

การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายโทรจู่ไร้สาย  
โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2559

**IMAGE COMPRESSION FOR WIRELESS SENSOR  
NETWORKS USING WAVELET TRANSFORM**



**Tanasan Srikotr**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2016**

การป้อนข้อมูลคุณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย  
โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

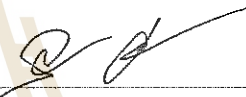
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.กิติติ อัดถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ



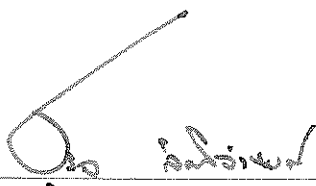
(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



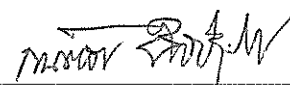
(ผศ. ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย)

กรรมการ



(ศ. ดร.สุกิจ ลิ้มปิ๋จันงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร จำนึประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ธนสาร ศรีโคตร : การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายโดยใช้การแปลงเวฟเลต (IMAGE COMPRESSION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS USING WAVELET TRANSFORM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประ โยชน์ คำสวัสดิ์, 175 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการพัฒนาการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ซึ่งในงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงคอสคริตเวฟเลตทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1. 2D-DWT SHPS 2. 2D-DWT AVG และ 3. 2D-DWT AIO นำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของอัลกอริทึมมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล JPEG เพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สำหรับส่วนที่ 2 ได้นำเอาอัลกอริทึมที่เหมาะสมจากงานวิจัยส่วนที่ 1 มาทำการใช้งานจริงในระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ผลการศึกษางานวิจัยในส่วนที่ 1 พบว่าอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเลต 2D-DWT SHPS มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายเนื่องจากการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและมีค่า PSNR ที่ยอมรับได้ ผลการศึกษางานวิจัยในส่วนที่ 2 โดยการนำอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเลต 2D-DWT SHPS มาทำการใช้งานจริงในระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสามารถทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลได้จริงและมีผลลัพธ์ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลการจำลองการทำงานในส่วนที่ 1

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา จณิศา ฝรั่งพร  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [ลายมือ]



TANASAN SRIKOTR : IMAGE COMPRESSION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS USING WAVELET TRANSFORM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. FLT. LT. PRAYOTH KUMSAWAT, Ph.D., 175 PP.

IMAGE COMPRESSION/WIRELESS SENSOR NETWORKS  
WAVELET TRANSFORM

The objective of this research is to develop a suitable image compression algorithm for wireless sensor networks. The research was divided into two part. The first part is to study the efficiency of 3 image compression algorithm based on discrete wavelet transform which are 1. 2D-DWT SHPS 2. 2D-DWT AVG and 3. 2D-DWT AIO. These 3 algorithm and standard image compression algorithm JPEG are evaluated to find the most appropriate algorithm for wireless sensor networks. The second part is to implement the algorithm from the first part into hardware system. The results from the first part showed that the 2D-DWT SHPS algorithm is the most suitable for wireless sensor networks due to its least complexity and acceptable PSNR. Thus, the second part used 2D-DWT SHPS to implement image compression into hardware system. The results show that this algorithm can compress the image signal as effectively as the result in the simulation in the first part.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature T. Srikotr

Academic Year 2016

Advisor's Signature P. Kumsawat.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยขอขอบคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้ทุนการศึกษา อบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะแนวทางในงานวิจัยนี้และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยและตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สำหรับสถานที่ ในการทดสอบระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจน ส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณนายวรวุฒิ บุญเป็ง ที่ให้การ สนับสนุนทางเทคนิค มิตรสหายทุกท่านที่มักจัดงานเลี้ยงสังสรรค์ให้ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้น

ธนสาร ศรีโคตร

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>2. ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Networks; WSN).....	3
2.2.1 องค์ประกอบของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	5
2.2.2 อุปกรณ์ตรวจรู้.....	6
2.2.3 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	7
2.2.4 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย.....	8
2.2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	9
2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system).....	10
2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Data Compression).....	11
2.4.1 การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน (Huffman coding).....	11

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2	การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ (Run-length coding).....	12
2.5	การแปลงคิสต์เวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-Discrete Wavelet Transform; 2D-DWT)..	13
2.6	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงคิสต์เวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (Image compression based on 2D-Discrete Wavelet Transform).....	16
2.7	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group)....	17
2.8	ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA).....	19
2.8.1	องค์ประกอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	19
2.8.1.1	การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding).....	19
2.8.1.2	ประชากรเริ่มต้น (Initial Population).....	20
2.8.1.3	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function).....	20
2.8.1.4	การคัดเลือก (Selection).....	20
2.8.1.5	การปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operator).....	20
2.8.1.5.1	การข้ามสายพันธุ์ (Crossover).....	21
2.8.1.5.2	การกลายพันธุ์ (Mutation).....	21
2.8.1.6	การแทนที่ (Parameter).....	22
2.8.2	ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	23
2.9	การวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Performance Measurement).....	25
2.9.1	การวัดเชิงปริมาณ (Quantitative Measurement).....	25
2.9.1.1	ค่าเฉลี่ยผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error; MSE).....	25
2.9.1.2	ค่าคุณภาพสัญญาณ (Peak Signal to Noise Ratio; PSNR(dB)).....	25
2.9.1.3	ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio; CR).....	26
2.9.2	การวัดเชิงคุณภาพ (Quality Measurement).....	26
2.10	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
3.	วิธีดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1 การจำลองผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....	32
3.1	บทนำ.....	32

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	อัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่ได้ศึกษา.....	33
3.2.1	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG.....	33
3.2.2	การทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลง ดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ (2D Discrete Wavelet Transform; 2D-DWT)...	34
3.2.2.1	เวฟเลตแม่ที่ใช้ในการทดสอบ (Mother Wavelet).....	34
3.2.2.2	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS).....	41
3.2.2.3	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 ดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands (2D-DWT AVG).....	43
3.2.2.4	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 ดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands (2D-DWT AIO).....	46
3.3	ผลการทดสอบอัลกอริทึม.....	50
3.3.1	ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG...50	
3.3.2	ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4.....	57
3.4	วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	111
3.4.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG.....	111
3.4.2	วิเคราะห์ผลการทดสอบการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4.....	111

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3	วิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล ระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar.....	112
3.4.4	วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล ระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar.....	120
3.5	แนวคิดและหลักการในการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	121
3.5.1	รายละเอียดการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	121
3.5.2	การออกแบบจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายโดยใช้ Simulink.....	122
3.5.3	ผลการจำลองระบบ โดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon Lena และ Airplane....	125
3.5.4	วิเคราะห์ผลการจำลองผล โดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon Lena และ Airplane.....	132
3.5.5	ผลการจำลองระบบ โดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava).....	133
3.5.6	วิเคราะห์ผลการจำลองผล โดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 สำหรับภาพต้นมันสำปะหลัง (Cassava).....	137
3.6	สรุป.....	138
4.	วิธีดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนระบบฮาร์ดแวร์ ของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	139

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 บทนำ.....	139
4.2 การทดสอบอัลกอริทึมที่ 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์.....	139
4.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์.....	147
4.4 ขอบเขตการใช้งานและแนวทางการขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....	161
4.5 สรุป.....	162
<b>5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>163</b>
5.1. สรุปผลงานวิจัย.....	163
5.1.1 การจำลองการทำงานด้วย Matlab.....	163
5.1.2 การจำลองการทำงานด้วย Matlab Simulink.....	164
5.1.3 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลดิจิทัล แบบ 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์.....	165
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัย.....	165
รายการอ้างอิง.....	166
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	169
ประวัติผู้เขียน.....	175

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้วิธีการเวฟเล็ต.....27
2.2	ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้วิธีการ JPEG.....28
2.3	ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้วิธีการอื่นๆ.....29
2.4	ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้ประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับวิธีการเวฟเล็ต.....31
3.1	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG).....51
3.2	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG).....52
3.3	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG).....53
3.4	ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 ภาพ โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG).....54
3.5	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....57
3.6	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....59
3.7	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....61
3.8	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....63
3.9	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....65
3.10	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....67



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.11 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	69
3.12 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	71
3.13 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	73
3.14 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	75
3.15 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	77
3.16 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....	79
3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคอสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม.....	82
3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Lena โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคอสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม.....	84
3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคอสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม.....	86
3.20 ค่าเฉลี่ยการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคอสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 อัลกอริทึม.....	88
3.21 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) ทั้ง 3 ภาพ.....	113
3.22 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (1 level 2D-DWT SHPS).....	114
3.23 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (2 level 2D-DWT SHPS).....	115
3.24 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ.....	116

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.25	ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS 1 level) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ.....	117
3.26	ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS 2 level) โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ.....	118
3.27	ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมทั้งขบวนการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression) ของ JPEG และ 2D-DWT SHPS.....	119
3.28	ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon Lena และ Airplane.....	125
3.29	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ.....	126
3.30	ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2.....	133
3.31	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2.....	134
4.1	ผลการทดสอบฮาร์แวร์ในการบีบอัดแบบ 2D-DWT SHPS แบบ 1 level.....	147
4.2	ผลการทดสอบฮาร์แวร์ในการบีบอัดแบบ 2D-DWT SHPS แบบ 2 level.....	149

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor network system).....5
2.2	ระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....7
2.3	ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System).....11
2.4	การแปลงคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ.....13
2.5	การแปลงคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติแบบฟิลเตอร์.....14
2.6	การแปลงคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติแบบหลายระดับ.....15
2.7	การแปลงกลับคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติแบบฟิลเตอร์.....16
2.8	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ.....17
2.9	กระบวนการทำงานของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG.....18
2.10	การข้ามสายพันธุ์.....21
2.11	การการกลายพันธุ์.....22
2.12	ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....23
3.1	การทำงานของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล JPEG.....33
3.2	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Haar (Haar).....34
3.3	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Daubechies 2 (Db2).....35
3.4	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Daubechies 4 (Db4).....35
3.5	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Daubechies 8 (Db8).....36
3.6	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Symlets 2 (Sym2).....36
3.7	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Coiflets 1 (Coif1).....37
3.8	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Biorthogonal 1.1 (Bior1.1).....37
3.9	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Biorthogonal 1.3 (Bior1.3).....38
3.10	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Biorthogonal 1.5 (Bior1.5).....38
3.11	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Reverse Biorthogonal 1.1 (Rbio1.1).....39
3.12	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ดแม่ Reverse Biorthogonal 1.3 (Rbio1.3).....39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.5 (Rbio1.5).....40
3.14	ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Discrete Meyer (Dmey).....40
3.15	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 1 level (2D-DWT SHPS) .....42
3.16	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2 level (2D-DWT SHPS).....43
3.17	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 1 level (2D-DWT AVG).....45
3.18	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2 level (2D-DWT AVG).....45
3.19	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 1 level (2D-DWT AIO).....48
3.20	การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2 level (2D-DWT AIO).....49
3.21	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG.....54
3.22	ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 ภาพใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG.....55
3.23	ภาพผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG.....56
3.24	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....58
3.25	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....60
3.26	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....62
3.27	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....64
3.28	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....66
3.29	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 2 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....68
3.30	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....70

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.31	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....72
3.32	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....74
3.33	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....76
3.34	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....78
3.35	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเล็ตแม่.....80
3.36	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS).....90
3.37	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG).....91
3.38	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO).....92
3.39	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS).....93
3.40	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG).....94
3.41	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO).....95
3.42	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)...96
3.43	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG).....97

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.44 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ดแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO).....	98
3.45 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ดแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS).....	99
3.46 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ดแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG).....	100
3.47 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ดแม่แต่ละชนิด ของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพ โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO).....	101
3.48 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS).....	102
3.49 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS).....	103
3.50 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS).....	104
3.51 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG).....	105
3.52 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG).....	106
3.53 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG).....	107
3.54 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO).....	108
3.55 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO).....	109
3.56 ภาพ Airplane จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO).....	110

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.57 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) และอัลกอริทึมที่ 2 (DWT-SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar.....	120
3.58 การออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย.....	121
3.59 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 1 level.....	122
3.60 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 2 level.....	123
3.61 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon.....	127
3.62 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Lena.....	127
3.63 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Airplane.....	128
3.64 ค่าเฉลี่ยการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของทั้ง 3 ภาพ.....	128
3.65 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Baboon.....	129
3.66 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Lena.....	130
3.67 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Airplane.....	131
3.68 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผล โดยใช้ Simulink และ Matlab code อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS.....	132
3.69 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 1.....	135



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.70	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Casava 2.....136
3.71	ค่าเฉลี่ยการจำลองผล โดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้ภาพภาพ Cassava1 และ Cassava2.....137
4.1	การทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....140
4.2	การทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งคลายบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....140
4.3	ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....141
4.4	ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....142
4.5	ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....144
4.6	ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....145
4.7	Google Drive.....146
4.8	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 1.....151
4.9	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 2.....152
4.10	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 3.....153
4.11	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 4.....154
4.12	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 5.....155
4.13	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 6.....156
4.14	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 7.....157
4.15	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 8.....158
4.16	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 9.....159
4.17	ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 10.....160
4.18	การขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล.....161



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor networks ; WSNs) คือ ระบบตรวจจับขนาดเล็กที่สามารถตรวจจับข้อมูลทางกายภาพและทำการประมวลผลและส่งออกข้อมูลไร้สายเพื่อแจ้งเตือนแก่มนุษย์หรือประมวลผลแล้วทำการตัดสินใจแทนมนุษย์ เช่น ระบบตรวจจับความชื้นในดินเมื่อเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายตรวจจับได้ว่าในดินมีความชื้นต่ำก็จะทำการแจ้งเตือนไปให้มนุษย์ทำการรดน้ำหรือเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำการประมวลผลแล้วได้ผลลัพธ์ว่าในดินมีความชื้นต่ำก็สามารถสั่งการให้เปิดปั๊มน้ำเพื่อให้น้ำแก่ดินโดยอัตโนมัติโดยปราศจากการตัดสินใจจากมนุษย์ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายได้รับความนิยมอย่างมากในระบบอุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ เช่น ระบบตรวจสอบรักษาความปลอดภัย ระบบเฝ้าระวังภัยธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วม ไฟไหม้ 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)

สำหรับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพดิจิทัล (Image sensor) ที่มีปริมาณข้อมูลดิจิทัลที่สูงมากที่ต้องทำการส่งผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาค่าความคับคั่งของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้เทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Image compression) ซึ่งจะทำให้ขนาดข้อมูลดิจิทัลของภาพลดลงทำให้ส่งผ่านข้อมูลน้อยลงและสามารถส่งผ่านเครือข่ายได้เร็วขึ้น ด้วยการแปลงเวฟเลตแบบดิสครีตแบบ 2 มิติ (2D Discrete wavelet transform: 2D-DWT) และทำการละทิ้งแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงใช้เพียงแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำมาทำการจัดระดับสัญญาณ (Quantization) ให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูล จากนั้นจึงทำการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบไม่สูญเสีย

รันเรนจ์ (Run-length) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าคุณภาพสัญญาณ (PSNR (dB)) ที่เหมาะสม คือ มีค่าคุณภาพสัญญาณประมาณ 30 dB (S. Saha and R. Vemuri, “How do image statistics impact lossy coding performance”, 2000) มีอัตราการบีบอัดข้อมูล (CR) ที่มากกว่า 2 เท่า มีการประมวลผลต่ำกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group) ที่เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบมาตรฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อทำการนำอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
- 2) เพื่อออกแบบอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพดิจิทัลที่มีการประมวลผลต่ำกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล JPEG ที่เป็นมาตรฐานการบีบสัญญาณภาพดิจิทัล
- 3) เพื่อลดขนาดข้อมูลภาพดิจิทัลจากอุปกรณ์ตรวจรู้สัญญาณภาพดิจิทัล

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ดำเนินการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
- 2) ดำเนินการเขียน โปรแกรมอัลกอริทึมในการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล
- 3) ดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์เครือข่ายตรวจรู้สัญญาณภาพดิจิทัลไร้สาย โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลภาพที่พัฒนาขึ้น
- 4) ดำเนินการทดสอบอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลภาพในอุปกรณ์เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายและปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 5) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่อง
- 6) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย
- 2) ได้แนวทางในการพัฒนาอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทที่ 2 นี้จะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ทฤษฎีระบบสมองกลฝังตัว ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบไม่มีการสูญเสีย ทฤษฎีการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ หลักการการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงคอสคริตเวฟเลตแบบ 2 มิติ ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG และหลักการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมการวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลและส่วนสุดท้ายปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN)

เทคโนโลยีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาและมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ระบบเตือนภัย (Disaster Warning Systems) เพื่อพยากรณ์และเตือนภัยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ระบบเฝ้าตรวจสอบและควบคุมทางด้านเกษตรกรรม (Monitoring and Controlling Systems for Agriculture) เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) ที่ไม่ใช่สายตัวนำสัญญาณ โดยเป็นประเภทหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network ; PAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีโปรโตคอล (Protocol) ที่มีลักษณะเฉพาะ มุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลต่ำมีการใช้พลังงานต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย สามารถตรวจวัดสัญญาณเป้าหมายและส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้จำนวนมาก ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งต่างๆ จากอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายมากมาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการพัฒนาต่ออุปกรณ์มีขนาดเล็กเหมาะสมสำหรับทุกพื้นที่สภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์ตรวจรู้จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลถึงกันตามที่ได้โปรแกรมไว้ เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการนำอุปกรณ์ตรวจรู้แต่ละตัวไปติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวัดสัญญาณและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะติดต่อและส่งข้อมูลถึงกันเพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลยังเครื่องปลายทาง

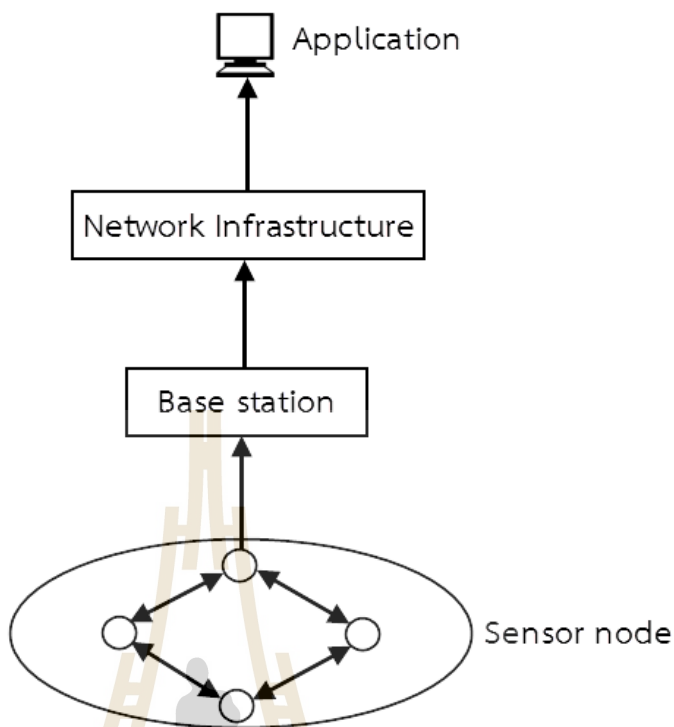
เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมีการพัฒนาในยุคเริ่มต้นจากการใช้งานทางด้านการทหารในการทำสงครามเย็นทางด้านคลื่นเสียง ต่อมาได้รับการพัฒนาทางระบบเรดาร์ทางอากาศ ระบบเครือข่ายในยุคแรกมีรูปแบบเป็นลำดับชั้นการประมวลผลจะทำตามลำดับชั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ต เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายตรวจรู้แบบกระจายตัว โดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวการประมวลผลสัญญาณการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูงแต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนั้นทำให้อุปกรณ์ตรวจรู้มีขนาดใหญ่

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจรู้สื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูง ประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดวิธีการวัดและเก็บข้อมูลแบบใหม่โดยใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายและฝังตัวในสิ่งแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล อุปกรณ์ตรวจรู้แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูล อุปกรณ์ตรวจรู้และเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งลักษณะการทำงานจะขึ้นอยู่กับแต่ละสถานะที่แตกต่างกันไป

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสามด้าน ประกอบด้วย เทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีขนาดเล็กมีความแม่นยำในการวัดสูง เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมถึงอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีขนาดเล็ก การรวมกันของสามเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดอุปกรณ์ตรวจรู้ ที่มีราคาถูก เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ วัดและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเองและติดต่อสื่อสารถึงกันแบบเครือข่ายไร้สาย

ผังรูปที่ 2.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless sensor network system)

### 2.2.1 องค์ประกอบของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายประกอบด้วยสามส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor Unit) เกตเวย์ (Gateway) และสถานีฐาน (Base Station) อุปกรณ์ตรวจรู้จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับอุปกรณ์ตรวจรู้ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ควบคุมและจัดการงานของตัวเองทั้งหมดของอุปกรณ์ตรวจรู้ที่ติดต่อกันทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายทำให้แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยให้อุปกรณ์ตรวจรู้ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อๆ กันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (Multi-Hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยเกตเวย์อาจเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ธรรมดาหรือเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งานหรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เนื่องจากการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละอุปกรณ์ตรวจรู้ใช้แหล่งพลังงานภายในอุปกรณ์ตรวจรู้เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจรู้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ทำให้

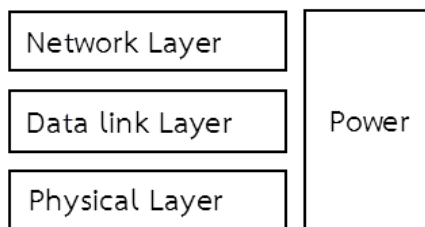
เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลอุปกรณ์ตรวจรู้อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่ายที่มีอุปกรณ์ตรวจรู้ที่เคลื่อนที่ได้การเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ตรวจรู้นั้นมีผลต่อโครงสร้างของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจรู้โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงข่ายนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทางซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้นๆ

## 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 เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนอุปกรณ์ตรวจรู้แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากอุปกรณ์ตรวจรู้มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

### 2.2.3 ระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย



รูปที่ 2.2 ระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

โพรโทคอลสแตกหรือระดับชั้นเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมากเพราะอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัดทำให้พลังงานมีผลมากกับอุปกรณ์ตรวจรู้ไร้สายและเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโพรโทคอลสแตกของโมเดลการเชื่อมต่อระบบเปิด (Open Systems Interconnection model ; OSI model) โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูป แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองคอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเองส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโพรโทคอลสแตกที่แตกต่างกัน

ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลระหว่างตรวจรู้ข้างเคียงการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control ; MAC) การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูลเพื่อให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจรู้จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจรู้เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยากและการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ



ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปเพื่อส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ไปยังสถานีฐานการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจรู้และเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้น เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้ที่เหลือนพลังงานน้อย อาจลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูลในกรณีที่มีระยะส่งข้อมูลลดลง เนื่องจากการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

#### 2.2.4 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริงซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเทอร์เน็ต

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 โดยมีย่านความถี่ที่กำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม

มาตรฐานบลูทูธ (Bluetooth) เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนาก็เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้กับระบบเครือข่ายขนาดเล็กๆ ที่เรียกว่าเครือข่ายพื้นที่ขนาดบุคคล (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
- การควบคุมจำนวนที่พื้กอาศัย
- การตรวจจับภัยพิบัติต่างๆ

### 3) ด้านวิศวกรรมโยธา

- การควบคุมงานโครงสร้าง
- การวางแผนผังเมือง
- การฟื้นฟูปัญหาภัยพิบัติต่างๆ
- การควบคุมและการจัดการอย่างมีคุณค่า
- ใช้ในการสู้รบและการทำสงคราม
- การป้องกันภัยต่างๆ

### 4) ด้านควบคุมสุขภาพและการผ่าตัดด้านตัวตรวจวัดด้านการแพทย์

- การวัดอุณหภูมิของร่างกาย
- การวัดความดันโลหิต
- การวัดชีพจร

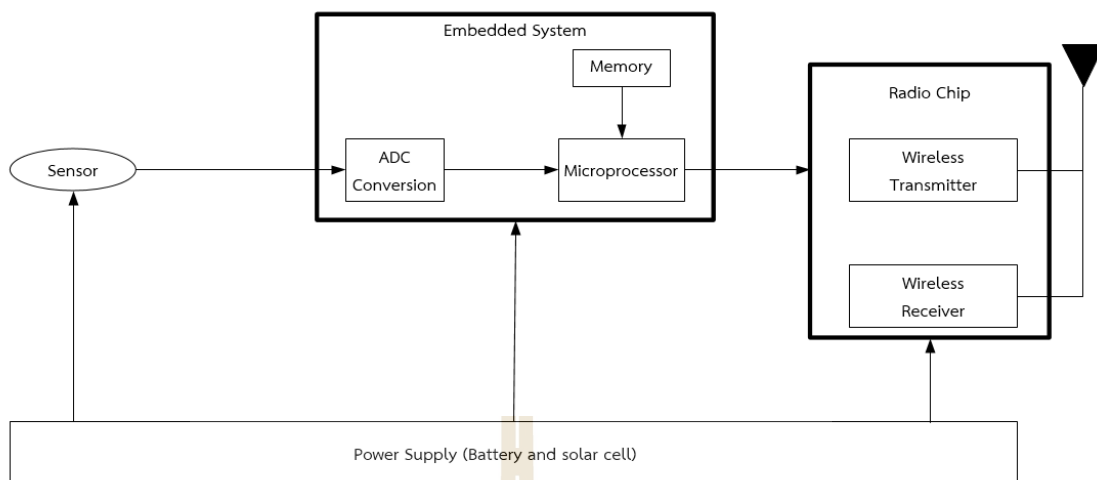
### 5) ด้านการผ่าตัดขนาดเล็ก

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

เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัยระบบนี้ต้องการความเร็วในการส่งสูง ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบนี้เครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลแต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูลในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงานรวมทั้งระบบการสื่อสารระยะสั้น เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้มักมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะสั้นๆ ไม่นานมากแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาระบบขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ดังเช่น มาตรฐานบลูทูธ (Bluetooth) ซิกบี (Zigbee) รวมทั้งอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband ; UWB)

### 2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system)

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ในไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวัน เช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้าตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่างๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

## 2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบไม่มีการสูญเสีย

### (Lossless Data Compression)

การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบไม่มีการสูญเสียหรือมีการสูญเสียน้อยเป็นอัลกอริทึมของการบีบอัดแบบที่ไม่มีการสูญเสียหรือการเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy coding) โดยที่จะพยายามเก็บรักษาข้อมูลให้มีความกะทัดรัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมของการบีบอัดแบบที่ไม่มีการสูญเสียนี้อาจถูกกำหนดขอบเขตด้วยเอนโทรปีของข้อมูลเองซึ่งจะสามารถบีบอัดข้อมูลที่มีจำนวนมากได้และจุดสำคัญคือจะมีการแยกแยะข้อมูลอย่างมีเหตุมีผล โดยจะทำการยกตัวอย่างการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน (Huffman coding) และ รันเรนจ์ (Run-length coding)

#### 2.4.1 การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน (Huffman coding)

การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนเป็นวิธีการเข้ารหัสเอนโทรปีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลซึ่งใช้ในส่วนของตารางเก็บค่าความยาวของข้อมูลต่างๆ โดยจะทำการจัดตารางข้อมูล (Dictionary) ที่ปรากฏในไฟล์ทั้งหมดและจัดทำเป็นดัชนีเพื่อย่อขนาดของรูปแบบที่เหมือนกันเท่าที่จะทำได้ นั่นหมายความว่าถ้ามีข้อมูลซ้ำกันมากเท่าไรก็จะสามารถบีบอัดได้มาก การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนใช้หลักการทํางานเพื่อการแสดงข้อมูลที่ซ้ำๆ กันในแต่ละข้อมูลโดยมีผลลัพธ์ออกมาเป็นรหัสส่วนนำ (Prefix code) หรือบ้างที่จะเรียกรหัสอิสระส่วนนำ (Prefix-free code) ซึ่งเป็นข้อมูลในรูปแบบบิตสั้นๆ ที่สามารถนำไปใช้ได้กับข้อมูลทั่วไปอื่นๆ ได้

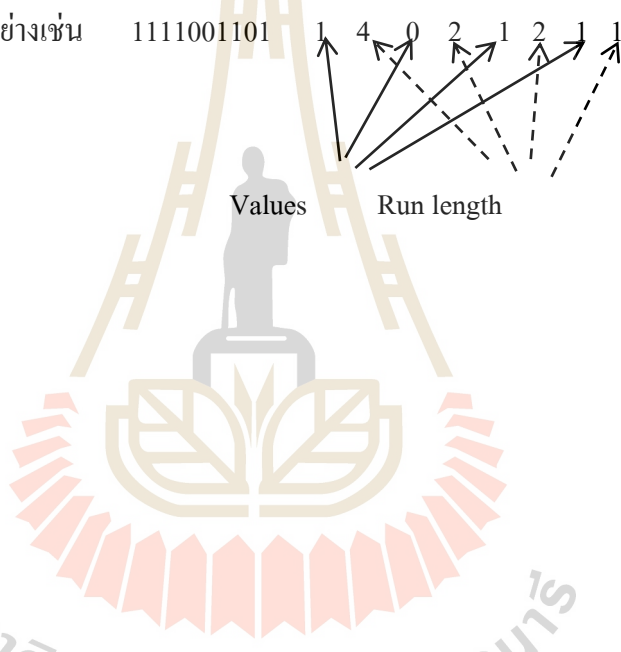
การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้การทํางานดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยถ้าข้อมูลมีจำนวนซ้ำกันเยอะกับรหัส (Code) ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการเข้ารหัส

สัญลักษณ์โดยสัญลักษณ์ (Symbol-by-Symbol coding) ที่ทราบความน่าจะเป็นของค่าข้อมูลเริ่มต้น (Input) ที่สร้างไว้อยู่ นี่คือการบีบอัดที่ให้ผลลัพธ์มีขนาดเล็กลงมากที่สุด

#### 2.4.2 การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ (Run-length coding)

การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์คือการลดขนาดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสียโดยการนับจำนวนที่ซ้ำกันและแทนด้วยจำนวนเลขที่นับได้และตามด้วยรหัสของข้อมูลตัวนั้นที่มีการซ้ำกัน ด้วยวิธีการนี้ข้อมูลที่มีค่าซ้ำๆกัน ก็จะเก็บเป็นรหัส (Code) แทนและบอกถึงจำนวนของข้อมูลที่ซ้ำกันว่ามีกี่จำนวน วิธีการนี้เป็นวิธีการลดขนาดของข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนกันซึ่งจะทำการบีบอัดข้อมูลได้น้อย เมื่อข้อมูลนั้นมีการซ้ำกันของข้อมูลน้อย และทำการบีบอัดข้อมูลได้น้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว

ยกตัวอย่างเช่น 1111001101



Values      Run length

## 2.5 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

### (2D - Discrete Wavelet Transform; 2D-DWT)

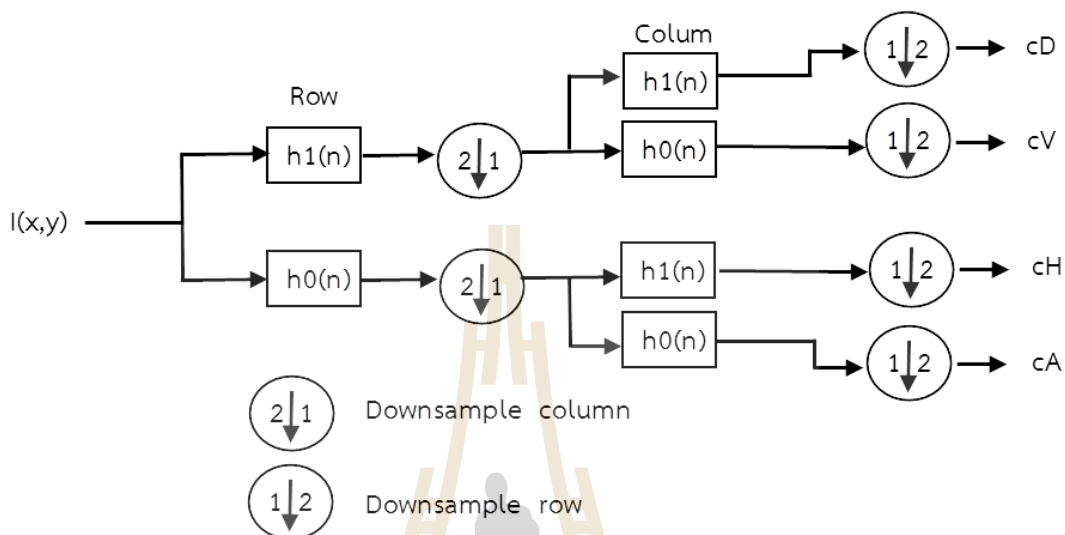
วิธีการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ [11] สัญญาณภาพดิจิทัลจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แบนด์ย่อยสำหรับสัมประสิทธิ์การประมาณค่า (Approximation coefficients) ได้แก่ แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Details coefficients matrices ; cA) แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวนอน (Horizontal coefficients matrices ; cH) แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวตั้ง (Vertical coefficients matrices ; cV) และแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ตามแนวทแยง (Diagonal coefficients matrices ; cD) โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของข้อมูลจะอยู่ที่ cA และขนาดของภาพจะเหลือเพียง  $\frac{1}{2}$  ของขนาดภาพจริงในแต่ละส่วนของสัมประสิทธิ์การประมาณค่า ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

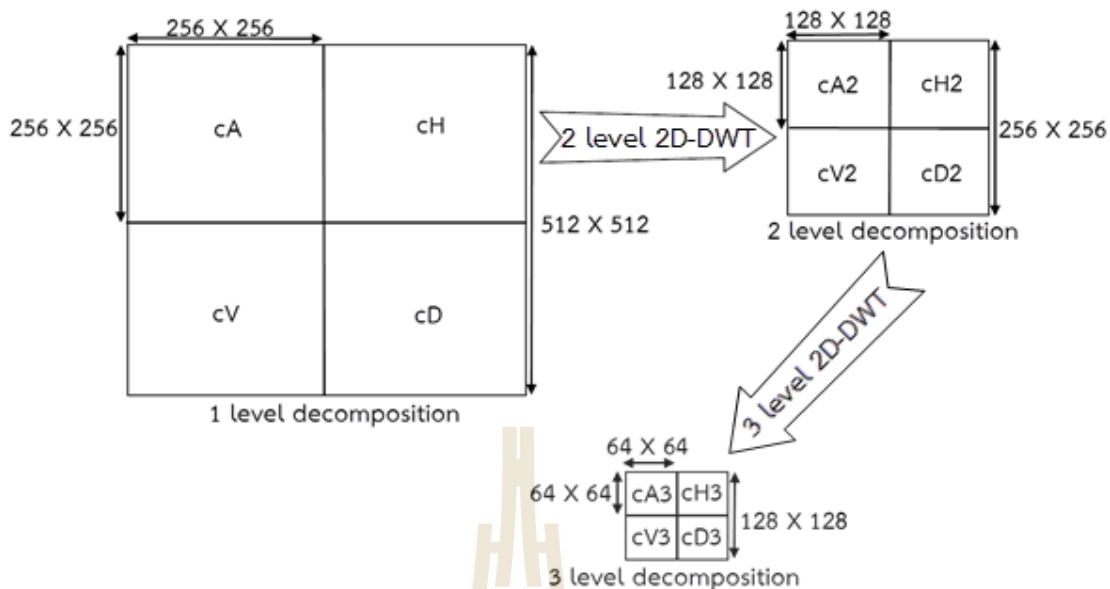
ขั้นแรกจะแสดงการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ 1 ระดับ (1 Level) โดยการแปลงจะนำภาพ  $I(x,y)$  โดยที่  $x$  คือแถวของสัญญาณภาพดิจิทัล และ  $y$  คือหลักของสัญญาณภาพดิจิทัลนำมาผ่านผ่านฟิลเตอร์แยกองค์ประกอบ (Decomposition Filter)  $h_0(n)$  และ  $h_1(n)$  ที่ข้างในฟิลเตอร์คือเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) ที่ถูกออกแบบไว้แล้ว ได้แก่ Haar Daubechies1 (Db1) และ Daubechies2 (Db2) เป็นต้น โดย  $h_0(n)$  จะเก็บรายละเอียดความถี่ต่ำ และ  $h_1(n)$  จะเก็บรายละเอียดความถี่สูงหลังจากผ่านฟิลเตอร์เหล่านี้แล้วข้อมูลจะถูกลดการสุ่มสัญญาณ (Sampling) ลง  $\frac{1}{2}$  เท่า โดยการเริ่มจากเอาข้อมูลแนวแถวผ่านฟิลเตอร์  $h_0(n)$  และ  $h_1(n)$  จากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บข้อมูล 1 คอลัมน์จาก 2 คอลัมน์และนำข้อมูลเอาต์พุตนี้ไปผ่านฟิลเตอร์  $h_0(n)$  และ  $h_1(n)$  อีกครั้งตามแนว

คอลัมน์ จากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บข้อมูล 1 แถวจาก 2 แถว จะได้สัมประสิทธิ์ในความถี่ต่ำ  $cA$  และ 3 สัมประสิทธิ์ในความถี่สูง  $cH$ ,  $cV$  และ  $cD$  รวมเป็น 4 แบนด์ย่อยดังรูปที่ 2.5



