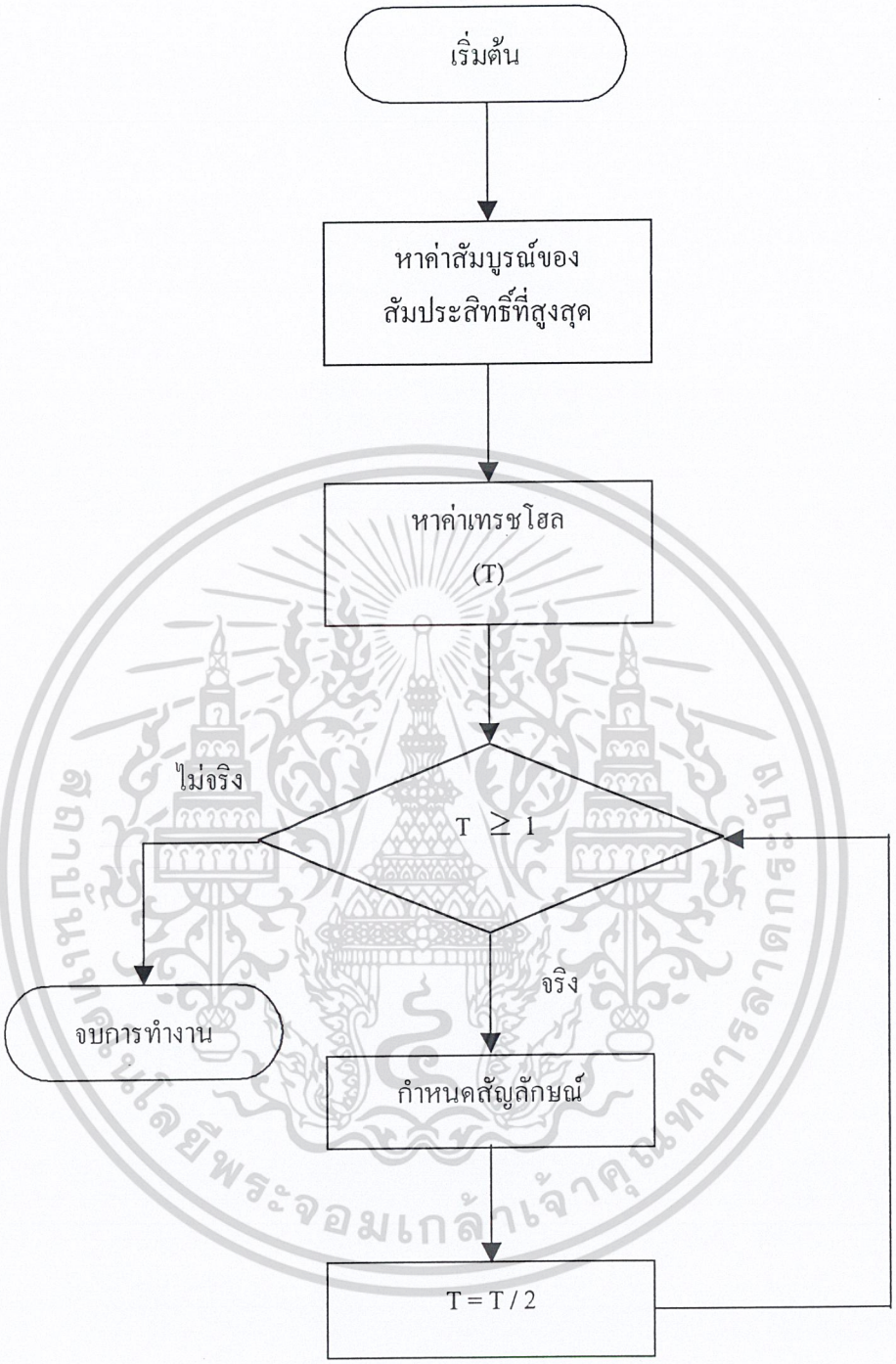
ลำดับของข้อมูล = { รหัสสัญลักษณ์ในโดมิแนนท์และรหัสสัญลักษณ์ในสับออร์ดิเนทที่ 1 , รหัสสัญลักษณ์ในโดมิแนนท์และรหัสสัญลักษณ์ในสับออร์ดิเนทที่ 2 }

ลำดับของข้อมูล = { POS, 11, NEG, 00, IZ, ZTR, POS, 11, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, IZ, ZTR, ZTR, Z, Z, Z, Z, Z, POS, 01, Z, Z, NEG, 1, POS, 0, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR, ZTR }

ลำดับของสัญลักษณ์ = { 01, 11, 10, 00, 11, 00, 01, 10, 00, 00, 00, 00, 11, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 01, 01, 00, 00, 10, 1, 01, 0, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00 }

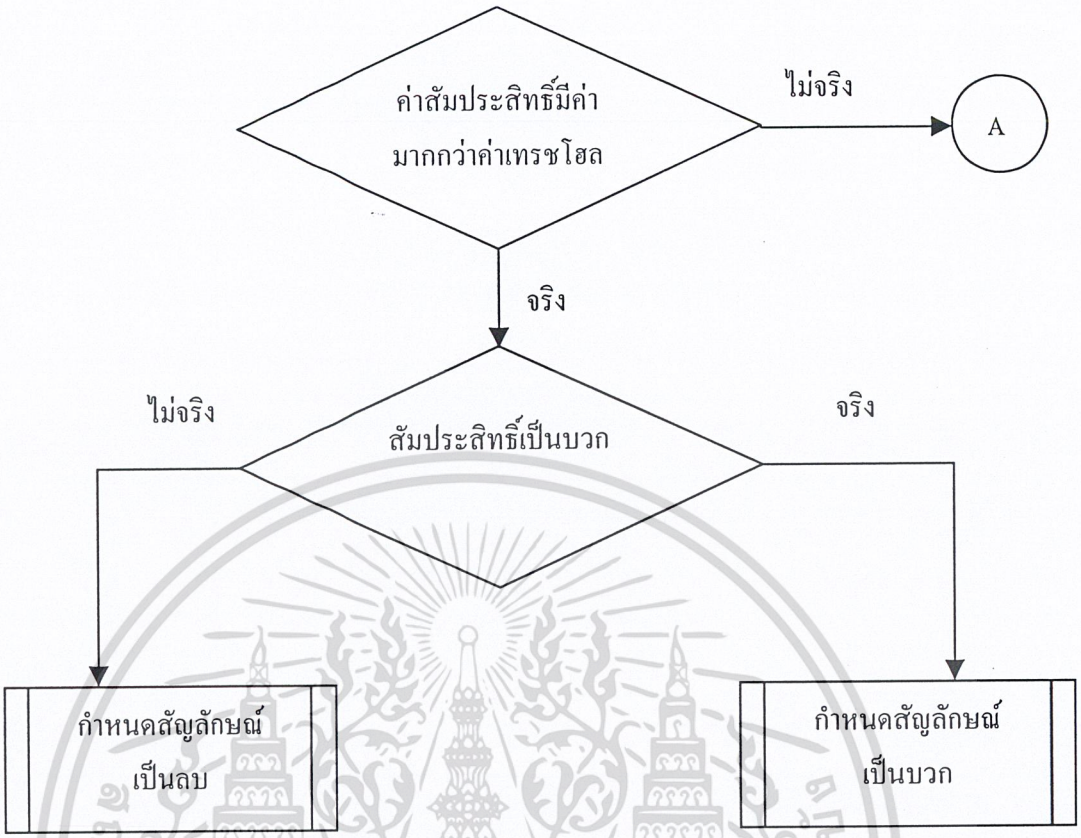
วิธีการเข้ารหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีแสดงได้ในผังงานที่ 3.3, ผังงานที่ 3.4 และผังงานที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



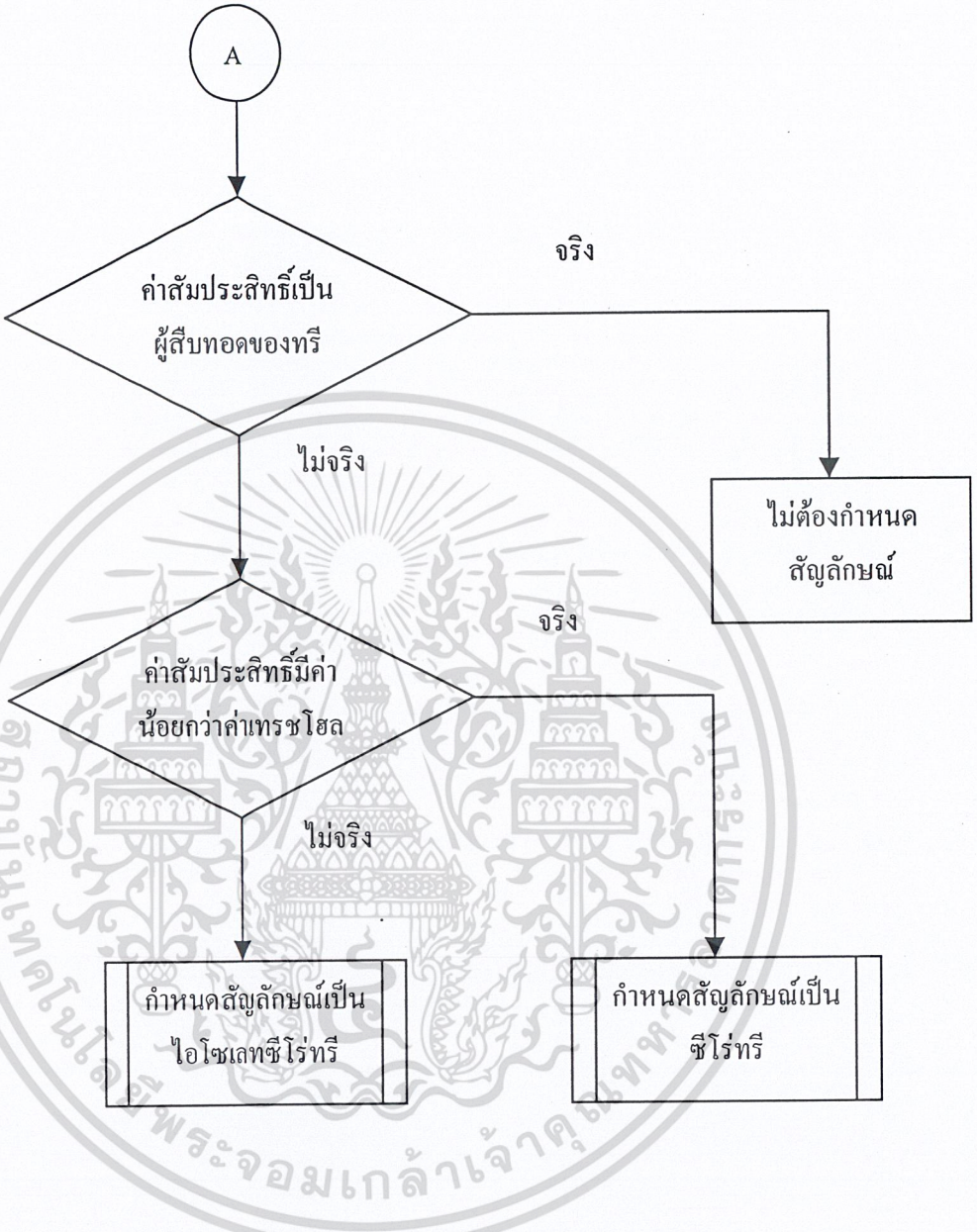
ผังงานที่ 3.3 แสดงวิธีการเข้ารหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.4 แสดงวิธีการกำหนดสัญลักษณ์ในส่วนแรก

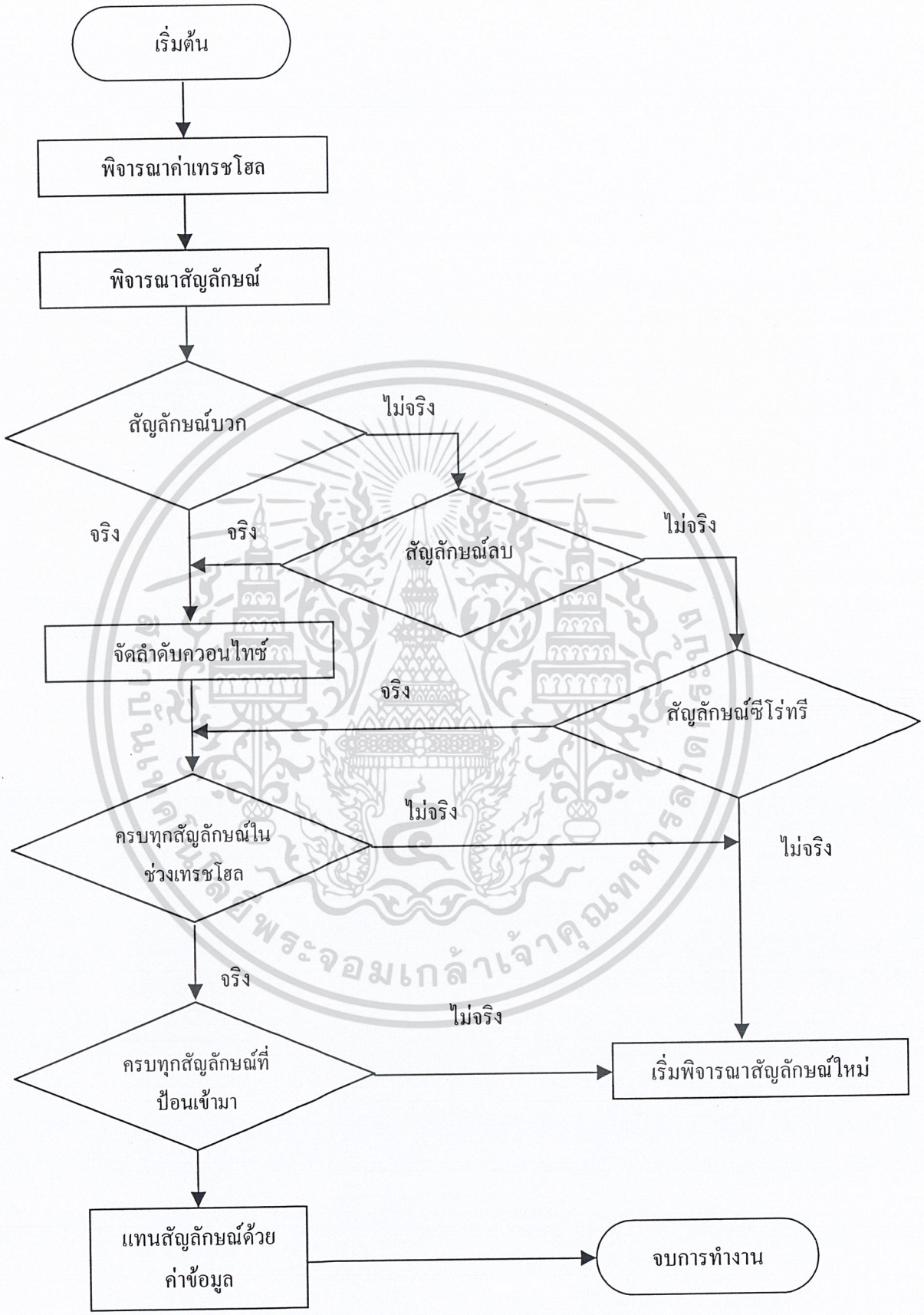
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.5 แสดงวิธีการกำหนดสัญลักษณ์ในส่วนที่สอง

ส่วนวิธีการถอดรหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีสามารถแสดงได้ดังแผนงานที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

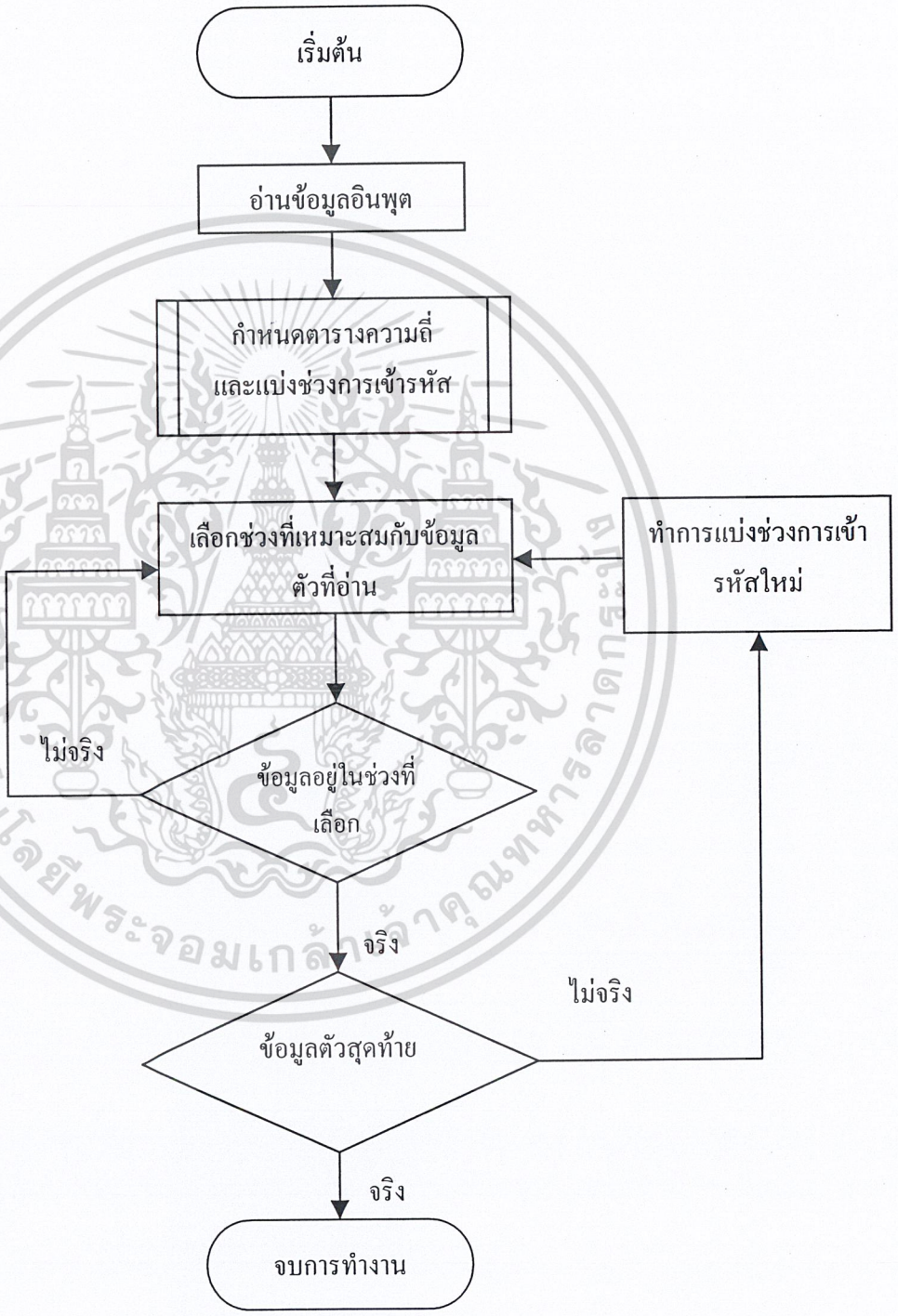


ผังงานที่ 3.6 แสดงวิธีการถอดรหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเข้ารหัสเลขคณิต

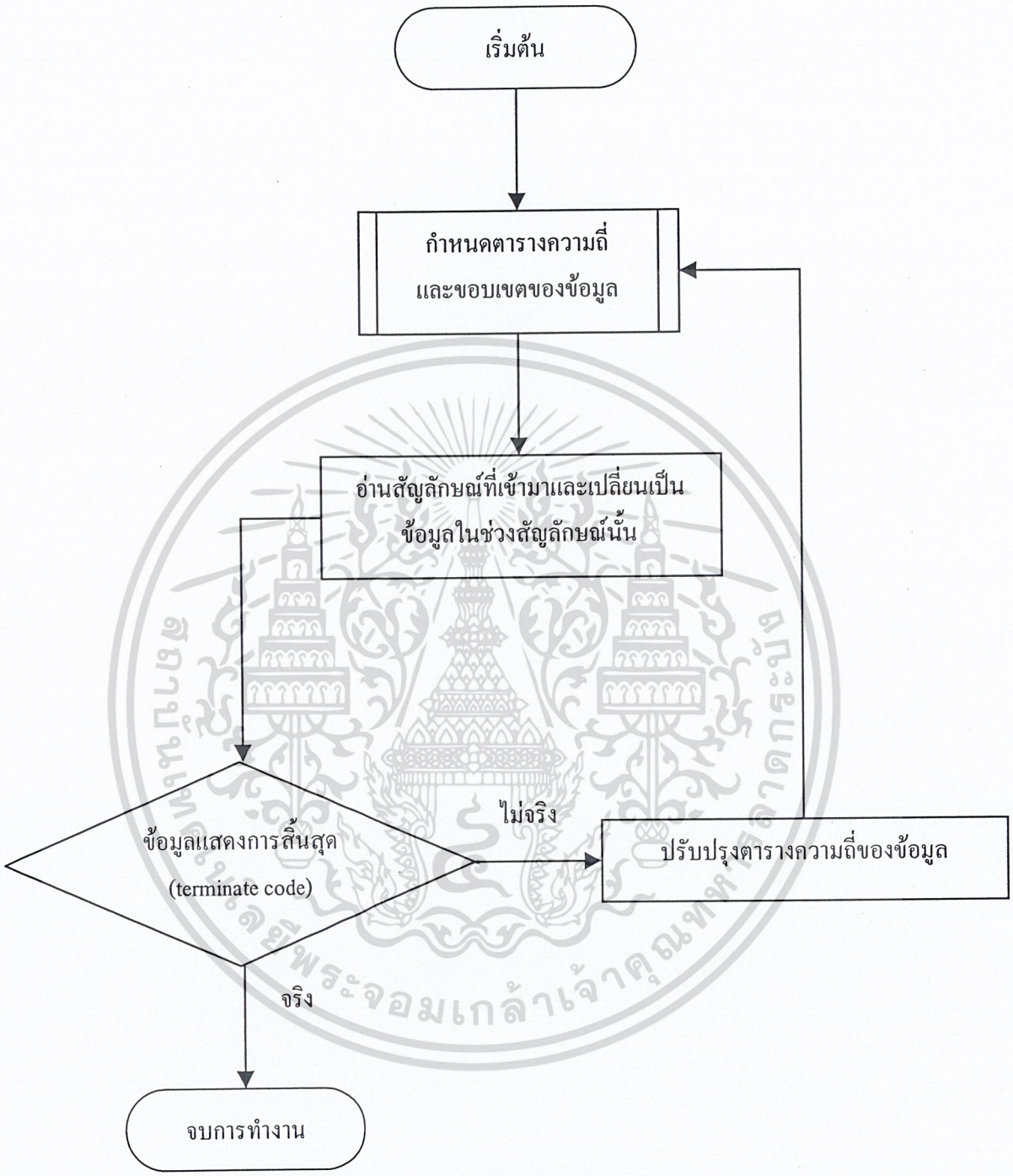
เนื่องจากวิธีการเข้ารหัสเลขคณิตจะอาศัยค่าในช่วงระยะขอบเขตของความน่าจะเป็นในการเกิดสัญลักษณ์ของข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์ ซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนจริงที่มีช่วงอยู่ระหว่าง [0,1) สามารถเขียนลำดับการทำงานได้ดังผังงานที่ 3.7



ผังงานที่ 3.7 แสดงวิธีการเข้ารหัสเลขคณิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวิธีการถอดรหัสเลขคณิตสามารถอธิบายได้ดังผังงานที่ 3.8



ผังงานที่ 3.8 แสดงวิธีการถอดรหัสเลขคณิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองในบทนี้จะเป็นการนำเอาอัลกอริทึมของการบีบอัดข้อมูลรูปภาพ โดยนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตไปบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

จากบทที่ 2 พบว่าฟังก์ชันเวฟเล็ตมีหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะให้ผลของการแปลงเวฟเล็ตที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้ชนิดของเวฟเล็ตขึ้นอยู่กับข้อมูลรูปภาพนั้นๆ เป็นสำคัญ รูปภาพบางภาพก็มีรายละเอียดต่ำแต่บางภาพก็มีรายละเอียดสูง จึงควรพิจารณารายละเอียดของภาพก่อนที่จะทำการเลือกใช้ชนิดของเวฟเล็ตเพราะจะส่งผลถึงคุณภาพของภาพที่ได้ภายหลังผ่านกระบวนการบีบอัดภาพด้วย

การทดลองที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบรูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างๆ กัน

การทดลองที่ 4.2 เป็นการนำรูปภาพที่แตกต่างกันขนาดเดียวกันไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์และแบบดาบีชีชนิดต่างๆ ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างกัน

การทดลองที่ 4.3 เป็นการนำวิธีการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมาเปรียบเทียบกับวิธีการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเจเพก (JPEG) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการบีบอัดภาพในปัจจุบัน

การทดลองที่ 4.4 เป็นการนำรูปภาพต้นแบบขนาดต่างกันมาทำการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี และเปรียบเทียบผลจากกราฟระหว่างค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) กับอัตราการบีบอัดและกราฟระหว่างจำนวนบิตต่อจุดภาพกับอัตราการบีบอัด รวมทั้งนำค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนและอัตราการบีบอัดมาเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบีบอัดภาพที่มีขนาดต่างกัน

การทดลองที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบภาพที่ต่างกันภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

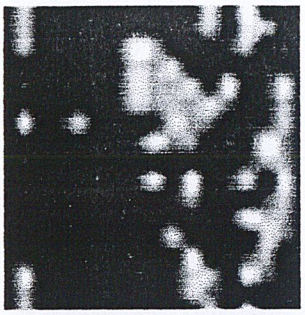
การทดลองที่ 4.1 การเปรียบเทียบรูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างๆ กัน โดยในการทดลองนี้ใช้ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพเป็นภาพต้นแบบ และใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4 ซึ่งจะแสดงในรูปของค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) , จำนวนบิตต่อจุดภาพ (bit per pixel : bpp) และอัตราการบีบอัด (compression ratio : CR)



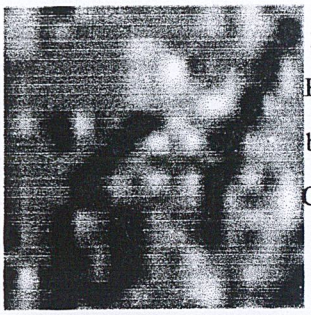
รูปที่ 4.1 แสดงภาพต้นแบบ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ารูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่ำ จะให้อัตราการบีบอัดที่สูงมากแต่ขณะเดียวกันก็จะให้ค่า PSNR ที่ต่ำ นั่นคือมีค่าอัตราการผิดพลาดสูงทำให้คุณภาพของภาพภายหลังการบีบอัดต่ำ ในทางตรงกันข้าม รูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดสูงขึ้น จะให้อัตราการบีบอัดลดลงแต่ให้ค่า PSNR สูงขึ้น นั่นคืออัตราการผิดพลาดจะค่อยๆ ลดลง ทำให้คุณภาพของภาพภายหลังการบีบอัดค่อยๆ สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10%
PSNR = 9.25 dB
bpp = 0.0065
CR = 1213.60



