



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	กระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่างวิธีการเข้ารหัสระนาบบิตทั่วไป และวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเลตแบบลดรูป
	Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction
นามผู้วิจัย	นางสาวสนทนา หมีรักษา
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนลาภ ลามศรีจันทร์, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์สมหญิง ไทยนิมิต, Ph.D.)
หัวหน้าภาควิชา	(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

กระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง วิธีการเข้ารหัสระนาบิตทั่วไป
และวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเลตแบบลดรูป

Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane
and Wavelet Difference Reduction

โดย

นางสาวสนทนา หมีรักษา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

สนทนา หมี่รักษา 2557: กระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่างวิธีการ
เข้ารหัสระนาบบิตทั่วไปและวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเล็ดแบบลดรูป ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนลาภ ลามศรีจันทร์, Ph.D.
98 หน้า

ปัจจุบันนั้นการนำเสนอข้อมูลมัลติมีเดียผ่านทางสื่อต่างๆมักประกอบด้วยข้อมูลขนาดใหญ่
ที่ใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลการนำเสนอข้อมูลมัลติมีเดียที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยการบีบอัด
ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่ดี การบีบอัดข้อมูลนั้นเป็นกระบวนการการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อช่วยลดทอน
อัตราในการเก็บข้อมูลให้น้อยลง และประโยชน์ในการบีบอัดข้อมูลก็คือการได้ลดปริมาณการใช้
ทรัพยากร

ในการเข้ารหัสรูปตัวอย่างเพื่องานวิจัยครั้งนี้เป็นการหาจุดเปลี่ยนที่แน่นอนว่าที่จำนวนของ
สัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญในระยะใดที่ควรใช้ WDR ในการเข้ารหัส แล้วที่ระยะใดจึงควรเปลี่ยนมาใช้
Simple Bit-Plane เพื่อคุณภาพการเก็บข้อมูลการบีบอัดรูปภาพนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมี
แนวคิดที่สำคัญทั้งสิ้นจำนวน 2 วิธี โดยในวิธีแรกนั้นเป็นการพิจารณาทุกๆระนาบบิตในแบนด์ย่อย
เพื่อหาว่าที่ระยะใดเมื่อเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสแล้วแล้วจะได้อัตราในการบีบอัดรูปภาพน้อยที่สุด โดย
ใช้กระบวนการการผสมผสานวิธีระหว่าง WDR และ Simple Bit-Plane มาใช้ร่วมกันโดยที่จะใช้
WDR ก่อนในระนาบบิตแรกๆเพราะเจอสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันเป็นจำนวนมาก และต่อมาจึง
เปลี่ยนเป็น Simple Bit-Plane ที่ระนาบบิตหลังที่มีสัมประสิทธิ์อยู่ใกล้กันเพื่อลดอัตราการบีบอัด
รูปภาพลง และต่อมานำวิธีแรกมาต่อยอดเพื่อพิจารณาเฉพาะบางระนาบบิตที่ยังเหลือสัมประสิทธิ์
ในแบนด์ย่อยว่าที่ระนาบบิตใดเมื่อมีการเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสแล้วจะได้อัตราการบีบอัดรูปภาพที่ดี
ที่สุด และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีแรก

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

___ / ___ / ___

Sontana Meeraksa 2014: Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Poonlap Lamsrichan, Ph.D. 98 pages.

The main objective of this study is how to compress multimedia data efficiently. Because multimedia data always needs a lot of storage, multimedia data transmission on the network performance has slow loading time. The simple way to increase the performance for it is to apply data compression.

Data compression is information encoding process, used to reduce the data rate of the original data. It is not the process to encrypt data for preserve confidentiality. The data after compression and the original are different due to the compression coding. Despite of the distortion of the reconstructed data, many applications adopt the compression process in order to reduce the data storage and shorten the transmission time in communication scheme.

Target for this research is to find the exact value of distance from one significant pixel to another significant pixel that we must change from WDR encoding to Simple Bit-Plane to obtain the optimal image compression efficiency.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___/___/___

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พูนลาภ ลามศรีจันทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร.สมหญิง ไทยนิมิต กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาการ ที่ให้คำปรึกษาใน
การเรียน การค้นคว้าวิจัยตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความรู้และอบรมสั่ง
สอน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการต่อไป รวมทั้งเพื่อนๆ ทั้งคุณชนานิติ พรหมวงศา ที่
ช่วยเหลือในการทำงาน และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้
ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดามารดาของผู้วิจัยซึ่ง
ได้อบรมสั่งสอนและให้ความสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด

สนทนา หมีรักษา

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผล	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ภาคผนวก	88
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสด้วยจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Insignificant Pixels)	20
2 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1	26
3 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1	27
4 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1	27
5 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1	28
6 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1	28
7 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1	29
8 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1	29
9 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1	30
10 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1	31
11 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1	31
12 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1	32
13 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1	32
14 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1	34
15 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1	34
16 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1	35
17 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1	35
18 สรุปการเปลี่ยนแปลงการใช้อัตถกิริทิมในแต่ละรูปภาพว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งแบนด์ย่อย (Subband) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด (Optimum) ต่อการเปลี่ยนแปลงตามการนำเสนอ (Proposed)	38
19 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2	47
20 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2	48
21 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2	48
22 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
23 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2	50
24 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2	51
25 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2	51
26 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2	52
27 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2	53
28 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2	53
29 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2	54
30 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2	54
31 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2	55
32 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2	55
33 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2	56
34 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2	56
35 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2	58
36 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2	58
37 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2	59
38 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2	59
39 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2	60
40 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2	60
41 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2	61
42 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2	61
43 สรุปการเปลี่ยนแปลงการใช้อัลกอริทึมในแต่ละรูปภาพว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งแบนด์ย่อย (Bit-Plane) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด (Optimum) ต่อการเปลี่ยนแปลงตามการนำเสนอ (Proposed) ตามวิธี Hybrid-2	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
44 แสดงการทำนายภาพ Lena และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	67
45 แสดงการทำนายภาพ Barb และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	68
46 แสดงการทำนายภาพ Peppers และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	69
47 แสดงการทำนายภาพ Baboon และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	70
48 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-1	71
49 แสดงการทำนายภาพ Lena และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	76
50 แสดงการทำนายภาพ Barb และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	77
51 แสดงการทำนายภาพ Peppers และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆ วนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
52 แสดงการทำนายภาพ Baboon และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆระดับตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B	79
53 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-2	80
54 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-1 และวิธี Hybrid-2	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงรูปคลื่นเวฟเล็ดแบบ Daubechies D8 หรือ db4	5
2 แสดงการแปลงเวฟเล็ด	7
3 แสดงการบีบอัดข้อมูลและการคลายข้อมูลแบบคงสัญญาณ	9
4 แสดงการบีบอัดข้อมูลและการคลายข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก	10
5 แสดงสัมประสิทธิ์ และสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ	12
6 ตำแหน่งจุดภาพ (Pixels) และค่าสัมประสิทธิ์ของรูปภาพเพื่อใช้ในการแสดงตัวอย่างการเข้ารหัส WDR เมื่อค่าจัดแบ่งเท่ากับ 32 และ 16	15
7 แสดงแบนด์ย่อยทั้ง 16 แบนด์ย่อยที่ได้มาจากเมื่อแปลง Wavelet ที่ 5 ชั้น	22
8 แสดงการเข้ารหัสแบบ Bit-Plane Encoding	24
9 แสดงการเลือกเปลี่ยนเทคนิคตามวิธี Hybrid-1	25
10 การเข้ารหัสและการเลือกเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสของวิธี Hybrid-1	40
11 การเข้ารหัสและการเลือกเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสของวิธีที่ปรับปรุง หรือ Hybrid-2	41
12 แสดงตัวอย่างเลขตำแหน่งระนาบบิตแรกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในแบนด์ย่อย	44
13 แสดงการเลือกใช้เทคนิคตามวิธี Hybrid -2	45
14 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Lena.gif	72
15 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Barb.gif	72
16 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Peppers.gif	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
17 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Baboon.gif	73
18 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Lena.gif	81
19 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Barb.gif	81
20 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Peppers.gif	82
21 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Baboon.gif	82

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Bit-Plane	=	ระนาบบิต
Bitrate	=	อัตราในการบีบอัดรูปภาพ
Coefficient Pixel	=	ค่าสัมประสิทธิ์
Decompress	=	การคลายข้อมูล
Insignificant Pixel	=	สัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ
Optimum	=	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
Pixel	=	จุดภาพ
Significant Pixel	=	ระนาบบิต
Subband	=	แบนด์ย่อย
Thredhold	=	ค่าขีดแบ่ง
Type-B	=	Simple Bit-Plane
Type-W	=	Wavelet Different Reduction
WDR	=	Wavelet Different Reduction

กระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่างวิธีการเข้ารหัสระนาบิตทั่วไป และวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเลตแบบลดรูป

Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction

คำนำ

ในปัจจุบันนั้นการนำเสนอข้อมูลมัลติมีเดียผ่านทางสื่อต่างๆมักประกอบด้วยข้อมูลขนาดใหญ่ที่ใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่มาก ส่งผลโดยตรงให้การนำเสนอข้อมูลมัลติมีเดียบนเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพนั้น ตามมาด้วยข้อจำกัดหลายประการ เช่นต้องการแสดงผลช้า ใช้เวลาโหลดข้อมูลนาน ดังนั้นการนำเสนอข้อมูลมัลติมีเดียที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยการบีบอัดข้อมูล

การบีบอัดข้อมูล (Data compression) นั้น เป็นกระบวนการเข้ารหัสข้อมูลที่เลือกแต่เฉพาะข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการเข้ารหัสเท่านั้น เพื่อให้ใช้จำนวนบิตในการเก็บข้อมูลที่น้อยลงกว่าเดิม เพื่อเป็นการลดขนาดไฟล์และมีประสิทธิภาพในการแสดงผลผ่านเครือข่ายได้ดียิ่งขึ้น โดยที่สื่อหรือข้อมูลดิจิทัลที่สนใจนั้นจะถูกนำมาบีบอัดและลดขนาดด้วย “CODEC” หรือ Compressor – Decompressor ซึ่งก็คือกลไกทางซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล หรือสัญญาณดิจิทัลโดยข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วด้วย CODEC จะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่นการบีบอัดภาพในรูปแบบ JPEG, GIF, TIFF เป็นต้น

ซึ่งการบีบอัดข้อมูลนั้นเป็นกระบวนการการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อให้ลดทอนอัตราในการบีบอัดรูปภาพน้อยกว่าเดิม แต่ไม่ใช่เป็นการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อรักษาความลับ แต่เรียกว่าการเข้ารหัสเพราะว่าข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลหลังจากการบีบอัดแล้วนั้นจะต่างไปจากเดิม มีการเลือกเฉพาะบิตข้อมูลที่จำเป็นต่อการเข้ารหัสเท่านั้น โดยการบีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงเพื่อประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูล ประโยชน์ในการบีบอัดข้อมูลก็คือการได้ลดปริมาณการใช้ทรัพยากรเช่น พื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ในการเก็บข้อมูลจะลดลง หรือหมายถึงไปถึงการใช้แบนด์วิธของเครือข่ายจะน้อยลงเมื่อได้มีการส่งข้อมูลที่บีบอัดแล้วไป ในอีกด้านของการสื่อสาร (ฝั่งรับ) นั้นข้อมูลที่ถูกระบบ

อัด (Compress) แล้ว ต้องมีการนำข้อมูลมาคลาย (Decompress) เพื่อถอดรหัสให้ได้ข้อมูลเดิม กลับมาก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป

การบีบอัดข้อมูลได้แบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ๆตามคุณภาพของข้อมูลที่ได้ถูกบีบอัดแล้ว คือ การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณ (Lossless data Compression) เป็นการบีบอัดข้อมูลที่ไม่ทำให้ข้อมูลใดใดเกิดการสูญหายขณะบีบอัดแม้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญน้อย ผลลัพธ์ที่ได้จากการคลายข้อมูลนั้นจึงมีความสมบูรณ์เหมือนกับต้นฉบับ ตัวอย่างของการบีบอัดข้อมูลแบบไม่เกิดความสูญเสียได้แก่การบีบอัดข้อมูลจำพวกโปรแกรม Zip หรือ Rar โดยทั่วไปเป็นต้น ข้อดีของการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณ คือ ผลลัพธ์ของการบีบอัดจะมีคุณภาพดีเหมือนกับข้อมูลต้นฉบับและสามารถคลายข้อมูลกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนข้อเสียที่มีก็คือ ข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดแล้วจะมีความซ้ำซ้อนมาก ทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่ ดังนั้นงานที่ต้องการความละเอียดสูงนั้นจึงเหมาะกับการบีบอัดไฟล์ประเภทนี้ เช่น การบีบอัดข้อมูลเสียงที่ต้องการคุณภาพของเสียงเหมือนต้นฉบับ, การบีบอัดภาพดิจิทัลที่ต้องการคุณภาพเหมือนต้นฉบับ และการบีบอัดวิดีโอ

การบีบอัดข้อมูลประเภทใหญ่ๆต่อมาอีกประเภหนึ่งนั่นคือ การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก (Lossy data Compression) จะมีวิธีการบีบอัดข้อมูลโดยตัดข้อมูลต้นฉบับบางส่วนออกไปเพื่อลดขนาดไฟล์ โดยจะตัดข้อมูลที่เกิดความซ้ำซ้อนทิ้งอย่างถาวร ทำให้ผลลัพธ์ของการบีบอัดนั้นไม่สมบูรณ์เท่ากับข้อมูลต้นฉบับและคุณภาพของข้อมูลก็ลดลงด้วย มักใช้ในการบีบอัดรูปภาพ เสียง หรือวิดีโอ โดยนิยมนำไปใช้กับการส่งข้อมูลแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) และการสนทนาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีข้อดีคือข้อมูลจะมีขนาดเล็กลง แต่จะเกิดความสูญหายของข้อมูลบางส่วนทำให้ไม่สามารถแสดงผลข้อมูลได้อย่างต้นฉบับ

เห็นได้ชัดว่าวิธีการบีบอัดภาพในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธีการเพื่อที่จะทำให้การเก็บข้อมูลที่มาจากการบีบอัดภาพน้อยลง และกระบวนการบีบอัดรูปภาพตามระนาบบิต (Bit-Plane) ที่มีประสิทธิภาพนั้น มีสองเทคนิคใหญ่ที่มีความน่าสนใจ คือเทคนิควิธีการเข้ารหัสระนาบบิตทั่วไป (Simple Bit-Plane) และวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเลตแบบลดรูป (Wavelet Difference Reduction หรือ WDR) จากการสังเกตได้พบว่าสองเทคนิคนี้มีข้อดีที่แตกต่างกัน หากมีการนำมาปรับปรุงใช้ร่วมกันอาจก่อให้เกิดประสิทธิภาพได้มาก ข้อดีที่ว่ามันคือ เทคนิค WDR มีการเก็บจำนวนอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ใช้ในการเข้ารหัสน้อยเมื่อมีจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Insignificant Pixel) สูงซึ่งในระนาบบิตหลายๆการเจอสัมประสิทธิ์ (Significant Pixels) จะเจอได้น้อย ทำให้ระยะห่าง

ของสัมประสิทธิ์ถึงสัมประสิทธิ์สูงมาก และเทคนิค Simple Bit-Plane มีข้อดีคือ มีการเก็บอัตราการบีบอัดรูปภาพน้อยเมื่อมีสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญน้อย เพราะสัมประสิทธิ์จะถูกจัดอยู่ใกล้กันมากๆ ซึ่งในระนาบิตแรกๆนั้นการเจอสัมประสิทธิ์จะเจอได้บ่อย ทำให้อัตราการเจอสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญต่ำมาก ซึ่งทั้งสองคุณสมบัติที่กล่าวถึงนั้นก็คือคุณสมบัติที่นำมาใช้ร่วมกันในงานวิจัยนี้ของ WDR (Wavelet Difference Reduction) และ Simple Bit-Plane นั่นเอง

โดยที่ WDR มีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อสัมประสิทธิ์มีระยะใกล้กันมากๆ ซึ่งเทคนิค WDR นี้จะใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพน้อย และ Simple Bit-Plane จะมีประสิทธิภาพสูงในการลดอัตราในการบีบอัดรูปภาพต่อเมื่อมีจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญน้อยมาก Simple Bit-Plane นั้นจะมีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ใช้ในการเข้ารหัสน้อยกว่า WDR

ในงานชิ้นนี้สนใจการลดอัตราในการบีบอัดรูปภาพตัวอย่าง ได้แก่ Lena, Barb, Peppers และ Baboon โดยมีการแปลงเวฟเลตออกเป็น 5 ชั้น (Levels) เพื่อพิจารณา โดยเมื่อมีการแปลงเวฟเลตที่ 5 ชั้น จะได้แบนด์ย่อยทั้งสิ้น 16 แบนด์ย่อย แล้วจึงนำเทคนิค WDR และ Simple Bit-Plane มาใช้ร่วมกันต่อไป

ในการศึกษาอัตราในการบีบอัดรูปภาพของรูปตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการหาจุดเปลี่ยนที่แน่นอนว่าที่จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญที่ค่าเท่าใดที่ควรใช้ WDR ในการเข้ารหัส แล้วที่ค่าใดจึงควรเปลี่ยนมาใช้ Simple Bit-Plane เพื่อให้คุณภาพการเก็บข้อมูลและการบีบอัดรูปภาพนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

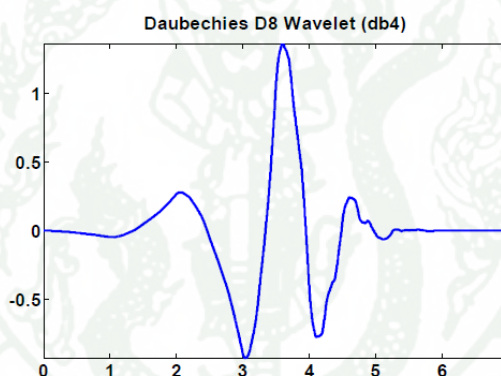
วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง WDR (Wavelet Difference Reduction) และ Simple Bit-Plane เพื่อให้เก็บข้อมูลการบีบอัดรูปภาพมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. เพื่อพัฒนาต่อขั้นตอนการบีบอัดเดิมของ Hybrid-1 ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นใน Hybrid-2
3. ศึกษาข้อดีของกระบวนการการบีบอัดรูปภาพเมื่อมีระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์หลายๆ ในวิธีการเข้ารหัสระนาบิตทั่วไป และข้อดีของการบีบอัดรูปภาพเมื่อมีระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์ไม่มากในวิธีการเข้ารหัสผลต่างเวฟเลตแบบลดรูปเพื่อนำมาใช้ร่วมกัน
4. ศึกษากระบวนการบีบอัดรูปภาพในวิธีมาตรฐานต่างๆ เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ประวัติความเป็นมาของการแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณเฉพาะหลายๆสัญญาณมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็รูปคลื่นเล็กๆที่เรียกว่าเวฟเลต ซึ่งจะเป็รูปคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และขนาดของคลื่นนั้นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้านดังภาพที่ 1 เป็นเวฟเลตชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเลตแบบ Daubechies D8 หรือ db4 ในโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 1 แสดงรูปคลื่นเวฟเลตแบบ Daubechies D8 หรือ db4

การนำเวฟเลตหลายๆอันมารวมกันเป็นกลุ่มเพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของสัญญาณใดใด โดยที่คลื่นเวฟเลตแต่ละตัวจะมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่าเวฟเลตแม่ (Mother Wavelets)

การแปลงเวฟเลตนั้นได้รับอิทธิพลมาจากวิธีการวิเคราะห์ของฟูเรียร์ (Fourier Analysis) ซึ่งใช้วิเคราะห์สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องกัน และการแปลงฟูเรียร์นั้นนับได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการแปลงเวฟเลต โดยทางคณิตศาสตร์ การแปลงฟูเรียร์สามารถแสดงได้โดยสมการที่ 1

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

เมื่อ $F(\omega)$ คือ สัมประสิทธิ์ของฟูเรียร์
 $f(t)$ คือ สัญญาณที่นำมาแปลงฟูเรียร์
 $e^{-i\omega t}$ คือ $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

จากสมการหลักสังเกตได้ว่าการแปลงฟูเรียร์ เป็นการวิเคราะห์สัญญาณในรูปของสัญญาณเอกซ์โปเนนเชียล ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นผลในรูปของฟังก์ชันไซน์ (Sine Function) และโคไซน์ (Cosine Function) ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกันในช่วงเวลาตั้งแต่ ∞ ถึง $-\infty$ ซึ่งการแปลงฟูเรียร์นั้นจะมีความเหมาะสมกับสัญญาณที่เป็นรายคาบ (Stationary Signal) ที่มีลักษณะของสัญญาณคงที่ในช่วงเวลา เพราะการวิเคราะห์ของฟูเรียร์มีความแม่นยำทางด้านความถี่สูง แต่ก็มีข้อจำกัดในสัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ (Non-Stationary Signal) เช่น พิกัดสัญญาณที่มีสถานะชั่วคราว การวิเคราะห์สัญญาณนั้นด้วยการแปลงฟูเรียร์จะเกิดความผิดพลาดขึ้นและไม่สามารถบอกข้อมูลทางด้านเวลาของสัญญาณได้ จึงต้องใช้วิธีทางคณิตศาสตร์อีกวิธีเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลของเวลาได้นั้นคือ “การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short Time Fourier Transform) ”

แต่การวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นก็ยังมีข้อด้อย เพราะการใช้ช่วงการวิเคราะห์สัญญาณที่คงที่ในการวิเคราะห์สัญญาณในทุกๆ ช่วงความถี่ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติจริง เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็ว จึงควรใช้ช่วงเวลาที่แคบในการวิเคราะห์ ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้า จึงเหมาะสมที่จะใช้ช่วงเวลาที่กว้างกว่าในการวิเคราะห์ เหตุนี้การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นจึงยังมีข้อด้อยในขั้นตอนการเลือกช่วงเวลาที่ใช้วิเคราะห์ ซึ่งมีผลต่อขนาดของสัญญาณในแต่ละช่วงความถี่

ต่อมาจึงมีการพัฒนากระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเพิ่มเติม โดยพัฒนาช่วงเวลาการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับสัญญาณในแต่ละความถี่ ซึ่งเรียกว่า “การแปลงเวฟเลต” นั่นเอง

1.1 การแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลตของสัญญาณจะแสดงในรูปของผลรวมสัญญาณองค์ประกอบความถี่ต่ำ (Approximate Version) และองค์ประกอบความถี่สูง (Detailed Version) ในระดับต่างๆ โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตทำหน้าที่เป็นค่า Weight ขององค์ประกอบความถี่แต่ละระดับ ดังนั้นในการอธิบายสัญญาณใดใดด้วยการแปลงเวฟเลตจึงทำได้โดยนำกลุ่มของเวฟเลตที่มีโครงสร้างแบบฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นฟังก์ชันต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) โคนที่คลื่นเวฟเลตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการปรับสเกล หรือการแสดงการยืดหรือหดตัวของเวฟเลตแม่นั้นเอง ส่วนการเลื่อนตำแหน่งจะเป็นการแสดงตำแหน่งของแกนเวลา สามารถเขียนสมการของเวฟเลตได้ ดังนี้

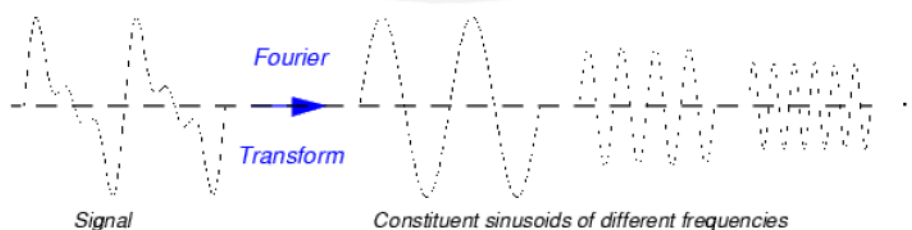
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

เมื่อ ψ คือ ฟังก์ชันของเวฟเลตแม่ที่ถูกเลื่อนและถูกสเกลด้วยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเลตที่ถูกสเกลไปในพลังงานเท่ากับเวฟเลตแม่ จึงต้องทำการ Normalize ด้วย $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ

a คือ การปรับสเกล (Scaling)

b คือ การเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

ผลของกระบวนการแปลงเวฟเลตคือ สัมประสิทธิ์เวฟเลต (Wavelet Coefficients) ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับสัญญาณจะสามารถแยกเป็นองค์ประกอบของสัญญาณเวฟเลต ซึ่งเป็นส่วนประกอบย่อยของสัญญาณเดิม ดังภาพ



ภาพที่ 2 แสดงการแปลงเวฟเลต

เมื่อนำสัญญาณใดใดมาผ่านกระบวนการแปลงเวฟเลตก็เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณนั้นให้ออกมาเป็นรูปของเวฟเลตแม่ที่มีการปรับสเกลและตำแหน่งที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) และการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

อาจจะกล่าวได้ว่าวิธีการแปลงเวฟเลต จัดเป็นเทคนิคสำหรับวิเคราะห์สัญญาณไม่นิ่ง (Nonstationary Signal) แบบหนึ่ง ทำนองเดียวกันกับวิธีการแปลงฟูเรียร์ที่เป็นเทคนิคสำหรับวิเคราะห์สัญญาณนิ่ง (Stationary Signal) ซึ่งสัญญาณไม่นิ่งหมายถึงสัญญาณที่มีลักษณะไม่เป็นคาบ และไม่ได้อยู่ในรูปสัญญาณไซน์

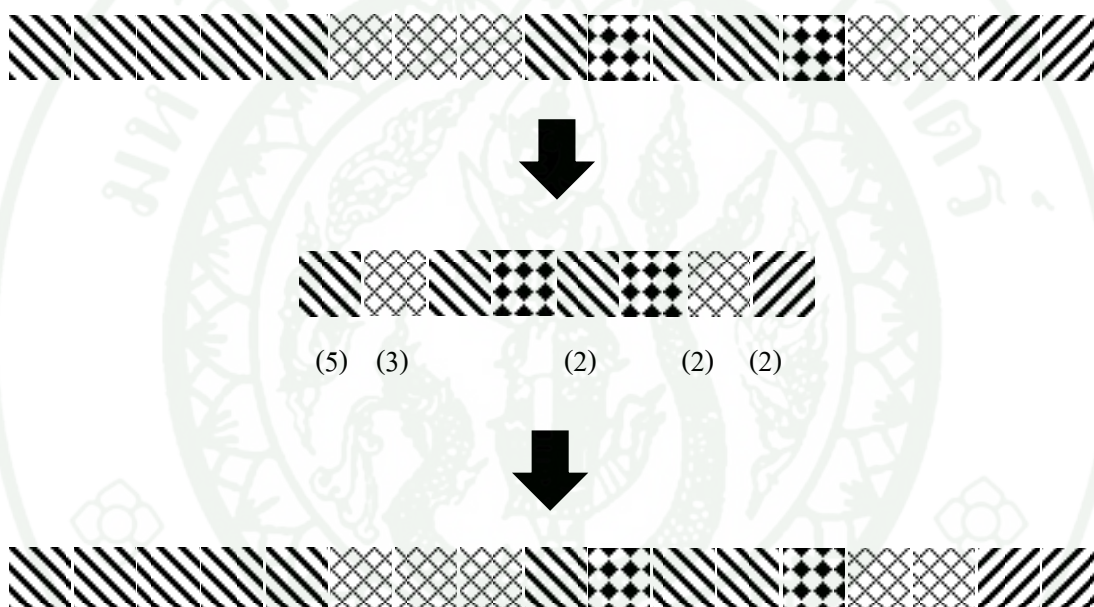
นอกจากการนำวิธีการแปลงเวฟเลตมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณแล้ว การประยุกต์ใช้งานของเวฟเลตในปัจจุบันยังเป็นไปอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้งานวิเคราะห์ห้วงอวกาศนิวเคลียร์, การแยกความแตกต่างของเสียงในวิชาดนตรี, การนำไปใช้ในการทำนายการเกิดแผ่นดินไหว, การนำไปประยุกต์แก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ หรือแม้แต่ใช้ในการบีบอัดภาพซึ่งอยู่ในกลุ่มการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของมนุษย์ เป็นต้น

