รหัสโครงการ SUT7-709-57-12-39

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
(Design and Development of Image Compression Algorithm for Wireless Sensor Networks)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-709-57-12-39

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Design and Development of Image Compression Algorithm for Wireless Sensor Networks)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557 ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายธนสาร ศรีโคตร นักศึกษาปริญญาโทที่ช่วยงานวิจัย ช่วยเก็บข้อมูลการวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือวิธีการสำหรับการบีบอัดข้อมูลในข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ สำหรับทำการบีบอัดภาพดิจิทัลพร้อมทั้งมีความผิดเพี้ยนของภาพเล็กน้อยและมีประสิทธิภาพการบีบอัดที่ยอมรับได้ โดยการใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการทำงานเพื่อที่จะประเมินผลเทคนิคการบีบอัดภาพที่แตกต่างกัน ได้แก่ เทคนิค 2D-Discrete Wavelet Transform Skipped High Pass Sub-band (2D-DWT SHPS) เทคนิค 2D-Discrete Wavelet Transform Average High Pass Sub-band (2D-DWT AVG) และ เทคนิค 2D-Discrete Wavelet Transform Artificial Intelligent Optimum High Pass Sub-band (2D-DWT AIO) การประเมินผลจะดำเนินการภายใต้การทำงานของการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ จากมุมมองของค่าคุณภาพของสัญญาณภาพ (PSNR (dB)) และ ค่าอัตราการบีบอัด (CR) นอกจากนั้นพารามิเตอร์และระดับการแปลงจะมีการเปรียบเทียบกับมาตราฐานการบีบอัดภาพ JPEG การประเมินผลนี้สามารถช่วยผู้ออกแบบในการทำนายสมรรถนะที่ได้สำหรับอัลกอริทึมการบีบอัด 2D-DWT สำหรับเครื่อข่ายตรวจรู้ไร้สาย

คำหลัก : เครื่อข่ายตรวจรู้ไร้สาย การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ การบีบอัดสัญญาณภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

The main objective of this research is method of data compression in digital image signal data using 2D-Discrete Wavelet Transform (2D-DWT) for compressing digital image with minimal image distortion and acceptable compression efficiency. We use MATLAB simulation to evaluate the various image compression techniques such as, 2D-Discrete Wavelet Transform Skipped High Pass Sub-band (2D-DWT SHPS), 2D-Discrete Wavelet Transform Average High Pass Sub-band (2D-DWT AVG) and 2D-Discrete Wavelet Transform Artificial Intelligent Optimum High Pass Sub-band (2D-DWT AIO). The evaluation is performed under the wavelet compression framework from the view point of quality of image (PSNR) and compression ratio (CR). Different combinations of parameters and transformation levels have been compared against the JPEG compression standard. This evaluation could help the designer to predict the performance of a given 2D-DWT compression algorithm for wireless sensor system.

KEYWORDS

Wireless sensor networks (WSN), 2D-Discrete Wavelet Transform (2D-DWT), Image compression

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย	3
2.3 ระบบสมองกลฝังตัว	8
2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพแบบไม่มีการสูญเสีย	9
2.5 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ	11
2.6 การบีบอัดสัญญาณภาพบนพื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ	13
2.7 การบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG	14
2.8 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	15
2.9 การวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล	20
2.10 สรุป	22
บทที่ 3 ผลการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 บทนำ	23
3.2 อัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพที่ได้ศึกษา	23
3.2.1 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG	23

3.2.2 การทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึม
การแปลงเวฟเล็ตดิสครีตแบบ 2 มิติ 24
3.2.2.1 เวฟเล็ตแม่ที่ใช้ในการทดสอบ 24
3.2.2.2 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2
ดิสครีตเวฟเล็ต แบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands 32
3.2.2.3 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3
ดิสครีตเวฟเล็ต แบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands 34
3.2.2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4
ดิสครีตเวฟเล็ต แบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค
AI Optimum High Pass Sub-bands 36
3.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม 38
3.3.1 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิตอลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 38
3.3.2 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ
อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4 44
3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 98
3.4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบอัลกอริทึมการบีบข้อมูลภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 98
3.4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ
อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4 98
3.4.3 วิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพ
ระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG
และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar 99
3.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพ
ระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG
และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar 104
3.5 แนวคิดและหลักการในการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิตอล
สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย 104
3.5.1 รายละเอียดการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพ
สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย 105
3.5.2 การออกแบบจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพ
สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายโดยใช้ Simulink 105

3.5.3 ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink
อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2
ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane 108
3.5.4 วิเคราะห์ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink
อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2
ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane 115
3.5.5 ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink
อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2
สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava) 115
3.5.6 วิเคราะห์ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink
อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2
สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava) 119
3.6 ขอบเขตการใช้งานและแนวทางการขยายขอบเขตของเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย
สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพ 120
3.7 สรุป 120

บทที่ 4 สรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย 121
4.2 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย 122

บรรณานุกรม 123
ภาคผนวก 125

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 39
3.2 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 39
3.3 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 40
3.4 ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 40
3.5 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 43
3.6 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 44
3.7 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 45
3.8 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 46
3.9 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 47
3.10 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 48
3.11 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 49
3.12 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 50
3.13 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 51
3.14 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 52
3.15 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 53
3.16 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 54
3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต แบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม 55

3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต
แบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม 56
3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต
แบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม 57
3.20 ค่าเฉลี่ยการบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต
แบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม 58
3.21 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 JPEG 81
3.22 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (1 level 2D-DWT SHPS) 82
3.23 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (2 level 2D-DWT SHPS) 83
3.24 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 JPEG โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ 84
3.25 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (DWT 1 level แบบ SHPS) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ 84
3.26 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (DWT 2 level แบบ SHPS) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ 85
3.27 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมทั้งขบวนการบีบอัด (Compression)
และการคลายการบีบอัด (Decompression) 85
3.28 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane 91
3.29 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ 92
3.30 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2 99
3.31 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2 99

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor network system) 4
2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย 6
2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) 9
2.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ 11
2.5 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ แบบฟิลเตอร์ 12
2.6 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ แบบหลายระดับ 12
2.7 การแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ แบบฟิลเตอร์ 13
2.8 การบีบอัดสัญญาณภาพบนพื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ 14
2.9 กระบวนการทำงานของการบีบอัดภาพแบบ JPEG 15
2.10 การข้ามสายพันธุ์ 18
2.11 การการกลายพันธุ์ 18
2.12 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 19
3.1 การทำงานของอัลกอริทึมแบบ JPEG 24
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Haar (Haar) 25
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 2 (Db2) 25
3.4 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 4 (Db4) 26
3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 8 (Db8) 26
3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Symlets 2 (Sym2) 27
3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Coiflets 1 (Coif1) 27
3.8 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.1 (Bior1.1) 28
3.9 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.3 (Bior1.3) 28
3.10 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.5 (Bior1.5) 29
3.11 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.1 (Rbio1.1) 29
3.12 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.3 (Rbio1.3) 30
3.13 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.5 (Rbio1.5) 30
3.14 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Discrete Meyer (Dmey) 31
3.15 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 1 level (2D-DWT SHPS) 33
3.16 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2 level (2D-DWT SHPS) 33
3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 1 level (2D-DWT AVG) 35
3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2 level (2D-DWT AVG) 35
3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 1 level (2D-DWT AIO) 37

3.20 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2 level (2D-DWT AIO) 38
3.21 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 41
3.22 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 41
3.23 ภาพผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG 43
3.24 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 45
3.25 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 47
3.26 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 49
3.27 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 51
3.28 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 53
3.29 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 55
3.30 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 57
3.31 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 59
3.32 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 61
3.33 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 63
3.34 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 65
3.35 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่ 67
3.36 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS) 77
3.37 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG) 78
3.38 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT (AIO) 79
3.39 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena

โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS) 80
3.40 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG) 81
3.41 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO) 82
3.42 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS) 83
3.43 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG) 84
3.44 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO) 85
3.45 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS) 86
3.46 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG) 87
3.47 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ
โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO) 88
3.48 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) 89
3.49 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) 90
3.50 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) 91
3.51 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) 92
3.52 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) 93
3.53 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) 94
3.54 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) 95
3.55 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) 96
3.56 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) 97
3.57 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)
และอัลกอริทึมที่ 2 (DWT-SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar 104
3.58 ระบบที่ออกแบบขึ้นสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย 105
3.59 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ต แบบ 2 มิติ
โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 1 level 106
3.60 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ต แบบ 2 มิติ
โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 2 level 107
3.61 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon 109

3.62 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Lena 110
3.63 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Airplane 110
3.64 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ 111
3.65 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Baboon 112
3.66 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Lena 113
3.67 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Airplane 114
3.68 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink และ Matlab code
อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS 115
3.69 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 1 117
3.70 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 2 118
3.71 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS
ของภาพ Cassava1 และ Cassava2 119
3.72 การขยายขอบเขตของเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สายสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพ 120

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor networks ; WSNs) คือ ระบบตรวจจับขนาดเล็กที่สามารถตรวจจับข้อมูลทางกายภาพและทำการประมวลผลและส่งออกข้อมูลไร้สายเพื่อแจ้งเตือนแก่มนุษย์หรือประมวลผลแล้วทำการตัดสินใจแทนมนุษย์ เช่น ระบบตรวจจับความชื่นในดิน เมื่อเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายตรวจจับได้ว่าในดินมีความชื้นต่ำก็จะทำการแจ้งเตือนไปให้มนุษย์ทำการรดน้ำหรือเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำการประมวลผลแล้วได้ผลลัพธ์ว่าในดินสายมีความชื่นต่ำก็สามารถสั่งการให้เปิดปั้มน้ำเพื่อให้น้ำแก่ดินโดยอัตโนมัติโดยปราศจากการตัดสินใจจากมนุษย์ ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายได้รับความนิยมอย่างมากในระบบอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ เช่น ระบบตรวจสอบรักษาความปลอดภัย ระบบเฝ้าระวังภัยธรรมชาติแผ่นดินไหว น้ำท่วม เป็นต้น

สำหรับองค์ประกอบของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นมีส่วนประกอบด้วยกันทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensors) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) อุปกรณ์สื่อสารไร้สายขนาดเล็ก (Communication modules) และส่วนสุดท้ายคือ แบตเตอรี่ (Battery) ซึ่งสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมีขีดจำกัดในการทำงาน ได้แก่ ความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Processing) ระบบหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Storage) ขีดจำกัดในการรับหรือส่งข้อมูลไร้สาย (Bandwidth) และอายุการใช้งานของระบบ (Battery life)

สำหรับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพ (Image sensor) ที่มีปริมาณข้อมูลดิจิทัลที่สูงมากที่ต้องทำการส่งผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไข้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพ โดยใช้เทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Image compression) ซึ่งจะทำให้ขนาดของภาพลดลงทำให้ส่งผ่านข้อมูลน้อยลงและสามารถส่งผ่านเครือข่ายได้เร็วขึ้น ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ (2D Discrete wavelet transform: 2D-DWT) และทำการละทิ้งแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงใช้เพียงแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำมาทำการจัดระดับสัญญาณ (Quantization) ให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูล จากนั้นจึงทำการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบไม่สูญเสีย คือ รันเรนจ์ (Run-length) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าคุณภาพสัญญาณ (PSNR (dB)) ที่เหมาะสม คือ มีค่าคุณภาพสัญญาณประมาณ 30 dB มีอัตราการบีบอัดข้อมูล (CR) ที่มากกว่า 2 เท่า มีการประมวลผลต่ำกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group) ที่เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบมาตราฐาน

1.2 วัตถุประสงค์ของรายงาน

1.) เพื่อทำการนำอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
2.) เพื่อออกแบบอัลอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพดิจิทัลที่มีการประมวลผลต่ำกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล JPEG ที่เป็นมาตราฐานการบีบสัญญาณภาพดิจิทัล
3.) เพื่อลดขนาดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลจากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพ

1.3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

1.) ดำเนินการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
2.) ดำเนินการเขียนโปรแกรมอัลกอริทึมในการบีบอีดข้อมูลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองผลการบีบอัดสัญญาณภาพ
3.) ดำเนินการทดสอบโปรแกรมและปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4.) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่อง
5.) จัดทำรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
2.) ได้แนวทางในการพัฒนาอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทที่ 2 นี้จะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ทฤษฎีระบบสมองกลฝังตัว ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพแบบไม่มีการสูญเสีย ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ หลักการการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG และหลักการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม การวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

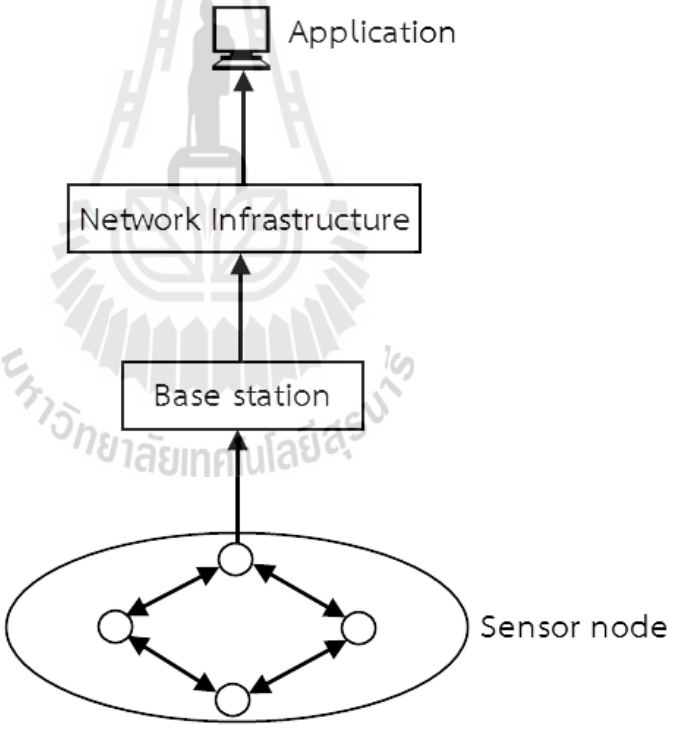
2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN)

เทคโนโลยีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย [14] เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาและมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ระบบเตือนวิบัติภัย (Disaster Warning Systems) เพื่อพยากรณ์และเตือนภัยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ระบบเฝ้าตรวจสอบและควบคุมทางด้านเกษตรกรรม (Monitoring and Controlling Systems for Agriculture) เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) ที่ไม่ใช้สายตัวนำสัญญาณ โดยเป็นประเภทหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network ; PAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีโปรโตคอล (Protocol) ที่มีลักษณะเฉพาะ มุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลต่ำ มีการใช้พลังงานต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย สามารถตรวจวัดสัญญาณเป้าหมายและส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้จำนวนมาก ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งต่างๆ จากอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายมากมาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการพัฒนาต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทุกพื้นที่สภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์ตรวจรู้จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลถึงกันตามที่ผู้พัฒนาได้โปรแกรมไว้ เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการนำอุปกรณ์ตรวจรู้แต่ละตัวไปติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวัดสัญญาณและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะติดต่อและส่งข้อมูลถึงกันเพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลยังเครื่องปลายทาง

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมีการพัฒนาในยุคเริ่มต้นจากการใช้งานทางด้านการทหารในการทำสงครามเย็นทางด้านคลื่นเสียง ต่อมาได้รับการพัฒนาทางระบบเรดาร์ทางอากาศ ระบบเครือข่ายในยุคแรกมีรูปแบบเป็นลำดับขั้นการประมวลผลจะทำตามลำดับขั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงานยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเตอร์เน็ต เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายตรวจรู้แบบกระจายตัวโดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวการประมวลผลสัญญาณการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูงแต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนั้นทำให้อุปกรณ์ตรวจรู้มีขนาดใหญ่ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอุปกรณ์

ตรวจรู้สื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดวิธีการวัดและเก็บข้อมูลแบบใหม่โดยใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายและฝังตัวในสิ่งแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล อุปกรณ์ตรวจรู้แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูล อุปกรณ์ตรวจรู้และเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งลักษณะการทำงานจะขึ้นอยู่กับแต่ละสภาวะที่แตกต่างกันไป

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสามด้าน ประกอบด้วย เทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีขนาดเล็กมีความแม่นยำในการวัดสูง เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมถึงอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีขนาดเล็ก การรวมกันของสามเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดอุปกรณ์ตรวจรู้ ที่มีราคาถูก เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ วัดและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเองและติดต่อสื่อสารถึงกันแบบเครือข่ายไร้สายดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor network system)

2.2.1 องค์ประกอบของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายประกอบด้วยสามส่วนได้แก่ อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor Unit) เกตเวย์ (Gateway) และสถานีฐาน (Base Station) อุปกรณ์ตรวจรู้จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับอุปกรณ์ตรวจรู้ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ควบคุมและจัดการงานของตัวเองทั้งหมดของอุปกรณ์ตรวจรู้ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำให้แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยให้อุปกรณ์ตรวจรู้ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อๆ กันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอพ (Multi-Hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ธรรมดาหรือเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเตอร์เน็ต เนื่องจากเป็นการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ใช้แหล่งพลังงานภายในอุปกรณ์ตรวจรู้เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจรู้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลอุปกรณ์ตรวจรู้อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่ายที่มีอุปกรณ์ตรวจรู้ที่เคลื่อนที่ได้การเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ตรวจรู้นั้นมีผลต่อโครงสร้างของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจรู้โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทางซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้นๆ

2.2.2 อุปกรณ์ตรวจรู้

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจรู้คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมนำข้อมูลไปประมวลผลสร้างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้อุปกรณ์ตรวจรู้มีส่วนประกอบหลักดังนี้

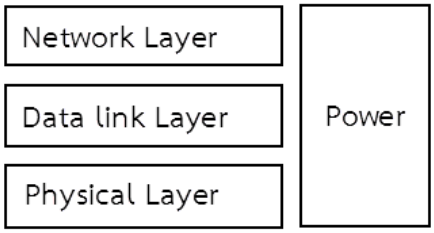
1) ตัวตรวจรู้ ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของตัวตรวจรู้ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก เป็นต้น

2) หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ทำหน้าที่รับ ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สาธารณะ (Industrial Sciences Medicine Band ; ISM Band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้ข้างเคียง

3) หน่วยประมวลผล ติดต่อกับตัวตรวจรู้เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากตัวตรวจรู้เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูลจัดเก็บลงในหน่วยความจำรอการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่างๆ หรือหน่วยประมวลผลกลางอาจทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ตรวจรู้ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจรู้

4) แหล่งพลังงาน เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนอุปกรณ์ตรวจรู้ แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากอุปกรณ์ตรวจรู้มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.2.3 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย



รูปที่ 2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

โปรโตคอลสแตกหรือระดับชั้นเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมากเพราะอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัดทำให้พลังงานมีผลมากกับอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของโมเดลการเชื่อมต่อระบบเปิด (Open Systems Interconnection model ; OSI model) โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูป แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองคอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเองส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

1) ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด
2) ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลระหว่างตรวจรู้ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control ; MAC) การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูลเพื่อให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจรู้จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจรู้อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ
3) ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอพเพื่อส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ไปยังสถานีฐานการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้
4) ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจรู้และเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้น เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้ที่เหลือพลังงานน้อย อาจจะลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรจะส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

2.2.4 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริงซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเตอร์เน็ต

มาตรฐานซิกบี (Zigbee) ถูกพัฒนาโดยซิกบีอัลไลแอนซ์ (Zigbee Alliance) บนมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 GHz ความเร็วด้านกายภาพ 250 Kbps และมีระยะการทำงาน 10 – 75 เมตร

มาตรฐานอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband ; UWB) มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม

มาตรฐานบลูทูธ (Bluetooth) เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนาก็เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้กับระบบเครือข่ายขนาดเล็กๆที่เรียกว่าเครือข่ายพื้นที่ขนาดบุคคล (Personal Area Network ; PAN) ซึ่งขนาดของการทำงานส่งข้อมูล (Throughput) เท่ากับ 500 Kbps และมีรัศมีการส่งสัญญาณที่ 10 เมตร

2.2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย แบ่งออกเป็น 5 ด้านหลัก

1) ด้านวิศวกรรมทั่วไป
   - การติดตั้งเครื่องมือสื่อสารภายในรถยนต์
   - การใช้ตรวจรู้โดยมีคีย์บอร์ดเป็นตัวสัมผัสปลายนิ้วมือ
   - ตัวตรวจจับและการดูแลรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรม
   - สำนักงานอัจฉริยะ
   - การตรวจสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้า
   - การรักษาความปลอดภัยด้านที่อยู่อาศัยและทรัพย์สิน
2) การควบคุมด้านเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อม
   - การทำการเกษตรกรรมโดยมีความถูกต้องเที่ยงตรง
   - การสำรวจพืชผลทางการเกษตร
   - การควบคุมภูมิศาสตร์ทางกายภาพ
   - การควบคุมคุณภาพน้ำ
   - การควบคุมจำนวนที่พักอาศัย
   - การตรวจจับภัยพิบัติต่างๆ
3) ด้านวิศวกรรมโยธา
   - การควบคุมงานโครงสร้าง
   - การวางแผนผังเมือง

- การฟื้นฟูปัญหาภัยพิบัติต่างๆ
- การควบคุมและการจัดการอย่างมีคุณค่า
- ใช้ในการสู้รบและการทำสงคราม
- การป้องกันภัยต่างๆ

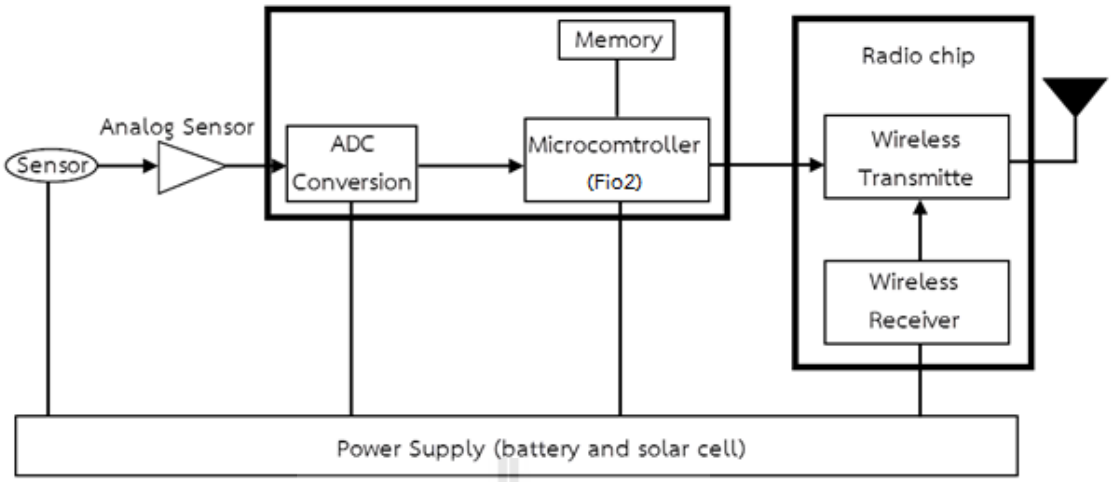
4) ด้านควบคุมสุขภาพและการผ่าตัดด้านตัวตรวจวัดด้านการแพทย์
- การวัดอุณหภูมิของร่างกาย
- การวัดความดันโลหิต
- การวัดชีพจร

5) ด้านการผ่าตัดขนาดเล็ก
- ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคสำหรับหุ่นยนต์ (Micro-Electro-Mechanical Systems Based Robots ; MEMS-Based Robots)

เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัยระบบนี้จะต้องการความเร็วในการส่งสูง ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบนี้เครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลแต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูลในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน รวมทั้งระบบการสื่อสารระยะสั้น เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้มักมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะสั้นๆไม่ไกลมากแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาระบบขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ดังเช่นมาตรฐานบลูทูธ (Bluetooth) ซิกบี (Zigbee) รวมทั้งอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband ; UWB)

2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system)

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) [3] เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตัก (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายในไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวัน เช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้าตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล กล้องวีดิทัศน์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Data Compression)

การบีบอัดสัญญาณภาพแบบไม่มีการสูญเสีย [11] หรือมีการสูญเสียน้อยเป็นอัลกอริทึมของการบีบอัดแบบที่ไม่มีการสูญเสียหรือการเข้าหรัสเอนโทรปี (Entropy coding) โดยที่จะพยายามเก็บรักษาข้อมูลให้มีความกะทัดรัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมของการบีบอัดแบบที่ไม่มีการสูญเสียนี้จะถูกกำหนดขอบเขตด้วยเอนโทรปีของข้อมูลเอง ซึ่งจะสามารถบีบอัดข้อมูลที่มีจำนวนมากได้และจุดสำคัญคือจะมีการแยกแยะข้อมูลอย่างมีเหตุมีผล โดยจะทำการยกตัวอย่างการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน (Huffman coding) และ รันเรนจ์ (Run-length coding)

2.4.1 การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน (Huffman coding)

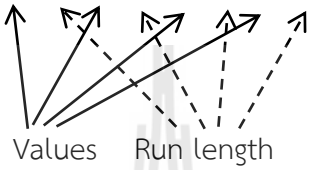
การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนเป็นวิธีการเข้ารหัสเอนโทรปีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการบีบอัด ซึ่งใช้ในส่วนของการสร้างตารางเก็บค่าความยาวของข้อมูลต่างๆ โดยจะทำการจัดตารางข้อมูล (Dictionary) ที่ปรากฏในไฟล์ทั้งหมดและจัดทำเป็นดัชนีเพื่อย่อขนาดของรูปแบบที่เหมือนกันเท่าที่จะทำได้ นั้นหมายความว่าถ้ามีข้อมูลซ้ำกันมากเท่าไรก็จะสามารถบีบอัดได้มาก การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนใช้หลักการทำงานเพื่อการแสดงข้อมูลที่ซ้ำๆ กันในแต่ละข้อมูลโดยมีผลลัพธ์ออกมาเป็นรหัสส่วนนำ (Prefix code) หรือบ้างทีจะเรียกรหัสอิสระส่วนนำ (Prefix-free code) ซึ่งเป็นข้อมูลในรูปแบบบิตสั้นๆ ที่สามารถนำไปใช้ได้กับข้อมูลทั่วไปอื่นๆ ได้

การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้การทำงานดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยถ้าข้อมูลมีจำนวนซ้ำกันเยอะกับรหัส (Code) ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการเข้ารหัสสัญลักษณ์โดยสัญลักษณ์ (Symbol-by-Symbol coding) ที่ทราบความน่าจะเป็นของค่าข้อมูลเริ่มต้น (Input) ที่สร้างไว้อยู่ นี้คือวิธีการบีบอัดที่ให้ผลลัพธ์มีขนาดเล็กลงมากที่สุด

2.4.2 การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ (Run-length coding)

การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์คือการลดขนาดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสียโดยการนับจำนวนที่ซ้ำกันและแทนด้วยจำนวนเลขที่นับได้และตามด้วยรหัสของข้อมูลตัวนั้นที่มีการซ้ำกัน ด้วยวิธีการนี้ข้อมูลที่มีค่าซ้ำๆกัน ก็จะเก็บเป็นรหัส (Code) แทน และบอกถึงจำนวนของข้อมูลที่ซ้ำกันว่ามีกี่จำนวน วิธีการนี้เป็นวิธีการลดขนาดของข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนกันซึ่งจะทำการบีบอัดข้อมูลได้น้อยเมื่อข้อมูลนั้นมีการซ้ำกันของข้อมูลน้อย และทำการบีบอัดข้อมูลได้น้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว

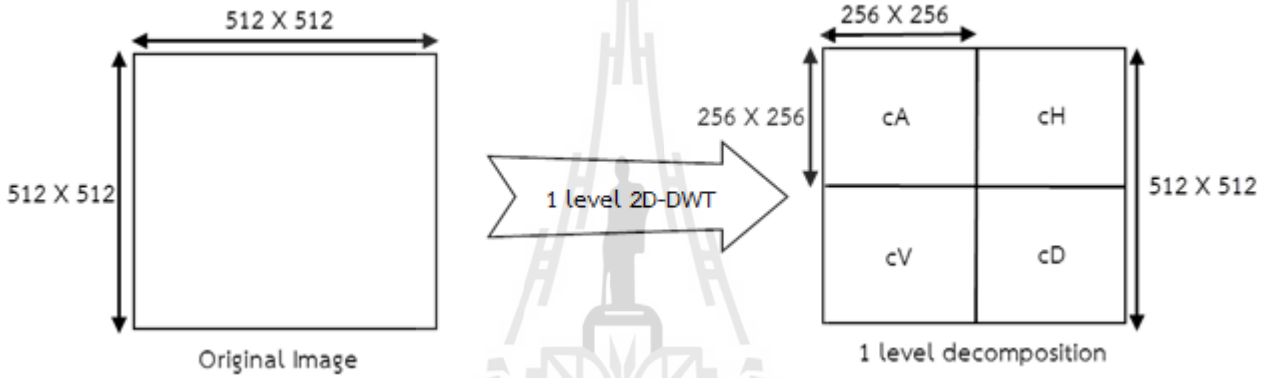
ยกตัวอย่างเช่น 1111001101 1 4 0 2 1 2 1 1



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

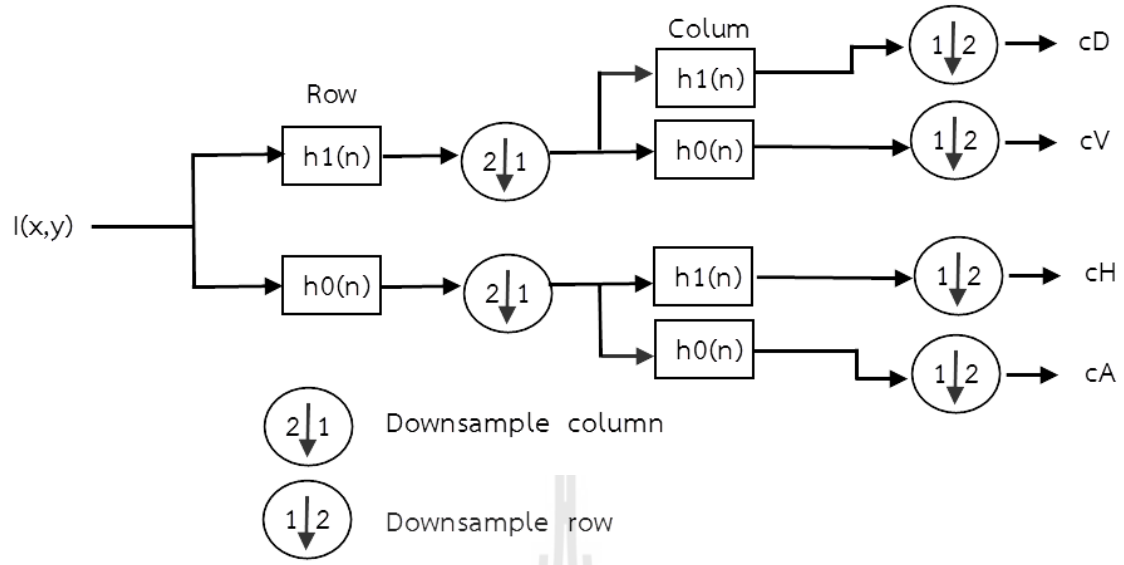
2.5 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D - Discrete Wavelet Transform ; 2D-DWT)

วิธีการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ [11] สัญญาณภาพดิจิทัลจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนแบนด์ย่อยสำหรับสัมประสิทธิ์การประมาณค่า (Approximation coefficients) ได้แก่ แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Details coefficients matrices ; cA) แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวนอน (Horizontal coefficients matrices ; cH) แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวตั้ง (Vertical coefficients matrices ; cV) และแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวทแยง (Diagonal coefficients matrices ; cD) โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของข้อมูลจะอยู่ที่ cA และขนาดของภาพจะเหลือเพียง ½ ของขนาดภาพจริงในแต่ละส่วนของสัมประสิทธิ์การประมาณค่า ตามรูปที่ 2.4



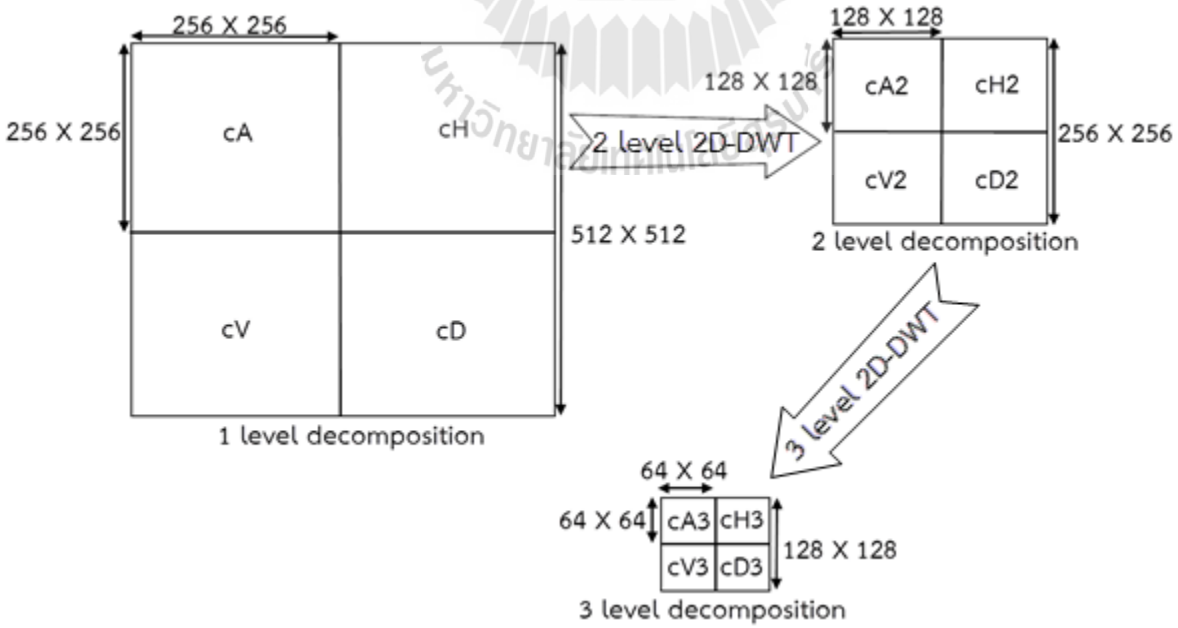
รูปที่ 2.4 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

ขั้นแรกจะแสดงการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ 1 ระดับ (1 Level) โดยการแปลงจะนำภาพ I(x,y) โดยที่ x คือแถวของสัญญาณภาพดิจิทัล และ y คือหลักของสัญญาณภาพดิจิทัล นำมาผ่านผ่านฟิลเตอร์แยกองค์ประกอบ (Decomposition Filter) h0 และ h1 ที่ข้างในฟิลเตอร์คือเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) ที่ถูกออกแบบไว้แล้วได้แก่ Haar Daubechies1 (Db1) และ Daubechies2 (Db2) เป็นต้น โดย h0 จะเก็บรายละเอียดความถี่ต่ำ และ h1 จะเก็บความรายละเอียดความถี่สูงหลังจากผ่านฟิลเตอร์เหล้านี้แล้วข้อมูลจะถูกลดการสุ่มสัญญาณ (Sampling) ลง ½ เท่า โดยการเริ่มจากเอาข้อมูลแนวแถวผ่านฟิลเตอร์ h0 และ h1 จากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บข้อมูล 1 คอลัมน์จาก 2 คอลัมน์ และนำข้อมูลเอาต์พุตนี้ไปผ่านฟิลเตอร์ h0 และ h1 อีกครั้งตามแนวคอลัมน์ จากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บข้อมูล 1 แถวจาก 2 แถว จะได้สัมประสิทธิ์ในความถี่ต่ำ cA และ 3 สัมประสิทธิ์ในความถี่สูง cH , cV และ cD ร่วมเป็น 4 แบนด์ย่อยดังรูปที่ 2.5



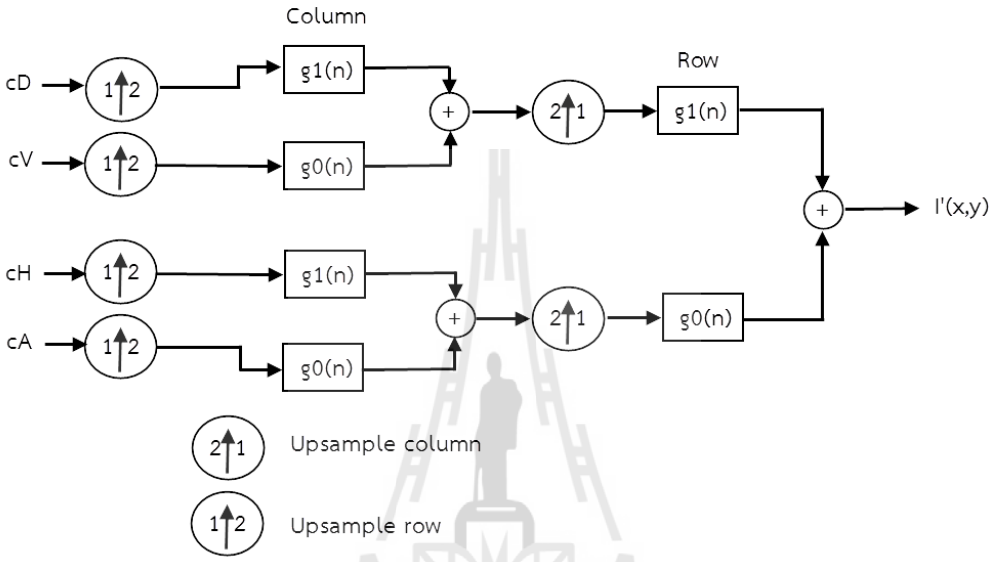
รูปที่ 2.5 การแปลงเวฟเล็ตแดิสครีตแบบ 2 มิติ

การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติอาจทำการแปลงได้หลายระดับ (level) โดยต่อไปถ้ามีการอ้างถึงการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตระดับ 1 หรือ ระดับ 2 ผู้วิจัยจะใช้คำว่า 1 level หรือ 2 level ตามลำดับ โดยการแปลงหลายระดับมีหลักการแปลงตามข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยการจะนำมาแปลง level ถัดไปจะใช้ข้อมูลต้นฉบับเป็นแบนด์ย่อยที่มีความถี่ต่ำที่สุดนั้นคือ cA มาทำการแปลงในระดับถัดไป ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ แบบหลายระดับ

จากนั้นสำหรับการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D - Inverse Discrete Wavelet Transform ; 2D-IDWT) จะใช้ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-Discrete Wavelet Transform ; 2D-DWT) มาประกอบกัน โดยทั้ง 4 แบนด์ย่อยจะถูกเพิ่มข้อมูลเป็น 2 เท่าของแถว จากนั้นจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์สร้างกลับ (Reconstruction filter) g0 และ g1 และนำข้อมูลมาต่อกัน จากนั้นจะทำเช่นขึ้นตอนแรกคือเพิ่มข้อมูลเป็น 2 เท่าของคอลัมน์และกรองด้วยฟิลเตอร์ g0 และ g1 และนำข้อมูลมาต่อกันจึงจะได้เป็นภาพที่มีขนาดเท่าเดิม ตามรูปที่ 2.7

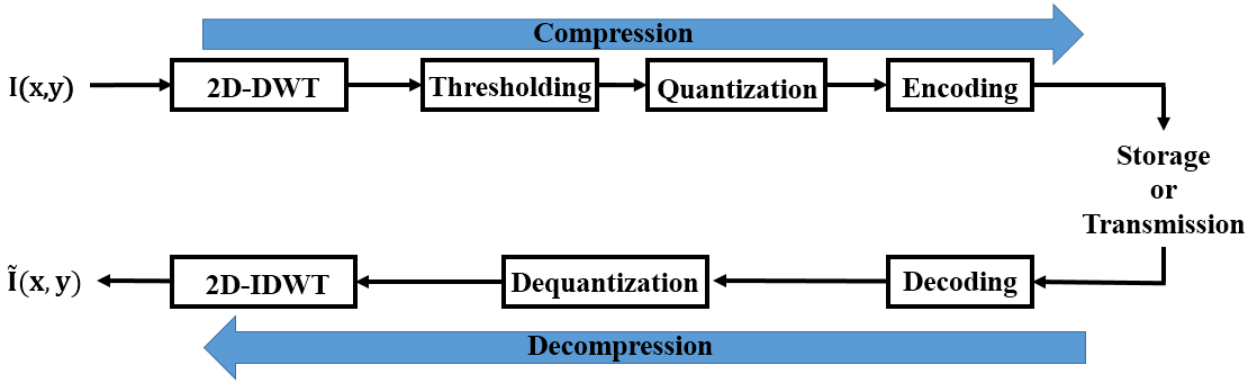


รูปที่ 2.7 การแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ แบบฟิลเตอร์

2.6 การบีบอัดสัญญาณภาพบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (Image compression based on 2D – Discrete wavelet transform)

การบีบอัดสัญญาณภาพบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) [11] เริ่มต้นด้วยการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ จากสัญญาณภาพอินพุตที่ป้อนเข้ามา บ่อยครั้งหลังจากที่ทำการแปลงดิสครีตแบบ 2 มิติเสร็จสิ้นจะทำเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูล (Preprocessing) เช่น การประมาณค่าทางสถิติ (Statistical estimation) การแบ่งส่วน (Seqmentation) การถ่วงน้ำหนัก (Weighting) และการทำค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding) เป็นต้น ต่อจากนั้นข้อมูลจะถูกทำการจัดระดับสัญญาณ (Quantization) สุดท้ายข้อมูลจะถูกทำการเข้ารหัส (Encoding) สำหรับการบีบอัดด้วยอัลกอริทึมการบีบอัดต่างๆ

สำหรับการสร้างข้อมูลกลับก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับของการบีบอัดข้อมูลคือจะนำข้อมูลที่ถูกบีบอัดข้อมูลแล้วมาทำการถอดรหัส (Decoding) สำหรับถอดรหัสการบีบอัดข้อมูลด้วยอัลกอริทึมต่างๆ จากนั้นทำการคลายการจัดระดับสัญญาณ (Dequantization) และขั้นตอนสุดท้ายคือการทำการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) เพื่อสร้างชุดสัญญาณภาพที่สร้างจากข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วดังรูปที่ 2.8



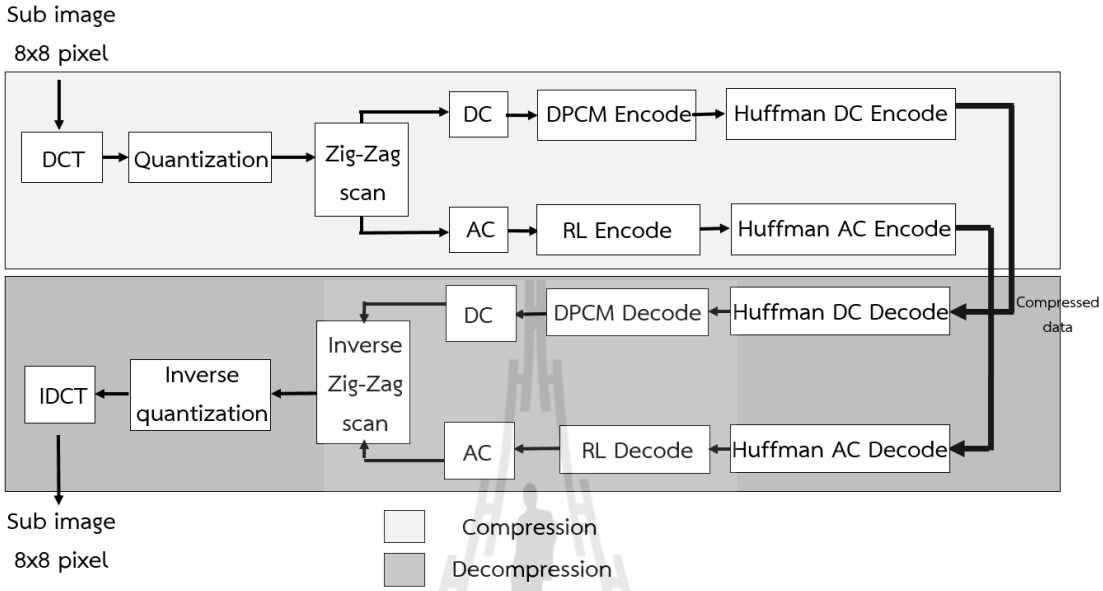
รูปที่ 2.8 การบีบอัดสัญญาณภาพบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

สำหรับการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับสัญญาณภาพดิจิตอลในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นมีมากมาย เช่น [1] มีการประยุกต์ใช้งานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับบีบอัดสัญญาณภาพของรูปภาพม่านตา [2] มีการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติบนพื้นฐาน Fast fractal image coding [3] มีการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติเพื่อบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย [4] มีการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG2000 [6] มีการประยุกต์ใช้งานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ SPIHT [7] มีการประยุกต์ใช้งานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ SPIHT บนพื้นฐานของ feed forward-feedback nonlinear dynamic filter [8] มีการประยุกต์ใช้งานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ SPIHT แลพ EZW [9] มีการประยุกต์ใช้งานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ SPIHT EZW และ JPEG2000 เป็นต้น

2.7 การบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group)

การบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG [11] ในส่วนของการบีบอัด (Compression) สัญญาณภาพจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อคย่อยๆ ที่มีขนาดเท่ากับ 8x8 พิกเซล จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการทำการแปลงโดเมนของสัญญาณสัญญาณภาพโดยใช้เทคนิคดิสครีตโคไซน์ทรานฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) ต่อด้วยทำการคูณด้วยเมทริกซ์ควอนไตเซชัน (Quantization Matrix) มีขนาดเท่ากับบล็อคย่อยๆ ของรูปภาพคือ 8x8 ที่สามารถปรับค่าระดับคุณภาพ (Quality Factor) ได้จาก 1 – 100% ข้อมูลที่ถูกคูณด้วยเมทริกซ์ควอนไตเซชันจะถูกเรียงตัวใหม่ให้เป็นเวกเตอร์ 1x64 จากนั้นข้อมูลตัวแรกจะถูกแยกออกมาเรียนว่าข้อมูลดีซี (Direct Current ; DC) และจะถูกเข้ารหัสแบบดิฟเฟอเรนจ์เทียวพลัสโค้ดมอดูเลชั่น (Differential Pulse Code Modulation) ต่อด้วยการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลดีซี ส่วนที่เหลือคือข้อมูลตัวที่ 2 ถึง 64 นั้นจะถูกแยกมาเป็นกลุ่มที่ 2 เรียกว่าเอซี (Alternating Current ; AC) และจะถูกเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ (Run-Length) ต่อด้วยการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลเอซี ซึ่งเมื่อรวมข้อมูลที่ได้จากการทำฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลดีซีและเอซีเข้าด้วยกันก็จะได้สัญญาณภาพที่ถูกทำการบีบอัดแบบเจเพ็ก

สำหรับการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพ (Decompression) จะเป็นกระบวนการทำย้อนกลับของการบีบอัดสัญญาณภาพ ดังที่กล่าวมานี้กระบวนการทำงานของการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG และกระบวนการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG มีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการทำงานของการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG [5] มีการประยุกต์ใช้งานในการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG สำหรับใช้งานกับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

2.8 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms : GA) [10] [12] เป็นวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากการวิวัฒนาการ หรือ การอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต เราจึงได้นำวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้แนวทางเดียวกัน มาช่วยหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบได้โดยง่ายด้วยการใช้วิธีการและกระบวนการทางพันธุศาสตร์เข้ามาช่วยในกระบวนการค้นหาคำตอบของปัญหา

2.8.1 องค์ประกอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

2.8.1.1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซมคือปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการ

หาคำตอบ และในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของปัญหานั้นๆ เช่น

2.8.1.1.1 ตัวอย่างการเข้ารหัสโครโมโซม

การเข้ารหัสไบนารี่ (Binary Encoding) เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที่นำมาใช้แก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงทำให้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้เป็นเรื่องธรรมดาที่สุด ลักษณะของการเข้ารหัสไบนารี่คือทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าเป็น bit 0 หรือ 1 ดังนี้

Chromosome A 101100101100101011100101
Chromosome B 111111100000110000011111

การเข้ารหัสขนาด (Value Encoding) ทุกตำแหน่งของยีนบนโครโมโซมจะมีค่าบางค่าที่สามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่นๆ รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน

Chromosome A 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Chromosome C (back), (back), (right), (forward), (left)

การเข้ารหัสวิธีการสับเปลี่ยน (Permutation Encoding) เป็นการกระทำดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประชากรที่เกิดจากการสุ่ม (Random) เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการสุ่มจะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

Chromosome A 1 5 3 2 6 4 7 9 8
Chromosome B 8 5 6 7 2 3 1 4 9

2.8.1.2 ประชากรเริ่มต้น (Initial population)

ประชากรเริ่มต้น (Initial population) คือ การสุ่มเลือกเพื่อสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรก หรือประชากรต้นกำเนิด จะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจากกลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้เป็นพารามิเตอร์ (Parameter) ของอัลกอริทึม

2.8.1.3 ฟังค์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness function)

ฟังค์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function) เป็นวิธีการสำหรับประเมินค่าความเหมาะสมเนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสของการเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) ก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังค์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function) ที่เป็นไปได้ของปัญหาโครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่าโครโมโซมตัวนั้นเหมาะหรือไม่ที่จะนำมาใช้สืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ เช่น กำหนดให้ค่าความเหมาะสม = จำนวนของบิต 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

A: 100011100
ดังนั้นโครโมโซม A มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 4

2.8.1.4 การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือก (Selection) เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น โดยคัดเลือกมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parents) ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรให้เกิดจากคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของชาร์ล ดาวิน (Charles Darwin) จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธ์ทำให้เกิดรูปแบบการคัดเลือกมากมายเพื่อให้เกิดผลลัพธ์น่าพอใจที่สุด เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อ (Roulette Wheel) การคัดเลือกแบบจัดลำดับ (Ranking) การคัดเลือกแบบการแข่งขัน (Tournament) และอื่นๆมากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด

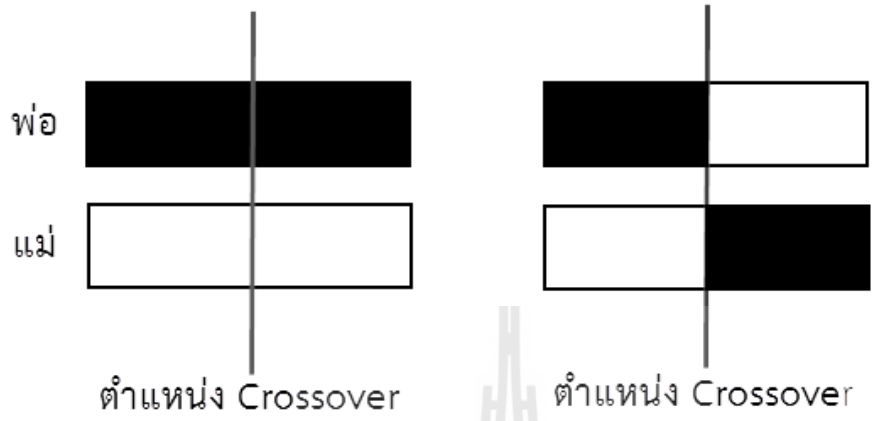
2.8.1.5 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operator)

ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operator) ซึ่งเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลทุกขั้นตอนขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ มี 2 ส่วน ดังนี้

2.8.1.5.1 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) เป็นกระบวนการที่สำคัญของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ซึ่งการข้ามสายพันธุ์ จะต้องอาศัยวิวัฒนาการเป็นเวลานานจึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุด และขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์คือนำ 2 โครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parents) มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อและคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1

ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่ และคัดลอกหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมาดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การข้ามสายพันธุ์

2.8.1.5.2 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ (Mutation) เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้นจะทำการสุ่มประชากรเปลี่ยนแปลงผลที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์หมายความว่ารุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้วจึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ต่อไป ซึ่งการกลายพันธุ์ทางพันธุศาสตร์จะทำให้ได้ลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนในการกลายพันธุ์เมื่อได้ตำแหน่งการกลายพันธุ์แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นในตัวอย่างต่อไปนี้จะดำเนินการการกลายพันธุ์กับรูปแบบโครโมโซมแบบไบนารี่โดยเราจะสุ่มเลือกบิตเพียงเล็กน้อยที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 ดังรูปที่ 2.11

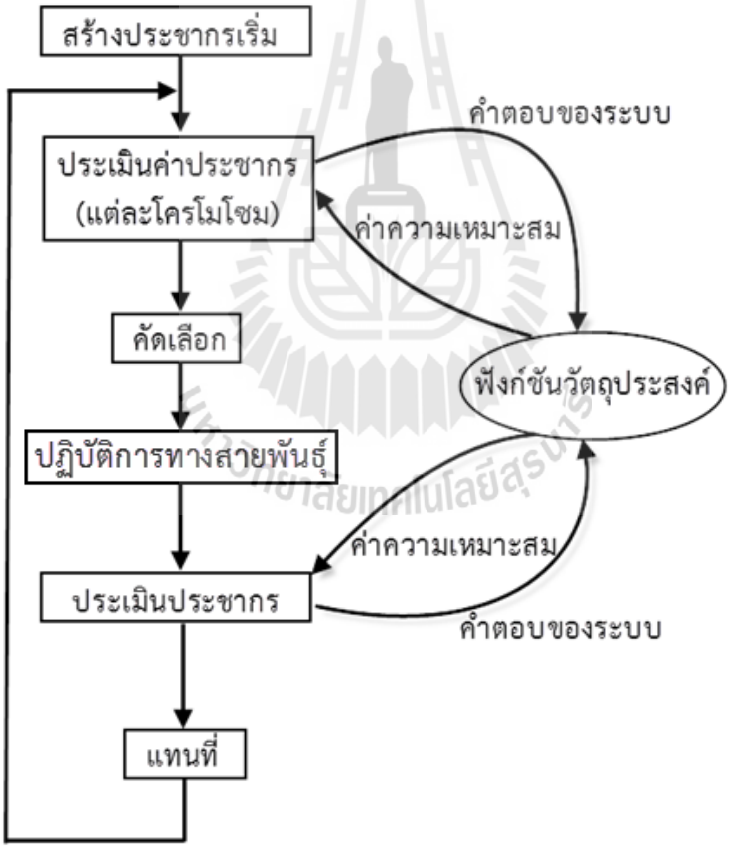
Offspring 1	1101111000011110
Offspring 2	1101100100110110
Mutated Offspring 1	1100111000011110
Mutated Offspring 2	1101101100110110

รูปที่ 2.11 การการกลายพันธุ์

2.8.1.6 การแทนที่ (Parameter)

การแทนที่ (Parameter) เป็นวิธีการที่ใช้ในการสร้างจำนวนโครโมโซมรุ่นถัดไปถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมีมากจะทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประมวลผลได้ช้าลง เช่น ขนาดของประชากร (Population size) ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (Probability Crossover) ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 60 - 95% ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability Mutation) ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 0 - 1% และจำนวนโครโมโซมที่ใช้ในการสร้างรุ่นถัดไป ถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากจะทำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประมวลผลได้ช้าลง

2.8.2 ขั้นตอนการทำงานขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนการทำงานค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในรูปที่ 2.12 มีดังนี้

1. สร้างกลุ่มประชากร (Initial population) โดยปกติจะใช้การสุ่ม (random)
2. ประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากร (Fitness function) ทั้งหมดด้วยฟังค์ชันวัตถุประสงค์ เนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังค์ชันวัตถุประสงค์ได้
3. คำนวณหาค่าความเหมาะสมแล้วส่งกลับไปยังขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
4. ใช้ค่าความเหมาะสมทำการคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่ม (Genetic operator) เพื่อนำมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ ซึ่งจะถูกใช้เป็นตัวแทนในการถ่ายทอดสายพันธุ์ให้กับรุ่นถัดไป
5. นำต้นกำเนิดสายพันธุ์มาทำการสร้างลูกหลายด้วยปฏิบัติการทางสายพันธุ์ โครโมโซมที่ได้ในขั้นตอนนี้ก็คือโครโมโซมลูกหลาน
6. คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลานโดยใช้ขั้นตอนเดียวกับข้อ 3.
7. โครโมโซมในประชากรเดิมจะถูกแทนที่ (Parameter) ที่ด้วยลูกหลานที่ได้จากข้อ 5. ประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกแทนที่ ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่โดยใช้ค่าความเหมาะสมในการตัดสิน
8. เริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนในข้อที่ 2. ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ คำตอบที่ได้จากโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรนั้นเอง โดยที่สามารถใช้ค่าจากฟังค์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประเมินว่าคำตอบที่ได้เป็นที่ต้องการแล้วหรือไม่ หรือ ถ้ายังไม่พบคำตอบ แต่ครบจำนวนรอบที่ได้กำหนดไว้ ก็จะหยุดทำการค้นหา หรือ พบว่าคำตอบที่ได้เริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เช่น คำตอบที่ได้จากประชากรแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคงที่เป็นจำนวนที่ติดต่อกัน

จากการศึกษาการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมในงานต่างๆ ได้ [15] โดยการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการทำงานร่วมกับการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

2.9 การวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Performance measurement)

ในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบมีการสูญเสียประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต่างๆ มีเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ [16]

2.9.1 การวัดเชิงปริมาณ (Quantitative measurement)

การวัดค่าความผิดพลาดของสัญญาณภาพดิจิทัลที่เกิดจากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสามารถทำการหาได้หลายวิธีการ คือ

2.9.1.1 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean square error ; MSE)

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง เป็นหน่วยที่ใช้วัดค่าความผิดพลาดของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังจากผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล ซึ่งถ้าค่า MSE มีค่ามากแสดงว่าเกิดความผิดพลาดของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังทำการบีบอัดสูงและมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.1

$$\text{Mean square error : MSE} = \frac{\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}\left[I_1(i,j)-I_2(i,j)\right]^2}{m \times n} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $I_1(i,j)$ คือ ค่าสัญญาณภาพดิจิทัลแถวที่ i หลักที่ j ก่อนการบีบอัด

$I_2(i,j)$ คือ ค่าสัญญาณภาพดิจิทัลแถวที่ i หลักที่ j หลังจากการคลายการบีบอัดแล้ว

m คือ ความยาวแถวของสัญญาณภาพดิจิทัล

n คือ ความยาวด้านหลักของสัญญาณภาพดิจิทัล

2.9.1.2 ค่าคุณภาพสัญญาณ (Peak signal to noise ratio ; PSNR (dB))

ค่าคุณภาพสัญญาณเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังจากผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเทียบกับภาพต้นฉบับ หากค่า PSNR (dB) มีค่าสูงแสดงว่าสัญญาณภาพดิจิทัลหลังทำการบีบอัดมีความใกล้เคียงกับสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนทำการบีบอัดอย่างมาก ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.2

$$\text{PSNR} = 10\log_{10}\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right) \text{ (dB)} \qquad (2.2)$$

MAX = ค่าสูงสุดของพิกเซลสำหรับสัญญาณภาพดิจิทัลโดยมีค่าเท่ากับ 2^B-1 (B คือ จำนวนบิตต่อแซมเปิล)

2.9.1.3 ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression ratio ; CR)

ค่าอัตราการบีบอัดคืออัตตราส่วนขนาดสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนการบีบอัดต่อขนาดสัญญาณภาพดิจิทัลหลังการบีบอัด หาก CR มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าเกิดการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลจนมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนที่จะทำการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.3

$$\text{CR} = \frac{\text{Uncompressed File Size}}{\text{Compressed File Size}} \qquad (2.3)$$

โดยที่	Uncompressed File Size	คือ	ขนาดของสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนทำการบีบอัด (Uncompress Image file size)
	Compressed File Size	คือ	ขนาดของสัญญาณภาพดิจิทัลที่ทำการบีบอัดแล้ว (Compress Image file size)

2.9.2 การวัดเชิงคุณภาพ (Quality measurement)

เป็นวิธีการพื้นฐานแต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือมาก โดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้ภาพในการวิจัยและผู้ที่ใช้เครื่องมือในการถ่ายภาพที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้าม

2.10 สรุป

ในบทที่ 2 นี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัย ได้แก่ ทฤษฎีระบบสมองกลฝังตัว ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพแบบไม่มีการสูญเสีย ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ หลักการการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG หลักการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

จากทฤษฎีและหลักการข้างต้นจะทำการออกแบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่มีข้อจำกัดในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูล หน่วยความจำและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ในบทที่ 3 ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมีขีดจำกัดในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูล หน่วยความจำและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการออกแบบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจึงต้องเน้นว่าเป็นอัลกอริทึมที่ให้คุณภาพของการบีบอัดสัญญาณที่ดีและมีความซับซ้อนน้อย เพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วและประหยัดพลังงาน ในบทที่ 3 จะนำเสนอการดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานอัลกอริทึมทั้งหมด 4 อัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองการทำงานและเก็บผลลัพธ์การทำงาน โดยอัลกอริทึมทั้ง 4 อัลกอริทึม ได้แก่

อัลกอริทึม 1. การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

อัลกอริทึม 2. การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยแบ่งการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่
- 1 Level 2D-DWT SHPS
- 2 Level 2D-DWT SHPS

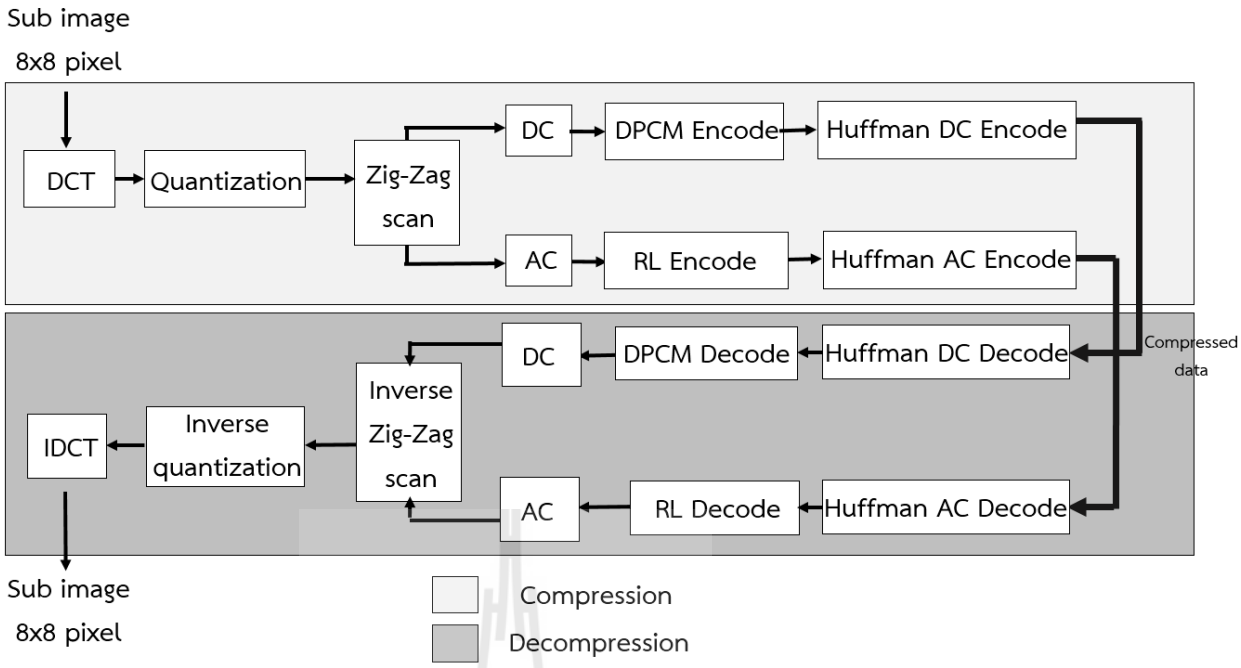
อัลกอริทึม 3. การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands (2D-DWT AVGโดยแบ่งการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่
- 1 Level 2D-DWT AVG
- 2 Level 2D-DWT AVG

อัลกอริทึม 4. การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands (2D-DWT AIO) โดยแบ่งการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่
- 1 Level 2D-DWT AIO
- 2 Level 2D-DWT AIO

3.2 อัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพที่ได้ศึกษา

3.2.1 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

ในการออกแบบการบีบอัดสัญญาณภาพในอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ใช้การบีบอัดภาพแบบ JPEG เราได้ศึกษาการทำงานของอัลกอริทึมแบบ JPEG ในการบีบอัดสัญญาณภาพ (Compression) และการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพ (Decompression) โดยมีการทำงานดังรูปที่ 3.1



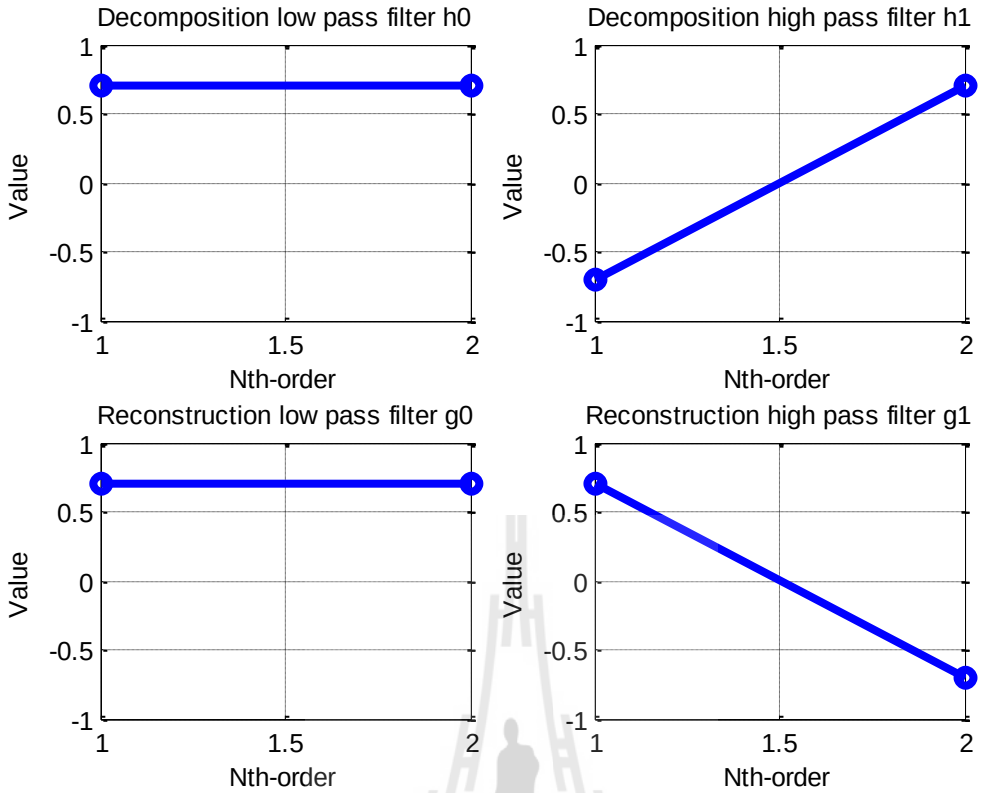
รูปที่ 3.1 การทำงานของอัลกอริทึมแบบ JPEG

โดยการทำงานสำหรับบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG นั้น สามารถกำหนดอัตตราการบีบอัดสัญญาณภาพ (CR) ได้โดยเปลี่ยนค่าคุณภาพสัญญาณ (Quality factor ; QF) ของเมทริกซ์ควอนไตเซชัน (Quantization Matrix) ในขั้นตอนหลังจากทำดิสครีตโคไซน์ทรานฟอร์ม (DCT)

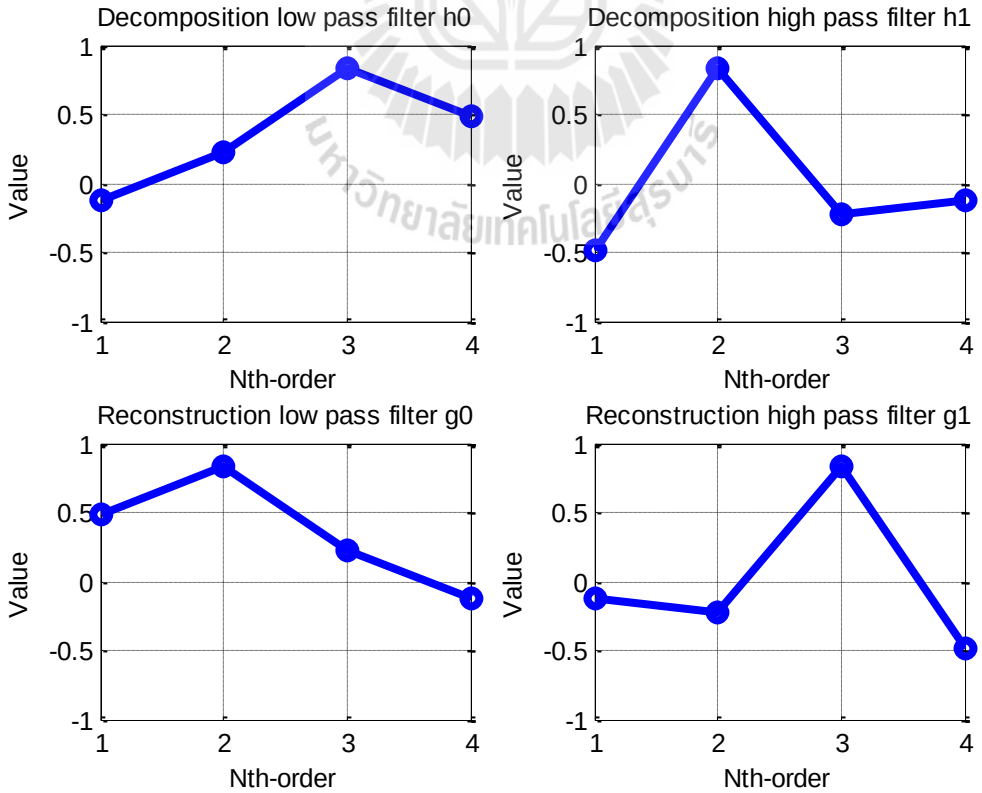
3.2.2 การทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2-D Discrete Wavelet Transform ; 2D-DWT)

3.2.2.1 เวฟเล็ตแม่ที่ใช้ในการทดสอบ (Mother Wavelet)

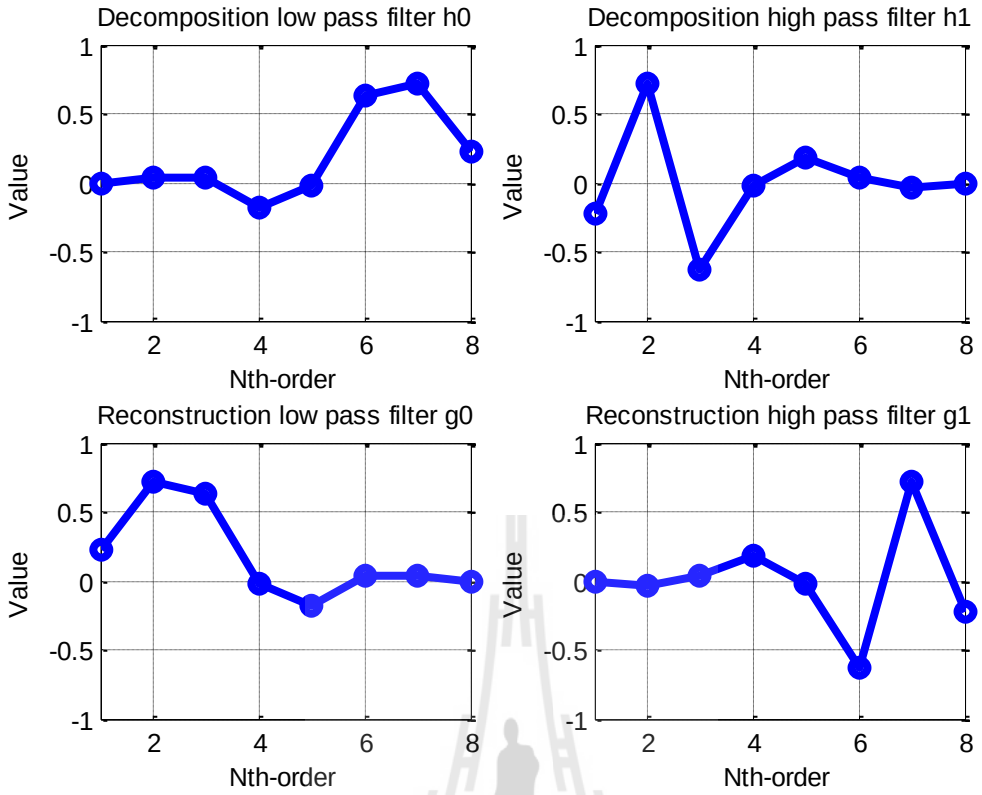
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) 13 ตระกูล (Family) ในการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) สำหรับอัลกอริทึมที่ 2 ถึงอัลกอริทึมที่ 4 ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และ อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยมีเวฟเล็ตแม่ที่ใช้ทดสอบดังรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.14



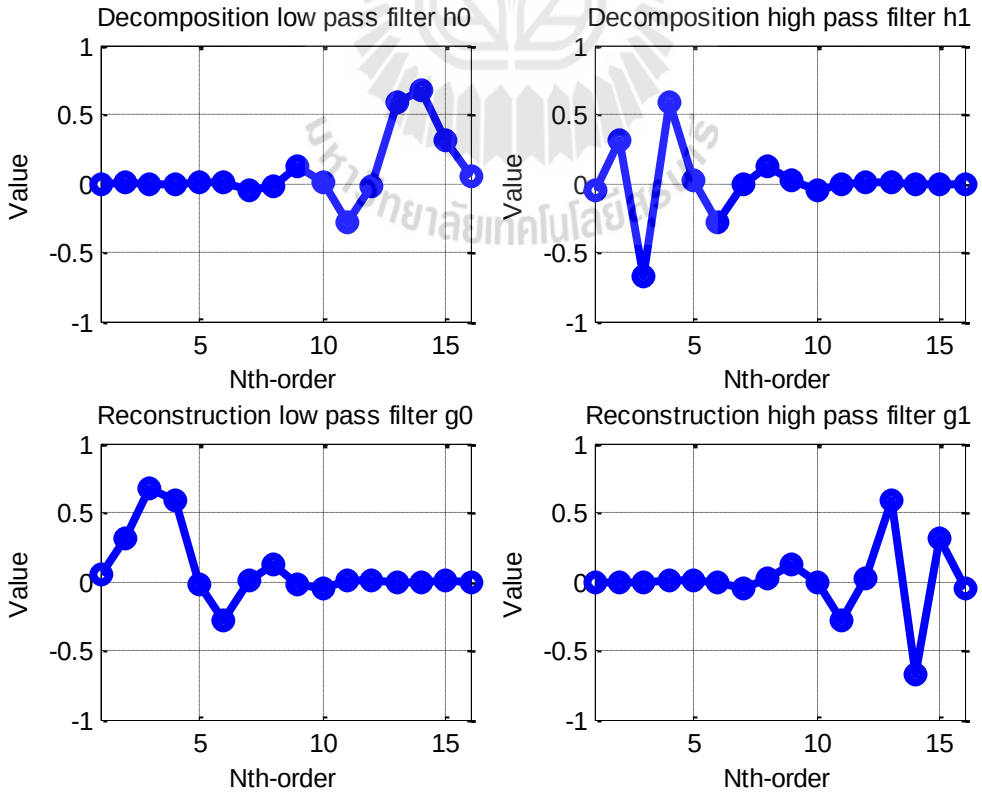
รูปที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Haar (Haar)



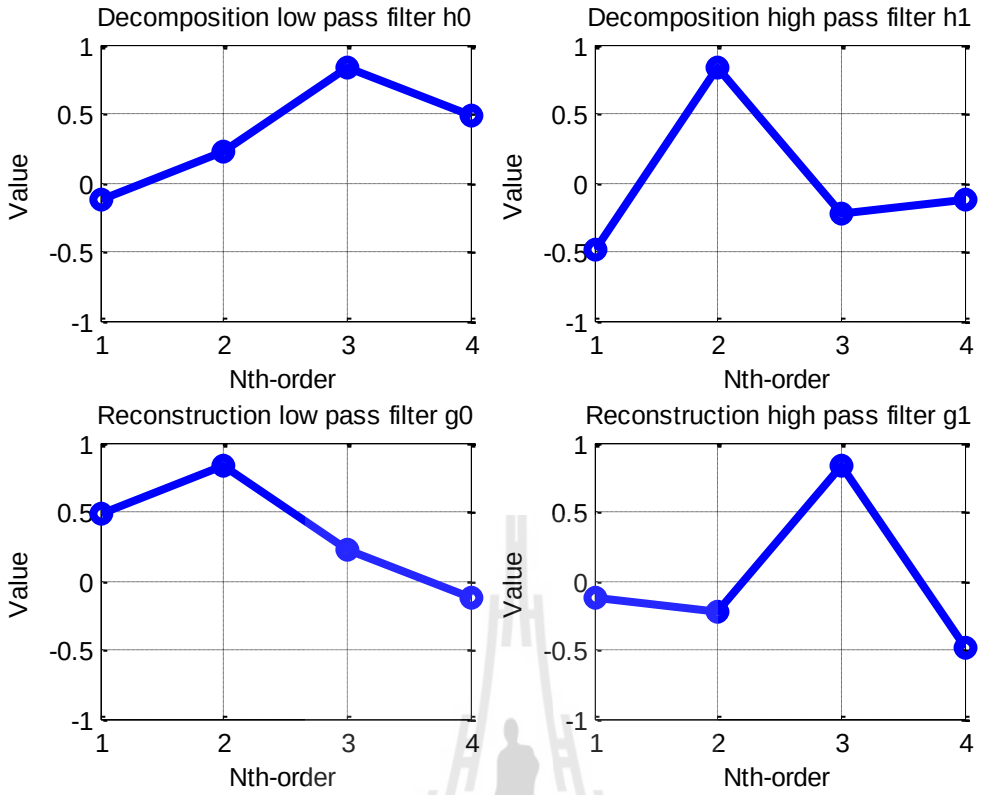
รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 2 (Db2)



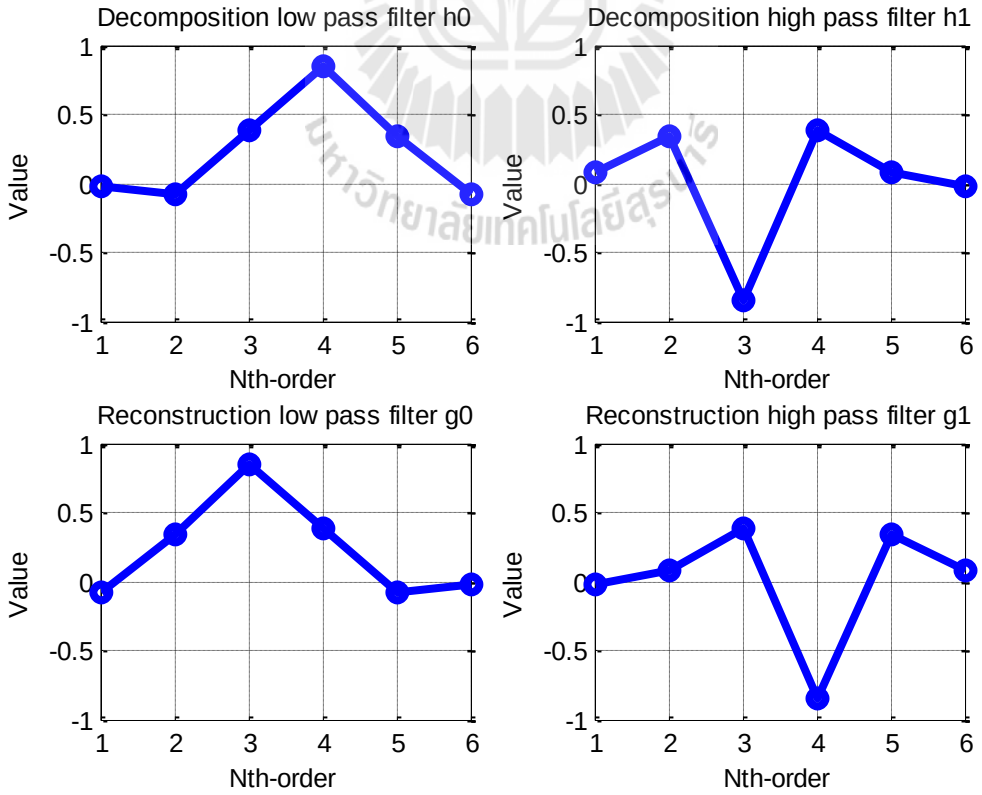
รูปที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 4 (Db4)



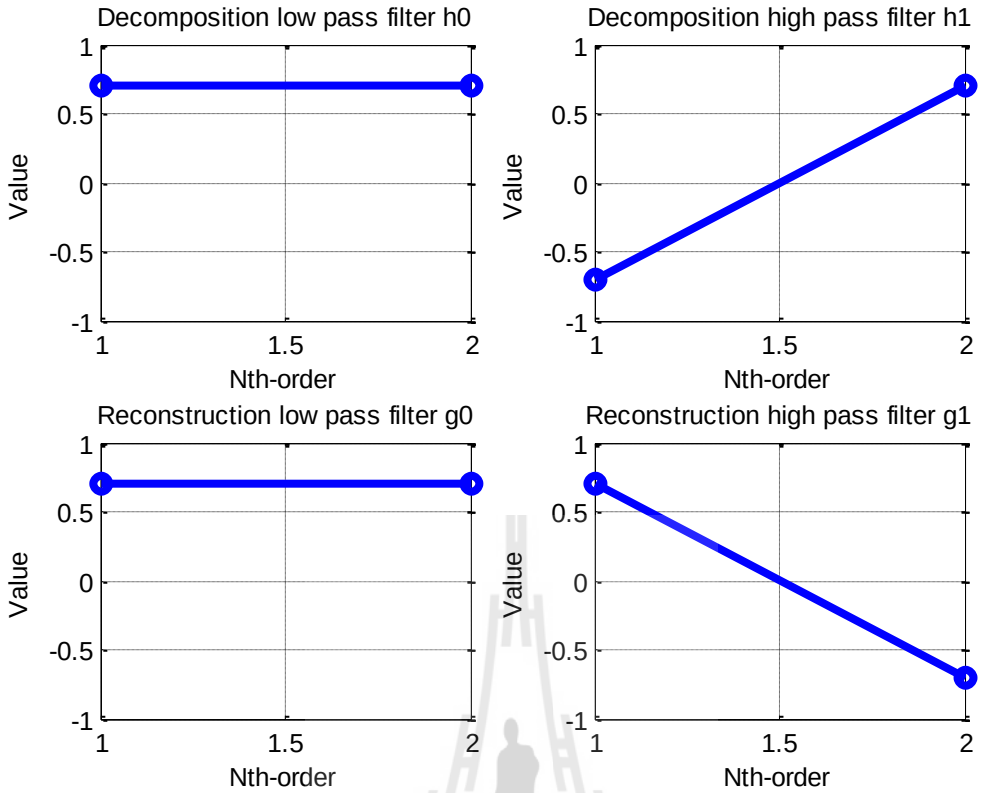
รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 8 (Db8)



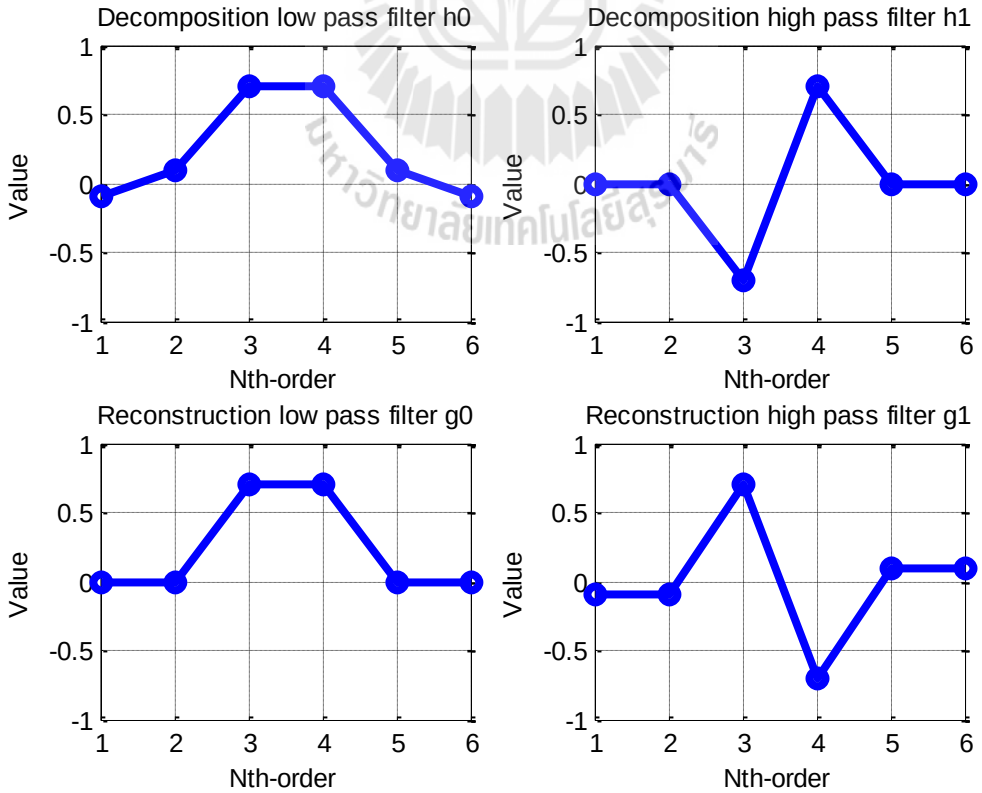
รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Symlets 2 (Sym2)