20%
PSNR = 15.68 dB
bpp = 0.0126
CR = 630.15



30%
PSNR = 18.24 dB
bpp = 0.0212
CR = 376.64



40%
PSNR = 20.61 dB
bpp = 0.0416
CR = 192.18



50%
PSNR = 25.97 dB
bpp = 0.2180
CR = 36.69



60%
PSNR = 29.72 dB
bpp = 0.4802
CR = 16.65



70%
PSNR = 33.97 dB
bpp = 0.9912
CR = 8.77



80%
PSNR = 38.38 dB
bpp = 1.5549
CR = 5.14



90%
PSNR = 43.09 dB
bpp = 2.5237
CR = 3.17



100%
PSNR = 49.28 dB
bpp = 3.8881
CR = 2.05

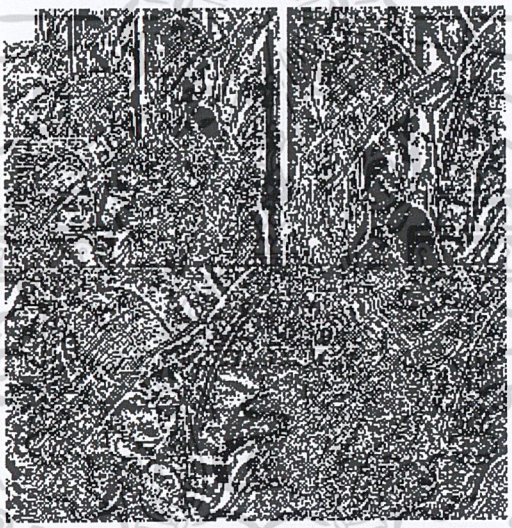
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบรูปภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างๆ กัน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2 การนำรูปภาพที่แตกต่างกันขนาดเดียวกันไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์และแบบดาบีชีชนิดต่างๆ ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดต่างกัน ซึ่งมีภาพที่ใช้ในการทดลองดังนี้

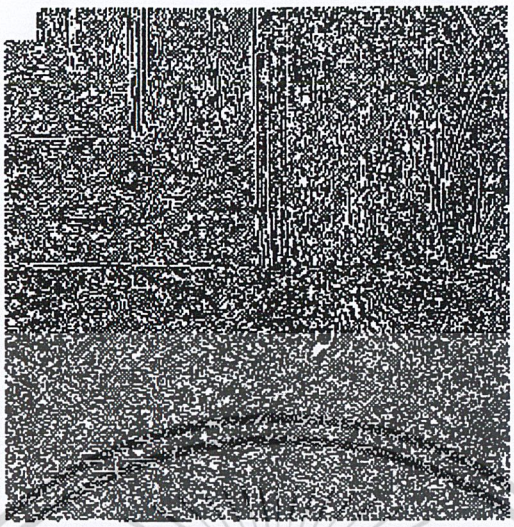
1. ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ
2. ภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ
3. ภาพ X-ray ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

ซึ่งจากภาพต้นแบบ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพดังรูปที่ 4.1 เมื่อนำไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์, แบบดาบีชี-4 และดาบีชี-10 จะได้ภาพภายหลังการแปลงเวฟเล็ตดังรูปที่ 4.3 จนถึงรูปที่ 4.5

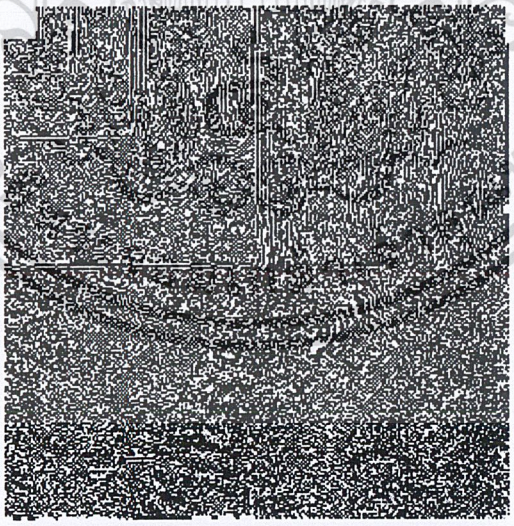


รูปที่ 4.3 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

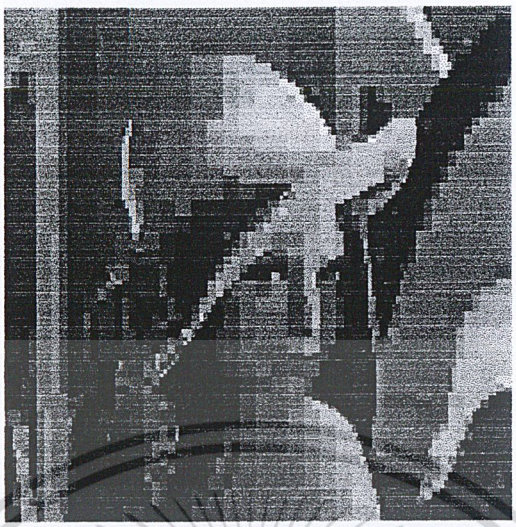


รูปที่ 4.4 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4



รูปที่ 4.5 แสดงภาพ Lena ภายหลังการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์
โดยมีค่า PSNR = 22.16 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.0989
อัตราการบีบอัด = 80.80



รูปที่ 4.7 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์
โดยมีค่า PSNR = 33.98 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 4.0364
อัตราการบีบอัด = 1.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4

โดยมีค่า PSNR = 25.97 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.2180

อัตราการบีบอัด = 36.69



รูปที่ 4.9 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4

โดยมีค่า PSNR = 49.28 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.8881

อัตราการบีบอัด = 2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10
โดยมีค่า PSNR = 22.60 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.0872
อัตราการบีบอัด = 91.65



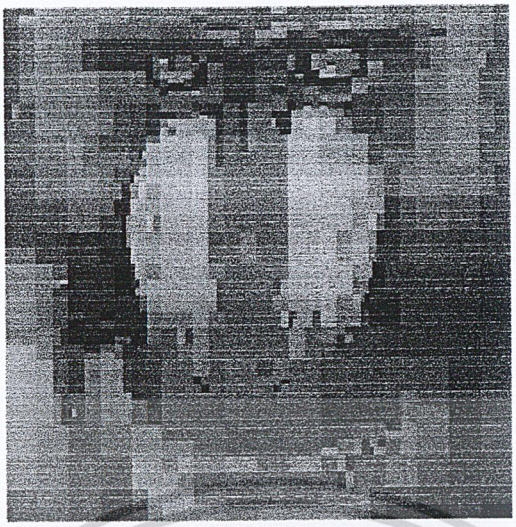
รูปที่ 4.11 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10
โดยมีค่า PSNR = 49.23 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.8727
อัตราการบีบอัด = 2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพต้นแบบ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์

โดยมีค่า PSNR = 18.81 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.0993

อัตราการบีบอัด = 80.51



รูปที่ 4.14 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์

โดยมีค่า PSNR = 30.84 dB

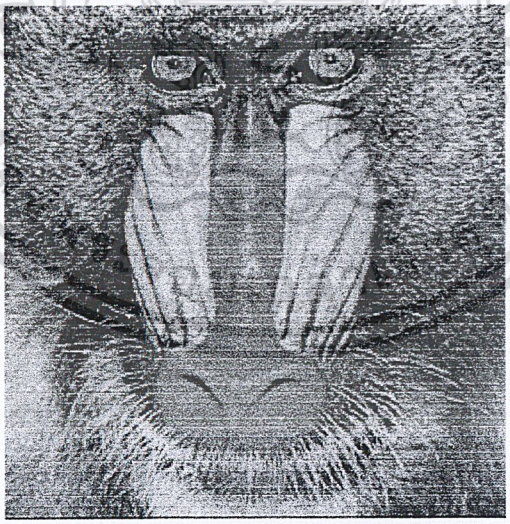
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.3809

อัตราการบีบอัด = 1.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4
โดยมีค่า PSNR = 22.07 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.2298
อัตราการบีบอัด = 34.80



รูปที่ 4.16 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4
โดยมีค่า PSNR = 49.67 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.2782
อัตราการบีบอัด = 1.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

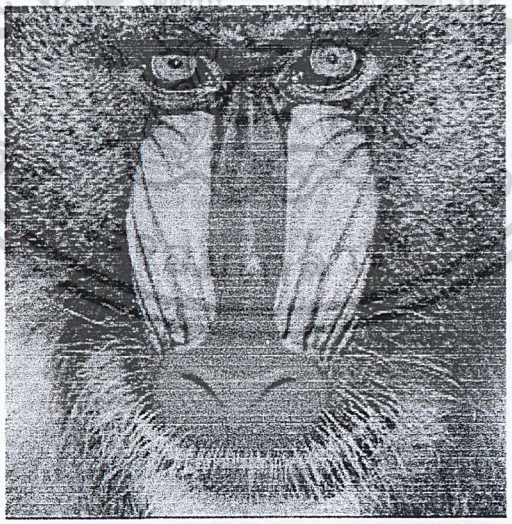


รูปที่ 4.17 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10

โดยมีค่า PSNR = 22.00 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.2219

อัตราการบีบอัด = 36.05



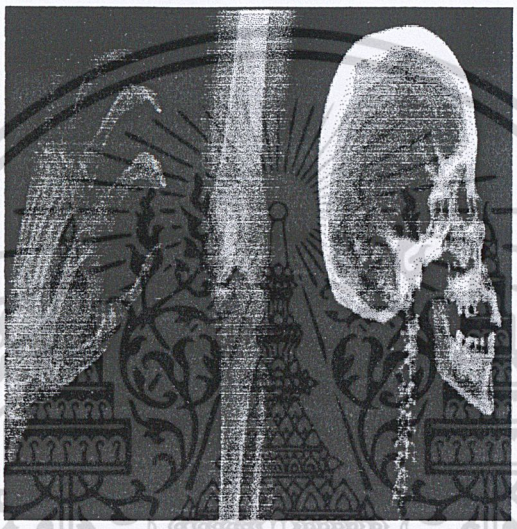
รูปที่ 4.18 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10

โดยมีค่า PSNR = 49.67 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.2726

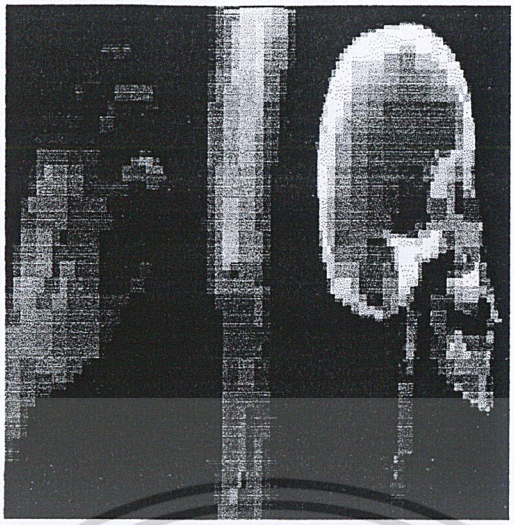
อัตราการบีบอัด = 1.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

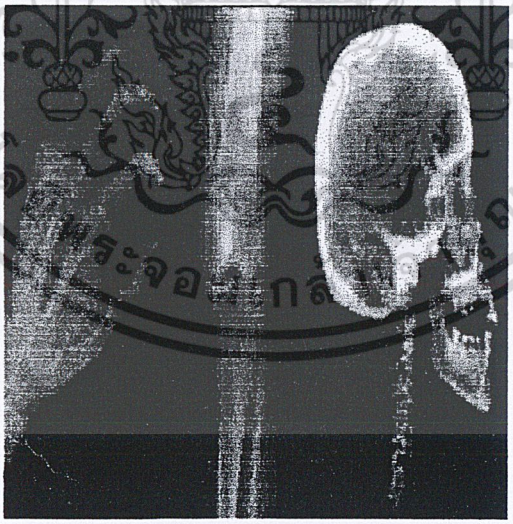


รูปที่ 4.19 แสดงภาพต้นแบบ X-ray ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

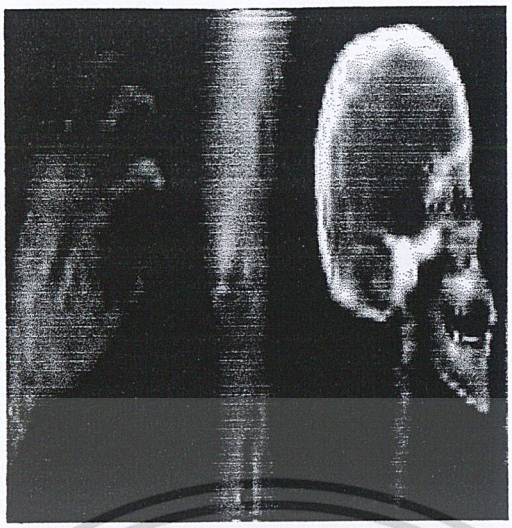


รูปที่ 4.20 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์
โดยมีค่า PSNR = 23.52 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.0993
อัตราการบีบอัด = 80.51

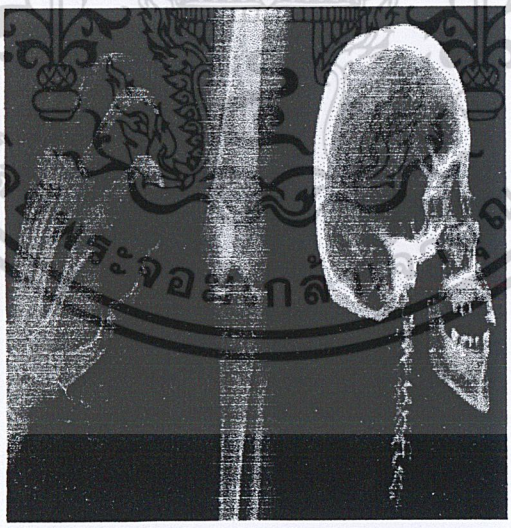


รูปที่ 4.21 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์
โดยมีค่า PSNR = 37.13 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.3226
อัตราการบีบอัด = 2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

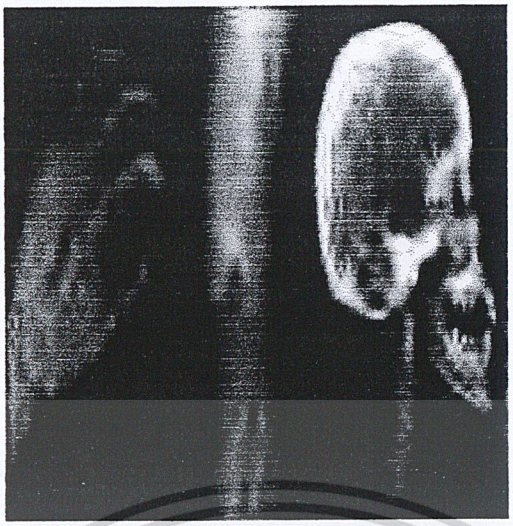


รูปที่ 4.22 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4
โดยมีค่า PSNR = 27.17 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.1866
อัตราการบีบอัด = 42.86

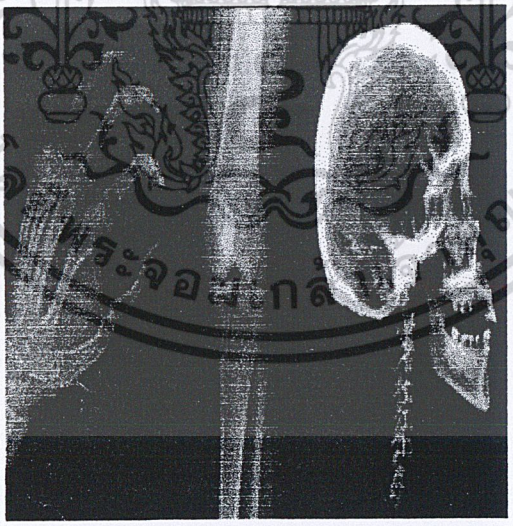


รูปที่ 4.23 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4
โดยมีค่า PSNR = 51.23 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.9921
อัตราการบีบอัด = 2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 50% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10
โดยมีค่า PSNR = 27.17 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.1883
อัตราการบีบอัด = 42.47



รูปที่ 4.25 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดที่ 100% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-10
โดยมีค่า PSNR = 51.01 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 4.1025
อัตราการบีบอัด = 1.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ 4.2 พบว่าที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพในการบีบอัดเดียวกัน รูปภาพภายหลังการบีบอัดโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชีจะให้ค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) ที่สูงกว่าการบีบอัดโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ จึงสรุปได้ว่าเมื่อบีบอัดภาพโดยใช้ดาบีชีเวฟเล็ตจะให้อัตราการผิดพลาดน้อยกว่า ฮาร์เวฟเล็ต ซึ่งก็คือภาพที่เกิดเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม (block artifacts) ภายในจะถูกทำให้ลดลง ส่วนอัตราการผิดพลาดของดาบีชีเวฟเล็ตจะแสดงให้เห็นในรูปของความเบลอของภาพ

การทดลองที่ 4.3 การนำวิธีการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมาเปรียบเทียบกับวิธีการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเจเพก (JPEG) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการบีบอัดภาพในปัจจุบัน

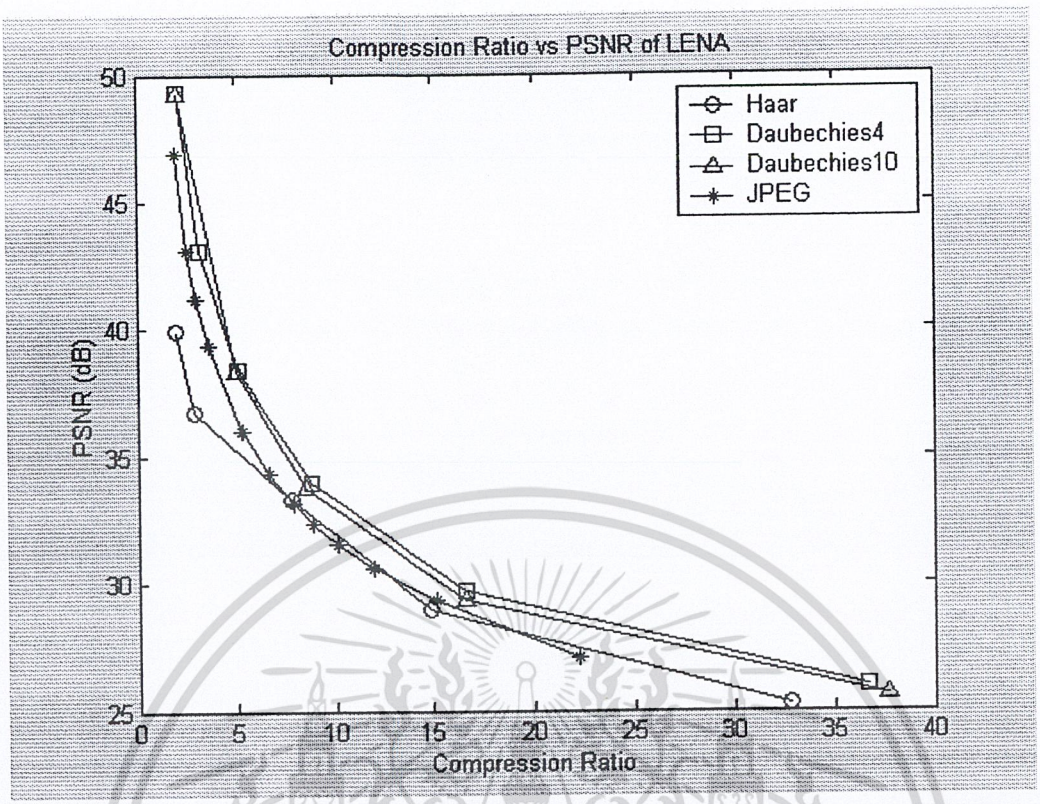
โดยในการทดลองนี้จะนำเอารูปภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีในการทดลองที่ 4.2 มาเปรียบเทียบกับรูปภาพภายหลังจากการนำภาพต้นแบบมาบีบอัดด้วยวิธีการเจเพกซึ่งแสดงในรูปของกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนกับอัตราการบีบอัด และกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนกับจำนวนบิตต่อจุดภาพ

- ผลการทดลองการนำภาพ Lena มาผ่านกระบวนการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์, แบบดาบีชี-4และแบบดาบีชี-10 ที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพต่างๆ

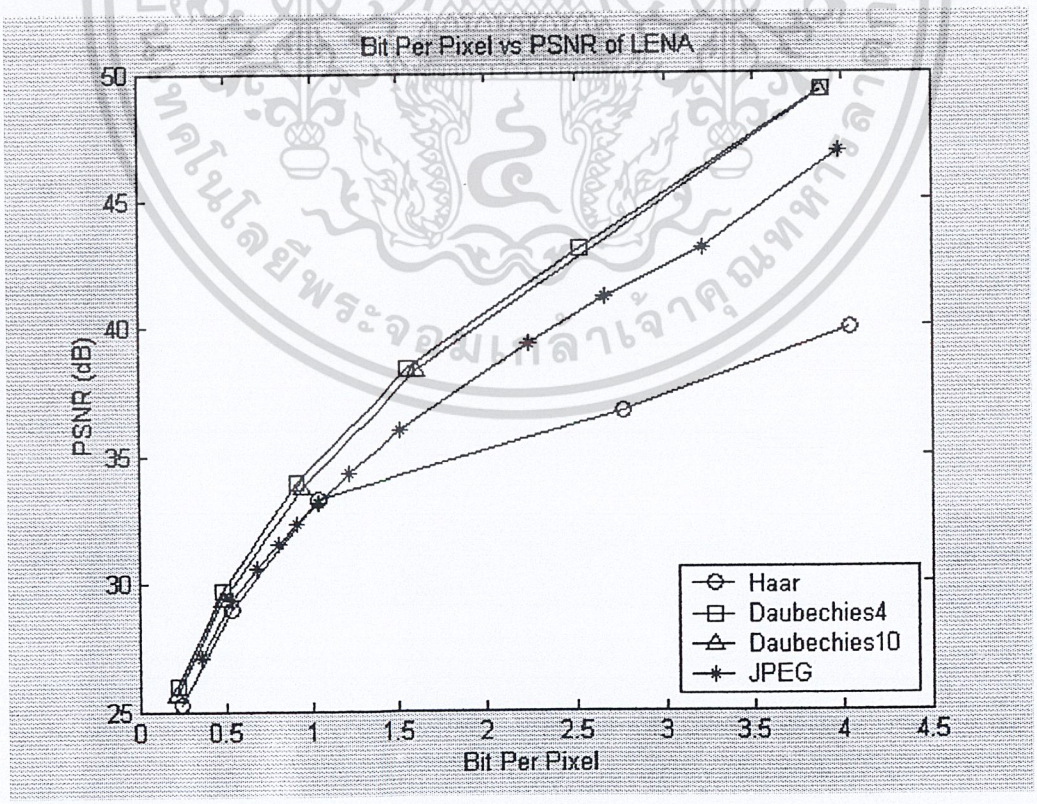
Lena	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
(%)	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10
10	13.15	9.25	9.38	0.0007	0.0065	0.0070	10922.67	1213.6	1129.9
20	14.08	15.68	15.61	0.0013	0.0126	0.0125	5957.80	630.15	636.27
30	15.45	18.24	18.27	0.0039	0.0212	0.0207	2048.00	376.64	385.50
40	17.46	20.61	20.41	0.0115	0.0416	0.0402	689.85	192.18	198.59
50	22.16	25.97	22.60	0.0989	0.2180	0.0872	80.80	36.69	91.65
60	25.24	29.72	25.59	0.2441	0.4802	0.2122	32.76	16.65	37.68
70	29.00	33.97	29.35	0.5376	0.9912	0.4805	14.88	8.77	16.64
80	33.29	38.38	33.72	1.0282	1.5549	0.9348	7.78	5.14	8.55
90	36.73	43.09	38.31	2.7683	2.5237	1.6003	2.88	3.17	4.99
100	39.98	49.28	49.23	4.0364	3.8881	3.8727	1.98	2.05	2.06

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลังการบีบอัดภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ Lena ด้วยวิธีการต่างๆ



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ Lena ด้วยวิธีการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต แบบดาบีชี-4

โดยมีค่า PSNR = 29.72 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.4802

อัตราการบีบอัด = 16.65



รูปที่ 4.29 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG

โดยมีค่า PSNR = 29.3365 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.606

อัตราการบีบอัด = 13.2

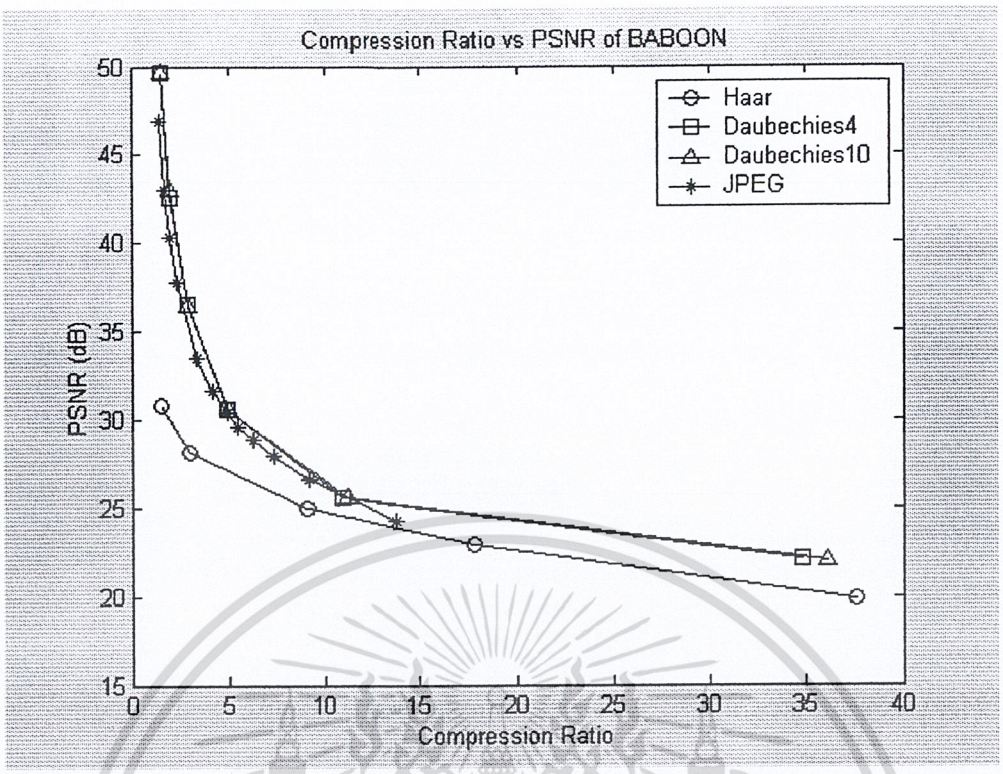
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองการนำภาพ Baboon มาผ่านกระบวนการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์, แบบดาบีชี-4และแบบดาบีชี-10 ที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพต่างๆ

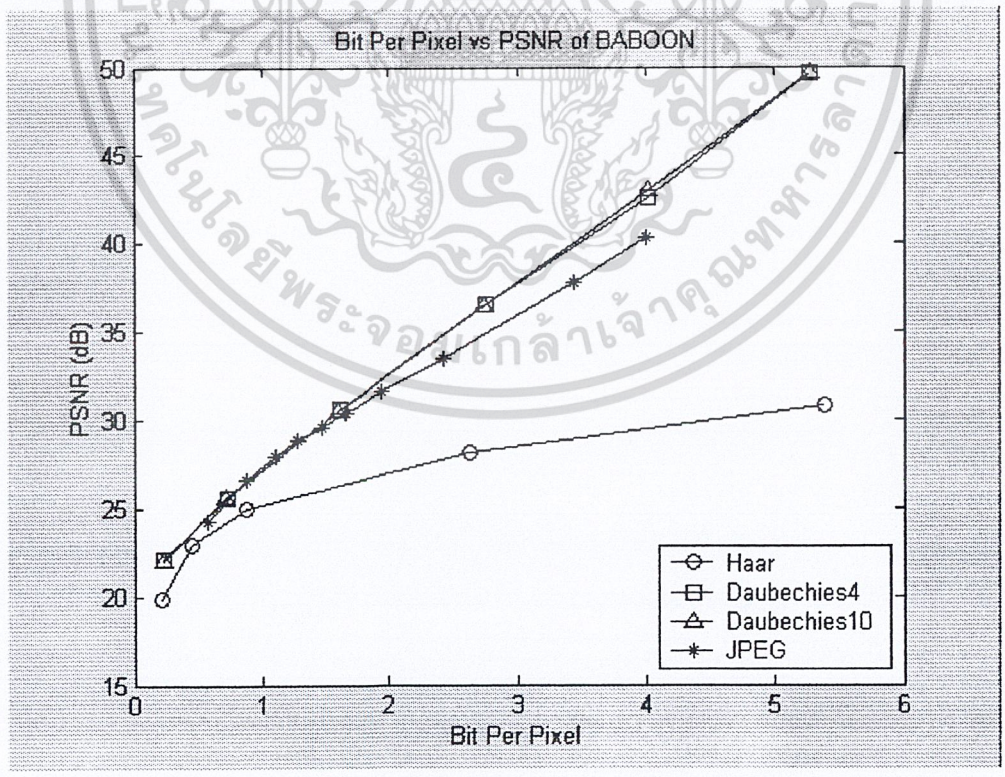
Baboon	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
(%)	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10
10	7.90	8.97	8.71	0.0004	0.0068	0.0073	16384	1170.2	1092.2
20	14.96	16.93	17.03	0.0026	0.0079	0.0096	2978.90	1008.2	829.57
30	15.68	18.47	18.49	0.0068	0.0142	0.0150	1170.28	560.14	532.81
40	17.61	19.35	19.23	0.0186	0.0253	0.0240	428.34	315.0	332.67
50	18.81	22.07	22.00	0.0993	0.2298	0.2219	80.51	34.80	36.05
60	19.81	25.60	25.56	0.2130	0.7313	0.7117	37.55	10.94	11.24
70	22.89	30.59	30.55	0.4491	1.6113	1.5936	17.81	4.96	5.02
80	25.02	36.52	36.43	0.8784	2.7615	2.7482	9.10	2.90	2.91
90	28.14	42.62	42.95	2.6314	4.0227	4.0219	3.04	1.99	1.99
100	30.84	49.67	49.67	5.3809	5.2782	5.2726	1.49	1.51	1.52