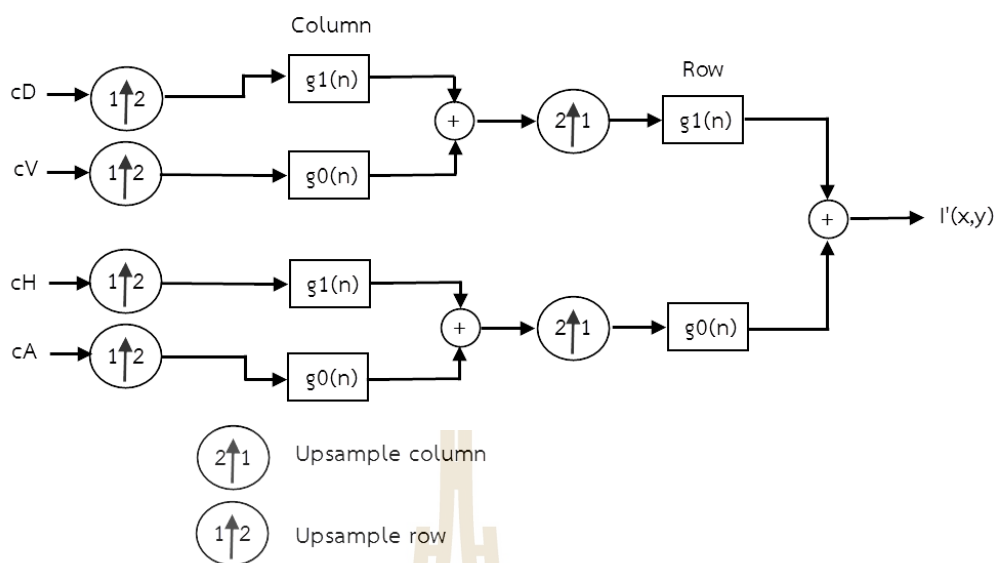
รูปที่ 2.5 การแปลงคิสกรีตเวฟเลตแบบ 2 มิติแบบฟิลเตอร์

การแปลงคิสกรีตเวฟเลตแบบ 2 มิติอาจทำการแปลงได้หลายระดับ (level) โดยต่อไปถ้ามีการอ้างถึงการแปลงคิสกรีตเวฟเลตระดับ 1 หรือ ระดับ 2 ผู้วิจัยจะใช้คำว่า 1 level หรือ 2 level ตามลำดับ โดยการแปลงหลายระดับมีหลักการแปลงตามข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยการจะนำมาแปลง level ถัดไปจะใช้ข้อมูลต้นฉบับเป็นแบนด์ย่อยที่มีความถี่ต่ำที่สุดนั่นคือ  $cA$  มาทำการแปลงในระดับถัดไป ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแปลงดิสกรีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ แบบหลายระดับ

จากนั้นสำหรับการแปลงกลับดิสกรีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D - Inverse Discrete Wavelet Transform ; 2D-IDWT) จะใช้ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงดิสกรีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-Discrete Wavelet Transform ; 2D-DWT) มาประกอบกัน โดยทั้ง 4 แบนด์ย่อยจะถูกเพิ่มข้อมูลเป็น 2 เท่าของแถว จากนั้นจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์สร้างกลับ (Reconstruction filter)  $g_0(n)$  และ  $g_1(n)$  และนำข้อมูลมาต่อกัน จากนั้นจะทำเช่นขั้นตอนแรกคือเพิ่มข้อมูลเป็น 2 เท่าของคอลัมน์และกรองด้วยฟิลเตอร์  $g_0(n)$  และ  $g_1(n)$  และนำข้อมูลมาต่อกันจึงจะได้เป็นภาพที่มีขนาดเท่าเดิม ตามรูปที่ 2.7



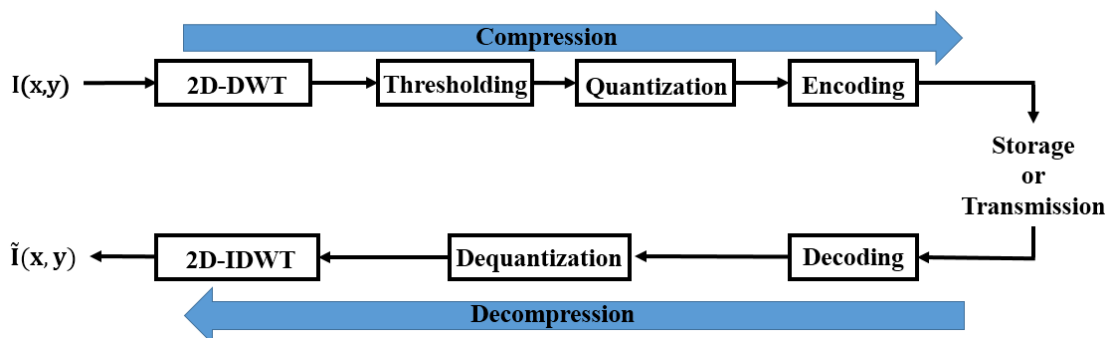
รูปที่ 2.7 การแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติแบบฟิลเตอร์

## 2.6 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (Image compression based on 2D – Discrete Wavelet Transform)

การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) เริ่มต้นด้วยการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ จากสัญญาณภาพดิจิทัลอินพุตที่ป้อนเข้ามา บ่อยครั้งหลังจากที่ทำการแปลงดิสครีตแบบ 2 มิติเสร็จสิ้นจะเข้าสู่วิธีการเตรียมข้อมูล (Preprocessing) เช่น การประมาณค่าทางสถิติ (Statistical estimation) การแบ่งส่วน (Segmentation) การถ่วงน้ำหนัก (Weighting) และการทำค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding) เป็นต้น ต่อจากนั้นข้อมูลจะถูกทำการจัดระดับสัญญาณ (Quantization) สุดท้ายข้อมูลจะถูกทำการเข้ารหัส (Encoding) สำหรับการบีบอัดด้วยอัลกอริทึมการบีบอัดต่างๆ

สำหรับการสร้างข้อมูลกลับก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับของการบีบอัดข้อมูลคือจะนำข้อมูลที่ถูกระเบียบข้อมูลแล้วมาทำการถอดรหัส (Decoding) สำหรับถอดรหัสการบีบอัดข้อมูลด้วยอัลกอริทึมต่างๆ จากนั้นทำการคลายการจัดระดับสัญญาณ (Dequantization) และขั้นตอนสุดท้ายคือการทำการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) เพื่อสร้างชุดสัญญาณภาพดิจิทัลที่สร้างจากข้อมูลที่ถูกระเบียบแล้วดังรูปที่ 2.8





รูปที่ 2.8 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนพื้นฐานการแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ

สำหรับการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับสัญญาณภาพดิจิทัลในเครื่องถ่ายภาพรูไรรายนั้นมียากมาย เช่น [1] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลของรูปภาพม่านตา [2] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติบนพื้นฐาน Fast fractal image coding [3] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติเพื่อบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครื่องถ่ายภาพรูไรราย [4] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG2000 [6] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ SPIHT [7] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ SPIHT บนพื้นฐานของ feed forward-feedback nonlinear dynamic filter [8] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ SPIHT แลพ EZW [9] มีการประยุกต์ใช้การแปลงคอสคริตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ SPIHT EZW และ JPEG2000 เป็นต้น

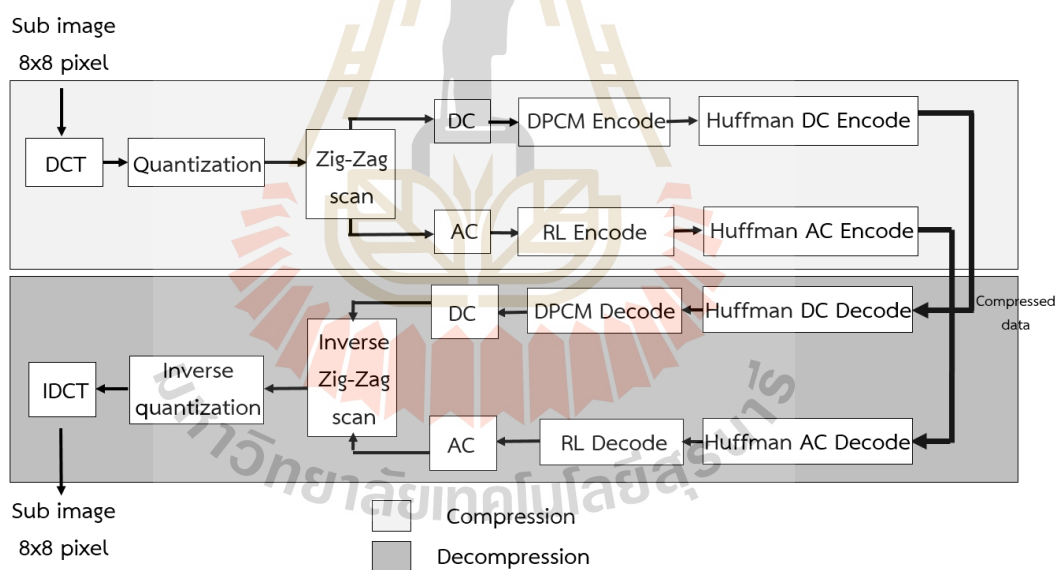
## 2.7 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG

### (Joint Photographic Experts Group)

การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG [11] ในส่วนของการบีบอัด (Compression) สัญญาณภาพดิจิทัลจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกย่อยๆ ที่มีขนาดเท่ากับ  $8 \times 8$  พิกเซล จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการทำการแปลงโดเมนของสัญญาณสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคคอสคริตโคไซน์ทรานฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) ต่อด้วยทำการคูณด้วยเมทริกซ์ควอนไทเซชัน (Quantization Matrix) มีขนาดเท่ากับบล็อกย่อยๆ ของรูปภาพคือ  $8 \times 8$  ที่สามารถปรับค่าระดับคุณภาพ

(Quality Factor) ได้จาก 1 – 100% ข้อมูลที่ถูกคูณด้วยเมทริกซ์ควอนไทเซชันจะถูกเรียงตัวใหม่ให้เป็นเวกเตอร์ 1x64 จากนั้นข้อมูลตัวแรกจะถูกแยกออกมาเรียกว่าข้อมูลดีซี (Direct Current ; DC) และจะถูกเข้ารหัสแบบดิฟเฟอเรนซ์เพอร์เวกัลสโค้ดมอดูเลชัน (Differential Pulse Code Modulation) ต่อด้วยการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลดีซี ส่วนที่เหลือคือข้อมูลตัวที่ 2 ถึง 64 นั้นจะถูกแยกมาเป็นกลุ่มที่ 2 เรียกว่าเอซี (Alternating Current ; AC) และจะถูกเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ (Run-Length) ต่อด้วยการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลเอซี ซึ่งเมื่อรวมข้อมูลที่ได้จากการทำฮัฟฟ์แมนสำหรับข้อมูลดีซีและเอซีเข้าด้วยกันก็จะได้สัญญาณภาพดิจิทัลที่ถูกทำการบีบอัดแบบเจพีค

สำหรับการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Decompression) จะเป็นกระบวนการทำย้อนกลับของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล ดังที่กล่าวมานี้กระบวนการทำงานของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG และกระบวนการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG มีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการทำงานของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG [5] มีการประยุกต์ใช้งานในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG สำหรับใช้งานกับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

## 2.8 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms; GA) เป็นวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากการวิวัฒนาการ หรือ การอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต เราจึงได้นำวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้แนวทางเดียวกัน มาช่วยหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบได้โดยง่ายด้วยการใช้วิธีการและกระบวนการทางพันธุศาสตร์เข้ามาช่วยในกระบวนการค้นหาคำตอบของปัญหา

### 2.8.1 องค์ประกอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

#### 2.8.1.1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซมคือปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ และในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของปัญหานั้นๆ เช่น

##### ตัวอย่างการเข้ารหัสโครโมโซม

การเข้ารหัสไบนารี (Binary Encoding) เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที้นำมาใช้แก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงทำให้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้เป็นเรื่องธรรมดาที่สุด ลักษณะของการเข้ารหัสไบนารีคือทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าเป็น 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) เป็นการกระทำครั้งแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 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 การสุ่มเลือกเพื่อสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรก หรือประชากรต้นกำเนิด จะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจาก กลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้เป็น พารามิเตอร์ (Parameter) ของอัลกอริทึม

### 2.8.1.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function) เป็นวิธีการสำหรับประเมินค่าความเหมาะสมเนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสของการเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) ก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function) ที่เป็นไปได้ของปัญหาโครโมโซมทุกตัวจะมีความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่าโครโมโซมตัวนั้นเหมาะสมหรือไม่ที่จะนำมาใช้สืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ เช่น กำหนดให้ค่าความเหมาะสม = จำนวนของบิต 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

A: 100011100 ดังนั้นโครโมโซม A มีความเหมาะสมเท่ากับ 4

### 2.8.1.4 การคัดเลือก (Selection)

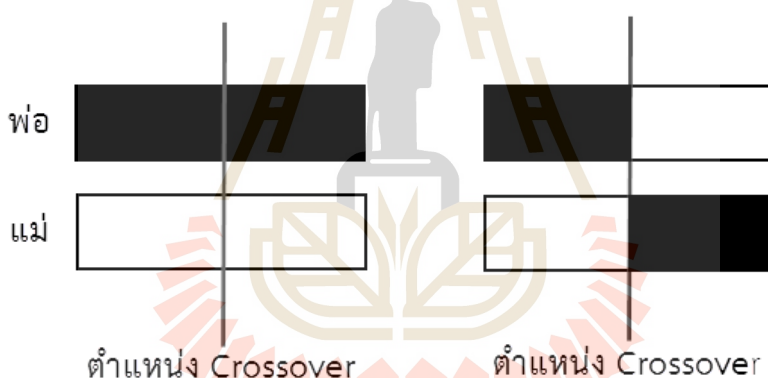
การคัดเลือก (Selection) เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น โดยคัดเลือกมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parents) ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรให้เกิดจากการคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของชาร์ล ดาร์วิน (Charles Darwin) จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ทำให้เกิดรูปแบบการคัดเลือกมากมายเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่น่าพอใจที่สุด เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อ (Roulette Wheel) การคัดเลือกแบบจัดลำดับ (Ranking) การคัดเลือกแบบการแข่งขัน (Tournament) และอื่นๆมากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด

### 2.8.1.5 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operator)

ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operator) ซึ่งเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลทุกขั้นตอนขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญมี 2 ส่วนดังนี้

### 2.8.1.5.1 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) เป็นกระบวนการที่สำคัญของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ซึ่งการข้ามสายพันธุ์ จะต้องอาศัยวิวัฒนาการเป็นเวลานาน จึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุดและขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์คือนำ 2 โครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parents) มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อและคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่และคัดลอกหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมา ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การข้ามสายพันธุ์

### 2.8.1.5.2 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ (Mutation) เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้น จะทำการสุ่มประชากรเปลี่ยนแปลงผลที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์หมายความว่ารุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้วจึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ต่อไป ซึ่งการกลายพันธุ์ทางพันธุศาสตร์ จะทำให้ได้ลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนในการกลายพันธุ์เมื่อได้ตำแหน่งการกลายพันธุ์แล้ว เปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นในตัวอย่างต่อไปนี้จะดำเนินการการกลายพันธุ์กับรูปแบบโครโมโซมแบบไบนารี โดยเราจะสุ่มเลือกบิตเพียงเล็กน้อยที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 ดังรูปที่ 2.11

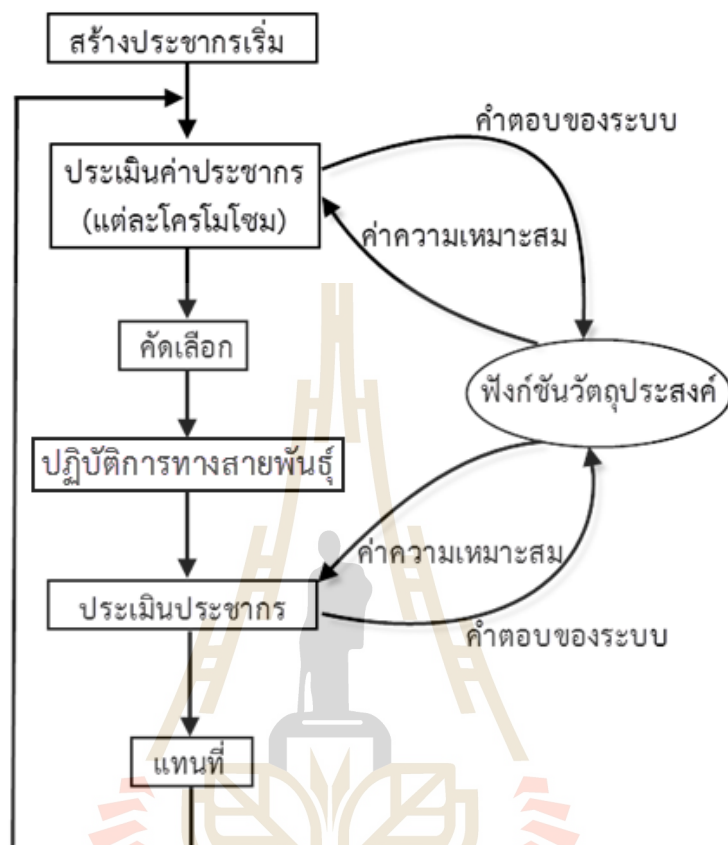
Offspring 1	1101111000011110
Offspring 2	1101100100110110
Mutated Offspring 1	1100111000011110
Mutated Offspring 2	1101101100110110

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% และจำนวนโครโมโซมที่ใช้ในการสร้างรุ่นถัดไปถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากจะทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประมวลผลได้ช้าลง

## 2.8.2 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนการทำงานค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในรูปที่ 2.12 มีดังนี้

- 1) สร้างกลุ่มประชากร (Initial population) โดยปกติจะใช้การสุ่ม (random)
- 2) ประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากร (Fitness function) ทั้งหมดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- 3) คำนวณหาค่าความเหมาะสมแล้วส่งกลับไปยังขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
- 4) ใช้ค่าความเหมาะสมทำการคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่ม (Genetic operator) เพื่อนำมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ ซึ่งจะถูกใช้เป็นตัวแทนในการถ่ายทอดสายพันธุ์ให้กับรุ่นถัดไป



5) นำต้นกำเนิดสายพันธุ์มาทำการสร้างลูกหลายด้วยปฏิบัติการทางสายพันธุ์โครโมโซมที่ได้ในขั้นตอนนี้ก็คือ โครโมโซมลูกหลาน

6) คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลานโดยใช้ขั้นตอนเดียวกับข้อ 3.

7) โครโมโซมในประชากรเดิมจะถูกแทนที่ (Parameter) ที่ด้วยลูกหลานที่ได้จากข้อ 5) ประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกแทนที่ ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่โดยใช้ค่าความเหมาะสมในการตัดสินใจ

8) เริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนในข้อที่ 2. ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการคำตอบที่ได้จากโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรนั่นเอง โดยที่สามารถใช้ค่าจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประเมินว่าคำตอบที่ได้เป็นที่ต้องการแล้วหรือไม่หรือถ้ายังไม่พบคำตอบแต่ครบจำนวนรอบที่ได้กำหนดไว้ ก็จะหยุดทำการค้นหา หรือ พบว่าคำตอบที่ได้เริ่มเข้าสู่คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เช่น คำตอบที่ได้จากประชากรแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคงที่เป็นจำนวนที่ติดต่อกัน

จากการศึกษาการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมในงานต่างๆ ได้ [15] โดยการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการทำงานร่วมกับการแปลงดิจิตอลเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

## 2.9 การวัดประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

### (Performance Measurement)

ในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบมีการสูญเสียประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต่างๆ มีเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่สามารถแบ่งออกเป็น 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

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

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))

ค่าคุณภาพสัญญาณเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัล หลังจากผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเทียบกับภาพต้นฉบับ หากค่า PSNR (dB) มีค่าสูงแสดงว่าสัญญาณภาพดิจิทัลหลังทำการบีบอัดมีความใกล้เคียงกับสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนทำการบีบอัดอย่างมาก ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.2

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

โดยที่  $MAX =$  ค่าสูงสุดของพิกเซลสำหรับสัญญาณภาพดิจิทัล โดยมีค่าเท่ากับ  $2^B-1$   
(B คือ จำนวนบิตต่อแชนเนล)

### 2.9.1.3 ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression ratio; CR)

ค่าอัตราการบีบอัดคืออัตราส่วนขนาดสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนการบีบอัด ต่อขนาดสัญญาณภาพดิจิทัลหลังการบีบอัด หาก CR มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าเกิดการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลจนมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนที่จะทำการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.3

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

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 โดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้ภาพในการวิจัยและผู้ใช้เครื่องมือในการถ่ายภาพที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้าม

## 2.10 บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้วิธีการเวฟเล็ต

ปีที่พิมพ์/ ลำดับอ้างอิง เอกสาร	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2015/ [1]	Paul A. Khan T.Z. Podder P. Ahmed R. Rahman M.M. Khan M.H.	ได้นำเสนอวิธีการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับภาพม่านตามมนุษย์โดยใช้อัลกอริทึมที่อยู่บนพื้นฐานการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลแบบเวฟเล็ต ได้แก่ วิธีการ Spatial- orientation tree wavelet (STW), Embedded Zero tree Wavelet ( EZW) และ Set Partitioning in hierarchical trees (SPIHT) โดยนำทั้ง 3 วิธีการมาทำการเปรียบเทียบด้วยค่า Peak signal to noise ratio (PSNR), Mean square Error (MSE), Bit per Pixel Ratio (BPP) และ Compression ratio (CR) โดยได้ค้นพบว่าวิธีการ Spatial- orientation tree wavelet (STW) เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาทำการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับภาพม่านตามมนุษย์
2014/ [2]	R. E. Chaudhari S. B. Dhok	การแปลง Wavelet บนพื้นฐานของ Fractal image coding ที่ได้เสนอการทำ FFT บนพื้นฐานของ Fractal image coding โดยใช้เทคนิค Fractal image coding และ Wavelet transform
2010/ [3]	Mohsen Nasri Abdelhamid Helali Halim Sghaier Hassen Maaref	ความสามารถในการปรับตัวเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของระบบโดยการลดการใช้พลังในการบีบอัดภาพโดยใช้เทคนิค Discrete Wavelet Transform (DWT) แบบ skipped high pass sub-bands (SHPS) และใช้หลักการกระจายการทำงานการบีบอัดไปแต่ละโหนด (distributed processing and compression)

ตารางที่ 2.2 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้วิธีการ JPEG

ปีที่พิมพ์/ ลำดับอ้างอิง เอกสาร	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2014/ [4]	Fahed Awad Eyad Taqieddin Moad Mowafi Omar Banimehem Amani AbuQdais	การสร้างโปรแกรมจำลอง ในการบีบอัดข้อมูลหลายรูปแบบที่ให้ความใกล้เคียงกับสถานะการทดลองจริง โดยใช้เทคนิค การบีบอัดแบบ JPAG และ JPAG2000 รูปแบบการสื่อสารแบบ CTP protocol และใช้รูปแบบเน็ตเวิร์คแบบ Castalia Network modules
2010/ [5]	Leila Makkaoui Vincent Lecuire Jean-Marie Moureaux	การบีบอัดข้อมูลแบบ DCT JPEG - like lossy ที่ละทิ้งความถี่สูงบนพื้นฐานของ Zonal Coding เพื่อลดสัมประสิทธิ์ของ DCT ในการคำนวณ การจัดระดับสัญญาณ และการเข้ารหัส เพื่อให้การใช้พลังงานลดลง โดยใช้เทคนิค Fast Zonal DCT JPEG – like lossy
2010/ [6]	Li Hongliang Chen Liping Zhang Ruirui	การลดการใช้พลังงานของระบบ โดยการลดความสัมพันธ์ของภาพ Reference กับภาพที่เก็บใหม่ โดยใช้ Different Algorithm และนำค่านี้ผ่าน Threshold แล้วจึงทำการส่งข้อมูลภาพออกไป โดยใช้เทคนิค program based on compression and difference transmission for image acquisition และการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG compression

ตารางที่ 2.3 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้วิธีการอื่นๆ

ปีที่พิมพ์/ ลำดับอ้างอิง เอกสาร	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2014/ [7]	Nicolae Botezatu Andrei Stan Florina Ungureanu	วิธีการใหม่สำหรับการบีบอัดข้อมูลสำหรับ WSN ด้าน Physiological measurement ที่ถูกเสนอด้วยการใช้ Walsh-Hadamard transform โดยใช้เทคนิค Walsh-Hadamard transform
2013/ [8]	Duc Minh Pham Syed Mahfuzul Aziz	นวัตกรรม protocol สำหรับ การ Compression ข้อมูลภาพ และการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ของการสื่อสารของภาพ ในเครือข่าย WSN โดยมีการเสนอการใช้ Hardware ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีอัตราการใช้พลังงานของ Hardware ที่ต่ำ
2011/ [9]	Fu Xiao Pan Zhang Li-juan Sun Jing Wang Ru-chuan Wang	การปรับอัตราการส่งข้อมูลตามขนาดภาพ โดยใช้เทคนิคการบีบอัดแบบ Set Partitioning in Hierarchical Trees (SPIHT) algorithm based on lifting wavelets for real-time images compression และรูปแบบการสื่อสาร TCP-friendly rate control (TFRC) adaptive Protocol
2010/ [10]	Pu Wang Rui Dai Ian F. Akyildiz	แนวคิดที่แตกต่างและหลักการใหม่ในการบีบอัดข้อมูลภาพในระบบ WSN โดยใช้เทคนิคที่เป็นเทคนิคใหม่ในกระบวนการ Image coding Algorithm ที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพ ประกอบด้วย entropy-based divergence measure (EDM) และ distributed multi-cluster coding protocol (DMCP)
2010/ [11]	Li Hengjian Wang Jizhi Wang Yinglong Tian Min Xu Shujiang	การนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพในการบีบอัดภาพและความปลอดภัย โดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสลับ random arithmetic coding (RAC) และฟิลเตอร์ feed forward-feedback nonlinear dynamic filter (FFNDF) และการบีบอัดข้อมูลแบบ set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) base on wavelet

ตารางที่ 2.3 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้วิธีการอื่นๆ (ต่อ)

ปีที่พิมพ์/ ลำดับอ้างอิง เอกสาร	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010/ [12]	Vinh Tran-Quang* Phat Nguyen Huu* Takumi Miyoshit	การใช้ความสามารถในการร่วมมือในการบีบอัดข้อมูลภาพที่จะทำการกระจายการคำนวณในเส้นทางระหว่างต้นทางถึงปลายทาง โดยใช้เทคนิค assignment algorithm for in-routing image compression (ARIC)
2009/ [13]	Wai Chong Chia Li-Minn Ang Kah Phooi Seng	การเชื่อมภาพจาก Sensor node ใกล้เคียงให้เป็นรูปเดียวแล้วส่งออกไป จากแทนที่จะส่งข้อมูลทุกรูปจาก Sensor node ใกล้เคียง โดยใช้เทคนิค Image stitching และการบีบอัดแบบ SPIHT coding base on wavelet transform
2008/ [14]	Li Wern Chew Li-Minn Ang Kah Phooi Seng	การบีบอัดภาพที่นิยมใช้ใน WSN จำนวน 8 อัลกอริทึม โดยใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูล 1.) Discrete cosine transform based image compression 2.) Embedded zerotree wavelet-based image coding 3.) Set-partitioning in hierarchical trees image coding 4.) Embedded block coding with optimized truncation 5.) ramidal/multiresolution coding 6.) Directional ecomposition based coding 7.) Segmentation based coding 8.) Vector quantization



ตารางที่ 2.4 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้ประยุกต์ใช้  
ปัญหาประติษฐ์สำหรับวิธีการเวฟเล็ต

ปีที่พิมพ์/ ลำดับอ้างอิง เอกสาร	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2014/ [15]	Wu Ming-Sheng	การนำเอาปัญหาประติษฐ์จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) มาประยุกต์ใช้กับการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform: DWT) ในการลดการใช้เวลาในการคำนวณของ fractal encoder สำหรับการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลด้วยการนำเอาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาทำ fitness Dihedral block หลังจากนั้นจะนำเอาสัมประสิทธิ์เข้าไปใน GA เพื่อให้ GA ทำการสร้างความเร็วให้เพิ่มขึ้นโดยที่คุณภาพของข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลยังมีคุณภาพที่ดี

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1

#### การจำลองผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

##### 3.1 บทนำ

เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมีขีดจำกัดในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูล หน่วยความจำและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการออกแบบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณ ภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจึงต้องเน้นว่าเป็นอัลกอริทึมที่ให้คุณภาพของการบีบอัด สัญญาณที่ดีและมีความซับซ้อนน้อย เพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วและประหยัดพลังงาน ในบทที่ 3 จะนำเสนอการดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานอัลกอริทึมทั้งหมด 4 อัลกอริทึม โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองการทำงานและเก็บผลลัพธ์การทำงาน โดยอัลกอริทึมทั้ง 4 อัลกอริทึม ได้แก่

อัลกอริทึมที่ 1 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

อัลกอริทึมที่ 2 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยแบ่งการแปลงดิสคริต เวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1 Level 2D-DWT SHPS และ 2 Level 2D-DWT SHPS

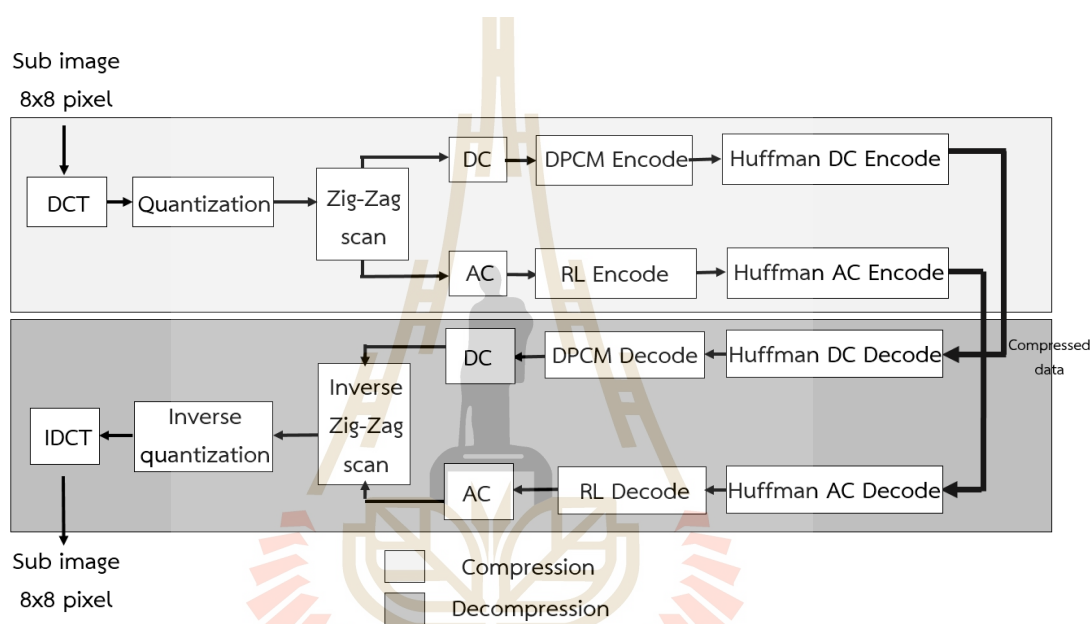
อัลกอริทึมที่ 3 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands (2D-DWT AVG) โดยแบ่งการแปลงดิสคริต เวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1 Level 2D-DWT AVG และ 2 Level 2D-DWT AVG

อัลกอริทึมที่ 4 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands (2D-DWT AIO) โดยแบ่งการแปลง ดิสคริตเวฟเล็ตเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1 Level 2D-DWT AIO และ 2 Level 2D-DWT AIO

## 3.2 อัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่ได้ศึกษา

### 3.2.1 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

ในการออกแบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG ได้ศึกษาการทำงานของอัลกอริทึมแบบ JPEG ในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Compression) และการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (Decompression) โดยมีการทำงานดังรูปที่ 3.1



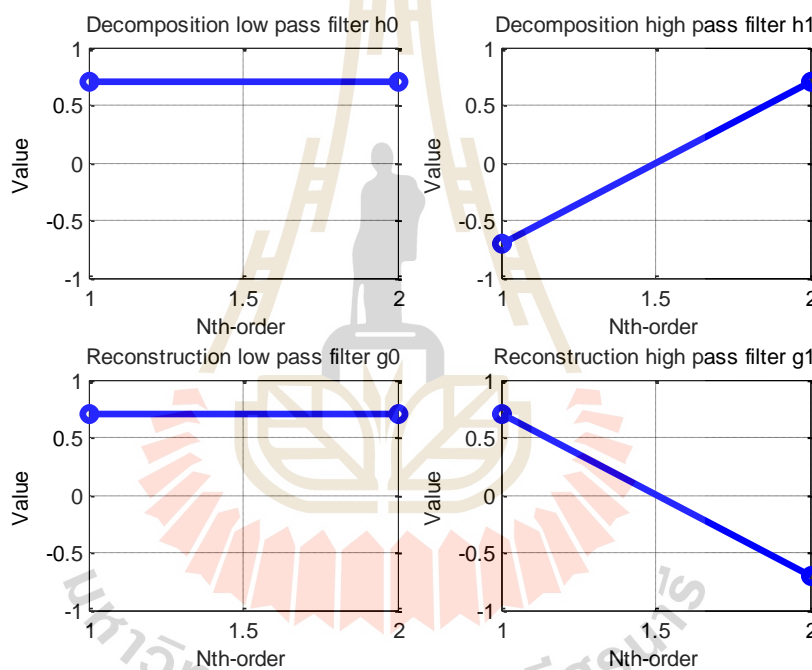
รูปที่ 3.1 การทำงานของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล JPEG

โดยการทำงานสำหรับบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG นั้น สามารถกำหนดอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล (CR) ได้โดยเปลี่ยนค่าคุณภาพสัญญาณ (Quality factor ; QF) ของเมทริกซ์ควอนไทเซชัน (Quantization Matrix) ในขั้นตอนหลังจากทำดิคริตโคไซน์ทรานฟอร์ม (DCT)

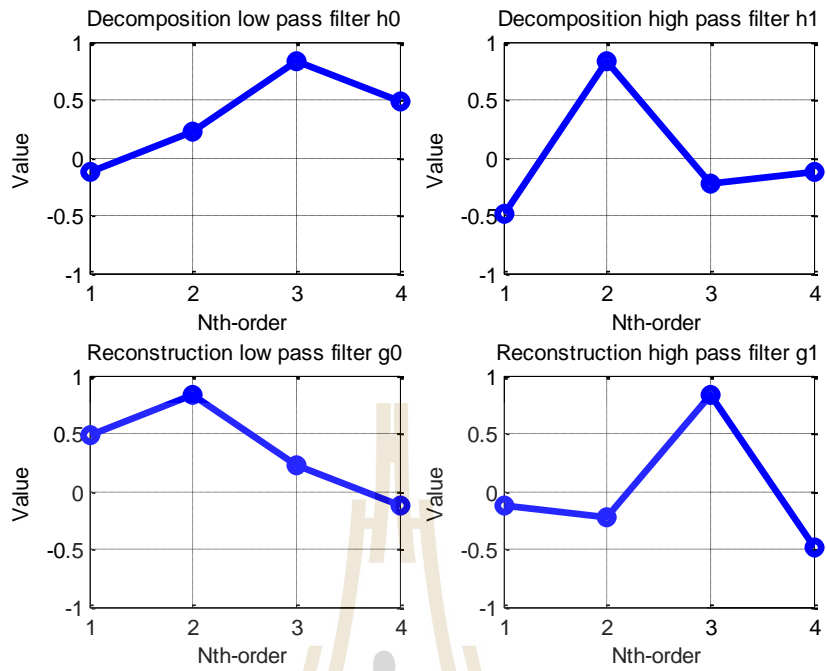
### 3.2.2 การทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ (2D Discrete Wavelet Transform; 2D-DWT)

#### 3.2.2.1 เวฟเลตแม่ที่ใช้ในการทดสอบ (Mother Wavelet)

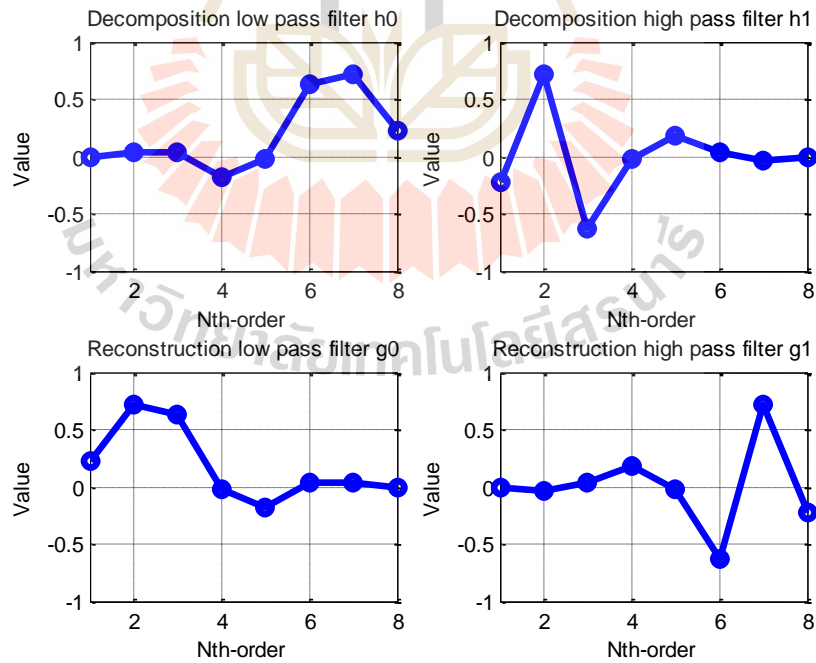
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) 13 ตระกูล (Family) ในการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) สำหรับอัลกอริทึมที่ 2 ถึงอัลกอริทึมที่ 4 ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และ อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยมีเวฟเลตแม่ที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.14