1.2 Image Compression อ้างอิงจาก Walkers (2000)

การบีบอัดรูปภาพมี 2 ประเภทนั่นคือ การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณ (Lossless data compression) และการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก (Lossy data compression) โดยในการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณนั้น ภาพเดิมจะถูกเรียกกลับมาอย่างสมบูรณ์หลังกระบวนการการคลายข้อมูล (Decomposition) โดยการบีบอัดข้อมูลแบบนี้ ข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลหลังกระบวนการคลายข้อมูลจะเหมือนกันอย่างไม่มีผิดเพี้ยนทำให้การจัดเก็บมีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกับข้อมูลเดิมมาก ส่วนการบีบอัดอีกประเภทหนึ่งคือ การบีบอัดข้อมูลให้ใกล้เคียงข้อมูลเดิมหรือการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก ยกตัวอย่างที่น่าสนใจ เช่น การบีบอัดรูปภาพที่มีสีใกล้เคียงกัน และเป็นสีที่ไม่สามารถแยกด้วยตาเปล่าออกทุกสี ได้แก่ ภาพวิว กระบวนการการบีบอัดนั้นจะมีการตัดทอนบางสีที่มนุษย์ไม่สามารถจำแนกได้ออกไป เมื่อนำภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการบีบอัดและมีการคลายข้อมูลแล้วมาเปรียบเทียบกันจะสังเกตความแตกต่างด้วยตาเปล่าได้ยาก ซึ่งจะทำให้เกิดความยอมรับได้ เพราะในหลายๆกรณีก็ไม่จำเป็นที่จะต้องให้ภาพที่ออกมาเหมือนต้นฉบับทีเดียว เช่นเดียวกับเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นหลังจากการส่งข้อมูล ข้อผิดพลาดดังกล่าวมักจะถูกปรับจนให้ลดลงด้วย

วิธีการลดสัญญาณรบกวนในแทบจะทันที และการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลักนั้นยังเป็นที่ยอมรับเช่นกันในการส่งข้อมูลภาพอย่างรวดเร็วผ่านทางอินเทอร์เน็ต

1.2.1 การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณ (Lossless data compression) การบีบอัดข้อมูลแบบนี้จะได้ข้อมูลต้นฉบับ กับข้อมูลที่บีบอัดแล้วคลาออกมาเหมือนกันไม่ผิดเพี้ยน เช่น การบีบอัดข้อมูลเสียงที่ต้องการคุณภาพของเสียงเหมือนต้นฉบับ, การบีบอัดภาพดิจิทัลที่ต้องการคุณภาพเหมือนต้นฉบับ และการบีบอัดวิดีโอ

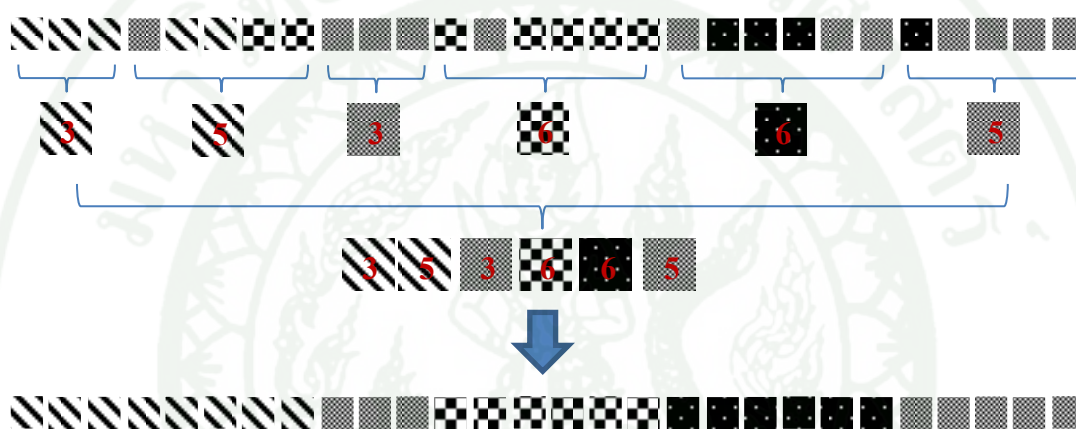


ภาพที่ 3 แสดงการบีบอัดข้อมูลและการคลายข้อมูลแบบคงสัญญาณ

จากภาพที่ 3 ในการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณนี้จะเก็บเฉพาะจำนวนนับของลัมประสิทธิ์ที่มีการเรียงซ้ำมากกว่าหนึ่งครั้ง เช่น แทนสี่บล็อกต่างๆด้วยอักษร a, b, c, d และ f เมื่อมีการส่งข้อมูลเข้ามาว่า 'aaaaabbbcdadaadeeff' จะมีการนำข้อมูลไปใช้ในการเข้ารหัสเพียงแค่ '[5]a[3]bcd[2]ad[2]e[2]f' และเมื่อถอดรหัสออกมาแล้วจะได้ข้อมูลว่า 'aaaaabbbcdadaadeeff' เหมือนข้อมูลต้นฉบับทุกประการ

1.2.2 การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก (Lossy data compression) จะมีแนวคิดที่ต่างออกไปจากการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณเนื่องจากการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลักนี้

นั้นใช้หลักการว่าความผิดเพี้ยนของข้อมูลเล็กน้อยเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ เพราะตาของมนุษย์นั้นไม่สามารถแยกความแตกต่างของบางสีได้หมดจึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลของสีทุกตำแหน่ง เก็บเพียงเท่าแต่บางสีที่สามารถแยกความแตกต่างได้ก็พอ เช่น ไฟล์ประเภท JPG นั้นใช้การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก ซึ่งจะทำให้มีการบันทึกเก็บไฟล์ภาพที่เล็กลงมากแต่ก็มีการสูญเสียรายละเอียดบางอย่างไปนั่น คือ สีที่มนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ หรือแม้แต่ไฟล์เสียงเช่น MP3 ก็ได้ตัดทอนเสียงในย่านความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินออกไป ข้อสังเกตคือการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลักนั้นมักใช้กับข้อมูลที่มนุษย์รับรู้



ภาพที่ 4 แสดงการบีบอัดข้อมูลและการคลายข้อมูลแบบคงสัญญาณหลัก

จากภาพที่ 4 ในการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณนี้จะเก็บเฉพาะจำนวนนับของลัมปริเทรที่ที่มีการเรียงซ้ำมากกว่าหนึ่งครั้งและเมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มแล้วสีของบล็อก (Block) ใดที่เรียงซ้ำมากกว่าจะถูกนับเป็นกลุ่มของบล็อกสีนั้นๆ ไปเลย โดยตัดบล็อกสีที่มีน้อยกว่าทิ้งแล้วแทนที่ด้วยสีที่เรียงซ้ำมากกว่าแทนเพื่อลดจำนวนอัตราในการบีบอัดรูปภาพลง เช่นแทนสีบล็อกต่างๆด้วยอักษร a, b, c และ d เมื่อมีการส่งข้อมูลเข้ามาว่า 'aaabaaccbbbbcbbcccbdddbbdbbbb' จะมีการนำข้อมูลไปเข้ารหัสโดยลดขนาดลงเหลือเพียงแค่ '[3]a[5]a[3]b[6]c[4]d[5]b' และเมื่อถอดรหัสออกมาแล้วจะได้ข้อมูลว่า 'aaaaaaaabbbccccccdddbbdbbbb' ซึ่งข้อมูลที่ได้ออกมาจะไม่เหมือนข้อมูลต้นฉบับทุกประการ แต่จะรักษาข้อมูลส่วนใหญ่ที่สำคัญไว้

หากเปรียบเทียบการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณ และการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลักแบบง่ายๆเป็นตัวเลขทศนิยม เช่นการเก็บเลขทศนิยม เช่น 38.9999999 นั้น การบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณจะบีบอัดให้เหลือ 38.[7]9 ซึ่งเลข 7 ในปีกกานั้นหมายถึงมีเลข 9 จำนวน 7 ตัว

เมื่อมีการคลายข้อมูล (Decompress) แล้วจะสามารถแปลงข้อมูลกลับเป็นเหมือนเดิมได้อย่างไม่ผิดเพี้ยน แต่วิธีการการบีบอัดข้อมูลแบบคงสัญญาณหลักนั้น เป็นการบีบอัดข้อมูลที่สามารถยอมรับได้ว่าข้อมูลเพี้ยนไปบ้างก็ไม่เป็นไร ก็อาจมีการแปลงข้อมูลบีบอัดให้ใกล้เคียงข้อมูลเดิมนั่นคืออาจบีบอัดให้เหลือ 39 ซึ่งจะประหยัดเนื้อที่การเก็บข้อมูลได้มากกว่า แต่ขณะเดียวกันเมื่อมีการคลายข้อมูลแล้วข้อมูลจะไม่เหมือนเดิม แต่จะใกล้เคียงกับข้อมูลเดิมแทน

2. ประวัติความเป็นมาของ Simple Bit-Plane

Simple Bit-Plane นั้นเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมแรกๆที่แสดงให้เห็นว่า Wavelet-based image compression นั้นมีประสิทธิภาพสูงต่อการจับเก็บและส่งต่อข้อมูล จากเปเปอร์ของ (Shapiro, 1993) การศึกษา Simple Bit-Plane หรือที่ในยุคนั้นเริ่มมาจากการศึกษา EZW Algorithm ซึ่งสำคัญมาก เพราะอัลกอริทึมอื่นๆต่างถูกสร้างมาจากแนวคิดพื้นฐานของ EZW แทบทั้งสิ้น การศึกษา EZW เพื่อศึกษาแนวคิดพื้นฐานที่ถูกนำมาต่อยอด

แม้ตอนนี้ EZW แทบจะไม่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อบีบอัดภาพใดใดแล้วก็ตาม เพราะปัจจุบันนั้นมีการค้นคว้าและศึกษาบีบอัดภาพที่ดีกว่า EZW จึงได้ถูกแทนที่ด้วยอัลกอริทึมอื่น นั่นคือถูกแทนที่ด้วย SPIHT algorithm ไปในขณะนั้น แต่ในปัจจุบันนี้ SPIHT ก็ไม่ได้เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุดอีกแล้ว และเป็นเพียงแค่รุ่นที่ปรับปรุงมาจาก EZW แค่นั้นเอง จะเห็นได้ว่าการพัฒนาการบีบอัดรูปภาพนั้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

EZW Algorithm เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมแรกๆที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ Wavelet-based image compression แนวคิดพื้นฐานนั้นจะคล้ายคลึงกับ EZW ถือเป็นพื้นฐานสำหรับ Embedded Zero-tree Wavelet เป็นกระบวนการที่ทำให้การบีบอัดภาพมีความก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งกระบวนการที่ใช้ EZW เรียกว่า Simple Bit-Plane

การเข้ารหัสสำหรับวิธี Simple Bit-Plane สำหรับในแต่ละแบนด์ย่อยมี 4 ขั้นตอนในการคิดคำนวณค่าอัตราในการบีบอัดรูปภาพ ดังภาพที่ 5

30	10	8	12		
15	-10	4	5		
7	6	2	1		
-18	4	0	1		

ภาพที่ 5 แสดงสัมประสิทธิ์ และสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ

จากภาพที่ 5 การเข้ารหัสของ Simple Bit-Plane จะสามารถแบ่งการเข้ารหัสออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยการเข้ารหัสของ Simple Bit-Plane นั้นจะต้องหาค่าขีดแบ่ง (Threshold) เป็นค่าหลักในการเข้ารหัส โดยการเข้ารหัสของ Simple Bit-Plane มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เราสามารถหาค่าระนาบบิต (Bit-Plane) เพื่อต่อยอดไปหาค่า Threshold ได้จาก $\text{Bit-Plane} = \lfloor \log_2 P_{\max} \rfloor$ เมื่อ $P_{\max}$ คือ Maximum Coefficient Pixels จากภาพที่ 5 $P_{\max} = 30$ เมื่อทำมาแทนค่าในสูตรเราจะได้ Bit-Plane = 4

ขั้นตอนที่ 2 หา Threshold จากสูตรที่ว่า $\text{Threshold} = 2^{\text{Bit-Plane}}$ จะได้ Threshold = 16 เนื่องจาก Bit-Plane = 4 (ถ้าค่า Coefficient Pixels ใด มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งจะเรียกค่านี้ว่า สัมประสิทธิ์ หรือ Significant Pixels)

ขั้นตอนที่ 3 หาระยะห่าง (Distance) ได้จากการหาระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์ และแทนสัญลักษณ์ 0 เท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญนั้น จากภาพที่ 5 ระยะห่างคือ 11 เพราะฉะนั้น $\text{Distance} = 000000000000$

ขั้นตอนที่ 4 เอาท์พุทของการเข้ารหัสคือ สองบิตแรกของการเข้ารหัสจะเป็น 10 ถ้าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะเป็น 11 เมื่อสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่า 0 ดังนั้น เอาท์พุทของการเข้ารหัสคือ 10000000000000

ขั้นตอนที่ 5 จะลดค่าขีดแบ่งลงครึ่งหนึ่งจนกว่าค่าขีดแบ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 และในการลดค่าขีดแบ่งลงแต่ละครั้งนั้นจะต้องทำทั้งครบ 4 ขั้นตอนนี้ต่อการลดค่าขีดแบ่งลงหนึ่งครั้ง

3. Wavelet Difference Reduction อ้างอิงจาก Walker (2000)

ความแตกต่างระหว่าง WDR และ Simple Bit-Plane นั้นคือในกระบวนการทาง Significant Pass ซึ่งใน WDR ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Significant Pass ประกอบไปด้วย เครื่องหมายของค่า Significant Pixels เขียนคู่กับจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญที่นับไปจนถึงถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไปในรูปแบบของเลขฐานสองซึ่งถูกลดทอนบิตตัวหน้าคือ 1 ออกไปเพื่อความสั้นกระชับของจำนวนบิต

จากภาพที่ 5 ของเรื่อง Simple Bit-Plane นั้นสามารถนำมาคิดในการเข้ารหัสของ WDR ได้เช่นกัน คือการเข้ารหัสของ WDR จะสามารถแบ่งการเข้ารหัสเป็น 4 ขั้นตอน โดยการเข้ารหัสของ WDR จะต้องหาค่าขีดแบ่งเป็นค่าหลักในการเข้ารหัส โดยการเข้ารหัสของ WDR มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เราสามารถหา Bit-Plane เพื่อต่อยอดไปหาค่าขีดแบ่งได้จาก $\text{Bit-Plane} = \lfloor \log_2 P_{\max} \rfloor$ เมื่อ $P_{\max}$ คือ ค่าที่มีค่ามากที่สุด (Maximum Coefficient Pixels) ซึ่งจากภาพตัวอย่างนั้น $P_{\max} = 30$ เมื่อทำมาแทนค่าในสูตรจะได้ $\text{Bit-Plane} = 4$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าขีดแบ่ง จากสูตร $\text{Threshold} = 2^{\text{Bit-Plane}}$ จะได้ค่าขีดแบ่ง = 16 เนื่องจากได้ค่า Bit-Plane = 4 (ถ้าค่าใดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง จะเรียกค่าตัวนั้นว่าสัมประสิทธิ์)

ขั้นตอนที่ 3 หาระยะห่างได้จาก การนับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญตัวแรกถึงสัมประสิทธิ์อีกตัว จากนั้นเปลี่ยนจากเลขฐานสิบเป็นเลขฐานสอง จากตัวอย่างจะเห็นว่าค่าระยะห่างมีค่าเท่ากับ 12 เนื่องจาก WDR จะนับตำแหน่งสัมประสิทธิ์ตัวแรกที่เจอรวมไปกับจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญด้วย จากนั้นแปลงเลข 12 เป็นเลขฐานสองได้ 1100

ขั้นตอนที่ 4 เอาท์พุทของการเข้ารหัสคือบิตแรกของการเข้ารหัสจะเป็น + ถ้าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะเป็น - เมื่อสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่า 0 จากนั้นบิตที่สองถึงบิต

สุดท้าย คือค่าระยะห่าง ซึ่งใน WDR นั้นจะตัดบิต 1 ที่เป็นบิตแรกออก เนื่องจากในเลขฐานสองเรา
 รู้อยู่แล้วว่าบิตแรกของเลขฐานสองคือ 1 ดังนั้นเอาที่พหุของการเข้ารหัสคือ +100

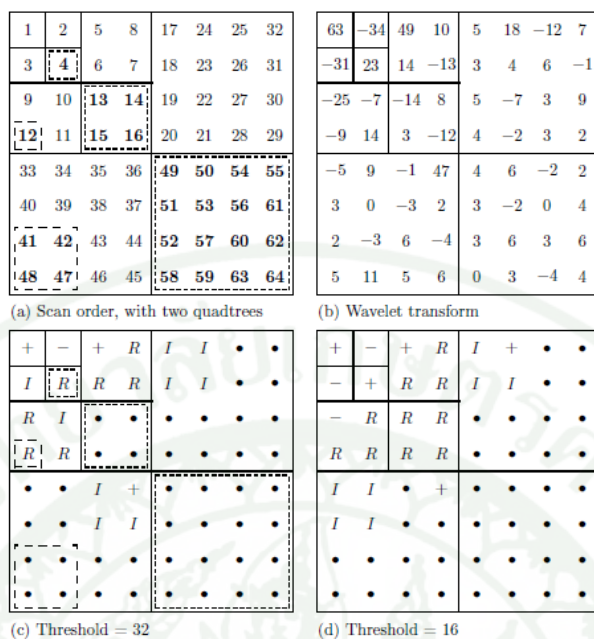
จากนั้นจะลดค่าขีดแบ่งลงครึ่งหนึ่งจนกว่า ค่าขีดแบ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 และในการลด ค่าขีด
 แบ่งลงแต่ละครั้งจะทำทั้ง 4 ขั้นตอนนี้ ต่อการลดค่าขีดแบ่งลงหนึ่งครั้ง

เช่น ถ้าเจอค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ 2 มีค่า +30 ถัดจากนั้นเจอในตัวที่ 3 มีค่าเท่ากับ +36 จากนั้น
 เจอในตัวที่ 7 มีค่าเท่ากับ +28 จากนั้นเจอในตัวที่ 12 มีค่าเท่ากับ +24 และเจอตัวสุดท้ายเป็นตัวที่ 34
 และมีค่าเท่ากับ -66 เขียนสรุปตำแหน่งและค่าของสัมประสิทธิ์สั้นๆ ได้ว่า $w(2) = +30$, $w(3) = +36$,
 $w(7) = +28$, $w(12) = +24$ และ $w(34) = -66$ สำหรับสัมประสิทธิ์ที่เจอในลำดับที่ 2, 3, 7, 12 และ 34

ดังนั้นจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญเหล่านั้นคือ 2, 1, 4, 5 และ 22 ซึ่งในค่าที่แสดง
 จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญที่ตามหลังจากเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์นั้นจะใช้เลข
 จำนวนนี้มาแปลงเป็นฐานสอง ในการเขียนครั้งนี้ของ WDR นั้น ตัวเลขแรกจะจัดเป็น Starting
 Index และตัวเลขถัดมาที่ไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์จะถูกจัดให้เป็น Number of Steps เพื่อใช้ในการหา
 Index ถัดไป

จากจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญเหล่านี้สามารถเขียนในรูปของเลขฐานสองได้ว่า
 $(10)_2$, $(-1)_2$, $(100)_2$, $(101)_2$ และ $(10110)_2$ แต่ส่วนใหญ่เลขตัวแรกของสัมประสิทธิ์นั้นเป็นเลข 1 ใน
 ทุกๆตัว จึงทำให้เลข 1 ตัวแรกนี้สามารถตัดออกได้และในตัวอย่างนี้สามารถเขียนเป็นผลได้เมื่อทำ
 การตัดเลข 1 ตัวแรกแล้วได้ คือ +0 - +00 +01 +0110

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนของการเข้ารหัส WDR Technique จะสามารถแสดงตัวอย่างการ
 เข้ารหัสได้ดังนี้



ภาพที่ 6 ตำแหน่งจุดภาพ (Pixels) และค่าสัมประสิทธิ์ของรูปภาพเพื่อใช้ในการแสดงตัวอย่างการเข้ารหัส WDR เมื่อค่าขีดแบ่งเท่ากับ 32 และ 16

ที่มา: Walkers (2000)

จากภาพที่ 6 การเข้ารหัสของ WDR พิจารณาตำแหน่งจุดภาพและค่าสัมประสิทธิ์ แสดงในภาพที่ 6 ถ้าค่าขีดแบ่ง = 32 ค่าของสัมประสิทธิ์ คือ $w(1) = 63$, $w(2) = -34$, $w(5) = 49$ และ $w(36) = 47$ ดังนั้นเอาต์พุตเมื่อค่าขีดแบ่งมีค่า คือ 32 จะประกอบด้วยสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$$+ - 1 + 1 1 1 1 +$$

ต่อมาเมื่อคิดครั้งที่สองจะลดค่าขีดแบ่งลงไปครึ่งหนึ่ง ซึ่งค่าขีดแบ่งตัวต่อมาจากภาพที่ 6 นั้นมีค่าเท่ากับ 16 ค่าของสัมประสิทธิ์จะมีค่าคือ $w(3) = -31$, $w(4) = 23$, $w(8) = 18$, และ $w(9) = -25$ ดังนั้น เอาต์พุตของ WDR จะประกอบด้วยสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$$- + 0 1 + -$$

4. แนวทางพัฒนากระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR (Wavelet Difference Reduction)

จากการศึกษากระบวนการสองแนวคิด คือ Simple Bit-Plane และ WDR นั้นทำให้เห็นข้อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทั้งสองตัวนี้ คือ เมื่อมีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญที่มาก การใช้ WDR จะทำให้การเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพมีจำนวนที่น้อยกว่าการใช้ Simple Bit-Plane และเมื่อมีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญที่น้อยมากๆ การกลับมาใช้ Simple Bit-Plane นั้นจะทำให้การเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพ มีจำนวนที่น้อยกว่าการใช้ WDR อย่างแน่นอน

จากแนวคิดจึงต้องการนำทั้งข้อดีของการเก็บข้อมูลเมื่อสัมประสิทธิ์ห่างกันมาก จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญมีน้อย ของ WDR และข้อดีของการเก็บข้อมูลเมื่อสัมประสิทธิ์มีระยะห่างกันน้อย จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญมีมากๆ ของ Simple Bit-Plane มาใช้ร่วมกัน ในกระบวนการการบีบอัดเพื่อให้ได้ภาพที่มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่น้อยกว่าการใช้เพียงแค่กระบวนการเดียว เริ่มโดยขั้นแรกต้องหาสัมประสิทธิ์ของแต่ละแบนด์ย่อยก่อน แล้วจึงนำมาหาจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญเพื่อนำจำนวนนั้น ในทุกๆแบนด์ย่อยที่ได้มาและวิเคราะห์เป็นผลที่สอดคล้องกันในทุกๆระนาบิตของแต่ละแบนด์ย่อย เพื่อเป็นแนวคิดของกระบวนการใหม่ ซึ่งมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการบีบอัดรูปภาพที่ดีกว่า Simple Bit-Plane และ WDR

จากภาพที่ 5 จะแสดงเปรียบเทียบการคำนวณอัตราในการบีบอัดรูปภาพของการเข้ารหัสระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ที่ระยะห่างเท่ากับ 11 pixels เพื่อให้เห็นความแตกต่าง โดยเมื่อคำนวณค่าขีดแบ่งได้เท่ากับ 16 (ซึ่งค่านี้จะเท่ากันทั้งในสองกระบวนการ)

โดยใน Simple Bit-Plane จะมีกระบวนการคิด คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการหาระนาบิต (Bit-Plane) เพื่อหาค่าค่าขีดแบ่งได้จากสมการ $\text{Bit-Plane} = \lfloor \log_2 P_{\max} \rfloor$ เมื่อ $P_{\max}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งจากภาพที่ 5 มีค่า $P_{\max} = 30$ เมื่อทำมาแทนค่าในสูตรจะได้ $\text{Bitplane} = 4$ ต่อมาจึงหาค่าขีดแบ่ง (Threshold) จากสูตรที่ว่า $\text{Threshold} = 2^{\text{Bitplane}}$ จะได้ $\text{Threshold} = 16$ เนื่องจาก $\text{Bit-Plane} = 4$ (ถ้าค่าใดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งจะเรียกค่านั้นว่า สัมประสิทธิ์)

แล้วจึงหาจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญได้จาก การนับระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์ตัวแรกที่เจอถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไป และแทนสัญลักษณ์ 0 เท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่

สำคัญนั้น ในที่นี้ระยะห่างคือ 11 เพราะฉะนั้นจะได้ว่าจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญนั้นคือ '00000000000' และจะได้ผลลัพธ์ของการเข้ารหัสคือ สองบิตแรกของการเข้ารหัสจะเป็น 10 ถ้าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะเป็น 11 เมื่อสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่า 0 หรือคิดลบ “ดังนั้นผลลัพธ์ของการเข้ารหัสคือ 100000000000”

ต่อมาคือกระบวนการคิด ใน WDR โดยเมื่อคำนวณหาค่าขีดแบ่งได้เท่ากับ 16 แล้วนั้นก็หาจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญได้จาก การนับสัมประสิทธิ์ตัวแรกที่เจอนับไปจนถึงจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญอีกตัว จากนั้นเปลี่ยนจากเลขฐานสิบเป็นเลขฐานสอง

จากภาพที่ 5 จะเห็นว่าจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญนั้นมีค่าเท่ากับ 12 เนื่องจากเทคนิค WDR นี้จะนับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ตัวแรกที่เจอด้วย จากนั้นแปลง 12 เป็นเลขฐานสองได้ 1100 และจะได้ผลลัพธ์ของการเข้ารหัสคือสัมประสิทธิ์แรกของการเข้ารหัสจะเป็น + ถ้าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะเป็น - เมื่อสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่า 0 จากนั้นสัมประสิทธิ์ที่สองถึงสัมประสิทธิ์สุดท้าย คือจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ ซึ่งจะตัดสัมประสิทธิ์เลข 1 ที่เป็นสัมประสิทธิ์แรกออก เนื่องจากในเลขฐานสองเรารู้อยู่แล้วว่าสัมประสิทธิ์แรกของเลขฐานสองคือ 1 ดังนั้น “ผลลัพธ์ของการเข้ารหัสครั้งนี้คือ +100”