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลังการบีบอัดภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

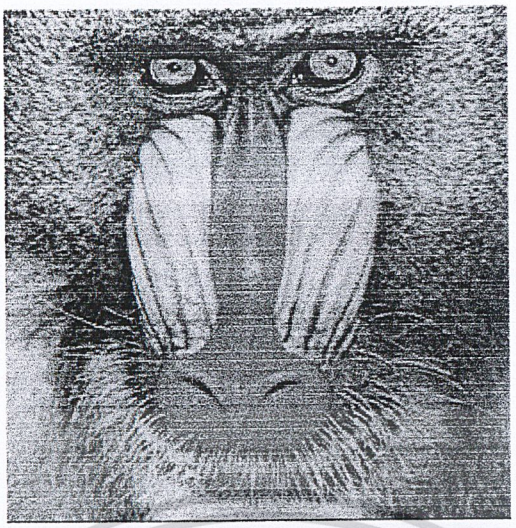


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ Baboon ด้วยวิธีการต่างๆ



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ Baboon ด้วยวิธีการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

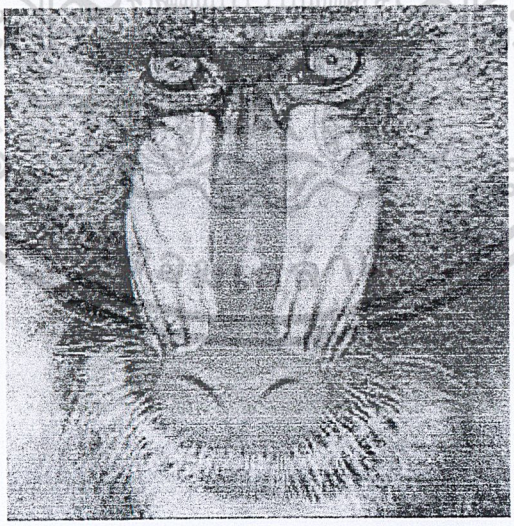


รูปที่ 4.32 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีซี-4

โดยมีค่า PSNR = 25.6029 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.7313

อัตราการบีบอัด = 10.9391



รูปที่ 4.33 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG

โดยมีค่า PSNR = 24.5738 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.7366

อัตราการบีบอัด = 11.0382

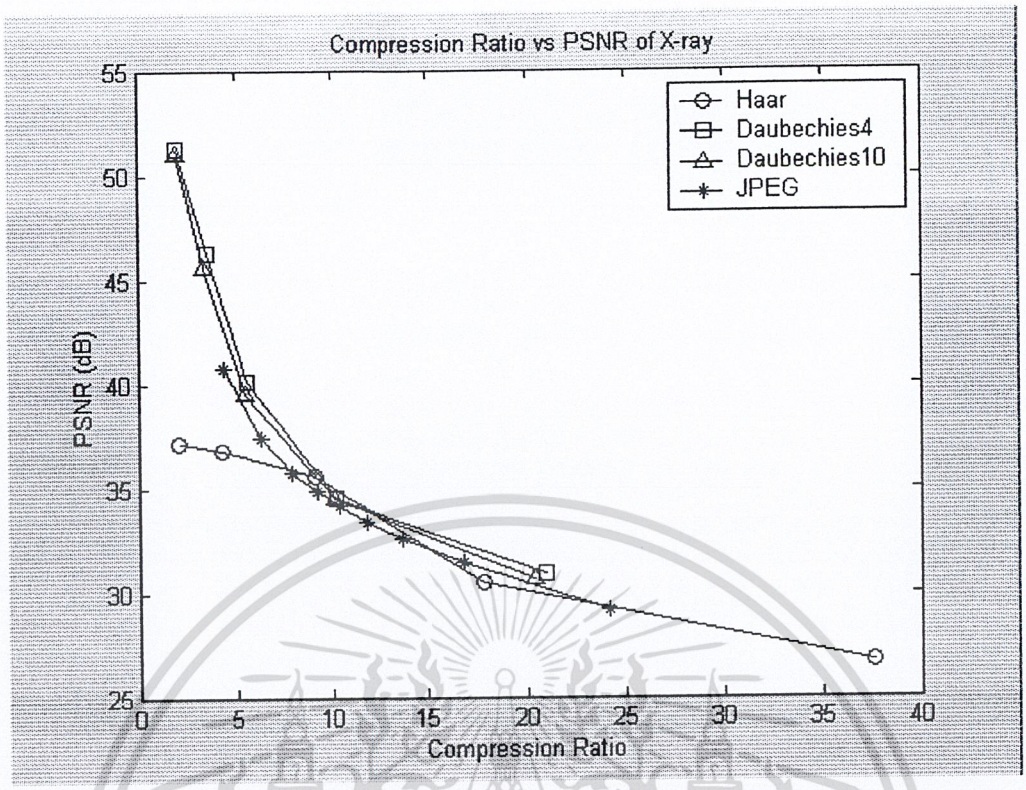
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดลองการนำภาพ X-ray มาผ่านกระบวนการบีบอัดภาพด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์, แบบดาบีชี-4และแบบดาบีชี-10 ที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพต่างๆ

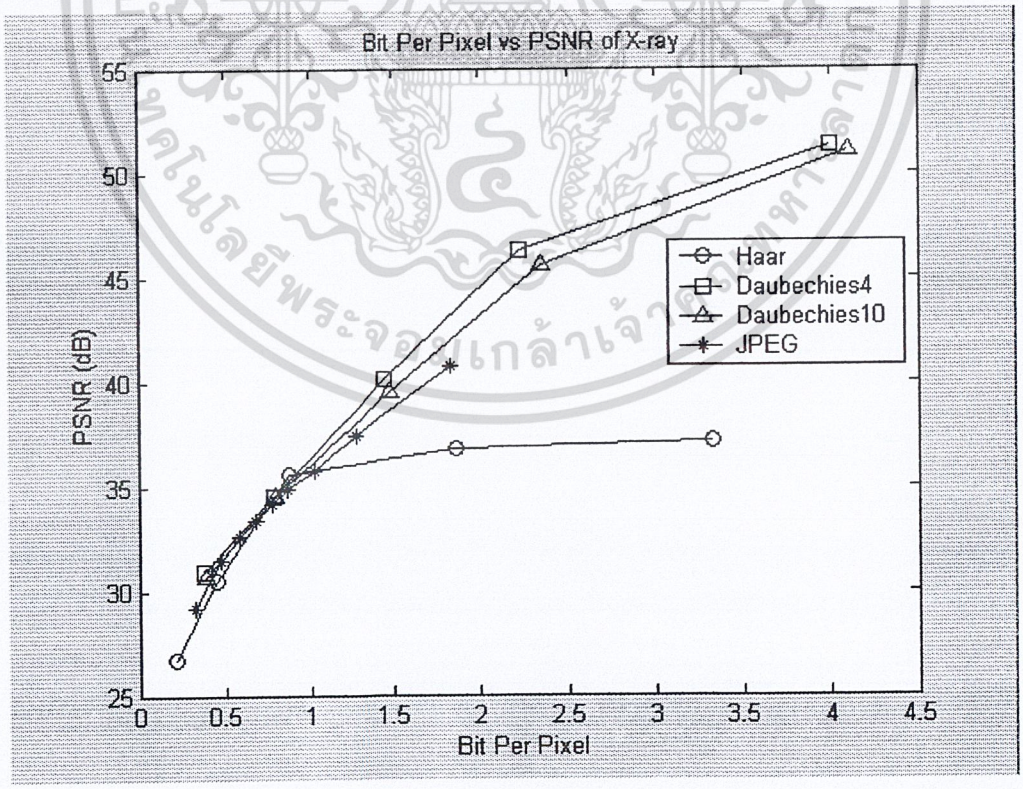
X-ray	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
(%)	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10	Haar	D4	D10
10	10.56	12.22	12.66	0.0004	0.0047	0.0052	16384	1680.4	1524.0
20	13.23	16.61	16.55	0.0026	0.0111	0.0112	2978.90	720.17	712.34
30	15.47	19.03	19.03	0.0068	0.0211	0.0201	1170.28	378.82	397.18
40	18.10	21.60	21.44	0.0186	0.0418	0.0388	428.34	191.06	206.08
50	23.52	27.17	27.17	0.0993	0.1866	0.1883	80.51	42.86	42.47
60	26.70	30.94	30.65	0.2130	0.3809	0.3912	37.55	20.99	20.44
70	30.44	34.52	34.52	0.4491	0.7844	0.7913	17.81	10.19	10.10
80	35.53	40.17	39.56	0.8784	1.4446	1.4795	9.10	5.53	5.46
90	36.77	46.30	45.60	1.8592	2.2284	2.3507	4.30	3.59	3.40
100	37.13	51.23	51.01	3.3226	3.9921	4.1025	2.03	2.00	1.95

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า PSNR , จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดของภาพภายหลังการบีบอัดภาพ X-ray ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

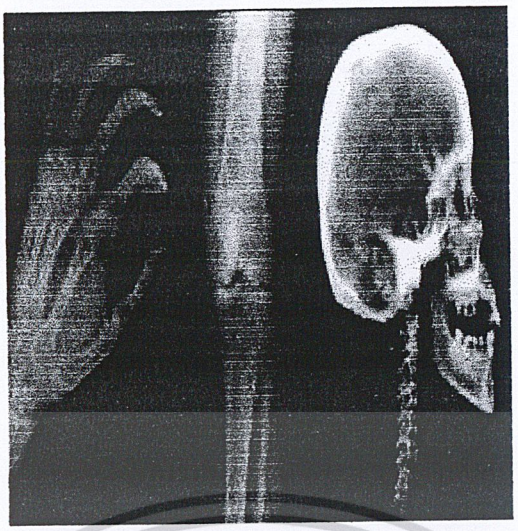


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของการบีบอัดภาพ X-ray ด้วยวิธีการต่างๆ



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของการบีบอัดภาพ X-ray ด้วยวิธีการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4

โดยมีค่า PSNR = 30.9382 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.3807

อัตราการบีบอัด = 21.0119



รูปที่ 4.37 แสดงภาพ X-ray ภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG

โดยมีค่า PSNR = 29.1748 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.331

อัตราการบีบอัด = 24.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟของผลการทดลองที่ 4.3 จะพบว่ารูปภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชีนั้นจะให้คุณภาพของภาพดีกว่ารูปภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเจเพกนั่นก็คือที่อัตราการบีบอัดเดียวกัน รูปภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีจะให้ค่าขนาดข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่า และที่ค่าขนาดข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนเดียวกันจะใช้จำนวนบิตต่อจุดภาพที่น้อยกว่า แต่คุณภาพของภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ที่บางเปอร์เซ็นต์คุณภาพจะให้คุณภาพของภาพต่ำกว่ารูปภาพภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเจเพก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฮาร์เวฟเล็ตเป็นเวฟเล็ตชนิดที่หยาบที่สุด

การทดลองที่ 4.4 นำรูปภาพต้นแบบขนาดต่างกันมาทำการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี และเปรียบเทียบผลจากกราฟระหว่างค่าขนาดข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนกับอัตราการบีบอัดและกราฟระหว่างจำนวนบิตต่อจุดภาพกับอัตราการบีบอัด รวมทั้งนำค่าขนาดข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนและอัตราการบีบอัดมาเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบีบอัดภาพที่มีขนาดต่างกันด้วย

โดยในการทดลองนี้จะใช้ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพเปรียบเทียบกับภาพ Lena ขนาด 512 x 512 จุดภาพและได้ผลการทดลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.38 แสดงภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพภายหลังการบีบอัดที่ 70% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4

โดยมีค่า PSNR = 33.97 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.9912

อัตราการบีบอัด = 8.77

เวลาในการบีบอัด = 276 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงภาพ Lena ขนาด 512 x 512 จุดภาพภายหลังการบีบอัดที่ 70% โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบคาบีชี-4

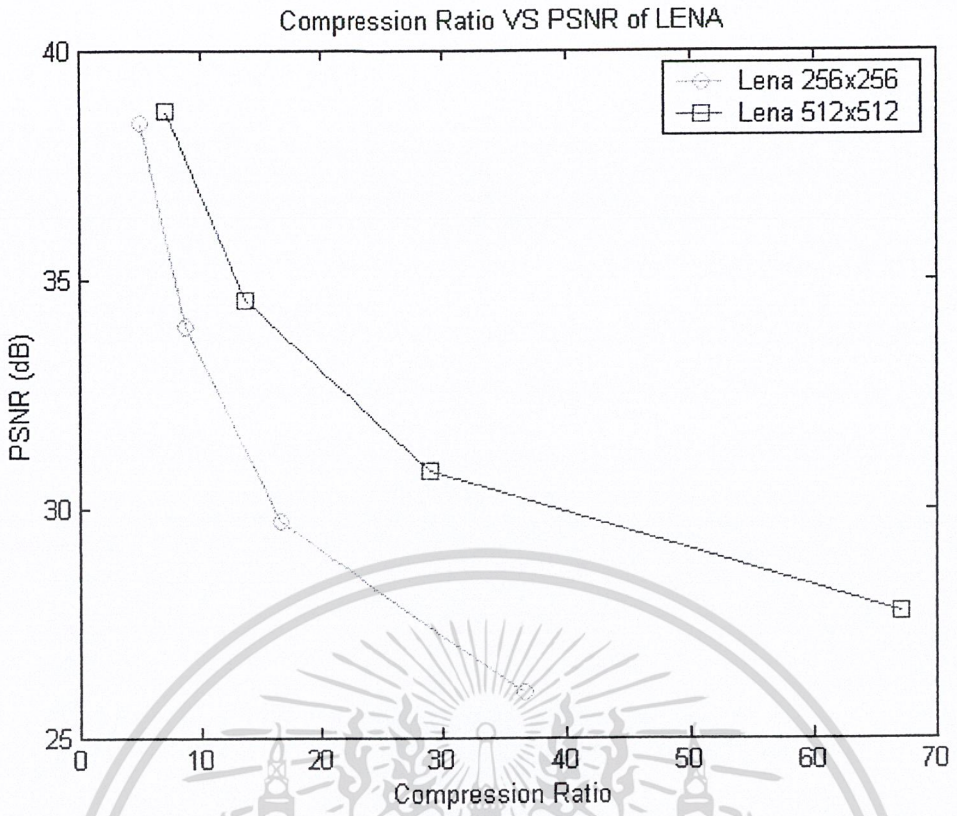
โดยมีค่า PSNR = 32.5326 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.22745

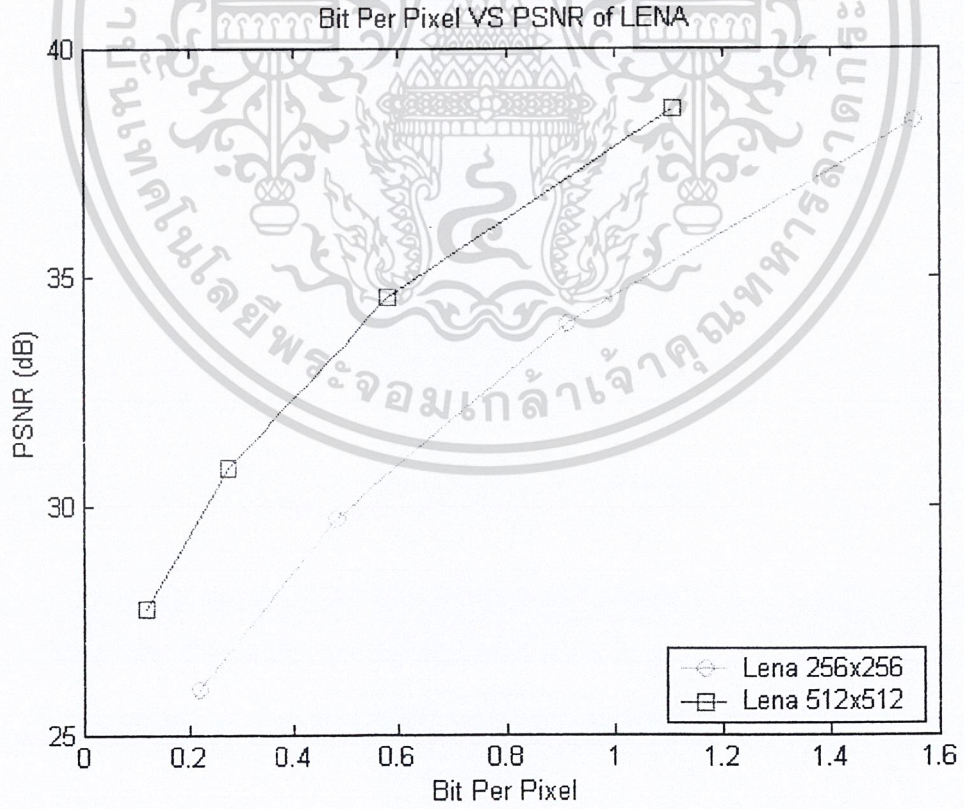
อัตราการบีบอัด = 35.173

เวลาในการบีบอัด = 482 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

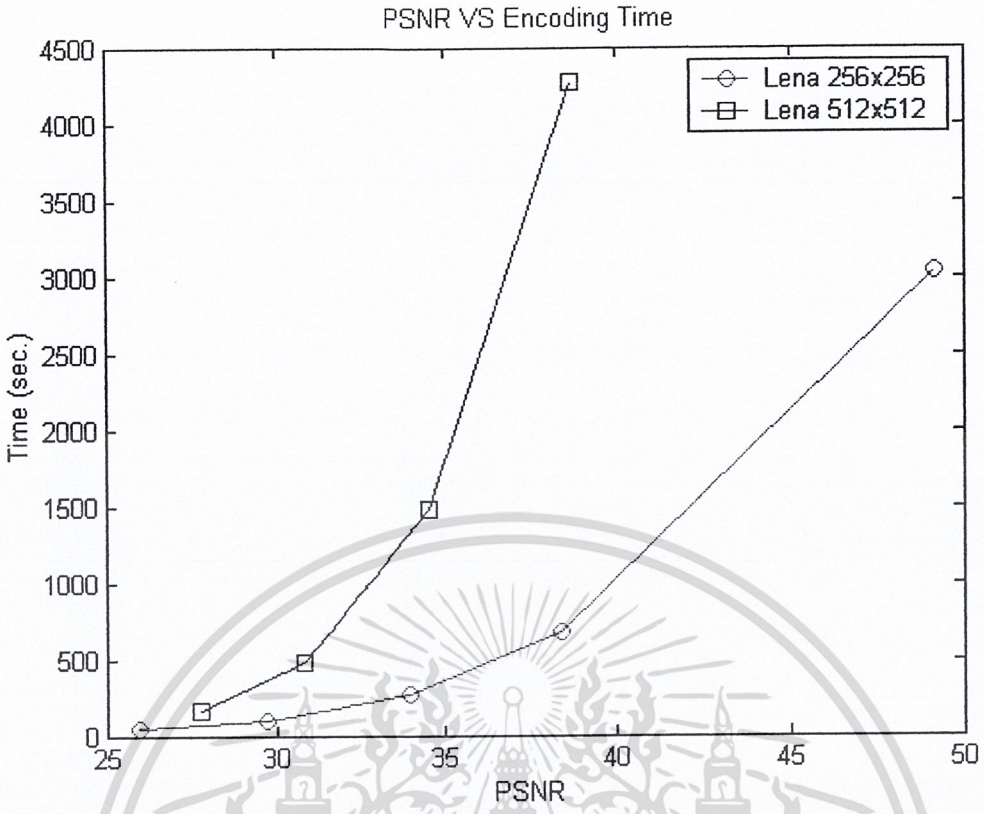


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน

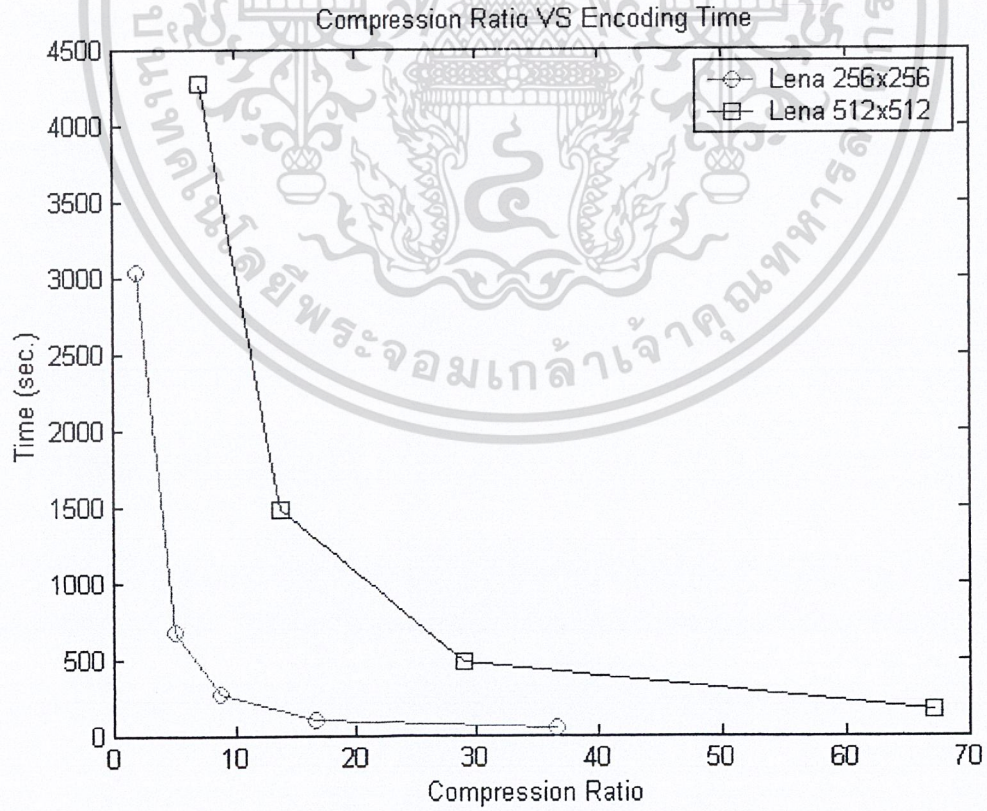


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบีบอัดกับค่า PSNR ของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบีบอัดกับอัตราการบีบอัดของภาพ Lena ที่ขนาดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลการทดลองที่ 4.4 พบว่า เมื่อนำภาพต้นแบบภาพเดียวกันแต่มีขนาดต่างกันไปผ่านการบีบอัดแล้ว ภาพขนาด 512 x 512 จุดภาพจะสามารถให้อัตราการบีบอัดสูงกว่าภาพขนาด 256 x 256 จุดภาพที่มีค่าขนาดข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) เท่ากัน

ภาพขนาดใหญ่นั้นง่ายต่อการบีบอัด เนื่องจากรายละเอียดของภาพนั้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ภาพที่มีรายละเอียดสูงขึ้นจะมีองค์ประกอบของสัญญาณในภาพที่ละเอียดขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางด้านความถี่ที่อาศัยการแยกแบนด์ของความถี่เป็นความถี่ย่อยๆ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตก็จะสามารถแบ่งแบนด์ของความถี่ได้ละเอียดมากขึ้นด้วย ผลการทดลองเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของขนาดภาพที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งก็คือเมื่อใช้ภาพเดียวกันแต่มีขนาดแตกต่างกันนำไปผ่านกระบวนการบีบอัดภาพ ภาพที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้อัตราการบีบอัดภาพที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม ภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้เวลาที่ใช้ในการบีบอัดภาพนั้นเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.42 และรูปที่ 4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.5 การเปรียบเทียบภาพที่แตกต่างกันภายหลังการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตชนิดต่างๆ กันรวมทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ดาบีชีเวฟเล็ต ซึ่งใช้จากโปรแกรมภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และ ซิมเล็ตเวฟเล็ต (Symlets wavelet), โคฟเล็ตเวฟเล็ต (Coiflets wavelet), ดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต (Discrete Meyer wavelet) และไบออร์ทอกอนอลเวฟเล็ต (Biorthogonal wavelet) ซึ่งสามารถนำมาใช้จากทูลบอกซ์ (Toolbox) ของโปรแกรม MATLAB ได้โดยตรง โดยเวฟเล็ตแต่ละชนิดจะถูกเลือกนำมาใช้ดังนี้

1. ดาบีชีเวฟล็ตแบบดาบีชี-4

   [LO_D,HI_D,LO_R,HI_R] = daub(4);

   LO_D = -0.0106 0.0329 0.0308 -0.1870 -0.0280 0.6309 0.7148 0.2304

   HI_D = -0.2304 0.7148 -0.6309 -0.0280 0.1870 0.0308 -0.0329 -0.0106

   LO_R = 0.2304 0.7148 0.6309 -0.0280 -0.1870 0.0308 0.0329 -0.0106

   HI_R = -0.0106 -0.0329 0.0308 0.1870 -0.0280 -0.6309 0.7148 -0.2304

   โดยที่นี้ LO_D และ HI_D คือตัวกรองการกระจายความถี่ต่ำผ่าน (decomposition low-pass filter) และตัวกรองการกระจายความถี่สูงผ่าน (decomposition high-pass filter) ตามลำดับ

   LO_R และ HI_R คือตัวกรองการสร้างกลับความถี่ต่ำผ่าน (reconstruction low-pass filter) และตัวกรองการสร้างกลับความถี่สูงผ่าน (reconstruction high-pass filter) ตามลำดับ

2. ซิมเล็ตเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4

   [LO_D,HI_D,LO_R,HI_R] = wfilters('sym4');

   LO_D = -0.0758 -0.0296 0.4976 0.8037 0.2979 -0.0992 -0.0126 0.0322

   HI_D = -0.0322 -0.0126 0.0992 0.2979 -0.8037 0.4976 0.0296 -0.0758

   LO_R = 0.0322 -0.0126 -0.0992 0.2979 0.8037 0.4976 -0.0296 -0.0758

   HI_R = -0.0758 0.0296 0.4976 -0.8037 0.2979 0.0992 -0.0126 -0.0322

3. โคฟเล็ตเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1

   [LO_D,HI_D,LO_R,HI_R] = wfilters('coif1');

   LO_D = -0.0157 -0.0727 0.3849 0.8526 0.3379 -0.0727

   HI_D = 0.0727 0.3379 -0.8526 0.3849 0.0727 -0.0157

   LO_R = -0.0727 0.3379 0.8526 0.3849 -0.0727 -0.0157

   HI_R = -0.0157 0.0727 0.3849 -0.8526 0.3379 0.0727

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต

[LO_D,HI_D,LO_R,HI_R] = wfilters('dmey');

LO_D = 0 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000
-0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0006 -0.0027
0.0022 0.0060 -0.0064 -0.0111 0.0153 0.0174 -0.0321 -0.0243 0.0637
0.0307 -0.1328 -0.0351 0.4446 0.7446 0.4446 -0.0351 -0.1328 0.0307
0.0637 -0.0243 -0.0321 0.0174 0.0153 -0.0111 -0.0064 0.0060 0.0022
-0.0027 -0.0006 0.0001 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000
0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000