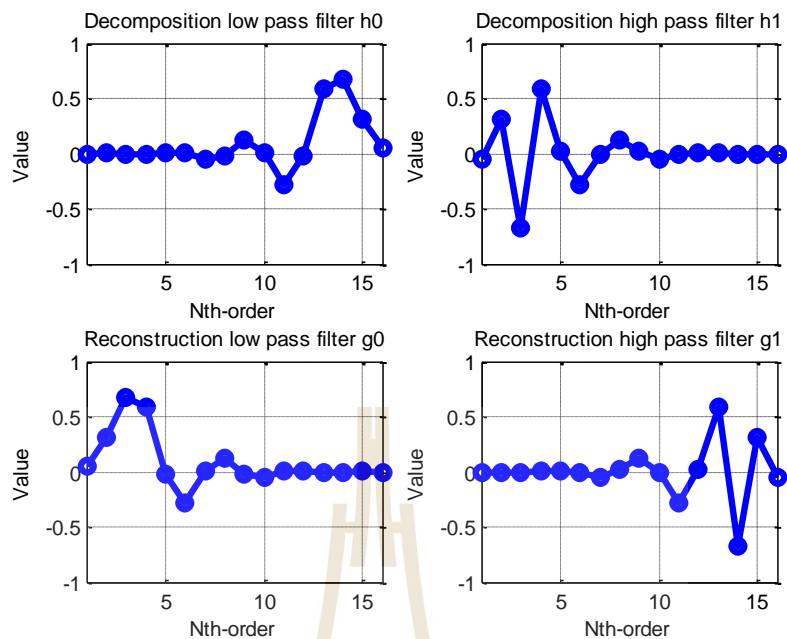
รูปที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเลตแม่ Haar (Haar)



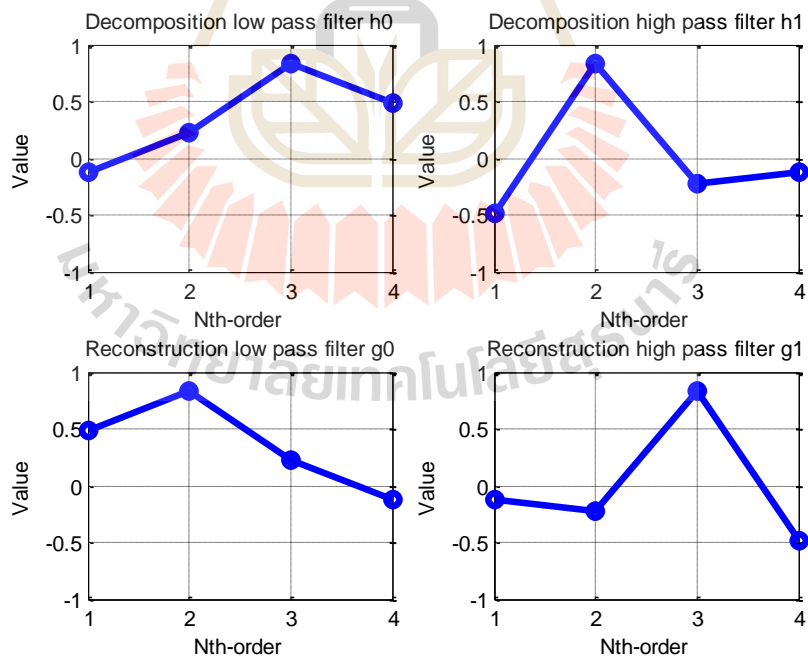
รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 2 (Db2)



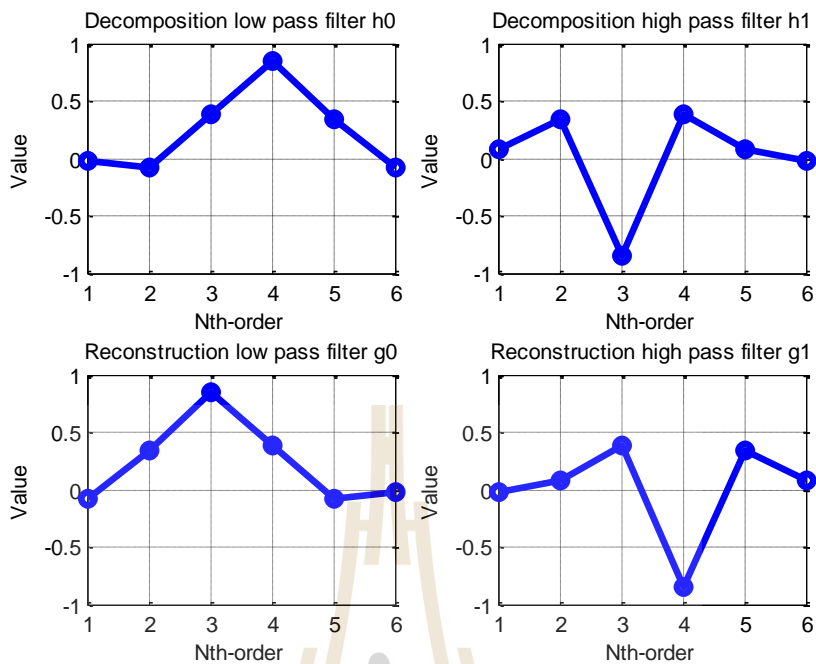
รูปที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 4 (Db4)



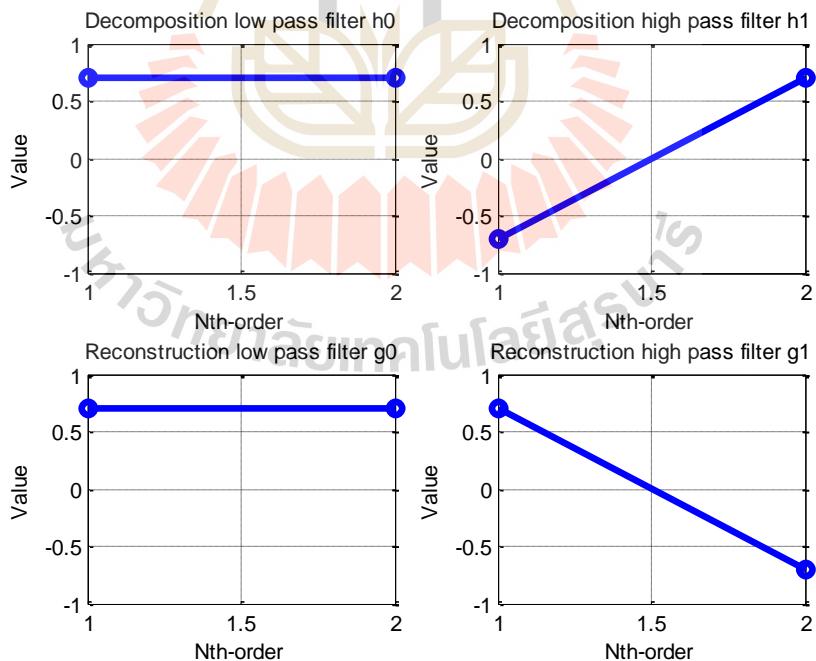
รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Daubechies 8 (Db8)



รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Symlets 2 (Sym2)

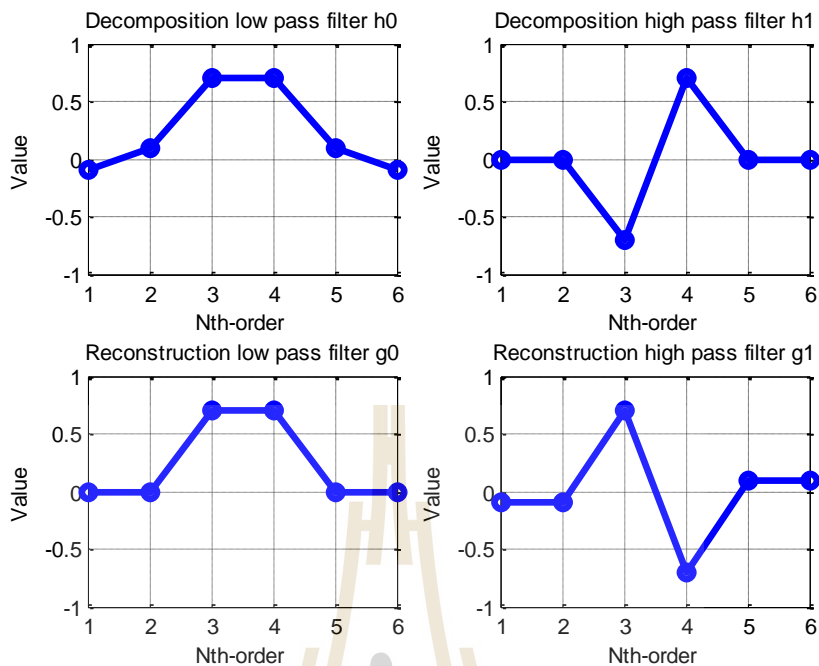


รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Coiflets 1 (Coif1)

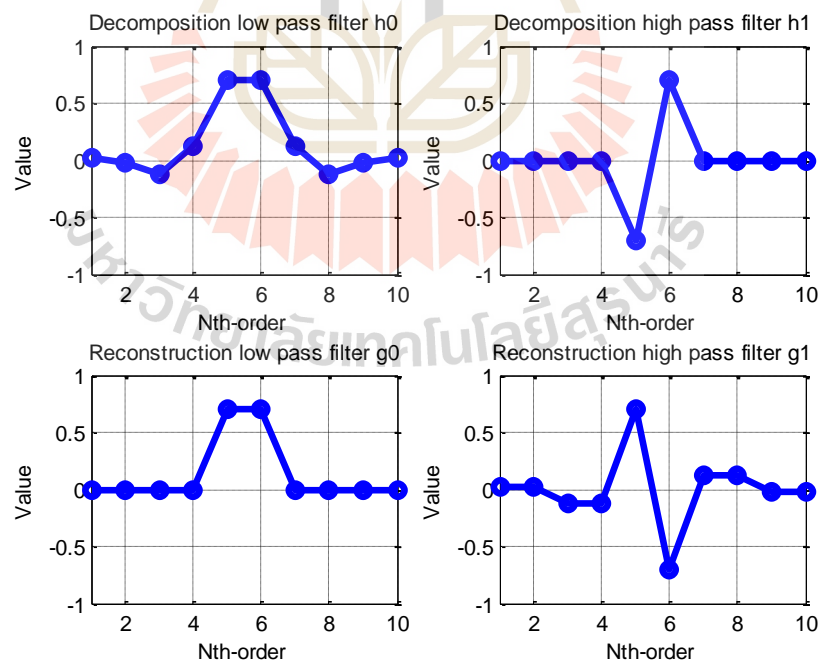


รูปที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.1 (Bior1.1)

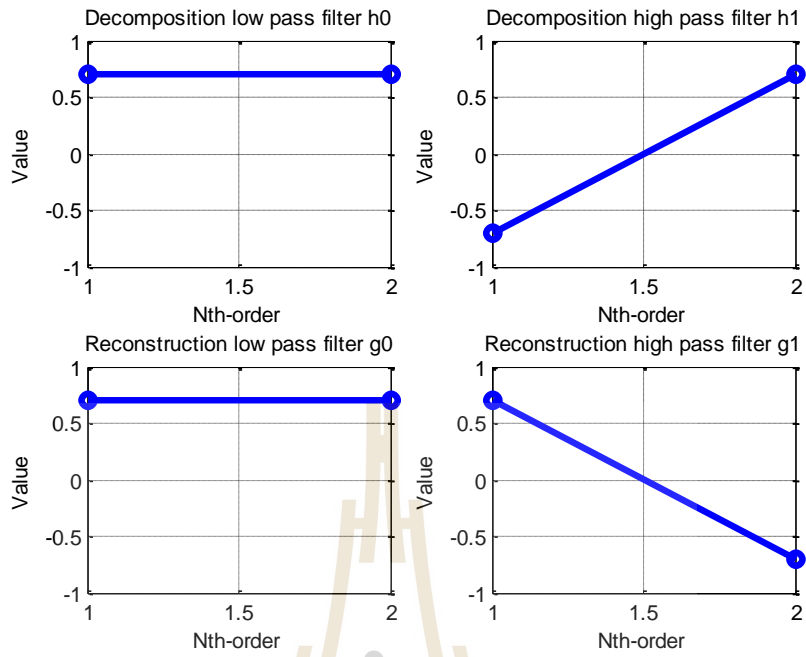




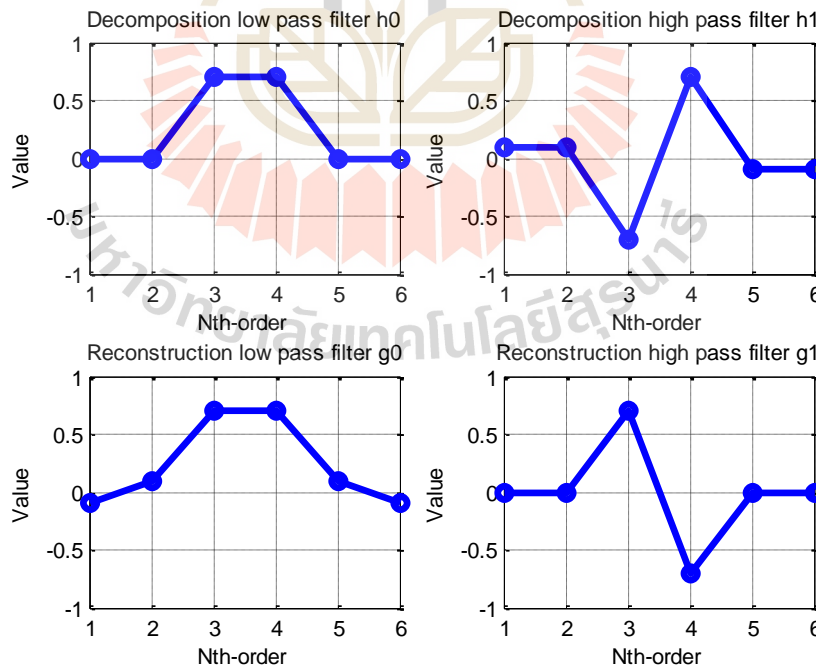
รูปที่ 3.9 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.3 (Bior1.3)



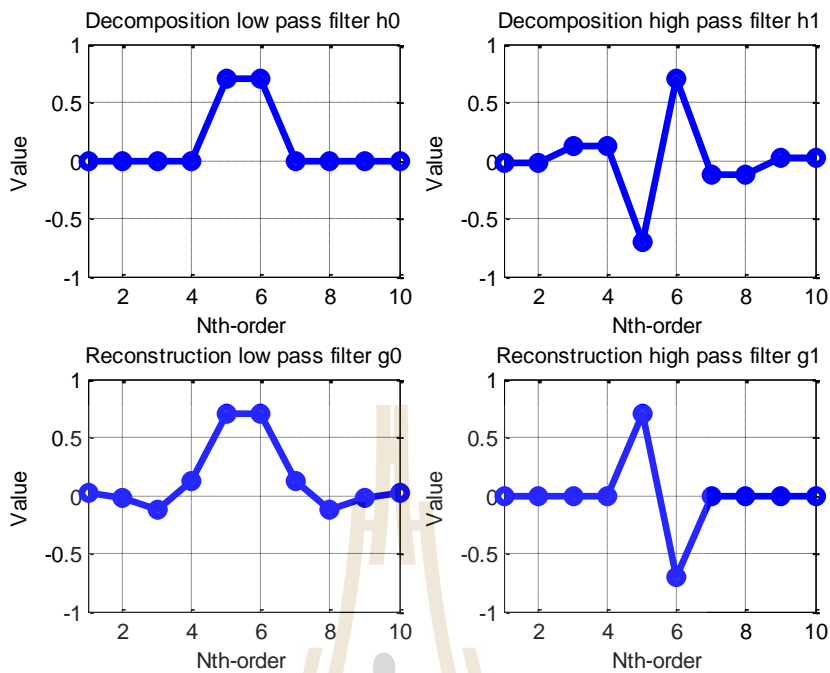
รูปที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Biorthogonal 1.5 (Bior1.5)



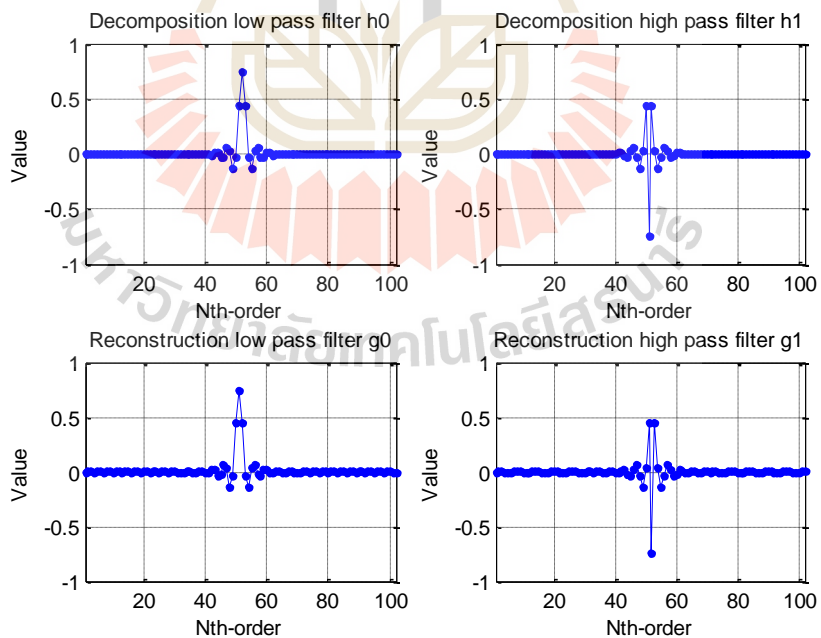
รูปที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ของเวฟเล็ตแม่ Reverse Biorthogonal 1.1 (Rbio1.1)



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)

### 3.2.2.2 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ

#### 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS)

##### - 1 level 2D- DWT SHPS

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพดิจิทัลที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D-DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง Size 1lv รวมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแบนด์ย่อย cA ลงในตัวแปร max\_cA สำหรับค่าสูงสุด และ min\_cA สำหรับค่าต่ำสุด เพื่อที่จะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการจัดระดับสัญญาณ (Quatization) ทั้งฝั่งการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

หลังจากนั้นจะทำการใช้แบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ซึ่งครอบคลุมความถี่ต่ำ 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 ทำการสร้างตารางจัดระดับสัญญาณโดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็นข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็น การเข้ารหัสการบีบอัดที่ง่ายและ ไม่ซับซ้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกรหัสจะถูกรวมเข้ากับข้อมูล Size\_I(x,y) Size\_1lv Size\_2lv max\_cA min\_cA max\_cA2 และ min\_cA2 (ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ที่ฝั่งการคลายการบีบอัด (Decompression) เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลกลับคืนมา)

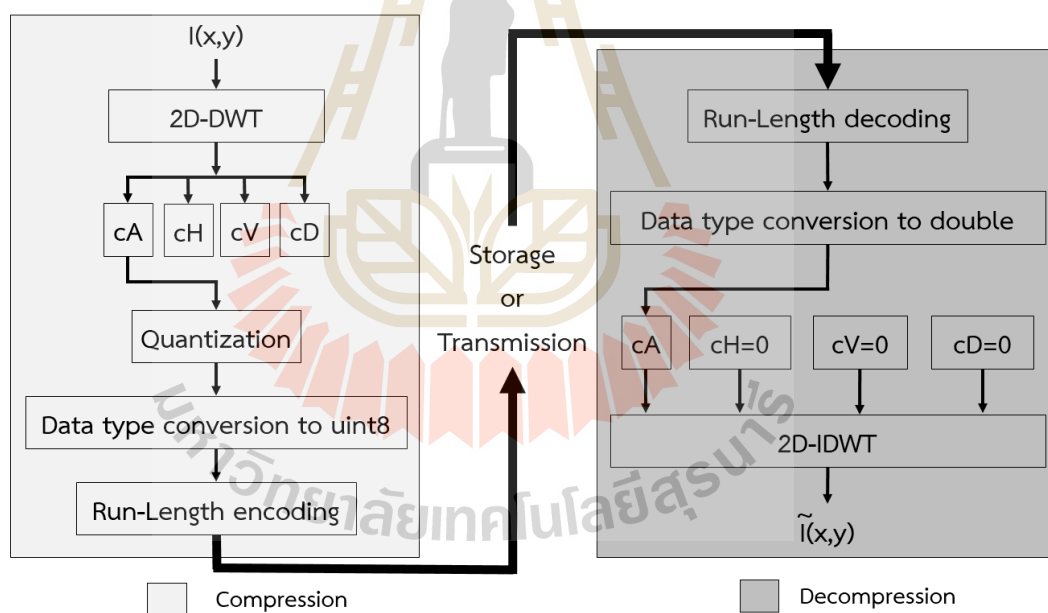
สำหรับขั้นตอนการคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกรหัสแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิดดับเบิล และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะสร้างองค์ประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อยนั่นคือ cH cV และ cD ที่มี

ขนาดเท่ากับ  $c_A$  ที่ด้านภาพรับข้อมูลโดยการแทนค่าทุกค่าด้วยค่าในแบนด์ย่อยนั้นให้มีค่าเท่ากับ 0 แล้วเข้าสู่กระบวนการ 2D-IDWT เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลนั้นขึ้นมา

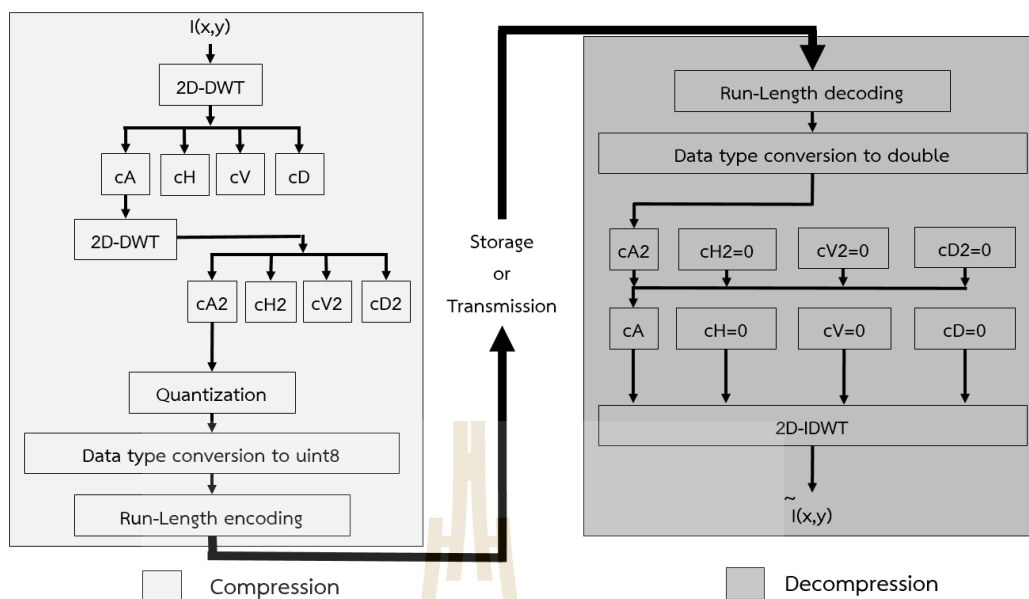
### - 2 level 2D- DWT SHPS

สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล จะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ นั้น จะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้น ขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 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 และรูปที่ 3.16 สำหรับ 2 level 2D- DWT SHPS



รูปที่ 3.15 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 1 level (2D-DWT SHPS)



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

### 3.2.2.3 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands (2D-DWT AVG) - 1 level 2D-DWT AVG

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพดิจิทัลที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D-DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง 1 level ในตัวแปรชื่อ Size 1lv รวมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละแบนด์ย่อยลงในตัวแปร 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 (Quantization) ทั้งฝั่งการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression)

หลังจากขั้นตอนนี้จะนำเอารังประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อยนั้นคือ cH cV และ cD ของ 1 level มาทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลของแต่ละแบนด์ย่อย cH cV และ cD (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 ในตอนแรกข้อมูลจะถูกจัดระดับข้อมูลใหม่เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลโดยการใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณ โดยกำหนดขนาดระดับสัญญาณ (Step size) เท่ากับ (เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์) หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดระดับอีกครั้งโดยการนำเอาค่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณ โดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้เป็นข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็นการเข้ารหัสการบีบอัดที่ง่ายและไม่นับย้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกรหัสจะถูกรวมเข้ากับข้อมูล 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) เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลกลับคืนมา)

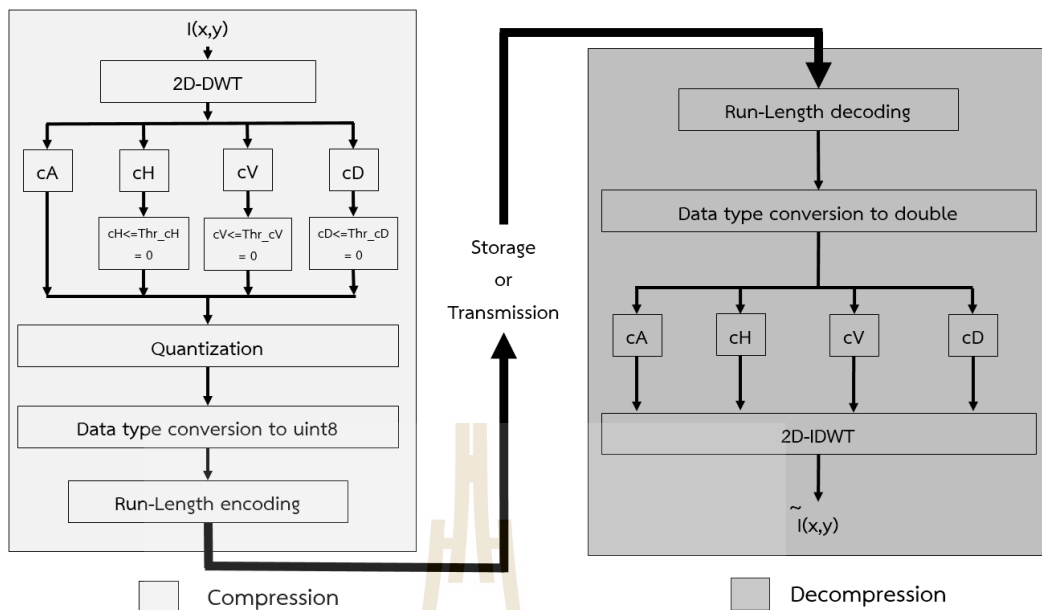
สำหรับขั้นตอนคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกรหัสแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิด double และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะทำการแยก cA cH cV และ cD เพื่อสร้างภาพที่ผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลนั้นขึ้นมา

#### 2 level 2D- DWT AVG

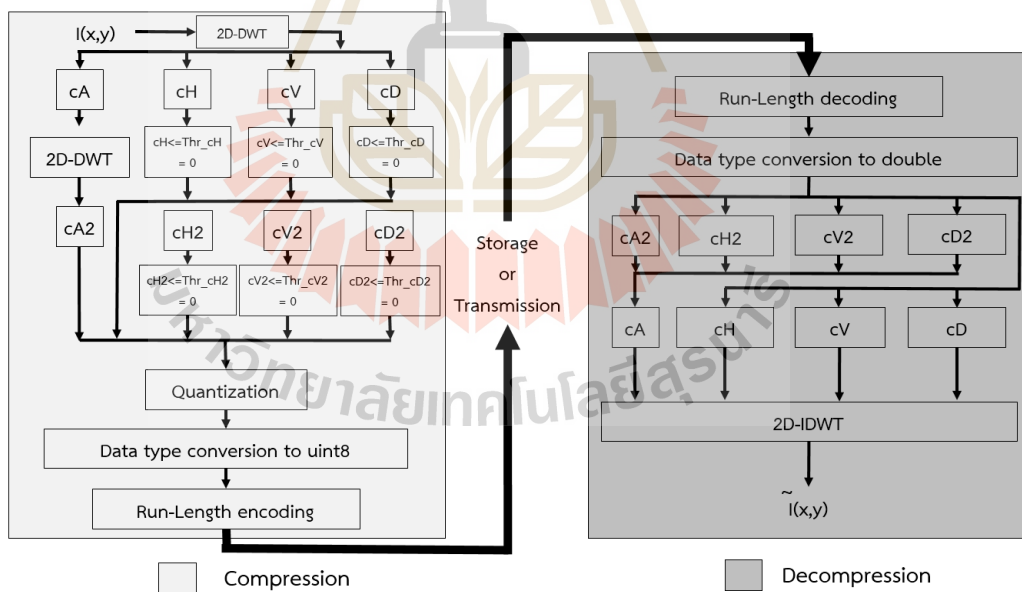
สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล จะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ นั้น จะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้นขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Average High Pass Sub-bands ทั้งแบบ 1 level 2D- DWT AVG และ 2 level 2D- DWT AVG มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.17 สำหรับ 1 level 2D- DWT AVG และรูปที่ 3.18 สำหรับ 2 level 2D- DWT AVG





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



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

### 3.2.2.4 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ

#### 2 มิติ โดยใช้เทคนิค AI Optimum High Pass Sub-bands (2D-DWT AIO)

##### - 1 level 2D- DWT AIO

การแปลง 1 ระดับจะทำการนำสัญญาณภาพดิจิทัลที่ต้องการบีบอัดมาทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ที่ระดับการแปลงสัญญาณ 1 ระดับ (1 level 2D-DWT) จะมีการเก็บขนาดของภาพต้นฉบับไว้ในตัวแปรชื่อ Size I(x,y) และเก็บขนาดข้อมูลหลังการแปลง 1 level ในตัวแปรชื่อ Size 1lv รวมถึงเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยลงในตัวแปร 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)

หลังจากขั้นตอนนี้จะนำเอองค์ประกอบทางด้านความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อย นั่นคือ cH cV และ cD มาทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) (เพราะองค์ประกอบของภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่ cA) การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) จะประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (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 ตามลำดับ จะให้มีค่าเท่ากับ 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 ค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

PSNR (dB) คือ ค่าวัดคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังจากผ่านการบีบอัด

หลักการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาค่าผลลัพธ์ที่คาดหวัง (Expected) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่ามากที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนักของค่าอัตราการ

บีบอัดข้อมูลและค่าคุณภาพสัญญาณ ที่เท่ากัน ซึ่งหมายความว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะค้นหาค่าที่ให้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ไม่มากจนเกินไปจนทำให้ค่าคุณภาพสัญญาณมีค่าน้อยมากหรือหาค่าที่ให้ค่าคุณภาพสัญญาณที่ไม่มากจนเกินไปจนทำให้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลมีค่าน้อย ซึ่งก็คือขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพสัญญาณที่เหมาะสมหรือหาค่าคุณภาพสัญญาณที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม

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 ในตอนแรกข้อมูลจะถูกจัดระดับข้อมูลใหม่เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลโดยการใส่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณ โดยกำหนดขนาดระดับสัญญาณ (Step size) เท่ากับ 25 (เพื่อให้เกิดการซ้ำกันของข้อมูลซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์) หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดระดับอีกครั้งโดยการนำเอาค่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกแบนด์ย่อยทำการสร้างตารางการจัดระดับสัญญาณ โดยกำหนดให้มีระดับการจัดระดับทั้งหมด 256 ระดับมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็ข้อมูล Uint8 ส่วนขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบรันเรนจ์ที่เป็นการเข้ารหัสการบีบอัดที่ง่ายและไม่นับซ้อนมาทำการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสจะถูกรวมเข้ากับข้อมูล 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) เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลกลับคืนมา)

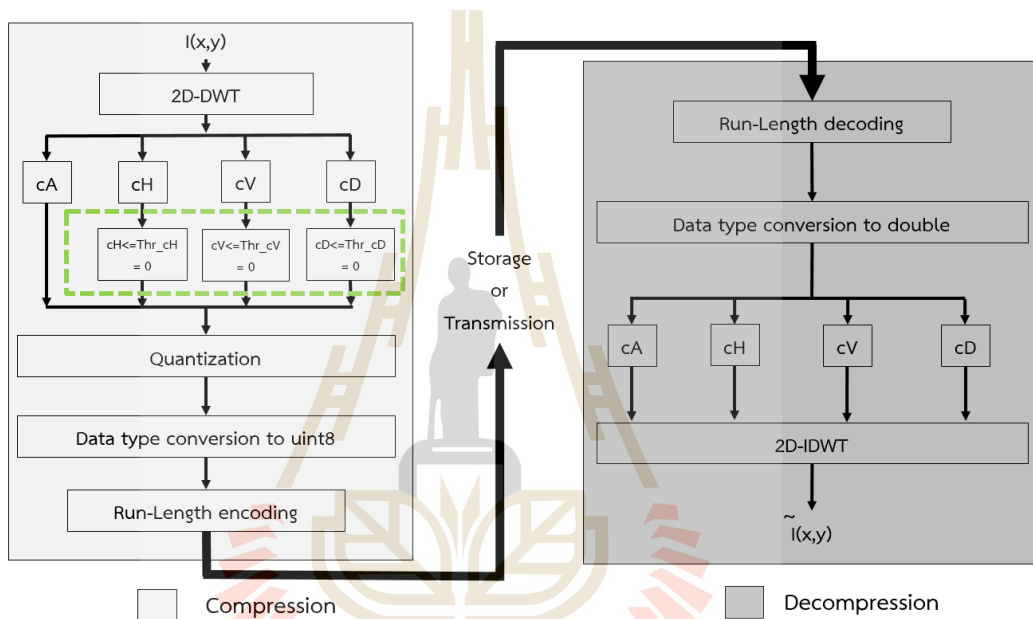
สำหรับขั้นตอนคลายการบีบอัดต้องใช้ข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วมาทำการถอดรหัสข้อมูลแบบรันเรนจ์ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนชนิดข้อมูลกลับเป็นชนิด double และขั้นตอนสุดท้ายสำหรับขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ (2D-IDWT) จะทำการแยก cA cH cV และ cD เพื่อสร้างภาพที่ผ่านการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลนั้นขึ้นมา

#### - 2 level 2D- DWT AIO

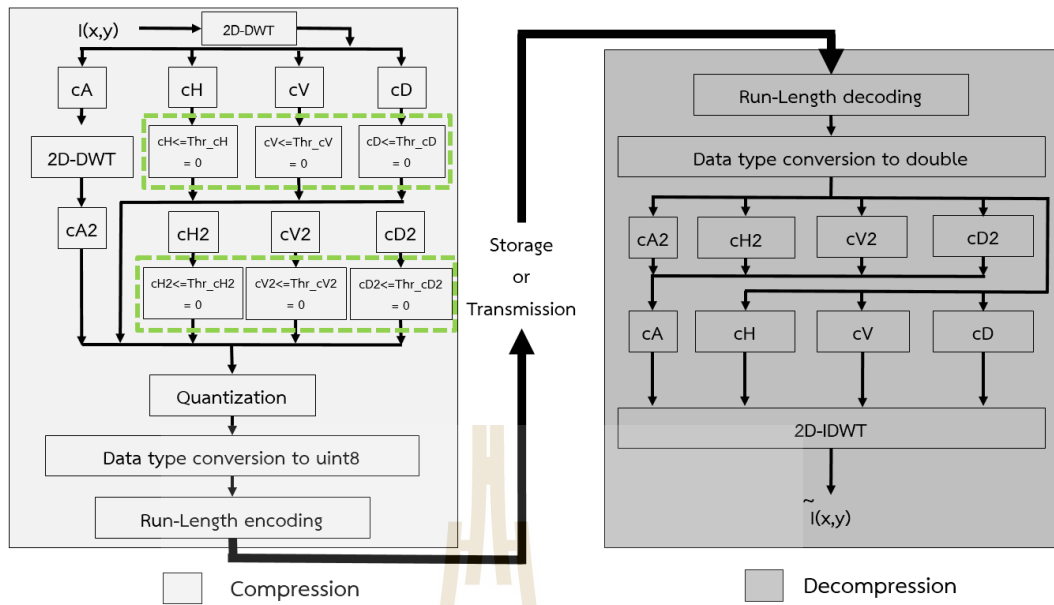
สำหรับการแปลงแบบ 2 ระดับในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลจะเหมือนกับการแปลง 1 ระดับสัญญาณเพียงแต่ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ดแบบ 2 มิตินั้น

จะทำการแปลง 2 ระดับ และในขั้นตอนการคลายการบีบอัดก็จะเหมือนการแปลง 1 ระดับยกเว้นขั้นตอนการแปลงกลับดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ ก็จะทำการแปลงแบบ 2 ระดับ

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเลตแบบ 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 และรูปที่ 3.20 สำหรับ 2 level 2D- DWT AIO



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



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



### 3.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

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

#### 3.3.1 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบสูญเสีย (Lossy compression) ไม่สามารถสรุปประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลได้จากค่า CR แต่ต้องพิจารณาถึงความสูญเสียในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลจากการทำการบีบอัดข้อมูลด้วยว่าเป็นค่า PSNR (dB) เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูลดังต่อไปนี้

##### 1. การวัดเชิงปริมาณ

- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR (dB)) คือ ค่าคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

- Compression Ratio (CR) คือ ค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

##### 2. การวัดเชิงคุณภาพ

ใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพดิจิทัล

ตารางที่ 3.1 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล 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 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า QF จะส่งผลให้ค่า CR มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่า PSNR (dB) มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 3.2 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล 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 เช่นเดียวกับผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้ อัลกอริทึมที่ 1 JPEG ภาพ Lena เมื่อทำการเพิ่มค่า QF จะส่งผลให้ค่า CR มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่า PSNR (dB) มีค่าสูงขึ้นแต่ค่า CR และ PSNR (dB) ของภาพ Lena มีค่ามากกว่าภาพ Baboon



ตารางที่ 3.3 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

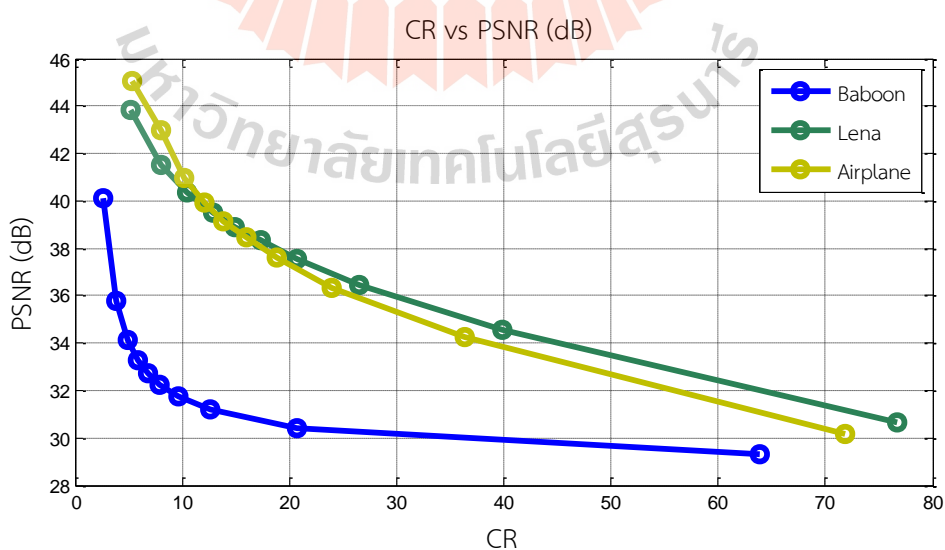
ค่าระดับคุณภาพ ( QF (%) )	ประสิทธิภาพ	
	PSNR (dB)	CR
1	30.19	71.82
10	34.27	36.32
20	36.30	23.97
30	37.61	18.80
40	38.47	15.92
50	39.16	13.88
60	39.94	12.12
70	40.94	10.12
80	40.98	7.97
90	45.07	5.29