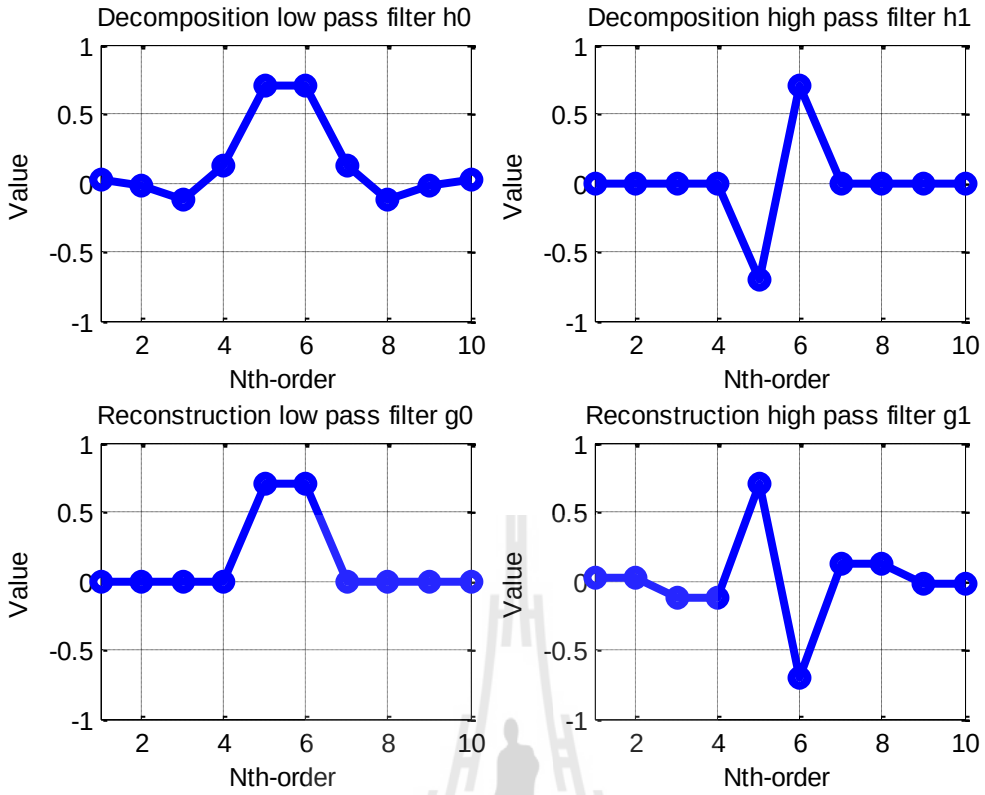
รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Coiflets 1 (Coif1)



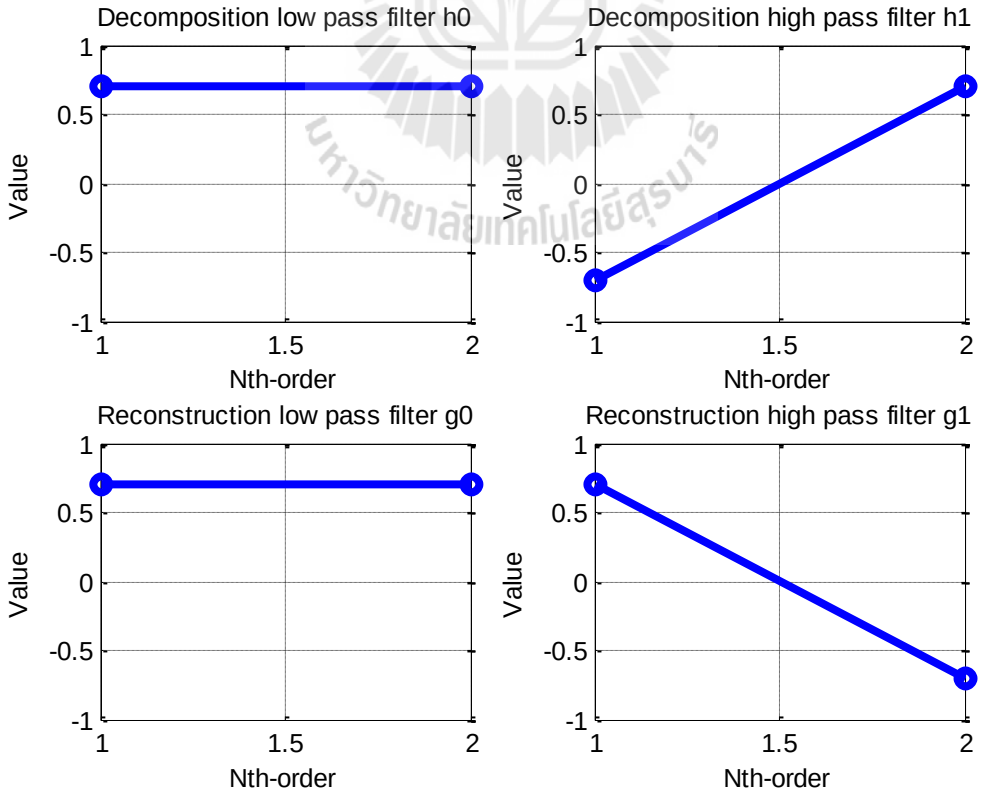
รูปที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.1 (Bior1.1)



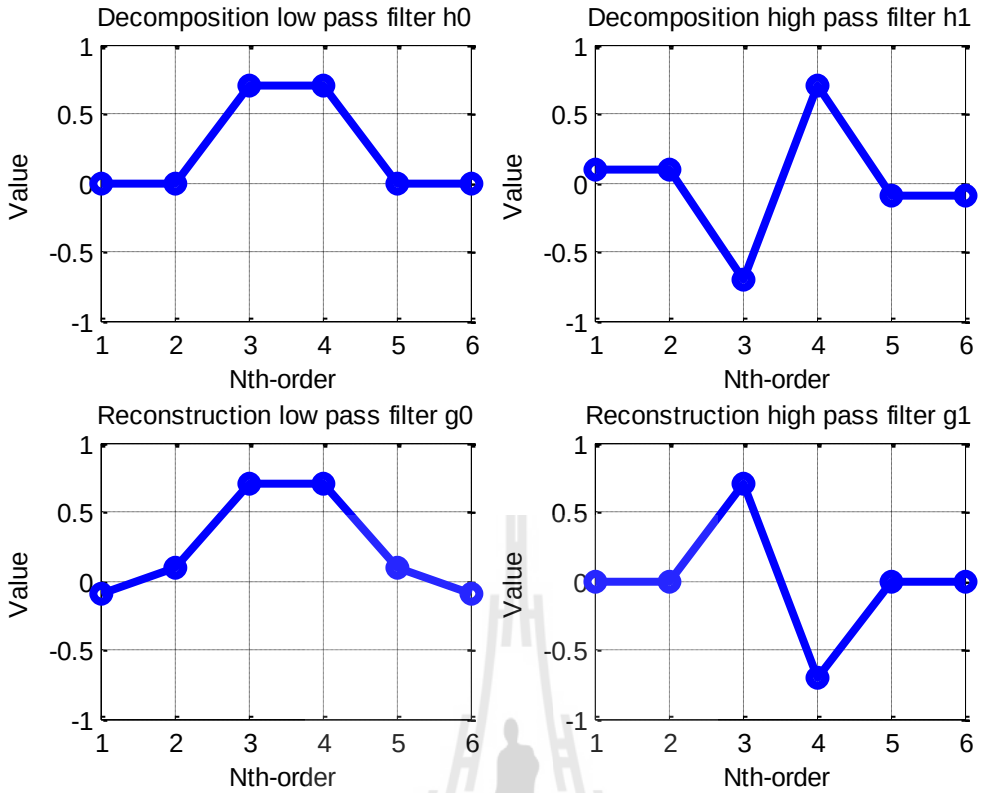
รูปที่ 3.9 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.3 (Bior1.3)



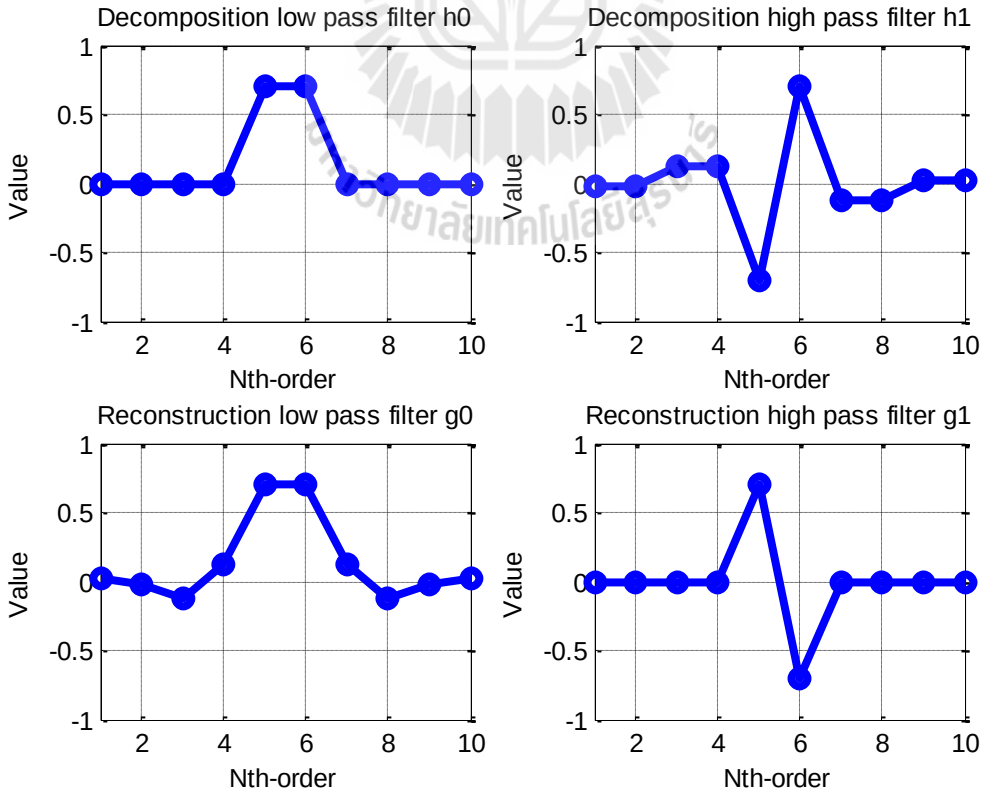
รูปที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.5 (Bior1.5)



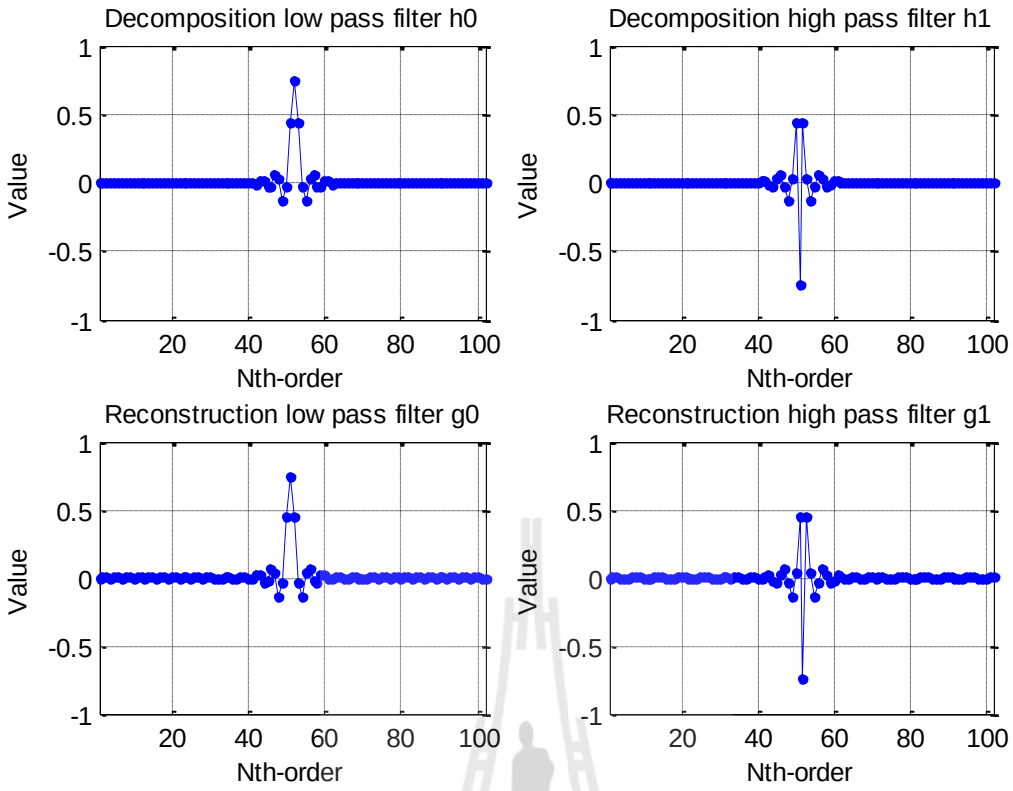
รูปที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.1 (Rbio1.1)



รูปที่ 3.12 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.3 (Rbio1.3)



รูปที่ 3.13 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.5 (Rbio1.5)



รูปที่ 3.14 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Discrete Meyer (Dmey)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.2.2 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS)

1 level 2D- DWT SHPS

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D- DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง Size 1lv ร่วมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแบนด์ย่อย cA ลงในตัวแปร max_cA สำหรับค่าสูงสุด และ min_cA สำหรับค่าต่ำสุด เพื่อที่จะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการจัดระดับสัญญาณ (Quatization) ทั้งฝั่งการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

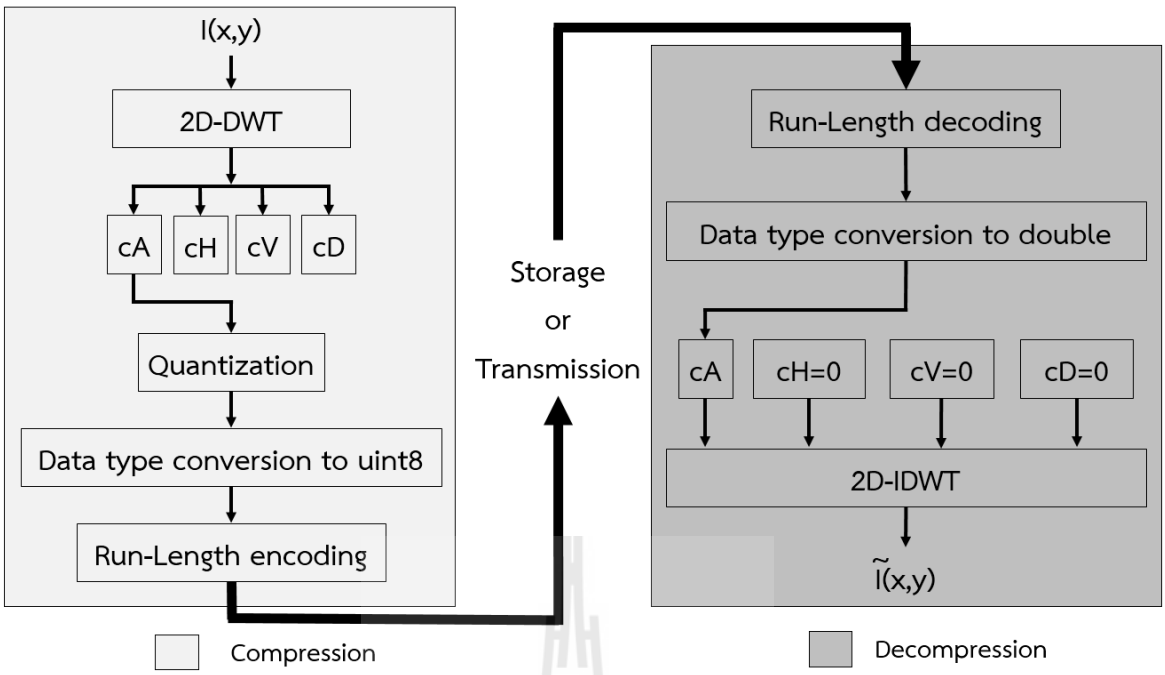
หลังจากนั้นจะทำการใช้แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์องค์ประกอบความถี่ต่ำ cA มาทำการจัดระดับสัญญาณ (เพราะองค์ประกอบของภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่ cA) โดยทำการละทิ้งแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูง cH cV และ cD สำหรับขั้นตอนการทำจัดระดับสัญญาณ ในตอนแรกข้อมูลจะถูกจัดระดับข้อมูลใหม่เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลโดยการใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ cA ที่เก็บไว้ใน max_cA และ min_cA ทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดขนาดระดับสัญญาณ (Step size) เท่ากับ 25 (เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์) หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดระดับอีกครั้งโดยการนำเอาค่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของ cA ที่เก็บไว้ใน max_cA และ min_cA ทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็นข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็นการเข้ารหัสการบีบอัดที่ง่ายดายและไม่ซับซ้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสจะถูกร่วมเข้ากับข้อมูล Size_I(x,y) Size_1lv Size_2lv max_cA min_cA max_cA2 และ min_cA2 (ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ที่ฝั่งการคลายการบีบอัด (Decompression) เพื่อสร้างสัญญาณภาพกลับคืนมา)

สำหรับขั้นตอนการคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิดดับเบิล double และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะสร้างองค์ประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อยนั้นคือ cH cV และ cD ที่มีขนาดเท่ากับ cA ที่ด้านภาครับข้อมูลโดยการแทนค่าทุกค่าด้วยค่าในแบนด์ย่อยนั้นให้มีค่าเท่ากับ 0 แล้วเข้าสู่กระบวนการ 2D-IDWT เพื่อสร้างสัญญาณภาพนั้นขึ้นมา

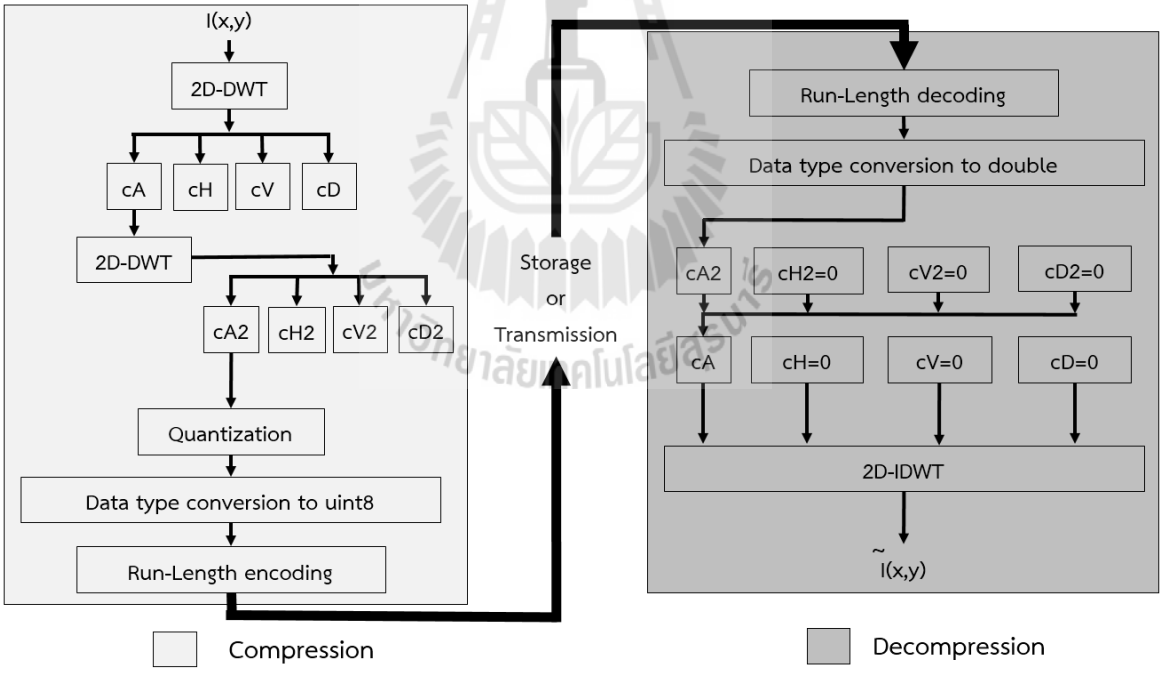
2 level 2D- DWT SHPS

สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพจะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ นั้นจะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้นขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands ทั้งแบบ 1 level 2D- DWT SHPS และ 2 level 2D- DWT SHPS มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.15 สำหรับ 1 level 2D- DWT SHPS 3.16 สำหรับ 2 level 2D- DWT SHPS



รูปที่ 3.15 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 1 level (2D-DWT SHPS)



รูปที่ 3.16 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2 level (2D-DWT SHPS)

3.2.2.3 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands (2D-DWT AVG)

1 level 2D-DWT AVG

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D- DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง 1 level ในตัวแปรชื่อ Size 1lv ร่วมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยลงในตัวแปร max_cA และ min_cA สำหรับ cA max_cH และ min_cH สำหรับ cH max_cV และ min_cV สำหรับ cV max_cD และ min_cD สำหรับ cD ของแบนด์ย่อยใน 1 level เพื่อที่จะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการจัดระดับสัญญาณ (Quatization) ทั้งฝั่งการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

หลังจากขั้นตอนนี้เราจะนำเอาองค์ประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อยนั้นคือ cH cV และ cD ของ 1 level มาทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลของแต่ละแบนด์ย่อย cH cV cH และ cH2 (เพราะองค์ประกอบของภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่ cA) ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ได้แก่ Threshold cH Threshold cV และ Threshold cD ซึ่งจะใช้ตัวย่อว่า Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ตามลำดับ เพื่อให้ง่ายต่อการกล่าวถึง จากนั้นค่าทุกค่าของ cH cV และ cD ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ตามลำดับ ให้มีค่าเท่ากับ 0

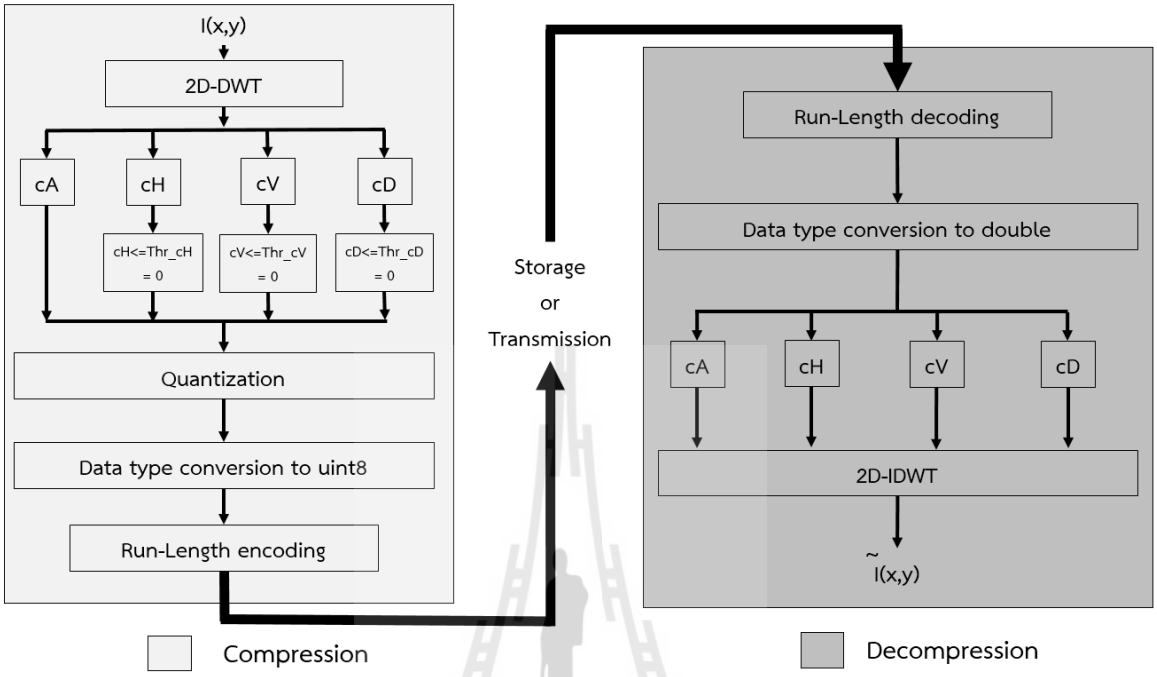
หลังจากนั้นจึงทำการรวม cA cH cV และ cD เป็นข้อมูลชุดเดียว เช่นเดียวกับอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกดำเนินการในขั้นตอนการจัดระดับสัญญาณ ในตอนแรกข้อมูลจะถูกจัดระดับข้อมูลใหม่เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลโดยการใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดขนาดระดับสัญญาณ (Step size) เท่ากับ (เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์) หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดระดับอีกครั้งโดยการนำเอาค่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็นข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็นการเข้าหรัสการบีบอัดที่ง่ายดายและไม่ซับซ้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสจะถูกร่วมเข้ากับข้อมูล Size_I(x,y) Size_1lv Size_2lv max_cA min_cA max_cH min_cH max_cV min_cV max_cD และ min_cD (ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ที่ฝั่งการคลายการบีบอัด (Decompression) เพื่อสร้างสัญญาณภาพกลับคืนมา)

สำหรับขั้นตอนคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิด double และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะทำการแยก cA cH cV และ cD เพื่อสร้างภาพที่ผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพนั้นขึ้นมา

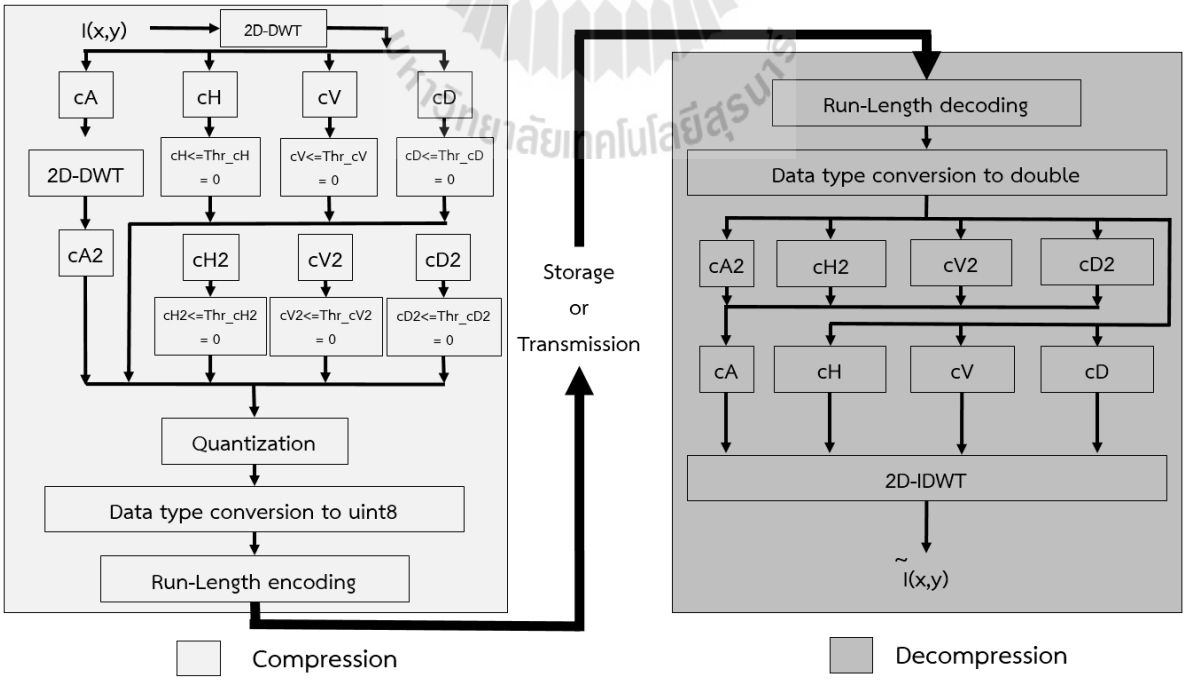
2 level 2D- DWT AVG

สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพจะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ นั้นจะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้นขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands ทั้งแบบ 1 level 2D- DWT AVG และ 2 level 2D- DWT AVG มีขึ้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.17 สำหรับ 1 level 2D- DWT AVG 3.18 สำหรับ 2 level 2D- DWT AVG



รูปที่ 3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 1 level (2D-DWT AVG)



รูปที่ 3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2 level (2D-DWT AVG)

3.2.2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands (2D-DWT AIO)

1 level 2D- DWT AIO

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D- DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง 1 level ในตัวแปรชื่อ Size 1lv ร่วมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยลงในตัวแปร max_cA และ min_cA สำหรับ cA max_cH และ min_cH สำหรับ cH max_cV และ min_cV สำหรับ cV max_cD และ min_cD สำหรับ cD ของแบนด์ย่อยใน 1 level เพื่อที่จะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการจัดระดับสัญญาณ (Quatization) ทั้งฝั่งการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

หลังจากขั้นตอนนี้เราจะนำเอาองค์ประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อย นั้นคือ cH cV และ cD มาทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) (เพราะองค์ประกอบของภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่ cA) การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) จะประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm ; GA) ทำการหาค่า ขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ซึ่งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้คือ Threshold cH Threshold cV และ Threshold cD ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ตัวย่อว่า Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ตามลำดับ เพื่อให้ง่ายต่อการกล่าวถึง จากนั้นค่าทุกค่าของ cH cV และ cD ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ตามลำดับจะให้มีค่าเท่ากับ 0 โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะหาค่า Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ที่สามารถทำให้ค่าคุณภาพสัญญาณ (PSNR (dB)) และค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล (CR) ให้มีค่าอย่างเหมาะสมซึ่งได้ให้ความสำคัญสำหรับการถ่วงน้ำหนักของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อทำการหาค่ามากที่สุด (Maximize) ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Expected} = (0.5 \times \text{CR}) + (0.5 \times \text{PSNR (dB)}) \quad (3.1)$$

โดยที่ Expected คือ ค่าผลลัพธ์ที่คาดหวัง
CR คือ ค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพ
PSNR (dB) คือ ค่าวัดคุณภาพของสัญญาณภาพหลังจากผ่านการบีบอัด

หลักการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาค่าผลลัพธ์ที่คาดหวัง (Expected) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่ามากที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนักของค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลและค่าคุณภาพสัญญาณ ที่เท่ากัน ซึ่งหมายความว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะค้นหาค่าที่ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ไม่มากจนเกินไปจนทำให้ค่าคุณภาพสัญญาณมีค่าน้อยมาก หรือ หาค่าที่ค่าคุณภาพสัญญาณที่ไม่มากจนเกินไปจนทำให้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลมีค่าน้อย ซึ่งก็คือขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพสัญญาณที่เหมาะสม หรือ หาค่าค่าคุณภาพสัญญาณที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม

หลังจากที่ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนซึ่งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้คือ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD จากนั้นจึงนำค่าทุกของแต่ละแบนด์ย่อย cH cV และ cD ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ตามลำดับ ให้มีค่าเท่ากับ 0 หลังจากนั้นจึงทำการรวม cA cH cV และ cD เป็นข้อมูลชุดเดียวซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกดำเนินการในขั้นตอนการจัดระดับสัญญาณ ในตอนแรกข้อมูลจะถูกจัดระดับข้อมูลใหม่เพื่อให้เกิด

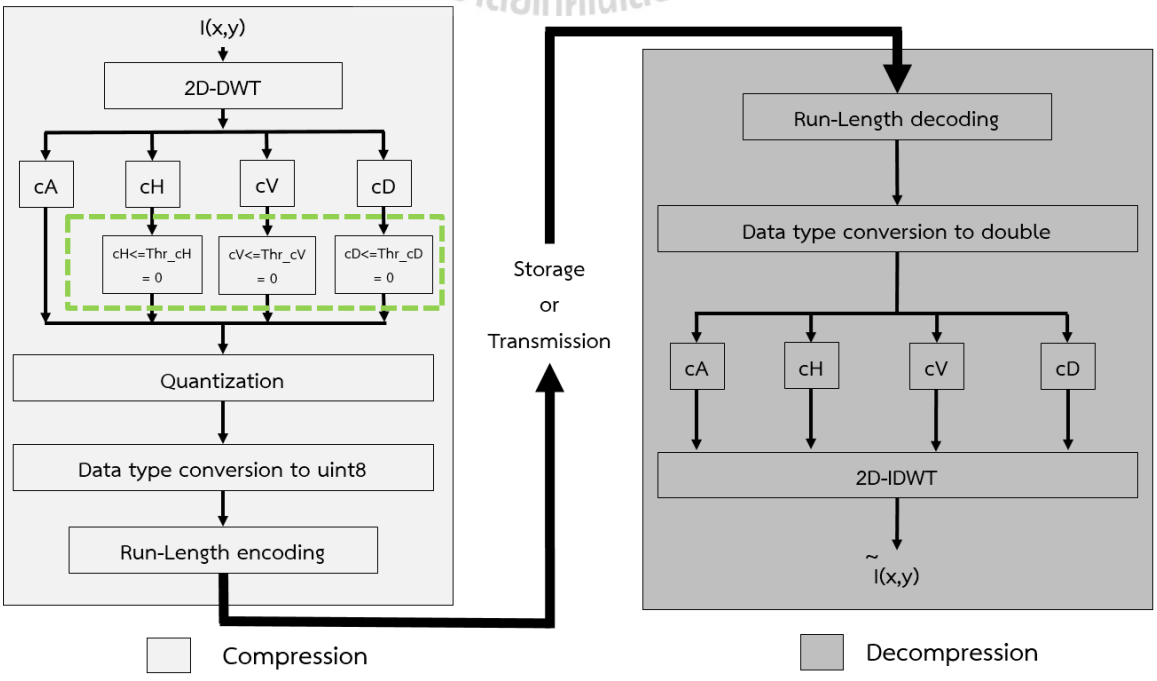
การซ้ำกันของข้อมูลโดยการใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดขนาดระดับสัญญาณ (Step size) เท่ากับ (เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์) หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดระดับอีกครั้งโดยการนำเอาค่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็นข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็นการเข้าหรัสการบีบอัดที่ง่ายดายและไม่ซับซ้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสจะถูกร่วมเข้ากับข้อมูล Size_I(x,y) Size_1lv Size_2lv max_cA min_cA max_cH min_cH max_cV min_cV max_cD และ min_cD (ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ที่ฝั่งการคลายการบีบอัด (Decompression) เพื่อสร้างสัญญาณภาพกลับคืนมา)

สำหรับขั้นตอนคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิด double และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะทำการแยก cA cH cV และ cD เพื่อสร้างภาพที่ผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพนั้นขึ้นมา

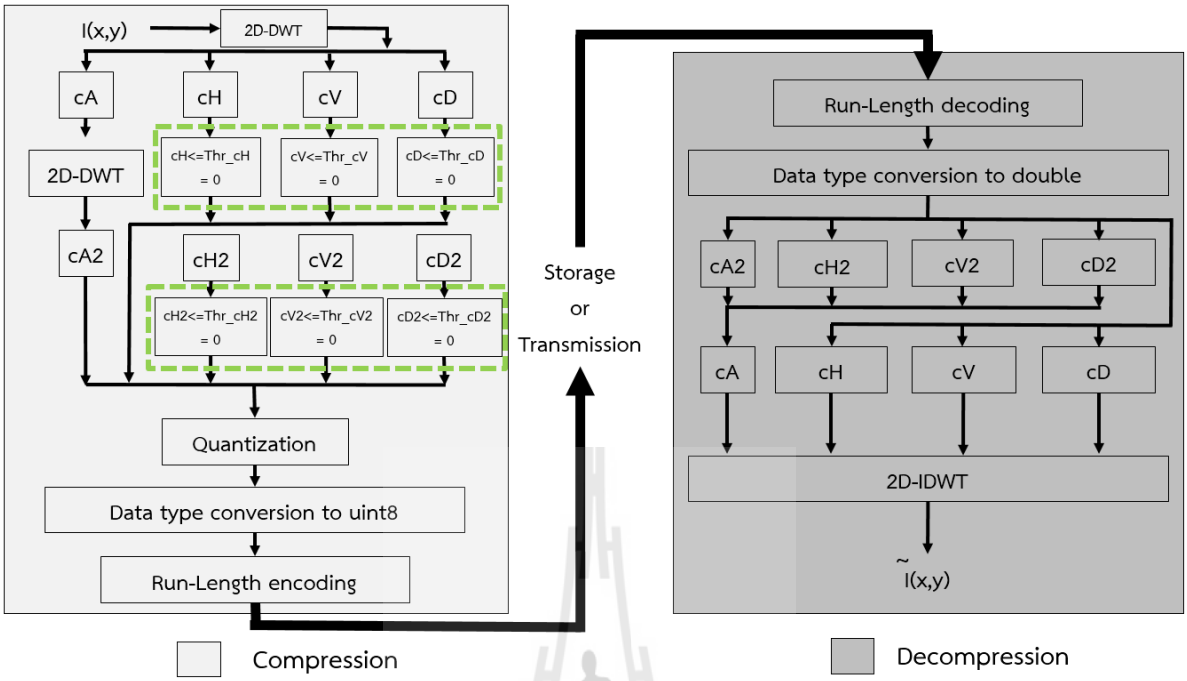
2 level 2D- DWT AIO

สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพจะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ นั้นจะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้นขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands ทั้งแบบ 1 level 2D- DWT AIO และ 2 level 2D- DWT AIO มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.19 สำหรับ 1 level 2D- DWT AIO 3.20 สำหรับ 2 level 2D- DWT AIO



รูปที่ 3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 1 level (2D-DWT AIO)



รูปที่ 3.20 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2 level (2D-DWT AIO)

3.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

การทดสอบได้นำภาพที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมในการบีบอัดสัญญาณภาพในโปรแกรม MATLAB มีความละเอียด 512 X 512 โดยใช้ภาพของ The USC – SIPI Image Database [13] ซึ่งเป็นรูปภาพทดสอบมาตราฐาน (Standard test image) ที่ใช้ในการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพที่นิยมใช้ในการทดสอบอย่างสากลซึ่งผู้วิจัยได้นำภาพดังกล่าวมาทำการทดสอบเพียง 3 รูป ได้แก่ Lena Baboon และ Airplane (F-16) แบบระดับเทา (Gray scale image)

3.3.1 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบสูญเสีย (Lossy compression) เราไม่สามารถสรุปประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพได้จากค่า CR แต่ต้องพิจารณาถึงความสูญเสียในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลจากการทำการบีบอัดข้อมูลด้วยว่าเป็นค่า PSNR (dB) เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูลดังต่อไปนี้

1. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR (dB)) คือ ค่าคุณภาพสัญญาณภาพซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพหลังทำการบีบอัดสัญญาณภาพ
2. Compression Ratio (CR) คือ ค่าอัตราการบับอัดสัญญาณภาพซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพ

ตารางที่ 3.1 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

ค่าระดับคุณภาพ (QF (%))	ประสิทธิภาพ	
	PSNR (dB)	CR
1	29.33	63.94
10	30.42	20.71
20	31.19	12.65
30	31.78	9.58
40	32.25	7.92
50	32.72	6.82
60	33.25	5.92
70	34.13	4.95
80	35.80	3.91
90	40.14	2.69

จากตารางที่ 3.1 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า QF จะส่งผลให้ค่า CR มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่า PSNR (dB) มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 3.2 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

ค่าระดับคุณภาพ (QF (%))	ประสิทธิภาพ	
	PSNR (dB)	CR
1	30.67	76.64
10	34.58	39.93
20	36.47	26.49
30	37.57	20.66
40	38.32	17.28
50	38.91	14.84
60	39.50	12.85
70	49.33	10.52
80	41.51	8.09
90	43.82	5.16

จากตารางที่ 3.2 เช่นเดียวกับผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG ภาพ Lena เมื่อทำการเพิ่มค่า QF จะส่งผลให้ค่า CR มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่า PSNR (dB) มีค่าสูงขึ้นแต่ค่า CR และ PSNR (dB) ของภาพ Lena มีค่ามากกว่าภาพ Baboon

ตารางที่ 3.3 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

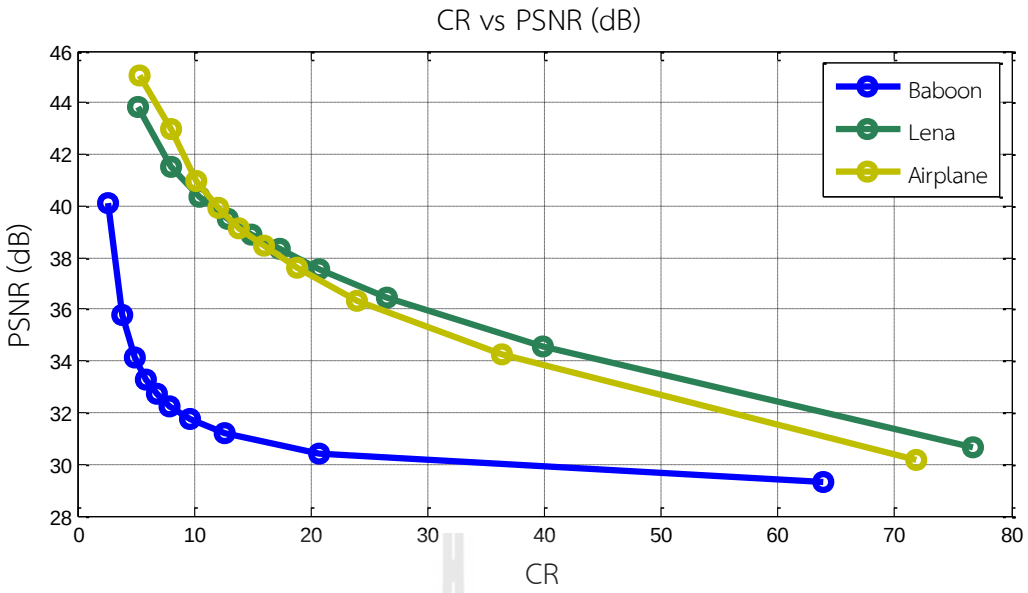
ค่าระดับคุณภาพ (QF (%))	ประสิทธิภาพ	
	PSNR (dB)	CR
1	30.19	71.82
10	34.27	36.32
20	36.30	23.97
30	37.61	18.80
40	38.47	15.92
50	39.16	13.88
60	39.94	12.12
70	40.94	10.12
80	40.98	7.97
90	45.07	5.29

จากตารางที่ 3.3 ยังคงให้ผลการบีบอัดสัญญาณภาพเหมือนภาพ Baboon และ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG ภาพ Airplane เมื่อทำการเพิ่มค่า QF จะส่งผลให้ค่า CR มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่า PSNR (dB) มีค่าสูงขึ้นแต่ค่า CR และ PSNR (dB) ของภาพ Airplane มีค่าใกล้เคียงกับภาพ Lena ซึ่งมีค่ามากกว่าภาพ Baboon

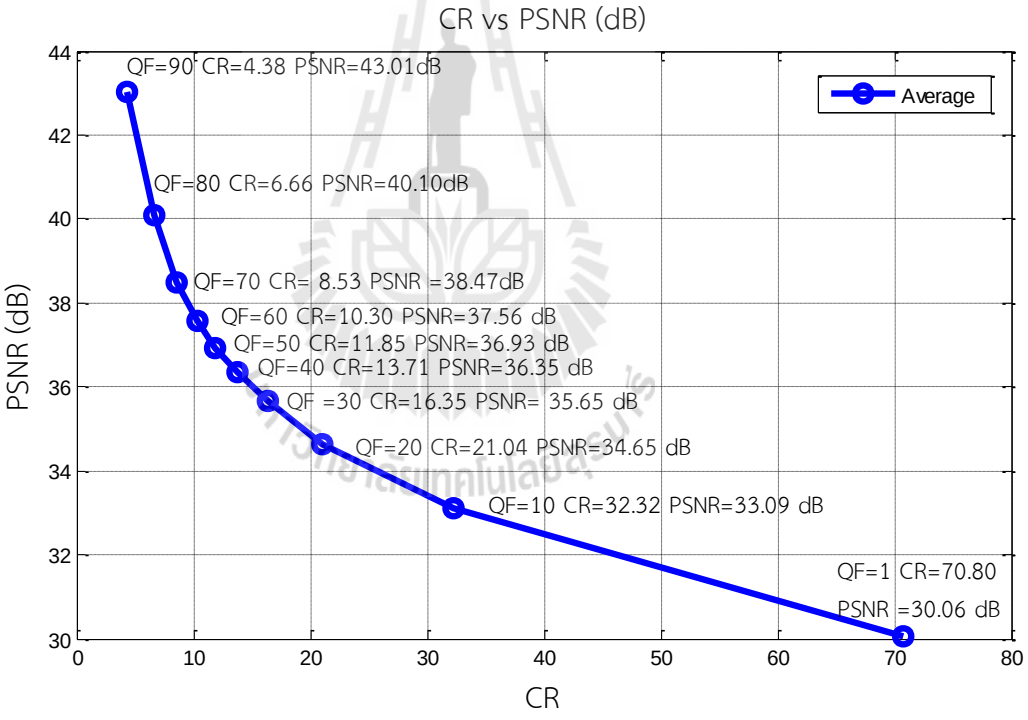
ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

ค่าระดับคุณภาพ (QF (%))	ประสิทธิภาพ	
	PSNR (dB)	CR
1	30.06	70.80
10	33.09	32.32
20	34.65	21.04
30	35.65	16.35
40	36.35	13.71
50	36.93	11.85
60	37.56	10.30
70	38.47	8.53
80	40.10	6.66
90	43.01	4.38

จากตารางที่ 3.4 จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยของ CR และ PSNR (dB) ของทั้ง 3 ภาพเพื่อใช้เป็นค่าเฉลี่ยกลางในการนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพ



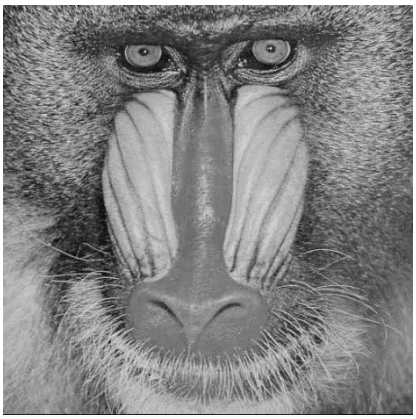
รูปที่ 3.21 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG



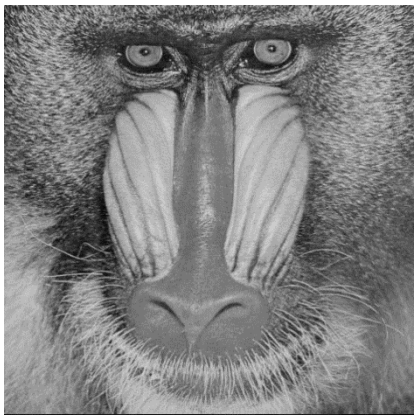
รูปที่ 3.22 ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 ภาพใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นว่าการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG สำหรับรูปภาพ Lena และ Airplane จะให้ผลลัพธ์การบีบอัดข้อมูลทั้งในด้าน CR และ PSNR (dB) ที่ดีกว่าภาพ Baboon ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าค่าผลลัพธ์การบีบอัดข้อมูล CR และ PSNR (dB) สำหรับการบีบอัดข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG จะขึ้นอยู่กับสัญญาณภาพที่ได้รับเข้ามาทำการบีบอัดสัญญาณภาพ

ในรูปที่ 3.33 ได้นำค่าผลลัพธ์การบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 ภาพได้แก่ภาพ Baboon Lena และ Airplane มาทำการหาค่าเฉลี่ยทั้งในด้านของ CR และ PSNR (dB) เพื่อจะใช้เป็นค่าเฉลี่ยกลางสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG



(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ 3.23 ภาพผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

(ก) ภาพ Baboon บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 30 ได้ผลลัพธ์ CR=9.58 และ PSNR=31.19 dB

(ข) ภาพ Baboon บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 70 ได้ผลลัพธ์ CR=4.92 และ PSNR=34.13 dB

(ค) ภาพ Lena บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 30 ได้ผลลัพธ์ CR=20.66 และ PSNR=37.57 dB

(ง) ภาพ Lena บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 70 ได้ผลลัพธ์ CR=10.52 และ PSNR=40.33 dB

(จ) ภาพ Airplane บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 30 ได้ผลลัพธ์ CR=18.80 และ PSNR=37.61 dB

(ฉ) ภาพ Airplane บีบอัดข้อมูลโดยใช้ QF= 70 ได้ผลลัพธ์ CR=10.12 และ PSNR=40.94 dB

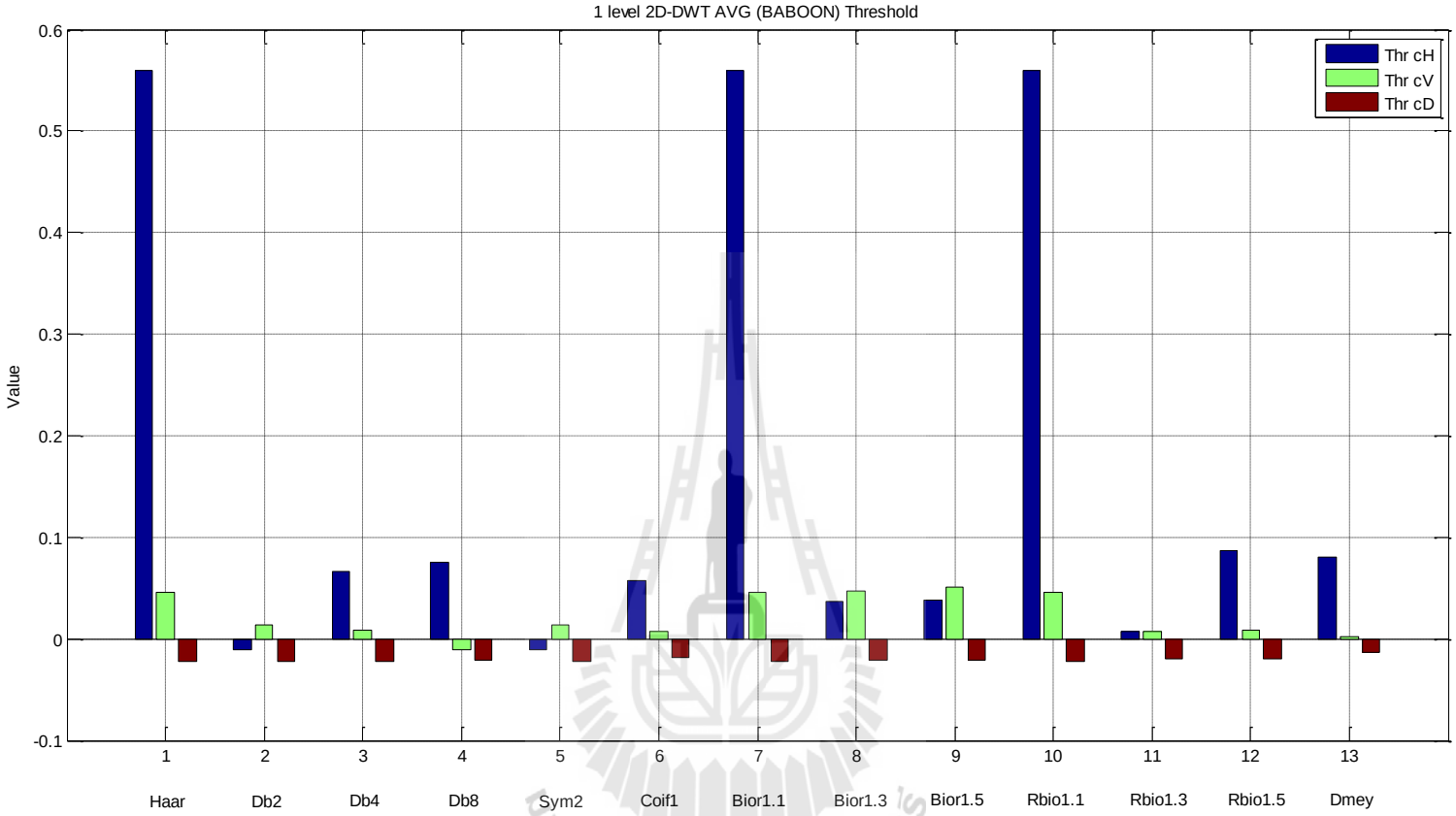
3.3.2 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4

สำหรับภาพการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (AVG) Baboon, Lena และ Airplane มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากการหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 สำหรับภาพ Baboon ตารางที่ 3.7 และ 3.8 สำหรับภาพ Lena และ 3.9 และ 3.10 สำหรับภาพ Airplane

ตารางที่ 3.5 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AVG (BABOON)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	0.55958	0.04635	-0.0221
Db2	-0.0107	0.01334	-0.0227
Db4	0.06587	0.0086	-0.0225
DB8	0.07487	-0.0112	-0.0215
Sym2	-0.0107	0.01334	-0.0227
Coif1	0.05757	0.00722	-0.0184
Bior1.1	0.55958	0.04635	-0.0221
Bior1.3	0.03687	0.04682	-0.0207
Bior1.5	0.03816	0.05137	-0.0215
Rbio1.1	0.55958	0.04635	-0.0221
Rbio1.3	0.0076	0.00716	-0.0196
Rbio1.5	0.08697	0.00908	-0.0192
Dmey	0.08	0.00234	-0.0136

จากตารางที่ 3.5 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Baboon โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 1 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์มาก



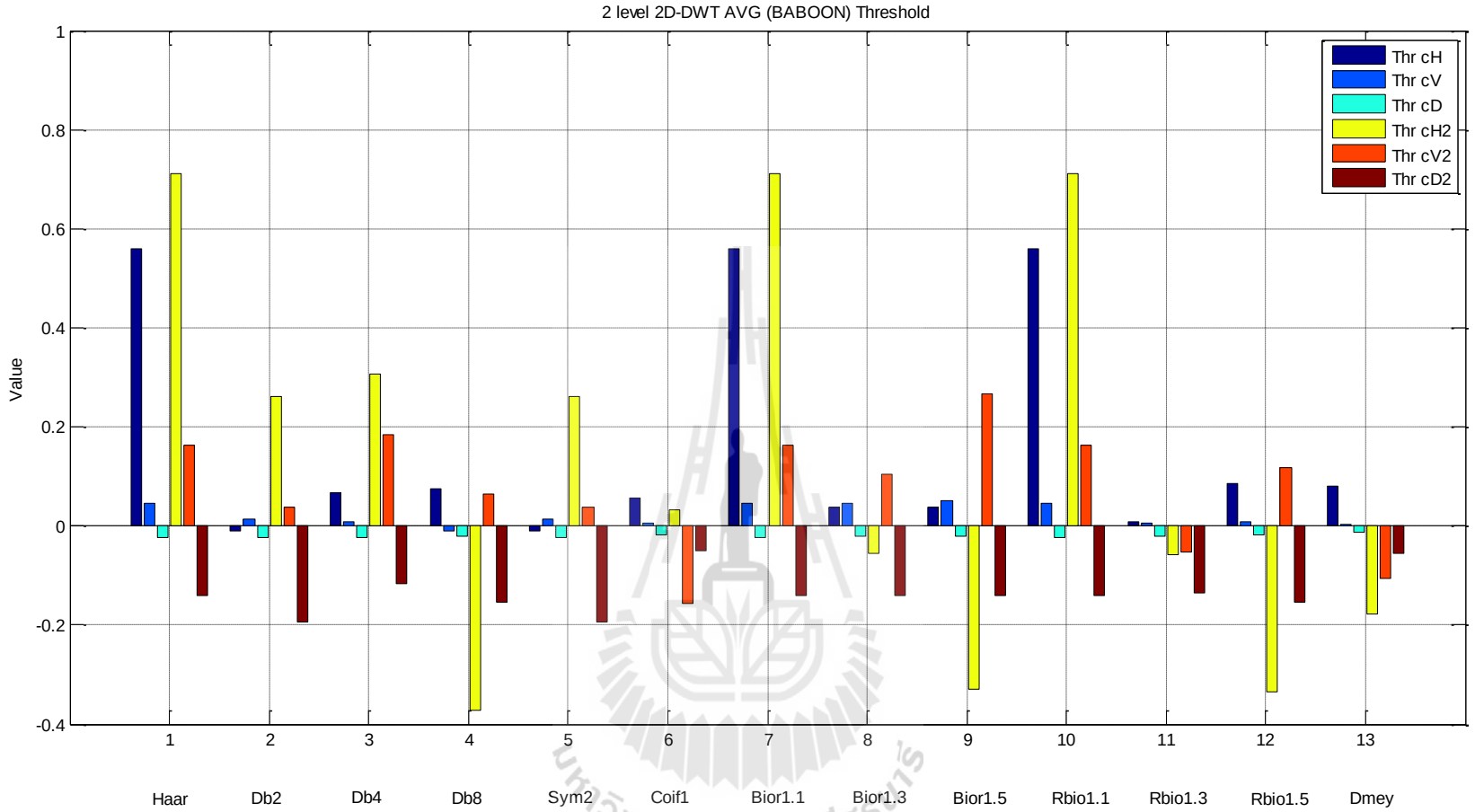
รูปที่ 3.24 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.24 คือค่าเฉลี่ยจากการหาค่าเฉลี่ยในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ของภาพ Baboon โดยค่าเฉลี่ยที่หาได้จากจะถูกทำให้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยนั้นๆ ได้แก่ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cH สำหรับแบนด์ย่อย cH ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cV สำหรับแบนด์ย่อย cV และค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cD สำหรับแบนด์ย่อย cD ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 ซึ่งเวฟเล็ตแม่ทั้ง 3 ตัวนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ที่เท่ากันจึงให้ผลลัพธ์ที่เท่ากันและมีค่า Thr_cH ที่มีค่าเยอะที่สุด

ตารางที่ 3.6 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AVG (BABOON)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	0.55958	0.04635	-0.0221	0.71236	0.16414	-0.1413
Db2	-0.0107	0.01334	-0.0227	0.26202	0.0383	-0.195
Db4	0.06587	0.0086	-0.0225	0.30597	0.18437	-0.1159
DB8	0.07487	-0.0112	-0.0215	-0.373	0.06569	-0.1538
Sym2	-0.0107	0.01334	-0.0227	0.26202	0.0383	-0.195
Coif1	0.05757	0.00722	-0.0184	0.03279	-0.1577	-0.0489
Bior1.1	0.55958	0.04635	-0.0221	0.71236	0.16414	-0.1413
Bior1.3	0.03687	0.04682	-0.0207	-0.0559	0.10455	-0.1395
Bior1.5	0.03816	0.05137	-0.0215	-0.3291	0.26657	-0.1404
Rbio1.1	0.55958	0.04635	-0.0221	0.71236	0.16414	-0.1413
Rbio1.3	0.0076	0.00716	-0.0196	-0.0577	-0.0521	-0.134
Rbio1.5	0.08697	0.00908	-0.0192	-0.3349	0.11885	-0.1534
Dmey	0.08	0.00234	-0.0136	-0.1786	-0.1065	-0.0551

จากตารางที่ 3.6 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Baboon โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 2 level
แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นยังคงมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์



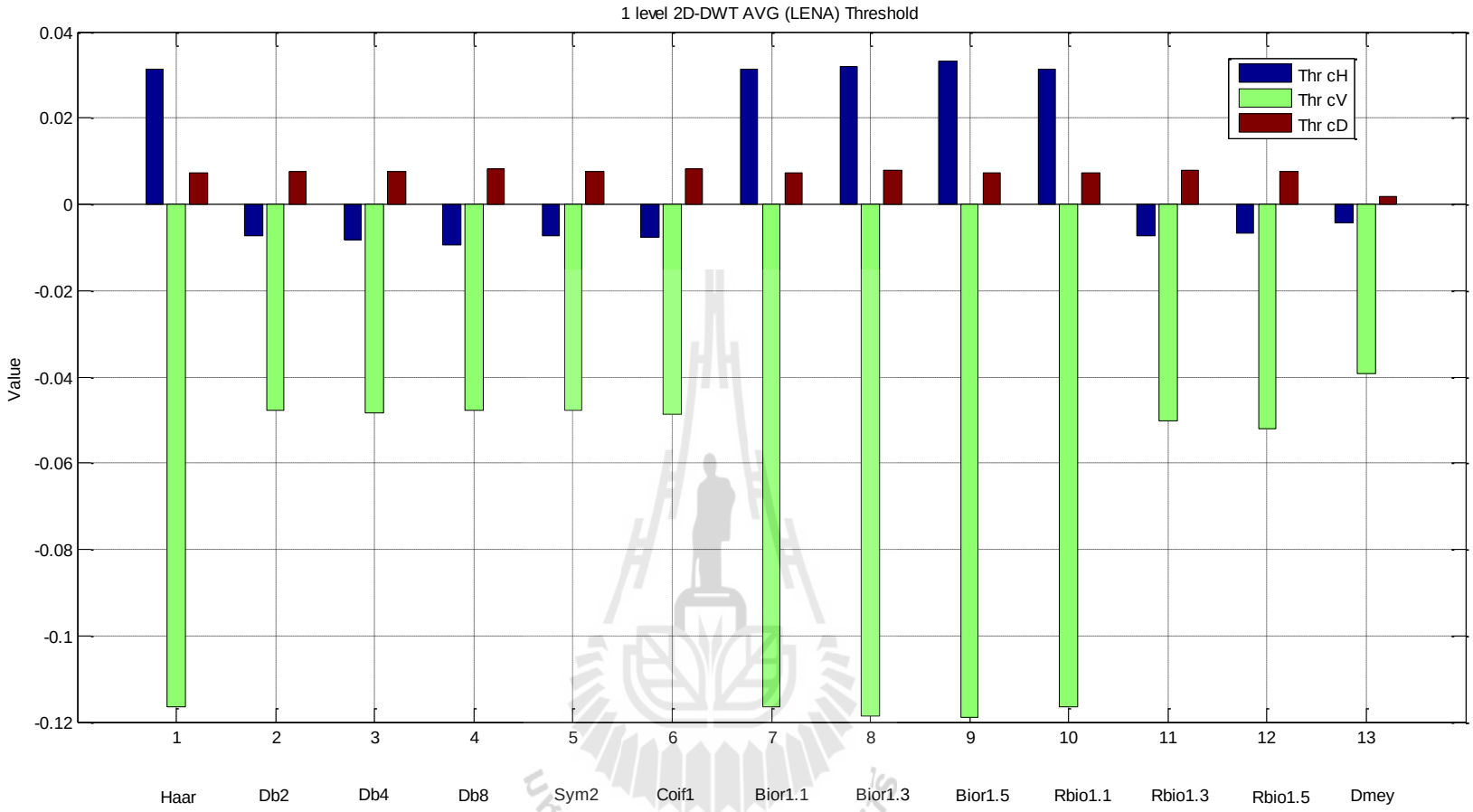
รูปที่ 3.25 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.25 จะเห็นว่ามีแบนด์ย่อยทั้งหมด 6 แบนด์ย่อยเนื่องจากมีการแปลง 2 level ดังนั้นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละ level โดยที่ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 สำหรับการแปลง 2 level ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 โดยที่เวฟเล็ตแม่ทั้ง 3 ตัวนี้ยังคงให้ค่า Thr_cH และ Thr_cH2 ที่มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 3.7 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AVG (LENA)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	0.03143	-0.1165	0.0072
Db2	-0.0073	-0.0479	0.00758
Db4	-0.0082	-0.0485	0.00748
DB8	-0.0095	-0.0479	0.00823
Sym2	-0.0073	-0.0479	0.00758
Coif1	-0.0075	-0.0488	0.00815
Bior1.1	0.03143	-0.1165	0.0072
Bior1.3	0.03204	-0.1185	0.00787
Bior1.5	0.03324	-0.1189	0.00729
Rbio1.1	0.03143	-0.1165	0.0072
Rbio1.3	-0.0074	-0.0503	0.00778
Rbio1.5	-0.0067	-0.0519	0.00766
Dmey	-0.0044	-0.0391	0.00182

จากตารางที่ 3.7 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Lena โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 1 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้จะเหมือนภาพ Baboon คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนใกล้เคียงกับศูนย์มาก



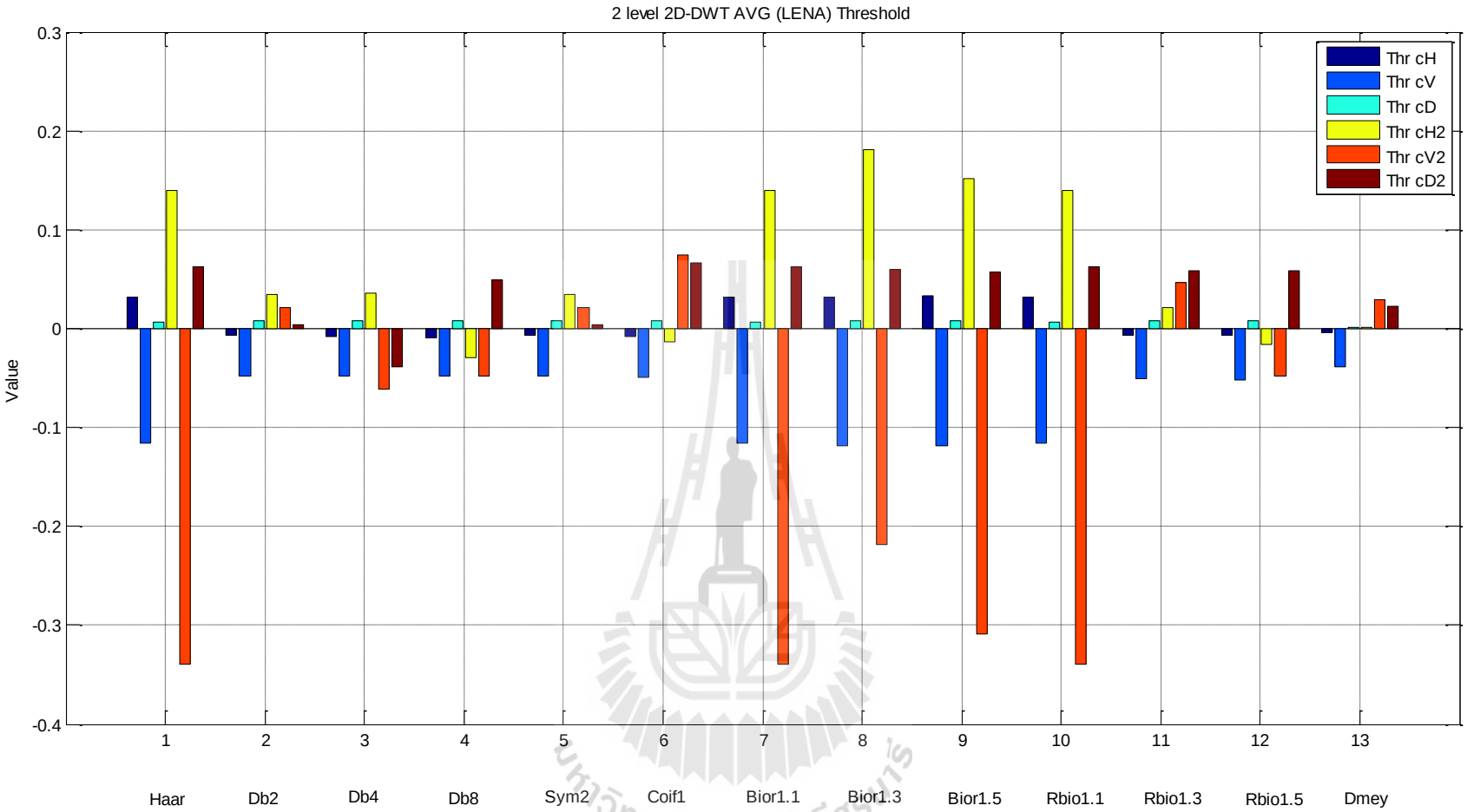
รูปที่ 3.26 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.26 คือค่าเฉลี่ยจากการหาค่าเฉลี่ยในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ของภาพ Lena โดยค่าเฉลี่ยที่หาได้จากจะถูกทำให้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยนั้นๆ ได้แก่ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cH สำหรับแบนด์ย่อย cH ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cV สำหรับแบนด์ย่อย cV และค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cD สำหรับแบนด์ย่อย cD ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 Bior 1.3 Bior 1.5 และ Rbio1.1 มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยเท่าๆ กัน และให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cH ที่มีค่าเยอะที่สุดอีกกลุ่มคือเวฟเล็ตแม่ Db2 Db4 Db8 Sym2 Coif1 Rbio1.3 Rbio1.5 และ Dmey ที่ให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนใกล้เคียงกันแต่มีค่าน้อยกว่ากลุ่มแรก

ตารางที่ 3.8 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AVG (LENA)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	0.03143	-0.1165	0.0072	0.13995	-0.3401	0.06253
Db2	-0.0073	-0.0479	0.00758	0.03511	0.02181	0.00366
Db4	-0.0082	-0.0485	0.00748	0.03642	-0.0613	-0.0386
DB8	-0.0095	-0.0479	0.00823	-0.0291	-0.0485	0.04967
Sym2	-0.0073	-0.0479	0.00758	0.03511	0.02181	0.00366
Coif1	-0.0075	-0.0488	0.00815	-0.0135	0.07429	0.06689
Bior1.1	0.03143	-0.1165	0.0072	0.13995	-0.3401	0.06253
Bior1.3	0.03204	-0.1185	0.00787	0.18039	-0.2183	0.06001
Bior1.5	0.03324	-0.1189	0.00729	0.15137	-0.3087	0.05711
Rbio1.1	0.03143	-0.1165	0.0072	0.13995	-0.3401	0.06253
Rbio1.3	-0.0074	-0.0503	0.00778	0.02064	0.04697	0.05835
Rbio1.5	-0.0067	-0.0519	0.00766	-0.0154	-0.0485	0.05881
Dmey	-0.0044	-0.0391	0.00182	0.00066	0.02983	0.02261

จากตารางที่ 3.8 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Lena โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 2 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์มาก



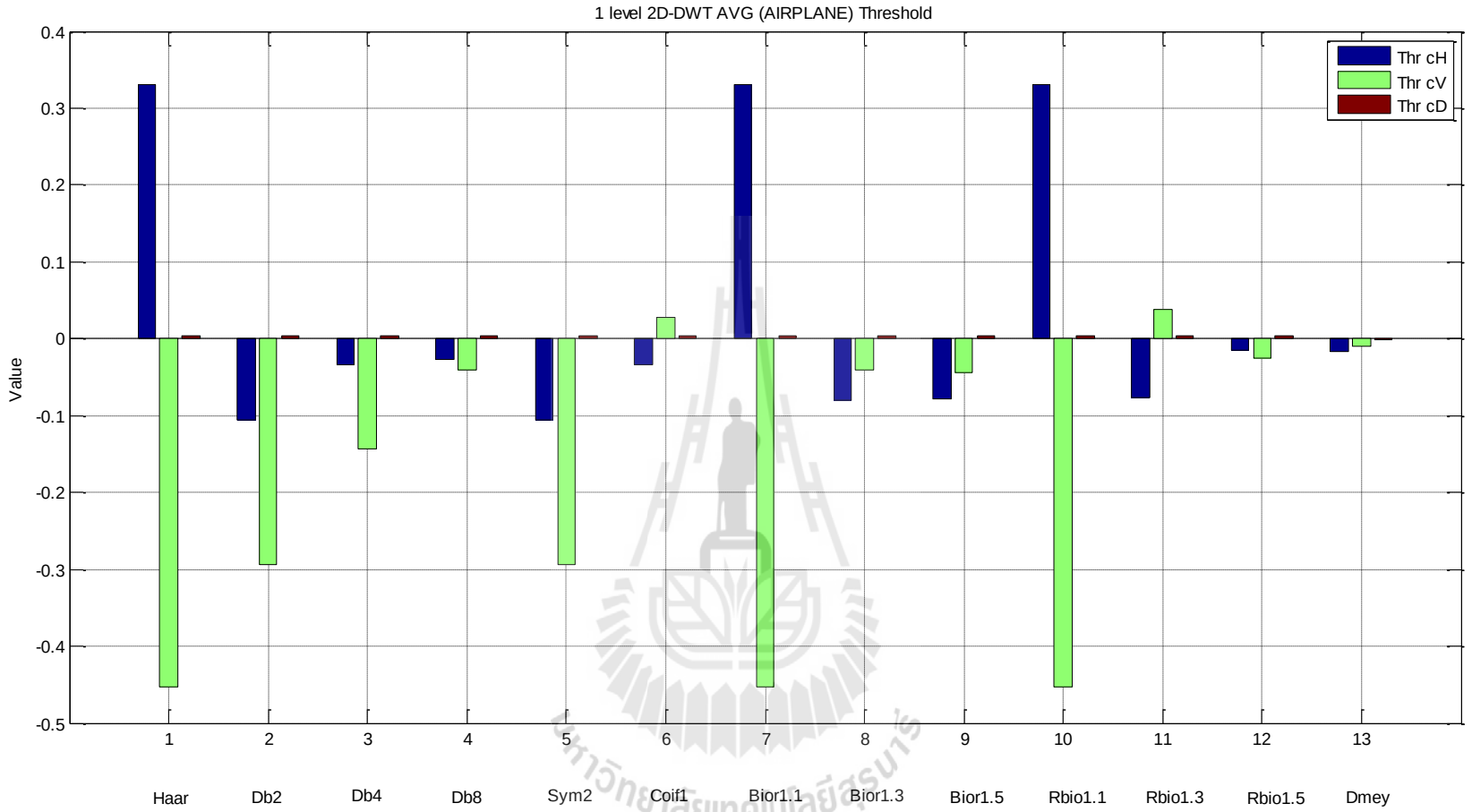
รูปที่ 3.27 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 3 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.27 จะเห็นว่ามีแบนด์ย่อยทั้งหมด 6 แบนด์ย่อยเนื่องจากมีการแปลง 2 level ดังนั้นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละ level โดยที่ Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 สำหรับการแปลง 2 level ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 Bior1.3 Bior1.5 และ Rbio1.1 ให้ค่า Thr_cH และ Thr_cH2 ที่มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 3.9 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AVG (AIRPLANE)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	0.33008	-0.4533	0.00397
Db2	-0.105	-0.2935	0.0044
Db4	-0.0339	-0.1431	0.00435
DB8	-0.0265	-0.0398	0.00466
Sym2	-0.105	-0.2935	0.0044
Coif1	-0.0338	0.02814	0.00457
Bior1.1	0.33008	-0.4533	0.00397
Bior1.3	-0.0799	-0.0401	0.00466
Bior1.5	-0.0774	-0.0436	0.00436
Rbio1.1	0.33008	-0.4533	0.00397
Rbio1.3	-0.0757	0.03769	0.00428
Rbio1.5	-0.0145	-0.026	0.00447
Dmey	-0.0159	-0.0093	-0.0005

จากตารางที่ 3.9 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Airplane โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 1 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงภาพ Baboon และ Lena คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกับศูนย์



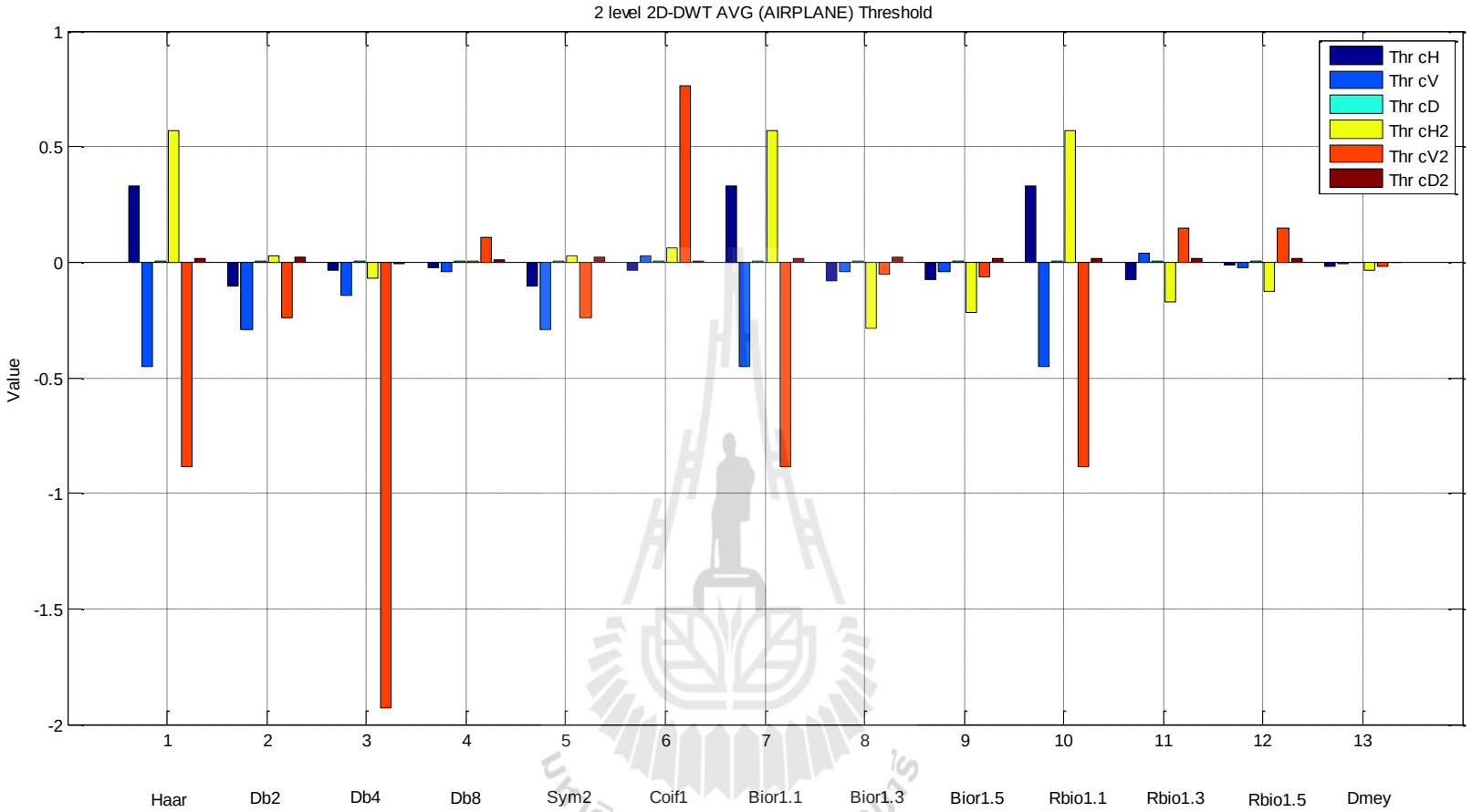
รูปที่ 3.28 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.28 คือค่าเฉลี่ยจากการหาค่าเฉลี่ยในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ของภาพ Airplane ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 ซึ่งเวฟเล็ตแม่ทั้ง 3 ตัวนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ที่เท่ากันจึงให้ผลลัพธ์ที่เท่ากันและมีค่า Thr_cH ที่มีค่าเยอะที่สุด

ตารางที่ 3.10 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AVG (AIRPLANE)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	0.33008	-0.4533	0.00397	0.56839	-0.8849	0.01685
Db2	-0.105	-0.2935	0.0044	0.02536	-0.2428	0.01967
Db4	-0.0339	-0.1431	0.00435	-0.0674	-1.927	-0.0048
DB8	-0.0265	-0.0398	0.00466	0.00691	0.11008	0.00948
Sym2	-0.105	-0.2935	0.0044	0.02536	-0.2428	0.01967
Coif1	-0.0338	0.02814	0.00457	0.05946	0.76124	0.00749
Bior1.1	0.33008	-0.4533	0.00397	0.56839	-0.8849	0.01685
Bior1.3	-0.0799	-0.0401	0.00466	-0.2881	-0.0529	0.01991
Bior1.5	-0.0774	-0.0436	0.00436	-0.2149	-0.0636	0.01476
Rbio1.1	0.33008	-0.4533	0.00397	0.56839	-0.8849	0.01685
Rbio1.3	-0.0757	0.03769	0.00428	-0.1739	0.14891	0.01849
Rbio1.5	-0.0145	-0.026	0.00447	-0.1237	0.14951	0.01517
Dmey	-0.0159	-0.0093	-0.0005	-0.0353	-0.0184	-0.0014

จากตารางที่ 3.10 เห็นได้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับภาพ Airplane โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต 2 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cV สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นก็ยังคงมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกับศูนย์



รูปที่ 3.29 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

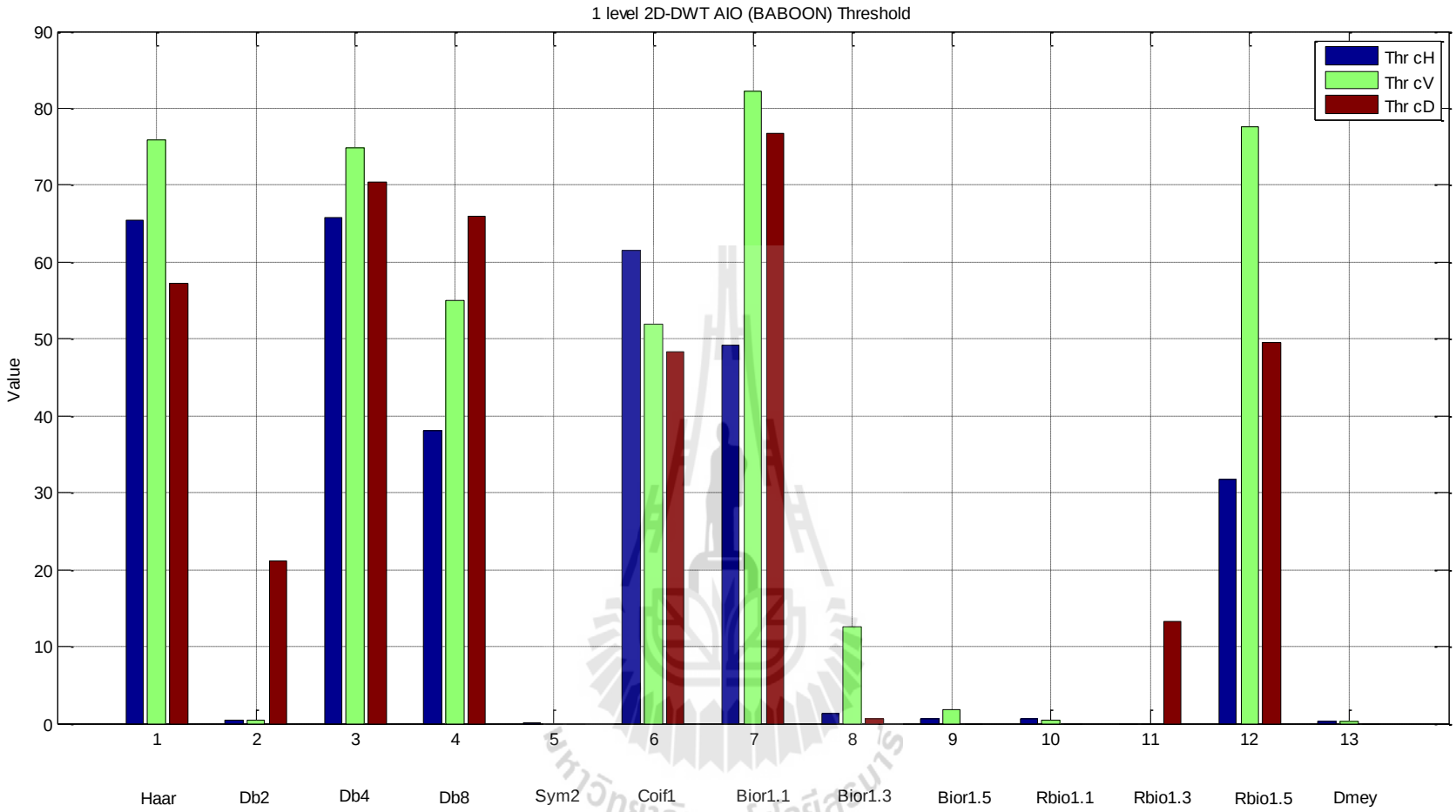
จากรูปที่ 3.29 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 โดยที่เวฟเล็ตแม่ทั้ง 3 ตัวนี้ยังคงให้ค่า Thr_cH และ Thr_cH2 ที่มีค่ามากที่สุดและเวฟเล็ตแม่ Coif1 ให้ค่าในแบนด์ย่อย Thr_cV2 สูงที่สุด

สำหรับภาพการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) โดยผลการหาค่า Thr_cH Thr_cV Thr_cD Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 โดยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับภาพ Baboon Lena และ Airplane มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากการหาค่าโดยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังตารางที่ 3.11 และ 3.12 สำหรับภาพ Baboon 3.13 และ 3.14 สำหรับภาพ Lena และตารางที่ 3.15 และ 3.16 สำหรับภาพ Airplane

ตารางที่ 3.11 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AIO (BABOON)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	65.365	75.923	57.205
Db2	0.39	0.509	21.062
Db4	65.746	74.856	70.443
DB8	38.001	55.01	65.99
Sym2	0.03	0	0
Coif1	61.587	51.875	48.321
Bior1.1	49.214	82.289	76.679
Bior1.3	1.231	12.574	0.675
Bior1.5	0.538	1.834	0
Rbio1.1	0.652	0.346	0
Rbio1.3	0	0	13.202
Rbio1.5	31.687	77.64	49.582
Dmey	0.267	0.194	0

จากตารางที่ 3.11 จะเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon ของการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการประยุกต์หาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนโดยที่ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG



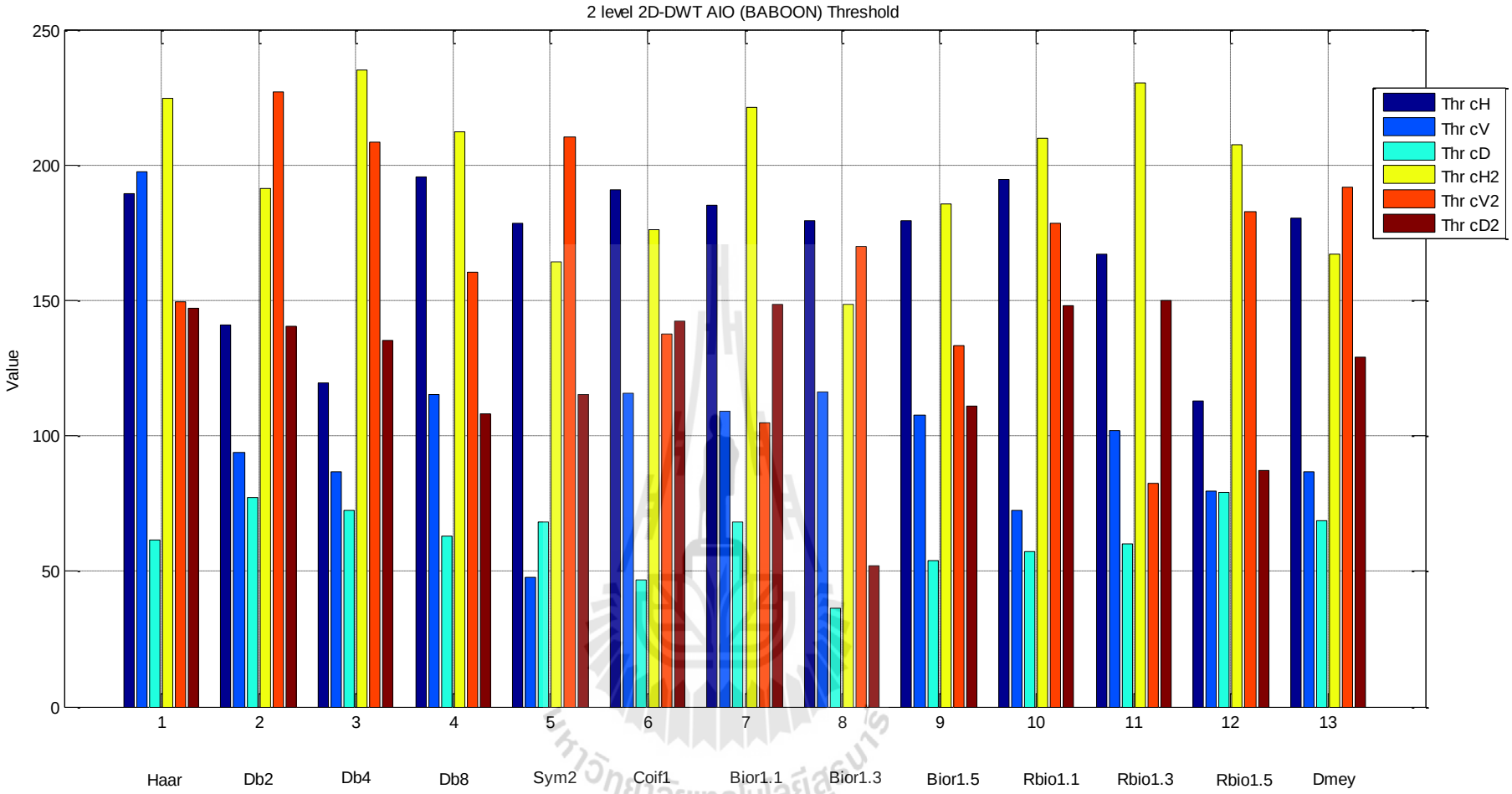
รูปที่ 3.30 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.30 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับอัลกอริทึมที่ 3 ของภาพ Baboon นั้นมีค่าสูงมากกว่าแบบอัลกอริทึมที่ 2 ซึ่งจากรูปเวฟเล็ตแม่ Haar Db4 Db8 Coif1 Bior1.1 Rbio1.5 จะให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของทั้ง 3 แบนด์ย่อยที่มีค่าสูงมาก