HI_D = 0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000
0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0001 -0.0006 0.0027 0.0022
-0.0060 -0.0064 0.0111 0.0153 -0.0174 -0.0321 0.0243 0.0637 -0.0307
-0.1328 0.0351 0.4446 -0.7446 0.4446 0.0351 -0.1328 -0.0307 0.0637
0.0243 -0.0321 -0.0174 0.0153 0.0111 -0.0064 -0.0060 0.0022 0.0027
-0.0006 -0.0001 -0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
-0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0

LO_R = -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000
0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0006 -0.0027 0.0022
0.0060 -0.0064 -0.0111 0.0153 0.0174 -0.0321 -0.0243 0.0637 0.0307
-0.1328 -0.0351 0.4446 0.7446 0.4446 -0.0351 -0.1328 0.0307 0.0637
-0.0243 -0.0321 0.0174 0.0153 -0.0111 -0.0064 0.0060 0.0022 -0.0027
-0.0006 0.0001 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000
0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0

HI_R = 0 0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000
0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0001 -0.0006 0.0027
0.0022 -0.0060 -0.0064 0.0111 0.0153 -0.0174 -0.0321 0.0243 0.0637
-0.0307 -0.1328 0.0351 0.4446 -0.7446 0.4446 0.0351 -0.1328 -0.0307
0.0637 0.0243 -0.0321 -0.0174 0.0153 0.0111 -0.0064 -0.0060 0.0022
0.0027 -0.0006 -0.0001 -0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไบออร์ทอกอนอลเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3

[LO_D,HI_D,LO_R,HI_R] = wfilters('bior3.3');

LO_D = 0.0663 -0.1989 -0.1547 0.9944 0.9944 -0.1547 -0.1989 0.0663

HI_D = 0 0 -0.1768 0.5303 -0.5303 0.1768 0 0

LO_R = 0 0 0.1768 0.5303 0.5303 0.1768 0 0

HI_R = 0.0663 0.1989 -0.1547 -0.9944 0.9944 0.1547 -0.1989 -0.0663

ส่วนภาพที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ, ภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพและภาพ Black and White ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

ภาพแต่ละภาพจะถูกนำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแต่ละชนิดที่เลือกไว้ข้างต้น แล้วจึงนำมาเข้ากระบวนการบีบอัดด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

Lena	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
(%)	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet
10	9.25	9.0273	8.7471	0.0065	0.0065918	0.0061035	1213.6	1213.6296	1310.72
20	15.68	15.408	15.176	0.0126	0.012451	0.012329	630.15	642.5098	648.8713
30	18.24	18.2802	17.9564	0.0212	0.021851	0.022095	376.64	366.1229	362.0773
40	20.61	20.5522	20.1318	0.0416	0.040283	0.041504	192.18	198.5939	192.7529
50	25.97	26.0337	25.7588	0.2180	0.21948	0.23877	36.69	36.4494	33.5051
60	29.72	29.7387	29.5306	0.4802	0.47656	0.51758	16.65	16.7869	15.4566
70	33.97	34.0153	33.8472	0.9912	0.90857	0.97058	8.77	8.8051	8.2425
80	38.38	38.3735	38.273	1.5549	1.5437	1.6362	5.14	5.1824	4.8893
90	43.09	43.1211	43.1138	2.5237	2.5226	2.6328	3.17	3.1714	3.0386
100	49.28	49.1318	49.2266	3.8881	3.8108	3.9281	2.05	2.0993	2.0366

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Lena โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

Lena	PSNR		Bit per Pixel		Compression Ratio	
(%)	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer
10	7.604	8.8949	0.0026855	0.0065918	2978.9091	1213.6296
20	12.8077	15.5971	0.0091553	0.012085	873.8133	661.9798
30	19.2531	18.2907	0.041138	0.021362	194.4688	374.4914
40	21.4732	20.6855	0.088379	0.040527	90.5193	197.3976
50	24.0441	26.0524	0.18518	0.21436	43.2011	37.3212
60	26.8837	29.6192	0.3446	0.45715	23.215	17.4996
70	30.1728	33.6772	0.60657	0.87915	13.189	9.0997
80	37.3951	37.9181	1.6276	1.5316	4.9153	5.2232
90	41.4887	42.11	2.5289	2.5181	3.1634	3.177
100	46.3829	46.1085	3.7252	3.8171	2.1475	2.0958

ตารางที่ 4.4(ต่อ) แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Lena โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 25.97 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.2180
อัตราการบีบอัด = 36.69



รูปที่ 4.45 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 49.28 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.8881
อัตราการบีบอัด = 2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 50 %

โดยมีค่า PSNR = 26.0337 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.21948

อัตราการบีบอัด = 36.4494



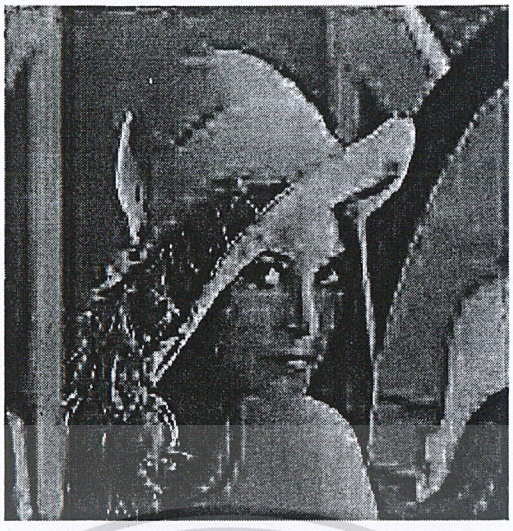
รูปที่ 4.47 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 100 %

โดยมีค่า PSNR = 49.1318 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.8108

อัตราการบีบอัด = 2.0993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 25.7588 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.23877
อัตราการบีบอัด = 33.5051



รูปที่ 4.49 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 49.2266 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.9281
อัตราการบีบอัด = 2.0366

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 50 %

โดยมีค่า PSNR = 26.0524 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.21436

อัตราการบีบอัด = 37.3212



รูปที่ 4.51 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100 %

โดยมีค่า PSNR = 46.1085 dB

จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.8171

อัตราการบีบอัด = 2.0958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

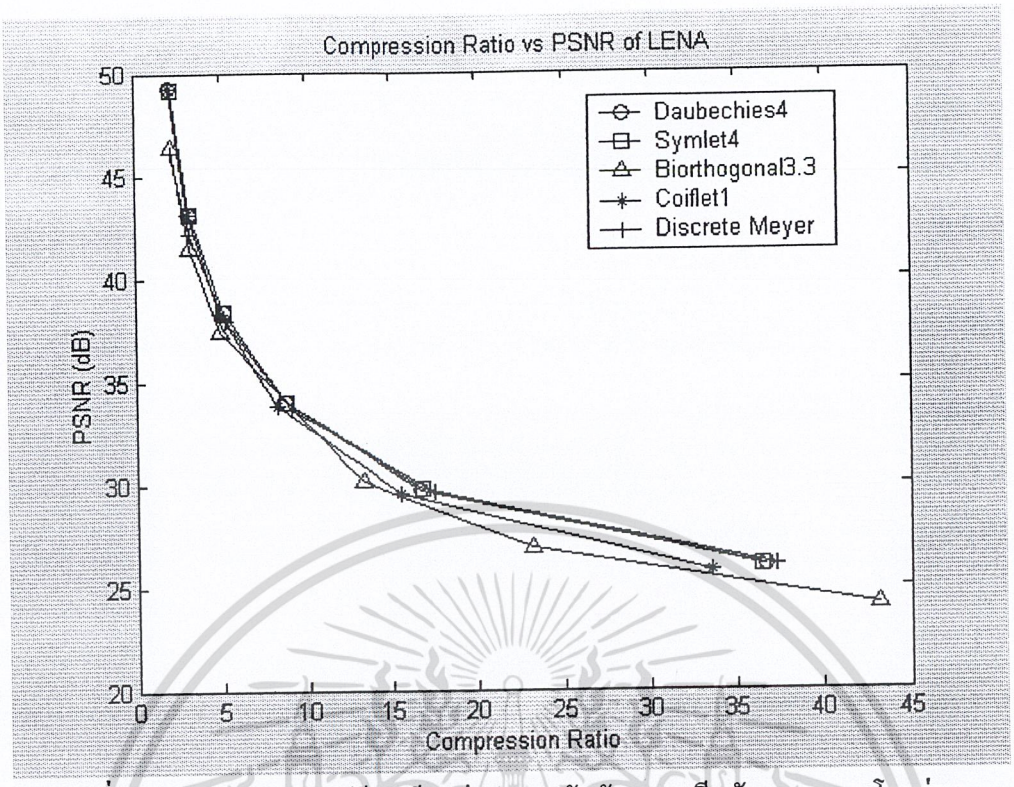


รูปที่ 4.52 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 24.0441 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.18518
อัตราการบีบอัด = 43.2011

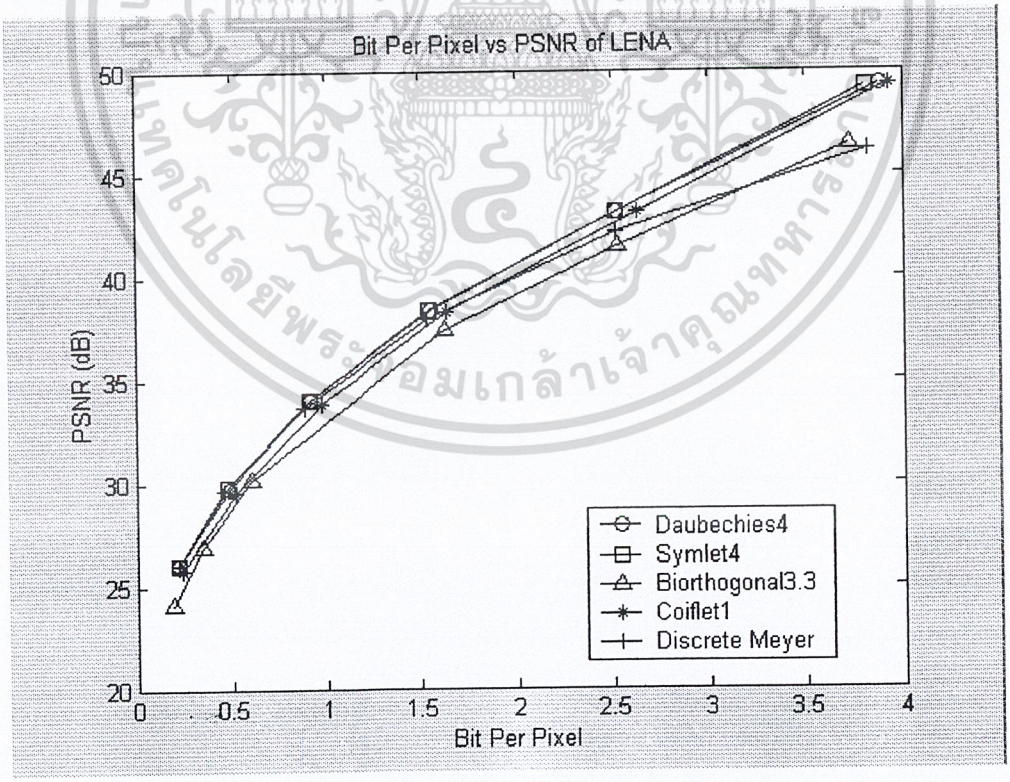


รูปที่ 4.53 แสดงภาพ Lena ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 46.3829 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 3.7252
อัตราการบีบอัด = 2.1475

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Lena โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Lena โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

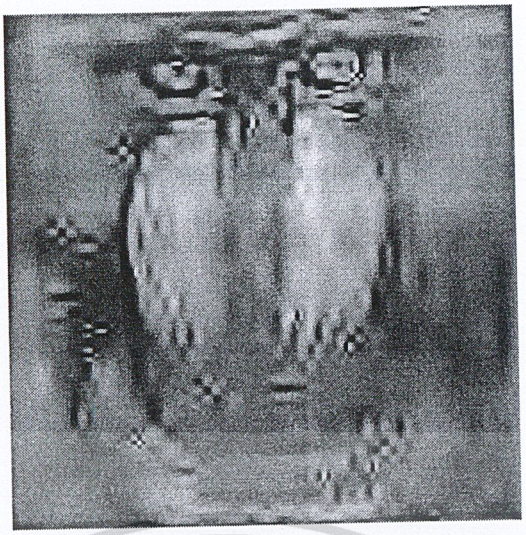
Baboon	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
(%)	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet
10	8.97	8.8933	8.8352	0.0068	0.006958	0.0068359	1170.2	1149.7544	1170.2857
20	16.93	16.8917	16.7531	0.0079	0.0080566	0.0083008	1008.2	992.9697	963.7647
30	18.47	18.3879	18.1929	0.0142	0.013916	0.01416	560.14	574.8772	564.9655
40	19.35	19.3163	19.1567	0.0253	0.025024	0.025879	315.0	319.6878	309.1321
50	22.07	22.0982	21.9376	0.2298	0.22966	0.22986	34.80	34.804	34.804
60	25.60	25.6647	25.5141	0.7313	0.72131	0.74109	10.94	11.0909	10.7949
70	30.59	30.6134	30.5437	1.6113	1.5968	1.6475	4.96	5.01	4.856
80	36.52	36.5095	36.5137	2.7615	2.743	2.8116	2.90	2.9165	2.8453
90	42.62	42.9305	42.9838	4.0227	4.0023	4.0751	1.99	1.9988	1.9632
100	49.67	49.6492	49.6381	5.2782	5.2544	5.3219	1.51	1.5225	1.5032

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Baboon โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

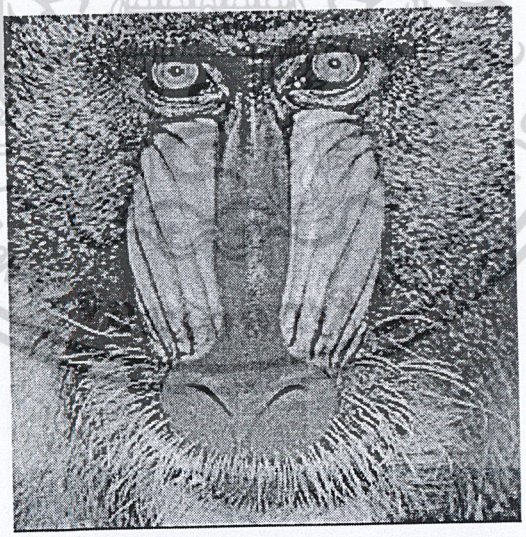
Baboon	PSNR		Bit per Pixel		Compression Ratio	
(%)	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer
10	12.4625	8.6295	0.0078125	0.0067139	1024.00	1191.5636
20	17.7199	16.8458	0.012817	0.0085449	624.1524	936.2286
30	18.7468	18.4166	0.026978	0.013916	296.543	574.8772
40	19.1725	19.2904	0.072876	0.024048	109.7755	332.6701
50	22.4566	22.1574	0.48071	0.23132	16.642	34.5836
60	25.6263	25.7108	0.97864	0.70886	8.1746	11.2857
70	29.4312	30.538	1.7499	1.5697	4.5717	5.0965
80	34.074	36.346	2.7631	2.719	2.8953	2.9423
90	40.748	42.014	3.974	3.974	2.01	2.01
100	46.011	47.7382	5.200	5.2418	1.54	1.5262

ตารางที่ 4.5(ต่อ) แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Baboon โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

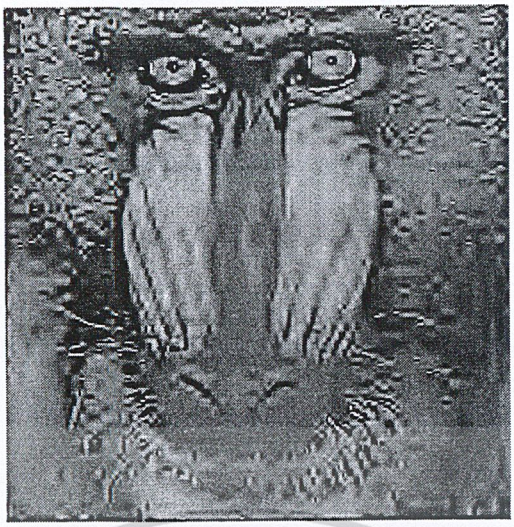


รูปที่ 4.56 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 22.07 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.2298
อัตราการบีบอัด = 34.80

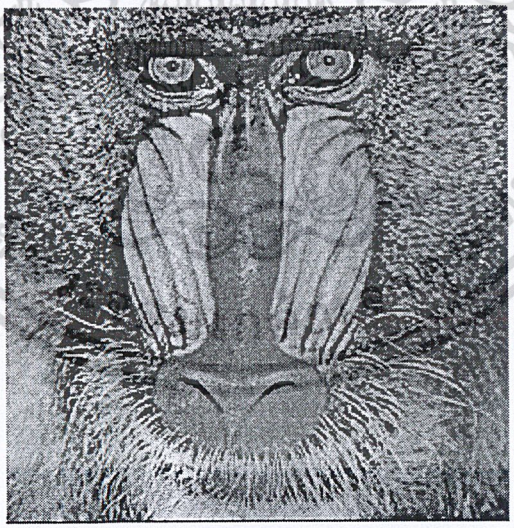


รูปที่ 4.57 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 49.67 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.2782
อัตราการบีบอัด = 1.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

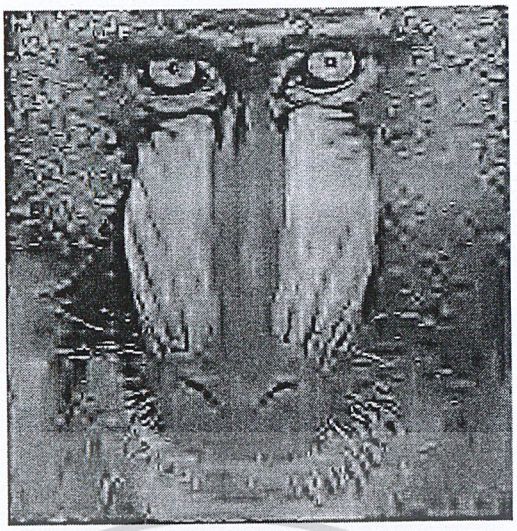


รูปที่ 4.58 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 22.0982 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.22966
อัตราการบีบอัด = 34.804

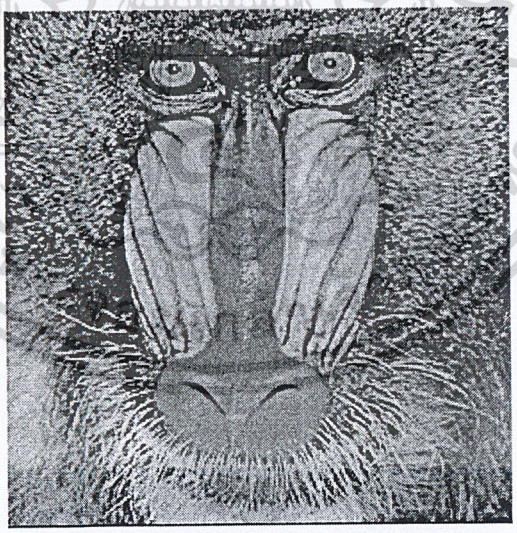


รูปที่ 4.59 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบซิมเล็ต-4ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 49.6492 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.2544
อัตราการบีบอัด = 1.5225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

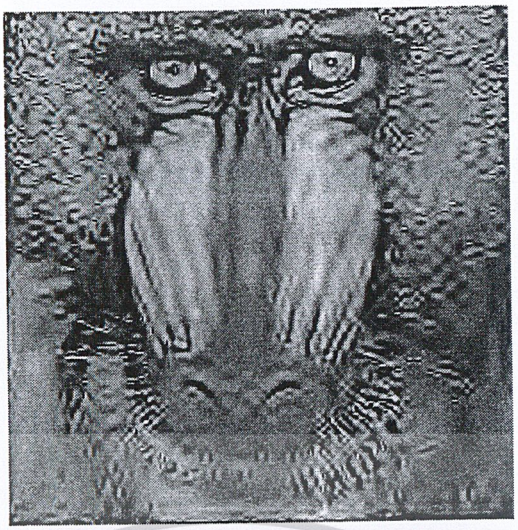


รูปที่ 4.60 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 21.9376 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.22986
อัตราการบีบอัด = 34.804

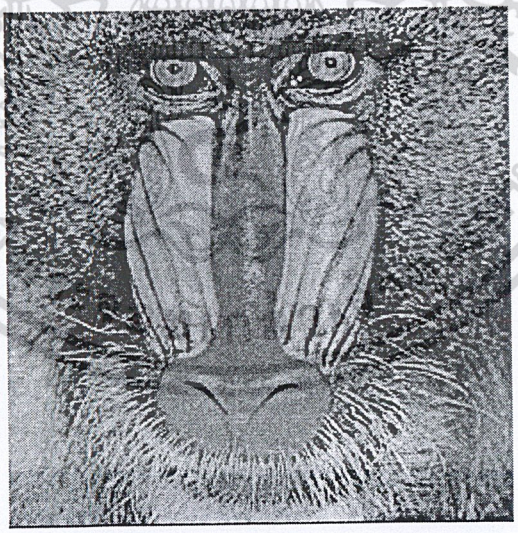


รูปที่ 4.61 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ต-1ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 49.6381 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.3219
อัตราการบีบอัด = 1.5032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

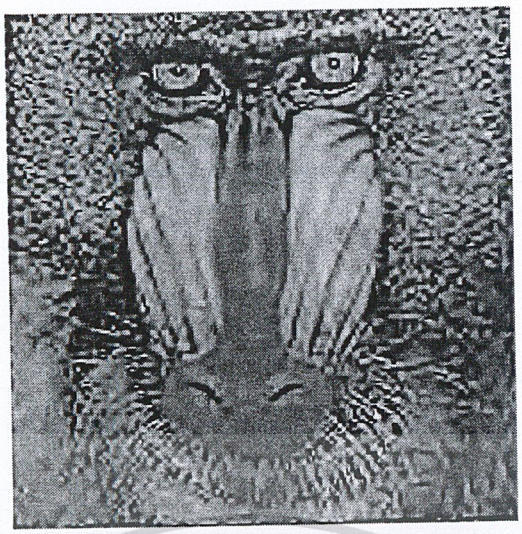


รูปที่ 4.62 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 22.1574 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.23132
อัตราการบีบอัด = 34.5836

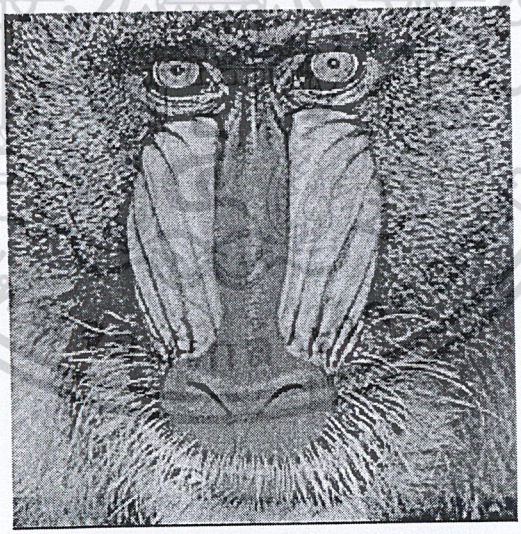


รูปที่ 4.63 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 47.7382 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.2418
อัตราการบีบอัด = 1.5262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

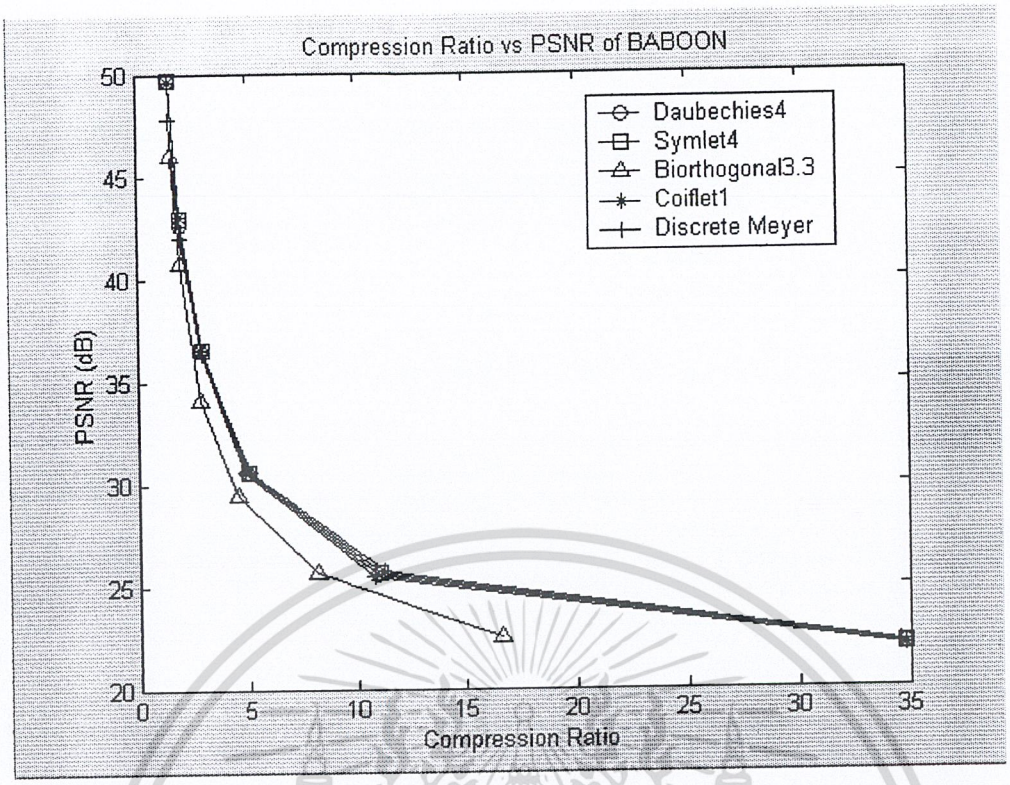


รูปที่ 4.64 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 22.4566 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.48071
อัตราการบีบอัด = 16.642

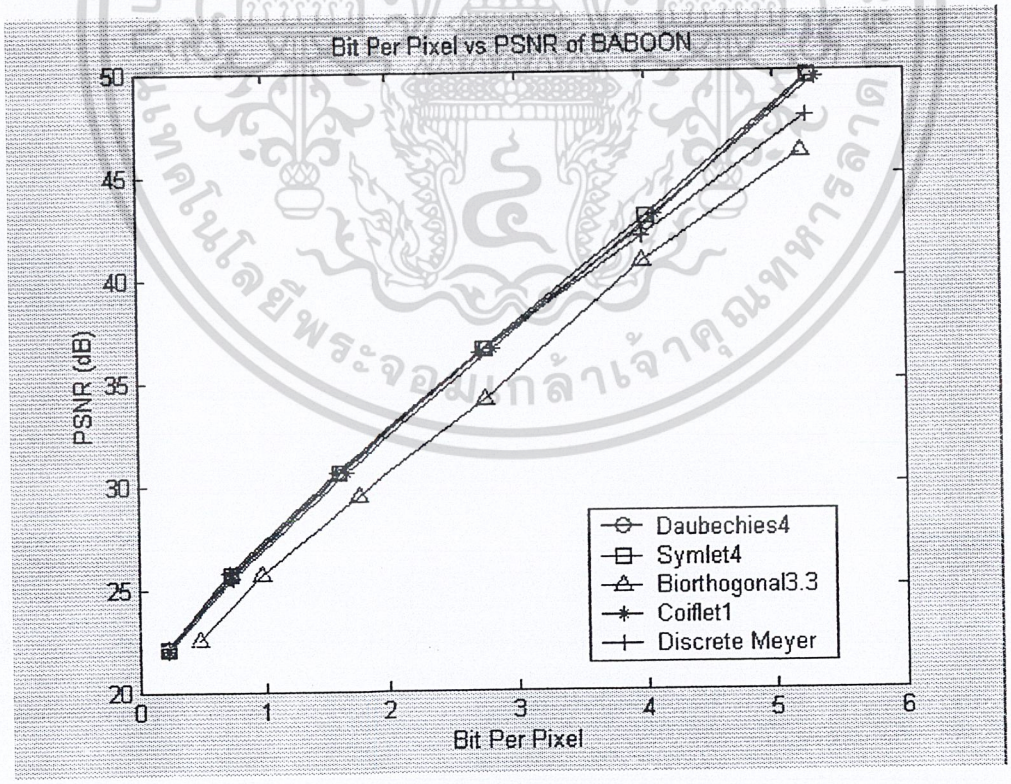


รูปที่ 4.65 แสดงภาพ Baboon ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบไบออร์ทอกอนอล-3.3 ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 46.011 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 5.200
อัตราการบีบอัด = 1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Baboon โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ



รูปที่ 4.67 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Baboon โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาพ Black and White ขนาด 256 x 256 จุดภาพ



รูปที่ 4.68 แสดงภาพต้นแบบ Black and White ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

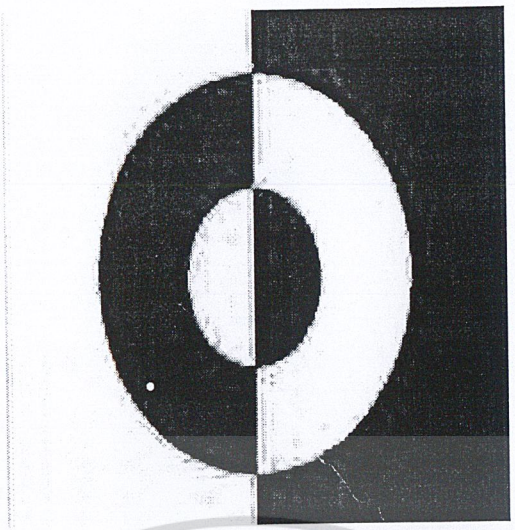
Black and White (%)	PSNR			Bit per Pixel			Compression Ratio		
	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet	D4	Symlet	Coiflet
10	5.7249	7.3186	7.4726	0.0047607	0.0061035	0.0061035	1680.4103	1310.72	1310.72
20	12.6082	12.6461	11.9396	0.010742	0.011108	0.010254	744.7273	720.1758	780.1905
30	17.8085	17.6337	18.3214	0.030518	0.030396	0.034424	262.144	263.1968	232.3972
40	21.3088	22.2124	22.3671	0.06604	0.072021	0.074951	121.1386	111.078	106.7362
50	26.3632	26.5403	26.7812	0.14087	0.13965	0.13892	56.7903	57.2867	57.5888
60	31.0649	31.4502	32.1410	0.24036	0.23877	0.24597	33.2839	33.5051	32.5241
70	36.6380	36.4498	37.6876	0.40466	0.38611	0.396	19.7695	20.7196	20.2022
80	46.1758	46.8457	47.8880	0.85315	0.8269	0.74475	9.377	9.6746	10.7418
90	52.3550	52.2865	53.8458	1.1042	1.0536	0.92578	7.2447	7.5931	8.6414
100	53.9131	53.6985	59.8204	1.3624	1.2998	1.123	5.8719	6.1548	7.1235

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Black and White โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

Black and White (%)	PSNR		Bit per Pixel		Compression Ratio	
	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer	Biorthogonal	Discrete Meyer
10	3.2255	8.2135	0.0013428	0.0061035	5957.8182	1310.72
20	15.0027	12.7224	0.015503	0.010132	516.0315	789.5904
30	19.3574	18.1664	0.033569	0.028076	238.3127	284.9391
40	22.1607	21.4412	0.060181	0.056152	132.9331	142.4696
50	28.5300	26.1561	0.17224	0.12292	46.4465	65.0804
60	31.0506	30.7949	0.26453	0.22046	30.2427	36.2879
70	36.7955	36.1673	0.41187	0.41589	19.4238	19.2357
80	40.4990	40.0281	0.57617	1.0415	13.8847	7.6812
90	51.5237	42.0050	0.95068	1.4657	8.415	5.4581
100	53.4499	61.3638	1.1575	1.9495	6.9116	4.1037

ตารางที่ 4.6(ต่อ) แสดงค่า PSNR, จำนวนบิตต่อจุดภาพและอัตราการบีบอัดภายหลังการบีบอัดภาพ Black and White โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

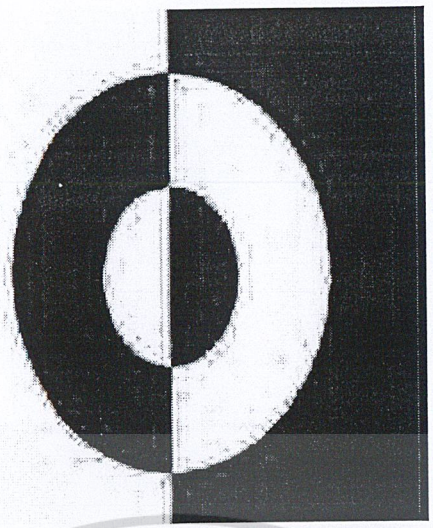


รูปที่ 4.69 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 26.3632 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.14087
อัตราการบีบอัด = 56.7903



รูปที่ 4.70 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี-4ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 53.9131 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 1.3624
อัตราการบีบอัด = 5.8719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

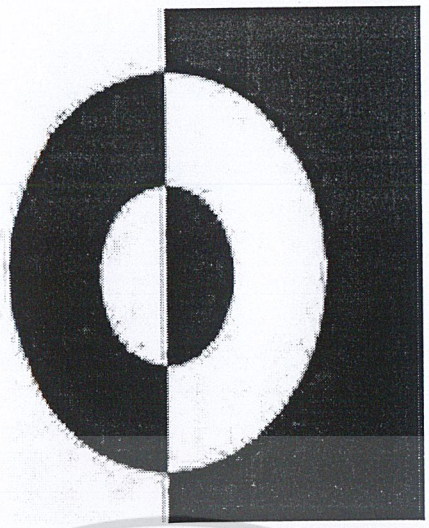


รูปที่ 4.71 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบซิมเล็ต-4ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 26.5403 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.13965
อัตราการบีบอัด = 57.2867



รูปที่ 4.72 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบซิมเล็ต-4ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 53.6985 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 1.2998
อัตราการบีบอัด = 6.1548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

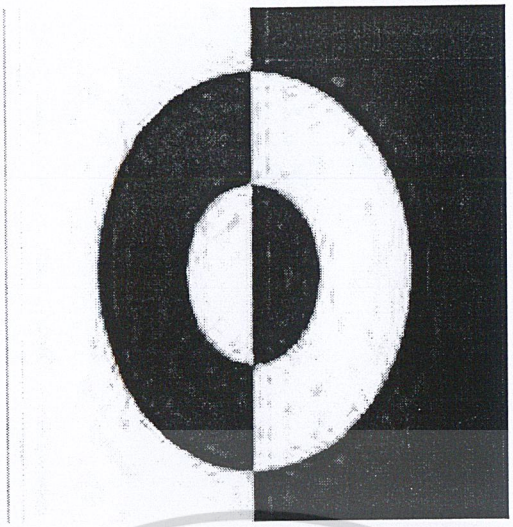


รูปที่ 4.73 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบโคฟเล็ต-1ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 26.7812 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.13892
อัตราการบีบอัด = 57.5888



รูปที่ 4.74 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบโคฟเล็ต-1ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 59.8204 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 1.123
อัตราการบีบอัด = 7.1235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

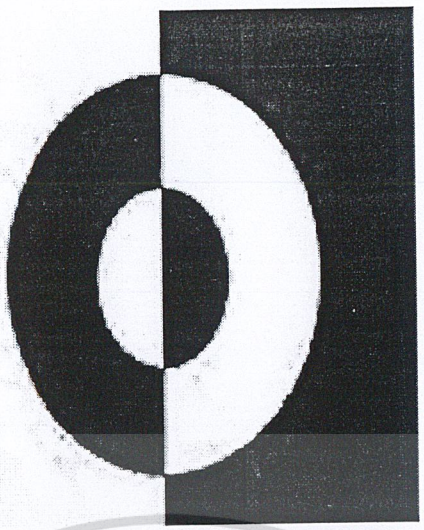


รูปที่ 4.75 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 26.1561 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.12292
อัตราการบีบอัด = 65.0804



รูปที่ 4.76 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ตที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 61.3638 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 1.9495
อัตราการบีบอัด = 4.1037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

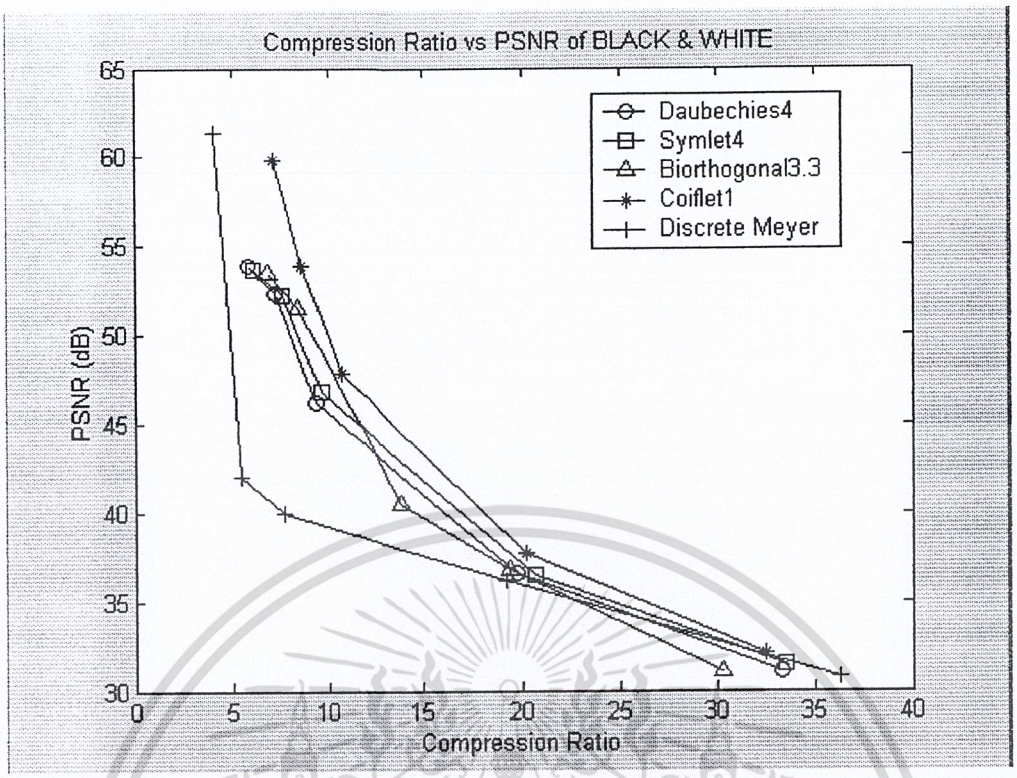


รูปที่ 4.77 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบไบออร์ทอกอนอล-3.3ที่ 50 %
โดยมีค่า PSNR = 28.5300 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 0.17224
อัตราการบีบอัด = 46.4465

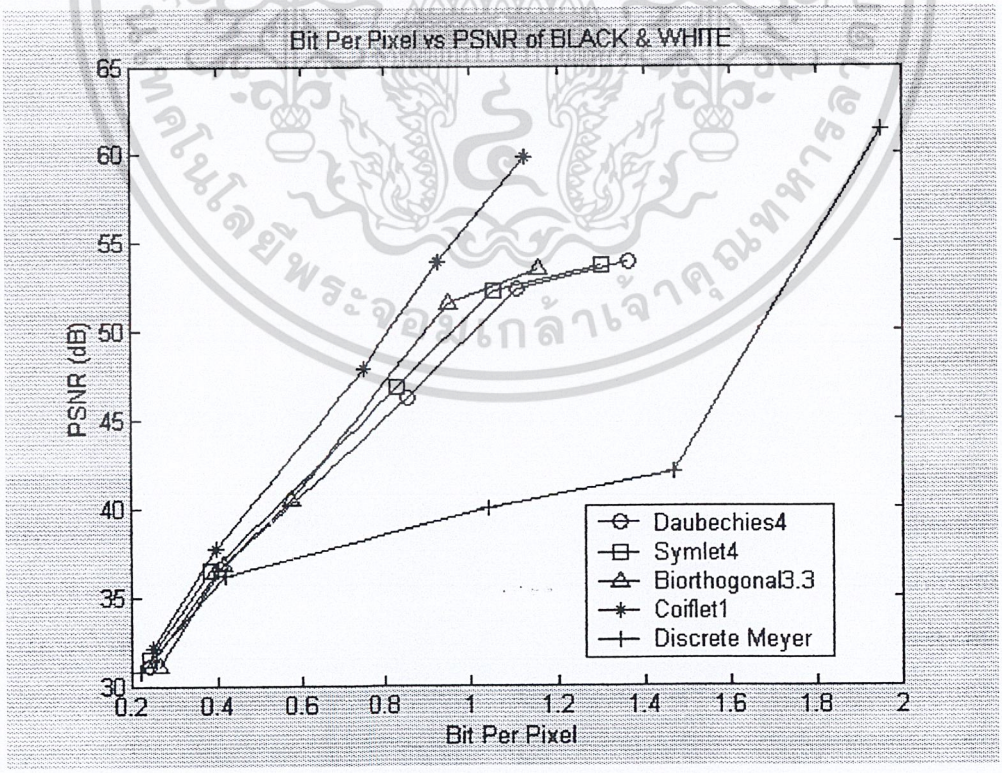


รูปที่ 4.78 แสดงภาพ Black and White ภายหลังการบีบอัดโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ต
แบบไบออร์ทอกอนอล-3.3ที่ 100 %
โดยมีค่า PSNR = 53.4499 dB
จำนวนบิตต่อจุดภาพ = 1.1575
อัตราการบีบอัด = 6.9116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดภาพ Black and White โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ



รูปที่ 4.80 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพ Black and White โดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ได้เลือกรูปภาพ 3 ภาพที่มีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ภาพ Lena ขนาด 256 x 256 จุดภาพที่มีลักษณะองค์ประกอบของพื้นภาพที่มีโทนสีใกล้เคียงกัน คือมีความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของภาพน้อย, ภาพ Baboon ขนาด 256 x 256 จุดภาพซึ่งมีรายละเอียดของภาพมาก โดยมีจุดเด่นที่รายละเอียดของขนบริเวณใบหน้า และภาพสุดท้ายคือ ภาพ Black and White ซึ่งองค์ประกอบของภาพประกอบด้วยโทนสีเพียง 2 สีเท่านั้นคือสีขาวและสีดำ โดยมีจุดเด่นที่ขอบซึ่งตัดแบ่งระหว่างสีทั้งสอง

ส่วนการเลือกชนิดของเวฟเล็ตมาเปรียบเทียบกันนั้น ในการทดลองนี้ได้เลือกเวฟเล็ตมา 3 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็อาจจะแบ่งชนิดของเวฟเล็ตออกเป็นชนิดย่อยๆ อีก ได้แก่

1. ออร์ทอกอนอลเวฟเล็ต (Orthogonal wavelets) ได้แก่ ดาบีชีเวฟเล็ต, ซิมเล็ตเวฟเล็ต และโคฟเล็ตเวฟเล็ต คุณสมบัติโดยทั่วไปของเวฟเล็ตประเภทนี้ คือ มีสเกลลิ่งฟังก์ชันและการวิเคราะห์เป็นไปในเชิงออร์ทอกอนอล, สเกลลิ่งฟังก์ชันและเวฟเล็ตฟังก์ชันมีคุณสมบัติในการจำกัดค่าที่ไม่เป็นศูนย์ให้มีค่าเข้าใกล้ช่วงที่เราต้องการ (compact support) และในการวิเคราะห์นั้นสามารถทำการวิเคราะห์แบบการแปลงอย่างต่อเนื่อง (continuous transform) และการแปลงอย่างไม่ต่อเนื่อง (discrete transform) โดยใช้ FWT (Fast Wavelet Transform)
2. ไบออร์ทอกอนอลเวฟเล็ต (Biorthogonal wavelets) คุณสมบัติโดยทั่วไปของเวฟเล็ตประเภทนี้ คือ มีสเกลลิ่งฟังก์ชันและการวิเคราะห์เป็นไปในเชิงไบออร์ทอกอนอล, สเกลลิ่งฟังก์ชันและเวฟเล็ตฟังก์ชันมีคุณสมบัติในการจำกัดค่าที่ไม่เป็นศูนย์ให้มีค่าเข้าใกล้ช่วงที่เราต้องการทั้งในขั้นตอนการแตกกระจายสัญญาณ (decomposition) และการสร้างกลับสัญญาณ (reconstruction) และในการวิเคราะห์นั้นสามารถทำการวิเคราะห์แบบการแปลงอย่างต่อเนื่องและการแปลงอย่างไม่ต่อเนื่องโดยใช้ FWT
3. อินฟินิทลีเรกกิวลาร์เวฟเล็ต (Infinitely regular wavelets) ที่นำมาใช้ในการทดลองคือ ดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต คุณสมบัติโดยทั่วไปของเวฟเล็ตประเภทนี้ คือ เป็นการประมาณโดยใช้ FIR (finite impulse response) ของเมเยอร์เวฟเล็ตและในการวิเคราะห์นั้นสามารถทำการวิเคราะห์แบบการแปลงอย่างต่อเนื่องและการแปลงอย่างไม่ต่อเนื่อง

ซึ่งจากการนำภาพต้นแบบทั้ง 3 ภาพไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการบีบอัดภาพนั้น จากผลการทดลองโดยดูจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR กับอัตราการบีบอัดหรือระหว่างค่า PSNR กับจำนวนบิตต่อจุดภาพพบว่า

- เมื่อใช้ภาพ Lena เป็นภาพต้นแบบ กราฟที่ได้ของเวฟเล็ตแต่ละชนิดจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากแต่ถ้าพิจารณาจากสายตาโดยเลือกดูภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพเท่ากัน ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุดคือภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้โคฟเล็ตเวฟเล็ต
- เมื่อใช้ภาพ Baboon เป็นภาพต้นแบบ กราฟที่ได้ของเวฟเล็ตแต่ละชนิดจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากยกเว้นเส้นกราฟของไบออร์ทอกอนอลเวฟเล็ตซึ่งให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด แต่ถ้าพิจารณาจากสายตาโดยเลือกดูภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพเท่ากัน ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุดคือภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้ไบออร์ทอกอนอลเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อใช้ภาพ Black and White เป็นภาพต้นแบบกราฟที่ได้ของเวฟเล็ตแบบโคฟเล็ตจะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ถ้าพิจารณาจากสายตาโดยเลือกดูภาพภายหลังการบีบอัดที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพเท่ากัน ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุดคือภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้ดิสครีตเมเยอร์เวฟเล็ต

ดังนั้นจะเห็นว่าค่า PSNR ที่ใช้ในการวัดความเหมือนจริงของภาพไม่สามารถที่จะบ่งบอกหรือใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้แต่เพียงอย่างเดียว ในกรณีของการพิจารณาภาพโดยมีสายตาของมนุษย์เป็นตัวรับภาพ ความผิดพลาดในบริเวณที่เป็นที่มืดของภาพจะเห็นได้ชัดเจนกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในบริเวณที่สว่าง และระบบการมองเห็นยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของระดับสีเทาด้วย ความผิดพลาดที่อยู่บนขอบหรือใกล้ๆ ขอบของวัตถุจะมีผลต่อการมองเห็นมากกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นฉากหลังของภาพ ด้วยเหตุนี้เอง ถึงแม้ว่าภาพจะมีค่า PSNR ที่ใกล้เคียงกัน แต่อาจจะปรากฏความแตกต่างของคุณภาพของการมองเห็นที่แตกต่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและวิจารณ์

การบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเป็นวิธีการบีบอัดรูปภาพที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งการบีบอัดข้อมูลรูปภาพในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆด้วยกัน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการนำข้อมูลรูปภาพมาผ่านการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตนี้เป็นวิธีการแตกกระจายสัญญาณออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆที่สัมพันธ์กันและอยู่ในรูปของสัญญาณที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งที่แตกต่างกันตามชนิดของเวฟเล็ตที่ใช้ ผลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตซึ่งอยู่ในรูปของเมตริกซ์ตัวเลขที่ระดับความละเอียดต่างๆกัน จากนั้นในขั้นตอนที่สองจะเป็นการนำค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ได้มาทำการกำหนดรหัสตามความสำคัญ และนำไปจัดระดับข้อมูลด้วยการควอนไทซ์แบบการประมาณต่อเนื่อง เรียกกระบวนการนี้ว่า เอ็มเบดอิดซีโร่ทรี ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำรหัสของข้อมูลที่ผ่านการจัดระดับแล้วมาทำการลดรหัสของข้อมูลลงด้วยการเข้ารหัสเลขคณิต เพื่อให้จำนวนบิตที่ใช้แสดงภาพนั้น ๆน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในระดับที่ยอมรับได้ ภาพที่ผ่านขั้นตอนทั้งสามนี้จะถือว่าเป็นภาพที่ถูกบีบอัดหรือลดขนาดแล้วนั่นเอง

ข้อมูลที่ถูกลดขนาดนั้นมีความสำคัญกับทั้งในเรื่องการส่งข้อมูลและการเก็บข้อมูลนั้นๆ เนื่องจากถ้าข้อมูลมีขนาดเล็กลงจะทำให้ประหยัดเวลาในการส่งข้อมูล รวมถึงสามารถส่งข้อมูลได้เพิ่มขึ้นโดยที่ตัวกลางมีขนาดแบนด์วิธเท่าเดิม ส่วนเรื่องของการเก็บข้อมูลนั้นจะทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลโดยที่ยังเหลือเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลตัวสำคัญตัวอื่น ๆได้ด้วย

สรุปผลการทดลอง

การแปลงเวฟเล็ต

เมื่อนำภาพต้นแบบซึ่งใช้ภาพระดับสีเทาไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตจะเหมือนกับการนำภาพนั้นไปผ่านการกรองความถี่ในแต่ละแถวและหลักของภาพสลับกันไป ทำให้ภาพที่ได้เป็นสับแบนด์ย่อย ๆในแต่ละความถี่ และทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบระดับที่เราต้องการ ภาพที่ได้ในระดับสุดท้ายจะเป็นภาพในสับแบนด์มุมบนด้านซ้ายซึ่งเป็นสับแบนด์ที่มีความละเอียดต่ำที่สุด และเมื่อนำภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตแล้วไปทำการแปลงกลับเวฟเล็ตจะได้ภาพที่เหมือนภาพต้นฉบับเดิมทุกประการ แสดงว่าไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้นในการแปลงเวฟเล็ตเลย

การเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

การเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีเป็นขั้นตอนสำคัญในการบีบอัดข้อมูลรูปภาพ ในขั้นตอนนี้จะนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตไปเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลในระดับต่างๆ แล้วนำมาจัดระดับเป็นชุดรหัสของข้อมูลตามความสำคัญ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ค่าคือ POS, NEG, IZ และ ZTR ดังนั้นในขั้นตอนนี้ข้อมูลจะถูกกำหนดสัญลักษณ์เอาไว้แตกต่างกันในแต่ละค่าความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสเลขคณิต

การเข้ารหัสเลขคณิตเป็นวิธีการเข้ารหัสเพื่อลดจำนวนข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย ในขั้นตอนนี้จะนำสัญลักษณ์ที่ถูกกำหนดจากการเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมาเข้ารหัสเลขคณิตอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งถือเป็นการลดรหัสข้อมูลในขั้นตอนสุดท้าย

จากผลการทดลองในบทที่ 4 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชีจะให้คุณภาพของรูปภาพภายหลังการบีบอัดดีกว่าใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ นั่นคือที่เปอร์เซ็นต์คุณภาพเดียวกันรูปภาพภายหลังการบีบอัดโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชีมีค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) สูงกว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์ และเมื่อนำการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมาเปรียบเทียบกับการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการเจเพกปรากฏว่าการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมีค่าขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการเจเพกที่จำนวนบิตต่อจุดภาพใกล้เคียงกันและคุณภาพของภาพก็อยู่ในระดับทัดเทียมกับมาตรฐานของเจเพกซึ่งสามารถพอที่จะรับรู้รายละเอียดของภาพได้

แต่อย่างไรก็ตามในการพิจารณาวิธีการในการบีบอัดข้อมูลรูปภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของภาพเป็นสำคัญว่าภาพนั้นๆ มีพื้นภาพที่เป็นระดับสีเดียวกันเป็นจำนวนมากน้อยเพียงใด ภาพที่มีพื้นภาพเป็นระดับสีเดียวกันเป็นจำนวนมากคือมีความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของภาพน้อย จะทำให้การบีบอัดข้อมูลมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

<u>ปัญหาที่เกิดขึ้น</u>

เนื่องจากการเข้ารหัสแบบเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีมีความซับซ้อน และใช้เวลานานซึ่งเกิดจากกระบวนการทำงานที่ต้องทำการสแกนหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อนำมากำหนดความสำคัญโดยเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮล และต้องทำการสแกนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดทั้งภาพซึ่งทำให้การออกแบบโปรแกรมมีความยากในการคิดหาวิธีวนลูปเพื่อสแกนหาค่าสัมประสิทธิ์ ถ้าสามารถปรับปรุงวิธีการสแกนค่าสัมประสิทธิ์ที่จะทำให้สามารถประหยัดเวลาในการสแกนค่าได้ก็จะทำให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

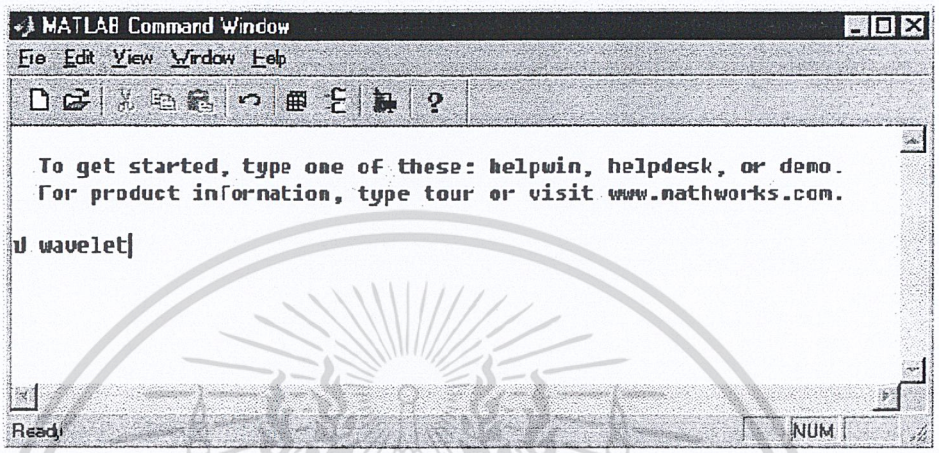
ภาคผนวก ก

การใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

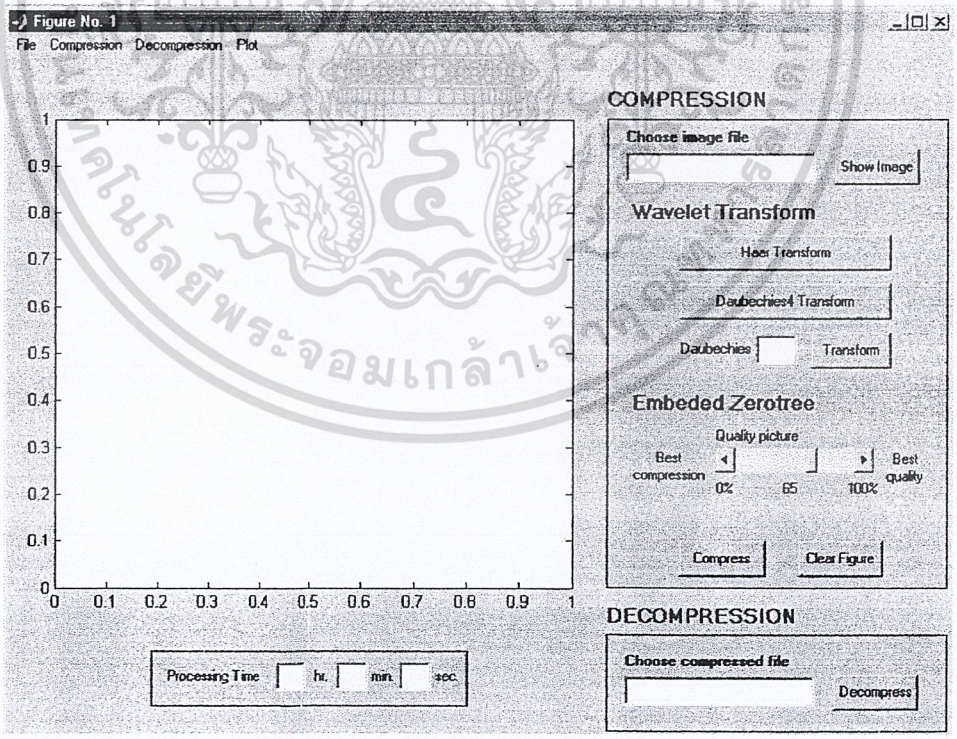
การใช้งานโปรแกรมบีบอัดข้อมูลรูปภาพโดยการแปลงเวฟเล็ตที่ใช้วิธีการเอ็มเบดอิดซีโร่ทรีบน MATLAB