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

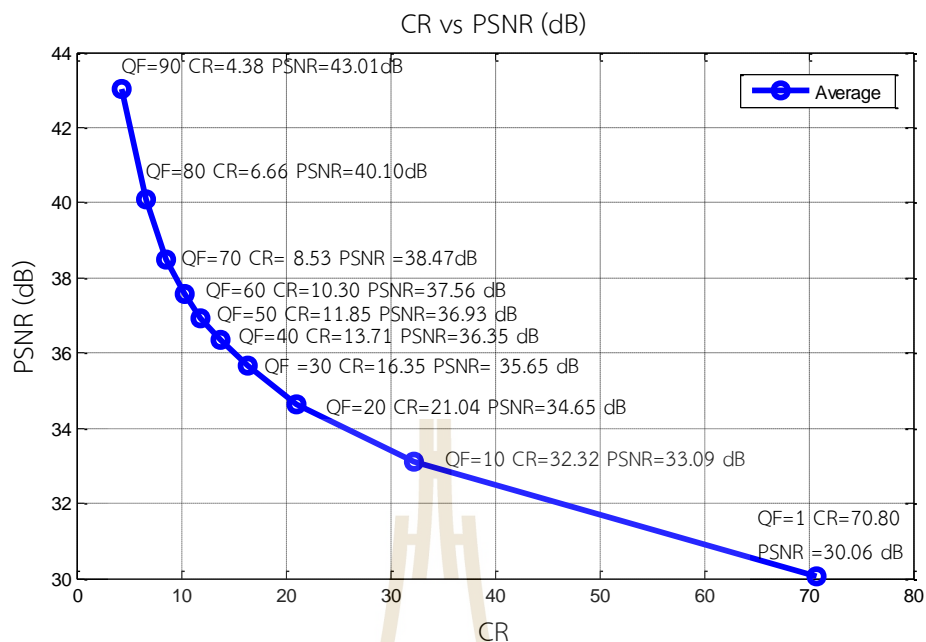
ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG)

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

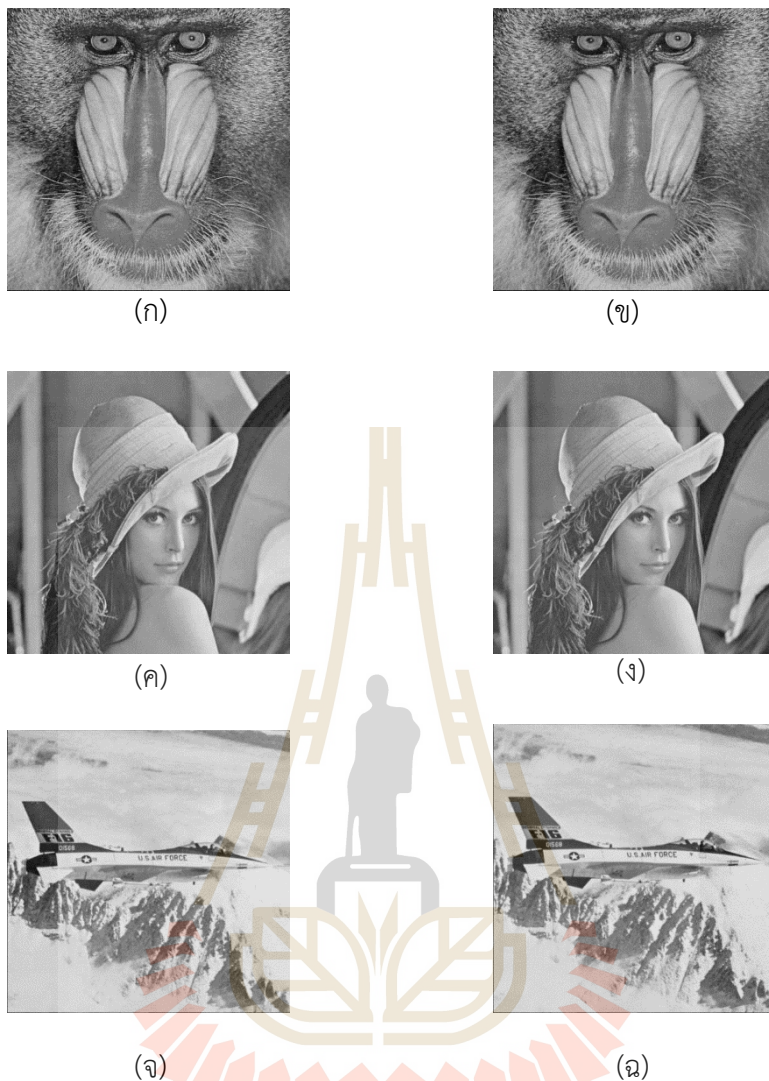


รูปที่ 3.21 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG



รูปที่ 3.22 ค่าเฉลี่ยผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 ภาพใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG สำหรับรูปภาพ Lena และ Airplane จะให้ผลลัพธ์การบีบอัดข้อมูลทั้งในด้าน CR และ PSNR (dB) ที่ดีกว่าภาพ Baboon ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าค่าผลลัพธ์การบีบอัดข้อมูล CR และ PSNR (dB) สำหรับการบีบอัดข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG จะขึ้นอยู่กับสัญญาณภาพดิจิทัลที่ได้รับเข้ามาทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในรูปที่ 3.33 ได้นำค่าผลลัพธ์การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 ภาพได้แก่ภาพ Baboon Lena และ Airplane มาทำการหาค่าเฉลี่ยทั้งในด้านของ CR และ PSNR (dB) เพื่อจะใช้เป็นค่าเฉลี่ยกลางสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG



รูปที่ 3.23 ภาพผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 JPEG

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

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

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

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

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

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

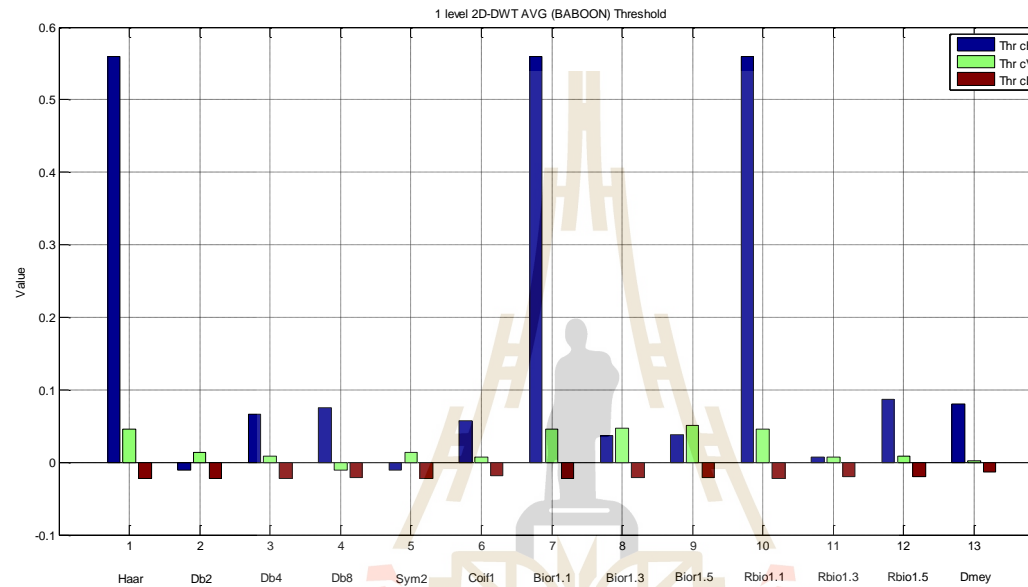
### 3.3.2 ผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟ เล็ดแบบ 2 มิติ (2D-DWT) อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอริทึมที่ 3 และอัลกอริทึมที่ 4

สำหรับภาพการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 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 ในแต่ละเวฟเล็ดแม่

เวฟเล็ดแม่	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 โดยใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ด 1 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cV ของแต่ละเวฟเล็ดแม่นั้นมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์มาก



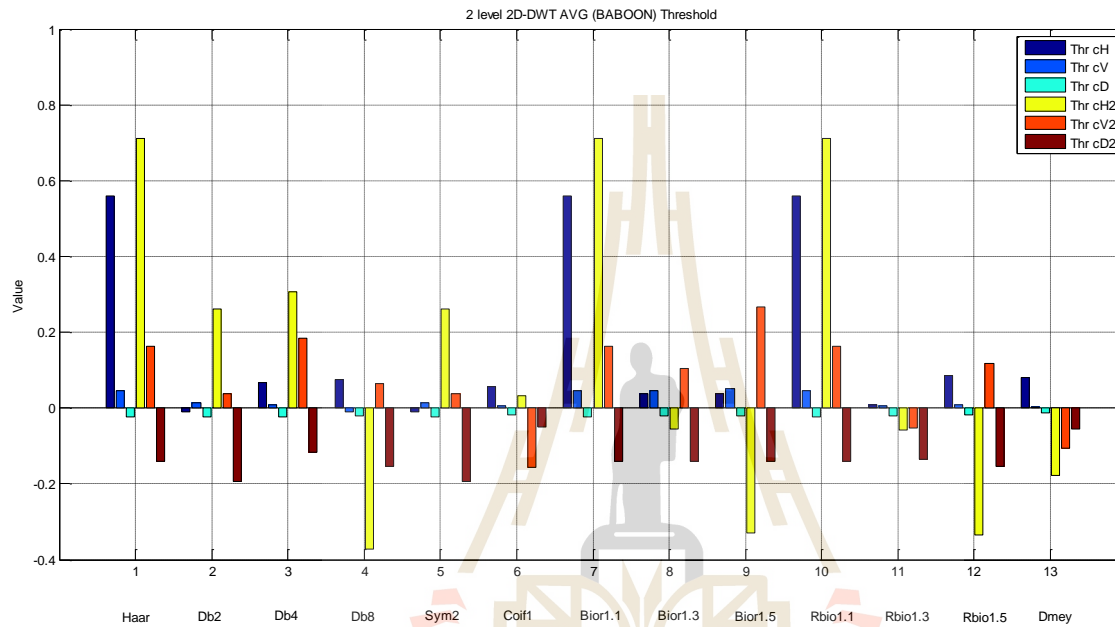
รูปที่ 3.24 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเลตแม่

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 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเลตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเลตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 ซึ่งเวฟเลตแม่ทั้ง 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 โดยใช้การแปลง  
ดิสครีตเวฟเล็ต 2 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV  
และ Thr\_cV สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่  
นั้นยังคงมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์



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

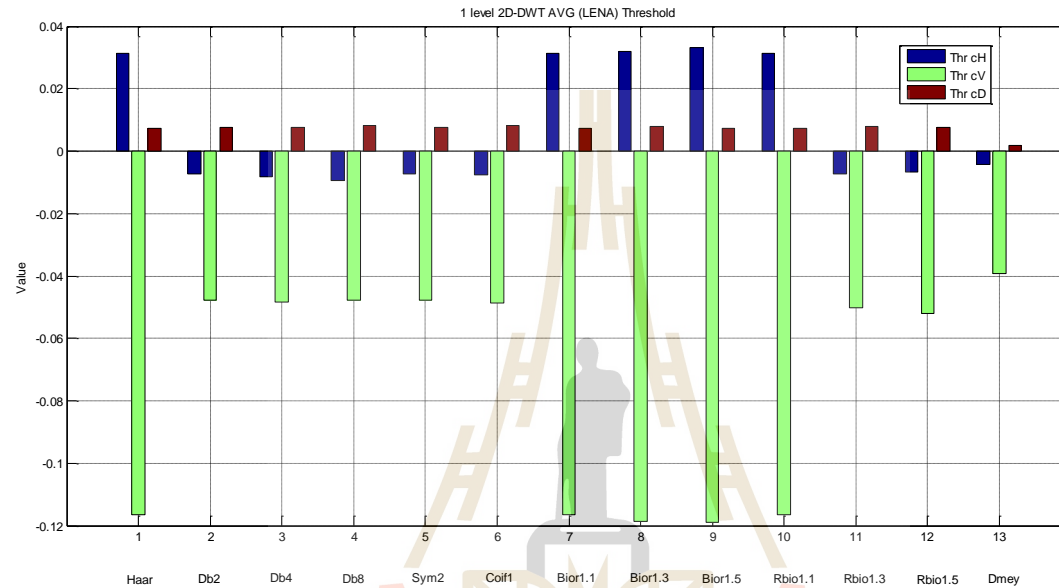
จากรูปที่ 3.25 จะเห็นว่ามีแบนด์ย่อยทั้งหมด 6 แบนด์ย่อยเนื่องจากการแปลง 2 level ดังนั้นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละ level โดยที่ Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 สำหรับการแปลง 2 level ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเล็ตแม่ 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



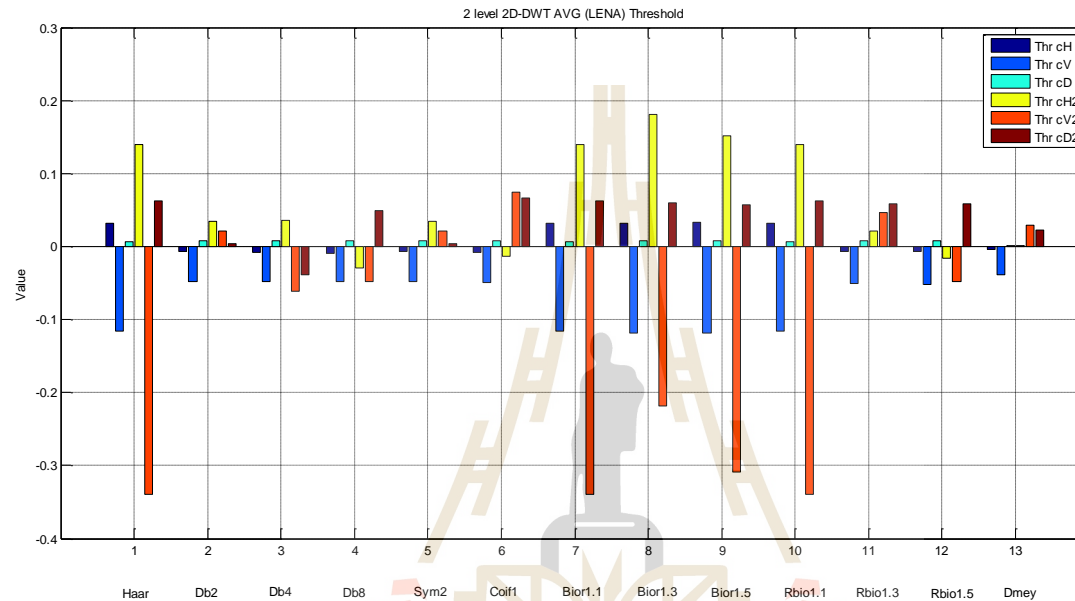
รูปที่ 3.26 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

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



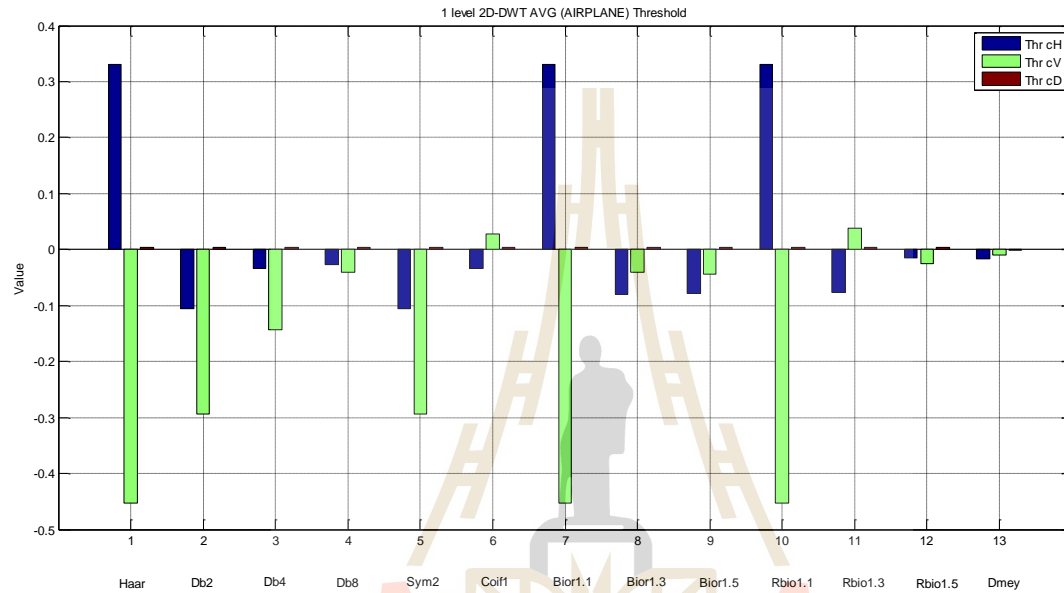
รูปที่ 3.27 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT 3 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเลตแม่

จากรูปที่ 3.27 จะเห็นว่ามีแบนด์ย่อยทั้งหมด 6 แบนด์ย่อยเนื่องจากการแปลง 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 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเลตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเลตแม่ 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 ในแบบค้อย 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 โดยใช้การแปลง ดิสครีตเวฟเล็ต 1 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงภาพ Baboon และ Lena คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบบค้อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cV ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกับศูนย์



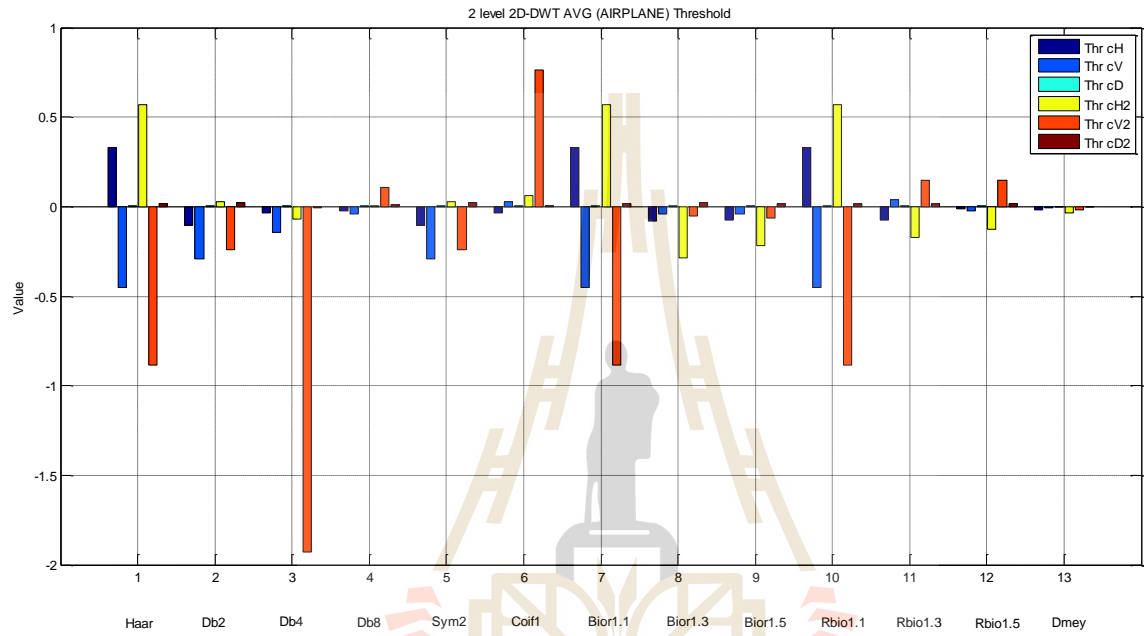
รูปที่ 3.28 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG ในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเลตแม่

จากรูปที่ 3.28 คือค่าเฉลี่ยจากการหาค่าเฉลี่ยในแบนด์ย่อย cH cV และ cD ของภาพ Airplane ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเลตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเลตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 ซึ่งเวฟเลตแม่ทั้ง 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 โดยใช้การแปลง ดิสครีตเวฟเล็ต 2 level แล้วทำการใช้การหาค่าเฉลี่ย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cV สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นยังคงมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกับศูนย์



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

จากรูปที่ 3.29 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละเวฟเลตแม่นั้นมีค่าไม่เท่ากันยกเว้นเวฟเลตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbio1.1 โดยที่เวฟเลตแม่ทั้ง 3 ตัวนี้ยังคงให้ค่า Thr\_cH และ Thr\_cH2 ที่มีค่ามากที่สุดและเวฟเลตแม่ Coif1 ให้ค่าในแบนด์ย่อย Thr\_cV2 สูงที่สุด

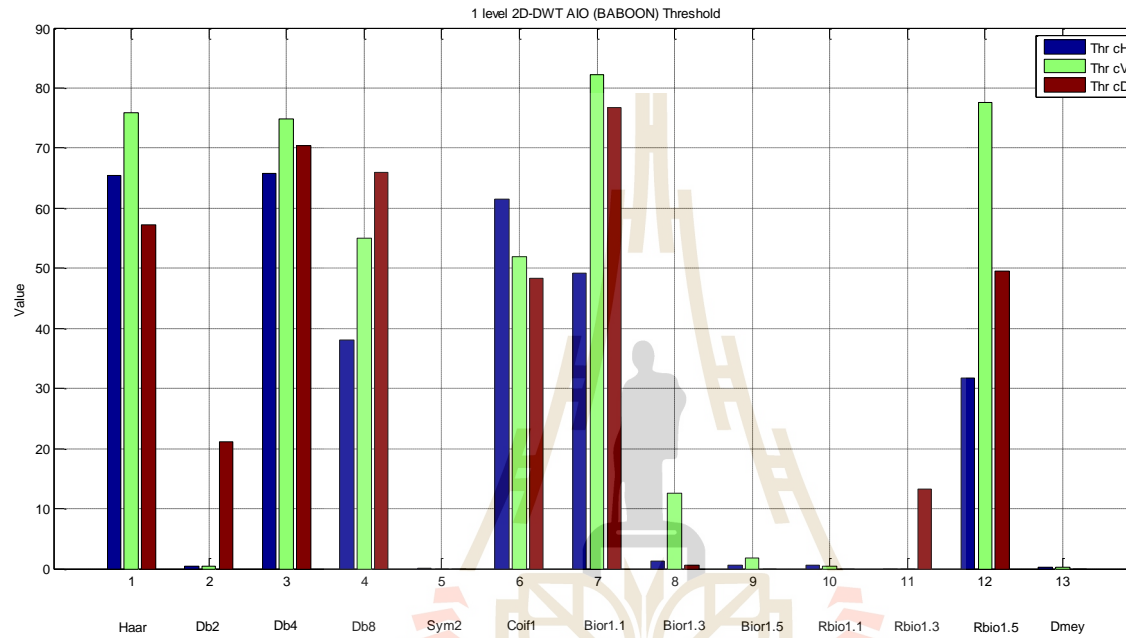


สำหรับภาพการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) โดยผลการหาค่า Thr\_cH Thr\_cV Thr\_cD Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 โดยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับภาพ Baboon Lena และ Airplane มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากการหาค่า โดยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังตารางที่ 3.11 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 ของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการประยุกต์หาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน โดยที่ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงกว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT 1 level แบบ AVG



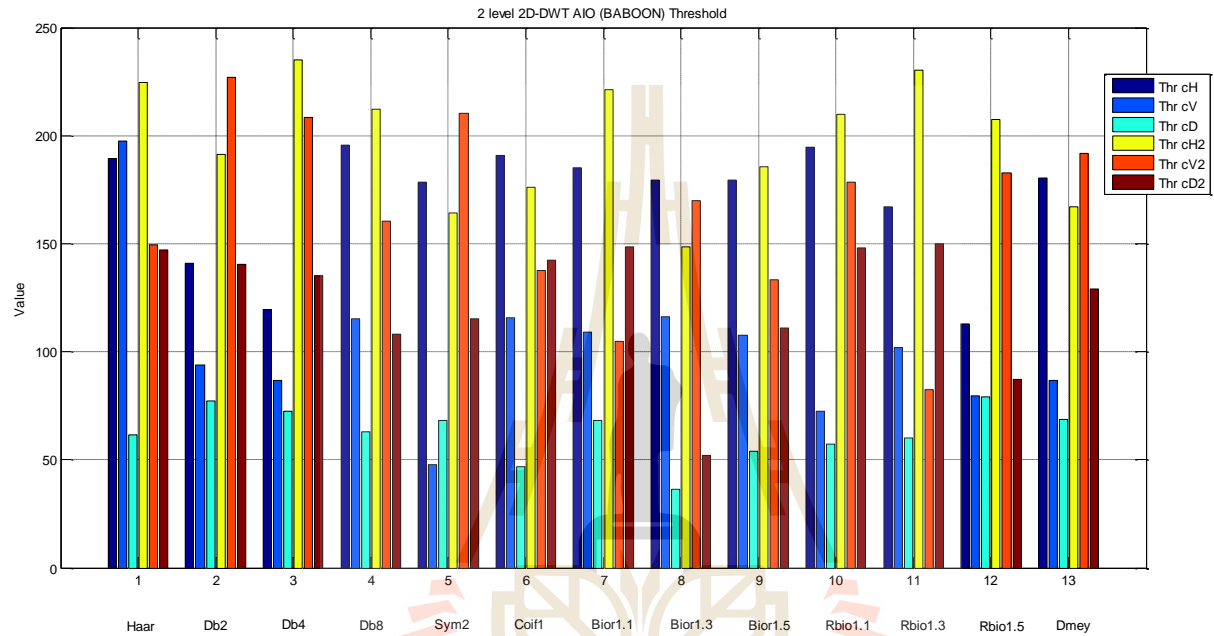
รูปที่ 3.30 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

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 โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพ  
ดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 แบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD  
สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่มีค่าขีดเริ่ม  
เปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



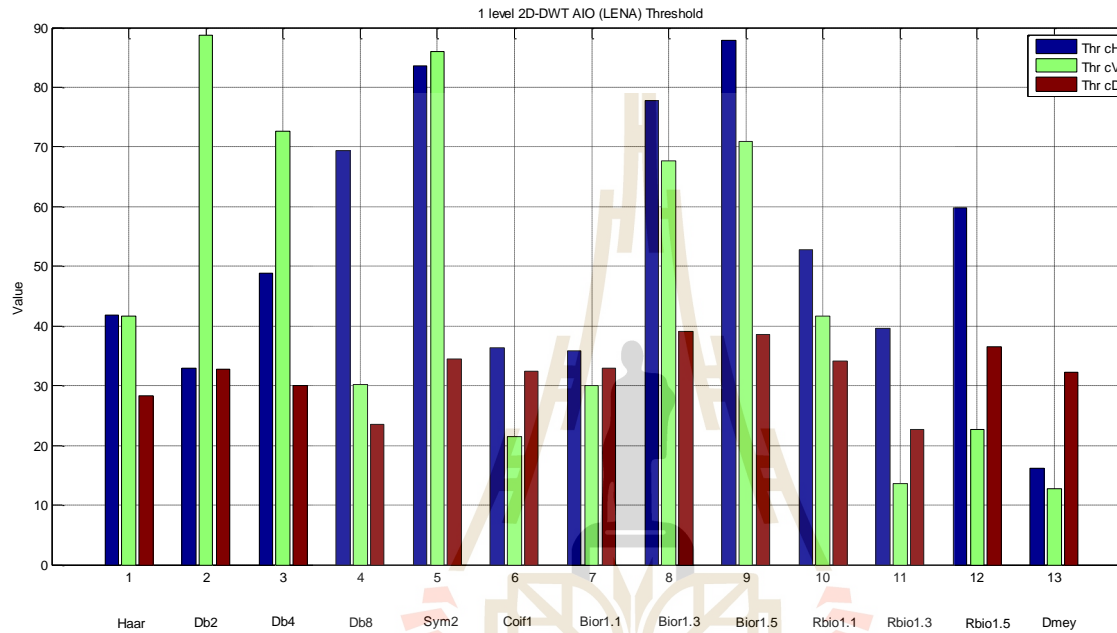
รูปที่ 3.31 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 2 level แบบ AIO ในแบนด์ย่อย cH cV cD cH2 cV2 และ cD2 ในแต่ละเวฟเลตแม่

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 นั้นมีค่าสูงมากและมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวฟเลตแม่ต่างๆ 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 โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 แบบ 1 level ในแต่ละแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าภาพ Baboon ที่ใช้อัลกอริทึมบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบเดียวกัน



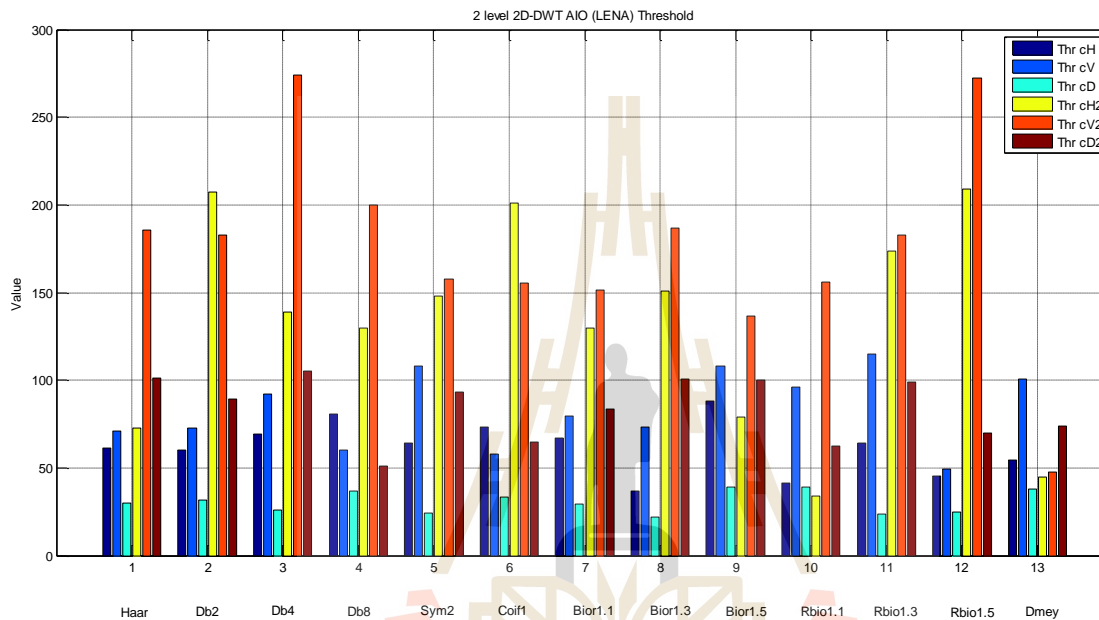
รูปที่ 3.32 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเลตแม่

จากรูปที่ 3.32 เช่นเดียวกับกับภาพ Baboon ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับอัลกอริทึมที่ 3 ของภาพ Baboon นั้นมีค่าสูงมากกว่าแบบอัลกอริทึมที่ 2 แต่สำหรับรูป Lena จากการใช้เวฟเลตแม่ชนิดต่างๆ นั้นจะให้ค่าแตกต่างกันไป

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

เวฟเลตแม่	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 โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 แบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของแต่ละเวฟเลตแม่มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



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

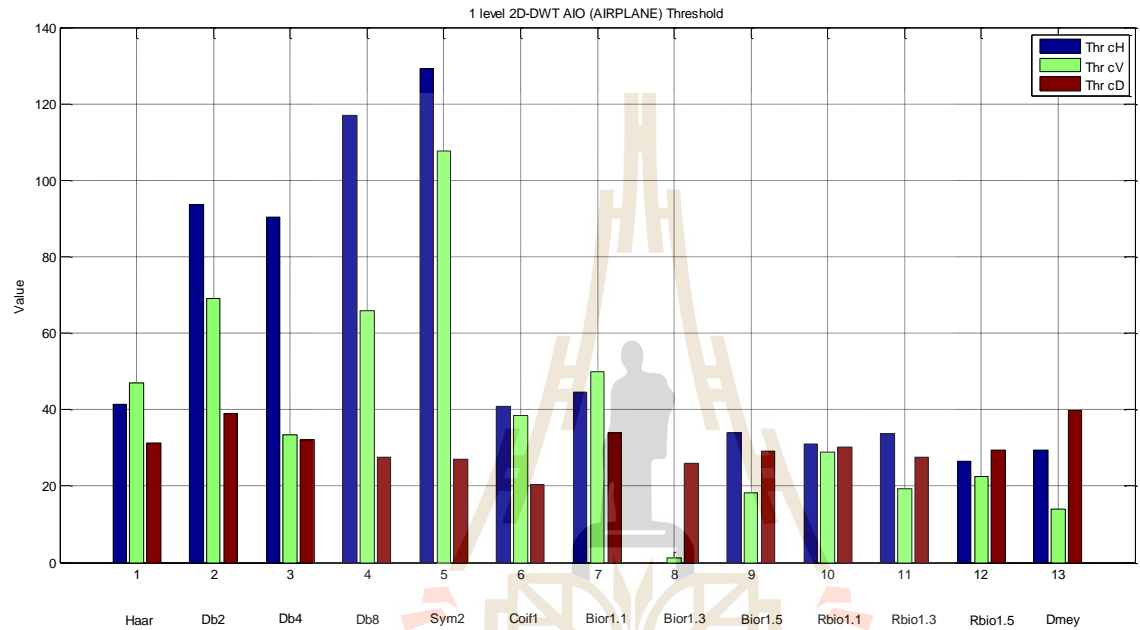
จากรูปที่ 3.33 ผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน Thr\_cV Thr\_cH และ Thr\_cD ของการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของการแปลง 2 level นั้นมีค่าสูงมากและมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวฟเลตแม่ต่างๆ กัน



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 โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 แบบ 1 level ในแต่ละแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD ของแต่ละเวฟเล็ตแม่นั้นมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าภาพ Baboon ที่ใช้อัลกอริทึมบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบเดียวกันแต่มีค่าใกล้เคียงกับภาพ Lena



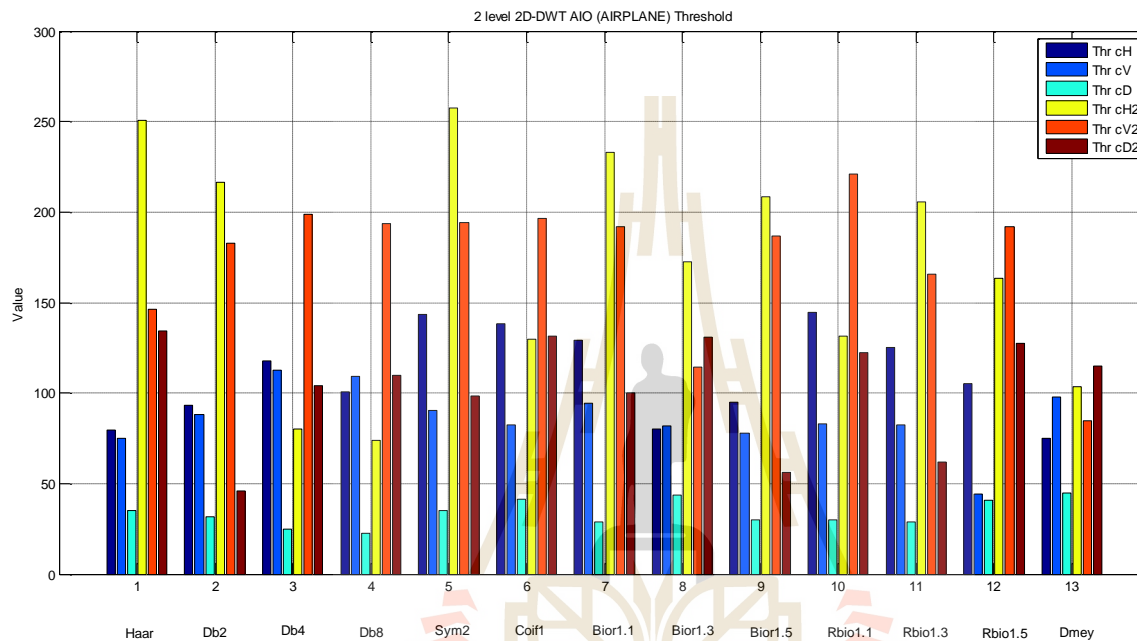
รูปที่ 3.34 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ Aiplane โดยใช้อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT 1 level แบบ AIO ใน แบนด์ย่อย cH cV และ cD ในแต่ละเวฟเล็ตแม่

จากรูปที่ 3.34 เช่นเดียวกับภาพ 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 โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพ  
ดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 แบบ 2 level ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อย Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD  
สำหรับการแปลง 1 level และ Thr\_cH2 Thr\_cV2 และ Thr\_cD2 ของแต่ละเวฟเล็ตแม่มีค่าขีดเริ่ม  
เปลี่ยนที่มีค่ามากขึ้นจากการใช้การแปลงเพียง 1 level



รูปที่ 3.35 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนภาพ 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

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบสูญเสีย (Lossy compression) ไม่สามารถสรุปประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลได้จากค่า CR แต่ต้องพิจารณาถึงความสูญเสียในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลจากการทำการบีบอัดข้อมูลด้วยว่าเป็นค่า PSNR (dB) เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูลดังต่อไปนี้

#### 1. การวัดเชิงปริมาณ

- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR (dB)) คือ ค่าคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลหลังทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

- Compression Ratio (CR) คือ ค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้วัดอัตราการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