5. การกรองข้อมูลภาพ

การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering) คือ การนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

การกรองข้อมูลภาพคือการประมวลผลภาพอย่างหนึ่งที่ทำเป็นประจำ เนื่องจากในการใช้งานจริง ภาพที่ได้มามักมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะแก่การประมวลผลในขั้นต่อไป

องค์ประกอบสำคัญของการกรองข้อมูลภาพคือตัวกรอง หากเปรียบเทียบเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ ตัวกรองก็คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เลือกหรือกรองให้สัญญาณไฟฟ้าที่

มีความถี่ในช่วงที่ต้องการผ่านออกไปได้ คุณสมบัติของตัวกรองคือตัวกำหนดคุณสมบัติของภาพผลลัพธ์ อาจมองข้อมูลของภาพๆ หนึ่งให้เป็นสัญญาณๆ หนึ่งได้ ด้วยการกำหนดให้ระดับความเข้มแสงของแต่ละจุดคือขนาด (amplitude) ของสัญญาณ ณ ตำแหน่งนั้นๆ ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับภาพคือ

1. ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าคือค่าแรงดันหรือกระแส แต่ขนาดของข้อมูลภาพคือระดับความเข้มแสงของจุดภาพ

2. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าถูกกำหนดโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณในหนึ่งช่วงเวลา แต่การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับตำแหน่งของจุดภาพ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของจุดที่อยู่ติดกันไป

3. สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณมิติเดียว (amplitude vs time) แต่ภาพเป็นสัญญาณ 2 มิติ (intensity vs X & Y)

ตัวกรองคือระบบ ๆ หนึ่งซึ่งรับสัญญาณเข้า (input) ประมวลผลสัญญาณ และส่งสัญญาณออก (output) โดยทั่วไปตัวกรองจะถูกสร้างให้เป็นระบบเชิงเส้น (linear system) เนื่องจากออกแบบได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดี ปัจจุบันมีวิธี และเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการออกแบบตัวกรองสัญญาณแบบเชิงเส้น

ในการกรองข้อมูลภาพ มักพิจารณาว่าภาพคือสัญญาณ 2 มิติที่ประกอบขึ้นจากสัญญาณความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ต่างกัน การออกแบบตัวกรองจึงเป็นการกำหนดว่าเราต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไป (หรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้าง) การกรองข้อมูลรูปภาพมีพื้นฐานคล้ายคลึงและข้องเกี่ยวกับการกรองสัญญาณไฟฟ้า ก็จะสามารทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกรองข้อมูลภาพได้ไม่ยาก เพราะการกรองข้อมูลภาพคือส่วนขยายของความรู้เดิมให้รองรับการประมวลผลสัญญาณ 2 มิติ

ประเภทของตัวกรอง แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการเลือกความถี่ คือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter), ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass Filter), ตัวกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-pass Filter), ตัวกรองหยุดแถบความถี่ (Band-stop Filter)

ค่าพารามิเตอร์หลักในการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองคือ ค่าความถี่คัตออฟ (cut-off frequency) ความถี่คัตออฟคือความถี่ที่ระบุจุดตัดของสัญญาณว่าจะให้ผ่าน หรือไม่ผ่าน ตัวอย่างเช่น ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่าความถี่คัตออฟเท่ากับ 1,000 เฮิรตซ์จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่านไปได้ แต่จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่าน

สำหรับตัวกรองความถี่สูงผ่านจะทำงานตรงข้ามกับตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน คือไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟผ่านไปได้ แต่จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัตออฟผ่านได้วงจรกรองแถบความถี่ผ่านยอมให้สัญญาณในช่วงความถี่หนึ่งผ่านไปได้ หากสัญญาณมีความถี่อยู่นอกช่วงจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้ผ่านไป สำหรับวงจรหยุดแถบความถี่จะมีลักษณะการทำงานที่ตรงข้ามกันคือจะลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ในช่วงที่กำหนดลง และจะผ่านความถี่ที่อยู่นอกช่วง

ในการกรองสัญญาณใดๆ เราจะต้องทราบความถี่ หรือช่วงความถี่ของสัญญาณที่เราต้องการและสัญญาณที่เราไม่ต้องการ จากนั้นเราจะเลือกตัวกรองที่เหมาะสมมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก และ/หรือนำสัญญาณที่ต้องการให้เด่นชัดยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณรบกวน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. โปรแกรม Matlab

วิธีการ

1. การบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง WDR (Wavelet Difference Reduction) และ Simple Bit-Plane ในวิธี Hybrid-1

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการ WDR และ Simple Bit-Plane นั้นมีความแตกต่างกันตรงที่อัตราในการบีบอัดรูปภาพ (Bitrate) นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Insignificant Pixel) ซึ่งนับจากสัมประสิทธิ์ (Significant Pixel) ตัวแรกถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไป โดยจากการศึกษานั้นพบว่าหากจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญนั้นมีค่าน้อยกว่า 4 จุดภาพ (Pixels) แล้วนั้น Simple Bit-Plane จะใช้อัตราการเข้ารหัสที่น้อยกว่า แต่หากจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 4 แล้ว WDR จะใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพในการเข้ารหัสที่น้อยกว่า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสด้วยจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Insignificant Pixels)

จำนวนของ สัมประสิทธิ์ ที่ไม่สำคัญ	ระยะห่างที่ WDR เรียกใช้	อัตราที่ใช้ในการเข้ารหัส	
		Simple Bit-Plane (Type-B)	WDR (Type-W)
0	1	0	0
1	2	1	2

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จำนวนของ สัมประสิทธิ์ ที่ไม่สำคัญ	ระยะห่างที่ WDR เรียกใช้	อัตราที่ใช้ในการเข้ารหัส	
		Simple Bit-Plane (Type-B)	WDR (Type-W)
2	3	2	2
3	4	3	4
4	5	4	4
5	6	5	4
8	9	8	6
13	14	13	6
18	19	18	8
50	51	50	10
400	401	400	16

จากตารางที่ 1 เป็นเหตุผลในการเลือกที่ว่า ในระนาบบิตแรกของแต่ละแบนด์ย่อยจะเจอสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันเยอะ ทำให้มีระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์มาก จึงมีการเลือกใช้ Type-W เป็นส่วนใหญ่ แต่ต่อมาในระนาบบิตหลังๆ ของแบนด์ย่อยเดียวกัน จะเจอสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันไม่เยอะ จึงทำให้มีจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญสำคัญเป็นจำนวนที่น้อย คือกระจุกตัวอยู่ใกล้ๆ กัน ทำให้การใช้ Type-W ในขณะที่มีจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญสำคัญเป็นจำนวนมากเป็นการสิ้นเปลืองอัตราในการบีบอัดรูปภาพ จึงควรเปลี่ยนการเข้ารหัสในการบีบอัดรูปภาพในช่วงนี้มาเป็นการใช้ Type-B ในการเข้ารหัสข้อมูล

จากตารางที่ 1 ค่าของจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ แสดงให้เห็นระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์ที่ระยะต่างๆ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบอัตราในการบีบอัดรูปภาพของ WDR และ Simple Bit-Plane โดยมีการเรียกระยะห่างระหว่างสัมประสิทธิ์ตัวแรก ถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไปว่า ‘จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ’ โดยการคำนวณจำนวนอัตราที่ใช้การเข้ารหัส Type-B นั้นจะใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพมาคิดเท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญนั้นเลย แต่การคำนวณจำนวนอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ใช้การเข้ารหัส Type-W จะใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพที่มากคิดเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ + 1 เสมอ โดยการคำนวณหาจำนวนอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่

โดยการทำงานนั้นจะใช้ Type-W ก่อน Type-B เสมอในการใช้งานอัลกอริทึมนี้ เพราะตามตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่า Type-W มีข้อดีที่เมื่อภาพมีสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันมากๆกระบวนการนี้จะอัตราการบีบอัดรูปภาพต่อภาพที่น้อยลง ทำให้ Type-W มีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการเก็บข้อมูลของการเข้ารหัสมากทำให้มีการเก็บข้อมูลที่ลดลง

ในขณะที่ Type-B นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการบีบอัดรูปภาพต่อภาพต่อเมื่อภาพมีสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันไม่มาก คือ มีค่าสัมประสิทธิ์กระจุกตัวอยู่ใกล้กันมากๆนั้นเมื่อผ่านกระบวนการ Type-B แล้วจะได้ผลลัพธ์ว่าอัตราการบีบอัดรูปภาพนั้นน้อยกว่ากระบวนการ Type-W

จากการสังเกตรูป Lena, Barb, Peppers และ Baboon ขนาด 512x512 จุดภาพ ที่ผ่านการ decomposition ที่ Level 5 ที่ทุกๆ แบนด์ย่อย ในทุกๆระนาบบิตนั้นจะมีการหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อหาค่า average หรือค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างบิตออกมาแล้วต่อมาจึง

1. หาค่า Type-W สำหรับทุกๆระนาบบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระนาบบิตจากการแปลงเวฟเล็ต 5 ชั้น

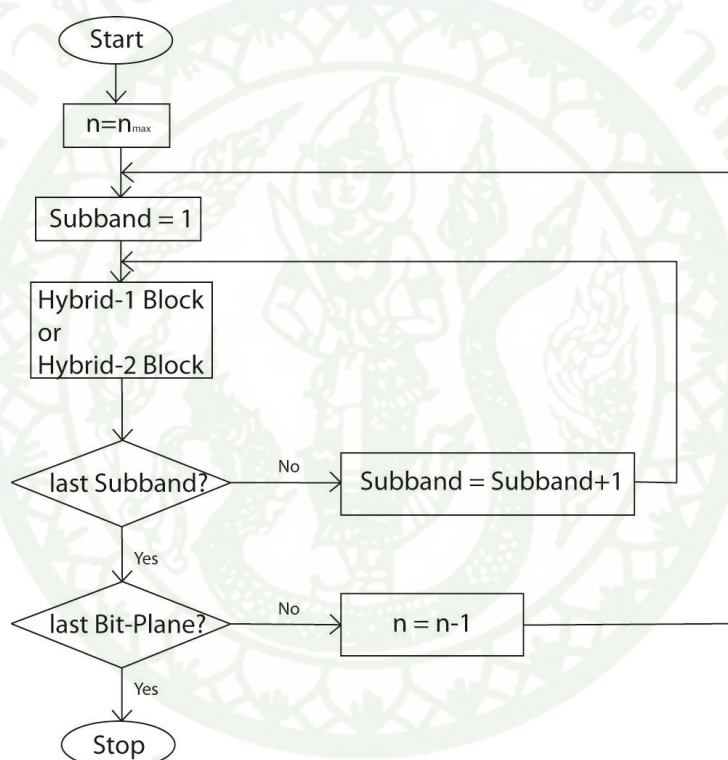
2. หาค่า Type-B สำหรับทุกๆระนาบบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระนาบบิตจากการแปลงเวฟเล็ต 5 ชั้น

3. หาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) สำหรับทุกๆระนาบบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระนาบบิตจากการแปลงเวฟเล็ต 5 ชั้น โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้คือการเลือกค่าเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดระหว่าง Type-W และ Type-B มาใช้เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่ากับค่าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวที่ยกมาไว้เพื่อคิดคุณภาพ โดยที่ค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นการเลือกเฉพาะค่าที่น้อยที่สุดจากการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าจาก Type-W และ Type-B โดยไม่มีอัลกอริทึมใดมารองรับและอาจใช้สลับไปมาเพื่อใช้ทั้ง Type-B และ Type-W ได้ในกรณีที่บางระนาบบิตมีผลที่ดีกว่า

4. หาค่าจากการค้นคว้า (Proposed) คือ เป็นค่าที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมนี้จะเป็นค่าที่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดมากที่สุด และคุณภาพของการเลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุดด้วยค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น เป็นการเลือกใช้อัลกอริทึมโดยใช้ Type-W เป็นวิธีการแรก ต่อมาจึงเปลี่ยนมาใช้ Type-B ตามเงื่อนไขและไม่มีการเปลี่ยนกลับมาใช้ Type-W อีกไม่ว่าในกรณีใดๆ

การสังเกตรูปนั้นมาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่า 3 กลุ่มใหญ่ในแต่ละแบนด์ย่อย ได้แก่ ค่าอัตราในการบีบอัดรูปภาพจาก Type-W, Type-B และค่าที่เหมาะสมที่สุดในทุกๆ ระบายบิตที่อยู่ในแบนด์ย่อย คือ เมื่อหาค่า Type-W และ Type-B ในทุกๆ ระบายบิตแล้ว จึงนำมาเลือกค่าที่น้อยที่สุดในทุกๆ ระบายบิตของแบนด์ย่อย (12 ระบายบิต) มาเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการคิดอัลกอริทึมของการค้นคว้านั้นต้องทำให้ค่าทั้งหมดเข้าใกล้กับค่าที่เหมาะสมที่สุดให้มากที่สุด

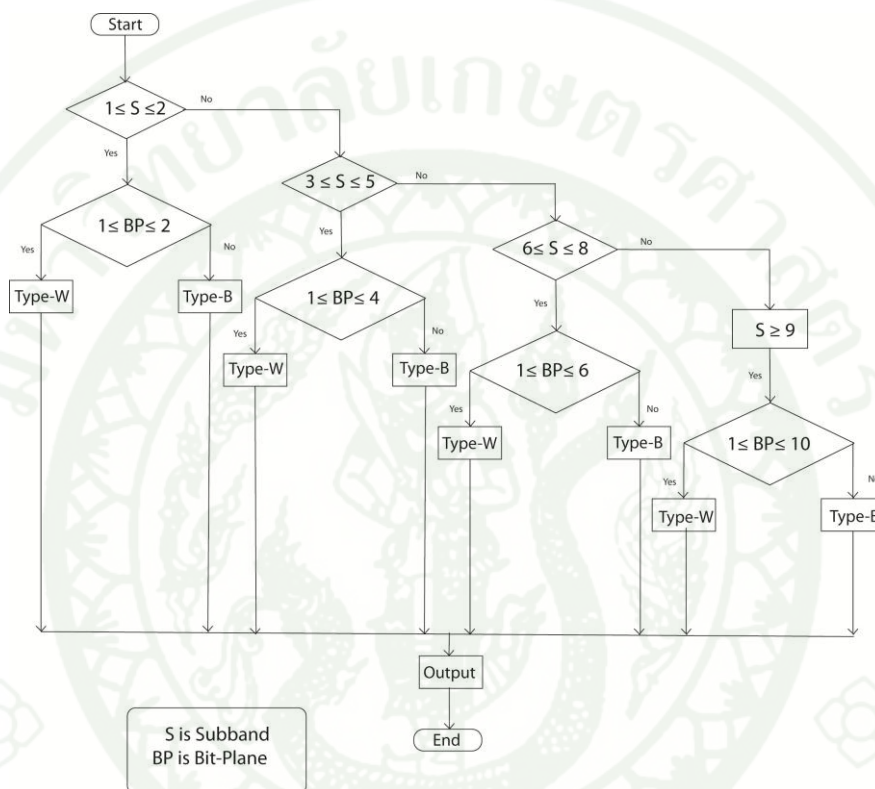
โดยการเข้ารหัสตามวิธี Hybrid-1 นั้น มีการเข้ารหัสดังนี้ตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการเข้ารหัสแบบ Bit-Plane Encoding

ภาพที่ 8 แสดงการเข้ารหัสรูปภาพตามวิธีคือ เริ่มต้นจากการหา n_{max} ที่เจอก่อนว่าในรูปภาพดังกล่าวนี้เมื่อมีการแปลงเวฟเลตแล้วนั้นจะได้ค่า n_{max} เท่าใด ต่อมาจึงพิจารณาที่แบนด์ย่อยที่ 1 แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการการบีบอัดรูปภาพ (Hybrid-1 หรือ Hybrid-2) ต่อไป และเมื่อสิ้นสุดการเข้ารหัสรูปภาพใน 1 ครั้งก็จะมี การตรวจเช็คเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นแบนด์ย่อยสุดท้ายแล้วหรือยัง ถ้ายังไม่ใช่ให้นำค่าของแบนด์ย่อยล่าสุดบวกเพิ่มไปอีก 1 แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการการเข้ารหัสรูปภาพอีกครั้ง แต่หากมีการตรวจเช็คแล้วพบว่า เป็นแบนด์ย่อยสุดท้ายที่มีแล้วนั้นก็จะมีการตรวจเช็คใน

ขั้นตอนต่อไป คือ ตรวจสอบซ้ำในแบนด์ย่อยนั้นว่าเป็นระนาบบิตสุดท้ายแล้วหรือไม่หากไม่ใช่ให้นำค่า n ที่มีอยู่ปัจจุบันมาหักลบออกไป 1 และเข้าสู่กระบวนการการเข้ารหัสรูปภาพอีกครั้งหนึ่งตามภาพที่ 8 ได้แสดงไว้ แต่หากมีการตรวจสอบแล้วพบว่า เป็นระนาบบิตสุดท้ายในแบนด์ย่อยแล้วก็สามารถจบกระบวนการการบีบอัดรูปภาพได้เลย



ภาพที่ 9 แสดงการเลือกเปลี่ยนเทคนิคตามวิธี Hybrid-1

จากภาพที่ 9 เมื่อมีการแปลงรูปภาพเป็น 16 แบนด์ย่อยแล้วนั้น พิจารณาที่ แบนด์ย่อย 1 และ 2 ว่าเป็นระนาบบิตที่ 1 และ 2 หรือไม่ถ้าใช่ใช้วิธี Type-W ในการเข้ารหัส ถ้าไม่ใช่ระนาบบิตที่ 1 และ 2 ให้ใช้ Type-B ในการเข้ารหัส ต่อมาจึงพิจารณาต่อที่แบนด์ย่อย 3, 4 และ 5 ว่าเป็นระนาบบิตที่ 1, 2 3 และ 4 หรือไม่ถ้าใช่ใช้วิธี Type-W ในการเข้ารหัส ถ้าไม่ใช่ระนาบบิตที่ 1, 2, 3 และ 4 ให้ใช้ Type-B ในการเข้ารหัส ต่อมาจึงพิจารณาต่อที่แบนด์ย่อย 6, 7 และ 8 ว่าเป็นระนาบบิตที่ 1 ถึง 6 หรือไม่ถ้าใช่ใช้วิธี Type-W ในการเข้ารหัส ถ้าไม่ใช่ระนาบบิตที่ 1 ถึง 6 ให้ใช้ Type-B ในการเข้ารหัส และต่อมาแบนด์ย่อยอื่นๆนอกจากนี้ให้พิจารณาว่าระนาบบิตของแบนด์ย่อยดังกล่าว เป็นระนาบบิตที่ 1 ถึง 10 หรือไม่ถ้าใช่ใช้วิธี Type-W ในการเข้ารหัส ถ้าไม่ใช่ระนาบบิตที่ 1 ถึง 10 ให้ใช้ Type-B ในการเข้ารหัส

ภาพที่ 9 ได้มาจากการแปลงเวฟเลตที่ 5 ชั้น และได้แบนด์ย่อยทั้งสิ้น 16 แบนด์ย่อยดังภาพที่ 7 นั้น เมื่อมีการพิจารณาเทียบผลระหว่างผลของ Type-W , Type-B, ค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะได้ผลดังภาพ และเป็นค่าที่เมื่อมีการเข้ารหัสรูปภาพแล้วนั้น ทำให้มีอัตราการบีบอัดรูปภาพเข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุดที่ได้มาจากการเลือกค่าที่น้อยที่สุดโดยไม่ผ่านอัลกอริทึมใดใด เพื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องและใช้อ้างอิงในวิธี Hybrid-1 นี้

ตารางตัวอย่างด้านล่างแสดงการเปลี่ยนเทคนิคตามวิธี Hybrid-1 ส่วนแรกที่กล่าวว่า “Subband 1-2: Type-W for the first 2 Bit-Planes”

ตารางที่ 2 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	30	7.53	240	240	286	286	240	240	240	240
10	67	2.37	402	642	293	579	293	533	402	642
9	62	1.56	248	890	221	800	221	754	221	863
8	44	1.20	176	1066	141	941	141	895	141	1004
7	19	1.78	76	1142	72	1013	72	967	72	1076
6	10	2.4	60	1202	44	1057	44	1011	44	1120
5	10	1.4	40	1242	34	1091	34	1045	34	1154
4	7	1	28	1270	21	1112	21	1066	21	1175
3	3	1.33	12	1282	10	1122	10	1076	10	1185
2	2	1	8	1290	6	1128	6	1082	6	1191
1	0	0	0	1290	0	1128	0	1082	0	1191
0	1	1	4	1294	3	1131	3	1085	3	1194

ตารางที่ 3 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	31	96	96	264	264	96	96	96	96
9	57	3.35	342	438	305	569	305	401	305	401
8	47	3.06	282	720	238	807	238	639	238	639
7	37	2.89	222	942	181	988	181	820	181	820
6	41	1.60	164	1106	148	1136	148	968	148	968
5	26	1.53	104	1210	92	1228	92	1060	92	1060
4	20	1	80	1290	60	1288	60	1120	60	1120
3	13	0.53	52	1342	33	1321	33	1153	33	1153
2	2	2.5	12	1354	9	1330	9	1162	9	1162
1	2	1.5	8	1362	7	1337	7	1169	7	1169
0	2	0.5	8	1370	5	1342	5	1174	5	1174

ตารางที่ 4 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	36	6.11	288	288	292	292	288	288	288	288
10	97	1.26	388	676	317	609	317	605	388	676
9	62	0.98	248	924	185	794	185	790	185	861
8	34	0.79	136	1060	95	889	95	885	95	956
7	16	0.68	64	1124	43	932	43	928	43	999
6	4	1.75	16	1140	15	947	15	943	15	1014
5	3	1.33	12	1152	10	957	10	953	10	1024
4	1	3	6	1158	5	962	5	958	5	1029
3	1	2	4	1162	4	966	4	962	4	1033
2	1	1	4	1166	3	969	3	965	3	1036
1	1	0	2	1168	2	971	2	967	0	1036
0	0	0	0	1168	0	971	0	967	0	1036

ตารางที่ 5 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบขีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช่	รวม	ใช่	รวม	ใช่	รวม	ใช่	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	16.06	150	150	271	271	150	150	150	150
9	48	4.02	288	438	289	560	288	438	289	439
8	59	2.27	354	792	252	812	252	690	252	691
7	51	1.62	204	996	185	997	185	875	185	876
6	36	1.30	144	1140	119	1116	119	994	119	995
5	23	1.04	92	1232	70	1186	70	1064	70	1065
4	14	0.71	56	1288	38	1224	38	1102	38	1103
3	9	0.11	36	1324	19	1243	19	1121	19	1122
2	0	0	0	1324	0	1243	0	1121	0	1122
1	1	0	2	1326	2	1245	2	1123	2	1124
0	0	0	0	1326	0	1245	0	1123	0	1124

ตารางที่ 6 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบขีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช่	รวม	ใช่	รวม	ใช่	รวม	ใช่	รวม
11	35	6.31	280	280	291	291	280	280	280	280
10	87	1.54	348	628	308	599	308	588	348	628
9	74	0.81	296	924	208	807	208	796	208	836
8	34	0.76	136	1060	94	901	94	890	94	930
7	9	1.88	36	1096	35	936	35	925	35	965
6	7	1.42	28	1124	24	960	24	949	24	989
5	2	4	12	1136	12	972	12	961	12	1001
4	5	0.6	20	1156	13	985	13	974	13	1014
3	3	0	6	1162	6	991	6	980	6	1020
2	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	1020
1	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	1020
0	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	1020

ตารางที่ 7 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	14	17.28	140	140	270	270	140	140	140	140
9	39	5.20	234	374	281	551	234	374	281	421
8	52	2.90	312	686	255	806	255	629	255	676
7	53	1.84	212	898	204	1010	204	833	204	880
6	47	1.08	188	1086	145	1155	145	978	145	1025
5	23	1.21	92	1178	74	1229	74	1052	74	1099
4	11	1.54	44	1222	39	1268	39	1091	39	1138
3	9	0.88	36	1258	26	1294	26	1117	26	1164
2	8	0	16	1274	16	1310	16	1133	16	1180
1	0	0	0	1274	0	1310	0	1133	0	1180
0	0	0	0	1274	0	1310	0	1133	0	1180

ตารางที่ 8 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	87	1.94	348	348	343	343	343	343	348	348
10	116	0.45	464	812	285	628	285	628	464	812
9	27	0.96	108	920	80	708	80	708	80	892
8	16	0.62	64	984	42	750	42	750	42	934
7	3	2.33	18	1002	13	763	13	763	13	947
6	3	1.33	12	1014	10	773	10	773	10	957
5	2	1	8	1022	6	779	6	779	6	963
4	2	0	4	1026	4	783	4	783	4	967
3	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	967
2	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	967
1	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	967
0	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	967

ตารางที่ 9 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	35.57	84	84	263	263	84	84	263	263
8	34	6.32	272	356	283	546	272	356	283	546
7	64	2.35	384	740	279	825	279	635	279	825
6	62	1.43	248	988	213	1038	213	848	213	1038
5	46	0.93	184	1172	135	1173	135	983	135	1173
4	19	1.26	76	1248	62	1235	62	1045	62	1235
3	9	1.66	36	1284	33	1268	33	1078	33	1268
2	8	0.87	32	1316	23	1291	23	1101	23	1291
1	4	0.75	16	1332	11	1302	11	1112	11	1302
0	3	0	6	1338	6	1308	6	1118	6	1308

จากตารางที่ 2 – 9 แสดงให้เห็นว่าในจากวิธี Hybrid-1 แบนด์ย่อย ที่ 1 และ 2 นี้ จะใช้ Type-W สำหรับระนาบบิตที่ 1 ถึง 2 และจากนั้นที่ระนาบบิตถัดไปเลือกใช้ Type-B จนถึงระนาบบิตสุดท้ายในแบนด์ย่อย กระบวนการนี้เป็นกระบวนการวัดผลโดยเลือกกระบวนการบีบอัดรูปภาพที่เหมาะสมระหว่าง Type-W และ Type-B เพื่อใช้ร่วมกันในการบีบอัดรูปภาพตามอัลกอริทึม

ต่อมาเป็นตารางแสดงผลการใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพในกระบวนการ Type-W, Type-B และการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด ในแบนด์ย่อยที่ 3-5

