



การปรับปรุงความคมชัดของภาพ ด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรม  
ด้วยการเปลี่ยนแปลงเวฟเลตสองมิติ

CONTRAST IMAGE ENHANCEMENT USING HISTOGRAM EQUALIZATION  
WITH 2-D WAVELET TRANSFORM

ไตรรงค์ ใจดี

TRAIRONG JAIDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2559



การปรับปรุงความคมชัดของภาพ ด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรม  
ด้วยการเปลี่ยนแปลงเวฟเลตสองมิติ

CONTRAST IMAGE ENHANCEMENT USING HISTOGRAM EQUALIZATION  
WITH 2-D WAVELET TRANSFORM

ไตรรงค์ ใจดี

TRAIRONG JAIDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2559

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วยการเปลี่ยนแปลงเวฟเลตสองมิติ
Thesis Title	CONTRAST IMAGE ENHANCEMENT USING HISTOGRAM EQUALIZATION WITH 2-D WAVELET TRANSFORM
ชื่อ นามสกุล	นายไตรรงค์ ใจดี
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ยี่มมัน)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

..... กรรมการและเลขานุการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

วันที่ 18 เดือน เมษายน พ.ศ.2560

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วยการเปลี่ยนแปลงเวฟเลตสองมิติ
ชื่อ สกุล	นายไตรรงค์ ใจดี
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลให้มีความชัดเจนมากขึ้นด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลตสองมิติ ซึ่งในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากการปรับปรุงข้อมูลภาพดิจิทัล(Digital Image Processing)ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในหลากหลายสาขาอาชีพ เช่น วงการแพทย์กับการอ่านผลภาพจากภาพ CT สแกน วงการทหารกับการพัฒนาแผนที่ทางอากาศเพื่อการป้องกันประเทศ วงการเกษตรได้มีการนำเอาลักษณะของใบไม้มาวิเคราะห์หาสาเหตุของโรคร้าย และในวงการศึกษาก็ได้มีการนำการประมวลผลภาพกับการมองเห็นของหุ่นยนต์เพื่อพัฒนาให้หุ่นยนต์มีการเรียนรู้และจำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าการพัฒนาคุณภาพของภาพถ่ายให้มีความคมชัดเป็นเรื่องที่สำคัญ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ภาพดิจิทัลแบบระดับสีเทา (Gray Scale) มาทำการแปลงด้วยเวฟเลตสองมิติ และจะดึงเอาเฉพาะแบนด์ LL ที่ได้จากการแปลงเวฟเลต มาทำการปรับปรุงด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วยการแบ่งส่วนฮิสโตแกรมออกเป็น 4 ส่วนตามความหนาแน่นความถี่สะสม (Cumulative Density) ที่ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 และทำการปรับเรียบข้อมูลโดยแยกอิสระจากกัน จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้แปลงเวฟเลตกลับ (Invert Wavelet) จะได้ภาพใหม่ที่ผ่านการปรับปรุงเฉพาะแบนด์ LL ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE) ลดลงกว่าเดิม ในขณะที่สามารถเพิ่มความคมชัดของภาพได้อย่างเหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 80

**คำสำคัญ:** Histogram Equalization, Weight Histogram Equalization, Discrete wavelet transform, Absolute mean brightness error

<b>Name of Thesis</b>	Improvement of Image Sharpness by Histogram Equalization through Two-Dimensional Wavelet Transform
<b>Name and Surname</b>	Mr. Trairong Chaidee
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program and Faculty</b>	Electrical Engineering, Faculty of Engineering
<b>Academic Year</b>	2017

### Abstract

This thesis emphasizes the improvement approaches of quality on digital data to be more sharpness by two-dimensional technique. Today, the availability from the improvement of Digital Image Processing is used widely in various occupations such as medical field with reading the results from CT scanning, military field with the improvement of aerial map for country prevention, agricultural field with leaf analysis of its disease, and the educational field with the image processing and robot vision to increase its effective learning and remembering development. It can be seen that the image development through its sharpness is really crucial, therefore this thesis used the Gray Scale for transforming by two-dimensional wavelet and LL Band got from this wavelet transform to be improved by histogram technique. The histogram was divided into 4 parts based on its cumulative density at 0.25, 0.5, 0.75, and 1, then smoothed the data by separation, after that brought the results to invert wavelet which gives the new image through improved LL band. The research result revealed that the mean of the Absolute Mean Brightness Error (AMBE) was decreased while enable the image sharpness to suitably increase 80%.

**Key Words:** Histogram Equalization, Weight Histogram Equalization, Discrete Wavelet Transform, Absolute Mean Brightness Error

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์ รวมถึงการช่วยตรวจสอบการเขียนบทความวิชาการจนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ยิ้มมั่น และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ ซึ่งให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์กับงานวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ชี้แนะแนวทาง งานวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อถาวร คุณแม่เพ็ญพรรณ ใจดี และสมาชิกในครอบครัว สำหรับความรักความห่วงใย ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนอย่างดีมาโดยตลอด รวมถึงเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์

ไตรรงค์ ใจดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 วิธีการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิด	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.3 ภาพดิจิทัล	12
2.4 ความละเอียดของภาพ	14
2.5 ฮิสโตแกรมของภาพ	16
2.6 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบดั้งเดิม (Global Histogram Equalization)	20
2.7 คอนทราสต์ของภาพ (Image Contrast)	25
2.8 การปรับปรุงคอนทราสต์ (Contrast Enhancement)	26
2.9 ทฤษฎีการแปลงเวฟเลตแบบสองมิติ	28
2.10 การวัดและประเมินคุณภาพ	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 บทนำ	35
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	35

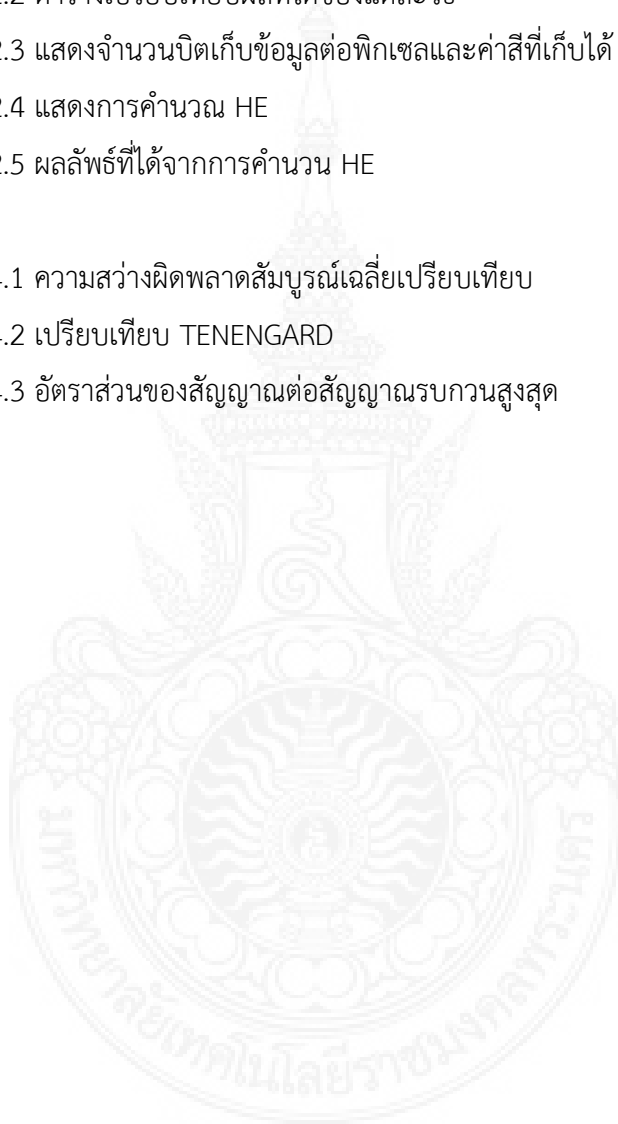
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน (ต่อ)</b>	
3.3 ศึกษา Discrete Wavelet Transform (DWT)	37
3.4 ทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมที่แบนด์ LL	37
3.5 การปรับเท่าฮีสโตแกรม	38
3.6 เทคนิคการแปลงเวฟเลตกลับ	46
3.7 คำนวณหาค่า AMBE, PSNR, และ TEN	47
3.8 สรุปผลการทดลอง	48
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 บทนำ	49
4.2 รูปภาพที่นำมาทดสอบและฮีสโตแกรมที่เกี่ยวข้อง	49
4.3 ผลการปรับเรียบฮีสโตแกรมด้วยวิธี HE	53
4.4 ผลการแปลงภาพด้วย DWT	57
4.5 ภาพการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL	73
4.6 ผลการแปลงเวฟเลตกลับ IDWT	77
4.7 การคำนวณและประเมินประสิทธิภาพ	81
4.8 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น	83
4.9 สรุปผลการทดลอง	83
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 บทนำ	84
5.2 สรุปผลการวิจัย	84
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย	84
5.4 ข้อเสนอแนะ	84
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>85</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ทำงานวิจัย	88
ภาคผนวก ข บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	99
<b>ประวัติการศึกษาและการทำงาน</b>	<b>105</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
<b>บทที่ 2</b>	
ตารางที่ 2.1 เทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมในปัจจุบัน	5
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละวิธี	7
ตารางที่ 2.3 แสดงจำนวนบิตเก็บข้อมูลต่อพิกเซลและค่าสีที่เก็บได้	15
ตารางที่ 2.4 แสดงการคำนวณ HE	21
ตารางที่ 2.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ HE	22
<b>บทที่ 4</b>	
ตารางที่ 4.1 ความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเปรียบเทียบ	81
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบ TENENGARD	82
ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด	83



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบเทคนิคและฮีสโตแกรมที่สอดคล้องกัน	8
รูปที่ 2.2 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบเทคนิค DCT และฮีสโตแกรมที่สอดคล้องกัน	9
รูปที่ 2.3 ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ DCT+ Morel Threshold ฟังก์ชัน	9
รูปที่ 2.4 RICE ที่เกิดจากการใช้ DCT การปรับเท่าฮีสโตแกรม โดยใช้ฟังก์ชัน Histeq	10
รูปที่ 2.5 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบ DWT และฮีสโตแกรมที่สอดคล้องกัน	11
รูปที่ 2.6 เมทริกซ์แสดงจุดภาพของภาพดิจิทัล	12
รูปที่ 2.7 ภาพระดับสีเทา (Gray scale) ในช่วง 0-255	12
รูปที่ 2.8 การแทนสีด้วยเวกเตอร์ในภาพสี RGB	13
รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของภาพสี RGB	13
รูปที่ 2.10 แสดงภาพจริงและรูปที่ขยาย 200% เมื่อค่า Resolution ต่างกัน	14
รูปที่ 2.11 แสดงจำนวนของพิกเซลใน 1 Dpi	15
รูปที่ 2.13 รูปภาพ RICE และการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์	17
รูปที่ 2.14 ขั้นตอนแสดงการปรับเท่าฮีสโตแกรม โดยแบ่งออกเป็นสามส่วนผ่านทางเวฟเลต	18
รูปที่ 2.15 แสดงการปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นหลายส่วนผ่านทางเวฟเลต	19
รูปที่ 2.16 แสดงผลของการประมวลผลด้วยวิธี HE	20
รูปที่ 2.17 แสดงฮีสโตแกรมของภาพโทนสีเทา 3 บิต	20
รูปที่ 2.18 แสดงฮีสโตแกรมผลลัพธ์ของภาพโทนสีเทา 3 บิต หลังประมวลผลด้วยวิธีการ HE	22
รูปที่ 2.19 แสดงภาพก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE	23
รูปที่ 2.20 แสดงภาพก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE	23
รูปที่ 2.21 แสดงภาพก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE	24
รูปที่ 2.22 แสดงภาพก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE	24
รูปที่ 2.23 แสดงภาพก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE	25
รูปที่ 2.24 ภาพ Low Contrast (Gonzalez and Woods,2009)	25
รูปที่ 2.25 ภาพคอนทราสต์สูง High Contrast (Gonzalez and Woods,2009)	26

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<b>บทที่ 2 (ต่อ)</b>	
รูปที่ 2.26 แสดงการยืดคอนทราสต์ที่เป็นเชิงเส้น	26
รูปที่ 2.27 รูปภาพเดิมที่ต้องการเพิ่มความคมชัดและภาพผลลัพธ์ โดยวิธี Linear Contrast Stretch	27
รูปที่ 2.28 แสดงฮิสโตแกรมของภาพก่อนและหลังการปรับปรุงภาพ โดยวิธี Linear Contrast Stretch	28
รูปที่ 2.30 ลักษณะของการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเลต	29
รูปที่ 2.31 ลักษณะการสเกลสัญญาณ	29
รูปที่ 2.32 การแยกสัญญาณ DWT	30
รูปที่ 2.34 ผลลัพธ์จากการแปลงเวฟเลต	30
รูปที่ 2.35 การรวมสัญญาณ DWT	32
<b>บทที่ 3</b>	
รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำ Flow Chart	36
รูปที่ 3.2 ข้อมูลภาพขาวดำ	37
รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งฮิสโตแกรมภาพต้นฉบับออกเป็นหลายส่วน	41
รูปที่ 3.4 IDWT และการเพิ่มจำนวนจุดตัวอย่างโดยการแทรกจุด 0 ลงใน DWT เดิม	46
<b>บทที่ 4</b>	
รูปที่ 4.1 ภาพต้นฉบับที่นำมาใช้ทดสอบและฮิสโตแกรม	53
รูปที่ 4.2 ภาพผลการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธี HE	57
รูปที่ 4.3 ผลการแปลงภาพด้วย Discrete Wavelet Transform (DWT)	64
รูปที่ 4.4 สีซีบแบนด์ DWT	65
รูปที่ 4.5 ภาพการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL	72
รูปที่ 4.6 ภาพการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL	76
รูปที่ 4.7 ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT)	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การตีความหมายจากภาพถ่ายที่ใช้ในทางทหารในปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องการปรับใช้ในระบบสอดแนมของทางกองทัพ แต่ถ้าหากเรามีข้อมูลภาพที่ไม่มีความคมชัดอยู่จะทำให้ทางกองทัพไม่สามารถแยกแยะหรือจำแนก จำนวนหรือที่ตั้งของศัตรูได้ทำให้รูปแบบในการทำสงครามไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญในวิธีการแก้ไขปัญหาคือ ความไม่ชัดเจนในรายละเอียดของภาพ ด้วยการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยการปรับความคมชัดและปรับเท่าสีสโตแกรมอย่างเหมาะสม ด้วยการแปลงผ่านเวฟเลตสองมิติ วิธีการโดยแยกสัญญาณข้อมูลภาพจากภาพต้นฉบับ ได้เป็น 4 ภาพย่อย จากนั้น ทำการปรับเท่าสีสโตแกรมจากข้อมูลภาพในแบนที่ 1 เท่านั้น โดยให้แบ่งสีสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามค่ากลางของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมบนเนื้อภาพระดับที่ (Approximation Band) จากนั้นทำการปรับเท่าสีสโตแกรมอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ภาพผลลัพธ์ที่ได้ที่เกิดจากการรวมภาพโดยใช้การแปลงเวฟเลตสองมิติผกผัน ผลการประเมินภาพพบว่า 1 วิธีที่นำเสนอสามารถทำให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์มีค่าต่ำลงมาก และยังคงรักษาข้อมูลต่าง ๆ ภายในภาพผลลัพธ์ได้อย่างครบถ้วน

ความคมชัดของภาพมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงการมองเห็นเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จงานที่เท่าเทียมกันของงานสีสโตแกรม Histogram (HE) ซึ่งเป็นวิธีการในการทำงานแล้ว เป็นวิธีการที่ได้พยายามที่จะบังคับให้มีการกระจายตัวของกราฟการป้อนข้อมูลที่จะกระจายอย่างไรก็ตาม กระบวนการของกราฟแสดงลักษณะทำให้เห็นข้อบกพร่องสองอย่าง ประการแรก วิธี HE จะเปลี่ยนค่าความเข้มของพิกเซลป้อนเข้าสู่ความเข้มขั้นใหม่โดยไม่เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของพิกเซลใกล้เคียงที่อยู่ติดกัน ประการที่สอง ความสว่างเฉลี่ยของภาพออกมาจะขยับตัวออกห่างจากการป้อนข้อมูลหมายถึงปัญหา การขยับเฉลี่ยไม่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ที่ผู้บริโภคนบางส่วนที่ได้กล่าวถึงใน [1] ข้อบกพร่องประการแรกได้รับการแก้ไขในหลาย ๆ งานวิจัยดังกล่าว เช่น ในข้อ [1-5] และการวิจัยอีกหลายอย่างเช่น ในข้อ [6,7] ได้รับการเสนอให้มีการแก้ไขข้อบกพร่องที่สองนั้นหมายความว่าแต่ละงานวิจัยเป็นเพียงการแก้ปัญหาข้อบกพร่องที่ระบุไว้ในแต่ละเรื่องดังนั้นในเรื่องนี้ข้อบกพร่องทั้งสองอย่าง จะได้รับการแก้ไขไปพร้อมๆกันโดยใช้ FCM สำหรับแบ่งภาพเป็นจำนวนอนุภูมิภาคเพื่อสนับสนุนข้อบกพร่อง ในประการแรกจากนั้นกราฟของแต่ละอนุภูมิภาคจะได้รับการแบ่งพาร์ติชันโดยเกณฑ์ที่กำหนดโดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามที่กำหนดไว้หลังจากนั้นวิธีการที่จะนำไปใช้กับแต่ละ

แบ่งย่อย histogram แบบอิสระเหนือกว่า ข้อบกพร่องในประการที่สองขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 1.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### วิธี BBHE (Brightness preserving bi-histogram equalization)

จากข้อบกพร่องของการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์เปลี่ยนไปจากค่าที่ได้จากภาพต้นฉบับนั้น Kim จึงได้เสนอวิธีการปรับเท่าแบบไบฮิสโตแกรมที่จะรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้ ซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า BBHE วิธีการของ BBHE นี้ เริ่มต้นด้วยการแบ่งฮิสโตแกรมภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนหรือบางครั้งเรียกว่าสองภาพย่อย โดยอาศัยค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ฮิสโตแกรมส่วนแรกจะเป็นเซต (set) ของกลุ่มตัวจุดภาพ ที่มีระดับสีเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ ฮิสโตแกรมส่วนที่สองจะเกิดจากเซตของกลุ่มจุดภาพ ที่มีค่าระดับสีเทาสูงกว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ จากนั้นวิธีการของ BBHE จะทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมของแต่ละส่วนโดยแยกกันทำอย่างอิสระ

### วิธี DSIHE (Equal area dualistic sub-image histogram equalization)

หลังจากการนำเสนอผลการวิจัยของ Kim [1] เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ด้วยการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นสองส่วนหรือสองภาพย่อย โดยอาศัยค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของภาพต้นฉบับเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง หลังจากนั้นแยกทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมแต่ละส่วน ขณะเดียวกันวิธีการดังกล่าวนี้ก็พยายามรักษาค่าเฉลี่ยของความสว่างจากภาพผลลัพธ์ ให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพต้นฉบับเดิมเอาไว้ ต่อมา Wang ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพ โดยทำการแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนหรือสองภาพย่อย ที่มีพื้นที่หรือจำนวนจุดภาพเท่ากัน(หรือใกล้เคียงกัน) จากนั้นแยกทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมแต่ละส่วนอย่างอิสระ วิธีการ DSIHE นี้จะให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพใกล้เคียงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับได้ดีกว่าวิธีการของ BBHE

### วิธี MPHE (Multi-peak histogram equalization)

จากวิธี BBHE และวิธี DSIHE นั้นจะมีการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นสองส่วน โดยวิธี BBHE ใช้ค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ในขณะที่วิธี DSIHE จะใช้ค่าระดับสีเทาที่เป็นเทรชโฮลด์ในการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นสองส่วน แต่ละส่วนจะมีจำนวนจุดภาพ เท่า ๆ กัน(หรือเกือบเท่ากัน) จากนั้นทั้งสองวิธีก็จะดำเนินการปรับเท่าฮิสโตแกรมแต่ละส่วน สุดท้ายก็จะนำฮิสโตแกรมหลังประมวลผลทั้งสองส่วนรวมเข้าด้วยกันเป็นภาพผลลัพธ์ของแต่ละวิธี แต่โดยทั่วไปนั้น ในภาพหนึ่งภาพใดมักจะปรากฏวัตถุหลายชนิดอยู่ในภาพเดียวกัน เมื่อวัตถุต่างชนิดกันให้ค่าการสะท้อนแสง (ระดับสีเทา)ที่แตกต่างกันออกไป ผลคือในกราฟฮิสโตแกรมของภาพจะปรากฏพิก (peak) หรือยอดจำนวนมาก มีทั้งพิกของค่าระดับสีเทาที่สอดคล้องกับวัตถุต่างๆในภาพ และพิกเทียมที่ไม่ใช่ค่าระดับสีเทาของวัตถุใดวัตถุหนึ่ง

### วิธี MMBEBHE (Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement)

Soong ได้เสนอผลงานวิจัย ที่ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุดในการปรับเท่า ฮิสโตแกรมสองส่วนย่อย ซึ่งเรียกชื่อวิธีการดังกล่าวเป็น MMBEBHE ในขณะที่เดียวกันก็ได้นำเสนอตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการรักษาค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพเอาต์พุต ว่าใกล้เคียงกับของอินพุตเพียงใด โดยใช้ค่าสัมบูรณ์ (Absolute Mean Brightness Error : AMBE) ของผลต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาต์พุตกับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพอินพุต

### วิธี MMBEAHD (Image Enhancement with Minimum Mean Brightness Error Via Automatic Histogram Dividing)

จะพบว่าวิธีการของ MMBEBHE นี้ ค่อนข้างจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลสูง ดังนั้นต่อมา Phanthuna และผู้เขียน ได้นำเสนอวิธีการแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นหลายส่วนอย่างอัตโนมัติ (ไม่จำกัดว่าต้องเป็นเพียงสองส่วน) การแบ่งก็ส่วนนั้นจะขึ้นกับค่าที่ต้องการว่าเป็นเท่าไร โดยแนวโน้มพบว่ายิ่งแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับมากก็ยิ่งลดค่าลง ภาพผลลัพธ์จะเกิดจากการรวมเข้าด้วยกันของฮิสโตแกรมย่อยที่ผ่านการปรับเท่าเรียบร้อยแล้ว

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยการปรับความคมชัดและปรับเท่าฮิสโตแกรมอย่างเหมาะสม ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักสำหรับงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

- 1.3.1 พยายามลดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดความสว่างให้ต่ำสุด (Minimum AMBE)
- 1.3.2 เพื่อใช้คณิตศาสตร์การแปลงเวฟเลตปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้น
- 1.3.3 เพื่อปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบแบ่งส่วนอย่างอิสระ
- 1.3.4 เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์มีความคมชัดมากขึ้นโดยวัดจากเทนเนนเกรด
- 1.3.5 เพื่อให้ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์กระจายตัวออกจากกัน

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนซอฟต์แวร์ปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบหลายส่วน ผ่านการแปลงเวฟเลตโดยแยกสัญญาณข้อมูลภาพต้นฉบับออกเป็นภาพย่อย 4 ภาพ คือ LL HL LH และ HH และจะนำข้อมูลภาพเฉพาะในส่วน LL มาทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมแยกอิสระจากกัน โดยการคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมจากค่าฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 เมื่อปรับปรุงข้อมูลภาพใน LL แล้ว จะแปลงเวฟเลตกลับโดยแทน LL มีปรับปรุงใหม่แล้วลงไปแทน LL เดิม สำหรับภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกประเมินด้วยค่าเทนเนนเกรด (Tenengrad) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

## 1.5 วิธีการวิจัย

1.5.1 ศึกษารูปแบบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการปรับเท่าฮีสโตแกรมจาก วิธีการต่างเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ

1.5.2 เขียนโปรแกรมจากงานวิจัยต่างเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ

1.5.3 ปรับปรุงและทดสอบของโปรแกรมจากวิธีที่นำเสนอ

1.5.4 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 ภาพข้อมูลดิจิทัลที่มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดความสว่างให้ต่ำสุด (Minimum AMBE)

1.6.2 ได้สมการทางคณิตศาสตร์การแปลงเวฟเลตปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้น

1.6.3 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบแบ่งส่วนอย่างอิสระ

1.6.4 ภาพผลลัพธ์มีความความชัดมากขึ้นโดยวัดจากเทนเนนเกรด

1.6.5 ฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์กระจายตัวออกจากกัน

## บทที่ 2

### ทฤษฎี หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายที่ใช้ในทางทหาร ความคมชัดเพื่อจำแนกรายละเอียดของภาพจึงมีความสำคัญอย่างมาก เทคนิคในการปรับความคมชัดของภาพนั้นมีหลายวิธี การปรับเท่าฮิสโตแกรมก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งซึ่งเป็นวิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมต้นฉบับ โดยภาพผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผลให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับ ดังนั้นเทคนิคในการเพิ่มความคมชัดจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่นำศึกษา อย่างไรก็ตามภาพผลลัพธ์ที่ได้ต้องยังรักษาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของภาพผลลัพธ์ให้ดีด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันนี้เทคนิคในการปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับได้มีการพัฒนา ซึ่งสามารถจำแนกเทคนิคต่างๆได้เป็น 4 เทคนิค ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมในปัจจุบัน

เทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรม	อธิบาย
HE	การปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยกระจายความสว่างภาพประมาณให้เท่าเทียมกัน
BBHE	การปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยอิสระกัน
WBHE	การปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยใช้ตัวถ่วงน้ำหนักเป็นกำหนดตำแหน่งการแบ่ง
MMHE	การปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นหลายๆส่วน อิสระกัน

จากตารางที่ 2.1 เทคนิคในการปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับเป็นเทคนิคที่สนใจวิธีในการปรับเท่าฮิสโตแกรมเท่านั้น ซึ่งสามารถเพิ่มความคมชัดของภาพมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับได้ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะนำวิธีการแปลงเวฟเลตเข้ามาใช้ โดยจะนำซับแบนด์ LL มาปรับเท่าฮิสโตแกรมแยกอิสระจากกัน โดยการคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมจากค่าฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 แล้วจึงทำการแปลงเวฟเลตผกผันโดยนำ LL ที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมดังกล่าวแทนที่ตำแหน่งซับแบนด์ LL เดิม แล้วจึงทำการประเมินผลภาพ



ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความคมชัดของภาพโดยพิจารณาการรักษาข้อมูลต่างๆภายในภาพซึ่งใช้การประเมินผลภาพด้วยการพิจารณาค่าความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์ ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์

ความคมชัดของภาพมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงการมองเห็นเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จงานที่เท่าเทียมกันของงานฮิสโตแกรม Histogram (HE) ซึ่งเป็นวิธีการในการทำงานแล้ว เป็นวิธีการที่ได้พยายามที่จะบังคับให้มีการกระจายตัวของกราฟการป้อนข้อมูลที่จะกระจายอย่างไรก็ตามกระบวนการของกราฟแสดงลักษณะทำให้เห็นข้อบกพร่องสองอย่าง ประการแรก วิธี HE จะเปลี่ยนค่าความเข้มของพิกเซลป้อนเข้าสู่ความเข้มขั้นใหม่โดยไม่เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของพิกเซลใกล้เคียงที่อยู่ติดกัน ประการที่สอง ความสว่างเฉลี่ยของภาพออกมาจะขยับตัวออกห่างจากการป้อนข้อมูลหมายถึงปัญหา การขยับเฉลี่ยไม่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ที่ผู้บริโภครายงานที่ได้กล่าวถึงใน [1] ข้อบกพร่องประการแรกได้รับการแก้ไขในหลาย ๆ งานวิจัยดังกล่าว เช่น ในข้อ [1-5] และการวิจัยอีกหลายอย่างเช่น ในข้อ [6, 7] ได้รับการเสนอให้มีการแก้ข้อบกพร่องที่สอง นั้นหมายความว่าแต่ละงานวิจัยเป็นเพียงการแก้ปัญหาข้อบกพร่องที่ระบุไว้ในแต่ละเรื่อง ดังนั้นในเรื่องนี้ข้อบกพร่องทั้งสองอย่าง จะได้รับการแก้ไขไปพร้อมๆกันโดยใช้ FCM สำหรับแบ่งภาพเป็นจำนวนอนุภูมิภาคเพื่อสนับสนุนข้อบกพร่องในประการแรก จากนั้น กราฟของแต่ละอนุภูมิภาคจะได้รับการแบ่งพาร์ติชันโดยเกณฑ์ที่กำหนดโดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามที่กำหนดไว้

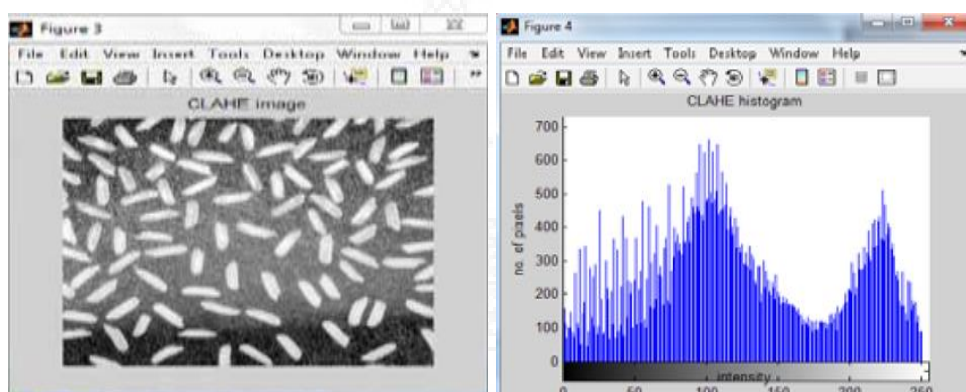
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 การเปรียบเทียบวิธีปรับเท่าฮิสโตแกรม CLAHE, DSIHE และ DHE

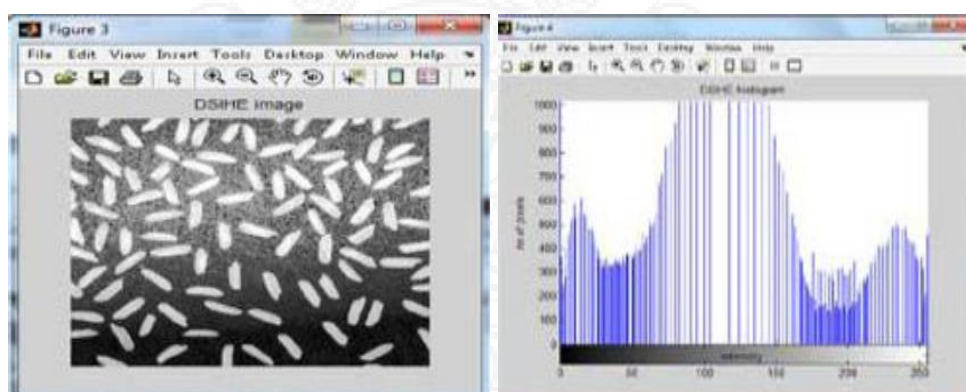
Dinesh Sonker (2013) ได้รายงานการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วย 3 วิธี ได้แก่ CLAHE, DSIHE และ DHE สำหรับภาพ Gray Scale ที่มีความคมชัดต่ำ ทำการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น โดยพื้นฐานของการเปรียบเทียบได้พิจารณาจากค่า Peak signal ratio (PSNR), Mean square error (MSE), Normalized absolute error (NAE), Normalized Correlation, และความสัมพันธ์เรื่องข้อผิดพลาดของสี และอัตราส่วนระหว่างคอมโพสิตสัญญาณสูงสุดต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งผลการศึกษพบว่า สามารถปรับปรุงภาพให้ดีขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่า วิธี DSIHE มีค่า AMBE ต่ำที่สุด โดยที่มีค่าคมชัดมากที่สุด

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละวิธี

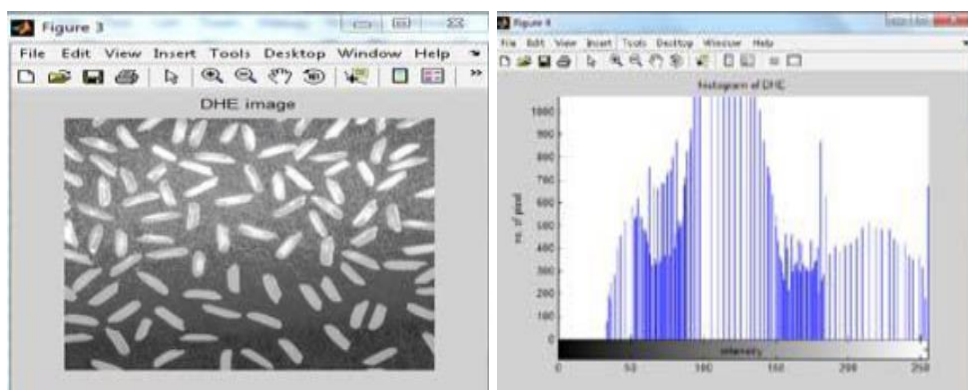
Parameter Technique	AMBE	Contrast	PSNR
CLAHE	10.576	21.681	0.0266
DSIHE	3.908	31.876	0.0244
DHE	10.476	9.154	0.1021



(a) ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ CLAHE



(b) ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ DSIHE



(c) ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ DHE และภาพฮิสโตแกรม

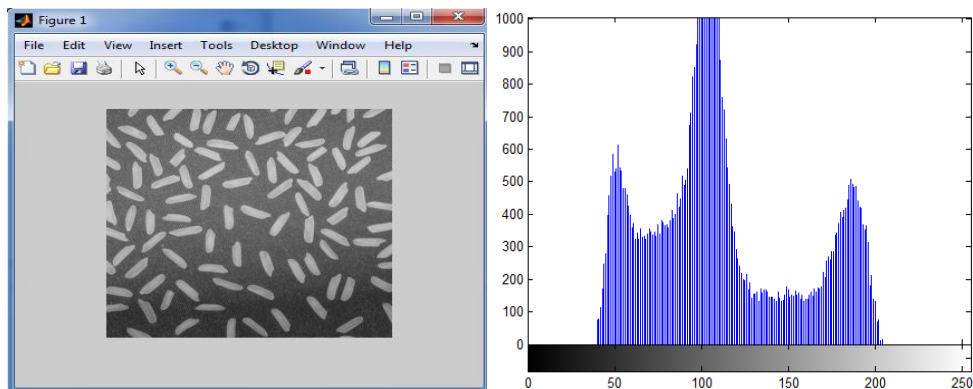
### รูปที่ 2.1 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบเทคนิคและฮิสโตแกรมที่สอดคล้องกัน

#### 2.2.2 การปรับปรุงภาพถ่ายที่มีความบิดเบือนด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรม

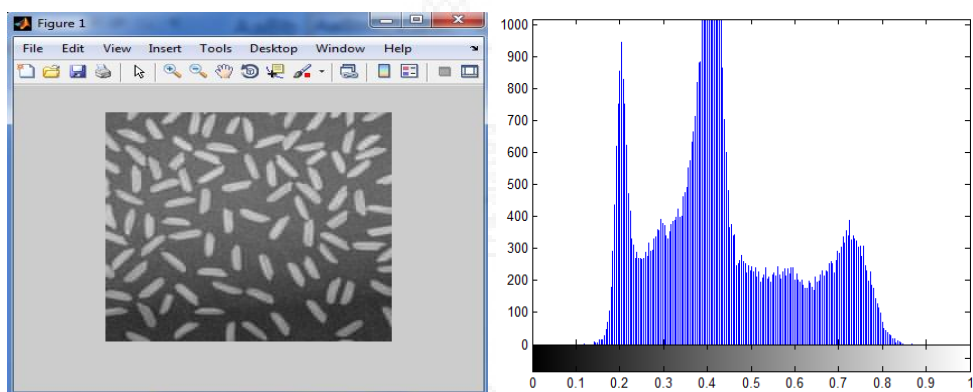
Chahat Chaudhary (2013) ได้รายงานการศึกษาลกอริทึม การปรับเท่าฮิสโตแกรมชนิดต่างๆ แล้วใช้พารามิเตอร์ PSNR, tenengrad, และค่า contrast เป็นตัวแสดงผลเปรียบเทียบผลแต่ละเทคนิค โดยทำการทดสอบกับภาพ จำนวน 3 ภาพ โดยวัตถุประสงค์ของการรายงานนี้คือการใช้เทคนิคเพิ่มประสิทธิภาพอย่างรวดเร็วในการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น โดยเชื่อว่าผลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการออกแบบ ปรับปรุงภาพถ่ายที่มีความบิดเบือนของภาพสูง ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ของภาพที่ดียิ่งขึ้น

#### 2.2.3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิค Discrete cosine transform (DCT)

Charles Lam (2011) ได้รายงานการศึกษากการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพโดยใช้ Thresholding เทคนิคและการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยวิธีที่เขาได้ใช้หาจุด Threshold ที่เหมาะสมนั้นได้ใช้วิธี Discrete cosine transform (DCT) แล้วใช้ฟังก์ชัน Morel เพื่อปรับปรุง Threshold ซึ่งผลจากการใช้วิธี DCT นี้พบว่าค่าของสีทั้งหมดยังคงที่ซึ่งถือว่าเป็นจุดประสงค์หลักของวิธีนี้ ถึงแม้ว่ารายละเอียดโดยส่วนใหญ่ของภาพจะหายไป แสดงดังรูปที่ 2.2



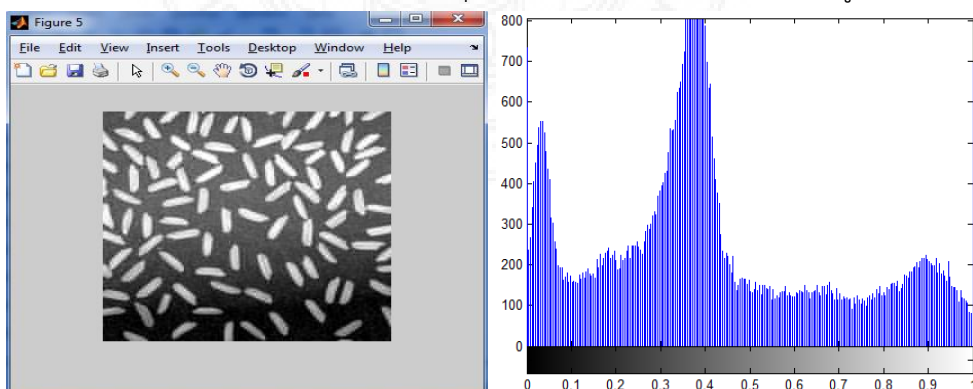
(a) ภาพ RICE ต้นแบบและภาพฮิสโตแกรม



(b) ภาพ RICE ที่เกิดจากใช้ DCT และภาพฮิสโตแกรม

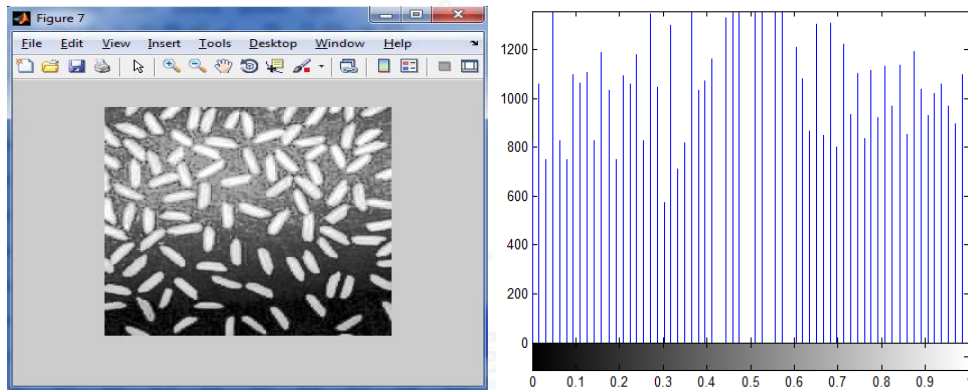
รูปที่ 2.2 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบเทคนิค DCT และฮิสโตแกรมที่สอดคล้องกัน

จากปัญหาเรื่องรายละเอียดภาพส่วนใหญ่ที่หายไป ได้มีการใช้การปรับปรุง Threshold โดยใช้ Morel Threshold ฟังก์ชัน โดยหลังจากปรับปรุงให้ผลลัพธ์ของภาพดีขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ DCT+ Morel Threshold ฟังก์ชัน

จากผลลัพธ์ใหม่ที่ได้นั้น ภาพยังคงรายละเอียดภาพเดิม โดยส่วนที่มีมืดของภาพก็ได้ถูกปรับให้ดีขึ้น โดยการใช่วิธี DCT ซึ่งเห็นได้ว่าการปรับใช้วิธีปรับ Threshold เข้าไป ทำให้ผลลัพธ์ภาพหลังใช้เทคนิค DCT ดีขึ้น ในกรณีที่ภาพต้นฉบับมีองค์ประกอบในภาพมืด เขาจึงได้ทดสอบเพิ่มเติมกับภาพที่มีองค์ประกอบภาพที่สว่าง พบว่า ไม่มีผลในการทำให้ภาพดีขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.4



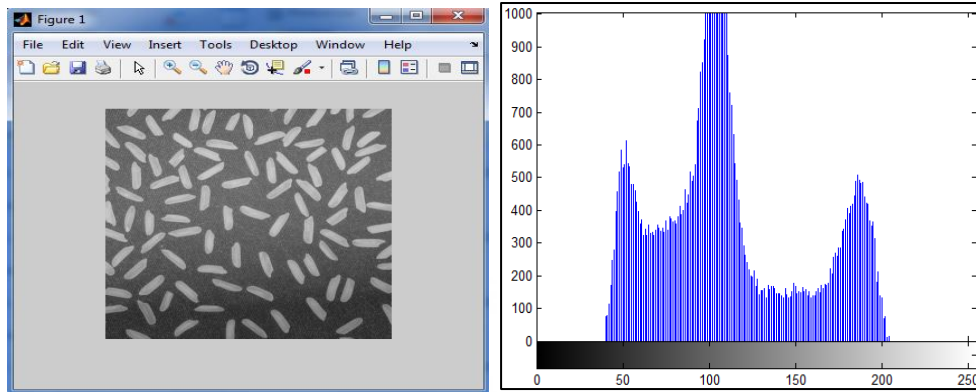
รูปที่ 2.4 ภาพ RICE ที่เกิดจากการใช้ DCT การปรับเท่าฮิสโตแกรม โดยใช้ฟังก์ชัน Histeq

จากภาพผลลัพธ์ใหม่ที่ได้พบว่าความสว่างของภาพลดลงและรายละเอียดบางอย่างในภาพหายไป อีกวิธีที่เขาใช้เปรียบเทียบกับภาพที่มีความสว่างอยู่แล้วคือหลังจากใช้เทคนิค DCT ก็ทำการใช้วิธีปรับเท่าฮิสโตแกรม จากฟังก์ชัน Histeq ให้ผลดังภาพข้างต้น

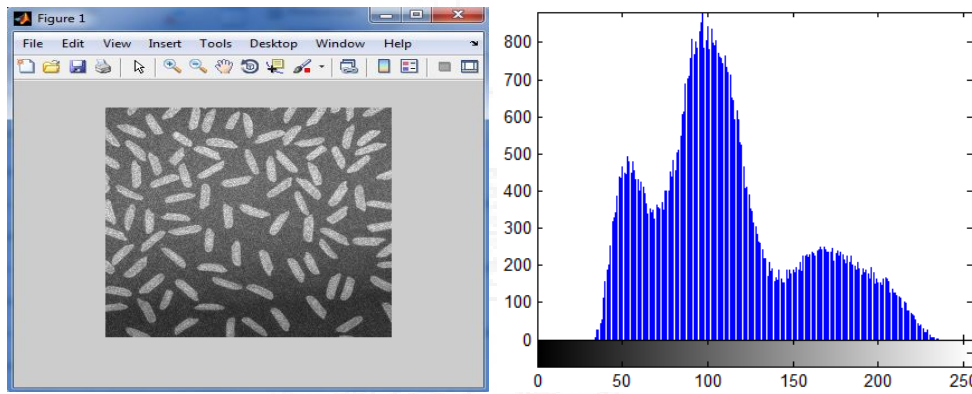
ผลจากการศึกษารายงานพบว่า ผลลัพธ์ของภาพที่ทำ DCT เมื่อใช้ร่วมกับการปรับเท่าฮิสโตแกรม ให้ผลที่ดีมากขึ้น และดีกว่าการใช้ Threshold ฟังก์ชัน

#### 2.2.4 การปรับปรุงการข้อมูลภาพด้วยการแปลงเวฟเลตสองมิติ

Dipalee Gupta (2015) ได้รายงานการศึกษารูปแปลงเวฟเลตสองมิติ โดยใช้การบีบอัดภาพเพื่อลดขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บของภาพซึ่งเป็นประโยชน์ในเรื่องของการส่งผ่านข้อมูลภาพให้ดีขึ้น Wavelet โดยใช้ตัวแปรค่าความผิดพลาดกำลังสอง (MSE) มาสรุปผล ซึ่งผลจากการทดสอบภาพของเขาได้สรุปไว้ว่าเทคนิค DWT ซึ่งทำการทำบน Format ของ .jpg ผลการบีบอัดภาพให้ค่าที่ดี โดยภาพผลลัพธ์ข้อมูลอยู่ที่ 97% แสดงดังรูปที่ 2.5



(a) ภาพ RICE ต้นฉบับ



(b) ภาพ RICE ผลลัพธ์ที่เกิดจากการทำ DWT

รูปที่ 2.5 รูปภาพ RICE กับการเปรียบเทียบ DWT และฮิสโตแกรมที่สอดคล้องกัน

### 2.2.5 การใช้ดิสคริตเวฟเลตวิเคราะห์ภาพที่มีระดับ Resolution

Marcin Kocielek (2001) ได้รายงานการศึกษาการใช้ดิสคริตเวฟเลตไปประยุกต์ใช้กับการแยกประเภทภาพพื้นผิวเพื่อจัดหมวดหมู่ ซึ่งในรายงานได้สรุปว่า ดิสคริตเวฟเลตเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมกับการช่วยวิเคราะห์ภาพที่มีระดับ Resolution ต่างๆกันเพื่อให้สามารถจำแนกประเภทจัดหมวดหมู่ของลักษณะกับภาพพื้นผิวได้ โดยนำภาพที่ผ่านการทำดิสคริตเวฟเลต มาทำการหาสัมประสิทธิ์แล้วจัดหมวดหมู่จากค่าที่ได้แล้วทำการทดสอบความถูกต้อง ซึ่งให้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.3 ภาพดิจิทัล

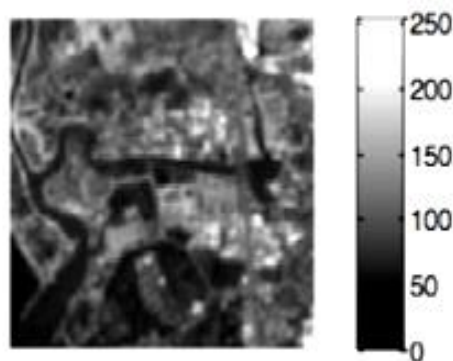
**2.3.1 ภาพดิจิทัล** ภาพดิจิทัลเป็นการแทนข้อมูลในระนาบสองมิติ โดยมีหน่วยที่เล็กที่สุดเรียกว่า จุดภาพหรือพิกเซล (Pixel) ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ  $f(x, y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นพิกัดของจุดภาพ ค่า  $f(x, y)$  คือระดับค่าความสว่าง ที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ถ้ากำหนดให้ภาพ  $f(x, y)$  มีขนาด  $M$  แถว และ  $N$  คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือตำแหน่ง  $(x, y) = (0, 0)$  และจะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.6

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.6 เมทริกซ์แสดงจุดภาพของภาพดิจิทัล

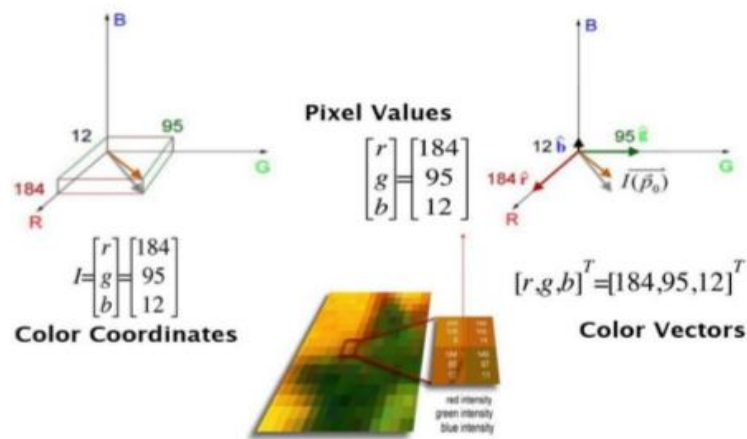
สมาชิกแต่ละตัวของเมทริกซ์คือจุดภาพ โดยตำแหน่ง  $(0,0)$  จะอยู่ทางด้านมุมบนของภาพ ลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง จุดภาพจะเก็บค่าระดับความสว่างเป็นค่าตัวเลขหรือค่าดิจิทัล ที่บันทึกลงหน่วยความจำในลักษณะแรสเตอร์ (Raster) ภาพที่มีการจัดเก็บในลักษณะนี้จะเรียกว่าภาพบิตแมป (Bit-map image) หรือภาพแรสเตอร์ (Raster image) แต่ไฟล์ภาพที่มีการจัดเก็บในลักษณะนี้จะมีขนาดใหญ่ จึงมักจะมีการบีบอัดภาพ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีขนาดเล็กลง

**2.3.2 ภาพโทนสีเทา (Grayscale Image)** เป็นภาพระดับความสว่างของสีเทาที่มีอยู่เพียงแบนด์เดียว ซึ่งได้จากภาพที่มีค่าความสว่างของสีแดงเท่ากับสีเขียวและเท่ากับสีน้ำเงิน หรือ  $r=g=b$  เป็นภาพโทนสีเดียว (Monochrome Image) ดังแสดงรูปที่ 2.7

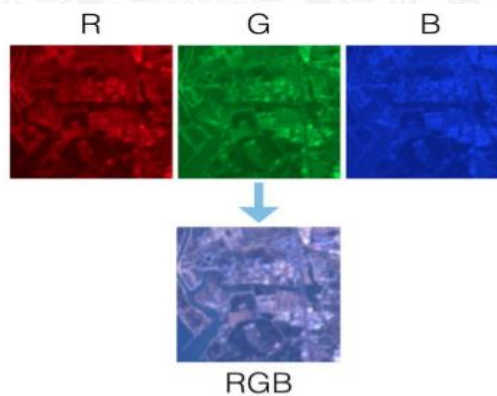


รูปที่ 2.7 ภาพระดับสีเทา (Gray scale) ในช่วง 0-255

**2.3.3 ภาพสี (Color Image)** ในที่นี้จะหมายถึง ภาพสี RGB ที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลภาพ 3 แบนด์ คือ แบนด์ค่าของสีแดง (Red: R) แบนด์ค่าของสีเขียว (Green: G) และแบนด์ค่าของสีน้ำเงิน (Blue: B) แต่ละแบนด์สีเป็นภาพค่าความสว่าง ที่สามารถแทนเป็นเวกเตอร์สี  $[R, G, B]^T$  ดังตัวอย่างภาพประกอบที่ 2.8 ที่แสดงให้เห็นถึงค่าความสว่างของ 1 จุดภาพสี RGB โดยจุดนั้นประกอบไปด้วยระดับค่าความสว่างของสีแดงเท่ากับ 184 สีเขียวเท่ากับ 95 และสีน้ำเงินเท่ากับ 12 หรือ  $[R, G, B]^T = [184, 95, 12]^T$  เมื่อนำค่าทั้ง 3 ค่ามาแทนในพิกัดฉากปริภูมิสามมิติ โดยมีแกน R แกน G และแกน B เป็นแกนพิกัดฉากในระบบสี RGB ซึ่งเป็นรูปลูกบาศก์ ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของภาพสี RGB เมื่อนำค่าความสว่างในตำแหน่งเดียวกัน ของแบนด์สีแดง แบนด์สีเขียว และแบนด์สีน้ำเงิน มารวมกันแสดงเป็นภาพสี RGB ดังแสดงรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแทนสีด้วยเวกเตอร์ในภาพสี RGB



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของภาพสี RGB



## 2.4 ความละเอียดของภาพ (Image Resolution)

เป็นการวัดความละเอียดของภาพ การแสดงรายละเอียดของวัตถุที่ปรากฏขึ้นภายในภาพ ความละเอียดมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ขึ้นอยู่กับว่าจะพิจารณาความละเอียดในแง่ใด (สมพงษ์ เลี้ยงโรคาพาธ, 2552: ระบบออนไลน์ ) เช่น ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ความละเอียดเชิงคลื่น (Spectral Resolution) ความละเอียดเชิงรังสี (Radiometric Resolution) ความละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) ในที่นี่จะอธิบายเฉพาะศัพท์ความละเอียดเชิงพื้นที่ และความละเอียดเชิงคลื่น ซึ่งมีส่วนที่เกี่ยวข้องและมีความสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้

**2.4.1 ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution)** คือความละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ในการบันทึกรายละเอียดของภาพ โดยพิจารณาเป็นพื้นที่ เช่น พิจารณาว่ากล้องดิจิทัลสามารถถ่ายภาพดิจิทัลที่มีจำนวนจุดภาพที่จุดภาพในหนึ่งหน่วยของภาพ หมายถึง จำนวนพิกเซลที่แสดงใน 1 หน่วยของภาพ ความละเอียดในการแสดงที่แตกต่างกัน จะมีผลให้คุณภาพของภาพที่แสดงออกมาแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้หน่วยวัดเป็น Ppi (Pixel per Inch) หรือ Dpi (Dot per Inch) เช่น 72 Ppi หมายถึง ในพื้นที่ 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนพิกเซลเท่ากับ  $72 \times 72 = 5,184$  พิกเซล ในขณะที่รูปเดียวกันมี Resolution = 300 Ppi จะมีจำนวน  $300 \times 300 = 90,000$  พิกเซลต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว ภาพที่มี Resolution สูงจะแสดงรายละเอียดของภาพได้ดี ทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพมากกว่าภาพที่มีความละเอียดต่ำ ดังแสดงรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงภาพจริงและภาพที่ขยาย 200% เมื่อค่า Resolution ต่างกัน

หน่วยจุดต่อนิ้ว หมายถึง จำนวนจุดที่เรียงต่อกันในระยะ 1 นิ้ว ในทางแนวตั้ง หรือทางแนวนอน เช่น ในระยะ 1 นิ้ว มีจุดเรียงกันอยู่ 3 จุด จะเรียกว่า 3 Dpi ในระยะ 1 นิ้ว มีจุดเรียงกันอยู่ 10 จุด จะเรียกว่า 10 Dpi ดังแสดงรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงจำนวนของพิกเซลใน 1 Dpi

**2.4.2 ความละเอียดเชิงคลื่น (Spectral Resolution)** การแสดงรายละเอียดของสี หรือความละเอียดของสเกลสีเทา (Gray scale resolution) หรือความลึกของบิต (Bit depth) หรือความลึกของภาพ คือความละเอียดของอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกระดับความแตกต่างของสี หรือน้ำหนักสีในภาพต้นฉบับหรือวัตถุต้นแบบได้มากหรือน้อย ถ้าบันทึกระดับความแตกต่างของสีได้มาก ภาพดิจิทัลที่ได้ก็จะมีสีหรือน้ำหนักสีมากตามไปด้วยหน่วยความละเอียดสีกำหนดเป็น บิตต่อพิกเซล ตัวอย่างเช่น ภาพดิจิทัลที่มีข้อมูลภาพ 1 บิต ต่อ 1 พิกเซล นั้นจะเป็นภาพขาวดำ เนื่องจากพิกเซลหนึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แค่บิตเดียว สีที่ได้เท่ากับ 2 สี ดังตารางที่ 2-3 คือสีขาว และสีดำ หากต้องการแสดงสีให้ได้มากขึ้น ก็ต้องเก็บข้อมูลต่อ พิกเซลให้มากขึ้น เช่น ถ้าเก็บข้อมูลพิกเซลเป็น 8 บิต โดยมีระดับความสว่างอ่อนแตกต่างกันได้ 256 สี หรือ 256 ระดับ ในช่วง Gray scale 0-255 ดังภาพประกอบที่ 2-4 ที่แสดงภาพ 8 บิต เมื่อนำข้อมูลสีแดง ข้อมูลสีเขียว และข้อมูลสีน้ำเงินทั้งหมด 3 กลุ่มมารวมกัน เพื่อแสดงผลเป็นภาพสี RGB ในแต่ละพิกเซลต้องใช้ข้อมูลทั้งสิ้น เท่ากับ 8 บิต X 3 Channel=24 บิต ซึ่งเรียกความลึกของสีเท่ากับ 24 บิต สามารถแสดงค่าได้ทั้งหมด 16.7 ล้านสี ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงจำนวนบิตเก็บข้อมูลต่อหนึ่งพิกเซล และค่าสีที่เก็บได้

จำนวนบิตเก็บข้อมูล / พิกเซล	ภาพโทนสีเทา	ภาพสี RGB
1 บิต	$2^1 = 2$ สี	$2^1(R) \times 2^1(G) \times 2^1(B) = 8$ สี
2 บิต	$2^2 = 4$ สี	$2^2(R) \times 2^2(G) \times 2^2(B) = 64$ สี
4 บิต	$2^4 = 16$ สี	$2^4(R) \times 2^4(G) \times 2^4(B) = 4096$ สี
8 บิต	$2^8 = 256$ สี	$2^8(R) \times 2^8(G) \times 2^8(B) = 16.7$ ล้านสี

## 2.5 ฮิสโตแกรมของภาพ (Image Histogram)

ฮิสโตแกรมของภาพซึ่งเป็นกราฟแท่งที่แสดงถึงจุดจำนวนภาพแต่ละระดับของความเข้มสีในแต่ละระดับ ซึ่งอยู่ในช่วงปิด  $[0, 255]$  โดยแกนนอนแสดงถึงระดับสีเทาดำ (Gray Level) และแกนตั้งแสดงถึงจำนวนจุดภาพ การกระจายตัวของฮิสโตแกรมจะทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของภาพคร่าวๆได้ว่าเป็นภาพที่มีลักษณะเป็นภาพที่มีมืด หรือภาพสว่าง โดยอาศัยหลักการพิจารณาความหนาแน่นของจำนวนจุดภาพ ถ้าฮิสโตแกรมของภาพมีการกระจายตัวอยู่ทางด้านซ้ายมาก ภาพที่ออกมาจะมีความมืดและถ้าฮิสโตแกรมของภาพมีการกระจายตัวอยู่ทางขวามาก ภาพที่ออกมาจะมีความสว่างมาก ดังนั้น ฮิสโตแกรมจึงนับว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงภาพอย่างหนึ่ง

### 2.5.1 หลักการปรับเท่าฮิสโตแกรม

กำหนดให้ค่า  $x = \{x(i, j)\}$  แสดงว่า ค่าที่กำหนดประกอบด้วย  $L$  ระดับสีเทาแยกเป็นค่าที่  $\{x_0, x_1, \dots, x_{L-1}\}$  ที่  $x(i, j)$  แสดงให้เห็นถึงความเข้มของภาพในสถานที่เชิงพื้นที่  $(i, j)$  และค่า  $x(i, j) \in \{x_0, x_1, \dots, x_{L-1}\}$  ให้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นค่า  $p(x_k)$  ถูกกำหนดให้เป็นดัง สมการที่ 2.1

$$p(x_k) = \frac{n_k}{N} \quad (2.1)$$

สำหรับค่า  $k = 0, 1, \dots, L - 1$  เมื่อค่า  $n_k$  แสดงจำนวนครั้งที่ระดับค่า  $x_k$  ปรากฏว่าได้ค่าข้อมูลนำเข้าสู่ค่า  $x$  และค่า  $N$  เป็นจำนวนรวมตัวอย่าง ผลลัพธ์ข้อมูลนำเข้า แสดงค่า  $p(x_k)$  เป็นค่าเชื่อมโยงกับฮิสโตแกรม ในการนำผลลัพธ์จากภาพที่ได้เสนอเป็นจำนวนพิกเซล เป็นค่าเฉพาะความหนาแน่น แสดงเป็นค่า  $x_k$  ในความเป็นจริง, พล็อต ของค่า  $n_k$  เมื่อเทียบกับค่า  $x_k$  คือ ค่าฮิสโตแกรมของ  $x$  ขึ้นอยู่กับพื้นฐานค่าความน่าจะเป็นฟังก์ชันค่าความหนาแน่น ซึ่ง สามารถคำนวณเป็นดังสมการที่ 2.2

$$c(x) = \sum_{j=0}^k p(x_j) \quad (2.2)$$

ที่ค่า  $x_k = x$ , สำหรับค่า  $k = 0, 1, \dots, L - 1$  ซึ่งแสดงค่า  $c(x_{L-1}) = 1$  ค่าตามคำจำกัดความ หลักการปรับเท่ากับฮิสโตแกรมคือ แผนกที่ผลลัพธ์จากภาพที่แสดงออกมาทั้งหมดเข้าสู่บริเวณไดนามิก ค่า  $x_0, x_{L-1}$  โดยใช้ค่าความหนาแน่นสะสมเพิ่มขึ้น เปลี่ยนฟังก์ชัน ทำให้กำหนดค่าฟังก์ชันเปลี่ยนแปลงค่า  $f(x)$  ขึ้นกับฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมดังสมการที่ 2.3

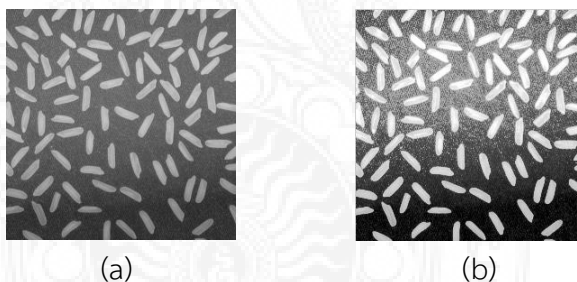
$$f(x) = x_0 + (x_{L-1} - x_0)c(x) \quad (2.3)$$

ดังนั้น ผลลัพธ์จากหลักการเท่ากันของฮิสโตแกรม,  $Y = \{Y(i, j)\}$ , สามารถแสดงผลดังสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$Y = f(x) \quad (2.4)$$

$$= \{f(X(i, j)) \mid \forall X(i, j) \in X\} \quad (2.5)$$

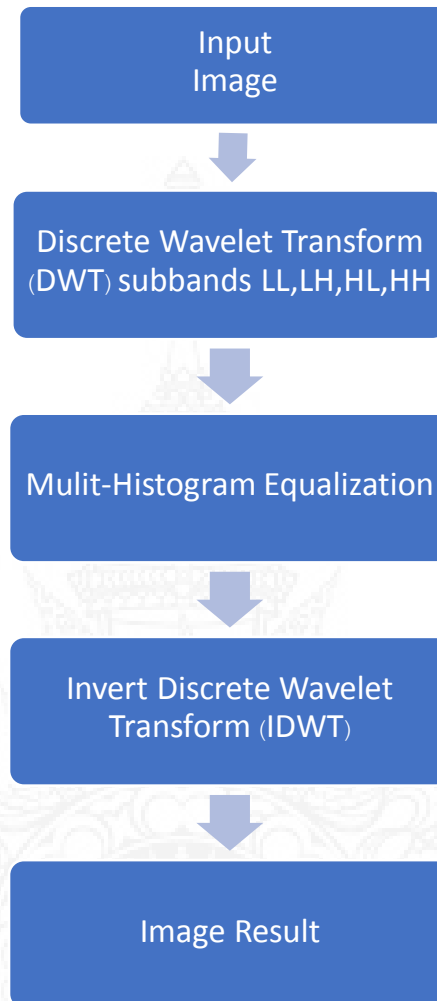
สำหรับตัวอย่างของการปรับสมดุลของกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งภาพ (a) เป็นภาพเจ็ทเดิม และภาพ (b) เป็นผลมาจากการปรับสมดุลของกราฟแต่ความสว่างเฉลี่ยของภาพจากวิธีที่จะขยับตัวออกห่างจากภาพที่ใส่นั้นส่วน  $V$  จะอธิบายถึงวิธีการคำนวณปัญหาโจทย์นี้



รูปที่ 2.13 รูปภาพ RICE และการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์

(a) แบบเดิมตามต้นฉบับ (b) แบบแสดงค่าสถิติ จากหลักการปรับเท่ากันของฮิสโตแกรม

### 2.5.2 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการแบ่งฮิสโตแกรมด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลตสองมิติ



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนแสดงการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นส่วนผ่านทางเวฟเลต

การปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วยการเปลี่ยนแปลงเวฟเลตสองมิติ CONTRAST IMAGE ENHANCEMENT USING HISTOGRAM EQUALIZATION WITH 2-D WAVELET TRANSFORM จากการนำภาพต้นฉบับระดับสีเทา (Gray Scale) โดยมีระดับสีเทาทั้งสิ้น 256 ระดับตั้งแต่ 0 ถึง 255 โดยใช้ฟังก์ชัน DWT แปลงเพื่อแปลงเวฟเลต ผลที่ได้จากการแปลงเราจะได้ 4 แบนด์ย่อยคือ LL, LH, HL, HH จากนั้นนำเอาแบนด์ย่อย LL มาเข้ากระบวนการปรับเท่าฮิสโตแกรม

เทคนิคฮีสโตแกรมที่นำเสนอนี้แบ่งฮีสโตแกรมเป็น 4 กลุ่มตามค่าความถี่สะสมตั้งแต่ 0, 0.25, 0.50, 0.75 แต่ละกลุ่มจะถูกนำมาปรับเท่าาโดยแยกกันอย่างอิสระ ภายหลังกการปรับปรุงฮีสโตแกรมจะได้แบนด์ LL1 แล้วนำเอาแบนด์ LL1 ไปแทนแบนด์ LL ผ่านฟังก์ชัน IDWT ก็จะได้ภาพที่ปรับปรุงแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.9

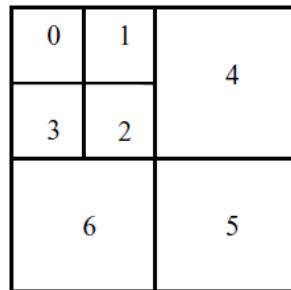
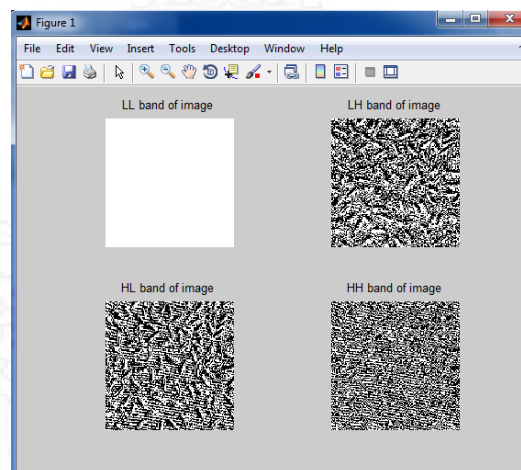


Figure 1. Seven subbands of 2-level DWT



รูปที่ 2.15 แสดงการปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นหลายส่วนผ่านทางเวฟเลต

การปรับเท่าฮีสโตแกรมผ่านทางเวฟเลตนั้น ทำได้โดยนำภาพต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยสองมิติ จากนั้นทำการปรับเท่าผลลัพธ์ที่ได้ให้อยู่ในช่วง  $x_0$  ถึง  $x_{L-1}$  จากนั้นให้ทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยใช้ขั้นตอนการปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.1.4 เมื่อได้ภาพผลลัพธ์จากการปรับเท่าฮีสโตแกรมแล้ว ให้ทำการแปลงช่วงข้อมูลของภาพผลลัพธ์จากในช่วง  $x_0$  ถึง  $x_{L-1}$  ให้อยู่ในช่วงเดิมของเวฟเลตแม่ แล้วทำการแปลงเวฟเลตผกผันแบบเต็มหน่วยสองมิติกลับ เพื่อให้ได้ค่าของภาพผลลัพธ์ทั้งภาพ

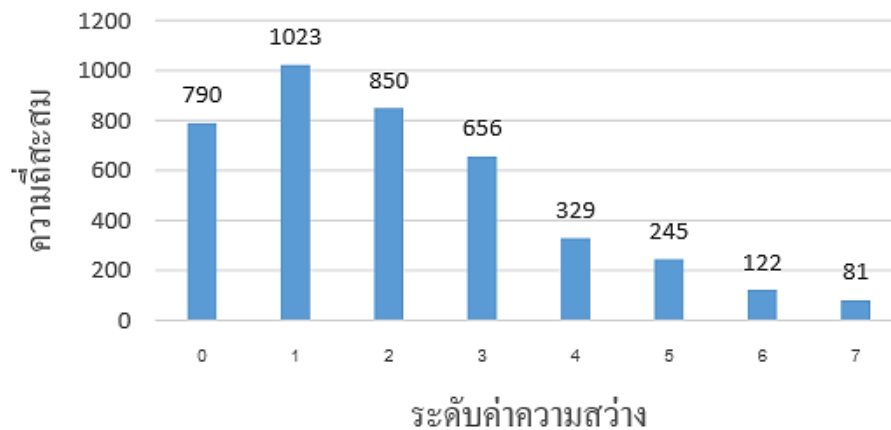
## 2.6 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบดั้งเดิม (Global Histogram Equalization)

เป็นการนำค่าฮิสโตแกรมของภาพมาประมวลผล เพื่อชดเชยระดับค่าความสว่างให้มีการกระจายกันอย่างสม่ำเสมอตลอด ดังภาพประกอบที่ 2.16 โดยวิธีการนี้มีสมมติฐานที่ว่า ควรมีการกำหนดจำนวนจุดภาพให้มีความถี่เท่ากันในแต่ละระดับความสว่าง



รูปที่ 2.16 แสดงผลของการประมวลผลด้วยวิธี HE

ตัวอย่างการประมวลผลด้วยวิธี HE ของภาพโทนสีเทา 3 บิต (8 ระดับค่าความสว่าง หรือ  $L = 8$ ) ภาพมีขนาด 64 แถว 64 คอลัมน์ เมื่อนำค่าความสว่างของภาพมาแสดงใน รูปแบบฮิสโตแกรม ดังภาพประกอบที่ 2.17 และนำค่าความสว่างที่ปรากฏภายในภาพเรียงจากน้อยไปมาก



รูปที่ 2.17 แสดงฮิสโตแกรมของภาพโทนสีเทา 3 บิต

ตารางที่ 2.4 แสดงการคำนวณ HE

$r_k$	$n_k$	$p_r(r_k)$	$CDF_k$
$r_0 = 0$	790	0.19	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25	0.44
$r_2 = 2$	850	0.21	0.65
$r_3 = 3$	656	0.16	0.81
$r_4 = 4$	329	0.08	0.89
$r_5 = 5$	245	0.06	0.95
$r_6 = 6$	122	0.03	0.98
$r_7 = 7$	81	0.02	1

โดยที่

$r_k$  คือ ระดับค่าความสว่างที่  $k$

$n_k$  คือ จำนวนความถี่สะสมของจุดภาพที่ระดับความสว่างที่  $k$

$p_r(r_k)$  เป็น PDF (Probability Density Function) คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ระดับค่าความสว่างเท่ากับ  $k$  สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.6

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{M \cdot N} \quad (2.6)$$

โดยที่  $M$  และ  $N$  คือจำนวนแถว และคอลัมน์ของภาพ ตัวอย่างการคำนวณค่า PDF ที่ระดับค่าความสว่าง  $k = 0$

$$\begin{aligned} p_r(r_0) &= \frac{n_0}{M \times N} \\ &= \frac{790}{64 \times 64} \\ &= 0.19 \end{aligned}$$



CDF (Cumulative Distribution Function) คือฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.7

$$CDF_k = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (2.7)$$

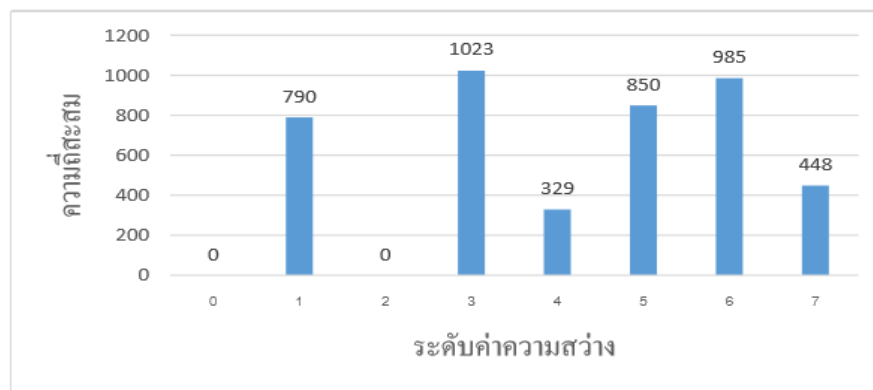
เมื่อกำหนดค่า CDF แล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการคำนวณค่าความสว่างใหม่โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.8 และแสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ดังภาพประกอบที่ 2.18

$$S_k = (L - 1)CDF_k$$

$$S_1 = (8 - 1) \sum_{j=1}^k p_r(r_j) = 7p_r(r_0) + 7p_r(r_1) = 3.08 \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ HE

$r_k$	$n_k$	$p_r(r_k)$	$CDF_k$	$s_k$
$r_0 = 0$	790	0.19	0.19	$s_0 = 1.33 \rightarrow 1$
$r_1 = 1$	1023	0.25	0.44	$s_1 = 3.08 \rightarrow 3$
$r_2 = 2$	850	0.21	0.65	$s_2 = 4.55 \rightarrow 5$
$r_3 = 3$	656	0.16	0.81	$s_3 = 5.67 \rightarrow 6$
$r_4 = 4$	329	0.08	0.89	$s_4 = 6.23 \rightarrow 6$
$r_5 = 5$	245	0.06	0.95	$s_5 = 6.65 \rightarrow 7$
$r_6 = 6$	122	0.03	0.98	$s_6 = 6.86 \rightarrow 7$
$r_7 = 7$	81	0.02	1	$s_7 = 7.00 \rightarrow 7$

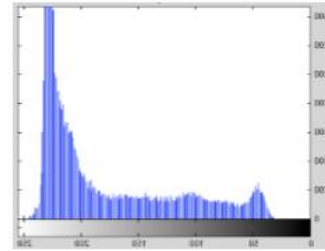


รูปที่ 2.18 แสดงฮิสโตแกรมผลลัพธ์ของภาพโทนสีเทา 3 บิต หลังประมวลผลด้วยวิธีการ HE

เมื่อใช้วิธีการ HE ประมวลผลภาพโทนสีเทา ในการปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่แสดงสารสนเทศของรายละเอียดภายในภาพชัดเจนขึ้น ดังภาพประกอบที่ 2.19 – 2.23



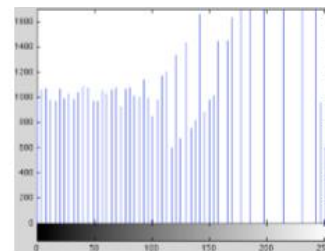
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์

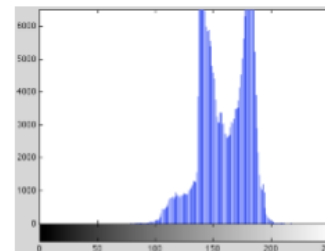


(ง) ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.19 ภาพ Clock.PNG ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE



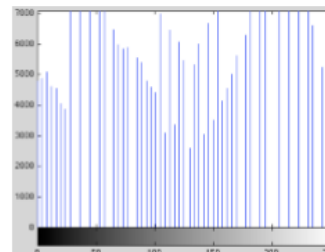
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์

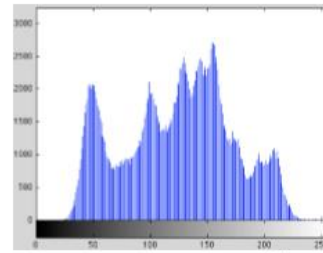


(ง) ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.20 ภาพ House.Tiff ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE



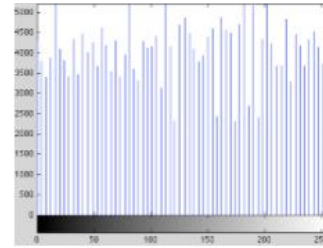
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์

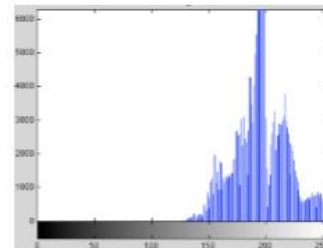


(ง) ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.21 ภาพ Lena.PNG ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE



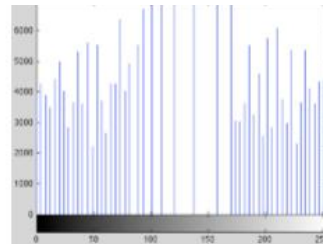
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ

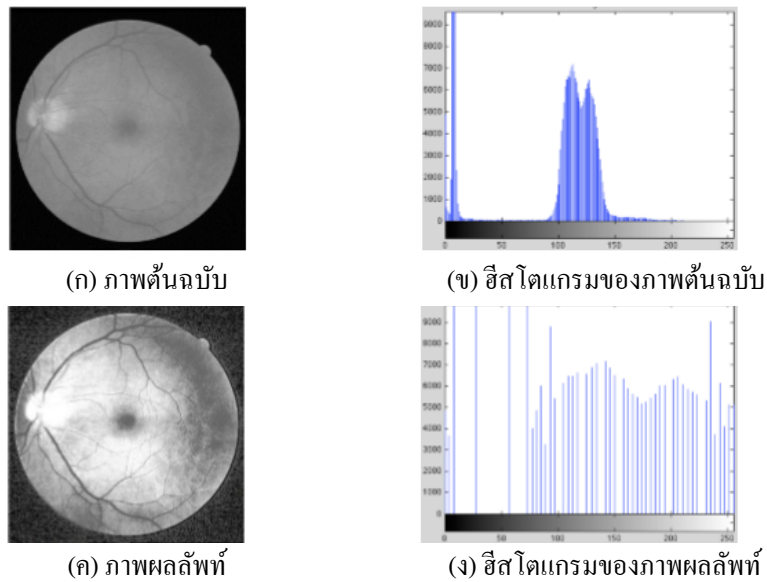


(ค) ภาพผลลัพธ์



(ง) ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.22 ภาพ Gulf.Tiff ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE

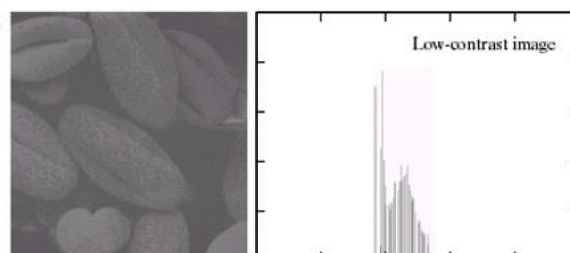


รูปที่ 2.23 ภาพ Retina.PNG ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธีการ HE

## 2.7 คอนทราสต์ของภาพ (Image Contrast)

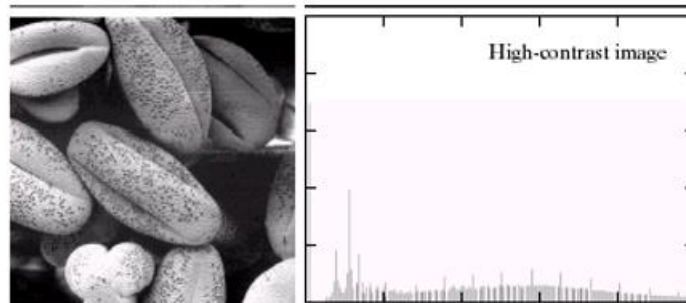
คอนทราสต์ เป็นค่าความเปรียบต่างของแสงหรือสีที่ทำให้มองเห็นวัตถุในภาพได้อย่างชัดเจน โดยในลักษณะการมองเห็นภาพที่มีคอนทราสต์ สามารถกำหนดได้จากความต่างของความสว่างและสีของวัตถุที่มีความแตกต่างจากวัตถุอื่นๆ ที่อยู่รอบๆ ดังนั้นค่าความเข้มของความสว่างและค่าความเข้มของสีของวัตถุจะส่งผลให้ภาพมีลักษณะคอนทราสต์ต่ำ และคอนทราสต์สูงแตกต่างกันไป

**2.7.1 ภาพคอนทราสต์ต่ำ (Low Contrast Image)** ภาพที่มีลักษณะคอนทราสต์ต่ำ จะมีฮิสโตแกรมของค่าความสว่างกระจุกกันอยู่ในช่วงแคบๆ เป็นภาพที่มีแสงหรือความสว่างค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งภาพ หรือภาพที่มีความสว่างแตกต่างกันในภาพน้อยค่าความเปรียบต่างระหว่างส่วนที่สว่างที่สุดกับส่วนที่มืดที่สุด มีค่าห่างกันน้อย ดังแสดงรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ภาพ Low Contrast (Gonzalez and Woods,2009)

**2.7.2 ภาพคอนทราสต์สูง (High Contrast Image)** ภาพที่มีลักษณะคอนทราสต์สูง จะมีฮิสโตแกรมของค่าความสว่างกระจายกันอยู่ในช่วงกว้าง ๆ หรือเป็นภาพที่มีแสงหรือความสว่างต่างกันอย่างเด่นชัด เช่น ภาพที่มีส่วนของในที่ร่มและกลางแจ้งอยู่ในภาพเดียวกัน ดังแสดงรูปที่ 2.25

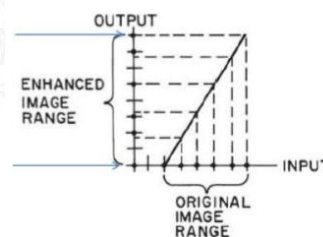


รูปที่ 2.25 ภาพคอนทราสต์สูง High Contrast (Gonzalez and Woods,2009)

## 2.8 การปรับปรุงคอนทราสต์ (Contrast Enhancement)

เป็นการปรับปรุงค่าความสว่างของภาพโดย การยืดช่วงค่าความสว่างให้เต็มพิสัย (Range) ของข้อมูลภาพ ทำให้ภาพที่ปรับปรุงแล้วมีคอนทราสต์ที่ดี ที่สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลในภาพได้อย่างชัดเจน เทคนิคการปรับปรุงระดับความสว่างของภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

**2.8.1 การยืดคอนทราสต์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear Contrast Stretch)** เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการปรับระดับค่าความสว่างให้มีช่วงที่กว้างขึ้น ตามสัดส่วนด้วยการขยายพิสัย ของระดับค่าความสว่างของข้อมูลเดิมให้มีค่ามากยิ่งขึ้นเต็มช่วง 0-255 (สำหรับภาพ 8 บิต) โดยทำการแมปค่าความสว่างต่ำสุดในภาพไปยังค่าความสว่างเท่ากับ 0 และแมปค่าความสว่างสูงสุดในภาพไปยังค่าความสว่างเท่ากับ 255 ทุกๆ ค่าความสว่างจะแมปไปเป็นเชิงเส้นในระหว่างช่วงค่าความสว่าง 0-255 เพื่อเพิ่มค่าคอนทราสต์ให้กับภาพ ดังแสดงรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการยืดคอนทราสต์ที่เป็นเชิงเส้น

การปรับคอนทราสต์แบบเชิงเส้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (2.9)$$

โดยที่  $T[f(x, y)]$  เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความสว่าง  $f(x, y)$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$g(x, y) = \left( \frac{255}{DN_{max} - DN_{min}} \right) \cdot (f(x, y) - DN_{min}) \quad (2.10)$$

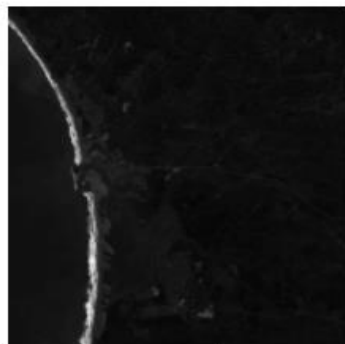
โดยที่  $g(x, y)$  คือ ค่าความสว่างใหม่ที่ตำแหน่ง  $(x, y)$

$f(x, y)$  คือ ค่าความสว่างเดิมที่ตำแหน่ง  $(x, y)$

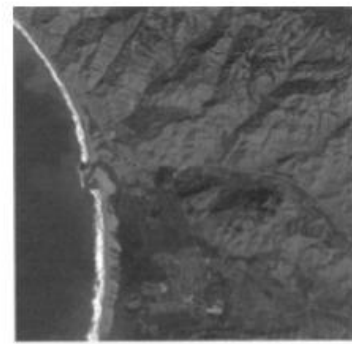
$DN_{min}$  คือ ค่าความสว่างต่ำสุดในภาพ  $f(x, y)$

$DN_{max}$  คือ ค่าความสว่างสูงสุดในภาพ  $f(x, y)$

ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.27 (ก) คือ รูปที่ต้องการเพิ่มความคมชัด



(ก) ภาพต้นฉบับ



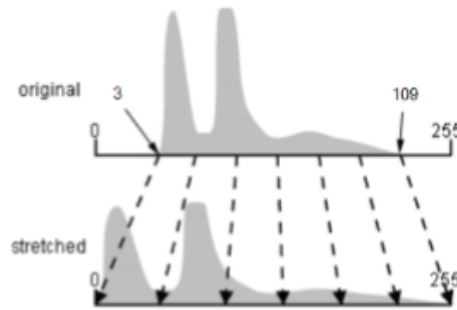
(ข) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.27 รูปภาพเดิมที่ต้องการเพิ่มความคมชัดและภาพผลลัพธ์โดยการยืดคอนทราสต์ที่เป็นเชิงเส้น

จากภาพประกอบที่ 2.27 (ก) นั้นมีค่าความสว่างต่ำสุดคือ 3 สูงสุดคือ 109 ต้องการแปลงค่าความสว่าง ตั้งแต่ 3-109 ไปเป็น 0-255 โดยสมมติว่าค่าของจุดภาพเก่าคือ 20 (โดยจะต้องทำการปรับปรุงค่าความสว่างของทุกๆ จุดภาพ) สามารถแทนค่าลงไปในสมการที่ 2.10 และค่าที่ได้แสดงในสมการที่ 2.11

$$\begin{aligned}
 g(x, y) &= \left( \frac{255}{109 - 3} \right) \cdot (20 - 3) \\
 &= 40.89 \cong 41
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

โดยฮิสโตแกรม ของค่าความสว่าง จากขยายในสัดส่วนเท่าๆ กันดังแสดงรูปที่ 2.28

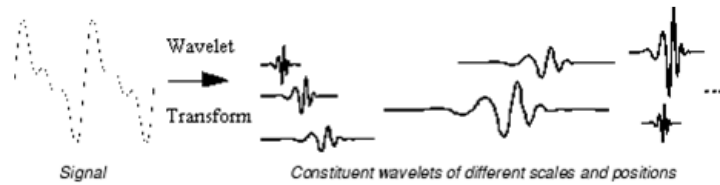


รูปที่ 2.28 แสดงฮิสโตแกรมของภาพก่อนและหลังการปรับปรุงภาพ  
โดยวิธีการยืดคอนทราสต์ที่เป็นเชิงเส้น

**2.8.2 การยืดคอนทราสต์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Contrast Stretch)** เป็นการปรับระดับค่าความสว่างของข้อมูลภาพ โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น จุดประสงค์ในการใช้วิธีนี้คือ พยายามที่จะเปลี่ยนการกระจายของข้อมูลที่ไม่ปกติให้เป็นแบบปกติและปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความสว่างให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่า “Histogram Equalization Stretch” หรือการยืดภาพตามความถี่ของข้อมูล

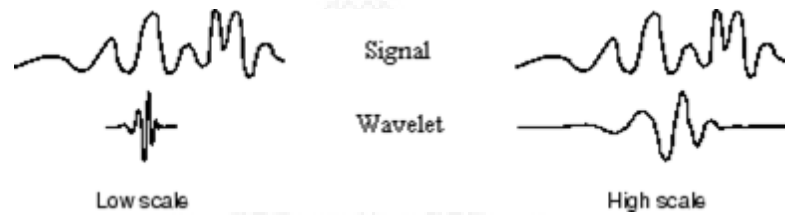
## 2.9 ทฤษฎีการแปลงเวฟเลตแบบสองมิติ

การแปลงเวฟเลตจะใช้กับสัญญาณหรือภาพที่ต้องการข้อมูลทางด้านเวลาและความถี่โดยถูกแสดงผลในรูปของผลรวมองค์ประกอบความถี่สูง (Detail Version) และองค์ประกอบความถี่ต่ำ (Approximated Version) โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตทำหน้าที่เป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบความถี่แต่ละระดับ ในการอธิบายสัญญาณใด ๆ ด้วยการแปลงเวฟเลต จึงทำได้โดยการนำกลุ่มของเวฟเลตที่มีโครงสร้างแบบฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชัน ต้นกำเนิดที่เรียกว่าเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) โดยคลื่นเวฟเลตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการปรับสเกล (Scale) หรือการแสดงการยืดหรือหดตัวของเวฟเลตนั่นเอง ส่วนการเลื่อนตำแหน่ง (Translation) จะเป็นการแสดงตำแหน่งบนแกนเวลา ดังแสดงรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ลักษณะของการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเลต

ในรูปที่ 2.30 เป็นลักษณะของสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์เมื่อถูกทำการแปลงเวฟเลต โดยอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวฟเลตที่ถูกปรับสเกลและเลื่อนตำแหน่งเพื่อใช้ในกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณ



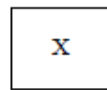
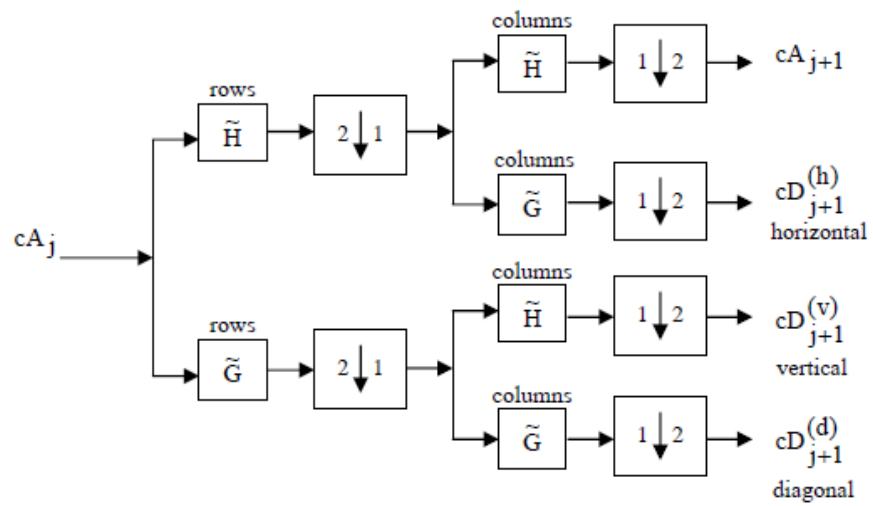
รูปที่ 2.31 ลักษณะการสเกลสัญญาณ

ในรูปที่ 2.31 เป็นลักษณะของเวฟเลตที่มีการสเกลในขนาดที่ต่างกัน โดยการนำสัญญาณใดๆ มาผ่านกระบวนการแปลงเวฟเลตนั้น เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณนั้น ให้ออกมาตั้งรูปของเวฟเลตแม่ที่มีการปรับสเกลและตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบของการแปลงเวฟเลตโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) และการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) โดยงานวิจัยนี้จะใช้การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

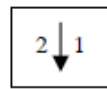
#### การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลตแบบเต็ม หน่วยเป็นการแปลงเวฟเลตรูปแบบหนึ่งเกิดจากการพัฒนาการโค้ดแบบซับแบนด์ (Subband Coding) และการโค้ดแบบปิรามิด (Pyramidal Coding) หรือรู้จักกันในชื่อว่าการวิเคราะห์แบบมัลติเรโซลูชัน (multiresolution analysis)

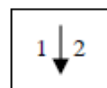




: คอนโวลูชัน(แถวหรือคอลัมน์) ด้วยตัวกรอง  $x$



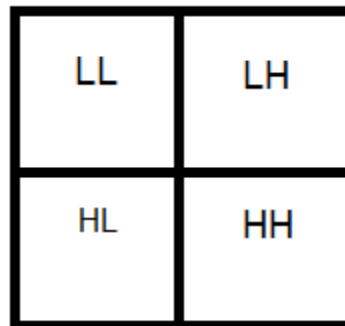
: จากสองแถวเก็บหนึ่งแถว



: จากสองคอลัมน์เก็บหนึ่งคอลัมน์

รูปที่ 2.32 การแยกสัญญาณ DWT

ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเลตจะถูกแบ่งเป็น 4 ชั้นแบนด์ย่อย ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ผลลัพธ์จากการแปลงเวฟเลต

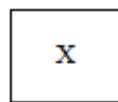
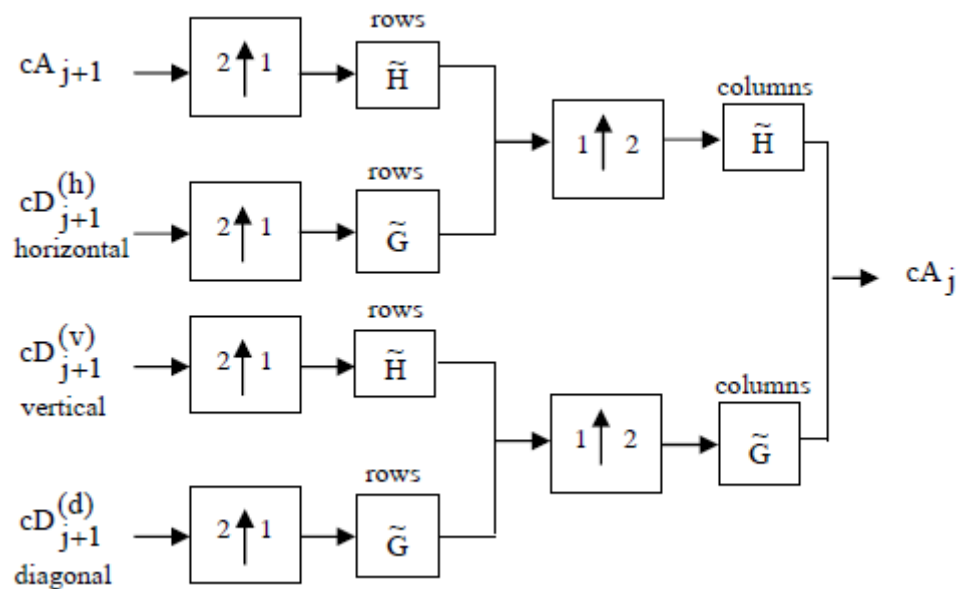
LL คือ ส่วนที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำสองครั้งและรายละเอียดของข้อมูลภาพส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณนี้ เรียกว่าส่วนของเนื้อหาภาพ

LH คือ ส่วนที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวตั้งแล้วนำผลที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวนอนส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวตั้ง

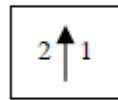
HL คือ ส่วนที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวตั้งแล้วนำผลที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวนอนส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวนอนแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวนอน

HH คือส่วนที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงสองครั้งในส่วนนี้จะเก็บข้อมูลในแนวทแยงมุม และส่วนนี้มีความสำคัญน้อยสุด เรียกว่าส่วนของสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลอื่นๆ

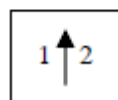
การแปลงกลับเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Inverse Discrete Wavelet Transform) การสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบย่อยของซับแบนด์ต่างๆ แสดงได้จากภาพที่ 2.35 โดยเริ่มจากส่วนประกอบแบนด์ย่อยทั้ง 4 จะถูกเพิ่มจำนวนการสุ่ม (Up Sampling) เป็น 2 เท่าโดยการเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแต่ละคู่ของคอลัมน์ หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง และนำมาบวกเข้าด้วยกัน จากนั้นทำซ้ำไปตามแนวแกนอนโดยเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแถว หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูงบวกเข้าด้วยกัน จะได้ผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้ประกอบด้วยแบนด์ย่อยความถี่ต่ำจำนวน 1 แบนด์คือ  $cA_{j+1}$  และแบนด์ย่อยความถี่สูงจำนวน 3 แบนด์ คือ  $(hcD_{j+1}, vcD_{j+1}$  และ  $(dcD_{j+1})$  ตามลำดับ



: คอนโวลูชัน (แถวหรือคอลัมน์) ด้วยตัวกรอง  $X$



: แทรกแถวที่มีค่าเป็น 0 ระหว่างแถวแต่ละแถว



: แทรกคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0 ระหว่างคอลัมน์แต่ละคอลัมน์

รูปที่ 2.35 การรวมสัญญาณ DWT

## 2.10 การวัดและประเมินคุณภาพ

2.10.1 การวัดค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด Absolute Mean Brightness Error: (AMBE) เป็นการตรวจสอบค่าผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากจุดภาพทั้งหมด สามารถหาได้ดังสมการ 2.12

$$\chi = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{nm}}{N \times M} \quad (2.12)$$

ถ้ากำหนดให้  $E(X)$  และ  $E(Y)$  เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ ได้กำหนดตัววัดคุณภาพของการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพโดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนความสว่างหรือ AMBE (Absolute Mean Brightness Error)

$$AMBE = |E(X) - E(Y)|$$

**2.10.2 การวัดคุณภาพด้วย Peak Signal to Noise Ratio: PSNR** เป็นการหาค่าความผิดพลาดในเชิงตัวเลขของการประมวลผลภาพนิยมใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ซึ่งถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความผิดพลาดจากภาพต้นฉบับน้อย สามารถหาค่าได้ดังสมการ 2.13

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [W(i,j) - O(i,j)]^2 \quad (2.13)$$

โดย	$MSE$	คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย
	$M$	คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างภาพ
	$N$	คือ จำนวนพิกเซลตามความยาวภาพ
	$W(i,j)$	คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง $(i,j)$ ของภาพผลลัพธ์
	$O(i,j)$	คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง $(i,j)$ ของภาพต้นฉบับ

เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดเชิงตัวเลขที่ดีขึ้นและชัดเจนยิ่งขึ้น เราเลือกใช้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio) ในการวัดสัญญาณรบกวนของภาพผลลัพธ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ค่า PSNR สามารถหาได้จากสมการ 2.14

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{Peak^2}{MSE} \quad (dB) \quad (2.14)$$

โดย	$PSNR$	คือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด
	$MSE$	คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย
	$Peak$	คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลซึ่งในที่นี้ คือ 255 เพราะค่าในแต่ละพิกเซลของภาพคือ 255

2.10.3 การวัดคุณภาพด้วย Tenengrad:  $TEN$  เป็นการวัดปริมาณรายละเอียดของขอบภาพหาค่าที่ได้มีค่าสูงจะแสดงถึงรายละเอียดของในภาพมาก ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 2.15

$$TEN = \sum_{x=2}^{M-1} \sum_{y=2}^{N-1} (\nabla S(x, y))^2 \quad \text{for } \nabla S(x, y) > T \quad (2.15)$$

โดย  $T$  คือ ค่าระดับของเทรสโฮลด์

$\nabla S(x, y)$  คือ ค่าสูงสุดของขอบ Sobel โดยค่า  $T$  จะเข้าสู่ค่า 0

จากการพิจารณาค่า  $TEN$  สามารถอธิบายภาพได้ว่า ถ้ากำหนดให้ ภาพต้นฉบับมีค่า  $TEN = 0$  และภาพที่ผ่านการปรับปรุงกำหนดให้ มีค่า  $TEN = R$  แล้วหากค่า  $R$  มีค่าน้อยกว่าค่า  $0$  มากๆ แสดงว่ามีการสูญเสียรายละเอียดของขอบภาพ แต่หากค่า  $R$  มีค่ามากกว่าค่า  $0$  มากๆ แสดงว่ามีการสร้างรายละเอียดขอบภาพที่ไม่ถูกต้องขึ้น



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาของความไม่ชัดเจนในรายละเอียดของภาพ ด้วยการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยการปรับความคมชัดและปรับเท่าฮิสโตแกรมอย่างเหมาะสม ด้วยการแปลงผ่านเวฟเลตสองมิติ วิธีการโดยแยกสัญญาณข้อมูลภาพจากภาพต้นฉบับ ได้เป็น 4 ภาพย่อย จากนั้น ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมจากข้อมูลภาพในแบนที่ 1 เท่านั้น โดยให้แบ่งฮิสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามค่ากลางของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมบนเนื้อภาพระดับที่ 1 (Approximation Band) จากนั้นทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ภาพผลลัพธ์ที่ได้ที่เกิดจากการรวมภาพ โดยใช้การแปลงเวฟเลตสองมิติผกผัน แล้วทำการประเมินภาพ โดยยังคงรักษาข้อมูลต่าง ๆ ภายในภาพผลลัพธ์ได้อย่างครบถ้วน (เหมือนหัวข้อ 1.1)

#### 3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 หาข้อมูลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องแล้วทำการศึกษาโดยทำการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่างๆ จากฐานข้อมูลจากห้องสมุดในมหาวิทยาลัยของรัฐและฐานข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นหาข้อมูลการวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยผ่านทางเว็บไซต์ โดยงานวิจัยที่ต้องทำการศึกษาหาข้อมูล ได้แก่ รูปแบบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการปรับเท่าฮิสโตแกรมจากวิธีการต่างๆ

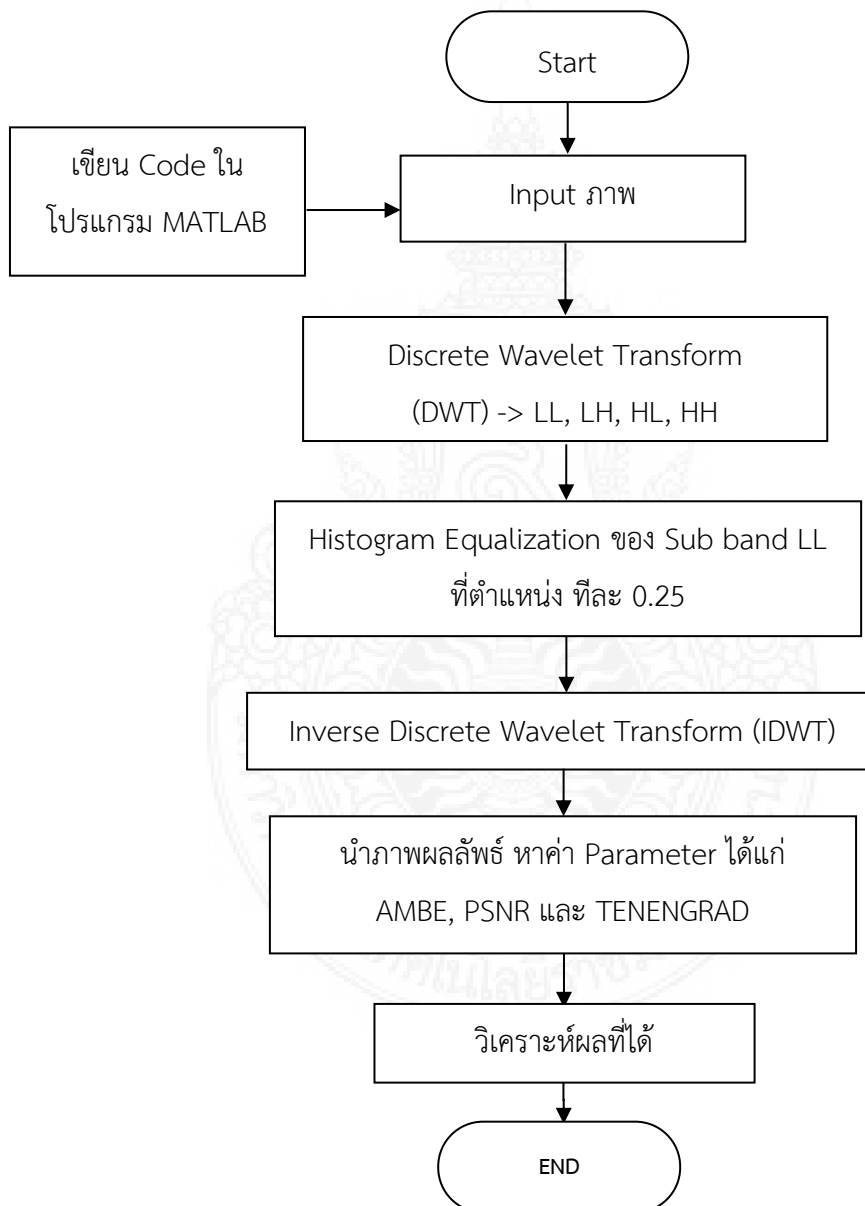
3.2.2 ศึกษาวิธีการแปลงเวฟเลต

3.2.3 ศึกษาการวิเคราะห์ภาพผลลัพธ์ ด้วยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดความสว่างให้ต่ำสุด (Minimum AMBE)

3.2.4 เขียนโปรแกรม MATLAB โดยมี Flow chart และลำดับกระบวนการดังรูปที่ 3.1

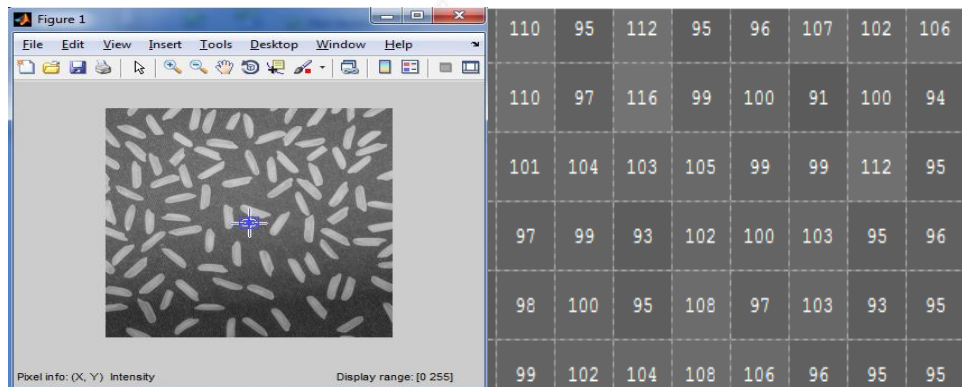
- (1) รับค่าภาพอินพุต เข้ามา โดยที่คุณสมบัติภาพนั้นเป็นภาพ Gray Scale
- (2) ภาพที่รับเข้ามานำเข้าสู่กระบวนการแปลงเวฟเลต (DWT) โดยจะได้ 4 Sub band ได้แก่ Sub band LL, Sub band LH, Sub band HL, Sub band HH
- (3) ดึง Sub band LL ออกมา
- (4) นำ Sub band LL มาทำการปรับเท่าฮิสโตแกรม โดยแบ่งการปรับที่ ทีละ 0.25 ดังนั้นตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งในการปรับเท่าฮิสโตแกรม ได้แก่ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1 ตามลำดับ

- (5) นำ Sub band LL ที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมแล้ว ผ่านกระบวนการทำอินเวอร์สเวฟเลต (IDWT)
- (6) นำภาพผลลัพธ์ที่ได้ ไปคำนวณหาค่า Parameter AMBE และ PSNR
- (7) วิเคราะห์ผลที่ได้ค่า Parameter ที่ได้
- (8) สรุปผลที่ได้ทั้งหมด
- (9) การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำ Flow Chart

จากรูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำ Flow Chart จะทำการอ่านภาพด้วยโปรแกรม โดยเมื่อภาพถูกอ่านโปรแกรมจะเก็บข้อมูลเป็น Array ซึ่งจะถูกแทนด้วยตัวเลขจำนวนเต็ม อยู่ในช่วงปิด [0, 255] มีขนาด 8 บิต สำหรับภาพขาวดำจะมีขนาดข้อมูลภาพแค่ 1 ชุด มีขนาด 2 มิติ เท่านั้น และสำหรับภาพสีจะมีขนาดข้อมูลรูปที่ 3 ชุด เรียงซ้อนกันมีขนาดข้อมูล 3 มิติ



รูปที่ 3.2 ข้อมูลภาพขาวดำ

ชนิดภาพขาวดำ ขนาด 256x256 Bytes 65536 Class unit 8 (8 บิต)

ถ้ากำหนดให้ภาพมีขนาดของรูปภาพมีขนาด 256x256 โดยมีจุดภาพแสดงด้วยเมตริกซ์ของภาพ โดยแต่ละจุดจะกำหนดให้เป็นค่าความเข้ม (Intensity) ของจุดภาพ ณ ตำแหน่งนั้นๆ จะมีค่าอยู่ในช่วงปิด [0, 255] โดยแทนค่าระดับ 0 เป็นสีดำและแทนค่าระดับ 255 เป็นสีขาว

### 3.3 ศึกษา Discrete Wavelet Transform (DWT)

หลังจากอ่านภาพแล้ว เข้าสู่ขั้นตอนการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยหรือ Discrete Wavelet Transform (DWT) จะได้ 4 แบนด์ย่อย Sub band LL, Sub band LH, Sub band HL, Sub band HH

### 3.4 การปรับเท่าฮิสโตแกรมที่แบนด์ LL

3.4.1 ทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของค่าความเข้มของจุดภาพ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร  $k$  ดังสมการ 3.1

$$p(k) = \frac{n_k}{N} \quad (3.1)$$



โดยที่  $n_k$  เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพย่อยที่มีค่าระดับสีเทาเป็น  $k$  และ  $N$  เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพย่อย

3.4.2 คำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)

ดังสมการ 3.2

$$\sum_{i=0}^k p(k) \quad (3.2)$$

3.4.3 คำนวณหาค่าระดับสีเทาใหม่ ดังนี้

$$F(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(k)$$

โดย  $X_0$  เป็นค่าระดับสีเทาดำสุด ในพื้นที่ย่อย และ  $X_{L-1}$  เป็นค่าระดับสีเทาสูงสุด ในพื้นที่ย่อย

3.4.4 ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมจากภาพแบนด์ LL โดยกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ ความถี่สะสม หรือ CDF เป็น 0, 0.25, 0.50, 0.75

### 3.5 การปรับเท่าฮิสโตแกรม

Histogram Equalization: HE เป็นกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลที่นิยมมาก สำหรับการปรับความคมชัดของภาพ กระบวนการดังกล่าวนี้ส่งผลให้ค่าระดับสีเทากระจายตัวโดยขึ้นกับฟังก์ชันของความหนาแน่นสะสมของจุดภาพต้นฉบับในแต่ละค่าระดับสีเทาดังนั้น

การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบหลายส่วน (Multi-Histogram Equalization: MHE)

กำหนดให้  $x_m$  เป็นค่าเฉลี่ยกลางของภาพต้นฉบับ  $x$  โดยที่  $x_m \in \{x_0, x_1, \dots, x_{L-1}\}$  และ  $x_m$  เป็นค่าที่ใช้แบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นภาพย่อยที่  $x_L$  และ  $x_U$  ดังในสมการที่ 3.3, 3.4 และ 3.5

$$x = x_{m1} \cup x_{m2} \cup \dots \cup x_{mn} \quad (3.3)$$

$$x_{m1} = \{x(i, j) | x(i, j) \leq x_m, \forall x(i, j) \in x\} \quad (3.4)$$

$$x_{m2} = \{x(i, j) | x(i, j) > x_m, \forall x(i, j) \in x\} \quad (3.5)$$

เมื่อภาพย่อยที่  $x_L$  ประกอบไปด้วย  $\{x_0, x_1, \dots, x_m\}$  และภาพย่อยที่  $x_U$  ประกอบไปด้วย  $\{x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_{L-1}\}$  จากนั้น คำนวณค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) จากภาพย่อยที่  $x_L$  และ  $x_U$  ดังในสมการที่ 3.6 และ 3.7

$$p_L(x_k) = \frac{n_L^k}{n_L} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $k = 0, 1, \dots, m$

$$p_U(x_k) = \frac{n_U^k}{n_U} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $k = m + 1, m + 2, \dots, L - 1$

โดยที่  $n_L^k$  และ  $n_U^k$  เป็นจำนวนจุดภาพในระดับค่าสีเทาที่  $x_k$  ของภาพย่อยที่  $x_L$  และ  $x_U$  และ  $n_L$  และ  $n_U$  เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพย่อยที่  $x_L$  และ  $x_U$  ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขดังกล่าวจากสมการที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ จะได้ว่า

$$n_L = \sum_{k=0}^m n_L^k$$

$$n_U = \sum_{k=m+1}^{L-1} n_U^k$$

$$n = n_L + n_U$$

และจากนั้น สามารถเขียนสมการเพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density Function: CDF) จากสมการที่ 3.8 และ 3.9

$$c_L(x) = \sum_{j=0}^m {}^t p_L(x_j) \quad (3.8)$$

$$c_U(x) = \sum_{j=m+1}^{L-1} {}^t p_U(x_j) \quad (3.9)$$

เมื่อ  $x_k = k$  ดังนั้น จะได้ว่า  $c_L(x_m) = 1$  และ  $c_U(x_{L-1}) = 1$  ด้วยเช่นกัน ในทำนองเดียวกันกับวิธีการของ HE สามารถเขียนฟังก์ชันส่งผ่านเพื่อใช้สำหรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาเดิมเป็นค่าระดับสีเทาใหม่ได้จากสมการที่ 3.10 ถึง 3.13

$$f_{m_1}(x) = X_0 + (X_{m_1} - X_0) \cdot c_{m_1}(x) \quad (3.10)$$

$$f_{m_2}(x) = X_{m_1} + (X_{m_2} - X_{m_1}) \cdot c_{m_2}(x) \quad (3.11)$$

$$f_{m_1}(x) = X_0 + (X_{m_1} - X_0) \cdot c_{m_1}(x) \quad (3.12)$$

$$f_{m_2}(x) = X_{m_1} + (X_{m_2} - X_{m_1}) \cdot c_{m_2}(x) \quad (3.13)$$

จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 การปรับเท่าฮิสโตแกรมจะถูกการปรับเท่าอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ดังอธิบายได้จากสมการที่ 3.12 และ 3.13

$$Y = \{Y(i, j)\} \quad (3.14)$$

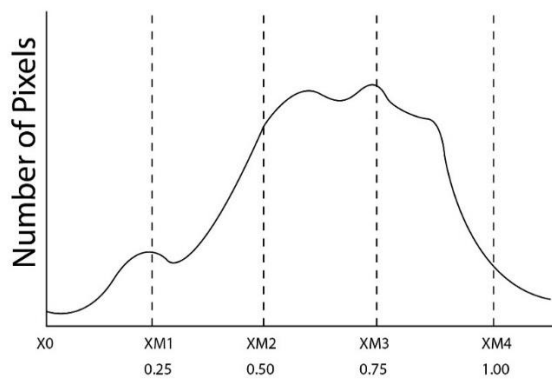
$$Y = f_L(X_L) \cup f_U(X_U) \quad (3.15)$$

$$f_L(X_L) = \{f_L(x(i, j)) \mid \forall x(i, j) \in X_L\} \quad (3.16)$$

$$f_U(X_U) = \{f_U(x(i, j)) \mid \forall x(i, j) \in X_U\} \quad (3.17)$$

จากสมการที่ 3.14 และสมการที่ 3.15 ถ้า  $0 \leq c_L(x), c_U(x) \leq 1$  แล้ว จะพบว่า การปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพย่อย  $X$  จะถูกปรับเท่าเกินช่วงของ  $X_{m_1}(X_{m_1} + 1)$ ,  $X_{m_2}(X_{m_2} + 1)$ ,  $X_{m_3}(X_{m_3} + 1)$  ถึง  $X_{m_4}(X_{m_4} + 1)$  จะถูกปรับเท่าเกินช่วงของ  $X_{m+1}$  ถึง  $X_{L-1}$  ด้วย

ดังนั้นความผิดพลาดจากการคำนวณด้วยสมการดังกล่าวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของภาพผลลัพธ์ของ  $X_L$  ในช่วง  $X_0$  และ  $X_m$  ถึงมีค่าสูงขึ้น ในทำนองเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของภาพผลลัพธ์ของ  $X_U$  ในช่วง  $X_{m+1}$  และ  $X_{L-1}$  มีค่าต่ำ ลงเช่นกัน ดังแสดงรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งฮิสโตแกรมภาพต้นฉบับออกเป็นหลายส่วน

แนวคิดและวิธีการของ Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization (MMBEBHE) ได้เสนอวิธีเพื่อแก้ปัญหาค่าความแตกต่างของระดับสีเทาที่ไม่ชัดเจนที่ปรากฏอยู่ในภาพ โดยจะแบ่งฮิสโตแกรมของภาพออกเป็นสองกลุ่มจากค่าของขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold:  $X_T$ ) ในกลุ่มที่หนึ่งจะแบ่งช่วงจากระดับสีเทาล่างสุดจนถึงค่า  $X_T$  และในส่วนที่สองจะเริ่มจาก  $X_T$  จนถึงระดับสีเทาสูงสุด และทำการปรับเรียงทั้งสองกลุ่มอย่างเป็นอิสระเพื่อที่จะรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างเอาไว้ให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับให้มากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มที่ให้มีผลดี แต่ยังคงมีจุดอ่อนเนื่องจากการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำการยกจำนวนจุดภาพที่อยู่ในตำแหน่งของขีดเริ่มเปลี่ยนไปใช้ทุกจุดภาพจึงยังคงปรากฏแนวทางที่จะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มโดยอาศัยทั้งจำนวนจุดภาพและระดับสีเทาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของภาพก่อนทำการปรับเรียงฮิสโตแกรมให้แต่ละกลุ่มอย่างอิสระต่อกันสำหรับผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดค่า AMBE ลงได้อีก ซึ่งวิธีการที่นำเสนอมีขั้นตอนและหลักการดังนี้

1. คำนวณหาค่าระดับของขีดเริ่มเปลี่ยนจากความหนาแน่นสะสม
2. แยกฮิสโตแกรมต้นฉบับออกเป็นส่วนๆ ตามกลุ่มที่กำหนดไว้ซึ่งได้มาจากคำนวณระดับของขีดเริ่มเปลี่ยน
3. ปรับเรียงฮิสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามที่ได้แยกออกไปแล้วตามข้อ 2 อย่างอิสระ
4. คำนวณหาค่า AMBE ในแต่ละกลุ่ม

การคำนวณค่าเฉลี่ยของของความสว่างของภาพ  $X$  คือ  $\bar{X}$  จะสามารถนิยามจากสมการที่ 3.18

$$\bar{X}_{Original} = \frac{\sum_{i=0}^{255} f_i g_i}{\sum_{i=0}^{255} f_i} \quad (3.18)$$

เมื่อ  $g_i$  เป็นความถี่ระดับสีเทา

$f_i$  เป็นระดับสีเทา

แต่เนื่องจากเราแบ่งฮิสโตแกรมเดิมออกเป็น 4 กลุ่ม นั่นคือต้องคำนวณหาระดับขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม คือ  $X_{T_1}, X_{T_2}$  และ  $X_{T_3}$  จะได้ค่า  $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$  และ  $\bar{X}_4$  ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม

ถ้าให้  $N_T$  เป็นจำนวนจุดภาพรวมทั้งหมดของรูป หลังจากแบ่งภาพออกเป็น 4 กลุ่มแล้ว จำนวนจุดภาพในแต่ละกลุ่มจะมีค่าเท่ากับ  $N_1, N_2, N_3$  และ  $N_4$  ดังนั้น จุดภาพรวม (Total pixel) หาได้ดังสมการที่ 3.19, 3.20 และ 3.21

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (3.19)$$

$$\bar{X}_T = \frac{\bar{X}_1 N_1 + \bar{X}_2 N_2 + \bar{X}_3 N_3 + \bar{X}_4 N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \quad (3.20)$$

$$\bar{X}_1 N_1 + \bar{X}_2 N_2 + \bar{X}_3 N_3 + \bar{X}_4 N_4 = \bar{X}_T N_T \quad (3.21)$$

ต้องการให้

$$\bar{X}_T N_T = \bar{X}_{Original} N_T$$

เมื่อ  $\bar{X}_{Original}$  เป็นค่าเฉลี่ยเดิมจากภาพต้นฉบับ ดังสมการที่ 3.22, 3.23 และ 3.24

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum_{i=0}^{X_{T_1}} f_i g_i}{N_1}, \bar{X}_2 = \frac{\sum_{i=X_{T_1}+1}^{X_{T_2}} f_i g_i}{N_2}, \bar{X}_3 = \frac{\sum_{i=X_{T_2}+1}^{X_{T_3}} f_i g_i}{N_3}, \bar{X}_4 = \frac{\sum_{i=X_{T_3}+1}^{X_{T_4}} f_i g_i}{N_4} \quad (3.22)$$

จะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^{X_{T_1}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T_1}+1}^{X_{T_2}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T_2}+1}^{X_{T_3}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T_3}+1}^{X_{T_4}} f_i g_i = \bar{X}_{Original} N_T \quad (3.23)$$

กรณีแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่มเพื่อให้่ายในการวิเคราะห์จึงบังคับเงื่อนไขว่า

$$\sum_{i=0}^{X_{T_1}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T_1}+1}^{X_{T_2}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T_2}+1}^{X_{T_3}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T_3}+1}^{X_{T_4}} f_i g_i = \frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T \quad (3.24)$$

และเมื่อได้สมการ 3.24 จึงทำการปรับเรียบฮิสโตแกรมในกลุ่มแรก แต่เนื่องจาก โอกาสที่จะให้แต่ละกลุ่มเป็นไปตามสมการ ทำได้ยาก ตัวอย่างเช่น ในกลุ่มแรกถ้าเลือก  $X_{T_1}$  คือ  $g_5$  หรือ  $g_6$  จะได้ตั้งสมการที่ 3.25

$$\sum_{i=0}^5 f_i g_i < \frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T, \sum_{i=0}^6 f_i g_i > \frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T \quad (3.25)$$

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำ จึงต้องปรับย้ายจุดภาพจากระดับสี่เทาบางจุดใน  $g_6$  ให้กลายเป็นจุดภาพระดับสี่เทา  $g_5$  เพื่อให้ได้ตามสมการที่ 3.24 จำนวนจุดภาพที่ต้องปรับย้ายมาจาก  $g_6$  มาเป็น  $g_5$  คือ  $y_1$  หาได้ตั้งสมการที่ 3.26 และ 3.27

$$f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5 = \frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T \quad (3.26)$$

จะได้

$$y_1 = \frac{\frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T - (f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + f_5 g_5)}{g_5} \quad (3.27)$$

โดยต้องเลือก  $y_1$  เป็นจำนวนเต็ม (Integer) เช่น  $y_1 = 6.8$  เราจะเลือก  $y_1 = 6$  ดังนั้นจะได้ตั้งสมการที่ 3.28

$$f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5 + E_1 = \frac{1}{4} \bar{X}_{Original} N_T \quad (3.28)$$

ถึงแม้จะมีการย้ายกลุ่มจุดภาพแล้ว จะยังคงเกิดค่าความคลาดเคลื่อนอีกเล็กน้อยกล่าวคือ  $E_1$  ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.29

$$E_1 = \frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T - (f_0g_0 + f_1g_1 + f_2g_2 + f_3g_3 + f_4g_4 + (f_5 + y_1)g_5) \quad (3.29)$$

เมื่อได้ค่า  $E_1$  แล้วจะมีการนำค่า  $E_1$  ไปชดเชยในกลุ่มที่ 2 โดยที่ถ้าให้  $X_{T_2}$  เป็น  $g_{20}$  ก็จะได้ดังสมการที่ 3.30

$$(f_6 + y_1)g_6 + f_7g_7 + \dots + f_{19}g_{19} + (f_{20} + y_2)g_{20} = \frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T + E_1 \quad (3.30)$$

แต่ถ้านำผลรวมทางด้านซ้ายมารวมกับ  $f_{21}g_{21}$  ด้วยจะมีค่ามากกว่า เช่นเดียวกันจะมีการปรับจุดภาพบางจุดในระดับสีเทา  $g_{21}$  มารวมกันใน  $g_{20}$  ในกรณีให้  $y_2$  เป็นจำนวนจุดภาพใน  $g_{21}$  ที่จะย้ายไปรวมกับ  $g_{20}$  ดังสมการที่ 3.31

$$y_2 = \frac{(\frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T + E_1) - (f_6g_6 + \dots + f_{19}g_{19} + (f_{20} + y_2)g_{20})}{g_{20}} \quad (3.31)$$

เนื่องจาก  $y_2$  ต้องเป็นจำนวนเต็มนั่นเอง จึงเกิดความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มที่ 2 คือ  $E_2$  คำนวณได้จากสมการที่ 3.32

$$E_2 = \left(\frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T + E_1\right) - (f_6g_6 + \dots + f_{19}g_{19} + (f_{20} + y_2)g_{20}) \quad (3.32)$$

เมื่อได้  $E_2$  แล้ว ก็นำไปหาค่า  $E_2$  เช่นเดียวกับสมการที่ 3.27 และ 3.31 การปรับย้ายจุดจะทำไปจนถึงกลุ่มรองสุดท้ายโดยกลุ่มสุดท้ายจะไม่สามารถปรับย้ายจุดภาพได้อีกเพราะได้จุดภาพรวมครบทั้งภาพแล้ว ดังสมการที่ 3.33 และ 3.34

$$E_3 = \left(\frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T + E_2\right) - ((f_{21} + y_2)g_{21} + \dots + (f_{T_3} + y_3)g_{T_3}) \quad (3.33)$$

และ

$$E_4 = \left(\frac{1}{4}\bar{X}_{Original}N_T + E_3\right) - ((f_{T_{3+1}} + y_3)g_{T_{3+1}} + \dots + f_{255}g_{255}) \quad (3.34)$$

ดังนั้น  $E_4$  จะเป็น Total Error กล่าวคือ

$$E_4 = \left(\frac{1}{4}N_T\bar{X}_{original} + E_2\right) - \{((f_{21} - y_2)g_{21} + \dots + (f_{T_3} + y_3)g_{T_3})\} - \{((f_{T_{3+1}} - y_3)g_{T_{3+1}} + \dots + f_{255}g_{255})\} \quad (3.35)$$

และเมื่อแทน  $E_2$  ลงในสมการที่ 3.34 จะได้สมการที่ 3.36

$$E_4 = \frac{1}{4}N_T\bar{X}_{original} - ((f_0g_0 + \dots + (f_{T_1} + y_1)g_{T_1}) + ((f_{T_{1+1}} - y_1)g_{T_{1+1}} + f_{T_{1+2}}g_{T_{1+2}} + \dots + (f_{T_2} + y_2)g_{T_2} + (f_{T_{2+1}} - y_2)g_{T_{2+1}} + \dots + (f_{T_3} + y_3)g_{T_3}) + (f_{T_{3+1}} - y_3)g_{T_{3+1}} + \dots + f_{L-1}g_{L-1})) \quad (3.36)$$

$E_4$  จะเท่ากับศูนย์ ถ้า  $y_1, y_2, y_3$  มีค่าเป็นศูนย์

นั่นหมายความว่าถ้า  $y_1, y_2, y_3$  เป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer) พอดี จะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะกับ  $E_4$  ตัวสุดท้ายเท่านั้น หรือถ้า  $y$  ตัวใดตัวหนึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มพอดีค่าความคลาดเคลื่อนที่ผ่านมาจะเป็นศูนย์ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพียงกลุ่มสุดท้ายเท่านั้น นั่นคือถ้ายังแบ่งจำนวนกลุ่มมากโอกาสที่  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{M-1}$  จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มมากขึ้น

$M$  คือ จำนวนกลุ่มที่แบ่งตามตัวอย่างที่ยกมาเป็น 4 กลุ่ม

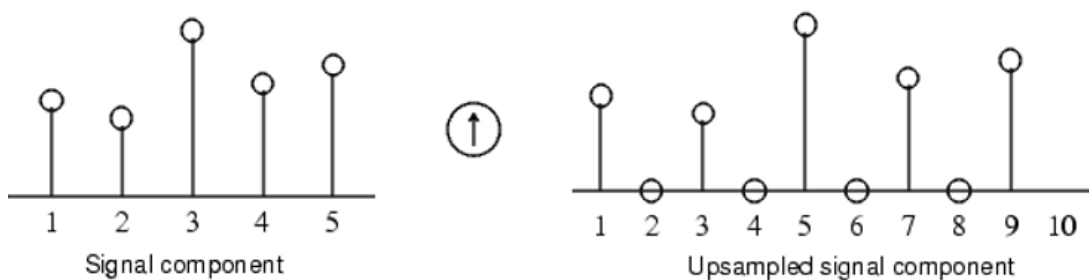
ถ้ายังแบ่งกลุ่มมากขึ้นโอกาสของ  $y_{Ti}$  จะเป็น Integer จะมีมากขึ้น  $E_{Ti-1}$  จึงเป็นศูนย์คือจะเอาค่าความคลาดเคลื่อนของ  $E_i$  และ  $E_{i+1}, E_{i+M-1}$  มาคิดเท่านั้น

จากกรณีที่ยกมาคือถ้า  $E_3$  เป็นศูนย์  $y_3$  จะเป็น integer นั่นคือ 3 กลุ่มแรกจะให้ค่าเท่ากับ  $\frac{3}{4}N_T\bar{X}_{original}$  เหลือเฉพาะกลุ่มที่ 4 เท่านั้นที่ต้องมาพิจารณาค่าความผิดพลาด (Error)



### 3.6 เทคนิคการแปลงเวฟเลตกลับ Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT)

ภายหลังจากการทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบนด์ LL แล้ว ให้นำกลับเข้ามาเพื่อทำ IDWT การแปลงกลับเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Inverse Discrete Wavelet Transform) การสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบย่อยของซับแบนด์ต่างๆ โดยเริ่มจากส่วนประกอบแบนด์ย่อยทั้ง 4 จะถูกเพิ่มจำนวนการสุ่ม (Up Sampling) เป็น 2 เท่า โดยการเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแต่ละคู่ของคอลัมน์ หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง และนำมาบวกเข้าด้วยกัน จากนั้นทำซ้ำไปตามแนวแกนอนโดยเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแถว หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูงบวกเข้าด้วยกัน จะได้ผลลัพธ์ ที่สร้างขึ้นใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้ประกอบด้วยแบนด์ย่อยความถี่ต่ำจำนวน 1 แบนด์



รูปที่ 3.3 IDWT และการเพิ่มจำนวนจุดตัวอย่างโดยการแทรกจุด 0 ลงใน DWT เดิม

ตระกูลของเวฟเลต (Wavelet Families) เป็นตระกูลของฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการแปลงเวฟเลตซึ่งมีให้เลือกใช้มากมายซึ่งแต่ละรูปแบบก็มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายรูปแบบ ซึ่งตระกูลของฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการแปลงเวฟเลตมีทั้งหมด 15 ตระกูล ได้แก่ Haar, Coiflets, Symlets, Daubechies, Biorthogonal, Reverse biorthogonal, Meyer, Discrete approximation of Meyer, Gaussian, Mexican hat, Morlet, Complex Gaussian, Shannon, Frequency B-Spline, Complex Morlet

ตระกูลของฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการแปลงเวฟเลต 5 ตระกูล จาก Matlab ได้แก่

- ก) Haar มีจำนวนสมาชิก 1 รูปแบบคือ haar
- ข) Coiflets มีจำนวนสมาชิก 5 รูปแบบคือ coif1, coif2, coif3, coif4 และ coif5
- ค) Symlets มีจำนวนสมาชิก 7 รูปแบบคือ sym2, sym3, sym4, sym5, sym6, sym7 และ sym8
- ง) Daubechies มีจำนวนสมาชิก 9 รูปแบบคือ db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9 และ db10
- จ) Biorthogonal มีจำนวนสมาชิก 14 รูปแบบคือ bior1.3, bior1.5, bior2.2, bior2.4, bior2.6, bior2.8, bior3.1, bior3.3, bior3.5, bior3.7, bior3.9, bior4.4, bior5.5, และ bior6.8

### 3.7 คำนวณหาค่า AMBE, PSNR และ TEN

การคำนวณหาค่า AMBE , PSNR และ TEN โดยสามารถหาได้ ดังนี้

3.7.1 Absolute Mean Brightness Error: AMBE เป็นการตรวจสอบค่าผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากจุดภาพทั้งหมด สามารถหาได้ดังสมการที่ 3.36

$$x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{nm}}{N \times M} \quad (3.37)$$

ถ้ากำหนดให้  $E(X)$  และ  $E(Y)$  เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ ได้กำหนดตัววัดคุณภาพของการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ โดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนความสว่างหรือ  $AMB$  (Absolute Mean Brightness Error)

$$AMBE = |E(X) - E(Y)|$$

3.7.2 Peak Signal to Noise Ratio: PSNR เป็นการหาค่าความผิดพลาดในเชิงตัวเลขของการประมวลผลภาพนิยมใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ซึ่งถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับน้อย สามารถหาได้ดังสมการ 3.37

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [W(i, j) - O(i, j)]^2 \quad (3.38)$$

โดย	$MSE$	คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย
	$M$	คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างภาพ
	$N$	คือ จำนวนพิกเซลตามความยาวภาพ
	$W(i, j)$	คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง $(i, j)$ ของภาพผลลัพธ์ จากข้อ 3.5
	$O(i, j)$	คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง $(i, j)$ ของภาพต้นฉบับ

เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดเชิงตัวเลขที่ดีขึ้นและชัดเจนยิ่งขึ้น เราเลือกใช้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio) ในการวัดสัญญาณรบกวนของภาพผลลัพธ์ จากข้อ 3.5 ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมเป็นอย่างแพร่หลาย ค่า PSNR สามารถหาได้จากสมการที่ 3.39

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{Peak^2}{MSE} \text{ (dB)} \quad (3.39)$$

โดย	$PSNR$	คือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด
	$MSE$	คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย
	$Peak$	คือ ค่าสูงสุดของข้อมูล ในที่นี้ คือ 255 ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพคือ 255

3.7.3 Tenengrad: TEN เป็นการ วัดปริมาณรายละเอียดของขอบภาพ หาค่าที่ได้มีค่าสูงจะแสดงถึงรายละเอียดของในภาพมาก ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.40

$$TEN = \sum_{x=2}^{M-1} \sum_{y=2}^{N-1} (\nabla S(x, y))^2 \text{ for } \nabla S(x, y) > T \quad (3.40)$$

โดย  $T$  คือ ค่าระดับของเทรโซลด์  $\nabla S(x, y)$  คือ ค่าสูงสุดของขอบ Sobel โดยค่า  $T$  จะเข้าสู่ค่า  $O$

จากการพิจารณาค่า TEN สามารถอธิบายภาพได้ว่า ถ้ากำหนดให้ ภาพต้นฉบับมีค่า

$TEN = O$  และภาพที่ผ่านการปรับปรุงกำหนดให้ มีค่า  $TEN = R$  แล้วหากค่า  $R$  มีค่าน้อยกว่าค่า  $O$  มากๆ แสดงว่ามีการสูญเสียรายละเอียดของขอบภาพ แต่หากค่า  $R$  มีค่ามากกว่าค่า  $O$  มากๆ แสดงว่ามีการสร้างรายละเอียดขอบภาพที่ไม่ถูกต้องขึ้น

### 3.8 สรุปผลการทดลอง

ทำการพิจารณาผลที่ได้ โดยพิจารณาจากค่า PSNR ,TEN โดยเปรียบเทียบค่าของภาพก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

## บทที่ 4

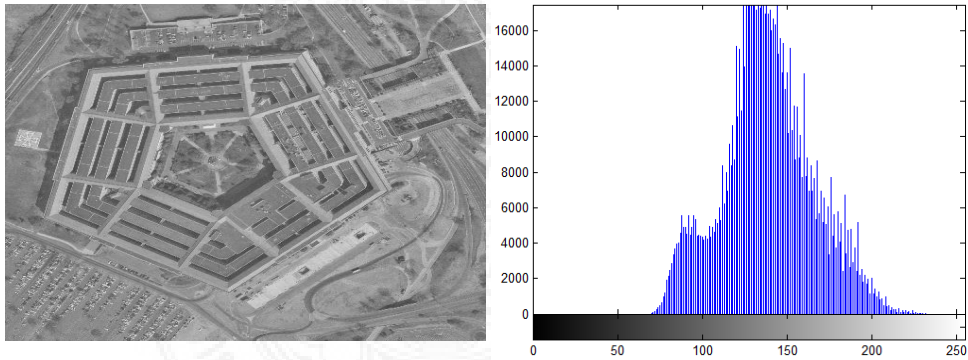
### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

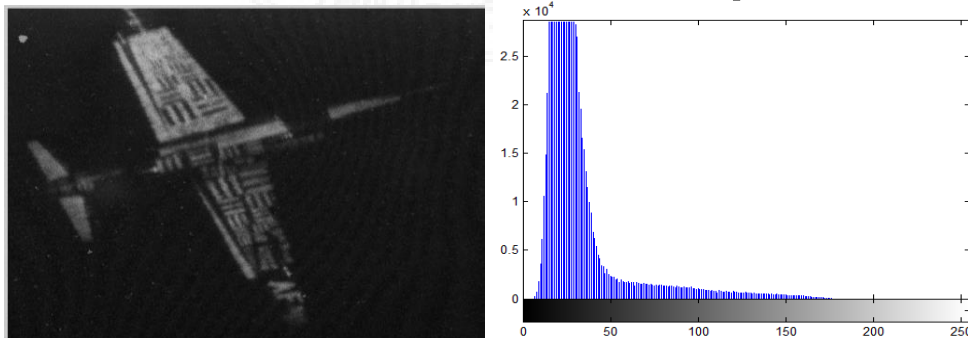
บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการนำแบนด์ LL จากการทำ DWT นำมาทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ผ่านทางค่า CDF 0, 0.25, 0.5, 0.75 แล้วทำการ IDWT ภาพเมื่อได้ภาพผลลัพธ์จากกระบวนการข้างต้น นำไปหาค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์ (AMBE) ซึ่งเป็นกระบวนการวัดค่าผิดพลาดระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความสว่างที่สูญหายไประหว่างการปรับเท่าฮิสโตแกรมภาพ และนำภาพผลลัพธ์ไปหาค่า PSNR เพื่อเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับ

#### 4.2 รูปภาพที่นำมาทดสอบและฮิสโตแกรมที่เกี่ยวข้อง

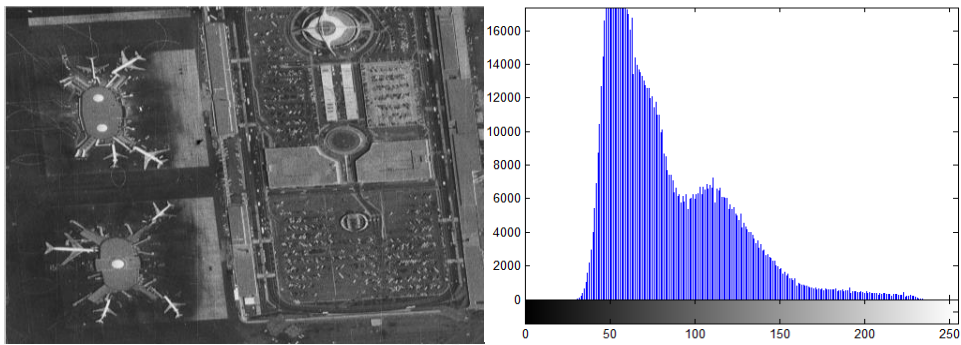
รูปภาพที่นำมาใช้ทดสอบเป็นภาพมาตรฐานที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานประมวลผลภาพ โดยชื่อภาพคือ Pentagon, U2, Airport และ Man ซึ่งมีภาพต้นฉบับเป็นภาพ Gray Scale โดยในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ แสดงดังภาพ 4.1



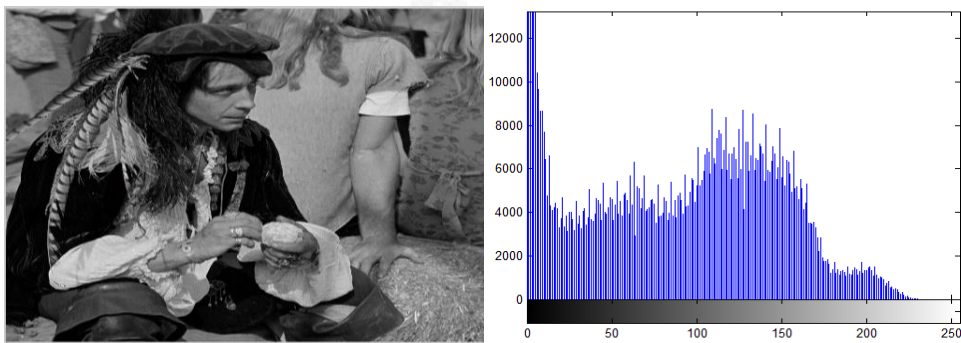
(a) รูปภาพ Pentagon ต้นฉบับ



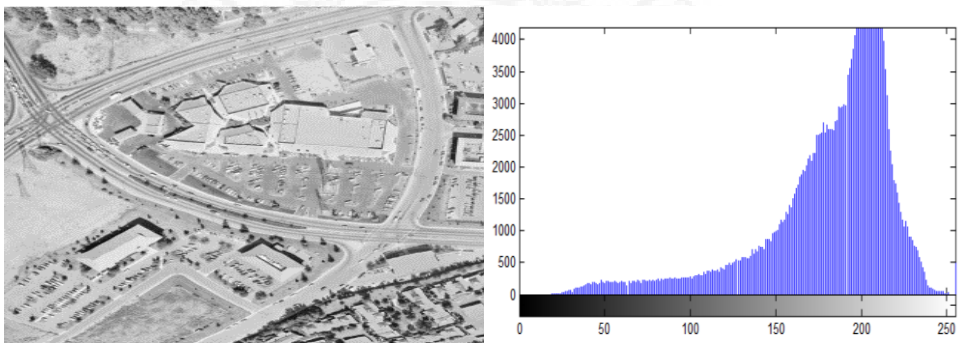
(b) รูปภาพ U2 ต้นฉบับ



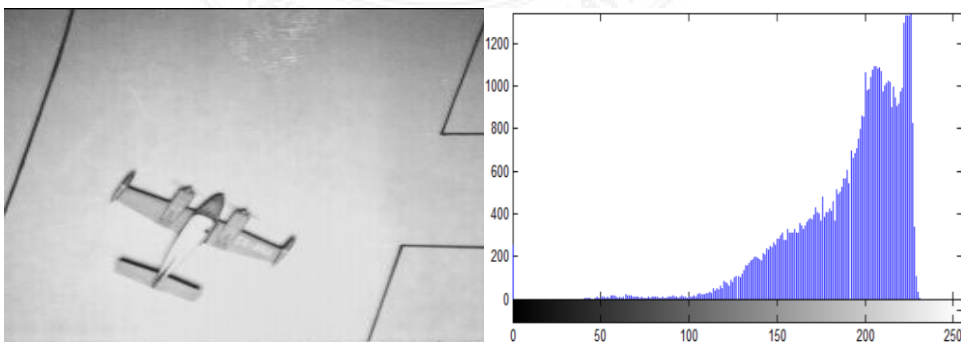
(c) รูปภาพ Airport ต้นฉบับ



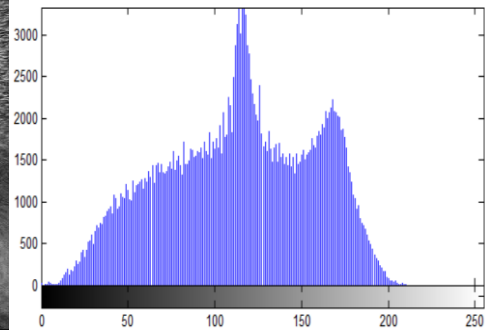
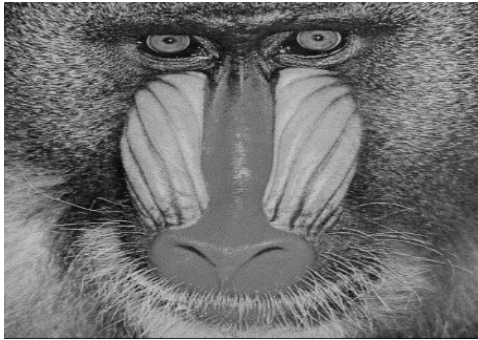
(d) รูปภาพ Man ต้นฉบับ



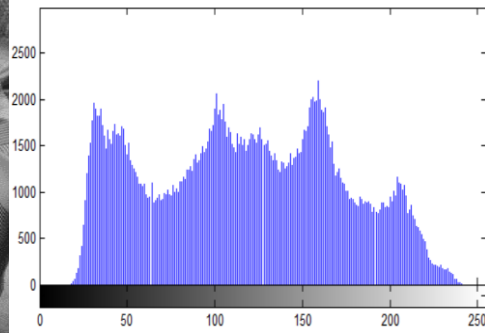
(e) รูปภาพ Aerial ต้นฉบับ



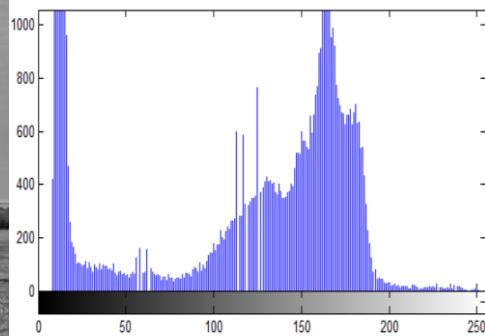
(f) รูปภาพ AirplaneZ ต้นฉบับ



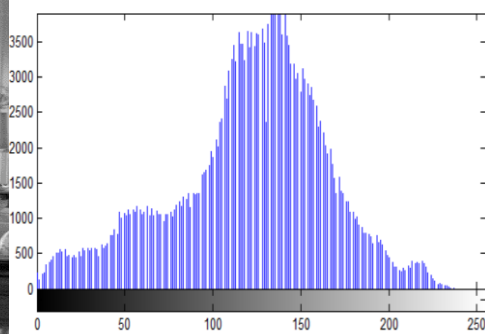
(g) รูปภาพ baboon ต้นฉบับ



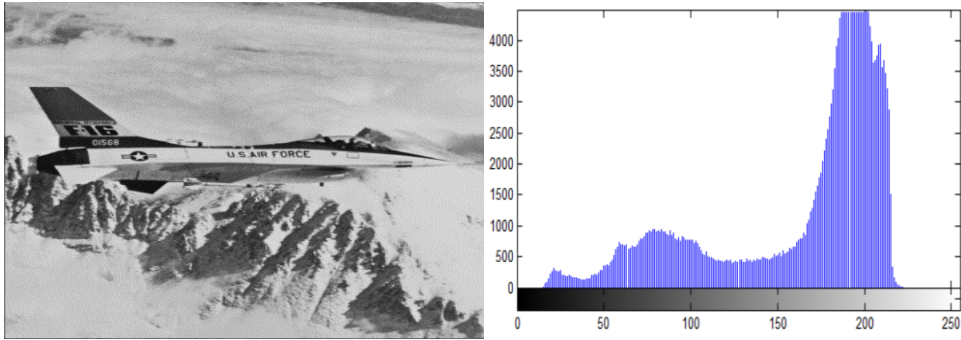
(h) รูปภาพ Barbara ต้นฉบับ



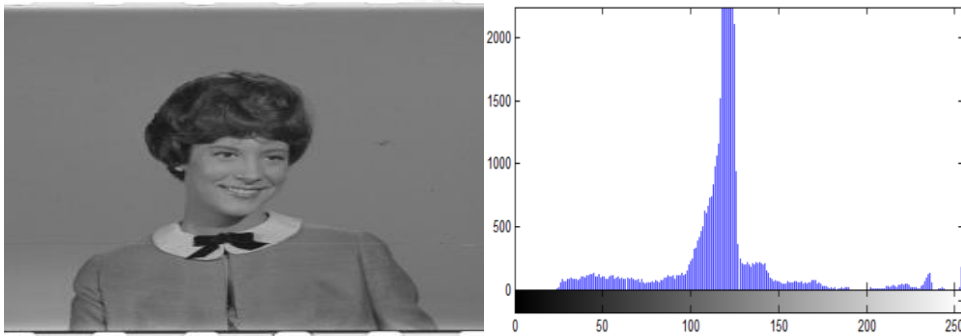
(i) รูปภาพ Comeraman256 ต้นฉบับ



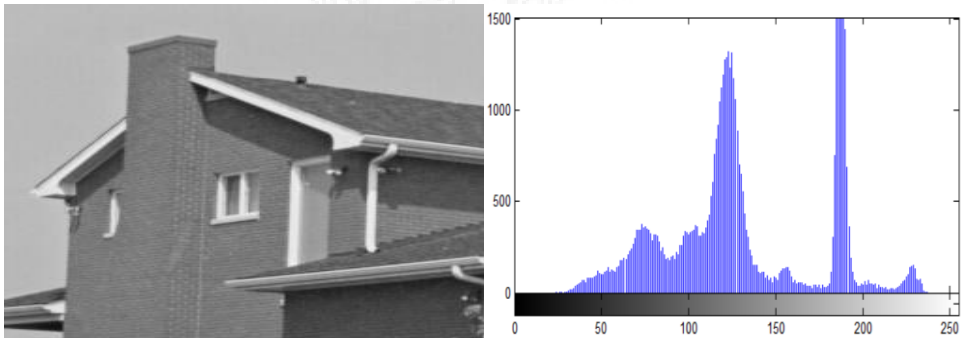
(j) รูปภาพ Couple ต้นฉบับ



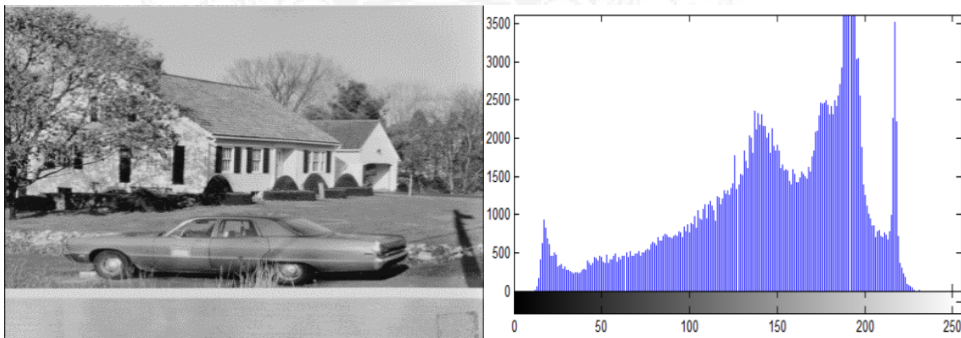
(k) รูปภาพ F16 ต้นฉบับ



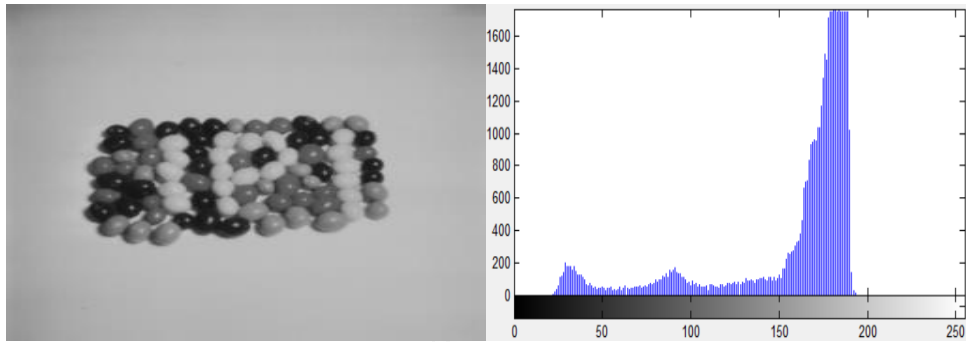
(l) รูปภาพ girlG ต้นฉบับ



(m) รูปภาพ House ต้นฉบับ



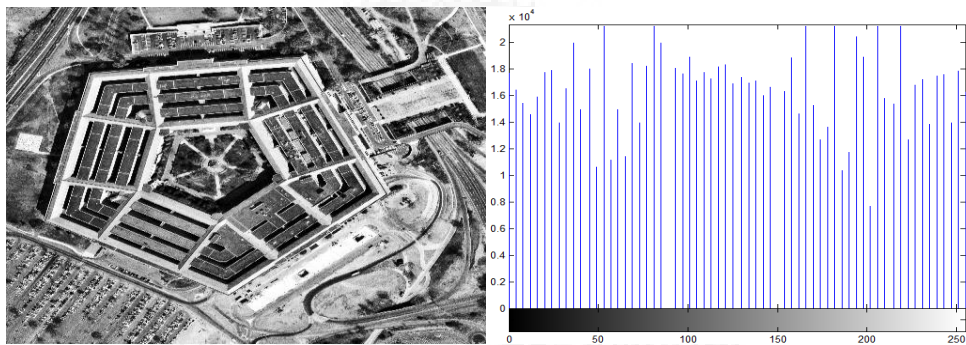
(n) รูปภาพ house ต้นฉบับ



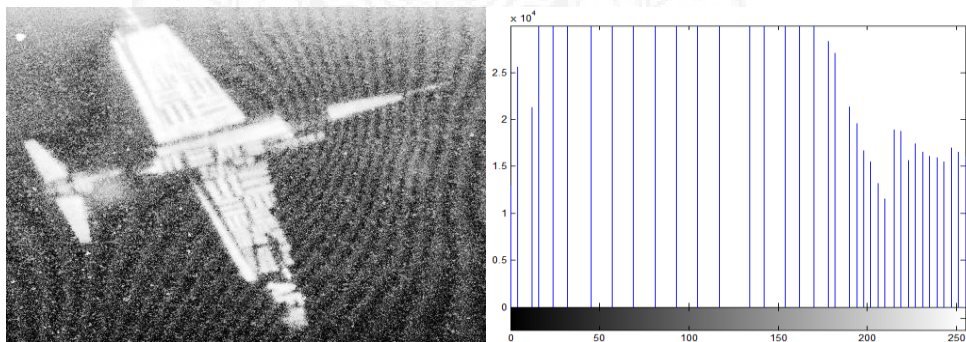
(c) รูปภาพ Jelly\_Beans ต้นฉบับ

ภาพ 4.1 ภาพต้นฉบับที่นำมาใช้ทดสอบและฮิสโตแกรม

#### 4.3 ผลการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธี HE

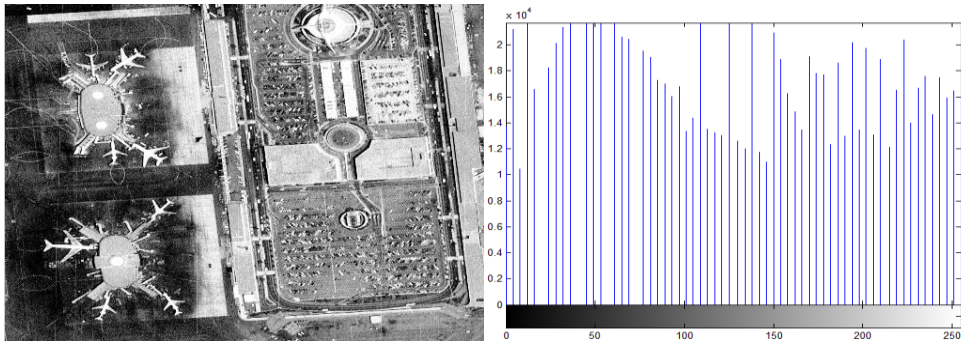


(a) รูปภาพ Pentagon ด้วยวิธี HE

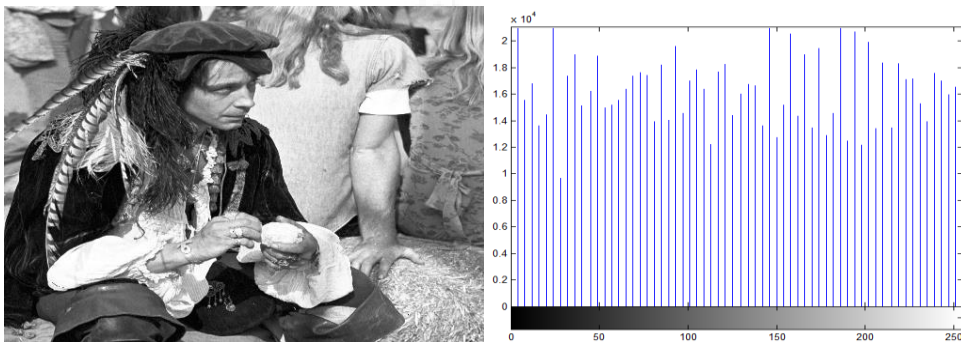


(b) รูปภาพ U2 ด้วยวิธี HE

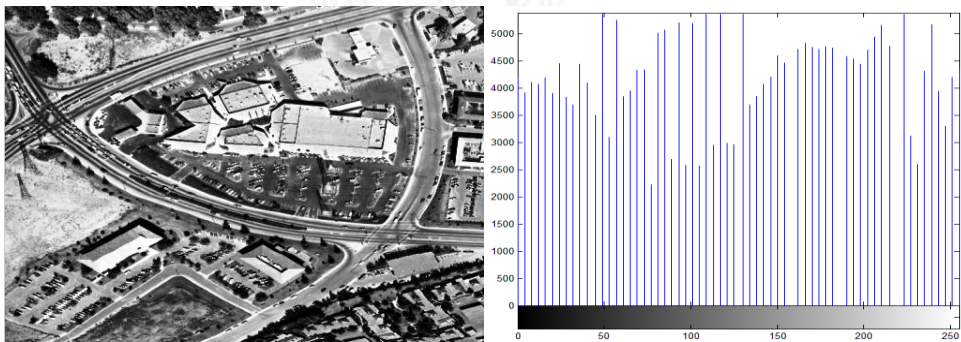




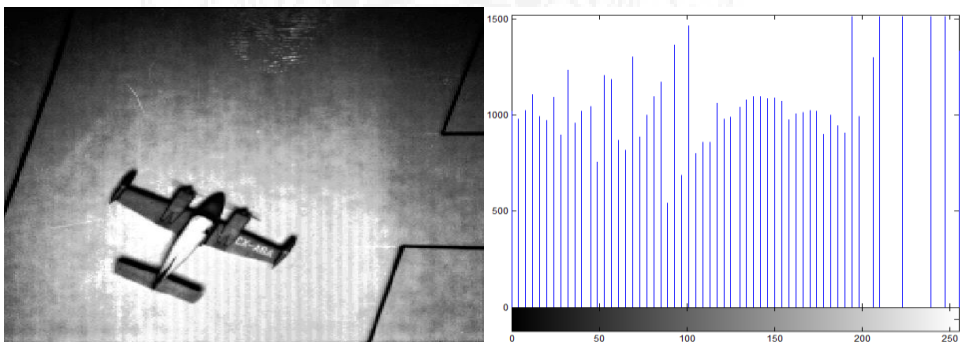
(c) รูปภาพ Airport ด้วยวิธี HE



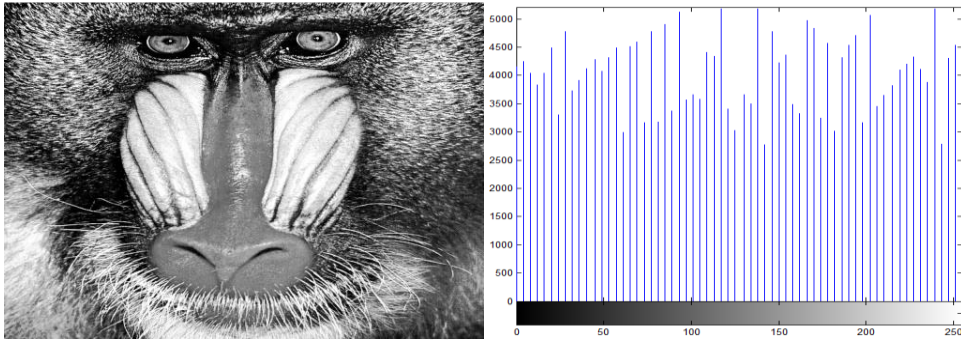
(d) รูปภาพ Man ด้วยวิธี HE



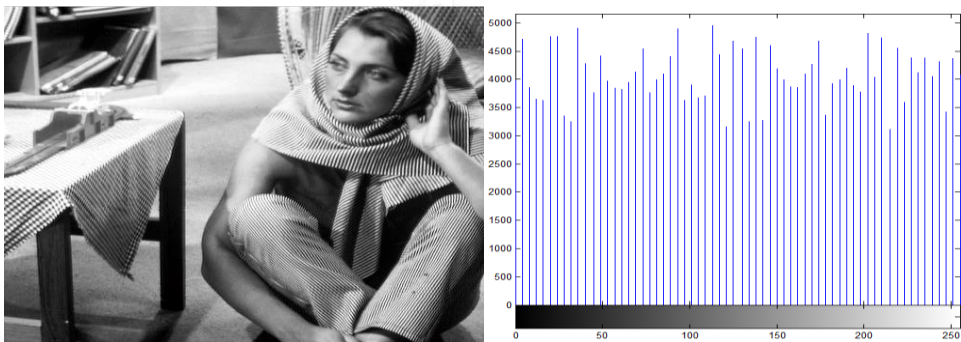
(e) รูปภาพ Aerial ด้วยวิธี HE



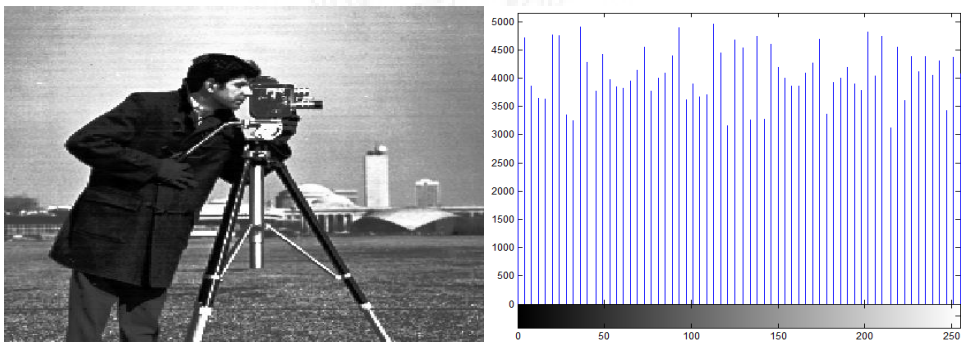
(f) รูปภาพ AirplaneZ ด้วยวิธี HE



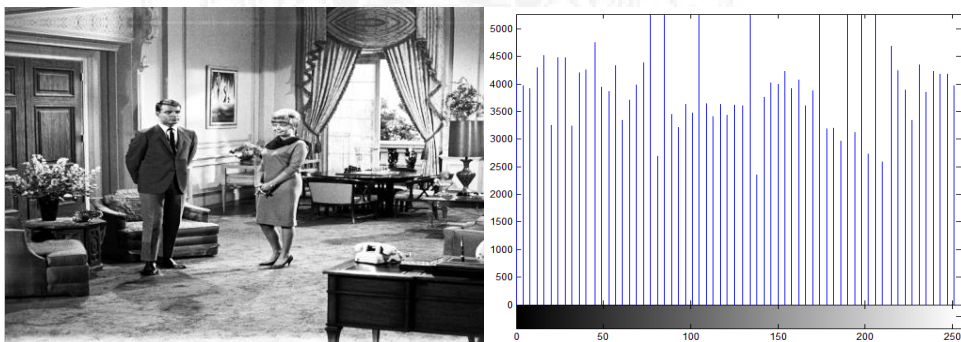
(g) รูปภาพ baboon ด้วยวิธี HE



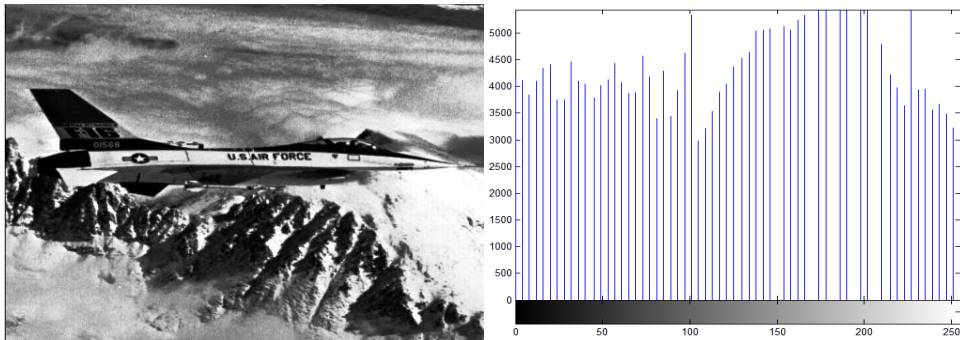
(h) รูปภาพ Barbara ด้วยวิธี HE



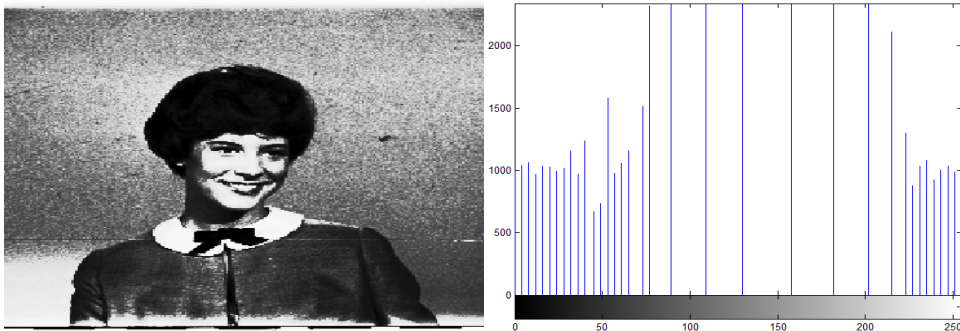
(i) รูปภาพ Comeraman256 ด้วยวิธี HE



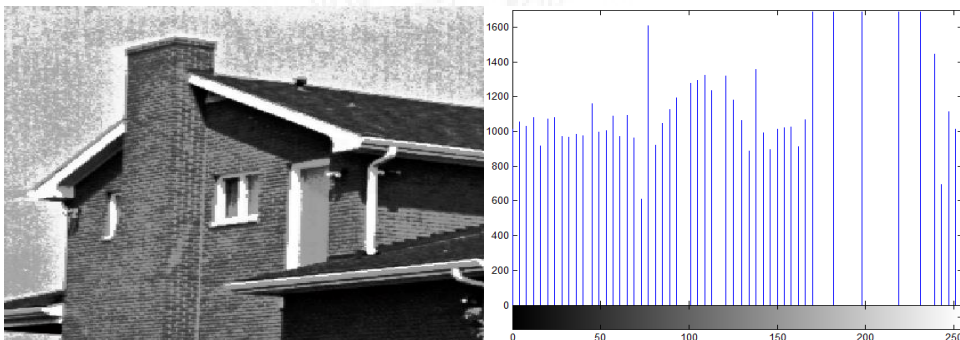
(j) รูปภาพ Couple ด้วยวิธี HE



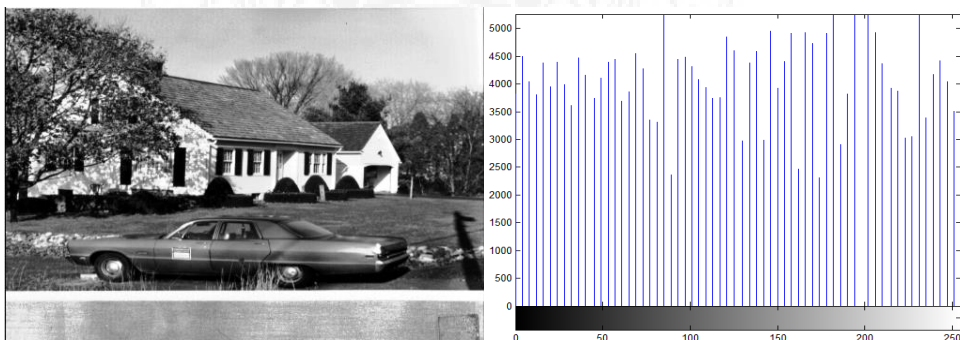
(k) รูปภาพ F16 ด้วยวิธี HE



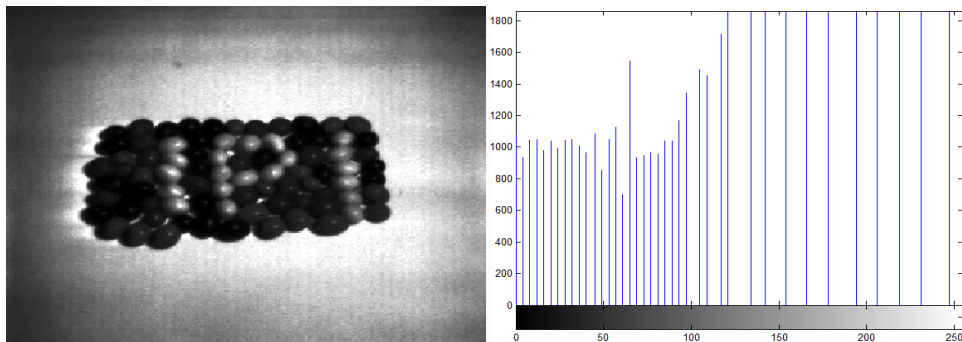
(l) รูปภาพ girlG ด้วยวิธี HE



(m) รูปภาพ House ด้วยวิธี HE



(n) รูปภาพ house ด้วยวิธี HE

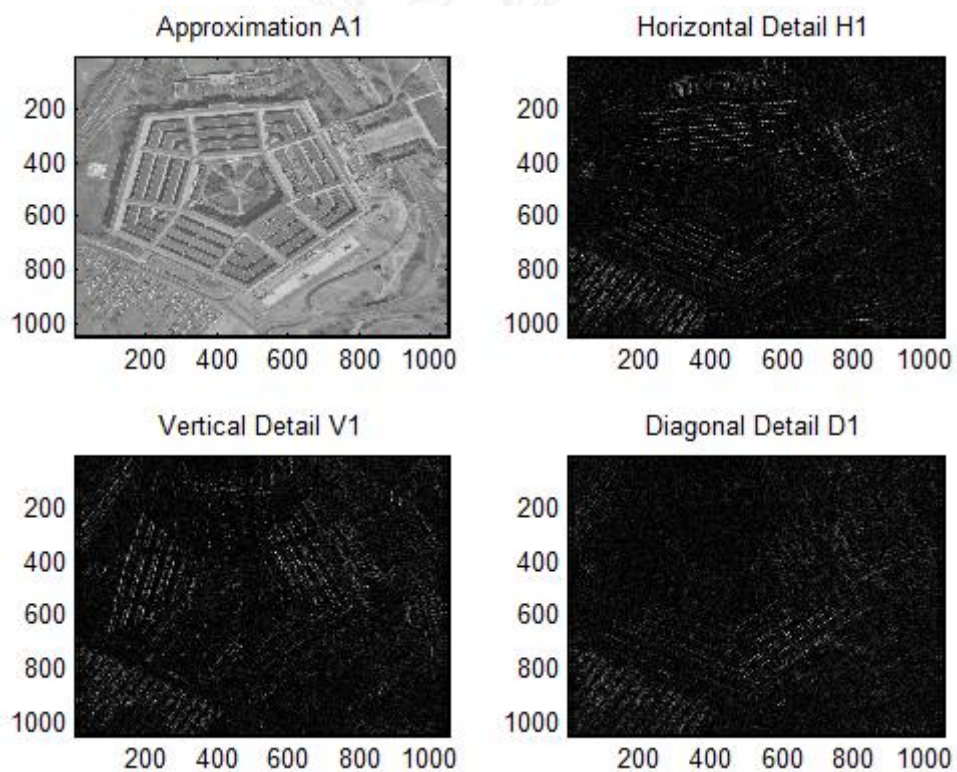


(o) รูปภาพ Jelly\_Beans ด้วยวิธี HE

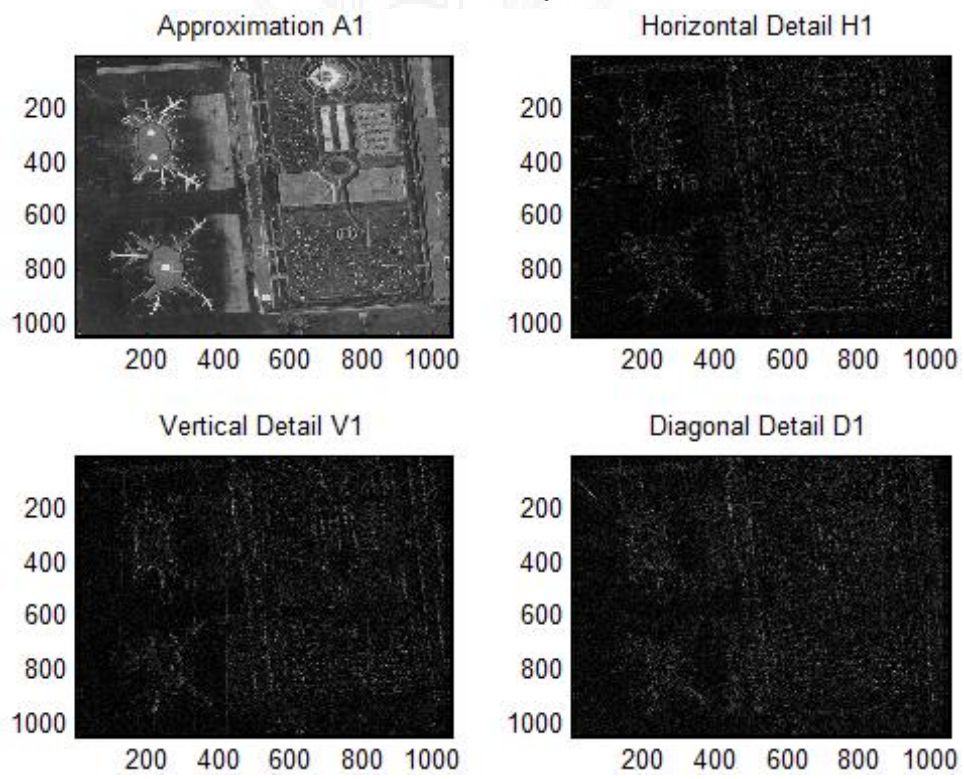
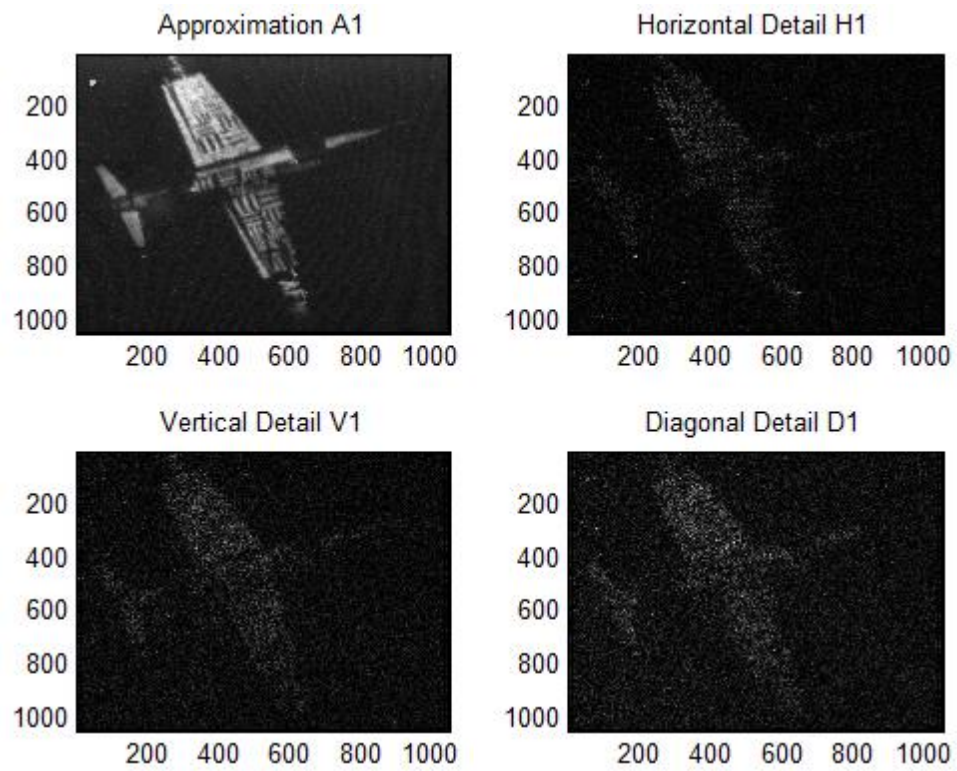
ภาพ 4.2 ภาพผลการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธี HE

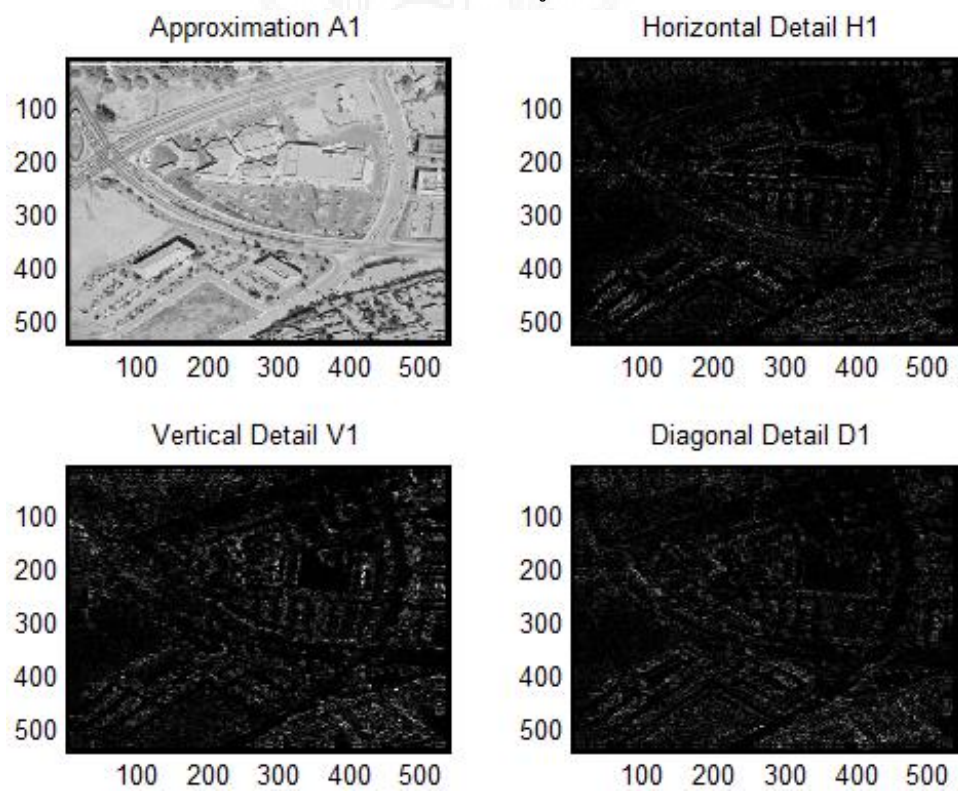
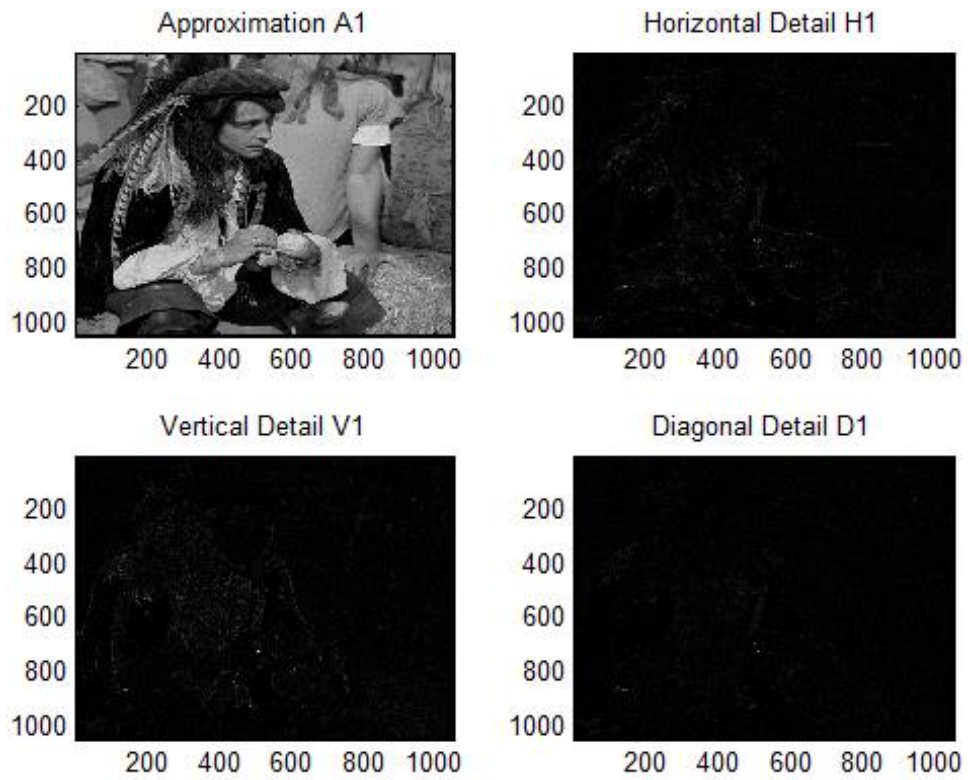
#### 4.4 ผลการแปลงภาพด้วย Discrete Wavelet Transform (DWT)

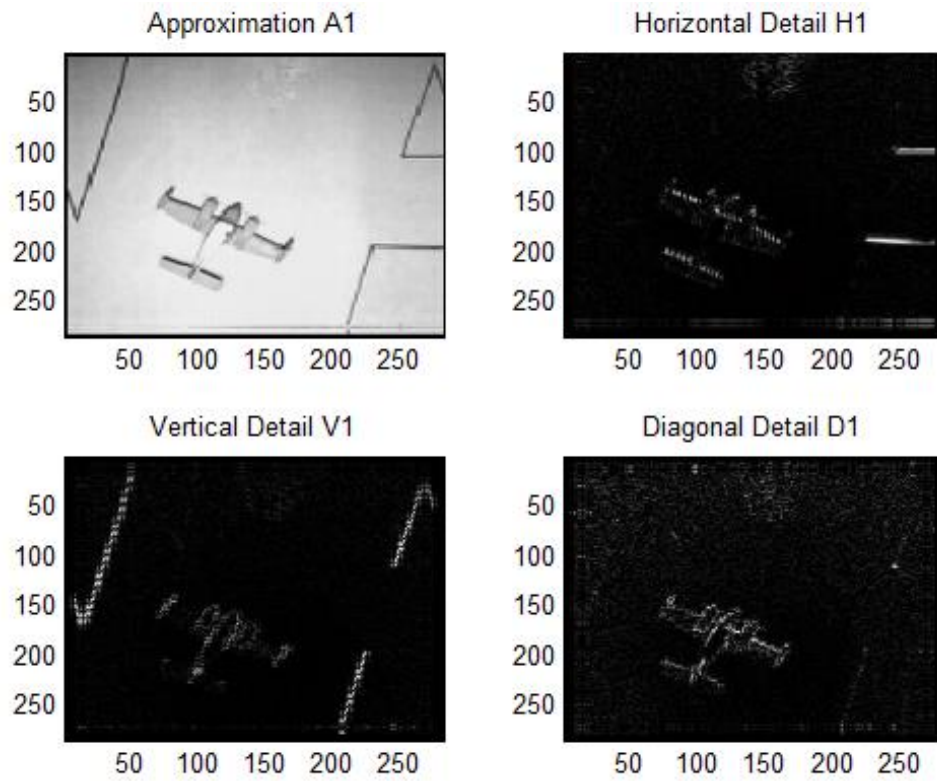
นำภาพทดสอบมาผ่านการทำ Discrete Wavelet Transform (DWT) ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้ 4 แบนด์ ได้แก่ LL, LH, HL, HH แสดงดังภาพ 4.2



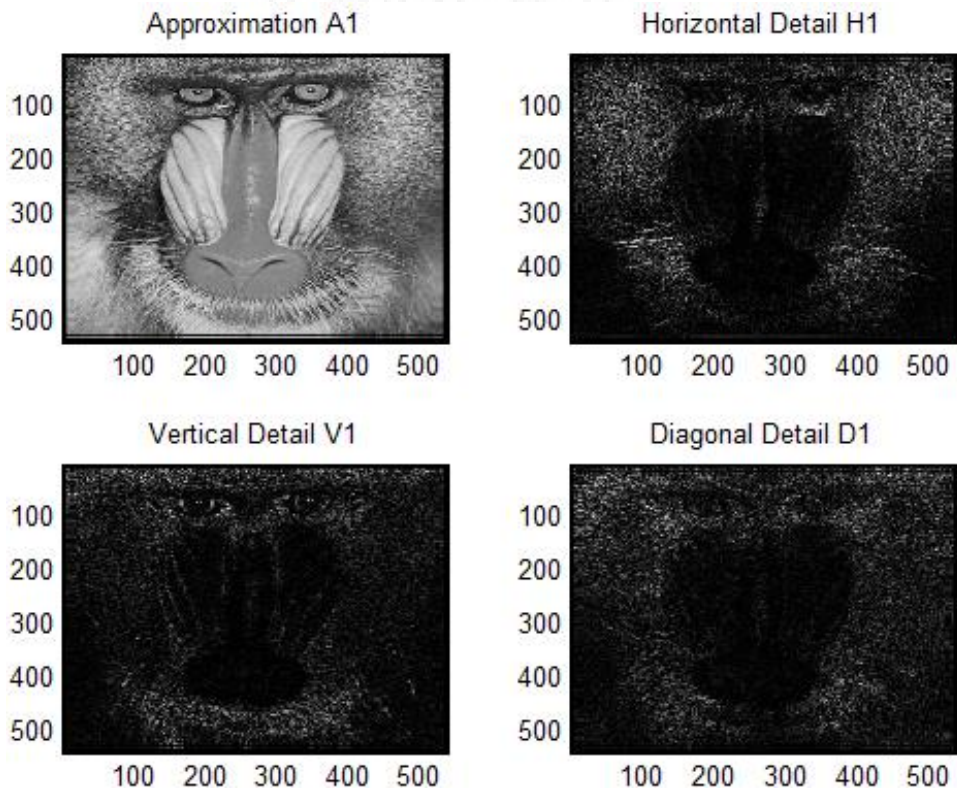
(a) ผลของ DWT กับรูปภาพ Pentagon



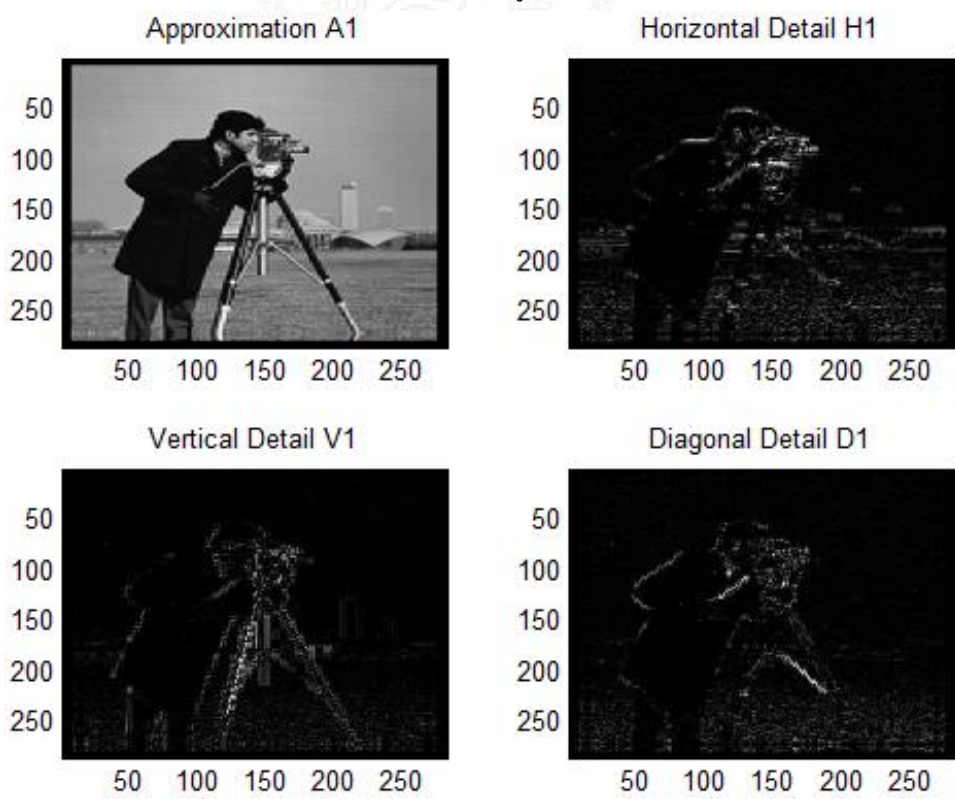
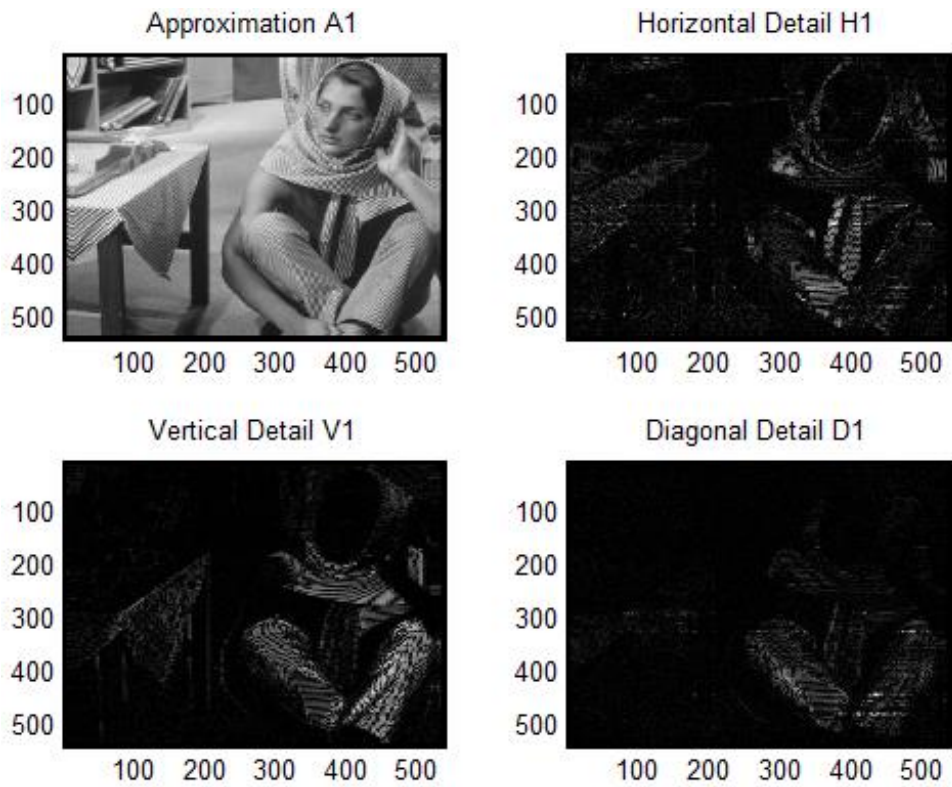




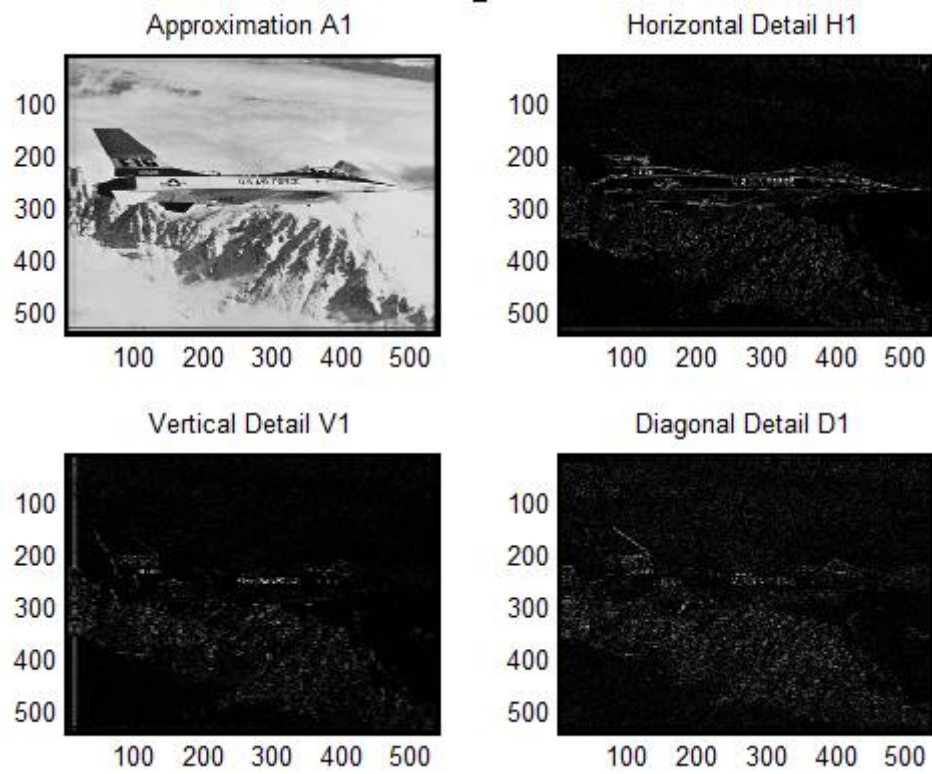
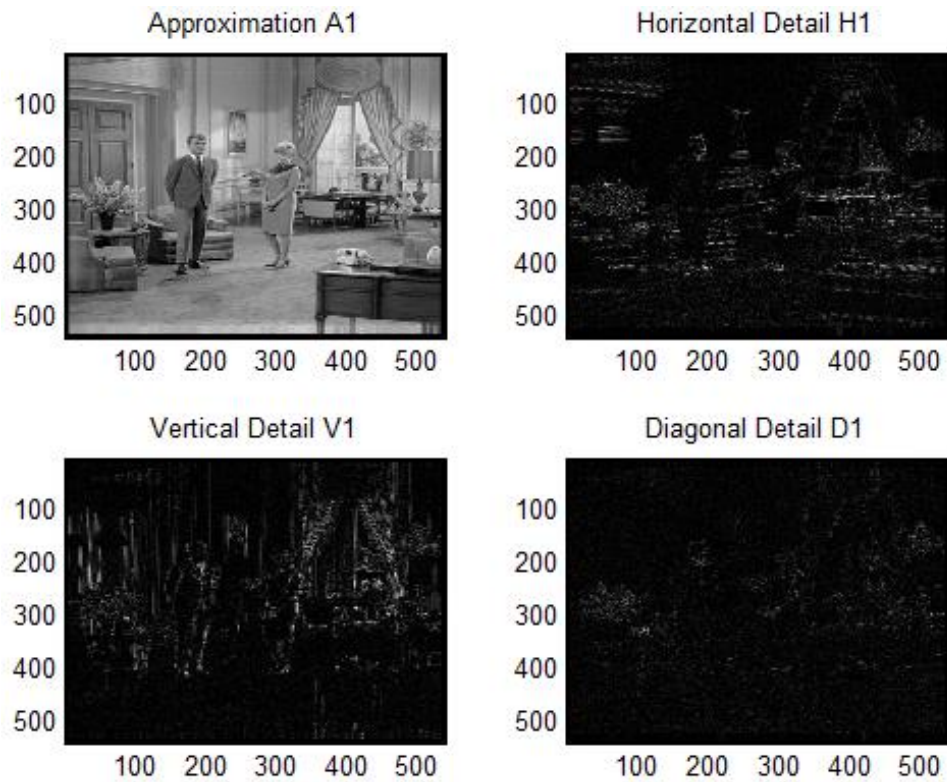
(f) ผลของ DWT กับ รูปภาพ AirplaneZ

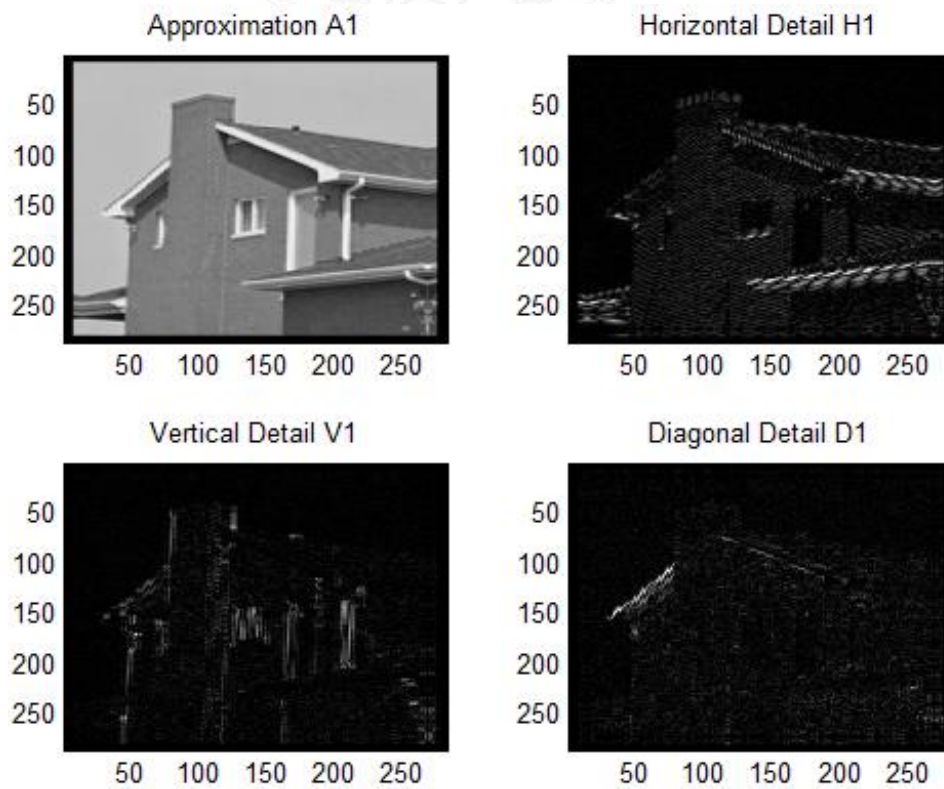
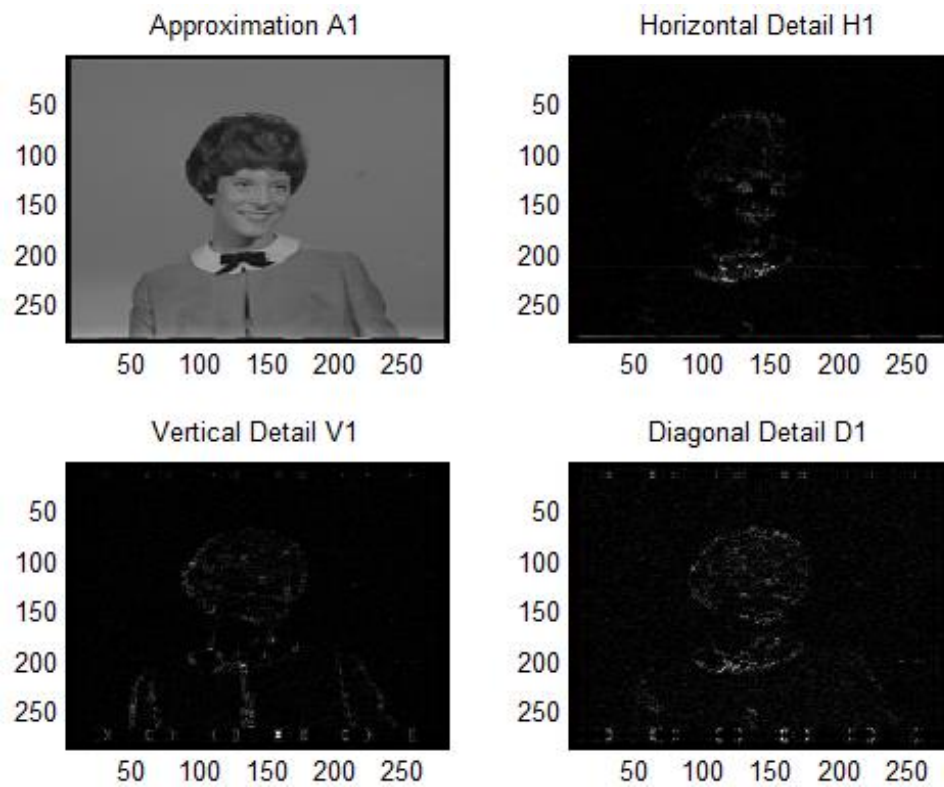


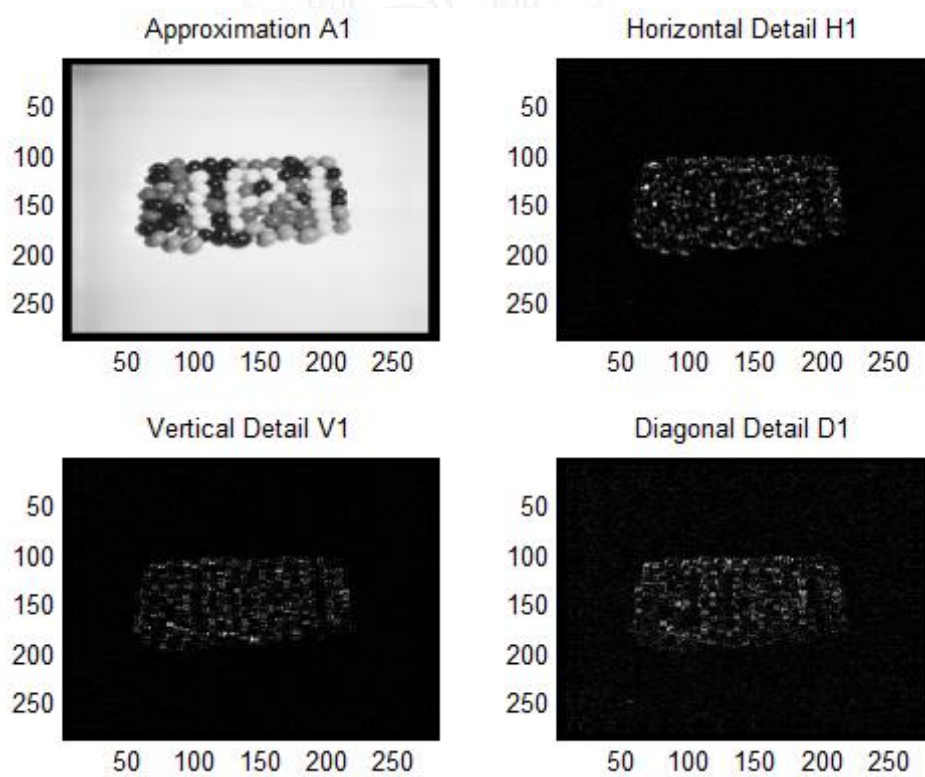
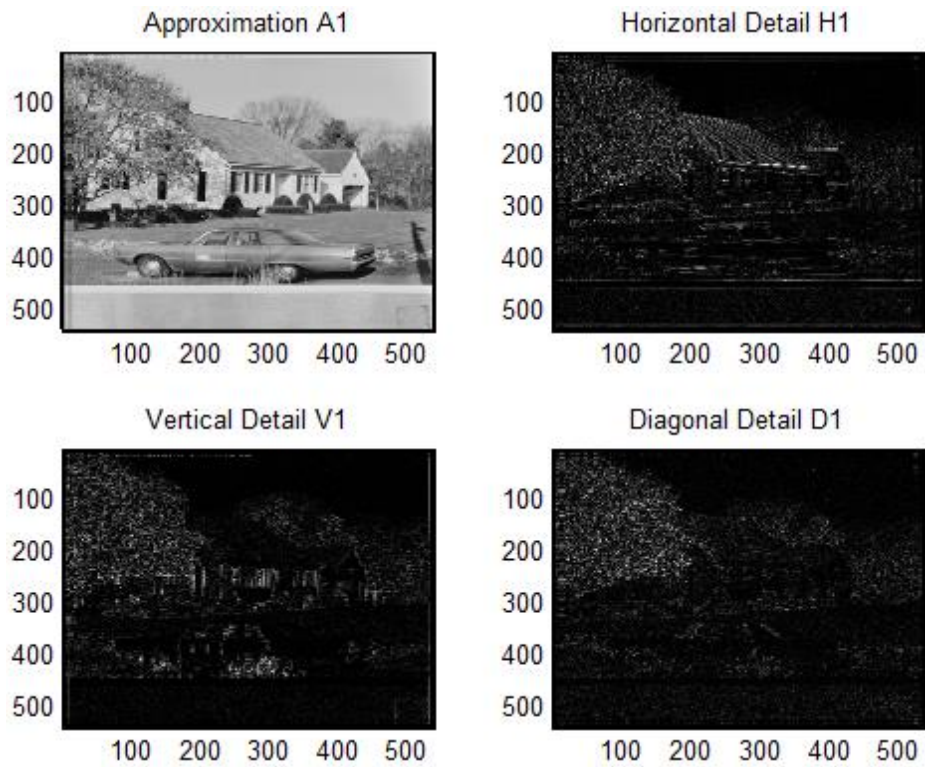
(g) ผลของ DWT กับ รูปภาพ baboon



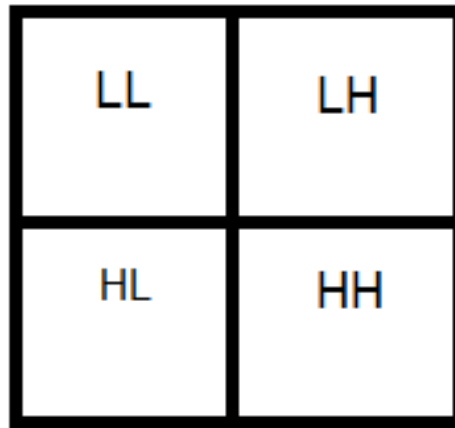








ภาพ 4.3 ผลการแปลงภาพด้วย Discrete Wavelet Transform (DWT)



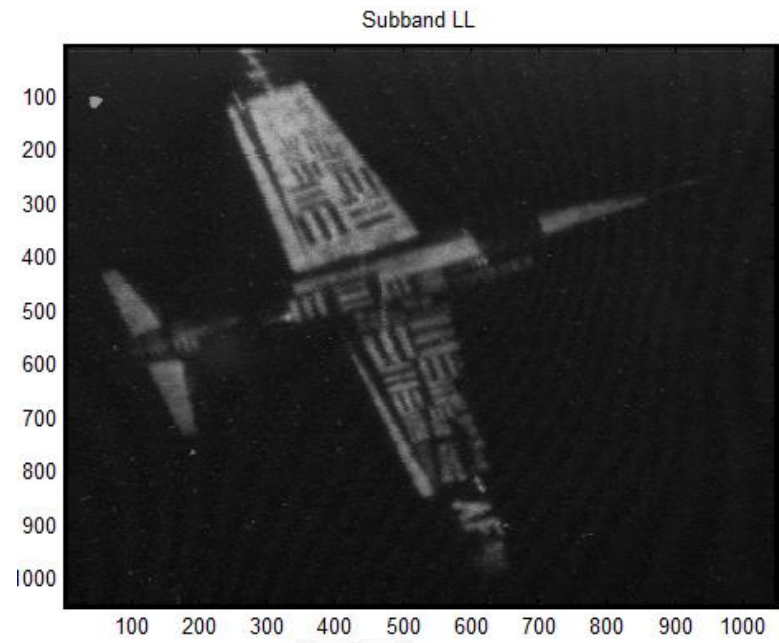
ภาพ 4.4 สี่ซับแบนด์ DWT

- LL รายละเอียดของข้อมูลภาพส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณนี้ เรียกว่าส่วนของเนื้อภาพ
- LH เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวตั้ง
- HL เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวนอน
- HH ส่วนนี้จะมีความสำคัญน้อยสุด เรียกว่าส่วนของสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลอื่นๆ

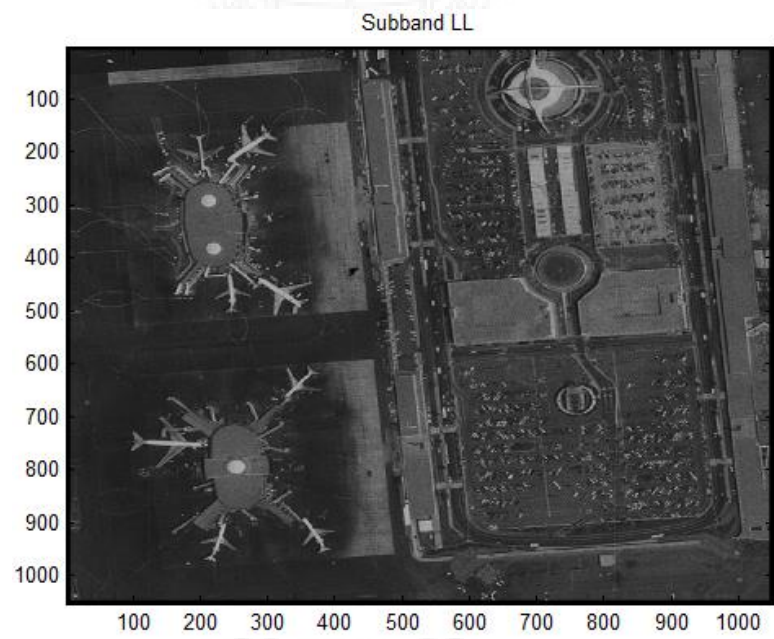
ทำการดึงเฉพาะแบนด์ LL



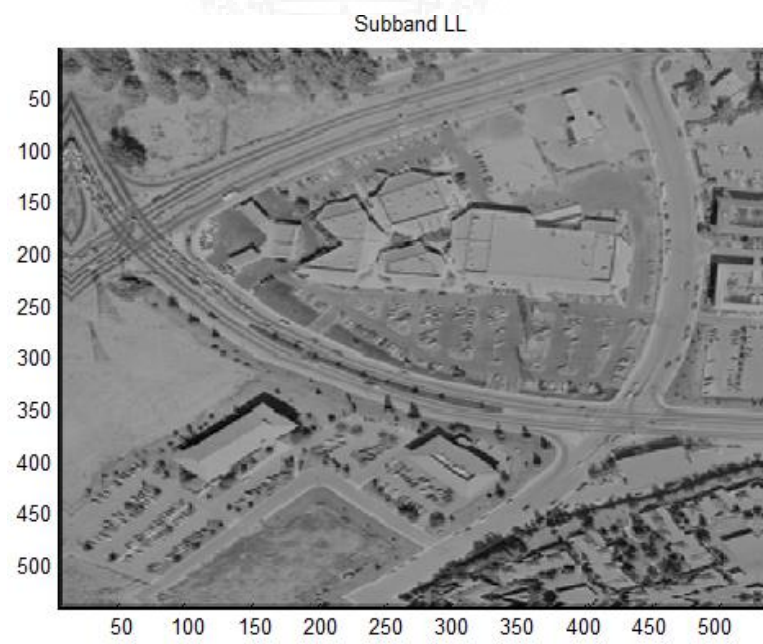
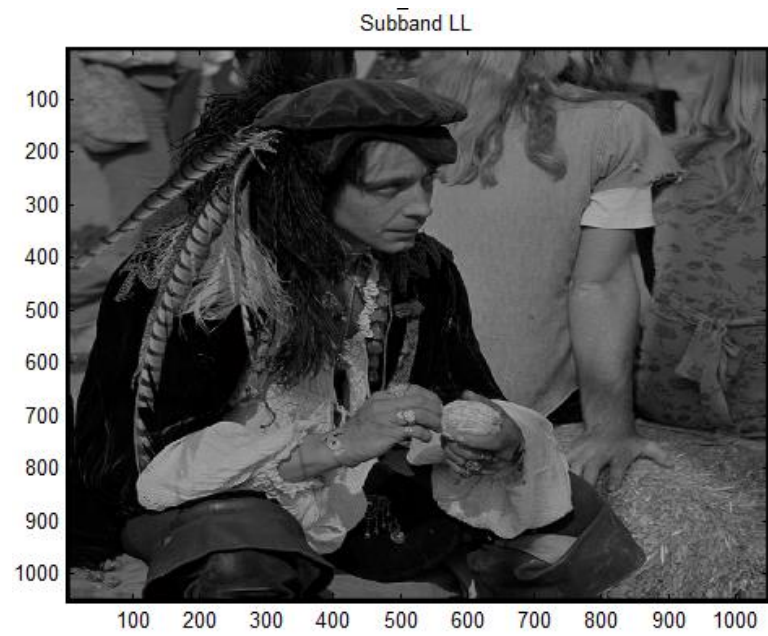
(a) รูปภาพ Pentagon เฉพาะแบนด์ LL

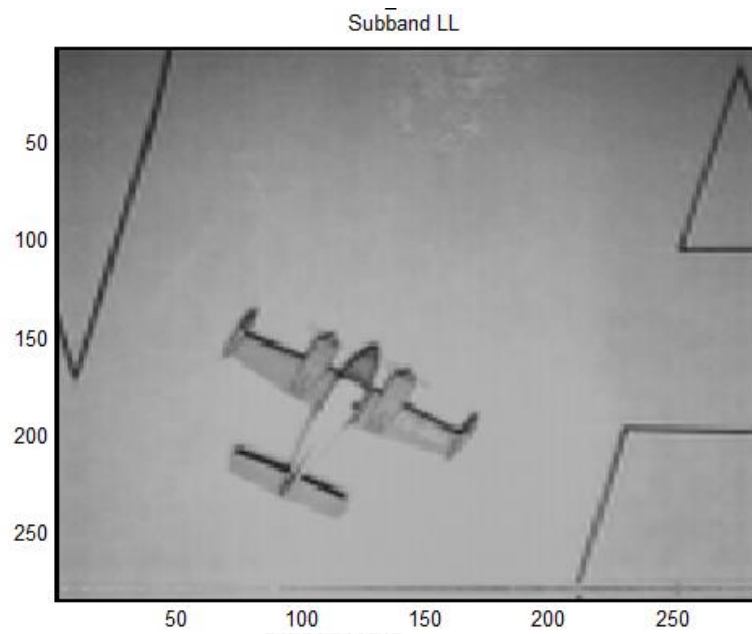


(b) รูปภาพ U2 เฉพาะแบนด์ LL

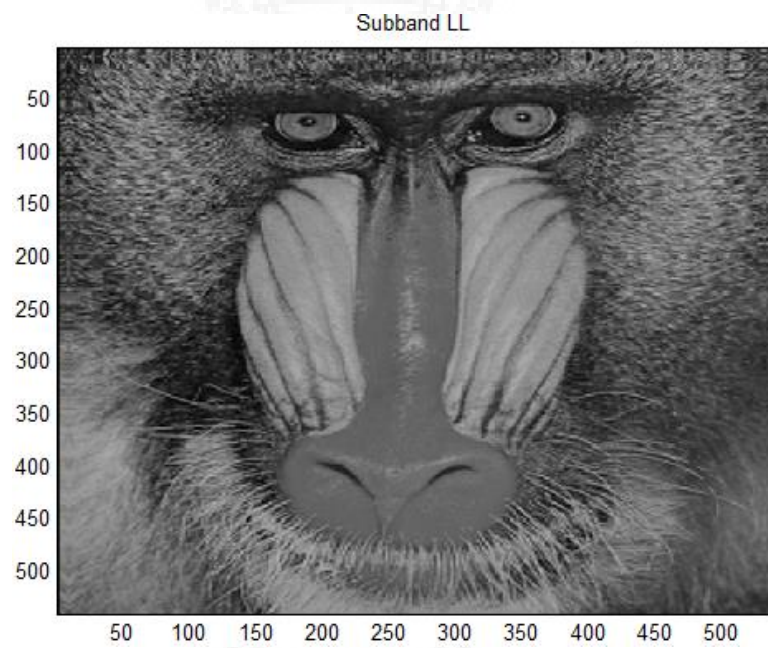


(c) รูปภาพ Airport เฉพาะแบนด์ LL



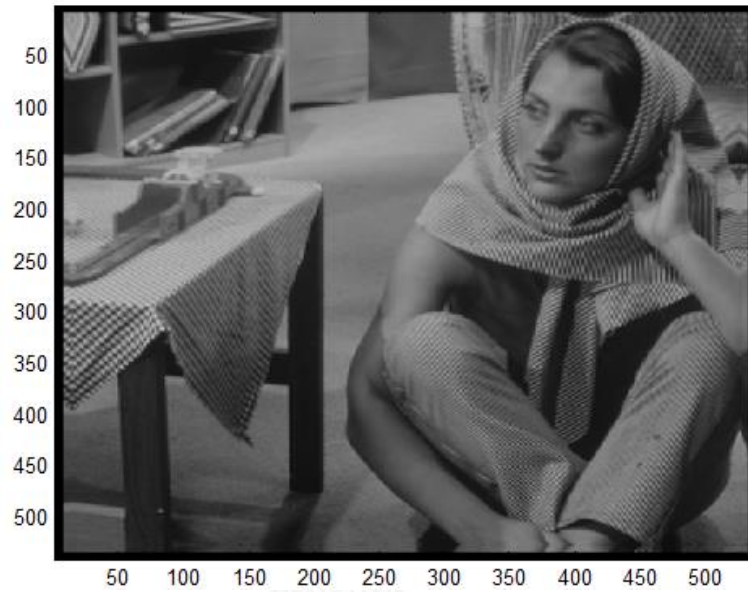


(f) รูปภาพ AirplaneZ เฉพาะแบนด์ LL



(g) รูปภาพ baboon เฉพาะแบนด์ LL

Subband LL



(h) รูปภาพ barbara เฉพาะแบนด์ LL



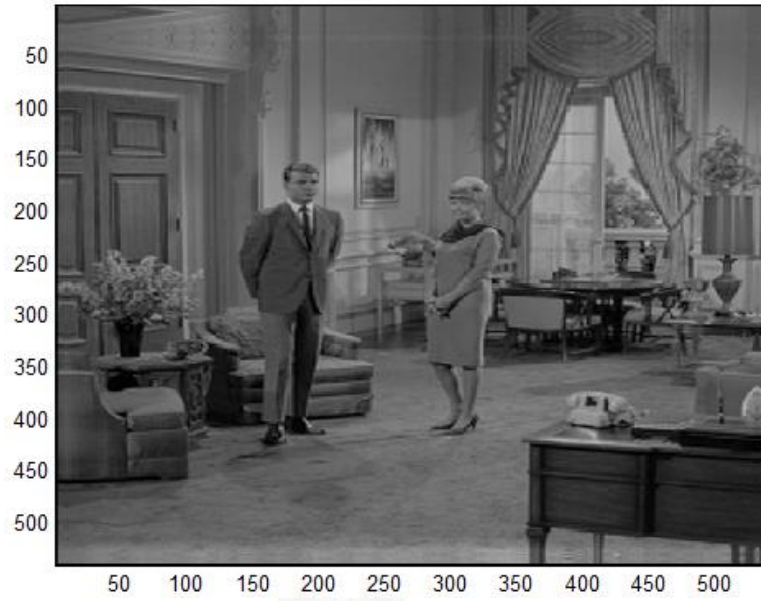
Subband LL



(i) รูปภาพ Comeraman256 เฉพาะแบนด์ LL



Subband LL



(j) รูปภาพ Couple เฉพาะแบนด์ LL

Subband LL



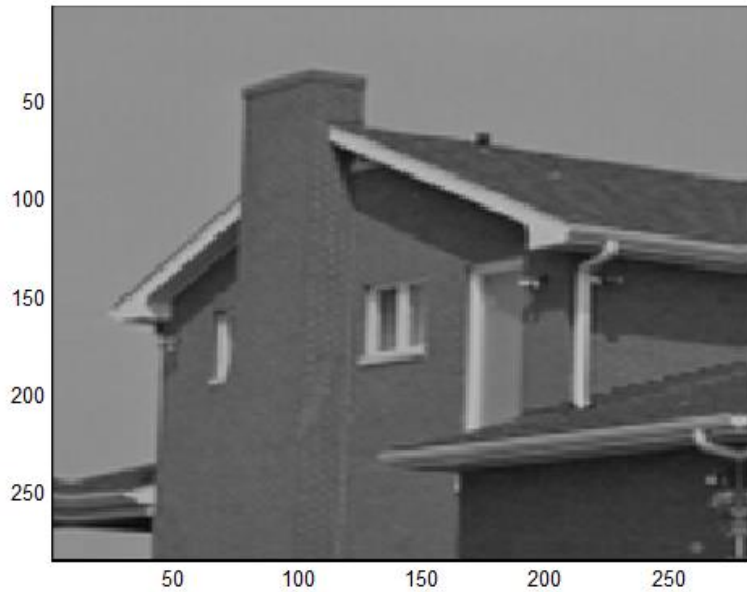
(k) รูปภาพ F16 เฉพาะแบนด์ LL

Subband LL

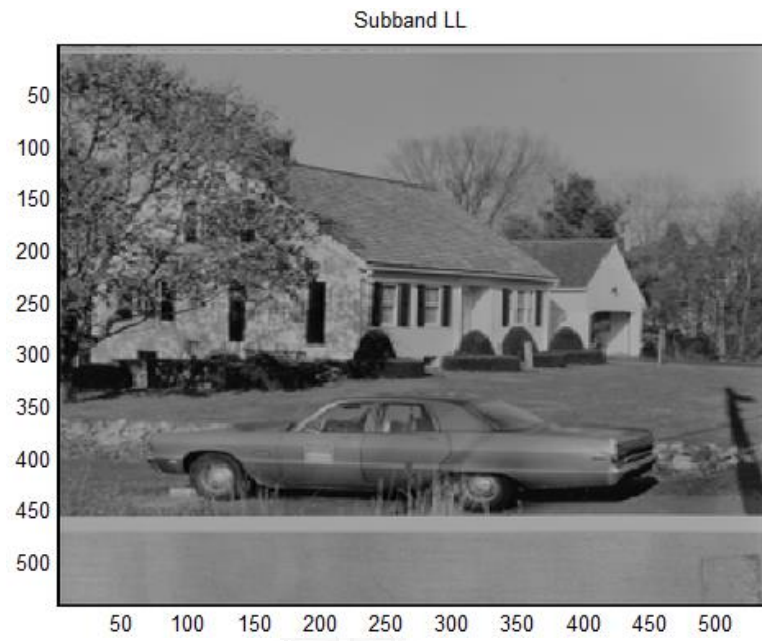


(l) รูปภาพ girlG เฉพาะแบนด์ LL

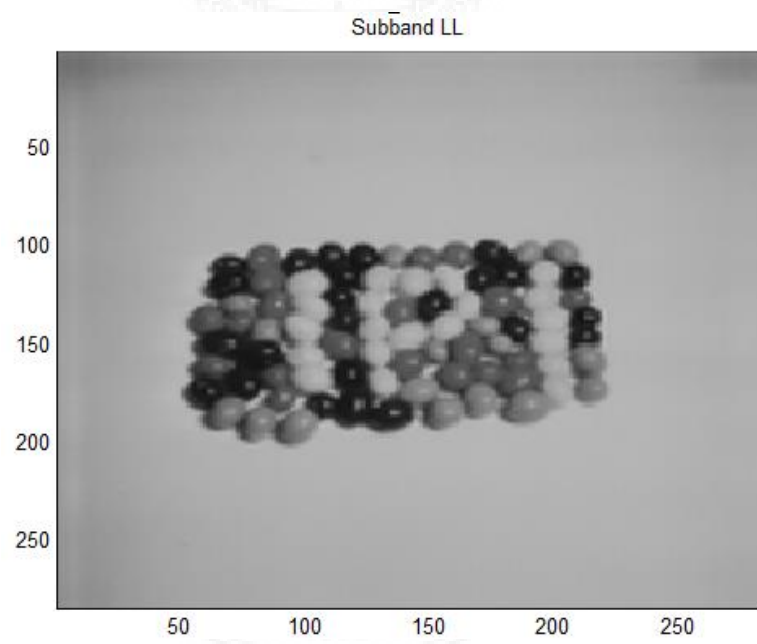
Subband LL



(m) รูปภาพ House เฉพาะแบนด์ LL



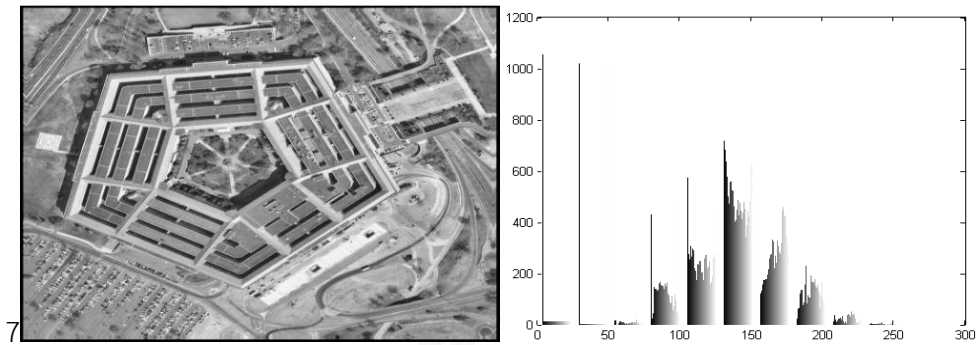
(n) รูปภาพ house เฉพาะแบนด์ LL



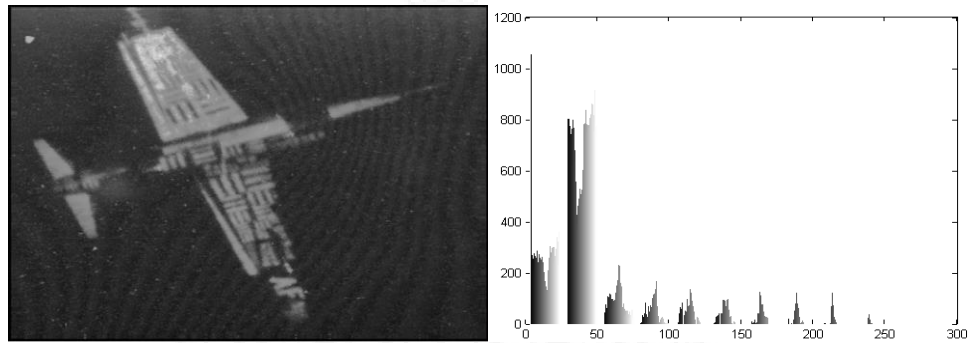
(o) รูปภาพ Jelly\_Beans เฉพาะแบนด์ LL

ภาพ 4.5 ภาพการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL

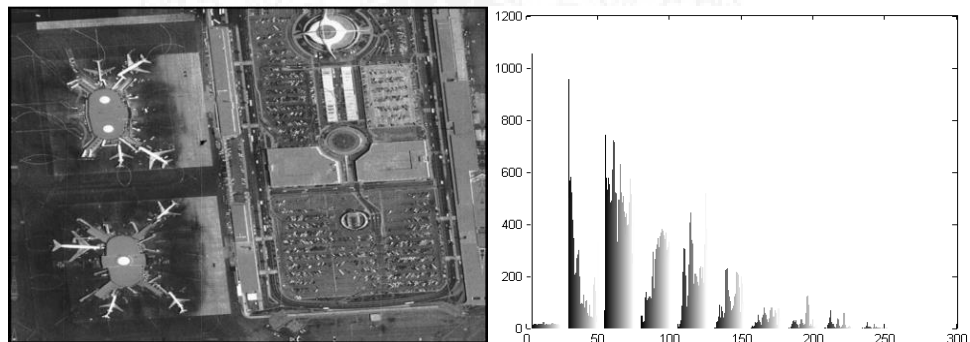
#### 4.5 ภาพการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL



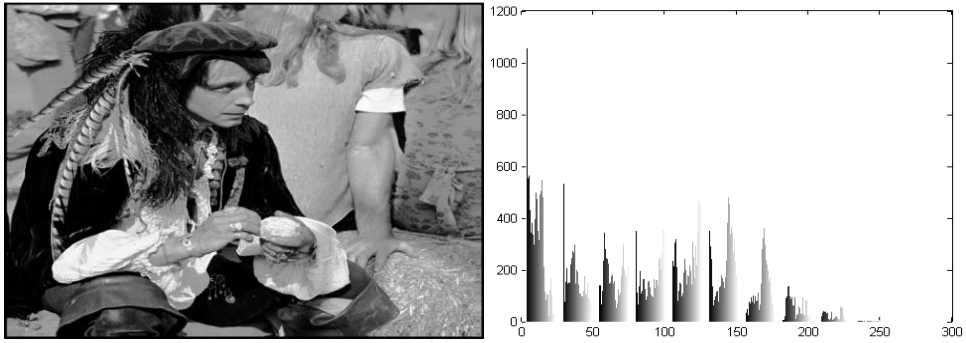
(a) รูปภาพ Pentagon เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



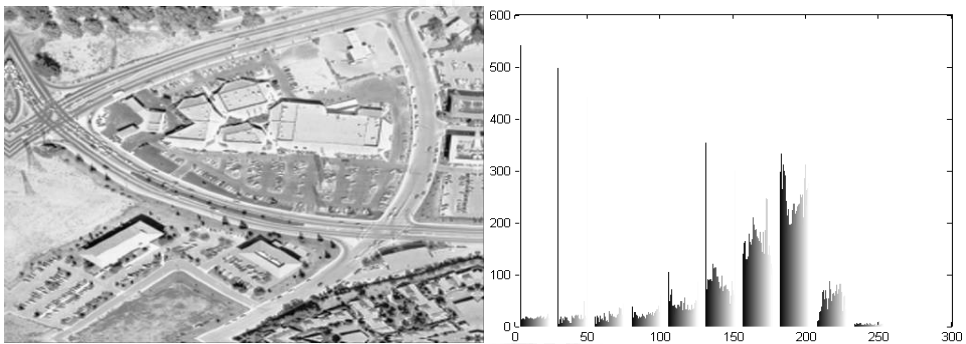
(b) รูปภาพ U2 เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



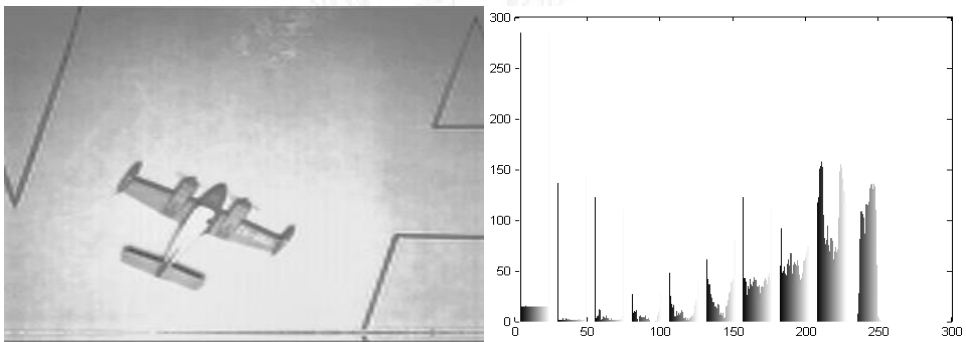
(c) รูปภาพ Airport เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



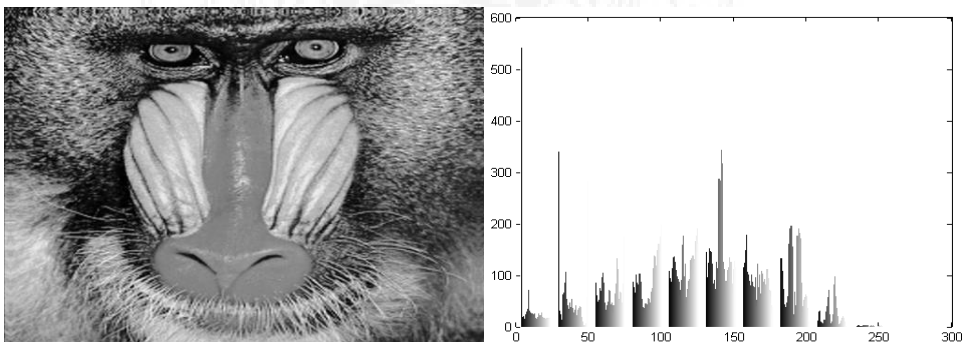
(d) รูปภาพ Man เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



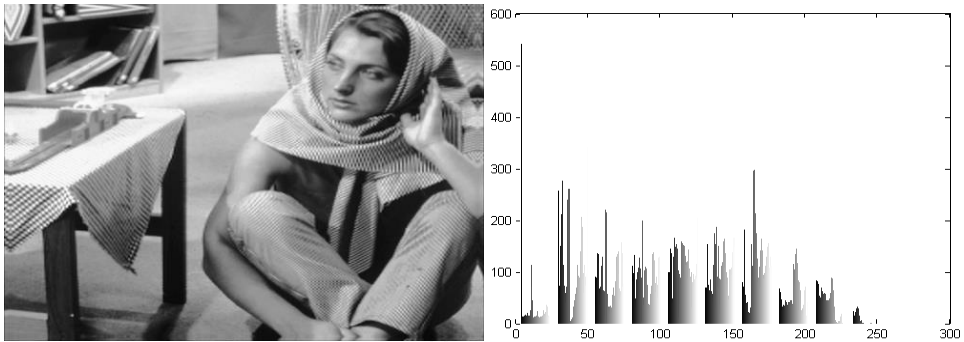
(e) รูปภาพ Aerial เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



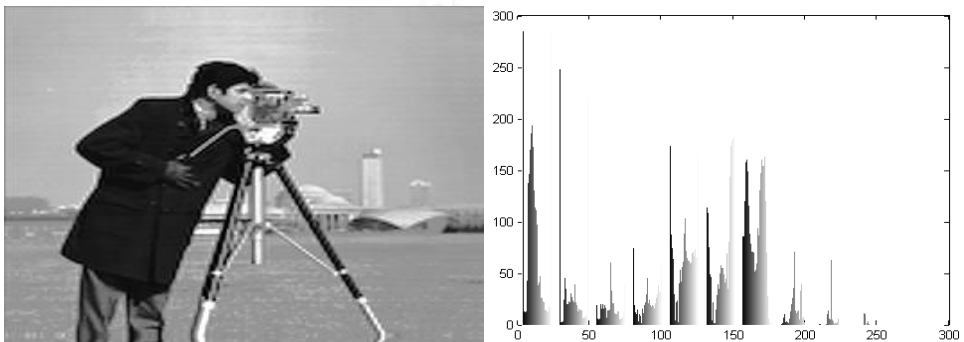
(f) รูปภาพ AirplaneZ เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



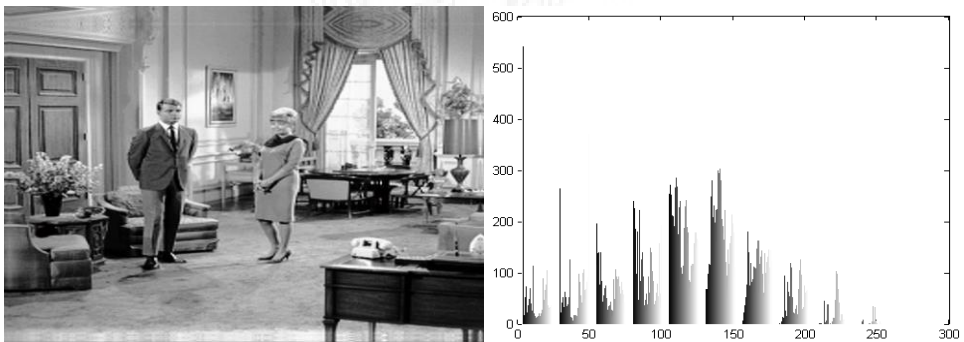
(g) รูปภาพ baboon เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



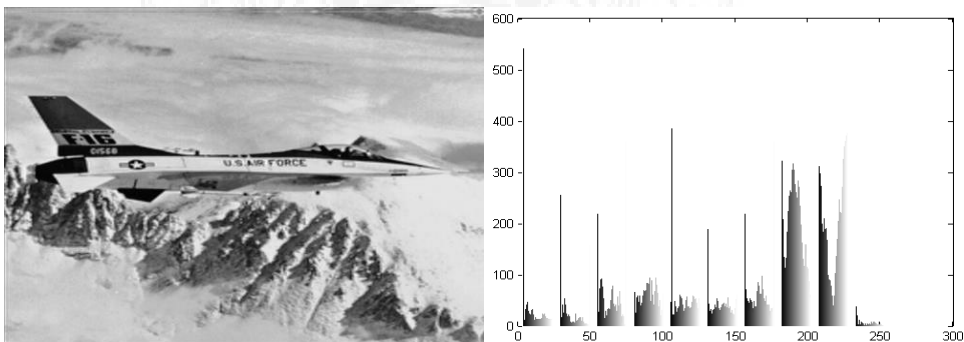
(h) รูปภาพ barbara เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



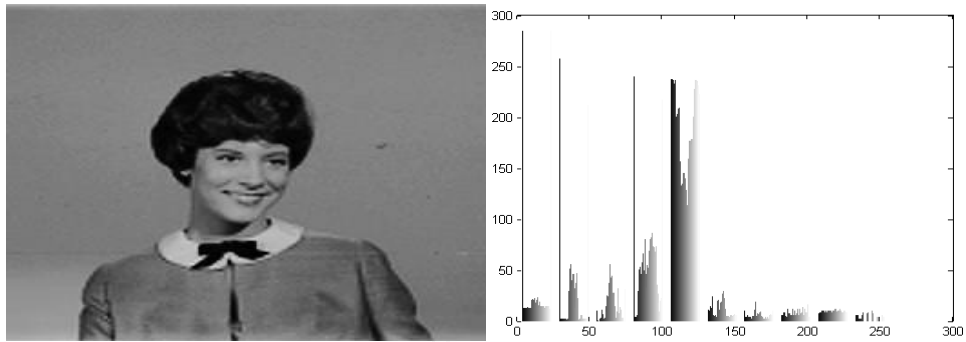
(i) รูปภาพ Comeraman256 เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



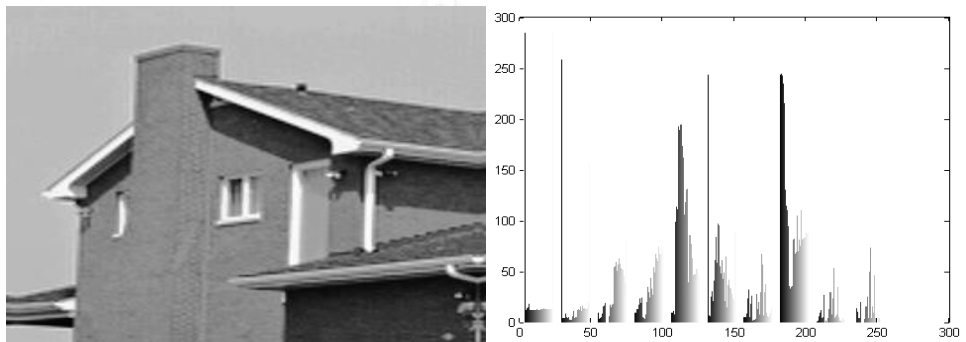
(j) รูปภาพ Couple เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



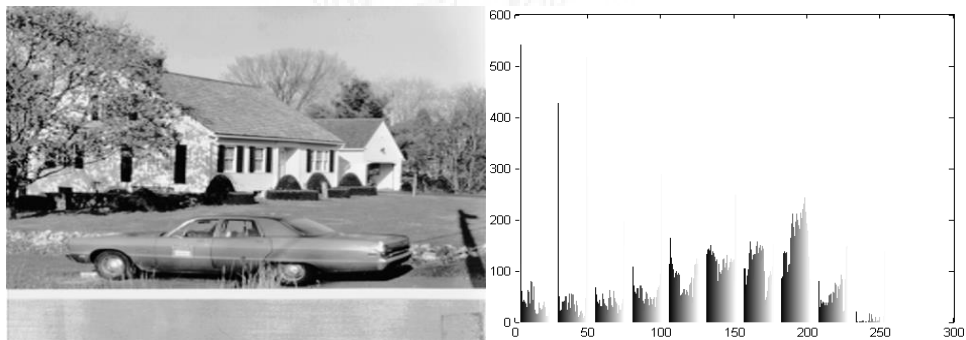
(k) รูปภาพ F16 เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



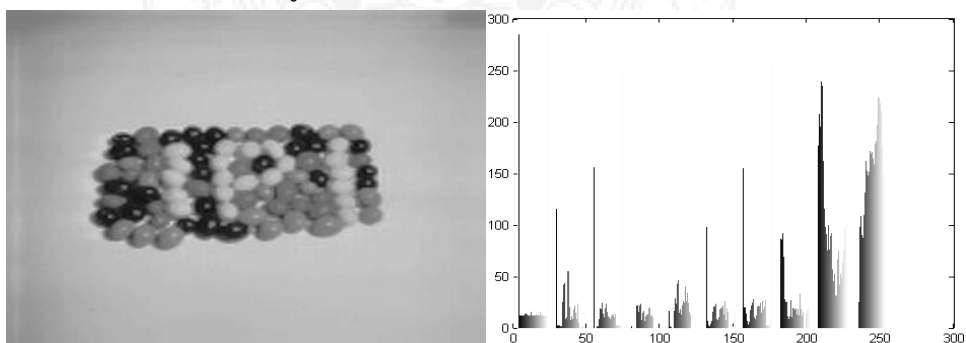
(l) รูปภาพ girlG เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



(m) รูปภาพ House เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL



(n) รูปภาพ house เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL

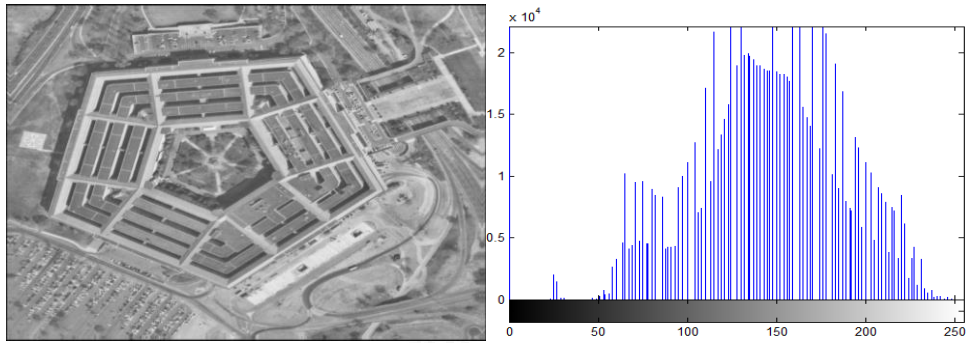


(o) รูปภาพ Jelly\_Beans เฉพาะส่วนบนแบนด์ LL

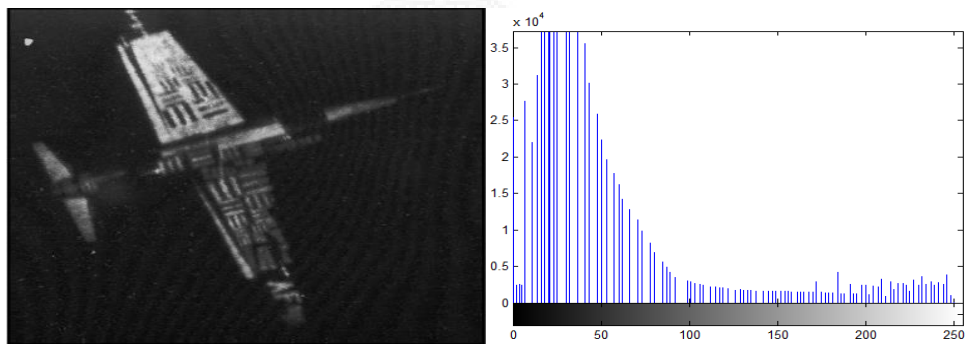
ภาพ 4.6 ภาพการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนบนแบนด์ LL

#### 4.6 ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT)

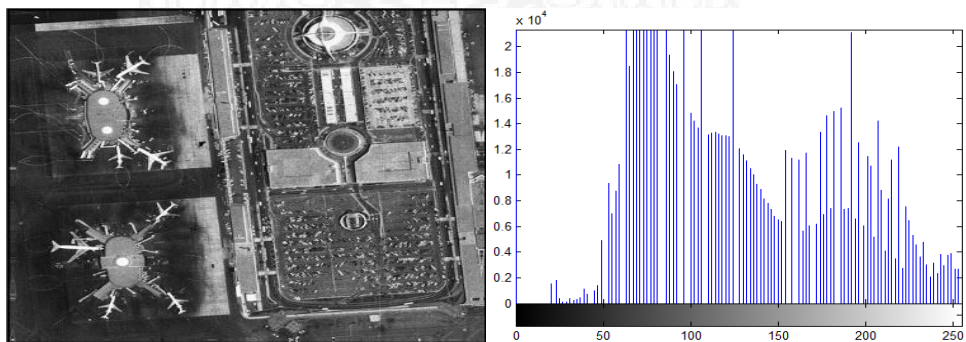
นำภาพที่ได้จากข้อ 4.3 แปลงกลับเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Inverse Discrete Wavelet Transform) เพื่อการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบย่อยของซึบแบนด์ต่างๆ



(a) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) กับ รูปภาพ Pentagon

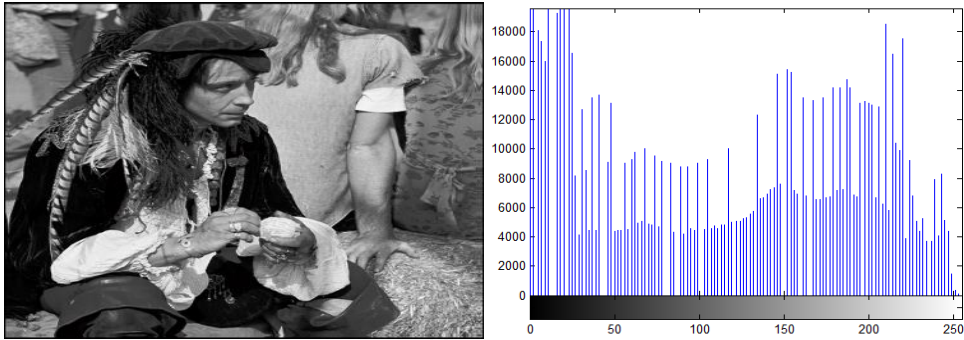


(b) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ U2

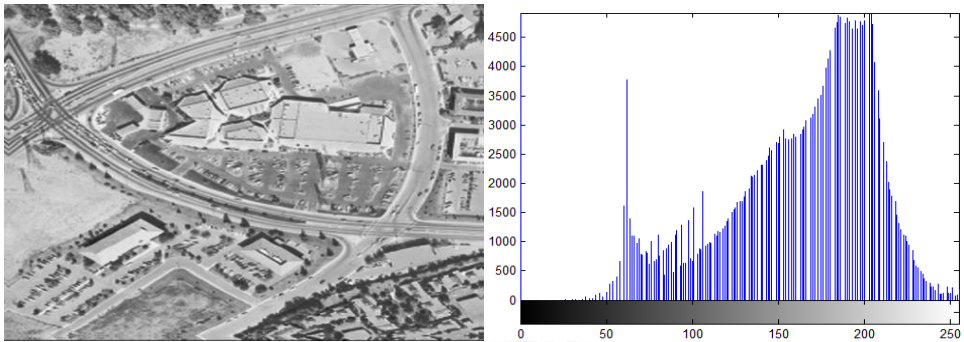


(c) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Airport

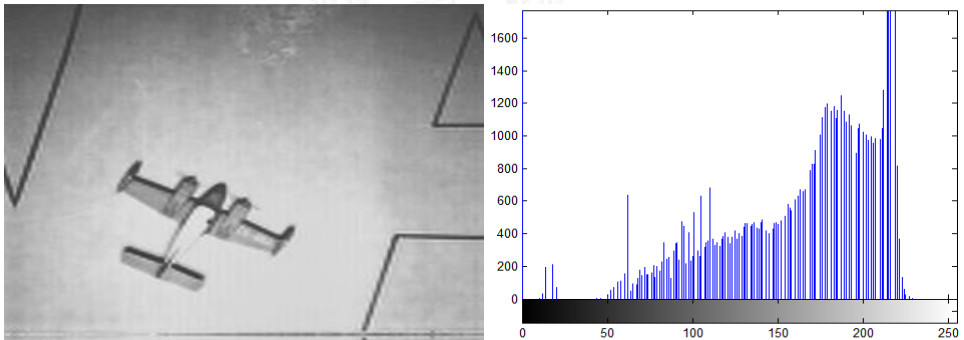




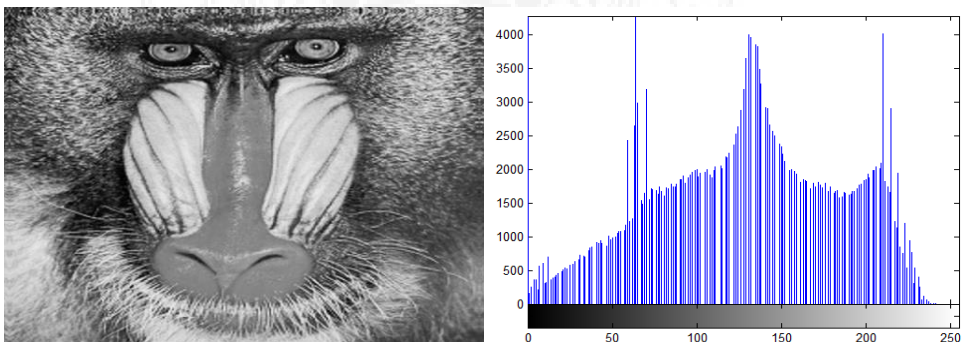
(d) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Man



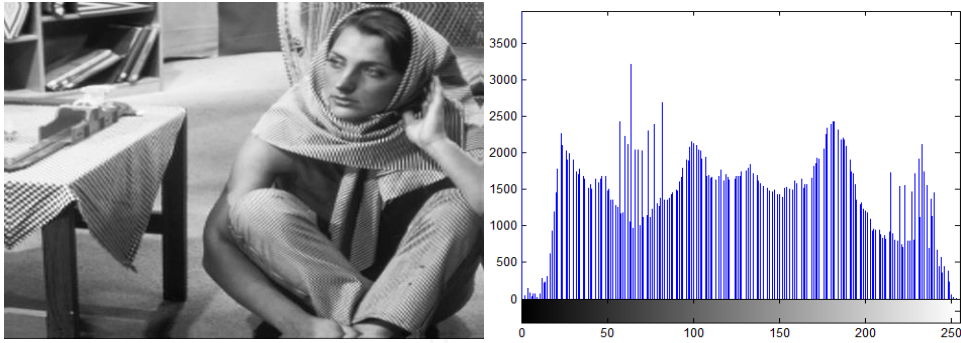
(e) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Aerial



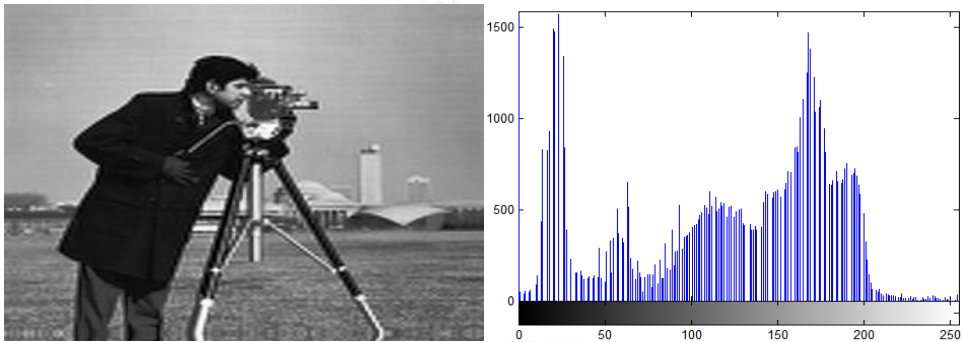
(f) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ AirplaneZ



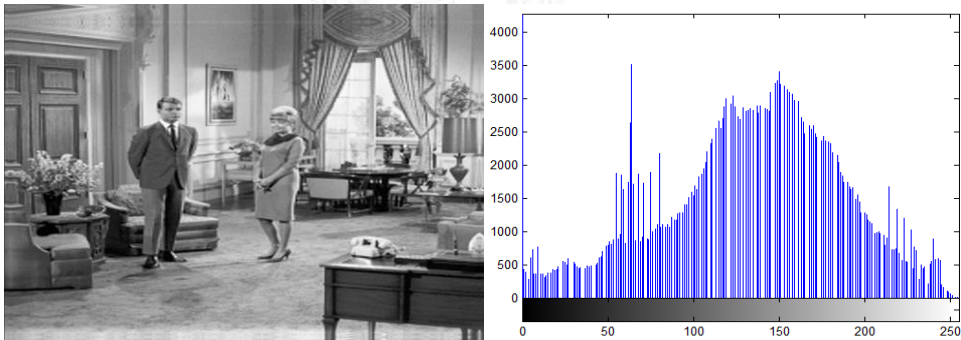
(g) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ baboon



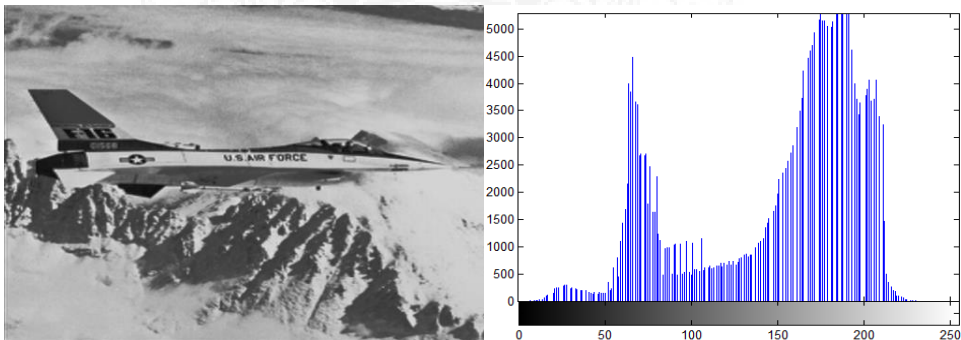
(h) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ barbara



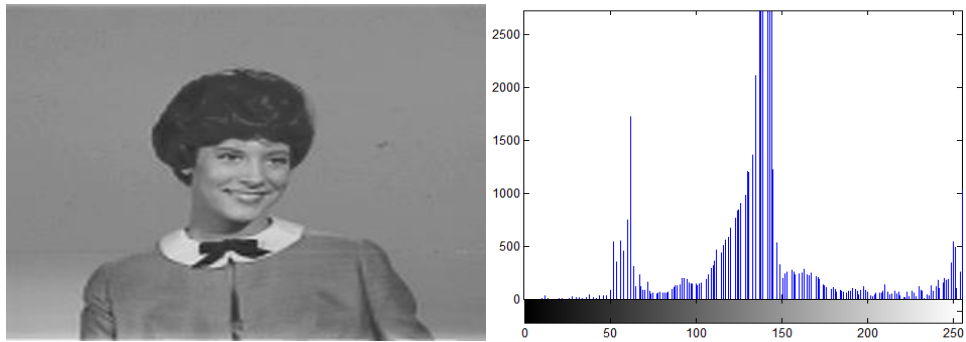
(i) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Comeraman256



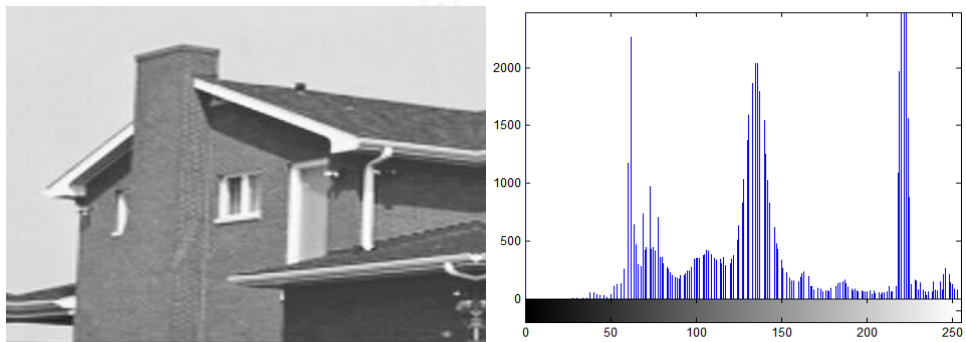
(j) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Couple



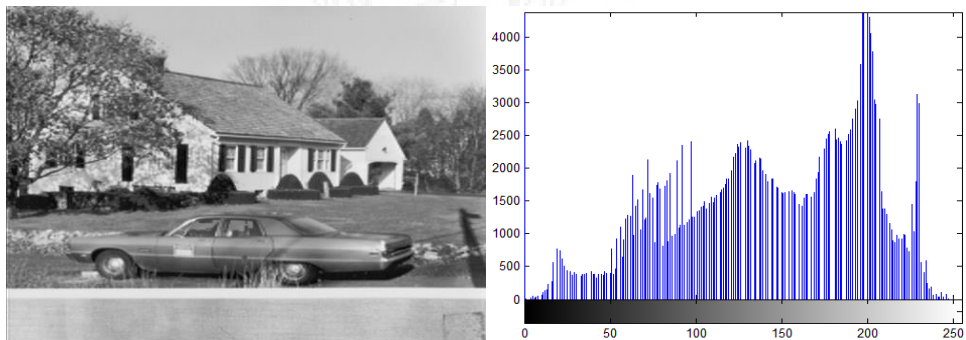
(k) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ F16



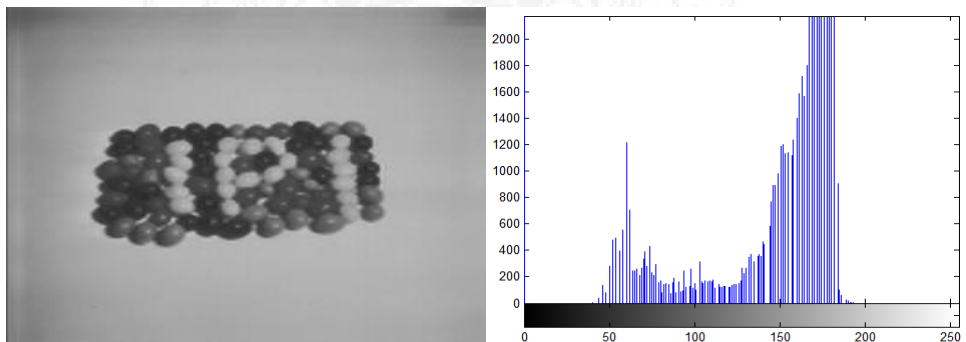
(l) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ girlG



(m) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ House



(n) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ house



(o) ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT) รูปภาพ Jelly\_Beans

ภาพที่ 4.7 ผลการแปลงเวฟเลตกลับ (IDWT)

#### 4.7 การคำนวณและประเมินประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.1 ความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเปรียบเทียบ (AMBE) ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมและวิธีการของงานวิจัย (DWHE)

ภาพ	AMBE			
	GHE	BBHE	WBHE	DWHE
Pentagon	96.7	3.67	13.56	0.7470
U2	98.817	41.471	25.861	5.8460
Airport	63.4	0.88	2.34	0.9646
Man	99.5	16.8	29.23	4.7710
Aerial	25.03	9.98	17.71	0.6531
AirplaneZ	49.98	16.81	5.39	2.1127
baboon	77.3	0.65	2.7	0.7018
barbara	180.7	61.61	7.33	0.8677
Comeraman256	92.41	21.03	6.34	1.8535
Couple	84.08	0.99	0.87	0.9795
F16	68.9	3.31	4.93	2.3421
girlG	54.11	23.58	18.8	0.9642
House	49.9	13.37	8.9	0.9748
Car	88.3	7.33	3.71	1.0286
Jelly_Beans	93.4	43.36	5.73	2.0154

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบ TENENGRAD

ภาพ	TEN	
	ภาพต้นฉบับ	ภาพผลลัพธ์
Pentagon	102.417	105.945
U2	69.546	63.312
Airport	69.546	71.452
Man	69.454	73.782
Aerial	96.4545	102.321
AirplaneZ	95.2143	99.8210
baboon	96.7273	113.2935
barbara	98.7273	119.6978
Comeraman256	89.3125	87.3698
Couple	101.9000	126.7155
F16	80.5000	85.3642
girlG	97.2000	117.5560
House	102.1111	112.9917
Car	101.9000	108.3216
Jelly_Beans	97.9375	103.6254

**ตารางที่ 4.3** อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR)

ภาพ	PSNR
Pentagon	63.3707
U2	63.312
Airport	61.7276
Man	61.5279
Aerial	59.4004
AirplaneZ	59.2100
baboon	60.9164
barbara	59.9078
Comeraman256	59.0102
Couple	61.6555
F16	59.1320
girlG	61.1823
House	59.0012
Car	59.0126
Jelly_Beans	59.7425

#### 4.8 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของภาพเมื่อเทียบกับค่าของวิธีการในงานวิจัยอื่นพบว่าให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่น มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด

#### 4.9 สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงคุณภาพโดยการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่แบนด์ LL หลังจากผ่านการทำเวฟเลตโดยการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบ่งเป็นสี่ส่วนที่ความหนาแน่นสะสมของข้อมูล ตำแหน่ง CDF 0, 0.25, 0.5, 0.75 ผลลัพธ์ภาพที่ได้พบว่าภาพมีความคมชัดสูง ซึ่งหลังจากที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (AMBE) และค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR) ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ พบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำ โดยเมื่อพิจารณาค่า TEN ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพหลังปรับปรุงพบว่าค่ามีความใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่ารายละเอียดเนื้อหาของภาพมีค่าผิดพลาดเพียงน้อย และความคมชัดของภาพดีกว่าภาพต้นฉบับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากผลการศึกษางานวิจัย พบว่าหลังจากผ่านขั้นตอนปรับปรุงคุณภาพภาพพบว่า ผลลัพธ์ภาพที่ได้พบว่าภาพมีความคมชัดสูง รายละเอียดเนื้อขอบภาพมีค่าผิดเพี้ยนน้อย แสดงให้เห็นว่าภาพผลลัพธ์ ให้ผลที่ดีมีความคมชัดมากกว่าภาพต้นฉบับ และเมื่อเปรียบเทียบวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำและให้ผลส่วนใหญ่ต่ำกว่าวิธีอื่น โดยเมื่อพิจารณาค่า TEN ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพหลังปรับปรุงพบว่าค่ามีความใกล้เคียงกัน

#### 5.2 สรุปผลการวิจัย

วิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัย (DWHE) ซึ่งเป็นวิธีที่นำภาพต้นฉบับมาผ่านการแปลง Discrete Wavelet Transform แล้วทำการดึงซับแบนด์ LL มาทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่ตำแหน่ง CDF เป็น 0, 0.25, 0.5 และ 0.75 ตามลำดับ แล้วนำผลที่ได้กลับเข้าไปที่ซับแบนด์เดิมแล้วทำการ Inverse Discrete Wavelet Transform สังเกตผลด้วยตาเปล่าพบว่าภาพมีความคมชัดขึ้น โดยเมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่ ค่าความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเปรียบเทียบ (AMBE), ค่า TENENGRAD และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR) พบว่า ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำ โดยเมื่อพิจารณาค่า TEN ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพหลังปรับปรุงพบว่าค่ามีความใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่ารายละเอียดเนื้อขอบภาพมีค่าผิดเพี้ยนน้อยและความคมชัดของภาพดีกว่าภาพต้นฉบับ โดยยังสามารถรักษารายละเอียดของภาพไว้ได้ดีอีกด้วย

#### 5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

การแสดงผลเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย ต้องมีการเปรียบเทียบวิธีอื่นด้วยเช่นกัน ทำให้ต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลการประเมินคุณภาพของภาพที่แท้จริง

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากตำแหน่งการปรับเท่าฮิสโตแกรมมีผลกับการปรับเท่าคุณภาพภาพ ซึ่งขึ้นกับการเลือก ซึ่งจากงานนี้เลือกแบ่งเป็น 4 ส่วน ณ จุดที่ 0, 0.25, 0.5, 0.75 ซึ่งอาจจะมีความเป็นไปได้ที่อาจพบช่วงความเหมาะสมอื่น ซึ่งจุดที่ต้องระวังภาพผลลัพธ์ที่ได้ต้องพิจารณาถึงเรื่องการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J.S.Lim, **Two-Dimensional Signal and Image Processing**, *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [2] Yeong-Taeg Kim, **Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization**, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.43, No.1, February, 1997. pp.1-8
- [3] Scott E Umbaugh, **Computer vision and Image Processing**, Prentice Hall : New Jersey, 1998.
- [4] Yu Wan, Qian Chen and Bao-Min Zhang., **Image Enhancement Based On Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method**. *IEEE Transactions Consumer Electronics*, February, 1999.
- [5] Young-tack Kim and Yong-hun Cho, **Image Enhancing Method Using Mean-Separate Histogram Equalization**, United Stated Patent, Patent No.5,963,665, Oct 5, 1999.
- [6] Yu Wan, Qian Chen and Bao-Min Zhang, **Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method**, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45,no.1,pp. 68-75, Feb. 1999.
- [7] Soon-Der Chen, **Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement**, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, November, 2003.
- [8] Soon-Der Chen, **Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation**, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, November, 2003.
- [9] Rafael C.Gonzalez and Richard E. Woods. 1992. **Digital Image Processing**. USA: Addison-Wesley Publishing company Inc.
- [10] Stephen P.Banks. 1990. **Signal Processing Image Processing and Pattern Recognition**.UK: Prentice Hall International Ltd.
- [11] William K. Pratt. 1978. **Digital Image Processing**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Gregory A. Baxes. 1994. **Digital Image Processing**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Randy Crane. 1997. **A Simplified Approach to Image Processing**. USA: Hewlett Packard Company.
- [14] Erwin Kreyszig. 1993. **Advance Engineering Mathematics**. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.



### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] Scott E Umbaugh. **Computer Vision and Image Processing**, Prentice Hall: New Jersey, 1998, pp. 209.
- [16] Yeong-Taeg Kim, **Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization**. IEEE Trans Consumer Electronics, vol.43, no. 1, pp. 1-8, Feb. 1997.
- [17] Yu Wan, Qian Chen and Bao-Min Zhang., **Image Enhancement Based On Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method**, IEEE Trans Consumer Electronics, vol. 45, no. 1, pp. 68-75, Feb. 1999.
- [18] Young-tack Kim and Yong-hun Cho. **Image Enhancing Method Using Men-Separate Histogram Equalization**, United States Patent, Patent No. 5,963,665, Oct 5, 1999.
- [19] Yeong-Taeg Kim, **Method For Image Enhancing Using Quantized Men-Separate Histogram Equalization**. United States Patent, Patent No. 5,857,033, Jan 5, 1999.
- [20] Yeong-taeg Kim. **Image Enhancing Method And Circuit Using Mean Separate /Quantized Mean Separate Histogram Equalization And Color Compensation**. United States Patent, Patent No. 6,049,626, Apr 11,2000.
- [21] Z. Chen, B. Abidi, D. Page, and M. Abidi, **Gray Level Grouping (GLG): An Automatic Method for Optimized Image Contrast Enhancement - Part I: The Basic Method**, IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 15, No. 8, pp. 2290 - 2302, August 2006.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ทำงานวิจัย



## ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ทำงานวิจัย

## 1) Main.m

```

close all; clear all;clc;
load = menu('Select input image','pentagon','7.2.01','5.3.02','5.3.01');
switch load
    case 1
        IMAGE='pentagon.tif' ;
    case 2
        IMAGE='7.2.01.tif' ;
    case 3
        IMAGE='5.3.01.tif' ;
    case 4
        IMAGE='5.3.0.tif' ;
end

map = gray(256);

n=1:256;
x=sin((pi/64)*n)+0.01*(n-100);

[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R]=wfilters('bior5.5');

g = dwt(x,Lo_R);
y = idwt(g, Lo_R);
imData=imread(IMAGE);
[N, M]=size(imData);
figure(1),imshow(IMAGE),title('Original Image')
dwt_row_image=zeros(N, M);dwt_row_image1=zeros(N, M);
tmpData=zeros(1, M);
for i=1:N
    tmpData(1, 1:M)=imData(i, 1:M);
    tmpData(1, 1:M)=dwt(tmpData, Lo_R);
    dwt_row_image(i, 1:M)=tmpData(1, 1:M);
end

tmpData=zeros(1, N);

```

```

dwt1_imData=zeros(N, M);
for i=1:M
    tmpData(1, 1:N)=dwt_row_image(1:N, i);
    tmpData(1, 1:N)=dwt(tmpData, Lo_R);
    dwt1_imData(1:N, i)=tmpData(1, 1:N)';
end

[LL2,LH2,HL2,HH2] = dwt2(IMAGE,'db5'); %chang from DWT2

tmpData1=zeros(1, N);
idwt1_imData=zeros(N, M);
for i=1:M
    tmpData1(1, 1:N)=dwt1_imData(1:N, i)';
    tmpData1(1, 1:N)=idwt(tmpData1, Lo_R);
    idwt1_imData(1:N, i)=tmpData1(1, 1:N)';
end
idwt_row_image=zeros(N, M);
tmpData1=zeros(1, M);
for i=1:N
    tmpData1(1, 1:M)=idwt1_imData(i, 1:M);
    tmpData1(1, 1:M)=idwt(tmpData1, Lo_R);
    idwt_row_image(i, 1:M)=tmpData1(1, 1:M);
end

figure(2)
[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(imData,'bior3.7');
A1 = upcoef2('a',cA1,'bior3.7',1);
H1 = upcoef2('h',cH1,'bior3.7',1);
V1 = upcoef2('v',cV1,'bior3.7',1);
D1 = upcoef2('d',cD1,'bior3.7',1);

colormap(map);
subplot(2,2,1); image(wcodemat(A1,255));
title('Approximation A1')
subplot(2,2,2); image(wcodemat(H1,255));
title('Horizontal Detail H1')
subplot(2,2,3); image(wcodemat(V1,255));
title('Vertical Detail V1')
subplot(2,2,4); image(wcodemat(D1,255));
title('Diagonal Detail D1')

```

```

%% subband LL
figure(3)
[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(imData,'bior3.7');
A1 = upcoef2('a',cA1,'bior3.7',1);
H1 = upcoef2('h',cH1,'bior3.7',1);
V1 = upcoef2('v',cV1,'bior3.7',1);
D1 = upcoef2('d',cD1,'bior3.7',1);
colormap(map);
image(wcodemat(A1,192));
title('Subband LL')
figure(4)
[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(imData,'bior3.7');
A1 = upcoef2('a',cA1,'bior3.7',1);
H1 = upcoef2('h',cH1,'bior3.7',1);
V1 = upcoef2('v',cV1,'bior3.7',1);
D1 = upcoef2('d',cD1,'bior3.7',1);

colormap(map);
subLL2=imshow(image(wcodemat(A1,255)));
subLL= image(wcodemat(A1,255));

%%
[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(imData,'bior3.7');
A1 = upcoef2('a',cA1,'bior3.7',1);
H1 = upcoef2('h',cH1,'bior3.7',1);
V1 = upcoef2('v',cV1,'bior3.7',1);
D1 = upcoef2('d',cD1,'bior3.7',1);
figure(5)
[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(imData,'bior3.7');
A1 = upcoef2('a',cA1,'bior3.7',1);
H1 = upcoef2('h',cH1,'bior3.7',1);
V1 = upcoef2('v',cV1,'bior3.7',1);
D1 = upcoef2('d',cD1,'bior3.7',1);
colormap(map);
hist(wcodemat(A1,255))
eq2=hist(wcodemat(A1,255));%192

%% Equalize subband LL
OriginalDataArray=A1;

```

```

OriginalDataArray=double(OriginalDataArray);
I=uint8(OriginalDataArray);gamma=1;
m=64;
m=int32(m);
h = imghist(I);
lh = subhist(h,0,m,true);
uh = subhist(h,m,255,true);
lc = CDF(lh);
uc = CDF(uh);
halfLow = 0;
for i=0:m
if lc(i+1) > 0.5
halfLow=i;
break;
end
end
halfUp = 0;
for i=m:255
if uc(i+1) > 0.5
halfUp=i;
break;
end
end
tonesLow = 0:1:m;
xLow= double(5.0*(tonesLow-halfLow))/double(m);
sLow = 1./(1+exp(-gamma*xLow));
tonesUp = m:1:255;
xUp= double(5*(tonesUp-halfUp))/double((255-m));
sUp = 1./(1+exp(-gamma*xUp));
for i=0:m
map(i+1) = int32(m*sLow(i+1));
end
min=map(1);
max=map(m+1);
for i=0:m
map(i+1) = int32((double(m)/double( max-min) )*(map(i+1)-min));
end
for i=m+1:255
map(i+1) = int32(m + (255-m)*sUp(i-m));
end

```

```

min = map(m+2);
max = map(256);
for i=m+1:255
map(i+1) = double((255-m))*double((map(i+1)- min))/double((max-min)) + double(m);
end
E = I;
EA = I;
EA(:, :) = map(I(:, :)+1);
E(:, :) = map(I(:, :)+1);
histohramArray2=E;
m=128;
m=int32(m);
h = imgpdf(I);
lh = subhist(h,0,m,true);
uh = subhist(h,m,255,true);
lc = CDF(lh);
uc = CDF(uh);
halfLow = 0;
for i=0:m
if lc(i+1) > 0.5
halfLow=i;
break;
end
end
halfUp = 0;
for i=m:255
if uc(i+1) > 0.5
halfUp=i;
break;
end
end
tonesLow = 0:1:m;
xLow= double(5.0*(tonesLow-halfLow))/double(m);
sLow = 1./(1+exp(-gamma*xLow));
tonesUp = m:1:255;
xUp= double(5*(tonesUp-halfUp))/double((255-m));
sUp = 1./(1+exp(-gamma*xUp));
for i=0:m
map(i+1) = int32(m*sLow(i+1));
end

```



```

min=map(1);
max=map(m+1);
for i=0:m
map(i+1) = int32((double(m)/double( max-min) )*(map(i+1)-min));
end
for i=m+1:255
map(i+1) = int32(m + (255-m)*sUp(i-m));
end
min = map(m+2);
max = map(256);
for i=m+1:255
map(i+1) = double((255-m))*double((map(i+1)- min))/double((max-min)) + double(m) ;
end
E = I;
E(:, :) = map(l(:, :)+1);
histohramArray3=E;
I=uint8(histohramArray3);gamma=0.5;
m=192;
m=int32(m);
h = imgpdf(I);
lh = subhist(h,0,m,true);
uh = subhist(h,m,255,true);
lc = CDF(lh);
uc = CDF(uh);
halfLow = 0;
for i=0:m
if lc(i+1) > 0.2
halfLow=i;
break;
end
end
halfUp = 0;
for i=m:255
if uc(i+1) > 0.2
halfUp=i;
break;
end
end
tonesLow = 0:1:m;
xLow= double(5.0*(tonesLow-halfLow))/double(m);
sLow = 1./(1+exp(-gamma*xLow));

```

```

tonesUp = m:1:255;
xUp= double(5*(tonesUp-halfUp))/double((255-m));
sUp = 1./(1+exp(-gamma*xUp));
for i=0:m
map(i+1) = int32(m*sLow(i+1));
end
min=map(1);
max=map(m+1);
for i=0:m
map(i+1) = int32((double(m)/double( max-min) )*(map(i+1)-min));
end
for i=m+1:255
map(i+1) = int32(m + (255-m)*sUp(i-m));
end
min = map(m+2);
max = map(256);
for i=m+1:255
map(i+1) = double((255-m))*double((map(i+1)- min))/double((max-min)) + double(m) ;
end
E = I;
E(:, :) = map(I(:,:)+1);
histohramArray15=EA;
histohramArray18=E;
LLA=histohramArray18;
LL2=LLA(LLA<208);LLAA=LLA;[cA11,cH11,cV11,cD11] = dwt2(LLAA,'db1');
A11 = upcoef2('a',cA11,'db1',1);
H11 = upcoef2('h',cH11,'db1',1);
V11 = upcoef2('v',cV11,'db1',1);
D11 = upcoef2('d',cD11,'db1',1);
figure(9)
OriginalDataArray11=double(A11);
imshow(histohramArray18)
title('Image of Subband LL after histogram Equalized')
LLA=histohramArray15;
figure(10)
imshow(histohramArray15);
title('Result Image');

in1 = imread(IMAGE);
NewImage = idwt2(LLA,H1,V1,D1,'db1');

```

```

IM=in1;IM2=uint8(NewImage);
result_in = mean(double(IM(IM>0)));
result_subLL = mean(double(LL2));
AMBE=abs(result_in-result_subLL);
LLA=histohramArray15;
LL22=LLA(LLA>0);
LL2_out=mean(double(LL22));
dat1=abs(result_in-result_subLL);
while dat1>1
if abs(result_in-LL2_out)>1
for i=256:-1:1;
if abs(result_in-LL2_out)>1
x=i;
LL2_out=mean(double(LLA(LLA<x)));
dat1=abs(result_in-LL2_out);
else
dat1=abs(result_in-LL2_out);
end
end
end
end
AMBE=dat1
im1=in1;im2=LLA;
N = size(im1);
x=im2double(im1);
y=im2double(im2);
acc = 0;
for k1=1:N(1)
for k2=1:N(2)
acc = acc+ ( x(k1,k2) - y(k1,k2) )^2;
end
end
mse = acc/(N(1)*N(2));
PSNR = 10*log10((255^2)/mse);
warndlg( sprintf('AMBE = %g , PSNR = %g ',AMBE,PSNR),'Summary ')

```

## 2) subhist.m

```
function hi = subhist(h,min,max,norm)
min = int32(min+1);
max = int32(max+1);
hi=zeros(size(h));
total = 0;
for i=min:max
    total = total + h(i);
    hi(i) = h(i);
end
if norm == true
    for i=min:max
        hi(i) = hi(i)/total;
    end
end
end
```

## 3) imgpdf.m

```
function pdfhist = imgpdf(img)
ihist = histogram(img);
[rows,cols] = size(img);
pdfhist = ihist/rows/cols;
end
```

## 4) histogram.m

```
function H=histogram(I)
[rows cols]=size(I);
H = zeros(1,256);
for i=1:rows
    for j=1:cols
        H(I(i,j)+1) = H(I(i,j)+1)+1;
    end
end
end
```

## 5) CDF.m

```
function cdf = CDF(H)
    cdf(1) = H(1);
    for i=2:length(H)
        cdf(i) = cdf(i-1)+H(i);
    end
end
```

## 6) dwt.m

```
function g = dwt(f,h)
    N = length(h); L = length(f);
    c = f;
    h0 = fliplr(h);
    h1 = h; h1(1:2:N) = -h1(1:2:N);
    L = length(c);
    c = [c(mod(-(N-1):-1),L)+1] c;
    d = conv(c,h1); d = d(N:2:(N+L-2));
    c = conv(c,h0); c = c(N:2:(N+L-2));
    g = [c,d];
```

## 7) idwt.m

```
function f = idwt(g,h)
    L = length(g); N = length(h);
    h0 = h;
    h1 = fliplr(h); h1(2:2:N) = -h1(2:2:N);
    LJ = L/2;
    c = g(1:LJ);
    w = mod(0:N/2-1,LJ)+1;
    d = g(LJ+1:L);
    cu(1:2:L+N) = [c c(1,w)];
    du(1:2:L+N) = [d d(1,w)];
    c = conv(cu,h0) + conv(du,h1);
    c = c(N:N+L-1);
    f = c;
```



ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

## บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

1. ไตรรงค์ ใจดี, ณัฐพงศ์ พันธนะ. “กำลังไฟฟ้าการปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮีสโตแกรมด้วยการแปลงเว็ปลेटสองมิติ” การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8 หรือ ECTI-CARD 2016: 231-234.



## ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล	นายไตรรงค์ ใจดี
วัน เดือน ปีเกิด	24 กรกฎาคม พ.ศ. 2527
ภูมิลำเนา	39 หมู่ 5 ถ.ศาลาบาบงภาชี ต.ศาลาบา อ.พุทธรณทล นครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	39 หมู่ 5 ถ.ศาลาบาบงภาชี ต.ศาลาบา อ.พุทธรณทล นครปฐม
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สำเร็จการศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2549</li> <li>- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม พ.ศ. 2547</li> <li>- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม พ.ศ. 2545</li> </ul>
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปัจจุบัน ทำงานในตำแหน่ง SALES REPRESENTATIVE บริษัท นำสินเทรดดิ้ง จำกัด</li> </ul>