#### 2. การวัดเชิงคุณภาพ

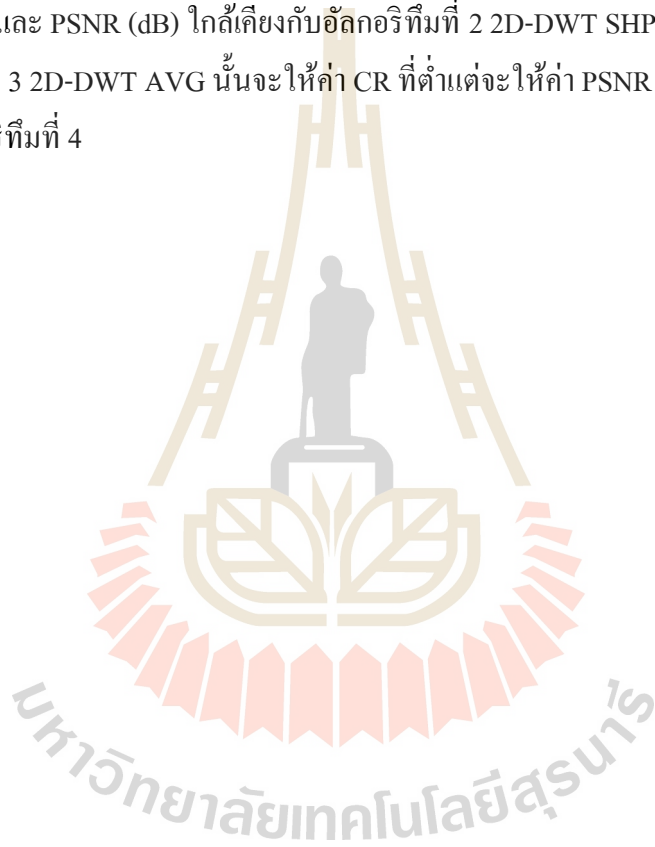
ใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพดิจิทัล

ตารางที่ 3.17 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคิสคริตเวฟเล็ดแบบ 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 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Baboon ทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO หากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม่จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับทุกอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

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 และอัลกอริทึมที่ 4



ตารางที่ 3.18 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล 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 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Lena ทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์มีความคล้ายกับผลลัพธ์ของภาพ Baboon แต่มีค่า CR และ PSNR (dB) ที่มากกว่าภาพ Baboon และหากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม่จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับทุกอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

สำหรับประสิทธิภาพนั้นก็ให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon 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) 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 3.19 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคิคริตเวฟเล็ดแบบ 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 จะแสดงค่าประสิทธิภาพของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล Airplane ทั้ง 3 อัลกอริทึมได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG และสุดท้ายคือ อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์มีความคล้ายกับผลลัพธ์ของภาพ Baboon และ Lena แต่มีค่า CR และ PSNR (dB) ที่มากกว่าภาพ Baboon และมีความใกล้เคียงกับภาพ Lena และหากวิเคราะห์จากเวฟเล็ตแม้จะสังเกตเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากสำหรับทุกอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

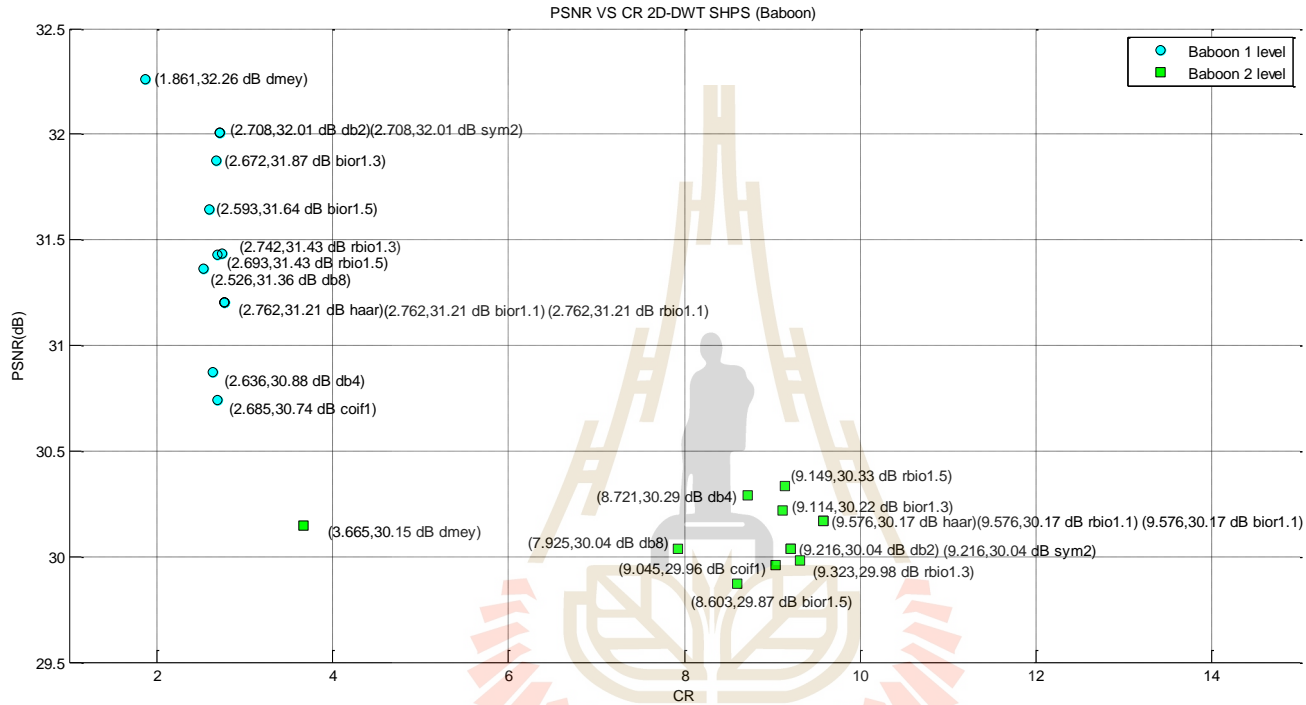
สำหรับประสิทธิภาพนั้นก็ให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon และ Lena คืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคืออัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ที่ยอมรับได้ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็นอัลกอริทึมที่ 4 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 ค่าเฉลี่ยการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลทั้ง 3 โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงคิสตรีตเวฟเล็ดแบบ 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

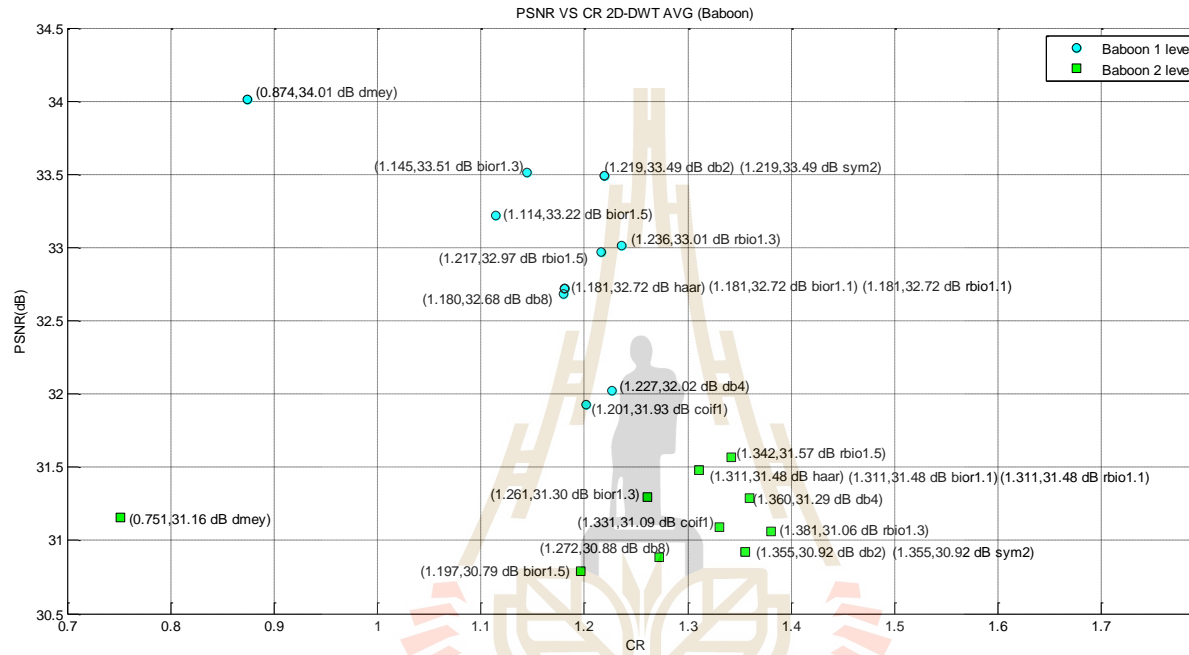
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของภาพทั้ง 3 ได้แก่ภาพ Baboon Lena และ Airplane โดยการวัดประสิทธิภาพนั้นใช้การหาค่าเฉลี่ยของค่า CR และ PSNR (dB) ของทั้ง 3 ภาพ ดังตารางที่ 3.20 จากการวิเคราะห์ผลของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลง ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคือ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยที่มีค่า PSNR (dB) ที่พอรับได้ประมาณ 30 dB รองลงมาจะเป็น อัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO โดยจะมีผลลัพธ์ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS ส่วนอัลกอริทึมสุดท้ายคืออัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG นั้นจะให้ค่า CR ที่ต่ำแต่ จะให้ค่า PSNR (dB) ที่สูงกว่าอัลกอริทึมที่ 2 และ 4

จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 1 level ดังตารางที่ 3.20 ค่า PSNR (dB) จะแตกต่างกันมากประมาณ 2dB ถึง 3dB โดยมีเพียงเวฟเล็ต แม่ Dmey จะให้ค่า PSNR (dB) ที่มากที่สุดแต่จะให้ค่า CR ที่ต่ำที่สุด แตกต่างจากเวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น แต่เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่พบว่าเมื่อทำการแปลง 2D-DWT แบบ 2 level ดังตาราง ที่ 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 แตกต่างจาก เวฟเล็ตแม่ชนิดอื่น ดังนั้นการเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดใดก็ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ เวฟเล็ตแม่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในฟิลเตอร์แยกองค์ประกอบ (Decomposition filter) และฟิลเตอร์ สร้างกลับ (Reconstruction filter) ที่มีจำนวนสัมประสิทธิ์น้อยที่สุดนั่นคือเวฟเล็ตแม่ Haar, Bior1.1 และ Rbior1.1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแม่เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด เพราะว่าจะสามารถลดการคำนวณ ในขั้นตอนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ได้



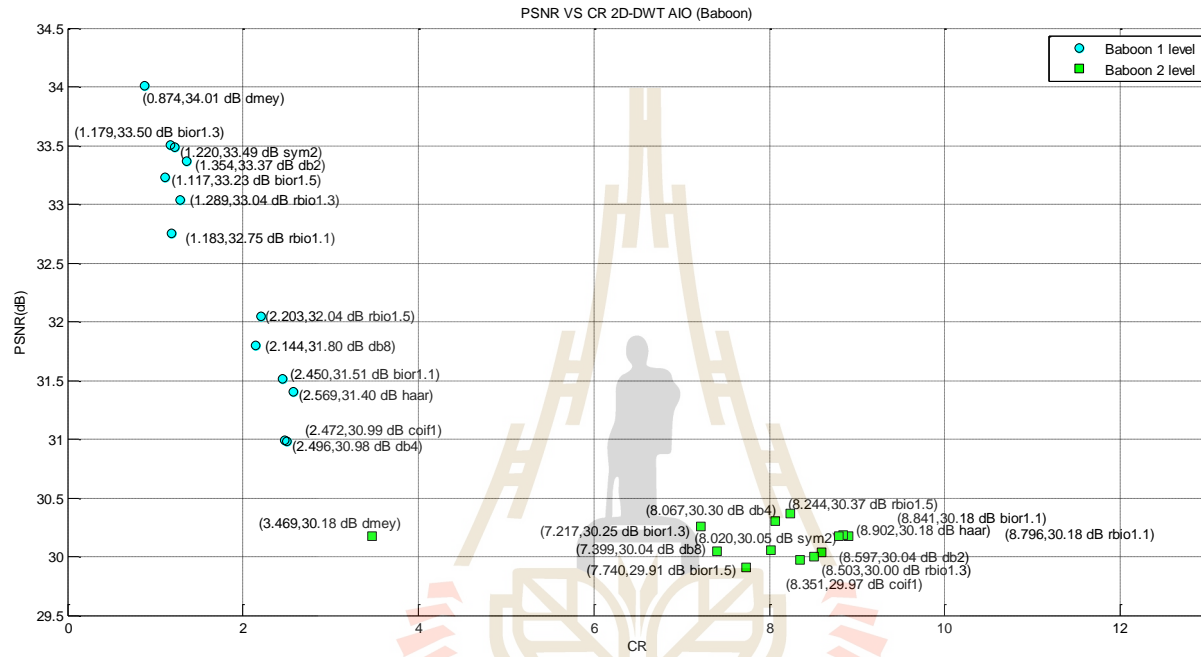
รูปที่ 3.36 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Baboon โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

จากรูปที่ 3.36 จะสังเกตเห็นภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 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)

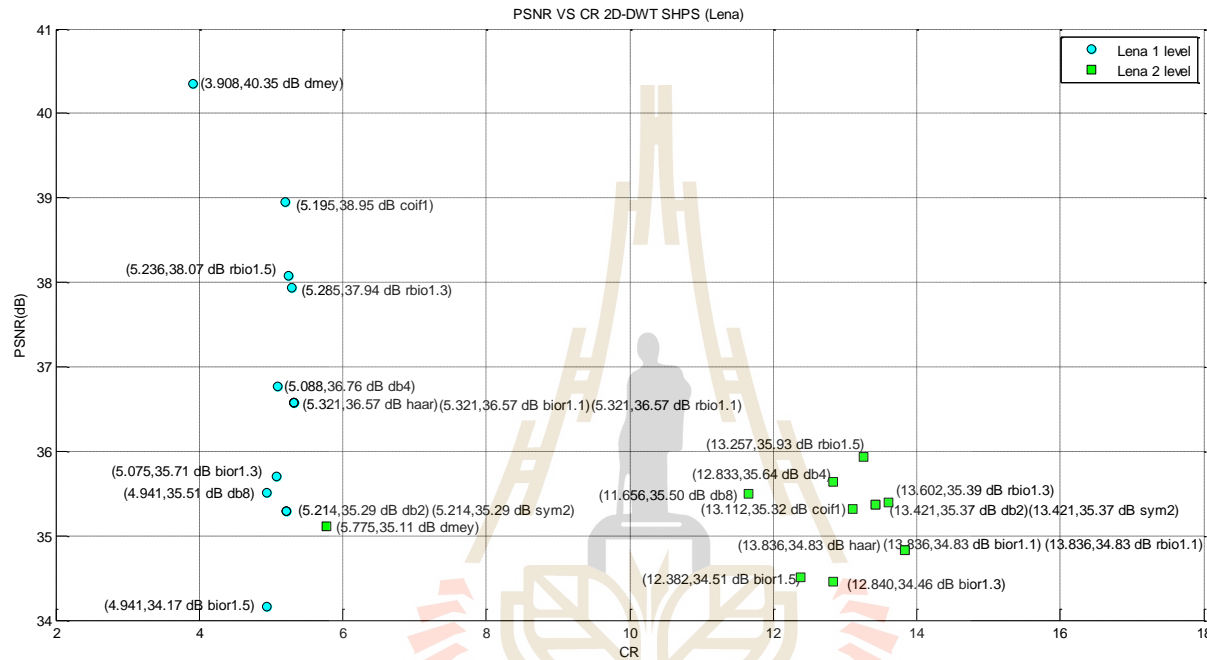
จากรูปที่ 3.37 จะสังเกตเห็นภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 2 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ 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)

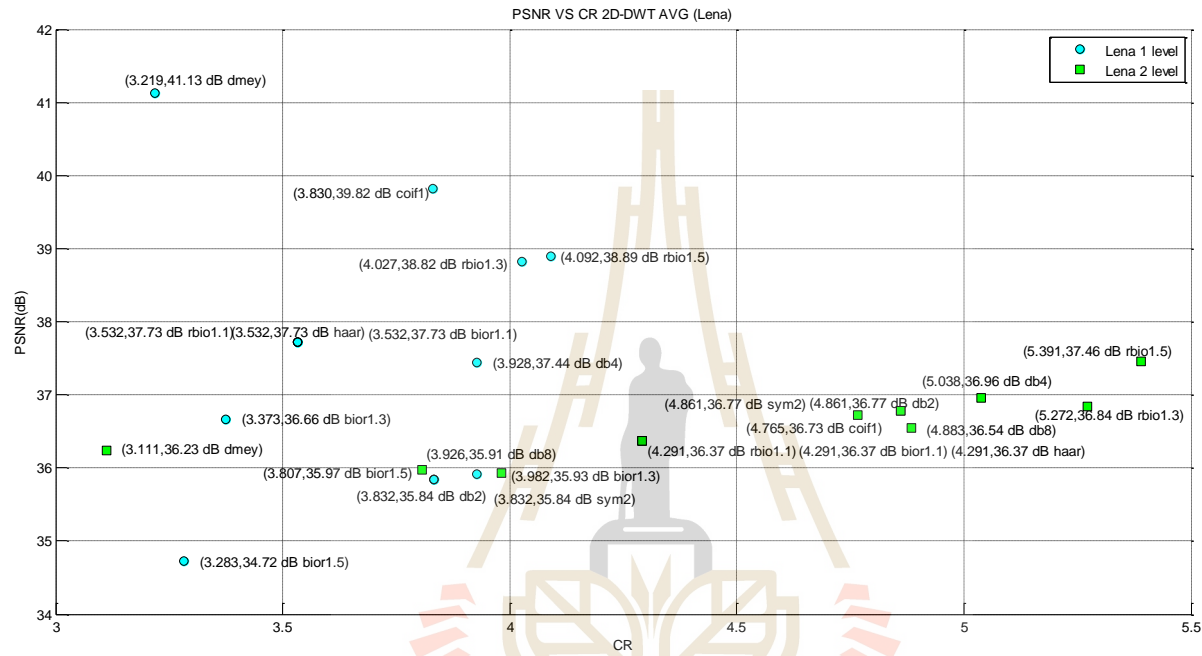
จากรูปที่ 3.38 จะสังเกตเห็นภาพ Baboon โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 4 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ 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





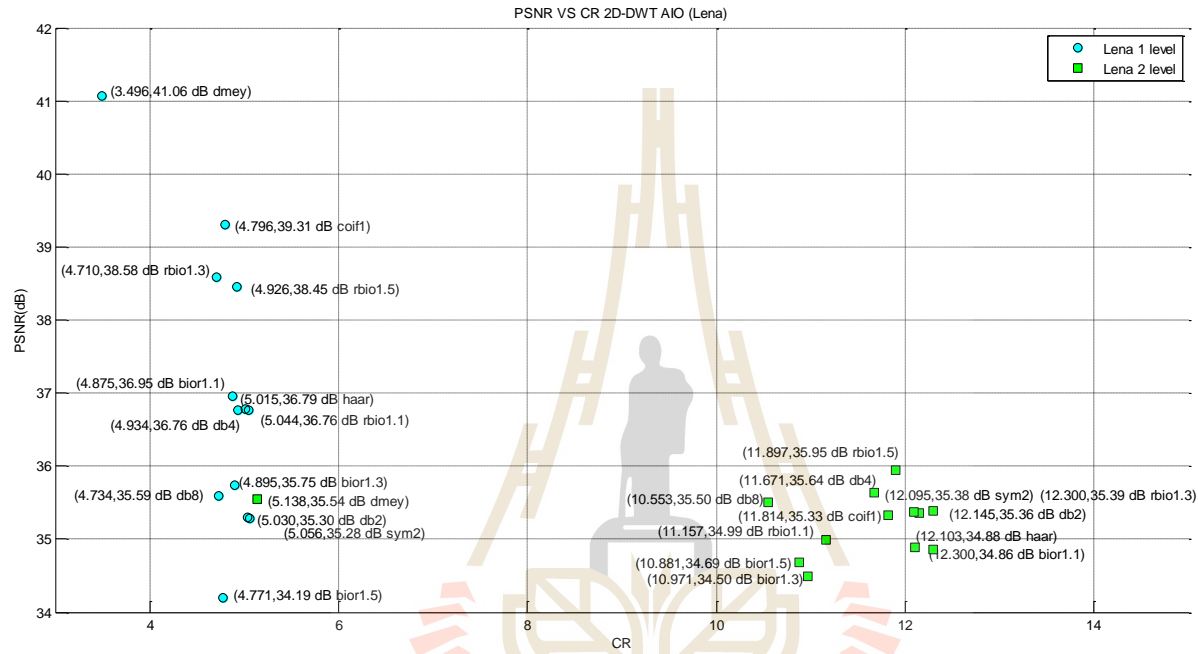
รูปที่ 3.39 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบบางจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

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



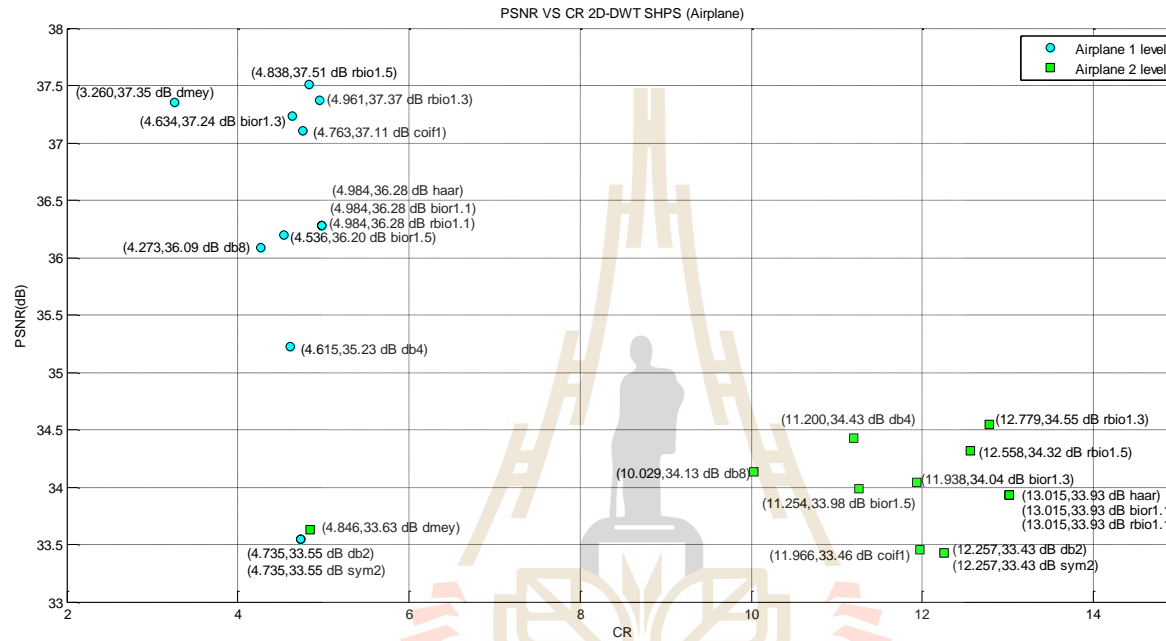
รูปที่ 3.40 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Lena โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 3 (2D-DWT AVG)

จากรูปที่ 3.40 จะสังเกตภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 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)

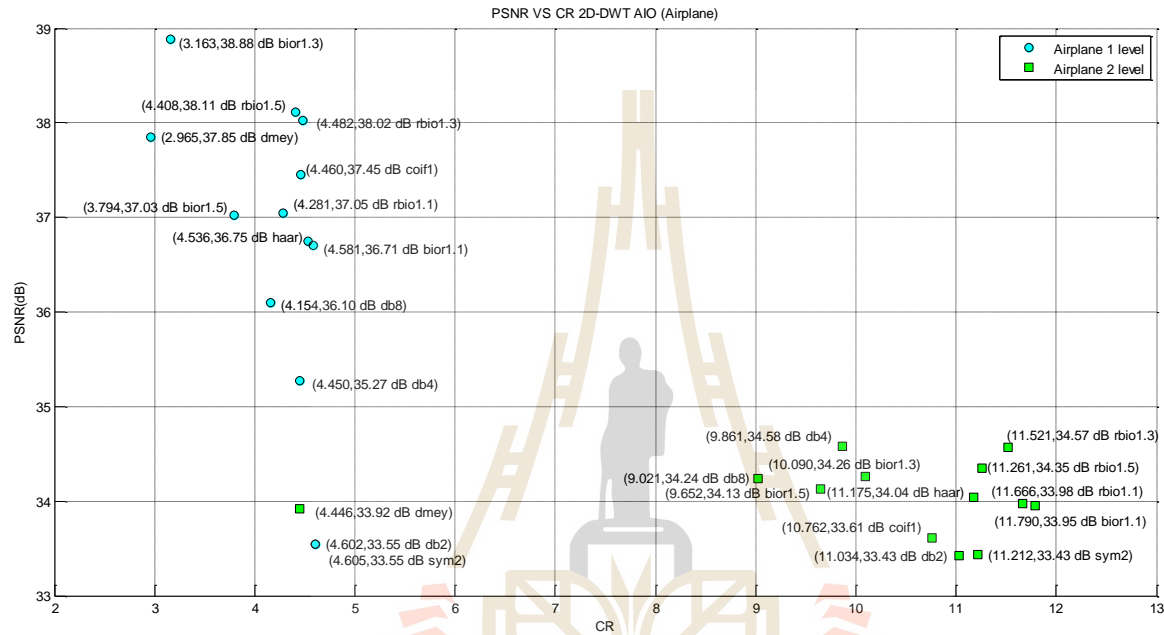
จากรูปที่ 3.41 จะสังเกตเห็นภาพ Lena โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT แบบ AIO1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 5 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลแตกต่างกันไม่มากในด้าน 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 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบบางจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 2 (2D-DWT SHPS)

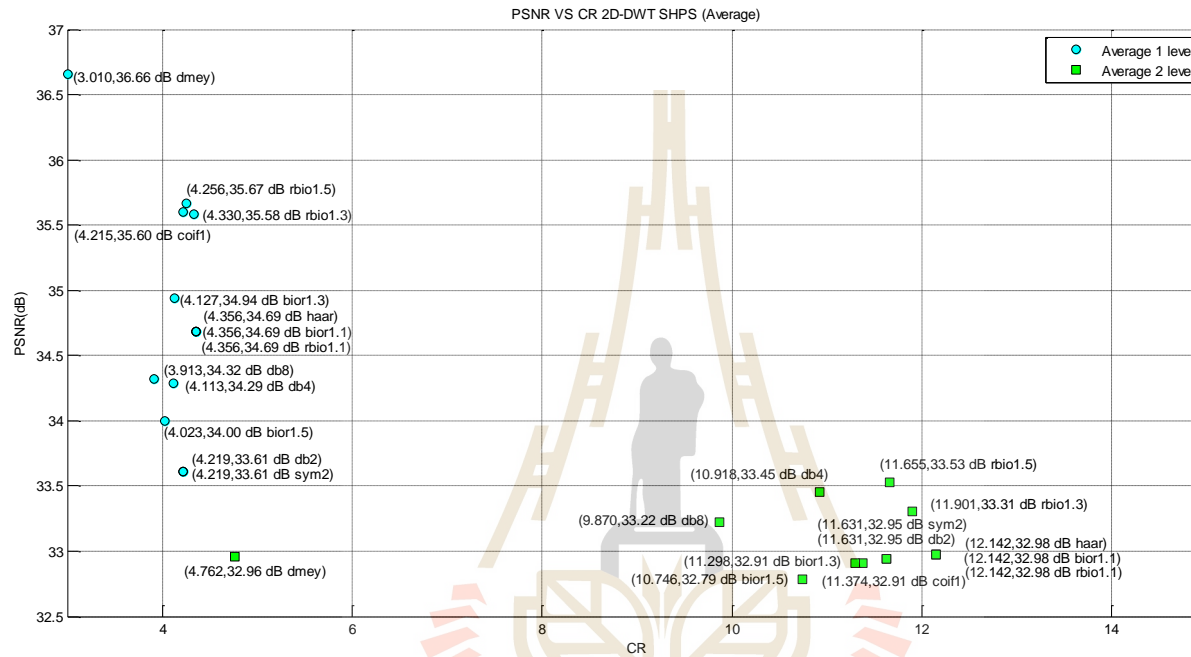
จากรูปที่ 3.42 ภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์คล้ายกับภาพ Baboon และภาพ Lena คือมีผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level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





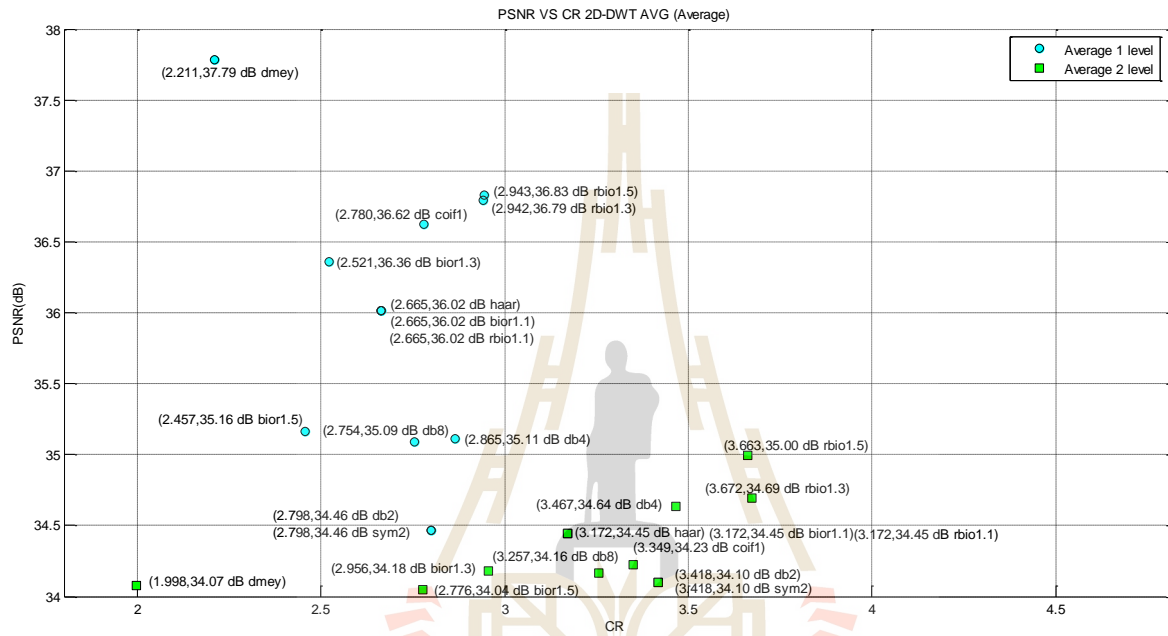
รูปที่ 3.44 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพ Airplane โดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.44 จะสังเกตเห็นภาพ Airplane โดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 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)

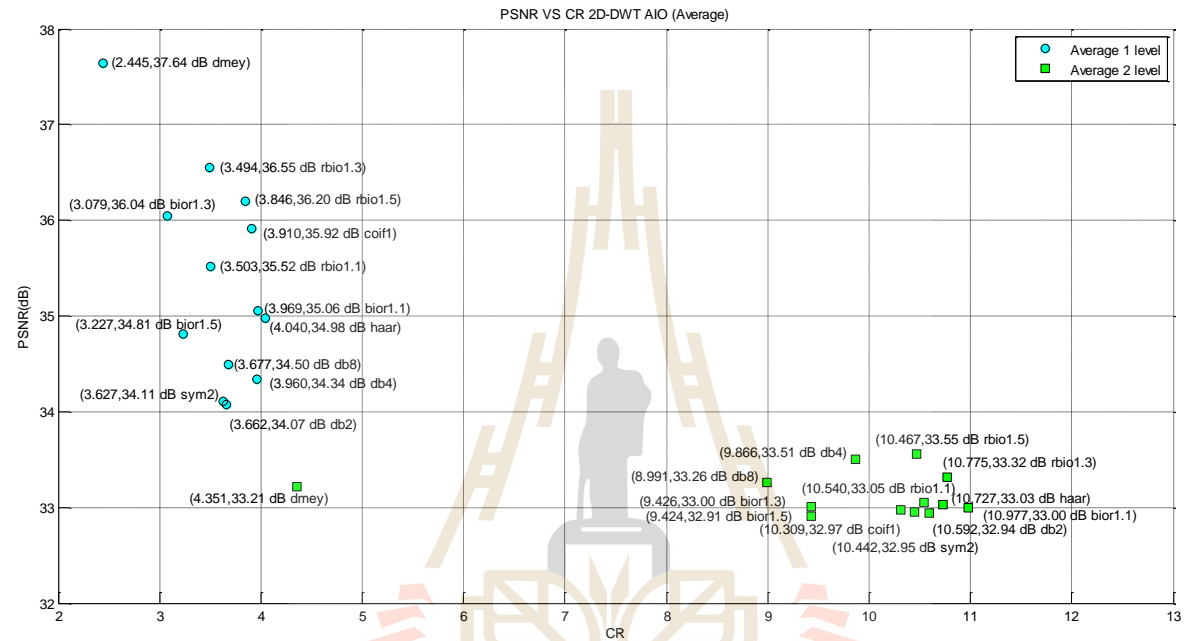
จากรูปที่ 3.45 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT แบบ SHPS 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ มีผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ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



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

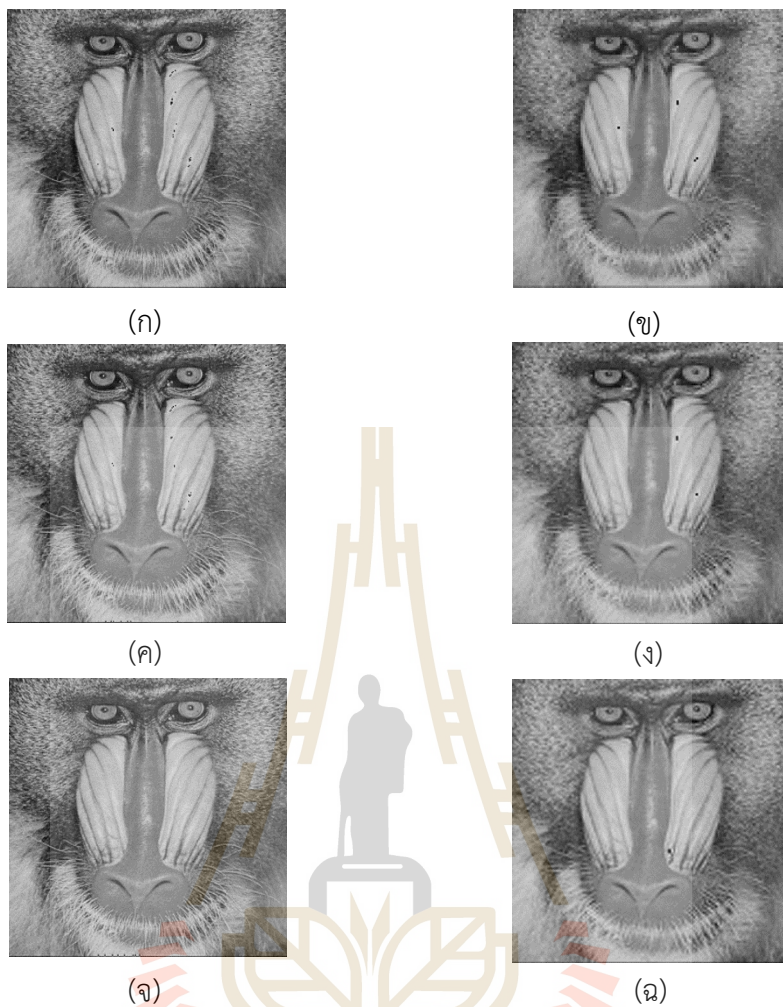
จากรูปที่ 3.46 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT แบบ AVG 1 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ จะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันไม่มากทั้งในด้าน CR แต่ให้ผลแตกต่างกันมากทางด้าน PSNR (dB) (ประมาณ 3 dB) ส่วนสำหรับการแปลงแบบ 2 level การเปลี่ยนไปใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ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





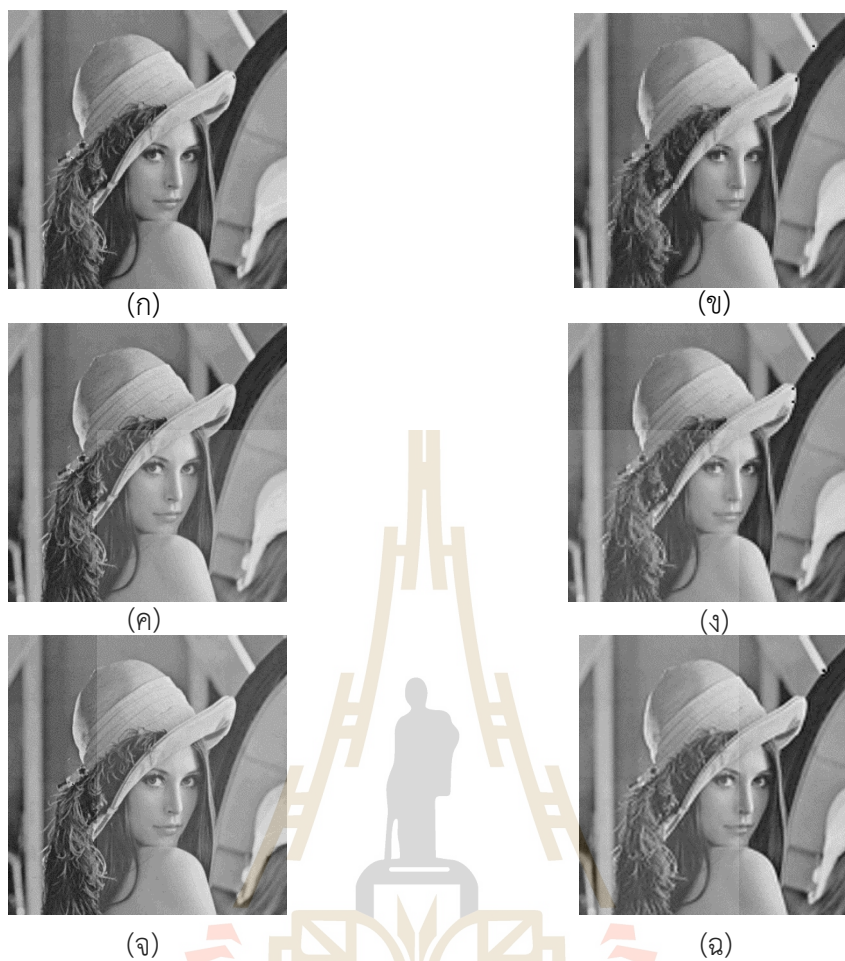
รูปที่ 3.47 ค่าเฉลี่ยผลการเปรียบเทียบผลกระทบบนภาพจากเวฟเล็ตแม่แต่ละชนิดของการบีบอัดรูปภาพทั้ง 3 ภาพโดยใช้อัลกอริทึมการบีบอัดที่ 4 (2D-DWT AIO)