ตารางที่ 3.12 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AIO (BABOON)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	189.193	197.426	61.373	224.49	149.298	147.311
Db2	141.115	93.695	77.098	191.069	226.925	140.573
Db4	119.315	86.637	72.316	235.097	208.279	134.995
DB8	195.361	115.154	63.008	212.036	160.25	108.032
Sym2	178.543	47.83	68.157	164.231	210.18	115.321
Coif1	190.666	115.801	46.935	175.961	137.364	142.213
Bior1.1	185.176	108.925	68.374	221.41	104.737	148.506
Bior1.3	179.652	115.97	36.522	148.468	169.815	52.277
Bior1.5	179.579	107.734	54.004	185.626	133.148	111.047
Rbio1.1	194.765	72.367	57.042	209.883	178.69	147.902
Rbio1.3	167.037	101.839	60.055	230.392	82.354	149.731
Rbio1.5	113.02	79.662	79.143	207.67	182.712	87.1
Dmey	180.327	86.9	68.603	166.847	191.941	128.896

จากตารางที่ 3.12 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWTแบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



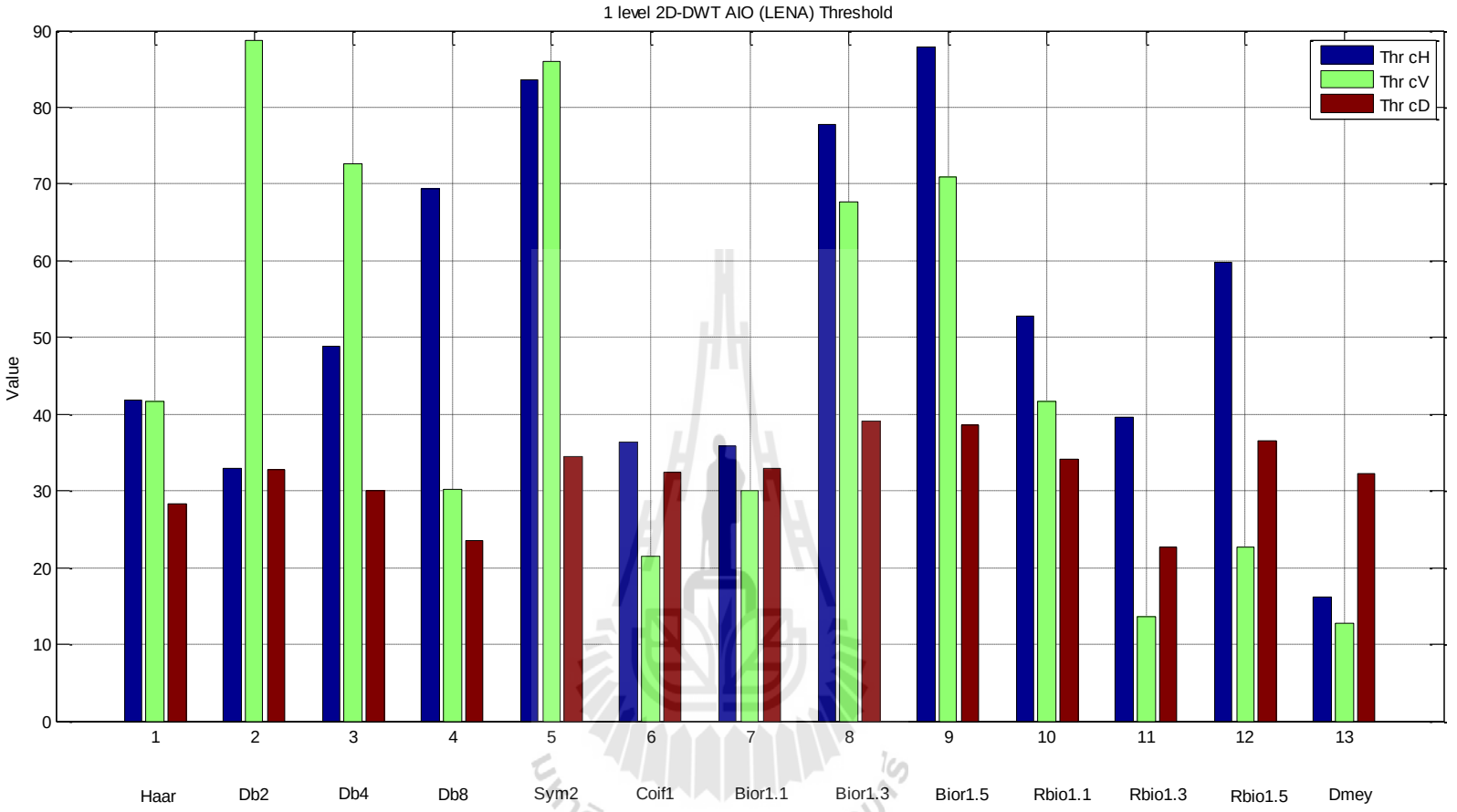
รูปที่ 3.31 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.31 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cV Thr_cH และ Thr_cD ของการแปลง 1 level และ Thr_cH2 THr_cV2 และ Thr_cD2 ของการแปลง 2 level นั้นมีค่าสูงมากและมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวฟเล็ตแม่ต่างๆ กัน

ตารางที่ 3.13 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AIO (LENA)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	41.856	41.709	28.28
Db2	32.915	88.659	32.849
Db4	48.83	72.7	29.997
DB8	69.399	30.205	23.588
Sym2	83.668	85.959	34.48
Coif1	36.317	21.495	32.433
Bior1.1	35.849	29.994	32.876
Bior1.3	77.711	67.743	39.05
Bior1.5	87.88	70.957	38.571
Rbio1.1	52.726	41.69	34.11
Rbio1.3	39.632	13.642	22.586
Rbio1.5	59.756	22.752	36.508
Dmey	16.244	12.777	32.227

จากตารางที่ 3.13 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอลักอริทึมที่ 4 แบบ 1 level ในแต่ละแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าภาพ Baboon ที่ใช้อัลกอริทึมบีบอัดสัญญาณภาพแบบเดียวกัน



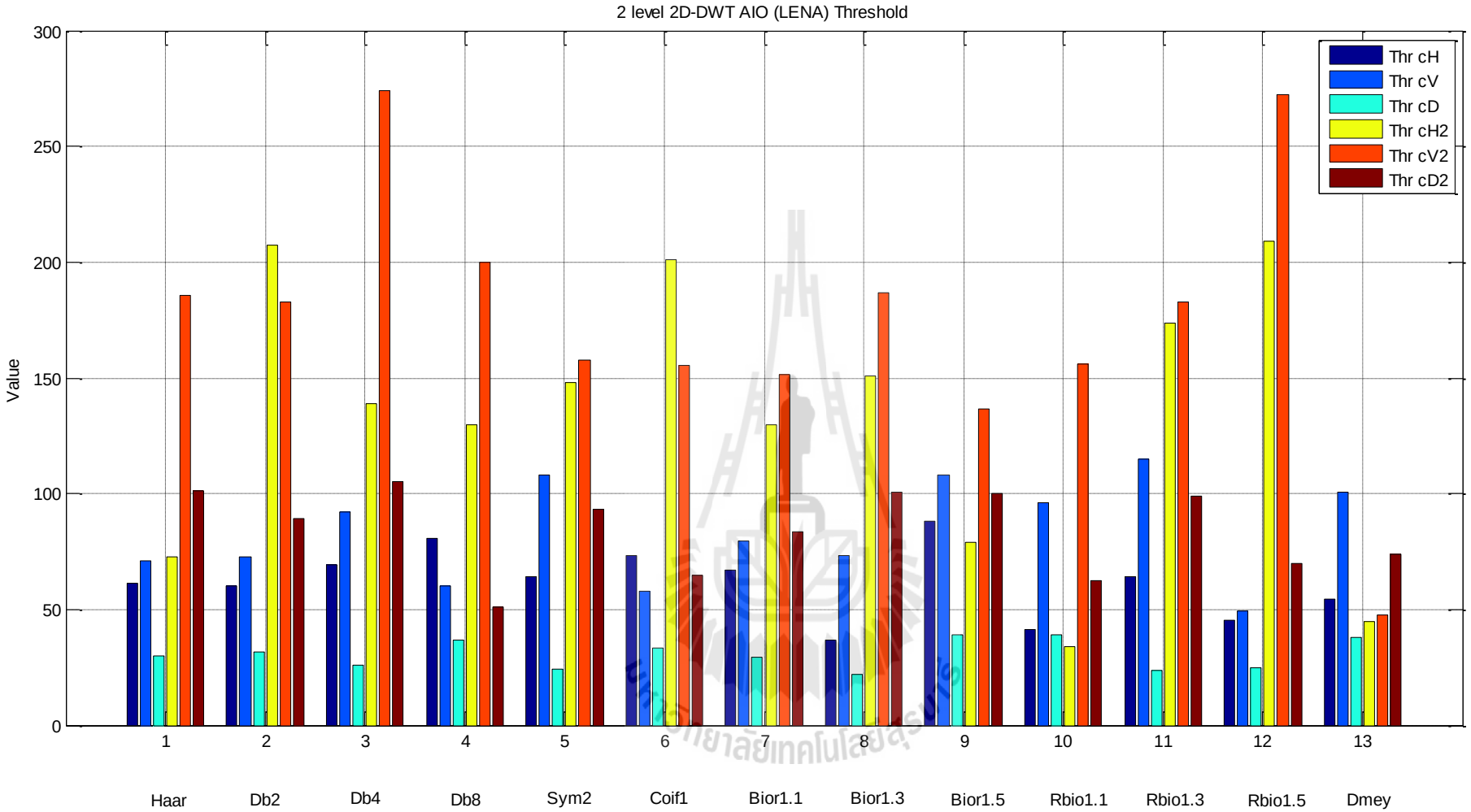
รูปที่ 3.32 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.32 เช่นเดียวกันกับภาพ Baboon ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับอัลกอริทึมที่ 3 ของภาพ Baboon นั้นมีค่าสูงมากกว่าแบบอัลกอริทึมที่ 2 แต่สำหรับรูป Lena จากการใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ นั้นจะให้ค่าแตกต่างกันไป

ตารางที่ 3.14 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AIO (LENA)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	61.589	71.122	30.193	72.958	185.371	101.043
Db2	60.401	72.905	31.752	207.44	182.871	89.178
Db4	69.323	92.329	25.935	138.917	274.153	105.04
DB8	80.619	60.148	36.675	129.56	200.1	50.904
Sym2	64.24	108.246	24.482	147.819	157.91	93.154
Coif1	73.135	57.941	33.589	200.778	155.458	64.696
Bior1.1	66.976	79.671	29.164	129.578	151.476	83.297
Bior1.3	36.921	73.562	21.758	150.946	187.034	100.647
Bior1.5	88.292	107.988	38.887	79.137	136.7	100.363
Rbio1.1	41.558	96.328	39.264	34.067	156.038	62.32
Rbio1.3	64.221	114.694	23.493	173.807	182.66	98.918
Rbio1.5	45.501	49.574	24.812	209.024	272.442	70.14
Dmey	54.697	100.89	38.015	44.623	47.872	73.85

จากตารางที่ 3.14 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWTแบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



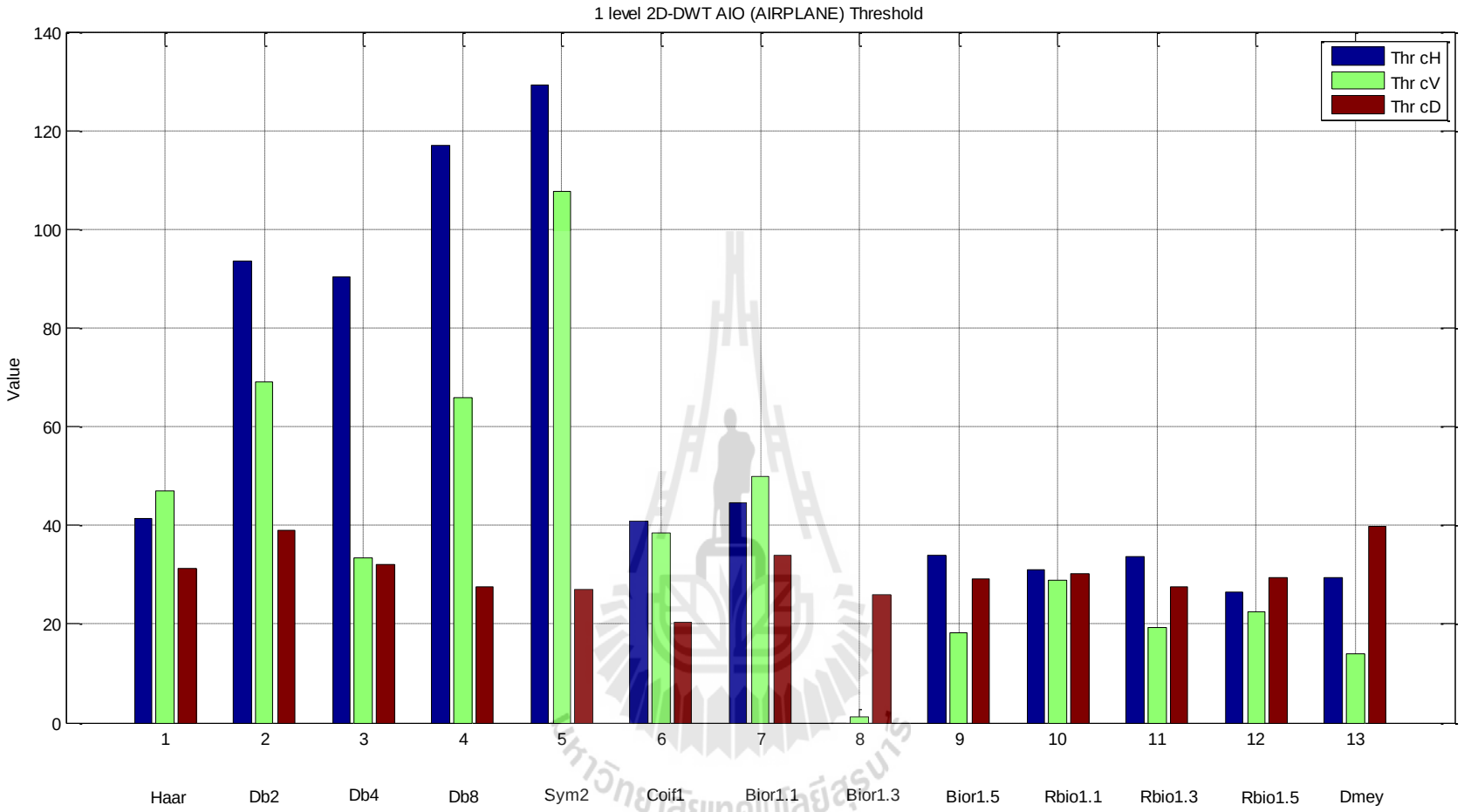
รูปที่ 3.33 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.33 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cV Thr_cH และ Thr_cD ของการแปลง 1 level และ Thr_cH2 THr_cV2 และ Thr_cD2 ของการแปลง 2 level นั้นมีค่าสูงมากและมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวฟเล็ตแม่ต่างๆ กัน

ตารางที่ 3.15 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	1 level 2D-DWT AIO (AIRPLANE)		
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD
Haar	41.382	47.081	31.222
Db2	93.655	68.958	39.101
Db4	90.336	33.306	31.99
DB8	116.983	65.823	27.594
Sym2	129.244	107.605	27.104
Coif1	40.921	38.394	20.412
Bior1.1	44.678	49.987	34.002
Bior1.3	0	1.114	25.94
Bior1.5	33.935	18.25	29.092
Rbio1.1	30.96	28.782	30.157
Rbio1.3	33.744	19.272	27.472
Rbio1.5	26.415	22.509	29.349
Dmey	29.292	13.979	39.716

จากตารางที่ 3.15 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอลักอริทึมที่ 4 แบบ 1 level ในแต่ละแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าภาพ Baboon ที่ใช้อัลกอริทึมบีบอัดสัญญาณภาพแบบเดียวกันแต่มีค่าใกล้เคียงกับภาพ Lena



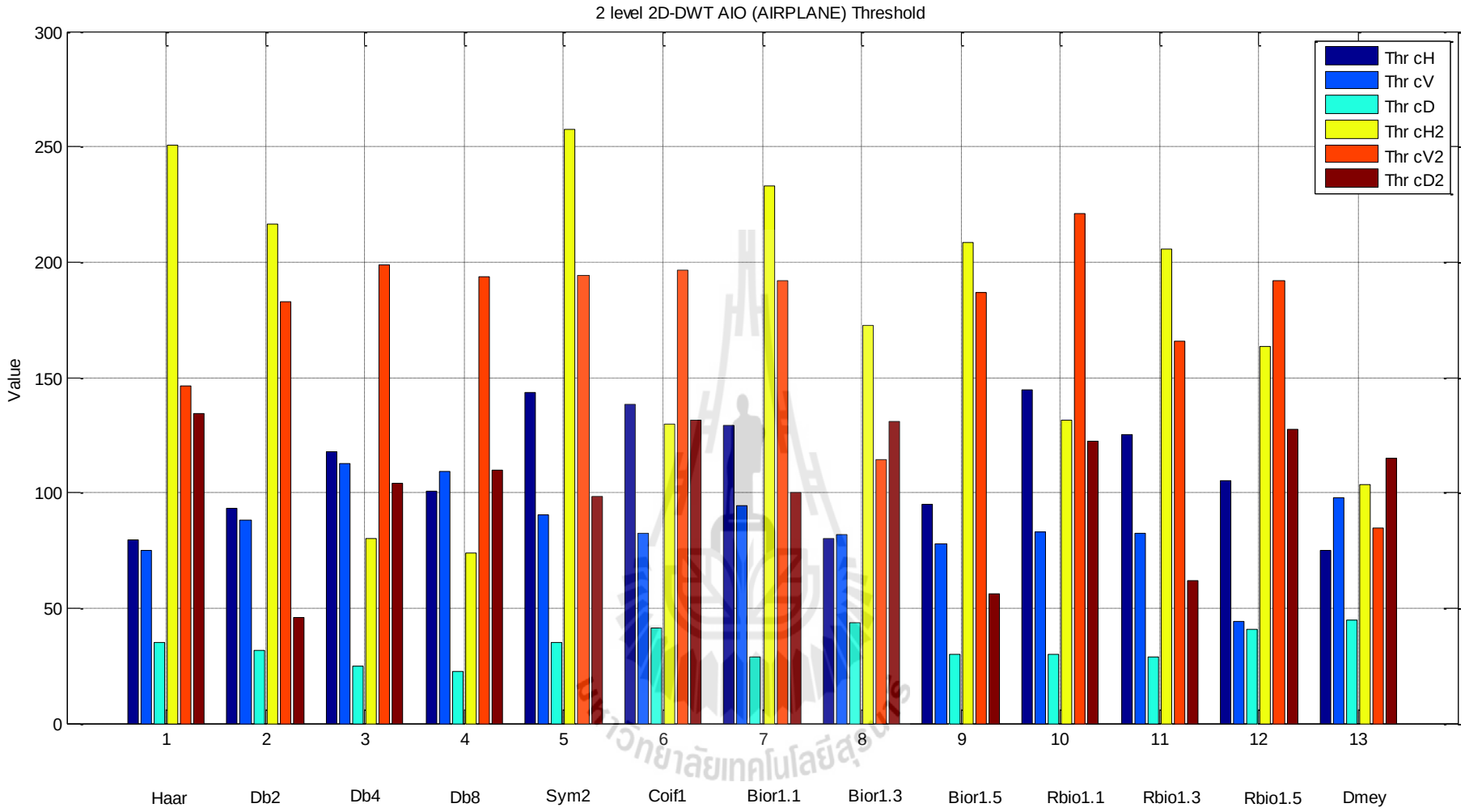
รูปที่ 3.34 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Aiplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.34 เช่นเดียวกันกับภาพ Baboon ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับอัลกอริทึมที่ 3 ของภาพ Baboon นั้นมีค่าสูงมากกว่าแบบอัลกอริทึมที่ 2 แต่สำหรับรูป Lena จากการใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ นั้นจะให้ค่าแตกต่างกันไป

ตารางที่ 3.16 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

เวฟเล็ตแม่	2 level 2D-DWT AIO (AIRPLANE)					
	Thr_cH	Thr_cV	Thr_cD	Thr_cH2	Thr_cV2	Thr_cD2
Haar	79.298	74.754	34.856	250.384	146.551	134.124
Db2	93.365	87.875	31.838	216.294	182.747	45.917
Db4	117.609	112.8	24.655	79.98	199.002	103.818
DB8	100.457	109.375	22.306	73.691	193.509	109.714
Sym2	143.525	90.401	35.046	257.308	193.978	98.646
Coif1	138.45	82.467	41.25	129.806	196.291	131.187
Bior1.1	129.042	94.621	29.051	232.887	191.998	100.323
Bior1.3	80.385	81.661	43.731	172.569	114.214	131.138
Bior1.5	95.051	78.05	29.689	208.239	186.569	56
Rbio1.1	144.628	83.24	29.873	131.72	220.769	122.184
Rbio1.3	125.221	82.371	28.986	205.876	165.746	61.99
Rbio1.5	105.41	44.455	40.521	163.672	192.022	127.435
Dmey	74.996	98.033	44.641	103.641	84.653	114.882

จากตารางที่ 3.16 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWTแบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr_cH Thr_cV และ Thr_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr_cH2 Thr_cV2 และ Thr_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



รูปที่ 3.35 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.35 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr_cV Thr_cH และ Thr_cD ของการแปลง 1 level และ Thr_cH2 THr_cV2 และ Thr_cD2 ของการแปลง 2 level นั้นมีค่าสูงมากและมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวฟเล็ตแม่ต่างๆ กัน

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบสูญเสีย (Lossy compression) เราไม่สามารถสรุปประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพได้จากค่า CR แต่ต้องพิจารณาถึงความสูญเสียในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลจากการทำการบีบอัดข้อมูลด้วยว่าเป็นค่า PSNR (dB) เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูลดังต่อไปนี้

1. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR (dB)) คือ ค่าคุณภาพสัญญาณภาพซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพหลังทำการบีบอัดสัญญาณภาพ
2. Compression Ratio (CR) คือ ค่าอัตราการบับอัดสัญญาณภาพซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพ

ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete Wavelet Transform : DWT) ทั้ง 3 อัลกอริทึม

ตารางที่ 3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม

Mother Wavelet	1 Level DWT-SHPS		2 Level DWT-SHPS		1 Level DWT-AVG		2 Level DWT-AVG		1 Level DWT-AIO		2 Level DWT-AIO	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	2.76209	31.2053	9.57569	30.1713	1.18136	32.7172	1.31059	31.4762	2.5693	31.4024	8.9025	30.1761
Db2	2.70849	32.0087	9.21614	30.0386	1.21942	33.489	1.35503	30.9211	1.3544	33.3679	8.5971	30.0393
Db4	2.63557	30.8756	8.72069	30.2905	1.22704	32.024	1.35987	31.2897	2.4956	30.9797	8.067	30.3013
DB8	2.52576	31.3645	7.92503	30.0352	1.17964	32.6817	1.27241	30.8842	2.1442	31.8006	7.3993	30.0428
Sym2	2.70849	32.0087	9.21614	30.0386	1.21942	33.489	1.35503	30.9211	1.22	33.4876	8.0201	30.0543
Coif1	2.68535	30.7428	9.04506	29.962	1.2012	31.9292	1.33063	31.0944	2.4722	30.992	8.3507	29.9693
Bior1.1	2.76209	31.2053	9.57569	30.1713	1.18136	32.7172	1.31059	31.4762	2.4503	31.5148	8.8413	30.1821
Bior1.3	2.67167	31.8747	9.11425	30.2181	1.14479	33.5125	1.26106	31.2966	1.1794	33.5039	7.2172	30.2525
Bior1.5	2.59282	31.642	8.60335	29.8712	1.11409	33.2214	1.19659	30.7876	1.1175	33.225	7.7397	29.9051
Rbio1.1	2.76209	31.2053	9.57569	30.1713	1.18136	32.7172	1.31059	31.4762	1.1829	32.7528	8.7962	30.1774
Rbio1.3	2.74244	31.4332	9.323	29.979	1.23554	33.0107	1.38097	31.061	1.2888	33.038	8.5029	30.0006
Rbio1.5	2.69324	31.427	9.1486	30.3334	1.21657	32.9708	1.34204	31.5686	2.2029	32.0428	8.244	30.3659
Dmey	1.86118	32.2598	3.66543	30.1486	0.87408	34.0112	0.75111	31.1582	0.8743	34.0109	3.4687	30.1788

จากตารางที่ 3.17 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพ Baboon ทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอรทึม ที่ 4 2D-DWT แบบ AIO หากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม่จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับทุก อัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพ

ซึ่งอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4

ตารางที่ 3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม

Mother Wavelet	1 Level DWT-SHPS		2 Level DWT-SHPS		1 Level DWT-AVG		2 Level DWT-AVG		1 Level DWT-AIO		2 Level DWT-AIO	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	5.32121	36.5739	13.8364	34.8262	3.53199	37.7255	4.29083	36.3691	5.0154	36.7861	12.1027	34.8838
Db2	5.2141	35.2853	13.4213	35.3667	3.83218	35.84	4.86136	36.775	5.0304	35.2962	12.1453	35.3626
Db4	5.08761	36.7621	12.8326	35.6423	3.92843	37.4352	5.03755	36.9618	4.9342	36.7634	11.6706	35.6426
DB8	4.94145	35.512	11.656	35.4978	3.92631	35.9115	4.88328	36.5422	4.7344	35.5904	10.5525	35.5045
Sym2	5.2141	35.2853	13.4213	35.3667	3.83218	35.84	4.86136	36.775	5.0556	35.2848	12.0949	35.3758
Coif1	5.19529	38.9534	13.1124	35.3165	3.82994	39.8216	4.76539	36.7271	4.7963	39.3057	11.8136	35.3306
Bior1.1	5.32121	36.5739	13.8364	34.8262	3.53199	37.7255	4.29083	36.3691	4.8749	36.9538	12.3003	34.8612
Bior1.3	5.07539	35.7081	12.8401	34.4587	3.37336	36.6607	3.98177	35.9289	4.8949	35.7455	10.9711	34.497
Bior1.5	4.94071	34.1661	12.3816	34.5084	3.28254	34.7236	3.8068	35.9744	4.7706	34.1919	10.881	34.6899
Rbio1.1	5.32121	36.5739	13.8364	34.8262	3.53199	37.7255	4.29083	36.3691	5.0441	36.7626	11.157	34.9911
Rbio1.3	5.28537	37.9423	13.6023	35.3872	4.02704	38.8202	5.27156	36.8397	4.7104	38.5814	12.3003	35.393
Rbio1.5	5.23639	38.0738	13.257	35.9315	4.09152	38.8945	5.39058	37.461	4.9262	38.4481	11.8972	35.9493
Dmey	3.90781	40.3545	5.77537	35.1078	3.21918	41.1333	3.11106	36.2336	3.4962	41.0643	5.1385	35.5422

จากตารางที่ 3.18 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพ Lena ทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอรทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์มีความคล้ายกับผลลัพธ์ของภาพ Baboon แต่มีค่า CR และ PSNR (dB) ที่มากกว่าภาพ Baboon และหากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม่จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก สำหรับทุกอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพ

สำหรับประสิทธิภาพนั้นก็ให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon คืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุด คืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม

Mother Wavelet	1 Level DWT-SHPS		2 Level DWT-SHPS		1 Level DWT-AVG		2 Level DWT-AVG		1 Level DWT-AIO		2 Level DWT-AIO	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	4.98429	36.2824	13.0148	33.9316	3.28057	37.6096	3.91412	35.496	4.536	36.7461	11.175	34.0427
Db2	4.73526	33.5461	12.2566	33.4302	3.34291	34.0631	4.03621	34.5921	4.6021	33.5453	11.0339	33.4282
Db4	4.61472	35.2285	11.1999	34.4283	3.43822	35.8767	4.00342	35.6565	4.4504	35.2714	9.861	34.5789
DB8	4.27251	36.0877	10.0292	34.1347	3.15699	36.6802	3.61648	35.0655	4.1536	36.0976	9.0214	34.2368
Sym2	4.73526	33.5461	12.2566	33.4302	3.34291	34.0631	4.03621	34.5921	4.605	33.5459	11.2123	33.4311
Coif1	4.76348	37.109	11.9657	33.4557	3.30948	38.116	3.95033	34.8606	4.4602	37.4483	10.7621	33.6131
Bior1.1	4.98429	36.2824	13.0148	33.9316	3.28057	37.6096	3.91412	35.496	4.5807	36.7062	11.7902	33.9481
Bior1.3	4.63381	37.2356	11.9384	34.0445	3.04366	38.9096	3.62588	35.304	3.1633	38.8829	10.0902	34.2595
Bior1.5	4.53583	36.1984	11.2537	33.9846	2.97364	37.5473	3.32451	35.3704	3.7942	37.0257	9.6518	34.1316
Rbio1.1	4.98429	36.2824	13.0148	33.9316	3.28057	37.6096	3.91412	35.496	4.2813	37.0465	11.6664	33.9774
Rbio1.3	4.96071	37.3712	12.7788	34.5493	3.56445	38.5447	4.36427	36.1822	4.4825	38.0235	11.5208	34.5687
Rbio1.5	4.8375	37.5052	12.5584	34.319	3.52041	38.6187	4.25545	35.9599	4.408	38.1117	11.2605	34.3465
Dmey	3.26001	37.352	4.84572	33.6252	2.53892	38.2131	2.1316	34.8325	2.965	37.855	4.4461	33.9214

จากตารางที่ 3.19 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพ Airplane ทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอรทึม ที่ 4 2D-DWT แบบ AIO ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์มีความคล้ายกับผลลัพธ์ของภาพ Baboon และ Lena แต่มีค่า CR และ PSNR (dB) ที่มากกว่าภาพ Baboon และมีความใกล้เคียงกับภาพ Lena และหากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม่จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับทุกอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพ

สำหรับประสิทธิภาพนั้นก็ให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon และ Lena คืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ที่พอรับได้ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4

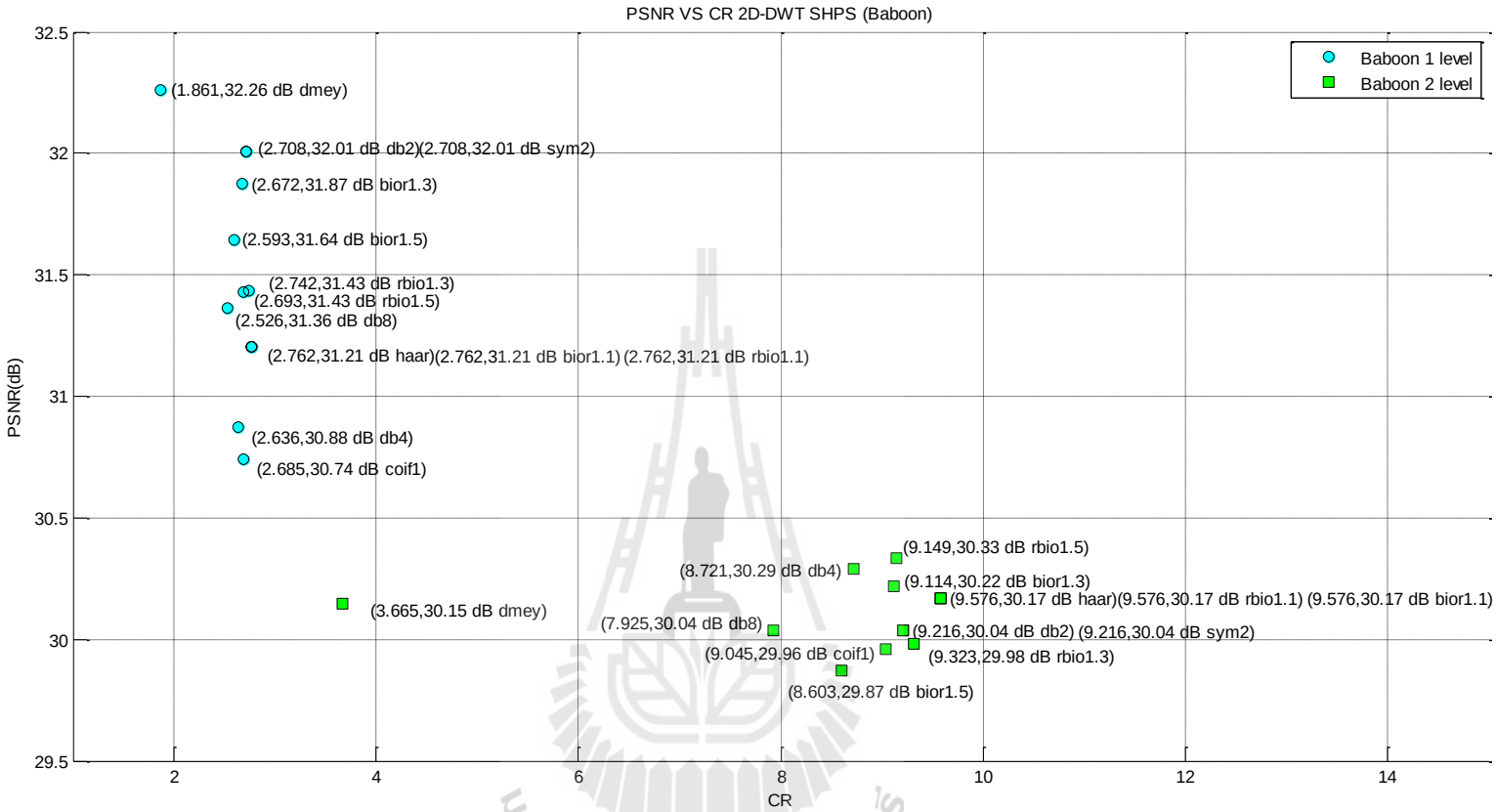
ตารางที่ 3.20 ค่าเฉลี่ยการบีบอัดสัญญาณภาพทั้ง 3 โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม

Mother Wavelet	1 Level DWT-SHPS		2 Level DWT-SHPS		1 Level DWT-AVG		2 Level DWT-AVG		1 Level DWT-AIO		2 Level DWT-AIO	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	4.35586	34.6872	12.1423	32.9763	2.66464	36.0174	3.17185	34.4471	4.04023	34.9782	10.7267	33.0342
Db2	4.21928	33.6134	11.6313	32.9452	2.79817	34.464	3.41753	34.0961	3.6623	34.0698	10.5921	32.9434
Db4	4.11263	34.2888	10.9177	33.4537	2.86456	35.1119	3.46695	34.636	3.96007	34.3382	9.8662	33.5076
DB8	3.91324	34.3214	9.87009	33.2226	2.75431	35.0912	3.25739	34.1639	3.6774	34.4962	8.99107	33.2614
Sym2	4.21928	33.6134	11.6313	32.9452	2.79817	34.464	3.41753	34.0961	3.62687	34.1061	10.4424	32.9537
Coif1	4.21471	35.6017	11.3744	32.9114	2.78021	36.6223	3.34878	34.2274	3.90957	35.9153	10.3088	32.971
Bior1.1	4.35586	34.6872	12.1423	32.9763	2.66464	36.0174	3.17185	34.4471	3.96863	35.0583	10.9773	32.9971
Bior1.3	4.12696	34.9395	11.2976	32.9071	2.5206	36.3609	2.95624	34.1765	3.0792	36.0441	9.42617	33.003
Bior1.5	4.02312	34.0022	10.7462	32.7881	2.45676	35.1641	2.77597	34.0441	3.22743	34.8142	9.42417	32.9089
Rbio1.1	4.35586	34.6872	12.1423	32.9763	2.66464	36.0174	3.17185	34.4471	3.50277	35.5206	10.5399	33.0486
Rbio1.3	4.32951	35.5822	11.9014	33.3052	2.94234	36.7919	3.67226	34.6943	3.4939	36.5476	10.7747	33.3208
Rbio1.5	4.25571	35.6687	11.6547	33.528	2.94284	36.828	3.66269	34.9965	3.8457	36.2009	10.4672	33.5539
Dmey	3.00967	36.6554	4.76217	32.9605	2.21073	37.7859	1.99792	34.0748	2.44517	37.6434	4.3511	33.2141

จากผมการทดสอบประสิทธิภาพของภาพทั้ง 3 ได้แก่ภาพ Baboon Lena และ Airplane โดยการวัดประสิทธิภาพนั้นใช้การหาค่าเฉลี่ยของค่า CR และ PSNR (dB) ของทั้ง 3 ภาพ ดังตารางที่ 3.20 จากการวิเคราะห์ผลของการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ที่พอรับได้ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4

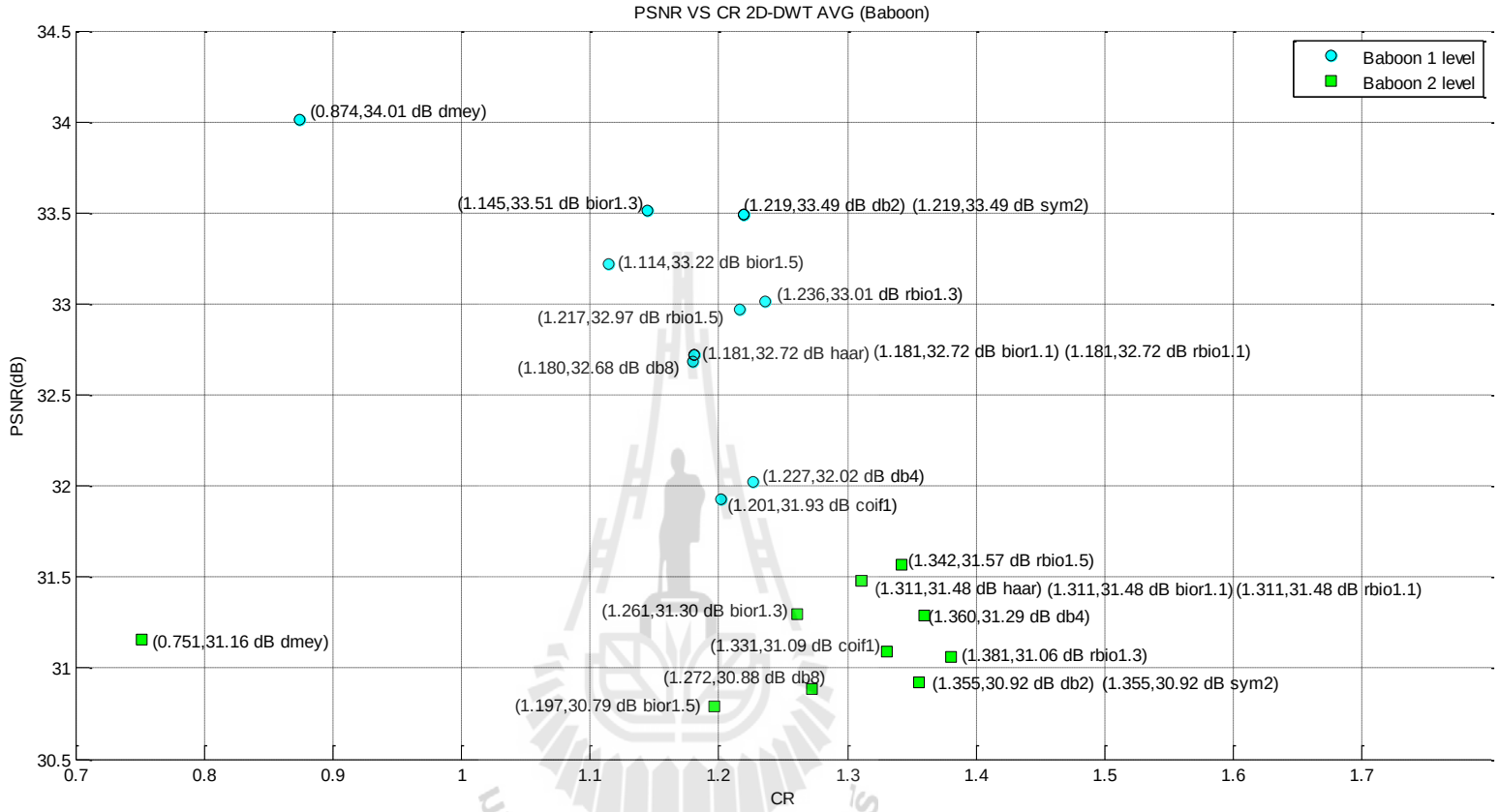
จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 1 level ดังตารางที่ 3.20 ค่า PSNR (dB) จะแตกต่างกันมากประมาณ 2dB ถึง 3dB โดยมีเพียงเวฟเล็ตแม่ Dmey จะให้ค่า PSNR (dB) ที่มากที่สุดแต่จะให้ค่า CR ที่ต่ำที่สุด แตกต่างจากเวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น แต่เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 2 level ดังตารางที่ 3.20 การใช้เวฟเล็ตแม่ที่แตกต่างกันจะทำให้ค่า CR และ PSNR (dB) มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และการใช้การแปลง 2D-DWT แบบ 2 level ยังส่งผลให้ CR มีค่าสูงกว่าการแปลง 2D-DWT แบบ 1 level มาก โดยที่ PSNR (dB) จะมีค่าต่ำลงเล็กน้อย เช่นเดียวกับ 2D-DWT แบบ 1 level เวฟเล็ตแม่ Discrete Meyer จะให้ค่า PSNR (dB) ที่มากที่สุดแต่จะให้ค่า CR ที่ต่ำที่สุด แตกต่างจากเวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น ดังนั้นการเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดใดก็ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในฟิลเตอร์แยกองค์ประกอบ (Decomposition filter) และฟิลเตอร์สร้างกลับ (Reconstruction filter) ที่มีจำนวณสัมประสิทธิ์น้อยที่สุดนั้นคือเวฟเล็ตแม่ Haar, Bior1.1 และ Rbior1.1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแม่เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด เพราะว่าจะสามารถลดการคำนวณในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



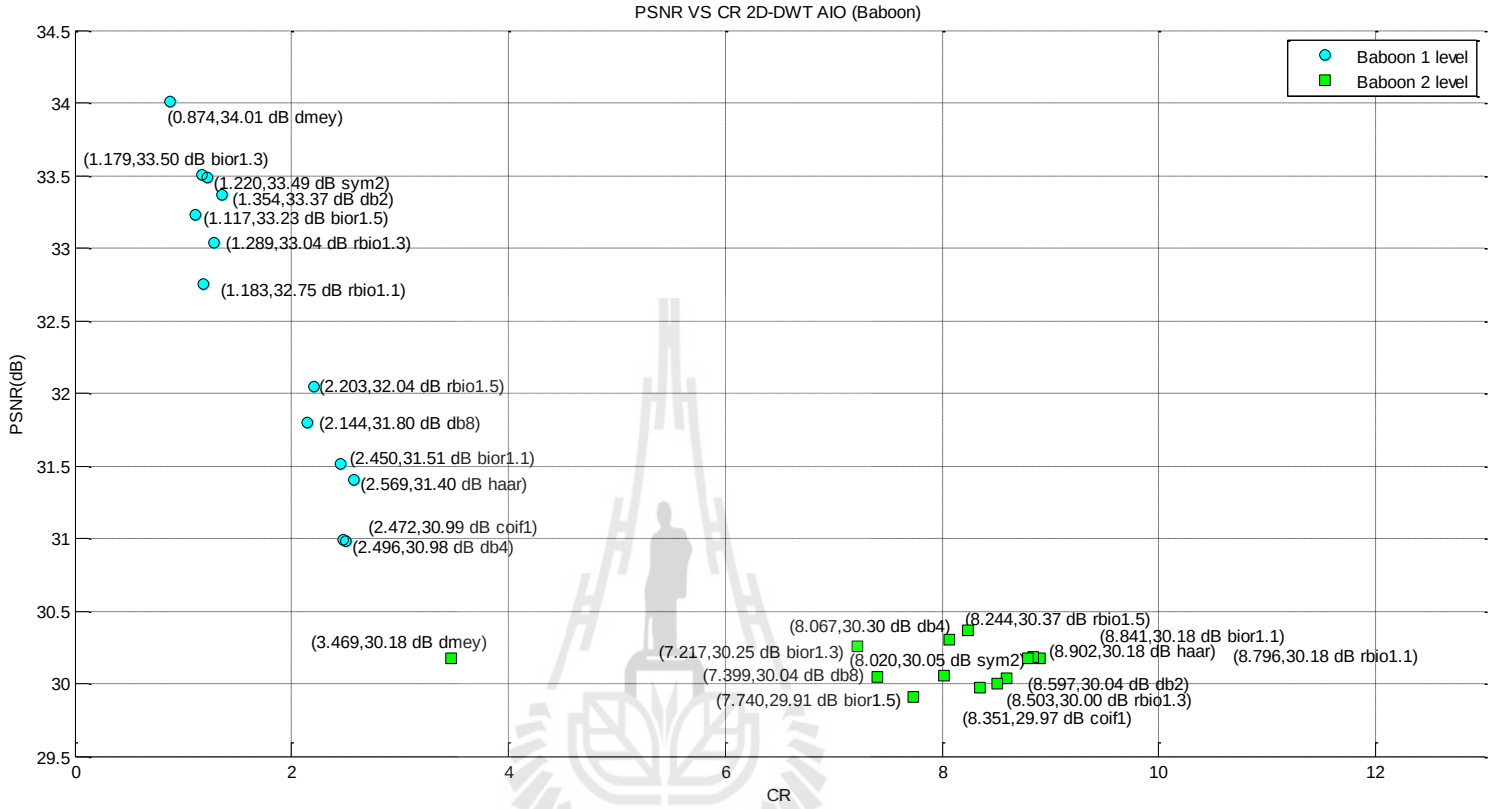
รูปที่ 3.36 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

จากรูปที่ 3.36 จะสังเกตภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 2 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 3 ถึง 4 เท่า)



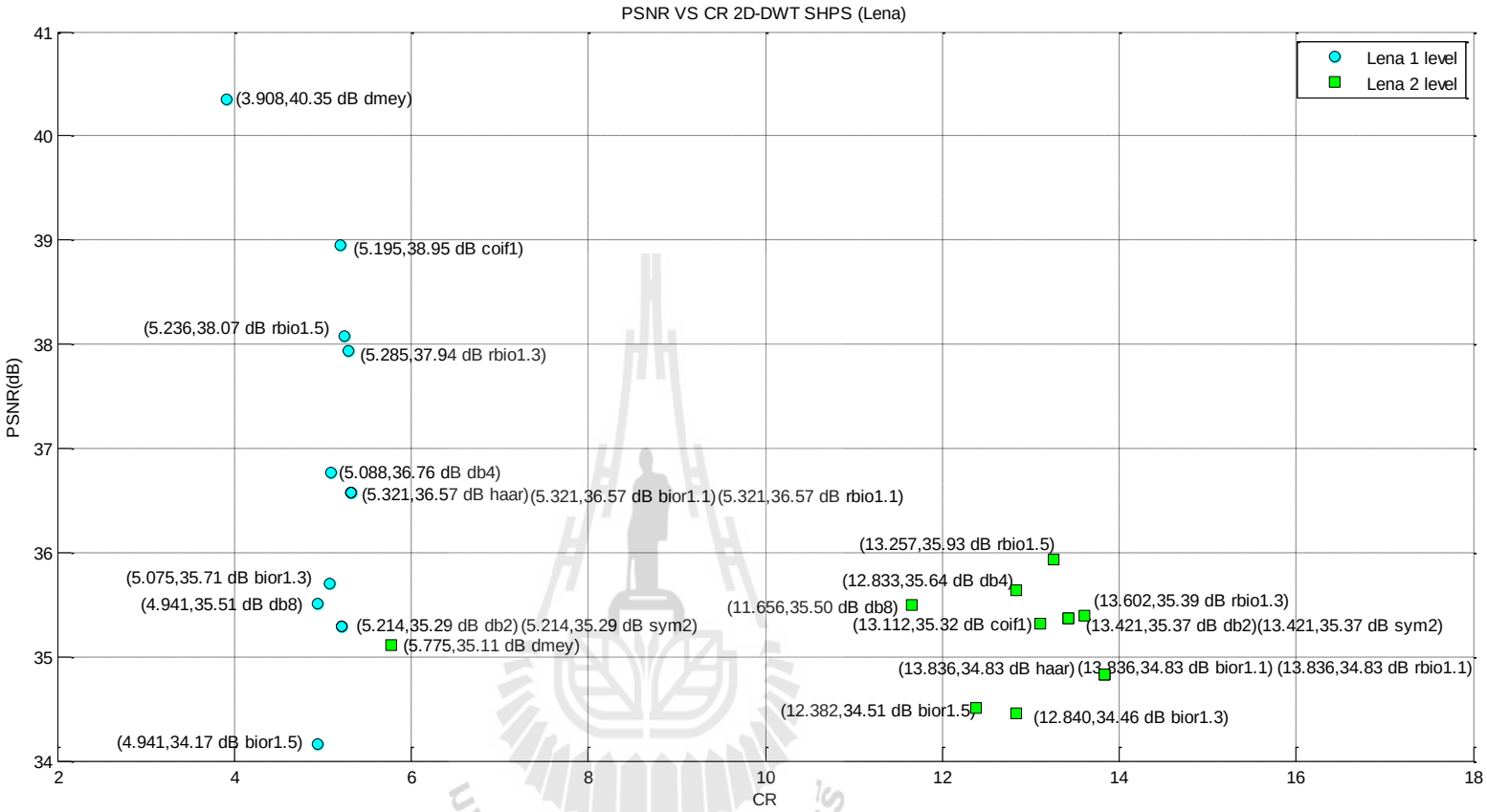
รูปที่ 3.37 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG)

จากรูปที่ 3.37 จะสังเกตภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 2 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 1 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่าน้อยกว่าการใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



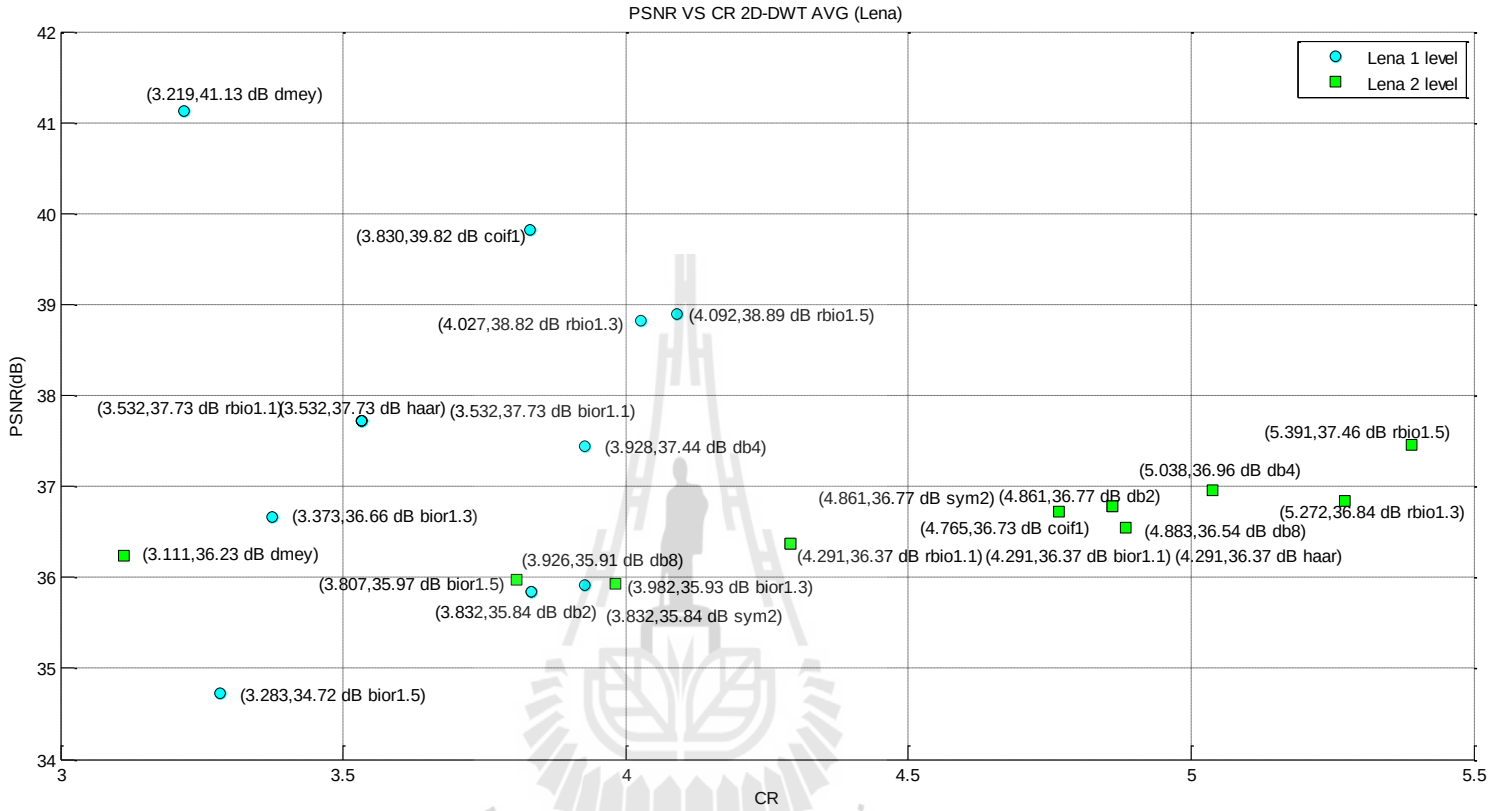
รูปที่ 3.38 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.38 จะสังเกตภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 4 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 4 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่ามากกว่าอัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 2D-DWT แบบ AVG แต่มีค่าใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



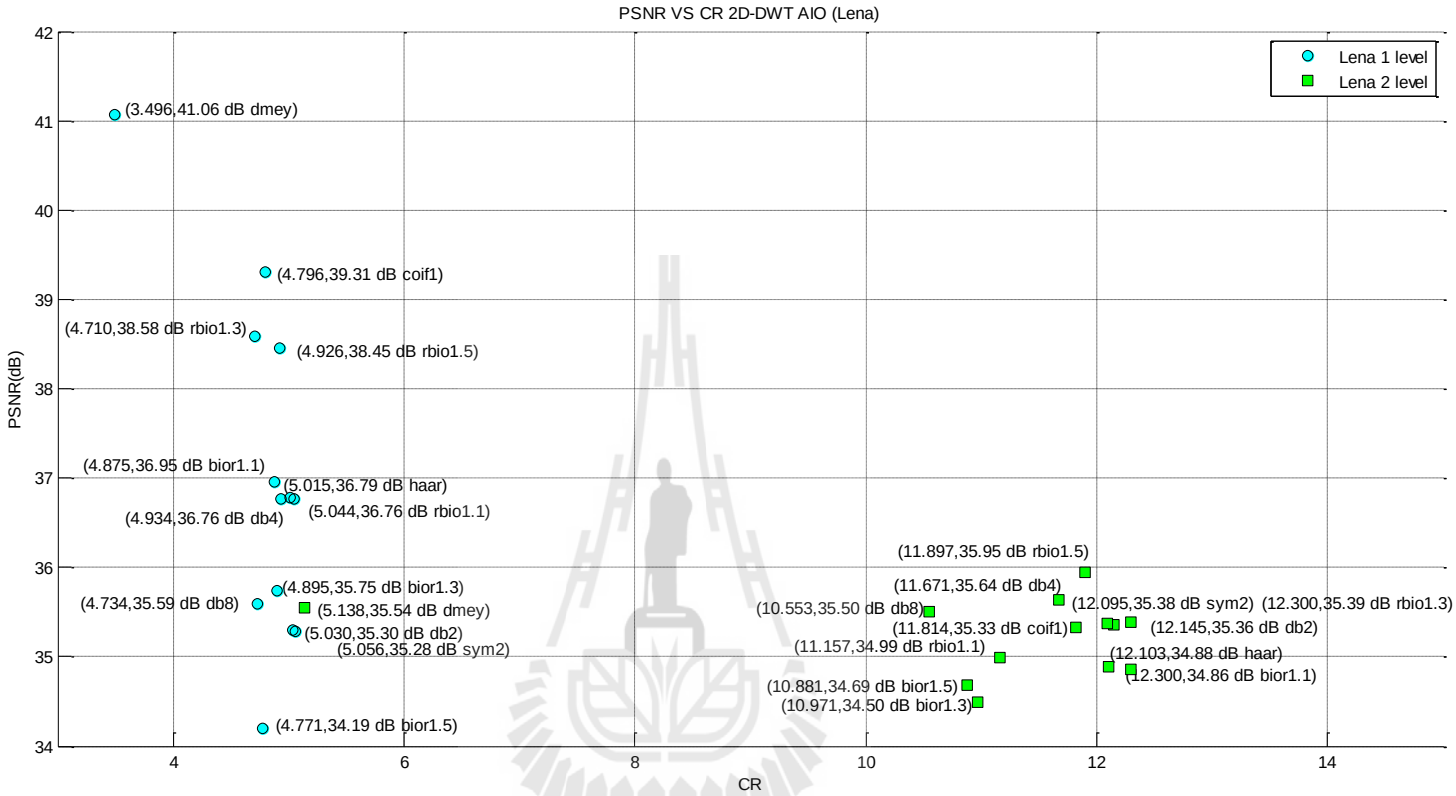
รูปที่ 3.39 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

จากรูปที่ 3.39 ภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon แต่มีค่า CR และ PSNR (dB) ที่สูงกว่าภาพ Baboon ซึ่งผลลัทพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 4 dB ถึง 5 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 5 ถึง 6 เท่า)



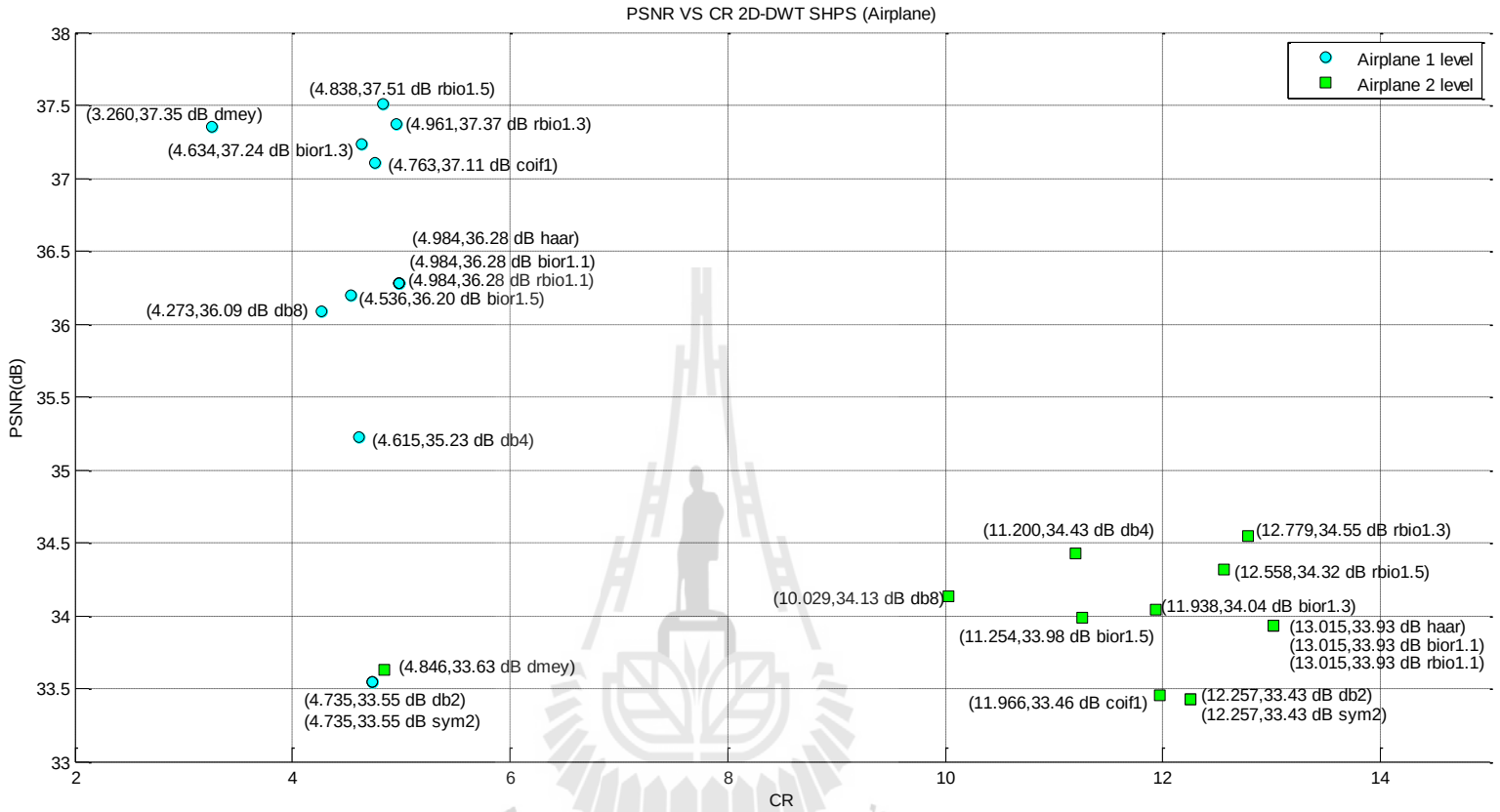
รูปที่ 3.40 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG)

จากรูปที่ 3.40 จะสังเกตภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 5 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 2 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่าน้อยกว่าการใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



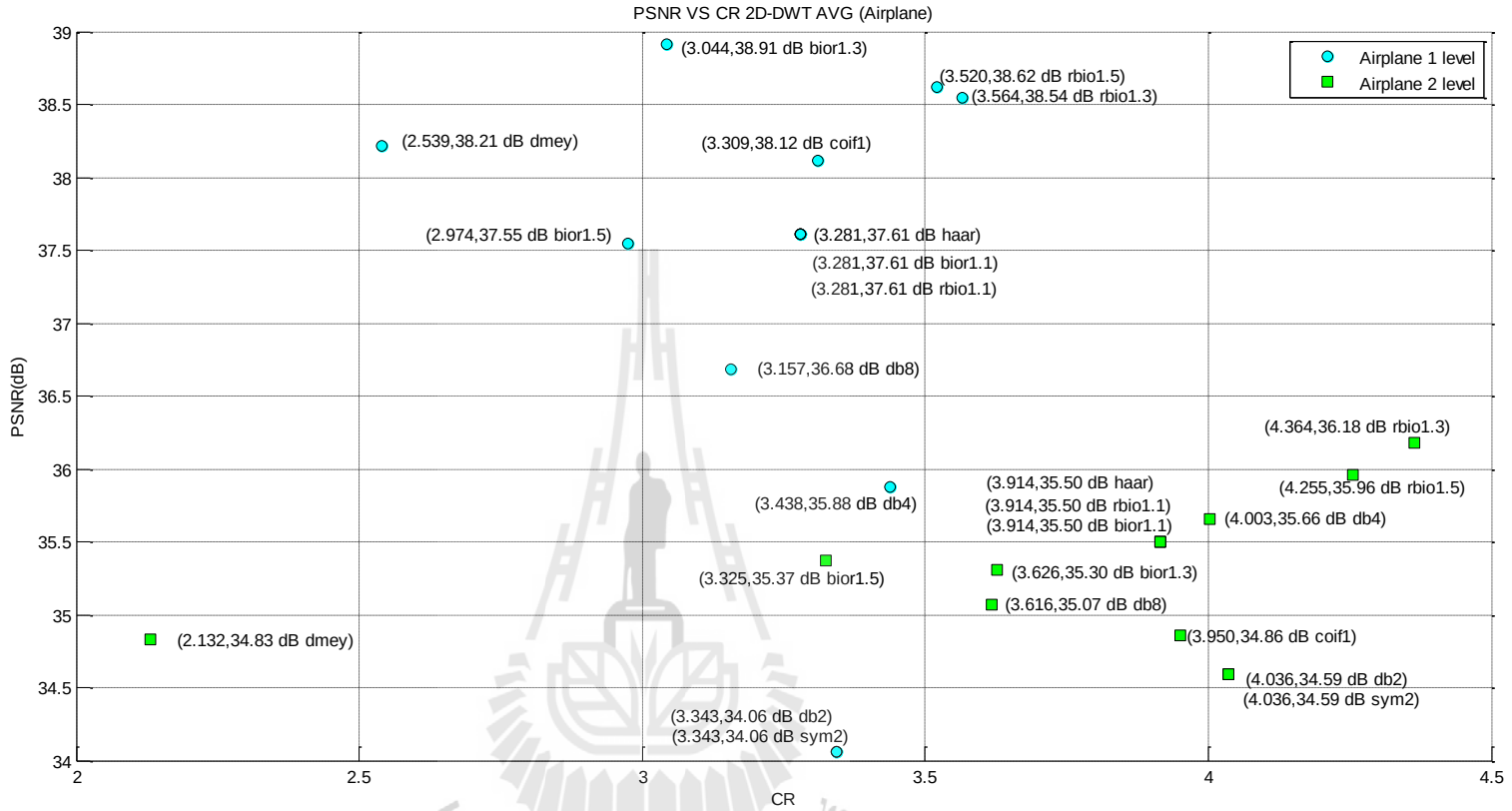
รูปที่ 3.41 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.41 จะสังเกตภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 5 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 5 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่ามากกว่าอัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 2D-DWT แบบ AVG แต่มีค่าใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



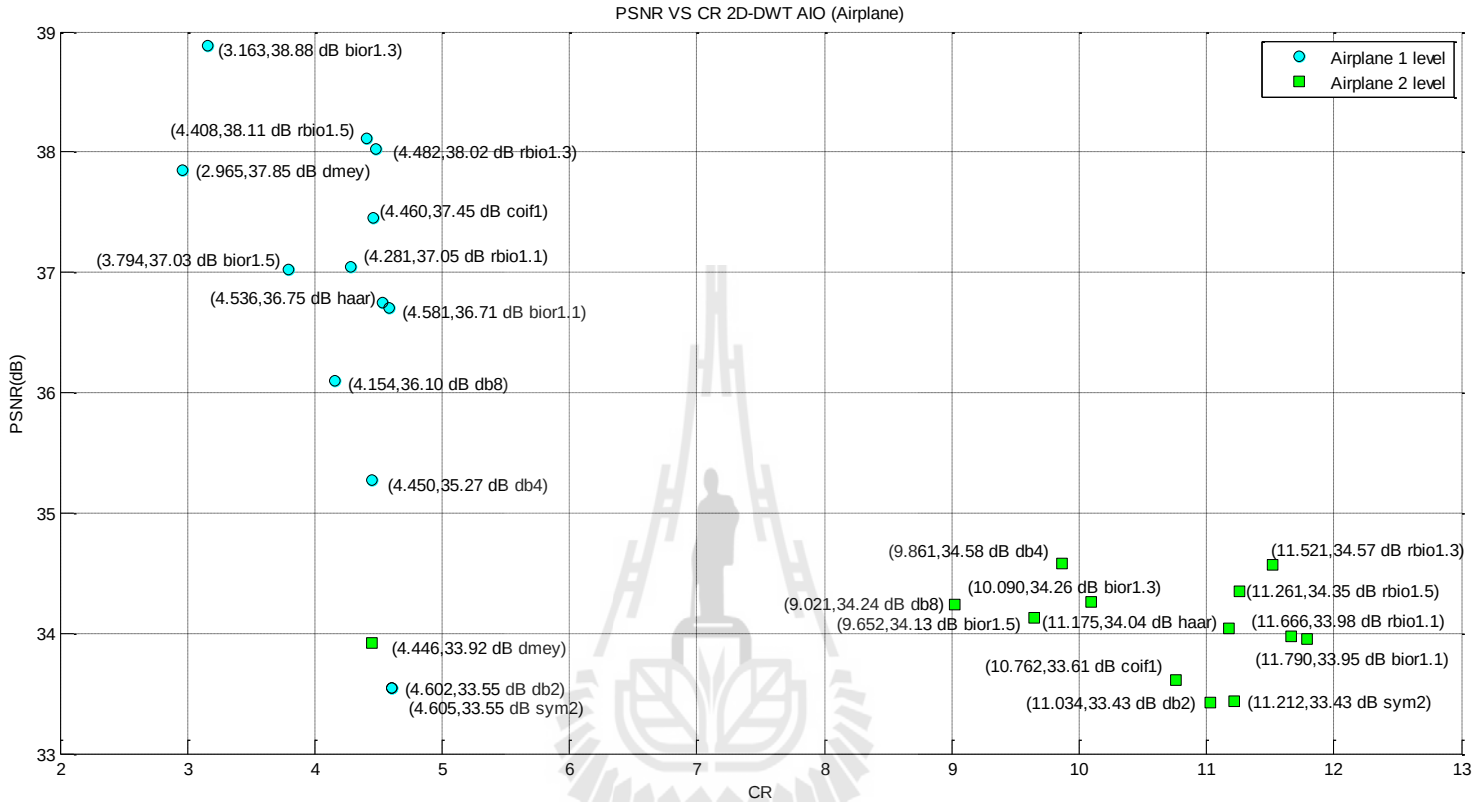
รูปที่ 3.42 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

จากรูปที่ 3.42 ภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon และภาพ Lena คือมีผลลัทพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 5 ถึง 6 เท่า)



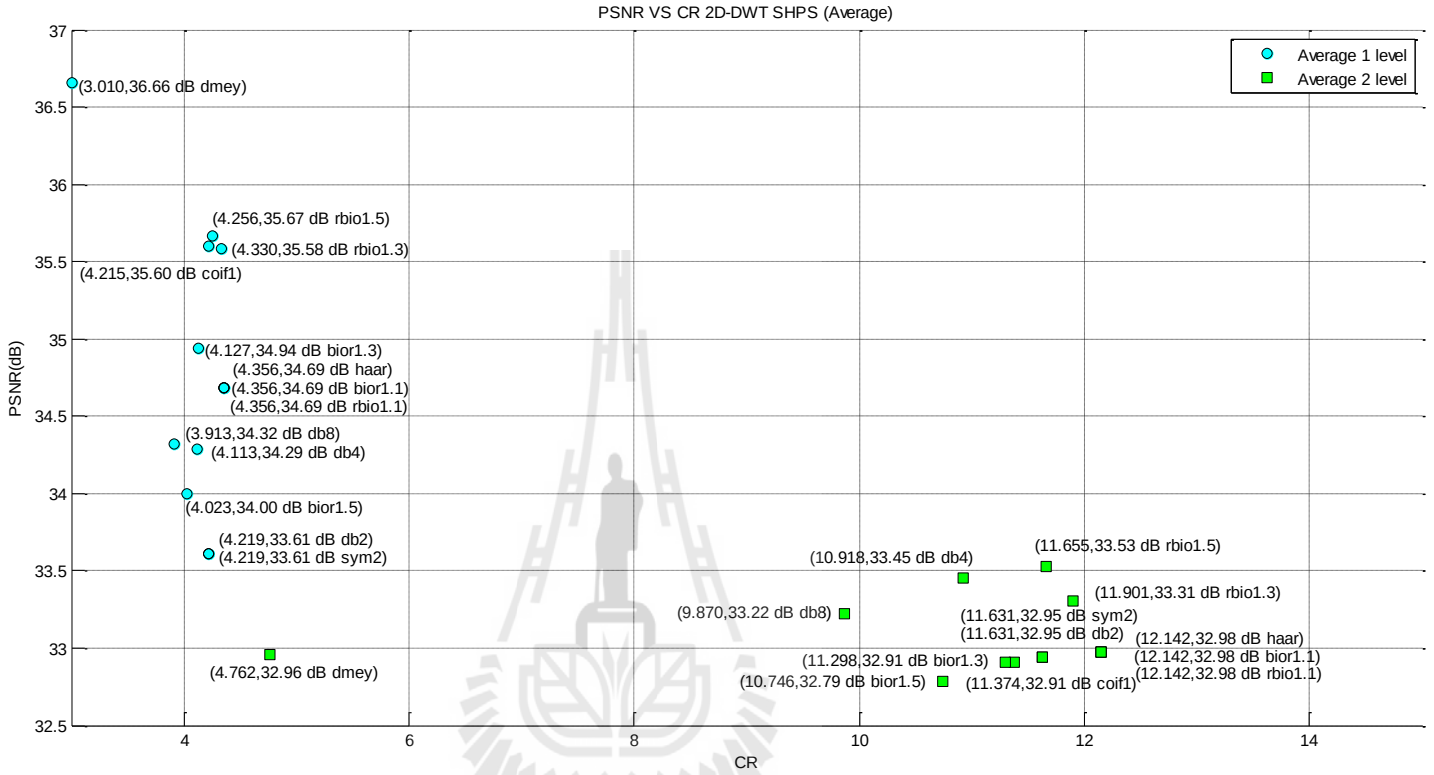
รูปที่ 3.43 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG)

จากรูปที่ 3.43 จะสังเกตภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 2 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่าน้อยกว่าการใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



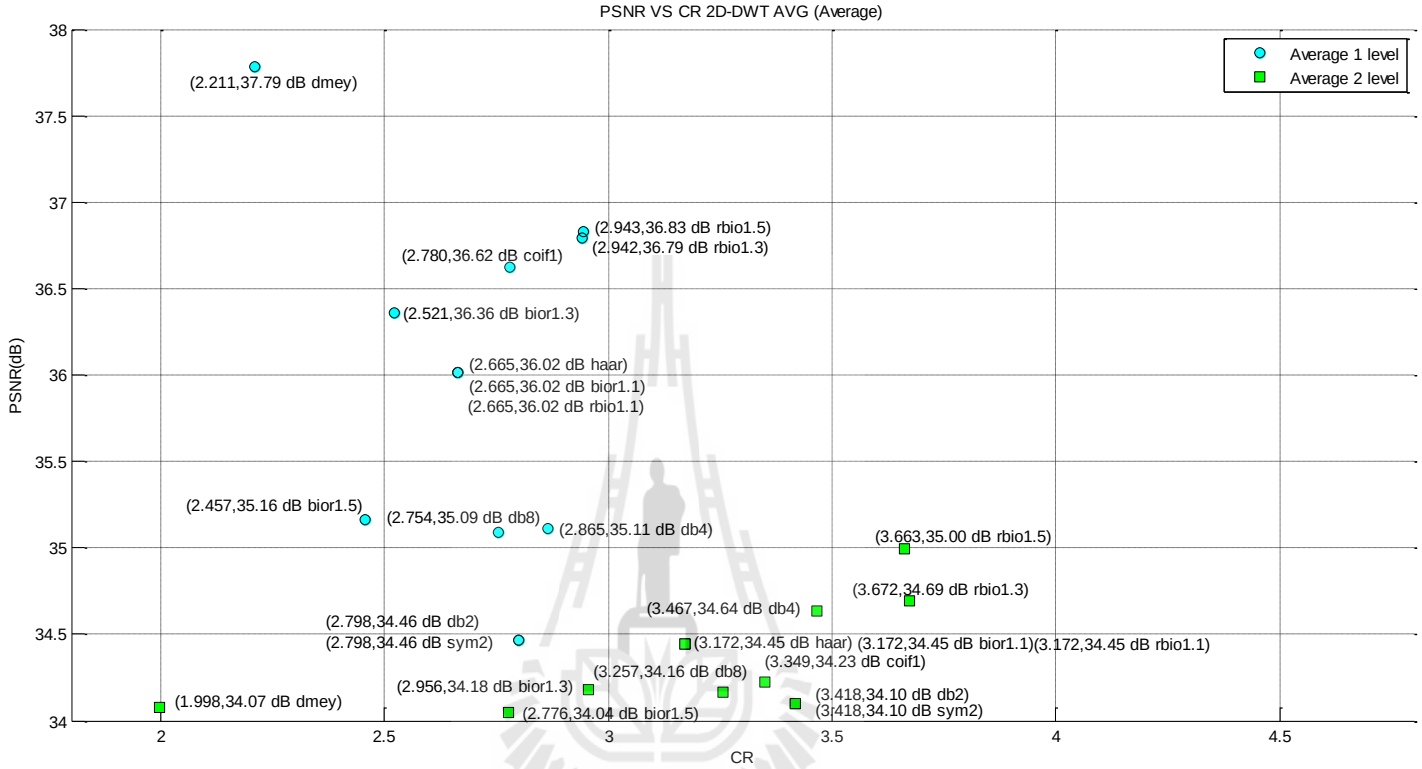
รูปที่ 3.44 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.44 จะสังเกตภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 4 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่ามากกว่าอัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 2D-DWT แบบ AVG แต่มีค่าใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



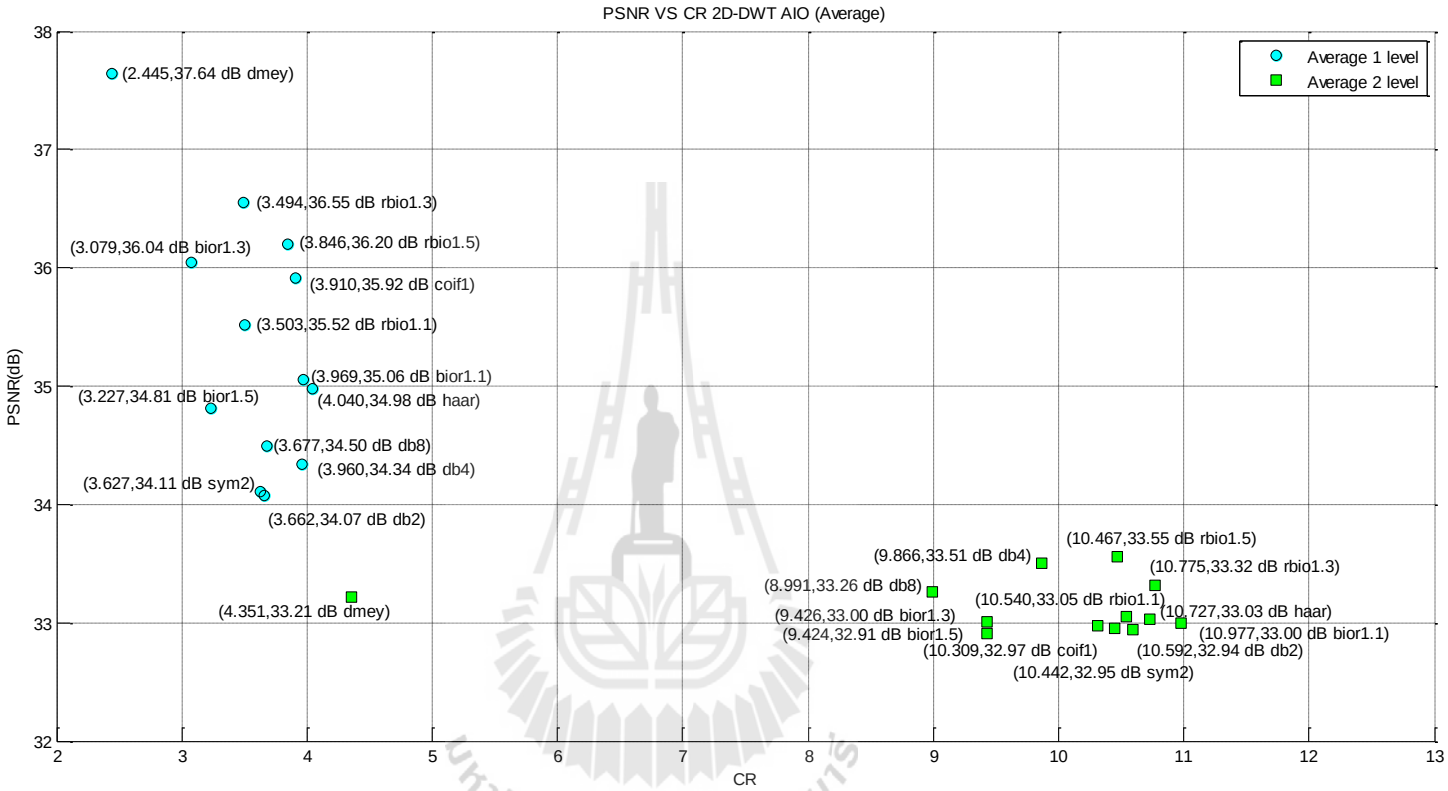
รูปที่ 3.45 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

จากรูปที่ 3.45 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ มีผลลัทพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 5 เท่า)



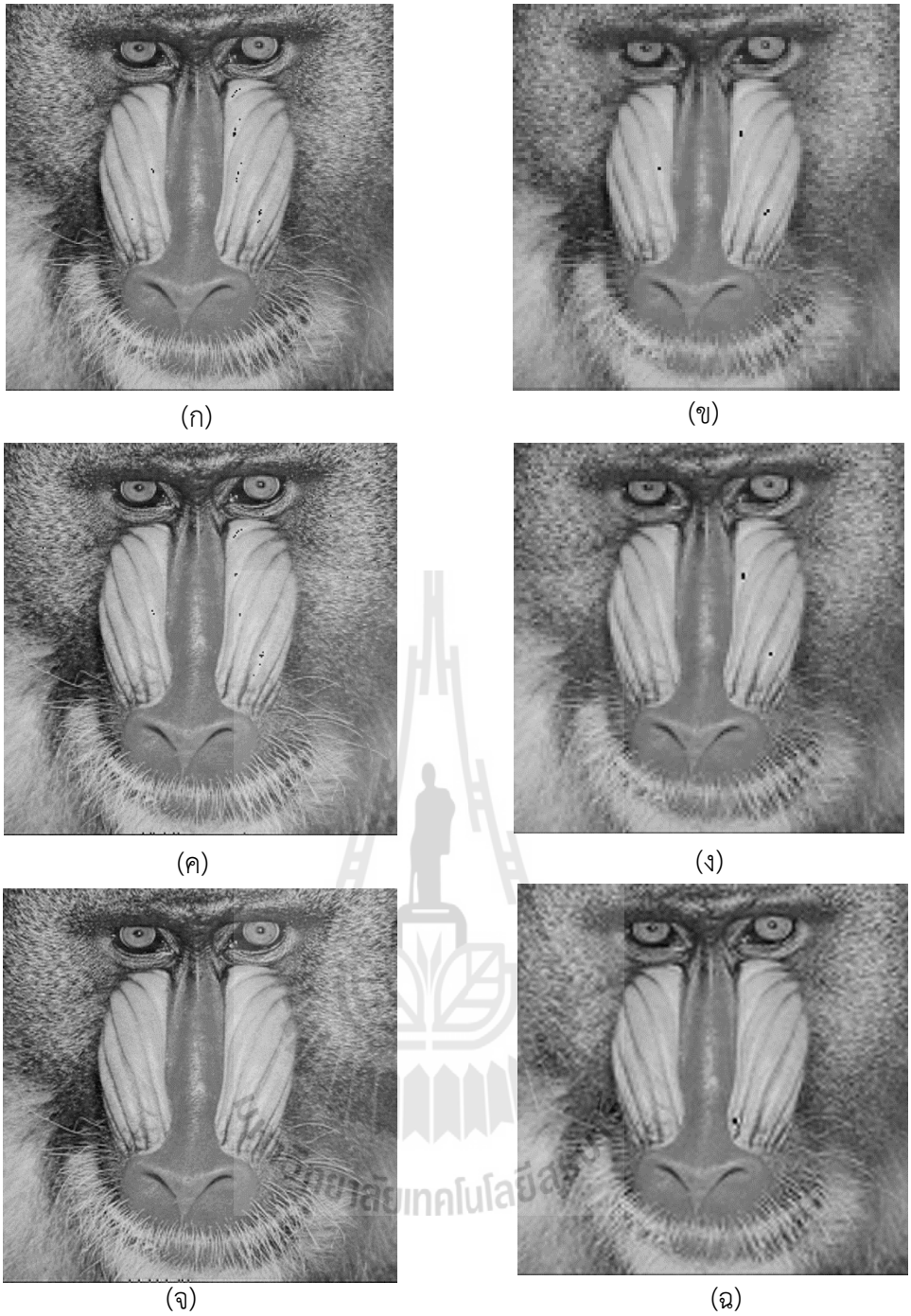
รูปที่ 3.46 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG)

จากรูปที่ 3.46 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 2 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่าน้อยกว่าการใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



รูปที่ 3.47 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.47 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 5 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน PSNR (dB) แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน CR (ประมาณ 5 เท่า) และผลลัพธ์ทั้ง CR และ PSNR (dB) มีค่ามากกว่าอัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 2D-DWT แบบ AVG แต่มีค่าใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS



(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.48 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS)

(ก) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.76 และ PSNR=31.20 dB
(ข) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=9.58 และ PSNR=30.04 dB
(ค) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.53 และ PSNR=31.36 dB
(ง) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=7.93 และ PSNR=30.03 dB
(จ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.71 และ PSNR=32.01 dB
(ฉ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=9.22 และ PSNR=30.04 dB

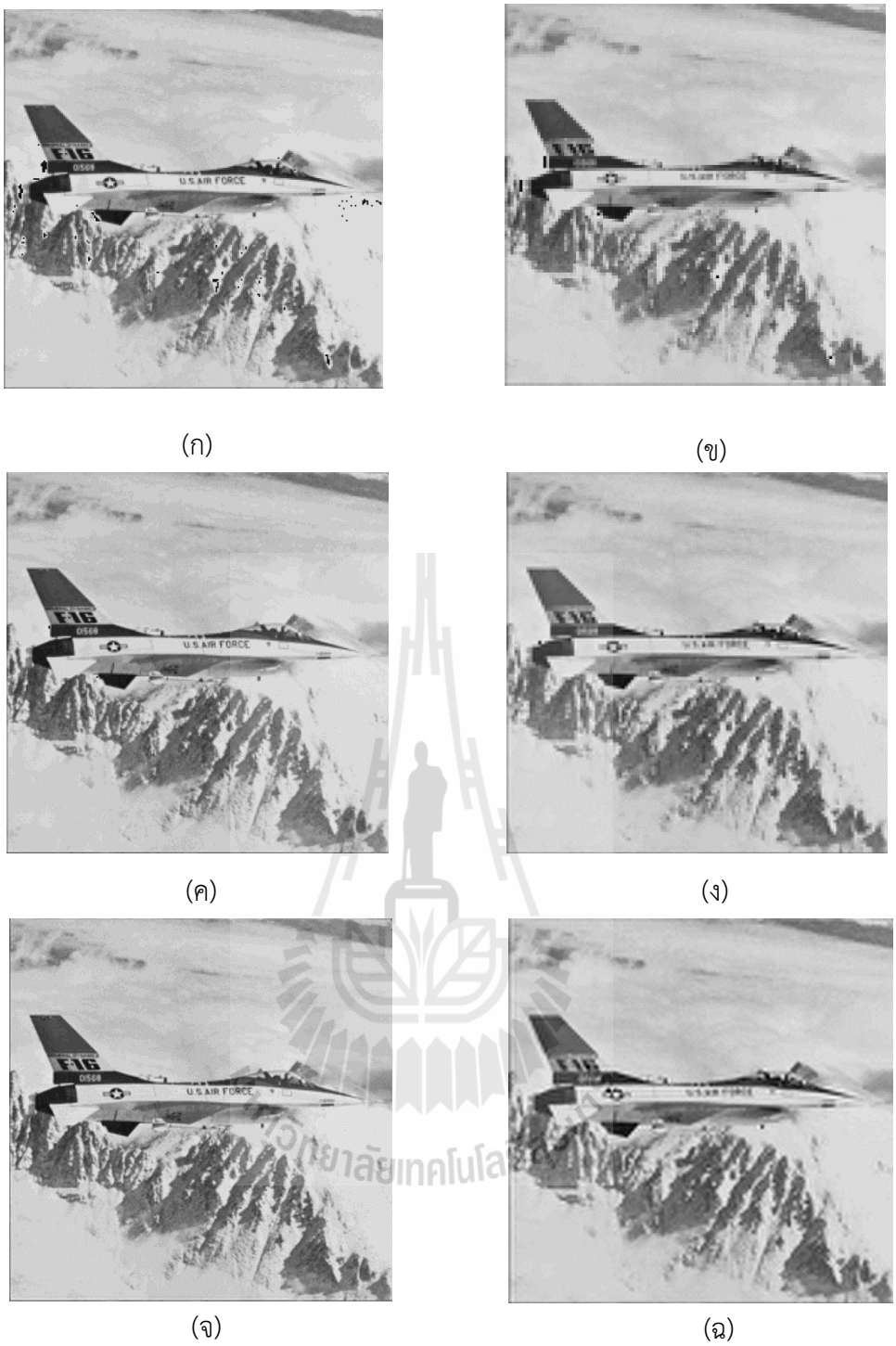
(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.49 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS)

(ก) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.32 และ PSNR=36.57 dB
(ข) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.84 และ PSNR=34.83 dB
(ค) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.21 และ PSNR=35.29 dB
(ง) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.42 และ PSNR=35.36 dB
(จ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.94 และ PSNR=35.51 dB
(ฉ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=11.66 และ PSNR=35.50 dB



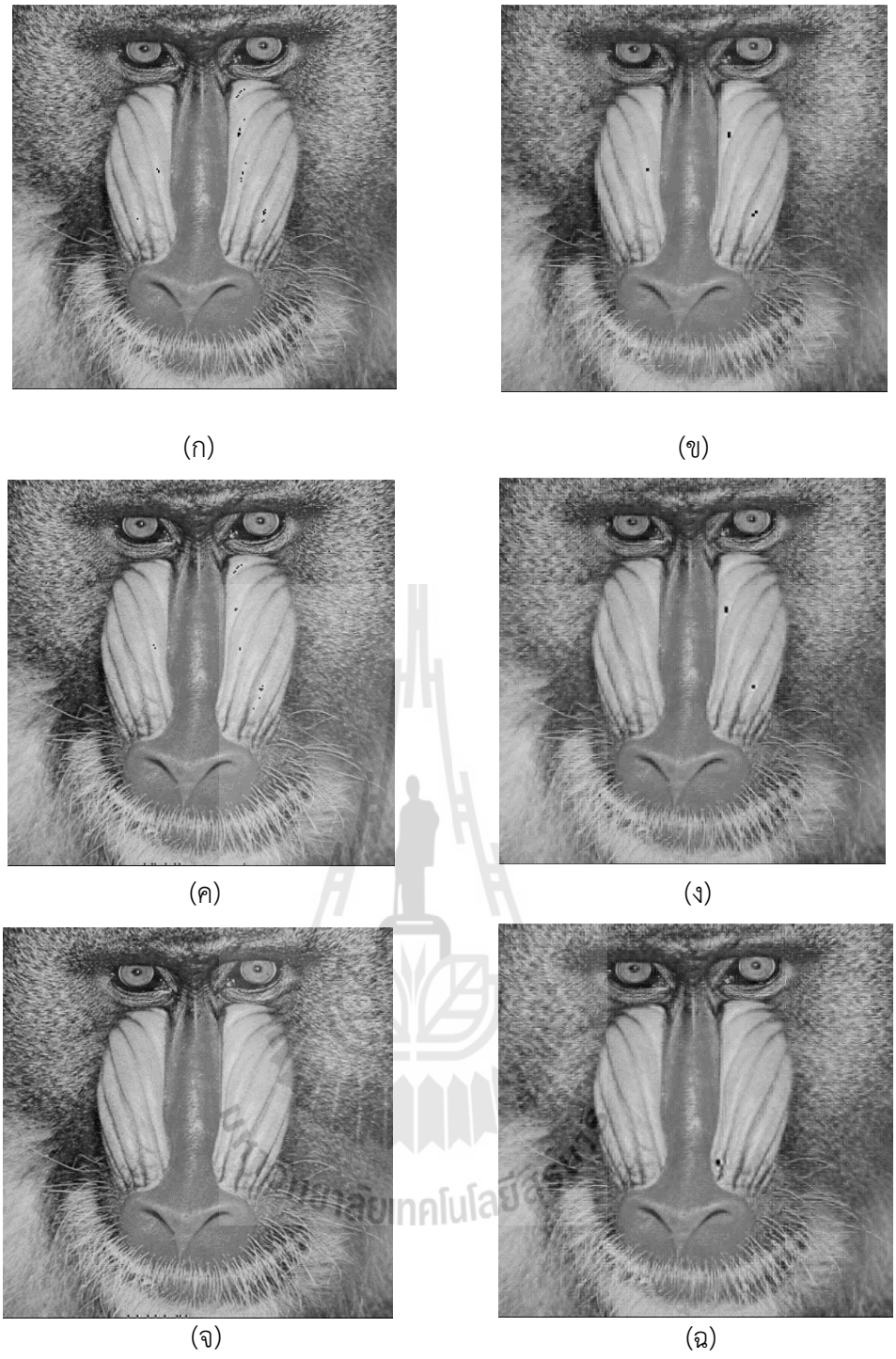
(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.50 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS)

(ก) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.98 และ PSNR=36.28 dB
(ข) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.01 และ PSNR=33.93 dB
(ค) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.74 และ PSNR=33.55 dB
(ง) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=12.26 และ PSNR=33.43 dB
(จ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.27 และ PSNR=36.09 dB
(ฉ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=10.03 และ PSNR=34.13 dB



(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.51 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG)

(ก) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.18 และ PSNR=32.71 dB
(ข) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.36 และ PSNR=31.48 dB
(ค) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.22 และ PSNR=33.49 dB
(ง) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.36 และ PSNR=30.92 dB
(จ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.18 และ PSNR=32.68 dB
(ฉ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.27 และ PSNR=30.88 dB

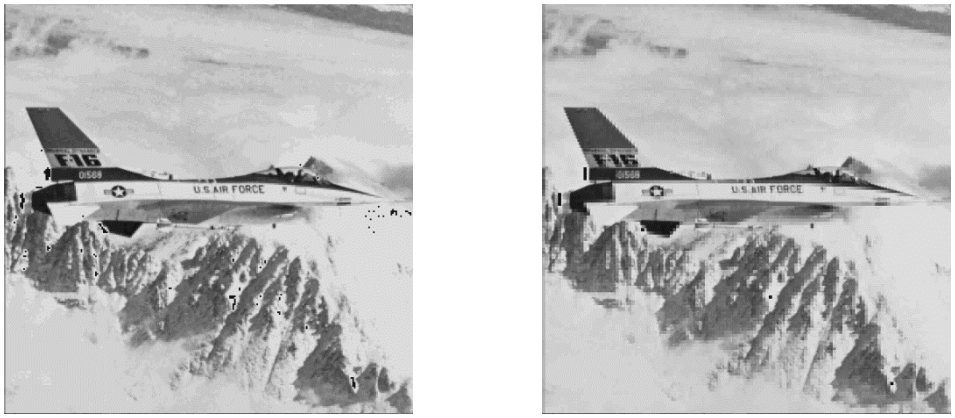
(ก) (ข)

(ค) (ง)

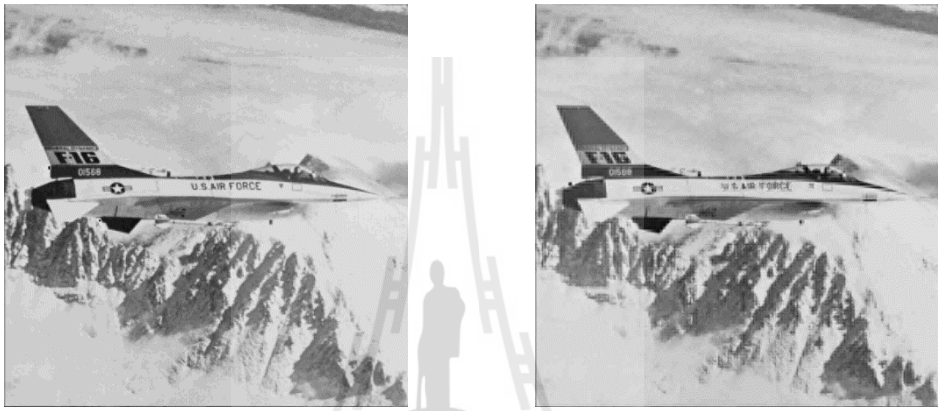
(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.52 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG)

(ก) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.53 และ PSNR=37.73 dB
(ข) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.29 และ PSNR=36.78 dB
(ค) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.83 และ PSNR=35.84 dB
(ง) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.86 และ PSNR=36.78 dB
(จ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.93 และ PSNR=35.91 dB
(ฉ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.88 และ PSNR=36.54 dB



(ก) (ข)

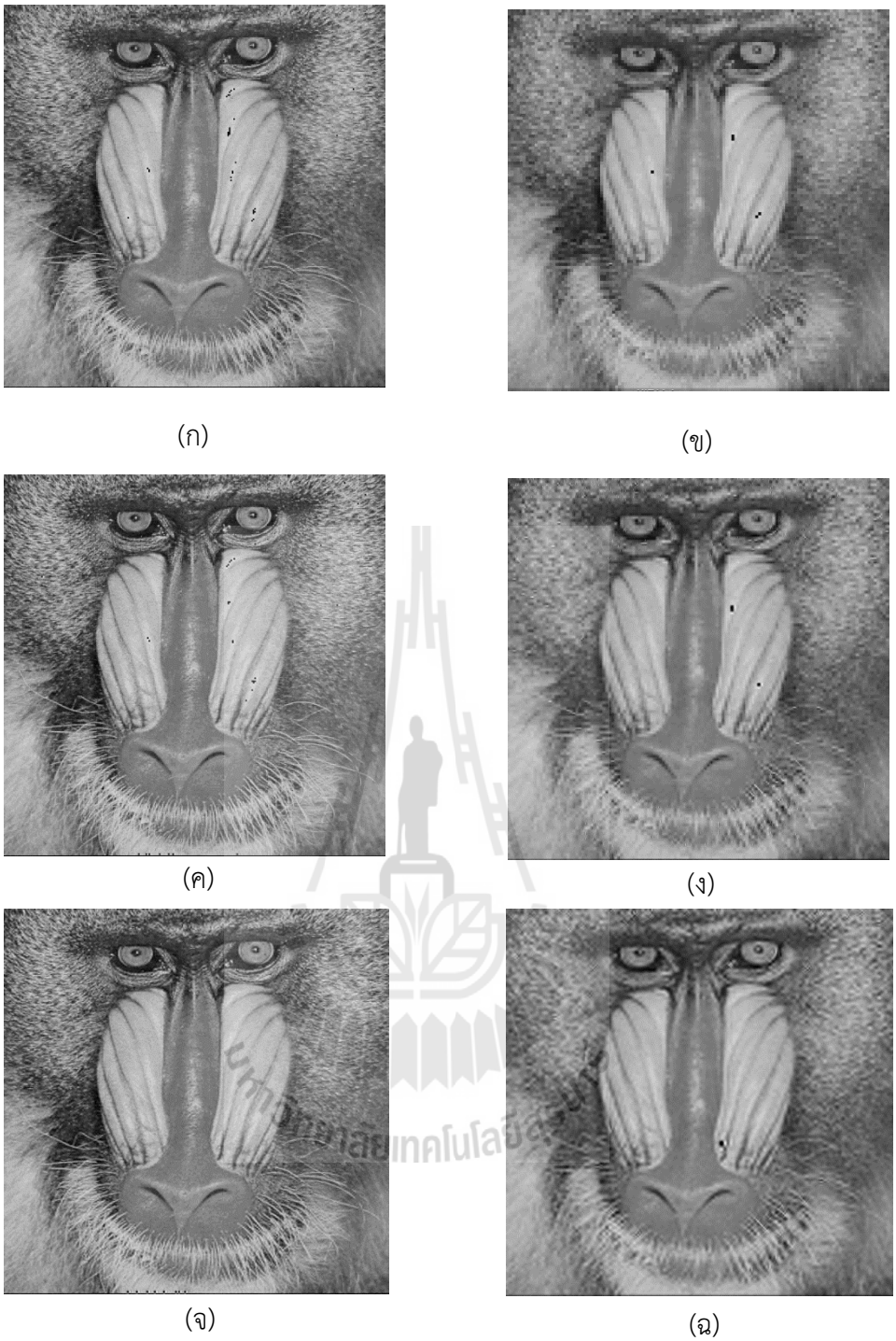


(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.53 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG)

(ก) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.28 และ PSNR=37.61 dB
(ข) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.91 และ PSNR=35.50 dB
(ค) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.34 และ PSNR=34.06 dB
(ง) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.04 และ PSNR=34.59 dB
(จ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.16 และ PSNR=36.68 dB
(ฉ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.62 และ PSNR=35.07 dB



(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.54 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO)

(ก) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.57 และ PSNR=31.40 dB
(ข) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=8.90 และ PSNR=30.18 dB
(ค) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.22 และ PSNR=33.49 dB
(ง) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=8.02 และ PSNR=30.05 dB
(จ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.14 และ PSNR=31.80 dB
(ฉ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=7.40 และ PSNR=30.04 dB

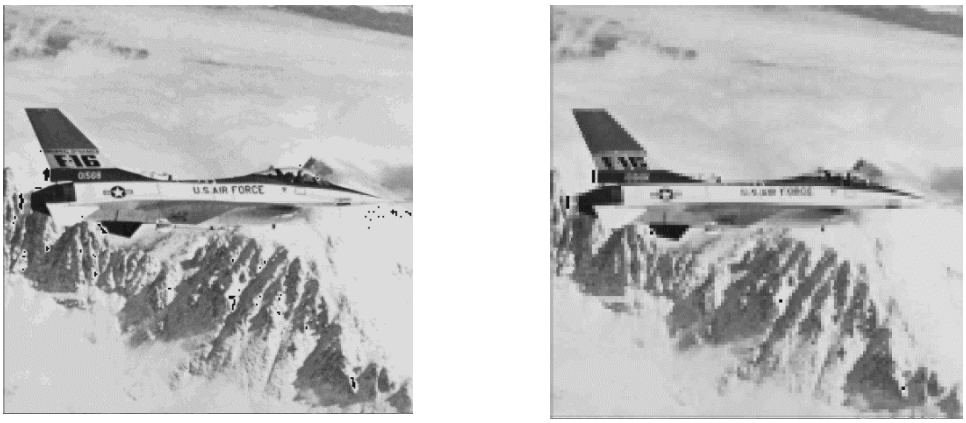
(ก) (ข)

(ค) (ง)

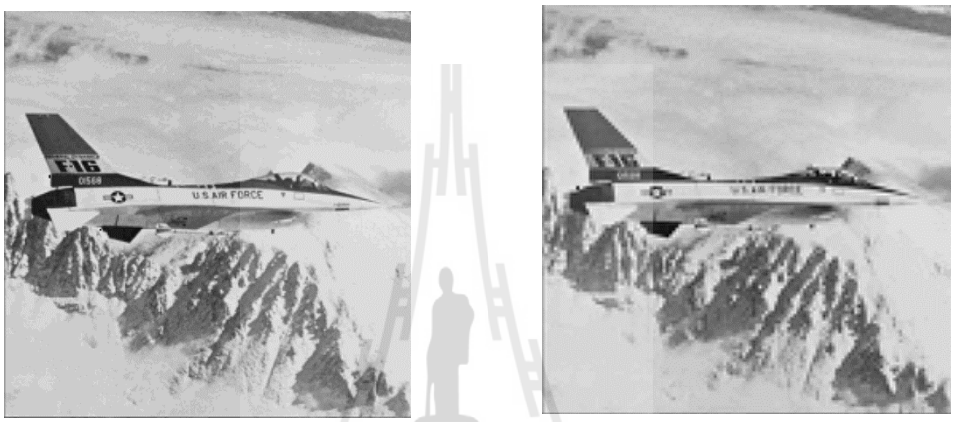
(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.55 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO)

(ก) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.02และ PSNR=36.79 dB
(ข) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=12.10 และ PSNR=34.88 dB
(ค) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.06 และ PSNR=35.28 dB
(ง) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=12.09 และ PSNR=35.37 dB
(จ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.73 และ PSNR=35.59 dB
(ฉ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=10.55 และ PSNR=35.50 dB



(ก) (ข)



(ค) (ง)

(จ) (ฉ)

รูปที่ 3.56 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO)

(ก) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.54 และ PSNR=36.75 dB
(ข) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=11.18 และ PSNR=34.04 dB
(ค) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.61 และ PSNR=33.55 dB
(ง) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=11.21 และ PSNR=33.43 dB
(จ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.15 และ PSNR=36.10 dB
(ฉ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db8 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=9.02 และ PSNR=34.24 dB

3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

จากผลการทดสอบภาพ Baboon Lena และภาพ Airplane พบว่าที่ QF ที่เท่ากันพบว่าภาพ Lena และภาพ Airplane ให้ค่า CR และ PSNR (dB) ที่ดีกว่ารูปภาพ Baboon ซึ่งหมายความว่าการบีบสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) ค่า CR และ PSNR (dB) ขึ้นอยู่กับสัญญาณภาพที่จะทำการบีบอัด ดังนั้นจึงได้นำค่า CR และ PSNR ของทั้ง 3 ภาพมาทำการหาค่าเฉลี่ยได้ผลดังตารางที่ 3.4

สำหรับการเลือก QF เพื่อทำการบีบอัดสัญญาณภาพนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยปกติทั่วไปแล้วจะใช้ QF อยู่ที่ 75 – 80% เป็นมาตราฐานปกติ แต่หากต้องการ PSNR (dB) ที่สูงขึ้นควรเลือก QF ที่สูงขึ้นแต่ไม่เกิน 90% เพราะช่วง QF 90 - 100% ค่า CR และ PSNR (dB) มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และถ้าหากต้องการ CR ที่สูงขึ้นควรเลือก QF ที่ต่ำลงแต่ไม่ควรต่ำกว่า 50% เพราะหากต่ำกว่านั้นจะทำให้ค่า PSNR (dB) ต่ำเกินไปจนภาพที่ได้หลังจากการบีบอัดข้อมูลจะเกิดความผิดเพี้ยน

3.4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของภาพทั้ง 3 ได้แก่ภาพ Baboon Lena และ Airplane โดยการวัดประสิทธิภาพนั้นใช้การหาค่าเฉลี่ยของค่า CR และ PSNR (dB) ของทั้ง 3 ภาพ ดังตารางที่ 3.20 จากการวิเคราะห์ผลของการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ที่พอรับได้ประมาณ 30dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS เนื่องจากให้ค่า CR ที่สูงที่สุดและ PSNR (dB) ที่ยอมรับได้ประมาณ 30dB

จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 1 level ดังตารางที่ 3.20 ค่า PSNR (dB) จะแตกต่างกันมากประมาณ 2 dB ถึง 3 dB โดยมีเพียงเวฟเล็ตแม่ Discrete Meyer จะให้ค่า PSNR (dB) ที่มากที่สุดแต่จะให้ค่า CR ที่ต่ำที่สุด แตกต่างจากเวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น แต่เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 2 level ดังตารางที่ 3.20 การใช้เวฟเล็ตแม่ที่แตกต่างกันจะทำให้ค่า CR และ PSNR (dB) มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และการใช้การแปลง 2D-DWT แบบ 2 level ยังส่งผลให้ CR มีค่าสูงกว่าการแปลง 2D-DWT แบบ 1 level มาก โดยที่ PSNR (dB) จะมีค่าต่ำลงเล็กน้อย เช่นเดียวกับ 2D-DWT แบบ 1 level เวฟเล็ตแม่ Dmey จะให้ค่า PSNR (dB) ที่มากที่สุดแต่จะให้ค่า CR ที่ต่ำที่สุด แตกต่างจากเวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น ดังนั้นการเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดใดก็ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในฟิลเตอร์แยกองค์ประกอบ (Decomposition filter) และฟิลเตอร์สร้างกลับ (Reconstruction filter) ที่มีจำนวณสัมประสิทธิ์น้อยที่สุด นั้นคือเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbior1.1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแม่เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด เพราะว่าจะสามารถลดการคำนวณในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ได้ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ Haar ในการแปลงดิสครีตเวฟเล็ต

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO การเลือกใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาให้ใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายต่อไป

3.4.3 วิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar

สำหรับการวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพจะใช้การนับจำนวนครั้งของการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ จากโปรแกรมที่เขียน โดยมีการพิจารณากระบวนการต่อไปนี้ การบวก การลบ การคูณ การหาร และการตัดสินใจ (การตัดสินใจนับจากการตรวจสอบเงื่อนไข if else) โดยได้ผลการนับจำนวนครั้งของการประมวลผลดังกล่าวของแต่ละอัลกอริทึมดังตารางที่ 3.21 ถึงตารางที่ 3.27

ตารางที่ 3.21 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

รูปภาพ	Transform		Quantization	Encode	
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การหาร (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การลบ (ครั้ง)
Baboon	16,777,216	33,816,576	262,144	1,028,735	262,144
Lena	16,777,216	33,816,576	262,144	1,030,516	262,144
Airplane	16,777,216	33,816,576	262,144	1,028,923	262,144

รูปภาพ	Inverse Transform		Dequantization	Decode	
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
Baboon	16,777,216	33,816,576	262,144	18,484	262,144
Lena	16,777,216	33,816,576	262,144	15,972	262,144
Airplane	16,777,216	33,816,576	262,144	18,504	262,144

ตารางที่ 3.22 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (1 level 2D-DWT SHPS)

รูปภาพ	Transform		Quantization		Encode	
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)
Baboon	1,048,570	2,097,152	276	263,190	18,082	65,535
Lena	1,048,570	2,097,152	277	263,154	40,904	65,535
Airplane	1,048,570	2,097,152	277	263,438	39,239	65,535

รูปภาพ	Inverse Transform		Dequantization		Decode
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
Baboon	1,048,570	2,097,152	255	65,536	47,451
Lena	1,048,570	2,097,152	255	65,536	24,632
Airplane	1,048,570	2,097,152	255	65,536	262,297

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.23 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (2 level 2D-DWT SHPS)

รูปภาพ	Transform		Quantization		Encode	
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)
Baboon	1,310,708	2,621,440	294	65,538	2,696	16,383
Lena	1,310,708	2,621,440	296	65,592	6,911	16,383
Airplane	1,310,708	2,621,440	297	65,518	6,313	16,383

รูปภาพ	Inverse Transform		Dequantization		Decode
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
Baboon	1,310,708	2,621,440	255	16,384	13,688
Lena	1,310,708	2,621,440	255	16,384	9,473
Airplane	1,310,708	2,621,440	255	16,384	10,071

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.24 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ

Transform		Quantization	Encode	
การบวก(ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การหาร (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การลบ(ครั้ง)
16,777,216	33,816,576	262,144	102,9391	262,144

Inverse Transform		Dequantization	Decode	
การบวก(ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
16,777,216	33,816,576	262,144	17,653	262,144

ตารางที่ 3.25 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (DWT 1 level แบบ SHPS) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ

Transform		Quantization		Encode	
การบว(ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)
1,048,570	2,097,152	277	263,261	32,742	65,535

Inverse Transform		Dequantization		Decode
การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
1,048,570	2,097,152	255	65,536	111,460

ตารางที่ 3.26 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (DWT 2 level แบบ SHPS) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ

Transform		Quantization		Encode	
การบวก(ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)
1,310,708	2,621,440	296	65,549	5,307	16,383

Inverse Transform		Dequantization		Decode
การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)
1,310,708	2,621,440	255	16,384	11,077

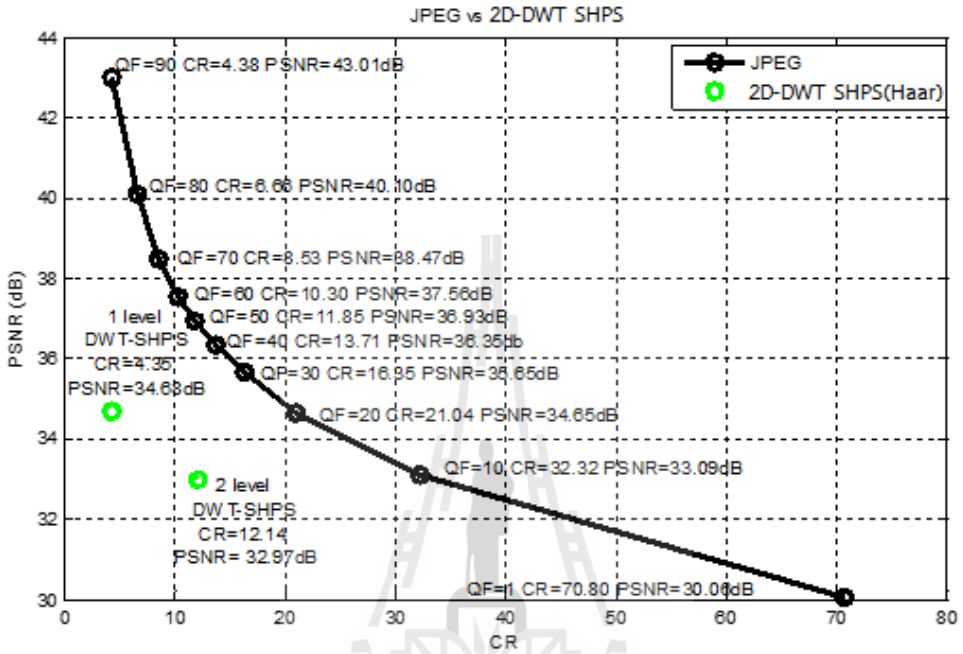
ตารางที่ 3.27 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมทั้งขบวนการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

อัลกอริทึม	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การหาร (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การลบ (ครั้ง)
JPEG	33,816,576	67,895,296	262,144	1,047,045	262,144
1 level 2D-DWT SHPS	2,241,873	4,194,304	-	394,332	-
2 level 2D-DWT SHPS	2,638,351	5,242,880	-	98,316	-

จากตารางที่ 3.26 จะพบว่าการบีบอัดสัญญาณภาพแบบดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ แบบ 2D-DWT SHPS นั้นมีการใช้การคำนวณน้อยกว่าการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG ทั้งในด้านการบวก การคูณ และการตัดสินใจ

3.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพจะใช้ค่า CR และ PSNR (dB) ที่ได้เฉลี่ยมาจากทั้ง 3 ภาพ โดยได้ผลดังรูปที่ 3.57



รูปที่ 3.57 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) และอัลกอริทึมที่ 2 (DWT-SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar

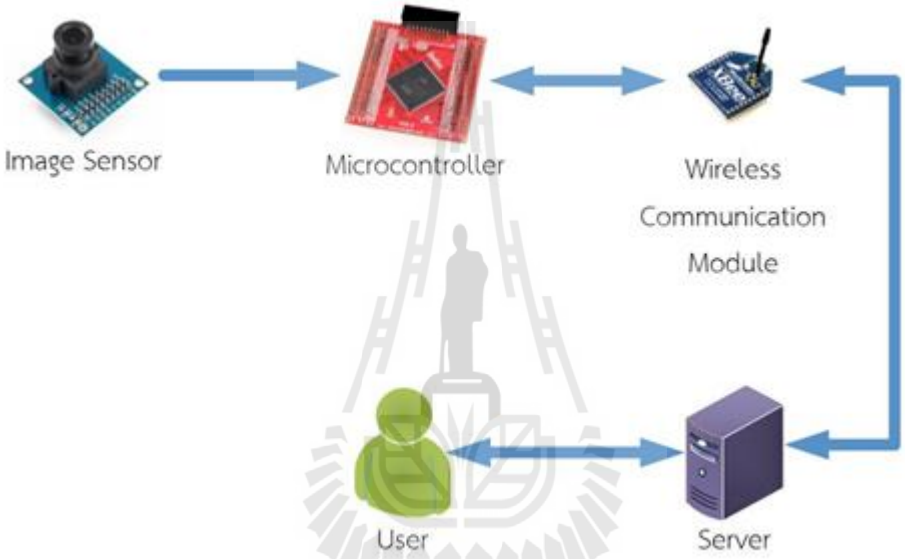
จากรูปที่ 3.57 จะเห็นว่าอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF(%) ประมาณระหว่าง 30 ถึง 60 เมื่อเทียบด้วยค่า CR แต่อัลกอริทึมที่ 2 มีค่า PSNR (dB) ต่ำกว่าอัลกอริทึมที่ 1 อยู่ 2 dB ถึง 3 dB

3.5 แนวคิดและหลักการในการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

เนื่องจากเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นมีข้อจำกัดทางด้านการประมวลผลที่ต้องใช้การประมวลผลที่มีความซับซ้อนน้อยจะเหมาะสมที่สุด จากผลลัพธ์การทดสอบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยเทียบประสิทธิภาพกับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG จะเห็นได้ว่าการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar นั้นมีการการประมวลผลที่ซับซ้อนน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อไปบนเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

3.5.1 รายละเอียดการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

สำหรับรายละเอียดของการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นจะนำเอาการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้จากตัวตรวจรู้รับภาพ เมื่อทำการบีบอัดสัญญาณภาพเสร็จแล้วจึงทำการส่งข้อมูลผ่านชุดสื่อสารไร้สายต่อไปเพื่อส่งข้อมูลไปเซิฟเวอร์ (Server) แล้วทำการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพเพื่อทำการจัดเก็บหรือส่งต่อไปที่ยูสเซอร์ (User) เพื่อดูสัญญาณภาพต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.58

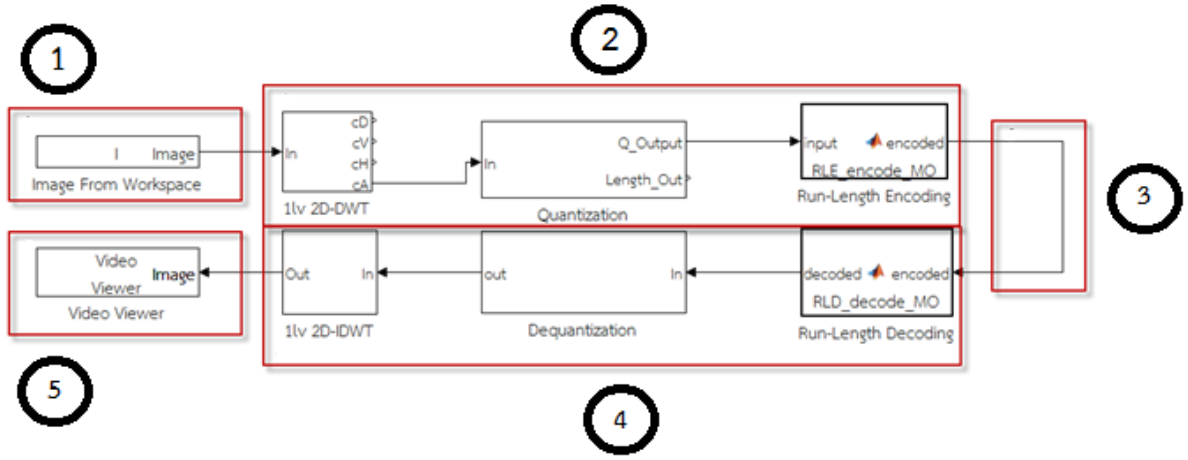


รูปที่ 3.58 การออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

3.5.2 การออกแบบจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายโดยใช้ Simulink

การจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะใช้โปรแกรม Simulink ในการจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพ โดยการใช้การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level และ 2 level

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค 2D-DWT SHPS แบบ 1 level มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วนดังรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.59 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 1 level

จากรูปที่ 3.59 อธิบายการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การรับข้อมูลสัญญาณภาพอินพุตแบบดิจิทัล

จะทำการดึงสัญญาณภาพจาก workspace เข้ามาทำงาน

ส่วนที่ 2 การบีบอัดสัญญาณภาพ

ในส่วนนี้จะนำสัญญาณภาพที่ได้จากส่วนที่ 1 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level โดยในส่วนนี้ข้อมูลจะถูกทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติในขั้นตอนแรกและจะใช้เพียงแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำ (cA) ส่งต่อไปยังขั้นตอนการจัดระดับสัญญาณข้อมูล หลังจากนั้นข้อมูลที่ผ่านการจัดระดับสัญญาณจะถูกเข้ารหัสแบบรันเรนจ์เป็นอันเสร็จสิ้นในส่วนที่ 2 นี้

ส่วนที่ 3 การส่งข้อมูล

หลังจากทำการบีบอัดข้อมูลในส่วนที่ 2 ก็ทำการจำลองการส่งข้อมูลที่ทำการบีบอัดแล้วไปยังส่วนภาครับต่อไป เพื่อที่ภาครับจะได้ดำเนินการต่อไปในส่วนที่ 4 คลายการบีบอัด

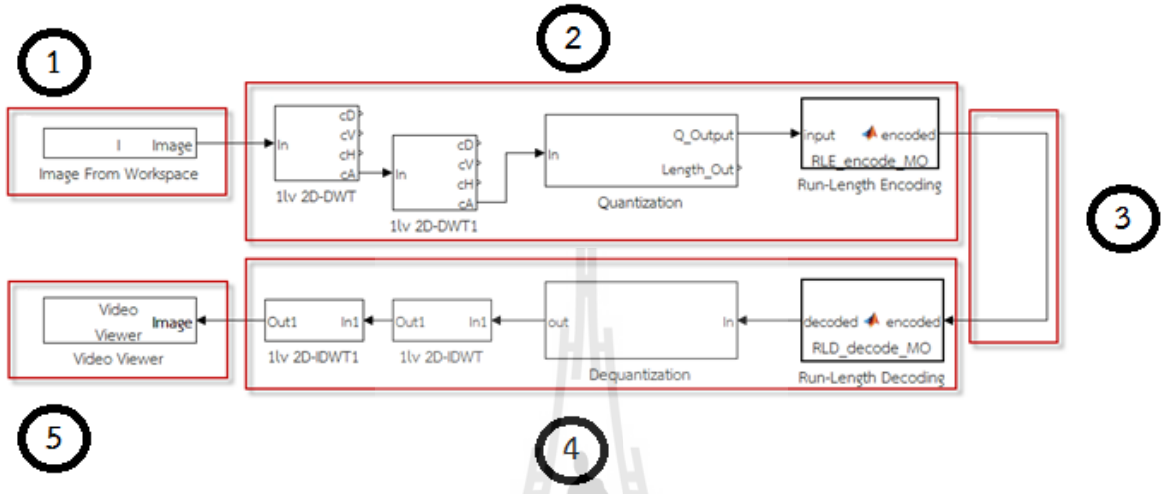
ส่วนที่ 4 การคลายการบีบอัด

ในส่วนนี้เมื่อรับข้อมูลที่ทำการส่งมาในส่วนที่ 3 ครบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่บีบอัดแล้วมาทำการคลายการบีบอัดโดยขั้นตอนแรกข้อมูลจะถูกถอดรหัสสัญญาณแบบรันเรนจ์ จากนั้นข้อมูลที่ถูกถอดรหัสแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการคลายการจัดระดับสัญญาณเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-IDWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level เพื่อสร้างสัญญาณภาพขึ้นมาเก็บข้อมูลหรือนำไปแสดงผลในส่วนที่ 5

ส่วนที่ 5 การแสดงรูปภาพหลังจากการคลายการบีบอัด

เมื่อทำการคลายการบีบอัดในส่วนที่ 4 เสร็จเรียบร้อยแล้วสัญญาณภาพที่มีอยู่ในตอนนี้สามารถนำมาแสดงผลเป็นภาพได้ในส่วนที่ 5 นี้

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค 2D-DWT SHPS แบบ 2 level มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วนดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 การบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 2 level

จากรูปที่ 3.60 อธิบายการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การรับข้อมูลสัญญาณภาพอินพุตแบบดิจิทัล

จะทำการดึงสัญญาณภาพจาก workspace เข้ามาทำงาน

ส่วนที่ 2 การบีบอัดสัญญาณภาพ

ในส่วนนี้จะนำสัญญาณภาพที่ได้จากส่วนที่ 1 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 2 level โดยในส่วนนี้ข้อมูลจะถูกทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติแบบ 2 level ในขั้นตอนแรกและจะใช้เพียงแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำใน level ที่ 2 (LL2) ส่งต่อไปยังขั้นตอนการจัดระดับสัญญาณข้อมูล หลังจากนั้นข้อมูลที่ผ่านการจัดระดับสัญญาณจะถูกเข้ารหัสแบบรันเรนจ์เป็นอันเสร็จสิ้นในส่วนที่ 2 นี้

ส่วนที่ 3 การส่งข้อมูล

หลังจากทำการบีบอัดข้อมูลในส่วนที่ 2 ก็ทำการจำลองการส่งข้อมูลที่ทำการบีบอัดแล้วไปยังส่วนภาครับต่อไป เพื่อที่ภาครับจะได้ดำเนินการต่อไปในส่วนที่ 4 คลายการบีบอัด

ส่วนที่ 4 การคลายการบีบอัด

ในส่วนนี้เมื่อรับข้อมูลที่ทำการส่งมาในส่วนที่ 3 ครบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่บีบอัดแล้วมาทำการคลายการบีบอัดโดยขั้นตอนแรกข้อมูลจะถูกถอดรหัสสัญญาณแบบรันเรนจ์ จากนั้นข้อมูลที่ถูกถอดรหัสแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการคลายการจัดระดับสัญญาณเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-IDWT SHPS)

โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 2 level เพื่อสร้างสัญญาณภาพขึ้นมาเก็บข้อมูลหรือนำไปแสดงผลในส่วนที่ 5

ส่วนที่ 5 การแสดงรูปภาพหลังจากการคลายการบีบอัด

เมื่อทำการคลายการบีบอัดในส่วนที่ 4 เสร็จเรียบร้อยแล้วสัญญาณภาพที่มีอยู่ในตอนนี้สามารถนำมาแสดงผลเป็นภาพได้ในส่วนที่ 5 นี้

3.5.3 ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane

ตารางที่ 3.28 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane

เวฟเล็ตแม่	Baboon			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	2.44	29.87	8.61	28.91
Db2	2.43	29.90	8.59	29.02

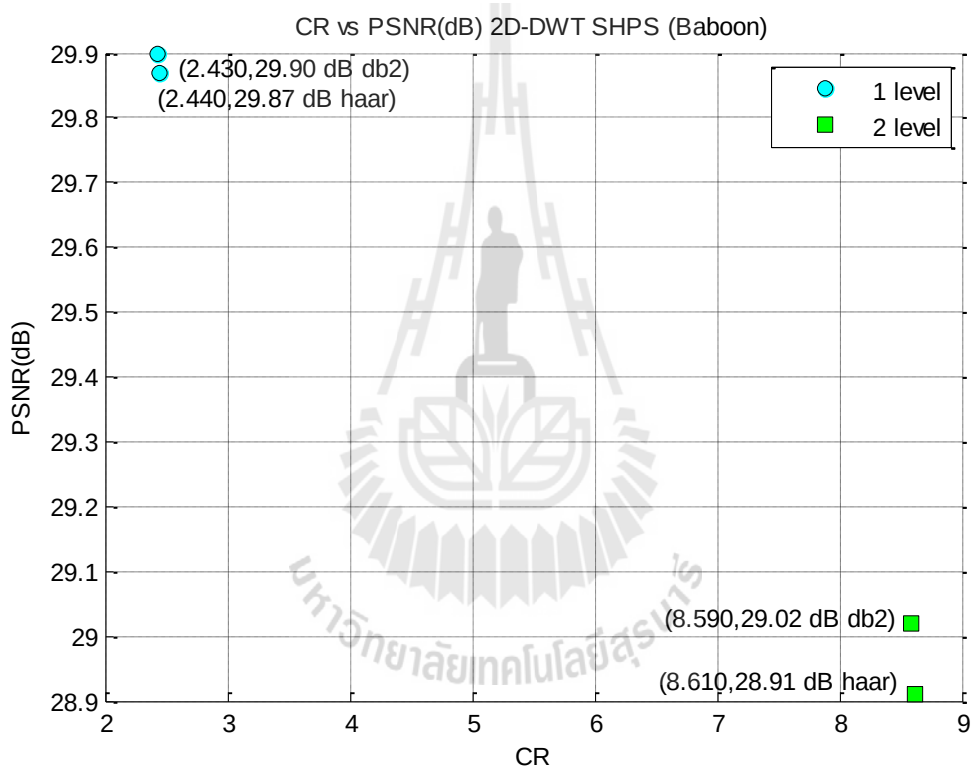
เวฟเล็ตแม่	Lena			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.99	33.48	10.32	30.08
Db2	3.92	33.52	10.16	30.33

เวฟเล็ตแม่	Airplane			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.92	33.73	10.16	31.23
Db2	3.85	33.88	10.08	31.56

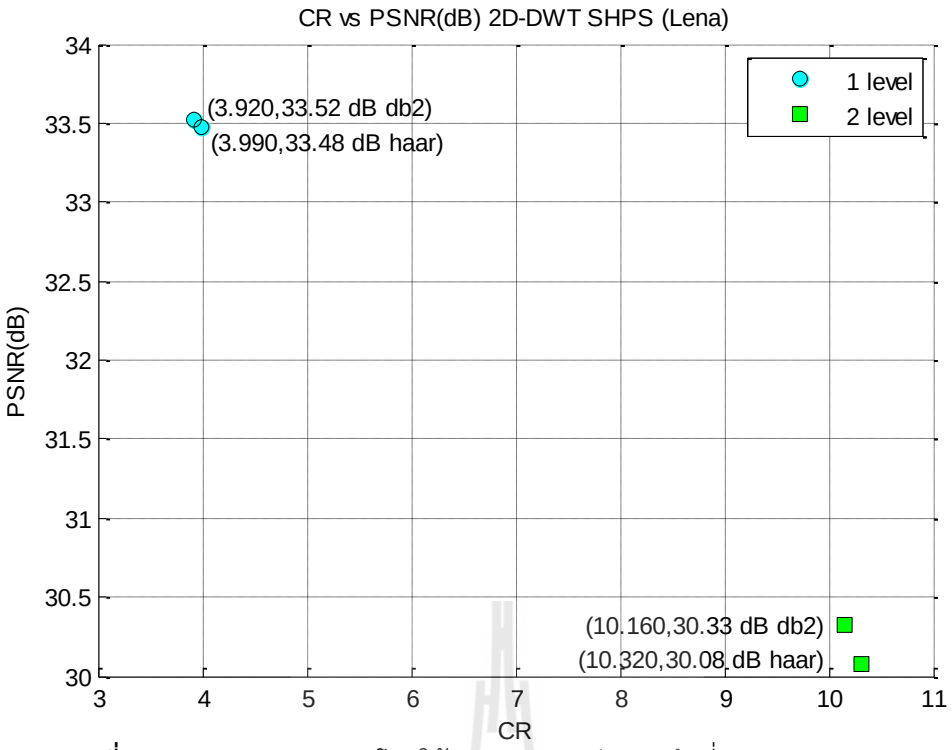
จากตารางที่ 3.28 จะเห็นได้ว่าค่า CR และ PSNR (dB) ของภาพ Baboon มีค่าต่ำสุดซึ่งภาพ Lena และภาพ Airplane มีค่าที่ใกล้เคียงกันและมากกว่าภาพ Baboon ในการนำ CR และ PSNR (dB) ไปเปรียบเทียบจึงต้องทำการหาค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 ภาพ ดังตารางที่ 3.29

ตารางที่ 3.29 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ

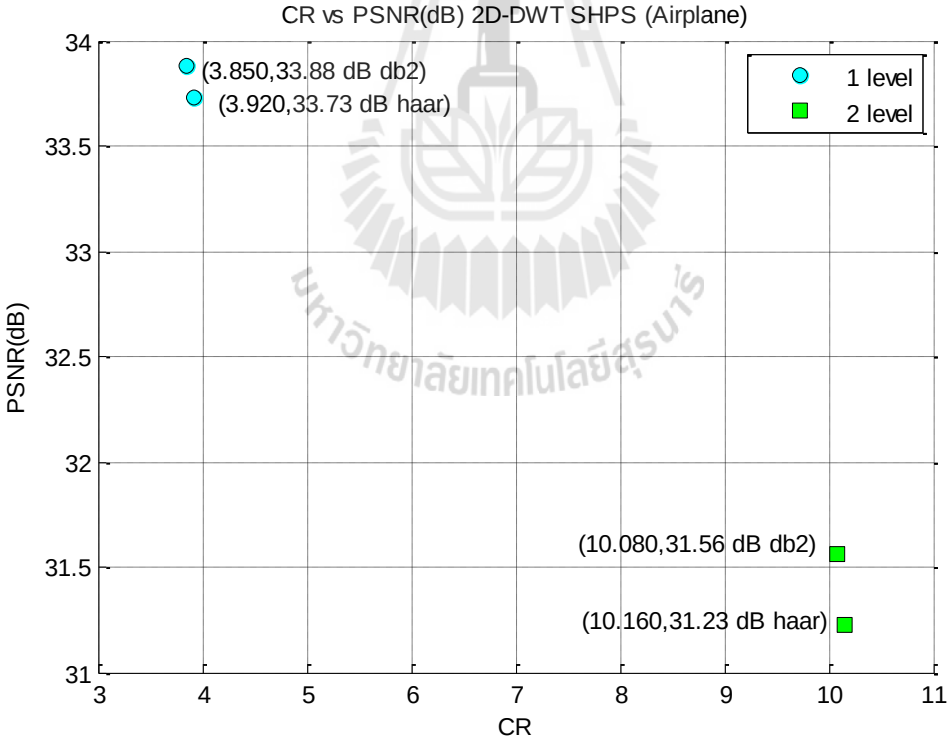
เวฟเล็ตแม่	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	**3.45**	**32.36**	**9.70**	**30.07**
Db2	**3.40**	**32.43**	**9.61**	**30.30**



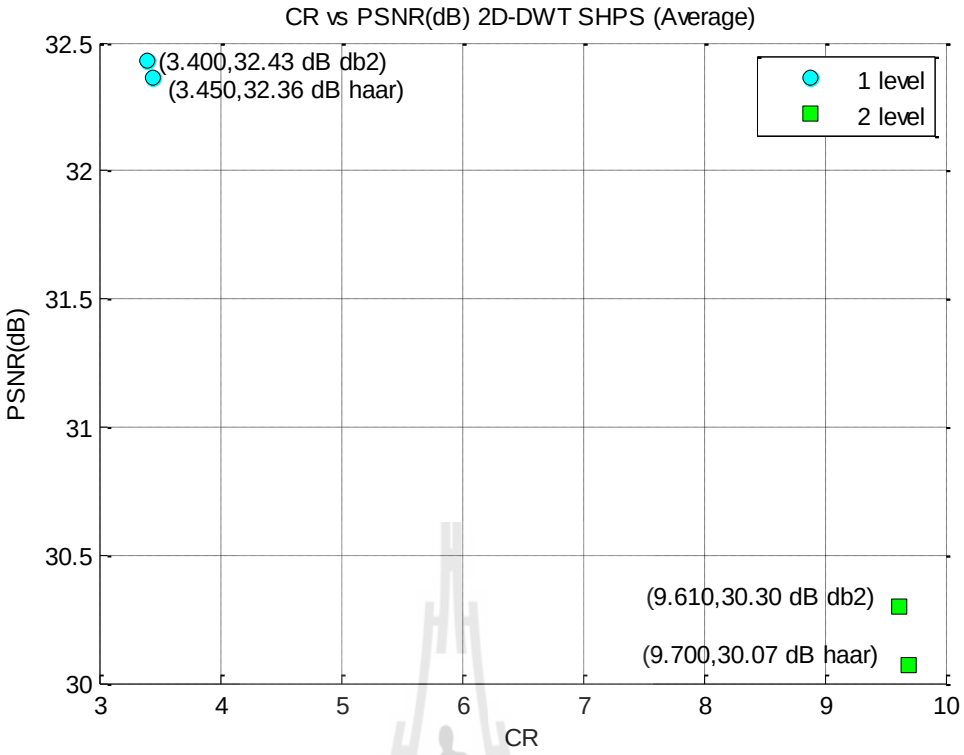
รูปที่ 3.61 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon



รูปที่ 3.62 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Lena

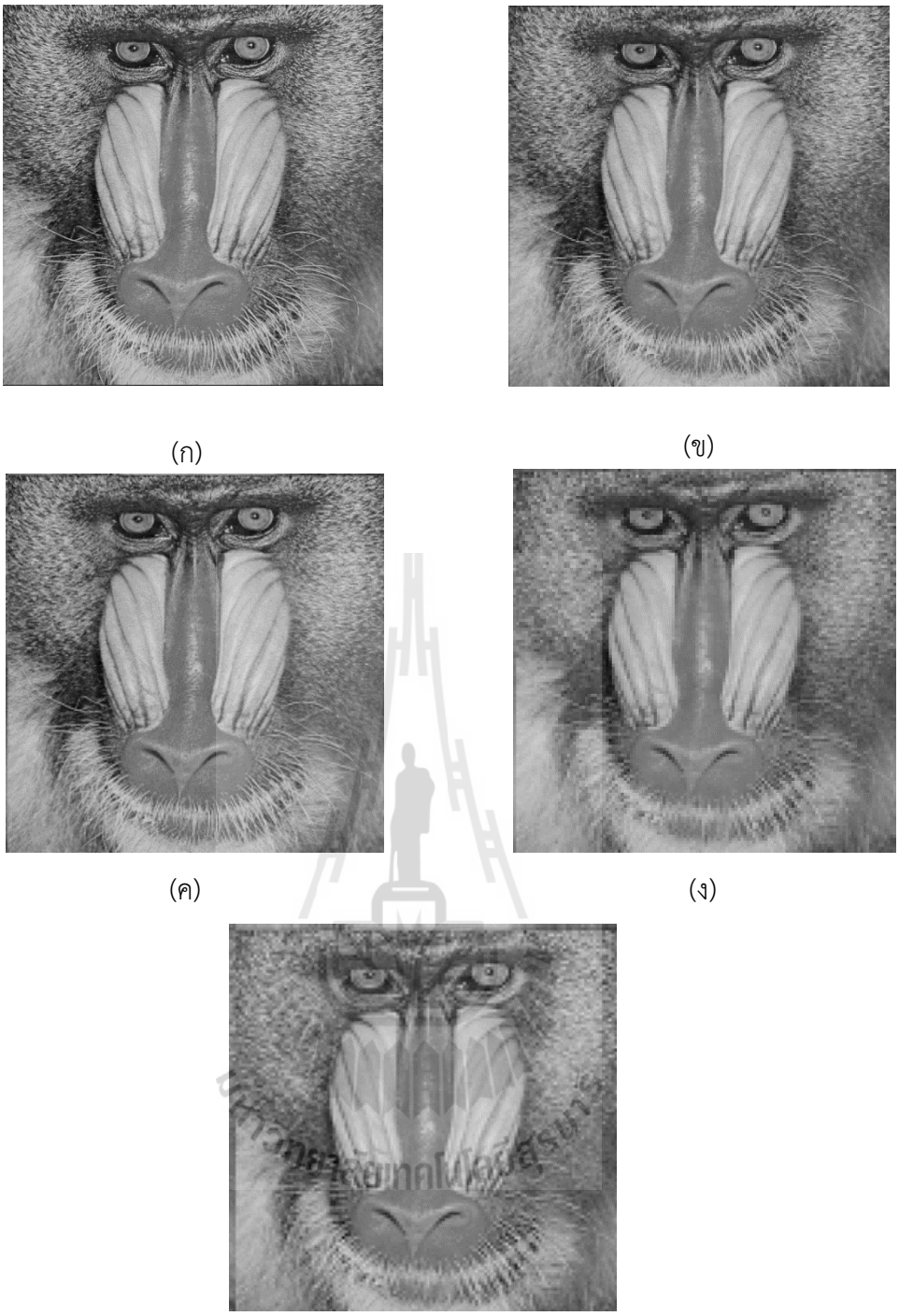


รูปที่ 3.63 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Airplane



รูปที่ 3.64 ค่าเฉลี่ยการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) (ข)

(ค) (ง)

(จ)

รูปที่ 3.65 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Baboon
(ก) ภาพ Baboon ต้นฉบับ
(ข) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=2.44 และ PSNR=29.87dB
(ค) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=2.43 และ PSNR=29.90dB
(ง) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=8.61 และ PSNR=28.91dB
(จ) ภาพ Baboon ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=8.59 และ PSNR=29.02dB

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 3.66 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Lena
(ก) ภาพ Lena ต้นฉบับ
(ข) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.99 และ PSNR=33.48dB
(ค) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.92 และ PSNR=33.52dB
(ง) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.32 และ PSNR=30.08dB
(จ) ภาพ Lena ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.16 และ PSNR=30.33dB

(ก)

(ข)

(ค)

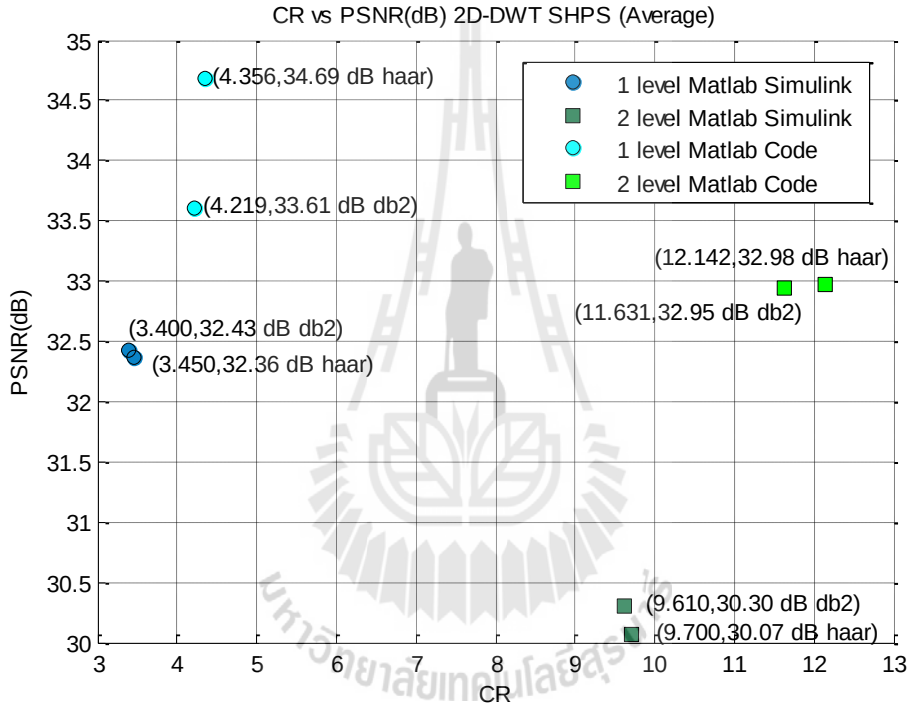
(ง)

(จ)

รูปที่ 3.67 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Airplane
(ก) ภาพ Airplane ต้นฉบับ
(ข) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.92 และ PSNR=33.73dB
(ค) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.85 และ PSNR=33.88dB
(ง) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.16 และ SNR=31.23dB
(จ) ภาพ Airplane ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.08 และ PSNR=31.56dB

3.5.4 วิเคราะห์ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane

จากผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon, Lena และ Airplane โดยใช้ Simulink ค่า CR และค่า PSNR (dB) มีค่าต่ำกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผลด้วย Matlab Code ที่ใช้คำสั่งรายบรรทัดเพราะใน Simulink ผู้วิจัยได้ใช้บล๊อคการเปลี่ยนชนิดสัญญาณ (Data type conversion) จากชนิด Doble ไปเป็น Uint8 ซึ่งในการจำลองผลด้วย Matlab Code จะใช้วิธีสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณ (Quantization table) จึงทำให้ผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ของ Simulink และ Matlab Code แตกต่างกันดังรูปที่ 3.68 แต่ก็ยังให้ค่า CR และ PSNR ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF ประมาณระหว่าง 30 - 60%



รูปที่ 3.68 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink และ Matlab code อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS

3.5.5 ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava)

ในหัวข้อนี้จะทำการจำลองระบบโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 โดยใช้ภาพมันสำปะหลัง 1 (Cassava1) และภาพมันสำปะหลัง 2 (Cassava2) ที่มีขนาดภาพเท่ากับ 640 X 480 โดยได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3.29

ตารางที่ 3.30 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2

เวฟเล็ตแม่	Cassava 1			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.45	29.93	11.45	29.35
Db2	3.39	30.88	11.24	29.95

เวฟเล็ตแม่	Cassava 2			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	4.13	30.85	13.51	30.28
Db2	4.04	31.77	13.29	30.88

ตารางที่ 3.31 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2

เวฟเล็ตแม่	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	**3.79**	**30.39**	**12.48**	**29.82**
Db2	**3.72**	**31.33**	**12.27**	**30.42**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 3.69 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 1

(ก) ภาพ Casava 1 ต้นฉบับ
(ข) ภาพ Casava 1 ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.45 และ PSNR=29.93dB
(ค) ภาพ Casava 1 ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.39 และ PSNR=30.88dB
(ง) ภาพ Casava 1 ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=11.45 และ SNR=29.35dB
(จ) ภาพ Casava 1 ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=11.24 และ PSNR=29.95dB

(ก) (ข)

(ค) (ง)

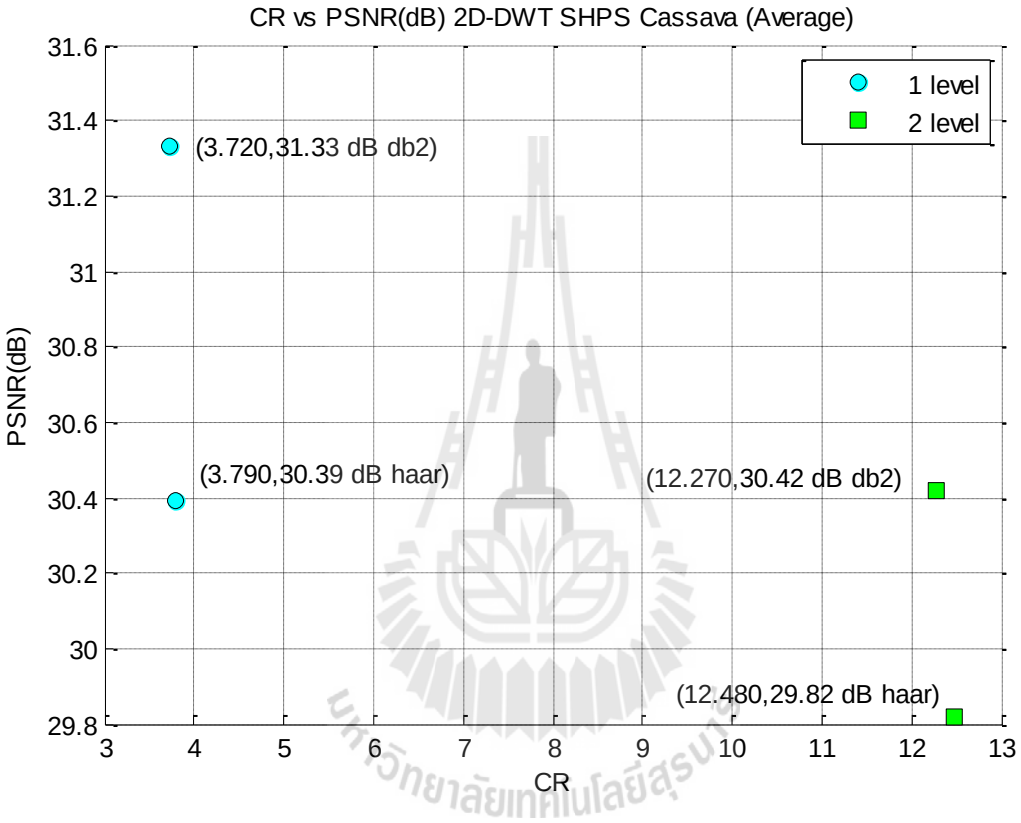
(จ)

รูปที่ 3.70 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 2

(ก) ภาพ Casava 2 ต้นฉบับ
(ข) ภาพ Casava 2 ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=4.13 และ PSNR=30.85dB
(ค) ภาพ Casava 2 ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=4.04 และ PSNR=31.77dB
(ง) ภาพ Casava 2 ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=13.51 และ SNR=30.28dB
(จ) ภาพ Casava 2 ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=13.29 และ PSNR=30.88dB

3.5.6 วิเคราะห์ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava)

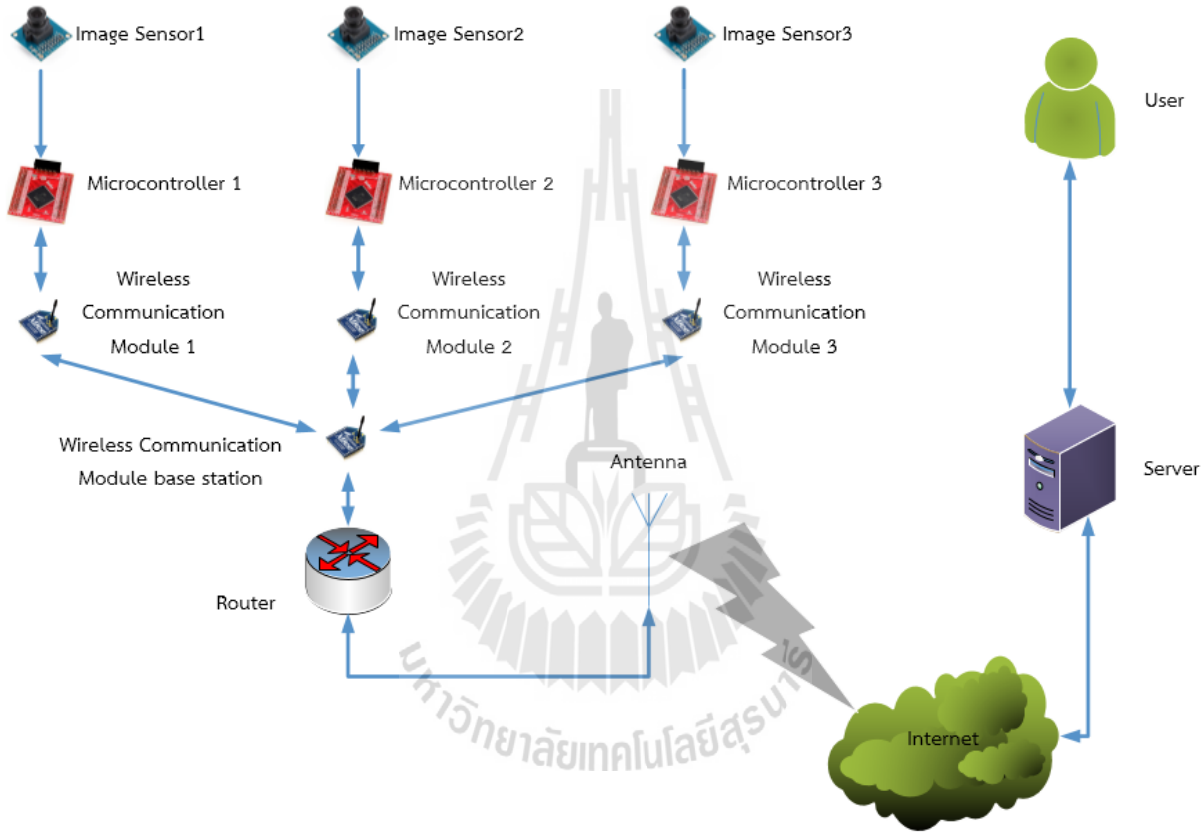
จากผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของภาพ Cassava1 และ Cassava2 ผลลัพธ์ค่า CR และค่า PSNR (dB) มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย CR และค่า PSNR (dB) ของภาพ Baboon Lena และ Airplane ดังรูปที่ 3.71 และยังคงให้ค่า CR และ PSNR ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF ประมาณระหว่าง 30 – 60%



รูปที่ 3.71 ค่าเฉลี่ยการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้ภาพภาพ Cassava1 และ Cassava2

3.6 ขอบเขตการใช้งานและแนวทางการขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพ

สำหรับขอบเขตการใช้งานในการวิจัยนี้ได้ออกแบบมาโดยใช้ตัวตรวจรู้ภาพ 1 ตัวต่อกับไมโครคอลโทรลเลอร์ 1 ตัวและอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย 1 ตัว ซึ่งหมายความว่ารูปถ่ายที่ได้จะมีเพียงภาพจากมุมมองเดียวจากตัวตรวจรู้ภาพ 1 ตัว ดังนั้นสามารถขยายขอบเขตการใช้งานได้โดยใช้การติดตั้งชุดตัวตรวจรู้ภาพก ไมโครคอลโทรลเลอร์และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้นมาในมุมมองภาพที่ต้องการใช้หลายๆ โหนด จากนั้นแต่ละโหนดก็จะทำการบีบอัดสัญญาณภาพก่อนส่งผ่านการสื่อสารไร้สายเข้าสู่ที่เก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อให้ผู้ใช้ดังรูปที่ 3.72



รูปที่ 3.72 การขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพ

3.7 สรุป

ในบทที่ 3 นี้ได้นำเสนอการดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานอัลกอริทึมทั้งหมด 4 อัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองการทำงานและเก็บผลลัพธ์การทำงาน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสรุปว่าอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ซึ่งการใช้เวฟเล็ตแม่ Haar เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมากที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และมีขั้นตอนการประมวลผลที่ซับซ้อนน้อยกว่าอัลกอริทึมที่ 1 JPEG อย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 4
สรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานอัลกอริทึมทั้งหมด 4 อัลกอริทึมได้แก่ อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองการทำงานและเก็บผลลัพธ์การทำงาน

อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) เป็นอัลกอริทึมมาตราฐานการบีบอัดสัญญาณภาพ ให้การบีบอัดภาพที่มีประสิทธิภาพที่สามารถปรับค่า CR และ PSNR (dB) ได้โดยการเปลี่ยนค่าคุณภาพสัญญาณ (QF) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1% ถึง 100% โดยพบว่าถ้าเลือกใช้ค่า QF ที่มีค่าต่ำๆ จะได้ผลลัพธ์การบีบอัดสัญญาณภาพที่มีค่า CR ที่มากขึ้นหรือบีบอัดได้มากขึ้นแต่จะทำให้ได้คุณภาพความชัดของสัญญาณที่ลดลงหรือได้ค่า PSNR (dB) ที่ลดลงและอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) มีการคำนวณที่ซับซ้อน

อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) โดยการทำงานจะละทิ้งภาพแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงคือแบนด์ย่อย cH cV และ cD แต่ยังคงใช้เพียงแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ cA ส่งไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเลนท์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพซึ่งอัลกอริทึมที่ 2 นี้จะให้ค่า CR ที่สูง แต่ให้ค่า PSNR (dB) ที่ไม่สูงมาก จะมีค่าประมาณ 30 dB แต่ข้อดีของอัลกอริทึมที่ 2 นี้คือมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน

อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) โดยการทำงานจะแตกต่างจากอัลกอริทึมที่ 2 คือจะไม่ละทิ้งแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงคือแบนด์ย่อย cH cV และ cD แต่จะทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ได้ค่าเป็น Thr_cH THr_cV และ Thr_cD และทำการแทนที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงให้มีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดร่วมทั้งแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ cA ไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเลนท์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพ สำหรับอัลกอริทึมที่ 3 นี้จะให้ค่า PSNR (dB) ที่ดีกว่าอัลกอริทึมที่ 2 แต่ก็ให้ค่า CR ที่ต่ำมาก

อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) การทำงานจะคล้ายคลึงกับอัลกอริทึมที่ 3 แต่แตกต่างกันตรงที่ไม่ต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงเพื่อใช้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) แต่จะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมแทน การทำงานส่วนที่เหลือจะเหมือนกับอัลกอริทึมที่ 3 คือ ทำการแทนที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงให้มีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดร่วมทั้งแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ cA ไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเลนท์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพ อัลกอริทึมที่ 4 นี้จะให้ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 แต่อัลกอริทึมที่ 4 ใช้การคำนวณที่ซับซ้อนมากเนื่องจากมีการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาร่วมทำงาน ทำให้อัลกอริทึมมีความซับซ้อนมากขึ้นและใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

จากผลการจำลองการบีบอัดสัญญาณภาพโดยใช้ Simulink สรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ซึ่งการใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ 2D-DWT โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมากที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่เป็นมาตราฐานในการบีบอัดสัญญาณภาพในปัจจุบัน โดยพบว่ามีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันในช่วงค่า QF ระหว่าง 30% ถึง 60% และอัลกอริทึมที่นำเสนอ (2D-DWT SHPS) ยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าอัลกอริทึมที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้มั่นใจได้ว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีทรัพยากรในการคำนวณที่ค่อนข้างจำกัดอย่างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายได้เป็นอย่างดี

4.2 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย

1. การพัฒนาอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตแม่แบบดิสครีตเพื่อใช้งานกับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่มีการส่งสัญญาณหลายๆ ทอด (Multi-hop) และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่หลากหลาย
2. พัฒนาอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ให้สามารถบีบอัดสัญญาณภาพสีและภาพวีดีทัศน์ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] A. K. Paul, T.Z.; Podder, P.; Ahmed, R.; Rahman, M.M.; Khan, M.H., "Iris Image Compression using Wavelets Transform Coding," In Proc. presented at the Signal Processing and Integrated Network (SPIN), 2015 2nd International Conference, Noida, 2015.

[2] R. E. D. Chaudhari, S.B., "Wavelet transformed based fast fractal image compression," In Proc. Presented at the Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA), 2014 International Conference, Mumbai, 2014.

[3] M. H. Nasri, A.; Sghaier, H.; Maaref, H., "Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network," In Proc. Presented at the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), 2010 International Conference, Sousse, 2010.

[4] F. T. Awad, E.; Mowafi, M.; Banimelhem, O.; AbuQdais, A., "A simulation testbed to jointly exploit multiple image compression techniques for wireless multimedia sensor networks," In Proc. Presented at the Wireless Communications Systems (ISWCS), 2014 11th International Symposium, Barcelona, 2014.

[5] L. H. C. L. Z. Ruirui, "A program based on compression and difference transmission for image acquisition in wireless sensor networks," In Proc. Presented at the Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference, Shanghai, 2010.

[6] F. X. P. Z. L.-j. S. J. W. R.-c. Wang, "Research on image compression and transmission mechanism for wireless multimedia sensor networks," In Proc. Presented at the Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference Yichang, 2011.

[7] L. H. W. J. W. Y. T. M. X. Shujiang, "A flexible and secure image compression coding algorithm," In Proc. Presented at the Future Information Technology and Management Engineering (FITME), 2010 International Conference Changzhou, 2010.

[8] W. C. Chia, L.-M. Ang, and K. P. Seng, "Multiview Image Compression for Wireless Multimedia Sensor Network Using Image Stitching and SPIHT Coding with EZW Tree Structure," In Proc. Presented at the Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2009. IHMSC '09. International Conference, Hangzhou, Zhejiang, 2009.

[9] L.-M. K. P. S. Li Wern Chew; Ang, "Survey of image compression algorithms in wireless sensor networks," In Proc. Presented at the Information Technology, 2008. ITSim 2008. International Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008.

[10] M.-S. Wu, "Genetic algorithm based on discrete wavelet transformation for fractal image compression," In Proc. *Journal of Visual Communication and Image Representation,* vol. 25, pp. 1835-1841, 2014.

[11] *Digital Signal Compression: Principles and Practice*, William A. Pearlman and Amir Said, Cambridge University Press, 2011.

[12] Computational Intelligence, Arthit Srikaew, Suranaree University of Technology, 2009.

[13] The USC – SIPI Image Database, http://sipi.usc.edu/database/

[14] สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์. (2007). เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. สืบค้นเมื่อวันที่ 15,07,2007 จากชื่อเว็บไซต์: http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Wireless_Sensor_Network/index.php

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

Tanasan Srikotr, Teerapat Charoenpru and Prayoth Kumsawat, “DWT BASED IMAGE OMPRESSION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS,” In Proc. Presented at the 10th SEATUC symposium, February 23-24, 2016, Shibaura Institute of Technology, Tokyo.

DWT BASED IMAGE COMPRESSION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

Tanasan Srikotr, Teerapat Charoenpru and Prayoth Kumsawat

School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering

Suranaree University of Technology

m5740833@g.sut.ac.th

ABSTRACT

In this paper, we present a method of data compression in digital image signal data using Discrete Wavelet Transform (DWT) for compressing digital image with minimal image distortion and acceptable compression efficiency. We use MATLAB simulation to evaluate the various image compression techniques such as, Discrete Wavelet Transform Skipped High Pass Sub-band (DWT-SHPS), Discrete Wavelet Transform Average High Pass Sub-band (DWT-AVG) and Discrete Wavelet Transform Artificial Intelligent Optimum High Pass Sub-band (DWT-AIO). The evaluation is performed under the wavelet compression framework from the view point of quality of image (PSNR) and compression ratio (CR). Different combinations of parameters and transformation levels have been compared against the JPEG compression standard. This evaluation could help the designer to predict the performance of a given DWT compression algorithm for wireless sensor system.

1. INTRODUCTION

Wireless Sensor Network (WSN) has been gaining popularity in the research community and development of Internet of Things (IoT). WSN can capture multimedia content from the environment. However, the large number of data generated by the image sensor remains as a challenging problem, because the power consumption and finite processing of WSN is strongly affected by the number of data to be processed and transmitted. For these reasons, power consumption is a critical issue in WSN.

In recent years, people have done a lot of research work on data compression algorithm and proposed many compression algorithms for WSN. In [1], Chew proposed (2008) survey of image compression algorithms for wireless sensor networks. The result is 8 popular image compression algorithms; it is found that SPIHT wavelet-based image compression is most suitable image compression algorithm for implementation in a hardware constrained environment. In [2], Nasri (2010) proposed technique for image compression called SHPS based on Discrete Wavelet Transform and distributed processing and compression technique. In [3], Hongliang (2010) proposed a program based on compression and difference transmission for image acquisition in wireless sensor networks. In [4], Chaudhari (2014) proposed wavelet transform based fast fractal image coding. FFT based fractal image coding with variable quadtree partition is applied to the approximation subband and three detail subbands of the transformed image. In [5], Wu (2014) proposed the fractal encode algorithms to overcome the problem of the time-consuming drawback. First, a FIC using DWT. Second, embedding the DWT technique into the genetic algorithm (GA). The proposed GA method is faster than the full search method.

This paper is organized as follows: Section 1, the JPEG image coding and DWT are introduced. In Section 2, the experiments are shown. The model and algorithm are described in Section 3. The conclusions of our study can be found in last section.

1.1 Preliminary

1.1.1 Joint Photographic Experts Group (JPEG)

The JPEG is global standard lossy image compression algorithm. The JPEG consists following steps in Figure 1.The JPEG compression consists of the following main steps. First step image should be divided into 8 × 8 pixels. The next step of JPEG consists of Discrete Cosine Transform (DCT). In order to keep some important DCT coefficients, quantization is applied on the transformed block. In this step, using the quantization matrix multiply by quality factor to adjust the quality of the data compression. After that, we used lossless compression encoding. The zigzag scanning is used. The 8 × 8 blocks are reordered as single 64-element columns. The DC coefficient is treated separately from the 63 AC coefficients. Finally, in the final phases coding algorithms

such as Run Length Coding (RLC) used for AC coefficients and Differential Pulse Code Modulation (DPCM) used for DC coefficient and entropy coding are applied by using Huffman coding. For JPEG decompression we reverse the JPEG compression, we basically obtain a JPEG decompression.

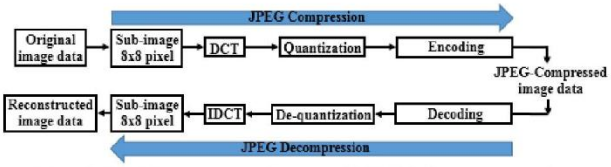
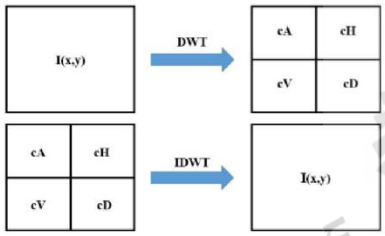


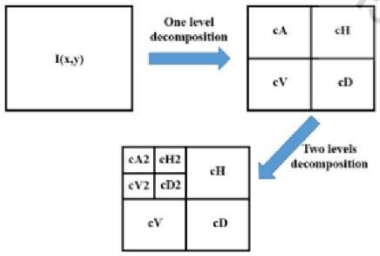
Fig. 1 JPEG compression and JPEG decompression.

1.1.2 Discrete Wavelet Transform (DWT)

The Discrete Wavelet Transform (DWT) and Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT) consist following steps in Figure 2 (a). The DWT input data (I(x,y)) need to divide into 4 sub-bands cA, cH, cV and cD with wavelet decomposition filters are filled by many types of wavelet families. We call cA is low pass sub-band (approximate) cH, cV and cD are high pass sub-band (detail). The IDWT all of coefficient cA, cH, cV and cD send into wavelet reconstruction filters are filled by many types of wavelet families for reconstruct data.



(a)



(b)

Fig. 2 a) DWT and IDWT and b) Multilevel DWT decomposition.

For the next level of DWT decomposition, we apply the wavelet transform to the approximation subband (cA) of the previous decomposition level as shown in Figure 2 (b).

1.2 The Proposed Method

1.2.1 DWT Compression Algorithm

Based on DWT. Image will divided 4 sub-bands cA, cH, cV and cD. The cA is approximation coefficients refer to low pass sub-band and cH, cV and cD are details coefficients refer to high pass sub-band in horizontal, vertical, and diagonal, respectively. For first technic DWT-SHPS compression algorithm, we will discard high pass sub-band (cH, cV and cD) because most detail of image data are in low pass sub-band (cA). In backward wavelet synthesis, we use approximation coefficients (cA) and details coefficients (cH, cV and cD) with integer 0 in the similar dimension of cA for used in IDWT process. Second technic DWT-AVG compression algorithm, we will find thresholds form each high pass sub-band and set coefficients to zero if coefficients less than the threshold. And the last one technic: DWT-AIO compression algorithm, we use artificial intelligence (Genetic Algorithm) to find thresholds form each high pass sub-band for set coefficients to zero if coefficients less than the thresholds. However, all techniques need to continue with quantization and encoding. In this paper, Run-Length Coding (RLC) is applied to reduce the length of the DWT coefficient sequences. DWT compression and DWT decompression are shown in Figure 3.

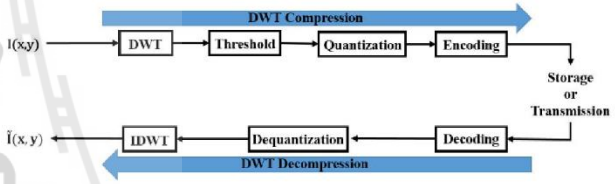


Fig. 3 DWT compression and DWT decompression

2. EXPERIMENT

To demonstrate the effectiveness of our proposed method, a series of experiments have been conducted. Four gray level images with standard dimension 512 × 512 pixels named: "Lena", "Tiffany", "Baboon" and "Airplane (F16)" are used for conducting our experiments. The compression ratio (CR) and quality factor (PSNR) are used as performance measures to quantify the difference between the original image and the processed image. The CR and PSNR can be represented as follows:

$$CR = \frac{\text{Total number of bits in original file}}{\text{Totle number of bits in compressed file}} \quad (1)$$

$$\text{PSNR (dB)} = 20\log_{10}\frac{2^B-1}{\sqrt{MSE}} \quad (2)$$

Where B represents the bits per sample and MSE represents the mean square error can be represented as follows:

$$MSE = \frac{1}{m \times n}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}[I(i,j) - \bar{I}(i,j)]^2 \quad (3)$$

Where m is number of rows, n is number of columns, I is original image data and $\bar{I}$ is reconstruct image data.

The JPEG experimental average results are given in Table 1 and DWT by applied any technique by using only "HAAR mother wavelet". The average results are given in Table 2.

Table 1 JPEG average results

Quality factor (QF)	CR	PSNR (dB)
1	74.08	30.15
10	35.91	33.49
20	23.36	35.07
30	18.02	36.05
40	15.01	36.75
50	12.80	37.28
60	11.03	37.92
70	9.25	38.80
80	7.46	40.13
90	4.65	42.90

Table 2 DWT average results

1 level DWT		
Techniques	CR	PSNR (dB)
DWT-SHPS	4.65	34.75
DWT-AVG	2.92	35.70
DWT-AIO	3.99	35.37
2 level DWT		
Techniques	CR	PSNR (dB)
DWT-SHPS	12.56	33.44
DWT-AVG	3.50	34.85
DWT-AIO	9.53	33.61

3. ANALYSIS

The performance of our proposed algorithm has been evaluated considering CR and PSNR. Table 2 shows DWT-SHPS is the most suitable for DWT because CR has the highest of all DWT technics and acceptable PSNR around 30 (dB). Moreover DWT-SHPS is low complexity technic then DWT-AVG and DWT AIO. Table 1 shows performance of JPEG algorithm. The default QF of JPEG is 75-80. The JPEG is high CR and high PSNR.

When making comparisons between JPEG algorithm and DWT-SHPS are given in Figure 4 will be JPEG better performance in both the CR and PSNR, but to see that the DWT-SHPS is close to the performance of JPEG between QF=10 to QF=60 by PSNR of DWT-SHPS less then JPEG 2-3 (dB).

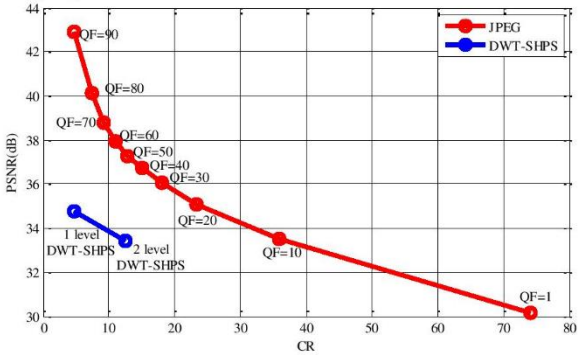


Fig. 4 JPEG VS DWT-SHPS.

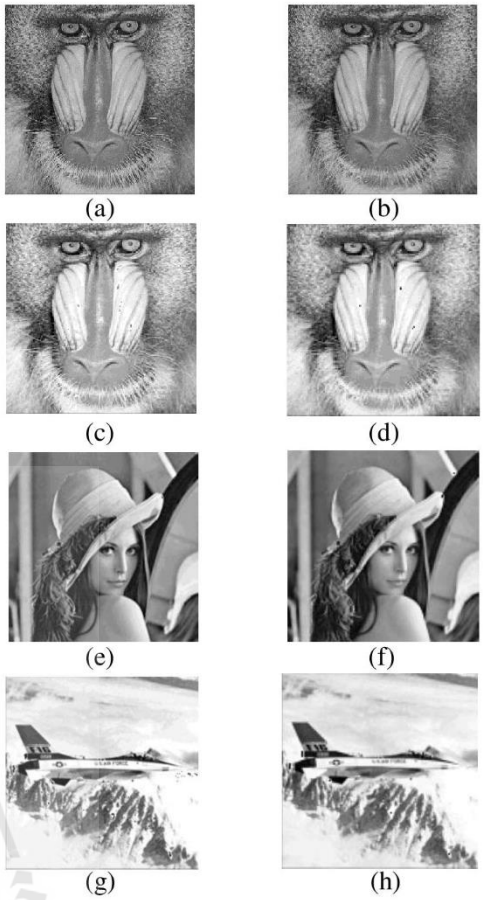


Fig. 5 a) JPEG QF=20, b) JPEG QF=50, c) 1-Level DWT-SHPS Baboon, d) 2-Leve DWT-SHPS Baboon e) 1-Leve DWT-SHPS Lena f) 2-Leve DWT-SHPS Lena g) 1-Leve DWT-SHPS Airplane (F16) and h) 2-Leve DWT-SHPS Airplane (F16).

CONCLUSION

In this paper, a comparative image compression technique that aims at achieving low-complexity and energy efficient compression is proposed. We analyze the performance of the techniques in terms of signal to noise ratio, root mean square error, and compression ratio. The experimental results indicate that the Discrete Wavelet Transform Skipped High Pass Sub-bands (DWT-SHPS) technique is close to the performance of JPEG standard. It efficient and has low complexity with less memory requirements in implementation. Further research can be focused on the development of the DWT-SHPS image compression technique using the embedded system.

REFERENCES

[1] L.-M. K. P. S. Li Wern Chew; Ang, "Survey of image compression algorithms in wireless sensor networks," In Proc. Presented at the Information Technology, 2008. ITSim 2008. International Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008.

[2] M. H. Nasri, A.; Sghaier, H.; Maaref, H., "Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network," In Proc. Presented at the Communication in

Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), 2010 International Conference, Sousse, 2010.

[3] L. H. C. L. Z. Ruirui, "A program based on compression and difference transmission for image acquisition in wireless sensor networks," In Proc. Presented at the Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference, Shanghai, 2010.

[4] R. E. D. Chaudhari, S.B., "Wavelet transformed based fast fractal image compression," In Proc. Presented at the Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA), 2014 International Conference, Mumbai, 2014.

[5] M.-S. Wu, "Genetic algorithm based on discrete wavelet transformation for fractal image compression," In Proc. Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 25, pp. 1835-1841, 2014.

T. Srikotr was born in Nakhon Ratchasima, Thailand. He received the B.Eng. degree in telecommunication engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include digital signal processing and wireless sensor networks.

T. Charoenpru was born in Nakhon Ratchasima Thailand. He received the B.Eng. degree in electronics engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Electronics Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include wireless sensor networks and artificial intelligence.

P. Kumsawat was born in Maehongson, Thailand. He received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Royal Thai Air Force Academy, Bangkok, Thailand, in 1994, M.Eng. degree in electrical engineering from Kasetsart University, Bangkok, Thailand, In 1997 and Ph.D. degree in electrical engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2006. Since 1999, he has been with the Institude of Engineering, Suranaree University of Technology, where he is currently an Assistant Professor in the School of Telecommunication Engineering. His research interests include digital signal processing and image processing.