ตามวิธี Hybrid-1 นั้นจะได้อัตราการใช้กระบวนการ Type-W เหมาะสมสำหรับ 4 ระนาบบิตแรก และระนาบบิตถัดไปจนถึงระนาบบิตสุดท้ายจึงเลือกใช้ Type-B ดังตารางแสดงแบนด์ย่อยที่ 4 ของภาพ Lena, Baboon, Barb และ Peppers แสดงการเปลี่ยนเทคนิคตามวิธี Hybrid-1 ส่วนที่สองที่กล่าวว่า “Subband 3-5: Type-W for the first 4 Bit-Planes” ดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	255	18	18	257	257	18	18	18	18
9	11	22.18	110	128	266	523	110	128	110	128
8	38	5.42	228	356	282	805	228	356	228	356
7	43	3.79	258	614	249	1054	249	605	249	605
6	35	3.65	210	824	198	1252	198	803	198	803
5	39	2.28	234	1058	167	1419	167	970	167	970
4	46	0.93	184	1242	135	1554	135	1105	135	1105
3	19	1.26	76	1318	62	1616	62	1167	62	1167
2	12	1	48	1366	36	1652	36	1203	36	1203
1	6	1	24	1390	18	1670	18	1221	18	1221
0	3	1	12	1402	9	1679	9	1230	9	1230

ตารางที่ 11 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	35.57	84	84	263	263	84	84	84	84
8	34	6.32	272	356	283	546	272	356	272	356
7	60	2.58	360	716	275	821	275	631	275	631
6	56	1.76	224	940	211	1032	211	842	211	842
5	35	1.82	140	1080	134	1166	134	976	134	976
4	30	1.13	120	1200	94	1260	94	1070	94	1070
3	20	1	80	1280	54	1314	54	1124	54	1124
2	7	1	28	1308	21	1335	21	1145	21	1145
1	1	6	6	1314	8	1343	6	1151	8	1153
0	4	1	16	1330	10	1353	10	1161	10	1163

ตารางที่ 12 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	127	32	32	258	258	32	32	32	32
9	5	49.8	60	92	259	517	60	92	60	92
8	36	5.91	216	308	285	802	216	308	216	308
7	60	2.55	360	668	273	1075	273	581	273	581
6	57	1.68	228	896	210	1285	210	791	210	791
5	42	1.28	168	1064	138	1423	138	929	138	929
4	27	1	108	1172	81	1504	81	1010	81	1010
3	13	1.07	52	1224	40	1544	40	1050	40	1050
2	6	1.33	24	1248	20	1564	20	1070	20	1070
1	2	3	12	1260	10	1574	10	1080	10	1080
0	3	1	12	1272	9	1583	9	1089	9	1089

ตารางที่ 13 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	255	18	18	257	257	18	18	18	18
8	6	41.50	72	90	261	518	72	90	72	90
7	39	5.38	234	324	288	806	234	324	288	378
6	63	2.33	378	702	273	1079	273	597	273	651
5	58	1.53	232	934	205	1284	205	802	205	856
4	44	1.02	176	1110	133	1417	133	935	133	989
3	18	1.50	72	1182	63	1480	63	998	63	1052
2	15	0.80	60	1242	42	1522	42	1040	42	1094
1	6	1	24	1266	18	1540	18	1058	18	1112
0	1	5	6	1272	7	1547	6	1064	7	1119

โดยจากตารางที่ 10 ถึง 13 (จากตารางนั้นได้ยกแบนด์ย่อยกลาง คือ แบนด์ย่อยที่ 4 มาแสดง) เป็นตัวอย่างในการเลือกค่าที่เหมาะสมในช่วงเดียวกันนั้นคือ จากการเลือกในช่วงแบนด์ย่อยที่ 3 ถึงแบนด์ย่อยที่ 5 นี่คือการดูว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงใดบ้าง และให้ยึดการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจาก Type-W สู่ Type-B คือ

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 3 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี่) และที่แบนด์ย่อย 4, 5 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 3, 4 และ 5 มีการเปลี่ยนแปลงระนาบบิตที่ 4

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 3, 4 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 และที่แบนด์ย่อย 5 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 3, 4 และ 5 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4

โดยรวมแล้วทั้งรูป Lena, Barb, Peppers และ Baboon มีแนวโน้มการเปลี่ยนกระบวนการจาก Type-W เป็น Type-B ที่ระนาบบิตที่ 4 มากกว่า จึงมีการสมมติฐานการใช้อัลกอริทึมว่า “แบนด์ย่อย ที่ 3-5 ให้ใช้ Type-W สำหรับ 4 ระนาบบิตแรก และที่ระนาบบิตต่อมาจึงเปลี่ยนมาใช้ Type-B จนถึงระนาบบิตสุดท้าย”

ต่อมาจากงานวิจัยที่แบนด์ย่อยที่ 6 ถึงแบนด์ย่อยที่ 8 เลือกใช้ Type-W สำหรับ 6 ระนาบบิตแรก ดังตารางตัวอย่างด้านล่างแสดงการเปลี่ยนเทคนิคตามวิธี Hybrid-1 ส่วนที่สามที่กล่าวว่า “Subband 6-8: Type-W for the first 6 Bit-Planes” ดังนี้

ตารางที่ 14 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1023	22	22	1025	1025	22	22	22	22
8	17	59.17	204	226	1040	2065	204	226	204	226
7	74	12.59	592	818	1080	3145	592	818	592	818
6	126	6.39	1008	1826	1058	4203	1008	1826	1008	1826
5	161	4	966	2792	967	5170	966	2792	967	2793
4	150	3.30	900	3692	795	5965	795	3587	795	3588
3	148	2.34	888	4580	643	6608	643	4230	643	4231
2	152	1.28	608	5188	499	7107	499	4729	499	4730
1	87	1.24	348	5536	282	7389	282	5011	282	5012
0	45	1.40	180	5716	153	7542	153	5164	153	5165

ตารางที่ 15 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	67.26	210	210	1039	1039	210	210	210	210
7	64	14.76	640	850	1073	2112	640	850	640	850
6	150	5.30	900	1750	1095	3207	900	1750	900	1750
5	172	3.62	1032	2782	967	4174	967	2717	967	2717
4	192	2.24	1152	3934	815	4989	815	3532	815	3532
3	165	1.61	660	4594	596	5585	596	4128	596	4128
2	121	1.19	484	5078	387	5972	387	4515	387	4515
1	70	1.07	280	5358	215	6187	215	4730	215	4730
0	36	1.08	144	5502	111	6298	111	4841	111	4841

ตารางที่ 16 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1023	22	22	1025	1025	22	22	22	22
8	17	59.17	204	226	1040	2065	204	226	204	226
7	80	11.57	640	866	1086	3151	640	866	640	866
6	120	6.71	960	1826	1046	4197	960	1826	960	1826
5	169	3.76	1014	2840	975	5172	975	2801	975	2801
4	187	2.40	1122	3962	824	5996	824	3625	824	3625
3	170	1.64	680	4642	620	6616	620	4245	620	4245
2	131	1.13	524	5166	411	7027	411	4656	411	4656
1	77	0.93	308	5474	226	7253	226	4882	226	4882
0	42	0.71	168	5642	114	7367	114	4996	114	4996

ตารางที่ 17 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 7 จากวิธี Hybrid-1

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	511	40	40	1026	1026	40	40	40	40
7	56	17.25	560	600	1078	2104	560	600	560	600
6	190	4.08	1140	1740	1156	3260	1140	1740	1140	1740
5	268	1.89	1072	2812	1044	4304	1044	2784	1044	2784
4	221	1.29	884	3696	729	5033	729	3513	729	3513
3	145	0.97	580	4276	432	5465	432	3945	432	3945
2	75	0.89	300	4576	217	5682	217	4162	217	4162
1	36	0.86	144	4720	103	5785	103	4265	103	4265
0	18	0.72	72	4792	49	5834	49	4314	49	4314

โดยจากตารางที่ 15 – 17 (จากตารางนั้นได้ยกแบนด์ย่อยที่ 7 ของภาพตัวอย่างทั้งสี่ภาพมาแสดง) เป็นตัวอย่างในการเลือกค่าที่เหมาะสมในช่วงเดียวกันนั้นคือ จากการเลือกในช่วงแบนด์ย่อยที่ 6 ถึงแบนด์ย่อยที่ 8 นี่คือการดูว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงใดบ้าง และให้ยึดการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจาก Type-W สู่ Type-B ดังนี้

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 6 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี้) ต่อมาที่แบนด์ย่อย 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 7 และที่แบนด์ย่อย 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 8

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 6, 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 และที่แบนด์ย่อย 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 7

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 6, 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 และที่แบนด์ย่อย 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 7

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 6 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 และที่แบนด์ย่อย 7, 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6

จากภาพรวมข้างต้น รูป Lena, Barb, Pepper และ Baboon นั้นใช้ Type-W ตัวสุดท้ายที่ระนาบบิต 6 และในระนาบบิตถัดไปจึงได้เปลี่ยนเป็น Type-B

ต่อมาจากส่วนสุดท้ายของอัลกอริทึมดังกล่าวได้บอกว่า “Subband 9-last: Type-W for the first 10 Bit-Planes” คือกำหนดว่าตั้งแต่แบนด์ย่อยที่ 9 ถึงแบนด์ย่อยสุดท้ายนั้นใช้ Type-W สำหรับการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพสำหรับ 10 ระนาบบิตแรกที่เจอ และระนาบบิตหลังจากนั้นจนถึงระนาบบิตสุดท้ายให้เปลี่ยนมาใช้ Type-B เพราะแบนด์ย่อยหลังจากนั้นจะเจอจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญน้อยลง จึงทำให้การใช้ Type-W มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆและนำมาใช้มากขึ้น จากการศึกษาได้ผลดังนี้คือ

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 8 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี่) ต่อมาที่แบนด์ย่อย 10, 11, 12, 13 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 9 และที่แบนด์ย่อย 14, 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 10

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 7 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 10, 11, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 8 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 13, 14 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 9 และที่แบนด์ย่อย 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 10

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 9, 10 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 8 และที่แบนด์ย่อย 11, 12, 13, 14, 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 9

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 9, 10 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 11, 12, 13 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 7 และที่แบนด์ย่อย 14, 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 8

จากการสังเกตนั้น ได้สังเกตว่ารูป Lena, Barb, Pepper และ Baboon ส่วนใหญ่นั้นใช้ Type-W ตัวสุดท้ายที่ระนาบบิตที่ 9 และในระนาบบิตถัดไปจึงได้เปลี่ยนเป็น Type-B

ตารางที่ 18 สรุปการเปลี่ยนแปลงการใช้อัลกอริทึมในแต่ละรูปภาพว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งแบนด์ย่อย (Subband) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด (Optimum) ต่อการเปลี่ยนแปลงตามการนำเสนอ (Proposed)

แบนด์ย่อย	เปลี่ยนแปลงที่บีตที่ (เลือกแบบ Optimum)				จากอัลกอริทึมเลือก เปลี่ยนแปลงที่ระนาบบีต
	Lena	Barb	Peppers	Baboon	
1	1	1	2	2	2
2	2	2	3	4	
3	5	4	4	4	4
4	4	4	4	4	
5	4	4	5	4	
6	6	6	6	5	6
7	7	6	6	6	
8	8	7	7	6	
9	10	7	8	6	10
10	10	8	8	6	
11	10	8	9	7	
12	10	8	9	7	
13	10	10	10	7	
14	10	10	10	8	
15	10	10	10	8	
16	10	10	9	8	

จากผลของการเลือกค่าที่เหมาะสมของภาพทั้ง 4 ภาพ คือ Lena, Barb, Peppers และ Baboon นั้นสามารถสรุปการเปลี่ยนกลุ่มการเลือก ได้ว่า กลุ่มแรกมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบีตที่ 2 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 1 และ 2 กลุ่มที่สองมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบีตที่ 4 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 3, 4 และ 5 กลุ่มที่สามเปลี่ยนแปลงในระนาบบีตที่ 6 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 6, 7 และ 8 และต่อมาในกลุ่มสุดท้ายนั้นมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบีตที่ 10 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 9 ถึงแบนด์ย่อยสุดท้าย

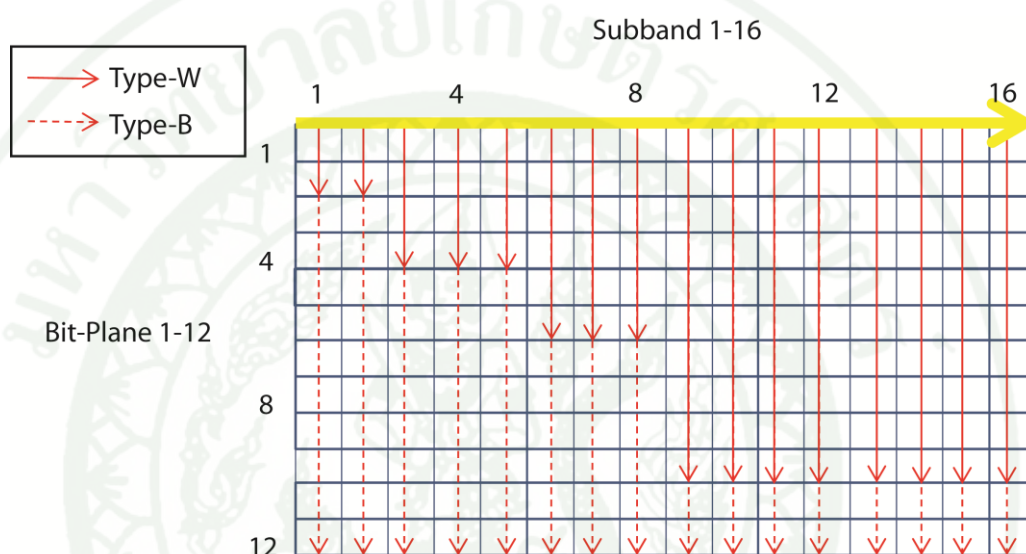
และข้อสังเกตเมื่อทำกระบวนการบีบอัดรูปภาพเสร็จสิ้นแล้วนั้นพบว่า Baboon นั้น มีอัตรา
การเปลี่ยนแปลงวิธีการเข้ารหัสจาก Type-W สู่ Type-B ที่แตกต่างจากรูปภาพอื่นๆมาก เมื่อมีการ
วิเคราะห์ในภายหลังจึงพบว่า ความแตกต่างนั้นเกิดจากการที่ ‘ภาพ Baboon นั้นมีลักษณะเป็นภาพที่
มีข้อมูลหนาแน่นกว่ากลุ่มภาพอื่นๆ’ คือ Lena Barb และ Peppers ทำให้เมื่อมีการจัดกลุ่มเพื่อเขียน
อัลกอริทึมการเปลี่ยนกลุ่มการใช้อัลกอริทึมแล้ว ภาพ Baboon ได้ผลลัพธ์ออกมาที่แตกต่างและด้อย
ประสิทธิภาพกว่าภาพอื่นๆ

จึงพบว่าการกรองสัญญาณภาพก่อนการเข้าสู่กระบวนการเข้ารหัสข้อมูลนั้นจะได้ผลลัพธ์ที่
ดีกว่าหากมีการแบ่งกลุ่มการเข้ารหัสรูปภาพตามลักษณะขนาดของข้อมูลรูปภาพด้วย ตัวกรอง
ความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter) และ ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass Filter)

และนอกจากนั้นสังเกตได้อีกว่าที่ระนาบบิตแรกของแบนด์ย่อยหลังๆนั้นมักไม่เหลือ
สัมประสิทธิ์อยู่แล้ว หากสามารถเริ่มต้นการเข้ารหัสรูปภาพได้ที่ระนาบบิตแรกที่มีสัมประสิทธิ์ใน
แต่ละแบนด์ย่อยแล้วนั้น จะสามารถลดทอนเวลาที่ใช้ในการบีบอัดได้สูงขึ้น

2. วิธีการปรับปรุงการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง WDR (Wavelet Difference Reduction) และ Simple Bit-Plane ตามวิธี Hybrid-2

จากวิธี Hybrid-1 มีการอธิบายวิธีเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเข้ารหัสของการแปลงเวฟเลตที่ 5 ชั้น โดยมีการสนใจทั้งหมด 4 กลุ่มหลักๆ ดังภาพที่ 10

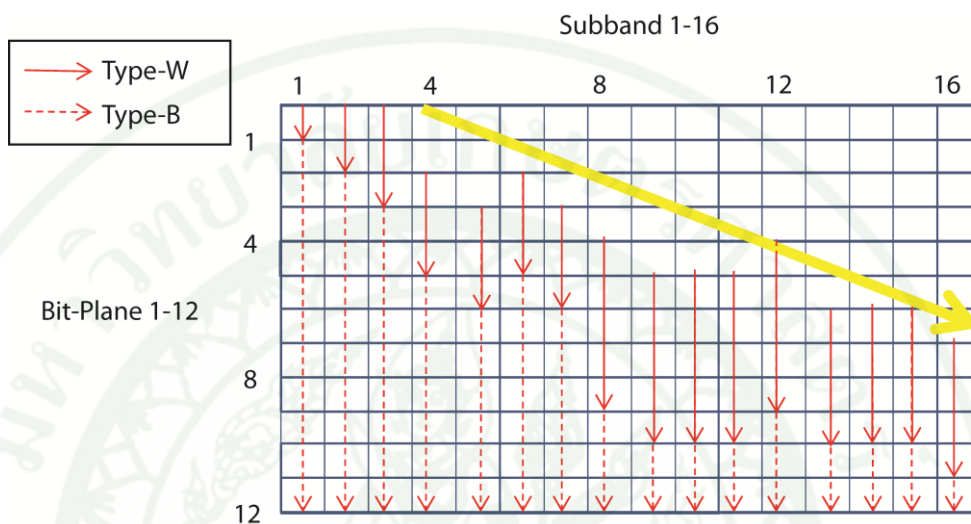


ภาพที่ 10 การเข้ารหัสและการเลือกเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสของวิธี Hybrid-1

จากภาพที่ 10 นั้นแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้วิธีการเข้ารหัสของรูปภาพนั้น ในระนาบบิตแรกๆของในแต่ละแบนด์ย่อย นั้นเลือกใช้ Type-W (หรือเส้นทึบที่แสดงในรูปภาพ) ก่อนเสมอ แล้วจึงเปลี่ยนมาใช้ Type-B (เส้นประ) ไปจนถึงระนาบบิตสุดท้ายโดยที่ไม่เปลี่ยนกลับมาใช้ Type-W อีกแล้ว ซึ่งจากภาพที่ 10 นั้นจะเห็นได้ว่าการเรียกใช้ Type-W ตั้งแต่ระนาบบิตแรกที่มีในแบนด์ย่อยโดยไม่สนใจเลยว่าในระนาบบิตดังกล่าวจะเหลือสัมประสิทธิ์หรือไม่ก็ตาม

และผลการเข้ารหัสดังตารางที่ 18 นั้นยังมีบางภาพที่เมื่อผ่านการบีบอัด และจัดเก็บอัตรา การเข้ารหัสแล้วผลของการเลือกค่าที่เหมาะสมและอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัยยังขัดแย้งกันอยู่ มาก จึงมีการคิดนำหาวิธีต่างๆเข้ามาทั้งใช้วิธีเข้ารหัสตัวใหม่คือ run-length entropy มาช่วยในการ บีบอัดข้อมูล แต่ผลที่ได้ก็ยังไม่ดีเท่ากับ Hybrid-1 อยู่ และที่สำคัญใช้เวลาในการเข้ารหัสนานขึ้น มาก

จึงทำการพิจารณาปรับปรุง Hybrid-1 ใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยนำรูปภาพมาทำการเข้ารหัส และสังเกตการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง ซึ่งในครั้งนี้จะสังเกตเฉพาะระนาบบิตที่ยังเหลือสัมประสิทธิ์เท่านั้นเพื่อทำการเข้ารหัสในการเขียนโปรแกรมตามวิธีที่ได้ปรับปรุงขึ้นมาดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเข้ารหัสและการเลือกเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสของวิธีที่ปรับปรุง หรือ Hybrid-2

จากภาพที่ 11 นั้นแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้วิธีการเข้ารหัสของรูปภาพนั้น ในระนาบบิตแรกของแบนด์ย่อยหลังๆนั้นไม่มีการเรียกใช้วิธีใดใด และไม่เข้าไปสนใจเข้ารหัสต่อระนาบบิตเหล่านั้นเลย เพราะว่ระนาบบิตแรกของแบนด์ย่อยหลังๆนั้นจะไม่เหลือสัมประสิทธิ์อยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องใช้เวลาในการเข้ารหัส และในการเข้ารหัสรูปภาพนั้นเลือกใช้ Type-W (หรือเส้นทึบที่แสดงในรูปภาพ) ก่อนเสมอ ที่ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ แล้วจึงเปลี่ยนมาใช้ Type-B (เส้นประ) ไปจนถึงระนาบบิตสุดท้ายโดยที่ไม่เปลี่ยนกลับมาใช้ Type-W อีกแล้ว

โดยได้นำเสนอเป็นวิธีชื่อ Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction หรือ Hybrid-2 และได้อธิบายวิธีเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเข้ารหัสของการแปลงเวฟเลตที่ 5 ชั้น ดังต่อไปนี้

Subband 1: Type-W for the first Bit-Plane

Subband 2: Type-W for the first 2 Bit-Planes

Subband 3-7: Type-W for the first 3 Bit-Planes

Subband 8-12: Type-W for the first 5 Bit-Planes

Subband 13-last: Type-W for the first 4 Bit-Planes

งานวิจัยดังกล่าวเป็นการเลือกใช้กระบวนการการบีบอัดรูปภาพร่วมกันระหว่าง Type-W และ Type-B โดยใช้จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญตัวแรกที่เจอจนถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไปมาตัดสินใจในการเลือกที่จะใช้ Type-W หรือ Type-B ในการเข้ารหัสเพื่อให้มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพน้อยที่สุดในแต่ละระนาบบิตของแบนด์ย่อยที่ได้มาจากการแปลงเวฟเลตที่ 5 ชั้น โดยวิธีนี้แตกต่างจากวิธีแรก คือ วิธีนี้สนใจระนาบบิตแต่ละระนาบบิตที่มีสัมประสิทธิ์เหลือเท่านั้น จากอัลกอริทึมด้านบนนั้นได้มาจากการสังเกตภาพ Lena, Barb, Peppers และ Baboon ที่ขนาด 512x512 จุดภาพ (Pixels) ในทุกๆแบนด์ย่อย ทั้ง 16 แบนด์ย่อย

โดยการทำงานนั้นจะใช้ Type-W ก่อน Type-B เสมอในการใช้งานอัลกอริทึมนี้ เพราะตามตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่า Type-W มีข้อดีที่เมื่อภาพมีสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันมากๆกระบวนการนี้ จะมีการเก็บบิตต่อภาพที่น้อยลง ทำให้ Type-W มีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการเก็บข้อมูลของการเข้ารหัสมากทำให้มีการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพลดลง ในขณะที่ Type-B นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพต่อเมื่อภาพมีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญไม่มาก คือ มีค่าสัมประสิทธิ์กระจุกตัวอยู่ใกล้กันมากเท่านั้นเมื่อผ่านกระบวนการ Type-B แล้วจะได้ผลลัพธ์ว่าการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพนั้นใช้ในการเข้ารหัสน้อยกว่ากระบวนการ Type-W

จากการสังเกตรูป Lena, Barb, Peppers และ Baboon ขนาด 512 x 512 จุดภาพ ที่ผ่านการ decomposition ที่ Level 5 ที่ทุกๆ แบนด์ย่อย ในทุกๆระนาบบิตนั้น จะมีการหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อหาค่า average หรือค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างบิตออกมาแล้วต่อมาจึง

1. หาค่า Type-W สำหรับทุกๆ ระบายบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระบายบิตจากการแปลงเวฟเล็ด 5 ชั้น

2. หาค่า Type-B สำหรับทุกๆ ระบายบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระบายบิตจากการแปลงเวฟเล็ด 5 ชั้น

3. หาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกๆ ระบายบิต ซึ่งรูปหนึ่งมีทั้งสิ้น 12 ระบายบิตจากการแปลงเวฟเล็ด 5 ชั้น โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้คือการเลือกค่าเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดระหว่าง Type-W และ Type-B มาใช้เพื่อเปรียบเทียบค่ากับค่าที่จะได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวที่ยกมาไว้เพื่อคัดคุณภาพ

โดยที่ค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นการเลือกเฉพาะค่าที่น้อยที่สุดจากการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าจาก Type-W และ Type-B โดยไม่มีอัลกอริทึมใดใดมารองรับ คือสามารถเปลี่ยนวิธีการใช้งานกลับไปกลับมาจาก Type-W เป็น Type-B แล้วจะกลับมาใช้ Type-W อีกครั้งก็ได้

4. หาค่าจากการค้นคว้า คือ เป็นค่าที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมนี้จะเป็นค่าที่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดมากที่สุด และคุณภาพของการเลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุดด้วยค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น และการเลือกใช้วิธีการจะไม่ทำการเลือกสลับไปสลับมา ในขั้นแรกจะใช้ Type-W ในการเข้ารหัสเพื่อเก็บอัตราในบิตอัตราภาพ ต่อมาจึงเปลี่ยนไปใช้ Type-B ในการเข้ารหัสเพื่อเก็บอัตราในการเข้ารหัสรูปภาพในระบายบิตที่เหมาะสม และไม่มีการเปลี่ยนกลับมาใช้ Type-W อีก

การสังเกตรูปนั้นมาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่า 2 กลุ่มใหญ่ในแต่ละแบนด์ย่อย ได้แก่ ค่าของอัตราในการบิตอัตราภาพจาก Type-W, Type-B และค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นได้มาจากการทำการเปรียบเทียบค่าระหว่าง Type-W และ Type-B ในทุกๆ ระบายบิตของแบนด์ย่อย คือ เมื่อหาค่า Type-W และ Type-B ในทุกๆ ระบายบิต แล้วก็นำมาเลือกค่าที่น้อยที่สุดในทุกๆ ระบายบิต (12 ระบายบิต) มาเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

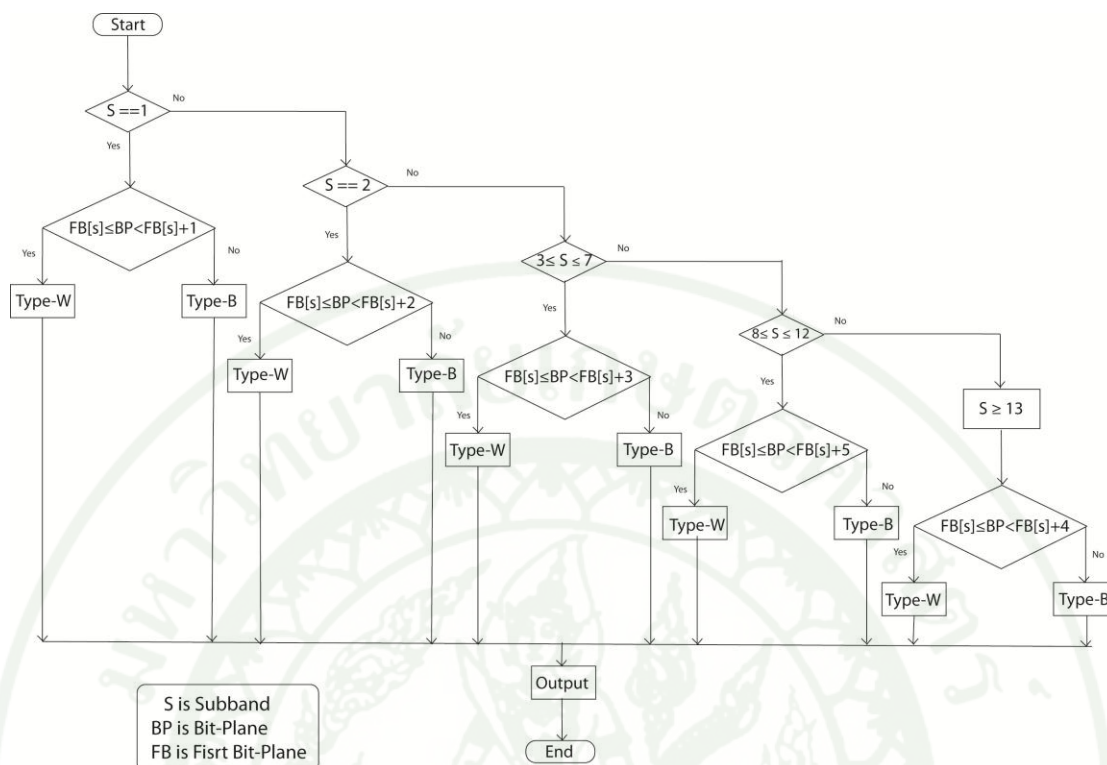
1	2	4	5
2	3		
3		4	
6		6	

ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่างเลขตำแหน่งระนาบบิตแรกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในแบนด์ย่อย