1. ทำการเปิดโปรแกรม MATLAB ขึ้นมา ซึ่งสามารถใช้ได้ตั้งแต่เวอร์ชันที่ 5.3 ขึ้นไป
2. ที่หน้าต่าง MATLAB command window ให้พิมพ์คำสั่ง wavelet ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมการแปลงเวฟเล็ต ดังรูป



รูปที่ 1 แสดงหน้าต่าง MATLAB command window Version 5.3

หลังจากนั้นหน้าต่างหลักของโปรแกรมการแปลงเวฟเล็ตจะปรากฏขึ้นมาดังรูป



รูปที่ 2 แสดงหน้าต่างหลักของฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ที่เมนูบาร์จะมีเมนูย่อยให้เลือกอยู่ทั้งหมด 4 หัวข้อ ได้แก่หัวข้อ File , Compression , Decompression และ Plot ซึ่งแต่ละหัวข้อจะมีเมนูย่อยลงไปอีกคือ

File แบ่งเป็น

- เมนู New สำหรับการเริ่มทำเวฟเล็ตทรานสฟอร์มใหม่
- เมนู Quit สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

Compression แบ่งเป็น

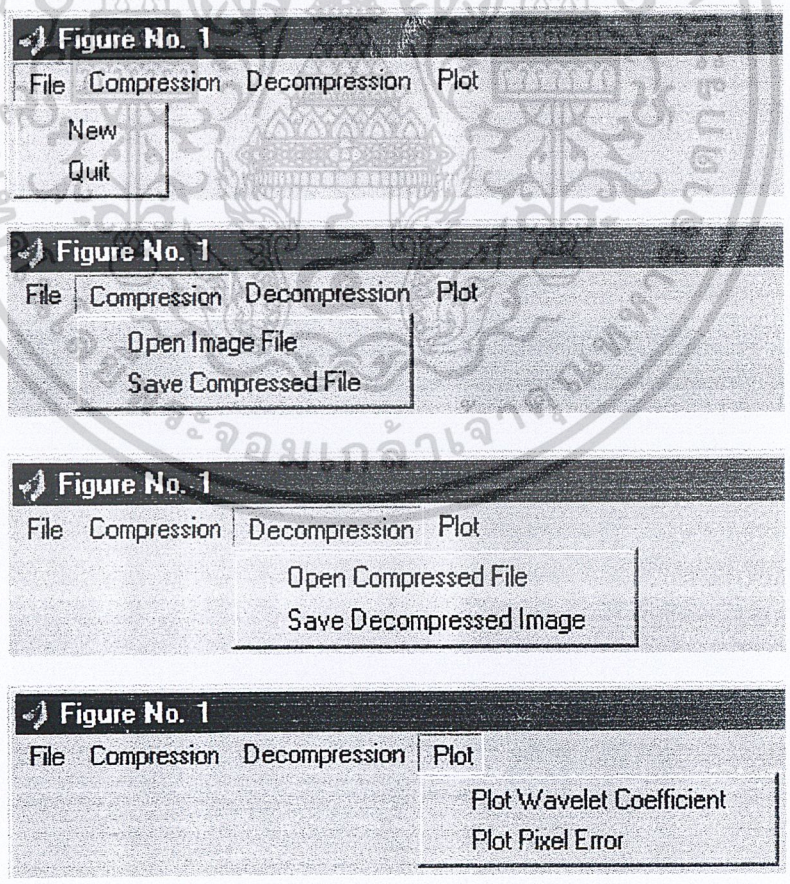
- เมนู Open Image File สำหรับเปิดไฟล์รูปภาพที่ต้องการทำการบีบอัด
- เมนู Save Compressed File สำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดไฟล์รูปภาพ

Decompression แบ่งเป็น

- เมนู Open Compressed File สำหรับเปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดไฟล์รูปภาพ
- เมนู Save Decompressed Image สำหรับบันทึกไฟล์รูปภาพที่ได้จากการแปลงกลับ

Plot แบ่งเป็น

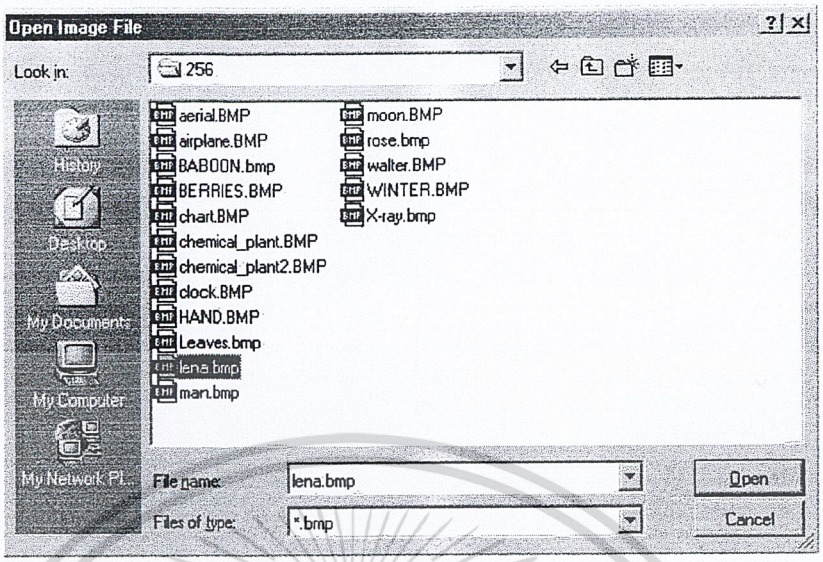
- เมนู Plot Wavelet Coefficient สำหรับพล็อตค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต
- เมนู Plot Pixel Error สำหรับพล็อตค่าความแตกต่างของแต่ละจุดระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ได้จากการแปลงกลับเวฟเล็ต



รูปที่ 3 แสดงเมนูต่าง ๆ ในหน้าต่างหลักของฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

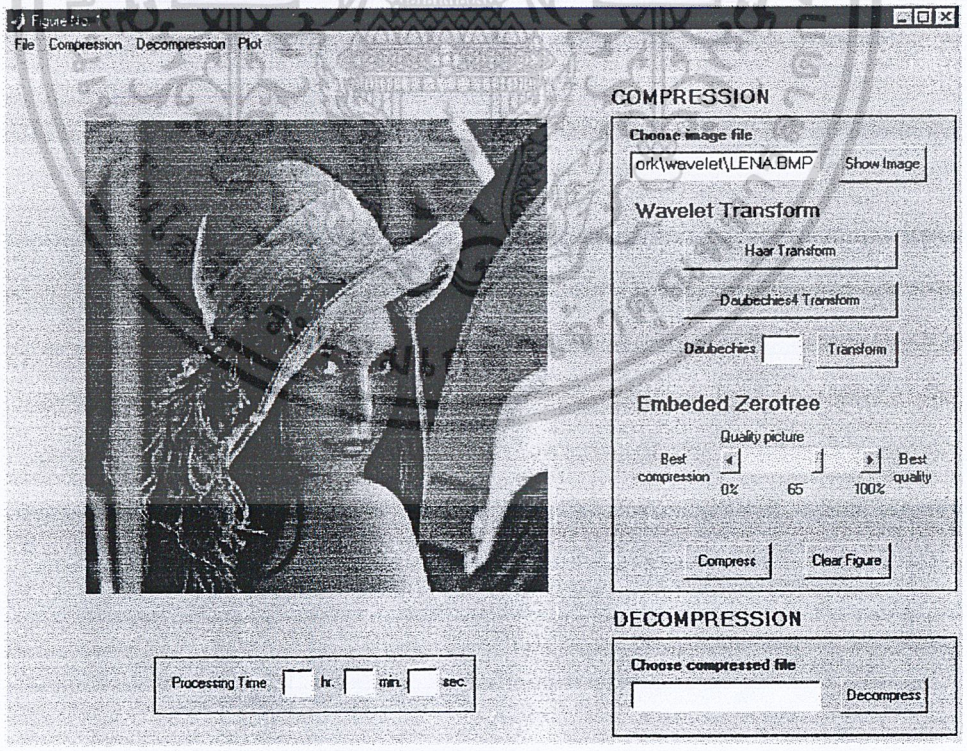
4. เลือกที่เมนู Open Image File เพื่อเลือกภาพ Bitmap ขึ้นมา ในที่นี้เลือกภาพ LENA.BMP



รูปที่ 4 แสดงหน้าต่าง Open Image File

จะปรากฏชื่อและที่อยู่ของภาพ LENA.BMP ขึ้นในช่อง Choose image file

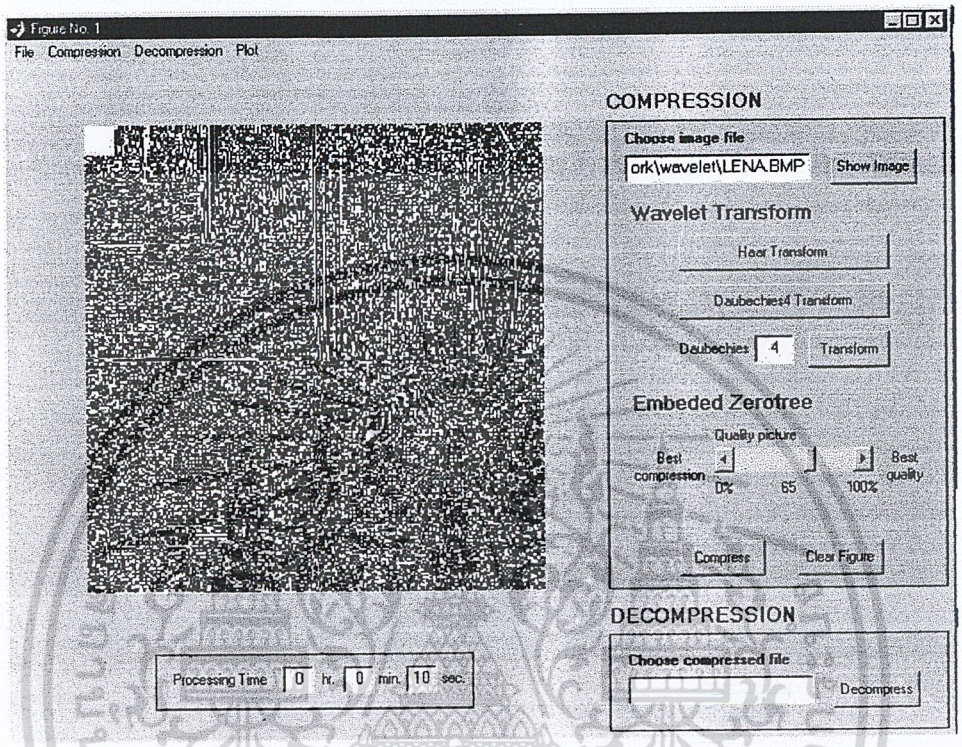
5. คลิกที่ปุ่ม Show Image เพื่อแสดงรูปภาพ และเป็นการนำข้อมูลภาพมาเก็บไว้ในตัวแปรของโปรแกรม โดยที่หน้าต่างหลักจะแสดงผลดังรูป



รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างหลักซึ่งแสดงผลของการคลิกที่ปุ่ม Show Image

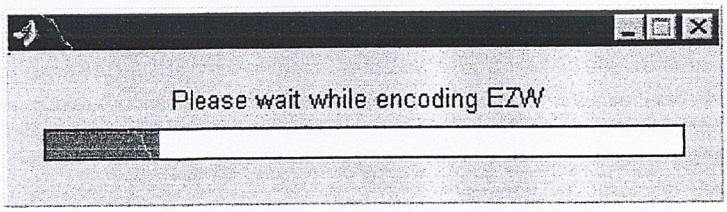
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการเลือกชนิดของการแปลงเวฟเล็ตโดยการคลิกที่ปุ่ม ซึ่งมีให้เลือกแบบ Haar, Daubechies4 หรือถ้าต้องการเลือกเป็น Daubechies ระดับอื่น ๆ ก็สามารถใส่ตัวเลขลงไปในช่องของ Daubechies ชนิดอื่น ๆ ได้ แล้วคลิกที่ปุ่ม Transform ในที่นี้เลือก Daubechies4 จะปรากฏผลการแปลงเวฟเล็ตดังรูป



รูปที่ 6 แสดงผลการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้ Daubechies4

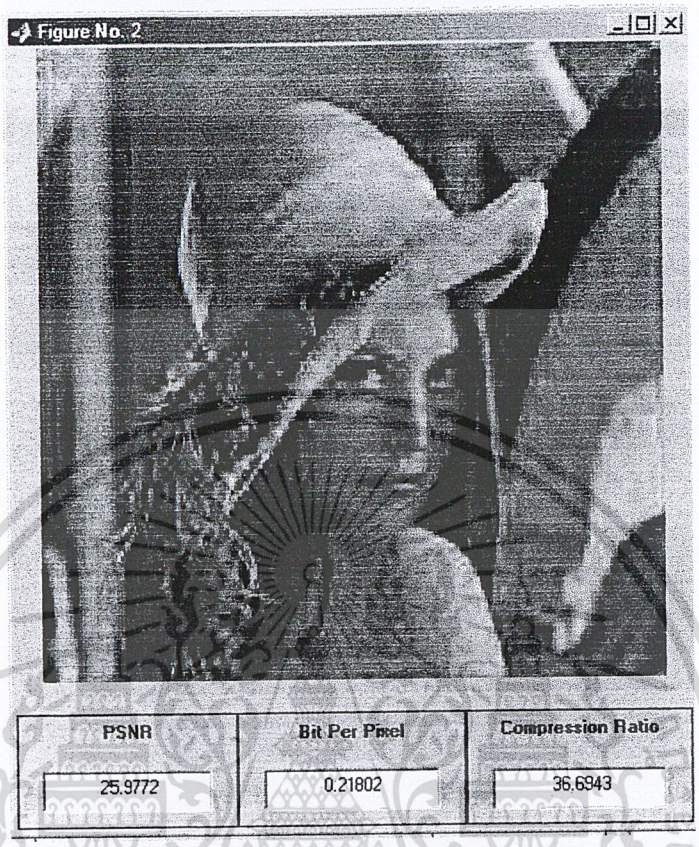
7. ทำการเลือกคุณภาพของการบีบอัดภาพจากแถบเลื่อน ซึ่งสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 10 — 100 % โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ยิ่งมีค่าสูง คุณภาพของภาพที่ได้จากการแปลงกลับก็จะมีค่าสูงตาม ในขณะที่อัตราการบีบอัดจะต่ำลง และในทางกลับกันถ้าค่าเปอร์เซ็นต์ยิ่งมีค่าต่ำลง คุณภาพของภาพก็จะลดลงตาม ในขณะที่อัตราการบีบอัดสูงขึ้น โดยในที่นี้เลือก 60% จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Compress จะปรากฏแถบเวลาแสดงการประมวลผลของโปรแกรม ดังรูป



รูปที่ 7 แสดงแถบเวลาประมวลผลของโปรแกรม

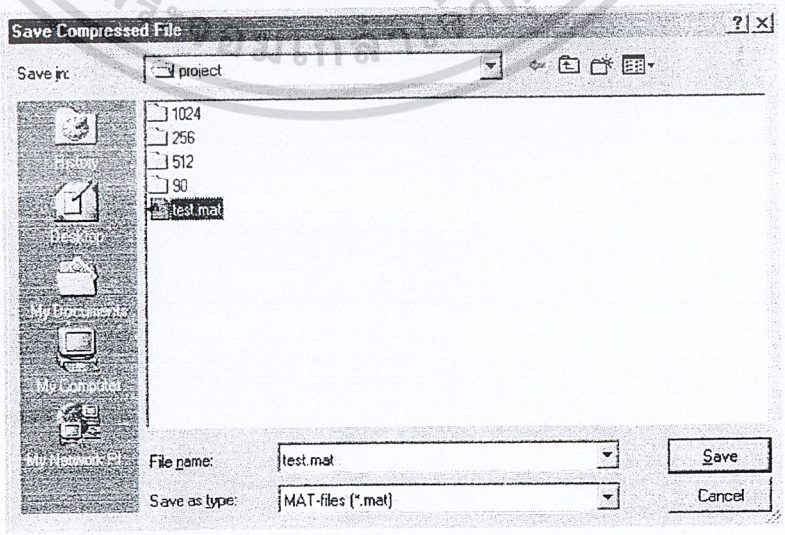
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อโปรแกรมทำการบีบอัดภาพเสร็จแล้ว จะทำการแปลงกลับและแสดงผลของการแปลงกลับออกมาเป็นภาพ พร้อมทั้งแสดงค่า PSNR, Bit Per Pixel และ Compression Ratio ดังรูป



รูปที่ 8 แสดงหน้าต่างผลของการบีบอัดภาพ

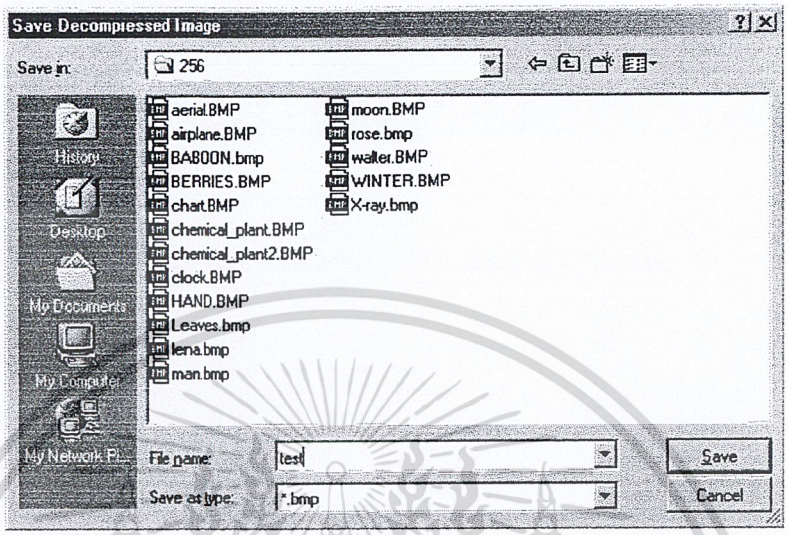
9. สามารถทำการบันทึกไฟล์ข้อมูลภาพที่ถูกบีบอัดแล้วได้โดยเลือกที่เมนู Compression และเลือกที่ Save Compressed File จะแสดงหน้าต่างให้ทำการตั้งชื่อไฟล์ ซึ่งไฟล์ที่ได้จะมีนามสกุล .mat ซึ่งเป็นไฟล์ที่ใช้ได้กับโปรแกรม MATLAB เท่านั้น ในที่นี้ได้ตั้งชื่อให้เป็น test.mat ดังรูป



รูปที่ 9 แสดงหน้าต่าง Save Compressed File

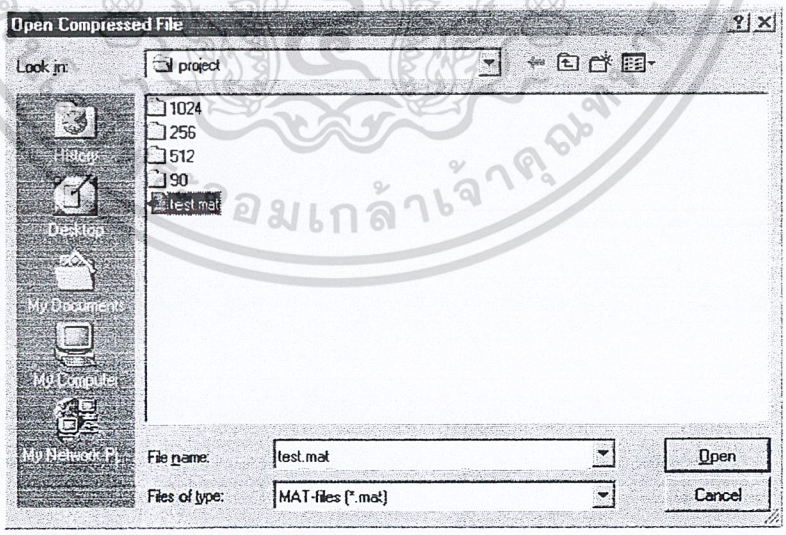
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สามารถทำการบันทึกภาพที่ได้จากการแปลงกลับ โดยการเลือกเมนู Decompression และเลือก Save Decompressed Image จะแสดงหน้าต่างให้ทำการตั้งชื่อไฟล์ ซึ่งไฟล์ที่ได้จะมีนามสกุล .bmp ในที่นี้ได้ตั้งชื่อให้เป็น test.bmp ดังรูป



รูปที่ 10 แสดงหน้าต่าง Save Decompressed Image

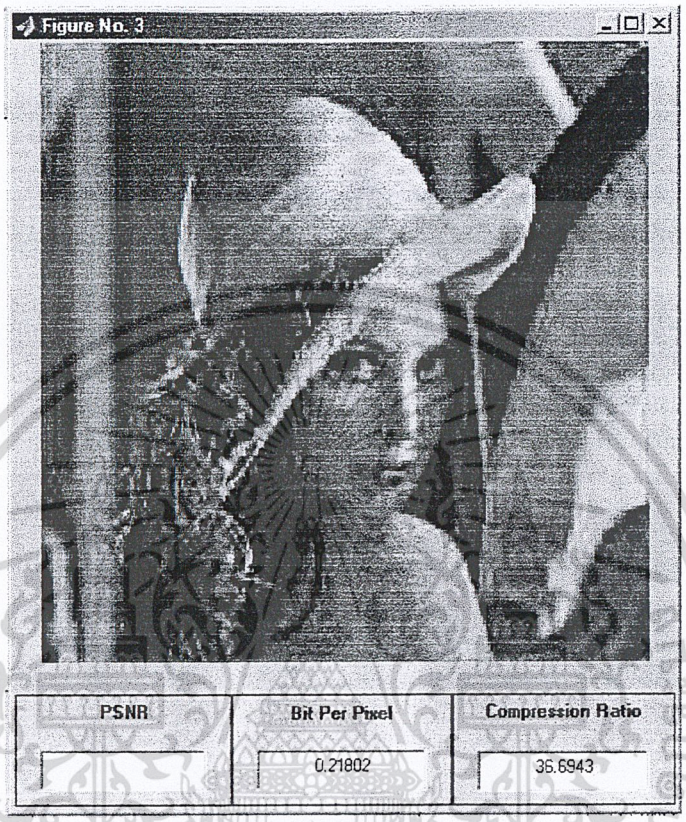
11. สามารถนำไฟล์ข้อมูลภาพที่ถูกบีบอัดแล้ว ซึ่งมีนามสกุล .mat มาทำการแปลงกลับได้ โดยการเลือกเมนู Decompression และเลือก Open Compressed File จะแสดงหน้าต่างให้เลือกชื่อไฟล์ที่ต้องการนำมาแปลงกลับ ในที่นี้จะนำไฟล์ test.mat ที่ได้สร้างไว้แล้วมาทำการแปลงกลับ



รูปที่ 11 แสดงหน้าต่าง Open Compressed File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. จะปรากฏชื่อไฟล์ที่ช่อง Choose compressed file จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Decompress โปรแกรมจะทำการแปลงกลับข้อมูล โดยที่หน้าจอจะแสดงเป็นแถบเวลาของการทำงาน และแสดงผลของการแปลงกลับออกมาเป็นรูปภาพ ดังรูป



รูปที่ 12 แสดงหน้าต่างผลของการแปลงกลับ

*จะไม่มีการแสดงค่า PSNR เนื่องจากไม่มีการเก็บข้อมูลของภาพต้นฉบับเดิมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญโปรแกรมในภาคผนวก

	หน้า
โปรแกรมที่ 1. โปรแกรมแปลงฮาร์เวฟเล็ต	114
โปรแกรมที่ 2. โปรแกรมแปลงกลับฮาร์เวฟเล็ต	114
โปรแกรมที่ 3. โปรแกรมสร้างเวฟเล็ตฟิลเตอร์แบบดาบีชี	115
โปรแกรมที่ 4. โปรแกรมการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี	116
โปรแกรมที่ 5. โปรแกรมการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดาบีชี	119
โปรแกรมที่ 6. โปรแกรมการเข้ารหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี	122
โปรแกรมที่ 7. โปรแกรมการถอดรหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี	126
โปรแกรมที่ 8. โปรแกรมการเข้าและการถอดรหัสเลขคณิต	129
โปรแกรมที่ 9. โปรแกรมหน้าต่างหลัก	141
โปรแกรมที่ 10. โปรแกรมแสดงผลการบีบอัดภาพ	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแปลงฮาร์เวฟเล็ต

```
function z=wavt(A);
n=length(A);
z=A;
z=double(z);
while n>2
   c=colthing(rowthing(z(1:n,1:n)));
   z(1:n,1:n)=c(1:n,1:n);
   n=n/2;
end
%%%
```

```
function z=rowthingi(A)
n=length(A);
for i=1:n,
   k=1;
   for j=1:(n/2),
      z(i,k)=(A(i,j)+A(i,j+n/2))/sqrt(2);
      z(i,k+1)=(A(i,j)-A(i,j+n/2))/sqrt(2);
      k=k+2;
   end
end
%%%
```

โปรแกรมการแปลงเวฟเล็ตแบบดาบีชี

```
function y=wt2d(x,h,g)
%WT2D   Two dimensional Wavelet Transform.
%       WT2D(X,H,G,K) calculates the 2D wavelet transform of matrix
%       X at K scales. H is the analysis lowpass filter and G is the
%       highpass one.
% ---------------------------------
%    CHECK PARAMETERS AND OPTIONS
% ---------------------------------
k=4;
h=h(:)';                % Arrange the filters so that they
g=g(:)';                % are row vectors.
[ly,lx]=size(x);        % The original image size
%-----------------------------
%     SETUP WAVELET SIZES
%-----------------------------
lox(1)=lx;              % Keep in two vectors the succesive
loy(1)=ly;              % wavelet widths and heights.
for i=1:k
        lox(i+1)=floor((lox(i)+1)/2);
        loy(i+1)=floor((loy(i)+1)/2);
end
l1=sum(lox(2:k+1))+lox(k+1);  % The final wavelet width.
l2=sum(loy(2:k+1))+loy(k+1);  % The final wavelet height
%-----------------------------
%   SETUP ARRAYS & OFFSETS
%-----------------------------
y=zeros(l2,l1);         % Set up matrix.
px=l1-lx+1;             % The offsets to put the wavelet
py=l2-ly+1;             % sub-image into the final matrix
tx=x;                   % Copy the original.
%-----------------------------
%     START THE ALGORITHM
%-----------------------------
for ind=1:k             % For every scale...
      [lxy,lxx]=size(tx);
      lwx=floor((lxx+1)/2)*2; % Get the piece size for the present step.
      lwy=floor((lxy+1)/2)*2;
      %%% Now let's call WT to make the wt over the rows %%%
      %%% of the present sub image                    %%%
      if nargin>4
            tw(1:lxy,1:lwx)=wt(tx(1:lxy,1:lxx),h,g,1);
    else tw(1:lxy,1:lwx)=wt(tx(1:lxy,1:lxx),h,g,1);
      end;
      %%% And now over the columns  %%%
      if nargin>4
            tw(1:lwy,1:lwx)=wt(tw(1:lxy,1:lwx)',h,g,1)';
    else tw(1:lwy,1:lwx)=wt(tw(1:lxy,1:lwx)',h,g,1)';
      end
      if lwx>lxx        % Actualize the offsets if the wavelet
            px=px-1;    % stage is '1 point' greater than the
      end               % original sub-image. (*)
      if lwy>lxy
            py=py-1;
      end
      y(py:py+lwy-1,px:px+lwx-1)=tw;      % Place the wavelet stage into
      tx=tw(1:lwy/2,1:lwx/2);       % the result vector and set up
      tw=[];                        % the next scale.
end                     % end of all scales.
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function y=wt(x,h,g,k)

% WT   Discrete Wavelet Transform.
%      WT(X,H,G,K) calculates the wavelet transform of vector X.
%      If X is a matrix (2D), WT will calculate the one dimensional
%      wavelet transform of each row vector. The second argument H
%      is the lowpass filter and the third argument G the highpass
%      filter.
% ---------------------------------
%    CHECK PARAMETERS AND OPTIONS
% ---------------------------------
h=h(:)';    % Arrange the filters so that they are row vectors.
g=g(:)';
[liy,lix]=size(x);
if lix==1          % And arrange the input vector to a row if
      x=x';            % it's not a matrix.
      trasp=1;     % (and take note of it)
      [liy,lix]=size(x);
end
%--------------------------
%    DELAY CALCULATION
%--------------------------
dlp=wtcenter(h);
dhp=wtcenter(g);
if rem(dhp-dlp,2)~=0                % difference between them.
      dhp=dhp+1;                    % must be even
end;
llp=length(h);                      % Length of the lowpass filter
lhp=length(g);                      % Length of the highpass filter.
L=max([lhp,llp,dlp,dhp]);
%-----------------------------
%     START THE ALGORITHM
%-----------------------------
for it=1:liy,
      tm=[];
      t=x(it,:);
      for i=1:k
            lx=length(t);
            if rem(lx,2)~=0
                  t=[t,0];
                  lx=lx+1;
            end
            tp=t;                   % Build wrapparound. The input signal
            pl=length(tp);          % can be smaller than L, so it can
            while L>pl              % be necessary to repeat it several
                  tp=[tp,t];        % times
                  pl=length(tp);
            end
            t=[tp(pl-L+1:pl),t,tp(1:L)];  % Add the wrapparound.
            yl=conv(t,h);
            yh=conv(t,g);
            yl=yl((dlp+1+L):2:(dlp+L+lx));
            yh=yh((dhp+1+L):2:(dhp+L+lx));
            tm=[yh,tm];
            t=yl;
      end
      y(it,:)=[t,tm];               % Wavelet vector (1 row vector)
end                                 % End of the "rows" loop.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function d=wtcenter(x,op);

%  WTCENTER Calculates the delay of filters for alignment.
global WTCENTERMETHOD
if size(WTCENTERMETHOD)==[0,0]
      WTCENTERMETHOD=0;
end
if WTCENTERMETHOD>3 | WTCENTERMETHOD<0
      WTCENTERMETHOD=0
end
d=floor(center(x,WTCENTERMETHOD));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function d=center(x,op);

%  CENTER  Delay calculation for Wavelet transform alignment.
lx=length(x);
l=1:lx;
if op==1
      d=0;
else
      if op==2
            xx=abs(x(:)');
            L=l;
      end
      if op==3
            xx=x(:)'.^2;
            L=l;
      end
      if op==0
            [mx,d]=max(abs(x));
      else

            d=sum(xx.*L)/sum(xx);
      end
end
if nargout==0,
  cad='rgcbk';
  plot(x)
  l=line([d,d],[min(x),max(x)]);
  set(l,'Color',cad(op+1));
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดาบีชี

```
function d=center(x,op);

%  CENTER  Delay calculation for Wavelet transform alignment.
lx=length(x);
l=1:lx;
if op==1
      d=0;
else
      if op==2
            xx=abs(x(:)');
            L=l;
      end
      if op==3
            xx=x(:)'.^2;
            L=l;
      end
      if op==0
            [mx,d]=max(abs(x));
      else

            d=sum(xx.*L)/sum(xx);
      end
end
if nargout==0,
  cad='rgcbk';
  plot(x)
  l=line([d,d],[min(x),max(x)]);
  set(l,'Color',cad(op+1));
end
%%%
```

```
      [liy,lix]=size(wx);
end
% ---------------------------------
%    CHECK THE ORIGINAL LENGTH
% ---------------------------------
if (nargin<5)                    % If no original size is given, set it
      tam=0;                     % to 'unknown'.
end;
if tam==0,                  % If the original size is unknown
      tam=maxrsize(lix,k);     % the maximum possible will be set.
      if tam==0,
disp('Can''t determine the original length. K might be wrong');
      return;
      end
end
lo(1)=tam;                  % Keep in a vector the succesive sizes of
for i=1:k,                  % the wavelet bands.
        lo(i+1)=floor((lo(i)+1)/2);
end
if lix~=sum(lo(2:k+1))+lo(k+1),      % Check the given size.
                            % and arrange if possible
                            % (the error can be in K)
      tam=maxrsize(lix,k);
fprintf(1,'\nThe given size is not correct. Trying default size: ');
fprintf(1,'%u\n',tam);
      if tam==0,
            disp('No default size found. K might be wrong');
            return;
      end;
      lo(1)=tam;
      for i=1:k,
            lo(i+1)=floor((lo(i)+1)/2);
      end
      if lix~=sum(lo(2:k+1))+lo(k+1)
            disp('Default failed. K might be wrong');
            return
      end;
      fprintf(1,'(Check the result, may be wrong. If so, ckeck K)\n');
end
%-------------------------
%    DELAY CALCULATION
%-------------------------
llp=length(rh);             % Length of the lowpass filter.
lhp=length(rg);             % Length of the highpass filter.
suml = llp+lhp-2;           % The total delay of the
difl = abs(lhp-llp);              % analysis-synthesis process
if rem(difl,2)==0           % must match the sum of the
      suml = suml/2;              % analysis delay plus the synthesis
end;
dlpa=wtcenter(rg);
dhpa=wtcenter(rh);
if rem(dhpa-dlpa,2)~=0            % difference between them.
      dhpa=dhpa+1;                % must be even
end;
if nargin==8,                     % Other experimental filter delays
      dlpa=del1;            % can be forced from the arguments,
      dhpa=del2;
end;
dlp = suml - dlpa;                % Found the analysis delays, the
dhp = suml - dhpa;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
L=max([llp,lhp,dhp,dlp]);
%-----------------------------
%     START THE ALGORITHM
%-----------------------------
for it=1:liy,                    % For every row in WX ...
      ind=1+lo(k+1);             % Localize the 1st scale vector
      w=wx(it,1:lo(k+1)*2);      % y and set up the 1st iteration.
      for i=1:k
            lw=length(w);              % Length of the actual wavelet.
                                 % Cut it into two pieces :
            yl=w(1:lw/2);              % 1 - The lowpass vector...
            yl=[yl;zeros(1,length(yl))];  % interpolate it
            yl=yl(:)';           % ending with a '0' so that
            l=length(yl);              % the wrapparoud doesn't put
                                 % two samples toghether.
            pyl=yl;                    % Then make the wrapparound for
            pl=length(pyl);            % this vector, which should match
            while L>pl           % with that left out in analysis.
                  pyl=[pyl,yl];        % Once again, L can be greater than
                  pl=length(pyl);      % the vector, so it can be necessary

            end                  % to cycle it.
            yl=[pyl(pl+1-L:pl),yl,pyl(1:L)];  % Attach the wrapparound.
            if (kl(i)~=0)              % Process the highpass band only if
                                 % KL specifies to do so.
                  yh=w((lw/2+1):lw);         % 2 - The highpass vector.
                  yh=[yh;zeros(1,length(yh))];  % The same operations
                  yh=yh(:)';                 % must be done to it.
                  pyh=yh;                    % ...
                  pl=length(pyh);            % ...
                  while L>pl                 % ...
                        pyh=[pyh,yh];        % ...
                        pl=length(pyh);      % ...
                  end                        % ...
                  yh=[pyh(pl+1-L:pl),yh,pyh(1:L)];  % ...
            end;
            lx=length(yl);       % The length of each vector
            yl=conv(yl,rh);      % Do the lowpass systhesis filtering
            yl=yl(dlp+1+L:dlp+l+L); % and leave out the filter delays
                                 % and the wrapparound.
            if (kl(i)~=0)        % If necessary, do the same with highpass.
                  yh=conv(yh,rg);
                  yh=yh(dhp+1+L:dhp+l+L);
                  yl=yl+yh;              % Sum the two outputs
            else
                  yl=yl;                 % or get only the lowpass side.
            end;
            lx=length(yl);
            if lx>lo(k+1-i)              % If the added '0' was not needed
                  yl=yl(1:lx-1);         % pick it out now, not before.
                  lx=lx-1;       % (this reduces the next length)
            end
            if i<k                       % If this wasn't the last scale
                  ind=ind+lo(k+2-i);           % then set up the next one
                  w=[yl,wx(it,(ind):(lo(k+1-i)+ind-1))];
            end
      end
      y(it,:)=yl;                % One row vector reconstructed.
end                              % End if all vectors reconstructed
```

%%%

โปรแกรมการเข้ารหัสเอ็มเบดอิดซ์โร่ทรี

```
function [header,symbols]=ezw(c,Nd)
%%%
```

```
                                    if td==65
                                       DP=[DP 0 1]; % POS=01
                                       RV=[RV 1.5*T];
                                       SL=[SL ab_ct];
                                    else % td==66
                                       DP=[DP 1 0]; % NEG=10
                                       RV=[RV 1.5*T];
                                       SL=[SL ab_ct];
                                    end
                                 else % td==1
                                       ls=lv; r=1; IZ=0;
                                       while ls>1
                                             if rcmax<=2^(r)
                                              if max(max(abs(ct(2^(ls...

                                                 -1)*row-(2^(ls-1)...
                                                 -1):2^(ls-1)*...
                                                 row,2^(ls-1)*col...
                                                 -(2^(ls-1)-1):2^...
                                                 (ls-1)*col))))>T
                                                 IZ=1; ls=1;
                                               end
                                             else
                                              r=r+1;
                                             end
                                             ls=ls-1;
                                       end
                                       if (IZ==1)|(rcmax>2^(lv-1))
                                       DP=[DP 1 1]; % IZ=11
                                       else % IZ==0
                                            DP=[DP 0 0]; % ZTR=00
                                              ls=lv; r=1;
                                            while ls>1
                                              if rcmax<=2^(r)
                                               d(2^(ls-1)*row-(2^...
                                                (ls-1)-1) : 2^...
                                                (ls-1)*row ,2^...
                                                (ls-1)*col-(2^...
                                                (ls-1)-1) : 2^...
                                                (ls-1)*col) =0;
                                              else
                                               r=r+1;
                                              end
                                              ls=ls-1;
                                            end
                                       end
                                    end
                                 end
                              end
                           end
                        end
                     end
                  end
               end
            end
         end
      end
   end
elseif (j>3)
    for n=1:2^(j-1):2^(j-1)+1
        for m=2^(j-1)+1:-2^(j-1):1
            if n==1 & m==1
              n=2^(j-1)+1;
            elseif n==(2^(j-1)+1) & m==1
              n=-1; m=-1; q=j; j=2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
for u=n:2:2^(j-1)+n-2
    for v=m:2:2^(j-1)+m-2
       for row=u:u+1
           for col=v:v+1
              if (row<=0) & (col<=0)
                 j=q;
              else
                 td=d(row,col);
                 ab_ct=abs(ct(row,col));
                 rcmax=max([row,col]);
                 if td==0;
                 else
                    if td>64
                           if td==65
                       DP=[DP 0 1]; % POS=01
                       RV=[RV 1.5*T];
                       SL=[SL ab_ct];
                      else % td==66
                       DP=[DP 1 0]; % NEG=10
                       RV=[RV 1.5*T];
                       SL=[SL ab_ct];
                      end
                     else % td==1
                      ls=lv; r=1; IZ=0;
                      while ls>1
                         if rcmax<=2^(r)
                           if max(max(abs(ct(2^...
                            (ls-1)*row-(2^...
                            (ls-1)-1) : 2^...
                            (ls-1)*row ,2^...
                            (ls-1)*col-(2^...
                            (ls-1)-1) : 2^...
                            (ls-1)*col)))>T
                            IZ=1; ls=1;
                          end
                         else
                           r=r+1;
                         end
                         ls=ls-1;
                      end
                      if (IZ==1)|(rcmax>2^(lv-1))
                       DP=[DP 1 1]; % IZ=11
                      else % IZ==0
                        DP=[DP 0 0]; % ZTR=00
                       ls=lv; r=1;
                       while ls>1
                             if rcmax<=2^(r)
                               d(2^(ls-1)*row...
                               -(2^(ls-1)...
                               -1): 2^(ls...
                               -1)*row , 2^...
                                (ls-1)*col...
                               -(2^(ls-1)...
                               -1) : 2^(ls...
                               -1)*col)=0;
                           else
                              r=r+1;
                           end
                           ls=ls-1;
                       end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        end
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
close(wait);
end
header(4)=length(DP);
symbols{1}=DP(:);
%%%
```

โปรแกรมการถอดรหัสเอ็มเบดอิดซีโร่ทรี

```
function g=dezw(header,symbols)
%%%
```

```
                                                    end
                                                  end
                                                end
                                              else
                                                r=r+1;
                                              end
                                              ls=ls-1;
                                            end
                                          end
                                        else
                                          yt=yt-2;
                                        end
                                      end
                                    end
                                  end
                                end
                              end
                            end
                          end
                        end
                      elseif (j>3)
                        for n=1:2^(j-1):2^(j-1)+1
                          for m=2^(j-1)+1:-(2^(j-1)):1
                            if n==1 & m==1
                              n=2^(j-1)+1;
                            elseif n==(2^(j-1)+1) & m==1
                              n=-1; m=-1; q=j; j=2;
                            end
                            for u=n:2:2^(j-1)+n-2
                              for v=m:2:2^(j-1)+m-2
                                for row=u:u+1
                                  for col=v:v+1
                                    if (row<=0) & (col<=0)
                                      j=q;
                                    else
                                      if abs(C(row,col))>0
                                      else
                                        if (yt-2)>=0
                                        half=1.5*T;
                                      if symbols(x:x+1)==[0 1]     %POS symbol
                                        x=x+2; yt=yt-2;
                                        ROW=[ROW row];
                                        COL=[COL col];
                                        C(row,col)=half;
                                      elseif symbols(x:x+1)==[1 0]%NEG symbol
                                        x=x+2; yt=yt-2;
                                        ROW=[ROW row];
                                        COL=[COL col];
                                        C(row,col)=-half;
                                      elseif symbols(x:x+1)==[1 1] %IZ symbol
                                        x=x+2; yt=yt-2;
                                      elseif symbols(x:x+1)==[0 0] %ZTRsymbol
                                        x=x+2; yt=yt-2;
                                        ls=header(1); r=1;
                                        while ls>1
                                          if max([row col])<=2^(r)
                                            for h=(2^(ls-1))*...
                                                row-(2^(ls-...
                                                1)-1) : (2^...
                                                (ls-1))*row
                                                for g=(2^(ls...
                                                    -1))*col...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                                    -(2^(ls...
                                                    -1)-1):...
                                                    (2^(ls-1))*col
                                                    if abs(C(h,g))>0
                                                              else
                                                       C(h,g)=1;
                                                    end
                                                 end
                                              end
                                           else
                                              r=r+1;
                                           end
                                           ls=ls-1;
                                        end
                                     end
                                  else
                                     yt=yt-2;
                                  end
                               end
                            end
                         end
                      end
                   end
                end
             end
          end
       end
    end
    k=find(C==1); C(k)=0;
    % Reconstruction values
    if yt>=1
       for N=1:length(ROW)
          if yt>0
             if C(ROW(N),COL(N))>0
               if symbols(x)==1
                  C(ROW(N),COL(N))= C(ROW(N),COL(N))+T/4;
               else
                  C(ROW(N),COL(N))= C(ROW(N),COL(N))-T/4;
               end
               x=x+1; yt=yt-1;
             else % C(ROW(N),COL(N))<0
               if symbols(x)==1
                  C(ROW(N),COL(N))= -(-C(ROW(N),COL(N))+T/4);
               else
                  C(ROW(N),COL(N))= -(-C(ROW(N),COL(N))-T/4);
               end
                  x=x+1; yt=yt-1;
             end
          end
       end
    end
close(wait);
end
g=C;
%%%
```

โปรแกรมการเข้าและการถอดรหัสเลขคณิต

```
function varargout = arithmetic(xC)
% y = Arith07(xC);                                  % encoding
% xC = Arith07(y);                                  % decoding
%  PutBit, GetBit      read and write bit from/to bitstream
%  PutABit, GetABit    Arithmetic encoding of a bit, P{0}=P{1}=0.5
%  PutVLIC, GetVLIC    Variable Length Integer Code
%  PutS(x,S,C), GetS(S,C)  A symbol x, which is in S, is aritmetic coded
%                      according to the counts given by C.
%                      Ex: A binary variable with the givene probabilities
%                      P{0}=0.8 and P{1}=0.2, PutS(x,[0,1],[4,1]).
%  PutN(x,N), GetN(N)  Arithmetic coding of a number x in range 0<=x<=N
%                      where we assume equal probability,
%                      P{0}=P{1}=...=P{N}=1/(N+1)
% these global variables are used to read from or write to the compressed %
sequence
global y Byte BitPos
% and these are used by the subfunctions for arithmetic coding
global high low range ub hc lc sc K code

K=24;  % number of bits to use in integers  (4 <= K <= 24)
Display=1;      % display progress and/or results

if (~iscell(xC))
   Encode=0;Decode=1;
   y=xC(:);             % first argument is y
   y=[y;0;0;0;0];       % add some zeros to always have bits available
else
   Encode=1;Decode=0;
   NumOfX = length(xC);
end

Byte=0;BitPos=1;            % ready to read/write into first position
low=0;high=2^K-1;ub=0;      % initialize the coder
code=0;
% we just select some probabilities which we belive will work quite well
TypeS=[  3,   4,   5,   7,   6,   1,   9,  11,   2,   8,  10,   0];
TypeC=[100,  50,  50,  50,  20,  10,  10,  10,   4,   4,   2,   1];

if Encode
   wait=waitbar(0,'Please wait while encoding Arithmetic code');
   Res=zeros(NumOfX,4);
   % initalize the global variables
   y=zeros(10,1);     % put some zeros into y initially
   % start encoding, first write VLIC to give number of sequences
   PutVLIC(NumOfX);
   % now encode each sequence continuously
   Ltot=0;
   for num=1:NumOfX
      x=xC{num};
      x=full(x(:));          % make sure x is a non-sparse column vector
      L=length(x);
      Ltot=Ltot+L;
      y=[y(1:Byte);zeros(50+2*L,1)];  % make more space available in y
      StartPos=Byte*8-BitPos+ub;      % used for counting bits
      % find what kind of sequenqe we have, save this in xType
      if (L==0)
         xType=0;
      elseif L==1
         if (x==0) | (x==1)          % and it is 0/1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      xType=9;
   elseif (maxx>1)                  % and it is not 0/1 (and positive)
      xType=1;
   else                             % and it is not 0/1 (and negative)
      xType=11;
   end
else
   % now find some more info about x
   maxx=max(x);
   minx=min(x);
   rangex=maxx-minx+1;
   if (rangex==1)                   % only one symbol
      if (maxx==0) | (maxx==1)      % and it is 0/1
         xType=8;
      elseif (maxx>1)               % and it is not 0/1 (and positive)
         xType=2;
      else                          % and it is not 0/1 (and negative)
         xType=10;
      end
   elseif (minx == 0) & (maxx == 1)   % a binary sequence
      xType=7;
   elseif (minx >= 0) & (maxx <= 1000)
      xType=3;
   elseif (minx >= 0)
      xType=5;
   elseif (minx >= -1000) & (maxx <= 1000)
      xType=4;
   else
      xType=6;
   end
end        % if (L==0)

if sum(xType==[4,6])            % negative values are present
   I=find(x);                   % non-zero entries in x
   Sg=(sign(x(I))+1)/2;         % the signs will be needed later, 0/1
   x=abs(x);
end
if sum(xType==[5,6])            % we take the logarithms of the values
   I=find(x);                   % non-zero entries in x
   xa=x;                        % additional bits
   x(I)=floor(log2(x(I)));
   xa(I)=xa(I)-2.^x(I);
   x(I)=x(I)+1;
end
%  now do the coding of this sequence
PutS(xType,TypeS,TypeC);
if (xType==1)          % one symbol and x=x(1)>1
   PutVLIC(x-2);
elseif (xType==2)    % L>1 but only one symbol, x(1)=x(2)=...=x(L)>1
   PutVLIC(L-2);
   PutVLIC(x(1)-2);
elseif sum(xType==[3,4,5,6])  % normalized sequences: 0<=x(i)<=1000
   PutVLIC(L-2);
   M=max(x);
   PutN(M,1000);             % some bits for M
   % initialize model
   T=[ones(M+2,1);0];
   Tu=flipud((-1:(M+1))');
   for l=1:L
      sc=T(1);
      m=x(l);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      hc=T(m+1);lc=T(m+2);
      if hc==lc      % unused symbol, code ESC symbol first
         hc=T(M+2);lc=T(M+3);
         EncodeSymbol;      % code escape with T table
         sc=Tu(1);hc=Tu(m+1);lc=Tu(m+2);  % symbol with Tu table
         Tu(1:(m+1))=Tu(1:(m+1))-1;       % update Tu table
      end
      EncodeSymbol; % code actual symbol with T table (or Tu table)
 % update T table, MUST be identical in Encode and Decode
 % this avoid very large values  in T even if sequence is very long
      T(1:(m+1))=T(1:(m+1))+1;
      if (rem(l,5000)==0)
         dT=T(1:(M+2))-T(2:(M+3));
         dT=floor(dT*7/8+1/8);
         for m=(M+2):(-1):1; T(m)=T(m+1)+dT(m); end;
      end
   end          % for l=1:L
   % this end the "elseif sum(xType==[3,4,5,6])"-clause
elseif (xType==7)    % L>1 and   0 <= x(i) <= 1
   PutVLIC(L-2);
   EncodeBin(x,L);     % code this sequence a special way
elseif (xType==8)    % L>1 and   0 <= x(1)=x(2)=...=x(L) <= 1
   PutVLIC(L-2);
   PutABit(x(1));
elseif (xType==9)    % L=1 and   0 <= x(1) <= 1
   PutABit(x(1));
elseif (xType==10)       % L>1 and  x(1)=x(2)=...=x(L) <= -1
   PutVLIC(L-2);
   PutVLIC(-1-x(1));
elseif (xType==11)       % L=1 and   x(1) <= -1
   PutVLIC(-1-x);
end         % if (xType==1)
% additional information should be coded as well
if 0        % first the way it is not done any more
   if sum(xType==[4,6])          % sign must be stored
      for i=1:length(Sg); PutABit(Sg(i)); end;
   end
   if sum(xType==[5,6])        % additional bits must be stored
      for i=1:L
         for ii=(x(i)-1):(-1):1
            PutABit(bitget(xa(i),ii));
         end
      end
   end
else         % this is how we do it
   if sum(xType==[4,6])           % sign must be stored
      EncodeBin(Sg,length(I));    % since length(I)=length(Sg)
   end
   if sum(xType==[5,6])        % additional bits must be stored
      b=zeros(sum(x)-length(I),1);  % number of additional bits
      bi=0;
      for i=1:L
         for ii=(x(i)-1):(-1):1
            bi=bi+1;
            b(bi)=bitget(xa(i),ii);
         end
      end
      EncodeBin(b,bi);    % since bi=(sum(x)-length(I))
   end
end
EndPos=Byte*8-BitPos+ub;    % used for counting bits
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      bits=EndPos-StartPos;
      Res(num,1)=L;
      Res(num,2)=0;
      Res(num,3)=bits;
      if L>0; Res(num,4)=bits/L; else Res(num,4)=bits; end;
   end         % for num=1:NumOfX
   % flush the arithmetic coder
   PutBit(bitget(low,K-1));
   ub=ub+1;
   while ub>0
      PutBit(~bitget(low,K-1));
      ub=ub-1;
   end
   % flush is finished
   y=y(1:Byte);
   varargout(1) = {y};
   if (nargout >= 2)
      % now calculate results for the total
      Res(NumOfX+1,1)=Ltot;
      Res(NumOfX+1,2)=0;
      Res(NumOfX+1,3)=Byte*8;
      if (Ltot>0); Res(NumOfX+1,4)=Byte*8/Ltot; else Res(NumOfX+1,4)=Byte*8;
end;
      varargout(2) = {Res};
   end
close(wait);
wait=waitbar(1,'Please wait while encoding Arithmetic code');
close(wait);
end        % if Encode

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if Decode
    wait=waitbar(0,'Please wait while decoding Arithmetic code');
   for k=1:K
      code=code*2;
      code=code+GetBit;   % read bits into code
   end
   NumOfX=GetVLIC;   % first read number of sequences
   xC=cell(NumOfX,1);
   for num=1:NumOfX
 % find what kind of sequenge we have, xType, stored first in sequence
      xType=GetS(TypeS,TypeC);
 % now decode the different kind of sequences, each the way it was stored
      if (xType==0)       % empty sequence, no more symbols coded
         x=[];
      elseif (xType==1)       % one symbol and x=x(1)>1
         x=GetVLIC+2;
      elseif (xType==2)   % L>1 but only one symbol, x(1)=x(2)=...=x(L)>1
         L=GetVLIC+2;
         x=ones(L,1)*(GetVLIC+2);
      elseif sum(xType==[3,4,5,6])  % normalized sequences: 0<=x(i)<=1000
         L=GetVLIC+2;
         x=zeros(L,1);
         M=GetN(1000);      % M is max(x)
         % initialize model
         T=[ones(M+2,1);0];
         Tu=flipud((-1:(M+1))');
         for l=1:L
            sc=T(1);
            range=high-low+1;
            count=floor(( (code-low+1)*sc-1 )/range);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            m=2; while (T(m)>count); m=m+1; end;
            hc=T(m-1);lc=T(m);m=m-2;
            RemoveSymbol;
            if (m>M)      % decoded ESC symbol, find symbol from Tu table
               sc=Tu(1);range=high-low+1;
               count=floor(( (code-low+1)*sc-1 )/range);
               m=2; while (Tu(m)>count); m=m+1; end;
               hc=Tu(m-1);lc=Tu(m);m=m-2;
               RemoveSymbol;
               Tu(1:(m+1))=Tu(1:(m+1))-1;    % update Tu table
            end
            x(l)=m;
% update T table, MUST be identical in Encode and Decode
% this avoid very large values  in T even if sequence is very long
            T(1:(m+1))=T(1:(m+1))+1;
            if (rem(l,5000)==0)
               dT=T(1:(M+2))-T(2:(M+3));
               dT=floor(dT*7/8+1/8);
               for m=(M+2):(-1):1; T(m)=T(m+1)+dT(m); end;
            end
         end          % for l=1:L
         % this end the "elseif sum(xType==[3,4,5,6])"-clause
      elseif (xType==7)    % L>1 and    0 <= x(i) <= 1
         L=GetVLIC+2;
         x=DecodeBin(L);    % decode this sequence a special way
      elseif (xType==8)    % L>1 and    0 <= x(1)=x(2)=...=x(L) <= 1
         L=GetVLIC+2;
         x=ones(L,1)*GetABit;
      elseif (xType==9)    % L=1 and    0 <= x(1) <= 1
         x=GetABit;
      elseif (xType==10)        % L>1 and  x(1)=x(2)=...=x(L) <= -1
         L=GetVLIC+2;
         x=ones(L,1)*(-1-GetVLIC);
      elseif (xType==11)        % L=1 and   x(1) <= -1
         x=(-1-GetVLIC);
      end          % if (xType==0)
      % additional information should be decoded as well
      L=length(x);
      I=find(x);
      if 0
         if sum(xType==[4,6])              % sign must be retrieved
            Sg=zeros(size(I));
            for i=1:length(I); Sg(i)=GetABit; end;
            Sg=Sg*2-1;
         end
         if sum(xType==[5,6])         % additional bits must be retrieved
            xa=zeros(L,1);
            for i=1:L
               for ii=2:x(i)
                  xa(i)=2*xa(i)+GetABit;
               end
            end
            x(I)=2.^(x(I)-1);
            x=x+xa;
         end
      else
         if sum(xType==[4,6])              % sign must be retrieved
            Sg=DecodeBin(length(I));       % since length(I)=length(Sg)
            Sg=Sg*2-1;                     % (-1/1)
         end
         if sum(xType==[5,6])         % additional bits must be retrieved
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            bi=sum(x)-length(I);      % number of additional bits
            b=DecodeBin(bi);
            bi=0;
            xa=zeros(L,1);
            for i=1:L
               for ii=2:x(i)
                  bi=bi+1;
                  xa(i)=2*xa(i)+b(bi);
               end
            end
            x(I)=2.^(x(I)-1);
            x=x+xa;
         end
      end
      if sum(xType==[4,6])           % sign must be used
         x(I)=x(I).*Sg;
      end
      % now x is the retrieved sequence
      xC{num}=x;
   end         % for num=1:NumOfX
   varargout(1) = {xC};
close(wait);
wait=waitbar(1,'Please wait while decoding Arithmetic code');
close(wait);
end
return     % end of main function, Arithmetic

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% --- The functions for binary sequences: EncodeBin and DecodeBin -----
function EncodeBin(x,L)
global y Byte BitPos
global high low range ub hc lc sc K code
Display=0;
x=x(:);
MetS=[0,1,2,3];          % the different methods, direct, split, diff,
diff+split
MetC=[9,3,3,1];          % and the counts (which gives the probabilities)
% first set how many bits needed to code the method
b0=log2(sum(MetC))-log2(MetC(1));
b1=log2(sum(MetC))-log2(MetC(2));
b2=log2(sum(MetC))-log2(MetC(3));
b3=log2(sum(MetC))-log2(MetC(4));
I=find(x(1:(L-1))==1);       % except last element in x
J=find(x(1:(L-1))==0);
L11=length(I);
b0=b0+BitEst(L,L11+x(L));   % bits needed for the sequence without splitting
x3=abs(x-[0;x(1:(L-1))]);
I3=find(x3(1:(L-1))==1);       % except last element in x3
J3=find(x3(1:(L-1))==0);
L31=length(I3);
b2=b2+BitEst(L,L31+x3(L));  % bits needed for the sequence without
                            % splitting


if (L>40)
   % only now we try to split the sequences x and x3
   if (L11>3) & ((L-L11)>3)
      % try to split x into x1 and x2, depending on previous symbol
      if L11<(L/2)
         x1=x(I+1);
         x2=[x(1);x(J+1)];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      L1=L11;L2=L-L11;
   else
      x1=[x(1);x(I+1)];
      x2=x(J+1);
      L1=L11+1;L2=L-L11-1;
   end
   b11=BitEst(L1,length(find(x1)));  % bits needed for x1
   b12=BitEst(L2,length(find(x2)));  % bits needed for x2
   % b1 is bits to code: Method, L11, x1 and x2
   b1=b1+log2(L)+b11+b12;
else
   b1=b0+1;      % just to make this larger
end
if (L31>3) & ((L-L31)>3)
   % try to split x3 into x4 and x5, depending on previous symbol
   if L31<(L/2)
      x4=x3(I3+1);
      x5=[x3(1);x3(J3+1)];
      L4=L31;L5=L-L31;
   else
      x4=[x3(1);x3(I3+1)];
      x5=x3(J3+1);
      L4=L31+1;L5=L-L31-1;
   end
   b31=BitEst(L4,length(find(x4)));  % bits needed for x4
   b32=BitEst(L5,length(find(x5)));  % bits needed for x5
   % b3 is bits to code: Method, L31, x4 and x5
   b3=b3+log2(L)+b31+b32;
else
   b3=b2+1;      % just to make this larger
end
else
   b1=b0+1;      % just to make this larger
   b3=b2+1;      % just to make this larger
end
% now code x by the best method of those investigated
[b,MetI]=min([b0,b1,b2,b3]);
MetI=MetI-1;
PutS(MetI,MetS,MetC);   % code which method to use
if MetI==0
   % code the sequence x
   N1=L11+x(L);
   N0=L-N1;
   PutN(N1,L);              % code N1, 0<=N1<=L
   for n=1:L
      if ~(N0*N1); break; end;
      PutS(x(n),[0,1],[N0,N1]);   % code x(n)
      N0=N0-1+x(n);N1=N1-x(n);
   end
elseif MetI==1
   % code x1 and x2
   clear x4 x5 x3 x I3 J3 I J
   PutN(L11,L-1);           % 0<=L11<=(L-1)
   EncodeBin(x1,L1);
   EncodeBin(x2,L2);
elseif MetI==2
   % code the sequence x3
   N1=L31+x3(L);
   N0=L-N1;
   PutN(N1,L);              % code N1, 0<=N1<=L
   for n=1:L
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      if ~(N0*N1); break; end;
      PutS(x3(n),[0,1],[N0,N1]); % code x3(n)
      N0=N0-1+x3(n);N1=N1-x3(n);
elseif MetI==3
   % code x4 and x5
   clear x1 x2 x3 x I3 J3 I J
   PutN(L31,L-1);          % 0<=L31<=(L-1)
   EncodeBin(x4,L4);
   EncodeBin(x5,L5);
end
return    % end of EncodeBin

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function x = DecodeBin(L)
global y Byte BitPos
global high low range ub hc lc sc K code
% these must be as in EncodeBin
MetS=[0,1,2,3];        % the different methods, direct, split, diff,
diff+split
MetC=[9,3,3,1];        % and the counts (which gives the probabilities)
MetI=GetS(MetS,MetC);     % encode which method to use
if (MetI==1) | (MetI==3)    % a split was done
   L11=GetN(L-1);          % 0<=L11<=(L-1)
   if L11<(L/2)
      L1=L11;L2=L-L11;
   else
      L1=L11+1;L2=L-L11-1;
   end
   x1=DecodeBin(L1);
   x2=DecodeBin(L2);
   % build sequence x from x1 and x2
   x=zeros(L,1);
   if L11<(L/2)
      x(1)=x2(1);
      n1=0;n2=1;    % index for the last in x1 and x2
   else
      x(1)=x1(1);
      n1=1;n2=0;    % index for the last in x1 and x2
   end
   for n=2:L
      if (x(n-1))
         n1=n1+1;
         x(n)=x1(n1);
      else
         n2=n2+1;
         x(n)=x2(n2);
      end
   end
else                          % no split
   N1=GetN(L);
   N0=L-N1;
   x=zeros(L,1);
   for n=1:L
      if (N0==0); x(n:L)=1; break; end;
      if (N1==0); break; end;
      x(n)=GetS([0,1],[N0,N1]); % decode x(n)
      N0=N0-1+x(n);N1=N1-x(n);  % update model (of rest of the sequence)
   end
end
if (MetI==2) | (MetI==3)   % x is diff coded
   for n=2:L
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      x(n)=x(n-1)+x(n);
   end
   x=rem(x,2);
end
return     % end of DecodeBin

%%%
```

```
      for (i=1:12); N=N*2+GetABit; end;
      N=N+272;
   end
else
   if GetABit
      for (i=1:8); N=N*2+GetABit; end;
      N=N+16;
   else
      for (i=1:4); N=N*2+GetABit; end;
   end
end
return

%%%
```

```
x=floor(( (code-low+1)*sc-1 )/range);
hc=x+1;lc=x;
RemoveSymbol;
return

%%%
```

```
% The RemoveSymbol function removes (and fill in new) bits from
% file, y, to code
function RemoveSymbol
global y Byte BitPos
global high low range ub hc lc sc K code
range=high-low+1;
high=low+floor(((range*hc)/sc)-1);
low=low+floor((range*lc)/sc);
while 1
   if bitget(high,K)==bitget(low,K)
      % do nothing (shift bits out)
   elseif (bitget(low,K-1) & (~bitget(high,K-1)))
      code=bitset(code,K-1,~bitget(code,K-1));      % switch bit K-1
      low=bitset(low,K-1,0);
      high=bitset(high,K-1,1);
   else
      break
   end
   low=bitset(low*2,K+1,0);
   high=bitset(high*2+1,K+1,0);
   code=bitset(code*2+GetBit,K+1,0);
end
if (low > high); error('low > high'); end;
return

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Functions to write and read a Bit
function PutBit(Bit)
global y Byte BitPos
BitPos=BitPos-1;
if (~BitPos); Byte=Byte+1; BitPos=8; end;
y(Byte) = bitset(y(Byte),BitPos,Bit);
return

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Bit=GetBit
global y Byte BitPos
BitPos=BitPos-1;
if (~BitPos); Byte=Byte+1; BitPos=8; end;
Bit=bitget(y(Byte),BitPos);
return

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function b=BitEst(N,N1);
if (N1>(N/2)); N1=N-N1; end;
N0=N-N1;
if (N>1000)
   b=(N+3/2)*log2(N)-(N0+1/2)*log2(N0)-(N1+1/2)*log2(N1)-1.3256;
elseif (N1>20)
   b=(N+3/2)*log2(N)-(N0+1/2)*log2(N0)-(N1+1/2)*log2(N1)-
0.020984*log2(log2(N))-1.25708;
else
   b=log2(N+1)+sum(log2(N-(0:(N1-1))))-sum(log2(N1-(0:(N1-1))));
end
return
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหน้าต่างหลัก

```
IN=[]; db=0; quality=65; Import_picture=[];
h0 = figure('Units','points', ...
      'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
      'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
      'PaperUnits','points', ...
      'Position',[8.25 -1.5 586.5 418.5], ...
      'Tag','Fig1', ...
      'ToolBar','none');
set(h0,'Menubar','none');
Me_file=uimenu(gcf,'Label','File');
Me_new=uimenu(Me_file,'Label','New',...
     'Callback',['blank=[]; image(blank);', ...
     'db=0; IN=[]; OUT=[];',...
     'set(Import_name,''String'','''');',...
     'set(D_level,''String'','''');',...
     'set(Import_mat,''String'','''');',...
     'set(Show_hour,''String'','''');',...
     'set(Show_min,''String'','''');',...
     'set(Show_sec,''String'','''');']);
Me_quit=uimenu(Me_file,'Label','Quit','Callback','close;');
Me_com=uimenu(gcf,'Label','Compression');
Me_openc=uimenu(Me_com,'Label','Open Image File',...
   'Callback',[...
      '[filename, pathname]=uigetfile(''*.bmp'',''Open Image File'');',...
      'name=strcat(pathname,filename);',...
      'set(Import_name,''String'',name);']);
Me_savec=uimenu(Me_com,'Label','Save Compressed File',...
   'Callback',[...
      '[filename,pathname]=uiputfile(''*.mat'',''Save Compressed
File'');',...
      'name=[pathname filename];',...
      'if (filename~=0)',...
            'save (name,''header'',''db'',''arith_code'');',...
      'end;']);
Me_dec=uimenu(gcf,'Label','Decompression');
Me_opend=uimenu(Me_dec,'Label','Open Compressed File',...
    'Callback',[...
      'filename=[];',...
'[filename, pathname]=uigetfile(''*.mat'',''Open Compressed File'');',...
      'name=strcat(pathname,filename);',...
      'set(Import_mat,''String'',name);']);
Me_saved=uimenu(Me_dec,'Label','Save Decompressed Image',...
   'Callback',[...
'[filename,pathname]=uiputfile(''*.bmp'',''Save Decompressed Image'');',...
      'name=[pathname filename];',...
      'name=strcat(name,''.bmp'');',...
      'if (filename~=0)',...
         'OUT=uint8(OUT);',...
            'imwrite(OUT,name,''bmp'');',...
         'OUT=double(OUT);',...
      'end;']);
Me_plot=uimenu(gcf,'Label','Plot');
Me_coef=uimenu(Me_plot,'Label','Plot Wavelet Coefficient',...
    'Callback',[...
       'if isempty(A)',...
    'msgbox(''Please transform wavelet and then try again'',''error'');',...
       'else [N M]=size(A);',...
            'stem3(A,''r+-'');',...
            'axis([1 N 1 M min(A(:)) max(A(:))]);',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            'title(''Wavelet Coefficient'');',...
            'xlabel(''Pixel'');',...
            'ylabel(''Pixel'');',...
            'zlabel(''Amplitude'');',...
        'end;']);
Me_pixel_error=uimenu(Me_plot,'Label','Plot Pixel Error',...
    'Callback',[...
        'if isempty(IN)',...
        'msgbox(''Please select picture to compress and then try,...
        'again'',''error'');',...
        'elseif isempty(OUT)',...
        'msgbox(''Please decompress picture and then try,...
        'again'',''error'');',...
        'else [N M]=size(IN);',...
            'pixel_error=abs(IN-OUT);',...
            'H=stem3(pixel_error,''k+-'');',...
            'rotate(H,90);',...
            'axis([1 N 1 M min(pixel_error(:)) max(pixel_error(:))]);',...
            'title(''Pixel Error'');',...
            'xlabel(''Pixel'');',...
            'ylabel(''Pixel'');',...
            'zlabel(''Error'');',...
         'end;']);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
       'Units','points', ...
       'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
       'ListboxTop',0, ...
       'Position',[375 5 210 60], ...
       'Style','frame', ...
       'Tag','Frame2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
       'Units','points', ...
       'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
       'ListboxTop',0, ...
       'Position',[375 93 210 288], ...
       'Style','frame', ...
       'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
       'Units','points', ...
       'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
       'FontSize',12, ...
       'FontWeight','bold', ...
       'HorizontalAlignment','left', ...
       'ListboxTop',0, ...
       'Position',[375 385 100 15.75], ...
       'String','COMPRESSION', ...
       'Style','text', ...
       'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
       'Units','points', ...
       'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
       'FontWeight','bold', ...
       'HorizontalAlignment','left', ...
       'ListboxTop',0, ...
       'Position',[386.25 360.75 80 14.25], ...
       'String','Choose image file', ...
       'Style','text', ...
       'Tag','StaticText1');
Import_name = uicontrol('Parent',h0, ...
       'Units','points', ...
       'BackgroundColor',[1 1 1], ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      'FontSize',12, ...
      'FontWeight','normal', ...
      'HorizontalAlignment','left', ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[386.25 342 116.25 18], ...
      'String',[],...
      'Style','edit', ...
      'Tag','EditText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'Callback',[...
      'Import_picture=get(Import_name,''String'');',...
      'if isempty(Import_picture)',...
      'msgbox(''Please select picture to compress and then try',...
      'again'',''error'');',...
      'else IN=imread(Import_picture);',...
          'imshow(IN);',...
          'IN=double(IN);',...
      'end;'],...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[514.5 340.5 52.5 21.75], ...
      'String','Show Image', ...
      'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'FontSize',12, ...
      'FontWeight','bold', ...
      'HorizontalAlignment','left', ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[390 315.5 119.25 15.75], ...
      'String','Wavelet Transform', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText11');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'Callback',[...
      'if isempty(Import_picture)',...
      'msgbox(''Please select picture to compress and then try',...
again'',''error'');',...
      'else tic;',...
          'A=wavt(IN);',...
          'set(D_level,''String'',''1'');',...
          'imshow(A);',...
          'db=1;',...
          'sec=toc;',...
          'sec=round(sec);',...
          'hour=floor(sec/3600); minute=floor((sec-(hour*3600))/60); ',...
          'seconds=sec-(hour*3600)-(minute*60);',...
          'set(Show_hour,''String'',num2str(hour));',...
          'set(Show_min,''String'',num2str(minute));',...
          'set(Show_sec,''String'',num2str(seconds));',...
      'end;'], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[420 288 130 21.75], ...
      'String','Haar Transform', ...
      'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'Callback',[...
        'if isempty(Import_picture)',...
        'msgbox(''Please select picture to compress and then try',...
        'again'',''error'');',...
        'else tic;',...
            '[a,b,c,d]=daub(4);',...
            'A=wt2d(IN,a,b);',...
            'set(D_level,''String'',''4'');',...
            'imshow(A);',...
            'db=4;',...
            'sec=toc;',...
            'sec=round(sec);',...
            'hour=floor(sec/3600); minute=floor((sec-(hour*3600))/60); ',...
            'seconds=sec-(hour*3600)-(minute*60);',...
            'set(Show_hour,''String'',num2str(hour));',...
            'set(Show_min,''String'',num2str(minute));',...
            'set(Show_sec,''String'',num2str(seconds));',...
        'end;'], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[420 258 130 21.75], ...
        'String','Daubechies4 Transform', ...
        'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[420 230 100 15.75], ...
        'String','Daubechies', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText10');
D_level = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','normal', ...
        'HorizontalAlignment','center', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[466.25 230 25 18], ...
        'String',[],...
        'Style','edit', ...
        'Tag','EditText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'Callback',[...
        'ND_level=get(D_level,''String'');',...
        'if isempty(Import_picture)',...
        'msgbox(''Please select picture to compress and then try',...
        'again'',''error'');',...
        'elseif isempty(ND_level)',...
        'msgbox(''Please choose type of Daubechies and then try',...
        'again'',''error'');',...
        'else tic;',...
            'db=str2num(get(D_level,''String''));',...
            '[a,b,c,d]=daub(db);',...
            'A=wt2d(IN,a,b);',...
            'imshow(A);',...
            'sec=toc;',...
            'sec=round(sec);',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            'hour=floor(sec/3600); minute=floor((sec-(hour*3600))/60); ',...
            'seconds=sec-(hour*3600)-(minute*60);',...
            'set(Show_hour,''String'',num2str(hour));',...
            'set(Show_min,''String'',num2str(minute));',...
            'set(Show_sec,''String'',num2str(seconds));',...
        'end;'],...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[500 228 50 21.75], ...
        'String','Transform', ...
        'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[390 198.5 119.25 15.75], ...
        'String','Embeded Zerotree', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText10');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[441.75 178.5 55.5 14.25], ...
        'String','Quality picture', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText9');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[389.25 155 47.25 24], ...
        'String','Best compression', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText8');
Sd = uicontrol('Parent',h0, ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'Callback',[...
        'set(slide_cur,''String'',num2str(get(Sd,''Value'')));',...
        'quality=get(Sd,''Value'');'],...
        'ListboxTop',0, ...
        'Max',100, ...
        'Position',[590 220 130 20], ...
        'Style','slider', ...
        'Tag','Slider1', ...
        'Value',65);
slide_min = uicontrol('Parent',h0, ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[590 200 15 15], ...
        'String','0%', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText14');
slide_max = uicontrol('Parent',h0, ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[698 200 25 15], ...
        'String','100%', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText13');
slide_cur = uicontrol('Parent',h0, ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[638 200 25 15], ...
      'String','65', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText12');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[541.5 154.25 33.75 24], ...
      'String','Best quality', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText7');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'Callback',[...
      'if  isempty(IN)',...
      'msgbox(''Please select picture to compress and then try',...
      'again'',''error'');',...
      'elseif (db==0) & (~isempty(IN))',...
      'msgbox(''Please select type of wavelet transform and then try',...
      'again'',''error'');',...
      'else tic;',...
          'hi_bi=ceil(log2(abs(max(A(:))))); t0=2^(hi_bi)/2; ',...
          'ht0=log2(t0);',...
          'Nd=round((ht0*quality)/100);',...
          '[header,symbols]=ezw(A,Nd);',...
          'arith_code=arithmetic(symbols);',...
          'sec=toc; sec=round(sec);',...
          'z2=dezw(header,symbols);',...
          'if db==1',...
              'OUT=iwavt(z2);',...
          'else OUT=iwt2d(z2,c,d);',...
          'end;',...
          'showfigure(IN,OUT,arith_code);',...
          'arith_code=uint8(arith_code);',...
          'hour=floor(sec/3600); minute=floor((sec-(hour*3600))/60); ',...
          'seconds=sec-(hour*3600)-(minute*60);',...
          'set(Show_hour,''String'',num2str(hour));',...
          'set(Show_min,''String'',num2str(minute));',...
          'set(Show_sec,''String'',num2str(seconds));',...
      'end;'],...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[420 100.5 52.5 21.75], ...
      'String','Compress', ...
      'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'Callback',['blank=[]; image(blank);'], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[493 100.5 52.5 21.75], ...
      'String','Clear Figure', ...
      'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[375 68 120 15.75], ...
        'String','DECOMPRESSION', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText3');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'FontWeight','bold', ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[386.25 40 150 14.25], ...
        'String','Choose compressed file', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText4');
    Import_mat = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','normal', ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[386.25 21 116.25 18], ...
        'String',[],...
        'Style','edit', ...
        'Tag','EditText1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[514.5 19 52.5 21.75], ...
        'Callback',[...
        'tic;',...
        'Import_compressed=get(Import_mat,''String'');', ...
        'if isempty(Import_compressed)',...
        'msgbox(''Please select compressed file and then try',...
        'again'',''error'');',...
        'else load (Import_compressed,''header'',''db'',''arith_code'');',...
            'arith_code=double(arith_code);',...
            'z3=arithmetic(arith_code);',...
            'z4=dezw(header,z3);',...
            'if db==1',...
               'OUT=iwavt(z4);',...
            'else [a,b,c,d]=daub(db);',...
               'OUT=iwt2d(z4,c,d);',...
            'end;',...
            'C=ones(size(OUT));',...
            'showfigure(C,OUT,arith_code);',...
            'arith_code=uint8(arith_code);',...
            'sec=toc;',...
            'sec=round(sec);',...
            'hour=floor(sec/3600); minute=floor((sec-(hour*3600))/60); ',...
            'seconds=sec-(hour*3600)-(minute*60);',...
            'set(Show_hour,''String'',num2str(hour));',...
            'set(Show_min,''String'',num2str(minute));',...
            'set(Show_sec,''String'',num2str(seconds));',...
        'end;'],...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      'String','Decompress', ...
      'Tag','Pushbutton1');
h1 = axes('Parent',h0, ...
      'Units','pixels', ...
      'Box','on', ...
      'CameraUpVector',[0 1 0], ...
      'CameraUpVectorMode','manual', ...
      'Color',[1 1 1], ...
      'Layer','top', ...
      'Position',[40 125 433 383], ...
      'Tag','Axes1', ...
      'XColor',[0 0 0], ...
      'XLimMode','manual', ...
      'YColor',[0 0 0], ...
      'YLimMode','manual', ...
      'ZColor',[0 0 0]);
fig = image('Parent',h1, ...
      'CData',[], ...
      'Tag','Image1');
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Position',[0.49768518518518 -0.062827225130890 9.1602540378443], ...
      'Tag','Text4', ...
      'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Position',[-0.067129629629629 0.49738219895287 9.1602540378443], ...
      'Rotation',90, ...
      'Tag','Text3', ...
      'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','right', ...
      'Position',[-0.092592592592592 1.1308900523560 9.1602540378443], ...
      'Tag','Text2', ...
      'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Position',[0.49768518518518 1.0183246073298 9.1602540378443], ...
      'Tag','Text1', ...
      'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[90 20 200 35], ...
      'Style','frame', ...
      'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[95 25 70 20], ...
      'String','Processing Time', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText13');
Show_hour = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[1 1 1], ...
      'FontSize',12, ...
      'FontWeight','normal', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[170 30 20 17], ...
      'String',[],...
      'Style','edit', ...
      'Tag','EditText4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[192 25 15 20], ...
      'String','hr.', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText14');
Show_min = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[1 1 1], ...
      'FontSize',12, ...
      'FontWeight','normal', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[209 30 20 17], ...
      'String',[],...
      'Style','edit', ...
      'Tag','EditText5');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[231 25 15 20], ...
      'String','min.', ...
      'Style','text', ...
      'Tag','StaticText15');
Show_sec = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[1 1 1], ...
      'FontSize',12, ...
      'FontWeight','normal', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[248 30 20 17], ...
      'String',[],...
      'Style','edit', ...
      'Tag','EditText6');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[270 25 15 20], ...
      'String','sec.', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'Style','text', ...
'Tag','StaticText16');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแสดงผลการบีบอัดภาพ

```
function fig = showfigure(I,0,arith_code)

h0 = figure('Units','points', ...
      'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
      'MenuBar','none', ...
      'PaperPosition',[18 180 400 400], ...
      'PaperUnits','points', ...
      'Position',[89.25 31.5 338.25 385.5], ...
      'Tag','Fig1', ...
      'ToolBar','none');
h1 = axes('Parent',h0, ...
      'Units','pixels', ...
      'CameraUpVector',[0 1 0], ...
      'Color',[1 1 1], ...
      'Position',[3 99 448 415], ...
      'Tag','Axes1', ...
      'XColor',[0 0 0], ...
      'YColor',[0 0 0], ...
      'ZColor',[0 0 0]);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Position',[0.49888143176733 -0.057971014492753 9.1602540378443], ...
      'Tag','Axes1Text4', ...
      'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Position',[-0.064876957494407 0.49758454106280 9.1602540378443], ...
      'Rotation',90, ...
      'Tag','Axes1Text3', ...
      'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','right', ...
      'Position',[-0.006711409395973153 1 9.160254037844386], ...
      'Tag','Axes1Text2', ...
      'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
      'Color',[0 0 0], ...
      'HandleVisibility','off', ...
      'HorizontalAlignment','center', ...
      'Tag','Axes1Text1', ...
      'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
      'Units','points', ...
      'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
      'ListboxTop',0, ...
      'Position',[0.75 1.5 112.5 56.25], ...
      'Style','frame', ...
      'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[113.25 1.5 112.5 56.25], ...
        'Style','frame', ...
        'Tag','Frame1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[225.75 1.5 112.5 56.25], ...
        'Style','frame', ...
        'Tag','Frame1');
    psnr_show = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[13.5 9 87 21], ...
        'Style','edit', ...
        'Tag','EditText1');
    bpp_show = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[126 9 87 21], ...
        'Style','edit', ...
        'Tag','EditText2');
    compression_ratio_show = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[238.5 8.25 87 21], ...
        'Style','edit', ...
        'Tag','EditText3');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[13.5 33.75 87.75 20.25], ...
        'String','PSNR', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[125.25 33 87.75 20.25], ...
        'String','Bit Per Pixel', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText2');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470 0.752941176470 0.752941176470], ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[237.75 33.75 87.75 20.25], ...
        'String','Compression Ratio', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText3');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%psnr
if I~=ones(size(O))
Er=(I-O).^2; Er=sum(Er(:)); [row col]=size(I);
mse=Er/(row*col);
psnr=10*log10((max(max(I))^2)/mse);
set(psnr_show,'String',num2str(psnr));
end;
%Bit per pixel
[n m]=size(O);
[N M]=size(arith_code);
bpp=(N*M)*8/(n*m);
set(bpp_show,'String',num2str(bpp));
%compression ratio
compression_ratio=(n*m)/(N*M);
set(compression_ratio_show,'String',num2str(compression_ratio));
O=uint8(O);
imshow(O);
%%%
```

บรรณานุกรม

[1] จิตติ กลิ่นประภัศร , ธราพงษ์ เพียซ้าย , **" การบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต "** ; ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พ.ศ. 2541

[2] มนัส สังวรศิลป์ , วรรัตน์ ภัทรอมรกุล , **" คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์ "** , อินโฟเพรส, 2543

[3] สุธรรม ศรีเกษม , เมธินทร์ ทรงชัยกุล , **" MATLAB เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม "** , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต

[4] Stephen Welstead , **" Fractal and Wavelet Image Compression Techniques "** ; SPIE Optical Engineering Press,1999

[5] Stephane Mallat , **" A wavelet tour of signal processing "** ; Academic Press,1998

[6] Randy K. Young , **" Wavelet Theory and its Application "** ; Kluwer Academic Publishers,1993

[7] Franklin Kuo, Wolfgang Effelsberg, J.J. Garcia-Luna-Aceves, **" MULTIMEDIA COMMUNICATION Protocols and Applications "** ; Prentice Hall,1998

[8] http://www.owlnet.rice.edu/~elec539/Projects99/BACH/proj1/report/node13

[9] http://sipi.usc.edu/services/database/database.cgi?volume=misc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้