จากรูปที่ 3.47 เป็นการเฉลี่ยผลลัพธ์จาก 3 ภาพ โดยการใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลอัลกอริทึมที่ 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



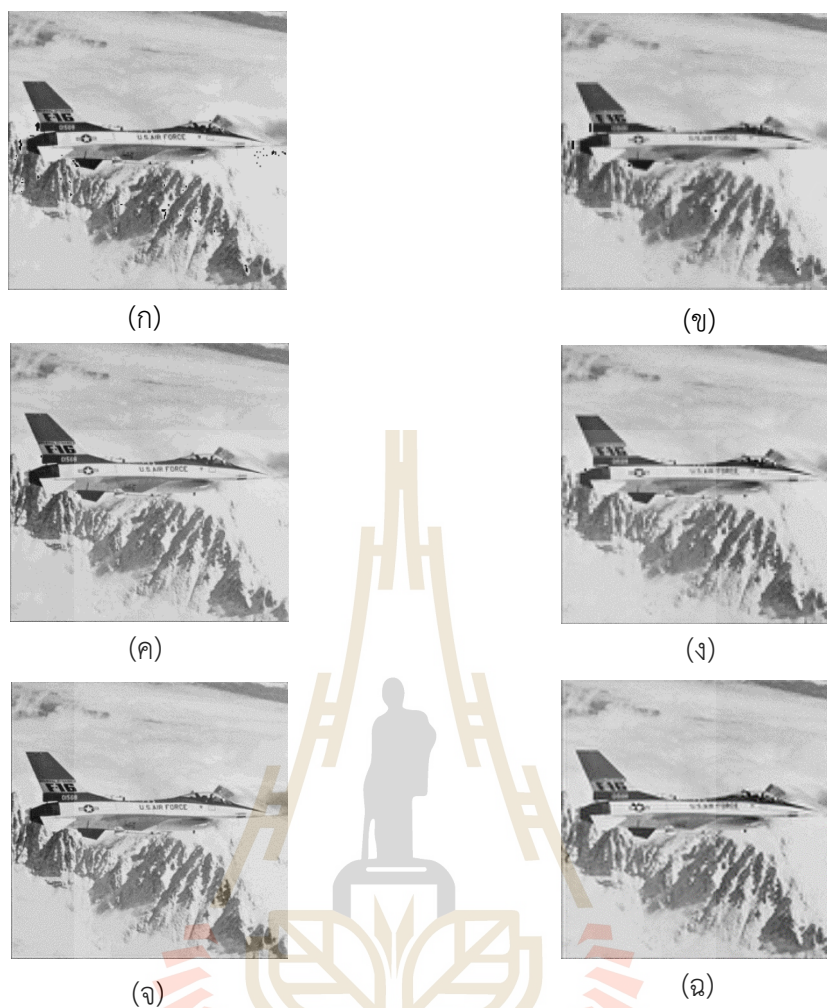
รูปที่ 3.48 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS)

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



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

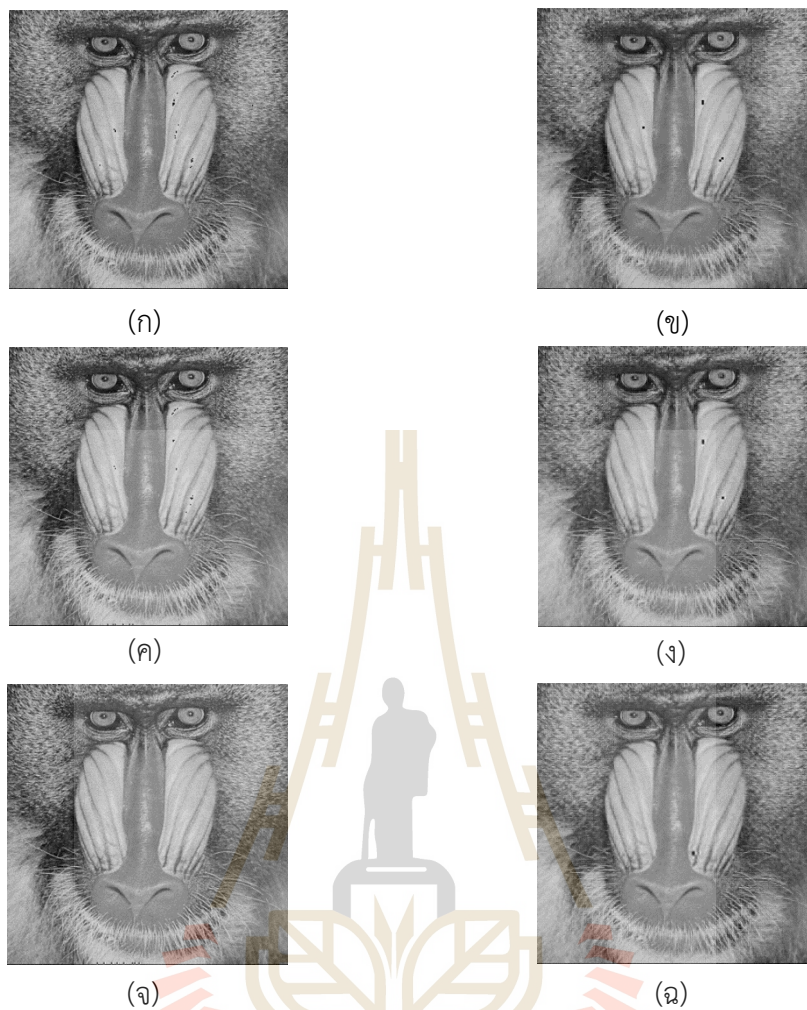
- (ก) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.32 และ PSNR=36.57 dB
- (ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.84 และ PSNR=34.83 dB
- (ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=5.21 และ PSNR=35.29 dB
- (ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.42 และ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



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

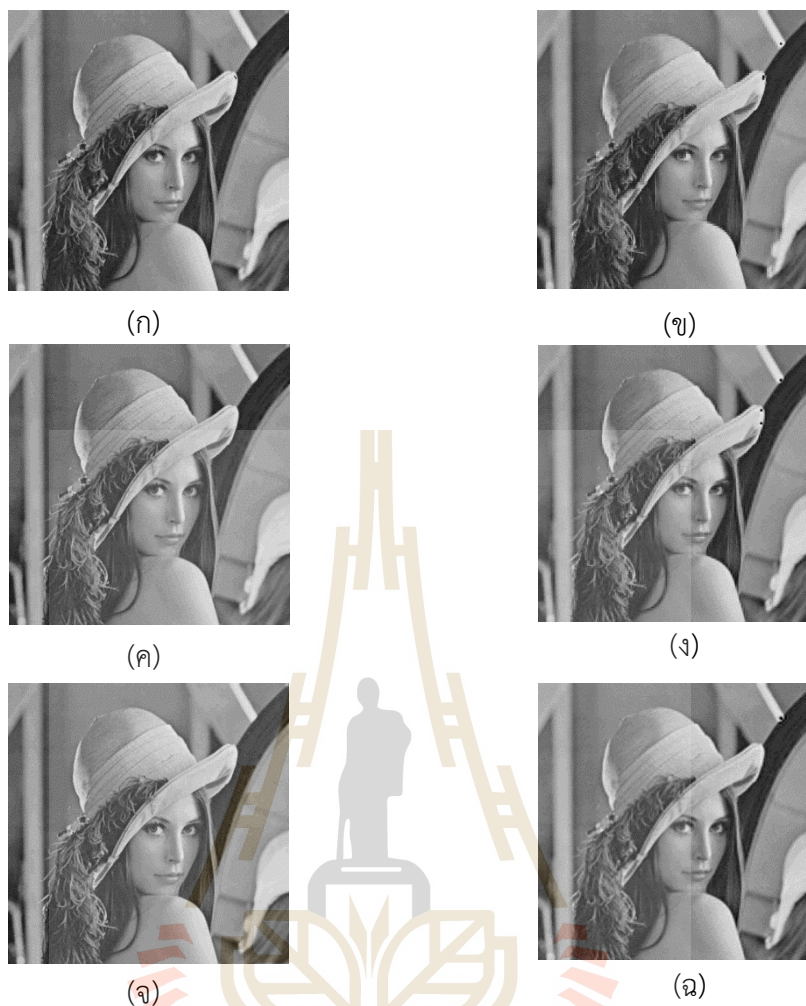
- (ก) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.98 และ PSNR=36.28 dB
- (ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=13.01 และ PSNR=33.93 dB
- (ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.74 และ PSNR=33.55 dB
- (ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=12.26 และ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





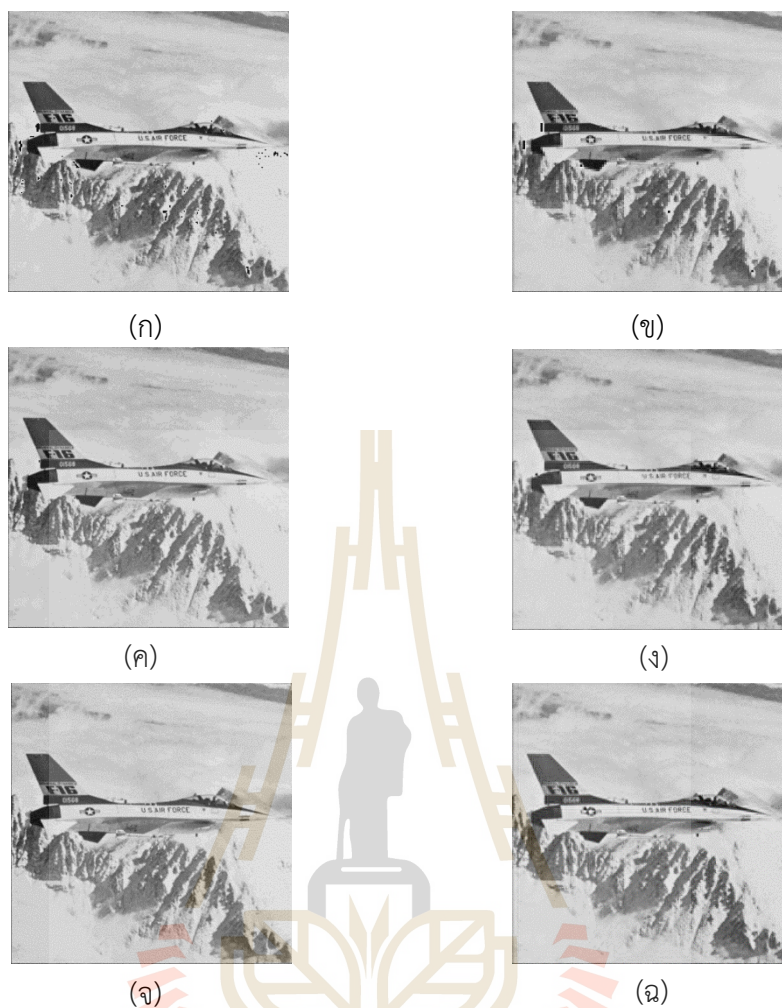
รูปที่ 3.51 ภาพ Baboon จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG)

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



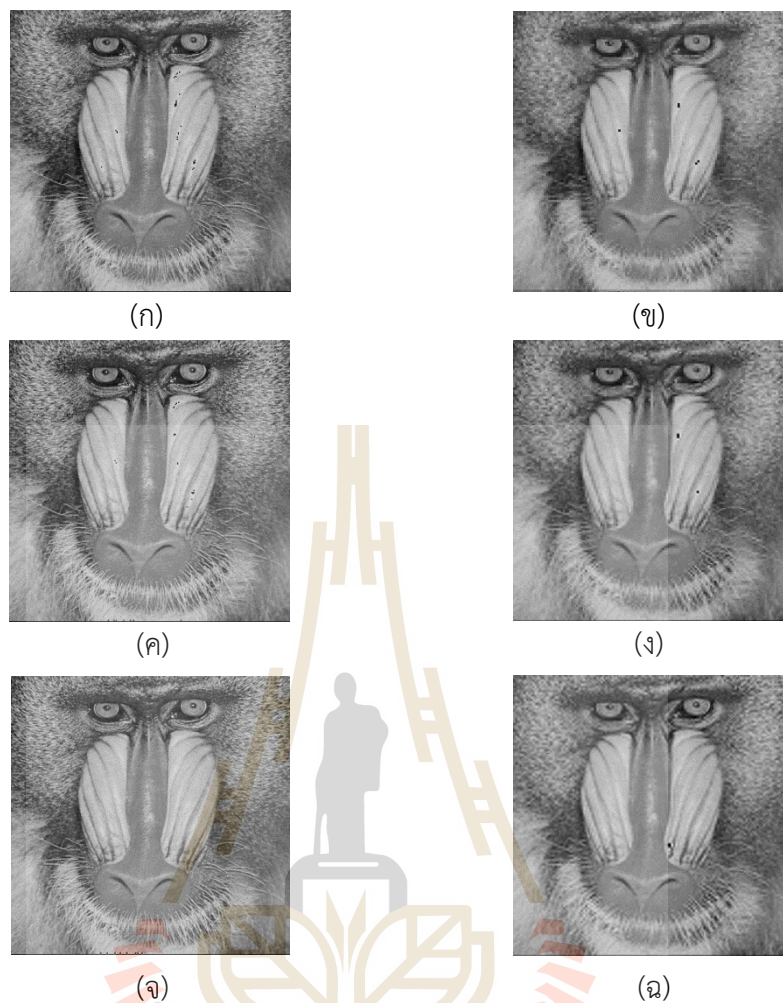
รูปที่ 3.52 ภาพ Lena จากการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG)

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



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

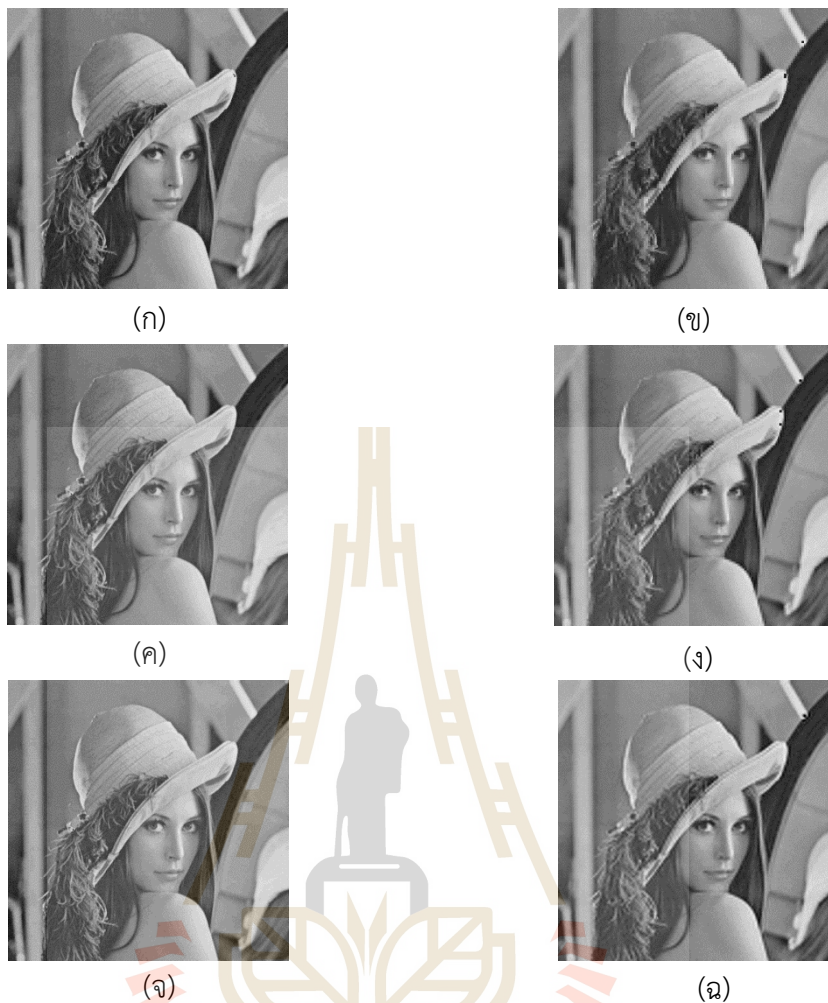
- (ก) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.28 และ PSNR=37.61 dB  
 (ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.91 และ PSNR=35.50 dB  
 (ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=3.34 และ PSNR=34.06 dB  
 (ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=4.04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



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

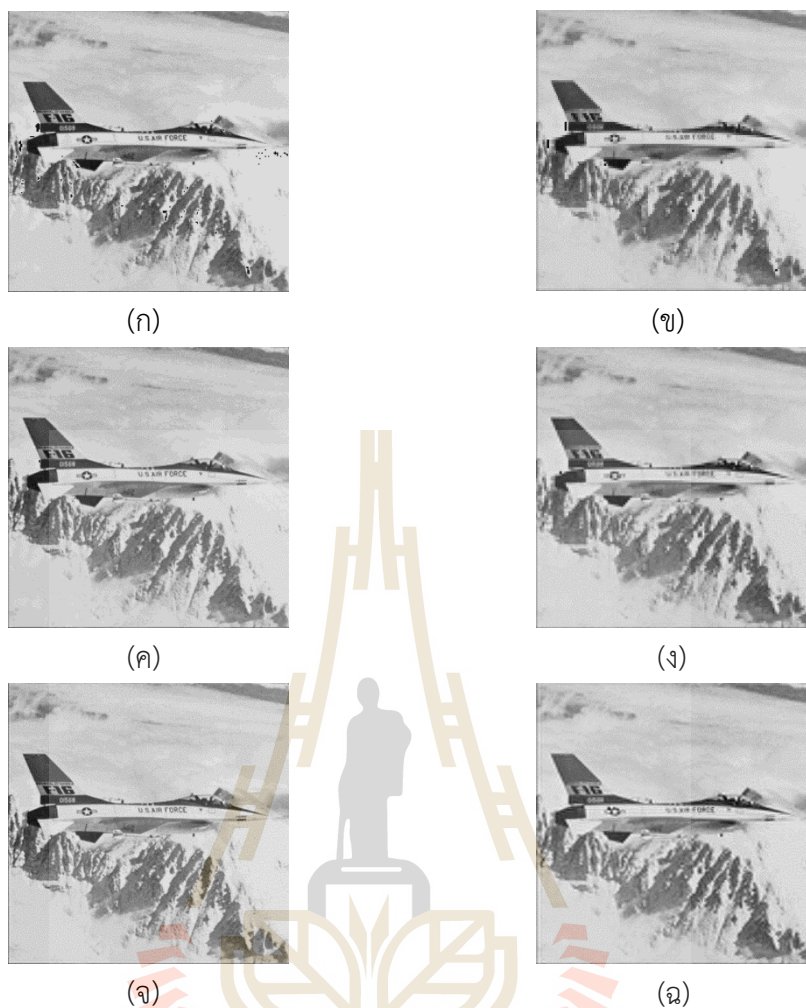
- (ก) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=2.57 และ PSNR=31.40 dB  
 (ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=8.90 และ PSNR=30.18 dB  
 (ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 1 level ได้ผลลัพธ์ CR=1.22 และ PSNR=33.49 dB  
 (ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Sym2 แปลง DWT 2 level ได้ผลลัพธ์ CR=8.02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





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

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



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

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

### 3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

#### 3.4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบอัลกอริทึมการบีบสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1

##### JPEG

จากผลการทดสอบภาพ Baboon Lena และภาพ Airplane พบว่าที่ QF ที่เท่ากันพบว่า ภาพ Lena และภาพ Airplane ให้ค่า CR และ PSNR (dB) ที่ดีกว่ารูปภาพ Baboon ซึ่งหมายความว่า การบีบสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) ค่า CR และ PSNR (dB) ขึ้นอยู่กับสัญญาณภาพดิจิทัลที่จะทำการบีบอัด ดังนั้นจึงได้นำค่า CR และ PSNR ของทั้ง 3 ภาพมาทำการหาค่าเฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 3.4

สำหรับการเลือก QF เพื่อทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยปกติทั่วไปแล้วจะใช้ QF อยู่ที่ 75 – 80% เป็นมาตรฐานปกติ 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 วิเคราะห์ผลการทดสอบการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 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 จากการวิเคราะห์ผลของการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS อัลกอริทึมที่ 3 2D-DWT AVG และอัลกอริทึมที่ 4 2D-DWT AIO พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ค่า CR ที่ดีที่สุดคือ อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยมีค่า PSNR (dB) ที่พอรับได้ประมาณ 30dB รองลงมาจะเป็น อัลกอริทึมที่ 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) ที่มีจำนวนสัมประสิทธิ์น้อยที่สุดนั้นคือเวฟเล็ตแม่ Haar Bior1.1 และ Rbior1.1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแม่เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด เพราะว่าจะสามารถลดการคำนวณในขั้นตอนการแปลงดิสคริตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) ได้ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ Haar ในการแปลงดิสคริตเวฟเล็ต

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการแปลงดิสคริตเวฟเล็ตแบบ 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 วิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลระหว่าง

#### อัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar

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

ตารางที่ 3.21 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) ทั้ง 3 ภาพ

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)	การ ตัดสินใจ (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



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

รูปภาพ	Transform		Quantization		Encode	
	การบวก (ครั้ง)	การคูณ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การตัดสินใจ (ครั้ง)	การบวก (ครั้ง)	การ ตัดสินใจ (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





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 (2D-DWT SHPS 1 level)  
โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ภาพ

Transform		Quantization		Encode	
การบวก (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 (2D-DWT SHPS 2 level)  
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

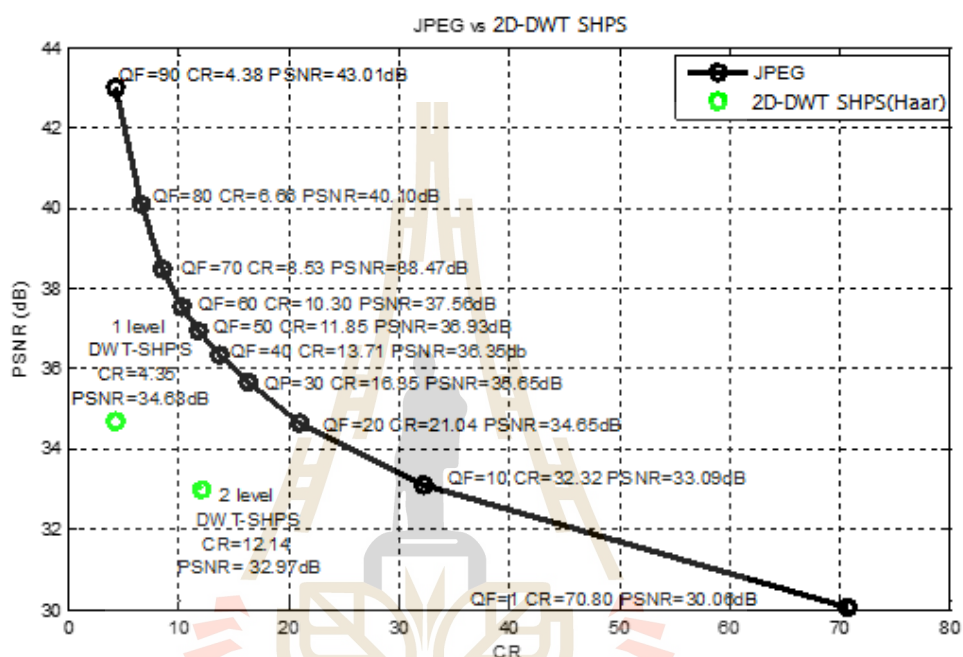


ตารางที่ 3.27 ผลวิเคราะห์การคำนวณของอัลกอริทึมทั้งขบวนการบีบอัด (Compression) และการคลายการบีบอัด (Decompression) ของ JPEG และ 2D-DWT SHPS

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 จะพบว่า การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ แบบ 2D-DWT SHPS นั้นมีการใช้การคำนวณน้อยกว่าการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG ทั้งในด้านการบวก การคูณ และการตัดสินใจเป็นอย่างมาก

3.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลระหว่างอัลกอริทึมที่ 1 JPEG และอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเลตแม่ Haar สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลจะใช้ค่า CR และ PSNR (dB) ที่ได้เฉลี่ยมาจากทั้ง 3 ภาพ โดยได้ผลดังรูปที่ 3.57



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

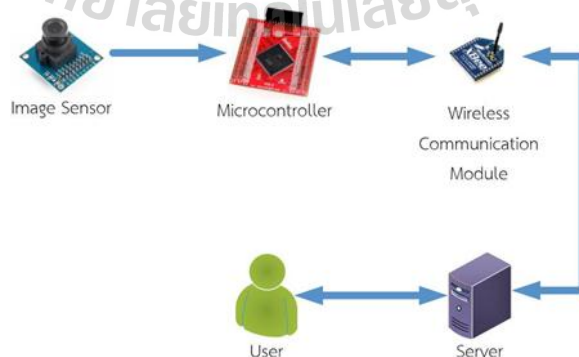
จากรูปที่ 3.57 จะเห็นว่าอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเลตแม่ Haar มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF(%) ประมาณระหว่าง 30% ถึง 60% เมื่อเทียบกับค่า CR แต่อัลกอริทึมที่ 2 มีค่า PSNR (dB) ต่ำกว่าอัลกอริทึมที่ 1 อยู่ 2 dB ถึง 3 dB

### 3.5 แนวคิดและหลักการในการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับ เครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

เนื่องจากเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นมีข้อจำกัดทางด้านการประมวลผลที่ต้องใช้การประมวลผลที่มีความซับซ้อนน้อยจะเหมาะสมที่สุด จากผลลัพธ์การทดสอบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงคิสตรีตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยเทียบประสิทธิภาพกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG จะเห็นได้ว่าการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสตรีตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ดแม่ Haar นั้นมีการการประมวลผลที่ซับซ้อนน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแบบ JPEG ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อไปบนเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

#### 3.5.1 รายละเอียดการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่าย ตรวจรู้ไร้สาย

สำหรับรายละเอียดของการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายนั้นจะนำเอาการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสตรีตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ดแม่ Haar และ Db2 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้จากตัวตรวจรู้รับภาพ เมื่อทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเสร็จแล้วจึงทำการส่งข้อมูลผ่านชุดสื่อสารไร้สายต่อไปเพื่อส่งข้อมูลไปเซิร์ฟเวอร์ (Server) แล้วทำการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเพื่อทำการจัดเก็บหรือส่งต่อไปที่ผู้สเซอร์ (User) เพื่อดูสัญญาณภาพดิจิทัลต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.58

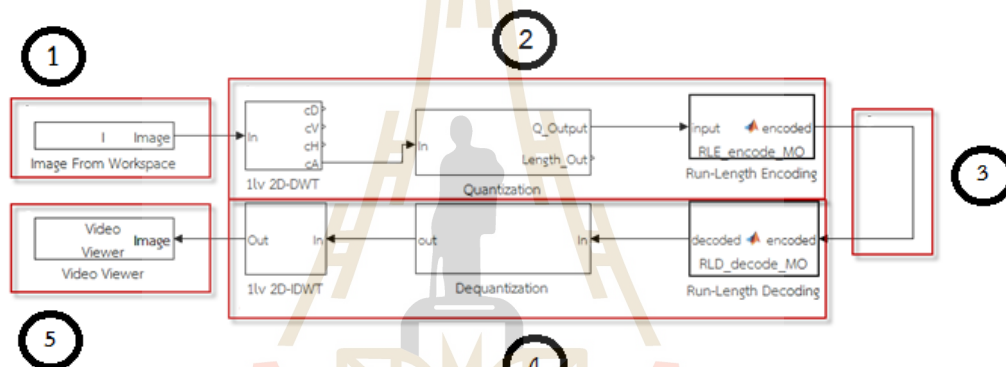


รูปที่ 3.58 การออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

### 3.5.2 การออกแบบจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ ไร้สายโดยใช้ Simulink

การจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายจะใช้โปรแกรม Simulink ในการจำลองระบบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยการใช้การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level และ 2 level

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



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

จากรูปที่ 3.59 อธิบายการทำงานได้ดังนี้

**ส่วนที่ 1** การรับข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลอินพุตแบบดิจิทัล

จะทำการดึงสัญญาณภาพดิจิทัลจาก workspace เข้ามาทำงาน

**ส่วนที่ 2** การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

ในส่วนนี้จะนำสัญญาณภาพดิจิทัลที่ได้จากส่วนที่ 1 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level โดยในส่วนนี้ข้อมูลจะถูกทำการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติในขั้นตอนแรกและจะไหลเพียงแบนด์ย่อย

สัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำ (cA) ส่งต่อไปยังขั้นตอนการจักระดับสัญญาณข้อมูล หลังจากนั้นข้อมูลที่ผ่านการจักระดับสัญญาณจะถูกเข้ารหัสแบบรันเรนจ์เป็นอันเสร็จสิ้นในส่วนที่ 2

### ส่วนที่ 3 การส่งข้อมูล

หลังจากทำการบีบอัดข้อมูลในส่วนที่ 2 ก็ทำการจำลองการส่งข้อมูลที่ทำการบีบอัดแล้วไปยังส่วนภาครับต่อไป เพื่อที่ภาครับจะได้ดำเนินการต่อไปในส่วนที่ 4 คลายการบีบอัด

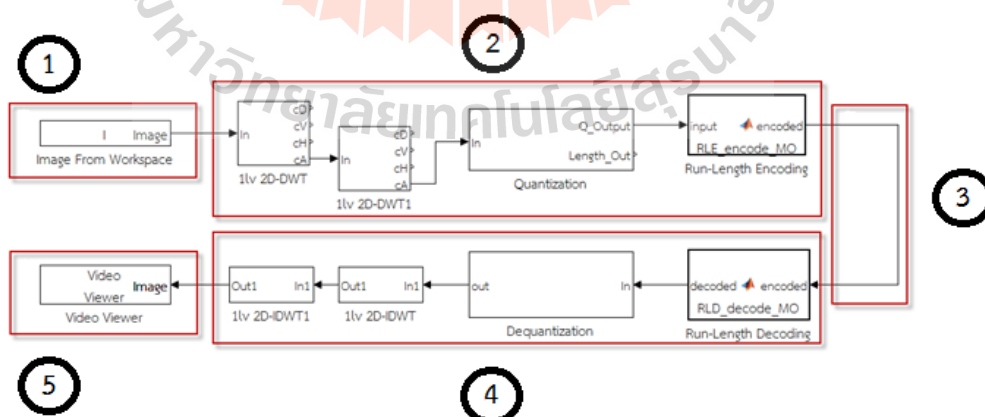
### ส่วนที่ 4 การคลายการบีบอัด

ในส่วนนี้เมื่อรับข้อมูลที่ทำการส่งมาในส่วนที่ 3 ครบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่บีบอัดแล้วมาทำการคลายการบีบอัดโดยขั้นตอนแรกข้อมูลจะถูกถอดรหัสสัญญาณแบบรันเรนจ์ จากนั้นข้อมูลที่ถอดรหัสแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการคลายการจักระดับสัญญาณเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงกลับคิสิกิตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-IDWT SHPS) โดยใช้เวฟเล็ดแม่ Haar และ Db2 แบบ 1 level เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลขึ้นมาเก็บข้อมูลหรือนำไปแสดงผลในส่วนที่ 5

### ส่วนที่ 5 การแสดงรูปภาพหลังจากการคลายการบีบอัด

เมื่อทำการคลายการบีบอัดในส่วนที่ 4 เสร็จเรียบร้อยแล้วสัญญาณภาพดิจิทัลที่มีอยู่ในตอนนี้สามารถนำมาแสดงผลเป็นภาพได้ในส่วนที่ 5 นี้

สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสิกิตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค 2D-DWT SHPS แบบ 2 level มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วนดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 คิสิกิตเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค SHPS แบบ 2 level

จากรูปที่ 3.60 อธิบายการทำงานได้ดังนี้

**ส่วนที่ 1** การรับข้อมูลสัญญาณภาพดิจิทัลอินพุตแบบดิจิทัล

จะทำการดึงสัญญาณภาพดิจิทัลจาก workspace เข้ามาทำงาน

**ส่วนที่ 2** การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

ในส่วนนี้จะนำสัญญาณภาพดิจิทัลที่ได้จากส่วนที่ 1 มาทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 ดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-DWT SHPS) โดยใช้เวฟเลตแม่ Haar และ Db2 แบบ 2 level โดยในส่วนนี้ข้อมูลจะถูกทำการแปลงดิสครีตเวฟเลตแบบ 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 ครบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่บีบอัดแล้วมาทำการคลายการบีบอัด โดยขั้นตอนแรกข้อมูลจะถูกถอดรหัสสัญญาณแบบรันเรนจ์ จากนั้นข้อมูลที่ถูกลดรหัสแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการคลายการจัดระดับสัญญาณเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงกลับดิสครีตเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิค Skipped High Pass Sub-bands (2D-IDWT SHPS) โดยใช้เวฟเลตแม่ Haar และ Db2 แบบ 2 level เพื่อสร้างสัญญาณภาพดิจิทัลขึ้นมาเก็บข้อมูลหรือนำไปแสดงผลในส่วนที่ 5

**ส่วนที่ 5** การแสดงรูปภาพหลังจากการคลายการบีบอัด

เมื่อทำการคลายการบีบอัดในส่วนที่ 4 เสร็จเรียบร้อยแล้วสัญญาณภาพดิจิทัลที่มีอยู่ในตอนนี้สามารถนำมาแสดงผลเป็นภาพได้ในส่วนที่ 5 นี้



**3.5.3 ผลการจำลองระบบโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้  
เวฟเล็ตแม่ 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

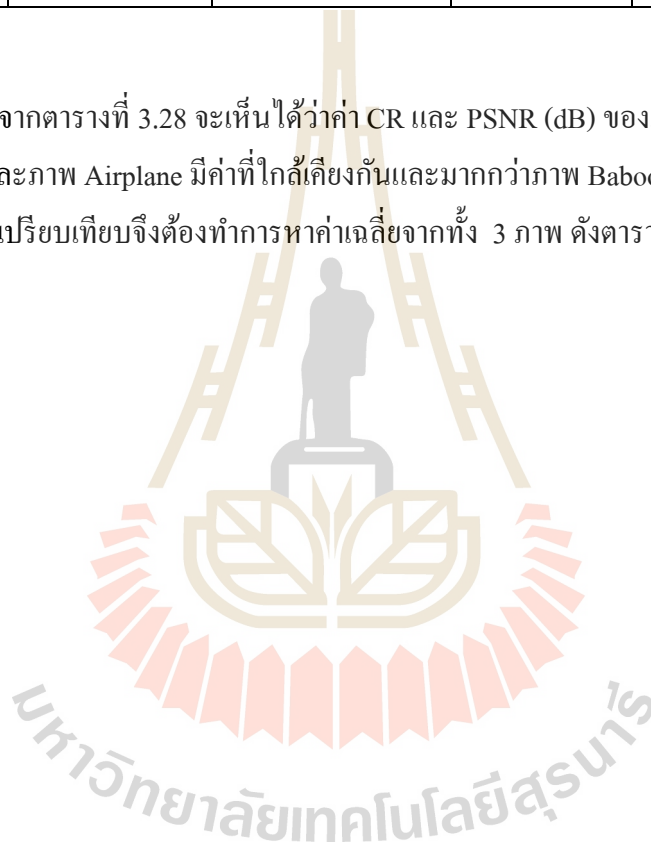
เวฟเล็ตแม่	Lena			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.99	33.48	10.32	30.08
Db2	3.92	33.52	10.16	30.33

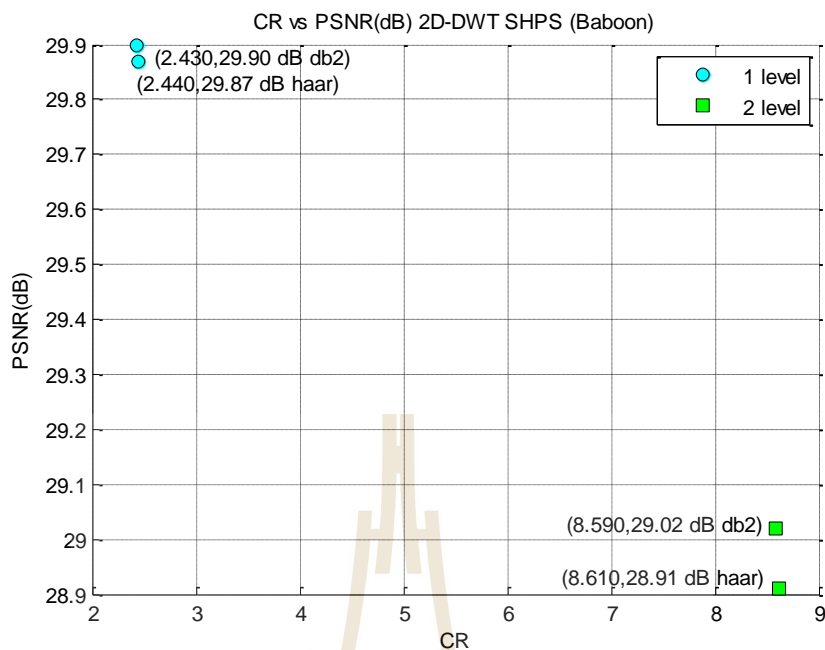
เวฟเล็ตแม่	Airplane			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.92	33.73	10.16	31.23
Db2	3.85	33.88	10.08	31.56