โดยการเข้ารหัสรูปภาพตามวิธี Hybrid-2 นั้นมีการสนใจการจัดเก็บตำแหน่งของระนาบบิตแรกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในแบนด์ย่อยเป็น Array คือ เมื่อมีการพบค่าสัมประสิทธิ์ตัวแรกในแบนด์ย่อยใดใด จะนำค่าของระนาบบิตแรกนั้นมาจัดเก็บในรูปแบบของ Array เพื่อเรียกใช้งานในกระบวนการการเข้ารหัสรูปภาพต่อไป ดังนี้

First Bit-Plane [no. of Subband] หรือ FB [S]

โดยจากภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ของระนาบบิตในแต่ละแบนด์ย่อย โดยเมื่อเขียนแทนลงไปในรูปแบบ Array แล้วจะได้คำว่า $FB = [1\ 2\ \dots\ 6]$ โดยจะมีการเรียกใช้ในขั้นต่อไปของการเข้ารหัสรูปภาพตามภาพที่ 8 และมีการเข้ารหัส Hybrid-2 ตาม ภาพที่ 13 ดังนี้



ภาพที่ 13 แสดงการเลือกใช้เทคนิคตามวิธี Hybrid-2

ภาพที่ 13 เป็นการอธิบายการเข้ารหัสของ Hybrid-2 คือ เมื่อแบนด์ย่อยเท่ากับ 1 จะทำการตรวจเช็คว่ารณานบิตแรกมีค่าเท่าใดจาก Array แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมา + 1 แล้วจึงเข้ารหัสที่รณานบิตแรกที่เจอสัมพันธ์ด้วย Type-W ไปจนกว่ารณานบิตมีค่าเท่ากับค่าดังกล่าว เมื่อพิจารณาที่รณานบิตต่อไปที่มีค่ามากกว่าค่า Array + 1 แล้วนั้นจะทำการเข้ารหัสที่รณานบิตดังกล่าวด้วย Type-B ต่อไปเรื่อยๆจนถึงรณานบิตสุดท้าย

พิจารณาต่อมาเมื่อแบนด์ย่อยไม่เท่ากับ 1 แล้วนั้นก็เข้าสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การตรวจเช็คที่แบนด์ย่อยมีค่าเท่ากับ 2 หรือไม่ ถ้าใช่เมื่อแบนด์ย่อยเท่ากับ 2 จะทำการตรวจเช็คอีกกว่ารณานบิตแรกมีค่าเท่าใดจาก Array แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมา + 2 แล้วจึงเข้ารหัสที่รณานบิตแรกที่เจอสัมพันธ์ด้วย Type-W

"แล้วเมื่อได้ค่าออกมาทำการเช็คว่าเป็นบิตเพลนสุดท้ายหรือไม่หากใช่ให้จบกระบวนการเข้ารหัสได้เลย แต่หากไม่ใช่จะนำค่า n มาลบออก 1 ค่าแล้วจึงเข้าสู่การตรวจเช็คต่อไป "

การตรวจเช็คนี้จะเข้าสู่แบนด์ย่อยเดิมไปจนกว่าระนาบบิตมีค่าเท่ากับค่า Array + 2 เมื่อพิจารณาที่ระนาบบิตต่อไปที่มีค่ามากกว่าค่า Array + 2 แล้วนั้นจะทำการเข้ารหัสที่ระนาบบิตดังกล่าวด้วย Type – B ต่อไปเรื่อยๆจนถึงระนาบบิตสุดท้าย

ต่อมาพิจารณาว่าเมื่อแบนด์ย่อยไม่เท่ากับ 1 และ 2 ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การตรวจเช็คค่าแบนด์ย่อยมีค่าตั้งแต่ 3 ไปจนถึง 7 หรือไม่ ถ้าใช่ จะทำการตรวจเช็คอีกกว่าระนาบบิตแรกมีค่าเท่าใดจาก Array แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมา + 3 แล้วจึงเข้ารหัสที่ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ด้วย Type-W ไปจนกว่าระนาบบิตมีค่าเท่ากับค่าดังกล่าว เมื่อพิจารณาที่ระนาบบิตต่อไปที่มีค่ามากกว่าค่า Array + 3 แล้วนั้นจะทำการเข้ารหัสที่ระนาบบิตดังกล่าวด้วย Type – B ต่อไปเรื่อยๆจนถึงระนาบบิตสุดท้าย

ต่อมาพิจารณาว่าเมื่อแบนด์ย่อยไม่เท่ากับ 1 ไปจนถึง 7 ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การตรวจเช็คค่าแบนด์ย่อยมีค่าตั้งแต่ 8 ไปจนถึง 12 หรือไม่ ถ้าใช่ จะทำการตรวจเช็คอีกกว่าระนาบบิตแรกมีค่าเท่าใดจาก Array แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมา + 5 แล้วจึงเข้ารหัสที่ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ด้วย Type-W ไปจนกว่าระนาบบิตมีค่าเท่ากับค่าดังกล่าว เมื่อพิจารณาที่ระนาบบิตต่อไปที่มีค่ามากกว่าค่า Array + 5 แล้วนั้นจะทำการเข้ารหัสที่ระนาบบิตดังกล่าวด้วย Type – B ต่อไปเรื่อยๆจนถึงระนาบบิตสุดท้าย

และเมื่อแบนด์ย่อยที่เหลือจากการตรวจเช็คนั้นจะเป็นแบนด์ย่อยที่มีค่าเท่ากับ 13 นั้นจะทำการตรวจเช็คอีกกว่าระนาบบิตแรกมีค่าเท่าใดจาก Array แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมา + 4 แล้วจึงเข้ารหัสที่ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ด้วย Type-W ไปจนกว่าระนาบบิตมีค่าเท่ากับค่าดังกล่าว เมื่อพิจารณาที่ระนาบบิตต่อไปที่มีค่ามากกว่าค่า Array + 4 แล้วนั้นจะทำการเข้ารหัสที่ระนาบบิตดังกล่าวด้วย Type – B ต่อไปเรื่อยๆจนถึงระนาบบิตสุดท้าย

เมื่อมีการตรวจเช็คแล้วพบว่าไม่ตรงกับแบนด์ย่อยใดใด และบิตเพอร์ไมทแล้วก็จะเป็นการจบกระบวนการในที่สุด

โดยการคิดอัลกอริทึมของการค้นคว้านั้นต้องทำให้ค่าทั้งหมดเข้าใกล้กับค่าที่เหมาะสมที่สุดให้มากที่สุด ยกตัวอย่างการเปรียบเทียบในแบนด์ย่อย 1 ตามอัลกอริทึมของกลุ่มแรกใน Hybrid-2 ที่บอกว่า Subband 1: Type-W for the first Bit-Plane คือ ใช้เทคนิค WDR (Type-W) สำหรับระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ แล้วระนาบบิตต่อไปจะใช้ Simple Bit-Plane (Type-B) ในการเข้ารหัสจนถึงระนาบบิตสุดท้ายที่มีสัมประสิทธิ์ในระนาบบิตนั้น

ตารางที่ 19 แสดงผลการใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพตามวิธี Hybrid-2 ใน แบนด์ย่อย 1 โดยแสดงค่าที่คิดได้ในแต่ละกระบวนการ ได้แก่กระบวนการ Type-W ในทุกๆระนาบบิต และ Type-B ในทุกๆระนาบบิต ต่อมาจึงเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าอัตราในการบีบอัดรูปภาพของ Type-W และ Type-B เลือกเฉพาะค่าที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้มาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการค้นคว้าต่อไป ดังแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 19 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	30	7.53	240	240	286	286	240	240	240	240
10	67	2.37	402	642	293	579	293	533	293	533
9	62	1.56	248	890	221	800	221	754	221	754
8	44	1.20	176	1066	141	941	141	895	141	895
7	19	1.78	76	1142	72	1013	72	967	72	967
6	10	2.4	60	1202	44	1057	44	1011	44	1011
5	10	1.4	40	1242	34	1091	34	1045	34	1045
4	7	1	28	1270	21	1112	21	1066	21	1066
3	3	1.33	12	1282	10	1122	10	1076	10	1076
2	2	1	8	1290	6	1128	6	1082	6	1082
1	0	0	0	1290	0	1128	0	1082	0	1082

ตารางที่ 20 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบขีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	36	6.11	288	288	292	292	288	288	288	288
10	97	1.26	388	676	317	609	317	605	317	605
9	62	0.98	248	924	185	794	185	790	185	790
8	34	0.79	136	1060	95	889	95	885	95	885
7	16	0.68	64	1124	43	932	43	928	43	928
6	4	1.75	16	1140	15	947	15	943	15	943
5	3	1.33	12	1152	10	957	10	953	10	953
4	1	3	6	1158	5	962	5	958	5	958
3	1	2	4	1162	4	966	4	962	4	962
2	1	1	4	1166	3	969	3	965	3	965
1	1	0	2	1168	2	971	2	967	0	965
0	0	0	0	1168	0	971	0	967	0	965

ตารางที่ 21 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบขีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	35	6.31	280	280	291	291	280	280	280	280
10	87	1.54	348	628	308	599	308	588	308	588
9	74	0.81	296	924	208	807	208	796	208	796
8	34	0.76	136	1060	94	901	94	890	94	890
7	9	1.88	36	1096	35	936	35	925	35	925
6	7	1.42	28	1124	24	960	24	949	24	989
5	2	4	12	1136	12	972	12	961	12	961
4	5	0.6	20	1156	13	985	13	974	13	974
3	3	0	6	1162	6	991	6	980	6	980
2	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	980
1	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	980
0	0	0	0	1162	0	991	0	980	0	980

ตารางที่ 22 แสดงค่าเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 1 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	87	1.94	348	348	343	343	343	343	348	348
10	116	0.45	464	812	285	628	285	628	285	633
9	27	0.96	108	920	80	708	80	708	80	713
8	16	0.625	64	984	42	750	42	750	42	755
7	3	2.33	18	1002	13	763	13	763	13	768
6	3	1.33	12	1014	10	773	10	773	10	778
5	2	1	8	1022	6	779	6	779	6	784
4	2	0	4	1026	4	783	4	783	4	788
3	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	788
2	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	788
1	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	788
0	0	0	0	1026	0	783	0	783	0	788

จากตารางที่ 19 – 22 แสดงให้เห็นว่าในแบนด์ย่อยแรกนี้ จะใช้ Type-W สำหรับระนาบิตแรกเท่านั้นและจากนั้นที่ระนาบิตถัดไปเลือกใช้ Type-B จนถึงระนาบิตสุดท้ายในแบนด์ย่อย กระบวนการนี้เป็นกระบวนการวัดผลโดยเลือกกระบวนการบีบอัดรูปภาพที่เหมาะสมระหว่าง Type-W และ Type-B เพื่อใช้ร่วมกันในการบีบอัดรูปภาพตามอัลกอริทึม

ในแบนด์ย่อยที่ 1 นี้จะใช้ Type-W เพียงแค่ระนาบิตเดียวเท่านั้น คือระนาบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ และหลังจากนั้นในระนาบิตถัดไปจนถึงระนาบิตสุดท้ายที่เจอสัมประสิทธิ์ กระบวนการนี้นับเป็นกระบวนการวัดผลโดยเลือกกระบวนการที่เหมาะสมระหว่าง Type-W และ Type-B เพื่อใช้ร่วมกันตามอัลกอริทึมที่นำเสนอ

ต่อมาตารางที่ 23 เป็นตารางแสดงอัตราในการบีบอัดรูปภาพตามวิธี Hybrid-2 ในแบนด์ย่อยที่ 2 โดยแสดงค่าที่คิดได้ในแต่ละกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการ Type-W ในทุกๆ ระบายบิต และ Type-B ในทุกๆ ระบายบิต ต่อมาจึงเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราในการบีบอัดรูปภาพของ Type-W และ Type-B เลือกเฉพาะค่าที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้มาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการค้นคว้าต่อไป ดังแสดงในตารางข้างล่าง

โดยการคิดอัลกอริทึมการเปรียบเทียบในแบนด์ย่อย 2 ตามอัลกอริทึมของกลุ่มต่อมาใน Hybrid-2 ที่บอกว่า Subband 2: Type-W for the first 2 Bit-Planes คือ ใช้ Type-W สำหรับสองระบายบิตแรกที่มีสัมประสิทธิ์ แล้วระบายบิตต่อไปจะใช้ Type-B ในการเข้ารหัสจนถึงระบายบิตสุดท้ายที่มีสัมประสิทธิ์ในระบายบิตนั้น

ตารางที่ 23 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2

ระบายบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	31	96	96	264	264	96	96	96	96
9	57	3.35	342	438	305	569	305	401	305	401
8	47	3.06	282	720	238	807	238	639	238	639
7	37	2.89	222	942	181	988	181	820	181	820
6	41	1.60	164	1106	148	1136	148	968	148	968
5	26	1.53	104	1210	92	1228	92	1060	92	1060
4	20	1	80	1290	60	1288	60	1120	60	1120
3	13	0.53	52	1342	33	1321	33	1153	33	1153
2	2	2.5	12	1354	9	1330	9	1162	9	1162
1	2	1.5	8	1362	7	1337	7	1169	7	1169
0	2	0.5	8	1370	5	1342	5	1174	5	1174

ตารางที่ 24 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	16.06	150	150	271	271	150	150	150	150
9	48	4.02	288	438	289	560	288	438	289	439
8	59	2.27	354	792	252	812	252	690	252	691
7	51	1.62	204	996	185	997	185	875	185	876
6	36	1.30	144	1140	119	1116	119	994	119	995
5	23	1.04	92	1232	70	1186	70	1064	70	1065
4	14	0.71	56	1288	38	1224	38	1102	38	1103
3	9	0.11	36	1324	19	1243	19	1121	19	1122
2	0	0	0	1324	0	1243	0	1121	0	1122
1	1	0	2	1326	2	1245	2	1123	2	1124
0	0	0	0	1326	0	1245	0	1123	0	1124

ตารางที่ 25 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	14	17.28	140	140	270	270	140	140	140	140
9	39	5.20	234	374	281	551	234	374	281	421
8	52	2.90	312	686	255	806	255	629	255	676
7	53	1.84	212	898	204	1010	204	833	204	880
6	47	1.08	188	1086	145	1155	145	978	145	1025
5	23	1.21	92	1178	74	1229	74	1052	74	1099
4	11	1.54	44	1222	39	1268	39	1091	39	1138
3	9	0.88	36	1258	26	1294	26	1117	26	1164
2	8	0	16	1274	16	1310	16	1133	16	1180
1	0	0	0	1274	0	1310	0	1133	0	1180
0	0	0	0	1274	0	1310	0	1133	0	1180

ตารางที่ 26 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 2 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	35.57	84	84	263	263	84	84	263	263
8	34	6.32	272	356	283	546	272	356	283	546
7	64	2.35	384	740	279	825	279	635	279	825
6	62	1.43	248	988	213	1038	213	848	213	1038
5	46	0.93	184	1172	135	1173	135	983	135	1173
4	19	1.26	76	1248	62	1235	62	1045	62	1235
3	9	1.66	36	1284	33	1268	33	1078	33	1268
2	8	0.87	32	1316	23	1291	23	1101	23	1291
1	4	0.75	16	1332	11	1302	11	1112	11	1302
0	3	0	6	1338	6	1308	6	1118	6	1308

จากตารางที่ 23 – 26 แสดงให้เห็นว่าในแบนด์ย่อย ที่ 2 นี้ จะใช้ Type-W สำหรับระนาบบิตที่ 1 ถึง 2 และจากนั้นที่ระนาบบิตถัดไปเลือกใช้ Type-B จนถึงระนาบบิตสุดท้ายในแบนด์ย่อย กระบวนการนี้เป็นกระบวนการวัดผลโดยเลือกกระบวนการบีบอัดรูปภาพที่เหมาะสมระหว่าง Type-W และ Type-B เพื่อใช้ร่วมกันในการบีบอัดรูปภาพตามอัลกอริทึม

ต่อมาเป็นตารางแสดงผลการเปรียบเทียบอัตราใช้อัตราในการบีบอัดรูปภาพ ในกระบวนการ Type-W, Type-B และการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด ในแบนด์ย่อยที่ 3-7

โดยการคิดอัลกอริทึมการเปรียบเทียบในแบนด์ย่อย 3 - 7 ตามอัลกอริทึมของกลุ่มต่อมาใน Hybrid-2 ที่บอกว่า Subband 3-7: Type-W for the first 3 Bit-Planes คือ ตามวิธี Hybrid-2 นั้นจะได้ว่า การใช้กระบวนการ Type-W เหมาะสมสำหรับ 3 ระนาบบิตแรก และระนาบบิตถัดไปจนถึงระนาบบิตสุดท้ายจึงเลือกใช้ Type-B ดังตารางแสดงแบนด์ย่อยที่ 3, 4 และแบนด์ย่อยที่ 7 ของภาพ Lena, Baboon, Barb และ Peppers ดังนี้

ตารางที่ 27 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	41.66	72	72	262	262	72	72	72	72
8	32	6.81	256	328	282	544	256	328	256	328
7	36	5.05	216	544	254	798	216	544	216	544
6	61	1.98	244	788	243	1041	243	787	243	787
5	48	1.52	192	980	169	1210	169	956	169	956
4	36	1.02	144	1124	109	1319	109	1065	109	1065
3	20	0.85	80	1204	57	1376	57	1122	57	1122
2	9	0.88	36	1240	26	1402	26	1148	26	1148
1	4	1	16	1256	12	1414	12	1160	12	1160
0	4	0	8	1264	8	1422	8	1168	8	1168

ตารางที่ 28 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	5	50.2	60	60	261	261	60	60	60	60
9	25	9.04	200	260	276	537	200	260	200	260
8	41	4.51	246	506	267	804	246	506	246	506
7	58	2.18	348	854	243	1047	243	749	243	749
6	46	1.76	184	1038	173	1220	173	922	173	922
5	36	1.25	144	1182	117	1337	117	1039	117	1039
4	21	1.14	84	1266	66	1403	66	1105	66	1105
3	8	2	32	1298	32	1435	32	1137	32	1137
2	6	1.66	24	1322	22	1457	22	1159	22	1159
1	1	9	8	1330	11	1468	8	1167	8	1167
0	4	1.25	16	1346	13	1481	13	1180	13	1180

ตารางที่ 29 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	1	255	18	18	257	257	18	18	18	18
10	7	35.42	84	102	262	519	84	102	84	102
9	26	8.53	208	310	274	793	208	310	208	310
8	37	5	222	532	259	1052	222	532	259	569
7	54	2.42	324	856	239	1291	239	771	239	808
6	53	1.47	212	1068	184	1475	184	955	184	992
5	28	1.78	112	1180	106	1581	106	1061	106	1098
4	25	1	100	1280	75	1656	75	1136	75	1173
3	16	0.56	64	1344	41	1697	41	1177	41	1214
2	5	0.8	20	1364	14	1711	14	1191	14	1228
1	3	0.33	12	1376	7	1718	7	1198	7	1235
0	0	0	0	1376	0	1718	0	1198	0	1235

ตารางที่ 30 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 3 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปีด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4	63	56	56	260	260	56	56	56	56
8	32	6.875	256	312	284	544	256	312	256	312
7	46	3.78	276	588	266	810	266	578	276	588
6	46	2.78	276	864	220	1030	220	798	220	808
5	46	1.78	184	1048	174	1204	174	972	174	982
4	29	1.82	116	1164	111	1315	111	1083	111	1093
3	31	0.70	124	1288	84	1399	84	1167	84	1177
2	12	0.83	48	1336	34	1433	34	1201	34	1211
1	3	2.33	18	1354	13	1446	13	1214	13	1224
0	5	0.4	20	1374	12	1458	12	1226	12	1236

ตารางที่ 31 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	255	18	18	257	257	18	18	18	18
9	11	22.18	110	128	266	523	110	128	110	128
8	38	5.42	228	356	282	805	228	356	228	356
7	43	3.79	258	614	249	1054	249	605	249	605
6	35	3.65	210	824	198	1252	198	803	198	803
5	39	2.28	234	1058	167	1419	167	970	167	970
4	46	0.93	184	1242	135	1554	135	1105	135	1105
3	19	1.26	76	1318	62	1616	62	1167	62	1167
2	12	1	48	1366	36	1652	36	1203	36	1203
1	6	1	24	1390	18	1670	18	1221	18	1221
0	3	1	12	1402	9	1679	9	1230	9	1230

ตารางที่ 32 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	35.57	84	84	263	263	84	84	84	84
8	34	6.32	272	356	283	546	272	356	272	356
7	60	2.58	360	716	275	821	275	631	360	716
6	56	1.76	224	940	211	1032	211	842	211	927
5	35	1.82	140	1080	134	1166	134	976	134	1061
4	30	1.13	120	1200	94	1260	94	1070	94	1155
3	20	1	80	1280	54	1314	54	1124	54	1209
2	7	1	28	1308	21	1335	21	1145	21	1230
1	1	6	6	1314	8	1343	6	1151	8	1238
0	4	1	16	1330	10	1353	10	1161	10	1248

ตารางที่ 33 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Peppers ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	127	32	32	258	258	32	32	32	32
9	5	49.8	60	92	259	517	60	92	60	92
8	36	5.91	216	308	285	802	216	308	216	308
7	60	2.55	360	668	273	1075	273	581	273	581
6	57	1.68	228	896	210	1285	210	791	210	791
5	42	1.28	168	1064	138	1423	138	929	138	929
4	27	1	108	1172	81	1504	81	1010	81	1010
3	13	1.07	52	1224	40	1544	40	1050	40	1050
2	6	1.33	24	1248	20	1564	20	1070	20	1070
1	2	3	12	1260	10	1574	10	1080	10	1080
0	3	1	12	1272	9	1583	9	1089	9	1089

ตารางที่ 34 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 4 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	255	18	18	257	257	18	18	18	18
8	6	41.5	72	90	261	518	72	90	72	90
7	39	5.38	234	324	288	806	234	324	288	378
6	63	2.33	378	702	273	1079	273	597	273	651
5	58	1.53	232	934	205	1284	205	802	205	856
4	44	1.02	176	1110	133	1417	133	935	133	989
3	18	1.5	72	1182	63	1480	63	998	63	1052
2	15	0.8	60	1242	42	1522	42	1040	42	1094
1	6	1	24	1266	18	1540	18	1058	18	1112
0	1	5	6	1272	7	1547	6	1064	7	1119

โดยจากตารางที่ 27 - 34 (จากตารางนั้นได้ยกแบนด์ย่อยที่ 3 และ แบนด์ย่อยที่ 4 มาแสดง) เป็นตัวอย่างในการเลือกค่าที่เหมาะสมในช่วงเดียวกันนั้นคือ จากการเลือกในช่วงแบนด์ย่อยกลุ่มที่สาม คือ แบนด์ย่อยที่ 3 ถึงแบนด์ย่อยที่ 7 นี่คือการดูว่าค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงใดบ้าง และให้ยึดการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจาก Type-W สู่ Type-B เช่น

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 3, 4 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี่) ต่อมาที่แบนด์ย่อย 5 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 2 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 6 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 และที่แบนด์ย่อย 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 3, 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 4, 5 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 2 และที่แบนด์ย่อย 6 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 3, 5, 6, 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 และที่แบนด์ย่อย 4 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 3 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 2 และที่แบนด์ย่อย 4, 5, 6, 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3

โดยรวมแล้วทั้งรูป Lena, Barb, Peppers และ Baboon มีแนวโน้มการเปลี่ยนกระบวนการจาก Type-W เป็น Type-B ที่ระนาบบิตที่ 3 มากกว่าระนาบบิตอื่น จึงมีการสมมติฐานการใช้ อัลกอริทึมว่า “แบนด์ย่อย ที่ 3-7 ให้ใช้ Type-W สำหรับ 3 ระนาบบิตแรก”

ต่อมาจากกลุ่มถัดมาใน Hybrid-2 ที่บอกว่า Subband 8-12: Type-W for the first 5 Bit-Planes. คือ ใช้ Type-W สำหรับห้าระนาบบิตแรกที่มีสัมประสิทธิ์ แล้วระนาบบิตต่อไปจะใช้ Type-B ในการเข้ารหัสจนถึงระนาบบิตสุดท้ายที่มีสัมประสิทธิ์ในระนาบบิตนั้น ดังตารางตัวอย่างด้านล่างเพื่อเรียกใช้ในวิธี

ตารางที่ 35 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	27	150.70	432	432	4123	4123	432	432	432	432
7	217	17.75	2170	2602	4286	8409	2170	2602	2170	2602
6	396	8.72	3168	5770	4248	12657	3168	5770	3168	5770
5	545	5.34	3270	9040	4001	16658	3270	9040	3270	9040
4	577	4.04	3462	12502	3488	20146	3462	12502	3462	12502
3	647	2.60	3882	16384	2981	23127	2981	15483	2981	15483
2	675	1.49	2700	19084	2362	25489	2362	17845	2362	17845
1	510	0.98	2040	21124	1522	27011	1522	19367	1522	19367
0	257	0.95	1028	22152	759	27770	759	20126	759	20126

ตารางที่ 36 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	11	371.36	198	198	4107	4107	198	198	198	198
7	204	19.02	2040	2238	4289	8396	2040	2238	2040	2238
6	450	7.62	3600	5838	4331	12727	3600	5838	3600	5838
5	581	4.90	3486	9324	4012	16739	3486	9324	3486	9324
4	808	2.52	4848	14172	3658	20397	3658	12982	4848	14172
3	713	1.86	2852	17024	2755	23152	2755	15737	2755	16927
2	562	1.36	2248	19272	1891	25043	1891	17628	1891	18818
1	375	1.04	1500	20772	1142	26185	1142	18770	1142	19960
0	172	1.27	688	21460	564	26749	564	19334	564	20524

ตารางที่ 37 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	272.06	270	270	4111	4111	270	270	270	270
7	177	22.05	1770	2040	4258	8369	1770	2040	1770	2040
6	271	13.40	2168	4208	4175	12544	2168	4208	2168	4208
5	456	6.96	3648	7856	4089	16633	3648	7856	3648	7856
4	684	3.64	4104	11960	3861	20494	3861	11717	4104	11960
3	787	2.16	4722	16682	3280	23774	3280	14997	3280	15240
2	711	1.39	2844	19526	2417	26191	2417	17414	2417	17657
1	480	1.07	1920	21446	1475	27666	1475	18889	1475	19132
0	261	0.97	1044	22490	776	28442	776	19665	776	19908

ตารางที่ 38 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 8 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบปิด	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	2047	48	48	4098	4098	48	48	48	48
7	105	37.99	1260	1308	4199	8297	1260	1308	1260	1308
6	474	7.41	3792	5100	4463	12760	3792	5100	3792	5100
5	972	2.61	5832	10932	4487	17247	4487	9587	5832	10932
4	1009	1.52	4036	14968	3552	20799	3552	13139	4036	14968
3	687	1.23	2748	17716	2221	23020	2221	15360	2221	17189
2	411	1.06	1644	19360	1258	24278	1258	16618	1258	18447
1	207	1.10	828	20188	643	24921	643	17261	643	19090
0	118	0.94	472	20660	347	25268	347	17608	347	19437

ตารางที่ 39 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Lena ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	57	70.85	798	798	4153	4153	798	798	798	798
6	197	19.50	1970	2768	4236	8389	1970	2768	1970	2768
5	351	9.94	2808	5576	4193	12582	2808	5576	2808	5576
4	426	7.19	3408	8984	3917	16499	3408	8984	3408	8984
3	567	4.40	3402	12386	3632	20131	3402	12386	3402	12386
2	776	2.21	4656	17042	3274	23405	3274	15660	3274	15660
1	748	1.30	2992	20034	2470	25875	2470	18130	2470	18130
0	464	1.09	1856	21890	1438	27313	1438	19568	1438	19568

ตารางที่ 40 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Barb ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	16	255	288	288	4112	4112	288	288	288	288
7	42	96.14	588	876	4122	8234	588	876	588	876
6	120	32.65	1440	2316	4158	12392	1440	2316	1440	2316
5	388	9.09	3104	5420	4306	16698	3104	5420	3104	5420
4	576	5.12	3456	8876	4106	20804	3456	8876	3456	8876
3	774	2.81	4644	13520	3728	24532	3728	12604	3728	12604
2	795	1.74	3180	16700	2975	27507	2975	15579	2975	15579
1	585	1.36	2340	19040	1970	29477	1970	17549	1970	17549
0	396	1.02	1584	20624	1196	30673	1196	18745	1196	18745

ตารางที่ 41 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Pepper ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	4095	26	26	4097	4097	26	26	26	26
7	19	214.52	304	330	4114	8211	304	330	304	330
6	107	37.09	1284	1614	4183	12394	1284	1614	1284	1614
5	263	14.09	2630	4244	4232	16626	2630	4244	2630	4244
4	391	8.47	3128	7372	4097	20723	3128	7372	3128	7372
3	718	3.61	4308	11680	4033	24756	4033	11405	4033	11405
2	920	1.82	3680	15360	3517	28273	3517	14922	3517	14922
1	766	1.18	3064	18424	2443	30716	2443	17365	2443	17365
0	467	0.95	1868	20292	1378	32094	1378	18743	1378	18743

ตารางที่ 42 แสดงค่าการเปรียบเทียบจากรูปภาพ Baboon ที่แบนด์ย่อย 10 จากวิธี Hybrid-2

ระนาบบิต	สัมประสิทธิ์	average	Type-W		Type-B		ค่าที่เหมาะสมที่สุด		การค้นคว้า	
			ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม	ใช้	รวม
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	4095	26	26	4097	4097	26	26	26	26
7	40	101.37	560	586	4135	8232	560	586	560	586
6	343	10.82	2744	3330	4398	12630	2744	3330	2744	3330
5	862	3.30	5172	8502	4574	17204	4574	7904	5172	8502
4	951	1.99	3804	12306	3801	21005	3801	11705	3804	12306
3	793	1.39	3172	15478	2692	23697	2692	14397	2692	14998
2	508	1.17	2032	17510	1614	25311	1614	16011	1614	16612
1	288	1.07	1152	18662	886	26197	886	16897	886	17498
0	145	1.13	580	19242	455	26652	455	17352	455	17953

โดยจากตารางที่ 35 – 42 (จากตารางนั้น ได้ยกแบนด์ย่อยที่ 8 และแบนด์ย่อยที่ 10 ของภาพตัวอย่างทั้งสี่ภาพมาแสดง) เป็นตัวอย่างในการเลือกค่าที่เหมาะสมในช่วงเดียวกันนั้นคือ จากการเลือกในช่วงแบนด์ย่อยที่ 8 ถึงแบนด์ย่อยที่ 12 นี่คือการดูว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงใดบ้าง และให้ยึดการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจาก Type-W สู่ Type-B ดังนี้

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 6 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี้) ต่อมาที่แบนด์ย่อย 7, 8, 9, 10, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 และที่แบนด์ย่อย 11 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 6, 8, 9, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 7 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3 และที่แบนด์ย่อย 10, 11 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 6, 7, 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 และที่แบนด์ย่อย 10, 11, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3

จากภาพรวมข้างต้น รูป Lena, Barb, Pepper และ Baboon นั้นใช้ Type-W ตัวสุดท้ายที่ระนาบบิตที่ 3 และในระนาบบิตถัดไปจึงได้เปลี่ยนเป็น Type-B

ส่วนที่ 4 ของอัลกอริทึมนี้ ได้อธิบายว่า Subband 8 - 12 : Type-W for the first 5 Bit-Planes. คือได้อธิบายว่าสำหรับแบนด์ย่อยที่ 8 ถึงแบนด์ย่อยที่ 12 นั้นใช้ Type-W สำหรับการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพสำหรับ 5 ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์ คือ

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 8, 9, 10, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี้) ต่อมาที่แบนด์ย่อย 11 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 8, 9, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 10, 11 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 8 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6 และที่แบนด์ย่อย 10, 11, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 8, 9, 10, 11, 12 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3

เช่นเดียวกับในส่วนสุดท้ายของอัลกอริทึมที่บอกว่า Subband 13 - last : Type-W for the first 4 Bit-Planes. ก็ได้อธิบายไว้สำหรับแบนด์ย่อยที่ 13 ถึงแบนด์ย่อยสุดท้ายนั้นใช้ Type-W สำหรับการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพสำหรับ 4 ระนาบบิตแรกที่เจอสัมประสิทธิ์โดยในแบนด์ย่อยหลังๆนั้นจะเจอสัมประสิทธิ์ และจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญน้อยลงจึงทำให้การใช้ Type-W มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆและนำมาใช้มากขึ้น จากการศึกษาได้ผลดังนี้คือ

ในรูป Lena ที่แบนด์ย่อย 13, 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 (จะใช้ Type-W เป็นตัวสุดท้ายที่นี่) และที่แบนด์ย่อย 14 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5

ในรูป Barb ที่แบนด์ย่อย 13, 14 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 15 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 และที่แบนด์ย่อย 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6

ในรูป Peppers ที่แบนด์ย่อย 13 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 5 ต่อมาที่แบนด์ย่อย 14, 15 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 4 และที่แบนด์ย่อย 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 6

ในรูป Baboon ที่แบนด์ย่อย 13, 14, 15, 16 มีการเปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิตที่ 3 จากการสังเกตนั้น ได้สังเกตว่ารูป Lena, Barb, Pepper และ Baboon ส่วนใหญ่นั้นใช้ Type-W ตัวสุดท้ายที่ระนาบบิตที่ 4 และในระนาบบิตถัดไปจึงได้เปลี่ยนเป็น Type-B

ตารางที่ 43 สรุปการเปลี่ยนแปลงการใช้อัลกอริทึมในแต่ละรูปภาพว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งแบนด์ย่อย (Bit-Plane) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด (Optimum) ต่อการเปลี่ยนแปลงตามการนำเสนอ (Proposed) ตามวิธี Hybrid-2

แบนด์ย่อย	เปลี่ยนแปลงที่บิตที่ (เลือกแบบ Optimum)				จากอัลกอริทึมเลือก เปลี่ยนแปลงที่ระนาบบิต
	Lena	Barb	Peppers	Baboon	
1	1	1	1	0	1
2	1	2	2	2	2
3	3	3	4	2	
4	3	2	3	3	
5	2	2	5	3	3
6	4	4	4	3	
7	5	3	4	3	
8	5	4	4	3	
9	5	4	6	3	
10	5	5	5	3	5
11	6	5	5	3	
12	5	4	5	3	
13	4	5	5	3	
14	5	5	4	3	
15	4	4	4	3	4
16	4	6	3	3	

จากผลของการเลือกค่าที่เหมาะสมของภาพทั้ง 4 ภาพ คือ Lena, Barb, Peppers และ Baboon นั้นสามารถสรุปการเปลี่ยนกลุ่มการเลือก ได้ว่า กลุ่มแรกมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบิตที่ 1 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 1 กลุ่มที่สองมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบิตที่ 1 ถึง 2 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 1 กลุ่มที่สามมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบบิตที่ 1 ถึง 3 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 3 ถึง 7 กลุ่มที่สี่มีการ

เปลี่ยนแปลงในระนาบิตที่ 1 ถึง 5 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 8 ถึง 12 กลุ่มสุดท้ายมีการเปลี่ยนแปลงในระนาบิตที่ 1 ถึง 4 สำหรับแบนด์ย่อยที่ 13 ไปจนถึงแบนด์ย่อยสุดท้าย

โดยใน Hybrid-2 นี้แตกต่างจาก Hybrid-1 ที่ Hybrid-2 จะไม่สนใจระนาบิตที่ไม่มีสัมประสิทธิ์เหลืออยู่ในการนับระนาบิตเลย ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 10 และภาพที่ 11 ซึ่งเป็นการปรับปรุงการนับระนาบิตที่มีอยู่ก่อนเดิมแล้วได้ผลดีขึ้นกว่า Hybrid-1 มากจนเป็นที่น่าพึงพอใจ



ผล

1. ผลการทดลองกระบวนการบีบอัดผสมระหว่าง Simple Bit-Plane(Type-B) และ WDR Algorithm(Type-W) ตามเปเปอร์ A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression (Hybrid-1)

ผลการเลือกใช้กระบวนการอัลกอริทึมในแต่ละระนาบิต (Bit-Planes) นั้นมาจากการใช้อัลกอริทึมตามงานวิจัยชื่อ A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression ที่ต่อจากนี้จะเรียกว่า Hybrid-1 ซึ่งจะไม่มีการใช้ Entropy Coding ร่วมด้วย และการนับแบนด์ย่อย (Subband) เพื่อเขียนอัลกอริทึมนั้นจะนับทุกๆแบนด์ย่อยและทุกๆระนาบิต แม้ว่าในระนาบิตของแบนด์ย่อยเหล่านั้นจะไม่มีการเจอสัมประสิทธิ์แล้วก็ตาม

ซึ่งอัลกอริทึมตาม Hybrid-1 นั้น เป็นดังนี้

Subband 1-2: Type-W for the first 2 Bit-Planes

Subband 3-5: Type-W for the first 4 Bit-Planes

Subband 6-8: Type-W for the first 6 Bit-Planes

Subband 9-last: Type-W for the first 10 Bit-Planes

งานวิจัยดังกล่าวเป็นการเลือกใช้กระบวนการการบีบอัดรูปภาพร่วมกัน ระหว่าง Type-W และ Type-B นั้นใช้จำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Significant Pixels) ตัวแรกที่เจอ จนถึงสัมประสิทธิ์ตัวถัดไปมาตัดสินใจในการเลือกที่จะใช้ Type-W หรือ Type-B เพื่อเลือกใช้ในการแปลงเวฟเลตที่ 5 Levels ซึ่งตามงานวิจัยที่เขียนไปนั้นเรียก WDR Technique ว่า Type-W และเรียก Simple Bit-Plane ว่า Type-B จากอัลกอริทึมด้านบนนั้นได้มาจากการสังเกตภาพ Lena, Barb, Peppers และ Baboon ที่ขนาด 512 x 512 จุดภาพ (Pixels) ในทุกๆแบนด์ย่อยทั้ง 16 แบนด์ย่อย

ตารางที่ 44 แสดงการทำนายภาพ Lena และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง	
	Optimum ต่อ Proposed)		Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	9		1
2	1	10		
3	2	7	1	
4	3	8		
5	2	8		
6	4	6		
7	4	5	1	
8	3	4	2	
9	5	2		2
10	5	2		1
11	6	2		1
12	5	2		1
13	4	2		1
14	5	2		
15	4	2		
16	4	2		
58 + 77 = 132 (92.3%)		4 + 7 = 11 (7.69%)		

จากตารางที่ 44 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-1 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Lena ให้มีความถูกต้องได้ถึง 92.3% เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดที่มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุดหรือน้อยที่สุดโดยไม่มีแบบแผนและอัลกอริทึมในการเลือกใดใด

ตารางที่ 45 แสดงการทำนายภาพ Barb และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง	
	Optimum ต่อ Proposed)		Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	8		1
2	1	7	1	
3	3	7	1	
4	2	7	1	
5	2	8		
6	4	6		
7	3	6		
8	3	5	1	
9	4	2		3
10	5	2		2
11	5	2	1	1
12	4	2		2
13	5	2		1
14	5	2		1
15	4	2		
16	6	2		
57 + 70 = 127 (88.81%)		5 + 11 = 16 (11.18%)		

จากตารางที่ 47 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-1 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Barb ให้มีความถูกต้องได้ถึง 88.81% ซึ่งมีค่าดีกว่า Lena เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดที่มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราการในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุด หรือน้อยที่สุดโดยไม่มีแบบแผนและอัลกอริทึมในการเลือกใดใดแบบเดียวกับ Lena

ตารางที่ 46 แสดงการทำนายภาพ Peppers และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง	
	Optimum ต่อ Proposed)		Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	7		
2	1	7	1	
3	4	7		
4	3	8		
5	3	7	1	
6	4	6		
7	4	6		
8	3	5	1	
9	6	2		2
10	5	2		2
11	5	2		1
12	5	2		1
13	5	2		1
14	4	2		1
15	4	2		1
16	3	2		1
60 + 69 = 129 (90.2%)		3 + 11 = 14 (9.79%)		

จากตารางที่ 46 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-1 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Peppers ให้มีความถูกต้องได้ถึง 90.2% ซึ่งมีค่าดีกว่า Lena เล็กน้อย แต่ดีกว่าภาพ Barb เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดที่มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุด หรือน้อยที่สุดโดยไม่มีแบบแผนและอัลกอริทึมในการเลือกใดใดแบบเดียวกับ Lena และ Barb

ตารางที่ 47 แสดงการทำนายภาพ Baboon และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-1 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับเบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

เบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง	
	Optimum ต่อ Proposed)		Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1		6		2
2		8	2	
3	2	8		
4	2	6	2	
5	2	7	1	
6	3	6		1
7	3	6		
8	3	6		
9	3	2		4
10	3	2		4
11	3	2	1	2
12	3	2		3
13	3	2		3
14	3	2		2
15	3	2		2
16	3	2		2
		39 + 69 = 108 (77.69%)	6 + 25 = 31 (22.3%)	

จากตารางที่ 47 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-1 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Peppers ให้มีความถูกต้องได้ 77.69% เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดที่มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราการในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุดหรือน้อยที่สุดโดยไม่มีแบบแผนและอัลกอริทึมในการเลือกใดใดแบบเดียวกับ Lena, Barb และ Peppers

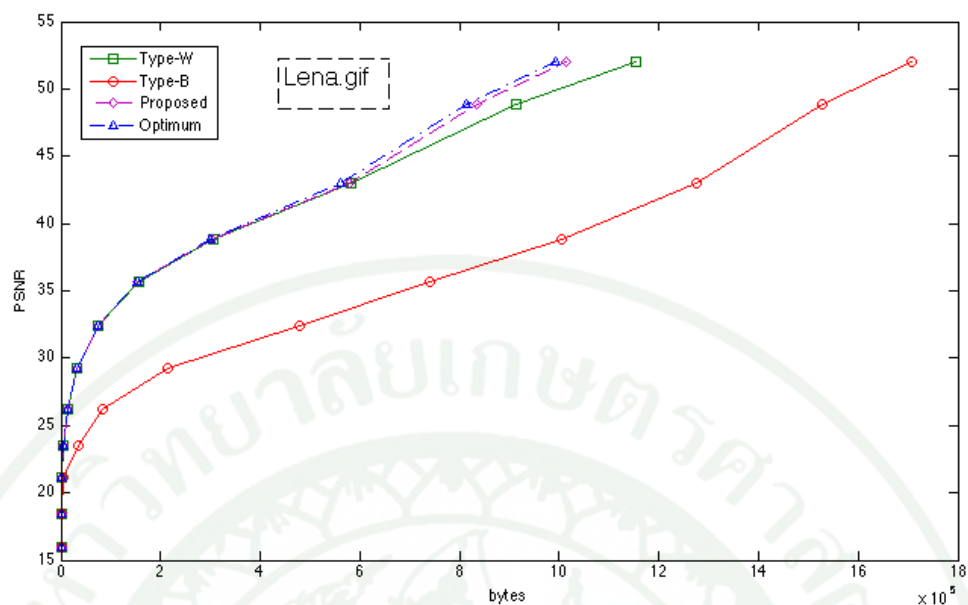
จากผลการทดลองด้วยกระบวนการอัลกอริทึมตามงานวิจัย Hybrid-1 นั้นจะวิเคราะห์ผลการบีบอัดรูปภาพโดยเปรียบเทียบผลของการนำบิตไปใช้ในการเข้ารหัสมาเป็นตัววัดผลว่าการใช้กระบวนการ Type-W และ Type-B ร่วมกันหรือกระบวนการ Hybrid-1 นั้นมีผลที่ทำนายถูกที่เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผลของ Hybrid-1 นั้นมาเปรียบเทียบกับผลของ Type-B หรือการใช้ Simple Bit-Plane อย่างเดียว, ผลของ Type-W หรือการใช้เทคนิค WDR อย่างเดียว และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) โดยการเลือกผลที่ดีที่สุดนั้นมาจากการเลือกอัตราที่มีการใช้บิตน้อยที่สุดในการเข้ารหัสจาก Type-W และ Type-B ตัวใดตัวหนึ่งจากในแต่ละนาบิต

ตารางที่ 48 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-1

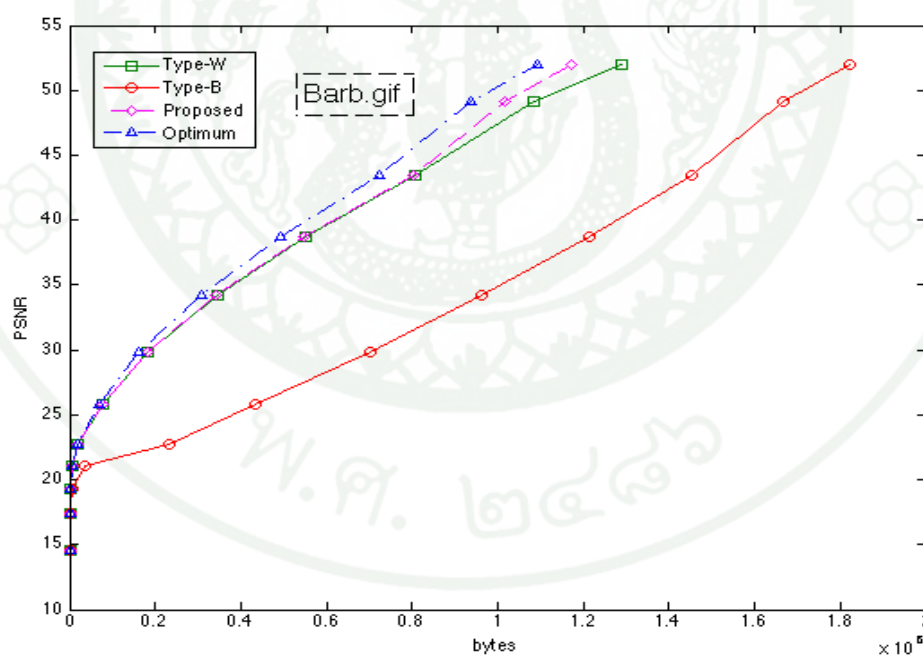
เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง	Lena	Barb	Peppers	Baboon
(Hybrid-1)	92.30	88.81	90.20	77.69

จากตารางที่ 48 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากอัลกอริทึมคือการใช่วิธีการทดลองกระบวนการบีบอัดผสมระหว่าง Simple Bit-Plane (Type-B) และ WDR (Type-W) ตามเปเปอร์ A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression (Hybrid-1) นั้นว่ากระบวนการ Hybrid-1 จะสามารถเลือกใช้กระบวนการบีบอัดผสมที่เหมาะสมได้มากน้อยเพียงใดในการเข้ารหัสเมื่อเทียบกับการเลือกที่ดีที่สุด (Optimum) เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

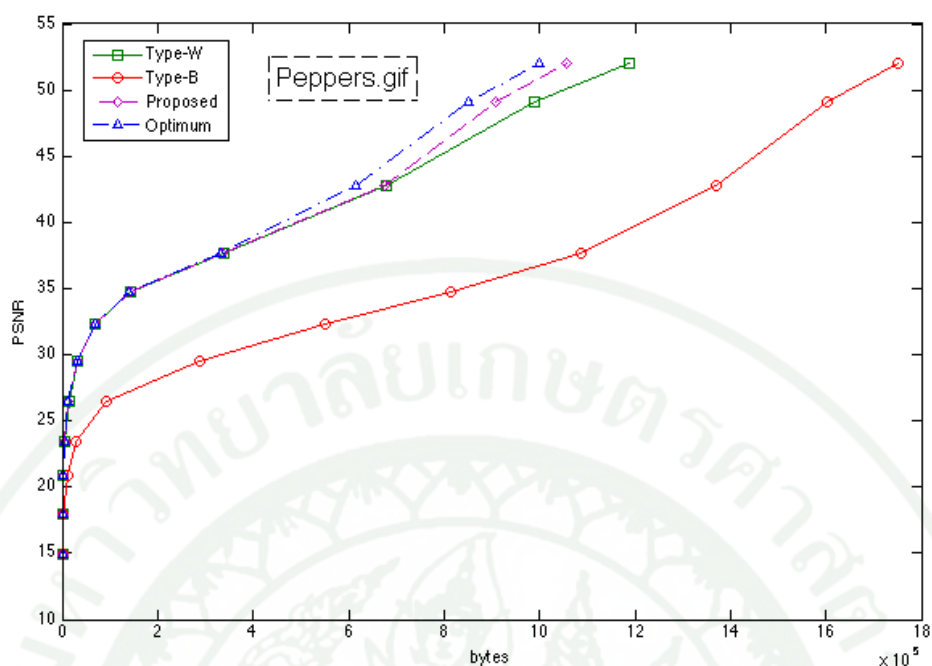
จากผลการทดลองของกระบวนการ Hybrid-1 นั้นมีการเปรียบเทียบค่า PSNR และอัตรา การบีบอัดรูปภาพ ที่ใช้ออกมาว่าในแต่ละภาพมีค่าเท่าใด ซึ่งกราฟทั้งสี่ที่จะแสดงต่อไปนี้ ประกอบด้วยกราฟเปรียบเทียบค่า PSNR จากรูป Lena, Barb, Peppers และ Baboon โดยการแปลง เวฟเลต 5 ชั้นดังต่อไปนี้



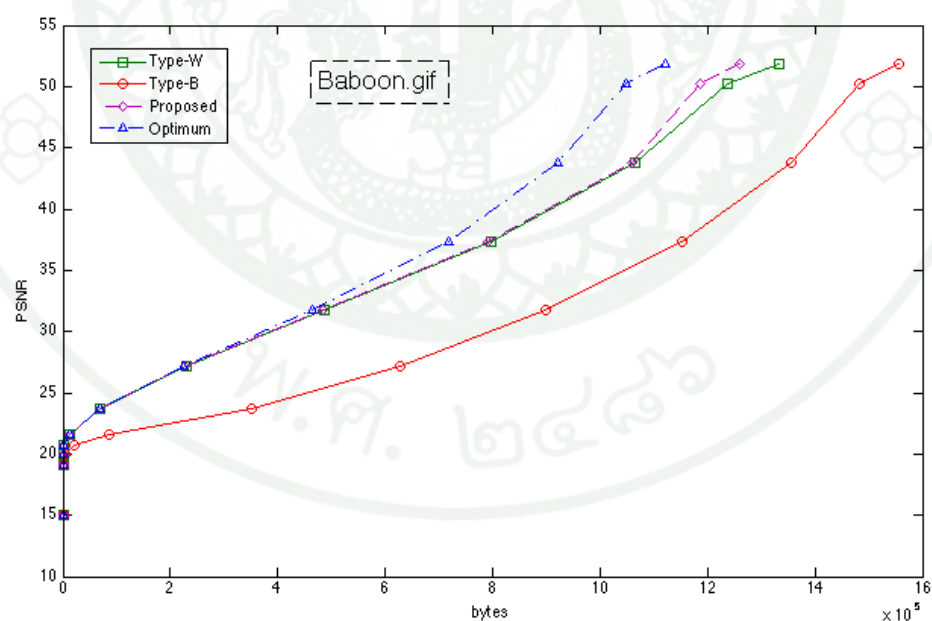
ภาพที่ 14 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Lena.gif



ภาพที่ 15 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Barb.gif



ภาพที่ 16 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Peppers.gif



ภาพที่ 17 ภาพกราฟเปรียบเทียบผล PSNR ของระหว่าง WDR (Type-W), Simple Biplane (Type-B), ผลจากการค้นคว้า (Proposed) และ ผลที่ดีที่สุด (Optimum) จากรูป Baboon.gif

เมื่อวิเคราะห์ภาพที่ 14 จนถึงภาพที่ 17 พบว่าในกระบวนการต่างๆในการบีบอัดภาพ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ WDR (Type-W) อย่างเดียว หรือ Simple Bit-Plane (Type-B) อย่างเดียวต่อภาพ จะได้ผลที่ว่า ไม่มีภาพใดเลยที่ผลของการใช้อัลกอริทึมใดๆจะดีไปกว่าผลที่ดีที่สุดที่ได้มาจากการเลือกจากค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละระนาบบิตหรือค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) ซึ่งค่าดังกล่าวจัดเป็นผลที่ดีที่สุดที่จะทำได้ในภาพนั้นเมื่อมีการเลือกกระบวนการผสมผสานการใช้อัลกอริทึมร่วมกันเกิดขึ้น

แต่ในการดำเนินการจริงนั้น การจะเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดและน้อยที่สุดให้เป็นไปตามผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นไปได้ไม่ได้นอกจากการเขียนโปรแกรมให้มีการเปลี่ยนอัลกอริทึมไปมาจะทำให้โค้ดยาวและเสียเวลาในกระบวนการรันผล จึงได้สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงเป็นกลุ่มๆ เพื่อหาว่าที่ระนาบบิตใดเกิดการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันบ่อยที่สุด แล้วจึงนำมาเขียนเป็นอัลกอริทึมให้มีการเปลี่ยนแปลง ณ จุดนั้นเป็นต้นไป เพื่อความสะดวกในการรันผล และการตรวจผลในขั้นต่อไป

และจากภาพที่ 14 – 17 จะแสดงให้เห็นด้วยว่าในช่วงแบนด์ย่อยหลังๆของการบีบอัดนั้นผลของ Type-W จะมีค่าที่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดเสมอ เนื่องจากอัลกอริทึมของ Type-W นั้นจะเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่น้อยๆ ก็ต่อเมื่อภาพมีสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันมากๆ Type-W จะมีการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพต่อภาพที่น้อยลง ทำให้ Type-W มีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการเก็บข้อมูลของการเข้ารหัสมาก จึงส่งผลให้ลดขนาดการเก็บข้อมูลลง ในขณะที่ Type-B นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการลดขนาดการเก็บข้อมูลต่อเมื่อภาพมีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญไม่มาก คือมีสัมประสิทธิ์กระจุกตัวอยู่ใกล้ๆกันมาก เมื่อผ่านกระบวนการ Type-B แล้วจะได้ผลลัพธ์ คือ การเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพนั้นจะได้จำนวนอัตราที่ใช้ในการเข้ารหัสน้อยกว่ากระบวนการ Type-W

สรุปได้ว่าผลจากการค้นคว้า (Proposed) นั้นในระยะแรกมีการใช้ Type-W ก่อนในระนาบบิตแรกๆเพียงแต่ไม่ทิ้งระนาบเนื่องจากในแบนด์ย่อยแรกๆมักเจอสัมประสิทธิ์ไม่เยอะ จึงทำให้มีจำนวนจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญน้อยจึงมีการเลือกใช้ Type-B มากกว่า Type-W ในแบนด์ย่อยแรกๆ

แต่ต่อมาในแบนด์ย่อยหลายๆจะไม่ค่อยเจอสัมประสิทธิ์จึงทำให้มีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญ (Insignificant Pixels) เป็นจำนวนมากทำให้การใช้ Type-B ในขณะที่มีจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญมากเป็นการสิ้นเปลือง จึงควรเปลี่ยนจำนวนการเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพในช่วงนี้มาเป็นการใช้ Type-W ในการเข้ารหัสข้อมูลเป็นจำนวนมากในหลายระนาบบิตที่อยู่ใ้ในแบนด์ย่อยหลายๆ

2. ผลการทดลองกระบวนการบีบอัดผสมระหว่าง Simple Bit-Plane (Type-B) และ WDR (Type-W) ตามเปเปอร์ Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction (Hybrid-2)

ผลการเลือกใช้กระบวนการอัลกอริทึมตามทฤษฎีนี้ในแต่ละระนาบบิต (Bit-Plane) นั้นจะเป็นการพัฒนาจากผลการนำเสนอก่อนหน้านี้ คือจากในเปเปอร์ชื่อ A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression หรือ Hybrid-1 โดยการเลือกครั้งนี้จะให้ผลที่ดีกว่าเดิมเนื่องจากไม่สนใจระนาบบิตที่ไม่เหลือสัมประสิทธิ์ (Significant Pixels) และจะทำการเข้ารหัสเฉพาะระนาบบิตที่มีสัมประสิทธิ์ในแต่ละแบนด์ย่อย (Subband) เท่านั้น อัลกอริทึมตาม Hybrid-2 ได้ดังนี้

Subband 1: Type-W for the first Bit-Planes

Subband 2: Type-W for the first 2 Bit-Planes

Subband 3-7: Type-W for the first 3 Bit-Planes

Subband 8-12: Type-W for the first 5 Bit-Planes

Subband 13-last: Type-W for the first 4 Bit-Planes

วิธีนี้เป็นการปรับปรุงการเลือกใช้กระบวนการบีบอัดรูปภาพร่วมกันระหว่าง Type-W และ Type-B เป็นการทดลองเมื่อมีการแปลงเวฟเลตออกเป็น 5 ชั้น จากนั้นจะทำการกระบวนการคิดอัตราในการบีบอัดรูปภาพจากสัมประสิทธิ์ (Significant) ตัวแรกที่เจอ และวิธีนี้นั้นให้ความสนใจเฉพาะระนาบบิตแค่บางระนาบ โดยเฉพาะในระนาบบิตที่มีสัมประสิทธิ์ ซึ่งวิธีก่อนหน้านี้จะนับรวมในทุกๆระนาบบิตที่มี แม้ระนาบบิตนั้นจะไม่เหลือสัมประสิทธิ์อยู่แล้วก็ตาม ทำให้ผลจากวิธีก่อนหน้านี้้นด้อยกว่าวิธีใหม่นี้

การเปรียบเทียบนี้เป็นการทำนายว่าวิธี Hybrid-2 นั้นมีการเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยการเลือกอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่น้อยที่สุดในการเข้ารหัสระหว่าง Type-W และ Type-B คือนำผลที่ดีที่สุดจากค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) มาเป็นเกณฑ์ในการวัดคุณภาพเช่นเดิม

ตารางที่ 49 แสดงการทำนายภาพ Lena และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆระนาบติดตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	11		
2	1	9		1
3	3	7		
4	3	8		
5	2	7		1
6	3	6	1	
7	3	5	2	
8	5	4		
9	5	4		
10	5	3		
11	5	3		1
12	5	2		1
13	4	3		
14	4	2	1	
15	4	2		
16	4	2		
57 + 78 = 135 (94.40%)			4 + 4 = 8 (5.60%)	

จากตารางที่ 49 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-2 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Lena ให้มีความถูกต้องได้ถึง 94.40% ซึ่งนับว่าเป็นผลที่ดีกว่าเดิม เปรียบเช่นต์ความถูกต้องนี้ได้มาจากเมื่อทำการเปรียบเทียบการทำนายของ Hybrid-2 กับผลที่ดีที่สุดซึ่งได้มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุด

ตารางที่ 50 แสดงการทำนายภาพ Barb และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	11		
2	2	9		
3	3	8		
4	2	7		1
5	2	7		1
6	3	6	1	1
7	3	6		
8	4	4		1
9	4	4		1
10	5	4		
11	5	4		
12	4	3		1
13	4	3	1	
14	4	3	1	
15	4	2		
16	4	2	2	
54 + 83 = 137 (93.19%)		5 + 6 = 11 (6.81%)		

จากตารางที่ 50 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-2 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Barb ให้มีความถูกต้องได้ถึง 93.19% ซึ่งเป็นผลที่ดีกว่าเดิมมากเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทำนาย Hybrid-2 กับผลที่ดีที่สุดซึ่งได้มาจากการเลือกใช้เทคนิคระหว่าง Simple Bit-Plane และ WDR ด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่มีอัตราในการบีบอัดรูปภาพที่ดีที่สุด หรือน้อยที่สุดโดยไม่มีแบบแผนและอัลกอริทึมในการเลือกใดใด

ตารางที่ 51 แสดงการทำนายภาพ Peppers และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1	1	11		
2	2	9		
3	3	8	1	
4	3	8		
5	3	7	1	
6	3	6	1	
7	3	6	1	
8	4	4		1
9	5	4	1	
10	5	4		
11	5	3		
12	5	3		
13	4	3	1	
14	4	3		
15	4	3		
16	3	2		1
57 + 84 = 141 (94.63%)		6 + 2 = 14 (5.36%)		

จากตารางที่ 51 แสดงให้เห็นได้ว่าจากอัลกอริทึมการเลือกของงานวิจัย Hybrid-2 นั้นสามารถทำนายผลของภาพ Peppers ให้มีความถูกต้องได้ถึง 94.40% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 46 ซึ่งเป็นผลการวิจัยจาก Hybrid-1 ที่ถูกต้องเพียง 90.2% ซึ่งนับว่าเป็นผลที่ดีกว่าเดิม และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องนี้ได้มาจากเมื่อทำการเปรียบเทียบการทำนายของ Hybrid-2 กับผลที่ดีที่สุด

ตารางที่ 52 แสดงการทำนายภาพ Baboon และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสม (Optimum) ด้วยอัลกอริทึมใน Hybrid-2 ในทุกๆระนาบิตตามลำดับแบนด์ย่อย เมื่อแทน Type-W ด้วย W และแทน Type-B ด้วย B

แบนด์ย่อย	เลือกถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)		เลือกไม่ถูกต้อง (เปรียบเทียบระหว่าง Optimum ต่อ Proposed)	
	<i>W-W</i>	<i>B-B</i>	<i>W-B</i>	<i>B-W</i>
1		11		1
2	2	8		
3	2	7		1
4	3	7		
5	3	7		
6	3	7		
7	3	6		
8	3	4		2
9	3	4		2
10	3	4		2
11	3	3		2
12	3	3		2
13	3	4		1
14	3	3		1
15	3	3		1
16	3	3		1
43 + 84 = 108 (88.81%)			16 (11.19%)	

จากวิธี Hybrid-2 นี้จะนับเฉพาะระนาบบิตที่มีสัมประสิทธิ์ในแบนด์ย่อยเท่านั้น ทำให้การทำนายค่าก่อนข้างแม่นยำว่าวิธีแรก (Hybrid-1) ทำให้การเก็บบิตน้อยลง และการทำกระบวนการบีบอัดภาพใช้เวลาน้อยลง เนื่องจากไม่ต้องคำนวณไปจนถึงในระนาบบิตที่อยู่เป็นกลุ่มสุดท้ายซึ่งไม่มีสัมประสิทธิ์เหลืออยู่แล้ว ซึ่งจากการศึกษามาข้างต้นสรุปได้ว่าในแบนด์ย่อยหลายๆ มักไม่มีสัมประสิทธิ์เหลืออยู่เพื่อทำการคำนวณ

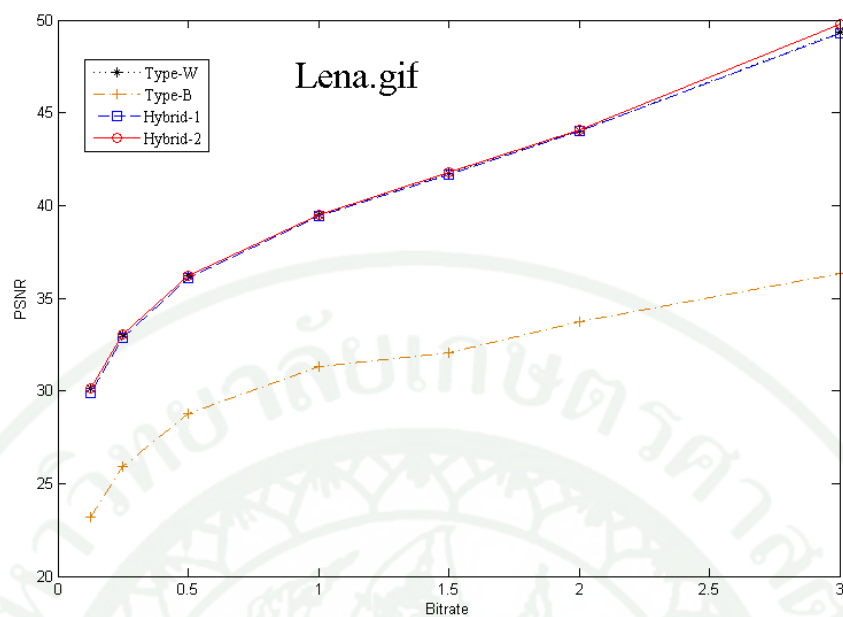
ตารางที่ 53 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-2

เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง	Lena	Barb	Peppers	Baboon
(Hybrid-2)	94.40	93.19	94.63	88.81

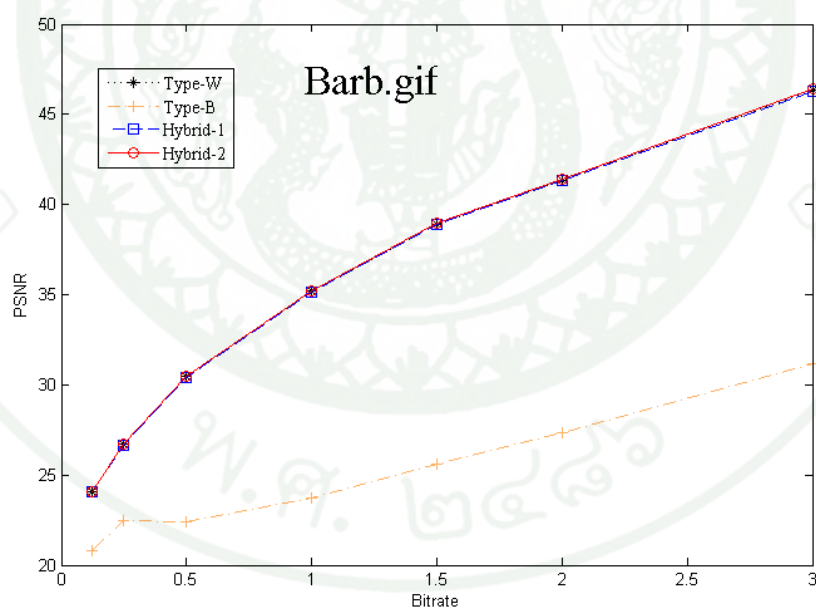
จากตารางที่ 53 เมื่อมีการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การถูกต้องของการทำนายจากวิธี Hybrid-2 ซ้ำอีกหลายครั้งนั้น พบว่าได้ผลลัพธ์ที่เข้าสู่วิธีที่มีการนำเสนอก่อนหน้านี้ โดย Promwongsa *et al.*(2012) นั้นให้ผลที่ถูกต้อง แต่เมื่อมีการวิเคราะห์ซ้ำอีกครั้งแล้วจึงได้ผลใกล้เคียงที่ดีกว่าเดิม

ตารางที่ 53 เป็นการเปรียบเทียบการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมที่สุดระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อค่าที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ คือการใช้กระบวนการบีบอัดผสมระหว่าง Simple Bit-Plane (Type-B) และ WDR Algorithm (Type-W) ตามการค้นคว้าจากงานวิจัย Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction (Hybrid-2) ว่ากระบวนการ Hybrid-2 จะสามารถเลือกใช้กระบวนการบีบอัดผสมที่เหมาะสมได้มากขึ้นเพียงใดในการเข้ารหัสเมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

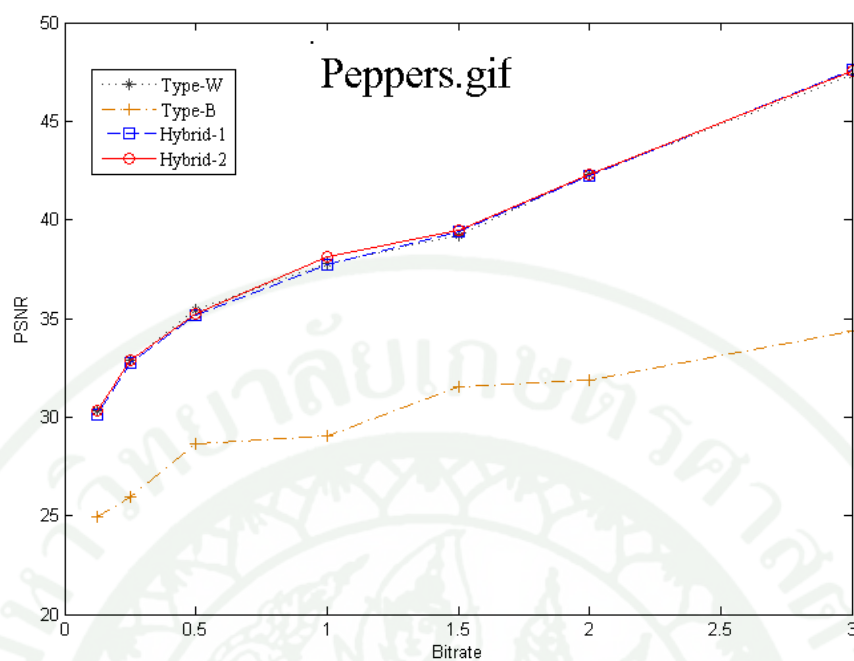
จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบผลระหว่าง Hybrid-2 และค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น เปอร์เซ็นต์ถูกต้องของการทำนายสูงขึ้นกว่า Hybrid-1 ในทุกๆภาพ ทำให้สรุปได้ว่า Hybrid-2 มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า Hybrid-1 เพื่อให้การเปรียบเทียบเป็นไปอย่างเห็นได้ชัดกราฟด้านล่างจะเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราในการบีบอัดรูปภาพ ต่อค่า PSNR ในเทคนิคต่างๆคือ Simple Bit-Plane (Type-B), WDR (Type-w), Hybrid-1 และ Hybrid-2 ดังแสดงเป็นภาพกราฟได้ดังนี้



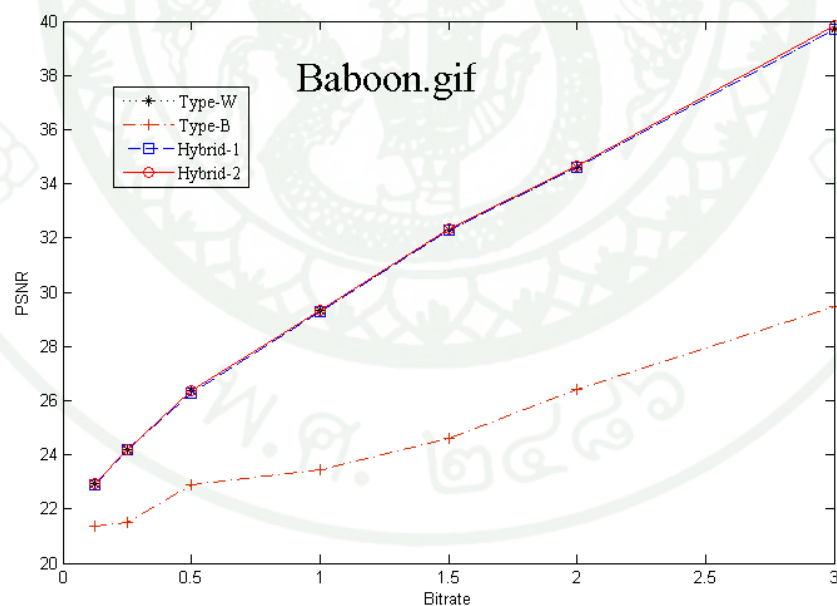
ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Lena.gif



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Barb.gif



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Peppers.gif



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบผลของ PSNR จากผลของ WDR (Type-W), Simple Bit-Plane (Type-B), Hybrid-1 และ Hybrid-2 จากรูป Baboon.gif

ภาพที่ 15 – 18 แสดงการเปรียบเทียบอัตราในการบีบอัดรูปภาพของทั้งสองวิธี ได้แก่ A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression (Hybrid-1) และวิธีที่ได้ต่อยอดจากวิธีแรกนั้น คือ Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-Plane and Wavelet Difference Reduction (Hybrid-2) สามารถเปรียบเทียบผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายทั้งสองวิธีเป็นตารางได้ ดังนี้

ตารางที่ 54 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายการใช้วิธีการที่เหมาะสมระหว่างค่าที่เหมาะสมที่สุด กับค่าที่ได้จากวิธี Hybrid-1 และวิธี Hybrid-2

เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง	Lena	Barb	Peppers	Baboon
(Hybrid-1)	92.30	88.81	90.20	77.69
(Hybrid-2)	94.40	93.19	94.63	88.81

จากตารางที่ 54 แสดงให้เห็นว่า ผลการทดลองของกระบวนการ Hybrid-2 นั้นมีการเปรียบเทียบค่า PSNR และอัตราในการบีบอัดรูปภาพ (Bitrate) ที่ใช้ได้ผลว่าในแต่ละภาพตัวอย่างนั้น Hybrid-2 มีค่าเปอร์เซ็นต์ในการเปรียบเทียบที่ดีกว่ากระบวนการ Hybrid-1 เสมอ เนื่องจากเป็นการต่อยอดวิธีและเป็นการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดมากกว่าที่ผ่านมา อีกทั้งมีการแบ่งกลุ่มของแบนด์ย่อยในการสังเกตเพื่อกระทำกระบวนการบีบอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสังเกตพบว่าเมื่อสนใจเฉพาะระนาบบิตที่มีสัมประสิทธิ์เท่านั้น การเกาะกลุ่มของการเปลี่ยนอัลกอริทึมจะแตกต่างออกไปจากเดิม

และเมื่อแบ่งการสนใจการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 5 กลุ่มดังการค้นคว้าจะได้ผลที่ดีกว่าถ้าเข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้น แต่ไม่มีประสิทธิภาพสูงเท่ากับค่าที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นมาจากการเลือกโดยไม่สนใจอัลกอริทึมใดใด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สรุปกระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง Wavelet Difference Reduction (WDR) หรือ Type-W และ Simple Bit-Plane หรือ Type-B

จากการศึกษาและทำการทดลองวิธีนั้นพบว่า การบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง Type-W และ Type-B นั้น เมื่อพิจารณาอัตราในการบีบอัดรูปภาพ (Bitrate) ที่ใช้ในกระบวนการบีบอัดรูปภาพและกระบวนการเข้ารหัสที่น้อยที่สุดได้แก่ วิธี Hybrid-2 ตามมาด้วย Hybrid-1, Type-B และ Type-W โดยพิจารณารวมจากผลรวมจากระนาบบิตแรกจนถึงระนาบบิตสุดท้าย

โดย Hybrid-1 นั้นเป็นการพิจารณาในทุกๆระนาบบิตที่มีในแบนด์ย่อยโดยใช้กระบวนการผสมผสานระหว่าง Type-W และ Type-B มาใช้ร่วมกันโดยที่จะใช้ Type-W ก่อนในระนาบบิตแรกๆเพราะในระนาบบิตแรกๆนั้นจะเจอสัมประสิทธิ์อยู่ห่างกันมากๆ แล้วต่อมาจึงใช้ Type-B ในระนาบบิตหลายๆที่มีสัมประสิทธิ์อยู่ใกล้กันเพื่อลดการจัดเก็บอัตราในการบีบอัดรูปภาพลง

ต่อมาใน Hybrid-2 นั้นเป็นปรับปรุงจากวิธี Hybrid-1 คือจะพิจารณาเฉพาะระนาบบิตที่ยังมีสัมประสิทธิ์ในแต่ละแบนด์ย่อยเพื่อนำมาเขียนเป็นอัลกอริทึม และพิจารณาเป็นกลุ่มทั้งหมดห้ากลุ่มเพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นที่จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีเมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) แล้วมีค่าใกล้เคียงกันให้มากที่สุด และเมื่อมีการบีบอัดรูปภาพเพื่อทดสอบจากภาพตัวอย่างทั้งสี่ภาพ จะได้ว่าวิธี Hybrid-2 ปรับปรุงคุณภาพได้ดีขึ้นจนเป็นที่น่าพอใจ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Hybrid-2 และ Hybrid-1 นั้นให้ผลการบีบอัดรูปภาพที่ดีกว่าการใช้ Type-W หรือ Type-B เดี่ยวๆอย่างแน่นอน ซึ่งทำให้บรรลุลวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ว่าปรับปรุงกระบวนการบีบอัดรูปภาพเพื่อลดอัตราในการบีบอัดรูปภาพ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะต่อกระบวนการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานระหว่าง Wavelet Difference Reduction (WDR) หรือ Type-W และ Simple Bit-Plane หรือ Type-B

จากการศึกษาและทำการทดลองวิธีนั้นเป็นการบีบอัดรูปภาพโดยพิจารณาจากระนาบบิตและจำนวนของสัมประสิทธิ์ที่ไม่สำคัญโดยไม่มีการใช้ Arithmetic Coding เข้ามาในกระบวนการบีบอัดเลย ในขั้นตอนต่อไปของการทดลองวิธีต่อจากนี้จึงควรมีการใช้ Arithmetic Coding เข้ามาร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบีบอัดรูปภาพเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ควรคำนึงถึงความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการด้วย

และข้อเสนอแนะลำดับถัดไปนั้นคือ ก่อนที่จะเข้ากระบวนการการบีบอัดรูปภาพแบบผสมผสานนั้น ควรมีการกรองภาพก่อน คือ แบ่งภาพตามความถี่สูงต่ำเป็นประเภท คือ Low-pass filter และ High-pass filter ควรใช้เพื่อแบ่งกลุ่มภาพก่อนนำมาใช้เพื่อให้การบีบอัดรูปภาพได้ประสิทธิภาพที่ดีต่อภาพลักษณะต่างๆที่แตกต่างกัน จากวิธีนั้นคือ ภาพ Baboon จะเป็นภาพเดียวที่ไม่ว่าจะใช้วิธี Hybrid-1 หรือ Hybrid-2 ก็ตาม ผลที่ได้จะเป็นผลที่มีประสิทธิภาพต่ำและไม่เกาะกลุ่มกับภาพอื่นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Cho, C., C. Chen, J. Hwang and J. Wang. 2005. A Fast Bitplane Combination Algorithm for Bitplane Coded Scalable Image/Video, pp.3419-3422. In *Circuits and Systems*, 2005. (ISCAS)
- Ed. K. R. Rao and P.C. Yip., “The Transform and Data Compression Handbook”, Boca Raton, CRC Press LLC, 2001
- J. Tian, and R.O. Wells, Jr., “Embedded image coding using wavelet-difference reduction”. In *Wavelet Image and Video Compression*, 1998. pp. 289–301.
- Kikuchi, H., K. Funahashi, and S. Muramatsu. 2009. Simple Bit-Plane Coding for Lossless Image Compression and Extended Functionalities. *In 27th Picture Coding Symp. (PCS 2009)*, Chicago.
- Meeraksa, S. and P. Lamsrichan. 2013. A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression. **The 28th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2013)**. 30 Jun.-3 Jul. 2013. pp. 645-648.
- Minsoo Rhu, “Memory-less bit-plane coder architecture for JPEG2000 with concurrent column-stripe coding” *Proceeding of the 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2009)*, p2673-6,(2009)
- Promwongsa, T., S. Meeraksa and P. Lamsrichan. 2013. Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bitplane and Wavelet Difference Reduction. **The 36th Electrical Engineering Conference (EECON-36)**. 11-13 Dec. 2013.

Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital image processing, 2nd edition, 2006.

Shapiro, J. M. 1993. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients.

IEEE Transactions on Signal Processing, pp. 3445–3462.

Taubman D., E. Ordentlich, M. Weinberger, and G. Seroussi, “Embedded block coding in JPEG 2000”, **Signal Processing – Image Communication**, volume 17 (number 1), 2002, pp. 49-72.

Walker, J.S. 2000. A lossy image codec based on adaptively scanned wavelet difference reduction. **Optical Engineering (Opt. Eng. 39)**. 14 Jan. 2000. pp. 1891-1897.

Y. H. Zhang, B. S. Kang, and X. F. Zhang, "Image Encryption Algorithm Based on Chaotic Sequence," in 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence-- Workshops, Hangzhou, China, 2006, pp. 221-223.

Yip, P.C. and K. R. Rao. 2001. The Transform and Data Compression Handbook. **Boca Raton, CRC Press LLC**. pp. 288-333.

Youssef, A. 1998. Analysis and Comparison of Various Image Downsampling and Upsampling Methods. **IEEE Data Compression Conference (DCC 98)**. 30 Mar.- 1 Apr. 1998.



ผลงานที่ตีพิมพ์

1. Meeraksa, S. and P. Lamsrichan. 2013. A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression. **The 28th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2013)**. 30 Jun.-3 Jul. 2013. pp. 645-648.

2. Promwongsa, T., S. Meeraksa and P. Lamsrichan. 2013. Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bitplane and Wavelet Difference Reduction. **The 36th Electrical Engineering Conference (EECON-36)**. 11-13 Dec. 2013.

A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression

Sontana Meeraksa and Poonlap Lamsrichan

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University, THAILAND

E-mail addresses: son_palmy@hotmail.com; fengpll@ku.ac.th

Abstract

This paper proposes the beginning idea of wavelet-based image coder using the combination of general bit-plane encoding and the runlength effectiveness of wavelet difference reduction (WDR). While general bit-plane is suitable for packed significant pixels encoding, its performance is degraded when most of the pixels are insignificant. The simple method to justify which algorithm between general bit-plane (Type-B) and WDR (Type-W) will be used at each state is proposed and the performances in encoding several test images are shown. Since the proposed coder is operated alternatively by two different source algorithms or two types of engines, it will be called hybrid encoder.

Keywords: bit-plane encoding; wavelet difference reduction; hybrid algorithm.

1. Introduction

The preliminary idea about wavelet encoder using two types of algorithm alternatively is the main concept of this research. Like the idea of electrical engine working together with internal combustion engine in hybrid vehicle, this coder will be called hybrid encoder. The predefined decision algorithm for choosing type of bit-plane coding to operate in each bit-plane of each subband of wavelet coefficients gives a better results than using one algorithm alone.

2. Bit-plane encoding of wavelet coefficients

A bit-plane of an image is a set of bits corresponding to a given bit position in each of the coefficients. In bit-plane encoding, the first bit-plane collected is MSB which gives the most critical approximation of the signal. Adding more sets of bit-plane information giving a better detail to the approximation can be done while the bit budget is not exhausted.

General bit-plane encoding algorithm (called Type-B, from now on) encodes the new significant (larger than threshold) coefficients by bit '1' followed by a polarity bit ('0' for positive and '1' for negative). For each of insignificant pixel, only one of bit '0' will be sent. In summary, bit-plane encoding will generate 2 bits for each significance state and 1 bit for insignificant encoding without any entropy coding. This type of algorithm is used in normal mode of the well-known JPEG 2000 [1].

Another approach for bit-plane encoding is [2]. In the WDR (called Type-W, from now on), there are 4 types of output symbols (represented by 2 bits each). The symbols '+' and '-' are used for positive and negative significant coefficients, respectively. The other two symbols '0' and '1' are used to represent the difference or runlength of insignificant pixels in reduced form. For two significant pixels separated by N insignificant pixels, the difference between them will be N+1. The reduced form of any difference value is its binary representation with the MSB omitted. When difference is 5, its reduced form is just '01' (when the MSB '1' is discarded).

It can be seen that the number of bits required for each significant coefficient coding is 2 bits for both types. But the number of bits required for insignificant coefficients differs. When insignificant pixels happen in a long sequence, the reduced form of its binary representation in Type-W will be more effective than encoding long sequence of '0' in Type-B. For example, when the difference is 18, the binary is '10010' with the reduced form of '0010' and Type-W required just 8 bits which are quite fewer than 17 bits of '0' needed by Type-B. However, when the difference is short (less than 4), the Type-B coding will be more effective than the Type-W. The Table 1 shows the comparison of bits required by both types of bit-plane encoding.

The (magnitude) refinement encoding for both Type-B and Type-W use the same amount of bits (no entropy-coded) and are excluded in this research.

Table 1: Comparison of number of bits used for insignificant pixels encoding

No. of consecutive insignificant coefficients	Difference (for WDR use)	Bits used	
		General bit-plane (Type-B)	WDR (Type-W)
0	1	0	0
1	2	1	2
2	3	2	2
3	4	3	4
4	5	4	4
5	6	5	4
8	9	8	6
13	14	13	6
18	19	18	8
50	51	50	10
400	401	400	16

3. The Hybrid Encoder

From Table 1, we know that when the sequence of consecutive insignificant pixels is shorter than 4, Type-B is preferred. For sequence longer than 4, Type-W requires less number of bits. However this number cannot be known in advance. For simplicity of encoder, only one type will be used in each bit-plane of each subband. For subband number starts from 1 for all-lowpass to $3L+1$ for L -level decomposition, we empirically settle a simple decision algorithm as follow.

- Subband 1-2: Type-W for the first 2 bit-planes
- Subband 3-5: Type-W for the first 4 bit-planes
- Subband 6-8: Type-W for the first 6 bit-planes
- Subband 9-last: Type-W for the first 10 bit-planes

Type-W for the first N bit-planes means that the first N bit-planes (from MSB to MSB - $N + 1$) of that subband will be encoded with WDR and bit-planes from MSB - N to the lowest will be encoded with Type-B. This decision algorithm will be predefined in both encoder and decoder so that the compressed image can be reconstructed successfully.

4. Simulation Results

The simulation of the proposed coder is performed on many test images without any entropy coding. This hybrid encoder's results are compared with the pure Type-B, pure Type-W, and optimum encoder which always choose the type with minimum number of bits between Type-B and Type-W in each bit-plane of all subbands. The rate-distortion of 'Barb', 'Peppers', 'Baboon' and 'Lena' images are shown in Fig.1 below.

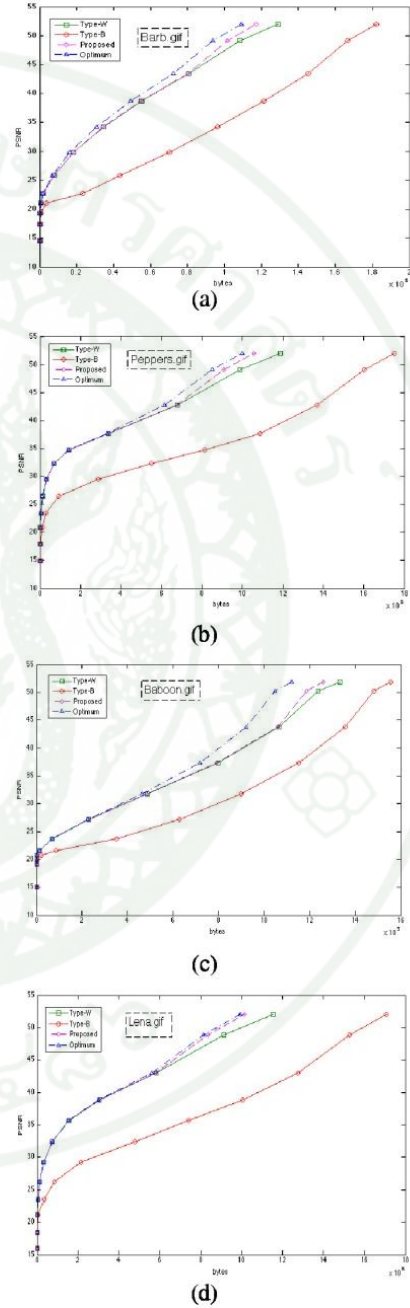


Fig. 1 PSNR results of the proposed coder without entropy coding (a)Barb (b)Peppers (c)Baboon and (d)Lena

The performance of the proposed hybrid coder is slightly lower than the optimum coder. This is because our hybrid encoder makes decision based on simple algorithm and sometimes does not choose the same type of bit-plane coders as the optimum encoder does.

In the following table 2 is the comparison between the optimum coder's and the proposed coder's choices. There are two choices in table: one is Type-W (called w in the table) and the other is Type-B (called b in the table). The last column is the correction of the proposed coder compared to the optimum one.

Table 2: The comparison between optimum results and proposed results for subband 8 and 10 of Peppers

(a) Subband 8 of Peppers			
Bit-plane	Method used in optimum coder	Method used in Proposed coder	Compare (optimum – proposed)
11	-	-	-
10	-	-	-
9	-	-	-
8	w	w	correct
7	w	w	correct
6	w	w	correct
5	w	b	wrong
4	b	b	correct
3	b	b	correct
2	b	b	correct
1	b	b	correct
0	b	b	correct
% of correction			88.89%

(b) Subband 10 of Peppers			
Bit-plane	Method used in optimum coder	Method used in Proposed coder	Compare (optimum – proposed)
11	-	-	-
10	-	-	-
9	-	-	-
8	w	w	correct
7	w	w	correct
6	w	w	correct
5	w	w	correct
4	w	w	correct
3	b	w	wrong
2	b	w	wrong
1	b	b	correct
0	b	b	correct
% of correction			77.78%

The next table 3 shows the details of comparison of choices between the optimum and the proposed coder in the number of x-y counts, where x means the chosen coding method for the optimum coder and y means the chosen coding method for the proposed coder. The value of x and y can be b (for bit – plane coding) or w (for WDR coding).

Table 3: The results for all subbands of Lena image about the correction of types of coding method in the proposed coder.

Lena image subband	Comparison of choices			
	correct		wrong	
	w-w	b-b	w-b	b-w
1	1	9		1
2	1	10		
3	2	7	1	
4	3	8		
5	2	8		
6	4	6		
7	4	5	1	
8	3	4	2	
9	5	2		2
10	5	2		1
11	6	2		1
12	5	2		1
13	4	2		1
14	5	2		
15	4	2		
16	4	2		
		58+74=132 (92.3%)	4+7=11 (7.69%)	

The illustration of the relatively small area of incorrect method choosing can be seen in Fig.2. From 16 subbands in bit-plane 3 of Peppers image, subband 9 and 10 are coded with Type-B for optimum coder but the proposed coder chooses Type-W. If the chosen method is the same, subband will be shown in green color (lighter area) with the chosen method specified. For subband with different choices between the optimum and the proposed coder, it will be shown in red color (darker area) with the chosen method of the proposed coder specified.

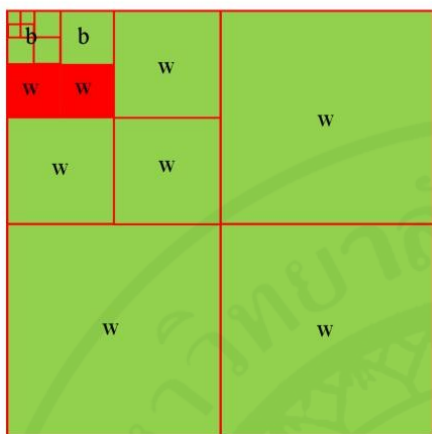


Fig. 2 Relative area of incorrect method choosing to the entire image (From bit-plane 3 of Peppers image).

This proposed coder is the simulation of hybrid wavelet image compression. It presents idea for making an adjustment for better image compression in the future. It provides the better results than using only Type-W or Type-B alone for the entire image.

The last table is percent of correction of the chosen coding method of the proposed coder compared to the optimum one. It can be seen that the proposed coder can correctly choose the method with average of 87.25%.

Table 4: Percent of correction of method choosing for all test images.

Test images	Lena	Barb	Baboon	Peppers
Percent of correction	92.30	88.81	77.69	90.20

5. Conclusion

The non-entropy coded hybrid encoder performs quite well and has very close performance to the optimum one. Next step is to evaluate this hybrid encoder with entropy coding implemented.

References

- [1] D. Taubman, E. Ordentlich, M. Weinberger, and G. Seroussi, "Embedded block coding in JPEG 2000," Signal Processing – Image Communication, volume 17 (number 1), 2002, pp. 49-72.
- [2] J. Tian, and R.O. Wells, Jr., "Embedded image coding using wavelet-difference reduction", in Wavelet Image and Video Compression, Topiwala, P., Ed., Kluwer Academic, Norwell, MA, 1998, pp. 289-301.

Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-plane and Wavelet Difference Reduction

Tananiti Promwongsa , Sontana Meeraksa and Poonlap Lamsrichan

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University, THAILAND

E-mail addresses: tananiti_p@hotmail.com; son_palmy@hotmail.com; fengpll@ku.ac.th

Abstract

The Wavelet Difference Reduction (WDR) is the effective run-length algorithm for significant coefficients coding using in wavelet image compression. Another algorithm such as simple bit-plane encoding used in JPEG2000 also has high efficiency especially in area of image with packed significant pixels. By experimental results, the WDR is suitable for encoding the higher bit-planes of all wavelet subbands where significant pixels are separated apart. The simple bit-plane encoding will be more effective only at the lower bit-planes where significant pixels are clustered. Since no algorithm is the best at all bit-planes of all subbands, using the combination of both should get the better results than one algorithm alone. The new encoder which automatically chooses between both algorithms in each bit-plane encoding is proposed and evaluated for the performance in this paper.

Keywords: bit-plane encoding; wavelet difference reduction; run-length; significant coding.

1. Introduction

Many algorithms for efficient encoding of the coefficients from the wavelet transformed image have been proposed in the last few decades. The bit-plane encoding methods [1]-[4] have been proved to have the best performance among all algorithms. Some of the algorithm further utilizes the sophisticated context-modeled entropy-coded to yield an excellent results in trading with high computational complexity [3]. Although these algorithms have high performance, there are some differences in their effectiveness in each bit-plane in each subband of the encoding process. In the case of WDR [4], it shines when the significant coefficients rarely (but do) exist and are far apart from each other in the current subband. Whereas the simple

bit-plane encoding [3] is very efficient when the significant pixels are crowded in that subband. This research studied how to combine these two types of algorithms in the encoding of an image efficiently. The idea of switchable types of coding is quite similar to the alternative power engine, electrical and internal combustion one, in the hybrid vehicle. Therefore, this coder will be called hybrid wavelet encoder in this paper.

Next section is about how simple bit-plane encoding and WDR work. The comparison between them is also conducted. The following section reveals the main idea of the proposed hybrid encoders. The rate-distortion results are shown in section 4. Finally, a conclusion is in the last section.

2. Bit-plane encoding of wavelet coefficients

A bit-plane n of a wavelet image is a plane consists of the n^{th} bits of all pixels in the entire image. In bit-plane encoding, the first bit-plane collected is the MSB which gives the most critical approximation of the signal. When bit-plane n is fully encoded, the encoding process goes on with encoding the next bit-plane, $n-1$. This process continues while the number of bits allowed (bit budget) is still available. Adding more sets of bit-plane information giving a better detail and the reconstructed image is closer to the original one.

Simple bit-plane encoding algorithm (called Type-B, from now on) encodes the new significant (larger than threshold) coefficients by bit '1' followed by a polarity bit ('0' for positive and '1' for negative). For each of insignificant pixel, only one of bit '0' will be coded. In summary, without entropy coding, simple bit-plane encoding will generate 2 bits for each significance state and 1 bit for insignificant encoding. This type of algorithm (with very efficient entropy-coded) is used in normal mode of the well-known JPEG 2000 [3].

Another approach for bit-plane encoding is proposed in [4]. WDR encodes significant pixels in the same manner (2 bits) as the simple bit-plane encoding described above. The symbols '+' and '-' are used for positive and negative significant coefficients, respectively. However it encodes insignificant pixels in run-length manner which means long consecutive insignificant bits are grouped and encoded together. The other two symbols '0' and '1' are used to represent the difference or run-length of insignificant pixels in reduced form. For two significant pixels separated by N insignificant pixels, the difference between them will be N+1. The reduced form of any difference value is its binary representation with the MSB omitted. When difference is 5, its reduced form is just '01' (when the MSB '1' is discarded). In summary, WDR (called Type-W, from now on), have 4 types of output symbols (represented by 2 bits each).

It can be seen that the number of bits required for insignificant coefficients for Type-W and Type-B are not the same. When insignificant pixels happen in a long sequence, the reduced form of its binary representation in Type-W will be more effective than encoding long sequence of '0' in Type-B. For example, when the difference is 18, the binary is '10010' with the reduced form of '0010' and Type-W required just 8 bits which are quite fewer than 17 bits of '0' needed by Type-B. However, when the difference is short (less than 4), the Type-B coding will be more effective than the Type-W. In general, when the number of consecutive insignificant pixels is d, Type-B uses d bits while $\lfloor \log_2(d+1) \rfloor \times 2$ bits are required by Type-W. The Fig. 1 shows the comparison of number of bits (lower is better) required by both types of encoding for various value of d.

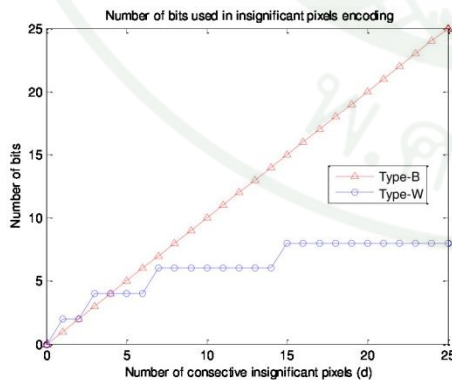


Fig. 1 Number of bits used in insignificant pixels encoding of Type-B and Type-W.

The (magnitude) refinement encoding for both Type-B and Type-W use the same amount of bits (without entropy-coded).

3. The Hybrid Encoder

In the proposed encoder, the image will be bit-plane encoded in subband-by-subband manner. For simplicity of encoder, only one type (Type-B or Type-W) will be used in each bit-plane of each subband. From Fig. 1, we know that when the average sequence length of consecutive insignificant pixels is shorter than 4, Type-B is preferred. For sequence longer than 4, Type-W requires less number of bits. From now on this $d = 4$ will be kept as the changing point of the coding. In the encoding process, this average length cannot be known in advance; however, it can be predicted with the existing information until the bit-plane before the current bit-plane.

At this beginning state of the development of this hybrid encoder, there are 2 different decision methods for choosing which type (B or W) to be used in each bit-plane of each subband. These 2 decision methods have the following same strategies:

- (1) The first bit-plane of all subband uses Type-W. Since just small number of pixels will be dominant compared to the size of subbands themselves.
- (2) The following bit-plane many continue to use Type-W as long as changing condition is not met.
- (3) At some bit-plane, when changing condition (according to the method) is met, change to Type-B.
- (4) Once a subband uses Type-B, that subband will use Type-B until its last bit-plane (no changing back).

A. Hybrid-1 Method

For subband number starts from 1 for all-lowpass to $3L+1$ for L-level decomposition, we empirically settle a simple changing condition as follow.

Subband 1-2: Type-W for the first 2 bit-planes

Subband 3-5: Type-W for the first 4 bit-planes

Subband 6-8: Type-W for the first 6 bit-planes

Subband 9-last: Type-W for the first 10 bit-planes

Type-W for the first N bit-planes means that the first N bit-planes (from MSB to MSB - N + 1) of that subband will be encoded with Type-W. And bit-planes from MSB - N to the lowest will be encoded with Type-B. This decision algorithm will be predefined in both encoder and decoder so that the compressed image can be reconstructed successfully.

B. Hybrid-2 Method

In this method the first bit-plane of all subbands use Type-W. Then, before encoding the next bit-plane in each subband, the expected value of the average length of consecutive insignificant d will be calculated from the existing number of significant pixels of that subband (before this bit-plane). If the expected value of d is less than or equal to 3, the coder will be changed to Type-B and never be changed back later. This simple changing condition yields quite better performance compared to that of the hybrid-1 method.

4. Experimental Results

The proposed coder is performed on many test images without any entropy coding. These hybrid encoders' results are compared with the pure Type-B, pure Type-W, and optimum encoder which always choose the type with minimum number of bits between Type-B and Type-W in each bit-plane of all subbands.

The proposed coders of hybrid wavelet image compression provide the better results than using only Type-W or Type-B alone for all test images.

The Table 1 is percent of correction of the chosen coding method of the proposed coder compared to the optimum one. The proposed coder can correctly choose the method with average of 87.25% for Hybrid-1 and 95.35% for Hybrid-2. The Hybrid-2 provides better result than Hybrid-1 due to Hybrid-1's constant-patterned choosing method does not take the local percentage of significant into account. On the other hand, The Hybrid-2 will choose coding method based on average length of consecutive insignificant before encoding the next bit-plane in each subband.

Table 1: Percent of correction of method choosing for all test images.

Percent of correction	Lena	Barb	Baboon	Peppers
Hybrid-1	92.30	88.81	77.69	90.20
Hybrid-2	95.80	96.59	94.40	94.63

The Fig.2 is rate-distortion of 'Barb', 'Peppers', 'Baboon' and 'Lena' images. For the comparison of rate-distortion in Hybrid-2, Hybrid-1, Type-W and Type-B. It can be seen that Hybrid-2, Hybrid-1 and Type-W are very close of the rate-distortion results. However, The hybrid encoder (Hybrid-2 and Hybrid-1) have better rate-distortion result than Type-B.

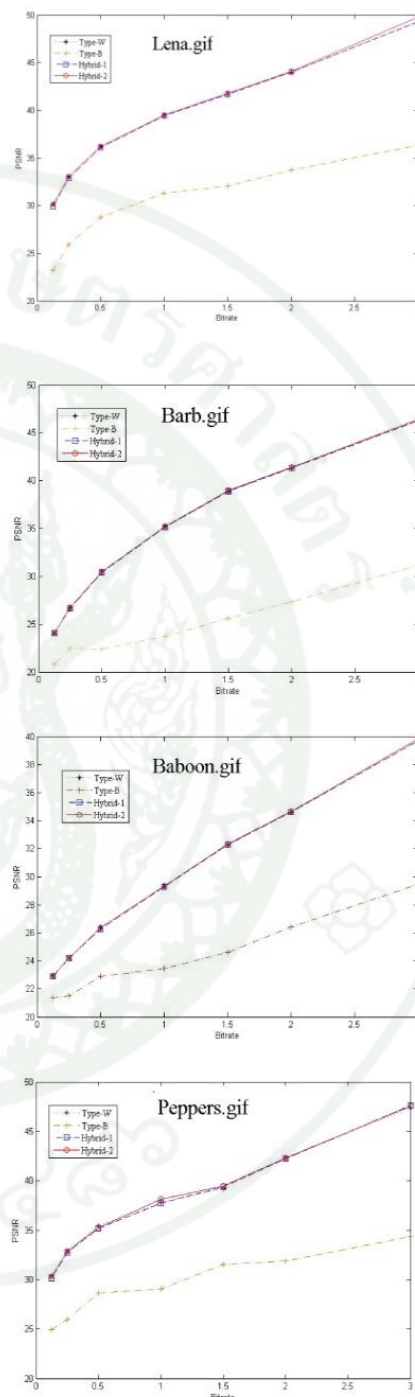


Fig. 2 Rate-distortion performance of the proposed coders

The Table 2 is the cumulative bit rates until bit-plane n of the proposed hybrid encoder compared to the pure Type-W, pure Type-B and the optimum coder. From the comparison of cumulative bit rates among the hybrid encoders, the pure Type-W, pure Type-B and the optimum coder. It can be seen that the hybrid encoder (Hybrid-2 and Hybrid-1) use less bit rates than pure Type-B and pure Type-W. And the hybrid encoders have very close cumulative bit rates to the optimum coder.

5. Conclusion

The non-entropy coded hybrid encoders perform quite well and have very close performance to the optimum one. Next step is to evaluate this hybrid encoder with entropy coding implemented. Please be noted that entropy coding for the simple bit-plane encoding uses context modeling and is very efficient method which can reduce the amount of bits in the bit-stream drastically. Therefore with entropy coding considered, the changing condition (number of consecutive insignificant coefficients) between Type-W to Type-B may be changed from the one used in this paper.

References

- [1] J.M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Transaction on Signal Processing, Vol. 41, 1993, pp. 3445–3462.
- [2] A. Said, and W.A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 6(3), 1996, pp. 243–250.
- [3] D. Taubman, E. Ordentlich, M. Weinberger, and G. Seroussi, "Embedded block coding in JPEG 2000," Signal Processing – Image Communication, volume 17 (number 1), 2002, pp. 49-72.
- [4] J. Tian, and R.O. Wells, Jr., "Embedded image coding using wavelet-difference reduction", in Wavelet Image and Video Compression, Topiwala, P., Ed., Kluwer Academic, Norwell, MA, 1998, pp. 289–301.

Table 2: Cumulative bit rates until bit-plane n of the proposed coders compared to pure Type-B, pure Type-W, and the optimum coder.

Image	Coding Method	Bit-plane $n =$											
		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Lena	Type-W	0.001	0.002	0.006	0.016	0.041	0.098	0.216	0.434	0.850	1.726	2.973	4.228
	Type-B	0.001	0.004	0.021	0.131	0.322	0.829	1.845	2.876	3.938	5.091	6.340	7.551
	Optimum	0.001	0.002	0.006	0.016	0.041	0.098	0.216	0.434	0.849	1.725	2.958	4.169
	Hybrid-1	0.001	0.002	0.006	0.016	0.042	0.099	0.224	0.446	0.865	1.746	2.994	4.202
	Hybrid-2	0.001	0.002	0.006	0.016	0.041	0.098	0.216	0.434	0.852	1.733	2.975	4.183
Barb	Type-W	0.001	0.002	0.006	0.015	0.044	0.171	0.395	0.750	1.252	2.003	3.082	4.342
	Type-B	0.001	0.003	0.016	0.064	0.567	1.088	2.115	3.138	4.158	5.192	6.309	7.472
	Optimum	0.001	0.002	0.006	0.015	0.044	0.170	0.394	0.749	1.250	2.000	3.067	4.229
	Hybrid-1	0.001	0.003	0.007	0.018	0.055	0.179	0.415	0.782	1.319	2.110	3.203	4.317
	Hybrid-2	0.001	0.003	0.007	0.017	0.054	0.177	0.409	0.775	1.311	2.103	3.182	4.293
Baboon	Type-W	0.001	0.002	0.004	0.009	0.039	0.186	0.579	1.263	2.190	3.107	3.908	4.728
	Type-B	0.001	0.003	0.014	0.077	0.331	1.354	2.413	3.480	4.508	5.399	6.164	6.962
	Optimum	0.001	0.002	0.004	0.009	0.038	0.186	0.579	1.261	2.185	3.076	3.841	4.638
	Hybrid-1	0.001	0.002	0.005	0.010	0.042	0.189	0.584	1.266	2.193	3.108	3.874	4.671
	Hybrid-2	0.001	0.002	0.004	0.009	0.038	0.186	0.579	1.261	2.187	3.088	3.853	4.651
Peppers	Type-W	0.001	0.003	0.008	0.018	0.043	0.096	0.209	0.427	1.000	2.088	3.302	4.430
	Type-B	0.002	0.010	0.042	0.106	0.358	1.115	2.128	3.158	4.251	5.455	6.626	7.710
	Optimum	0.001	0.003	0.008	0.018	0.042	0.096	0.208	0.426	0.999	2.085	3.255	4.339
	Hybrid-1	0.001	0.003	0.008	0.018	0.044	0.098	0.217	0.437	1.010	2.097	3.268	4.351
	Hybrid-2	0.001	0.003	0.008	0.018	0.043	0.096	0.208	0.426	0.999	2.085	3.277	4.360

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสนทนา หมีรักษา
เกิดวันที่	7 เมษายน 2532
สถานที่เกิด	อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยกระบี่ วท.บ. (วิศวกรรมซอฟต์แวร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น 5 ห้อง 505/7
ผลงานดีเด่น	- ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง A Simulation of Hybrid Wavelet Image Compression. The 28th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2013). 30 Jun.-3 Jul. 2013. pp. 645-648. - ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง “Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bitplane and Wavelet Difference Reduction” ในงาน The 36 th Electrical Engineering Conference (EECON-36), December 2013, Thailand.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-