การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

IMPROVEMENT OF HISTOGRAM EQUALIZATION FOR MINIMUM MEAN BRIGHTNESS ERROR

ณัฐพงศ์ พันธุนะ
NATTAPONG PHANTHUNA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

IMPROVEMENT OF HISTOGRAM EQUALIZATION FOR MINIMUM MEAN BRIGHTNESS ERROR

ณัฐพงศ์ พันธุนะ

NATTAPONG PHANTHUNA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

IMPROVEMENT OF HISTOGRAM EQUALIZATION FOR MINIMUM MEAN BRIGHTNESS ERROR

NATTAPONG PHANTHUNA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด
นักศึกษา	นายณัฐพงศ์ พันธุนะ
รหัสนักศึกษา	47060656
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงภาพ โดยใช้วิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม โดยได้มีการนำเสนอวิธีการเพื่อพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยทำการแบ่งค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ จากฮีสโตแกรมของภาพออกเป็นจำนวน n กลุ่ม ซึ่งจะได้การแบ่งเป็น 2, 3, 4 ....., n กลุ่มตามลำดับ ในการแบ่งแต่ละส่วนของฮีสโตแกรมจะใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณมาจากวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมดังกล่าวเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้หลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมแต่ละกลุ่มให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดไปจากค่าเฉลี่ยของความสว่างภาพต้นฉบับต่ำสุด จากการทดลอง ค่าความผิดพลาดดังกล่าวจะลดลงเมื่อจำนวนการแบ่งกลุ่มเพิ่มมากขึ้น

Thesis Title	Improvement of Histogram Equalization for Minimum Mean Brightness Error
Student	Mr.Nattapong Phanthuna
Student ID.	47060656
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Fusak Cheevasuvit

ABSTRACT

This thesis presents the image enhancing using a mean-separate histogram equalization method. It can preserve the original brightness to a certain extension. To provide maximum brightness preservation, it independently separates the input image's histogram into 2,3,4,...,n classed based on input mean before equalizing them. The initial image is separated from 2,3,4,...,n classed by calculated threshold level and each class of histogram equalized entire image to get minimum AMBE (Absolute Mean Brightness Error between input and output mean). The result found that AMBE gradually reduces when the number of classes is increased.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความกรุณาจากคำปรึกษาและคำแนะนำในหลายๆด้านจาก รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์ท่านเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.สักรียา ชิตวงศ์ รศ.ดร.สาธิต อินทจักร์ และผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่ดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณอาจารย์สรวงกนก พิบูลธรรมนนท์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ในเรื่องของการใช้ภาษาอังกฤษจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายณัฐพงศ์ พันธุนะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....3

1.6 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....4

บทที่ 2 รูปแบบของข้อมูลภาพและการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮีสโตแกรม.....5

2.1 บทนำ.....5

2.2 การแสดงภาพดิจิตอล รูปแบบข้อมูล และฮีสโตแกรมของภาพ.....5

2.2.1 การแสดงภาพดิจิตอล.....5

2.2 2 รูปแบบข้อมูลภาพ.....6

2.2.3 ฮีสโตแกรมของรูปภาพ.....14

2.3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรม.....20

2.3.1 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้น.....23

2.3.2 การปรับปรุงภาพแบบการปรับเท่าฮีสโตแกรม.....26

2.4 บทสรุป.....32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกสองส่วน.....33

3.1 บทนำ.....33

3.2 การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ.....33

3.3 การปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกส่วนสองส่วน.....34

3.4 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์หลังการปรับเรียบฮีสโตแกรม แบบแยกสองส่วน.....36

3.5 บทสรุป.....44

บทที่ 4 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด..... 45

4.1 บทนำ.....45

4.2 แนวทางการคำนวณ..... 45

บทที่ 5 ผลการทดลอง..... 52

5.1 รูปภาพที่นำมาทดสอบ.....52

5.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองภาพต้นฉบับกับวิธีของ HE..... 53

5.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยวิธีอื่นๆ.....62

5.4 การเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ..... 62

5.5 บทสรุป.....77

บทที่ 6 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 78

6.1 สรุปผลการวิจัย..... 78

6.2 ข้อเสนอแนะ..... 79

เอกสารอ้างอิง.....80

ภาคผนวก.....82

ภาคผนวก ก. โปรแกรม M-files ที่เขียนบนโปรแกรม MATLAB 83

ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... 84

ประวัติผู้เขียน..... 90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และต่างๆ กัน 9

2.2 แสดงขนาดหน่วยความจำเป็นไบท์ (8บิต) ที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และต่างๆกัน 9

3.1 ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรม
แบบแยกสองส่วน และเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ 43

5.1 รายละเอียดของภาพที่นำมาทดสอบ 51

5.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ และ AMBE จากวิธี HE 52

5.3 AMBE จากวิธีที่อ้างอิง BBHE, DSIHE, MMBEBHE และวิธีที่นำเสนอ 61

5.4 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน และ ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม
เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 2 กลุ่ม 62

5.5 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน และ ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม
เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่ม 63

5.6 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน และ ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม
เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 8 กลุ่ม 64

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ภาพดิจิตอลแบบขาวดำหรือโมโนโครม 6

2.2 รูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชั่นทางสเปเชียล 11

2.3 รูปภาพขนาด1024 x 1024 ที่แสดงด้วยจำนวนระดับสีเทาต่างๆ 12

2.4 ตัวอย่างการเปลี่ยนค่าคมชัดอย่างเฉียบพลันเมื่อสี่เหลี่ยมเล็กตรงกลางซึ่งมีค่าความเข้ม
เท่ากัน แต่จะเห็นสี่เหลี่ยมเล็กดำขึ้นเมื่อบริเวณสี่เหลี่ยมรอบนอกมีความสว่างกว่า 13

2.5 ฮีสโตแกรมของรูปภาพ (a) รูปแบบดีสครีต (b) รูปแบบต่อเนื่อง 14

2.6 รูปภาพหนึ่งมิติอย่างง่าย (a) รูปภาพในลักษณะสามเหลี่ยม (b) ฮีสโตแกรมของภาพ (a) 16

2.7 ฮีสโตแกรมสำหรับเกาเซียนพัลส์ 16

2.8 การกระทำแบบเชิงเส้น 17

2.9 แสดงฮีสโตแกรมแบบต่างๆ 19

2.10 จุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ขนาด 3x3 21

2.11 ฟังก์ชั่นการแปลงระดับสีเทาในการปรับปรุงภาพโดยการปรับความคมชัดของภาพ 22

2.12 แสดงการยืดฮีสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้น 25

2.13ผลลัพธ์จากเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น 26

(a) ภาพต้นแบบ (b) ฮีสโตแกรมของภาพต้นแบบ

(c) ภาพที่ผ่านการยืดฮีสโตแกรม (d) ฮีสโตแกรมหลังการแปลง

2.14 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ Airplane2.tiff ขนาด 256x256 30

2.15 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ GirlG.tiff ขนาด 256x256 31

3.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบ
ฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน 37

3.2 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Tank. tiff ขนาด 512x512 39

3.3 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Baboon. tiff ขนาด 512x512 40

3.4 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ car. tiff ขนาด 200x200 41

3.5 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256 42

4.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณ 46

4.2 (a) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 1 กลุ่ม 50

(b) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 4 กลุ่ม

5.1 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Arctic hare 53

5.2 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Arctic hare ด้วยวิธี HE 53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.3 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Baboon..... 54

5.4 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Baboon ด้วยวิธี HE..... 54

5.5 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Aerial..... 54

5.6 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Aerial ด้วยวิธี HE..... 54

5.7 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Aerial 2..... 55

5.8 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Aerial 2 ด้วยวิธี HE..... 55

5.9 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Airplane2..... 55

5.10 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Airplane2 ด้วยวิธี HE..... 55

5.11 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Car..... 56

5.12 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Car ด้วยวิธี HE..... 56

5.13 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Clock..... 56

5.14 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Clock ด้วยวิธี HE..... 56

5.15 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ F16..... 57

5.16 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ F16 ด้วยวิธี HE..... 57

5.17 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Girl..... 57

5.18 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Girl ด้วยวิธี HE..... 57

5.19 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ House..... 58

5.20 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ House ด้วยวิธี HE..... 58

5.21 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Jelly Beans..... 58

5.22 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Jelly Beans ด้วยวิธี HE..... 58

5.23 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Peppers..... 59

5.24 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Peppers ด้วยวิธี HE..... 59

5.25 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Splash..... 59

5.26 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Splash ด้วยวิธี HE..... 59

5.27 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Tank..... 60

5.28 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Tank ด้วยวิธี HE..... 60

5.29 (a) รูปต้นฉบับของ *Arctic hare* (b) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม..... 65

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่			หน้า
5.30	(a) รูปต้นฉบับของ *Aerial*	(b) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	66
5.31	(a) รูปต้นฉบับของ *Airplane2*	(b) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	67
5.32	(a) รูปต้นฉบับของ *Baboon*	(b) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	68
5.33	(a) รูปต้นฉบับของ *Car*	(b) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	69
5.34	(a) รูปต้นฉบับของ *Clock*	(b) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	70
5.35	(a) รูปต้นฉบับของ *F16*	(b) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	71
5.36	(a) รูปต้นฉบับของ *Girls*	(b) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	72
5.37	(a) รูปต้นฉบับของ *House*	(b) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	73
5.38	(a) รูปต้นฉบับของ *Jelly Beans*	(b) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	74
5.39	(a) รูปต้นฉบับของ *Peppers*	(b) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	75
5.40	(a) รูปต้นฉบับของ *Splash*	(b) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	76
5.41	(a) รูปต้นฉบับของ *Tank*	(b) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม	
	(c) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม	(d) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม.....	77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปรับปรุงภาพโดยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม (Histogram Equalization) เป็นวิธีการพื้นฐานในการเพิ่มคอนทราสต์ให้กับภาพ ซึ่งจะอาศัยวิธีการส่ง(Mapping)ค่าระดับสีเทาของภาพอินพุต ผ่านฟังก์ชันการแปลงที่ได้จากความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density function) วิธีการปรับเรียบทั้งภาพจะช่วยทำให้ฮีสโตแกรม ที่มีการกระจายข้อมูลช่วงแคบๆถูกขยายให้กว้างขึ้น ภาพเอาท์พุตก็จะให้ความแตกต่างในภาพสูง จึงมักนิยมนำไปใช้ในงานเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพเรดาห์ เป็นต้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือหลังการปรับเรียบฮีสโตแกรม จะทำให้ค่าเฉลี่ยของความสว่างในภาพผลลัพธ์เปลี่ยนไปจากค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับอย่างมากจึงไม่อาจนำไปใช้ในงานบางชนิดดังได้กล่าวไว้ในบทความของ Yeong-Taeg Kim [2] ในบทความนี้จึงพยายามนำวิธีการเชิงสถิติมาใช้เพื่อแบ่งฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นกลุ่มๆ(Class) โดย n เป็น 2^n กลุ่ม ในแต่ละส่วนของฮีสโตแกรมหลังการแบ่งกลุ่มจะถูกทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างอิสระ ทั้งนี้ต้องพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของแต่ละส่วนให้เป็นไปตามเป้าหมาย เพื่อรักษาให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของทั้งภาพหลังการปรับเรียบแล้ว จะให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความสว่างจากภาพต้นฉบับมากที่สุด

ในบทความของ Soon-Der Chen [7] ได้เสนอวิธีการลดค่าผิดพลาดของค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพจากการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นสองส่วนให้ต่ำที่สุด (เรียกวิธีนี้ว่า Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization หรือ MMBEBHE) ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยอาศัยค่าระดับสีเทา X_T เป็นขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ค่าระดับสีเทาที่อยู่ต่ำกว่า X_T และสูงกว่า X_T จะถูกทำการปรับเรียบอย่างอิสระจากกัน โดย X_T ของ Soon-Der Chen [7] ได้จากการคำนวณค่าสัมบรูณ์ของค่าความผิดพลาดความสว่างเฉลี่ยต่ำสุด(Absolute mean Brightness Error:AMBE) สำหรับแต่ละค่า X_T ที่เลือกขึ้นมาซึ่งผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดของค่าความสว่างเฉลี่ยลดลงระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากเมื่อได้ X_T มาก็จะนำจุดภาพทั้งหมดในระดับสีเทาระดับที่ X_T ไปใช้ทุกจุดภาพพบว่าจะเป็นจุดด้อยที่จะยังคงลดค่าความผิดพลาดได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงโดยได้นำเสนอวิธีการเลือกค่า X_T จากการแบ่งกลุ่ม ซึ่งถ้าได้ค่า X_T ที่เหมาะสม เราจะลงลึกไปถึงขั้นที่ว่า ต้องใช้จำนวนจุดภาพกี่จุดในระดับสีเทา X_Tเพื่อให้ไปรวมกลุ่มที่อยู่ด้านซ้ายของ X_T เมื่อทำการปรับเรียบแล้วจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษา และวิเคราะห์การปรับเรียบข้อมูลภาพดิจิตอลชนิดระดับสีเทา (Grey Scale) ที่มีการข้อมูลกระจายอยู่ 256 ระดับ ซึ่งการปรับเรียบด้วยวิธีแบบดั่งเดิมจะให้ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาไม่เป็นธรรมชาติและไม่สามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้ จึงทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความไม่สมจริงและมีประสิทธิภาพต่ำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะพยายามรักษาการเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ให้มากที่สุด โดยการแบ่งกลุ่มของภาพออกเป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มจะถูกทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างอิสระ ทั้งนี้ต้องพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของแต่ละกลุ่มให้เป็นไปตามเป้าหมาย เพื่อรักษาให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับเรียบแล้ว จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความสว่างจากภาพต้นฉบับมากที่สุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โดยปกติแล้วข้อมูลภาพขาวดำส่วนมากจะมีปัญหาในเรื่องของความแตกต่าง (Contrast) ภายในภาพต่ำ ค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่างๆจะปรากฏอยู่ในช่วงแคบๆ ทำให้ไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลภาพได้ วิธีการพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการเปลี่ยนค่าระดับสีเทาให้กับจุดภาพ (Pixel) หรือที่เรียกว่าการปรับเรียบฮีสโตแกรม (Histogram Equalization) วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและใช้เวลาการประมวลผลน้อย จากการปรับเรียบภาพด้วยเทคนิคนี้จะมีการกระทำตลอดย่านความสว่าง แต่จะปรากฏปัญหาการเกิดค่าความสว่างผิดปกติในบางส่วนของภาพ และจะไม่สามารถรักษาค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำภาพดิจิตอลขาวดำมาทำการทดสอบ โดยการแบ่งฮีสโตรแกรมของภาพออกเป็น 2 กลุ่ม 4 กลุ่ม และ 8 กลุ่ม ตามลำดับ และทำการปรับเรียบฮีสโตรแกรมอย่างอิสระต่อกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าเมื่อทำการแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพมากขึ้นจะยิ่งทำให้สามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยของความส่วางของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้ดีมากขึ้น ซึ่งจะดีกว่าแบบการปรับเรียบฮีสโตรแกรมด้วยวิธีดั่งเดิม ดังนั้นจากค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดที่คำนวณได้จะมีค่าความผิดพลาดต่ำสุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม ให้กับภาพนั้นเป็นวิธีการพื้นฐานของการปรับปรุงภาพให้เพิ่มความแตกต่างของภาพมากขึ้น ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคนิคนี้จะเป็นการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น ทำให้มีการกระจายข้อมูลฮีสโตแกรมให้ค่าระดับสีเทาใหม่แต่ละระดับมีจำนวนจุดภาพที่เกือบใกล้เคียงกัน โดยถ้าย่านระดับสีเทาที่ยืดออกมีค่าแตกต่างกับย่านระดับสีเทาเดิมมาก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการปรับเรียบมากขึ้นด้วย โดยจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากและทำให้เกิดปัญหาความสว่างของภาพผิดเพี้ยนไปอย่างไม่เป็นธรรมชาติ

การปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ จะปรับปรุงภาพโดยวิธีแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นกลุ่มๆ จำนวนกลุ่มจะแบ่งตามความเหมาะสม และปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างเป็นอิสระต่อกัน วิธีนี้จะส่งผลให้การกระจายข้อมูลของภาพสามารถชดเชยค่าผิดพลาดสะสมที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มให้ลดน้อยลงตามจำนวนกลุ่มที่แบ่ง วิธีการที่นำเสนอพบว่าถ้ายิ่งแบ่งกลุ่มมากขึ้นจะทำให้สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้มากขึ้นด้วย

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพยายามปรับปรุงค่า AMBE ให้มีค่าต่ำ อย่างเช่นวิธี ของ Yeong-Taeg Kim ได้เสนอวิธี Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization หรือ BBHE [2] เป็นการแบ่งฮีสโตแกรมของภาพออกเป็น2 ส่วนโดยอาศัยค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นตัวแบ่ง จากนั้นแต่ละส่วนจะทำการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแยกจากกัน ต่อมา Yu Wan, Qian Chen and Bao-Min Zhang ได้เสนอวิธี Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method หรือ DSIHE [4] ทำการแบ่งภาพออกเป็นสองส่วนโดยอาศัย ค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมในแต่ละส่วนเท่าๆกันประมาณ 0.5 แทนที่จะใช้ค่าเฉลี่ยเหมือนของ BBHE ส่วน Soon-Der Chen ได้นำเสนอวิธี Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization หรือ MMBEBHE [7] จะคล้ายๆกับ BBHE โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน มาทำการแบ่ง โดยจะใช้หลักการวนซ้ำ (Recursive) ในการคำนวณหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อให้ได้ตำแหน่งระดับสีเทาที่จะให้ AMBE มีค่าต่ำสุด วิธีการ MMBEBHE มีแนวโน้มที่ให้ผลดี แต่ยังคงมีจุดอ่อนเนื่องจากการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำการยกจำนวนจุดภาพที่อยู่ในตำแหน่งของขีดเริ่มเปลี่ยนไปใช้ทุกจุดภาพ จึงยังคงปรากฏแนวทางที่จะปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนโดยอาศัยทั้งจำนวนจุดภาพและระดับสีเทาที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการแบ่งส่วนภาพก่อนทำการปรับเรียบ(HE) ให้แต่ละส่วน ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดค่า AMBE ลงได้อีก

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงภาพ โดยการปรับความคมชัดของภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรม โดยจะเป็นการศึกษาถึงวิธีการปรับเรียบภาพด้วยเทคนิคฮีสโตแกรมแบบดั้งเดิม กับเปรียบเทียบกับวิธีการปรับเรียบใหม่ที่นำเสนอ ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างภายในภาพสูงขึ้น และยังคงรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ

ภาพที่นำมาใช้ในการปรับปรุงจะต้องเป็นภาพขาวดำ ที่มีระดับความเข้มแตกต่างกัน 256 ระดับ (เข้ารหัส 8 บิท) หรือตั้งแต่ระดับสีเทาที่ 0 ถึงระดับสีเทาที่ 255 และโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์คือ MATLAB version 6.5 โดยจะเขียนโปรแกรมลงใน M-file

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาของการวิจัย ออกเป็น 6 บทด้วยกัน โดยแต่ละบทประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของวิทยานิพนธ์ ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยรูปแบบข้อมูลภาพและการปรับเรียบฮีสโตแกรม การแสดงภาพดิจิตอล

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการปรับเรียบภาพด้วยเทคนิคฮีสโตรแกรม แบบแยกสองส่วน

บทที่ 4 กล่าวถึงการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2
รูปแบบของข้อมูลภาพ และการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮีสโตแกรม

2.1 บทนำ

เนื้อหาภายในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลภาพดิจิตอล ขนาดของภาพ รูปแบบข้อมูลภาพ รายละเอียดของภาพ จำนวนระดับสีเทาของภาพ ฮีสโตแกรมของภาพ และวิธีการปรับปรุงฮีสโตแกรมของภาพเพื่อเพิ่มความแตกต่างภายในภาพ สำหรับวิธีการปรับปรุงฮีสโตแกรม ของภาพที่จะกล่าวถึงนั้นจะมี 2 วิธี ที่ใช้กันอยู่อย่างกว้างขวาง คือวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งจะพยายามกระจายจำนวนจุดภาพให้กับบางค่าของระดับสีเทาของจุดภาพในบริเวณที่เกือบเป็นเอกพันธ์ (Equal homogenous) โดยจะทำให้บริเวณดังกล่าวกลายเป็นเอกพันธ์ไปเลย ส่วนอีกวิธีจะเป็นการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น (Linear Contrast Stretching) วิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความการกระจุกตัวของจุดภาพในระดับสีเทาเดียวกัน เพื่อพยายามรักษาให้การกระจายของจุดภาพในระดับสีเทามีจำนวนจุดภาพใกล้เคียงกัน

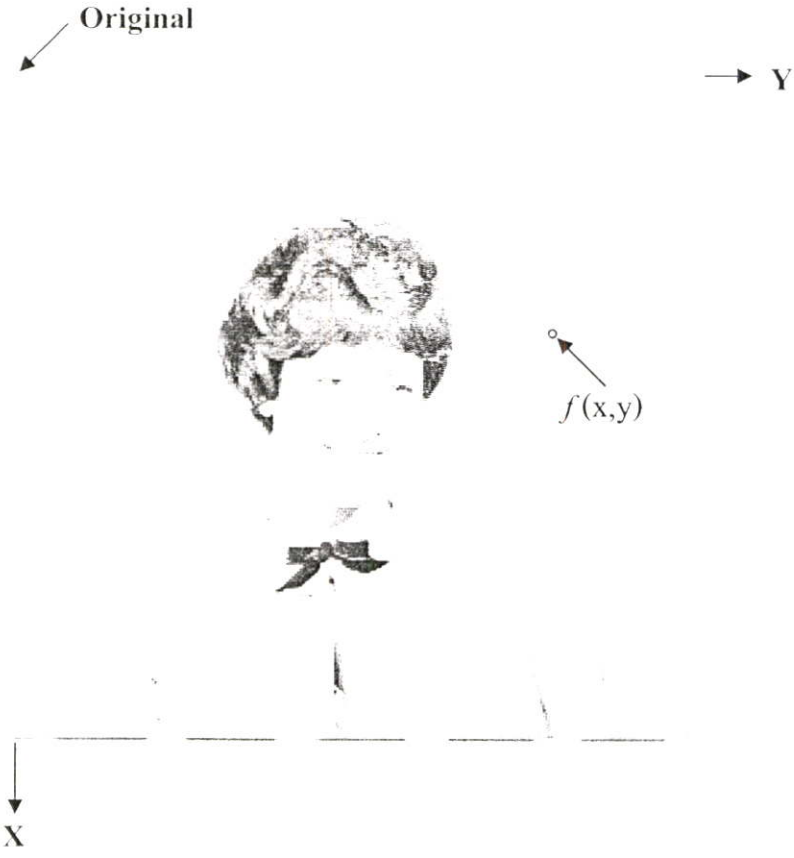
2.2 การแสดงภาพดิจิตอล รูปแบบข้อมูล และฮีสโตแกรมของภาพ

2.2.1 การแสดงภาพดิจิตอล (Digital image representation)

ภาพขาวดำที่เป็นข้อมูลดิจิตอลนี้ มักจะถูกแทนด้วยฟังก์ชันสองมิติที่เขียนอยู่ในรูป $f(x, y)$ โดย (x, y) จะเป็นตำแหน่งหรือพิกัด(Coordinate)ทางสปาเชียล ส่วนค่าของฟังก์ชันจะเป็นระดับของความสว่าง ณ. จุดภาพดังกล่าว ซึ่งบางครั้งเรียกว่าค่าระดับสีเทา (Brightness or Gray level) ในแต่ละภาพจะมีจำนวนระดับสีเทากี่ระดับก็จะขึ้นกับจำนวนบิต (Bit) ที่นำมาเข้ารหัสว่ามีกี่บิต ในบางครั้งถ้ากำหนดให้ค่าของฟังก์ชันหรือค่าระดับสีเทาอยู่ในแกน Z ก็จะสามารถพล็อต (Plot) ข้อมูลภาพดิจิตอลเป็นรูปสามมิติได้ แต่การมองภาพเป็นการมองในแนวตั้งฉาก ดังนั้นค่าความสูงของระดับสีเทาในแกน Z จึงถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นความขาวดำของจุดภาพในรูปสองมิติแทน ดังแสดงในรูป 2.1 ถ้าหากจุดภาพที่อยู่ชิดติดกันมีความแตกต่างของระดับสีเทาสูงก็จะเกิดเป็นขอบของวัตถุในภาพขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพ

ต่างๆนี้เองจะทำให้ผู้มองสามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพหรือสามารถจำแนก (Classify) วัตถุต่างๆในภาพได้

เนื่องจากตำแหน่งพิกัด (x, y) จะเป็นเลขจำนวนเต็มหน่วย (Integer) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งพิกัดจึงเป็นจุดภาพที่เรียกกันว่าพิกเซล (Picture Element หรือ Pixel) โดยขนาดของภาพขึ้นอยู่กับค่า x และ y ที่จะแบ่งไป ตัวอย่างเช่นดังรูปที่2.1 ซึ่งเป็นภาพขนาด 512x512 จุดภาพและค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพจะถูกเข้ารหัสไว้ 8 บิต จะได้ความแตกต่างของความสว่างหรือระดับสีเทาเป็น 256 ระดับ และจุดมุมบนซ้ายของภาพจะเป็นจุดออริจิน(Origin) ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นพิกัดของภาพคือ (0,0)



รูปที่ 2.1 ภาพดิจิตอลแบบขาวดำหรือโมโนโครม

2.2.2 รูปแบบข้อมูลภาพ

ฟังก์ชันของข้อมูลภาพจะหมายถึงฟังก์ชันค่าความสว่างของแสงในสองมิติ ซึ่งอธิบายโดยค่า $f(x, y)$ เมื่อค่าหรือแอมพลิจูดของ f ที่พิกัด (x,y) จะเป็นค่าความเข้มหรือค่าความสว่างของภาพที่ตำแหน่งนั้น โดย $f(x, y)$ เป็นรูปแบบของพลังงานที่ต้องไม่เป็นศูนย์ถึงอินฟินิตี้ ดังสมการ

$$0 < f(x,y) < \infty \tag{2.1}$$

ภาพที่ปรากฏแก่สายตามนุษย์จะเกิดมาจากการสะท้อนของแสงจากวัตถุ โดยธรรมชาติของฟังก์ชัน $f(x,y)$ จะเป็นลักษณะที่ประกอบด้วยสององค์ประกอบคือ องค์ประกอบแรกคือจำนวนแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบนฉากจนเกิดเป็นรูปภาพขึ้น องค์ประกอบที่สองคือ ปริมาณแสงที่สะท้อนโดยวัตถุในฉาก ซึ่งสามารถอธิบายโดยองค์ประกอบการให้แสงสว่าง(Illumination Component) และการสะท้อนแสง (Reflectance Component) แทนด้วย i(x,y) และ r(x,y) ตามลำดับ ซึ่งฟังก์ชัน i(x,y)และ r(x,y) ร่วมกันสร้างค่า $f(x,y)$ ดังสมการ

$$f(x,y) = \text{i(x,y)r(x,y)} \tag{2.2}$$

เมื่อ

$$0 < i(x,y) < \infty \tag{2.3}$$

และ

$$0 < r(x,y) < 1 \tag{2.4}$$

สมการ(2.4) แสดงได้ว่าค่าการสะท้อนแสงจะผ่านอยู่ในย่าน 0 คือเกิดการดูดกลืนแสงหมด(Total Absorption) ถึงค่า1คือเกิดการสะท้อนแสงหมด (Total reflectance) ธรรมชาติของ $i(x,y)$ จะถูกพิจารณาโดยแหล่งกำเนิดแสง และ $r(x,y)$ จะถูกพิจารณาโดยลักษณะของวัตถุที่จะสะท้อน

ค่าความสว่างของภาพโมโนโครมของ f ที่พิกัด (x,y) ก็คือระดับสีเทา(l) ของภาพที่จุดนั้น จากสมการ(2.2)ถึง(2.4)จะให้ค่า l จะอยู่ในย่านดังสมการ

$$L_{\min} \le l \le L_{\max} \tag{2.5}$$

ตามทฤษฎีแล้วต้องการค่า $L_{\min}$ ที่เป็นค่าบวก และค่า $L_{\max}$ จะต้องมีค่าจำกัด ในทางปฏิบัติ $L_{\min} = r_{\min} i_{\min}$ และ $L_{\max} = r_{\max} i_{\max}$ โดยใช้ค่าการให้แสงสว่าง และค่าการสะท้อนแสง โดยรูปภาพที่นำมาประยุกต์ใช้งานจะมีค่า $L_{\min}$ ประมาณ 0.005 และ $L_{\max}$ ประมาณ 100 ค่าระหว่าง $[L_{\min}, L_{\max}]$ จะเป็นค่าระดับสีเทา ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเลื่อนไปใช้ค่าระหว่าง $[0, L-1]$ เมื่อค่า $l = 0$ จะเป็นค่าระดับสีดำ และ l = L-1 เป็นค่าระดับสีขาว ค่าระหว่าง$[0, L-1]$ จะเป็นค่าระดับสีเทาที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจากระดับสีดำไปยังสีขาว ซึ่งรูปภาพโมโนโครม

โดยทั่วไปมักจะแทนข้อมูลด้วย 8 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งจะประกอบด้วยระดับสีเทา 256 ระดับ(L) หรือค่าระดับสีเทาจะแปรจากระดับ 0 ถึง255

จากความเหมาะสมกับกรรมวิธีทางคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันรูปภาพ $f(x, y)$ จะต้องมีการดิจิไตน์ทั้งทางสปาเชียล และทางแอมพลิจูด การดิจิไตน์ทางพิกัดทางสปาเชียล(x,y) เรียกว่าการแซมปิ้งภาพ(Image sampling) และการดิจิไตน์ทางแอมพริจูดเรียกว่าการควอนไตน์ระดับเทา(Gray-Level Quantization)

สมมุติว่าฟังก์ชันรูปภาพที่ต่อเนื่องกันถูกแบ่งเป็นแซมเปิ้ลที่จัดเรียงโดยมีช่องห่างระหว่างกันเป็นระยะเท่าๆกัน ในรูปแบบอาเรย์ NxM ดังแสดงในสมการ (2.6) เมื่อสมาชิกแต่ละตัวในอาเรย์เป็นปริมาณดีสครีต

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \qquad (2.6)$$

จากทางด้านขวามือของทางสมการ(2.6) จะแสดงรูปทั่วๆ ไป ของภาพดิจิตอล แต่ละสมาชิกของอาเรย์จะหมายถึงจุดภาพของภาพ

ในการอธิบายในเรื่องการแซมปิ้ง และการควอนไตน์เซชั่น ให้ Z เป็นเซตของจำนวนเต็ม และ R เป็นเซตของจำนวนจริง กรรมวิธีในการแซมปิ้งอาจมองระนาบ xy เป็นตาราง โดยพิกัดตรงกลางของตารางจะเป็นหน่วยย่อยในระบบคาร์ที่เซียน Z x Z (หรือเขียนเป็น Z^2) ซึ่งจะเป็นเซตของหน่วย (a,b) เมื่อ a และ b เป็นจำนวนเต็มจาก Z ดังนั้น $f(x, y)$ เป็นรูปภาพดิจิตอล ถ้า (x,y) เป็นจำนวนเต็มจาก Z x Z และถ้า f เป็นฟังก์ชันของค่าระดับสีเทา (ค่าจำนวนจริงในR) ที่ พิกัดตำแหน่ง (x,y) ถ้าระดับสีเทาเป็นจำนวนเต็มจึงมีการแทนค่า R ด้วยค่า Z และภาพดิจิตอลเป็นฟังก์ชันสองมิติ (2-D) ซึ่งมีค่าพิกัด และค่าระดับสีเทาเป็นจำนวนเต็ม

กรรมวิธีทางดิจิตอลจะมีการพิจารณาค่า N,M เป็นจำนวนจุดภาพในลักษณะดิสครีต และ G เป็นระดับสีเทา โดยทั่วไปกรรมวิธีทางดิจิตอล รูปภาพจะมีค่าต่างๆ เท่ากับจำนวนเต็มยกกำลังสอง กล่าวคือ

$$N = 2^n, \quad M = 2^k \qquad (2.7)$$

เมื่อ n และ k เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ และ

$$G = 2^m \qquad (2.8)$$

เมื่อ G เป็นจำนวนระดับสีเทาที่เป็นค่าดีสครีตที่มีค่าห่างเป็นระยะเท่าๆ กันระหว่างค่า 0 ถึง L หรือ L-1 เป็นระดับสีเทา จากการใช้สมการ (2.7) และ (2.8) มาใช้พิจารณาจำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บรูปภาพจากการดิจิไตน์ เมื่อ b คือจำนวนบิตทั้งหมดในหนึ่งภาพ

$$b = N \times M \times m \tag{2.9}$$

โดยปกติภาพมักจะถูกกำหนดให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกล่าวคือ $M = N$ ทำให้

$$b = N^2 m \tag{2.10}$$

จากตัวอย่างเช่น รูปภาพขนาด 128x128 ที่มีค่าระดับสีเทา 64 ระดับ การเก็บภาพดิจิตอลนี้ต้องการหน่วยความจำในการเก็บ 98,304 จากตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงค่า b จากสมการ(2.10) ที่มีค่า N และ m ต่างๆ กัน และจากตารางที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บรูปภาพเป็นไบต์ โดยที่ข้อมูลข้างหนึ่งไบต์ จะมีข้อมูลขนาด 8 บิต

ตารางที่2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆ กัน

N \ m	1	2	3	4	5	6	7	8
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1,024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608

ตารางที่2.2 แสดงขนาดหน่วยความจำเป็นไบต์ (8บิต) ที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆกัน

N \ m	1	2	3	4	5	6	7	8
32	128	256	512	512	1,024	1,024	1,024	1,024
64	512	1,024	2,048	2,048	4,096	4,096	4,096	4,096
128	2,048	4,096	8,192	8,192	16,384	16,384	16,384	16,384
256	8,912	16,384	32,768	32,768	65,536	65,536	65,536	65,536
512	32,768	65,536	131,072	131,072	262,144	262,144	262,144	262,144
1,024	131,072	262,144	393,216	524,288	655,360	786,432	917,504	1,048,576

ค่ารีโซลูชั่น(Resolution) คือระดับของการมองเห็นรายละเอียดภาพได้ จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ N และ อย่างมาก ถ้าค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น อาเรย์ที่ได้จากการดิจิไตน์จะมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากขึ้น จะส่งผลต่อหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บภาพที่ต้องเพิ่มขึ้น และความเร็วในการจัดเก็บข้อมูลก็ต้องสูงตาม (A/D ที่ใช้และ RAM ต้องทำงานที่ความเร็วสูง)

รูปภาพที่มีขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก ดังนั้นการพิจารณาค่า N และ m ซึ่งรูปภาพที่ดีไม่สามารถระบุลงไปได้อย่างชัดเจนได้ เพราะว่าคุณภาพของรูปภาพไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปภาพเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้งานด้วย คุณภาพของงานดิจิตอลจะลดลงเมื่อค่ารีโซลูชั่นทางสปาเชียล และค่าระดับสีเทาของการควอนไตน์เซชั่นลดลง

จากรูปที่2.2(a) แสดงรูปดอกกุหลาบ ที่มีสีเทา 256 ระดับขนาด 1024x 1024 และรูปที่ 2.2(b) - 2.2(f) แสดงรูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชั่นจาก N = 512, 256, 128, 64 และ 32 ตามลำดับ ซึ่งทุกรูปจะมีค่าระดับสีเทามากที่สุด คือ 256 โดยใช้พื้นที่ในการแสดงภาพแต่ละภาพด้วยขนาดเท่ากัน (1024x1024) จุดภาพ จุดภาพของภาพที่มีค่ารีโซลูชั่นต่ำจะมีการวางซ้ำกันในการแสดงภาพ เปรียบเทียบภาพในรูปที่ 2.2(a) กับรูปขนาด 512x512 ในรูปที่ 2.2(b) ถ้าเปรียบเทียบสองรูปนี้แล้ว จะมองเห็นความหยาบของภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และความคมชัดของภาพขนาด 512x512 จะลดลงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วรายละเอียดของภาพในส่วนนี้จะหายไปเมื่อผ่านกรรมวิธีการพิมพ์ และยากต่อการมองเห็นในภาพที่พิมพ์ จากการลดรีโซลูชั่น ให้ต่ำลงเป็นภาพขนาด 128x128 จะเริ่มมีรอยยักชัดเจนมากขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูลภาพลดลง โดยเฉพาะถ้าขนาดภาพเหลือเพียง 32x32 จุดภาพจะมองไม่ออกว่าเป็นรูปอะไร

ส่วนรูปที่ 2.3 แสดงผลการลดจำนวนบิตที่ใช้ในการแสดงค่าระดับสีเทาของภาพ ในรูปที่ 2.3(a) แสดงภาพขนาด 1024x 1024 ใช้ข้อมูล 8 บิตในการพิจารณา 2.3(b) - 2.3(f) แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการลดจำนวนบิต (m) ที่ใช้ในการแสดงค่าระดับสีเทา จากค่า m = 7 ถึงค่า m = 1 โดยค่ารีโซลูชั่นทางสปาเชียลคงที่ คือค่า 1024x 1024 โดยภาพที่ค่าระดับสีเทา 256, 128, และ64 ระดับ ยังสามารถให้ลักษณะเฉพาะของรูปภาพตามการมองเห็นได้ ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทา 16 ระดับ หรือน้อยกว่า จะไม่เพียงพอต่อการแสดงภาพดิจิตอลในบริเวณที่มีระดับสีใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดการแสดงการเกิดของสีเทียมในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน (False Contouring) ดังแสดงดังรูปที่ 2.3(g) – 2.3(h) อย่างชัดเจน

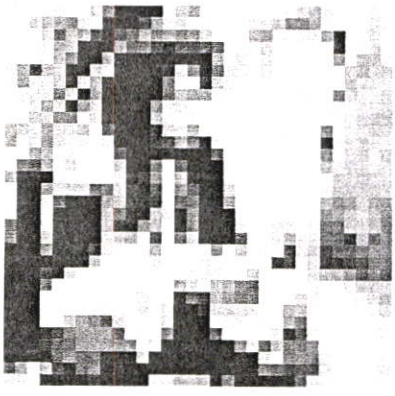
(a) 1024x1024 จุดภาพ

(b) 512x512 จุดภาพ

(c) 256x256 จุดภาพ

(d) 128x128 จุดภาพ

(e) 64x64 จุดภาพ



(f) 32x32 จุดภาพ

รูปที่2.2 รูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชั่นทางสเปเชียล

(a) 256 ระดับ

(b) 128 ระดับ

(c) 64 ระดับ

(d) 32 ระดับ

(e) 16 ระดับ

(f) 8 ระดับ

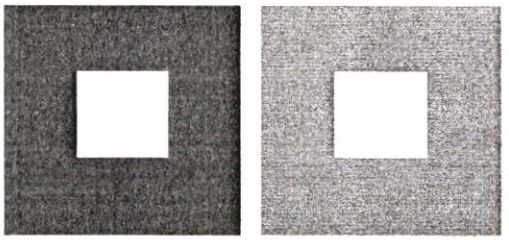
รูปที่ 2.3 รูปภาพขนาด1024 x 1024 ที่แสดงด้วยจำนวนระดับสีเทาต่างๆ

(g) 4 ระดับ

(h) 2 ระดับ

รูปที่ 2.3 (ต่อ)

การมองเห็นค่าความสว่างของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพ (Contrast) ที่มีการเปลี่ยนความคมชัดอย่างเฉียบพลันเมื่ออยู่บริเวณที่ต่างกัน ซึ่งค่าความสว่างที่มองเห็นไม่ได้ขึ้นกับค่าความเข้มแสงของบริเวณภาพส่วนนั้นเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่2.4 พื้นที่สี่เหลี่ยมตรงกลางที่มีค่าความเข้มเท่ากัน แต่ถูกล้อมรอบด้วยสี่เหลี่ยมที่ใหญ่กว่าซึ่งมีค่าความเข้มต่างกัน ดังนั้นภาพที่มองเห็นบริเวณสี่เหลี่ยมตรงกลางจะเห็นมืดกว่าเมื่อบริเวณสี่เหลี่ยมรอบนอกมีความสว่างกว่า

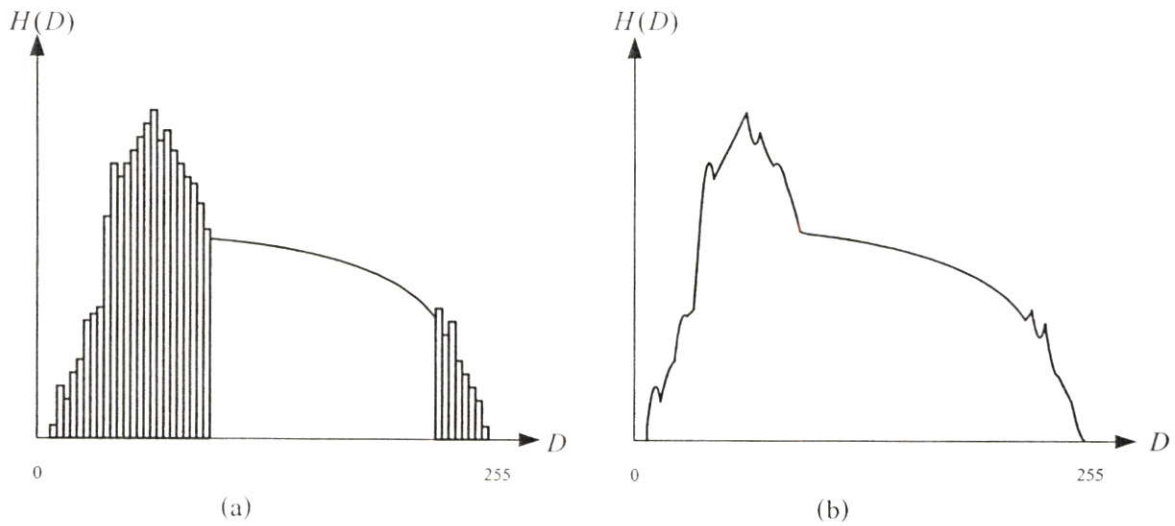


รูปที่2.4 ตัวอย่างการเปลี่ยนค่าคมชัดอย่างเฉียบพลันเมื่อสี่เหลี่ยมเล็กตรงกลางซึ่งมีค่าความเข้มเท่ากัน แต่จะเห็นสี่เหลี่ยมเล็กดำขึ้นเมื่อบริเวณสี่เหลี่ยมรอบนอกมีความสว่างกว่า

2.2.3 ฮีสโตแกรมของรูปภาพ

จากภาพขาวดำหรือภาพระดับสีเทาที่ถูกเข้ารหัสไว้ 8 บิตต่อจุดภาพ ดังนั้นแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 จากการเก็บข้อมูลจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับสีเทาที่ปรากฏในภาพนั้น จะได้กราฟแท่งความถี่ของแต่ละระดับสีเทาทั้ง 256 ระดับ ซึ่งกราฟแท่งนี้จะถูกเรียกว่าฮีสโตแกรมของภาพ ความสูงของกราฟแท่งในบางครั้งจะแสดงเป็นจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับสีเทา ถ้าแต่ละแท่งของกราฟในฮีสโตแกรมคือ H (D_i) โดย D_i เป็นค่าระดับสีเทาที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ($0 \le D_i \le 255$) ตัวอย่างของกราฟแท่งหรือฮีสโตแกรมแสดงได้ดังรูปที่2.5 (a) โดยการพล็อตอาจจะทำในรูปของกราฟต่อเนื่องก็ได้อย่างเช่นในรูปที่2.5 (b) ถ้าหาก $H(D_i)$ เป็นจำนวนจุดภาพที่ระดับสีเทา D_i ดังนั้น จำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพดังกล่าวคือ N ซึ่งจะได้จาก

$$N = \sum_{i=0}^{255} H(D_i) \tag{2.11}$$



รูปที่2.5 ฮีสโตแกรมของรูปภาพ (a) รูปแบบดีสครีต (b) รูปแบบต่อเนื่อง

ในกรณีของภาพสีวิธีหนึ่งที่อาจนำมาใช้คือฮีสโตแกรมสามมิติ H (D_{R_i} , D_{B_i} , D_{G_i}) โดยที่ D_{R_i} จะเป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีแดงและ D_{B_i} เป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีน้ำเงิน และ D_{G_i} จะเป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีเขียว หรืออาจจะเป็นฮีสโตแกรมหนึ่งมิติจำนวนสามชุดโดยแยกเป็นแต่ละสีอย่างอิสระ ซึ่งเขียนอยู่ในรูป $H(D_{R_i})$, $H(D_{B_i})$ และ $H(D_{G_i})$ ฟังก์ชันของฮีสโตแกรมหนึ่งมิติสามชุดนี้นำไปใช้งานจะทำได้ง่ายกว่า ดังนั้นในหนังสือเล่มนี้จะพูดนี้เฉพาะฮีสโตแกรมหนึ่งมิติเท่านั้น

เมื่อพิจารณาจากภาพโมโนโครมหรือภาพขาวดำ เมื่อค่าระดับสีเทาที่กำหนดไว้ ณ. ระดับที่ D ที่ปรากฏอยู่ภาพใน เคริฟวงปิด (Closed Curve) ถ้า A (D) เป็นพื้นที่ที่ปิดล้อม ค่า D เป็นพื้นที่ปิดล้อมค่า D จะได้ว่า

$$H(D) = \lim_{\Delta D \to 0} \frac{A(D) - A(D + \Delta D)}{\Delta D} = \frac{-dA}{dD} \qquad (2.12)$$

โดย D เป็นค่าคงที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยจุดภาพต่างๆ ที่มีค่าระดับสีเทามากกว่าหรือเท่ากับ D ดังนั้น

$$A(D) = \int_{D}^{\infty} H(D')dD' \qquad (2.13)$$

และถ้า $A_1 = \int_{0}^{\infty} H(D')dD'$ เป็นพื้นที่ของทั้งภาพ มีบ่อยครั้งที่ใช้ฮีสโตแกรมเป็นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density) ดังนั้นการนอมอลไลน์พื้นที่ของภาพให้เป็นหนึ่ง ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของจุดภาพในระดับสีเทา D คือ

$$P(D) = H(D) / A_1 \qquad (2.14)$$

ตัวอย่างของฮีสโตแกรมหนึ่งมิติ และสองมิติดังนี้

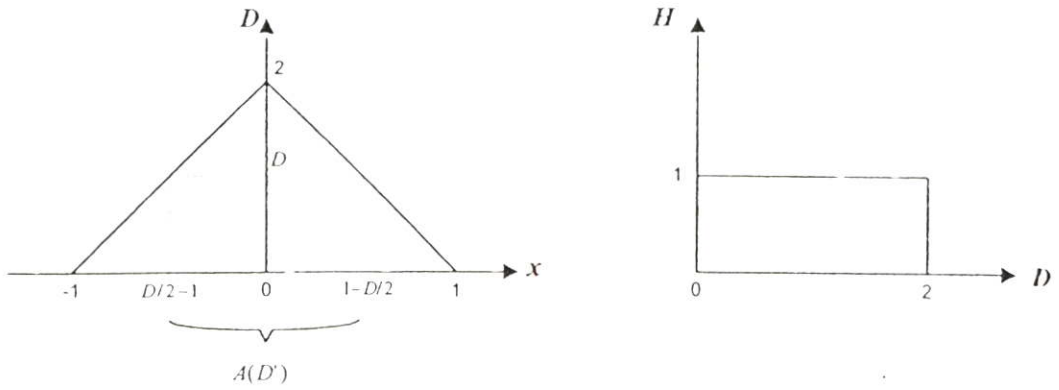
กรณีพัลส์หนึ่งมิติ

$$D(x) = \begin{cases} 2\text{-}2x & 0 \le x \le 1 \\ 2\text{+}2x & -1 \le x \le 0 \end{cases} \qquad (2.15)$$

ที่ค่าระดับสีเทามากกว่าหรือเท่ากับระดับสีเทา D จะให้พื้นที่เป็น 2 – D โดยที่

$$H(D) = \frac{-da}{dD} = 1 \qquad (2.16)$$

จากผลที่ได้แสดงเป็นฮีสโตแกรมในรูปที่ 2.6(b)



(a) (b)

รูปที่2.6 รูปภาพหนึ่งมิติอย่างง่าย (a) รูปภาพในลักษณะสามเหลี่ยม (b) ฮีสโตแกรมของภาพ (a)

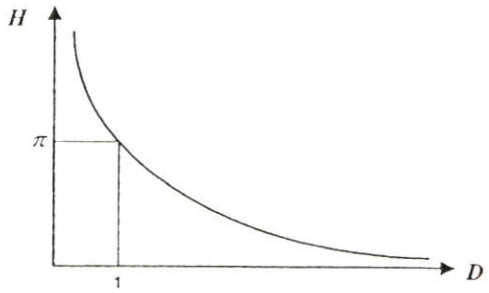
กรณีพัลส์แบบเกาเซียน (Gaussian) สองมิติ เมื่อ $D(r,\theta) = \exp(-r^2)$ โดย $0 \le r \le a$ และ $0 \le \theta \le 2\pi$ ระดับค่าคงที่ D จะเป็นวงกลมที่มีรัศมี $r(D) = \sqrt{-\ln D}$ พื้นที่ภายในวงล้อมปิดของวงกลม คือ

$$A(D) = \pi(r(D))^2 s = -\pi \ln D \qquad (2.16)$$

ดังนั้น

$$H(D) = \pi / D \qquad (2.17)$$

ดังแสดงในรูปที่2.7



รูปที่2.7 ฮีสโตแกรมสำหรับเกาเซียนพัลส์

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีการดำเนินการอย่างง่ายที่สุดในการกระทำบน ฮีสโตแกรมคือ การใช้การแปลงแบบจุด (Point Transformation) ถ้าหากภาพสองภาพคือ A(x,y) และ B(x,y) โดยภาพ B ได้รับจากการแปลงแบบจุดที่กระทำบนภาพ A โดยการแปลงดังกล่าวเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชัน f ดังนั้น

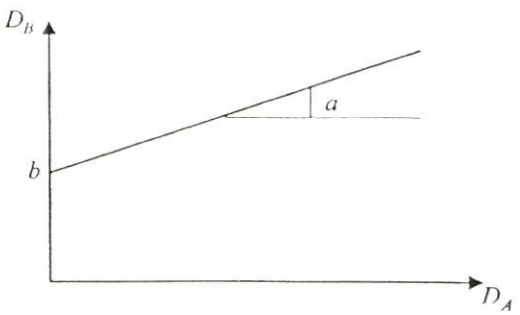
$$B(x,y) = f(A(x,y)) \tag{2.18}$$

แต่ละจุดภาพจะถูกแปลงอย่างอิสระไม่เกี่ยวพันธ์กับจุดภาพอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้า f มีค่าเท่าๆ กัน บนทุกจุดภาพของภาพ A ที่มีค่าระดับสีเทาเหมือนกัน ดังนั้นจากสมการ (2.18) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$D_B = f(D_A) \tag{2.19}$$

เมื่อ D_A เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพใดๆ ในภาพ A และ D_B เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่สอดคล้องในภาพ B ตัวอย่างถ้า f เป็นเชิงเส้น จะได้ว่า

$$D_B = f(D_A) = aD_A + b \tag{2.20}$$



รูปที่ 2.8 การกระทำแบบเชิงเส้น

ฟังก์ชันเชิงเส้นของการแปลงแบบจุดจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในการแปรค่า a และ b นั้น ถ้าหากว่า $a > 1$ จะได้ค่าความแตกต่างภายในภาพหลังการแปลงจะสูงขึ้น แต่ถ้า $a < 0$

74421

จะได้ภาพในลักษณะกลับกัน กล่าวคือ จากบริเวณสีขาวจะกลับเปลี่ยนสีดำ และบริเวณสีดำจะกลับเป็นสีขาว ส่วนค่า b นั้น จะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าความสว่างของภาพ (Brightness) ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง

ในระบบการประมวลภาพข้อมูลรหัสตัวเลข จากรูปดิจิตอล ที่ระดับสีเทาย่าน [0, L-1] เป็นฟังก์ชันดีสครีต จะมีค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาเป็น

$$P_r(r_k) = n_k / n \quad \text{เมื่อ} \quad 0 \le r_k \le 1$$

$$\text{และ} \quad k = 0,1,2,\ldots\ldots,L-1$$

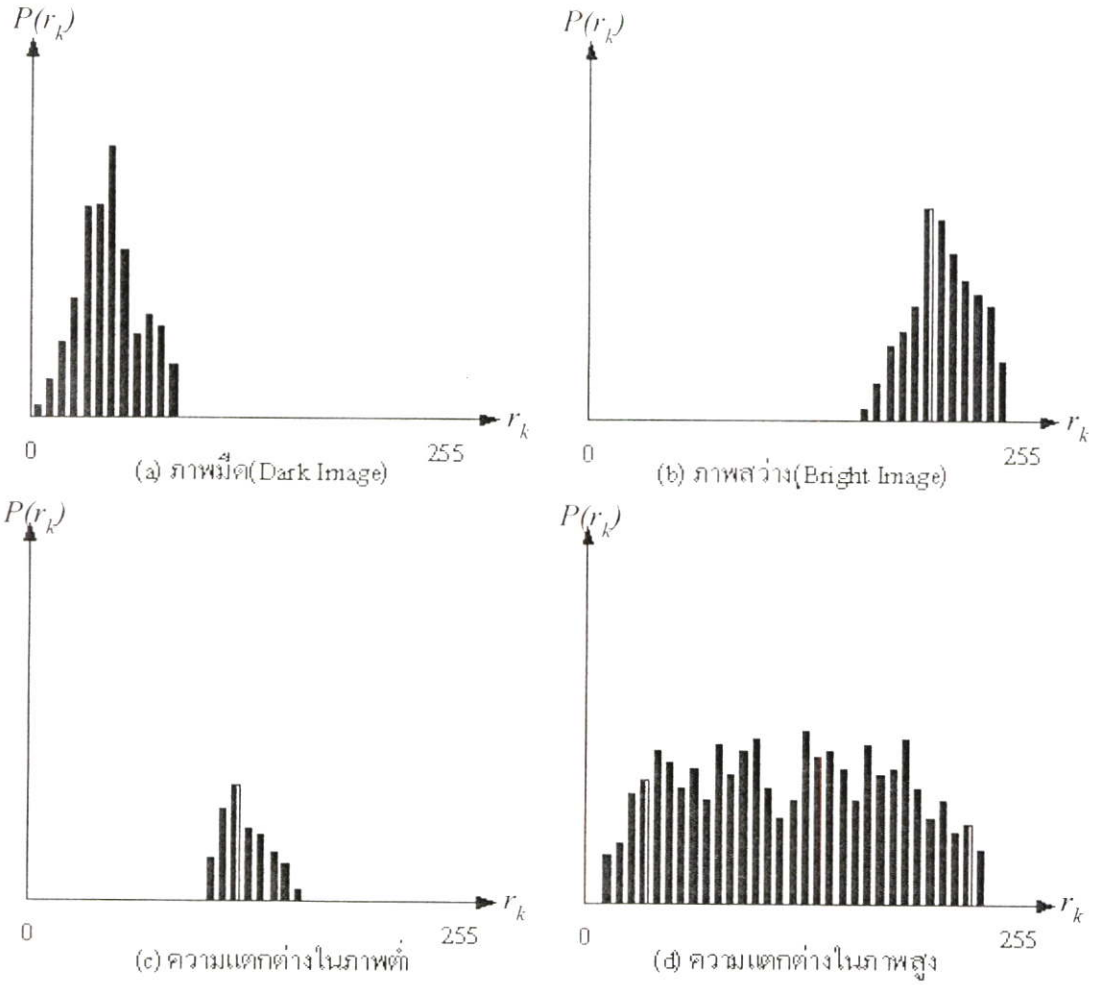
L คือ จำนวนระดับสีเทาของภาพ

$P_r(r_k)$ คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพที่ระดับสีเทา r_k

n_k คือ จำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาลำดับที่ k

และ n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

กราฟที่ได้จากการพล็อตของ $P_r(r_k)$ กับ r_k ซึ่งเป็นฮีสโตแกรมนั่นเอง ความสัมพันธ์ที่ได้จาก $P_r(r_k)$ ที่เกิดในทุกค่าของระดับสีเทา r_k โดยความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเป็นแกนแนวตั้ง และค่าระดับสีเทาเป็นแกนแนวนอน จากตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.9 แสดงฮีสโตแกรม ของรูปภาพทั้งสี่แบบ โดยรูปที่ 2.9 (a) แสดงฮีสโตแกรมของภาพที่มีลักษณะค่อนข้างมืดเพราะ จุดภาพส่วนใหญ่มีระดับสีเทาต่ำ รูปที่ 2.9(b) แสดงฮีสโตแกรมในเกิดในด้านลักษณะสีเทาค่อนข้างสว่าง ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับรูป2.9(a) รูปที่2.9(c)แสดงรูปร่าง ฮีสโตแกรมที่ให้ความละเอียดของภาพต่ำ เนื่องจากการเกิดฮีสโตแกรม มีการรวมกันอยู่ในย่านแคบๆ จะแสดงถึงภาพมีความคมชัดต่ำ (Low Contrast) ระดับสีเทาของรูปภาพ จะอยู่ในย่านตรงกลาง รูปที่ 2.9(d) แสดงรูปร่างฮีสโตแกรมที่มีการกระจายทั่วย่านระดับสีเทา โดยปราศจากแท่งฮีสโตแกรมที่มีความสูงกระจุกอยู่ในย่านระดับสีดำหรือสีขาว ซึ่งภาพที่มีลักษณะฮีสโตแกรมแบบนี้มักเป็นภาพที่มีคุณสมบัติที่ดี ช่วยทำให้เกิดความแตกต่างของรายละเอียดภาพสูง แสดงถึงภาพมีความคมชัดสูง (High Contrast)



รูปที่ 2.9 แสดงฮีสโตแกรมแบบต่างๆ

รูปร่างของฮีสโตแกรมจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างมากในการปรับปรุงภาพโดยปรับความคมชัด ต่อไปจะเป็นวิธีการนำฮีสโตแกรมมาใช้ในการปรับปรุงภาพ

ภาพโดยมากมักจะมีความคมชัดต่ำ กล่าวคือ ภาพมีระดับสีเทาของจุดภาพใกล้เคียงกันตลอดทั้งภาพ โดยเฉพาะภาพถ่ายดาวเทียม ถ้ามองจากฮีสโตแกรมของภาพจะพบว่าการกระจายของระดับสีเทาของจุดภาพจะรวมกันอยู่เป็นกระจุกแคบๆ ทำให้ภาพที่ได้จะมองไม่เห็นรายละเอียดของภาพ ในการปรับความคมชัดของภาพสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายระดับสีเทาของจุดภาพ หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงฮีสโตแกรมของภาพนั่นเอง ซึ่งในการปรับความคมชัดของภาพนี้จะทำให้มองเห็นสิ่งต่างๆคมชัดกว่าที่อยู่ในภาพเดิมที่มีฮีสโตแกรมกระจุกตัว

2.3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรม

วิธีการปรับปรุงภาพประกอบด้วยเทคนิคที่มีการปรับปรุงภาพที่มองเห็น หรือการเปลี่ยนแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์โดยมนุษย์ หรือเครื่องจักรที่จะทำให้ผลที่ได้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานเฉพาะมากกว่าการใช้ภาพต้นฉบับ ในการปรับปรุงภาพจะพยายามปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการพิจารณาคุณสมบัติของภาพในอุดมคติ แต่จริง ๆ แล้ว การปรับปรุงภาพจะมีการทำลายบางส่วนของข้อมูลภาพเดิม ดังนั้นการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น (Enhancement) จะทำหลังจากการประมวลผลอื่น ๆ เสร็จสิ้นไปหมดแล้ว

วิธีการปรับปรุงภาพจะทำให้เห็นความแตกต่างของรูปภาพส่วนมืดในบริเวณภาพที่สว่าง หรือส่วนสว่างในบริเวณที่มืด การปรับปรุงอัตราส่วนความแตกต่างของภาพจะมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการให้รายละเอียดของภาพ (ความสามารถแยกแยะวัตถุที่ห่างกัน) ดังนั้นการปรับปรุงเรื่องความแตกต่างของภาพจึงเป็นจุดประสงค์หลักสำหรับการปรับปรุงภาพ

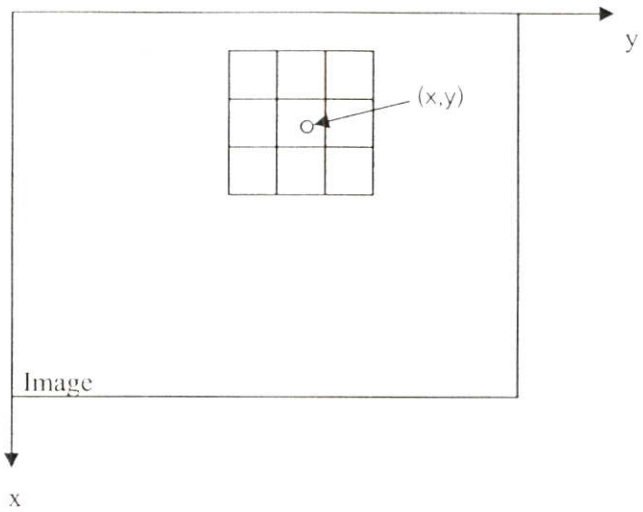
การพิจารณาการปรับปรุงภาพแบ่งได้เป็นสองประเภท คือวิธีทางสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain) และวิธีทางโดเมนความถี่ (Frequency Domain) สปาเชียลหมายถึงระนาบของรูปภาพที่รวบรวมจุดภาพเอาไว้นั้นเอง โดยจะมีการปรับปรุงในส่วนของจุดภาพโดยตรง ส่วนทางโดเมนความถี่จะต้องมีการปรับปรุงผ่านทางการแปลงฟูริเยร์ของรูปภาพ

เทคนิคการปรับปรุงภาพสามารถกระทำด้วยวิธีแบบจุดภาพ (Point Processing) ซึ่งมีการปรับปรุงที่ระดับสีเทาของจุดภาพอิสระจากจุดภาพในบริเวณใกล้เคียง หรือแบบวิธีหน้าต่างจุดภาพ (Mask Processing) หน้าต่างที่ครอบคลุมจุดภาพจะแบ่งรูปภาพเป็นรูปภาพย่อย (Subimages) ซึ่งการปรับปรุงจุดภาพจะกระทำภายในพื้นที่ที่ครอบคลุม

ฟังก์ชันของวิธีการแปลงภาพใน สเปเชียลโดเมนแสดงได้ดังสมการ

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \tag{2.21}$$

เมื่อ $f(x,y)$ เป็นภาพอินพุท g(x,y) เป็นภาพที่ผ่านกรรมวิธีทางรูปภาพ และ T เป็นการกระทำที่กระทำกับ f ซึ่งมีการกระทำกับบริเวณข้างเคียงของจุดภาพตำแหน่ง (x,y) T เป็นการกระทำบนกลุ่มจุดภาพของรูปภาพอินพุท ในภาพย่อย (Sub image)จุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) มักจะใช้เป็นกรอบหน้าต่าง โดยจุดภาพตำแหน่ง (x,y) เป็นตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นภาพจุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ขนาด 3x3



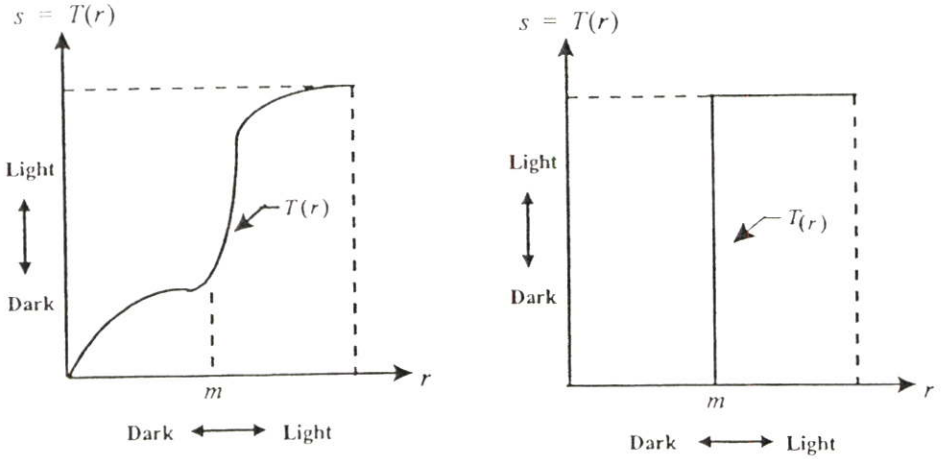
รูปที่ 2.10 จุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ขนาด 3x3

ตำแหน่งตรงกลางของภาพย่อยจะมีการเคลื่อนที่จากจุดภาพหนึ่งไปยังจุดภาพหนึ่งที่ใกล้เคียงกัน โดยเริ่มต้นจากบนซ้ายของรูปภาพ และมีการกระทำจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ให้เป็นฟังก์ชัน g รูปแบบของกรอบหน้าต่างที่ล้อมรอบ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า

รูปแบบของฟังก์ชัน T อย่างง่าย คือ เมื่อจุดภาพที่ล้อมรอบเป็น 1x1 ซึ่งในกรณีนี้ g จะขึ้นอยู่กับค่าของ f ที่ตำแหน่ง (x,y) เท่านั้น และ T จะกลายเป็นฟังก์ชันการแปลงค่าระดับสีเทา (Gray-level Transformation or mapping Function) ดังสมการ

$$S = T(r) \tag{2.22}$$

เมื่อ r และ s เป็นค่าระดับสีเทาของฟังก์ชัน $f(x,y)$ และ g (x,y) ที่ตำแหน่ง (x,y) ตามลำดับ สำหรับตัวอย่าง ถ้า T(r) มีรูปแสดงดังในรูปที่ 2.11 (a) ผลจากการแปลงด้วยกรรมวิธีทางรูปภาพนี้ จะมีความคมชัดสูงกว่าภาพต้นฉบับโดยในภาพต้นฉบับระดับสีเทาที่ต่ำกว่า m จะกลายเป็นส่วนที่มืด และระดับสีเทาที่สูงกว่า m จะกลายเป็นส่วนที่สว่าง ซึ่งวิธีนี้คือการยืดความคมชัด(Contrast Stretching) ของภาพ ค่า r ที่ต่ำกว่า m จะถูกบีบโดยฟังก์ชันการแปลงให้ได้ย่าน S แคบกลายเป็นระดับสีดำ และค่า r ที่สูงกว่า m จะเป็นในทางตรงข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ผลของ T(r) จะได้เป็นรูปภาพสองระดับสีหรือ ภาพในไบนารี กรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงโดยมีการกำหนดการแปลงระดับสีเทา แล้วการปรับปรุงภาพที่จุดใดๆ ในรูปภาพ จะขึ้นอยู่กับค่าระดับสีเทาที่จุดนั้น ซึ่งเรียกว่า วิธีแบบจุดภาพ



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันการแปลงระดับสีเทาในการปรับปรุงภาพโดยการปรับความคมชัดของภาพ

จุดภาพที่ล้อมรอบมีมากขึ้น การหาค่า g ที่ตำแหน่ง (x,y) โดยหามาจากค่า f จากจุดภาพที่ล้อมรอบตำแหน่ง (x,y) ด้วย ซึ่งเรียกเป็นหน้าต่างจุดภาพ (Mark, Templates, Windows, or Filters) โดยทั่วไปแล้วหน้าต่างจะเป็นอาเรย์สองมิติขนาด 3x3 ดังแสดงในรูปที่2.10 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ในหน้าต่างจุดภาพจะพิจารณาตามกรรมวิธีในการทำงาน เช่นการปรับความคมของภาพ (Image Sharpening) เทคนิคในการปรับปรุงภาพ มักหมายถึงกรรมวิธีแบบหน้าต่างหรือ การกรอง (Mask Processing or Filtering)

จากการปรับปรุงภาพโดยกรรมวิธีแบบจุด จะมีการพิจารณาความเข้มของจุด r และ s ซึ่งเป็นค่าก่อนและหลังกรรมวิธี ตามลำดับ แบ่งเป็นวิธีต่าง ๆ เช่น การแปลงค่าความเข้มของจุดภาพอย่างง่าย(Simple Intensity Transformation) กรรมวิธีทางฮีสโตแกรม(Histogram Processing) กรรมวิธีการลบภาพ(Image Subtraction)

กรรมวิธีทางฮีสโตแกรมเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มจุดภาพที่มีระดับสีเทาเหมือนกัน ซึ่งทำได้ง่าย สะดวก สามารถแบ่งเป็นฮีสโตแกรมเชิงเส้น(Linear contrast stretching) และการปรับเท่าฮีสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งเป็นการปรับปรุงทางด้านความสว่างของภาพ เป็นหลักของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพด้วยกันทั้งคู่ แต่มีความแตกต่างกันตรงที่การยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้นจะกระจายค่าระดับสีเทาต่าง ๆ ให้ระยะของแต่ละระดับสีเทาห่างเท่าๆกัน (ค่า Floating Point) ตลอดทั้งฮีสโตแกรม ในขณะที่การปรับเท่าฮีสโตแกรมนั้นจะทำการกระจายค่าระดับสีเทาอย่างไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มี ถ้าช่วงไหนของข้อมูลมีความหนาแน่นมากจะทำการกระจายออกอย่างกว้าง แต่ถ้าช่วงไหนข้อมูลมีความหนาแน่นต่ำจะกระจายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้นทำการกระจายค่าระดับสีเทาอย่าง

สม่ำเสมอตามค่าระดับสีเทา ในขณะที่การปรับเท่าฮีสโตแกรมนั้นจะทำการกระจายปริมาณจุดภาพอย่างสม่ำเสมอตามปริมาณของจุดภาพ

ในการใช้งานนั้นบางกรณีต้องการที่จะใช้ในการปรับเลือกค่าระดับสีเทาเฉพาะบริเวณแคบๆที่สนใจมาทำการกระจายฮีสโตแกรม แต่ในบางกรณีต้องการกระจายอย่างอัตโนมัติตลอดทั้งฮีสโตแกรม ทั้งนี้การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้เป็นสำคัญ

2.3.1 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้น (Linear Contrast Stretching)

กรณีที่ข้อมูลภาพที่มีฮีสโตแกรมอยู่รวมกันในช่วงแคบๆนั้น แสดงว่าข้อมูลของภาพมีลักษณะการกระจายและความแตกต่างของข้อมูลภาพในภาพต่ำ เมื่อเป็นเช่นนี้ภาพจะเป็นภาพที่มีคุณภาพต่ำ ความแตกต่างของข้อมูลในภาพน้อย ในทางตรงข้ามถ้าฮีสโตแกรมของภาพนั้นมีการกระจายฮีสโตแกรมที่กว้างจะแสดงถึงภาพที่มีคุณภาพ ซึ่งความแตกต่างของข้อมูลในภาพมาก สำหรับวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงให้มีการกระจายฮีสโตแกรมที่กว้างขึ้น เพื่อทำให้ความแตกต่างของข้อมูลในภาพสูง ทำให้สามารถตีความหมายของภาพได้ดียิ่งขึ้นนั้น วิธีการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้นเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยการนำคุณสมบัติของสมการเชิงเส้นมาใช้ในการขยายย่านฮีสโตแกรม โดยอาศัยคุณสมบัติของสมการเชิงเส้น

จากสมการเชิงเส้น

$$y = ax + b \tag{2.23}$$

ตามคุณสมบัติของสมการเชิงเส้นถ้าความชัน a มีค่าบวกมากกว่าหนึ่งแล้ว จะทำให้เอาท์พุทที่ได้มีอัตราขยายในย่านที่กว้างขึ้นจากย่านของอินพุท และถ้า a มีค่าบวกน้อยกว่าหนึ่งจะได้เอาท์พุทที่มีย่านแคบลงจากเดิม ดังนั้นเมื่อต้องการยืดฮีสโตแกรมให้มีการขยายย่านออกไปก็ทำได้ด้วยการกำหนดค่าของ a ให้มีค่ามากกว่าหนึ่งสม่ำเสมอ

การยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น เป็นการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบเชิงเส้นโดยทำการกระจายฮีสโตแกรมใหม่ ให้กับช่วงระดับสีเทาบริเวณที่ต้องการกระจายออกไปยังบริเวณที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอคือ มีช่วงห่างของระดับสีเทาใกล้เคียงกันตลอดช่วงฮีสโตแกรม ถ้าสมมุติว่าฮีสโตแกรมของภาพเดิมมีค่าความคมชัดต่ำ โดยระดับสีเทาของจุดภาพมีลักษณะรวมกันอยู่เป็นกระจุกอยู่ระหว่างค่าระดับสีเทา x_{min} ถึง x_{max} ในการปรับปรุงฮีสโตแกรมเรากระจายกลุ่มจุดภาพให้กว้างไปอยู่ที่ y_{min} ถึง y_{max} สูตรคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแปลงค่าระดับสีเทาของภาพเดิมที่จุดใด ๆ คือ $f(x,y)$ จะถูกแปลงเป็นค่าระดับสีเทาใหม่ $g(x,y)$ ดังสมการต่อไปนี้

$$g(x,y) = \left\{ \frac{(f(x,y) - x_{\min})(y_{\max} - y_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \right\} + y_{\min} \qquad (2.24)$$

โดย

g (x,y) คือค่าระดับสีเทาของเอาท์พุต

f (x,y) คือค่าระดับสีเทาของอินพุต

$x_{\min}$ คือค่าระดับสีเทาต่ำสุดของฮีสโตแกรมเดิม

$x_{\max}$ คือค่าระดับสีเทาสูงสุดของฮีสโตแกรมเดิม

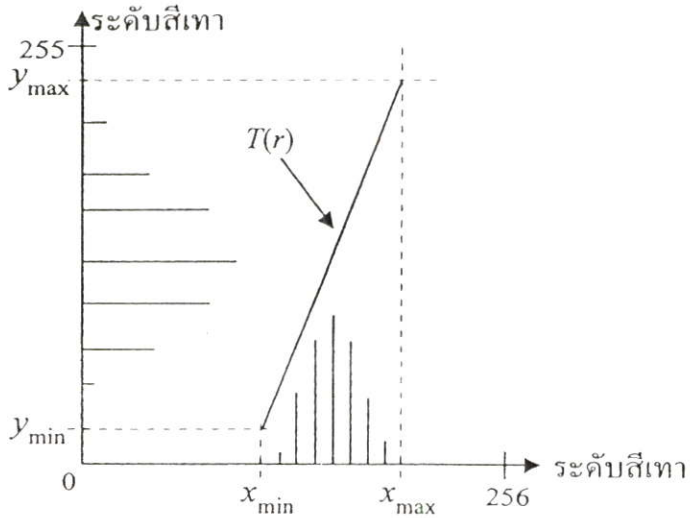
$y_{\min}$ คือค่าระดับสีเทาต่ำสุดของฮีสโตแกรมใหม่

$y_{\max}$ คือค่าระดับสีเทาสูงสุดของฮีสโตแกรมใหม่

โดย $x_{\min}$ และ $x_{\max}$ คือบริเวณในฮีสโตแกรม X ของภาพอินพุท หรือฮีสโตแกรมเดิมที่จะทำการกระจายโดย $x_{\min}$ คือค่าระดับสีเทาต่ำสุด และ $x_{\max}$ คือค่าระดับสีเทาสูงสุดจากภาพเดิม ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสม แต่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบและไม่ผิดเพี้ยนควรกำหนดค่าให้ครอบคลุมข้อมูลเดิม ทั้งหมด ส่วนค่า $y_{\min}$ และ $y_{\max}$ คือบริเวณในฮีสโตแกรมเอาท์พุท y หรือ ฮีสโตแกรมใหม่หลังการแปลงที่จะได้รับการกระจายข้อมูลภาพโดย $y_{\min}$ คือระดับสีเทาต่ำสุด และ $y_{\max}$ คือค่าระดับสีเทาสูงสุด ปกติแล้วในการกระจายของฮีสโตแกรมที่ดีควรกำหนดค่าของ $y_{\min}$ ให้มีค่าน้อยกว่า $x_{\min}$ และ $y_{\max}$ ให้มีค่ามากกว่า $x_{\max}$ คือย่านฮีสโตแกรมเอาท์พุท y กว้างกว่าฮีสโตแกรมอินพุท X คือ กล่าวคือมีการกำหนดข้อมูลใหม่ให้ครอบคลุมข้อมูลเดิม นั่นคือ อัตราส่วนของ $\frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\min} - x_{\min}}$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้ก็คือค่าความชันของสมการนั่นเอง ถ้าย่านระดับสีเทาของฮีสโตแกรมเดิมที่ต้องการจะยืด $x_{\min}$ และ $x_{\max}$ จะมีค่าใกล้เคียงกับย่านระดับสีเทาใหม่ที่ต้องการจะยืดออก $y_{\min}$ และ $y_{\max}$ นั่นคือค่า $\frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\min} - x_{\min}}$ มีค่าใกล้เคียง 1 ภาพลัพธ์จะมีการปรับความคมชัดน้อยทำให้มีลักษณะคล้ายกับภาพต้นฉบับเดิม

ลักษณะการยืดของฮีสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้นแสดงได้ดังรูปที่2.12 จากฮีสโตแกรมของภาพเอาท์พุตที่ผ่านการแปลงแล้วนั้นจะเห็นความห่างของแท่งฮีสโตแกรมมีความห่างมากขึ้น โดยช่องห่างของแท่งฮีสโตแกรมใหม่จะมีความห่างเท่าๆกันในกรณีที่เป็นค่า floating จากวิธีนี้มีการกำหนดค่าของความชันด้วย $x_{\min}$, $x_{\max}$ และ $y_{\min}$, $y_{\max}$ นั้นทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของย่านระดับสีเทาในด้านอินพุทและเอาท์พุต ตามต้องการ จากตัวอย่างดังรูปที่ 2.13 (a) แสดงถึงภาพที่ได้จากการผ่านกระบวนการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น ด้วยการกำหนดค่าของ $x_{\min}$, $x_{\max}$ และ $y_{\min}$, $y_{\max}$ ด้วยค่า 0, 90 และ 0,255 ตามลำดับ เหตุผลที่กำหนดค่า $x_{\min}$, $x_{\max}$ เช่นนี้

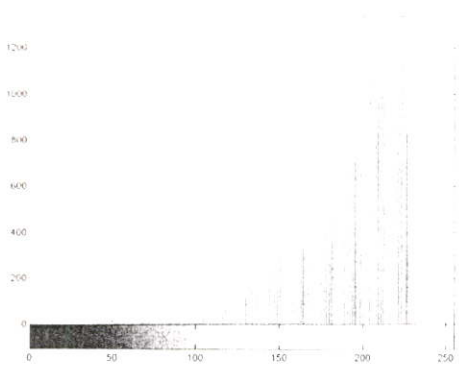
เพราะว่าภาพต้นฉบับมีการกระจายของฮีสโตแกรมในย่านดังกล่าว ส่วนการกำหนดค่าของ y_{min}, y_{max} เพื่อให้ครอบคลุมย่านสูงสุดของระดับสีเทาที่สามารถจะเป็นไปได้คือ 0 ถึง 255



รูปที่ 2.12 แสดงการยืดฮีสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้น

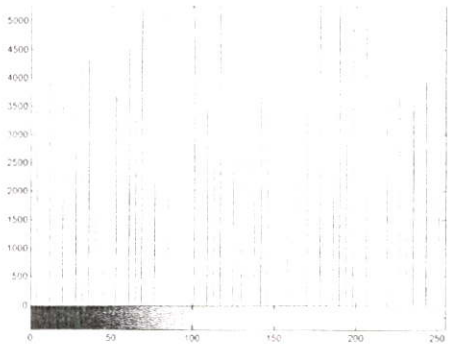
ในรูปที่ 2.13(b) แสดงฮีสโตแกรมที่ได้หลังผ่านการประมวลผลแล้ว จากฮีสโตแกรมของภาพที่ได้จะเห็นได้ว่าย่านใหม่มีการกระจายของฮีสโตแกรมเป็นไปตามความประสงค์ที่กำหนดค่าไว้ และความห่างของแท่งฮีสโตแกรมมีความห่างที่ใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ จากคุณลักษณะการกระจายแบบเชิงเส้นนี้เองทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความต่อเนื่องของระดับสีเทา และไม่สว่างจ้าหรือมืดมากเกินไป เนื่องจากข้อมูลไม่หนาแน่นบริเวณที่เป็นระดับสีขาวหรือสีดำ แต่ความแตกต่างของข้อมูลในภาพจะด้อยกว่าแบบการปรับเท่าฮีสโตแกรม

(a)



(b)

(c)



(d)

รูปที่2.13 ผลลัพธ์จากเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้น
(a) ภาพต้นฉบับ (b) ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับ
(c) ภาพที่ผ่านการยืดฮีสโตแกรม (d) ฮีสโตแกรมหลังการแปลง

2.3.2 การปรับปรุงภาพแบบการปรับเท่าฮีสโตแกรม(Histogram Equalization)

การแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) นั้นบางครั้งเรียกว่าการกระจายข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution Stretch) ซึ่งทำการกระจายฮีสโตแกรมต้นฉบับเสียใหม่โดยจะพยายามทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับสีเทาทั้งหมด การกระจายค่าตัวเลขของข้อมูลใหม่นี้ทำให้อัตราความแตกต่างของภาพสูงขึ้นเทคนิคนี้บางครั้งเรียกว่า การปรับเท่าฮีสโตแกรม ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับความชมชัดของภาพ โดยสามารถนำเอาเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆ ได้เช่นการประมวลผลภาพทางด้านการแพทย์และภาพถ่ายดาวเทียม แต่ถึงแม้ว่าเทคนิคดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูงในการปรับความคมชัดของภาพก็ตาม หากนำไปใช้กับอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิคส์เช่นทีวี จะทำให้ความสว่างของภาพเปลี่ยนไป และส่งผลให้คุณภาพที่ปรากฏลดลง [10] ทั้งนี้เนื่องจากค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับปรุงจะมีค่าใกล้ค่าเฉลี่ยของระดับสีเทาของภาพ

ขั้นตอนในการปรับเท่าฮีสโตแกรมมีดังนี้

สมมุติว่าตัวแปร r คือระดับสีเทาหรือค่าตัวเลขของข้อมูลภาพโดยถูกนอร์มอลไลน์ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หรือเขียนเป็น [0,1] โดย r = 1 คือ ค่าระดับสีขาว การพิจารณามองเป็นค่าดีสครีตที่ค่าจุดภาพอยู่ระหว่าง [0,L-1] ซึ่งมักจะเป็นค่าระดับสีเทา 0 ถึง 255 สำหรับภาพโนโมโครม 8 บิตต่อจุดภาพ จากการปรับเท่าฮีสโตแกรมต้องการแปลงการกระจายของค่าระดับสีเทาของฮีสโตแกรมต้นฉบับให้มีการกระจายจำนวนจุดภาพในแต่ละระดับสีเทาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอนั้น ก็หมายความว่า ต้องมีฟังก์ชันในการแปลง และให้ T (r) เป็นฟังก์ชันในการแปลงข้อมูลค่าระดับสีเทา r ทำให้ได้ข้อมูลใหม่ที่มีค่าเป็นระดับสีเทา S นั่นคือ

$$S = T(r) \tag{2.55}$$

จากคุณสมบัติของ T (r) คือจะเป็นฟังก์ชันค่าเดียวที่มีการเพิ่มในทิศทางเดียว โดยค่า T (r) จะอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เช่นกัน ค่า r เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพในภาพต้นฉบับ

ในการแปลงกลับจาก S ไปยัง r ก็ทำได้โดย

$$r = T^{-1}(S) \qquad 0 \leq S \langle 1 \tag{2.26}$$

และ $T^{-1}(S)$ ก็มีคุณสมบัติเหมือน T (r)

เนื่องจากค่าระดับสีเทาของภาพเป็นปริมาณที่ได้จากการสุ่ม (Random Quantities) ที่อยู่ในช่วง [0,1] ถ้าสมมุติว่าค่าระดับสีเทามีลักษณะแบบต่อเนื่อง โดยกำหนดให้ $P_r(r)$ และ $P_s(s)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพ ของข้อมูลเดิมและข้อมูลใหม่ที่ถูกแปลงไป จากทฤษฎีของความน่าจะเป็น ถ้าหากรู้ค่าของ $P_r(r)$ และ T(S) ก็จะได้

$$P_s(s) = \left[P_r(r)\left(\frac{dr}{ds}\right) \right]_{r=T^{-1}(s)} \tag{2.27}$$

เมื่อพิจารณาถึงฟังก์ชันในการแปลง

$$S = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \qquad 0 \le r \le 1 \tag{2.28}$$

ดังนั้น อนุพันธ์ของ S ที่เทียบกับ r จะได้

$$\frac{ds}{dr} = P_r(r) \tag{2.29}$$

เมื่อแทนค่าสมการ(2.29) ลงในสมการ (2.27)

$$\begin{aligned} P_s(s) &= \left[P_r(r)(1/P_r(r)\right]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= \left[1\right]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= 1 \qquad 0 \le s \le 1 \end{aligned} \tag{2.30}$$

พบว่าเมื่อผ่านการแปลงแล้วตัวแปร S จะให้การกระจายแบบสม่ำเสมอ กรณีนี้เกิดขึ้นได้เมื่อ r เป็นฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่อง(Continuous) แต่กรณีของตัวแปรแบบขาดความต่อเนื่อง(Discrete) ก็จะให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนไปได้

ในระบบการประมวลภาพข้อมูลเชิงตัวเลข ความน่าจะเป็นของระดับสีเทาจะเป็น $P_r(r_k) = n_k/n$ เมื่อ r_k คือ ค่าระดับสีเทาที่ k n_k คือจำนวนจุดภาพของค่าระดับสีเทา k n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพ $P(r_k)$ คือความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทา r_k และ k = 0,1,2,...,(L-1) ซึ่งกราฟที่ได้จากการพล็อตของ $P_r(r_k)$ กับ r_k ก็คือฮีสโตแกรมนั่นเอง สมการที่ 2.25 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} S_k &= T(r_k) \\ &= \sum_{j=0}^{k} nj/n \\ &= \sum_{j=0}^{k} P_r(r_j) \qquad \text{เมื่อ } 0 \le r_k \le 1 \text{ และ } k = 0,1,\ldots\ldots,L\text{-}1 \end{aligned} \tag{2.31}$$

และการแปลงกลับทำได้โดย

$$r_k = T^{-1}(S_k) \quad \text{เมื่อ} \quad 0 \le s_k \le 1 \tag{2.32}$$

จากค่าระดับสีเทาใหม่ที่ได้จากฟังก์ชันในการแปลง S_k จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เช่นเดียวกับ r_k ดังนั้นข้อมูลใหม่ที่ได้หลังการแปลงจะมีค่าระดับสีเทาที่สเกลใหม่อยู่ระหว่าง [0,L-1] หรือค่า 0 ถึง 255 เช่นเดียวกันกับภาพต้นฉบับ และในการพยายามทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับสีเทาทั้งหมด จะให้ผลคือค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับปรุงจะมีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของระดับสีเทาของภาพ ดังแสดงได้ดังนี้

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรแรนดอมแบบต่อเนื่อง โดยให้ $L=\infty$ ดังนั้น การปรับเท่าฮีสโตแกรม , Y ก็เป็นตัวแปรแบบแรนดอมด้วยเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าผลของการปรับเท่าฮีสโตแกรมจะได้ค่าระดับมีเทาที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

$$P(x) = \frac{1}{(X_{L-1} - X_0)} \tag{2.33}$$

สำหรับ $X_0 \le X \le X_{L-1}$ [10] ดังนั้นค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพเอาท์พุทที่ได้จากการปรับเท่าฮีสโตแกรม คือค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา

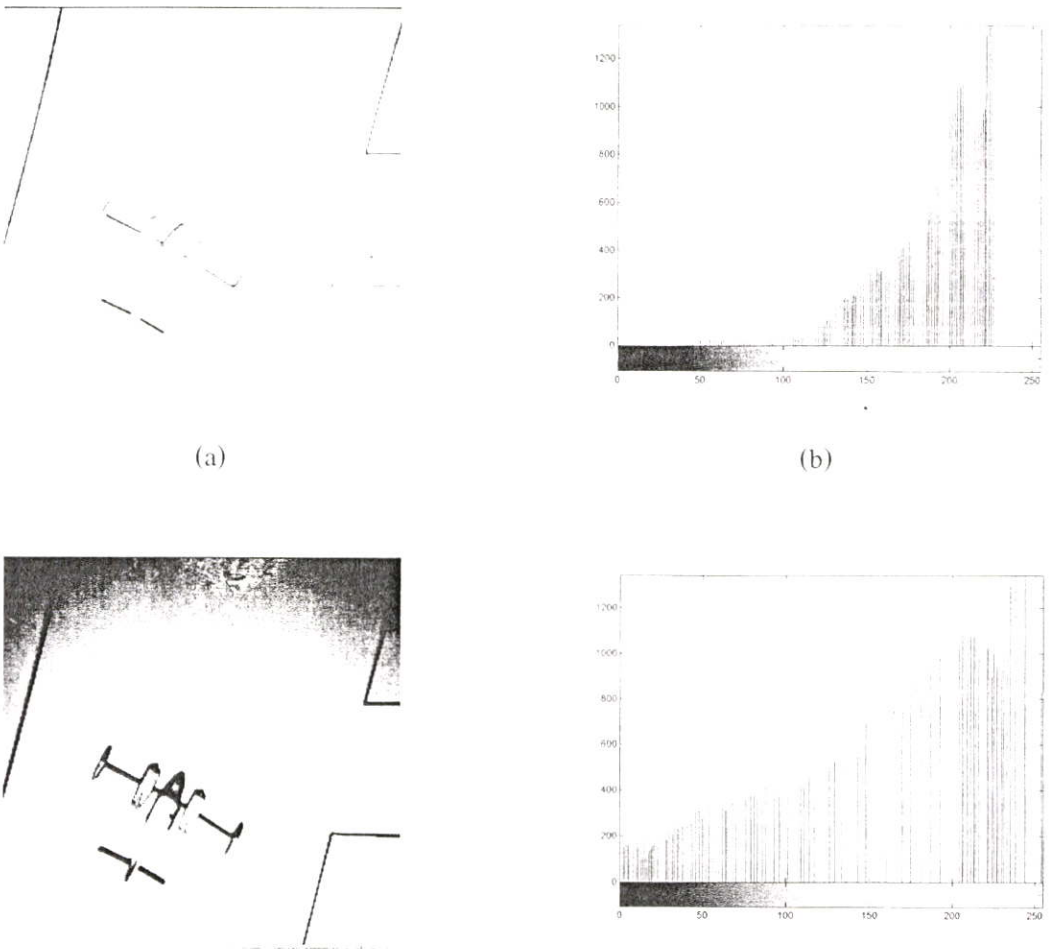
$$E(Y) = \int_{X_0}^{X_{L-1}} xp(x)dx$$

$$= \int_{X_0}^{X_{L-1}} \frac{x}{X_{L-1} - X_0} dx$$

$$= \frac{X_0 + X_{L-1}}{2} \tag{2.34}$$

เมื่อ E(Y) แสดงค่าคาดหวังทางสถิติ(Expected Value) โดยปกติแล้วเอาท์พุทของภาพที่ผ่านวิธีการปรับเท่าฮีสโตแกรม ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาเสมอ ไม่ว่าภาพอินพุทจะมืดหรือสว่างก็ตาม และเนื่องจากมีการกระจายข้อมูลตามค่าความหนาแน่นไปยังค่าระดับสีดำสุดถึงค่าระดับสีขาวที่สุด จึงมีโอกาสที่จะเกิดการจับกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าระดับสีดำและระดับสีขาวใกล้เคียงกันจำนวนมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการแยกแยะจุดภาพในบริเวณภาพที่ระดับสีเทามืดหรือสว่างใกล้เคียงกัน กล่าวคือทำให้มองไม่เห็นรายละเอียดของภาพในบริเวณนั้น

ตัวอย่าง การปรับเท่าฮีสโตแกรม นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม Airplane2.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่2.14 โดยรูปที่ 2.14(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.14(b) เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 193 รูปที่2.14(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Airplane2.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 127 และรูปที่ 2.14(d) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ



(a) (b)

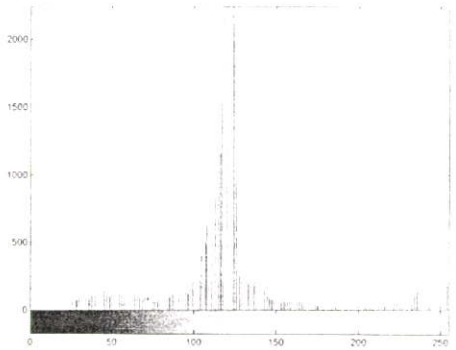
(c) (d)

รูปที่2.14 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ Airplane2.tiff ขนาด 256x256

จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพรูป Airplane2.tiff จะปรับความคมชัดขึ้น โดยจะมีความสว่างมากขึ้น เนื่องจากมีการยืดฮีสโตแกรมต้นฉบับย่าน 0 ถึง 233 เป็นระดับสีเทาค่าใหม่คือระหว่างระดับสีเทา 0 ถึง 255 มีการยืดฮีสโตแกรมไปทางด้านระดับสีขาวมากขึ้น

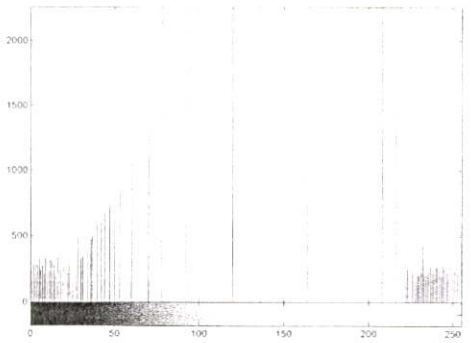
การปรับเท่าฮีสโตแกรม นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม GirlG.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่2.15 โดยรูปที่ 2.15(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.15(b)เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 119 รูปที่ 2.15(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ GirlG.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 130.46 และรูปที่ 2.15(d) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ

(a)



(b)

(c)



(d)

รูปที่ 2.15 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ GirlG.tiff ขนาด 256x256

จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพรูป GirlG.tiff จะปรับความคมชัดขึ้น โดยจะมีความสว่างมากขึ้น เนื่องจากมีการยืดฮีสโตแกรมต้นฉบับย่าน 30 ถึง 255 เป็นระดับสีเทาค่าใหม่คือระหว่างระดับสีเทา 0 ถึง 255 มีการยืดฮีสโตแกรมไปทางด้านระดับสีดำมากขึ้น เกิดการกระจุกตัวของจุดภาพทางด้านสีดำขึ้น ทำให้มองไม่เห็นรายละเอียดในบริเวณที่ภาพมืด เช่น บริเวณ ทรงผมและปกเสื้อ

2.4 บทสรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่ควรจะทราบเกี่ยวกับ การแสดงภาพดิจิตอลรูปแบบข้อมูลภาพ ความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพในรูปฮีสโตแกรม และการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรมซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น สามารถแบ่งเป็นเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีการกระจายข้อมูลฮีสโตแกรมให้ค่าระดับสีเทาใหม่มีระยะห่างสม่ำเสมอ โดยถ้าย่านระดับสีเทาที่จะยืดออกมีค่าใกล้เคียงกับย่านระดับสีเทาเดิม จะทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงในการปรับปรุงภาพน้อย และเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรม ซึ่งมีการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบไม่เชิงเส้น โดยกระจายข้อมูลฮีสโตแกรมต้นฉบับเสียใหม่ให้ความหนาแน่นของข้อมูลหรือ ปริมาณจุดภาพของแต่ละระดับสีเทาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับสีเทาทั้งหมด ดังนั้นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา และการชดเชยแบบปรับเท่าจะก่อให้เกิดปัญหาความสว่างที่เกิดจากการกระจุกตัวของจุดภาพด้านค่าต่ำและค่าสูง

บทที่ 3
การปรับปรุงภาพด้วย
เทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกสองส่วน

3.1 บทนำ

จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับความคมชัดของภาพในงานด้านต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การนำมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลภาพทางด้านการแพทย์ และภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น แต่วิธีการปรับเรียบฮีสโตรแกรมนี้ มีข้อเสียคือ ค่าความสว่างของภาพจะเปลี่ยนไปโดยค่าเฉลี่ยของความสว่างทั้งภาพจะวิ่งเข้าหาค่าระดับสีเทา 128 ถ้าเข้ารหัสไว้ 8 บิต (หรือวิ่งเข้าหาค่าระดับสีเทา 64 ถ้าเข้ารหัสไว้ 7 บิต เป็นต้น) ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่นทีวี เนื่องจากต้องการรักษาค่าความสว่างดั้งเดิมของภาพ จึงมีความจำเป็นมากกว่าที่จะปรับปรุงแก้ไขในส่วนอื่น แล้วส่งผลให้ค่าความสว่างของภาพเปลี่ยนไป ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีของ Soon-Der Chen [7]ที่จะมาช่วยปรับปรุงข้อเสียที่เกิดจากเทคนิคดังกล่าว โดยใช้วิธีการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นสองส่วนที่แยกตามค่าเฉลี่ยความสว่าง (mean) ของภาพ ดังนั้นในการปรับค่าความสว่างของภาพก็จะถูกกำหนดขอบเขตให้อยู่ภายในแต่ละส่วนเท่านั้น โดยที่ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเป็นตัวแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน ซึ่งจะมีการแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ในการรักษาค่าความสว่างของภาพให้คงเดิม พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบดั้งเดิมเพื่อแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงค่าความสว่างของภาพด้วยวิธีนี้มีความเป็นธรรมชาติมากกว่า และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางอย่างได้ดีขึ้น

วิธีการดังกล่าว คือการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกสองส่วน(Bi-Histogram Equalization :BBHE) ของ Young-tack Kim [5] ซึ่งจุดประสงค์หลักคือ การแก้ไขข้อเสียในการปรับเรียบฮิสโตรแกรม(Histogram Equalization) โดยจะรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับไว้ขณะเดียวกันก็จะปรับปรุงภาพให้มีความคมชัดมากขึ้น

3.2การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ

จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกสองส่วน ขั้นตอนแรกจะต้องทำการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนโดยใช้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเป็นจุดแบ่ง ซึ่งส่วน

แรกเป็นข้อมูลภาพต้นฉบับที่มีค่าระดับสีเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ ในส่วนที่สองจะเป็นข้อมูลภาพต้นฉบับที่มีค่าระดับสีเทาสูงกว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ หลังจากนั้นจะทำการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพในแต่ละส่วนโดยเป็นอิสระต่อกัน คือในส่วนแรกจะทำการแปลงตั้งแต่ช่วงของค่าระดับสีเทาต่ำสุดจนถึงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ ในส่วนที่สองจะทำการแปลงตั้งแต่ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ จนถึงค่าระดับสีเทาสูงสุด ดังนั้นผลของการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพในแต่ละส่วนจะถูกกำหนดให้อยู่ภายในขอบเขต ซึ่งจุดนี้เองจะส่งผลต่อการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ

การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพโมโนโครมที่มีระดับสีเทา L ระดับ ทำได้ดังสมการ

$$X_m = \frac{\sum_{j=0}^{k}(p(r_j) * r_j)}{\sum_{j=0}^{k} p(r_j)} ; 0 \le k \le L-1 \qquad (3.1)$$

โดย X_m เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพโมโนโครม ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0 ถึง L-1

$P(r_j)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพที่ระดับสีเทา r_j

ภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างต่ำจะมองเห็นได้ค่อนข้างมืดกว่าภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างที่สูงกว่า ดังนั้นภาพที่มีค่าความเฉลี่ยความสว่างต่ำ ๆ จะเป็นภาพที่มืด แสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในภาพมีค่าระดับสีเทาต่ำ ซึ่งข้อมูลระดับสีเทาต่ำจะเป็นจุดภาพที่ค่อนไปทางสีดำ และภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างสูง ๆ จะเป็นภาพที่สว่าง แสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในภาพมีค่าระดับสีเทา ซึ่งข้อมูลระดับสีเทาสูงจะเป็นจุดภาพที่ค่อนข้างไปทางสีขาว

3.3 การปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกส่วนสองส่วน(Bi-Histogram Equalization)

กำหนดให้ X_m คือค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ X และ $X_m \in \{X_0, X_1, ..., X_{L-1}\}$ จากค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้นำมาแบ่งรูปภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนย่อย (2 subimage) คือ X_L และ X_U ดังนั้นจะได้ว่า

$$X = X_L \cup X_U \qquad (3.2)$$

เมื่อ

$$X_L = \left\{ X(i,j) \mid X(i,j) \le \overline{X}, \forall X(i,j) \in X \right\} \tag{3.3}$$

และ

$$X_U = \left\{ X(i,j) \mid X(i,j) > \overline{X}, \forall X(i,j) \in X \right\} \tag{3.4}$$

สำหรับรูปภาพย่อย X_L จะประกอบด้วย $\{X_0, X_1, ..., X_m\}$
และรูปภาพย่อย X_U จะประกอบด้วย $\{X_{m+1}, X_{m+2}, ..., X_{L-1}\}$
ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดจุดภาพของรูปภาพย่อย X_L และ X_U แทนได้ด้วย

$$P_L(X_k) = \frac{n_L{}^k}{n_L}, \qquad \text{k = 0 , 1 . . . . , m} \tag{3.5}$$

$$P_U(X_k) = \frac{n_U{}^k}{n_U}, \qquad \text{k = m + 1, m + 2 , . . . ,L-1} \tag{3.6}$$

$n_L{}^k$ และ $n_U{}^k$ คือจำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทากับ X_k ใน $\{X\}_L$และ$\{X\}_U$ ส่วน n_L และ n_U

คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดใน$\{X\}_L$และ$\{X\}_U$ โดย $n_1 = \sum_{k=0}^{m} n_L{}^k$, $n_U = \sum_{k=m+1}^{L-1} n_U{}^k$, และ

$n = n_L + n_U$ ได้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF) ของ X_L และ X_U ดังนี้คือ

$$c_L(x) = \sum_{j=0}^{m} P_L(X_j) \tag{3.7}$$

$$c_U(x) = \sum_{j=m+1}^{k} P_U(x_j) \tag{3.8}$$

เมื่อ $X_k = x, c_L(X_m) = 1$ และ $c_U(X_{L-1}) = 1$ ตามนิยาม

จากวิธีการปรับเรียบฮีสโตรแกรมใช้ค่าความหนาแน่นสะสมเป็นฟังก์ชันการแปลงค่าระดับสีเทาโดยแยกในแต่ละส่วน จะได้ว่า

$$f_L(x) = X_0 + (X_m - X_0)c_L(x) \tag{3.9}$$

และ

$$f_U(x) = X_{m+1} + (X_{L-1} - X_{m+1})c_U(x) \tag{3.10}$$

จากฟังก์ชันการแปลงและการทำการปรับเรียบแยกสองส่วนในแต่ละรูปภาพย่อย ได้ภาพผลลัพธ์ของเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแบบแยกสองส่วน ในรูปของ Y ดังนี้

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

$$= f_L(X_{L_1}) \cup f_U(X_U) \tag{3.11}$$

เมื่อ

$$f_L(X_L) = \{f_L(X(i,j)) \mid \forall X(i,j) \in X_L\} \tag{3.12}$$

และ

$$f_U(X_L) = \{f_U(X(i,j)) \mid \forall X(i,j) \in X_U\} \tag{3.13}$$

$0 \le c_L(x), c_U(x) \le 1$

$f_L(X_L)$ เป็นฟังก์ชันในการปรับเรียบฮีสโตแกรมของรูปภาพย่อยในส่วนของ X_L ของช่วง (X_0, X_m)

$f_U(X_U)$ เป็นฟังก์ชันในการปรับเรียบฮีสโตแกรมของรูปภาพย่อยในส่วนของ X_L ของช่วง (X_{m+1}, X_{L-1})

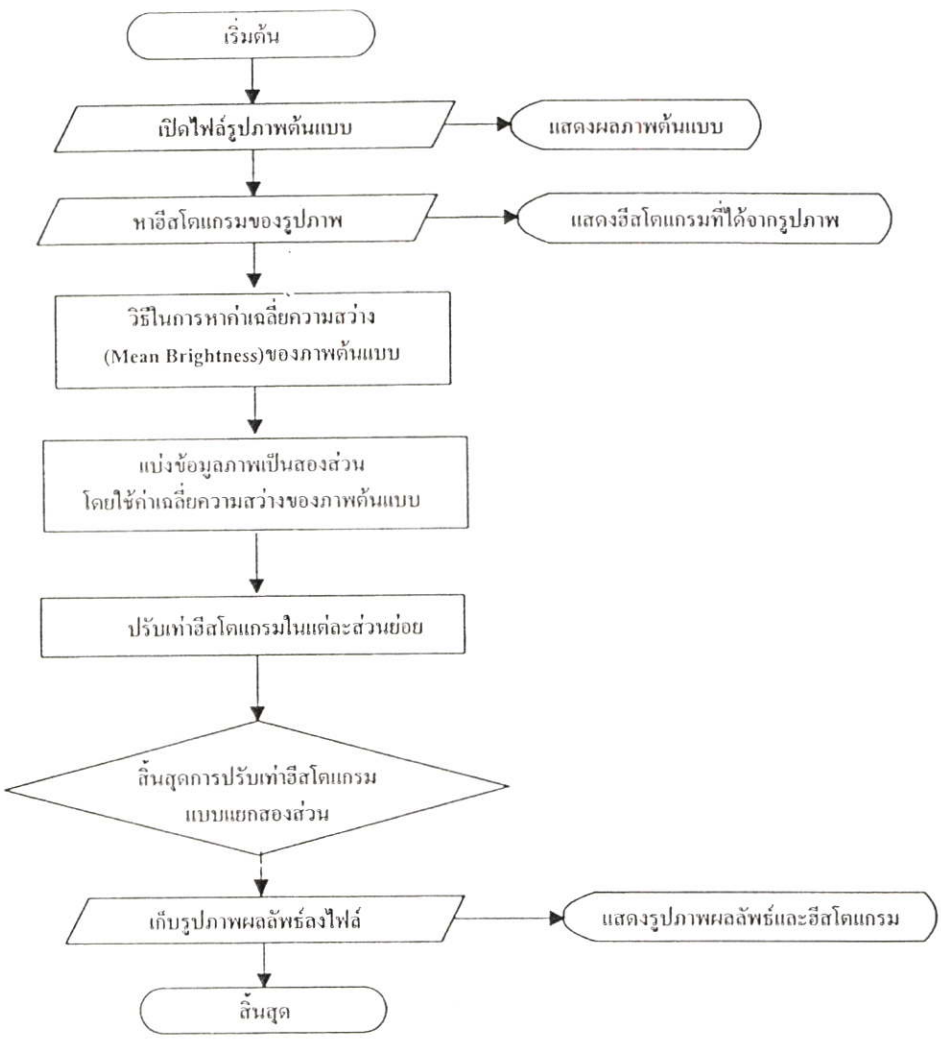
ในรูปที่ 3.1 แสดงโฟลว์ชาร์ตการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

3.4 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์หลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรแรนดอม โดยให้ $L=\infty$ ดังนั้น การปรับเรียบฮีสโตแกรมนั้น, Y ก็เป็นตัวแปรแบบแรนดอมด้วยเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าผลของการปรับเรียบฮีสโตแกรมจะได้ค่าระดับสีเทาที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ (uniform density)

$$P(x) = \frac{1}{X_{L-1} - X_0} \tag{3.14}$$

สำหรับ $X_0 \le x \le X_{L-1}$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาท์พุทที่ได้จากการปรับเรียบฮีสโตแกรม คือค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา



รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

$$E(Y) = \int_{X_0}^{X_{L-1}} xp(x)dx \tag{3.15}$$

$$= \int_{X_0}^{X_{L-1}} \frac{x}{X_{L-1} - X_0} dx \tag{3.16}$$

$$= \frac{X_0 + X_{L-1}}{2} \tag{3.17}$$

เมื่อ E(Y) แสดงค่าคาดหวังทางสถิติ โดยปกติแล้วค่าเอาท์พุทของภาพที่ผ่านวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาเสมอ ไม่ว่าภาพอินพุทจะมืดหรือสว่างก็ตาม

เมื่อพิจารณาวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง และมีค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพคือ X_m, สามารถแสดงการหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ จากการปรับเรียบฮีสโตแกรม ในแต่ละส่วนย่อยของรูปภาพ ได้ดังนี้

$$E(Y) = E(Y \mid X \le X_m)P_r(X \le X_m) + E(Y \mid X > X_m)P_r(X > X_m)$$

$$= \frac{1}{2}\{E(Y \mid X \le X_m) + E(Y \mid X > X_m)\} \tag{3.18}$$

เมื่อกำหนดให้ $P_r(X \le X_m) = P_r(X > X_m) = \frac{1}{2}$ โดยมองว่า X มีการกระจายแบบสมมาตรรอบค่า X_m จากสมการที่ (3.16) เราสามารถแทนได้ด้วย

$$E(Y \mid X \le X_m) = (X_0 + X_m)/2 \tag{3.19}$$

และ

$$E(Y \mid X > X_m) = (X_m + X_{L-1})/2 \tag{3.20}$$

เมื่อนำสมการที่ (3.18) และ (3.19) ไปแทนในสมการที่ (3.17) จะได้ว่า

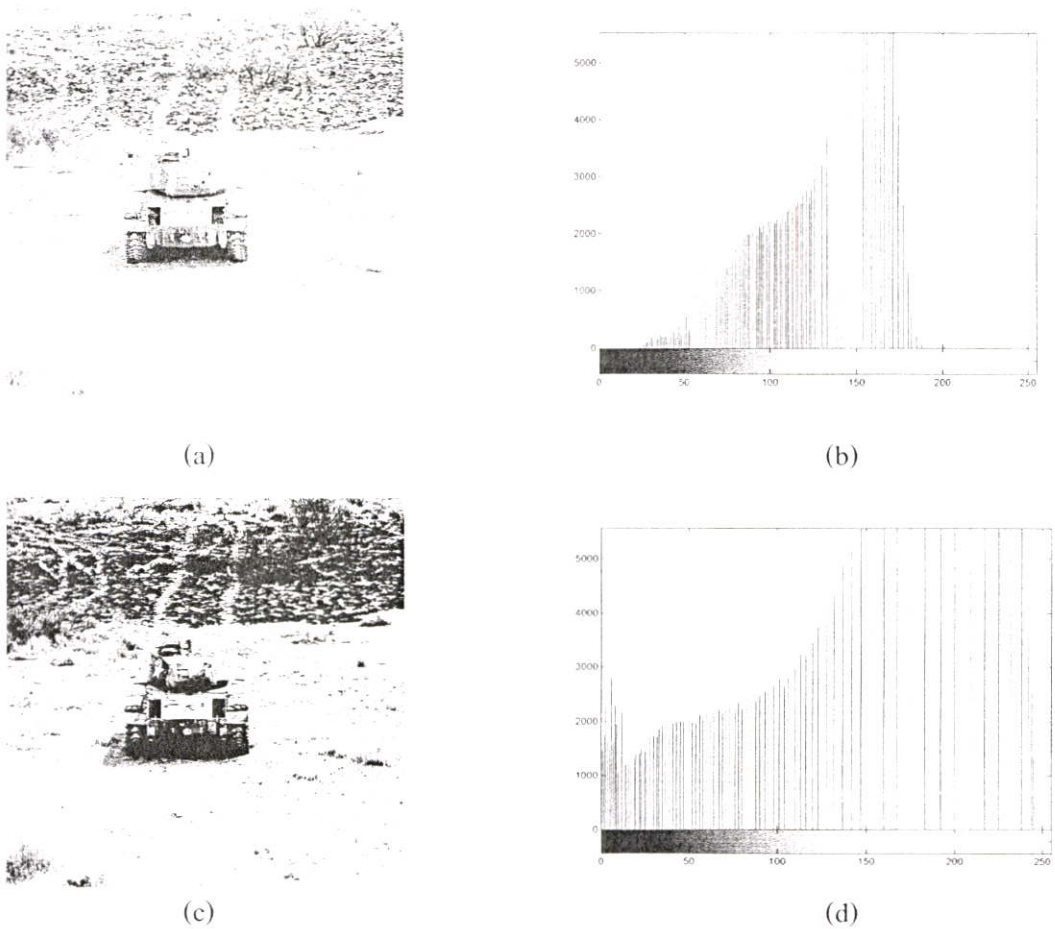
$$E(Y) = \frac{1}{2}(X_m + X_G) \tag{3.21}$$

เมื่อ

$$X_G = \frac{(X_o + X_{L-1})}{2} \tag{3.22}$$

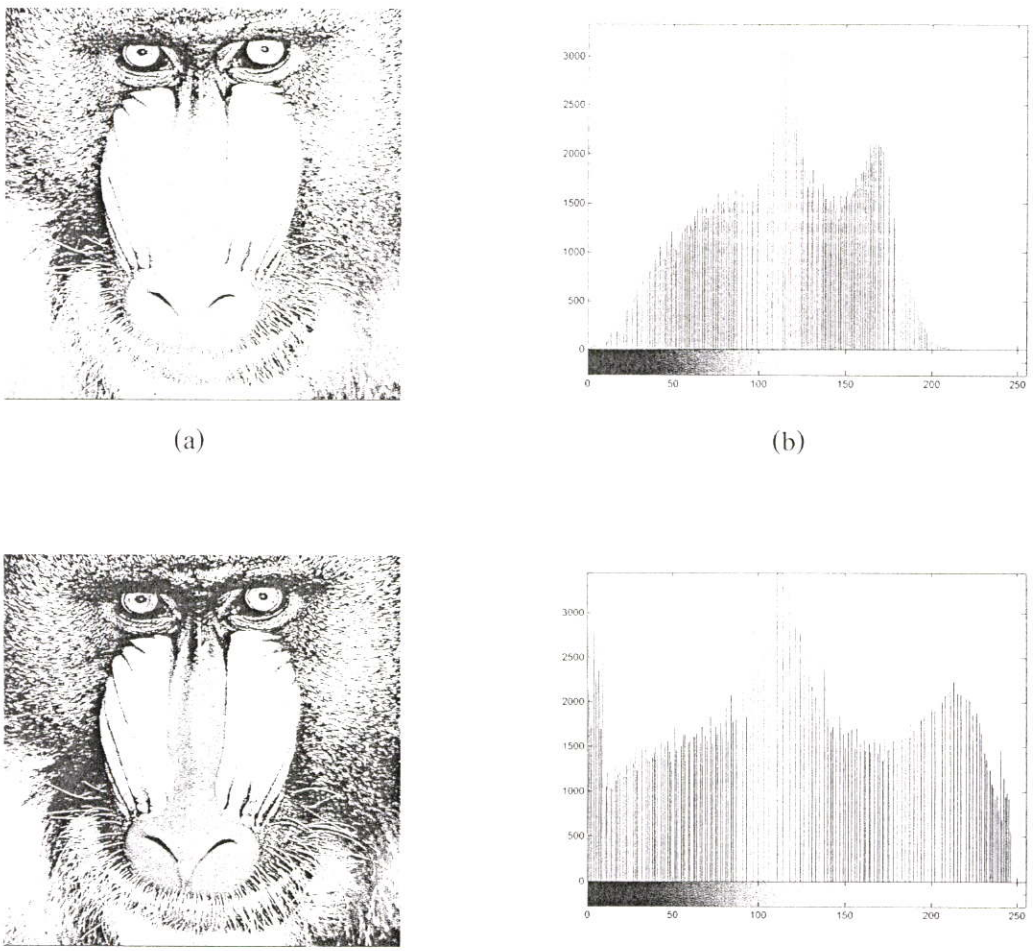
จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน คือค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ ซึ่งเป็นการรักษาความสว่างของภาพโดยอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยความสว่าง (X_m) ของภาพต้นฉบับเดิม

จากเทคนิคการปรับภาพเท่าฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม Tank. tiff ขนาด 512x512 มีระดับสีเทา 256 สี (8บิตต่อจุดภาพ) ได้ดังรูปที่3.2 โดยรูปที่ 3.2(a)เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่3.2(b) เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 125 รูปที่3.2(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Tank. tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 124 ซึ่งการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพที่มีค่าเป็น 133 แสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาค่าความสว่างได้ดีกว่า เนื่องจากการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพพยายามเกลี่ยฮีสโตแกรมให้สม่ำเสมอกัน นั้นคือค่าความสว่างหลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพจะใกล้เคียงกับระดับ 125 และรูปที่3.2(d) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



รูปที่ 3.2 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Tank. tiff ขนาด 512x512

ต่อไปเป็นเทคนิคการปรับภาพเท่าฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม Baboon. tiff ขนาด 512x512 มีระดับสีเทา 256 สี(8 บิตต่อจุดภาพ) ได้ดังรูปที่3.3 โดยรูปที่3.3(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่3.3(b) เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 113.53 รูปที่3.3(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Baboon. Tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 113.74 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ (มีค่าเป็น 122.38) และรูปที่3.3(b) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

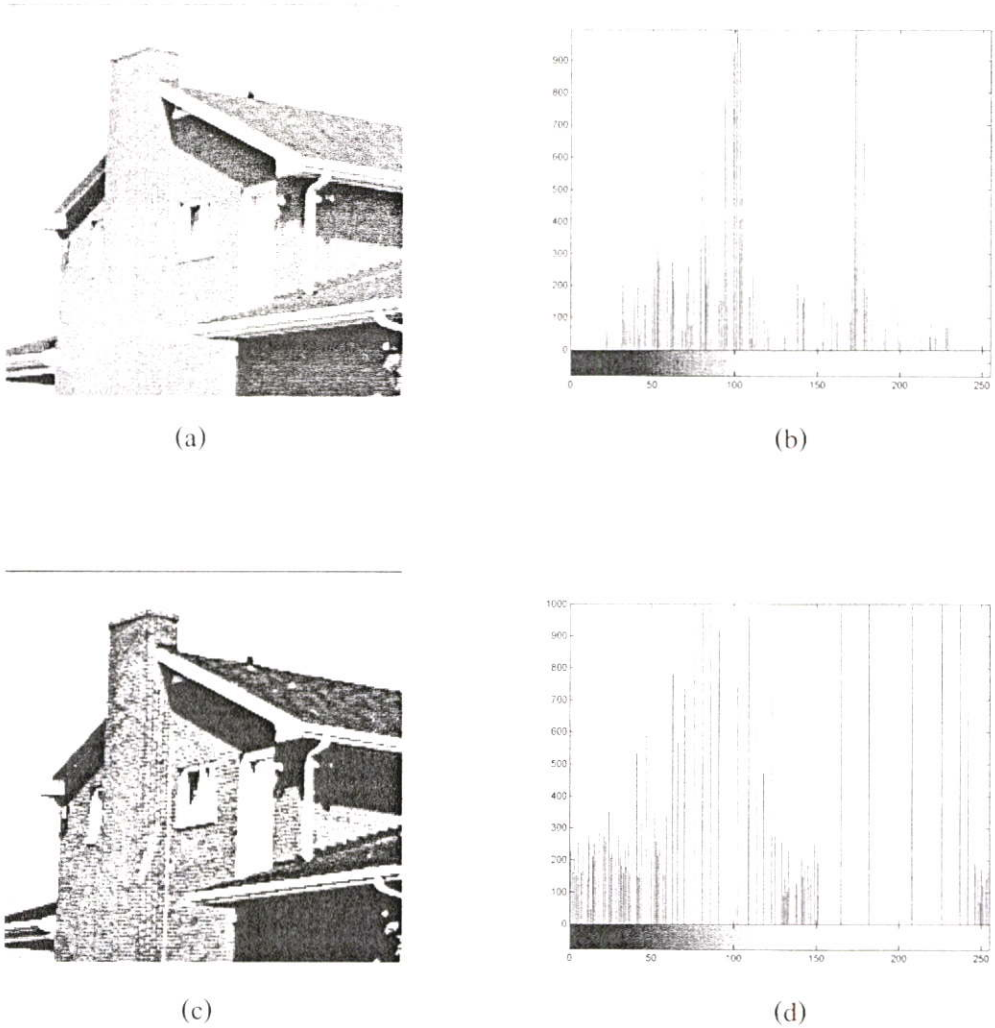


(a) (b)

(c) (d)

รูปที่ 3.3 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Baboon. tiff ขนาด 512x512

จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม car. tiff ขนาด 200x200 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่3.4 โดยรูปที่ 3.4(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 3.14(b) เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 119.33 รูปที่ 3.4(c)เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ car. tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 118.54 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ(มีค่า 188.46) และรูปที่ 3.4(d) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



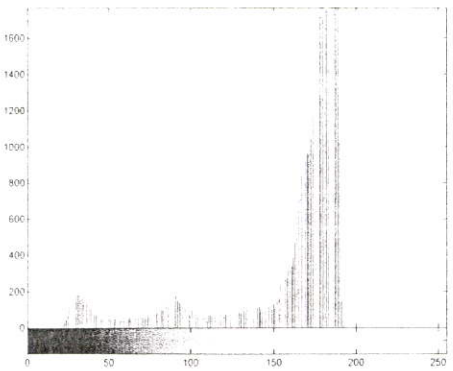
(a) (b)

(c) (d)

รูปที่ 3.4 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ car. tiff ขนาด 200x200

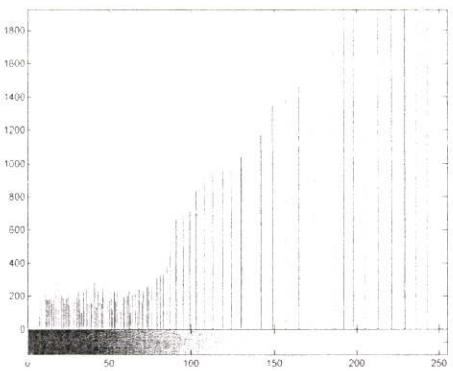
จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่3.5 โดยรูปที่ 3.5(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 3.5(b)เป็นฮีสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 163.46 รูปที่ 3.5(c)เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Jelly_Beans.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 162.76 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ (มีค่า 156.23) และรูปที่ 3.5(d) แสดงฮีสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

(a)



(b)

(c)



(d)

รูปที่ 3.5 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256

จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครม Tank. tiff ขนาด 512x512 ภาพ Baboon. tiff ขนาด 512x512 ภาพ car. tiff ขนาด 200x200 และภาพ Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256 จะได้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับปรุงด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน และเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ

ชื่อภาพ	ภาพต้นฉบับ	เทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรม 2 ส่วน	เทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมทั้งภาพ
Arctic hare	214.89392	209.37870	139.15161
Baboon	113.53872	113.74710	127.64634
Aerial	180.57175	180.48145	122.388
Aerial 2	123.17720	123.61515	147.48589
Airplane 2	193.55383	190.75061	127.82881
Car	119.32995	118.53725	138.34663
Clock	185.98027	180.88489	172.17
F16	164.27175	164.25726	158.12
Girls	119.10864	121.81316	130.46
House	148.06848	145.83845	142.88
Jelly Beans	163.45728	162.75563	156.23
Peppers	111.65142	111.44410	117.23
Splash	92.97602	93.36444	110.41
Tank	125.60364	124.58797	133.23

3.4 บทสรุป

การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน(Bi-Histogram equalization) ซึ่งเป็นวิธีการที่เพิ่มเติมจากการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบเดิม คือการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ โดยทำการแยกฮีสโตแกรมของภาพเดิมออกเป็นสองส่วนตามค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ ส่งผลทำให้สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับได้จากการปรับค่าความคมชัดของภาพในแต่ละส่วนแยกจากกันอย่างอิสระ จากภาพผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่ามีการกระจายข้อมูลตามค่าความหนาแน่นแบบสมมาตรรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยความสว่าง ดังนั้นเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทีวี (TV) , วีทีอาร์ (VTR)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ได้จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนนี้ จะสังเกตเห็นว่า สามารถปรับความคมชัดได้เห็นรายละเอียดของภาพได้ดียิ่งขึ้น และค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์ยังคงรักษาค่าความสว่างเดิมของภาพไว้ได้อย่างใกล้เคียงกว่า เทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ ซึ่งมีการปรับเรียบฮีสโตแกรมให้แต่ละระดับสีเทามีความหนาแน่นของข้อมูลเกือบเท่าๆกัน นั้นคือค่าความสว่างของภาพหลังจากการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับระดับ 128

บทที่ 4
การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

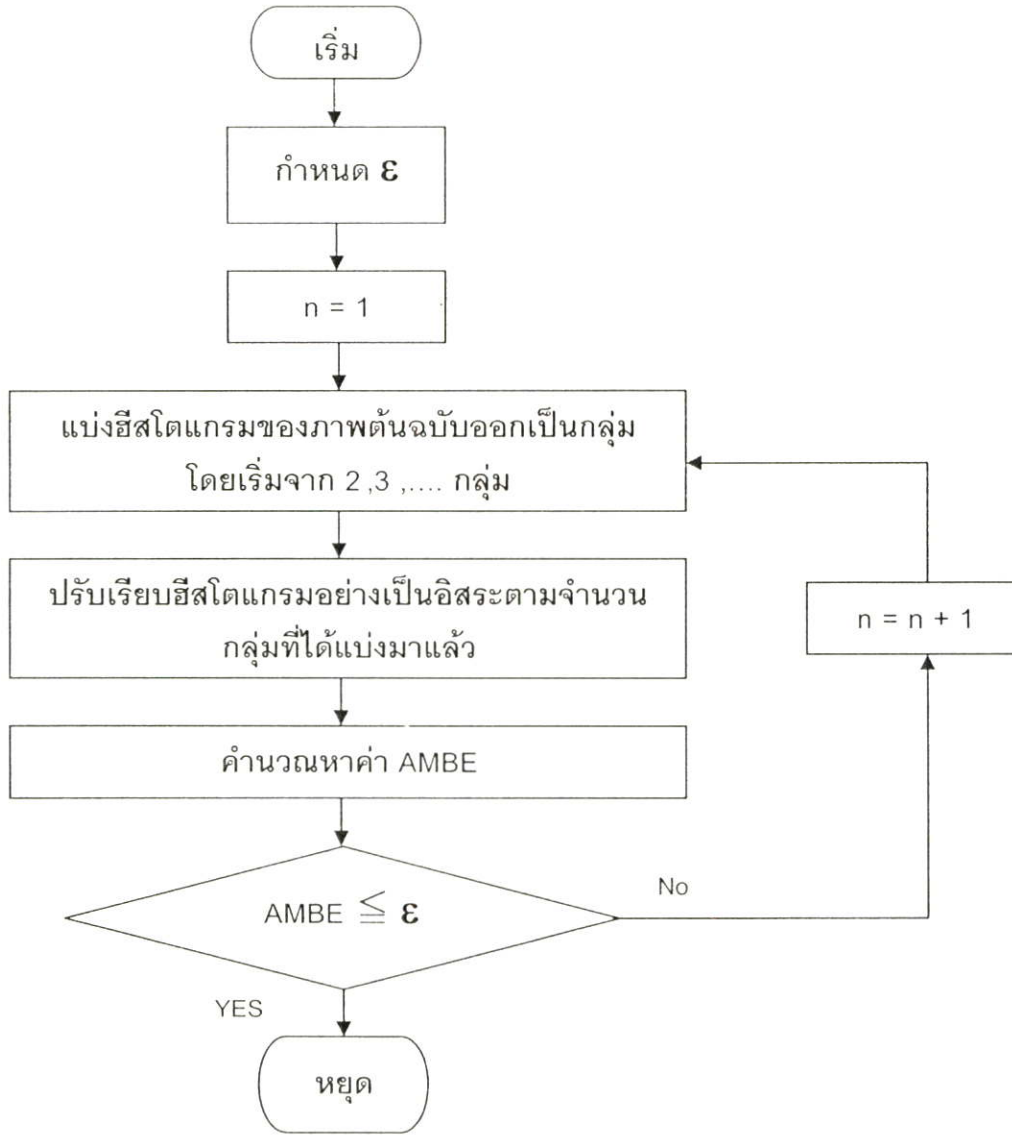
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณหาค่าต่างๆเพื่อปรับปรุงภาพด้วย วิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด โดยได้นำวิธีการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพมาเป็นพื้นฐานในการวิจัย ซึ่งเทคนิคนี้จะเกิดผลเสียในเรื่องความสว่างอิ่มตัวในบริเวณพื้นที่สว่างหรือมืดมาก และไม่สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับไว้ได้ ต่อมาได้มีการนำเสนอการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วนซึ่งสามารถรักษาค่าความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องอยู่ เช่นปัญหาเรื่องความสว่างอิ่มตัวและค่าสัมบรูณ์ของค่าความผิดพลาดความสว่างเฉลี่ย (AMBE) ยังคงมีค่าสูง ดังนั้นจึงมีการนำเสนอวิธีการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุดขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่ยังปรากฏอยู่ และยังสามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้

4.2 แนวทางการคำนวณ

แนวคิดและวิธีการของ Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization (MMBEBHE) [7] ได้เสนอวิธีเพื่อแก้ปัญหาความแตกต่างของระดับสีเทาที่ไม่ชัดเจนที่ปรากฏอยู่ในภาพ โดยจะแบ่งฮีสโตแกรมของภาพออกเป็นสองกลุ่มจากค่าของขีดเริ่มเปลี่ยน(Threshold:X_T) ในกลุ่มที่หนึ่งจะแบ่งช่วงจากค่าระดับสีเทาต่ำสุดจนถึงค่า X_T และในส่วนที่สองจะเริ่มจาก X_T จนถึงระดับสีเทาสูงสุด และทำการปรับเรียบทั้งสองกลุ่มอย่างเป็นอิสระเพื่อที่จะรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างเอาไว้ให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับให้มากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มที่ให้ผลดี แต่ยังคงมีจุดอ่อนเนื่องจากการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำการยกจำนวนจุดภาพที่อยู่ในตำแหน่งของขีดเริ่มเปลี่ยนไปใช้ทุกจุดภาพ จึงยังคงปรากฏแนวทางที่จะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มโดยอาศัยทั้งจำนวนจุดภาพและระดับสีเทาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของภาพก่อนทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมให้แต่ละกลุ่มอย่างอิสระต่อกัน สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดค่า AMBE ลงได้อีก ซึ่งวิธีการที่นำเสนอมีขั้นตอนและหลักการดังนี้

1. คำนวณหาค่าระดับของขีดเริ่มเปลี่ยนจากความหนาแน่นสะสม
2. แยกฮีสโตแกรมต้นฉบับออกเป็นส่วนๆตามกลุ่มที่กำหนดไว้ซึ่ง
   ได้มาจากคำนวณระดับของขีดเริ่มเปลี่ยน
3. ปรับเรียบฮีสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามที่ได้แยกออกไปแล้วตามข้อ 2 อย่างอิสระ
4. คำนวณหาค่า AMBE ในแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณ

การคำนวณค่าแฉลี่ยของของความสว่างของภาพ X คือ $\overline{X}$ จะสามารถนิยามจาก

$$\overline{X}_{Original} = \frac{\sum_{i=0}^{255} f_i g_i}{\sum_{i=0}^{255} f_i} \tag{4.1}$$

เมื่อ f_i เป็นความถี่ของระดับสีเทา

g_i เป็นระดับสีเทา

แต่เนื่องจากเราแบ่งฮีสโตแกรมเดิมออกเป็น 4 กลุ่ม นั้นคือต้องคำนวณหาระดับขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม คือ X_{T1}, X_{T2}, และ X_{T3}จะได้ค่า $\overline{X_1}$, $\overline{X_2}$, $\overline{X_3}$ และ $\overline{X_4}$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม

ถ้าให้ N_T เป็นจำนวนจุดภาพรวมทั้งหมดของรูป หลังจากแบ่งภาพออกเป็น 4 กลุ่ม แล้ว จำนวนจุดภาพในแต่ละกลุ่มจะมีค่าเท่ากับ N_1, N_2, N_3 และ N_4 ดังนั้น จุดภาพรวม(Total pixel) หาได้จาก

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \tag{4.2}$$

เนื่องจาก

$$\overline{X_T} = \frac{\overline{X_1}N_1 + \overline{X_2}N_2 + \overline{X_3}N_3 + \overline{X_4}N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \tag{4.3}$$

หรือ

$$\overline{X_1}N_1 + \overline{X_2}N_2 + \overline{X_3}N_3 + \overline{X_4}N_4 = N_T\overline{X}_T \tag{4.4}$$

ต้องการให้ $N_T \overline{X}_T = N_T \overline{X}_{original}$ เมื่อ $\overline{X}_{Original}$ เป็นค่าเฉลี่ยเดิมจากภาพต้นฉบับ แต่เนื่องจาก

$$\overline{X_1} = \frac{\sum_{i=0}^{X_{T1}} f_i g_i}{N_1} \qquad \overline{X_2} = \frac{\sum_{i=X_{T1}+1}^{X_{T2}} f_i g_i}{N_2} \qquad \overline{X_3} = \frac{\sum_{i=X_{T2}+1}^{X_{T3}} f_i g_i}{N_3} \qquad \overline{X_4} = \frac{\sum_{i=X_{T3}+1}^{255} f_i g_i}{N_4} \tag{4.5}$$

จะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^{X_{T1}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T1}+1}^{X_{T2}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T2}+1}^{X_{T3}} f_i g_i + \sum_{i=X_{T3}+1}^{255} f_i g_i = N_T \overline{X}_{original} \tag{4.6}$$

กรณีแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์จึงบังคับเงื่อนไขว่า

$$\sum_{i=0}^{X_{T1}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T1}+1}^{X_{T2}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T2}+1}^{X_{T3}} f_i g_i = \sum_{i=X_{T3}+1}^{255} f_i g_i = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \tag{4.7}$$

และเมื่อได้สมการ (4.7) จึงทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมในกลุ่มแรก แต่เนื่องจาก โอกาสที่จะให้แต่ละกลุ่มเป็นไปตามสมการ (4.7) ทำได้ยาก ตัวอย่างเช่น ในกลุ่มแรกถ้าเลือก X_{T1} คือ g_5 หรือ g_6 จะได้สมการนี้

$$\sum_{i=0}^{5} f_i g_i < \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \qquad \text{แต่} \qquad \sum_{i=0}^{6} f_i g_i > \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original}$$

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำ จึงต้องปรับย้ายจุดภาพจากระดับสีเทาบางจุดใน g_6 ให้กลายเป็นจุดภาพ ระดับสีเทา g_5 เพื่อให้ได้ตามสมการที่ (12) จำนวนจุดภาพที่ต้องปรับย้ายมาจาก g_6 มาเป็น g_5 คือ Y_1 หาได้จากสมการที่ (4.8) และ (4.9)

$$f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5 = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \tag{4.8}$$

จะได้

$$y_1 = \frac{\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} - (f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + f_5 g_5)}{g_5} \tag{4.9}$$

โดยต้องเลือก y_1 เป็นจำนวนเต็ม (Integer) เช่น y_1=6.8 เราจะเลือก y_1=6
ดังนั้น

$$f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5 + E_1 = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \tag{4.10}$$

ถึงแม้จะมีการย้ายกลุ่มจุดภาพแล้ว จะยังคงเกิดค่าความคลาดเคลื่อนอีกเล็กน้อยกล่าวคือ E_1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$E_1 = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} - (f_0 g_0 + f_1 g_1 + ... + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5) \qquad (4.11)$$

เมื่อได้ค่า E_1 แล้วจะมีการนำค่า E_1 ไปชดเชยในกลุ่มที่2 โดยที่ ถ้าให้ X_{T2} เป็น g_{20} ก็จะได้ว่า

$$(f_6 - y_1) g_6 + f_7 g_7 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} + y_2) g_{20} = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1 \qquad (4.12)$$

แต่ถ้านำผลรวมทางด้านซ้ายมารวมกับ $f_{21}g_{21}$ ด้วยจะมีค่ามากกว่า $\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1$ เช่นเดียวกันจะมีการปรับจุดภาพบางจุดในระดับสีเทา g_{21} มารวมกันใน g_{20} ในกรณีให้ y_2 เป็นจำนวนจุดภาพใน g_{21} ที่จะย้ายไปรวมกับ g_{20} โดยที่

$$y_2 = \frac{(\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1) - (f_6 g_6 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} g_{20})}{g_{20}} \qquad (4.13)$$

เนื่องจาก y_2 ต้องเป็นจำนวนเต็มนั่นเอง จึงเกิดความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มที่ 2 คือ E_2 คำนวณได้จาก

$$E_2 = (\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1) - (f_6 g_6 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} + y_2) g_{20}) \qquad (4.14)$$

เมื่อได้ E_2 แล้ว ก็นำไปหาค่า E_3 เช่นเดียวกับสมการที่ (4.10) และ (4.13) การปรับย้ายจุดจะทำไปจนถึงกลุ่มรองสุดท้ายโดยกลุ่มสุดท้ายจะไม่สามารถปรับย้ายจุดภาพได้อีก เพราะได้จุดภาพรวมครบทั้งภาพแล้ว

$$E_3 = (\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_2) - ((f_{21} - y_2) g_{21} + ... + (f_{T3} + y_3) g_{T3}) \qquad (4.15)$$

และ

$$E_4 = (\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_3) - ((f_{T3+1} - y_3) g_{T3+1} + ... + f_{255} g_{255}) \qquad (4.16)$$

ดังนั้น E_4 จะเป็น Total Error กล่าวคือ

$$E_4 = (\overbrace{\frac{1}{4}N_T\overline{X}_{original} + E_2}^{E_3}) - \{((f_{21} - y_2)g_{21} + ... + (f_{T3} + y_3)g_{T3})\} - \\ - \{((f_{T3+1} - y_3)g_{T3+1} + ... + f_{255}g_{255})\} \quad (4.17)$$

และเมื่อแทน E_2 ลงในสมการที่ (4.17) จะได้ว่า

$$E_4 = \frac{1}{4}N_T\overline{X}_{original} - ((f_0g_0 + ... + (f_{T1} + y_1)g_{T1}) + ((f_{T1+1} - y_1)g_{T1+1} + f_{T1+2}g_{T1+2} + ...$$

$$+ (f_{T2} + y_2)g_{T2} + (f_{T2+1} - y_2)g_{T3+1} + ... + (f_{T3} + y_3)g_{T3}) + (f_{T+3} - y_3)g_{T3+1} + ...f_{L-1}g_{L-1}))$$

E_4 จะเท่ากับศูนย์ ถ้า y_1 , y_2 , y_3 มีค่าเป็นศูนย์

นั่นหมายความว่าถ้า y_1 , y_2 หรือ y_3 เป็นเลขจำนวนเต็ม(Integer)พอดี จะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะกับ E_4 ตัวสุดท้ายเท่านั้น หรือถ้า y ตัวใดตัวหนึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มพอดีค่าความคลาดเคลื่อนที่ผ่านมาจะเป็นศูนย์ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพียงกลุ่มสุดท้ายเท่านั้น นั่นคือถ้ายิ่งแบ่งจำนวนกลุ่มมากโอกาสที่ y_1 , y_2 , y_3 , ..., y_{M-1} จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มมากขึ้น (M คือ จำนวนกลุ่มที่แบ่งตามตัวอย่างที่ยกมาเป็น 4 กลุ่ม)

ถ้ายิ่งแบ่งกลุ่มมากขึ้นโอกาสของ y_{Ti} จะเป็น Integer จะมีมากขึ้น E_{Ti-1} จึงเป็นศูนย์คือจะเอาค่าความคลาดเคลื่อนของ E_1 และ E_{i+1},...,E_{i+M-1} มาคิดเท่านั้น

จากกรณีที่ยกมาคือถ้า E_3 เป็นศูนย์ y3 จะเป็น integer นั่นคือ 3 กลุ่มแรกจะให้ค่าเท่ากับ $\frac{3}{4}N_T\overline{X}_{original}$ เหลือเฉพาะกลุ่มที่ 4 เท่านั้นที่ต้องมาพิจารณาค่าความผิดพลาด (Error)

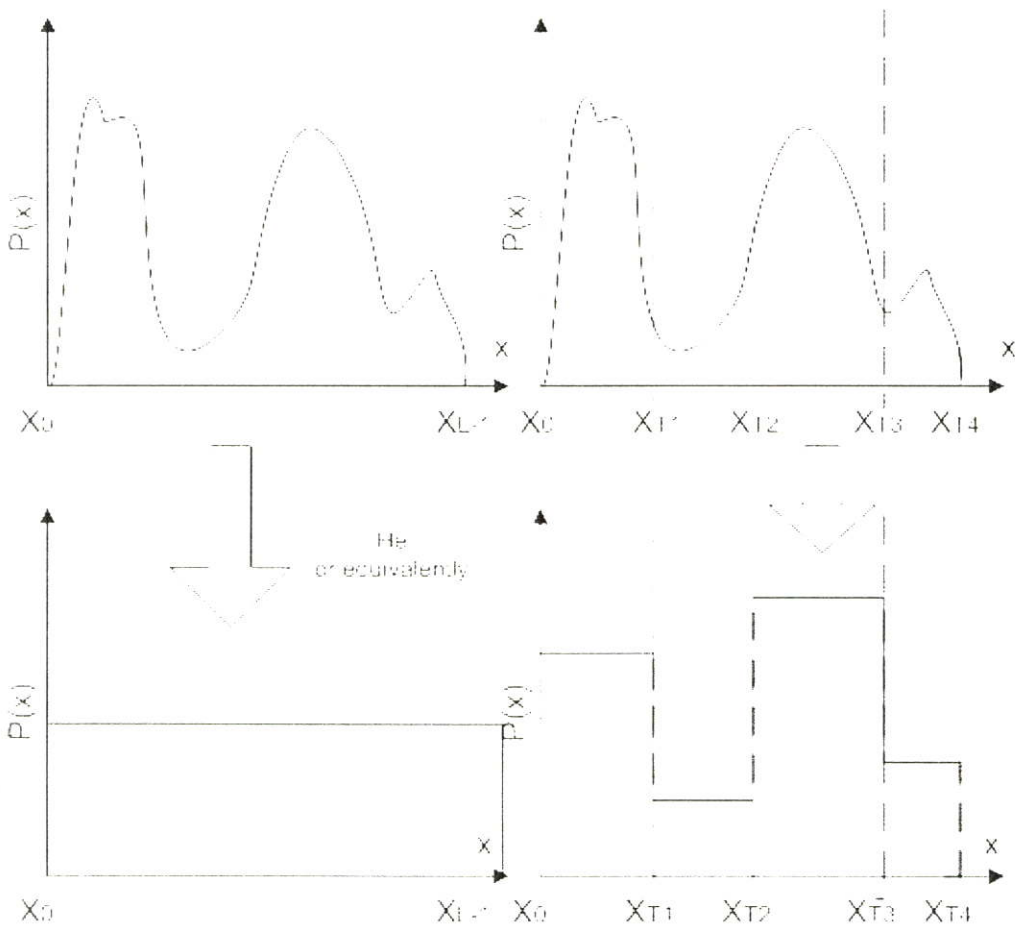
ดังนั้นค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพจากการปรับเรียบทีละกลุ่มคือ $E(Y)$ ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$AMBE = \left| E(Y) - E(X) \right| \quad (4.18)$$

เมื่อ $E(X)$ เป็น ค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับ

$E(Y)$ เป็น ค่าเฉลี่ยของภาพผลลัพธ์จากวิธีที่นำเสนอ

ฮีสโตแกรมของภาพ X [2]ก่อนและหลังการปรับเรียบ (1 กลุ่ม)จะถูกแสดงในภาพที่ 3(a) ในภาพนี้จะเป็นฮีสโตแกรมที่ไม่ถูกแบ่งเลย ซึ่งภาพ X จะถูกปรับเรียบในกลุ่มเดียว โดยจะมีค่าระดับสีเทาต่ำสุด และสูงสุดอยู่ตั้งแต่ระดับ0 ถึง 255 กระจายอยู่ทั้งภาพ



(a) (b)

รูปที่4.2 (a) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 1 กลุ่ม
(b) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 4 กลุ่ม

ส่วนการแบ่งฮีสโตแกรมของภาพ X ออกเป็น 4 กลุ่ม ในรูปที่ 4.2(b) พบว่าจะสามารถคำนวณขีดเริ่มเปลี่ยน ณ ระดับสีเทาต่างๆกันได้ 3 ค่า คือ X_{T1}, X_{T2} และ X_{T3} ตามลำดับ จากขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ จะเป็นจุดที่นำไปปรับย้ายจุดภาพและคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละกลุ่มก่อนการปรับเรียบต่อไป

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองจากงานวิจัยด้วยวิธีที่นำเสนอ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากวิธีอื่นๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว คือ วิธีของ การปรับเรียบทั้งภาพ(HE) , BBHE , DSIHE และ MMBEBHE ซึ่งผลที่ได้จะแสดงการเปรียบเทียบค่า AMBE ของวิธีต่างๆเพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด

5.1 รูปภาพที่นำมาทดสอบ

รูปภาพทั้งหมดที่ได้นำมาทดสอบนี้เป็นรูปภาพมาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการนำมาทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งภาพทั้งหมดนี้สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ต บนเว็บไซต์ http://sipi.usc.edu/database/database.cgi?volume=misc. ซึ่งจะมีภาพให้เลือกใช้มากมาย เช่น *Aerial, Airplane U-2, Airplane2, Baboon, Car, Clock, Girl, House, Peppers* และ *Splash* เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดของแต่ละภาพจะถูกแสดงไว้แล้วตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของภาพที่นำมาทดสอบ

No	ชื่อของไฟล์	รายละเอียดของภาพ	ชื่อที่ถูกเรียกในวิทยานิพนธ์	ขนาด	ชนิด
1	Arctic hare	Arctic Hare	Arctic Hare	594x400	Color (24 bits/pixel)
2	4.2.03	Baboon	Baboon	512x512	Color (24 bits/pixel)
3	5.2.09	Aerial	Aerial	512x512	Gray
4	5.2.10	Aerial2	Aerial2	512x512	Gray
5	5.1.11	Airplane	Airplane2	256x256	Gray
6	4.1.05	Car	Car	256x256	Color (24 bits/pixel)
7	5.1.12	Clock	Clock	256x256	Gray
8	5.1.16	Airplane F-16	F16	512x512	Color (24 bits/pixel)
9	4.1.03	Girl	Girl	256x256	Color (24 bits/pixel)
10	House	House	House	512x512	Color (24 bits/pixel)
11	4.2.04	Jelly Beans	Jelly Beans	512x512	Color (24 bits/pixel)
12	4.2.07	Peppers	Peppers	512x512	Color (24 bits/pixel)
13	4.2.01	Splash	Splash	512x512	Color (24 bits/pixel)
14	4.2.02	Tank	Tiffany	512x512	Color (24 bits/pixel)

ภาพที่เป็นสีทั้งหมด ก่อนที่จะนำมาทดสอบจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของ Gray scale (8bits/pixel) เสียก่อน โดยใช้โปรแกรม PhotoShop CS และภาพที่ได้จากการเปลี่ยน รวมถึงภาพเอาท์พุทที่ได้จากการปรับเรียบจะถูกเก็บในตระกูล TIFF (Uncompressed format).

5.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองภาพต้นฉบับกับวิธีของ HE

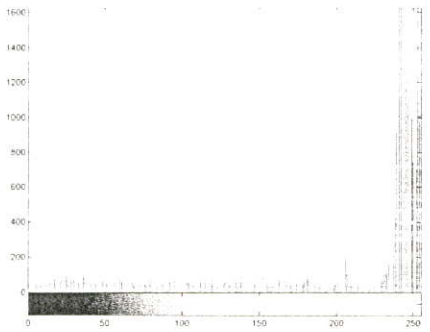
ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลของค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ และแสดงผลของค่าเฉลี่ยความสว่างภายหลังการปรับปรุงภาพด้วยวิธี การปรับเรียบทั้งภาพ (HE) โดยไม่มีการแบ่งกลุ่มของภาพ

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ และ AMBE จากวิธี HE

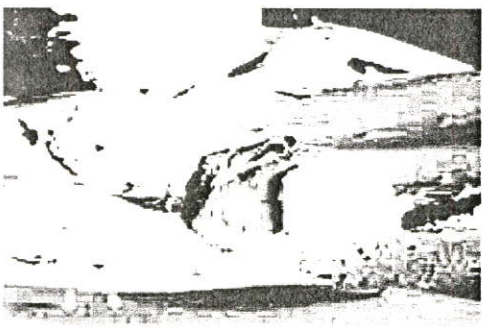
Image	Mean of Original image	Mean of HE Method	AMBE
Arctic hare	214.89392	139.15161	75.74231
Baboon	113.53872	127.64634	14.10762
Aerial	180.57175	122.388	58.18375
Aerial 2	123.17720	147.48589	24.30869
Airplane 2	193.55383	127.82881	65.72502
Car	119.32995	138.34663	19.01668
Clock	185.98027	172.17	13.81027
F16	164.27175	158.12	6.15175
Girls	119.10864	130.46	11.35136
House	148.06848	142.88	5.18848
Jelly Beans	163.45728	156.23	7.22728
Peppers	111.65142	117.23	5.57858
Splash	92.97602	110.41	17.43398
Tank	125.60364	133.23	7.62636

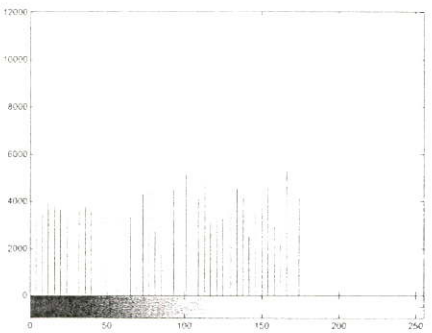
จากตารางที่ 5.2 จะพบว่า AMBE ที่ได้จะมีค่าสูงมาก และถ้าสังเกตจากภาพภายจากหลังการปรับเรียบจะพบว่า ภาพที่ได้จะไม่เป็นธรรมชาติ กล่าวคือวิธีนี้จะไม่สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาไว้ได้

ดังที่กล่าวมาแล้ว วิธี HE จะสามารถเปลี่ยนแปลงความสว่างของรูปภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ ในรูปที่ 5.1 จะเป็นรูปต้นฉบับของ arctic hare และรูปที่ 5.2 จะเป็นรูป arctic hare ที่ได้ผ่านการปรับเรียบภาพด้วยวิธีของ HEแล้ว ซึ่งในภาพจะประกอบไปด้วยจำนวนระดับสีเทา 256 ระดับ สังเกตในรูปที่ 5.2 พบว่ารูปภาพที่มีการปรับเรียบจะมีความคมชัดมากกว่าภาพต้นฉบับ และจะเห็นถึงความไม่เป็นธรรมชาติในแต่ละส่วนของภาพนั้นมีค่อนข้างมาก ซึ่งนี้คือการเปลี่ยนแปลงของความสว่างที่มีมากเกินไป(ด้วยวิธีHE) สิ่งที่น่าสนใจของวิธีHE คือ มันจะเปลี่ยนระดับของสีเทาจากภาพต้นฉบับไปเป็นระดับสีเทาใหม่ โดยความนาแน่นสะสมของภาพต้นฉบับจะถูกนำมาใช้กำหนดค่าระดับสีเทาของภาพใหม่

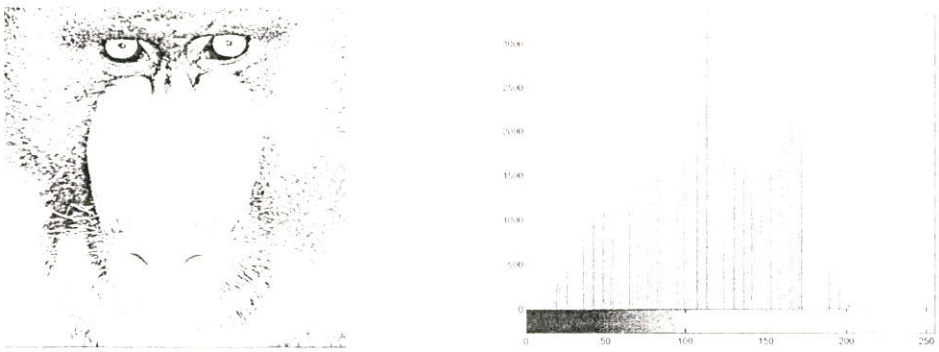


รูปที่ 5.1 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Arctic hare

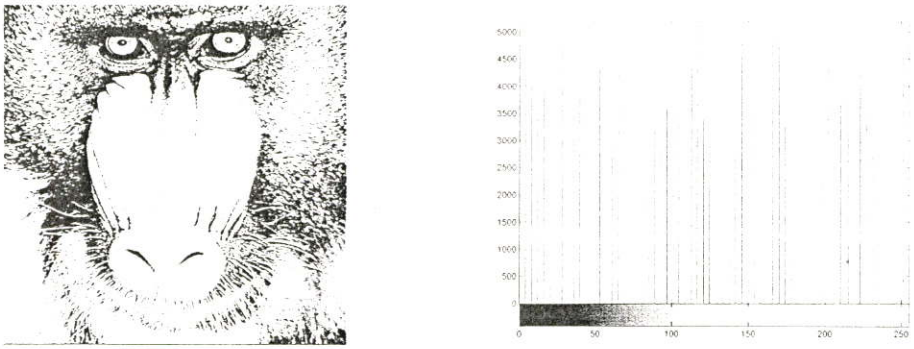




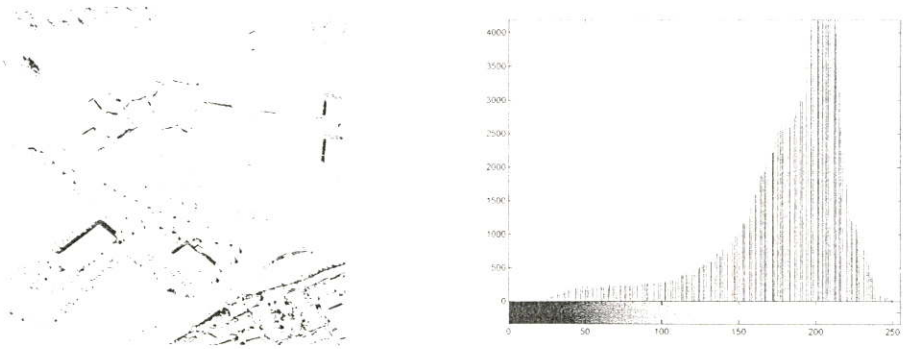
รูปที่ 5.2 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Arctic hare ด้วยวิธี HE



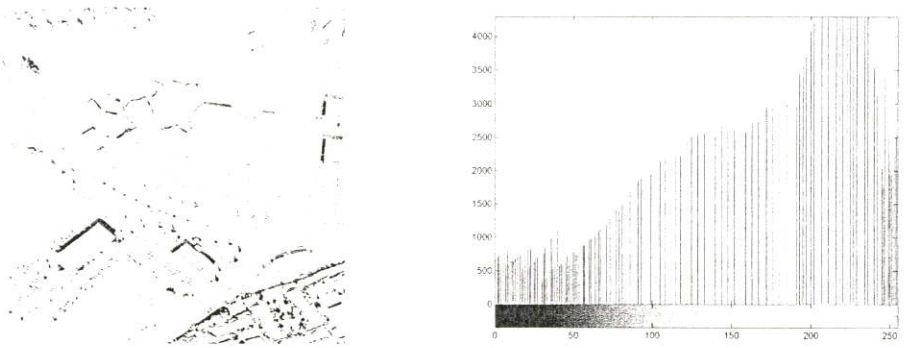
รูปที่ 5.3 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Baboon



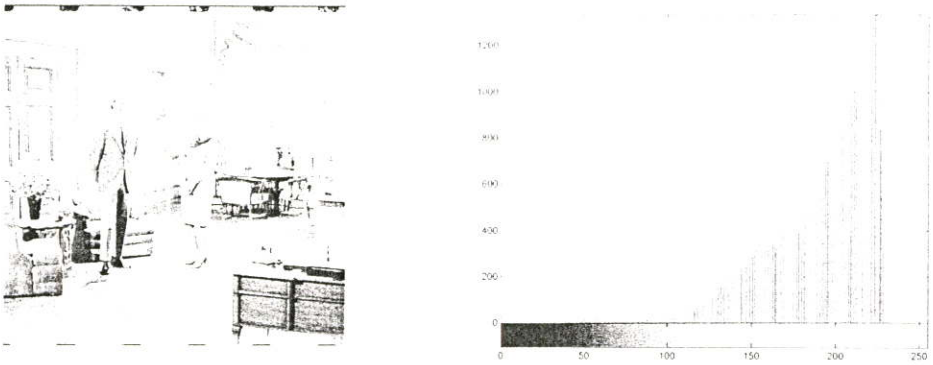
รูปที่ 5.4 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Baboon ด้วยวิธี HE



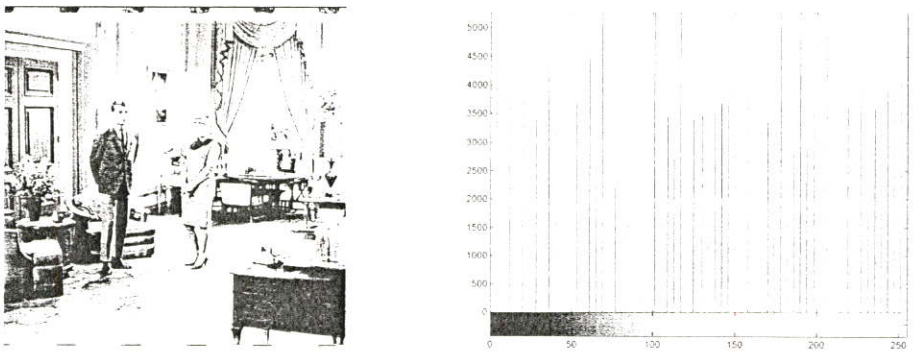
รูปที่ 5.5 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Aerial



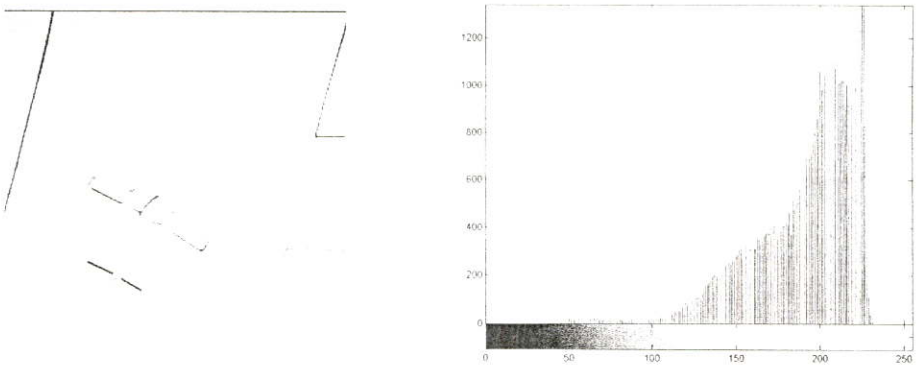
รูปที่ 5.6 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Aerial ด้วยวิธี HE



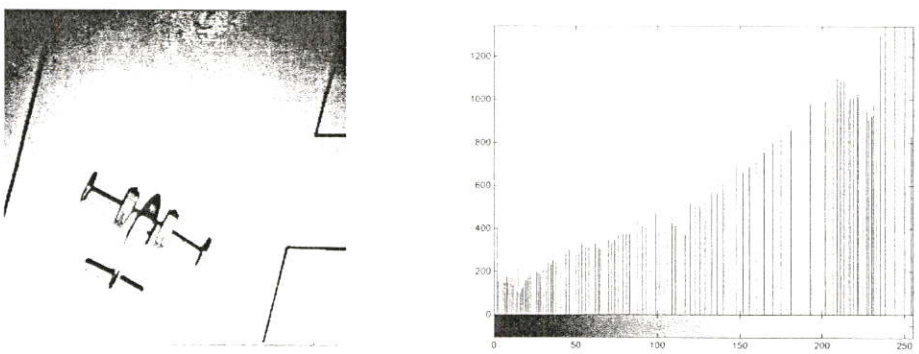
รูปที่ 5.7 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Aerial 2



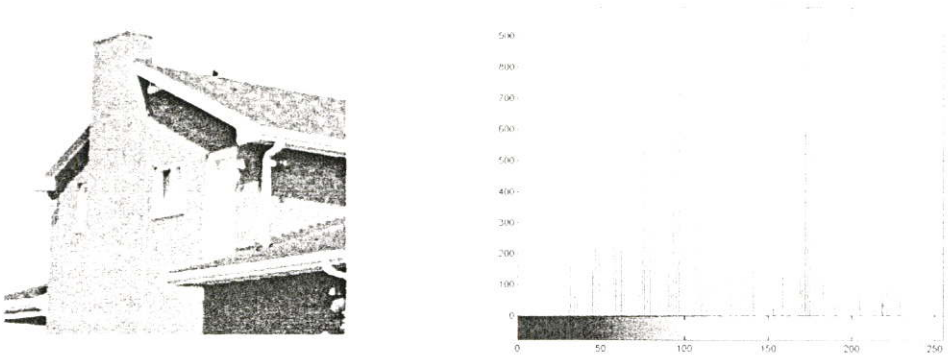
รูปที่ 5.8 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Aerial 2 ด้วยวิธี HE



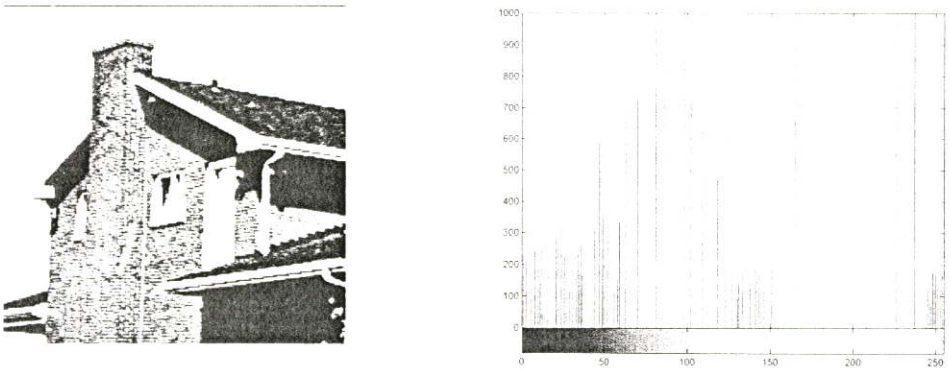
รูปที่ 5.9 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Airplane2



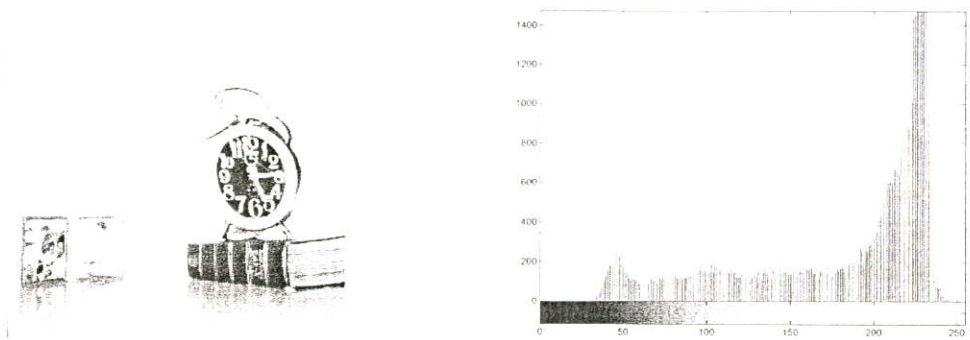
รูปที่ 5.10 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Airplane2 ด้วยวิธี HE



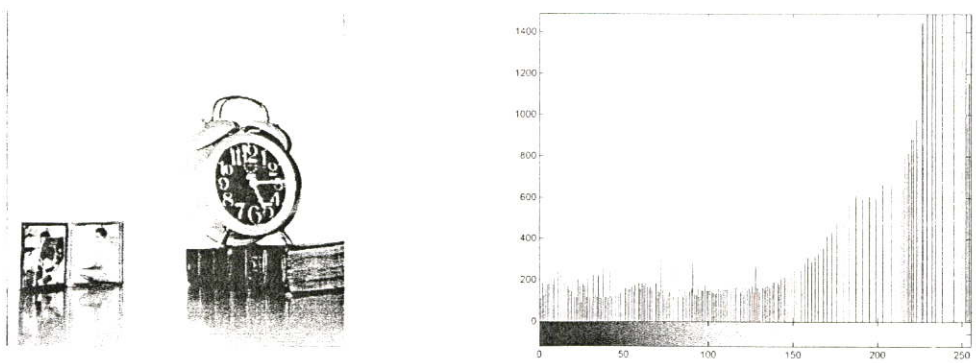
รูปที่ 5.11 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Car



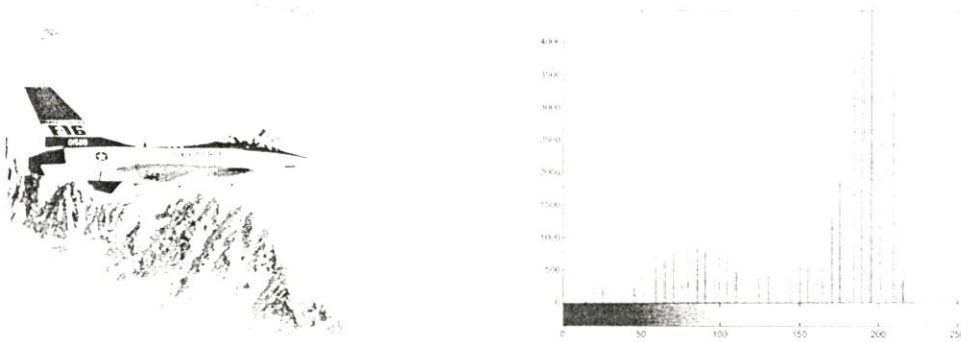
รูปที่ 5.12 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Car ด้วยวิธี HE



รูปที่ 5.13 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Clock

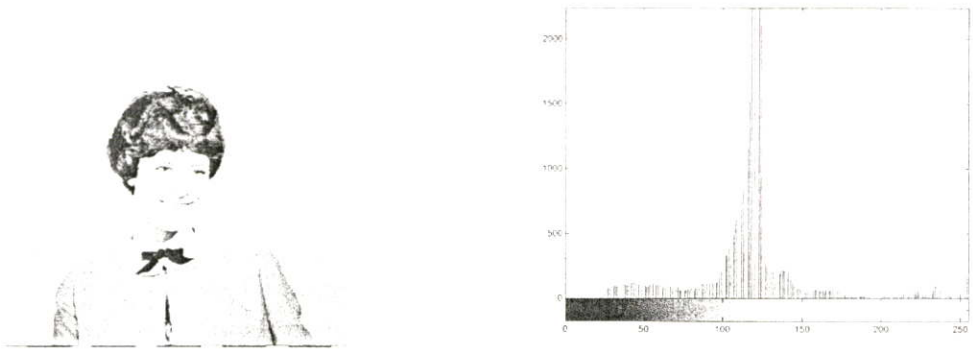


รูปที่ 5.14 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Clock ด้วยวิธี HE

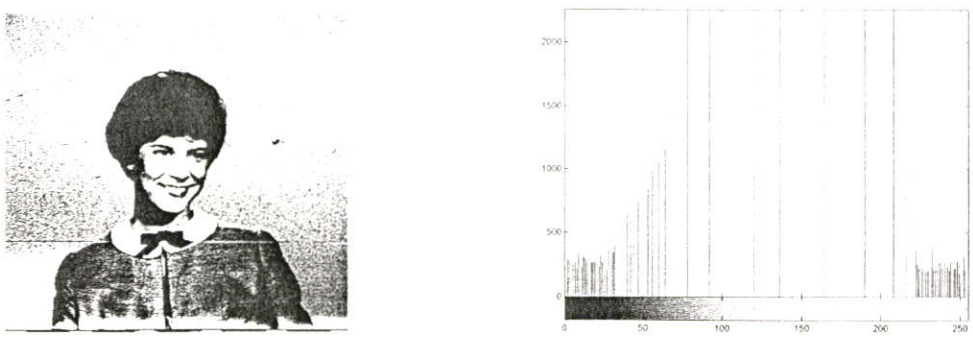


รูปที่ 5.15 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ F16

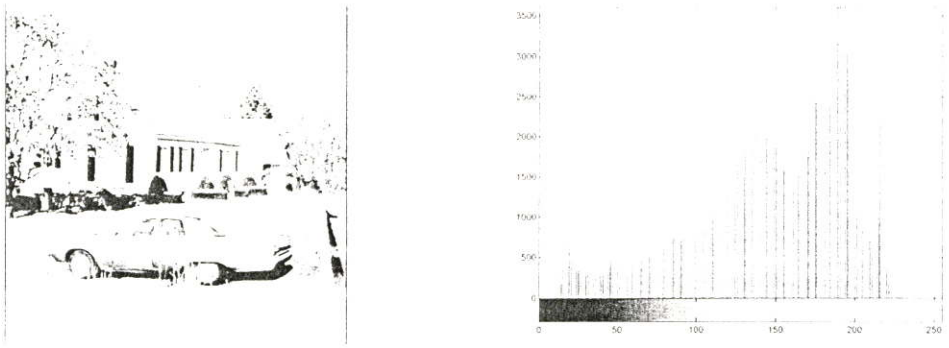
รูปที่ 5.16 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ F16 ด้วยวิธี HE



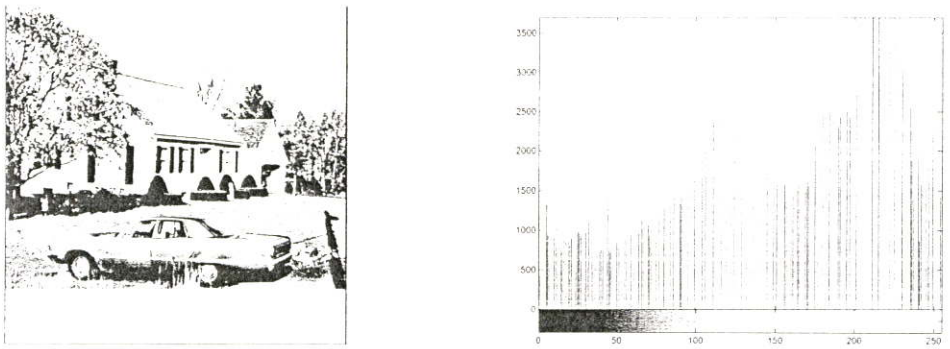
รูปที่ 5.17 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Girl



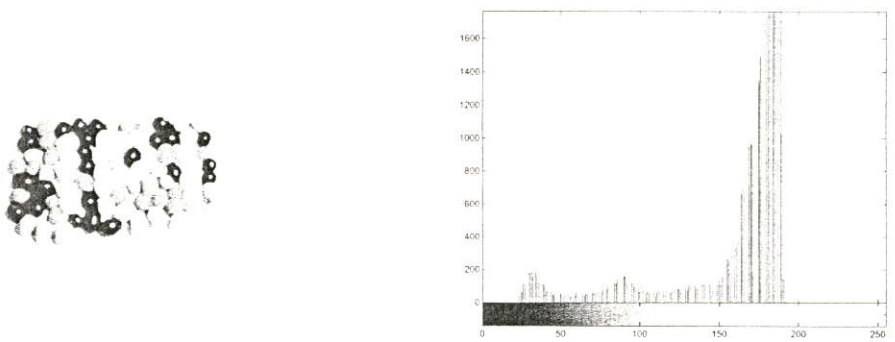
รูปที่ 5.18 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Girl ด้วยวิธี HE



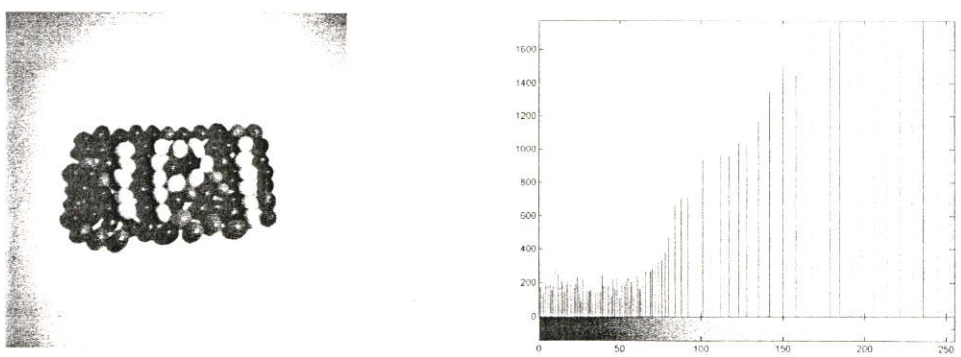
รูปที่ 5.19 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ House



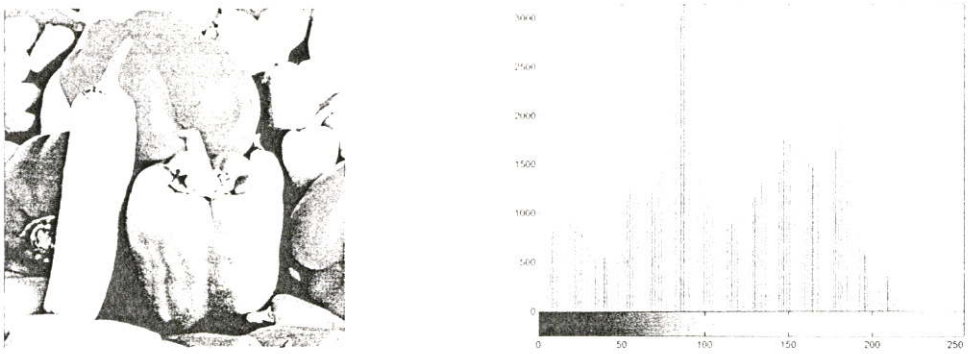
รูปที่ 5.20 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ House ด้วยวิธี HE



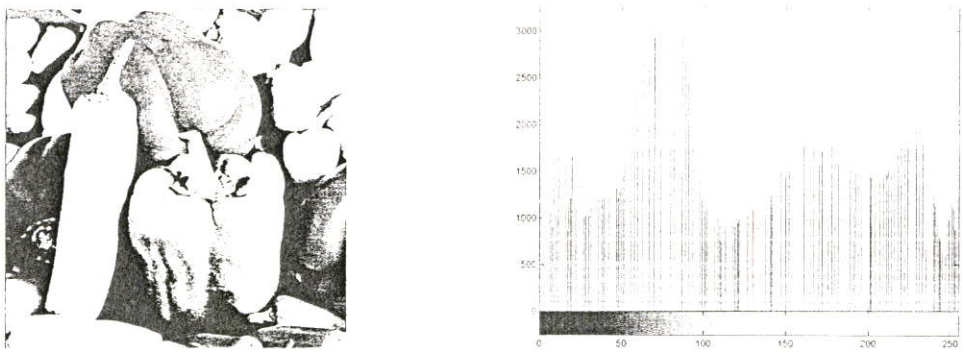
รูปที่ 5.21 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Jelly Beans



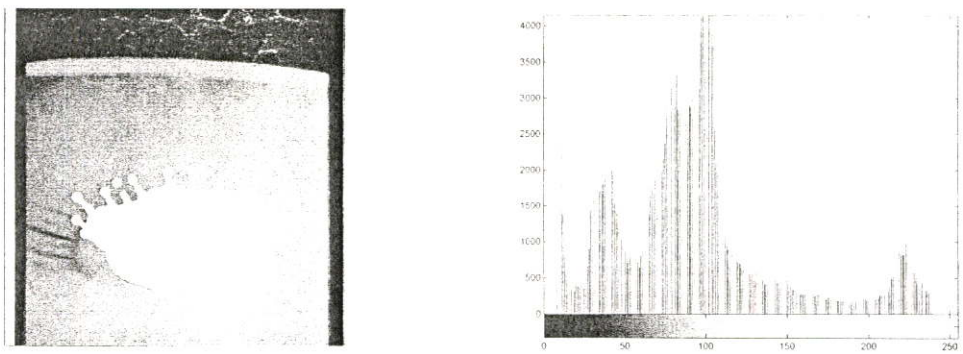
รูปที่ 5.22 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Jelly Beans ด้วยวิธี HE



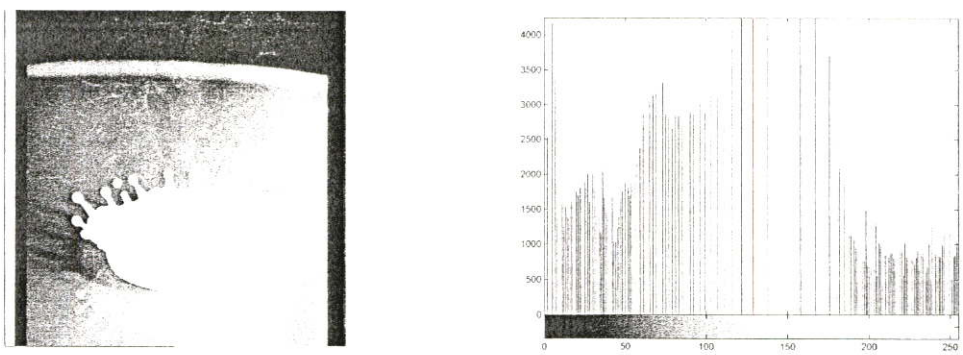
รูปที่ 5.23 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Peppers



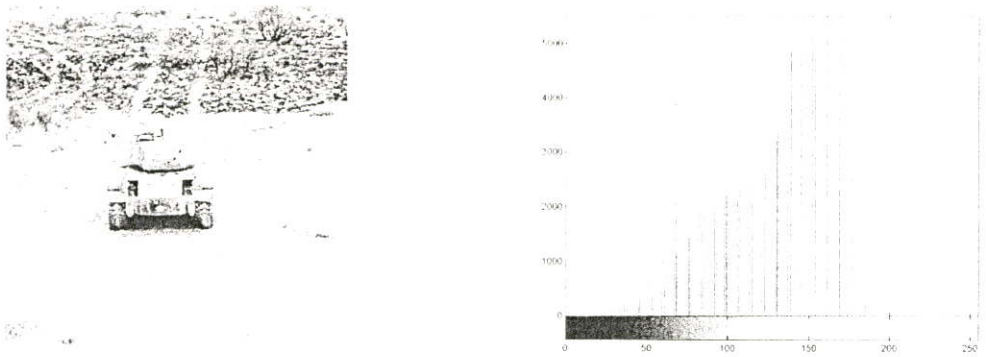
รูปที่ 5.24 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Peppers ด้วยวิธี HE



รูปที่ 5.25 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Splash



รูปที่ 5.26 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Splash ด้วยวิธี HE



รูปที่ 5.27 แสดงรูปต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Tank

รูปที่ 5.28 แสดงผลลัพธ์และฮีสโตแกรมของ Tank ด้วยวิธี HE

5.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยวิธีอื่นๆ

ในส่วนนี้จะแสดงถึงตารางการเปรียบเทียบค่าสัมบรูณ์ของความสว่างผิดพลาด (AMBE) ที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับวิธีที่นำเสนอจากวิธี BBHE , DSIHE , MMBEBHE และวิธีที่นำเสนอโดยจากการที่ฮีสโตแกรมถูกแบ่งออกเป็น 2, 4 และ 8 กลุ่ม ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 AMBE จากวิธีที่อ้างอิง BBHE, DSIHE, MMBEBHE และวิธีที่นำเสนอ

				วิธีที่นำเสนอโดยแบ่งกลุ่มเป็น		
Image	**BBHE**	**DSIHE**	**MMBEBHE**	**2 กลุ่ม**	**4 กลุ่ม**	**8 กลุ่ม**
Arctic hare	24.2	37.9	13.5	5.51521	2.21727	0.13591
Aerial	9.98	20.53	0.70	0.09031	0.08505	0.00048
Airplane U2	16.81	41.70	7.26	4.21810	1.77643	0.7204
Airplane2	15.89	27.80	2.83	2.80322	1.64262	1.48756
Baboon	0.65	0.06	0.77	0.20838	0.15187	0.00977
Car	7.33	11.01	0.82	0.79270	0.60652	0.58437
Clock	5.97	13.96	5.29	5.09538	3.47194	1.72871
Girl	23.58	7.55	5.77	2.70451	2.59917	1.25986
House	13.37	8.63	2.42	2.23003	1.13749	0.44452
Peppers	4.96	4.99	0.74	0.20731	0.20385	0.14054
Splash	10.14	11.45	0.95	0.38841	0.06483	0.04141

จากตารางที่ 5.3 พบว่าวิธีที่นำเสนอโดยแบ่งกลุ่มของฮีสโตแกรมของภาพออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วเปรียบเทียบกับวิธีที่อ้างอิงทั้ง 3 วิธี (BBHE,DSIHE และ MMBEBHE) จะได้ค่า AMBE ลดลงกว่าเดิมในทุกๆภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการในการปรับเรียบจากวิธีที่นำเสนอสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งยังสามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาไว้ได้

5.4 การเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ

จากวิธีที่นำเสนอในการที่พยายามเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพไว้โดย ตั้งสมมุติฐานว่าถ้าการแบ่งกลุ่มของฮีสโตรแกรมให้มากขึ้น และทำการปรับเรียบอย่างเป็นอิสระต่อกัน จะยิ่งทำให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับอย่างมาก ดังนั้นในตารางที่

5.4 ถึง 5.6 จะแสดงค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) และค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มจากการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 2 กลุ่ม 4 กลุ่ม และ 8 กลุ่มตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) และ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของแต่ละกลุ่ม เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 2 กลุ่ม

Image	Threshold X_T	Mean			
		ต้นฉบับ	กลุ่มที่ 1 X_{T1}	กลุ่มที่ 2 X_{T2}	รวม $X_{Tรวม}$
Arctic hare	231	214.89392	161.87430	247.58671	209.37870
Baboon	115	113.53872	53.08611	181.05595	113.74710
Aerial	191	180.57175	107.80499	234.87340	180.48145
Aerial 2	125	123.17720	61.27067	189.34749	123.61515
Airplane 2	202	193.55383	119.38208	237.73847	190.75061
Car	102	119.32995	52.07039	184.26382	118.53725
Clock	214	185.98027	113.45587	241.95708	180.88489
F16	186	164.27175	89.84544	228.06963	164.25726
Girls	120	119.10864	51.82211	182.39237	121.81316
House	156	148.06848	80.25589	209.04899	145.83845
Jelly Beans	179	163.45728	92.68181	224.52867	162.75563
Peppers	105	111.65142	49.33888	177.75636	111.44410
Splash	90	92.97602	35.24972	164.05483	93.36444
Tank	134	125.60364	63.27058	192.77522	124.58797

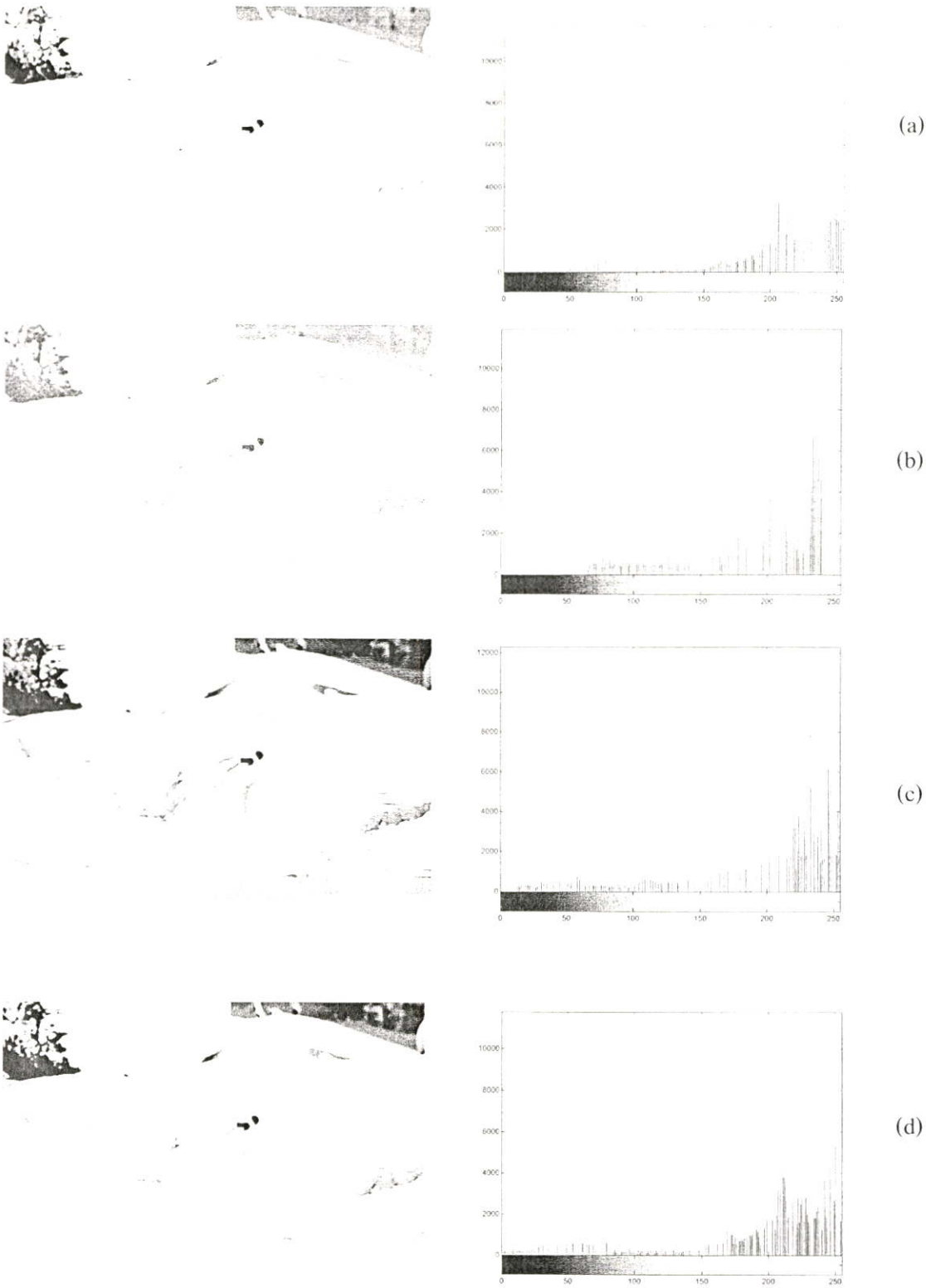
ตารางที่ 5.5 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) และ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของแต่ละกลุ่ม เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่ม

Image	Threshold			Mean				รวม
	X_{T1}	X_{T2}	X_{T3}	กลุ่มที่ $1X_{T1}$	กลุ่มที่ $2X_{T2}$	กลุ่มที่ $3X_{T3}$	กลุ่มที่ $4X_{T4}$	$X_{Tรวม}$
Arctic hare	204	232	255	108.13977	223.23979	244.46046	255.0000	212.676
Baboon	81	116	150	40.16663	97.44252	129.91719	204.72286	113.690
Aerial	166	192	207	86.33730	182.23810	200.17256	228.73723	180.656
Aerial 2	102	126	146	52.60676	113.56600	133.81763	200.30358	123.358
Airplane 2	177	203	219	92.83389	194.10495	211.47707	236.86555	191.911
Car	84	103	174	46.57756	89.81347	137.18222	222.00271	119.936
Clock	154	215	229	76.94858	184.60854	222.23106	244.61345	182.508
F16	139	187	199	68.50656	162.13646	192.78916	227.05972	164.273
Girls	115	121	123	54.67581	117.32983	122.0000	193.36718	121.707
House	120	157	189	59.09394	138.49122	173.21331	223.97606	149.205
Jelly Beans	166	180	185	93.28452	174.03711	180.0000	223.97951	163.908
Peppers	75	106	158	37.38616	88.60656	129.74894	206.06564	111.855
Splash	65	91	105	31.79085	77.99759	94.95432	175.43363	92.911
Tank	96	135	156	48.16348	116.38682	143.04560	204.48838	125.980

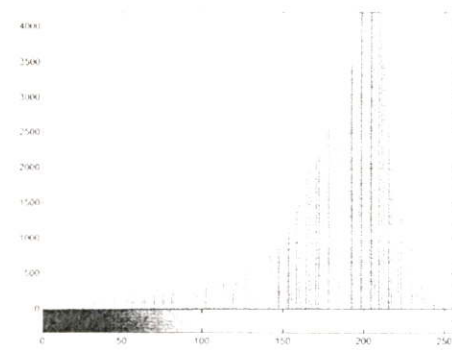
ตารางที่ 5.6 ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) และ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของแต่ละกลุ่ม เมื่อแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 8 กลุ่ม

	THRESHOLD							MEAN								
Image	X_{T1}	X_{T2}	X_{T3}	X_{T4}	X_{T5}	X_{T6}	X_{T7}	ต้นฉบับ	กลุ่มที่ 1 X_{T1}	กลุ่มที่ 2 X_{T2}	กลุ่มที่ 3 X_{T3}	กลุ่มที่ 4 X_{T4}	กลุ่มที่ 5 X_{T5}	กลุ่มที่ 6 X_{T6}	กลุ่มที่ 7 X_{T7}	กลุ่มที่ 8 X_{T8}	รวม $X_{Tรวม}$
Arctic hare	166	203	215	231	247	254	254	214.89392	83.63287	185.98050	210.33063	224.39711	204.45888	250.66172	000.0000	255.0000	213.53486
Baboon	56	80	100	115	128	149	167	113.53872	28.50345	68.41295	90.44649	107.95194	120.89124	140.29463	159.42377	213.15686	113.63646
Aerial	138	165	179	191	199	206	213	180.57175	68.33822	153.33219	173.88214	186.50418	196.13925	203.61003	210.62736	232.38438	180.57224
Aerial 2	74	101	116	125	135	145	160	123.17720	37.50291	88.50450	108.31222	121.5555	130.96992	140.73915	153.29753	207.89660	123.17565
Airplane 2	154	176	192	202	210	218	223	193.55383	77.32495	166.82989	185.53424	198.53907	207.22334	215.19305	221.77007	239.92488	192.06627
Car	57	83	97	102	140	173	175	119.32995	27.44648	70.07940	91.70278	98.25059	120.71084	166.37328	000.0000	213.14738	119.91432
Clock	48	153	198	214	223	228	230	185.98027	50.69324	127.17736	176.62940	208.06394	220.34501	227.19172	229.54605	240.32310	187.70898
F16	84	138	176	186	192	198	205	164.27175	40.64880	110.51287	157.60154	181.95331	190.05450	195.94755	202.37188	232.17886	164.27522
Girls	120	114	118	120	121	122	126	119.10864	51.61233	109.04861	117.01630	120.0000	121.0000	122.0000	124.76735	191.02070	120.36850
House	84	119	139	156	175	188	195	148.06848	41.00177	101.12580	129.04043	147.69431	165.52230	181.71477	191.96499	226.36707	148.51299
Jelly Beans	118	165	173	179	182	184	186	163.45728	58.58078	147.38930	170.03405	176.70854	181.16468	000.0000	000.0000	233.83657	163.60391
Peppers	47	74	86	105	136	157	179	111.65142	22.14987	61.64109	79.92097	94.96336	120.69513	145.99598	166.38588	215.44390	111.51088
Splash	36	64	79	90	99	104	144	92.97602	16.34368	50.90771	73.25024	85.52750	95.41917	102.63722	125.10581	201.1805	93.01743
Tank	76	95	115	134	146	155	163	125.60364	39.46646	85.48421	105.16144	125.30985	140.05639	149.88700	156.99660	207.75210	125.87896

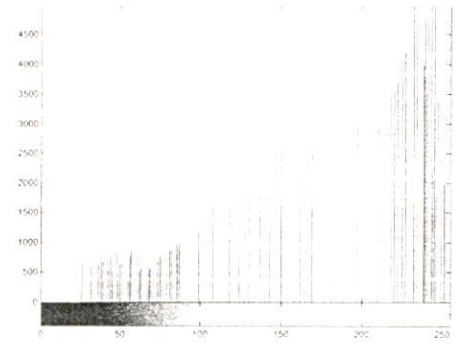
จากการคำนวณหาค่าแทรชโฮลด์ในแต่ละกลุ่ม และแยกการปรับเรียบอย่างอิสระต่อกัน แล้ว ทำให้มีการแบ่งกลุ่มฮีสโตแกรมของภาพออกเป็น 2 กลุ่ม 4 กลุ่ม และ 8 กลุ่ม ดังภาพ



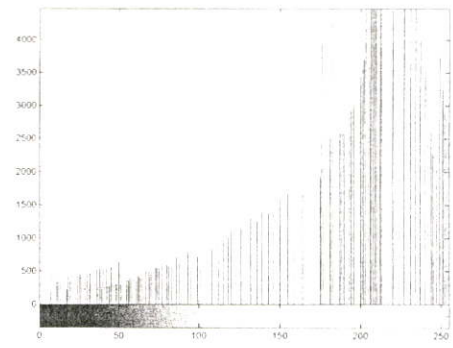
รูปที่ 5.29 (a) รูปต้นฉบับของ *Arctic hare* (b) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม (c) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Arctic hare* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



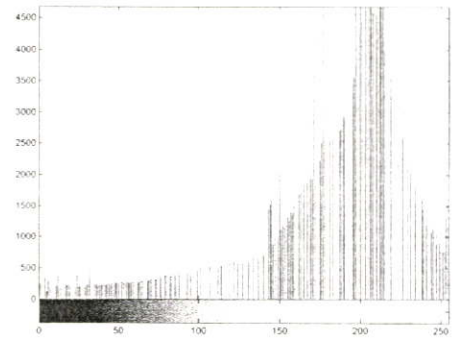
(a)



(b)

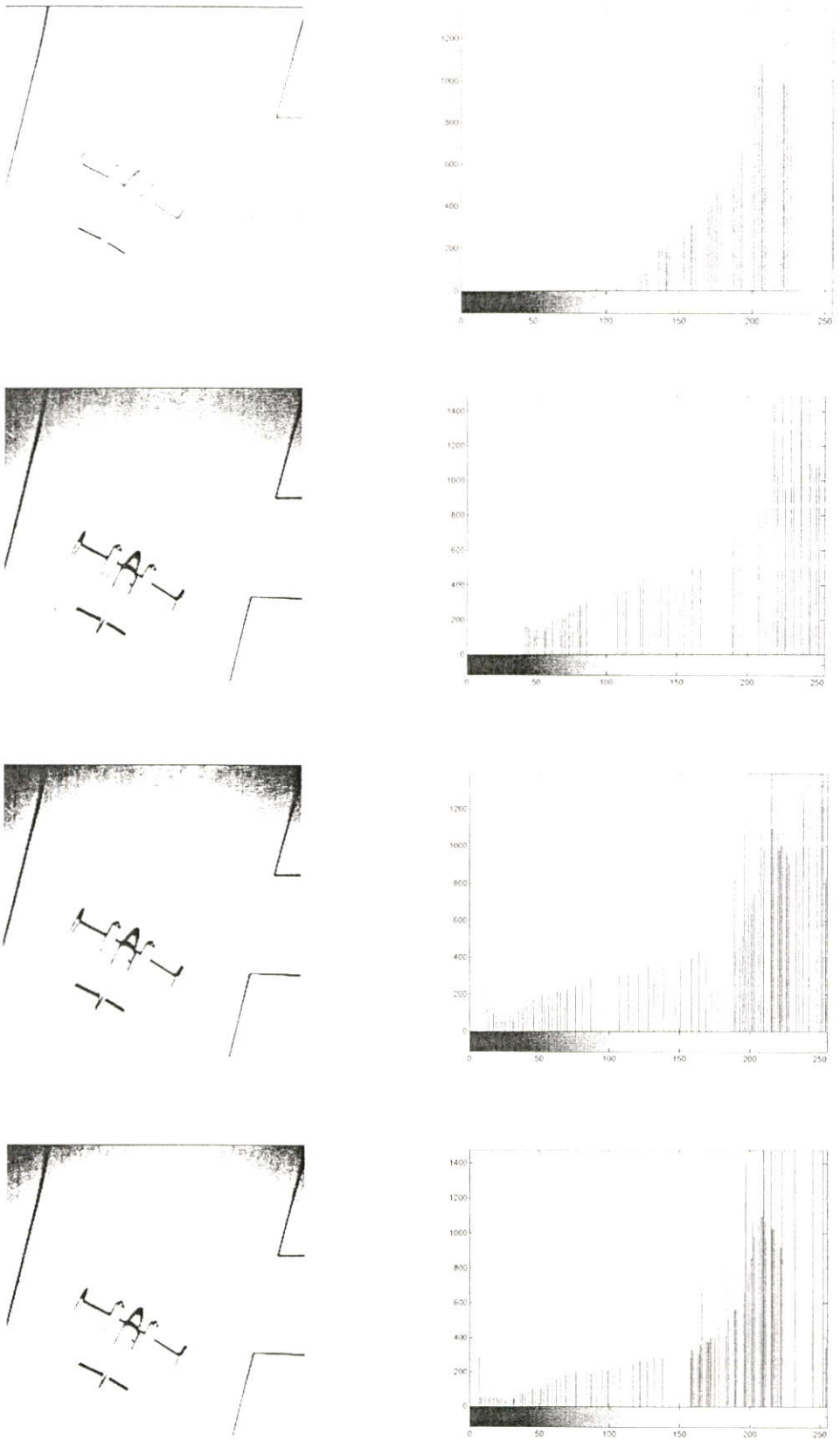


(c)



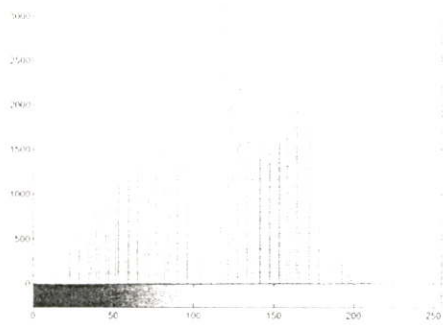
(d)

รูปที่ 5.30 (a) รูปต้นฉบับของ *Aerial* (b) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Aerial* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม

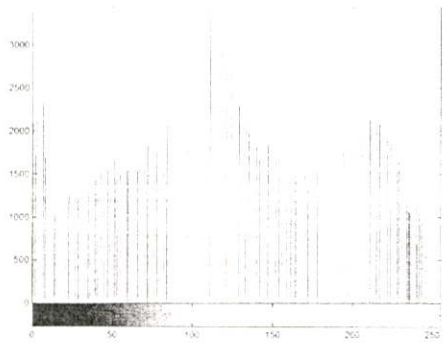


(a) (b) (c) (d)

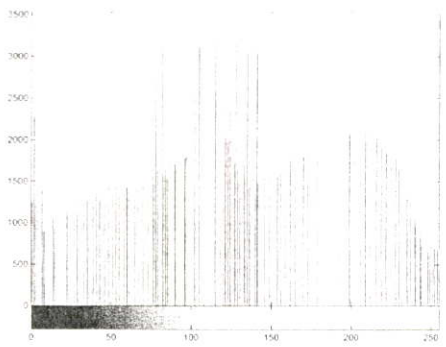
รูปที่ 5.31 (a) รูปต้นฉบับของ *Airplane2* (b) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Airplane2* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



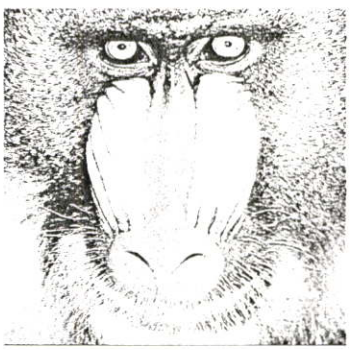
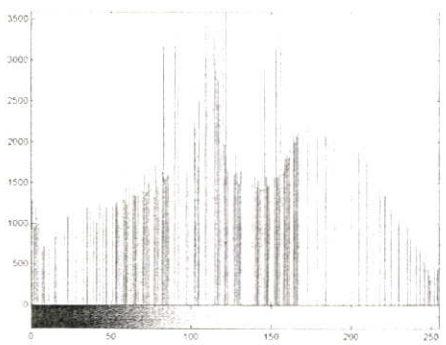
(a)



(b)

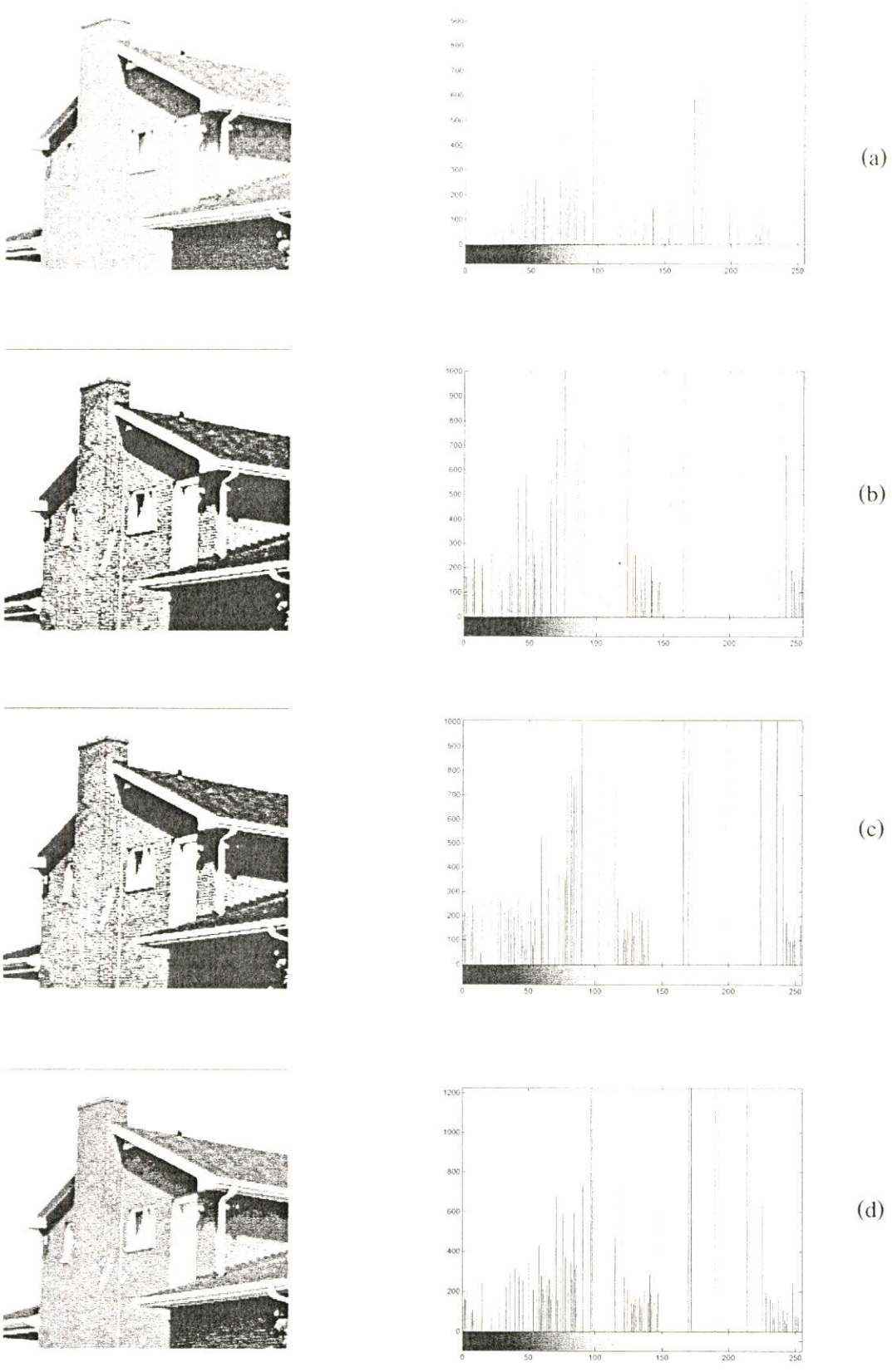


(c)

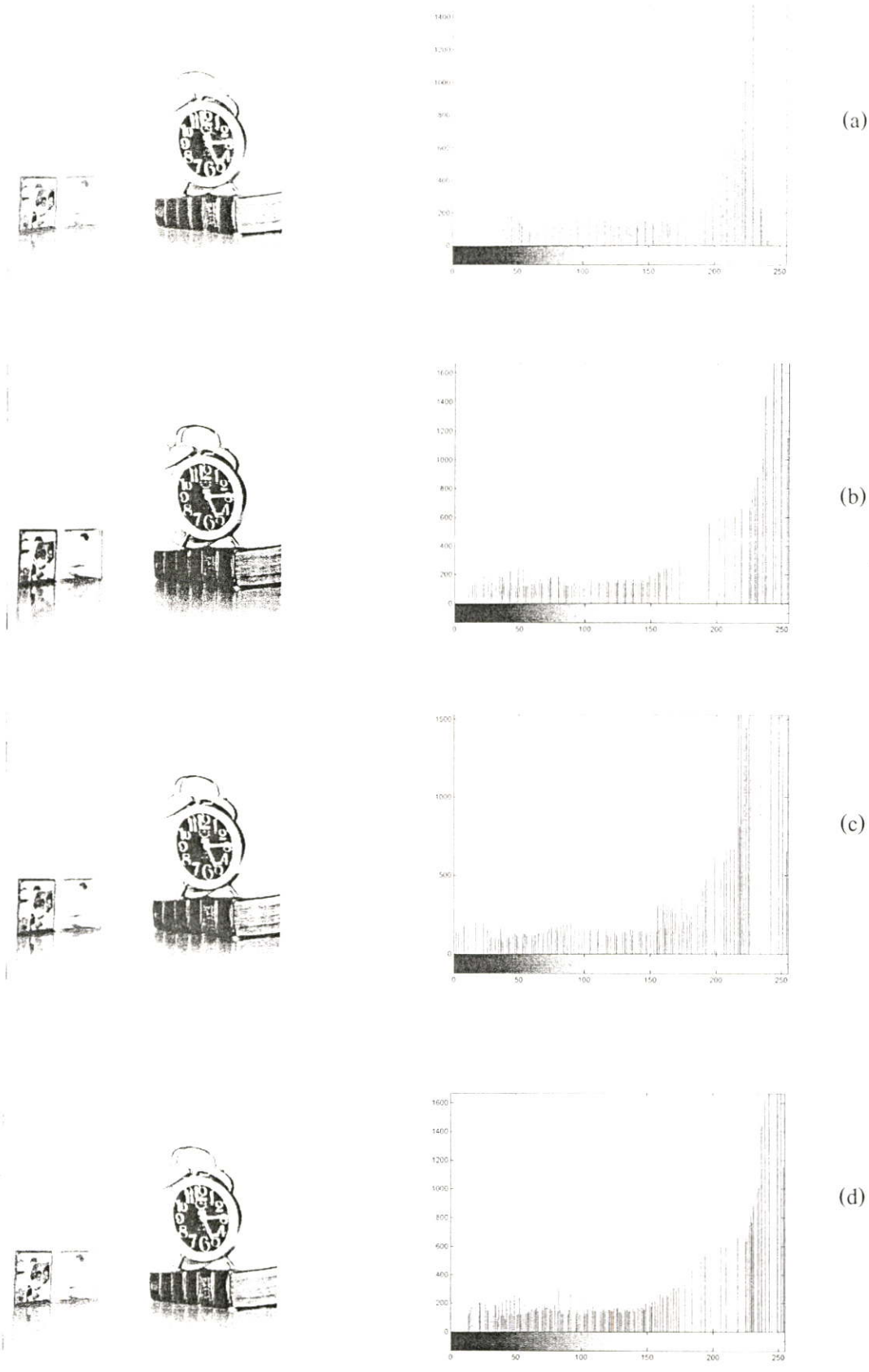
(d)

รูปที่ 5.32 (a) รูปต้นฉบับของ *Baboon* (b) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Baboon* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 5.33 (a) รูปต้นฉบับของ *Car* (b) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Car* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



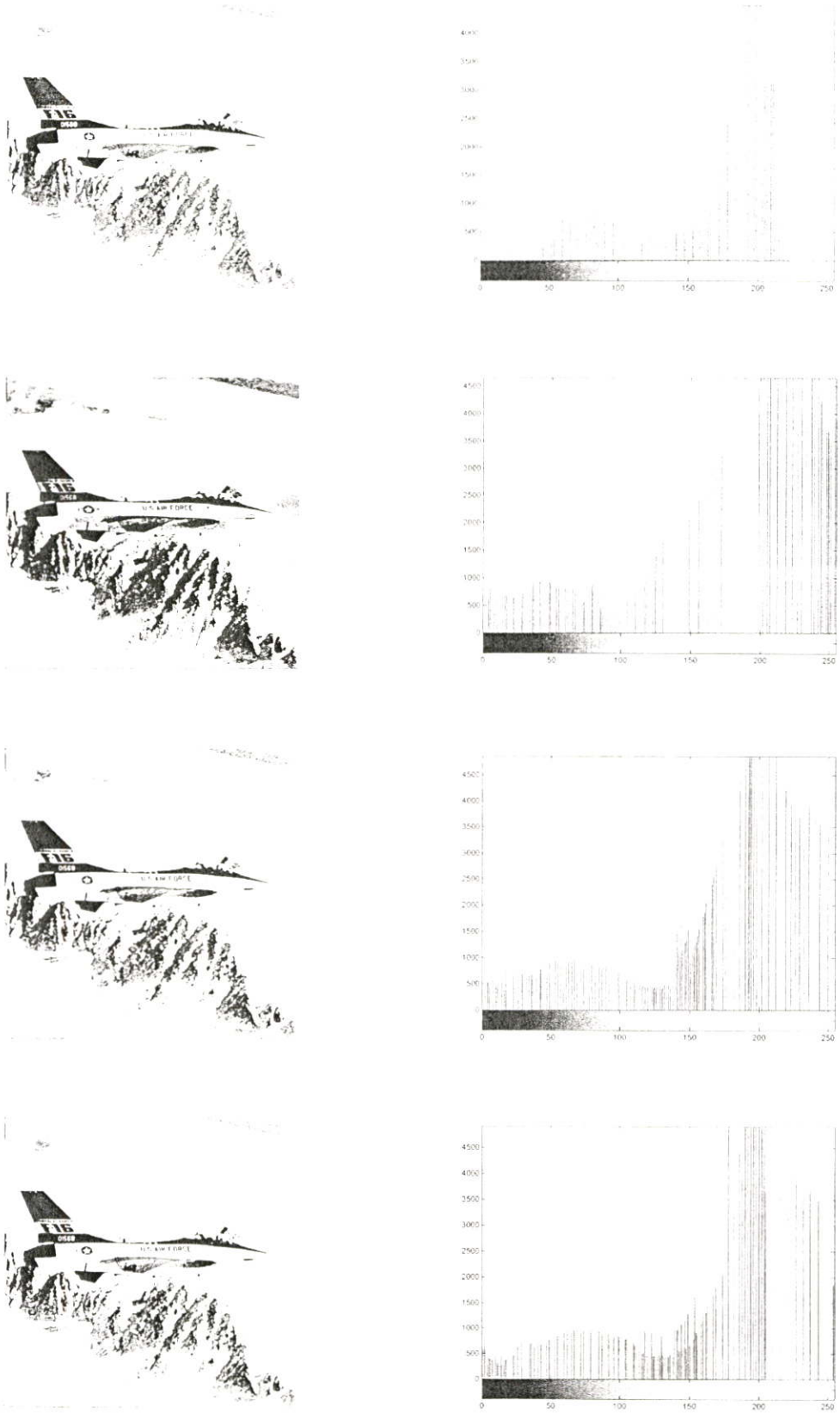
(a)

(b)

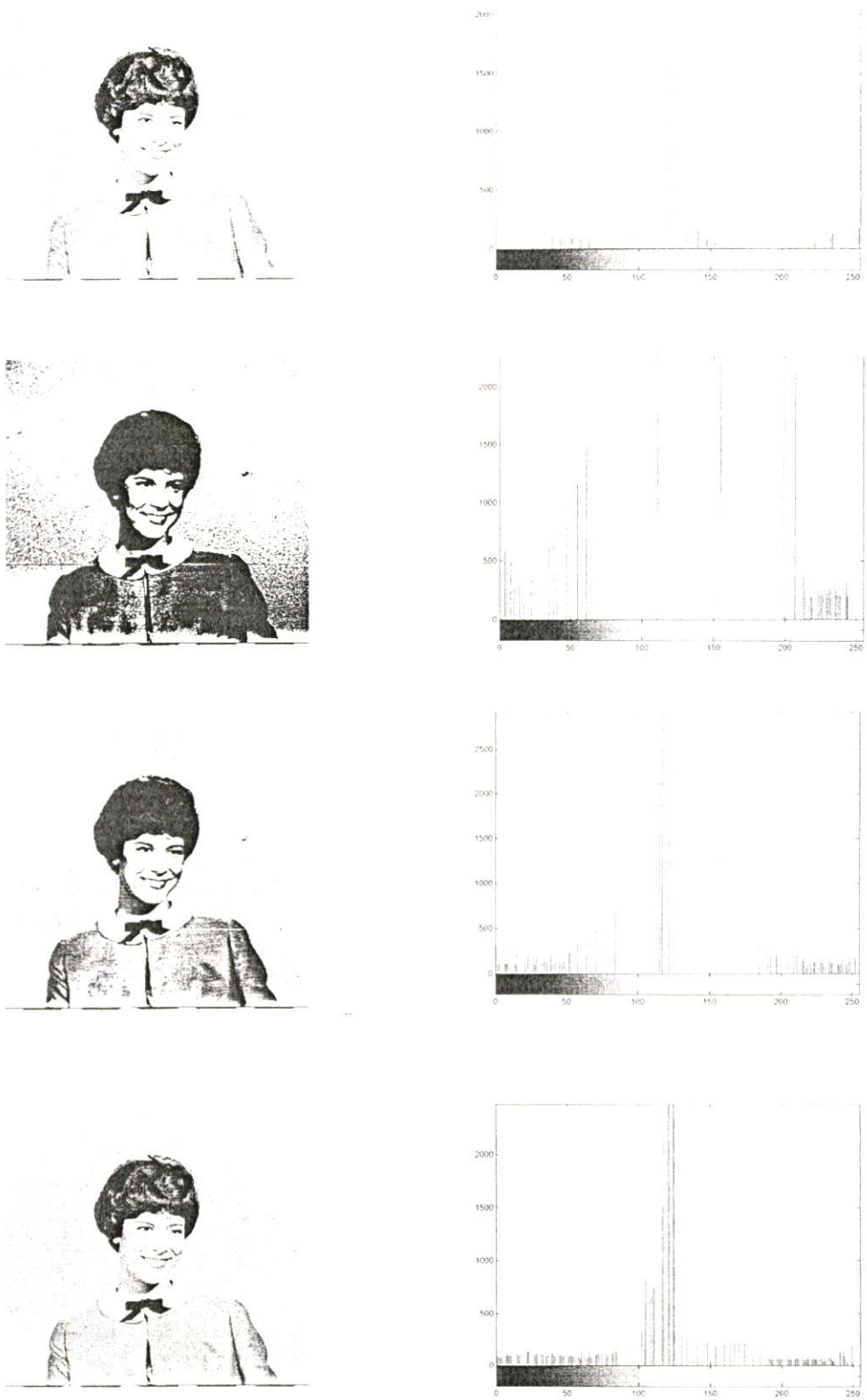
(c)

(d)

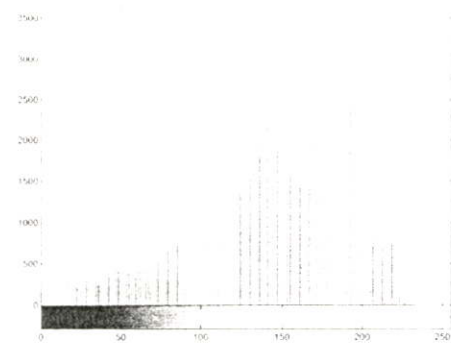
รูปที่ 5.34 (a) รูปต้นฉบับของ *Clock* (b) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Clock* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



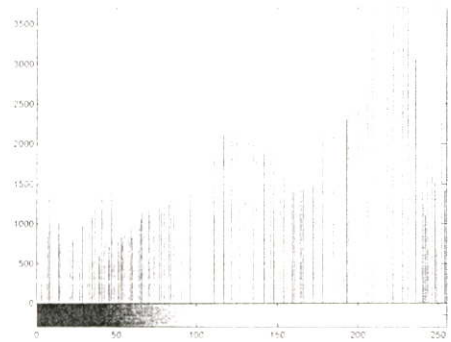
รูปที่ 5.35 (a) รูปต้นฉบับของ *F16* (b) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *F16* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



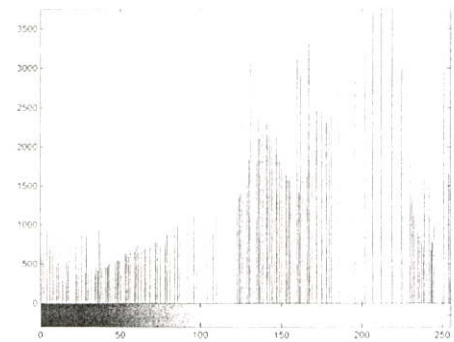
รูปที่ 5.36 (a) รูปต้นฉบับของ *Girls* (b) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Girls* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



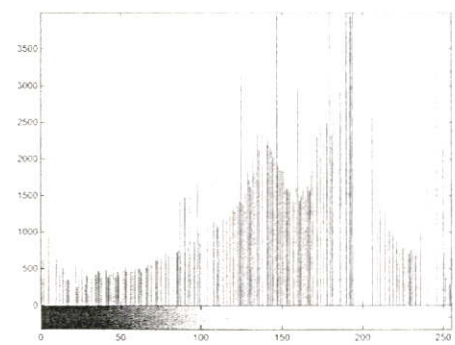
(a)



(b)



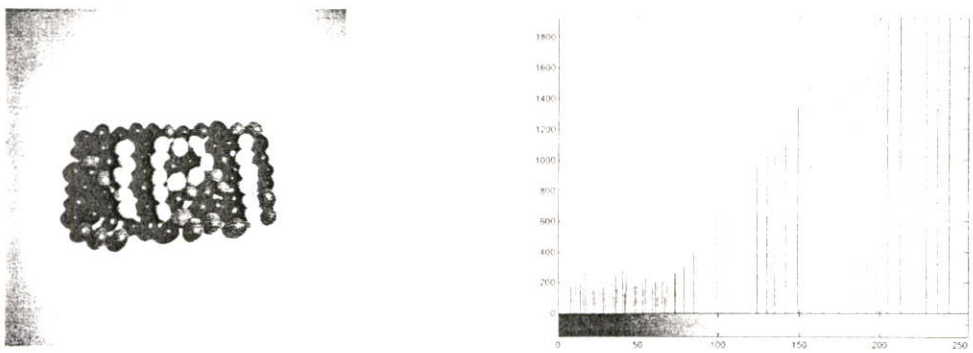
(c)



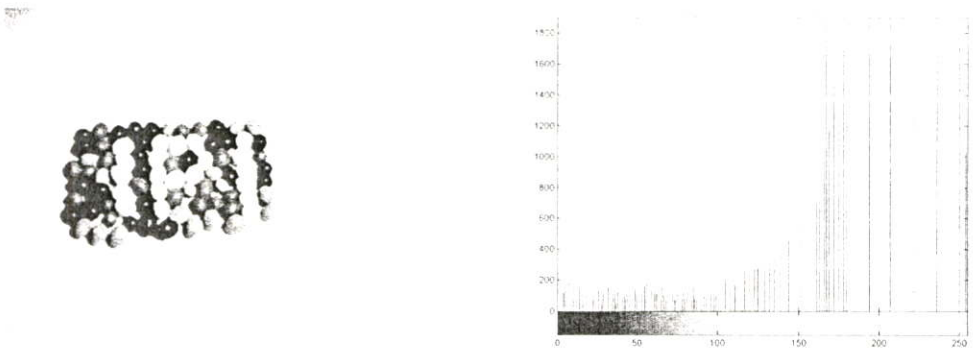
(d)

รูปที่ 5.37 (a) รูปต้นฉบับของ *House* (b) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *House* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม

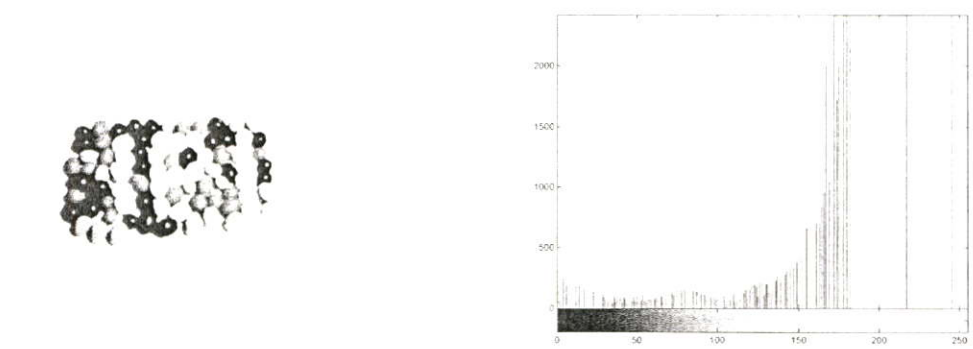
(a)



(b)

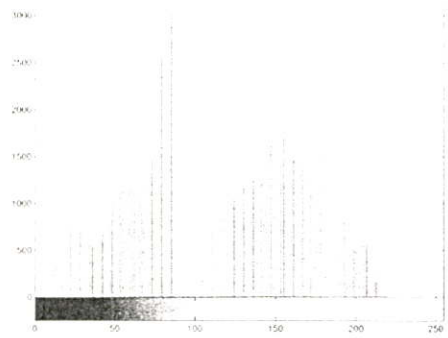


(c)

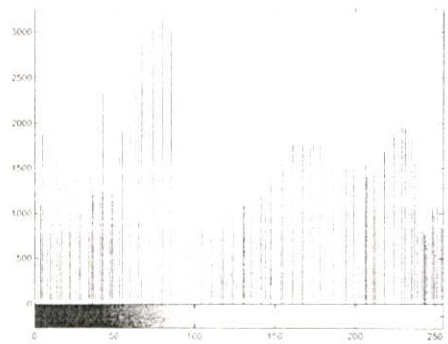


(d)

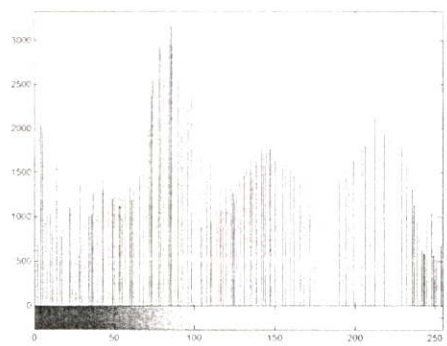
รูปที่ 5.38 (a) รูปต้นฉบับของ *Jelly Beans* (b) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Jelly Beans* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม



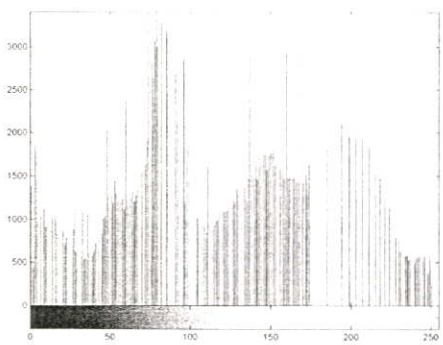
(a)



(b)

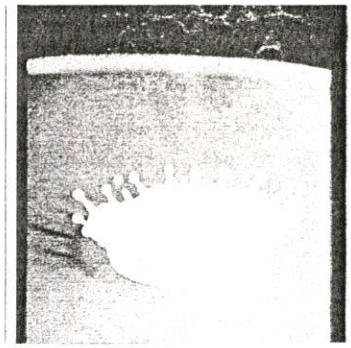
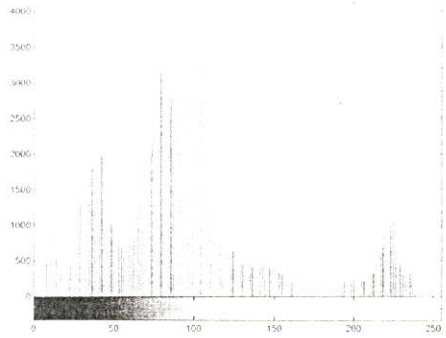


(c)

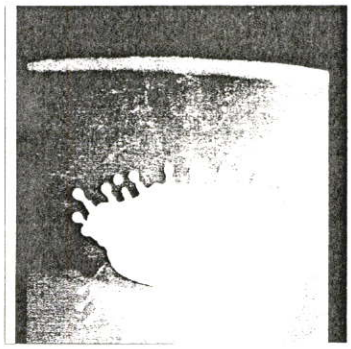
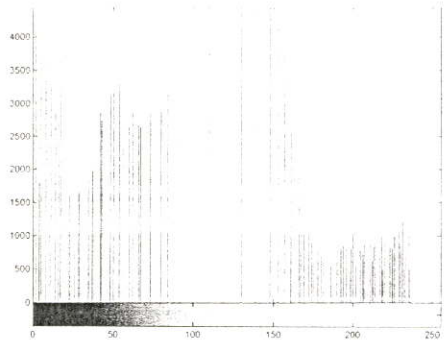


(d)

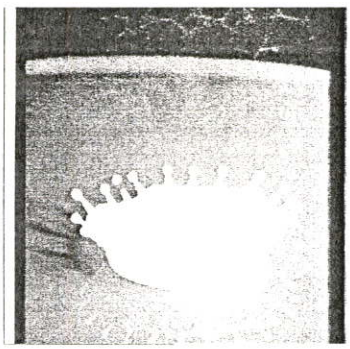
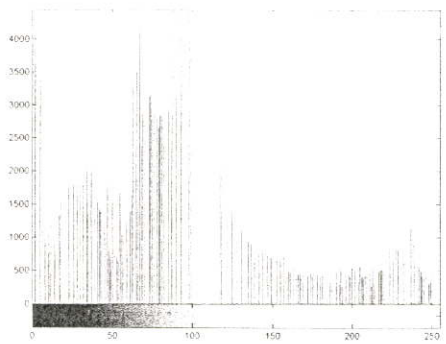
รูปที่ 5.39 (a) รูปต้นฉบับของ *Peppers* (b) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Peppers* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม

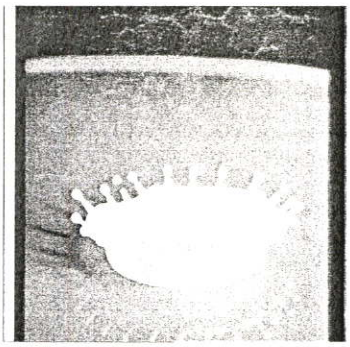
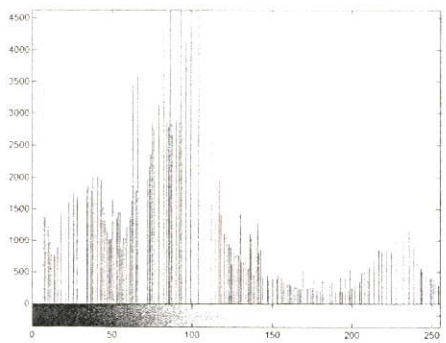
(a)

(b)

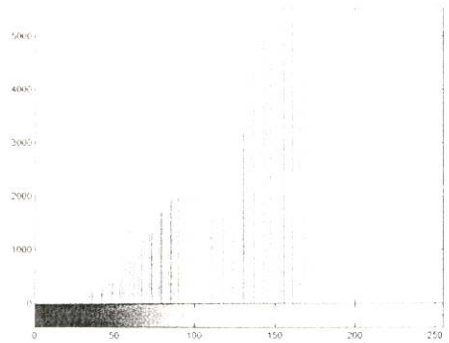



(c)

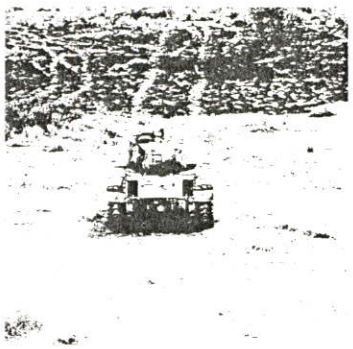



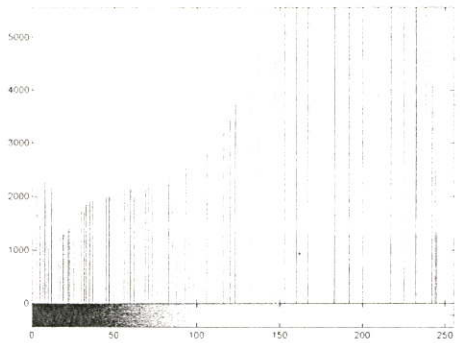
(d)

รูปที่ 5.40 (a) รูปต้นฉบับของ *Splash* (b) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Splash* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม

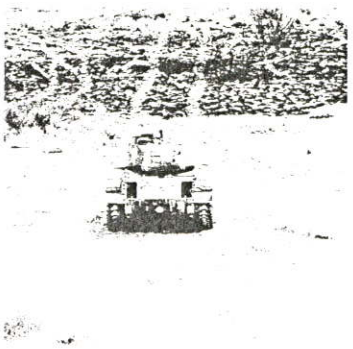


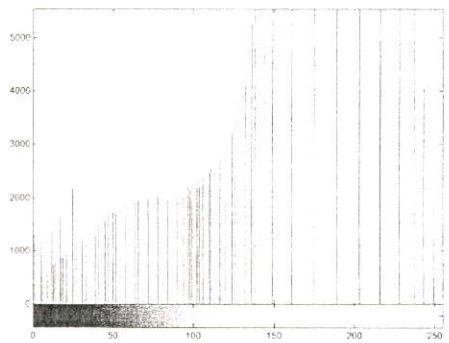
(a)



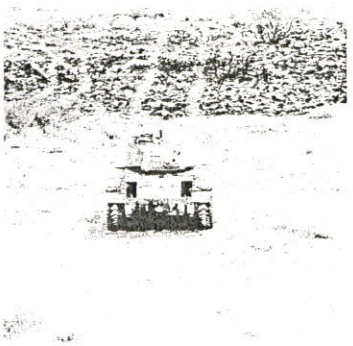


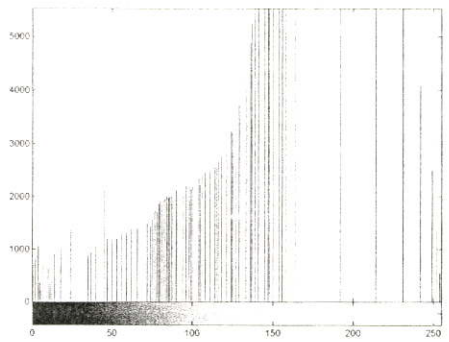
(b)





(c)





(d)

รูปที่ 5.41 (a) รูปต้นฉบับของ *Tank* (b) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 2 กลุ่ม
(c) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 4 กลุ่ม (d) รูป *Tank* เมื่อถูกแบ่ง 8 กลุ่ม

5.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองและพัฒนาการปรับเรียบความคมชัดของภาพด้วยเทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด (Improvement of Histogram Equalization for Minimum Mean Brightness Error) เมื่อนำภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอหลังจากการปรับเรียบแล้วพบว่า ยังคงสามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่าง (AMBE) ไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ และวิธีอื่นๆที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแก้ไขปัญหาการกระจุกตัวของระดับสีเทาให้กระจายกันอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มองเห็นรายละเอียดของภาพในบริเวณที่เกิดค่าระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกันได้มากขึ้น

บทที่ 6
บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จุดมุ่งหมายของการปรับปรุงความแตกต่างของภาพ คือพยายามให้ภาพเกิดมีความคมชัดและกระจ่างที่สุด ซึ่งวิธีการปรับปรุงความแตกต่างของรูปภาพที่เป็นรูปภาพเป็นชนิดระดับสีเทามีค่าระดับสีเทา 256 ระดับ คือวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม วิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง และในเกือบจะทุกๆสาขาที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ เช่น ภาพถ่ายผ่านดาวเทียม ภาพเอกซเรย์ในวงการแพทย์ เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าหลักการของวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมจะพยายามขยายข้อมูลของฮีสโตแกรมให้กระจายอยู่ในทุกๆระดับสีเทา เพื่อให้เกิดความแตกต่างภายในภาพสูงสุด แต่วิธีนี้จะทำให้ภาพหลังการปรับปรุงด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรม ที่ทำตลอดทั้งภาพจะมีค่าเฉลี่ยความสว่างเปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลให้คุณภาพของภาพหลังการปรับปรุงลดลง ดังนั้นถ้าหากไม่สนใจในส่วนของค่าความสว่างเฉลี่ยของอินพุทที่เข้ามาก่อนการแปลง อาจจะทำให้เกิดข้อบกพร่องในงานบางอย่างที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปได้ ในงานวิจัยต่อมาจึงได้มีการพัฒนาวิธีในการปรับความคมชัดของภาพให้ได้คุณภาพของภาพสูงขึ้น และยังสามารถจะเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น วิธี Mean Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE) , Dualistic Sub-Image Histogram Equalization (DSIHE) และ Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization (MMBEBHE) แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อบกพร่องอยู่จากที่คิดว่าน่าจะสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการแปลงให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความสว่างต้นฉบับได้ดีขึ้นจึงเป็นแนวคิดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้พยายามเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาไว้ให้มีค่าใกล้เคียงภาพต้นฉบับให้ได้มากที่สุด โดยมีหลักการคือ จะแบ่งฮีสโตแกรมจากภาพต้นฉบับออกเป็นกลุ่มๆ (จาก 2,3,…,n) จากนั้นจึงทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างเป็นอิสระต่อกัน การแบ่งกลุ่มจะได้มาจากการคำนวณหาขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละกลุ่มจากภาพต้นฉบับ โดยจะเริ่มจาก 2 กลุ่ม 3 กลุ่ม 4 กลุ่มหรือมากกว่า ตามลำดับ การแบ่งกลุ่มดังกล่าวจะเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่อได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดสัมบรูณ์ต่ำที่สุด (AMBE) หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาจุดภาพของระดับที่เทาถัดไปที่จะนำมาชดเชยและแทนที่ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกลุ่มของฮีสโตแกรมก่อนหน้าเพื่อพยายามลดค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม ด้วยเทคนิคนี้จะยิ่งลดค่าความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดในแต่ละกลุ่มลงได้อีก และจากการทดลองพบว่าเมื่อยิ่งแบ่งกลุ่มของฮีสโตแกรมมากขึ้นจะยิ่งทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดสัมบรูณ์ลดลงไปเรื่อยๆ แต่ถ้า

แบ่งกลุ่มมากจนเกินไปก็จะเกิดข้อเสีย กล่าวคือภาพผลลัพธ์ที่ได้เหมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงฮีสโตแกรมหรือความแตกต่างของภาพ

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 4 ไปแล้วนั้น ภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบจะเป็นภาพระดับสีเทา 8บิต ซึ่งมี 1 เลเยอร์ (Layer) มีความแตกต่างของระดับสีขาวดำจาก 0 ถึง 255 ทั้งสิ้น 256 ระดับ วิธีการที่นำเสนอนี้จะสามารถประยุกต์นำไปใช้กับภาพสี RGB ได้ โดยจะแบ่งเลเยอร์ ตามเลเยอร์ R G และ B โดยจะทำทีละเลเยอร์ และใช้เทคนิคเช่นเดียวกับที่นำเสนอคือแบ่งทำครั้งละ 1 เลเยอร์และแบ่งกลุ่มของฮีสโตแกรมตามที่เหมาะสม แล้วนำกลับมารวมเลเยอร์ใหม่ทั้งหมดหลังทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมกันอย่างอิสระต่อกันแล้ว และจากสมมติฐานจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดลดลง

ปัญหาที่น่าสนใจอีกปัญหาคือ จะแบ่งกลุ่มออกมาเป็นกี่กลุ่มถึงจะให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ขณะเดียวกันยังคงให้ความแตกต่างในภาพสูง ปัญหานี้คงปล่อยไว้ให้ผู้วิจัยท่านอื่นได้ทำการศึกษาต่อไป

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.

[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 UsingMen-Separate Histogram Equalization**, United States Patent, PatentNo. 5,963,665, Oct 5, 1999.

[19] Yeong-Taeg Kim, **Method For Image Enhancing Using Quantized Men-Separate Histogram Equalization.** United States Petent, Patent No. 5,857,033, Jan 5, 1999.

[20] Yeong-taeg Kim. **Image Enhancing Method And Circuit Using Men- Separate /Quantized Mean Separate Histogram Equalization And Color Compensation.** United States Patent, Patent No. 6,049,626, Apr 11,2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรม M-files ที่เขียนบนโปรแกรม MATLAB

(บรรจุอยู่ในแผ่น CD ด้านหลัง)

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

The ECON-29 Conference Joins the Six-cycle Anniversary
Celebrations of His Majesty's Accession to the Throne

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ ๒๙

ไฟฟ้าสื่อสาร (COM)
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP)
ระบบควบคุมและการวัดคุม (CON)
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GEN)

๙-๑๐ พฤศจิกายน ๒๕๔๙
ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

Western Digital

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮีสโตแกรมเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

Improvement of Histogram Equalization for Minimum Mean Brightness Error

ณัฐพงศ์ พันธุนะ[1]และฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เฉขที่ 3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
E-mail: [1]nattapong100@gmail.com , [2]kefusak@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงภาพ โดยใช้วิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม โดยได้มีการนำเสนอวิธีการเพื่อพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยทำการแบ่งค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ จากฮีสโตแกรมของภาพออกเป็น 2^n กลุ่ม ซึ่งจะได้การแบ่งเป็น 2,4 และ 8 ตามลำดับ ในการแบ่งแต่ละส่วนของฮีสโตแกรมจะใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณมาจากวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมดังกล่าวเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้หลังการปรับเรียบฮีสโตแกรมแต่ละกลุ่มให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด จากการทดลอง ค่าความผิดพลาดดังกล่าวจะลดลงเมื่อจำนวนการแบ่งกลุ่มเพิ่มมากขึ้น

Keywords: Improvement histogram equalization, minimum mean brightness error, absolute mean brightness error

Abstract

This research presents the image enhancing using a mean-separate histogram equalization method. It can preserve the original brightness to a certain extends. To provide maximum brightness preservation, . it separates the input image's histogram into 2^n based on input mean before equalizing them independently. The image initially is separated from 2 ,4 and 8 class by calculated threshold level and each class is histogram equalized to entire image, and gets lowest AMBE (AMBE : the absolute difference between input and output mean) The result found that AMBE gradually reduces when the separation is increased.

1.บทนำ

การปรับปรุงภาพโดยวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรม(Histogram Equalization) เป็นวิธีการพื้นฐานในการเพิ่มคอนทราสต์ให้กับภาพ โดยจะอาศัยวิธีการแมปปิ้งค่าระดับสีเทาของภาพอินพุต ผ่านฟังก์ชั่นการแปลงที่ได้จากความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density function) วิธีการปรับเรียบทั้งภาพจะช่วยทำให้ฮีสโตแกรม ที่มีการกระจายข้อมูลช่วงแคบๆถูกขยายให้กว้างขึ้น ภาพเอาท์พุตก็จะให้ความแตกต่างในภาพสูง จึงมักนิยมนำไปใช้ในงานเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพเรดาห์ เป็นต้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือหลังการปรับเรียบฮีสโตแกรม จะทำให้ค่าเฉลี่ยของความสว่างในภาพผลลัพธ์เปลี่ยนไปจากค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับอย่างมากจึงไม่อาจนำไปใช้ในงานบางชนิดดังได้กล่าวไว้ใน [3] ในบทความนี้จึงพยายามนำวิธีการเชิงสถิติมาใช้เพื่อแบ่งฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็น 2^n กลุ่ม(Class) โดย n เป็น 1,2,3,... ในแต่ละส่วนจะถูกทำการปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างอิสระ ทั้งนี้ต้องพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของแต่ละส่วนให้เป็นไปตามเป้าหมาย เพื่อรักษาให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับเรียบแล้ว จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความสว่างจากภาพต้นฉบับมากที่สุด

ใน [2] ได้เสนอวิธีการลดค่าผิดพลาดของค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพจากการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นสองส่วนให้ต่ำที่สุด (เรียกวิธีนี้ว่า MMBEBHE) ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยอาศัยค่าระดับสีเทา X_T เป็นขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ค่าระดับสีเทาที่อยู่ต่ำกว่า X_T และสูงกว่า X_T จะถูกทำการปรับเรียบอย่างอิสระจากกันโดย X_T ของ [2] ได้จากการคำนวณค่าสัมบรูณ์ของค่าความผิดพลาดความสว่างเฉลี่ยต่ำสุด(Absolute mean Brightness Error:AMBE) สำหรับแต่ละค่า X_T ที่เลือกขึ้นมาซึ่งผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดของค่าความสว่างเฉลี่ยลดลงระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากเมื่อได้ X_T มาก็จะนำจุดภาพทั้งหมดในระดับสีเทา X_T ไปใช้พบว่าจะเป็นจุดด้อยที่จะยังคงลดค่าความผิดพลาดได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงโดยได้นำเสนอวิธีการเลือกค่า X_T จากการแบ่งกลุ่ม ซึ่งถ้าได้ค่า X_T ที่เหมาะสมเราจะลงลึกไปถึงขั้นที่ว่า ต้องใช้จำนวนจุดภาพกี่จุดในระดับสีเทา X_T เพื่อให้กลุ่มที่อยู่ด้านซ้ายของ X_T เมื่อทำการปรับเรียบแล้วจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

2. การปรับเรียบฮิสโตแกรม (Histogram Equalization)

การปรับเรียบฮีสโตแกรม (HE) เป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้กันมากเพื่อให้ภาพมีความคมชัดยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการคือ กำหนดให้ภาพเป็น $\mathbf{X}$, ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $p(x_k)$ นิยามโดย

$$p(X_k) = \frac{N^k}{N_T} \qquad (1)$$

เมื่อ K = 0 , 1 ,..., L-1 เมื่อ N^k คือ จำนวนจุดภาพในแต่ละระดับสีเทาที่ปรากฏอยู่ในภาพ X , N_T เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพต้นฉบับ

หลังจากได้ $p(x_k)$ แล้วจะคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (The cumulative Density function : CDF) ของ PDF กล่าวคือ

$$c(x) = \sum_{j=0}^{k} p(X_j) \qquad (2)$$

เมื่อ $X_k = x$, โดยที่ k = 0 , 1 ,..., L-1 และจะได้ว่า$c(X_{L-1})$=1เป็นค่าต่ำสุดของค่าระดับสีเทา และ X_{L-1} เป็นค่าสูงสุดของค่าระดับสีเทา ดังนั้นจะนิยามฟังก์ชันการแปลงรูป f(x) โดยอ้างถึงฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมเป็น

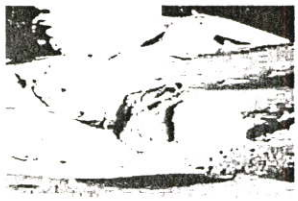
$$f(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(x) \qquad (3)$$

DS26

ภาพผลลัพธ์ของการปรับเรียบฮีสโตรแกรม $y = \{y(i,j)\}$ จะสามารถนิยามได้ว่า

$$Y = f(X) \tag{4}$$

$$= \{f(X(i,j)) \mid \forall X(i,j) \in X\} \tag{5}$$

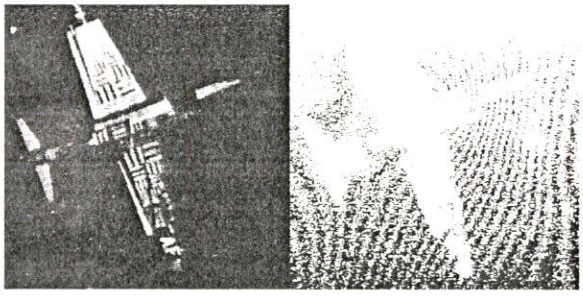


1(a) 1(b)

รูปที่1(a) arctic hare ต้นฉบับ

รูปที่1 (b) ผลลัพธ์ของ arctic hare จากวิธี HE

ดังที่กล่าวมาแล้ว วิธี HE จะสามารถเปลี่ยนแปลงความสว่างของรูปภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างในรูปที่1(a) จะเป็นรูปต้นฉบับของ arctic hare และรูปที่1(b) จะเป็นรูป arctic hare ที่ได้ผ่านการปรับปรุงของHEแล้ว ซึ่งในภาพจะประกอบไปด้วยจำนวนระดับสีเทา 256 ระดับ สังเกตในรูปที่1(b) พบว่ารูปภาพที่มีการปรับเรียบจะมีความคมชัดมากกว่าภาพต้นฉบับ และจะเห็นถึงความไม่เป็นธรรมชาติในแต่ละส่วนของภาพนั้นมีค่อนข้างมาก ซึ่งนี่คือการเปลี่ยนแปลงของความสว่างที่มีมากเกินไป(ด้วยวิธีHE) สิ่งที่น่าสนใจของวิธีHE คือ มันจะเปลี่ยนระดับของสีเทาจากภาพต้นฉบับไปเป็นระดับสีเทาใหม่ โดยความนาแน่นสะสมของภาพต้นฉบับจะถูกนำมาใช้กำหนดค่าระดับสีเทาของภาพใหม่



2(a) 2(b)

รูปที่2(a) U2 ต้นฉบับ

รูปที่2(b) ผลลัพธ์ของ U2 จากวิธี HE

ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 2(a) เป็นภาพต้นฉบับของ U2 และรูปที่ 2(b) เป็นภาพที่เป็นผลหลังจากการปรับปรุงด้วยวิธีการของ HE จะพบว่าภาพที่ได้มีความสว่างมากขึ้น และพบจุดสีขาวเกิดขึ้นมามากมายในพื้นหลัง และทำให้ความเข้มของตัวเครื่องบินลดลง ซึ่งทำให้ความคมชัดของตัวเครื่องบินสูญเสียไป เหตุผลเบื้องต้น อาจจะเกิดจากข้อจำกัดของ HE ทั้งนี้เนื่องจาก HE ไม่ได้คำนึงถึงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ จึงเป็นสิ่งที่ต้องปรับปรุงแก้ไข โดยพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้

3. การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮีสโตแกรม เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพยายามปรับปรุงค่า AMBE ให้มีค่าต่ำ อย่างเช่นวิธี BBHE [3] เป็นการแบ่งฮีสโตแกรมของภาพออกเป็น 2 ส่วนโดยอาศัยค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นตัวแบ่ง และแต่ละส่วนจะทำการปรับเรียบฮีสโตรแกรมแยกจากกัน DSIHE [1] ทำการแบ่งภาพออกเป็นสองส่วนโดยอาศัย ค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมในแต่ละส่วนเท่าๆกันประมาณ 0.5 แทนที่จะใช้ค่าเฉลี่ยเหมือนของ BBHE ส่วนวิธี MMBEBHE [2] จะคล้ายๆกับ BBHE โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน มาทำการแบ่ง โดยจะใช้หลักการวนซ้ำ (Recursive) ในการคำนวณหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อให้ได้ตำแหน่งระดับสีเทาที่จะให้ AMBE ต่ำสุด

วิธีการ MMBEBHE มีแนวโน้มที่ให้ผลดี แต่ยังคงมีจุดอ่อนเนื่องจากการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำการยกจำนวนจุดภาพที่อยู่ในตำแหน่งของขีดเริ่มเปลี่ยนไปใช้ทุกจุดภาพ จึงยังคงปรากฏแนวทางที่จะปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนโดยอาศัยทั้งจำนวนจุดภาพและระดับสีเทาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการแบ่งส่วนภาพก่อนทำ HE ให้แต่ละส่วน ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดค่า AMBE ลงได้อีก วิธีการที่นำเสนอมีหลักการดังนี้

1. คำนวณหาค่าระดับของขีดเริ่มเปลี่ยนจากความหนาแน่นสะสม
2. แยกฮีสโตแกรมต้นฉบับออกเป็นส่วนๆตามกลุ่มที่กำหนดไว้ซึ่งได้มาจากคำนวณระดับของขีดเริ่มเปลี่ยน
3. ปรับเรียบฮีสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามที่ได้แยกออกไปแล้วตามข้อ 2 อย่างอิสระ
4. คำนวณหาค่า AMBE ในแต่ละ Class

การคำนวณค่าเฉลี่ยของของความสว่างของภาพ X คือ $\overline{X}$ จะสามารถนิยามจาก

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=0}^{255} f_i g_i}{\sum_{i=0}^{255} f_i} \tag{6}$$

เมื่อ f_i เป็นความถี่ของระดับสีเทา

g_i เป็นระดับสีเทา

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่ม นั้นคือต้องคำนวณหาระดับขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม คือ X_{T1}, X_{T2}, และ X_{T3} จะได้ค่า $\overline{X_1}$ $\overline{X_2}$ $\overline{X_3}$ และ $\overline{X_4}$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม

ถ้าให้ N_T เป็นจำนวนจุดภาพรวมทั้งหมดของรูป หลังจากแบ่งภาพออกเป็น 4 กลุ่ม แล้วจำนวนจุดภาพในแต่ละกลุ่มจะมีค่าเท่ากับ N_1, N_2, N_3 และ N_4 ดังนั้น จุดภาพรวมหาได้จาก

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \tag{7}$$

เนื่องจาก

$$\overline{X_T} = \frac{\overline{X_1}N_1 + \overline{X_2}N_2 + \overline{X_3}N_3 + \overline{X_4}N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \tag{8}$$

หรือ

$$\overline{X_1}N_1 + \overline{X_2}N_2 + \overline{X_3}N_3 + \overline{X_4}N_4 = N_T\,\overline{X}_T \tag{9}$$

ต้องการให้ $N_T\,\overline{X}_T = N_T\,\overline{X}_{original}$ แต่เนื่องจาก

DS26

$$\overline{X_1} = \frac{\sum_{i=0}^{N_{T1}} f_i g_i}{N_1} \;,\; \overline{X_2} = \frac{\sum_{i=N_{T1}+1}^{N_{T2}} f_i g_i}{N_2} \;,\; \overline{X_3} = ... \qquad (10)$$

จะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^{N_1} f_i g_i + \sum_{i=N_1+1}^{N_2} f_i g_i + \sum_{i=N_2+1}^{N_3} f_i g_i + \sum_{i=N_3+1}^{N} f_i g_i = N_T \overline{X}_{original} \qquad (11)$$

ต้องการแบ่ง Histogram ออกเป็น 4 กลุ่ม จึงบังคับให้

$$\sum_{i=0}^{N_1} f_i g_i = \sum_{i=N_1+1}^{N_2} f_i g_i = \sum_{i=N_2+1}^{N_3} f_i g_i = \sum_{i=N_3+1}^{N} f_i g_i = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \qquad (12)$$

แต่เนื่องจาก โอกาสที่จะให้แต่ละกลุ่มเป็นไปตามสมการ (12) ทำได้ยาก ตัวอย่างเช่น ในกลุ่มแรกถ้าเลือก X_{T1} คือ g_5 หรือ g_6 จะได้สมการนี้

$$\sum_{i=0}^{N_1} f_i g_i < \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \quad \text{และ} \quad \sum_{i=0}^{N_2} f_i g_i > \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original}$$

ดังนั้น จึงต้องปรับจุดภาพจากระดับสีเทาบางจุดใน g_6 ให้กลายเป็นจุดภาพระดับสีเทา g_5 เพื่อให้ได้ตามสมการที่ (12) จำนวนจุดภาพที่ต้องย้ายมาจาก g_6 มาเป็น g_5 คือ Y_1 หาได้จากสมการที่ (13),(14)

$$f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5 = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} \qquad (13)$$

จะได้

$$y_1 = \frac{\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} - (f_0 g_0 + f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + f_5 g_5)}{g_5} \qquad (14)$$

ถึงแม้จะมีการย้ายกลุ่มจุดภาพแล้ว จะยังคงเกิดค่าความคลาดเคลื่อนอีกเล็กน้อยเราให้เป็น E_1 นั่นคือ

$$E_1 = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} - (f_0 g_0 + f_1 g_1 + ... + f_4 g_4 + (f_5 + y_1) g_5) \qquad (15)$$

เมื่อได้ค่า E_1 แล้วจะนำค่า E_1 ไปชดเชยในกลุ่มที่2 ถ้าให้ X_{T2} เป็น g_{20} จะได้ว่า

$$f_6 g_6 + f_7 g_7 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} + y_2) g_{20} = \frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1 \qquad (16)$$

แล้วปรับจุดภาพบางจุดในระดับสีเทา g21 มารวมกันใน g20 จะได้ y_2 คือ

$$y_2 = \frac{(\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1) - (f_6 g_6 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} g_{20})}{g_{20}} \qquad (17)$$

และความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มที่ 2 คือ

$$E_2 = (\frac{1}{4} N_T \overline{X}_{original} + E_1) - (f_6 g_6 + ... + f_{19} g_{19} + (f_{20} + y_2) g_{20} \qquad (18)$$

เมื่อได้ E_2 แล้ว ก็นำไปหาค่า E_3 เหมือนกับสมการที่ (15) และ (18) การปรับย้ายจุดจะทำไปจนถึงกลุ่มรองสุดท้ายโดยกลุ่มสุดท้ายจะไม่สามารถปรับย้ายจุดภาพได้อีกเพราะได้จุดภาพครบทั้งภาพแล้ว ดังนั้นค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพจากการปรับเรียบทีละกลุ่มคือ E(Y) ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$AMBE = \left| E(Y) - E(X) \right| \qquad (19)$$

เมื่อ E(X) เป็น ค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับ
E(Y) เป็น ค่าเฉลี่ยของภาพผลลัพธ์จากวิธีที่นำเสนอ

ฮีสโตแกรมของภาพX[2]ก่อนและหลังการปรับเรียบ(1 กลุ่ม) จะถูกแสดงในภาพที่ 3(a) ในภาพนี้จะเป็นฮีสโตแกรมที่ไม่ถูกแบ่งเลย ซึ่งภาพ X จะถูกปรับเรียบในกลุ่มเดียว โดยจะมีค่าระดับสีเทาต่ำสุด และสูงสุดอยู่ตั้งแต่ระดับ0 ถึง 255 กระจายอยู่ทั้งภาพ

(a) (b)

รูปที่3(a) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 1 กลุ่ม
รูปที่3(b) ฮีสโตแกรมก่อนและหลังการปรับเรียบ 4 กลุ่ม

ส่วนการแบ่งฮีสโตแกรมของภาพ X ออกเป็น 4 กลุ่ม ในรูปที่ 3(b) พบว่าจะสามารถคำนวณขีดเริ่มเปลี่ยน ณ ระดับสีเทาต่างๆกันได้ 3 ค่า คือ X_{T1}, X_{T2} และ X_{T3} ตามลำดับ จากขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ จะเป็นจุดที่นำไปปรับย้ายจุดภาพและคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละกลุ่มก่อนการปรับเรียบต่อไป

4.ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองและเปรียบเทียบผล จากรูปภาพทั้งหมด 6 รูป คือ Arctic hare, U2, F16, Baboon, Clock และ Peppers ในตารางที่ 1 จะบอกถึงค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดความสว่างเฉลี่ยต่ำสุด AMBE จากวิธีการของบทความใน[2],[3] และจากที่นำเสนอจากงานวิจัยนี้พบว่า AMBE จะลดลงจากวิธีเดิมทุกรูป และเก็บรายละเอียดของภาพได้ดีกว่า มีความคมชัด และความสว่างเป็นธรรมชาติมากขึ้น

ตารางที่1ค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดความสว่างเฉลี่ยต่ำสุด AMBE

ชื่อภาพ	AMBE						
	HE [2]	BBHE [3]	DSIHE [1]	MMBE BHE [2]	วิธีที่นำเสนอ โดยแบ่งกลุ่มออกเป็น		
					2 กลุ่ม	4 กลุ่ม	8 กลุ่ม
Arctichare	90.5	24.2	37.9	13.5	5.15	2.5139	0.9838
U2	96.7	13.3	41.5	6.24	4.2181	1.77643	0.7204
F16	48.7	0.35	14.6	0.02	0.0199	0.012	0.009
Baboon	112.38	0.65	0.06	0.77	0.2	0.15187	0.09774
Clock	172.17	5.97	13.96	5.29	5.09	3.47194	1.72871
Peppers	117.23	4.96	4.99	0.74	0.20731	0.20385	0.14054

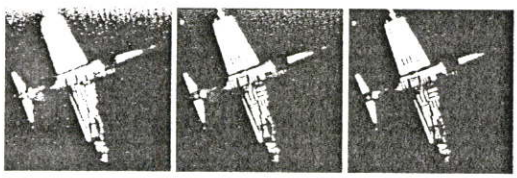
DS26

Arctichare(BBHE) Arctichare(DSIHE) Arctichare(MMBEBHE)

Arctichare (2 กลุ่ม) Arctichare (4 กลุ่ม) Arctichare (8 กลุ่ม)

รูปที่4 ผลลัพธ์ของ Arctichare ในวิธีการต่างๆ

U2 (BBHE) U2 (DSIHE) U2 (MMBEBHE)



U2 (2 กลุ่ม) U2 (4 กลุ่ม) U2 (8 กลุ่ม)

รูปที่5 ผลลัพธ์ของ U2 ในวิธีการต่างๆ

จากรูปที่ 4 เป็นภาพของ Arctichare เป็นรูปมีค่าเฉลี่ยความสว่างสูงมาก (Bright background) ซึ่งผลของการทำในกลุ่ม 2 ,4 และ 8 จะมีค่าเฉลี่ยความสว่างเข้มมากกว่า เมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับที่ได้จะให้ความเข้มอย่างไม่เป็นธรรมชาติ ส่วนในกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 8 จะแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างที่เป็นธรรมชาติมากกว่า ในขณะเดียวกันก็พยายามรักษาค่า AMBE ให้ลดลงเรื่อยๆ ส่วนรูปที่ 5 เป็นภาพ U2 ซึ่งเป็นภาพที่ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างต่ำ (dark background) จะสังเกตพบว่ามีจำนวนของจุดขาวๆ (noise in white color) มีเพิ่มขึ้นมากขึ้น ในรูปที่2(b) อันเนื่องมาจากการเพิ่มมากขึ้นของความสว่าง ส่วนผลที่ได้หลังจากการปรับปรุงแล้วใน กลุ่มที่ 2 ,4 และกลุ่มที่ 8 (ในรูปที่5) จะแสดงให้เห็นชัดเจนว่าวิธีการที่นำเสนอจะทำให้จุดขาวที่เกิดขึ้นในกลุ่มที่ 1 ลดลง และเกือบจะหมดไปในกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 8

5.สรุป

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่กล่าวถึงการปรับปรุงความสว่าง ซึ่งอ้างอิงและเพิ่มเติมจากวิธี MMBEBHE (Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization) หัวใจสำคัญมาจากแบ่งฮีสโตแกรมโดยการคำนวณหาจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่า AMBE ต่ำที่สุด โดยจะแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นกลุ่ม 2, 4 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในวิธีการนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาความค่าสว่างเฉลี่ยให้ได้ใกล้เคียงกับค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพต้นฉบับมากที่สุด ดังแสดงในตารางผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] 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

[2] Soon-Der Chen, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement", IEEE Transactions on Consumer Electronics, November, 2003.

[3]Yeong-Taeg kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", IEEE Transactions on Consumer Electronics, February, 1997.

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพงศ์ พันธุนะ จบปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปี พ.ศ. 2538 และปริญญาโท MBA. Industrial Management จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม ปี พ.ศ. 2543 และปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโทที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.ฬุศักดิ์ ชีวสุวิทย์ จบปริญญาตรี และปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2520 และ 2522 ตามลำดับ และจบปริญญาเอกจาก Ecole Nationale Superrieure des Telecommunications ปารีส ประเทศฝรั่งเศส เมื่อปี พ.ศ. 2527

DS26

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพงศ์ พันธุนะ
วัน เดือน ปีเกิด สถานที่เกิด	11 กันยายน 2517 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	91/379 หมู่บ้านปัฐวิกรณ์2 ถนนรามอินทรา ต.คลองกุ่ม แขวงบึงกุ่ม จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10230
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2539
ปริญญาโท	บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต การบริหารอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม 2542
ประสบการณ์ทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พระนครเหนือ 2539 ถึงปัจจุบัน

ผลงานวิจัยการประชุมวิชาการ

1. นายณัฐพงศ์ พันธุนะ ,ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์ ,พยุง เดชอยู่ ,สุรพล ศรีบุญทรง ,วัชรพงศ์ หินจิตร์ ,"**ระบบบีบอัดและขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เวลาจริงด้วยการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขแบบหลายอัตรา**" , การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (พ.ศ. 2547)
2. Nattapong Phanthuna , Fusak Cheevasuvit, Sakreya Chitwong "**Improvement Histogram Equalization for Minimum Mean Brightness Error** " , WSEAS International Conferences on CIRCUITS, SYSTEMS, SIGNAL and TELECOMMUNICATIONS(CISST'07) Gold Coast, Queensland, Australia January 17-19, 2007
3. Nattapong Phanthuna , Fusak Cheevasuvit, Kobchai Dejhan , Sakreya Chitwong "**Image Enhancement With Minimum Mean Brightness Error Via Automatic Histogram Dividing** " , WSEAS Transactions on signal processing ,Issue 2 ,Vol.3, February 2007 ,ISSN:1790-5022