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

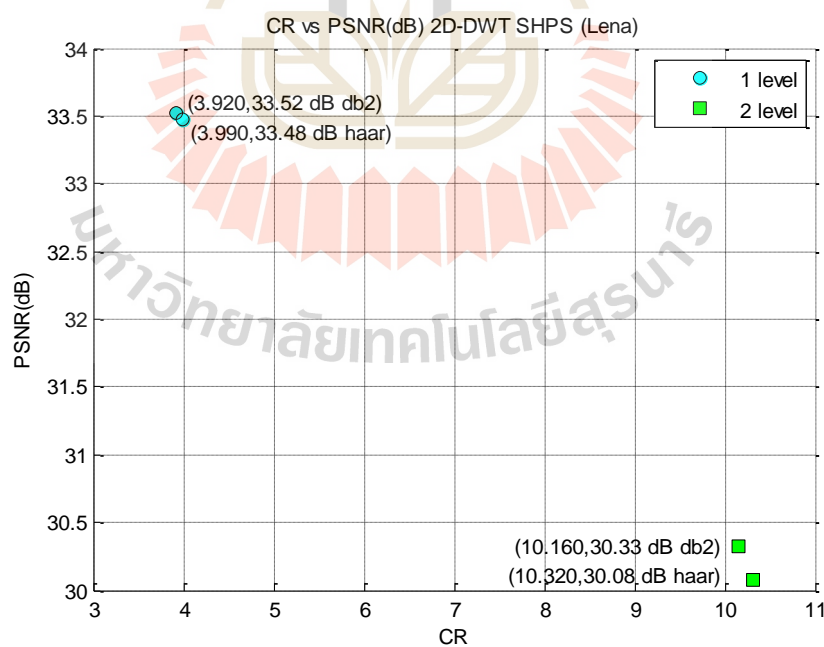
เวฟเล็ตแม่	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.45	32.36	9.70	30.07
Db2	3.40	32.43	9.61	30.30

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

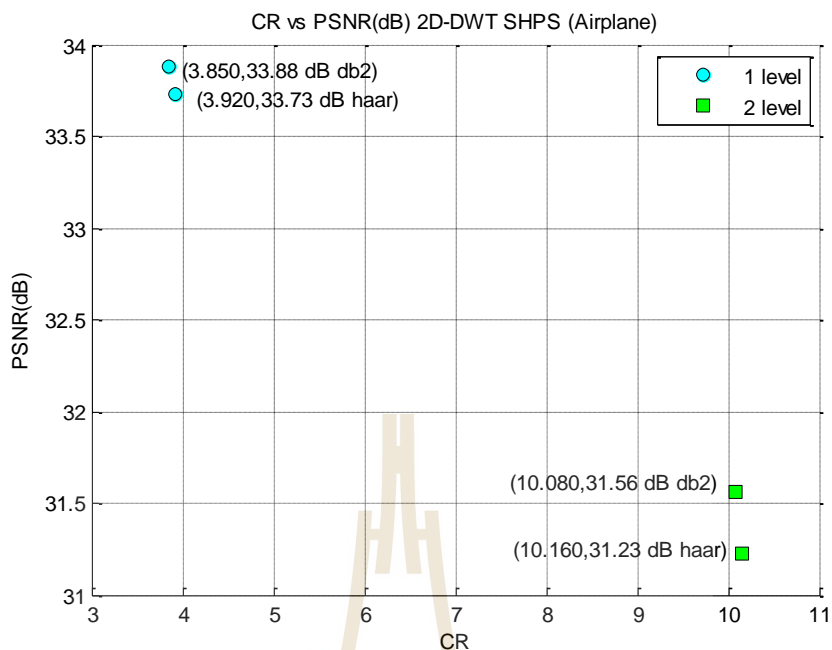




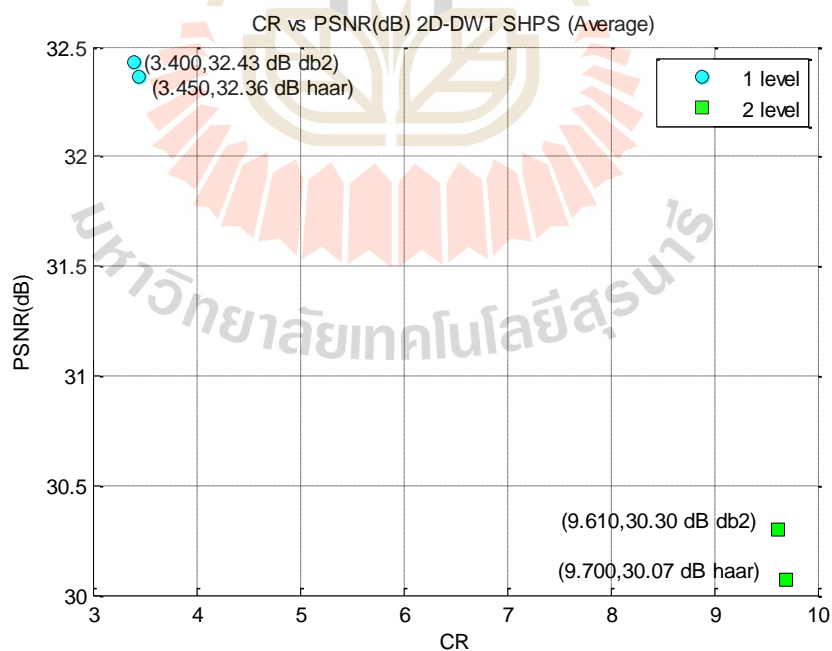
รูปที่ 3.61 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Baboon



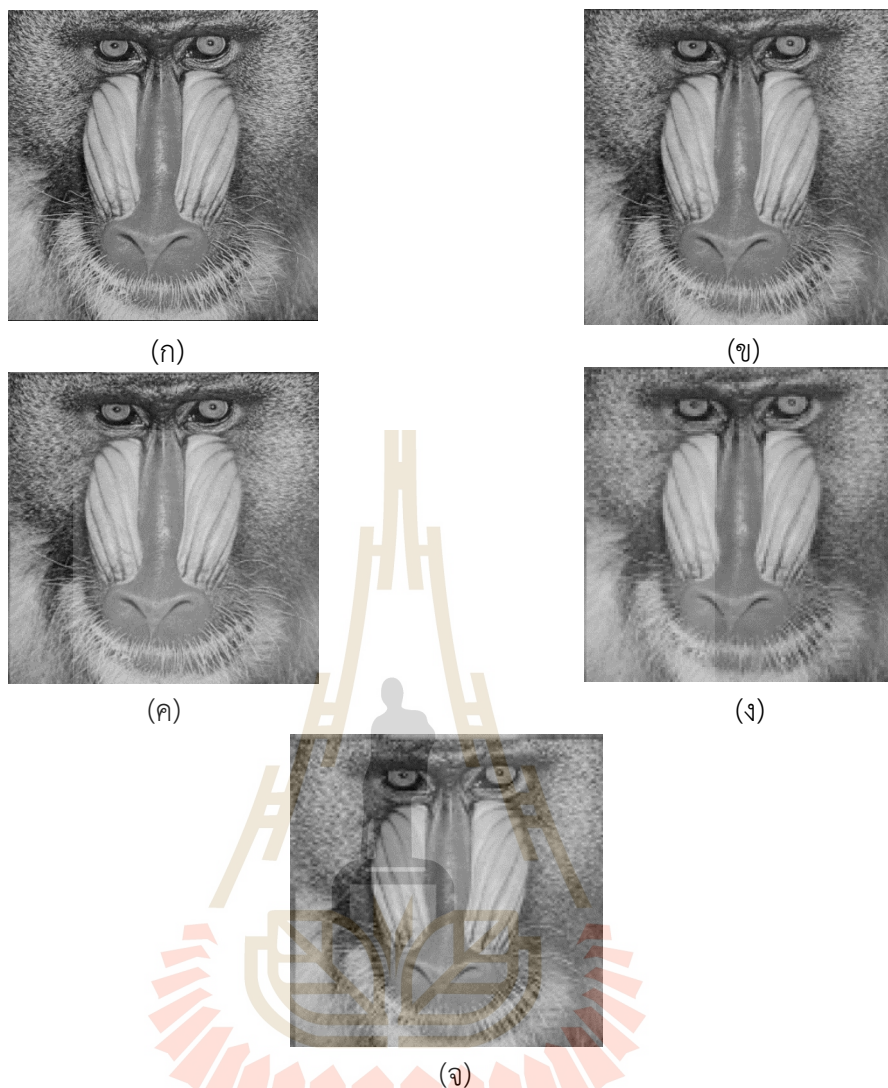
รูปที่ 3.62 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Lena



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



รูปที่ 3.65 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Baboon

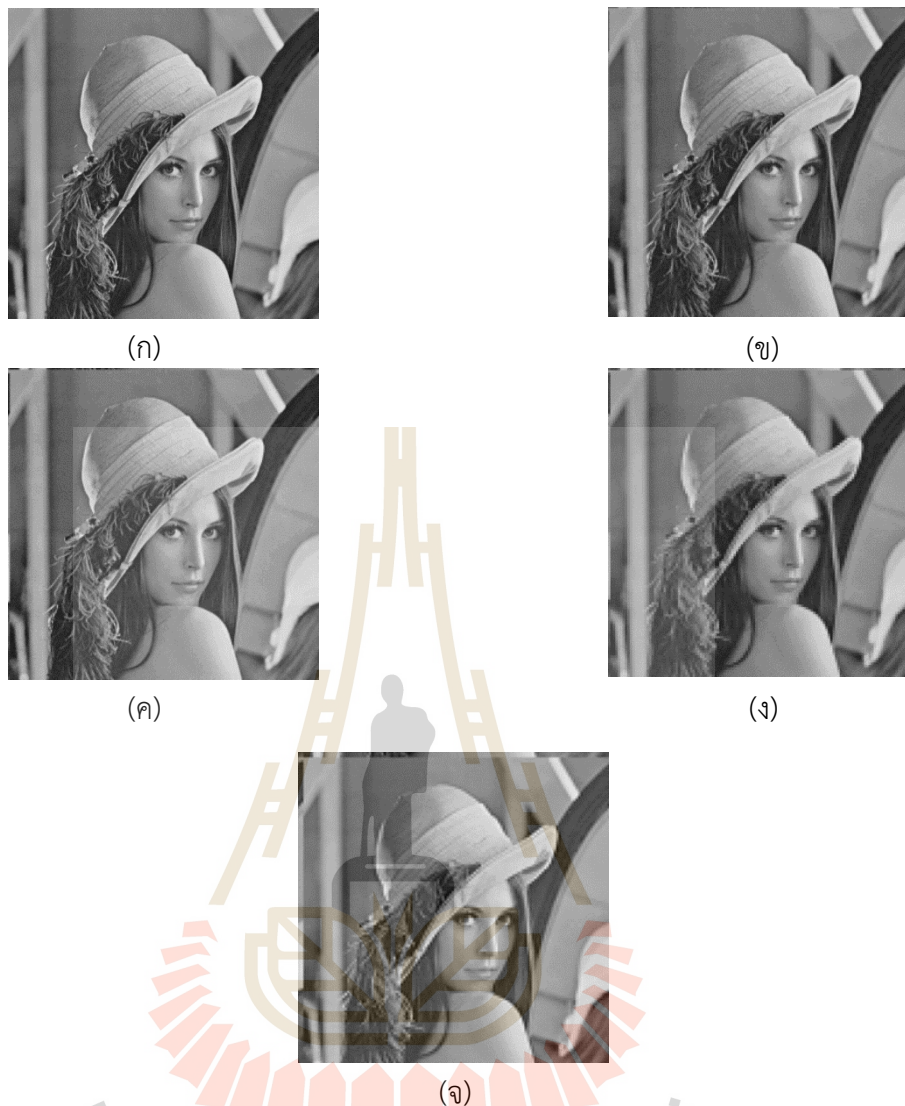
(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=2.44 และ PSNR=29.87dB

(ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=2.43 และ PSNR=29.90dB

(ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=8.61 และ PSNR=28.91dB

(จ) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=8.59 และ PSNR=29.02dB



รูปที่ 3.66 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Lena

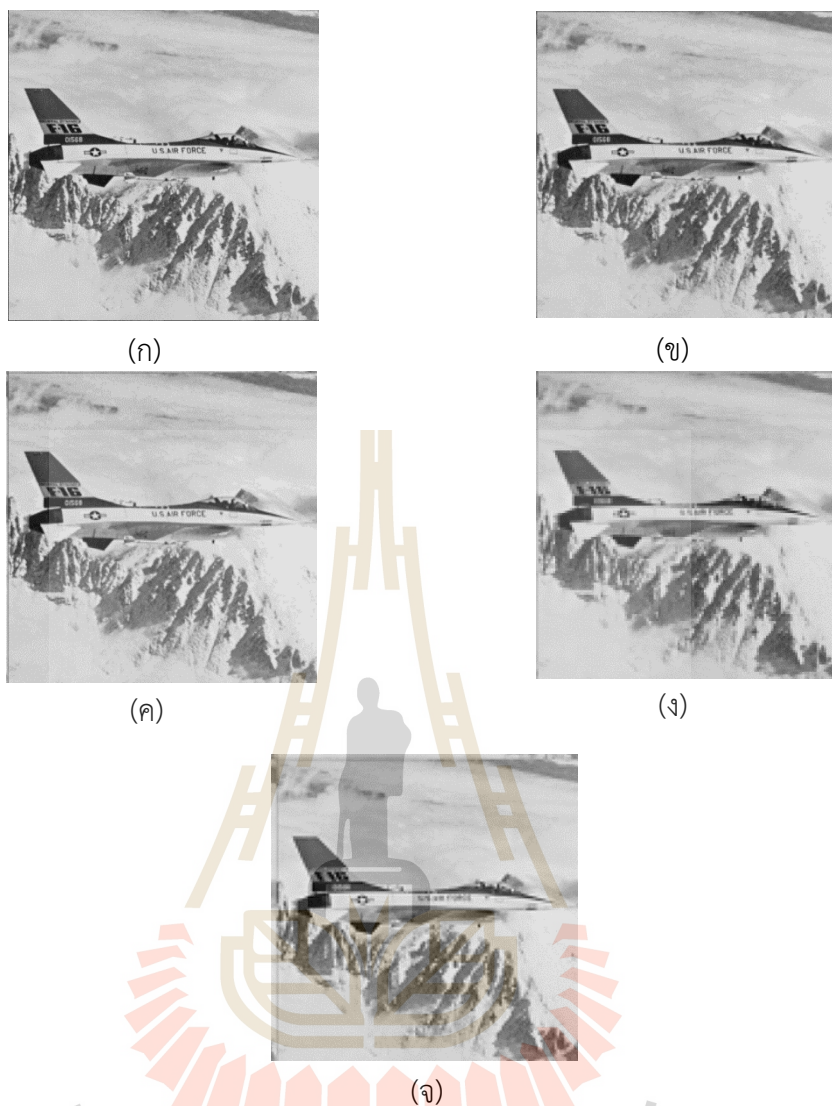
(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.99 และ PSNR=33.48dB

(ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.92 และ PSNR=33.52dB

(ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.32 และ PSNR=30.08dB

(จ) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.16 และ PSNR=30.33dB



รูปที่ 3.67 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ภาพ Airplane

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.92 และ PSNR=33.73dB

(ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.85 และ PSNR=33.88dB

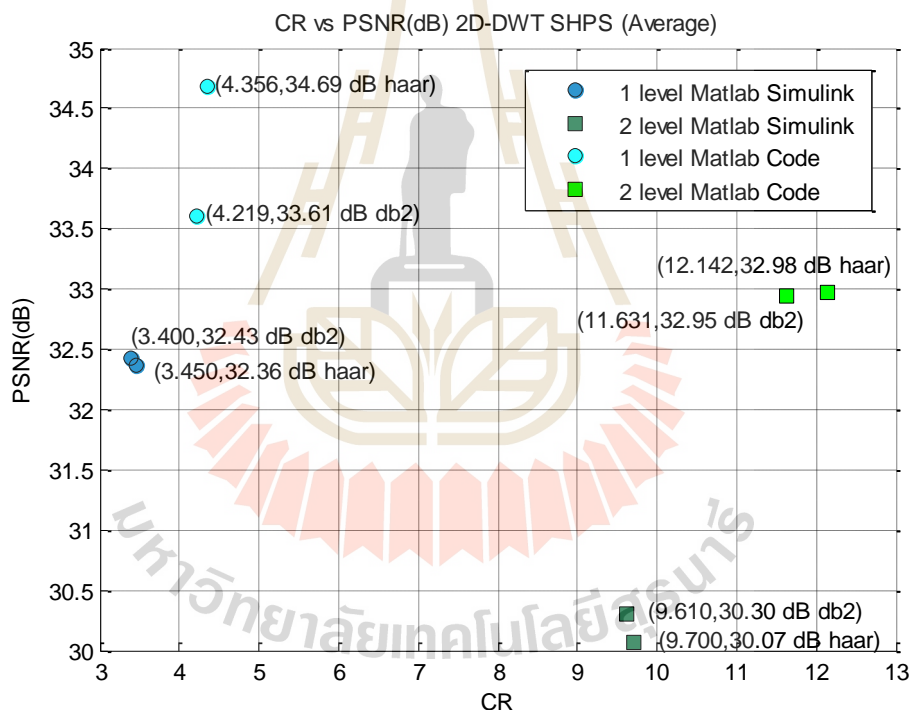
(ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=10.16 และ SNR=31.23dB

(จ) 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 ที่ใช้คำสั่งร่ายบรรทัดเพราะใน Simulink ผู้วิจัยได้ใช้บล็อกการเปลี่ยนชนิดสัญญาณ (Data type conversion) จากชนิด Double 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(%) ประมาณ 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 โดยใช้

เวฟเล็ตแม่ 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

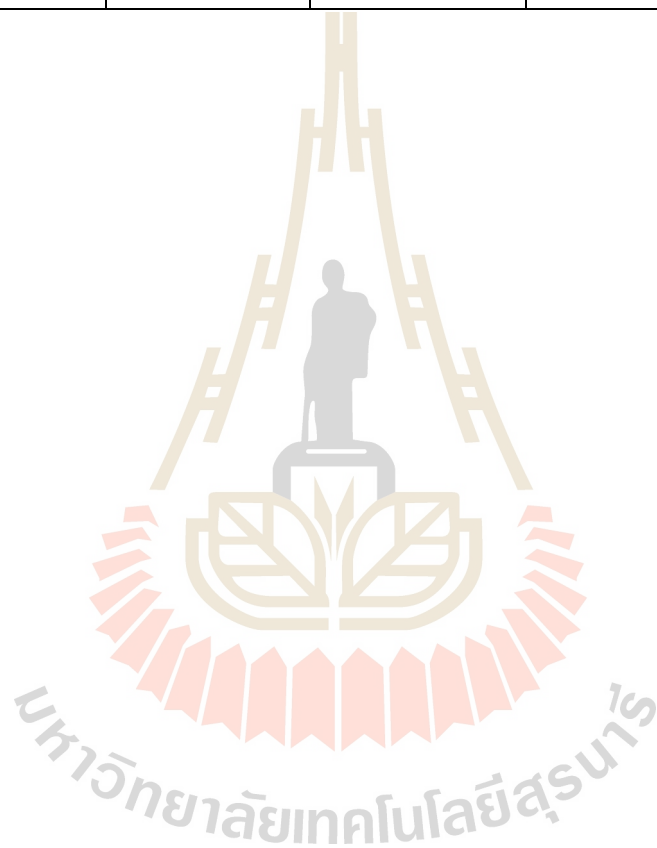
ตารางที่ 3.30 ผลการจำลองผลโดยใช้ Simulink อัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar และ Db2 ของภาพ Cassava1 และ Cassava2

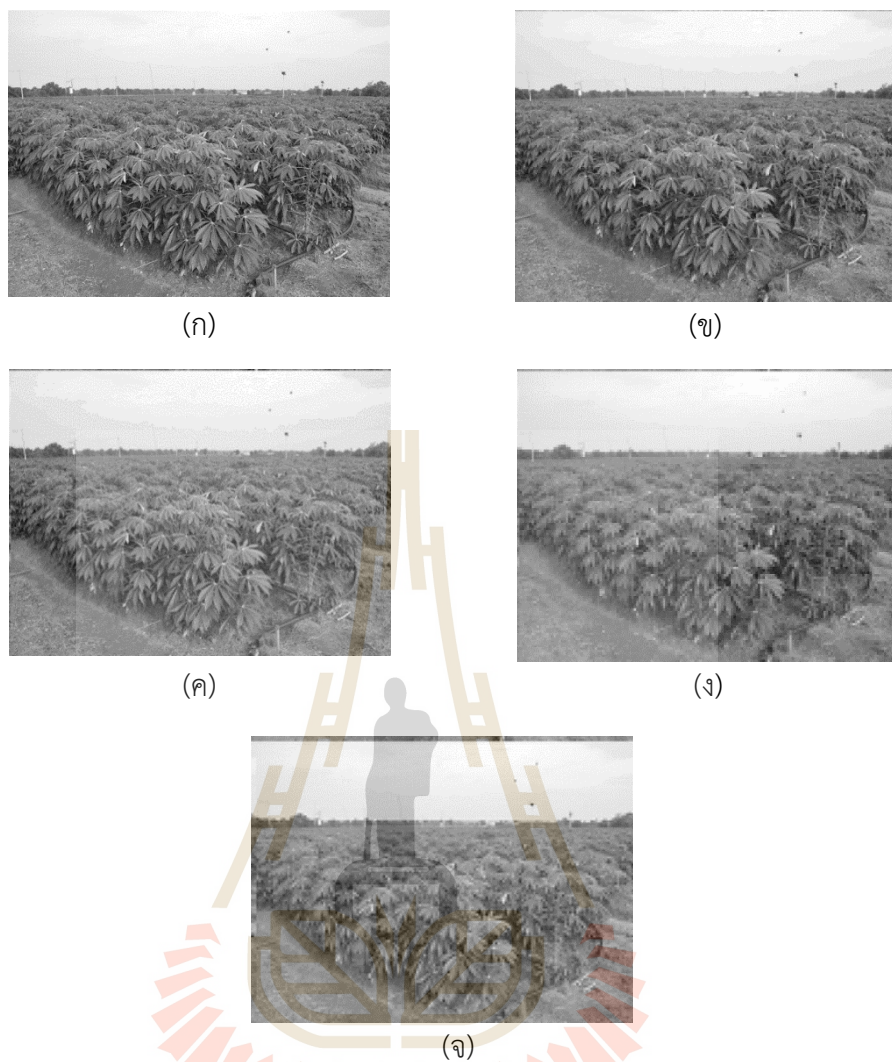
เวฟเล็ตแม่	Cassava 1			
	1 level		2 level	
	CR	PSNR (dB)	CR	PSNR (dB)
Haar	3.45	29.93	11.45	29.35
Db2	3.39	30.88	11.24	29.95

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 โดยใช้  
เวฟเล็ตแม่ 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





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

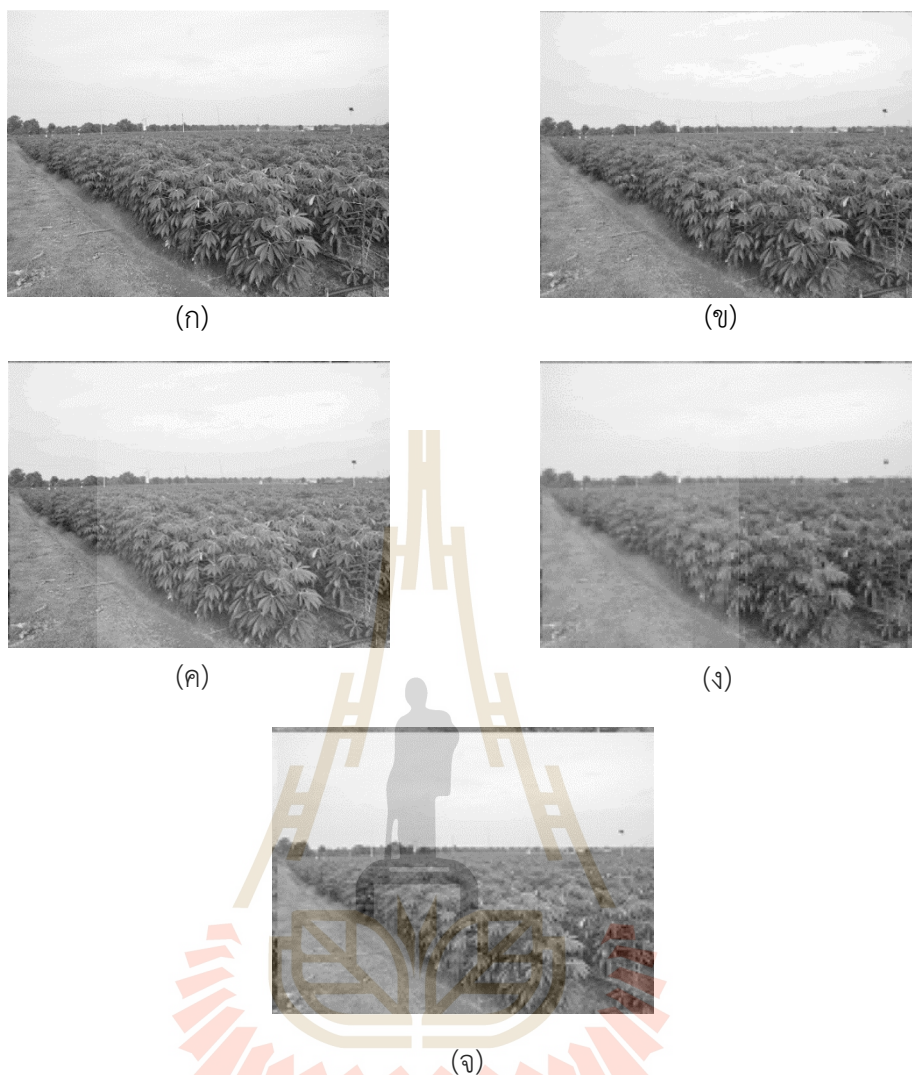
(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.45 และ PSNR=29.93dB

(ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=3.39 และ PSNR=30.88dB

(ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=11.45 และ SNR=29.35dB

(จ) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=11.24 และ PSNR=29.95dB



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

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=4.13 และ PSNR=30.85dB

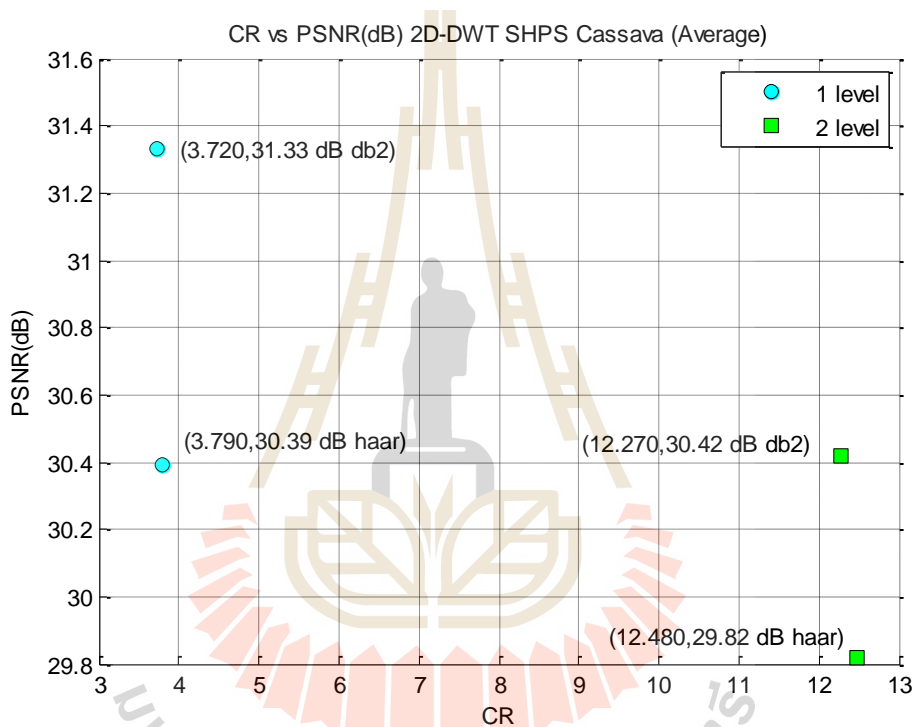
(ค) ใช้เวฟเล็ตแม่ Db2 แปลง 1 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=4.04 และ PSNR=31.77dB

(ง) ใช้เวฟเล็ตแม่ Haar แปลง 2 level 2D-DWT ได้ผลลัพธ์ CR=13.51 และ SNR=30.28dB

(จ) 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(dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF(%) ประมาณระหว่าง 30 – 60%



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

### 3.6 สรุป

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



## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2

#### การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

##### 4.1 บทนำ

ในการดำเนินงานวิจัยในส่วนที่ 2 จะนำเอาอัลกอริทึมที่ 2 2D DWT-SHPS ไปทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลบนระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายในสถานที่จริงและทำการเก็บค่าผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงาน

##### 4.2 การทดสอบอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) บนฮาร์ดแวร์

ในการทดสอบอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่ 2 (2D-DWT SHPS) บนฮาร์ดแวร์นั้นได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi 3 Model B ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

SoC :	Broadcom BCM2837
CPU :	4x ARM Cortex-A53, 1.2GHz
GPU :	Broadcom VideoCore IV
RAM :	1GB LPDDR2(900 MHz)
Networking :	10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n wireless
Bluetooth :	Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
Storage :	microSD (การทดสอบใช้ขนาด 8 GB)
GPIO :	40-pin header, populated
Ports :	HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4x USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

สำหรับกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพดิจิทัลคือกล้อง Raspberry Pi Camera Module v2 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

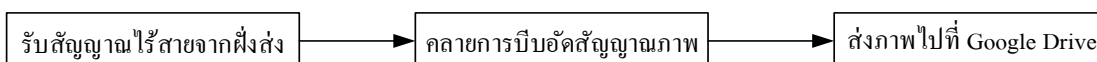
Weight :	3g
Still resolution :	8 Megapixels
Video modes :	1080p30, 720p60 and 640 x 480p60/90
Sensor :	Sony IMX219 CMOS
Sensor resolution :	3280 x 2464 pixels (การทดสอบใช้ภาพขนาด 640 x 480 pixels)

ภาษาที่ใช้พัฒนาการทำงานได้ใช้ภาษา Python 2.7 ในการพัฒนาเขียนอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยระบบฮาร์ดแวร์มีหลักการทำงานฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 และการทำงานฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแสดงอยู่ในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.1 การทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

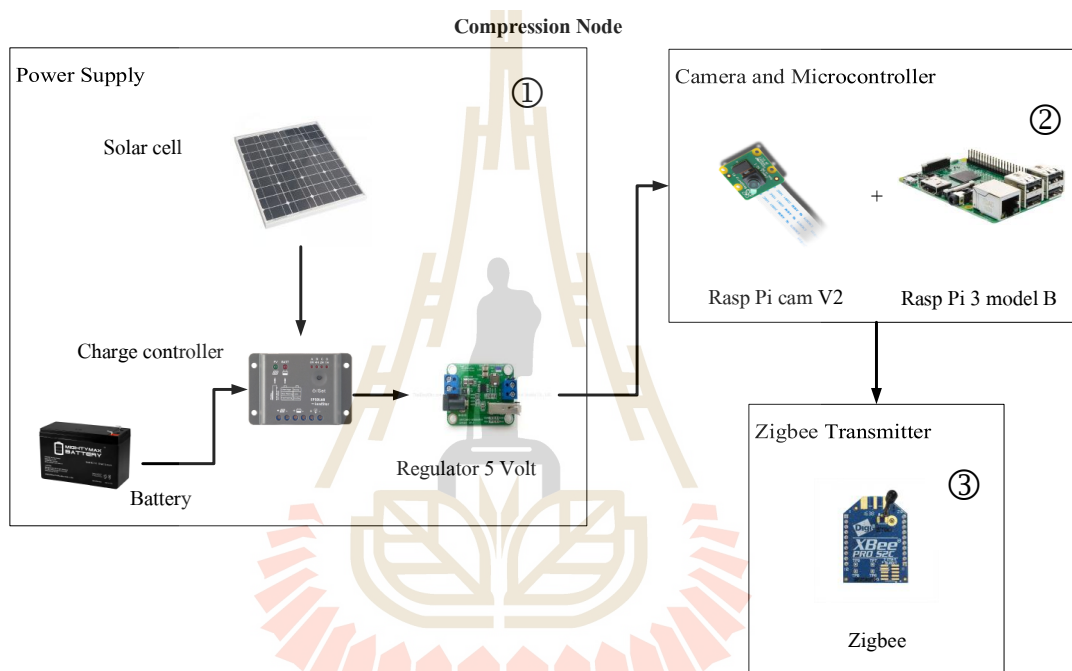
ทางด้านฝั่งส่งข้อมูล (ฝั่งการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล) ฮาร์ดแวร์จะเริ่มต้นการทำงานด้วยการจับสัญญาณภาพดิจิทัลจากกล้องจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบอร์ด Raspberry Pi เพื่อทำการบีบอัดสัญญาณรูปภาพที่ได้รับมา หลังจากทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเรียบร้อยแล้วจึงทำการส่งสัญญาณภาพด้วยโมดูลสื่อสารไร้สาย Zigbee ไปยังฝั่งภาครับข้อมูล (ฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล)



รูปที่ 4.2 การทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งคลายบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล



ทางด้านฝั่งรับข้อมูล (ฝั่งคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล) หลังจากรับข้อมูลไร้สายจนครบถ้วนสมบูรณ์แล้วจาก โมดูลสื่อสารไร้สาย Zigbee ข้อมูลที่รับมาจะถูกนำไปเข้ากระบวนการคลายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่บอร์ด Raspberry Pi เพื่อสร้างภาพจำลองภาพต้นฉบับจากข้อมูลที่ถูกบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลและหลังจากได้ภาพจำลองที่สร้างขึ้นมาที่ฝั่งรับข้อมูลแล้วภาพที่ได้จะถูกส่งไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ (Cloud) ที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้บริการไว้นั้นคือ Google Drive



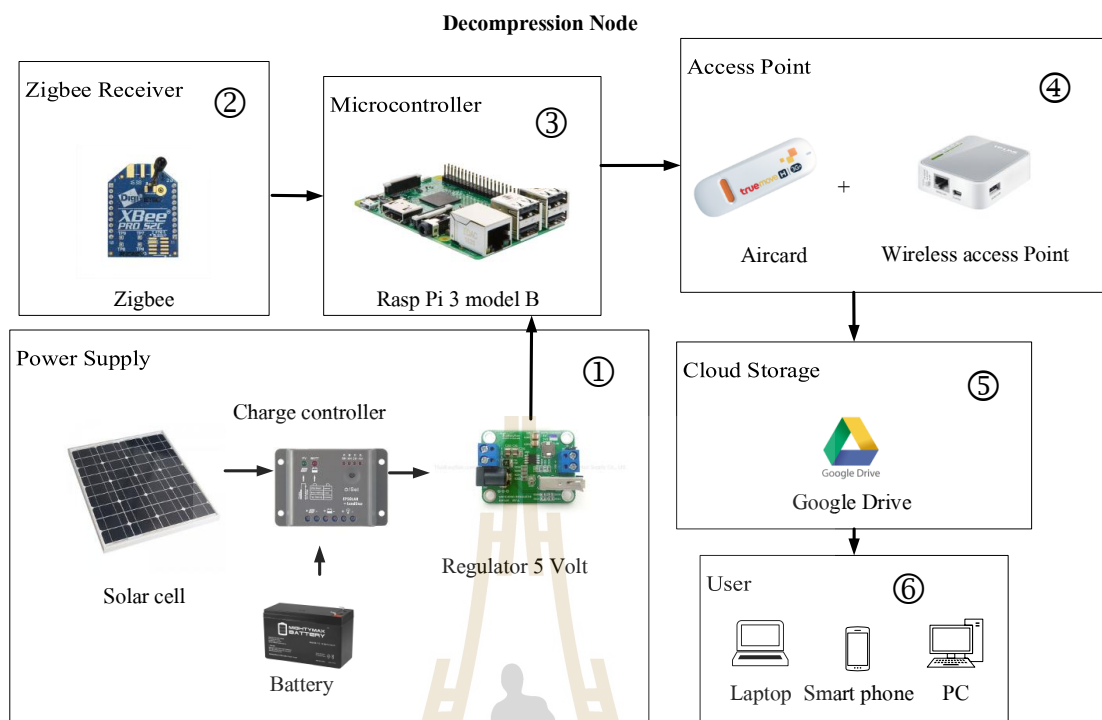
รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบิบัติสัญญาณภาพดิจิทัล

ในระบบของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งบิบัติสัญญาณภาพดิจิทัลจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ได้แก่ส่วนที่ 1 จะเป็นส่วนให้พลังงานไฟฟ้าแก่ระบบทั้งหมดโดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ส่งไปยังตัวควบคุมการชาร์จที่สามารถชาร์จพลังงานไปเก็บที่แบตเตอรี่และในขนาดเดียวกันสามารถดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้ได้โดยที่แบตเตอรี่ยังได้รับการชาร์จอยู่หากมีแสงอาทิตย์ สำหรับในส่วนที่ 2 เป็นส่วนของกล้องและไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งกล้องจะถ่ายรูปภาพขนาด 640 x 480 และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการบิบัติสัญญาณภาพดิจิทัล และในส่วนที่ 3 เป็นส่วนของการส่งข้อมูลไร้สายโดยใช้ Zigbee



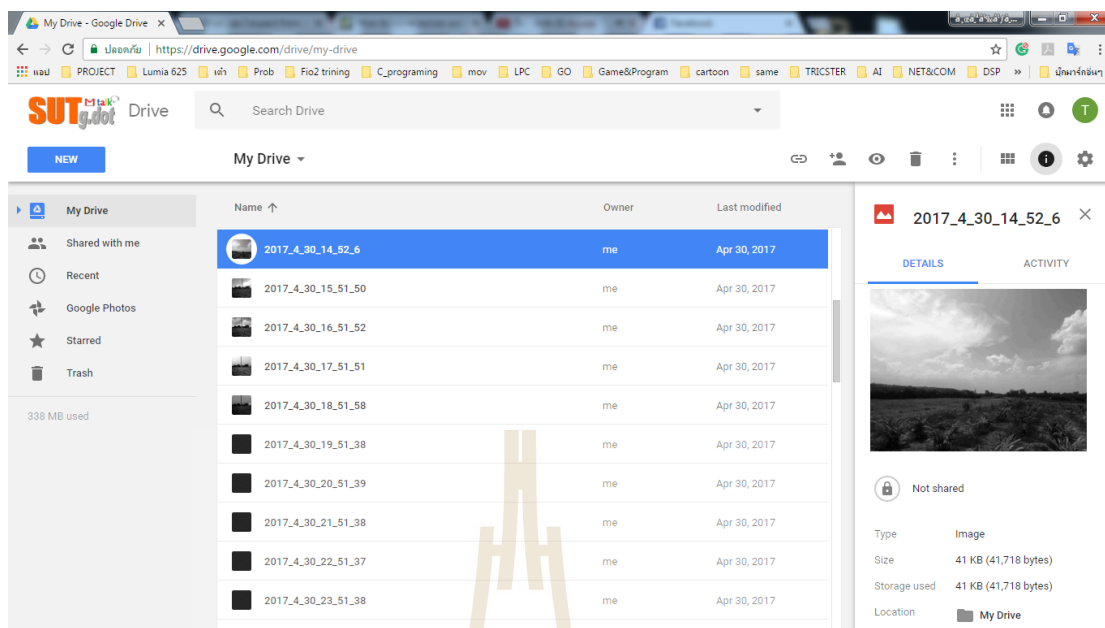


รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฟังกระจายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล





รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฮาร์ดแวร์ด้านฟังก์ชันการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล



รูปที่ 4.7 Google Drive

ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนของแหล่งพลังงานไฟฟ้า ส่วนที่ 2 คือ ส่วนสื่อสารไร้สาย Zigbee โดยจะรับข้อมูลที่ส่งมาจาก Zigbee ของฮาร์ดแวร์ด้านฝั่งการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลซึ่งก็คือจะรับข้อมูลภาพที่ถูกบีบอัดมาแล้ว ส่วนที่ 3 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะใช้ในกระบวนการคลายการบีบอัดสัญญาณเพื่อสร้างภาพคล้ายต้นฉบับขึ้นมาและส่วนสุดท้ายคือส่วนที่ 4 จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตโดยใช้ Wireless access point

ในส่วนที่ 5 จะเป็นส่วนฐานเก็บข้อมูล Cloud ซึ่งในการทดสอบฮาร์ดแวร์นี้ได้เลือกใช้ Google Drive เป็นฐานเก็บข้อมูล

ในส่วนที่ 6 จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้ได้ทำการติดต่อเพื่อดูข้อมูลจาก Google Drive ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ เช่น คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (PC) คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop) และโทรศัพท์สมาร์ทโฟน (Smart phone) เป็นต้น จากการทดสอบฮาร์ดแวร์ได้ทำการถ่ายภาพทั้งหมด 10 ภาพ ในสถานที่แตกต่างกันและทำการบีบอัดแบบ 2D-DWT SHPS โดยใช้เวฟเล็ตแม่ HAAR ทั้งแบบ 1 level และ 2 level ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

### 4.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบฮาร์ดแวร์ในการบีบอัดแบบ 2D-DWT SHPS แบบ 1 level

รูป	1 level 2D-DWT SHPS											
	เวลา (วินาที)									จำนวน Packet ที่ส่งพลาด	CR	PSNR(dB)
	ถ่ายรูป	อ่านไฟล์รูป	แปลง Gray scale	2D-DWT SHPS	จัดระดับ	RLE	ส่ง-รับข้อมูล	RLD	2D-IDWT SHPS			
1	5.89	0.07	58.07	0.16	6.64	0.65	846.38	98.58	0	1	2.22	35.91
2	6.29	0.10	58.13	0.17	6.56	0.63	842.78	67.955	0	1	2.49	33.42
3	6.05	0.10	57.81	0.15	6.82	0.64	835.97	134.06	0.016	0	2.48	35.68
4	5.97	0.07	58.89	0.22	6.71	0.69	839.24	95.26	0.016	0	1.77	30.69
5	6.25	0.12	57.26	0.15	6.65	0.57	832.26	42.04	0.016	0	4.15	40.12
6	6.23	0.07	57.78	0.14	6.80	0.59	842.22	45.07	0.016	1	3.55	37.65
7	6.05	0.07	58.32	0.15	6.54	0.58	833.46	51.82	0.016	0	3.41	37.86
8	6.27	0.07	57.96	0.15	6.59	0.59	832.66	43.52	0.015	0	4.06	40.27
9	6.29	0.07	58.18	0.15	6.60	0.59	835.75	57.82	0.016	0	3.03	36.79
10	5.9	0.07	58.01	0.15	6.73	0.60	834.02	50.32	0	0	3.31	36.54
เฉลี่ย	6.13	0.08	58.04	0.16	6.67	0.61	837.47	68.64	0.0111	0.3	3.05	36.49
นาที	0.10	0.001	0.97	0.003	0.11	0.01	13.96	1.14	0.0001			

### ค่าเฉลี่ย

ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งหมดเท่ากับ	977.8111 วินาที หรือ	16.2968 นาที
ใช้เวลาในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล	71.6900 วินาที หรือ	1.1948 นาที
ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลไร้สาย	837.4700 วินาที หรือ	13.9578 นาที
ใช้เวลาในกระบวนการคายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล	68.6511 วินาที หรือ	1.1441 นาที

จากการหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการทำงานมีค่าเท่ากับ 16.30 นาที โดยที่ใช้เวลาส่วนใหญ่หมดไปกับการรับส่งข้อมูล ไร้สายด้วย Zigbee และในด้านผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของ CR และ PSNR(dB) มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยใช้ Matlab และ Matlab Simulink





ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบฮาร์แวร์ในการบีบอัดแบบ 2D-DWT SHPS แบบ 2 level

รูป	2 level 2D-DWT SHPS											
	เวลา (วินาที)									จำนวน Packet ที่ส่งพลาด	CR	PSNR(dB)
	ถ่ายรูป	อ่านไฟล์รูป	แปลง Gray scale	2D-DWT SHPS	จัดระดับ	RLE	ส่ง-รับข้อมูล	RLD	2D-IDWT SHPS			
1	5.89	0.08	58.18	0.16	2.76	0.19	533.94	33.88	0.016	0	5.30	31.60
2	6.30	0.08	58.21	0.19	2.80	0.18	529.51	29.79	0.015	1	6.14	30.26
3	6.05	0.08	58.05	0.16	2.85	0.19	533.53	31.50	0.015	0	5.76	31.16
4	5.98	0.08	58.11	0.21	2.88	0.19	536.14	37.97	0	0	5.05	26.19
5	6.25	0.07	58.03	0.17	2.75	0.16	533.41	20.43	0.015	0	9.33	37.92
6	6.23	0.07	57.89	0.17	2.93	0.18	533.21	24.68	0.016	0	7.47	35.01
7	6.05	0.07	58.30	0.17	2.81	0.18	533.26	25.07	0	0	7.34	35.49
8	6.27	0.07	58.12	0.16	2.79	0.16	533.64	24.11	0	0	8.30	37.20
9	6.29	0.09	58.18	0.16	2.93	0.17	533.94	25.49	0.015	0	7.46	31.68
10	5.98	0.07	58.17	0.17	2.87	0.17	533.82	25.08	0.016	0	7.46	32.90
เฉลี่ย	6.13	0.07	58.13	0.17	2.84	0.18	534.44	27.80	0.11	0.1	6.95	32.94
นาที	0.10	0.001	0.97	0.003	0.05	0.003	8.91	0.46	0.0001			

### ค่าเฉลี่ย

ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งหมดเท่ากับ	629.8700 วินาที หรือ	10.4978 นาที
ใช้เวลาในกระบวนการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล	67.5200 วินาที หรือ	1.1253 นาที
ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลไร้สาย	534.4400 วินาที หรือ	8.9073 นาที
ใช้เวลาในกระบวนการคายการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล	27.9100 วินาที หรือ	0.4651 นาที

จากการหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการทำงานมีค่าเท่ากับ 10.50 นาที ในด้านผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของ CR มีค่าน้อยกว่าการทดสอบโดยใช้ Matlab และ Matlab Simulink แต่ค่า PSNR(dB) มีค่ามากกว่าการทดสอบโดยใช้ Matlab และ Matlab Simulink





(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.8 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 1

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=2.22 และ PSNR=35.91dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=5.29 และ PSNR=31.60dB



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 2

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=2.49 และ PSNR=33.42dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=6.14 และ PSNR=30.26dB



(ก)



(ข)



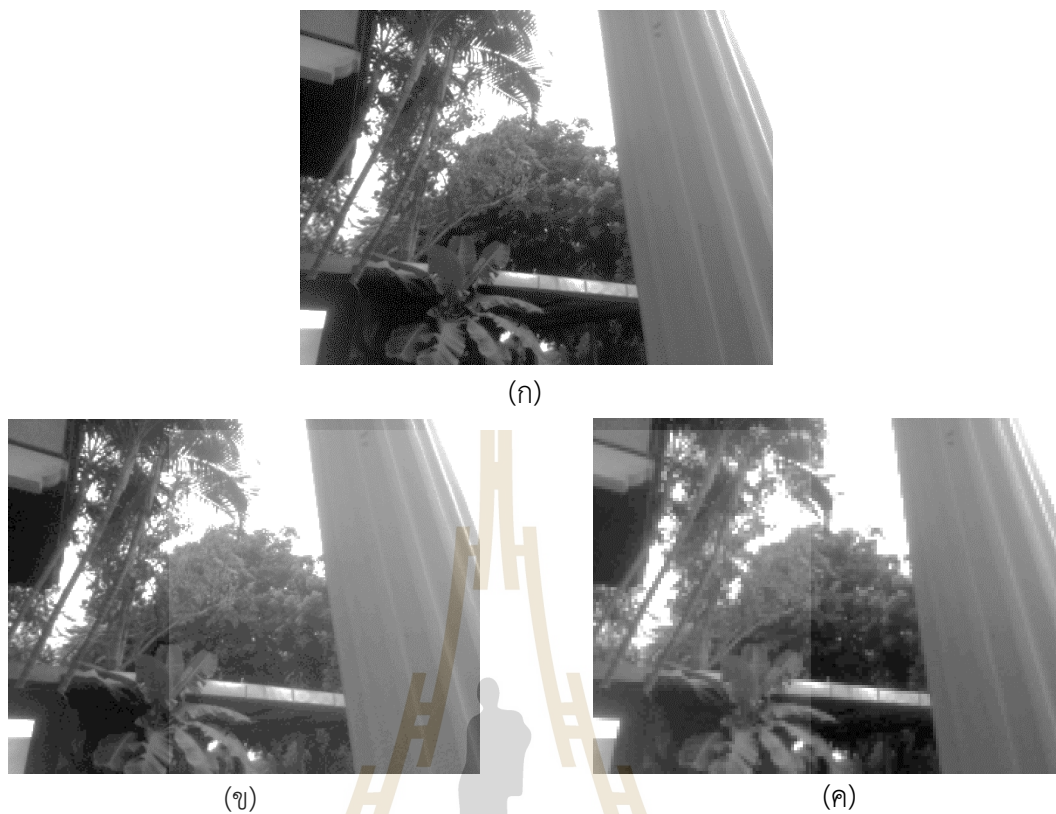
(ค)

**รูปที่ 4.10** ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 3

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=2.48 และ PSNR=3.68dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=5.76 และ PSNR=31.16dB



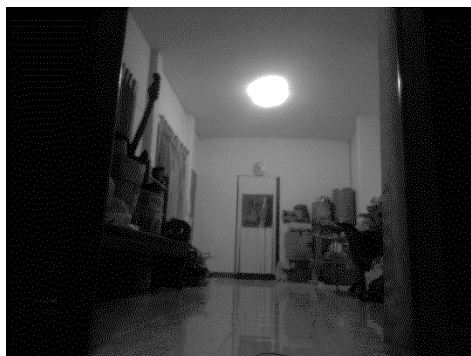
รูปที่ 4.11 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 4

(ก) ภาพต้นฉบับ

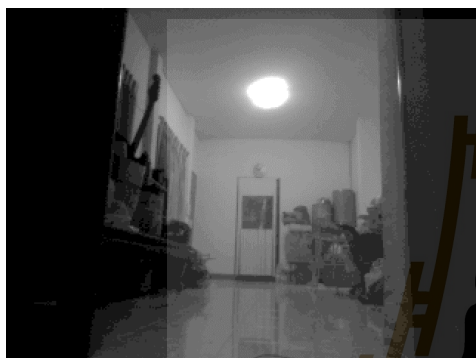
(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=1.76 และ PSNR=30.69dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=5.05 และ PSNR= 26.20dB

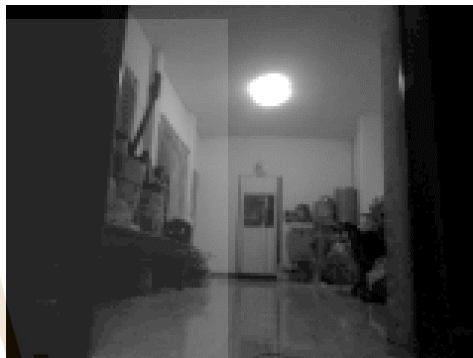




(ก)



(ข)



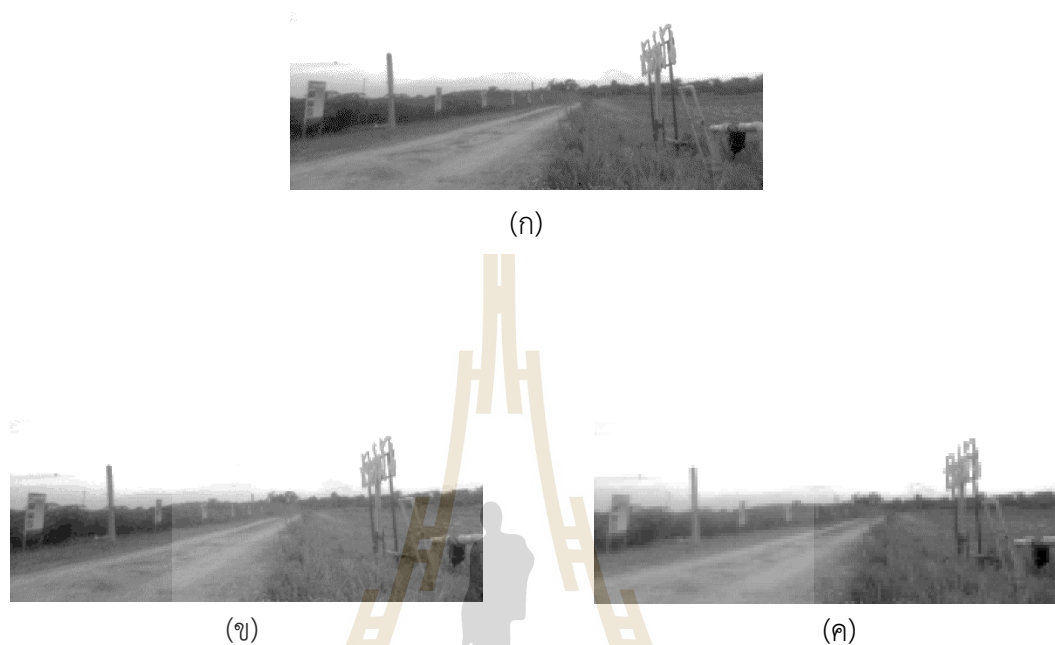
(ค)

รูปที่ 4.12 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 5

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=4.15 และ PSNR=40.12dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=9.33 และ PSNR= 37.93dB



รูปที่ 4.13 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 6

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=3.55 และ PSNR=37.65dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=7.47 และ PSNR=35.01dB





(ก)



(ข)



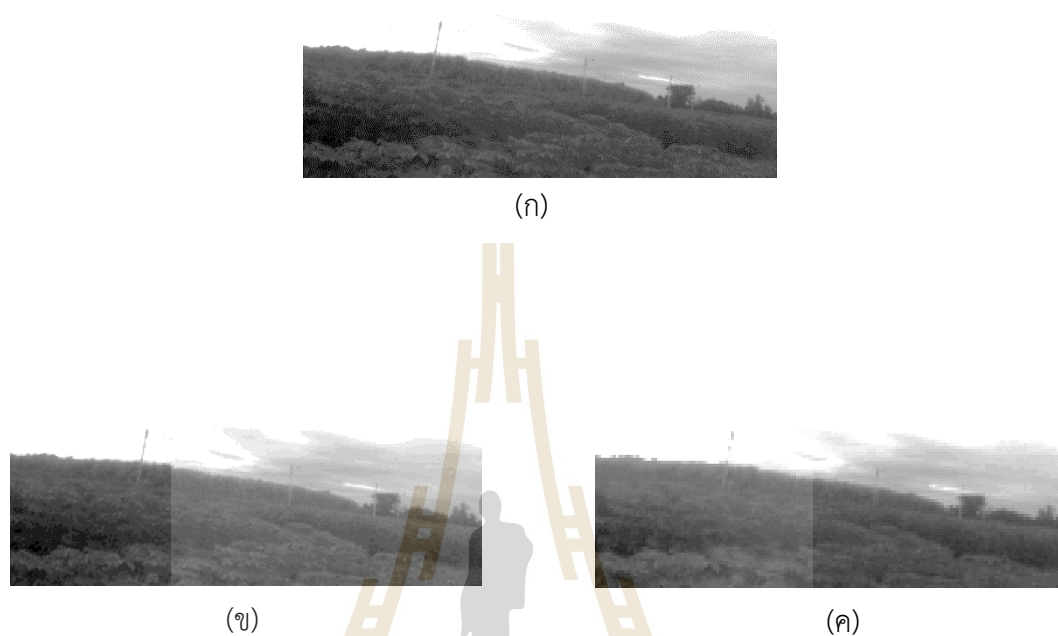
(ค)

รูปที่ 4.14 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 7

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=3.41 และ PSNR=37.86dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=7.34 และ PSNR=35.49dB



รูปที่ 4.15 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 8

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเลตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=4.06 และ PSNR=40.27dB

(ค) เวฟเลตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=8.30 และ PSNR=37.21dB



(ก)



(ข)



(ค)

**รูปที่ 4.16** ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 9

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=3.03 และ PSNR=36.79dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=7.37 และ PSNR=31.69dB



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.17 ผลการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยใช้อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) รูปที่ 10

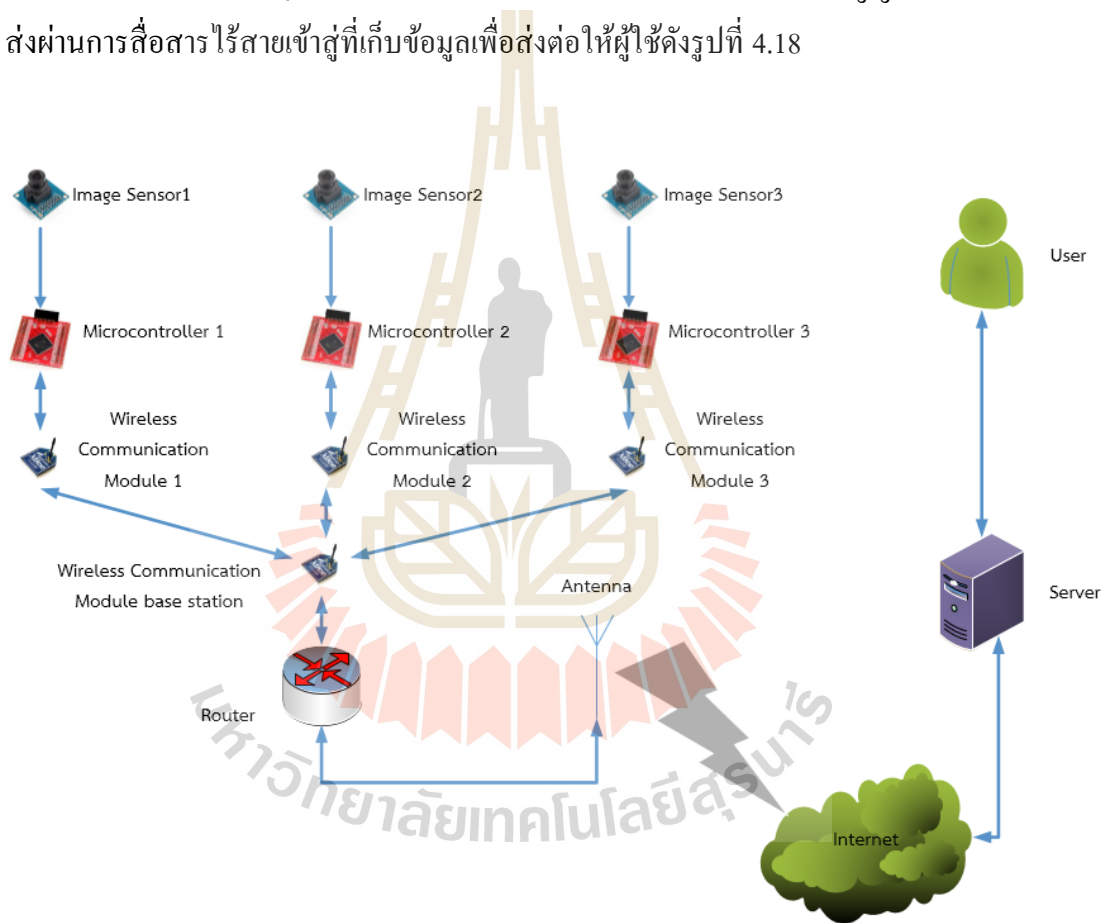
(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) เวฟเล็ตแม่ Haar 1 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=3.31 และ PSNR=36.54dB

(ค) เวฟเล็ตแม่ Haar 2 level 2D-DWT SHPS ได้ผลลัพธ์ CR=7.46 และ PSNR=32.90dB

#### 4.4 ขอบเขตการใช้งานและแนวทางการขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย สำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

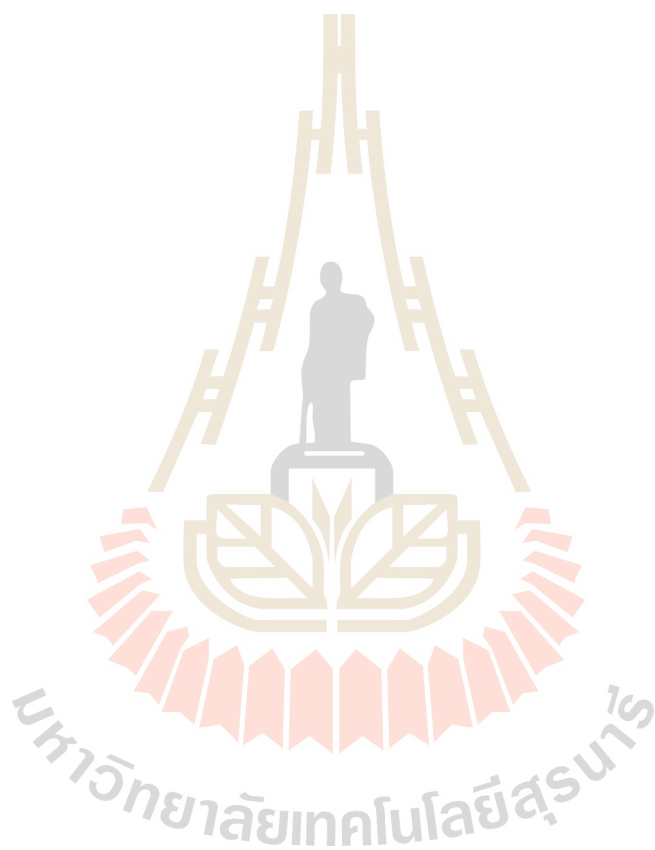
สำหรับขอบเขตการใช้งานในการวิจัยนี้ได้ออกแบบมาโดยใช้ตัวตรวจรู้ภาพ 1 ตัวต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ตัวและอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย 1 ตัว ซึ่งหมายความว่ารูปถ่ายที่ได้จะมีเพียงภาพจากมุมมองเดียวจากตัวตรวจรู้ภาพ 1 ตัว ดังนั้นสามารถขยายขอบเขตการใช้งานได้โดยใช้การติดตั้งชุดตัวตรวจรู้ภาพกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้นมาในมุมมองภาพที่ต้องการใช้หลายๆ โหนด จากนั้นแต่ละโหนดก็จะทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลก่อนส่งผ่านการสื่อสารไร้สายเข้าสู่ที่เก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อให้ผู้ใช้งานรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การขยายขอบเขตของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล

#### 4.5 สรุป

ในบทที่ 4 นี้ได้นำเสนอการดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยของส่วนที่ 2 จากการทดสอบด้วยฮาร์ดแวร์ด้วยอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS สามารถทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลได้อย่างน่าพอใจ



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการดำเนินงานทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลสำหรับเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานอัลกอริทึมทั้งหมด 4 อัลกอริทึมได้แก่ อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) ซึ่งใช้โปรแกรม Matlab และ Simulink ในการจำลองการทำงานและเก็บผลลัพธ์การทำงาน และนำอัลกอริทึมที่เหมาะสมไปทดสอบบนฮาร์ดแวร์ สามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

##### 5.1.1 การจำลองการทำงานด้วย Matlab

อัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) เป็นอัลกอริทึมมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลซึ่งให้การบีบอัดภาพที่มีประสิทธิภาพที่สามารถปรับค่า CR และ PSNR (dB) ได้โดยการเปลี่ยนค่าคุณภาพสัญญาณ (QF) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1% ถึง 100% โดยพบว่าถ้าเลือกใช้ค่า QF ที่มีค่าต่ำๆ จะได้ผลลัพธ์การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลที่มีค่า CR ที่มากขึ้นหรือบีบอัดได้มากขึ้นแต่จะทำให้ได้ค่าคุณภาพของสัญญาณที่ลดลงหรือได้ค่า PSNR (dB) ที่ลดลงและอัลกอริทึมที่ 1 (JPEG) มีการคำนวณที่ซับซ้อน

อัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) โดยการทำงานจะละทิ้งภาพแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงคือแบนด์ย่อย cH cV และ cD แต่ยังคงใช้เพียงแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ cA ส่งไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเรนจ์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลซึ่งอัลกอริทึมที่ 2 นี้จะให้ค่า CR ที่สูงแต่ให้ค่า PSNR (dB) ที่ไม่สูงมาก จะมีค่าประมาณ 30 dB แต่ข้อดีของอัลกอริทึมที่ 2 นี้คือมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน

อัลกอริทึมที่ 3 (2D-DWT AVG) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลโดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) โดยการทำงานจะแตกต่างจากอัลกอริทึมที่ 2 คือจะไม่ละทิ้งแบนด์ย่อยสัมประสิทธิ์ความถี่สูงคือแบนด์ย่อย cH cV และ cD แต่จะทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ได้ค่าเป็น Thr\_cH Thr\_cV และ Thr\_cD และทำการแทนที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงให้มีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดรวมทั้งแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ cA

ไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเรนจ์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล สำหรับอัลกอริทึมที่ 3 นี้จะให้ค่า PSNR (dB) ที่ดีกว่าอัลกอริทึมที่ 2 แต่ก็ให้ค่า CR ที่ต่ำมาก

อัลกอริทึมที่ 4 (2D-DWT AIO) เป็นการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยการประยุกต์ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2D-DWT) การทำงานจะคล้ายคลึงกับอัลกอริทึมที่ 3 แต่แตกต่างกันตรงที่ไม่ต้องคำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงเพื่อใช้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) แต่จะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมแทนและการทำงานส่วนที่เหลือจะเหมือนกับอัลกอริทึมที่ 3 คือ ทำการแทนที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงให้มีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดรวมทั้งแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ  $c_A$  ไปทำการจัดระดับสัญญาณและเข้ารหัสรันเรนจ์เพื่อบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล อัลกอริทึมที่ 4 จะให้ค่า CR และ PSNR (dB) ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 2 แต่อัลกอริทึมที่ 4 ใช้การคำนวณที่ซับซ้อนมากเนื่องจากการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาร่วมทำงานทำให้อัลกอริทึมมีความซับซ้อนมากขึ้นและใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

จากการจำลองการทำงานอัลกอริทึมการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลดิจิทัลได้ผลสรุปว่าอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลดิจิทัลเนื่องจากมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่น้อยมากและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ในช่วง QF(%) ที่ 30% ถึง 60% ซึ่งมีค่า CR ที่สูงและ PSNR(dB) ที่ยอมรับได้ (ประมาณ 30 dB)

### 5.1.2 การจำลองการทำงานด้วย Matlab Simulink

จากผลการจำลองการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัล โดยใช้ Simulink สรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ซึ่งการใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ 2D-DWT โดยใช้เวฟเล็ตแม่ Haar มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายมากที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมที่ 1 JPEG ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่เป็นมาตรฐานในการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลในปัจจุบัน โดยพบว่ามีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันในช่วงค่า QF ระหว่าง 30% ถึง 60% และอัลกอริทึมที่นำเสนอ (2D-DWT SHPS) ยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าอัลกอริทึมที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้มั่นใจได้ว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีทรัพยากรในการคำนวณที่ค่อนข้างจำกัดอย่างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายได้เป็นอย่างดี



### 5.1.3 การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลดิจิทัลแบบ 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์

สำหรับผลการทดสอบการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลด้วยอัลกอริทึมที่ 2 2D-DWT SHPS บนฮาร์ดแวร์นั้นอัลกอริทึมสามารถทำการบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลดิจิทัลได้ใกล้เคียงกับการจำลองด้วย Matlab และ Matlab simulink ทั้งในด้าน CR และ PSNR(dB)

## 5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

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

(2) พัฒนาอัลกอริทึมที่ 2 (2D-DWT SHPS) ให้สามารถบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลและภาพวิดีโอได้

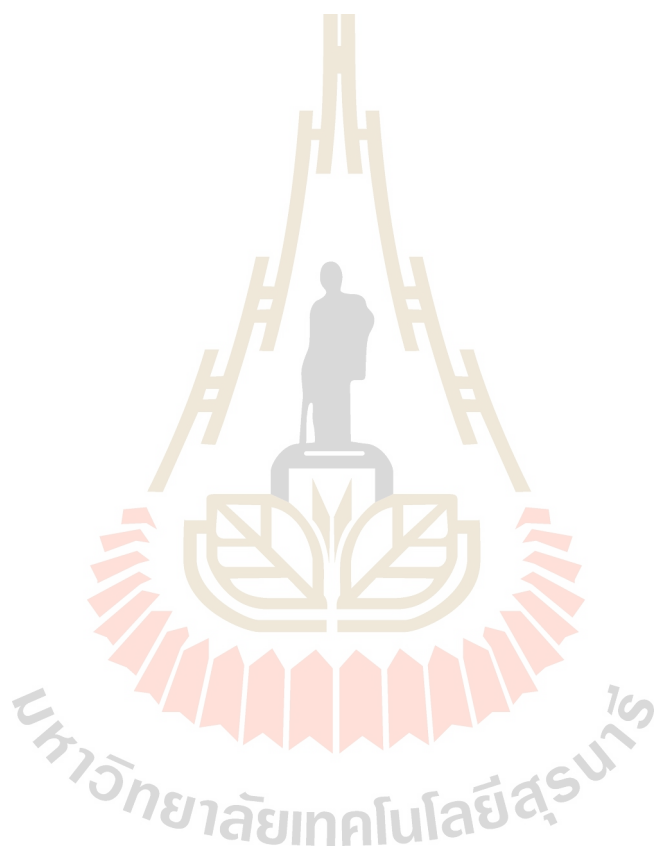


## รายการอ้างอิง

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- L. L. Makkaoui, V.; Moureaux, J., "**Fast zonal DCT-based image compression for Wireless Camera Sensor Networks**", In Proc. Presented at the Image Processing Theory Tools and Applications (IPTA), 2010 2nd International Conference, Paris, 2010.
- 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.
- N. S. Botezatu, A.; Ungureanu, F., "**Energy-efficient compression algorithm for wireless transmission of physiological data**", In Proc. Presented at the System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2014 18th International Conference, Sinaia, 2014.
- S. M. Duc Minh Pham; Aziz, "**An energy efficient image compression scheme for Wireless Sensor Networks**", In Proc. Presented at the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2013 IEEE Eighth International Conference, Melbourne, VIC, 2013.

- 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.
- I. F. Pu Wang; Rui Dai; Akyildiz, "**A Spatial Correlation-Based Image Compression Framework for Wireless Multimedia Sensor Networks**", In Proc. Presented at the Multimedia, IEEE Transactions, 2011.
- 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.
- T. Vinh Tran-Quang; Phat Nguyen Huu; Miyoshi, "**Adaptive transmission range assignment algorithm for in-routing image compression on wireless sensor networks**", In Proc. presented at the Communications and Electronics (ICCE), 2010 Third International Conference, Nha Trang, 2010.
- 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.
- 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.
- 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.
- William A. Pearlman and Amir Said, **Digital Signal Compression: Principles and Practice**, Cambridge University Press, 2011.
- Arthit Srikaew, **Computational Intelligence**, Suranaree University of Technology, 2009.
- The USC – **SUPI Image Database**, <http://sipi.usc.edu/database/>

สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์. (2007). เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. สืบค้นเมื่อวันที่ 15,07,2007 จากชื่อ  
เว็บไซต์: [http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Wireless\\_Sensor\\_Network  
/index.php](http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Wireless_Sensor_Network/index.php)





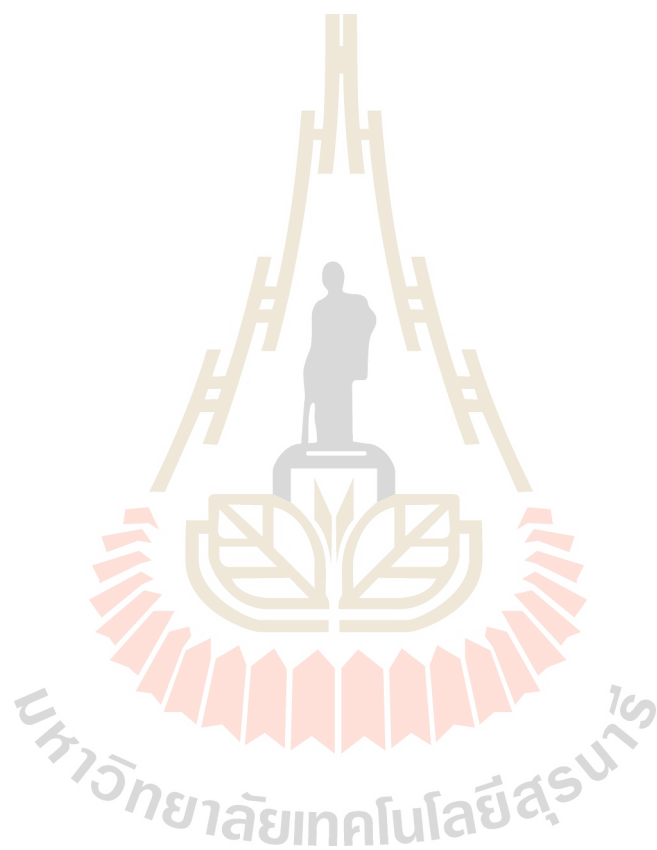
**ภาคผนวก ก**

**บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

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



## 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  $8 \times 8$  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  $8 \times 8$  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.

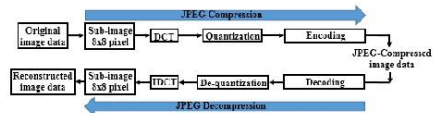


Fig. 1 JPEG compression and JPEG decompression.

**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.

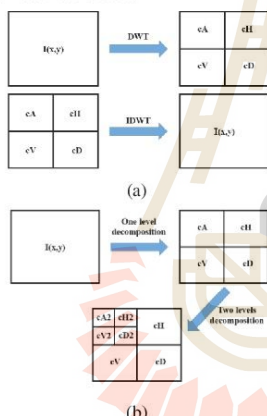


Fig. 2 a) DWT and IDWT and b) Multilevel DWT decomposition.

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 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.

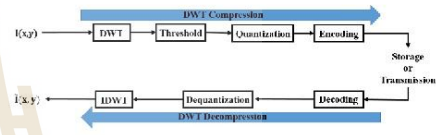


Fig. 3 DWT compression and DWT decompression

**2. EXPERIMENT**

To demonstrate the effectiveness of our proposed method, a series of experiments have been conducted. Four gray level images with standard dimension  $512 \times 512$  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:

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

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

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).

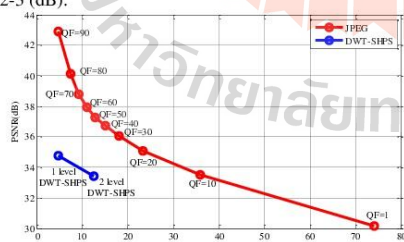


Fig. 4 JPEG VS DWT-SHPS.

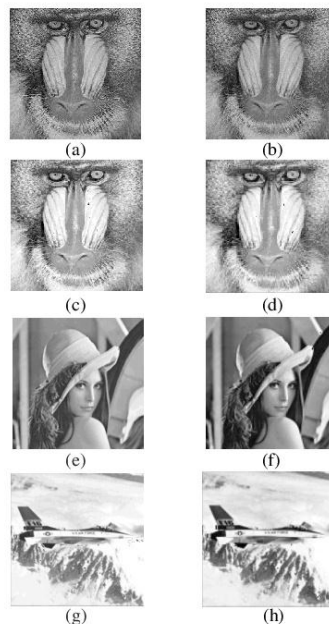


Fig. 5 a) JPEG QF=20, b) JPEG QF=50, c) 1-Level DWT-SHPS Baboon, d) 2-Leve DWT-SHPS Baboon e) 1-Leve DWT-SHPS Lena f) 2-Leve DWT-SHPS Lena g) 1-Leve DWT-SHPS Airplane (F16) and h) 2-Leve DWT-SHPS Airplane (F16).

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.



**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 Institute 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.



**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.

## ประวัติผู้เขียน

นายชนสาร ศรีโคตร เกิดเมื่อวันที่ 15 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2535 ณ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบัวใหญ่ อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2557 ในขณะที่เรียนระดับปริญญาตรีได้มีความสนใจทางด้านระบบสมองกลฝังตัวและกระบวนการประมวลผลทางดิจิทัล จึงได้เกิดแรงบันดาลใจที่จะศึกษาต่อในด้านการประมวลผลทางดิจิทัลเพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ ความสามารถให้กับตนเองจึงได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนัก วิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากการทำกรวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และ ความเข้าใจทางด้านระบบสมองกลฝังตัวและการประมวลผลทางดิจิทัลเป็นอย่างดีและมีผลงาน ตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 1 เรื่อง ดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ก



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี