

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮิสโตแกรม
โดยการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ**

**IMAGE ENHANCEMENT VIA HISTOGRAM EQUALIZE
WITH MEAN BRIGHTNESS PRESERVING**



T123093

๓ ๒๒
๘๔๓๓๖๗
๒๕๕๔

ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ

NATTAPONG PHANTHUNA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**123093**
วัน,เดือน,ปี.....**1 8 ต.ค. 2555**

124๖๘๖5
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

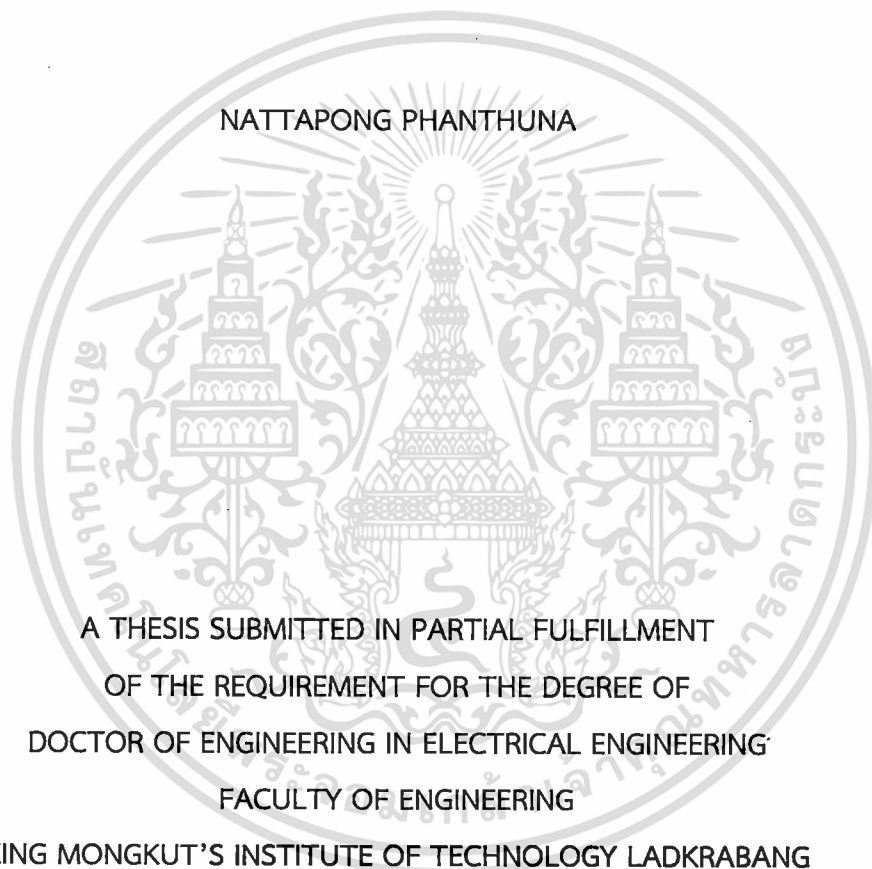
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-D-018-156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMAGE ENHANCEMENT VIA HISTOGRAM EQUALIZE
WITH MEAN BRIGHNESS PRESERVING



2011

KMITL-2011-EN-D-018-156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับเรียบฮิสโตแกรมโดยการรักษา ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ
นักศึกษา	นายณัฐพงศ์ พันธนะ
รหัสประจำตัว	51060022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพดิจิทัลไปพร้อมๆ กับการปรับปรุงคอนทราสต์ (Contrast) ของภาพด้วยการปรับเท่าฮิสโตแกรมในมัลติพีค ฮิสโตแกรม (Multi-Peak Histogram Equalization) โดยทั่วไปวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการปรับปรุงภาพคือการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของจุดภาพ (Pixel) ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมการอย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการปรับปรุงภาพแบบนี้อาจยังไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์หลังการปรับเท่าจะมีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมาก เพื่อที่จะเอาชนะผลกระทบดังกล่าวมานี้ มีนักวิจัยจำนวนมากที่พยายามจะทำให้ภาพผลลัพธ์มีค่าเฉลี่ยความสว่างให้ใกล้เคียงกับของภาพต้นฉบับให้ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์ที่ค่อย ๆ เข้าใกล้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ คอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์จะค่อย ๆ ลดลงตามไปด้วย ดังนั้น ประสิทธิภาพของการปรับปรุงคอนทราสต์ก็จะสูญเสียไป

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่เพียงพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างเท่านั้นแต่จะปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์ด้วย วิธีการเริ่มจากการแบ่งแยกฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนๆตามพีคของฮิสโตแกรม (มัลติพีค ฮิสโตแกรม) โดยใช้ตำแหน่งของเทรชโฮล (Threshold) ที่เป็นค่าต่ำสุดในแต่ละช่วงของพีค ตามจุดในช่วงพีคต่ำสุด (Local minimums) จากนั้นในแต่ละฮิสโตแกรมย่อย (Sub - histograms) จะถูกทำให้ยืดออก (Stretch out) ตามสัดส่วนในแต่ละช่วงให้เต็มช่วงพลวัต (Full Dynamic Range) หลังจากนั้นฮิสโตแกรมจะถูกปรับเท่าโดยแยกจากกันอย่างอิสระ เพื่อที่จะพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ ตำแหน่งของเทรชโฮลจะถูกปรับอย่างละเอียดอีกครั้งโดยการขยับ (Shifting) ตำแหน่งของเทรชโฮลในทุกช่วงของระดับสีเทาในแต่ละฮิสโตแกรมย่อย จะทำให้ได้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยความสว่างต่ำสุด ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการนอร์มอลไลซ์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพผลลัพธ์ เพื่อช่วยปรับให้คอนทราสต์ของภาพสูงขึ้น

Thesis	IMAGE ENHANCEMENT VIA HISTOGRAM EQUALIZE WITH MEAN BRIGHTNESS PRESERVING
Student	Mr.Nattapong Phanthuna
Student ID.	51060022
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Fusak Cheewasuvit

ABSTRACT

Histogram Equalization is a traditional image improvement method for enhancing image contrast. However, this image contrast improvement is unsuitable for some consumer electronic applications since mean brightness of output image is different from that of the original image. Nevertheless, when the average brightness of the output image is close to the mean brightness of the original image, its contrast is also decreased thereby reducing efficiency of contrast improvement algorithm.

In this paper, we propose a method that not only preserves the mean brightness but also improves the contrast of the output image. By separating the Histogram into Sub-histograms or Multi-peak histogram based on local minima, each sub-histogram will be spread out in a maximum dynamic range based on their gray level interval proportions. Subsequently, the conventional histogram equalization is independently applied to sub-histogram of each peak. To preserve the mean brightness, positions of local minima will be finely adjusted by shifting them within a certain gray scale interval. During each adjustment, sub-histograms of the two local minima which connected to the new local minimum point are re-equalized again. Finally, standard deviation will be normalized in order to improve contrast of the output image.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.สักรียา ชิตวงศ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และข้อชี้แนะที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.พงษ์ชัย นิลาส และ อาจารย์สรวงนก พิบูลธรรมนนท์ ที่ช่วยอ่านและดูแลเรื่องภาษาอังกฤษในการส่งผลงานตีพิมพ์ในวารสารต่างประเทศจนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนทุนการศึกษาตลอดที่ศึกษาอยู่

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 รูปแบบของข้อมูลภาพและการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮีสโตแกรม.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การแสดงภาพดิจิทัล รูปแบบข้อมูล และฮีสโตแกรมของภาพ.....	5
2.2.1 การแสดงภาพดิจิทัล.....	5
2.2.2 รูปแบบข้อมูลภาพ.....	7
2.2.3 ฮีสโตแกรมของรูปภาพ.....	14
2.3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรม.....	20
2.3.1 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้น.....	23
2.3.2 การปรับปรุงภาพแบบการปรับเท่าฮีสโตแกรม.....	26
2.4 บทสรุป.....	32
บทที่ 3 วิธีการลด AMBE ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบแบ่งย่อยฮีสโตแกรม.....	33
3.1 บทนำ.....	33
3.2 การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ.....	34

สารบัญ

	หน้า
3.3 การปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน.....	35
3.4 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์หลังการปรับเรียบฮีสโตแกรม แบบแยกสองส่วน.....	37
3.5 เทคนิคแบบอื่นๆในการพยายามลดค่า AMBE.....	45
3.6 บทสรุป.....	46
บทที่ 4 วิธีการลดค่า AMBE และเพิ่มคอนทราสต์ด้วยการปรับเท่าฮีสโตแกรมด้วยเทคนิคมัลติ-พีค.....	47
4.1 บทนำ.....	47
4.2 ขั้นตอนการหาพีคฮีสโตแกรม.....	47
4.3 ลำดับขั้นตอนในการปรับปรุงฮีสโตแกรม.....	48
4.3.1 การสอดแทรกความน่าจะเป็นแบบเชิงเส้น.....	48
4.3.2 การหาค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของค่าความสว่างหรือระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกัน.....	50
4.3.3 การเปลี่ยนเครื่องหมายความแตกต่างระหว่างค่าความน่าจะเป็นของสอง ระดับสีเทาที่อยู่ใกล้เคียงกัน.....	51
4.3.4 การหาตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่แบ่งพีคฮีสโตแกรมหรือจุดเบรคพอนย์.....	52
4.4 เทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยวิธีมัลติพีคฮีสโตแกรม.....	55
4.5 การปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบมัลติพีค.....	55
4.6 การยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีค.....	59
4.7 การประเมินคอนทราสต์.....	67
4.8 วิธีการปรับความสว่างให้สอดคล้องกัน.....	69
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	70
5.1 บทนำ.....	70
5.2 รูปภาพที่นำมาทดสอบ.....	70
5.3 ขั้นตอนการคำนวณตามโพลัวชาติ.....	72
5.4 ผลการทดสอบ.....	73
5.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	83

สารบัญ

	หน้า
5.6 สรุปผลการทดลอง.....	84
บทที่ 6 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	89
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆ กัน.....	9
2.2 แสดงขนาดหน่วยความจำเป็นไบต์(8บิต)ที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆ น.....	9
3.1 ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน และเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ.....	44
5.1 รายละเอียดของภาพที่นำมาทดสอบ.....	71
5.2 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon ต้นฉบับ.....	73
5.3 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon หลังปรับเรียบด้วยวิธี HE.....	74
5.4 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon เมื่อยืดคอนทราสต์ฮีสโตแกรมเชิงเส้นออก.....	76
5.5 แสดงผลลัพธ์จากการเลื่อนตำแหน่งเพรชโฮลด์ตามที่กำหนดค่า ϵ	76
5.6 แสดงรายละเอียดของภาพ F16 ต้นฉบับ.....	79
5.7 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon หลังปรับเรียบด้วยวิธี HE	79
5.8 แสดงรายละเอียดของภาพ F16 เมื่อยืดคอนทราสต์ฮีสโตแกรมเชิงเส้นออก.....	81
5.9 แสดงผลลัพธ์จากการเลื่อนตำแหน่งเพรชโฮลด์ตามที่กำหนดค่า ϵ	81
5.10 ผลเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆโดยกำหนดค่า $\epsilon = 40$	83
5.11 แสดงการเปรียบเทียบ ATEN และ S.D. กับรูปภาพทั้ง 8 ภาพ.....	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพดิจิทัลแบบขาวดำหรือโมโนโครม.....	6
2.2 รูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชันทางสเปเชียล.....	11
2.3 รูปภาพขนาด 1024 x 1024 ที่แสดงด้วยจำนวนระดับสีเทาต่างๆ.....	12
2.4 ตัวอย่างการเปลี่ยนค่าความชัดอย่างเฉียบพลันเมื่อสีเหลืองเล็กตรงกลางซึ่งมีค่าความเข้มเท่ากัน แต่จะเห็นสีเหลืองเล็กดำขึ้นเมื่อบริเวณสีเหลืองรอบนอกมีความสว่างกว่า.....	13
2.5 ฮิสโตแกรมของรูปภาพ (a) รูปแบบดิสครีต (b) รูปแบบต่อเนื่อง.....	14
2.6 รูปภาพหนึ่งมิติอย่างง่าย (a) รูปภาพในลักษณะสามเหลี่ยม (b) ฮิสโตแกรมของภาพ (a).....	16
2.7 ฮิสโตแกรมสำหรับเกาเซียนพัลส์.....	16
2.8 การกระทำแบบเชิงเส้น.....	17
2.9 แสดงฮิสโตแกรมแบบต่างๆ.....	19
2.10 จุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ขนาด 3x3.....	21
2.11 ฟังก์ชันการแปลงระดับสีเทาในการปรับปรุงภาพโดยการปรับความคมชัดของภาพ.....	22
2.12 แสดงการยืดฮิสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้น.....	25
2.13 ผลลัพธ์จากเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้น.....	26
(a) ภาพต้นแบบ (b) ฮิสโตแกรมของภาพต้นแบบ	
(c) ภาพที่ผ่านการยืดฮิสโตแกรม (d) ฮิสโตแกรมหลังการแปลง	
2.14 การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ Airplane2.tiff ขนาด 256x256.....	30
2.15 การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ GirlG.tiff ขนาด 256x256.....	31
3.1 โพล์วชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน.....	38
3.2 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Tank. tiff ขนาด 512x512.....	40
3.3 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Baboon. tiff ขนาด 512x512.....	41
3.4 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ car. tiff ขนาด 200x200.....	42
3.5 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256.....	43
4.1 ภาพระดับสีเทาดั้งเดิม Baboon.....	49
4.2 การสอดแทรกแท่งกราฟฮิสโตแกรมที่ขาดหายไป.....	50
4.3 เครื่องหมายความแตกต่างค่าความน่าจะเป็นของสองระดับค่าสีเทาที่ใกล้เคียงกัน.....	52
4.4 แสดงพีคฮิสโตแกรมของรูปภาพหลังจากมีการปรับฮิสโตแกรมตามขั้นตอนต่างๆ.....	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงตำแหน่งพิกที่ 105 และ 149.....	52
4.6 โพล์วชาร์ตแสดงกรรมวิธีการหาพิกฮีสโตแกรม.....	54
4.7 โพล์วชาร์ตแสดงการปรับปรุงความแตกต่างในภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรม..... แบบมัลติพิก.....	58
4.8 แสดงการกระจายข้อมูลที่มีการตัดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	61
4.9 แสดงการยัดฮีสโตแกรมแบบเชิงเส้นในแต่ละพิก.....	62
4.10 ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับที่มี M พิก และฮีสโตแกรมย่อย M+1 กลุ่ม.....	64
4.11 ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับที่มี 2 พิก และฮีสโตแกรมย่อย 3 กลุ่ม.....	64
4.12 การขยับหาตำแหน่งเทรซโฮลที่เหมาะสม T_1^* , T_2^* , ..., and T_{M-1}^*	65
4.13 โพล์วชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการยัดฮีสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพิก.....	66
5.1 โพล์วชาร์ตขั้นตอนการทำงาน.....	72
5.2 ภาพต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ Baboon.png.....	73
5.3 ภาพและฮีสโตแกรมของ Baboon ภายหลังจากปรับเรียบด้วยวิธี HE.....	74
5.4 พิกฮีสโตแกรมที่ตรวจพบจาก Baboon ต้นฉบับ.....	75
5.5 ภาพผลลัพธ์และฮีสโตแกรมที่ยืดออกจาก 3 กลุ่มย่อย.....	75
5.6 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 10$	77
5.7 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 20$	77
5.8 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 30$	77
5.9 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 40$	77
5.10 ภาพผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายของ Baboon หลังทำไบร์เนส แมทซิง.....	78
5.11 ภาพต้นฉบับและฮีสโตแกรมของ F16.tiff	78
5.12 ภาพและฮีสโตแกรมของ F16.tiff ภายหลังจากปรับเรียบด้วยวิธี HE.....	79
5.13 พิกฮีสโตแกรมที่ตรวจพบจาก F16 ต้นฉบับ.....	80
5.14 ภาพผลลัพธ์และฮีสโตแกรมที่ยืดออกจาก 4 กลุ่มย่อย.....	80
5.15 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 10$	82
5.16 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 20$	82
5.17 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 30$	82

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

5.18 ภาพผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายของ F16 หลังทำไบร์เนส แมทซิง.....83



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปรับเรียบฮิสโตแกรมเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความแตกต่าง(Contrast) ให้กับภาพ การประมวลผลภาพดิจิทัล(Digital Image Processing) ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ถูกใช้ในงานทางด้านภาพถ่ายทางอากาศ หนึ่งในขั้นตอนนั้นคือการวิเคราะห์และแปลความหมายจากภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น ซึ่งคุณภาพของภาพจะบอกในรูปของค่าความแตกต่างหรือคอนทราสต์(Contrast) ซึ่งภาพต้นฉบับที่ถูกปรับเรียบนั้นจะได้คุณภาพที่ดีที่สุดด้วยวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรม คอนทราสต์ของภาพที่ยืดเยื้อจะส่งผลให้การแปลความหมายของภาพมีประสิทธิภาพที่สูงสุด ในวิธีการนี้เป็นที่นิยมและให้ประสิทธิภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ การปรับเรียบฮิสโตแกรมพยายามจะกระจายข้อมูลให้กว้างตลอดตามระดับสีเทาอย่างมีนัยสำคัญ การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ (global histogram equalization) เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันอย่างแพร่หลายตามหลักของการกระจายค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทา (Probability distribution) แต่ก็มีข้อเสียคือไม่สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างเอาไว้ได้ จากข้อเสียดังกล่าวได้มีวิธีการมากมายออกมาเพื่อแก้ไขปัญหานั้นที่เกิดขึ้น เช่น Russ, J. C. 1994, Conzalez, R. C. and WinTZ, P. 1987, Sid-Ahmed, M. A. 1995, Wongsritong, K., Kittayaruasiriwat, K., Cheevasuvit, F., Dejhan, K., and Somboonkaew, A., 1998, Kim, Y-T. 1997, and Chen, S.-D, Ramli, A. R. 2003 ซึ่งอาศัยเทคนิคและวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรมโดยแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นกลุ่มย่อยๆ (local histogram equalization) ในแต่ละวิธีจะยังคงไม่ดีพอเนื่องจากการแบ่งกลุ่มย่อยยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร ซึ่งกุญแจสำคัญของการแบ่งฮิสโตแกรมให้เหมาะสมคือการให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดให้เท่ากับหรือเกือบเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับให้มากที่สุด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ การรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างและปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพด้วยวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรม มัลติพีค วิธีการเริ่มด้วยการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นพีค ด้วยค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จากการที่ได้จากจุดต่ำสุดของกราฟฮิสโตแกรมในภาพต้นฉบับ มัลติพีคฮิสโตแกรมนี้จะถูกยืดออกให้เต็มช่วงของค่าระดับสีเทาคือ 256 ระดับจากนั้นฮิสโตแกรมในแต่ละพีคจะถูกปรับเท่าๆ โดยวิธีการทั่วไป ค่าเทรชโฮลด์แต่ละค่าจะถูกทำการเลื่อนขยับไปทางซ้ายและขวา ภายในช่วง ϵ ที่

กำหนด ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าสัมบูรณ์ของค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE : Absolute Mean Brightness Error) ระหว่างภาพผลลัพธ์กับภาพต้นฉบับให้ต่ำที่สุด ในการขยับค่าเทรชโฮลด์แต่ละครั้ง ฮิสโตแกรมของพิกเซลที่ใช้ค่าเทรชโฮลด์จะถูกทำการปรับเรียบใหม่ เพื่อคำนวณค่า AMBE ใหม่ จนกว่าจะได้ค่า AMBE ต่ำสุด ในการปรับปรุงคอนทราสต์ให้สูงขึ้น จะมีการทำออร์มอลไลซ์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพผลลัพธ์ จากการปรับเรียบมัลติพิกเซลฮิสโตแกรมเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมทั้งภาพ จึงสามารถตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าเฉลี่ยของเทนเนนเกรด (Average Tenengrad)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาและวิเคราะห์การปรับเรียบข้อมูลภาพดิจิทัลจิตอลชนิด ระดับสีเทา (Grey Scale) ที่มีการข้อมูลกระจายอยู่ 256 ระดับ ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีมัลติ-พิกเซล ฮิสโตแกรม ซึ่งการปรับเรียบด้วยวิธีแบบดั้งเดิมหรือ Histogram Equalization จะทำการปรับเรียบตลอดทั้งภาพในครั้งเดียวซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาไม่เป็นธรรมชาติและไม่สามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้ จึงทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความไม่สมจริงและมีประสิทธิภาพต่ำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งที่จะนำเสนอวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะพยายามรักษาการเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้และขณะเดียวกันก็พยายามรักษาคอนทราสต์ไว้ให้มากที่สุด โดยการแบ่งกลุ่มของภาพออกเป็นกลุ่มตามจุดพิกเซลของฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ ในแต่ละกลุ่มจะถูกทำการปรับเรียบฮิสโตแกรมอย่างอิสระ จากนั้นจะใช้เทคนิคที่ยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นเพื่อให้ความแตกต่างในภาพเด่นชัดขึ้น ในกรณีภาพที่นำมาผ่านขบวนการปรับเรียบแล้วผลลัพธ์จะให้ค่าเฉลี่ยความสว่างใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับแต่คอนทราสต์แยกลง และสุดท้ายจะทำการ scale ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเพิ่มคอนทราสต์ของภาพให้สูงขึ้น โดยวิธีนี้จะทำการลบรอยตะเข็บที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปได้โดยทำให้ภาพผลลัพธ์ และภาพที่ได้จากการปรับเรียบด้วยวิธีดั้งเดิมมีความใกล้เคียงกันซึ่งจะทำให้ตะเข็บที่ดูไม่เป็นธรรมชาติหายไป ทั้งนี้ต้องพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างให้เป็นไปตามเป้าหมายพร้อมคอนทราสต์ที่สูงด้วย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

โดยปกติแล้วข้อมูลภาพขาวดำส่วนมากจะมีปัญหาในเรื่องของความแตกต่างหรือคอนทราสต์ (Contrast) ภายในภาพต่ำ ค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่างๆเมื่อดูจากฮิสโตแกรมแล้วปรากฏว่าจะกระจุกตัวอยู่ในช่วงแคบๆ ทำให้ไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลภาพได้ วิธีการแก้ไขปัญหาคือพื้นฐานที่ถูกนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการเปลี่ยนค่าระดับสีเทาให้กับจุดภาพ (Pixel) หรือที่เรียกว่าการปรับเรียบฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและใช้เวลาการประมวลผลน้อย จากการปรับเรียบภาพด้วยเทคนิคนี้จะมีการกระทำตลอดย่านความสว่าง แต่จะปรากฏปัญหาการเกิดค่าความสว่างผิดปกติในบางส่วนของภาพ และจะไม่สามารถรักษาค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำภาพดิจิทัลแบบระดับสีเทา (Gray Scale) มาทำการทดสอบ โดยจะแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นส่วนๆตามพีคของฮิสโตแกรมที่ปรากฏ แล้วจะทำการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นเพื่อช่วยในเรื่องของความแตกต่างระหว่างจุดภาพ เพื่อต้องการให้เกิดค่า AMBE ต่ำสุดจึงทดลองยับยั้งเทอร์ชโฮลด์ตามค่าที่ได้กำหนดไว้จนได้เทอร์ชโฮลด์ที่เหมาะสมที่ทำให้ AMBE ได้ค่าต่ำสุดตามต้องการ และปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์ด้วยการปรับความสว่างให้สอดคล้องกันระหว่างภาพผลลัพธ์กับภาพที่ได้จากวิธีการปรับเรียบแบบดั้งเดิม ซึ่งจากกรรมวิธีนี้จะพบว่าจะทำให้สามารถเก็บรักษาค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ได้ดีมากขึ้น ซึ่งจะดีกว่าแบบการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธีดั้งเดิม และในขณะเดียวกันคอนทราสต์จะได้รับการปรับปรุงให้มีค่าสูงขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรม ให้กับภาพนั้นเป็นวิธีการพื้นฐานของการปรับปรุงภาพให้เพิ่มความแตกต่างของภาพมากขึ้น ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคนิคนี้จะเป็นการยืดฮิสโตแกรมออกไป ทำให้มีการกระจายข้อมูลให้ค่าระดับสีเทาใหม่แต่ละระดับมีจำนวนจุดภาพที่เกือบใกล้เคียงกัน โดยถ้าย่านระดับสีเทาที่ยืดออกมีความแตกต่างกับย่านระดับสีเทาเดิมมาก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการปรับเรียบมากขึ้นด้วย โดยจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากและทำให้เกิดปัญหาความสว่างของภาพผิดเพี้ยนไปอย่างไม่เป็นธรรมชาติ

การปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ จะปรับปรุงภาพโดยวิธีแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นกลุ่มๆ ตามจำนวนพีคของฮิสโตแกรมเอง และปรับเรียบฮิสโตแกรมของแต่ละพีคจะทำอย่างเป็นอิสระต่อกัน วิธีนี้จะส่งผลให้การกระจายข้อมูลของภาพสามารถชดเชยค่าผิดพลาดสะสมที่เกิดขึ้นในแต่ละ

กลุ่มให้ลดน้อยลงตามจำนวนกลุ่มที่แบ่ง และยังคงจะใช้วิธีอีดีเอสโตรแกรมแบบเชิงเส้นเพื่อให้มีการกระจายข้อมูลอีดีเอสโตรแกรมที่กว้างขึ้นส่งผลให้ภาพมีความแตกต่างเต็มช่วงของอีดีเอสโตรแกรม วิธีการที่นำเสนอพบว่าจะทำให้สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้มากขึ้นและพร้อมกันนั้นจะปรับปรุงให้คอนทราสต์มีค่าสูงขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงภาพเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดความสว่างต่ำสุด พร้อมปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบอีดีเอสโตรแกรม โดยจะเป็นการศึกษาถึงวิธีการปรับเรียบภาพด้วยเทคนิคอีดีเอสโตรแกรมแบบดั้งเดิม กับเปรียบเทียบกับวิธีการปรับเรียบวิธีใหม่ ที่นำเสนอ ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างภายในภาพสูงขึ้น และยังคงรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ

ภาพที่นำมาใช้ในการปรับปรุงจะต้องเป็นภาพระดับสีเทา ที่มีระดับความเข้มแตกต่างกัน 256 ระดับ (เข้ารหัส 8 บิต) หรือตั้งแต่ระดับสีเทาที่ 0 ถึงระดับสีเทาที่ 255 และโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์คือ MATLAB version 12 โดยจะเขียนโปรแกรมลงใน M-file

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาของการวิจัย ออกเป็น 6 บทด้วยกันโดยแต่ละบทประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของวิทยานิพนธ์ ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยรูปแบบข้อมูลภาพและการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคอีดีเอสโตรแกรม การแสดงภาพดิจิทัล

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบอีดีเอสโตรแกรมแบบแยกส่วนย่อย เพื่อลดค่า AMBE

บทที่ 4 การรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดน้อยสุดด้วยวิธีมัลติ-พีคอีดีเอสโตรแกรม พร้อมด้วยการปรับปรุงคอนทราสต์

บทที่ 5 ผลการทดสอบ

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของข้อมูลภาพ และการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรม

2.1 บทนำ

เนื้อหาภายในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลภาพดิจิทัล ขนาดของภาพ รูปแบบข้อมูลภาพ รายละเอียดของภาพ จำนวนระดับสีเทาของภาพ ฮิสโตแกรมของภาพและวิธีการปรับปรุงฮิสโตแกรมของภาพเพื่อเพิ่มความแตกต่างภายในภาพ สำหรับวิธีการปรับปรุงฮิสโตแกรมของภาพที่จะกล่าวถึงนั้นจะมี 2 วิธี ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งจะพยายามกระจายจำนวนจุดภาพให้กับบางค่าของระดับสีเทาของจุดภาพในบริเวณที่เกือบเป็นเอกพันธ์ (Equal homogenous) โดยจะทำให้บริเวณดังกล่าวกลายเป็นเอกพันธ์ไปเลย ส่วนอีกวิธีจะเป็นการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้น (Linear Contrast Stretching) วิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความกระจุกตัวของจุดภาพในระดับสีเทาเดียวกัน เพื่อพยายามรักษาให้การกระจายของจุดภาพในระดับสีเทามีจำนวนจุดภาพใกล้เคียงกัน

2.2 การแสดงภาพดิจิทัล รูปแบบข้อมูล และฮิสโตแกรมของภาพ

2.2.1 การแสดงภาพดิจิทัล (Digital image representation)

ภาพขาวดำที่เป็นข้อมูลดิจิทัลนี้ มักจะถูกแทนด้วยฟังก์ชันสองมิติที่เขียนอยู่ในรูป $f(x,y)$ โดย (x,y) จะเป็นตำแหน่งหรือพิกัด(Coordinate)ทางสเปเชียล ส่วนค่าของฟังก์ชันจะเป็นระดับของความสว่าง ณ จุดภาพดังกล่าว ซึ่งบางครั้งเรียกว่าค่าระดับสีเทา (Brightness or Gray level) ในแต่ละภาพจะมีจำนวนระดับสีเทากี่ระดับก็จะขึ้นกับจำนวนบิต (Bit) ที่นำมาเข้ารหัสว่ามีกี่บิต ในบางครั้งถ้ากำหนดให้ค่าของฟังก์ชันหรือค่าระดับสีเทาอยู่ในแกน Z ก็จะสามารถพล็อต (Plot) ข้อมูลภาพดิจิทัลเป็นรูปสามมิติได้ แต่การมองภาพเป็นการมองในแนวตั้งฉาก ดังนั้นค่าความสูงของระดับสีเทาในแกน Z จึงถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นความขาวดำของจุดภาพในรูปสองมิติแทน ดังแสดงใน

รูปที่ 2.1 ถ้าหากจุดภาพที่อยู่ชิดติดกันมีความแตกต่างของระดับสีเทาสูงก็จะเกิดเป็นขอบของวัตถุในภาพขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่าง ๆ นี้เองจะทำให้ผู้มองสามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพหรือสามารถจำแนก (Classify) วัตถุต่างๆ ในภาพได้

เนื่องจากตำแหน่งพิกัด (x, y) จะเป็นเลขจำนวนเต็มหน่วย (Integer) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งพิกัดจึงเป็นจุดภาพที่เรียกกันว่าพิกเซล (Picture Element หรือ Pixel) โดยขนาดของภาพขึ้นอยู่กับค่า x และ y ที่จะแบ่งไป ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นภาพขนาด 512×512 จุดภาพและค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพจะถูกเข้ารหัสไว้ 8 บิต จะได้ความแตกต่างของความสว่างหรือระดับสีเทาเป็น 256 ระดับ และจุดมุมบนซ้ายของภาพจะเป็นจุดออริจิน (Origin) ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นพิกัดของภาพคือ $(0,0)$



รูปที่ 2.1 ภาพดิจิทัลแบบขาวดำหรือโมโนโครม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รูปแบบข้อมูลภาพ

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

$$0 < f(x, y) < \infty \quad (2.1)$$

ภาพที่ปรากฏแก่สายตามนุษย์จะเกิดมาจากการสะท้อนของแสงจากวัตถุ โดยธรรมชาติของฟังก์ชัน $f(x, y)$ จะเป็นลักษณะที่ประกอบด้วยสององค์ประกอบคือ องค์ประกอบแรกคือ จำนวนแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบนฉากจนเกิดเป็นรูปภาพขึ้น 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

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (2.2)$$

เมื่อ $0 < i(x, y) < \infty \quad (2.3)$

และ $0 < r(x, y) < 1 \quad (2.4)$

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

ค่าความสว่างของภาพโมนโครมของ f ที่พิกัด (x, y) ก็คือระดับสีเทา (I) ของภาพที่จุดนั้น จากสมการ(2.2)ถึง(2.4)จะให้ค่า I จะอยู่ในย่านดังสมการ

$$L_{\min} \leq I \leq L_{\max} \quad (2.5)$$

ตามทฤษฎีแล้วต้องการค่า L_{\min} ที่เป็นค่าบวก และค่า L_{\max} จะต้องมีค่าจำกัด ในทางปฏิบัติ $L_{\min} = r_{\min} i_{\min}$ และ $L_{\max} = r_{\max} i_{\max}$ โดยใช้ค่าการให้แสงสว่าง และค่าการสะท้อนแสง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่นำมาประยุกต์ใช้งานจะมีค่า 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 ซึ่งรูปภาพโมนอโครม โดยทั่วไปมักจะแทนข้อมูลด้วย 8 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งจะประกอบด้วยระดับสีเทา 256 ระดับ(L) หรือค่าระดับสีเทาจะแปรจากระดับ 0 ถึง 255

จากความเหมาะสมกับกรรมวิธีทางคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันรูปภาพ $f(x, y)$ จะต้องมีการดิจิไตน์ทั้งทางสเปเชียล และทางแอมพลิจูด การดิจิไตน์ทางพิกัดทางสเปเชียล(x,y) เรียกว่าการแซมปิงภาพ(Image Sampling) และการดิจิไตน์ทางแอมพลิจูดเรียกว่าการควอนไตน์ระดับเทา(Gray-Level Quantization)

สมมติว่าฟังก์ชันรูปภาพที่ต่อเนื่องกันถูกแบ่งเป็นแซมเปิลที่จัดเรียงโดยมีช่องห่างระหว่างกันเป็นระยะเท่าๆกัน ในรูปแบบอาร์เรย์ NxM ดังแสดงในสมการ (2.6) เมื่อสมาชิกแต่ละตัวในอาร์เรย์เป็นปริมาณดิสครีต

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

จากทางด้านขวามือของสมการ(2.6) จะแสดงรูปต่างๆ ไป ของภาพดิจิตอล แต่ละสมาชิกของอาร์เรย์จะหมายถึงจุดภาพของภาพ

ในการอธิบายในเรื่องการแซมปิง และการควอนไตน์เซชัน ให้ Z เป็นเซตของจำนวนเต็มและ R เป็นเซตของจำนวนจริง กรรมวิธีในการแซมปิงอาจมองระนาบ xy เป็นตาราง โดยพิกัดตรงกลางของตารางจะเป็นหน่วยย่อยในระบบคาร์ทีเซียน $Z \times Z$ (หรือเขียนเป็น Z^2) ซึ่งจะเป็นเซตของหน่วย (a,b) เมื่อ a และ b เป็นจำนวนเต็มจาก Z ดังนั้น $f(x, y)$ เป็นรูปภาพดิจิตอล ถ้า (x,y) เป็นจำนวนเต็มจาก $Z \times Z$ และถ้า f เป็นฟังก์ชันของค่าระดับสีเทา (ค่าจำนวนจริงใน R) ที่ พิกัดตำแหน่ง (x,y) ถ้าระดับสีเทาเป็นจำนวนเต็มจึงมีการแทนค่า R ด้วยค่า Z และภาพดิจิตอลเป็นฟังก์ชันสองมิติ (2-D) ซึ่งมีค่าพิกัด และค่าระดับสีเทาเป็นจำนวนเต็ม

กรรมวิธีทางดิจิทัลจะมีการพิจารณาค่า N, M เป็นจำนวนจุดภาพในลักษณะดิสครีต และ G เป็นระดับสีเทา โดยทั่วไปกรรมวิธีทางดิจิทัล รูปภาพจะมีค่าต่างๆ เท่ากับจำนวนเต็มยกกำลังสอง กล่าวคือ

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

เมื่อ n และ k เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ และ

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

เมื่อ G เป็นจำนวนระดับสีเทาที่เป็นค่าดิสครีตที่มีค่าห่างเป็นระยะเท่าๆ กันระหว่างค่า 0 ถึง L หรือ $L - 1$ เป็นระดับสีเทา จากการใช้สมการ (2.7) และ (2.8) มาใช้พิจารณาจำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บรูปภาพจากการดิจิทัล เมื่อ b คือจำนวนบิตทั้งหมดในหนึ่งภาพ

$$b = N \times M \times m \quad (2.9)$$

โดยปกติภาพมักจะถูกกำหนดให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกล่าวคือ $M = N$ ทำให้

$$b = N^2 m \quad (2.10)$$

จากตัวอย่างเช่น รูปภาพขนาด 128×128 ที่มีค่าระดับสีเทา 64 ระดับ การเก็บภาพดิจิทัลนี้ ต้องการหน่วยความจำในการเก็บ 98,304 จากตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงค่า b จากสมการ(2.10) ที่มีค่า N และ m ต่างๆ กัน และจากตารางที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บรูปภาพเป็นไบต์ โดยที่ข้อมูลหนึ่งไบต์ จะมีขนาด 8 บิต

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆ กัน

N \ m	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

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดหน่วยความจำเป็นไบต์ (8 บิต) ที่ใช้เก็บรูปภาพที่มีขนาด N และ m ต่างๆ กัน

N \ m	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	8,192	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

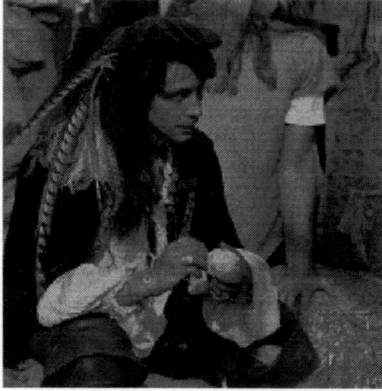
ค่ารีโซลูชัน(Resolution) คือระดับของการมองเห็นรายละเอียดภาพได้ จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ N และ M อย่างมาก ถ้าค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น อาเรย์ที่ได้จากการดิจิไตน์ จะมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากขึ้น จะส่งผลต่อหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บภาพที่ต้องเพิ่มขึ้น และความเร็วในการจัดเก็บข้อมูลก็ต้องสูงตาม (AVD ที่ใช้และ RAM ต้องทำงานที่ความเร็วสูง)

รูปภาพที่มีขนาดสีเหลี่ยมจัตุรัสสามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก ดังนั้นการพิจารณาค่า N และ m ซึ่งรูปภาพที่ดีไม่สามารถระบุลงไปได้อย่างชัดเจนได้ เพราะว่าคุณภาพของรูปภาพไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปภาพเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้งานด้วย คุณภาพของงานดิจิตอลจะลดลงเมื่อค่ารีโซลูชันทางสเปเชียล และค่าระดับสีเทาของการควอนไทน์เซชันลดลง

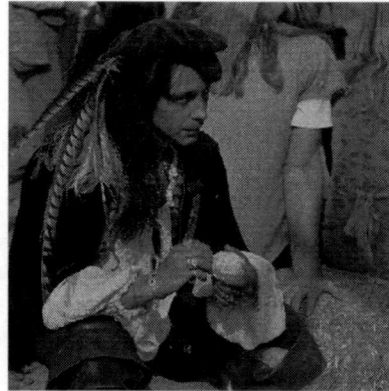
จากรูปที่ 2.2(a) แสดงรูปดอกกุหลาบ ที่มีสีเทา 256 ระดับขนาด 1024×1024 และรูปที่ 2.2(b) - 2.2(f) แสดงรูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชันจาก $N = 512, 256, 128, 64$ และ 32 ตามลำดับ ซึ่งทุกรูปจะมีค่าระดับสีเทามากที่สุด คือ 256 โดยใช้พื้นที่ในการแสดงภาพแต่ละภาพด้วยขนาดเท่ากัน (1024×1024) จุดภาพ จุดภาพของภาพที่มีค่ารีโซลูชันต่ำจะมีการวางซ้ำกันในการแสดงภาพ เปรียบเทียบภาพในรูปที่ 2.2(a) กับรูปขนาด 512×512 ในรูปที่ 2.2(b) ถ้าเปรียบเทียบสองรูปนี้แล้ว จะมองเห็นความหยาบของภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และความคมชัดของภาพขนาด 512×512 จะลดลงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วรายละเอียดของภาพในส่วนนี้จะหายไปเมื่อผ่านกรรมวิธีการพิมพ์ และยากต่อการมองเห็นในภาพที่พิมพ์ จากการลดรีโซลูชัน ให้ต่ำลงเป็นภาพขนาด 128×128 จะเริ่มมีรอยยักชัดเจนมากขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูลภาพลดลง โดยเฉพาะถ้าขนาดภาพเหลือเพียง 32×32 จุดภาพ จะมองไม่ออกว่าเป็นรูปอะไร

ส่วนรูปที่ 2.3 แสดงผลการลดจำนวนบิตที่ใช้ในการแสดงค่าระดับสีเทาของภาพ ในรูปที่ 2.3(a) แสดงภาพขนาด 1024×1024 ใช้ข้อมูล 8 บิตในการพิจารณา 2.3(b) - 2.3(f) แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการลดจำนวนบิต (m) ที่ใช้ในการแสดงค่าระดับสีเทา จากค่า $m = 7$ ถึงค่า $m = 1$ โดยค่ารีโซลูชันทางสเปเชียลคงที่ คือค่า 1024×1024 โดยภาพที่ค่าระดับสีเทา 256, 128, และ 64 ระดับ ยังสามารถให้ลักษณะเฉพาะของรูปภาพตามการมองเห็นได้ ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทา 16 ระดับ หรือน้อยกว่า จะไม่เพียงพอต่อการแสดงภาพดิจิตอลเพราะ ทำให้เกิดขอบในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน (False Contouring) ดังแสดงดังรูปที่ 2.3(g) - 2.3(h) อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) 1024x1024 จุดภาพ



(b) 512x512 จุดภาพ



(c) 256x256 จุดภาพ



(d) 128x128 จุดภาพ



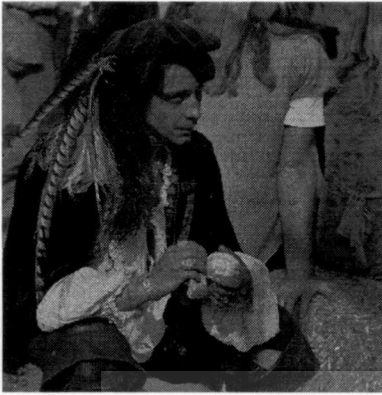
(e) 64x64 จุดภาพ



(f) 32x32 จุดภาพ

รูปที่ 2.2 รูปภาพผลลัพธ์จากการลดค่ารีโซลูชันทางสเปเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) 256 ระดับ



(b) 128 ระดับ



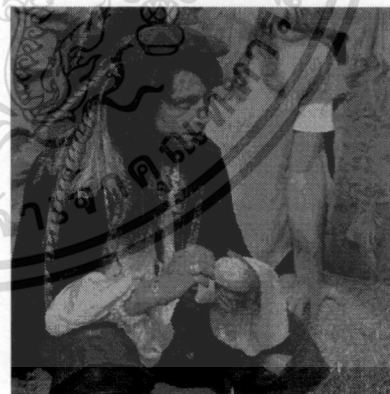
(c) 64 ระดับ



(d) 32 ระดับ



(e) 16 ระดับ



(f) 8 ระดับ

รูปที่ 2.3 รูปภาพขนาด 1024 x 1024 ที่แสดงด้วยจำนวนระดับสีเทาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



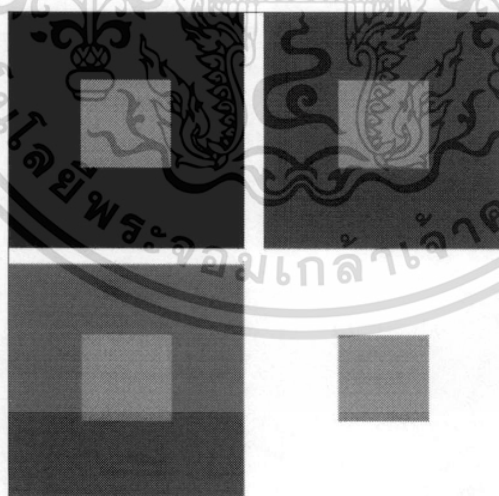
(g) 4 ระดับ



(h) 2 ระดับ

รูปที่ 2.3 (ต่อ)

การมองเห็นค่าความสว่างของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพ (Contrast) ที่มีการเปลี่ยนความคมชัดอย่างเฉียบพลันเมื่ออยู่บริเวณที่ต่างกัน ซึ่งค่าความสว่างที่มองเห็นไม่ได้ขึ้นกับค่าความเข้มแสงของบริเวณภาพส่วนนั้นเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 พื้นที่สี่เหลี่ยมตรงกลางที่มีค่าความเข้มเท่ากัน แต่ถูกล้อมรอบด้วยสี่เหลี่ยมที่ใหญ่กว่าซึ่งมีค่าความเข้มต่างกัน ดังนั้นภาพที่มองเห็นบริเวณสี่เหลี่ยมตรงกลางจะเห็นมืดกว่าเมื่อบริเวณสี่เหลี่ยมรอบนอกมีความสว่างกว่า



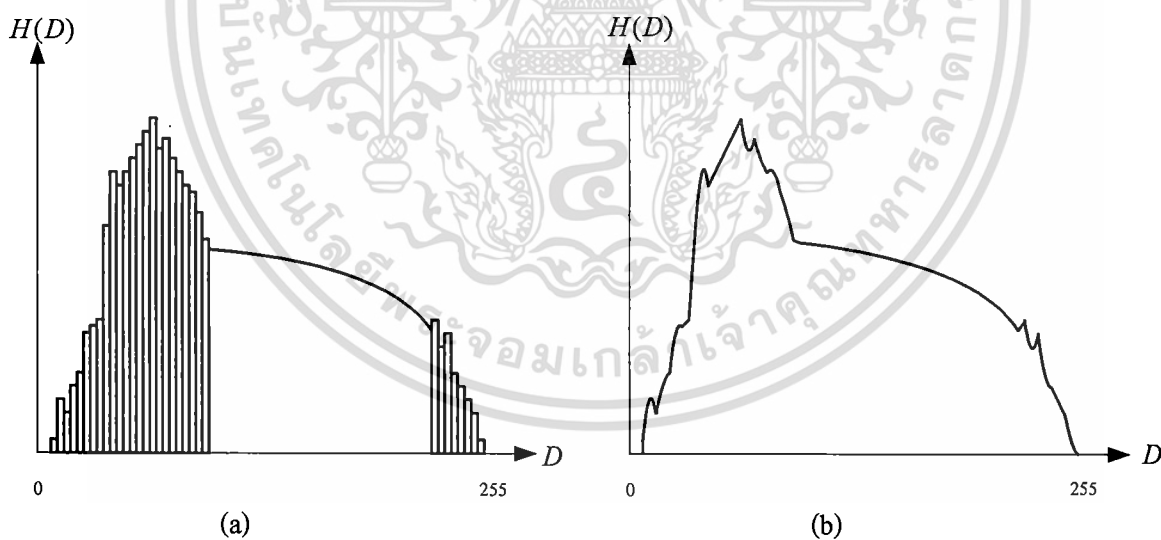
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเปลี่ยนค่าคมชัดอย่างเฉียบพลันเมื่อสี่เหลี่ยมเล็กตรงกลางซึ่งมีค่าความเข้มเท่ากัน แต่จะเห็นสี่เหลี่ยมเล็กดำขึ้นเมื่อบริเวณสี่เหลี่ยมรอบนอกมีความสว่างกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ฮิสโตแกรมของรูปภาพ

จากภาพขาวดำหรือภาพระดับสีเทาที่ถูกเข้ารหัสไว้ 8 บิตต่อจุดภาพ ดังนั้นแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 จากการเก็บข้อมูลจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับสีเทาที่ปรากฏในภาพนั้น จะได้กราฟแท่งความถี่ของแต่ละระดับสีเทาทั้ง 256 ระดับ ซึ่งกราฟแท่งนี้จะถูกเรียกว่าฮิสโตแกรมของภาพ ความสูงของกราฟแท่งในบางครั้งจะแสดงเป็นจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับสีเทา ถ้าแต่ละแท่งของกราฟในฮิสโตแกรมคือ $H(D_i)$ โดย D_i เป็นค่าระดับสีเทาที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ($0 \leq D_i \leq 255$) ตัวอย่างของกราฟแท่งหรือฮิสโตแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 (a) โดยการพล็อตอาจจะทำในรูปของกราฟต่อเนื่องก็ได้ อย่างเช่นในรูปที่ 2.5 (b) ถ้าหาก $H(D_i)$ เป็นจำนวนจุดภาพที่ระดับสีเทา D_i ดังนั้น จำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพดังกล่าวคือ N ซึ่งจะได้จาก

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



รูปที่ 2.5 ฮิสโตแกรมของรูปภาพ (a) รูปแบบดิสครีต (b) รูปแบบต่อเนื่อง

ในกรณีของภาพสี่วิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้คือฮิสโตแกรมสามมิติ $H(D_{Ri}, D_{Bi}, D_{Gi})$ โดยที่ D_{Ri} จะเป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีแดงและ D_{Bi} เป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีน้ำเงิน และ D_{Gi} จะเป็นจำนวนจุดภาพระดับ i ของสีเขียว หรืออาจจะเป็นฮิสโตแกรมหนึ่งมิติจำนวนสามชุดโดยแยกเป็นแต่ละสีอย่างอิสระ ซึ่งเขียนอยู่ในรูป $H(D_{Ri}), H(D_{Bi})$ และ $H(D_{Gi})$ ฟังก์ชันของฮิสโตแกรมหนึ่งมิติสามชุดนี้นำไปใช้งานจะทำได้ง่ายกว่า ดังนั้นในหนังสือเล่มนี้จะพูดนี้เฉพาะฮิสโตแกรมหนึ่งมิติเท่านั้น

เมื่อพิจารณาจากภาพโมนโครมหรือภาพขาวดำ เมื่อค่าระดับสีเทาที่กำหนดไว้ ณ ระดับที่ D ที่ปรากฏอยู่ภายใน เครีฟงปิด (Closed Curve) ถ้า $A(D)$ เป็นพื้นที่ที่ปิดล้อม ค่า D เป็นพื้นที่ที่ปิดล้อมค่า D จะได้ว่า

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

โดย D เป็นค่าคงที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยจุดภาพต่างๆ ที่มีค่าระดับสีเทามากกว่าหรือเท่ากับ D ดังนั้น

$$A(D) = \int_D^{\infty} H(D') dD' \quad (2.13)$$

และถ้า $A_t = \int_0^{\infty} H(D') dD'$ เป็นพื้นที่ของทั้งภาพ มีบ่อยครั้งที่ใช้ฮิสโตแกรมเป็นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density) ดังนั้นการนอมอลไลซ์พื้นที่ของภาพให้เป็นหนึ่ง ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของจุดภาพในระดับสีเทา D คือ

$$P(D) = H(D) / A_t \quad (2.14)$$

ตัวอย่างของฮิสโตแกรมหนึ่งมิติ และสองมิติดังนี้

กรณีพัลส์หนึ่งมิติ

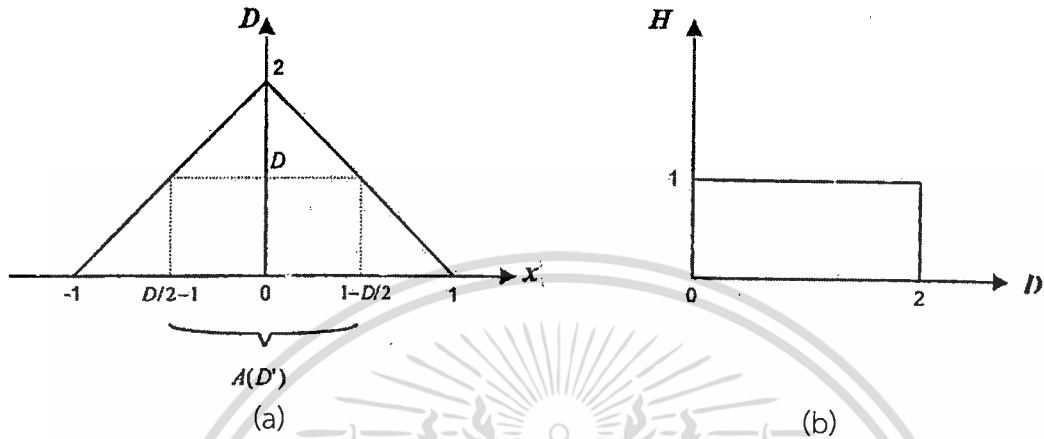
$$D(x) = \begin{cases} 2-2x & 0 \leq x \leq 1 \\ 2+2x & -1 \leq x \leq 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

ที่ค่าระดับสีเทามากกว่าหรือเท่ากับระดับสีเทา D จะให้พื้นที่เป็น $2 - D$ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากผลที่ได้แสดงเป็นฮิสโตแกรมในรูปที่ 2.6(b)



รูปที่ 2.6 รูปภาพหนึ่งมิติอย่างง่าย (a) รูปภาพในลักษณะสามเหลี่ยม (b) ฮิสโตแกรมของภาพ (a)

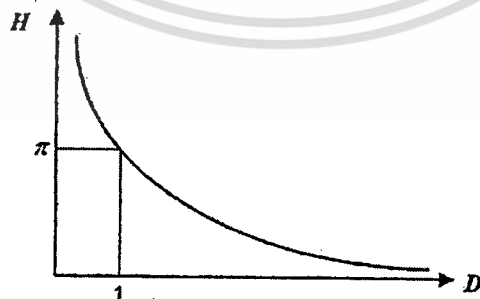
กรณีพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) สองมิติ เมื่อ $D(r, \theta) = \exp(-r^2)$ โดย $0 \leq r \leq a$ และ $0 \leq \theta \leq 2\pi$ ระดับค่าคงที่ D จะเป็นวงกลมที่มีรัศมี $r(D) = \sqrt{-\ln D}$ พื้นที่ภายในวงล้อมปิดของวงกลม คือ

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

ดังนั้น

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

ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ฮิสโตแกรมสำหรับเกาส์เซียนพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดำเนินการอย่างง่ายที่สุดในการกระทำบนฮีสโตแกรมคือ การใช้การแปลงแบบจุด (Point Transformation) ถ้าหากภาพสองภาพคือ $A(x, y)$ และ $B(x, y)$ โดยภาพ B ได้รับจากการแปลงแบบจุดที่กระทำบนภาพ A โดยการแปลงดังกล่าวเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชัน f ดังนี้

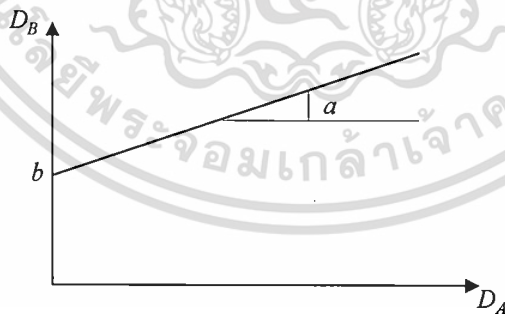
$$B(x, y) = f(A(x, y)) \quad (2.18)$$

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

$$D_B = f(D_A) \quad (2.19)$$

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

$$D_B = f(D_A) = aD_A + b \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.8 การกระทำแบบเชิงเส้น

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

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

ในระบบการประมวลผลภาพข้อมูลรหัสตัวเลข จากรูปดิจิทัล ที่ระดับสีเทา $[0, L-1]$ เป็นฟังก์ชันดีสครีต จะมีค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาเป็น

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

และ $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$

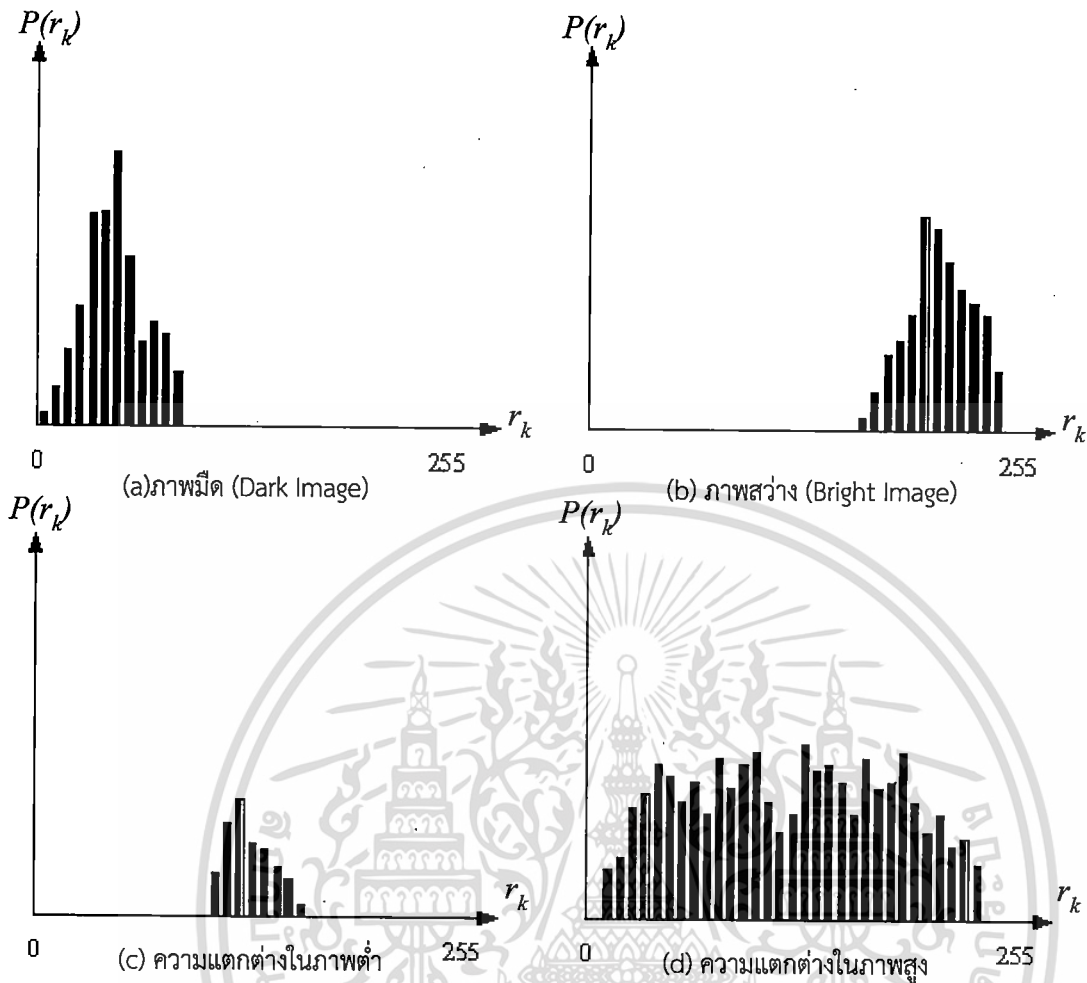
L คือ จำนวนระดับสีเทาของภาพ

$P_r(r_k)$ คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพที่ระดับสีเทา r_k

n_k คือ จำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาลำดับที่ k

และ n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

กราฟที่ได้จากการพล็อตของ $P_r(r_k)$ กับ r_k ซึ่งเป็นฮิสโตแกรมนั่นเอง ความสัมพันธ์ที่ได้จาก $P_r(r_k)$ ที่เกิดในทุกค่าของระดับสีเทา r_k โดยความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเป็นแกนแนวดิ่ง และค่าระดับสีเทาเป็นแกนแนวนอน จากตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.9 แสดงฮิสโตแกรมของรูปภาพทั้งสี่แบบ โดยรูปที่ 2.9 (a) แสดงฮิสโตแกรมของภาพที่มีลักษณะค่อนข้างมืดเพราะจุดภาพส่วนใหญ่มีระดับสีเทาดำ รูปที่ 2.9(b) แสดงฮิสโตแกรมที่เกิดในด้านลักษณะสีเทาค่อนข้างสว่าง ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับรูปที่ 2.9(a) รูปที่ 2.9(c) แสดงรูปร่าง ฮิสโตแกรมที่ให้ความละเอียดของภาพต่ำ เนื่องจากการเกิดฮิสโตแกรม มีการรวมกันอยู่ในย่านแคบๆ จะแสดงถึงภาพมีความคมชัดต่ำ (Low Contrast) ระดับสีเทาของรูปภาพ จะอยู่ในย่านตรงกลาง รูปที่ 2.9(d) แสดงรูปร่างฮิสโตแกรมที่มีการกระจายทั่วย่านระดับสีเทา โดยปราศจากแท่งฮิสโตแกรมที่มีความสูงกระจุกอยู่ในย่านระดับสีดำหรือสีขาว ซึ่งภาพที่มีลักษณะฮิสโตแกรมแบบนี้มักเป็นภาพที่มีคุณสมบัติที่ดี ช่วยทำให้เกิดความแตกต่างของรายละเอียดภาพสูง แสดงถึงภาพมีความคมชัดสูง (High Contrast)



รูปที่ 2.9 แสดงฮิสโตแกรมแบบต่างๆ

รูปร่างของฮิสโตแกรมจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างมากในการปรับปรุงภาพ โดยปรับความคมชัด ต่อไปจะเป็นวิธีการนำฮิสโตแกรมมาใช้ในการปรับปรุงภาพ

ภาพโดยมากมักจะมีคามคมชัดต่ำ กล่าวคือ ภาพมีระดับสีเทาของจุดภาพใกล้เคียงกันตลอดทั้งภาพ โดยเฉพาะภาพถ่ายดาวเทียม ถ้ามองจากฮิสโตแกรมของภาพจะพบว่า การกระจายของระดับสีเทาของจุดภาพจะรวมกันอยู่เป็นกระจุกแคบๆ ทำให้ภาพที่ได้จะมองไม่เห็นรายละเอียดของภาพ ในการปรับความคมชัดของภาพสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายระดับสีเทาของจุดภาพ หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงฮิสโตแกรมของภาพนั่นเอง ซึ่งในการปรับความคมชัดของภาพนี้จะทำให้มองเห็นความแตกต่างของกลุ่มภาพได้ดีกว่าภาพเดิมที่มีฮิสโตแกรมกระจุกตัว

2.3 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรม

วิธีการปรับปรุงภาพประกอบด้วยเทคนิคที่มีการปรับปรุงภาพที่มองเห็น หรือการเปลี่ยนแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์โดยมนุษย์ หรือเครื่องจักรที่จะทำให้เกิดผลที่ได้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานเฉพาะมากกว่าการใช้ภาพต้นฉบับ ในการปรับปรุงภาพจะพยายามปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการพิจารณาคุณสมบัติของภาพในอุดมคติ แต่จริง ๆ แล้วการปรับปรุงภาพจะมีการทำลายบางส่วนของข้อมูลภาพเดิม ดังนั้นการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น (Enhancement) จะทำหลังจากการประมวลผลอื่น ๆ เสร็จสิ้นไปหมดแล้ว

วิธีการปรับปรุงภาพจะทำให้เห็นความแตกต่างของรูปภาพส่วนมืดในบริเวณภาพที่สว่างหรือส่วนสว่างในบริเวณที่มืด การปรับปรุงอัตราส่วนความแตกต่างของภาพจะมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการให้รายละเอียดของภาพ (ความสามารถแยกแยะวัตถุที่ห่างกัน) ดังนั้นการปรับปรุงความแตกต่างของจุดภาพจึงเป็นจุดประสงค์หลักสำหรับการปรับปรุงภาพ

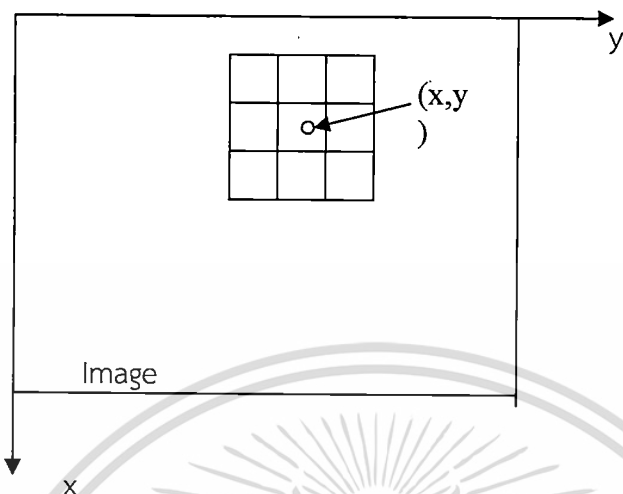
การปรับปรุงภาพแบ่งได้เป็นสองประเภท คือวิธีทางสเปเชียลโดเมน (Spatial Domain) และวิธีทางโดเมนความถี่ (Frequency Domain) สเปเชียลหมายถึงระนาบของรูปภาพที่รวบรวมจุดภาพเอาไว้นั่นเอง โดยจะมีการปรับปรุงในส่วนของคุณภาพโดยตรง ส่วนทางโดเมนความถี่จะต้องมีการปรับปรุงผ่านทางแปลงฟูริเยร์ของรูปภาพ

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

ฟังก์ชันของวิธีการแปลงภาพใน สเปเชียลโดเมนแสดงได้ดังสมการ

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (2.21)$$

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



รูปที่ 2.10 จุดภาพที่ล้อมรอบจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ขนาด 3×3

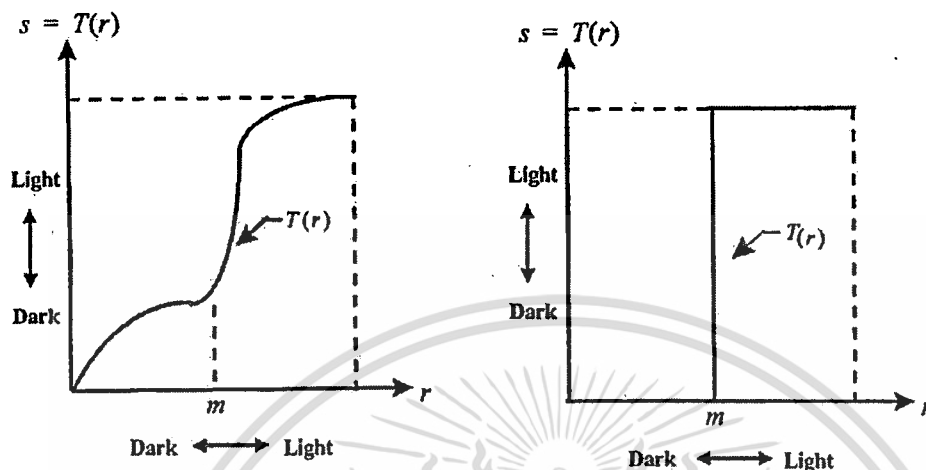
ตำแหน่งตรงกลางของภาพย่อจะมีการเคลื่อนที่จากจุดภาพหนึ่งไปยังจุดภาพหนึ่งที่ใกล้เคียงกัน โดยเริ่มต้นจากบนซ้ายของรูปภาพ และมีการกระทำจุดภาพตำแหน่ง (x,y) ให้เป็นฟังก์ชัน g รูปแบบของกรอบหน้าต่างที่ล้อมรอบ อาจจะเป็นวงกลม สีเหลี่ยมจัตุรัส หรือ สีเหลี่ยมผืนผ้าก็ได้

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

$$S = T(r) \quad (2.22)$$

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 จะกลายเป็นส่วนที่มีมืดและระดับสีเทาที่สูงกว่า m จะกลายเป็นส่วนที่สว่าง ซึ่งวิธีนี้คือการยืดความคมชัด(Contrast Stretching) ของภาพ ค่า r ที่ต่ำกว่า m จะถูกบีบโดยฟังก์ชันการแปลงให้ได้ย่าน S แคบกลายเป็น

ระดับสีดำ และค่า r ที่สูงกว่า m จะเป็นในทางตรงข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ผลของ $T(r)$ จะได้เป็นรูปภาพสองระดับสีหรือ ภาพไบนารี ซึ่งเรียกว่า วิธีแบบจุดภาพ



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันการแปลงระดับสีเทาในการปรับปรุงภาพโดยการปรับความคมชัดของภาพ

จุดภาพที่ล้อมรอบมีมากขึ้น การหาค่า g ที่ตำแหน่ง (x,y) โดยหามาจากค่า f จากจุดภาพที่ล้อมรอบตำแหน่ง (x,y) ด้วย ซึ่งเรียกเป็นหน้าต่างจุดภาพ (Mark, Templates, Windows, or Filters) โดยทั่วไปแล้วหน้าต่างจะเป็นอาร์เรย์สองมิติขนาด 3×3 ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ในหน้าต่างจุดภาพจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการทำงาน เช่นการปรับความคมของภาพ (Image Sharpening) เทคนิคในการปรับเรียบภาพ มักหมายถึงกรรมวิธีแบบหน้าต่างหรือ การกรอง (Mask Processing or Filtering)

จากการปรับปรุงภาพโดยกรรมวิธีแบบจุด จะมีการพิจารณาความเข้มของจุด r และ s ซึ่งเป็นค่าก่อนและหลังกรรมวิธี ตามลำดับ จะมีการนำไปใช้งานด้านต่างๆ เช่น การแปลงค่าความเข้มของจุดภาพอย่างง่าย (Simple Intensity Transformation) การปรับแต่งฮิสโตแกรม (Histogram Processing) วิธีการลบภาพ (Image Subtraction) เป็นต้น

การปรับแต่งฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มจุดภาพที่มีระดับสีเทาเหมือนกัน ซึ่งทำได้ง่าย สะดวก โดยสามารถแบ่งเป็นฮิสโตแกรมเชิงเส้น (Linear contrast stretching) และการปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งเป็นการปรับปรุงทางด้านความสว่างของภาพ เป็นหลักของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพด้วยกันทั้งคู่ แต่มีความแตกต่างกันตรงที่การยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นจะกระจายค่าระดับสีเทาต่าง ๆ ให้ระยะของแต่ละระดับสีเทาห่างเท่าๆกัน (ค่า Floating Point) ตลอดทั้งฮิสโตแกรม ในขณะที่การปรับเท่าฮิสโตแกรมนั้นจะทำการ

กระจายค่าระดับสีเทาอย่างไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มี ถ้าช่วงไหนของข้อมูลมีความหนาแน่นมาก จะทำการกระจายออกอย่างกว้าง แต่ถ้าช่วงไหนข้อมูลมีความหนาแน่นต่ำ จะกระจายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า การยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นทำการกระจายค่าระดับสีเทาอย่างสม่ำเสมอตามค่าระดับสีเทา ในขณะที่การปรับเท่าฮิสโตแกรมนั้น จะทำการกระจายปริมาณจุดภาพอย่างสม่ำเสมอตามปริมาณของจุดภาพ

ในการใช้งานนั้น บางกรณีต้องการที่จะใช้ในการปรับเลือกค่าระดับสีเทาเฉพาะบริเวณแคบๆ ที่สนใจมาทำการกระจายฮิสโตแกรม แต่ในบางกรณีต้องการกระจายอย่างอัตโนมัติตลอดทั้งฮิสโตแกรม ทั้งนี้การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้เป็นสำคัญ

2.3.1 การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้น (Linear Contrast Stretching)

กรณีที่ข้อมูลภาพที่มีฮิสโตแกรมอยู่รวมกันในช่วงแคบๆ นั้น แสดงว่าข้อมูลของภาพมีลักษณะการกระจายและความแตกต่างของข้อมูลภาพในภาพต่ำ เมื่อเป็นเช่นนี้ภาพจะเป็นภาพที่มีคุณภาพต่ำ ความแตกต่างของข้อมูลในภาพน้อย ในทางตรงข้ามถ้าฮิสโตแกรมของภาพนั้นมีการกระจายฮิสโตแกรมที่กว้าง จะแสดงถึงภาพที่มีคุณภาพ ซึ่งความแตกต่างของข้อมูลในภาพมาก สำหรับวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงให้มีการกระจายฮิสโตแกรมที่กว้างขึ้น เพื่อให้ความแตกต่างของข้อมูลในภาพสูง ทำให้สามารถตีความหมายของภาพได้ดียิ่งขึ้นนั้น วิธีการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยการนำคุณสมบัติของสมการเชิงเส้นมาใช้ในการขยายย่านฮิสโตแกรม โดยอาศัยคุณสมบัติของสมการเชิงเส้น

จากสมการเชิงเส้น

$$y = ax + b \quad (2.23)$$

ตามคุณสมบัติของสมการเชิงเส้น ถ้าความชัน a มีค่าบวกมากกว่าหนึ่งแล้ว จะทำให้เอาท์พุทที่ได้มีอัตราขยายในย่านที่กว้างขึ้นจากย่านของอินพุท และถ้า a มีค่าบวกน้อยกว่าหนึ่งจะได้เอาท์พุทที่มีย่านแคบลงจากเดิม ดังนั้นเมื่อต้องการยืดฮิสโตแกรมให้มีการขยายย่านออกไปก็ทำได้ด้วยการกำหนดค่าของ a ให้มีค่ามากกว่าหนึ่งเสมอ

การยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้น เป็นการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบเชิงเส้นโดยทำการกระจายฮิสโตแกรมใหม่ ให้กับช่วงระดับสีเทาบริเวณที่ต้องการกระจายออกไปยังบริเวณที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอคือ มีช่วงห่างของระดับสีเทาใกล้เคียงกันตลอดช่วงฮิสโตแกรม ถ้าสมมุติว่าฮิสโตแกรม

ของภาพเดิมมีค่าความคมชัดต่ำ โดยระดับสีเทาของจุดภาพมีลักษณะรวมกันอยู่เป็นกระจุกอยู่ระหว่างค่าระดับสีเทา x_{\min} ถึง x_{\max} ในการปรับปรุงฮิสโตแกรมเรากระจายกลุ่มจุดภาพให้กว้างไปอยู่ที่ y_{\min} ถึง y_{\max} สูตรคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแปลงค่าระดับสีเทาของภาพเดิมที่จุดใด ๆ คือ $f(x,y)$ จะถูกแปลงเป็นค่าระดับสีเทาใหม่ $g(x,y)$ ดังสมการต่อไปนี้

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

โดย

$g(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาของเอาท์พุท

$f(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาของอินพุท

x_{\min} คือค่าระดับสีเทาต่ำสุดของฮิสโตแกรมเดิม

x_{\max} คือค่าระดับสีเทาสูงสุดของฮิสโตแกรมเดิม

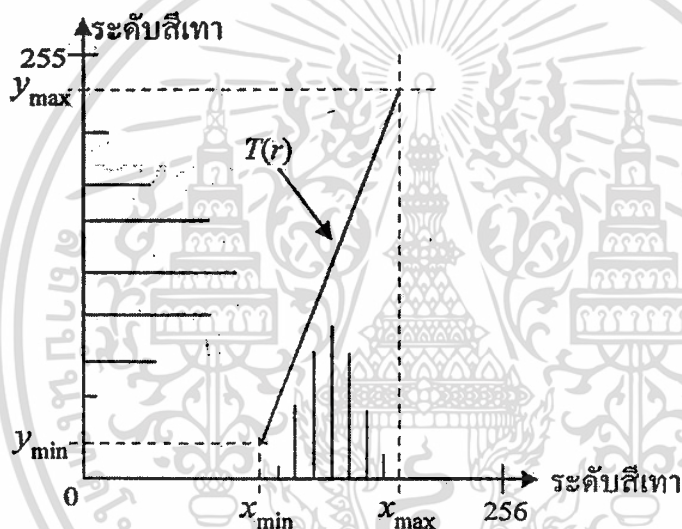
y_{\min} คือค่าระดับสีเทาต่ำสุดของฮิสโตแกรมใหม่

y_{\max} คือค่าระดับสีเทาสูงสุดของฮิสโตแกรมใหม่

เมื่อ x_{\min} และ x_{\max} คือบริเวณในฮิสโตแกรม X ของภาพอินพุท หรือฮิสโตแกรมเดิมที่จะทำการกระจายโดย x_{\min} คือค่าระดับสีเทาต่ำสุด และ x_{\max} คือค่าระดับสีเทาสูงสุดจากภาพเดิม ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสม แต่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบและไม่ผิดเพี้ยนควรกำหนดค่าให้ครอบคลุมข้อมูลเดิม ทั้งหมด ส่วนค่า y_{\min} และ y_{\max} คือบริเวณในฮิสโตแกรมเอาท์พุท y หรือฮิสโตแกรมใหม่หลังการแปลงที่จะได้รับการกระจายข้อมูลภาพโดย y_{\min} คือระดับสีเทาต่ำสุด และ y_{\max} คือค่าระดับสีเทาสูงสุด ปกติแล้วในการกระจายของฮิสโตแกรมที่ดีควรกำหนดค่าของ y_{\min} ให้มีค่าน้อยกว่า x_{\min} และ y_{\max} ให้มีค่ามากกว่า x_{\max} คือย่านฮิสโตแกรมเอาท์พุท y กว้างกว่าฮิสโตแกรมอินพุท X คือ กล่าวคือมีการกำหนดข้อมูลใหม่ให้ครอบคลุมข้อมูลเดิม นั่นคือ อัตราส่วนของ $\frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้ก็คือค่าความชันของสมการนั่นเอง ถ้าย่านระดับสีเทาของฮิสโตแกรมเดิมที่ต้องการจะยืด x_{\min} และ x_{\max} จะมีค่าใกล้เคียงกับย่านระดับสีเทาใหม่ที่ต้องการจะยืดออก y_{\min} และ y_{\max} นั่นคือค่า $\frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ มีค่าใกล้เคียง 1 ภาพผลลัพธ์จะมีการปรับความคมชัดน้อยทำให้มีลักษณะคล้ายกับภาพต้นฉบับเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

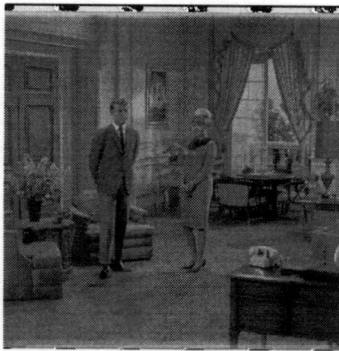
ลักษณะการยืดของฮีสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จากฮีสโตแกรมของภาพเอาต์พุตที่ผ่านการแปลงแล้วนั้นจะเห็นความห่างของแท่งฮีสโตแกรมมีความห่างมากขึ้นโดยช่องห่างของแท่งฮีสโตแกรมใหม่จะมีความห่างเท่าๆกันในกรณีที่เป็นค่า floating จากวิธีนี้มีการกำหนดค่าของความชันด้วย x_{\min} , x_{\max} และ y_{\min} , y_{\max} นั้นทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของย่านระดับสีเทาในด้านอินพุตและเอาต์พุต 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} เช่นนี้เพราะว่าภาพต้นฉบับมีการกระจายของฮีสโตแกรมในย่านดังกล่าว ส่วนการกำหนดค่าของ y_{\min} , y_{\max} เพื่อให้ครอบคลุมย่านสูงสุดของระดับสีเทาที่สามารถจะเป็นไปได้คือ 0 ถึง 255



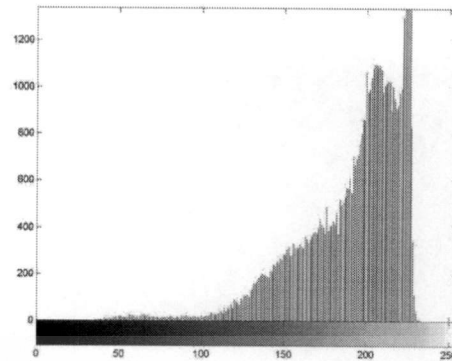
รูปที่ 2.12 แสดงการยืดฮีสโตแกรมด้วยสมการเชิงเส้น

ในรูปที่ 2.13(d) แสดงฮีสโตแกรมที่ได้หลังผ่านการประมวลผลแล้ว จากฮีสโตแกรมของภาพที่ได้จะเห็นว่าย่านใหม่มีการกระจายของฮีสโตแกรมเป็นไปตามความประสงค์ที่กำหนดค่าไว้ และความห่างของแท่งฮีสโตแกรมมีความห่างที่ใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ จากคุณลักษณะการกระจายแบบเชิงเส้นนี้เองทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความต่อเนื่องของระดับสีเทา และไม่สว่างจ้าหรือมืดมากเกินไป เนื่องจากข้อมูลไม่หนาแน่นบริเวณที่เป็นระดับสีขาวหรือสีดำ แต่ความแตกต่างของข้อมูลในภาพจะดีกว่าแบบการปรับเท่าฮีสโตแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



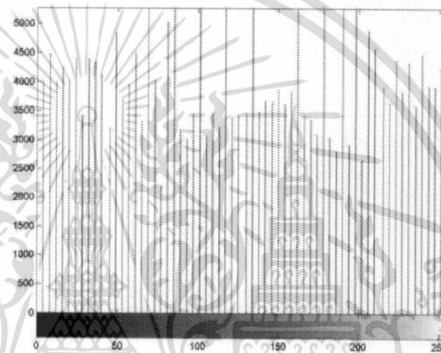
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 2.13 ผลลัพธ์จากเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้น

(a) ภาพต้นฉบับ (b) ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ

(c) ภาพที่ผ่านการยืดฮิสโตแกรม (d) ฮิสโตแกรมหลังการแปลง

2.3.2 การปรับปรุงภาพแบบการปรับเท่าฮิสโตแกรม(Histogram Equalization)

การแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) นั้นบางครั้งเรียกว่า การกระจายข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution Stretch) ซึ่งทำการกระจายฮิสโตแกรมต้นฉบับเสียใหม่โดยจะพยายามทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับสีเทาทั้งหมด การกระจายค่าตัวเลขของข้อมูลใหม่นี้ทำให้อัตราความแตกต่างของภาพสูงขึ้น เทคนิคนี้บางครั้งเรียกว่า การปรับเท่าฮิสโตแกรม ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับความคมชัดของภาพ โดยสามารถนำเอาเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆ ได้เช่น การประมวลผลภาพทางการแพทย์และภาพถ่ายดาวเทียม แต่ถึงแม้ว่าเทคนิคดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูงในการปรับความคมชัดของภาพก็ตาม หากนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่นทีวี จะทำให้ความสว่างของภาพเปลี่ยนไป และส่งผลให้คุณภาพที่ปรากฏลดลง[10] ทั้งนี้เนื่องจากค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับปรุงจะมีค่าใกล้ค่าเฉลี่ยของระดับสีเทาของภาพ

ขั้นตอนในการปรับเท่าฮิสโตแกรมมีดังนี้

สมมุติว่าตัวแปร r คือระดับสีเทาหรือค่าตัวเลขของข้อมูลภาพโดยถูกนอร์มอลไลซ์ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หรือเขียนเป็น $[0,1]$ โดย $r = 1$ คือ ค่าระดับสีขาว การพิจารณามองเป็นค่าดีสกรีตที่ค่าจุดภาพอยู่ระหว่าง $[0,L-1]$ ซึ่งมักจะเป็นค่าระดับสีเทา 0 ถึง 255 สำหรับภาพโนโมโครม 8 บิตต่อจุดภาพ จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมต้องการแปลงการกระจายของค่าระดับสีเทาของฮิสโตแกรมต้นฉบับให้มีการกระจายจำนวนจุดภาพในแต่ละระดับสีเทาเป็นไปอย่างสม่าเสมอ นั่น ก็หมายความว่าต้องมีฟังก์ชันในการแปลง และให้ $T(r)$ เป็นฟังก์ชันในการแปลงข้อมูลค่าระดับสีเทา r ทำให้ได้ข้อมูลใหม่ที่มีค่าเป็นระดับสีเทา S นั่นคือ

$$S = T(r) \quad (2.55)$$

จากคุณสมบัติของ $T(r)$ คือจะเป็นฟังก์ชันค่าเดียวที่มีการเพิ่มในทิศทางเดียว โดยค่า $T(r)$ จะอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เช่นกัน ค่า r เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพในภาพต้นฉบับ ในการแปลงกลับจาก S ไปยัง r ก็ทำได้โดย

$$r = T^{-1}(S) \quad 0 \leq S < 1 \quad (2.26)$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงฟังก์ชันในการแปลง

$$S = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (2.28)$$

ดังนั้น อนุพันธ์ของ S ที่เทียบกับ r จะได้

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

เมื่อแทนค่าสมการ(2.29) ลงในสมการ (2.27)

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

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

ในระบบการประมวลผลภาพข้อมูลเชิงตัวเลข 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 $k = 0, 1, 2, \dots, (L-1)$ ซึ่งกราฟที่ได้จากการพล็อตของ $P_r(r_k)$ กับ r_k ก็คือฮิสโตแกรมนั่นเอง สมการที่ 2.25 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} S_k &= T(r_k) \\ &= \sum_{j=0}^k n_j / n \\ &= \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad \text{เมื่อ } 0 \leq r_k \leq 1 \text{ และ } k = 0, 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการแปลงกลับทำได้โดย

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

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 การปรับเท่าฮิสโตแกรม Y ก็เป็นตัวแปรแบบแรนดอมด้วยเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าผลของการปรับเท่าฮิสโตแกรมจะได้ค่าระดับสีเทาที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

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

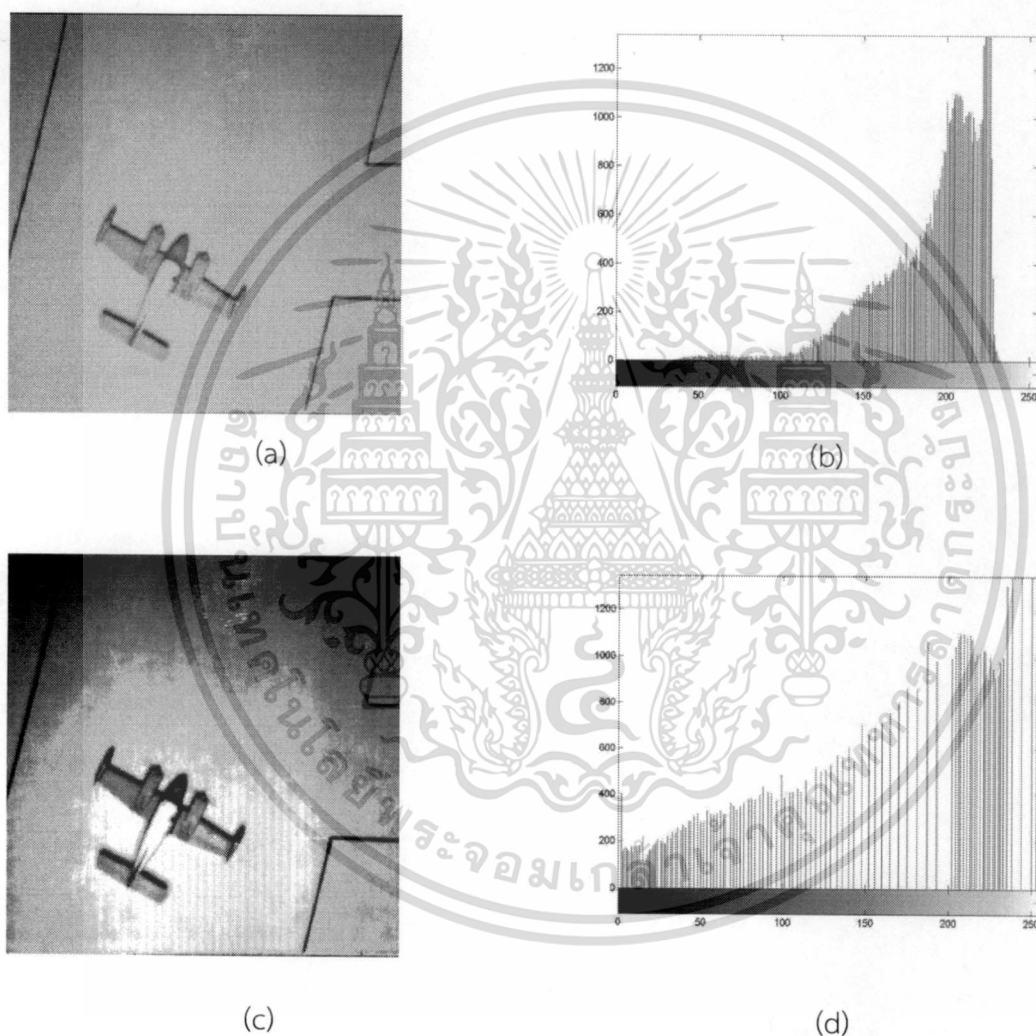
สำหรับ $X_0 \leq X \leq X_{L-1}$ [10] ดังนั้นค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพเอาท์พุทที่ได้จากการปรับเท่าฮิสโตแกรม คือค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา

$$\begin{aligned} E(Y) &= \int_{X_0}^{X_{L-1}} xp(x)dx \\ &= \int_{X_0}^{X_{L-1}} \frac{x}{X_{L-1} - X_0} dx \\ &= \frac{X_0 + X_{L-1}}{2} \end{aligned} \quad (2.34)$$

เมื่อ $E(Y)$ แสดงค่าคาดหวังทางสถิติ(Expected Value) จากทฤษฎีของสมการ (2.34) จะเป็นค่ากึ่งกลางของย่านระดับสีเทาที่เข้ารหัสไว้ ซึ่งจะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลมีความต่อเนื่อง (Continuous) แต่จะเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อข้อมูลเป็นแบบดิจิตอลดังภาพที่นำมาใช้งานกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การปรับเท่าฮิสโตแกรม นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโครม Airplane2.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่ 2.14 โดยรูปที่ 2.14(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.14(b) เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 193 รูปที่ 2.14(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Airplane2.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 127 และรูปที่ 2.14(d) แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ



รูปที่ 2.14 การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ Airplane2.tiff ขนาด 256x256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพรูป Airplane2.tiff จะให้ความคมชัดสูงขึ้น โดยจะมีความสว่างมากขึ้น เนื่องจากการยืดฮิสโตแกรมต้นฉบับย่าน 0 ถึง 233 เป็นระดับสีเทาใหม่คือระหว่างระดับสีเทา 0 ถึง 255 มีการยืดฮิสโตแกรมไปทางด้านระดับสีขวามากขึ้น

การปรับเท่าฮิสโตแกรม นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโครม GirlG.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ตั้งรูปที่ 2.15 โดยรูปที่ 2.15(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.15(b)เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 119

ในรูปที่ 2.15(c)เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ GirlG.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 130.46 และรูปที่ 2.15(d) แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ



รูปที่ 2.15 การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ รูปภาพ GirlG.tiff ขนาด 256x256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.4 บทสรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่ควรจะทราบเกี่ยวกับการแสดงภาพดิจิทัลในรูปแบบข้อมูลภาพ ความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพในรูปฮีสโตแกรม และการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคทางฮีสโตแกรมซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น สามารถแบ่งเป็นเทคนิคการยืดฮีสโตแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีการกระจายข้อมูลฮีสโตแกรมให้ค่าระดับสีเทาใหม่มีระยะห่างสม่ำเสมอ โดยถ้าย่านระดับสีเทาที่จะยืดออกมีค่าใกล้เคียงกับย่านระดับสีเทาเดิม จะทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงในการปรับปรุงภาพน้อย และเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรม ซึ่งมีการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพแบบไม่เชิงเส้น โดยกระจายข้อมูลฮีสโตแกรมต้นฉบับเสียใหม่ให้ความหนาแน่นของข้อมูลหรือ ปริมาณจุดภาพของแต่ละระดับสีเทาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับสีเทาทั้งหมด ดังนั้นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ค่ากึ่งกลางของค่าระดับสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการลด AMBE ด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรม แบบแบ่งฮิสโตแกรมย่อย

3.1 บทนำ

จากเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับความคมชัดของภาพในงานด้านต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การนำมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลภาพทางการแพทย์และภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น แต่วิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรมนี้มีข้อเสียคือ ค่าความสว่างของภาพจะเปลี่ยนไปโดยค่าเฉลี่ยของความสว่างทั้งภาพจะวิ่งเข้าหาค่ากลางระดับสีเทา 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 พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบดั้งเดิมเพื่อแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงค่าความสว่างของภาพด้วยวิธีนี้มีความเป็นธรรมชาติมากกว่า และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางอย่างได้ดีขึ้น

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

3.2 การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ

จากเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน ขั้นตอนแรกจะต้องทำการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนโดยใช้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเป็นจุดแบ่ง ซึ่งส่วนแรกเป็นข้อมูลภาพต้นฉบับที่มีค่าระดับสีเทาต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ ในส่วนที่สองจะเป็นข้อมูลภาพต้นฉบับที่มีค่าระดับสีเทาสูงกว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ หลังจากนั้นจะทำการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพในแต่ละส่วนโดยเป็นอิสระต่อกัน คือในส่วนแรกจะทำการแปลงตั้งแต่ช่วงของค่าระดับสีเทาต่ำสุดจนถึงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ ในส่วนที่สองจะทำการแปลงตั้งแต่ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ จนถึงค่าระดับสีเทาสูงสุด ดังนั้นผลของการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพในแต่ละส่วนจะถูกกำหนดให้อยู่ภายในขอบเขต ซึ่งจุดนี้เองจะส่งผลต่อการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีขึ้น

การหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพโมนอคโครมที่มีระดับสีเทา L ระดับ ทำได้ดังสมการ

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

โดย X_m เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพโมนอคโครม ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0 ถึง $L - 1$
 $p(r_j)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพที่ระดับสีเทา r_j

ภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างต่ำจะมองเห็นได้ค่อนข้างมืดกว่าภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างที่สูงกว่า ดังนั้นภาพที่มีค่าความเฉลี่ยความสว่างต่ำ ๆ จะเป็นภาพที่มืด แสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในภาพมีค่าระดับสีเทาต่ำ ซึ่งข้อมูลระดับสีเทาต่ำจะเป็นจุดภาพที่ค่อนข้างดำ และภาพที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างสูง ๆ จะเป็นภาพที่สว่าง แสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในภาพมีค่าระดับสีเทา ซึ่งข้อมูลระดับสีเทาสูงจะเป็นจุดภาพที่ค่อนข้างไปทางสีขาว

3.3 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกส่วนสองส่วน(Bi-Histogram Equalization)

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

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

เมื่อ

$$X_L = \{X(i, j) | X(i, j) \leq \bar{X}, \forall X(i, j) \in X\} \quad (3.3)$$

และ

$$X_U = \{X(i, j) | X(i, j) > \bar{X}, \forall X(i, j) \in X\} \quad (3.4)$$

สำหรับรูปภาพย่อย X_L จะประกอบด้วย $\{X_0, X_1, \dots, X_m\}$

และรูปภาพย่อย X_U จะประกอบด้วย $\{X_{m+1}, X_{m+2}, \dots, X_{L-1}\}$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดจุดภาพของรูปภาพย่อย X_L และ X_U แทนได้ด้วย

$$P_L(X_k) = \frac{n_L^k}{n_L}, \quad k = 0, 1, \dots, m \quad (3.5)$$

$$P_U(X_k) = \frac{n_U^k}{n_U}, \quad k = m + 1, m + 2, \dots, L - 1 \quad (3.6)$$

n_L^k และ n_U^k คือจำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเท่ากับ X_k ใน X_L และ X_U

ส่วน n_L และ n_U คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดใน X_L และ X_U โดย $n_L = \sum_{k=0}^m n_L^k$, $n_U = \sum_{k=m+1}^{L-1} n_U^k$,

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

จากวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมใช้ค่าความหนาแน่นสะสมเป็นฟังก์ชันการแปลงค่าระดับสีเทาโดยแยกในแต่ละส่วน จะได้ว่า

$$f_L(x) = X_0 + (X_m - X_0)c_L(x) \quad (3.9)$$

และ

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

จากฟังก์ชันการแปลงและการทำการปรับเรียบแยกสองส่วนในแต่ละรูปภาพย่อย ได้ภาพผลลัพธ์ของเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน ในรูปของ Y ดังนี้

$$\begin{aligned} Y &= \{Y(i, j)\} \\ &= f_L(X_L) \cup f_U(X_U) \end{aligned} \quad (3.11)$$

เมื่อ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$f_U(\mathbf{X}_U) = \{f_L(X(i,j)) | \forall X(i,j) \in \mathbf{X}_U\} \quad (3.13)$$

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

$f_L(\mathbf{X}_L)$ เป็นฟังก์ชันในการปรับเรียบฮิสโตแกรมของรูปภาพย่อยในส่วนของ \mathbf{X}_L ของช่วง (X_0, X_m)

$f_U(\mathbf{X}_U)$ เป็นฟังก์ชันในการปรับเรียบฮิสโตแกรมของรูปภาพย่อยในส่วนของ \mathbf{X}_U ของช่วง (X_{m+1}, X_{L-1})

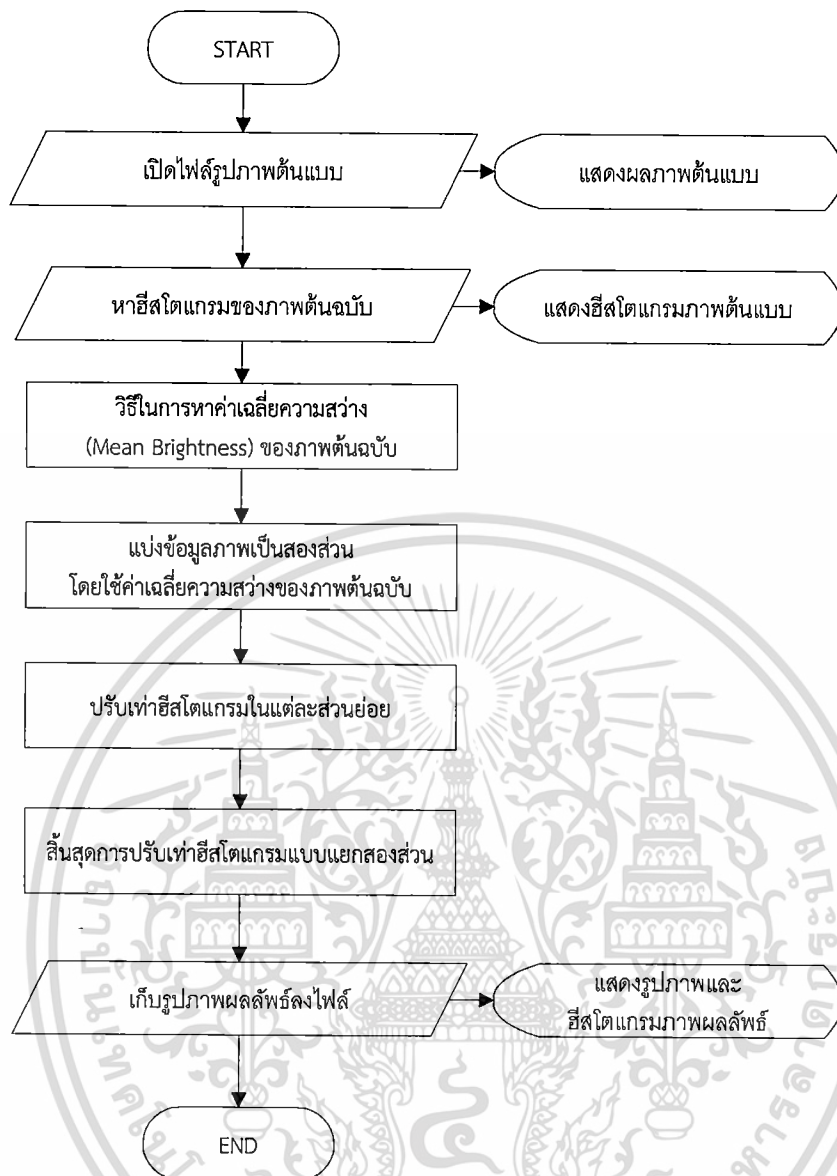
ในรูปที่ 3.1 แสดงโพลีชาร์ตการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

3.4 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์หลังการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

กำหนดให้ \mathbf{X} เป็นตัวแปรแรนดอม โดยให้ $L = \infty$ ดังนั้น การปรับเรียบฮิสโตแกรมนั้น, \mathbf{Y} ก็เป็นตัวแปรแบบแรนดอมด้วยเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าผลของการปรับเรียบฮิสโตแกรมจะได้ค่าระดับสีเทาที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ (uniform density)

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

สำหรับ $X_0 \leq x \leq X_{L-1}$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาร์ทพุทที่ได้จากการปรับเรียบฮิสโตแกรม คือค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา



รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน

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

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

$$= \frac{X_0 + X_{L-1}}{2} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $E(Y)$ แสดงค่าคาดหวังทางสถิติ โดยปกติแล้วค่าเอาท์พุทของภาพที่ผ่านวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรมค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาเสมอ ไม่ว่าจะภาพอินพุทจะมีหรือสว่างก็ตาม

เมื่อพิจารณาวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง และมีค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพคือ X_m สามารถแสดงการหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ จากการปรับเรียบฮิสโตแกรม ในแต่ละส่วนย่อยของรูปภาพ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E(Y) &= E(Y|X \leq X_m)P_r(X \leq X_m) + E(Y|X > X_m)P_r(X > X_m) \\ &= \frac{1}{2} \{E(Y|X \leq X_m) + E(Y|X > X_m)\} \end{aligned} \quad (3.18)$$

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

$$E(Y|X \leq X_m) = (X_0 + X_m)/2 \quad (3.19)$$

และ

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

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

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

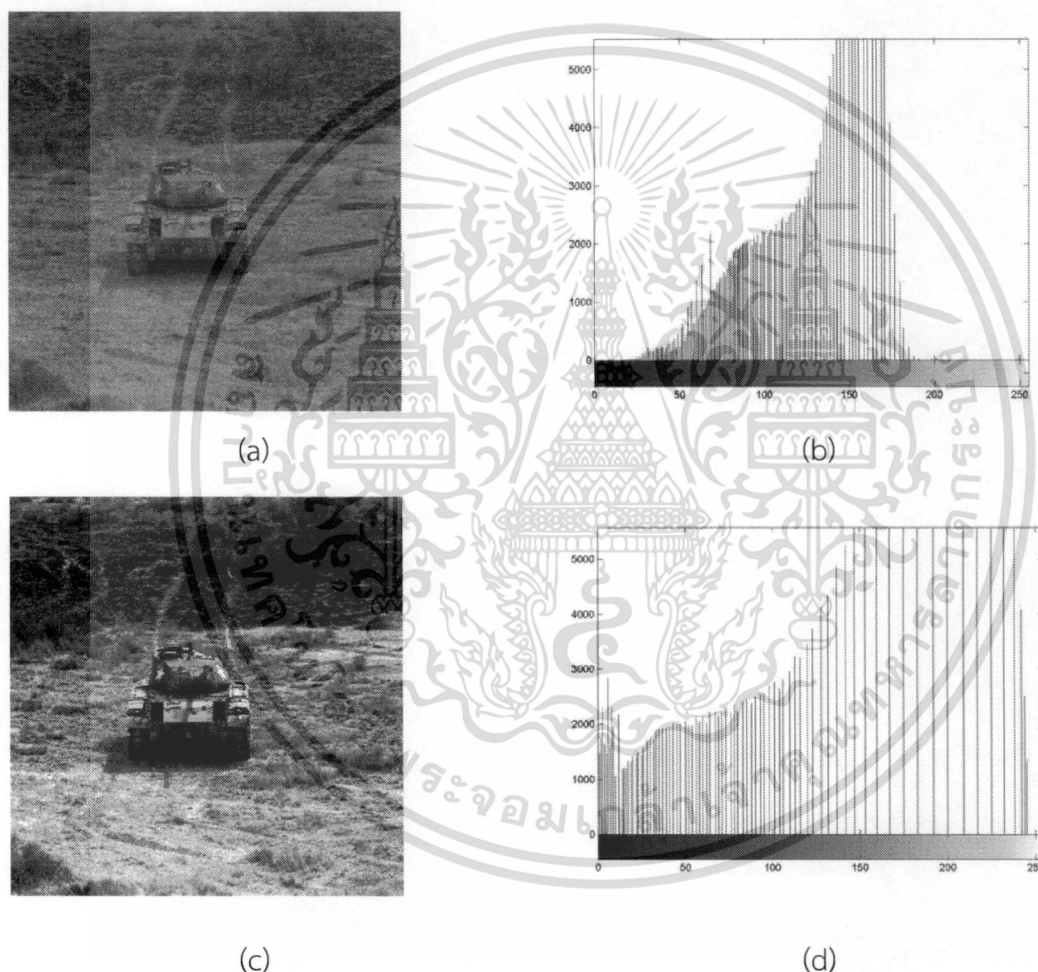
เมื่อ

$$X_G = \frac{(X_0 + X_{L-1})}{2} \quad (3.22)$$

จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน คือค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับนั่นเอง ซึ่งเป็นการรักษาความสว่างของภาพโดยอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยความสว่าง (X_m) ของภาพต้นฉบับเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

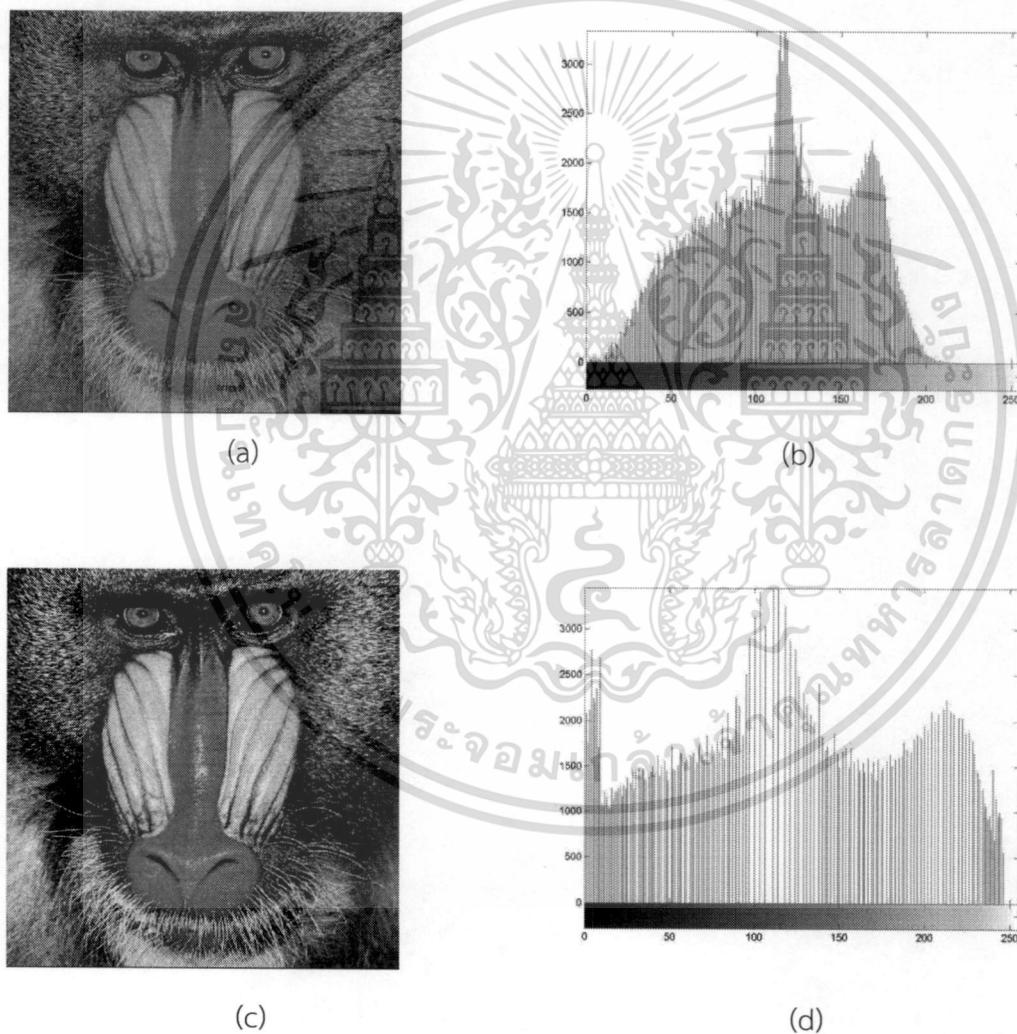
จากเทคนิคการปรับภาพเท่าฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโรม Tank.tiff ขนาด 512x512 มีระดับสีเทา 256 สี (8บิตต่อจุดภาพ) ได้ดังรูปที่3.2 โดยรูปที่3.2(a)เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่3.2(b) เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 125 รูปที่3.2(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Tank.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 124 ในขณะที่การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพให้ค่าเฉลี่ยเป็น 133 แสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาค่าความสว่างได้ดีกว่า เนื่องจากการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพพยายามเกลี่ยฮิสโตแกรมให้สม่ำเสมอ และรูปที่3.2(d)แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



รูปที่ 3.2 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Tank.tiff ขนาด 512x512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

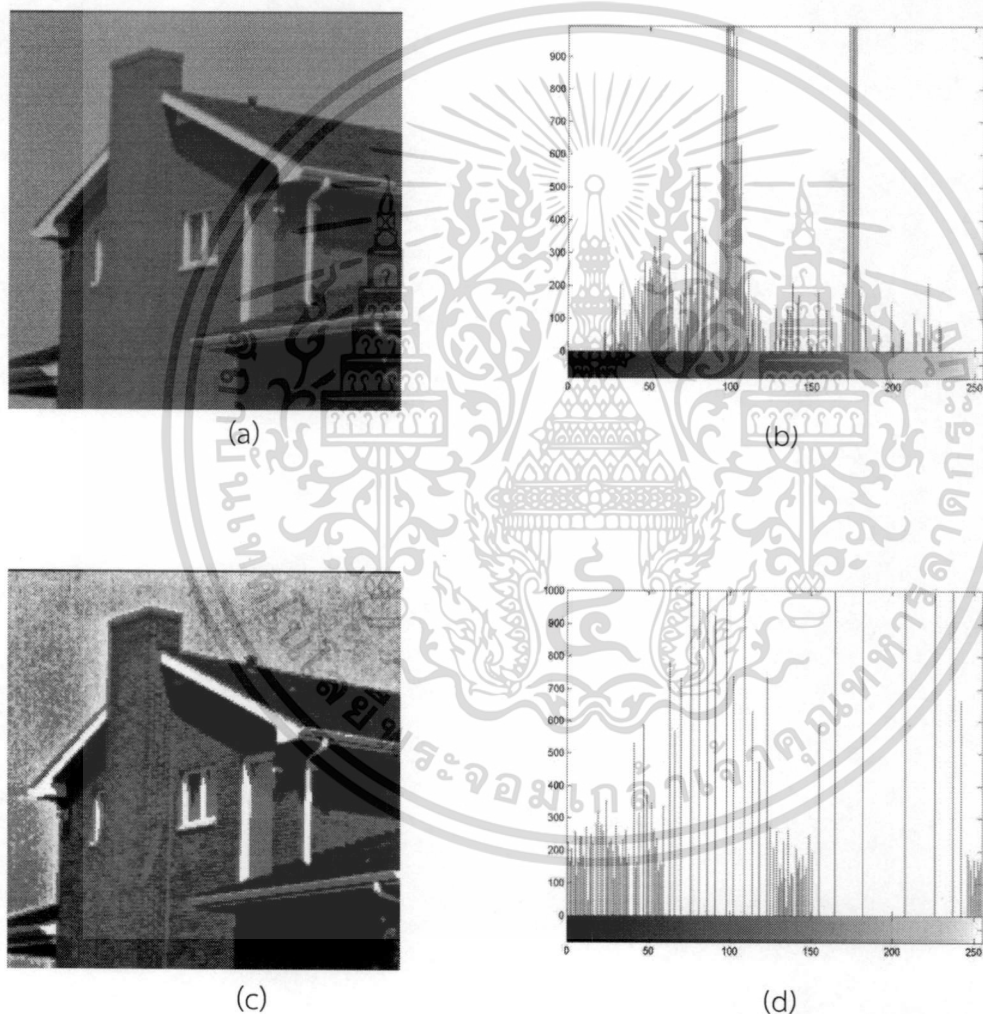
ต่อไปเป็นเทคนิคการปรับภาพเท่าฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโครม Baboon. tiff ขนาด 512x512 มีระดับสีเทา 256 สี(8 บิตต่อจุดภาพ) ได้ดังรูปที่3.3 โดยรูปที่3.3(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่3.3(b) เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 113.53 รูปที่3.3(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Baboon. Tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 113.74 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ (ที่มีค่าเป็น 122.38) และรูปที่3.3(b) แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



รูปที่ 3.3 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Baboon. tiff ขนาด 512x512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

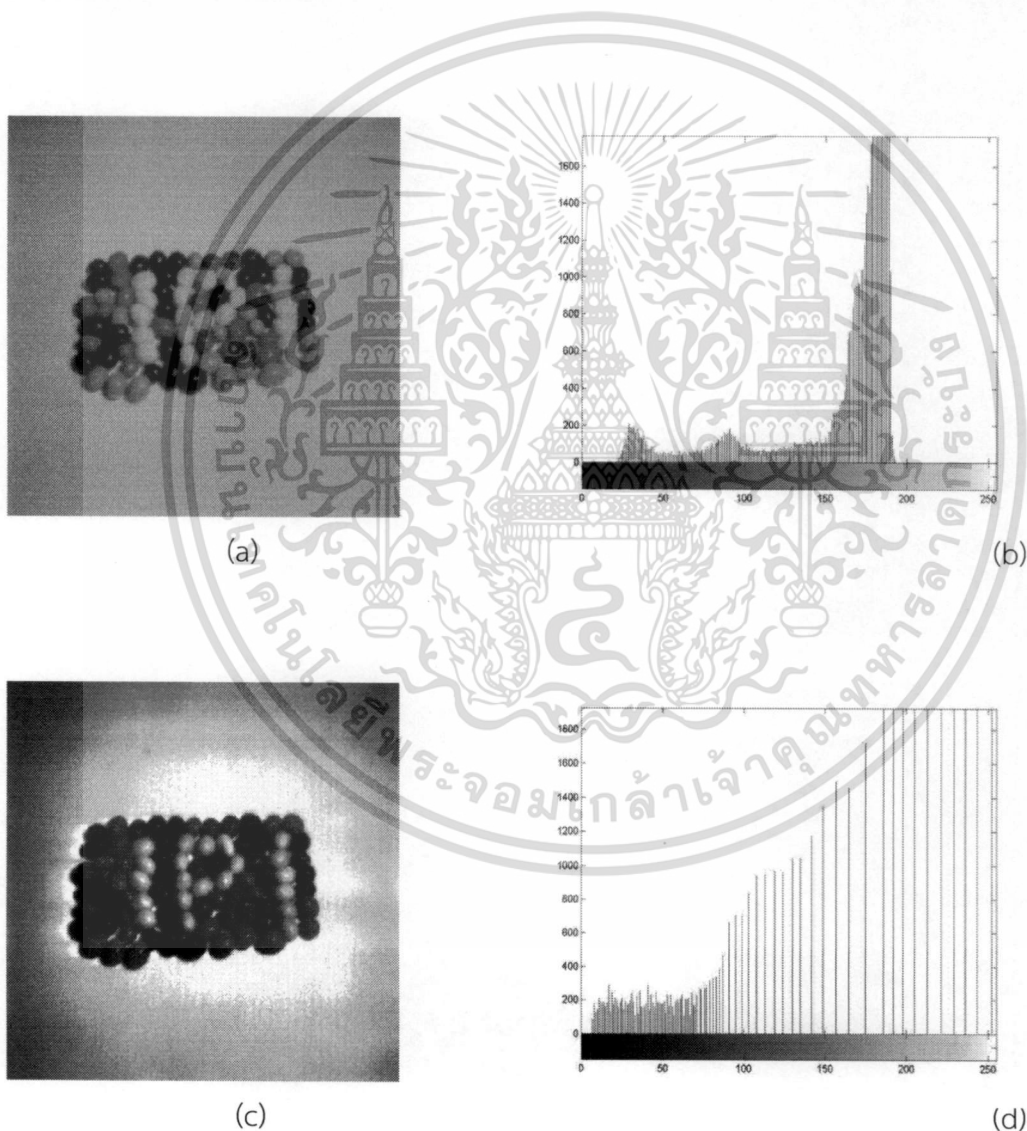
จากเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโครม car. tiff ขนาด 200x200 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ดังรูปที่ 3.4 โดยรูปที่ 3.4(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 3.4(b) เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 119.33 รูปที่ 3.4(c) เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ car. tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 118.54 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ(มีค่า 188.46) และรูปที่ 3.4(d) แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



รูปที่ 3.4 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ car. tiff ขนาด 200x200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมนอคโครม Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256 มีระดับสีเทา 256 สี (8 บิตภาพต่อจุด) ได้ตั้งรูปที่ 3.5 โดยรูปที่ 3.5(a) เป็นรูปภาพต้นฉบับ รูปที่ 3.5(b)เป็นฮิสโตแกรมของรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสว่างที่ระดับสีเทา 163.46 รูปที่ 3.5(c)เป็นภาพผลลัพธ์จากการปรับปรุงภาพ Jelly_Beans.tiff ด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน โดยมีระดับค่าเฉลี่ยความสว่างเป็น 162.76 ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดีกว่าการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ (มีค่า 156.23) และรูปที่ 3.5(d) แสดงฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน



รูปที่ 3.5 การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนรูปภาพ Jelly_Beans.tiff ขนาด 256x256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน นำมาปรับปรุงภาพโมโนโครมด้วยภาพต่างๆจะได้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพหลังการปรับปรุงด้วยเทคนิคการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบแยกสองส่วน 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เทคนิคแบบอื่นๆในการพยายามลดค่า AMBE

เทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมเพื่อลดค่า AMBE ให้ต่ำสุด ได้มีงานวิจัยเสนอวิธีการแบบต่างๆ ขึ้นมากมาย เริ่มจากวิธีการดั้งเดิมหรือ HE จะเสนอการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่เดียวทั้งภาพซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือให้ค่าความแตกต่างในภาพหรือคอนทราสต์ที่สูงมาก แต่ก็มีข้อเสียค่าค่าเฉลี่ยความสว่างหรือ AMBE จะสูงขึ้นด้วย ต่อมา Kim[1] ได้เสนอวิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมเพื่อพยายามที่จะรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเอาไว้ให้ได้ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE) วิธีนี้จะแก้ไขข้อบกพร่องจากการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่เดียวทั้งภาพ โดยการแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนหรือสองภาพย่อย โดยอาศัยค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ฮิสโตแกรมส่วนแรกจะเป็นเซต(set) ของกลุ่มตัวจุดภาพ ที่มีระดับสีเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ ฮิสโตแกรมส่วนที่สองจะเกิดจากเซตของกลุ่มจุดภาพ ที่มีค่าระดับสีเทาสูงกว่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ จากนั้นวิธีการของ BBHE จะทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมของแต่ละส่วนโดยแยกกันทำอย่างอิสระ ซึ่งการปรับเท่าฮิสโตแกรมแต่ละส่วนก็จะอาศัยหลักการที่ได้กล่าวไว้

ต่อมา Wang[2] ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพ โดยทำการแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนหรือสองภาพย่อย ที่มีพื้นที่หรือจำนวนจุดภาพเท่ากัน(หรือใกล้เคียงกัน) จากนั้นแยกทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมแต่ละส่วนอย่างอิสระ วิธีการ Equal area dualistic sub-image histogram equalization (DSIHE) นี้จะให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพใกล้เคียงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับได้ดีกว่าวิธีการของ BBHE

สำหรับ Soong[4] ได้เสนอผลงานวิจัยที่เรียกว่า Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement ที่ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุดในการปรับเท่า ฮิสโตแกรมสองส่วนย่อย ซึ่งเรียกชื่อวิธีการดังกล่าวเป็นMMBEBHE ในขณะเดียวกันก็ได้นำเสนอตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการรักษาค่าความสว่างเฉลี่ยของภาพเอาต์พุต ว่าใกล้เคียงกับของอินพุตเพียงใด โดยใช้ค่า AMBE ของผลต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพเอาต์พุตกับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพอินพุต

วิธีทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ได้มีการพัฒนาปรับปรุงวิธีการทำให้ AMBE ต่ำสุดก็จริง แต่ไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างหรือคอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์เลย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเสนอวิธีปรับเท่าฮิสโตแกรม แบบมัลติพีคเพื่อพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดให้ต่ำสุดและในขณะเดียวกันก็ให้ภาพผลลัพธ์มีคอนทราสต์สูงด้วยเช่นกัน ดังจะกล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอในบทถัดไป

3.6 บทสรุป

การปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วน(Bi-Histogram equalization) ซึ่งเป็นวิธีการที่เพิ่มเติมจากการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบเดิม ซึ่งเป็นการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ วิธีการแยกสองส่วนนี้ทำได้โดยการแยกฮิสโตแกรมของภาพเดิมออกเป็นสองส่วนตามค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับแล้วแต่ละส่วนจะทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมแยกกันอย่างอิสระ ส่งผลทำให้สามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับได้จากการปรับค่าความคมชัดของภาพในแต่ละส่วนแยกจากกันอย่างอิสระ จากภาพผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่ามีมีการกระจายข้อมูลตามค่าความหนาแน่นแบบสมมาตรรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยความสว่าง ดังนั้นเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทีวี (TV) , วีทีอาร์ (VTR)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ได้จากเทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนนี้จะสังเกตเห็นว่า สามารถปรับความคมชัดได้เห็นรายละเอียดของภาพได้ดียิ่งขึ้น และค่าความสว่างของภาพผลลัพธ์ยังคงรักษาค่าความสว่างเดิมของภาพไว้ได้อย่างใกล้เคียงกว่าเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ



บทที่ 4

วิธีการลดค่า AMBE และเพิ่มคอนทราสต์ด้วย การปรับเท่าฮิสโตแกรมด้วยเทคนิคมัลติ-พีค

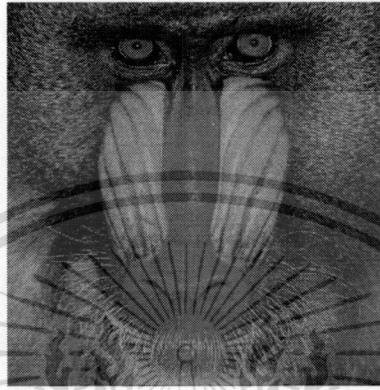
4.1 บทนำ

จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค (Multi-peak Histogram) เป็นหลักการใหม่ที่นำเสนอขึ้น โดยอาศัยหลักการของพีคฮิสโตแกรมเป็นตัวแยกกลุ่มข้อมูลภาพ ซึ่งจะแบ่งแยกพีคต่างๆของฮิสโตแกรมมาทำการปรับปรุงข้อมูลภาพในแต่ละส่วนของฮิสโตแกรมโดยแยกจากกันอย่างอิสระ ทั้งนี้โดยทั่วไปแต่ละพีคจะสอดคล้องกับวัตถุคนละชนิด ดังนั้นจำนวนพีคที่ตรวจจับได้จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของฮิสโตแกรมของภาพที่กำลังพิจารณา ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของภาพก็จะถูกกำหนดขอบเขตให้อยู่ภายในแต่ละพีคฮิสโตแกรมเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงแก้ไขเรื่องค่าระดับสีเทาอัตโนมัติ และยังรักษาระดับค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะให้ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุด ดังนั้นหลักการสำคัญในการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมแบบมัลติพีคคือกรรมวิธีในการหาพีคฮิสโตแกรมของภาพต้นแบบให้ได้ก่อน จากนั้นจึงนำไปใช้ในการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมแบบมัลติพีคต่อไป

4.2 ขั้นตอนการหาพีคฮิสโตแกรม

จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับปรุงฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค จะต้องทำการแบ่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็นพีคต่างๆ ก่อนที่จะทำการปรับเท่าหรือยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นในแต่ละพีคฮิสโตแกรมแยกจากกันอย่างอิสระ ซึ่งฮิสโตแกรมของภาพจะแสดงค่าความน่าจะเป็นในการเกิดข้อมูลในแต่ละระดับค่าระดับสีเทา บางระดับค่าระดับสีเทาอาจไม่มีข้อมูลอยู่เลย แต่ถ้ามองภาพโดยรวมฮิสโตแกรมของภาพจะประกอบด้วยพีคหรือยอดโค้งฮิสโตแกรม (Peaks or Nodes) ซึ่งแต่ละพีคจะแสดงข้อมูลวัตถุที่ต่างกัน ในการแบ่งพีคฮิสโตแกรมนั้นไม่สามารถกระทำได้โดยง่าย เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพของแต่ละค่าระดับสีเทาจะมีการแกว่งขึ้นลงไปมาอย่างไม่แน่นอน และค่าความน่าจะเป็นของบางระดับค่าระดับสีเทาอาจไม่มีค่าข้อมูลเลย จึงต้องมีการปรับปรุงฮิสโตแกรมก่อนเพื่อให้เห็นรูปร่างฮิสโตแกรม ดังนั้นก่อนที่จะหาพีคฮิสโตแกรมจะมีการเปลี่ยนแปลง

ข้อมูลของฮิสโตแกรม แต่เมื่อแบ่งพีคฮิสโตแกรมแล้วจะนำข้อมูลฮิสโตแกรมดั้งเดิมในแต่ละพีคของภาพต้นแบบกลับมาใช้ในการปรับปรุงฮิสโตแกรมโดยแยกจากกันอย่างอิสระ ผลของการแปลงอัตราความแตกต่างของภาพในแต่ละส่วนจะถูกกำหนดให้อยู่ภายในขอบเขตของพีคฮิสโตแกรมซึ่งเป็นกลุ่มข้อมูลระดับสีเทาเดียวกัน ซึ่งส่งผลต่อการรักษาค่าค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพได้ดียิ่งขึ้น ในการทดลองนี้จะใช้ภาพ Baboon.PNG เป็นภาพต้นฉบับ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพระดับสีเทาดั้งเดิม Baboon

4.3 ลำดับขั้นตอนในการปรับปรุงฮิสโตแกรม

4.3.1 การสอดแทรกความน่าจะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation Probability Density)

การตรวจจับพีคในกราฟแท่งของฮิสโตแกรมที่ได้จากภาพต้นฉบับนั้น จะสมมติให้ $p(X_k)$ เป็นความน่าจะเป็น(หรือจำนวนจุดภาพ)ของค่าระดับสีเทาที่ระดับ k โดย $(0 \leq k \leq L-1)$ เมื่อ L เป็นจำนวนระดับสีเทาทั้งหมด แต่เนื่องจากบางค่าระดับสีเทาไม่ปรากฏมีจุดภาพในภาพต้นฉบับ จึงจำเป็นต้องทำการสอดแทรกค่าระดับสีเทาดังกล่าว ทั้งนี้เพราะจะได้นำไปใช้ในการหาจุดพีคในเชิงคณิตศาสตร์ ตัวอย่างเช่นถ้าภาพต้นฉบับไม่มีจุดภาพใดเลยที่ให้ค่าระดับสีเทาเป็นระดับที่ X_k หรือพูดได้ว่า $p(X_k) = 0$ เราจะต้องทำการสอดแทรกแท่งฮิสโตแกรม $p(X_k)$ เข้าไปในกราฟเพื่อให้กราฟแท่งฮิสโตแกรมไม่ขาดความต่อเนื่อง แท่งกราฟที่สอดแทรกเข้าไปนี้จะใช้ในการหาพีคเท่านั้น จะไม่ถูกนำไปใช้ในการปรับแก้ฮิสโตแกรม แท่งฮิสโตแกรม $p(X_k)$ ที่สอดแทรกจะได้จากสมการที่ (4.1)

$$p(X_k) = \frac{1}{2} [p(X_{k-1}) + p(X_{k+1})] \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ X_k เป็นระดับสีเทาที่ขาดหายไป ส่วน $p(X_{k-1})$ และ $p(X_{k+1})$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาข้างเคียงที่ไม่เป็นศูนย์

สำหรับกรณีที่ระดับสีเทาสองระดับที่อยู่ติดๆ กัน แต่ไม่มีจุดภาพในระดับสีเทาทั้งสองนี้เลยในภาพต้นฉบับ อย่างเช่นที่ระดับ X_k และ (X_{k+1}) ทำให้ $p(X_k) = 0$ และ $p(X_{k+1}) = 0$ ดังนั้นการสอดแทรกแท่งกราฟทั้งคู่ของ $p(X_k)$ และ $p(X_{k+1})$ จะเป็นไปตามสมการที่ (4.2) และ (4.3) ตามลำดับ

$$p(X_k) = p(X_{k-1}) + \frac{1}{3} [p(X_{k+2}) - p(X_{k-1})] \quad (4.2)$$

$$p(X_{k+1}) = p(X_{k-1}) + \frac{2}{3} [p(X_{k+2}) - p(X_{k-1})] \quad (4.3)$$

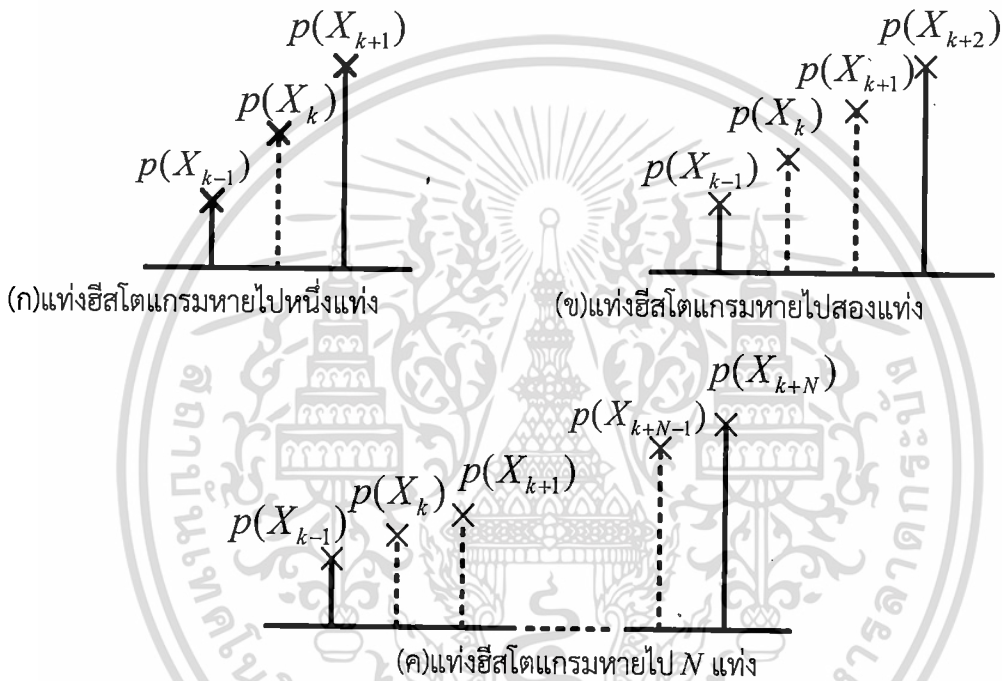
เมื่อ X_k และ (X_{k+1}) เป็นระดับสีเทาที่ขาดหายไป ส่วน $p(X_{k-1})$ และ $p(X_{k+2})$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาข้างเคียงที่ไม่เป็นศูนย์

ทำนองเดียวกันถ้าหากมีระดับสีเทา N ระดับติด ๆ กัน แต่ไม่ปรากฏว่ามีจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาตั้งแต่ X_k ถึง X_{k+N-1} เลย หรือ $p(X_k) = 0, p(X_{k+1}) = 0, \dots, p(X_{k+N-1}) = 0$ ในการสอดแทรกแท่งกราฟฮิสโตแกรมแต่ละแท่งเป็นไปตามสมการข้างล่างคือ

$$\left. \begin{aligned} p(X_k) &= p(X_{k-1}) + \frac{1}{N+1} [p(X_{k+N}) - p(X_{k-1})] \\ p(X_{k+N-2}) &= p(X_{k-1}) + \frac{2}{N+1} [p(X_{k+N}) - p(X_{k-1})] \\ &\vdots \\ p(X_{k+N-1}) &= p(X_{k-1}) + \frac{N-1}{N+1} [p(X_{k+N}) - p(X_{k-1})] \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

โดยมากฮิสโตแกรมของรูปภาพมักจะพบค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูลอยู่หนึ่งระดับ หรือ สองระดับติดต่อกัน แต่ถ้าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูล N ระดับ ก็แก้ไข

ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งในรูปที่ 4.2(ก) แสดงค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูล 1 ระดับ รูปที่ 4.2(ข) แสดงค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูล 2 ระดับติดกัน และในรูปที่ 4.2(ค) แสดงค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูล N ระดับติดต่อกัน จากการประมาณค่าความน่าจะเป็นแบบเชิงเส้นให้กับระดับสีเทาที่ไม่มีข้อมูลอยู่ หลังจากการเติมค่าความน่าจะเป็นแล้วทำให้ฮิสโตแกรมของรูปภาพทุกระดับสีเทามีข้อมูล แต่ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละระดับสีเทาจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างไม่แน่นอน จึงต้องมีการปรับฮิสโตแกรมเพื่อมองแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพีคฮิสโตแกรม



รูปที่ 4.2 การสอดแทรกแท่งกราฟฮิสโตแกรมที่ขาดหายไป

4.3.2 การหาค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของค่าความสว่างหรือระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกัน (The Neighborhood Probability Density Average)

หลังจากการสอดแทรกหรือเติมเต็มแท่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการปรับเรียบ(smoothing)แท่งฮิสโตแกรม เพื่อให้แท่งฮิสโตแกรมที่อยู่ติดกันจะได้มีค่าความน่าจะเป็นหรือความสูงของแท่งฮิสโตแกรมใกล้เคียงกัน จากการทดลองพบว่า ในการปรับเรียบที่ให้ผลน่าพอใจเมื่อใช้แท่งฮิสโตแกรมจำนวนเก้าแท่งที่อยู่ถัด ๆ กันไปในการคำนวณ โดยในการปรับเรียบแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีสโตแกรมของระดับสีเทาที่ X_k จะใช้แทนฮีสโตแกรมระดับสีเทาก่อนหน้านั้นสี่แห่ง และระดับสีเทาหลังระดับนั้นอีกสี่แห่ง รวมแห่งที่จะทำการปรับเรียงด้วยจึงเป็นเก้าแห่งฮีสโตแกรม ฮีสโตแกรมหลังการปรับเรียง $p_{new}(X_k)$ ดังกล่าวจะได้จาก

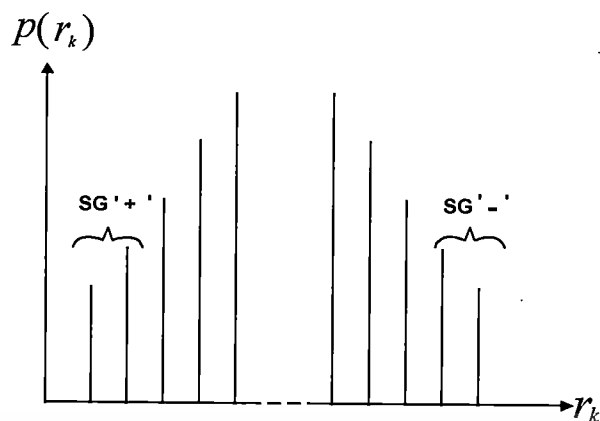
$$p_{new}(X_k) = \begin{cases} \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 p(X_{k-5+i}) & \text{เมื่อ } 4 \leq k \leq L-5 \\ p(X_k) & \text{เมื่อ } k < 4 \text{ และ } k > L-5 \end{cases} \quad (4.5)$$

4.3.3 การเปลี่ยนเครื่องหมายความแตกต่างระหว่างค่าความน่าจะเป็นของสองระดับสีเทาที่อยู่ใกล้เคียงกัน

เมื่อฮีสโตแกรมถูกปรับเรียงแล้ว จะถูกนำมาคำนวณหาจุดเว้าหงาย (concave upward) โดยการนำค่าความน่าจะเป็นของแห่งฮีสโตแกรมสองแห่งที่อยู่ติดกัน มาคำนวณหาผลต่างเพื่อบันทึกเฉพาะเครื่องหมายเท่านั้น (โดยจะไม่สนใจตัวเลขผลลัพธ์ที่ได้จากการลบกัน) เครื่องหมายบวกหรือลบที่เกิดจาก $p_{new}(X_k) - p_{new}(X_{k-1})$ จะถูกเก็บบันทึกไว้ใน $SG(k)$ กล่าวคือ

$$SG(k) = \begin{cases} + & \text{ถ้า } p_{new}(X_k) \geq p_{new}(X_{k-1}) \\ - & \text{ถ้า } p_{new}(X_k) < p_{new}(X_{k-1}) \end{cases} \quad (4.6)$$

นั่นคือถ้าค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทา k มีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทา $k-1$ จะได้เครื่องหมายความแตกต่าง $SG(k)$ เป็นค่าบวก แต่ถ้าค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทา k มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทา $k-1$ จะได้เครื่องหมายความแตกต่าง $SG(k)$ เป็นค่าลบ ที่แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



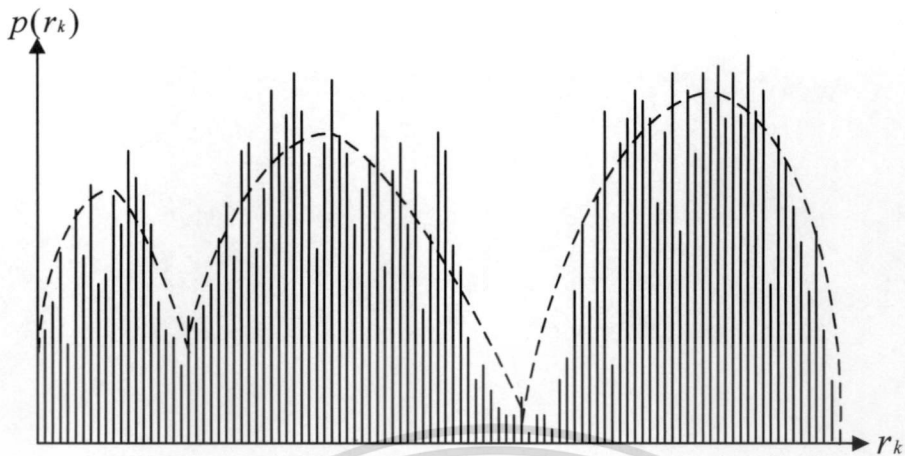
รูปที่ 4.3 เครื่องหมายความแตกต่างค่าความน่าจะเป็นของสองระดับค่าสีเทาที่ใกล้เคียงกัน

4.3.4 การหาตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่แบ่งฟิสิกส์โตแกรมหรือจุดเบรคพอยน์ (Break-Point)

เครื่องหมายความแตกต่างค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากหัวข้อ 4.3.3 จากค่า $SG(0)$ ถึง $SG(254)$ ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามโค้งฟิสิกส์โตแกรม ถ้าเครื่องหมายมีค่าเป็นบวกต่อเนื่องกันแสดงว่าเป็นโค้งขาขึ้นของฟิสิกส์โตแกรม แต่ถ้าเครื่องหมายมีค่าเป็นลบต่อเนื่องกันแสดงว่าเป็นโค้งขาลงของฟิสิกส์โตแกรม จากการหาค่าเครื่องหมายความแตกต่างค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกัน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงแบบกระเพื่อมขึ้นลงไปมา จึงต้องมีการปรับเครื่องหมายเพื่อให้เกิดเครื่องหมายที่ต่อเนื่อง ดังนี้เช่น

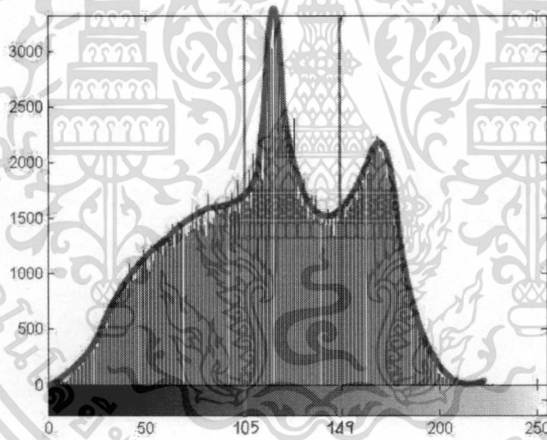
+ - + จะถูกปรับเรียงเป็น + + +
 - + - จะถูกปรับเรียงเป็น - - -

หลังจากได้ปรับเรียงทางเครื่องหมายแล้วจะทำการตรวจหาจุดเว้าหงาย โดยที่จุดเว้าหงายที่ระดับสีเทา X_k ใดๆ เกิดเมื่อมีเครื่องหมาย - สีเครื่องหมายติดๆกัน ตามด้วยเครื่องหมาย + แปรเครื่องหมายติดๆกัน(อาจจะใช้วิธีดูจากเครื่องหมายที่ได้จากการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและที่สองก็ได้) ถ้าหากฮิสโตแกรมของภาพเกิดจุดเว้าหงาย N จุด ก็แสดงว่าจะเกิดพีคของฮิสโตแกรมทั้งหมดจำนวน $N + 1$ พีค หรือเกิด $N + 1$ ฮิสโตแกรมย่อย



รูปที่ 4.4 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของรูปภาพหลังจากมีการปรับฮิสโตแกรมตามขั้นตอนต่างๆ

จากฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับของ Baboon ตรวจสอบว่ามีพีคเกิดขึ้น 2 พีค ที่ตำแหน่ง 105 และ 149 ดังนั้นจึงมี 3 ฮิสโตแกรมย่อย คือ X_1 , X_2 และ X_3



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งพีคที่ 105 และ 149

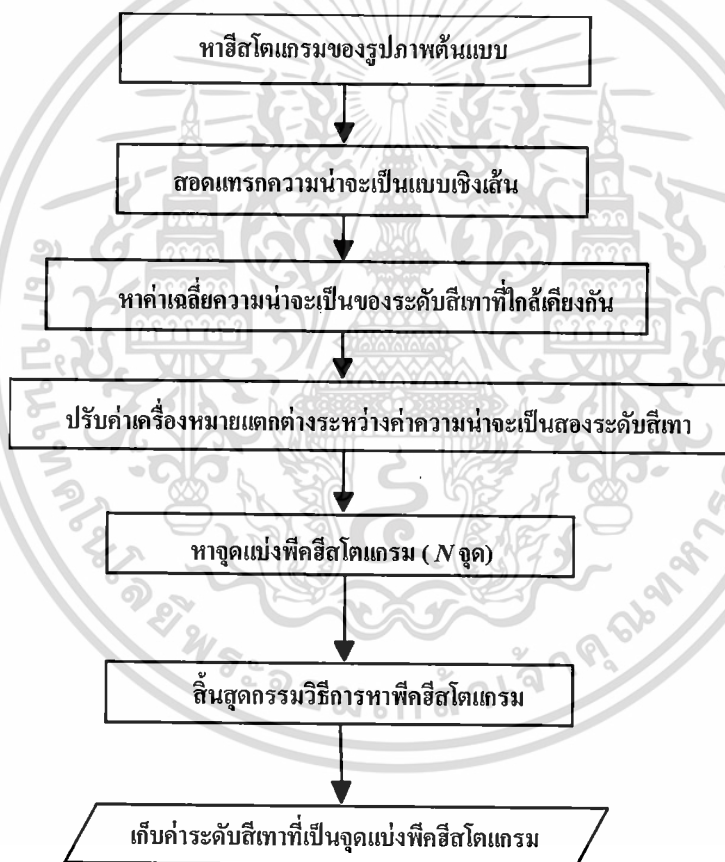
นั่นคือจะได้ภาพต้นฉบับ X เมื่อ

$$X = X_1 \cup X_2 \cup X_3 \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการหาจุดแบ่งพิกซีสโตแกรมโดยการพิจารณาสวนโค้งขาขึ้นของพิกซีสโตแกรม มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายความแตกต่างค่าความน่าจะเป็นของสองระดับสีเทาจากค่าลบ 4 ค่า และตามด้วยค่าบวก 8 ค่า ถ้าพิกซีสโตแกรมของรูปภาพพบจุดแบ่งพิกซีสโตแกรม N จุด นั่นคือมีการแบ่งพิกซีสโตแกรมเป็น $N + 1$ พิกหรือสามารถแบ่งภาพนั้นออกเป็น $N + 1$ กลุ่ม จากรูปที่ 4.4 พิกซีสโตแกรมของรูปภาพมีจุดแบ่งพิกซีสโตแกรม 2 จุด สามารถแบ่ง 3 พิก ค่าระดับสีเทาที่เป็นจุดแบ่งพิกซีสโตแกรมจะถูกบันทึกเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคพิกซีสโตแกรมแบบมัลติพิก ในบทต่อไป โดยพิกซีสโตแกรมที่ผ่านการปรับค่าความน่าจะเป็นจากกรรมวิธีการหาจุดแบ่งพิกจะไม่นำมาพิจารณาในการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคพิกซีสโตแกรมแบบมัลติพิก เนื่องจากเป็นข้อมูลภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเดิม

ขั้นตอนในการหาจุดแบ่งพิกซีสโตแกรมพอสรุปเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตแสดงกรรมวิธีการหาพิกซีสโตแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยวิธีมัลติพีคฮิสโตแกรม

การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพนั้น เกิดผลเสียในเรื่องความสว่างอิมิตัวในบริเวณพื้นที่สว่างหรือมืดมาก และไม่รักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบทำให้ภาพผลลัพธ์ไม่เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงมีการนำเสนอการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบแยกสองส่วนซึ่งรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบไว้ได้[10] แต่ยังคงมีปัญหาเรื่องความสว่างอิมิตัว ดังนั้นจึงมีการนำเสนอเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค(Multipeak Histogram Equalization) โดยจะปรับปรุงภาพจากการใช้กลุ่มข้อมูลในแต่ละพีคฮิสโตแกรม ซึ่งทำให้รักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบ และแก้ไขปัญหาค่าความสว่างอิมิตัว การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีคเป็นการปรับปรุงภาพแบบไม่เป็นเชิงเส้นตามค่าความหนาแน่นของข้อมูลภาพในแต่ละพีคฮิสโตแกรม

4.5 การปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค(Multi-peak Histogram Equalization)

ฮิสโตแกรมของรูปภาพจะมีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพของแต่ละระดับสีเทา กระเพื่อมขึ้นลงไปมาไม่แน่นอน และค่าความน่าจะเป็นของบางระดับสีเทาอาจไม่มีค่าเลย ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงฮิสโตแกรมก่อนตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ฮิสโตแกรมของรูปภาพใดๆเป็น $N+1$ พีค จะถูกนำมาใช้ในการปรับความคมชัดของภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค โดยการแยกปรับเท่า(Equalize)ฮิสโตแกรมในแต่ละช่วงพีคฮิสโตแกรมตามกลุ่มข้อมูลภายในพีคนั้น แต่ละพีคฮิสโตแกรมจะเป็นการแยกข้อมูลภาพเป็นกลุ่มตามค่าระดับสีเทา

เมื่อพิจารณาให้ $x = \{B(i, j)\}$ เป็นองค์ประกอบรูปภาพของระดับสีเทา L ระดับคือ $\{r_0, r_1, r_2, \dots, r_{L-1}\}$ โดย $\{B(i, j)\}$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่ตำแหน่งโคออดิเนต (i, j) และ $\{B(i, j)\} \in \{r_0, r_1, \dots, r_{L-1}\}$ เนื่องจากฮิสโตแกรมของรูปภาพถูกแบ่งเป็น $N+1$ พีค ดังนั้นรูปภาพ X จะประกอบด้วยข้อมูลในรูปภาพย่อย(Sub-image) $N+1$ กลุ่มคือ X_1, X_2, \dots, X_{N+1} หรือ

$$X = X_1 \cup X_2 \dots \cup X_{N+1} \quad (4.8)$$

โดย \cup : คือการ Union

ฮิสโตแกรม $N+1$ พีค ซึ่งถูกแบ่งโดยจุดแบ่งพีคฮิสโตแกรม N จุดที่ระดับค่าระดับสีเทา $r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mN}$ เมื่อแต่ละรูปภาพย่อยมีองค์ประกอบดังสมการ

$$\begin{aligned}
\mathbf{X}_1 &= \{B(i, j); r_0 \leq B(i, j) < r_{m_1}, \forall B(i, j) \in \mathbf{X}\} \\
\mathbf{X}_2 &= \{B(i, j); r_{m_1} \leq B(i, j) < r_{m_2}, \forall B(i, j) \in \mathbf{X}\} \\
&\vdots \\
\mathbf{X}_3 &= \{B(i, j); r_{m_N} \leq B(i, j) < r_{L-1}, \forall B(i, j) \in \mathbf{X}\}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

นั่นคือ รูปภาพย่อย \mathbf{X}_1 จะประกอบด้วยระดับค่าระดับสีเทา $\{r_0, r_1, \dots, r_{m_1} - 1\}$
รูปภาพย่อย \mathbf{X}_2 จะประกอบด้วยระดับค่าระดับสีเทา $\{r_{m_1}, r_{m_1+1}, \dots, r_{m_2} - 1\}$
 \vdots
รูปภาพย่อย \mathbf{X}_{N+1} จะประกอบด้วยระดับค่าระดับสีเทา $\{r_{m_N}, r_{m_N+1}, \dots, r_{L-1}\}$

ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดจุดภาพในแต่ละพิกเซลไฮสโตแกรม แสดงได้ดังสมการที่(4.10) โดยใช้ค่าข้อมูลเดิมของภาพต้นแบบดั้งเดิมมาพิจารณา (ไม่ใช่ค่าข้อมูลจากไฮสโตแกรมหลังจากการปรับปรุง เนื่องจากการปรับปรุงข้อมูลไฮสโตแกรมนำมาพิจารณาในการแบ่งพิกเซลเท่านั้น)

$$\begin{aligned}
p_1(r_k) &= \frac{n_1^k}{n_1}, \text{ เมื่อ } k = 0, 1, \dots, m_1 - 1 \\
p_2(r_k) &= \frac{n_2^k}{n_2}, \text{ เมื่อ } k = m_1, m_1 + 1, \dots, m_2 - 1 \\
&\vdots \\
p_{N+1}(r_k) &= \frac{n_{N+1}^k}{n_{N+1}}, \text{ เมื่อ } k = m_N, m_N + 1, \dots, L - 1
\end{aligned} \tag{4.10}$$

เมื่อ n_i^k คือจำนวนจุดภาพของภาพต้นแบบในลำดับระดับสีเทาที่ k ในพิกเซลไฮสโตแกรมที่ i และ n_i แสดงจำนวนจุดภาพทั้งหมดในพิกเซลไฮสโตแกรมที่ i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N+1$

$$\text{โดยที่} \quad n = n_1 + n_2 + \dots + n_{N+1} \tag{4.11}$$

เมื่อ n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ ค่าฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม(CDF: Cumulative Density Function) ของแต่ละพิกเซลข้อมูลแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
C_1(k) &= \sum_{j=0}^k p_1(r_j) & ; 0 \leq k < m_1 \\
C_2(k) &= \sum_{j=m_1}^k p_2(r_j) & ; m_1 \leq k < m_2 \\
&\vdots \\
C_{N+1}(k) &= \sum_{j=m_N}^{L-1} p_{N+1}(r_j) & ; m_N \leq k \leq L-1
\end{aligned} \tag{4.12}$$

เมื่อ $k = r_k$ และตามนิยามค่าฟังก์ชันความหนาแน่น

$$\begin{aligned}
C_1(r_{m_1} - 1) &= 1 \\
C_2(r_{m_2} - 1) &= 1
\end{aligned} \tag{4.13}$$

$$\begin{aligned}
&\vdots \\
C_1(r_{m_{L-1}}) &= 1
\end{aligned}$$

หลังจากการปรับความคมชัดของภาพจากเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค โดยฮิสโตแกรมของพีคแรกจะถูกยืดออกในย่านระดับค่าระดับสีเทา r_0 ถึง r_{m_1-1} สำหรับพีคที่ i ฮิสโตแกรมจะถูกยืดออกในย่านระดับค่าระดับสีเทา $r_{m_{(i-1)}}$ to r_{m_i-1} เมื่อ $i = 2, 3, \dots, N$ และโค้งกลุ่มข้อมูลกลุ่มสุดท้ายจะถูกยืดออกในย่านระดับค่าระดับสีเทา r_{m_N} ถึง r_{L-1} .

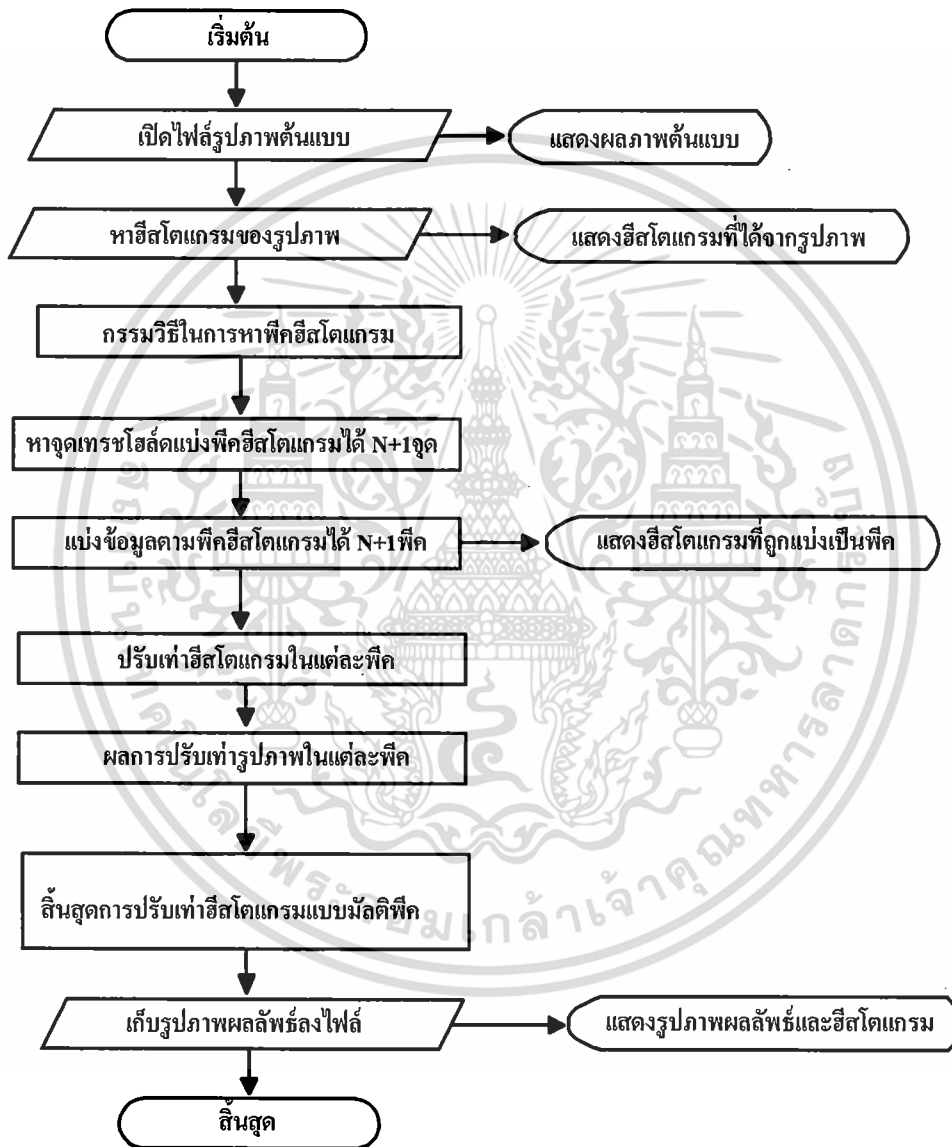
จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค โดยใช้ค่าความหนาแน่นสะสม CDF ในฟังก์ชันการแปลงค่าระดับสีเทาค่าใหม่

$$\begin{aligned}
f_1(k) &= r_0 + (r_{m_1} - 1 - r_0)C_1(k) \\
f_2(k) &= r_{m_1} + (r_{m_2} - 1 - r_{m_1})C_2(k) \\
&\vdots \\
f_{N+1}(k) &= r_{m_N} + (r_{L-1} - r_{m_N})C_{N+1}(k)
\end{aligned} \tag{4.14}$$

จากฟังก์ชันการปรับเท่าฮิสโตแกรมในแต่ละพีคฮิสโตแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned}
 Y &= Y(i, j) \\
 &= f_1(r_{m1}) \cup f_2(r_{m2}) \cup \dots \cup f_{N+1}(r_{mN})
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

โดย $Y(i, j)$ คือภาพผลลัพธ์รวมจากการปรับเท่าฮีสโตแกรมในแต่ละพิกที่ตำแหน่ง (i, j) เทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบมัลติพิกสามารถเขียนสรุปเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังนี้



รูปที่ 4.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการปรับปรุงความแตกต่างในภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบบมัลติพิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีค (Multi-peak Linear Contrast Stretching)

จากการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค โดยปรับปรุงภาพจากการใช้กลุ่มข้อมูลในแต่ละพีคฮิสโตแกรม ซึ่งทำให้รักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบ และแก้ไขปัญหาความสว่างอิมตัวแล้วยังมีการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคแบบมัลติพีคอีกวิธีหนึ่ง คือ การยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีค โดยจะทำการยืดฮิสโตแกรมใช้ข้อมูลจากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละพีคฮิสโตแกรม ซึ่งการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นในแต่ละพีคนั้นจะแก้ปัญหาค่าความสว่างอิมตัวได้ดียิ่งขึ้นกว่าเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค เนื่องจากการปรับเท่าฮิสโตแกรมเป็นการปรับปรุงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่ใกล้เคียงกันเมื่อผ่านกรรมวิธีการเกลี่ยค่าฮิสโตแกรมให้เท่ากันตลอดแล้วค่าความสว่างต่ำจะถูกจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน และค่าความสว่างสูงจะถูกจัดเป็นกลุ่มเดียวกันจนทำให้เกิดการมองไม่เห็นรายละเอียดของภาพบริเวณที่มีระดับสีเทามืด หรือสว่างใกล้เคียงกัน

ในการปรับปรุงภาพโดยการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีคจะทำการกระจายค่าระดับสีเทาในแต่ละพีคให้เป็นแบบยูนิฟอร์ม ซึ่งฮิสโตแกรมของภาพจะประกอบด้วยฮิสโตแกรมหลายพีค โดยแต่ละพีคฮิสโตแกรมจะแสดงถึงวัตถุที่แตกต่างกัน การปรับปรุงฮิสโตแกรมแต่ละพีคจะแยกกันทำอย่างอิสระ ผลลัพธ์ที่ได้จะดีกว่าการปรับปรุงแบบทั้งภาพ และมีการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของแต่ละพีคมาคำนวณย่านกลุ่มข้อมูลใหม่ที่จะใช้สำหรับการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้น ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะให้ประสิทธิภาพสูงในการแบ่งแยกภาพ หรือการจัดกลุ่มภาพ ดังนั้นบทความนี้จึงมีการนำวิธีการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีค โดยแต่ละพีคฮิสโตแกรมสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายผลต่างระหว่างค่าฮิสโตแกรมของสองระดับค่าระดับสีเทาที่ใกล้กัน ดังกรรมวิธีการหาพีคฮิสโตแกรมตามหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งสามารถแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นย่านระดับสีเทาต่างๆ ได้ดังนี้ $\{r_0, r_1, \dots, r_{m1-1}\}$, $\{r_{m1}, r_{m1+1}, \dots, r_{m2-1}\}, \dots, \{r_{mN}, r_{mN+1}, \dots, r_{L-1}\}$ จำนวน $N + 1$ ย่านไดนามิก โดยมีจุดแบ่งพีคฮิสโตแกรม N จุด คือระดับสีเทา $r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mN}$

โดยในแต่ละย่านไดนามิกที่ได้นำมายืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นในแต่ละย่าน ดังสมการ

$$y_{k,i} = \frac{(x_{k,i} - x_{min,i})}{(x_{max,i} - x_{min,i})} (y_{max,i} - y_{min,i}) + y_{min,i} \quad (4.16)$$

โดย $x_{k,i}$ คือค่าระดับสีเทาที่ k อยู่ในพีคฮิสโตแกรมที่ i

$y_{k,i}$ คือค่าระดับสีเทาใหม่ที่ได้จากการแปลงค่าระดับสีเทา $x_{k,i}$ ในสมการ (4.5)

- $x_{min,i}$ คือค่าระดับสีเทาเดิมต่ำสุดในย่านฮิสโตแกรมที่ i
 $x_{max,i}$ คือค่าระดับสีเทาเดิมสูงสุดในย่านฮิสโตแกรมที่ i
 $y_{min,i}$ คือค่าระดับสีเทาใหม่ต่ำสุดที่ต้องการยืดย่านฮิสโตแกรมที่ i ออก
 $y_{max,i}$ คือค่าระดับสีเทาใหม่สูงสุดที่ต้องการยืดย่านฮิสโตแกรมที่ i ออก

เมื่อ $x_{min,i}$ และ $x_{max,i}$ ได้จากการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 x_{min,i} &= \bar{x}_i - 2\sigma_i \\
 x_{max,i} &= \bar{x}_i + 2\sigma_i
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

\bar{x}_i เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของพีคฮิสโตแกรมที่ i ($1, 2, 3, \dots, N+1$) คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \bar{X}_1 &= \frac{\sum_{j=0}^k (p_1(r_j) * r_j)}{\sum_{j=0}^k p_1(r_j)} && ; 0 \leq k < m_1 \\
 \bar{X}_2 &= \frac{\sum_{j=0}^k (p_2(r_j) * r_j)}{\sum_{j=0}^k p_2(r_j)} && ; m_1 \leq k < m_2 \\
 &\vdots && \\
 \bar{X}_{N+1} &= \frac{\sum_{j=0}^k (p_{N+1}(r_j) * r_j)}{\sum_{j=0}^k p_{N+1}(r_j)} && ; m_N \leq k \leq L-1
 \end{aligned} \tag{4.18}$$

และ σ_i เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพีคฮิสโตแกรมที่ i คำนวณได้ดังนี้

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^k ((p_1(r_j) * (r_j - \bar{x}_1)^2))}{\sum_{j=0}^k p_1(r_j)}} \quad ; 0 \leq k < m_1$$

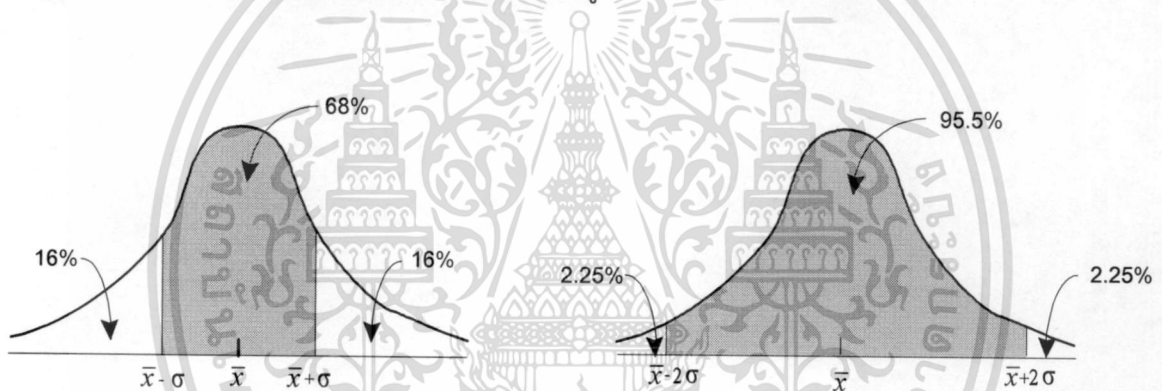
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_{j=m_1}^k ((p_2(r_j) * (r_j - \bar{x}_2)^2))}{\sum_{j=m_1}^k p_2(r_j)}} \quad ; 0 \leq k < m_2$$

$$\vdots$$

$$\sigma_{N+1} = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^k ((p_{N+1}(r_j) * (r_j - \bar{x}_{N+1})^2))}{\sum_{j=0}^k p_{N+1}(r_j)}} \quad ; 0 \leq k \leq L - 1$$

ข้อมูลจากระดับสีเทา $x_{\min,i}$ และ $x_{\max,i}$ จากสมการที่(4.17)พบว่าในพีคฮิสโตแกรมที่ i จะมีปริมาณข้อมูลอยู่ 95.5 %ของข้อมูลทั้งหมดของพีค ซึ่งได้จากการตัดข้อมูลด้านปลายที่นอกเหนือจากย่าน 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในแต่ละพีค(σ)ออกไป เป็นการตัดข้อมูลบางส่วนออกไม่มากหรือน้อยเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการกระจายข้อมูลที่มีการตัดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำหรับปริมาณของข้อมูลภายใต้เคิร์ฟ จากการกำหนดขอบเขตพอสรุปได้ดังนี้

- ก) ข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาระหว่าง $\bar{x} - \sigma$ และ $\bar{x} + \sigma$ มีปริมาณประมาณ 2/3 ของข้อมูลทั้งหมดในพีคฮิสโตแกรม
- ข) ข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาระหว่าง $\bar{x} - 2\sigma$ และ $\bar{x} + 2\sigma$ มีปริมาณประมาณ 95%ของข้อมูลทั้งหมดในพีคฮิสโตแกรม
- ค) ข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาระหว่าง $\bar{x} - 3\sigma$ และ $\bar{x} + 3\sigma$ มีปริมาณประมาณ 99.75%ของข้อมูลทั้งหมดในพีคฮิสโตแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

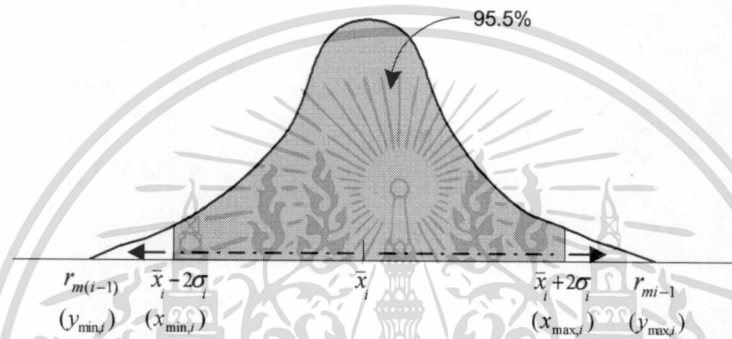
สำหรับภาพโมนโครม 256 สีที่ฮิสโตแกรมของภาพแบ่งได้เป็น $N+1$ พิก โดยค่า $y_{\min,1}$ ถูกตั้งเป็นค่าระดับสีเทา 0 และ $y_{\max,N+1}$ จะถูกตั้งค่าระดับสีเทา 255 โดยฮิสโตแกรมของระดับสีเทาที่จะยึดออกจากย่าน $x_{\min,i}$ ถึง $x_{\max,i}$ ไปสู่ย่านระดับสีเทา $y_{\min,i}$ ถึง $y_{\max,i}$ นั่นคือจากย่าน

$\bar{x}_1 - 2\sigma_1$ ถึง $\bar{x}_1 + 2\sigma_1$ ไปสู่ย่านระดับสีเทา r_0 ถึง r_{m1-1}

$\bar{x}_2 - 2\sigma_2$ ถึง $\bar{x}_2 + 2\sigma_2$ ไปสู่ย่านระดับสีเทา r_{m1} ถึง r_{m2-1}

⋮

$\bar{x}_{N+1} - 2\sigma_{N+1}$ ถึง $\bar{x}_{N+1} + 2\sigma_{N+1}$ ไปสู่ย่านระดับสีเทา r_{mN} ถึง r_{L-1}



รูปที่ 4.9 แสดงการยึดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นในแต่ละพิก

รูปภาพที่ระดับสีเทาอยู่ในช่วง $y_{\min,i}$ ถึง $x_{\min,i}$ และช่วง $y_{\max,i}$ ถึง $x_{\max,i}$ ในแต่ละพิก เป็นข้อมูลที่ในพิกที่นอกเหนือจากค่าระดับสีเทาย่าน $\bar{x} - 2\sigma$ และ $\bar{x} + 2\sigma$ ซึ่งไม่มีการนำมาทำการยึดแบบเชิงเส้น โดยจะแปลงข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาจาก $y_{\min,i}$ ถึง $x_{\min,i}$ ในรูปที่ 4.9 เป็นค่าระดับสีเทาเป็น $y_{\min,i}$ และแปลงข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาช่วง $y_{\max,i}$ ถึง $x_{\max,i}$ ในรูปที่ 4.9 เป็นค่าระดับสีเทาเป็น $y_{\max,i}$ ส่วนค่าระดับสีเทาในช่วง $x_{\min,i}$ ถึง $x_{\max,i}$ จะถูกแปลงด้วยสมการ(4.16)

หลังจากการปรับความคมชัดของภาพจากเทคนิคการยึดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพิก โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงของแต่ละพิก ซึ่งจะได้ค่าระดับสีเทาใหม่ และจากฟังก์ชันการยึดฮิสโตแกรมเชิงเส้นในแต่ละพิกจะได้ผลลัพธ์ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned}
 Y &= Y(i, j) \\
 &= f_1(r_0) \cup f_2(r_{m1}) \cup \dots \cup f_{N+1}(r_{mN})
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากฮิสโตแกรมที่สัมพันธ์กับภาพต้นฉบับที่มีคอนทราสต์ค่อนข้างต่ำ จะส่งผลให้แท่งของฮิสโตแกรมกระจุกตัวกันอย่างแคบๆ จากขั้นตอนการหาตำแหน่งเทรซโฮลที่ผ่านมา จะทำการตรวจจับพืดเพื่อหาจำนวนของฮิสโตแกรมย่อยหรือ Sub-Histogram ในขั้นตอนนี้ในแต่ละฮิสโตแกรมย่อยจะถูกยึดคอนทราสต์แบบเชิงเส้นตลอดย่านของระดับสีเทา สำหรับฮิสโตแกรมใหม่ที่ถูกยึดออกจะสามารถคำนวณหา Dynamic range ที่ i โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$range_i = \left(\frac{T_i - T_{i-1}}{T_N - T_0} \right) (L - 1) \quad (4.21)$$

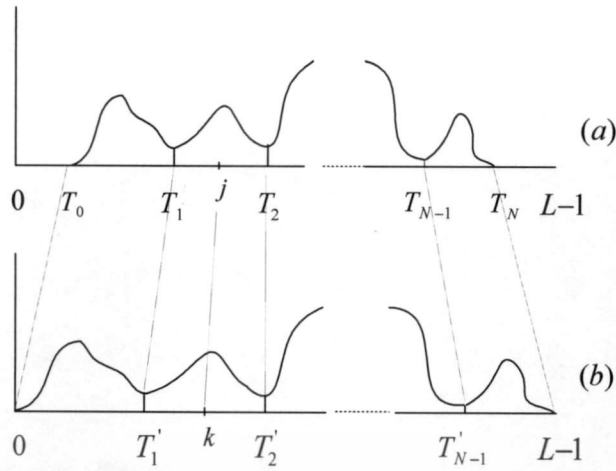
โดยฟังก์ชันแมปปิงของสมการที่ 4.21 ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับเป็น $x = I(x, y)$ จะถูกแมปปิงไปเป็นฮิสโตแกรมของภาพใหม่คือ $y = I'(x, y)$ และจะได้เทรซโฮลจำนวน $N + 1$ ประกอบไปด้วย $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{N-1}, T_N$ จะถูกแมปให้เปลี่ยนไปเป็น $0, T'_1, T'_2, \dots, T'_{N-1}, L - 1$ ภายหลังจากยึดก็จะได้ฮิสโตแกรมที่แสดงในรูป 4.10 ดังนั้น intensity ที่ตำแหน่ง j ของระดับสีเทาจะถูกเปลี่ยนให้เป็น k ดังสมการ ต่อไปนี้

$$k = \left(\frac{j - T_{i-1}}{T_i - T_{i-1}} \right) (T'_i - T'_{i-1}) + T'_{i-1} \quad (4.22)$$

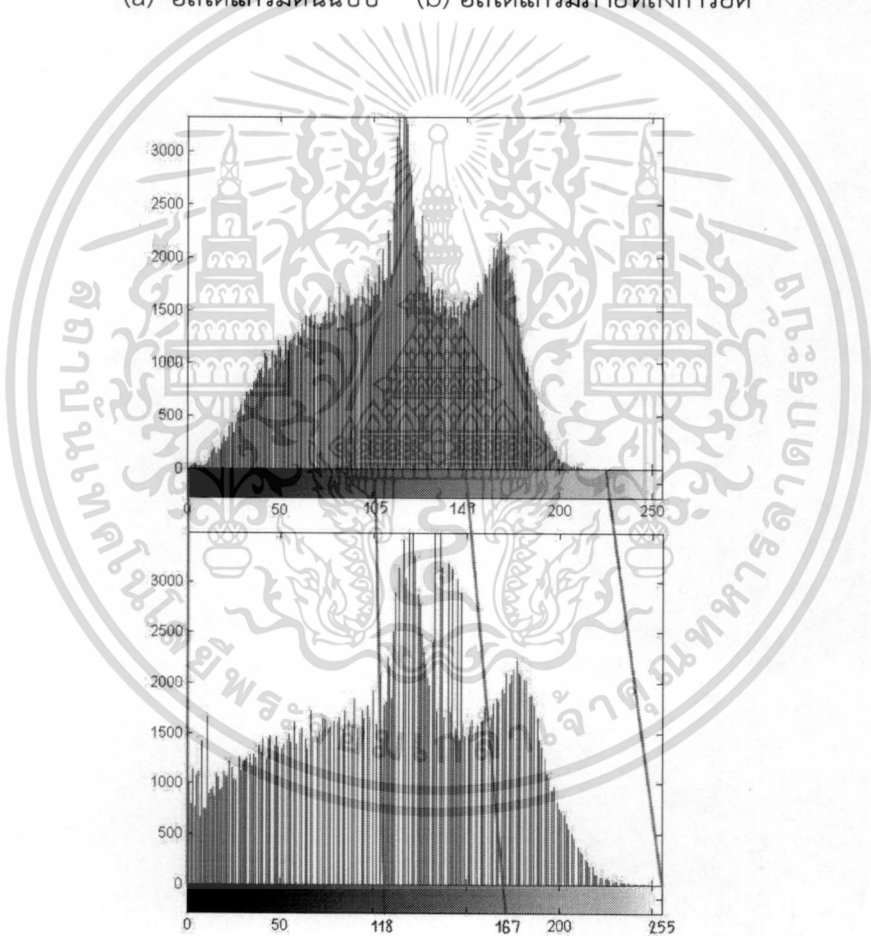
$$\text{เมื่อ } T_{i-1} \leq j \leq T_i \quad \text{และ } T'_{i-1} \leq k \leq T'_i,$$

$$\text{เมื่อ } T'_0 = 0 \quad \text{และ } T'_{N-1} = L - 1.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับที่มีฮีสโตแกรมย่อย N กลุ่ม
 (a) ฮีสโตแกรมต้นฉบับ (b) ฮีสโตแกรมภายหลังการยืด



รูปที่ 4.11 ฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับที่มีฮีสโตแกรมย่อย 3 กลุ่ม
 (a) ฮีสโตแกรม Baboon ต้นฉบับ (b) ฮีสโตแกรม Baboon ภายหลังการยืด

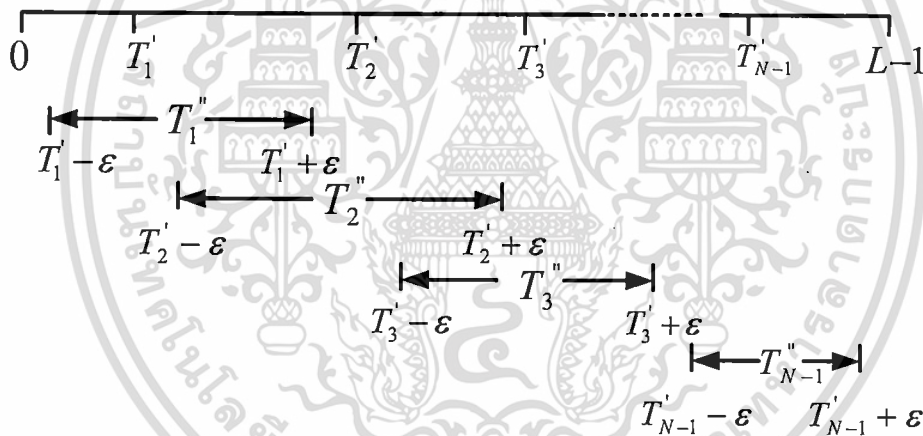
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นมาแล้ว ฮิสโตแกรมจะถูกปรับเรียงอย่างอิสระจากกันในแต่ละกลุ่มของฮิสโตแกรมย่อย ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะสามารถหาค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดหรือ AMBE ได้เหมือนกันกับการประเมินในขั้นตอนแรก แต่เมื่อคำนวณมาแล้วพบว่าค่า AMBE ที่ได้มายังไม่น่าพอใจ ดังนั้นจึงลองพยายามปรับตำแหน่งของเทรซโฮลใหม่อย่างเป็นระบบด้วยการกำหนดค่า $\text{finding adjust } (\varepsilon)$ เพื่อต้องการค้นหาตำแหน่งเทรซโฮลที่ดีที่สุดที่จะทำให้ AMBE ต่ำที่สุด หากเทรซโฮลเดิมเป็น $0, T_1', T_2', \dots, T_{N-1}', L-1$ การหาเทรซโฮลใหม่ทำได้โดยการเคลื่อนย้ายตำแหน่งอยู่ในช่วงที่กำหนด เช่น หากเทรซโฮลอยู่ที่ตำแหน่ง T_i'' ดังนั้นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งจะเป็น $[T_i' - \varepsilon, T_i' + \varepsilon]$ เมื่อ $1 \leq i \leq N-1$ ดังนั้น จะได้เทรซโฮลใหม่ที่เหมาะสมคือ $T_1'', T_2'', \dots, T_{N-1}''$ ดังสมการต่อไปนี้

$$[T_i' - \varepsilon \leq T_i'' \leq T_i' + \varepsilon] \quad (4.23)$$

$$T_1' - \varepsilon > 0 \quad \text{และ} \quad T_{N-1}' + \varepsilon < L-1 \quad (4.24)$$

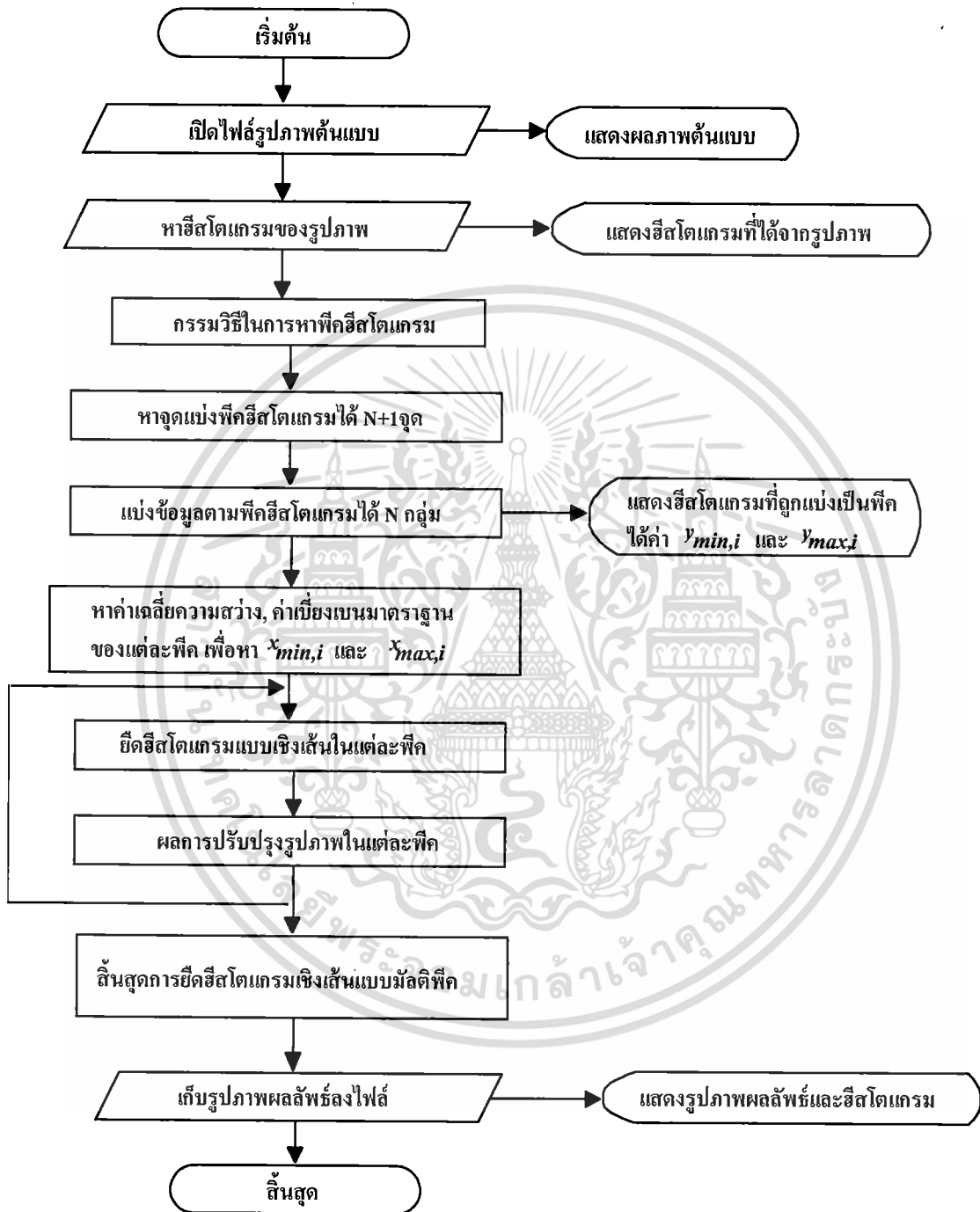
$$T_i' - \varepsilon > T_{i-1}' \quad \text{และ} \quad T_i' + \varepsilon < T_{i+1}' \quad (4.25)$$



รูปที่ 4.12 การขยับหาตำแหน่งเทรซโฮลที่เหมาะสม $T_1'', T_2'', \dots, \text{ and } T_{N-1}''$

ในทุกครั้งที่ได้ตำแหน่งของเทรซโฮลใหม่นั้นฮิสโตแกรมย่อยทั้ง 2 ข้างของเทรซโฮลแรกก็เปลี่ยนไปนั้นจะถูกนำไปปรับเรียงใหม่ทุกครั้งในขณะที่เทรซโฮลตำแหน่งอื่นๆยังคงเดิม อย่างไรก็ตาม และทุกครั้งทีเทรซโฮลถูกเปลี่ยนตำแหน่งไป ค่า AMBE ก็จะถูกคำนวณใหม่ทุกครั้งด้วย และนำผลที่ได้ไปบันทึกค่าในทุกๆขั้นตอนของการเก็บผลลัพธ์เพื่อหาค่าหรือตำแหน่งของเทรซโฮลที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ AMBE ต่ำที่สุด ขบวนการดังกล่าวมานี้จะถูกทำซ้ำในทุกๆตำแหน่งของเทรซโฮล จนกระทั่ง

ถึงเทรซโฮลตำแหน่งสุดท้ายคือ T_{N-2}'' ดังนั้น ภาพผลลัพธ์ที่ได้คือ $Y' = I'_{x,y}$ ซึ่งจะให้ค่า AMBE ที่ต่ำที่สุดตามที่ได้ตั้ง สมมุติฐานไว้ เทคนิคการยัดฮีสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพิกสามารถเขียนเป็น โพล์ชาร์ตได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 โพล์ชาร์ตแสดงการปรับปรุงรูปภาพด้วยเทคนิคการยัดฮีสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโพล์ชาตในรูปที่ 4.13 ได้เสนอและพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ในการปรับความคมชัดของภาพ โดยให้ชื่อว่าการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค(Multipeak Histogram) ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนาเพิ่มเติมขึ้นโดยจะอาศัยข้อมูลในแต่ละพีคเท่านั้นมาปรับปรุงเฉพาะส่วนของภาพที่มีค่าระดับสีเทาอยู่ในฮิสโตแกรมพีคนั้น ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบทั้งภาพ และเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค ยังสามารถแก้ไขปัญหาการเกิดค่าระดับสีเทาอิมิตัว การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมแบ่งเป็นเทคนิคการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค และเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีค ทั้งสองเทคนิคสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก โดยเทคนิคการยืดฮิสโตแกรมเชิงเส้นแบบมัลติพีคมีการเปลี่ยนแปลงกระจายข้อมูลตามค่าระดับสีเทาอย่างสม่ำเสมอในแต่ละพีคฮิสโตแกรม ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาการเกิดค่าความสว่างอิมิตัวได้ดียิ่งกว่าการปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบมัลติพีค ทำให้มองเห็นรายละเอียดของภาพในบริเวณที่เกิดค่าระดับสีเทาสว่างหรือมืดที่ใกล้เคียงกันได้มากขึ้น

4.7 การประเมินคอนทราส

แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนมากพยายามจะรักษาเฉพาะค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพให้ใกล้เคียงภาพต้นฉบับ จะละเลยหรือมองข้ามในเรื่องคุณภาพของการปรับปรุงภาพนั้นคือ คอนทราสนั่นเอง เมื่อผลลัพธ์ของภาพที่ผ่านกรรมวิธีในการปรับปรุงแล้วจะให้ค่า AMBE ยิ่งเข้าใกล้ศูนย์ นั้นหมายความว่า รูปร่างของฮิสโตแกรมเกือบจะเหมือนเดิม ดังนั้น คอนทราสในภาพผลลัพธ์จะยังไม่ได้สมการที่ 4.28 เป็นสมการในการหาค่า Tennengrad[21] ที่จะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพของภาพผลลัพธ์ สำหรับภาพที่มีคุณภาพสูง ค่า Tennengrad ก็จะถูกสูงด้วย ในแต่ละโคออดิเนต (X,Y) ของจุดภาพในภาพผลลัพธ์จะถูกคำนวณจากค่าเกรเดียน $\nabla I'(x, y)$ ซึ่งแมคินีจุดเกรเดียนจะหาได้ด้วยการทำ Convoving โดยตรงกับหน้ากากเกรเดียน (Gradient mask) หน้ากากเกรเดียนที่นิยมใช้งานมากที่สุดคือ หน้ากากโซเบล (Sobel) ดังแสดงในสมการ ต่อไปนี้

$$i_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad i_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Gradient magnitude ในแต่ละโคออดิเนต (x, y) ได้จาก

$$M(x, y) = \sqrt{(i_x * I'(x, y))^2 + (i_y * I'(x, y))^2} \quad (4.27)$$

และ ค่า Tenengrad (TEN) คำนวนจาก

$$TEN = \sum_x \sum_y M(x, y)^2 \quad (4.28)$$

อย่างไรก็ดี เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการเปรียบเทียบคุณภาพของขบวนการ ในที่นี้จะใช้ค่าเฉลี่ย TENENGRAD ตามสมการต่อไปนี้

$$ATEN = \frac{TEN}{N} \quad (4.29)$$

เมื่อ N คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพที่กำลังพิจารณา

ดังนั้น ภาพ Baboon ต้นฉบับจะมี $ATEN = 5.0123$ และภาพผลลัพธ์ด้วยวิธี HE มี $ATEN = 5.1681$

วิธีการ global histogram equalization จะให้ค่าคอนทราสต์ที่สูงแต่ในทางเดียวกันก็ให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดไปจากต้นฉบับสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะกับการผลิตภัณฑทางด้านอิเล็กทรอนิกส์บางอย่าง และได้มีนักวิจัยหลายคนได้มีการประเมินประสิทธิภาพของภาพผลลัพธ์โดยที่จะพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์ให้ได้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับโดยคำนวณได้จากสมการหาค่า AMBE (Absolute mean brightness error) ดังสมการ

$$AMBE = |E(Y) - E(X)| \quad (4.30)$$

เมื่อ $E(.)$ คือค่าคาดหวัง X คือภาพต้นฉบับ และ Y คือภาพผลลัพธ์ตามลำดับ

ดังนั้น วิธีการที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะขอเสนอการปรับปรุงภาพด้วยวิธีมัลติ-พีค ฮิสโตแกรม (Multi-Peak Histogram) ที่มีวัตถุประสงค์ปรับปรุงภาพผลลัพธ์ให้มีค่าเฉลี่ยความสว่างใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับให้ได้มากที่สุด

4.8 วิธีการปรับความสว่างให้สอดคล้องกัน (Brightness matching)

โดยปกติภาพที่มีความเบี่ยงเบนสูง (Standard deviation) จะมีผลให้คอนทราสต์สูงด้วยเช่นกัน ตามวิธีดั้งเดิมหรือ HE จะเป็นการปรับปรุงภาพที่ให้ภาพผลลัพธ์ที่มีค่าคอนทราสต์สูงที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์ด้วยวิธีที่นำเสนอนี้ จะต้องการปรับความสว่างของภาพให้สอดคล้องกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพที่ได้จากวิธี HE ในขณะเดียวกันค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพยังคงถูกเก็บรักษาไว้ให้เหมือนกับค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้จากภาพผลลัพธ์ของขั้นตอนที่ได้ นำเสนอมาแล้ว ดังนั้นสมการในการเปลี่ยนรูปของการทำให้ความสว่างสอดคล้องกัน (Brightness matching) หาได้จาก

$$I'' = \frac{\sigma_r}{\sigma_i} I'(x, y) + m_r - \frac{\sigma_r}{\sigma_i} m_i \quad (4.31)$$

ขั้นตอนนี้จะได้ภาพผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย $I''(x, y)$ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้ คือ สามารถรักษาให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุดเอาไว้ได้ และสามารถปรับปรุงคอนทราสต์ให้สูงที่สุดได้ด้วย

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้านี้นี้ได้เสนอขั้นตอนกรรมวิธีการพยายามรักษาค่าเฉลี่ย ความสว่างผิดพลาดไปพร้อมกับการปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพให้ดีขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการ ทดสอบภาพต้นฉบับทั้งหมด 8 ภาพ โดยภาพทั้ง 8 เป็นภาพที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่แตกต่างกันอีก 4 วิธี คือ วิธี Histogram Equalization(HE), วิธี Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization(BBHE), วิธี Dual Sub-Image Histogram Equalization(DSIHE) และ Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization(MMBEBHE) ซึ่งเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มาเปรียบเทียบกับแล้วพบว่าวิธีที่นำเสนอได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ซึ่งจะพิสูจน์จากค่า AMBE ที่ต่ำลงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) ใกล้เคียงกับวิธี HE โดยจะพบว่าค่า ATEN ที่ใช้วัดคอนทราสต์นั้น สูงกว่าวิธีการอื่นๆ

5.2 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 7.1

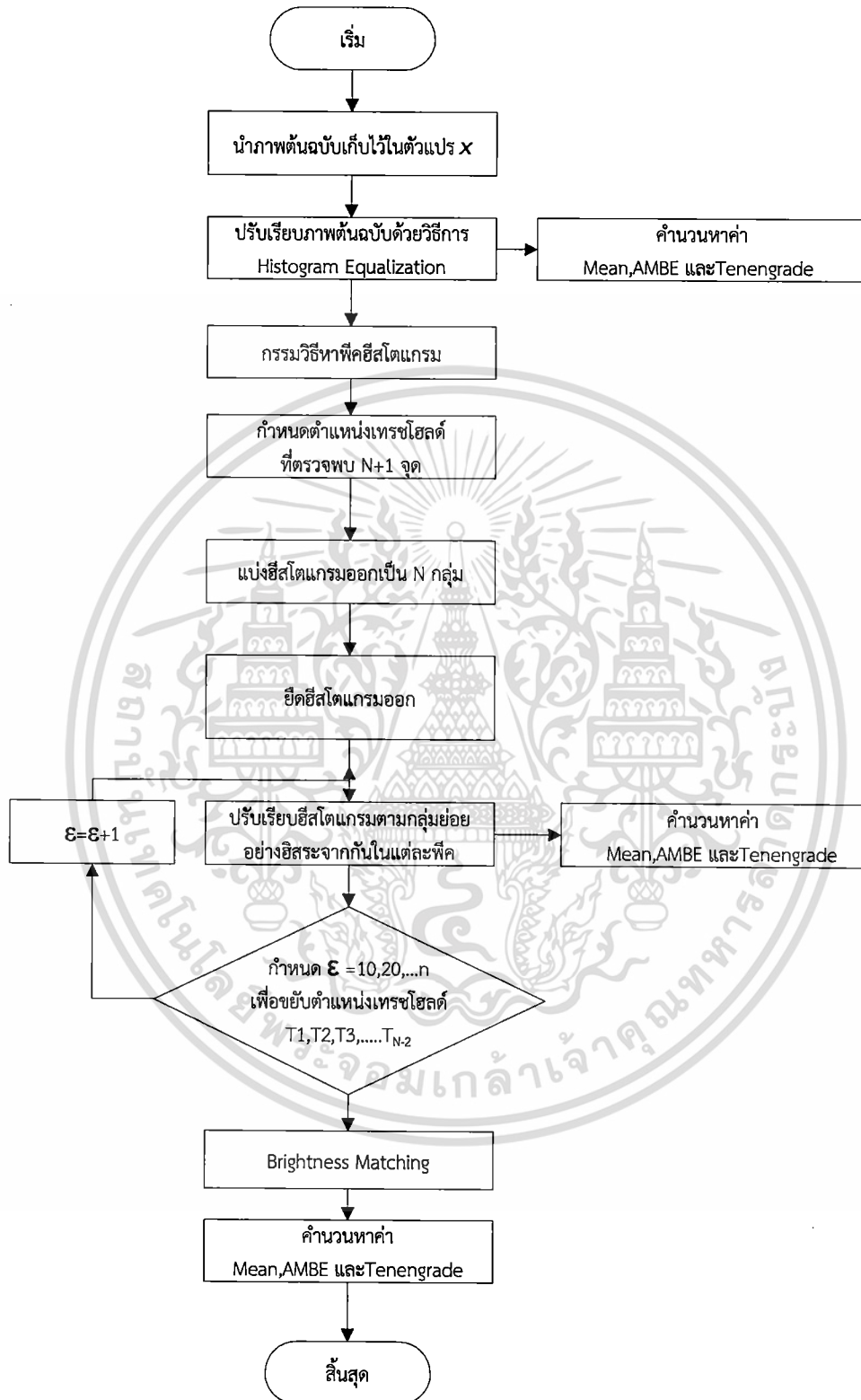
ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของภาพที่นำมาทดสอบ

No	ชื่อของไฟล์	รายละเอียดของภาพ	ชื่อที่ถูกเรียกในวิทยานิพนธ์	ขนาด	ชนิด
1	4.2.03	Baboon	Baboon	512x512	Color (24 bits/pixel)
2	Arctic hare	Arctic Hare	Arctic Hare	594x400	Color (24 bits/pixel)
3	5.1.11	Airplane2	Airplane2	256x256	Gray
4	5.1.12	Clocks	Clocks	256x256	Gray
5	5.1.16	Airplane F-16	F16	512x512	Color (24 bits/pixel)
6	House	House	House	512x512	Color (24 bits/pixel)
7	4.2.07	Peppers	Peppers	512x512	Color (24 bits/pixel)
8	4.2.01	Splash	Splash	512x512	Color (24 bits/pixel)

ภาพที่นำมาทดสอบเป็นสีทั้งหมด ก่อนที่จะนำมาทดสอบจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของ Gray scale (8bits/pixel) เสียก่อน โดยใช้โปรแกรม MathLAB และภาพที่ได้จากการเปลี่ยน รวมถึงภาพ เออร์ทพุทที่ได้จากการปรับเรียบจะถูกเก็บในตระกูล TIFF (Uncompressed format).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ขั้นตอนการคำนวณตามโพล์วชาต

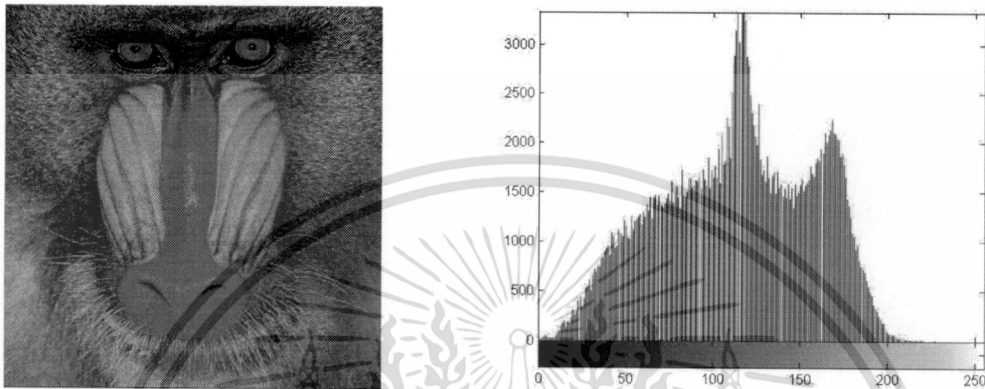


รูปที่ 5.1 โพล์วชาตขั้นตอนการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดสอบ

ในขั้นตอนแรกได้นำภาพคือ Baboon.png ซึ่งเป็นภาพต้นฉบับขนาด 512X512 มาคำนวณค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ $E(X)$ และค่า $ATEN$ พบว่าได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ภาพต้นฉบับและฮิสโตแกรมของ Baboon.png

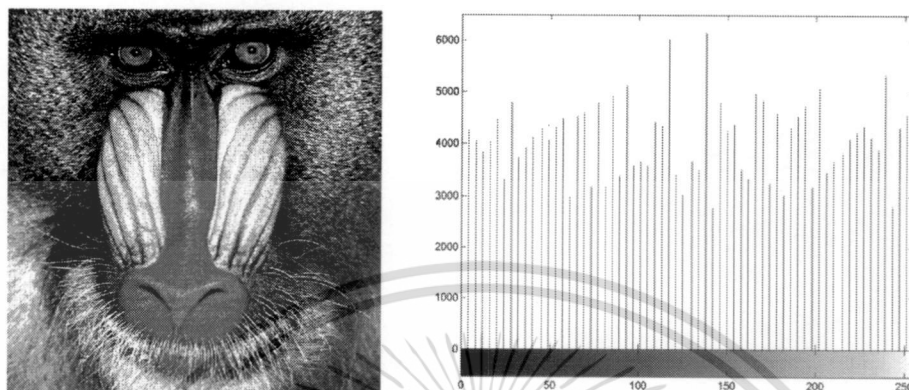
ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon ต้นฉบับ

ชื่อภาพ	Baboon (ต้นฉบับ)
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$)	113.5387
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	4.0982

จากตารางที่ 5.2 จะแสดงรายละเอียดของภาพ Baboon ต้นฉบับแล้วนำไปคำนวณหา ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$) และเทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$) หากดูจากลักษณะของฮิสโตแกรมจะพบ ปัญหาคือแท่งฮิสโตแกรมจะกระจุกตัวรวมกันอยู่แคบเกินไปจนทำให้ภาพนั้นมีคุณภาพที่ต่ำ ความ สว่างของภาพไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะทำการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธี HE ตลอดทั้งภาพ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีแบบดั้งเดิมที่จะให้คอนทราสต์สูงที่สุด แต่ในขณะเดียวกันจะได้ค่า $AMBE$ ที่สูงด้วย



รูปที่ 5.3 ภาพและฮิสโตแกรมของ Baboon ภายหลังจากปรับเรียบด้วยวิธี HE

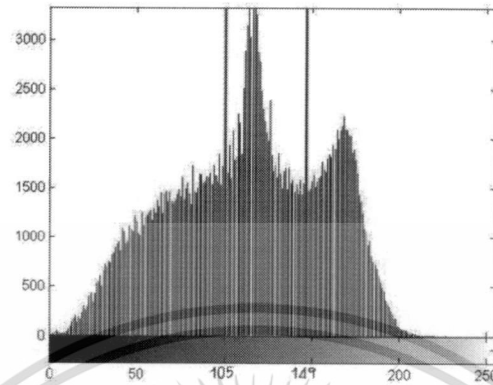
ตารางที่ 5.3 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon หลังปรับเรียบด้วยวิธี HE

ชื่อภาพ	Baboon (ต้นฉบับ)
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$)	127.6463
ค่าเบี่ยงเบน (σ)	74.8465
ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด ($AMBE$)	14.1076
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	5.1681

ตารางที่ 5.2 จะแสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆที่เก็บได้จากภาพ Baboon ที่ผ่านการปรับปรุงภาพด้วยวิธีดั้งเดิมหรือ Histogram Equalization ที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดถึง 14.1076 และได้เทนเนนเกรดเท่ากับ 5.1681 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด

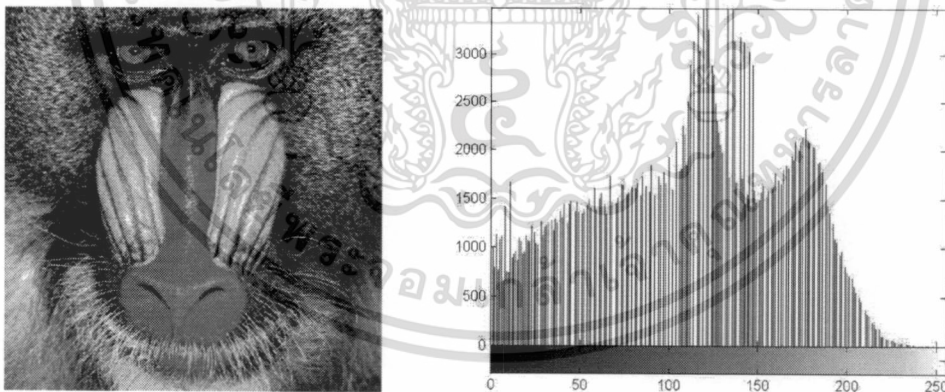
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนถัดไปจะนำฮิสโตแกรมต้นฉบับไปผ่านกรรมวิธีหาจำนวนและตำแหน่งของพีค โดยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 พบว่าฮิสโตแกรมของ Baboon ต้นฉบับตรวจพบพีค 2 ตำแหน่ง คือ 105 และ 149 ดังรูป 5.3



รูปที่ 5.4 พีคฮิสโตแกรมที่ตรวจพบจาก Baboon ต้นฉบับ

กรณีภาพระดับสีเทา Baboon ต้นฉบับ ขนาด 512X512 มีระดับสีเทา 256 ระดับ (8 บิตต่อจุดภาพ) สามารถแบ่งฮิสโตแกรมออกได้ 3 กลุ่มย่อยที่ระดับสีเทา 0-105, 106-149 และ 150-255 จากนั้นจะใช้วิธีการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นออก (Stretching Out) ตามพีคที่ตรวจพบ



รูปที่ 5.5 ภาพผลลัพธ์และฮิสโตแกรมที่ยืดออกจาก 3 กลุ่มย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon เมื่อยืดคอนทราสต์โปรแกรมเชิงเส้นออก

ชื่อภาพ	Baboon (ต้นฉบับ)	
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144	
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$)	124.1367	
ค่าเบี่ยงเบน (σ)	73.327	
ตำแหน่งเทรชโฮลด์ (Thresholds) เดิม (T_i)	105	149
ตำแหน่งเทรชโฮลด์ (Thresholds) ใหม่ (T_i')	118	167
ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด ($AMBE$)	10.598	
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	4.4332	

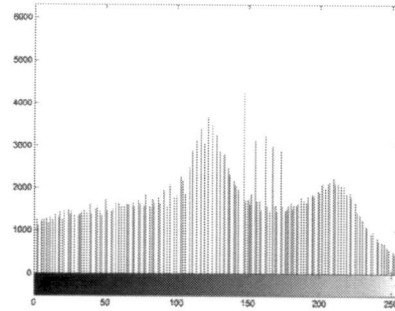
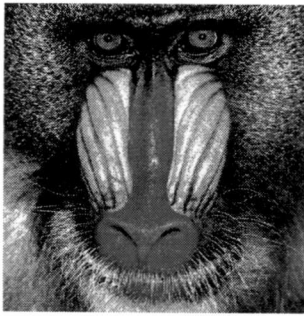
จากรูปที่ 5.5 จะแสดงรูปผลลัพธ์ที่ผ่านขั้นตอนการยืดคอนทราสต์โปรแกรม จะพบว่าฮิสโตแกรมที่เดิมเคยกระจุกตัวใกล้กันได้ขยายออกจนเต็มย่านระหว่าง 0-255 ตำแหน่งของค่าเทรชโฮลด์เดิมและใหม่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 ค่าความสว่างผิดพลาดของภาพผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับของภาพต้นฉบับ ในขณะที่ $ATEN$ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

จากตำแหน่งเทรชโฮลด์ใหม่ T_i' ที่ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหา $AMBE$ ของภาพผลลัพธ์นั้นพบว่ายังไม่ต่ำสุด ดังนั้นจึงกำหนดช่วง ϵ ให้ตำแหน่งของเทรชโฮลด์ที่ได้เลื่อนตำแหน่งไปในการเลื่อนทุกๆ 1 ตำแหน่งผลลัพธ์ของภาพก็จะถูกคำนวณใหม่ทั้งหมดด้วย สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกำหนดค่า ϵ เป็น 10, 20, 30 หรือ 40 ตามลำดับ

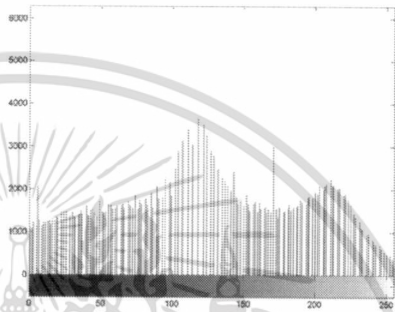
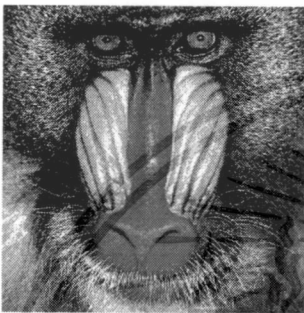
ตารางที่ 5.5 แสดงผลลัพธ์จากการเลื่อนตำแหน่งเทรชโฮลด์ตามที่กำหนดค่า ϵ

ผลลัพธ์ของวิธี HE			AMBE	ATEN		
			14.1076	5.1681		
ผลลัพธ์ของวิธีที่นำเสนอ						
Shifting Range (ϵ)	เทรชโฮลด์		AMBE และ ATEN			
	(T_1'')	(T_2'')	ไม่ทำแมทซิง		ทำแมทซิง	
			AMBE	ATEN	AMBE	ATEN
-	105	149	6.568	5.113	2.0635	5.0228
10	96	158	5.512	5.190	1.5548	5.4840
20	86	166	3.837	5.234	0.7676	5.4367
30	76	169	3.678	5.233	0.6332	5.4222
40	66	169	3.458	5.216	0.5661	5.3810

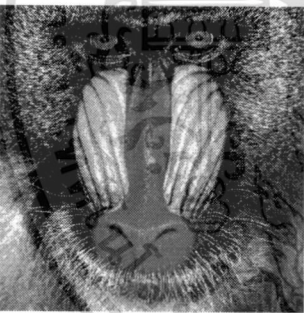
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



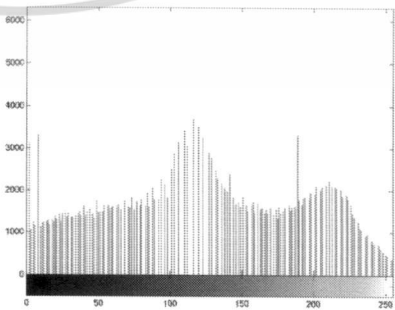
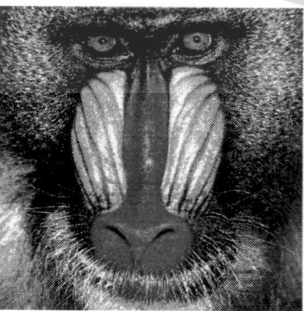
รูปที่ 5.6 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 10$



รูปที่ 5.7 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 20$



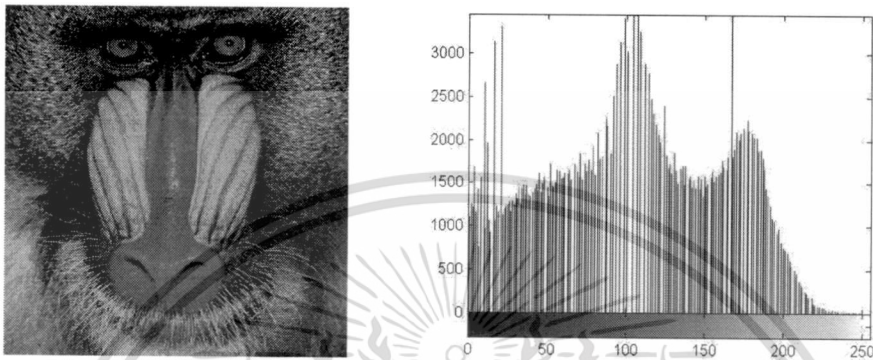
รูปที่ 5.8 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 30$



รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์ของ Baboon เมื่อกำหนด $\epsilon = 40$

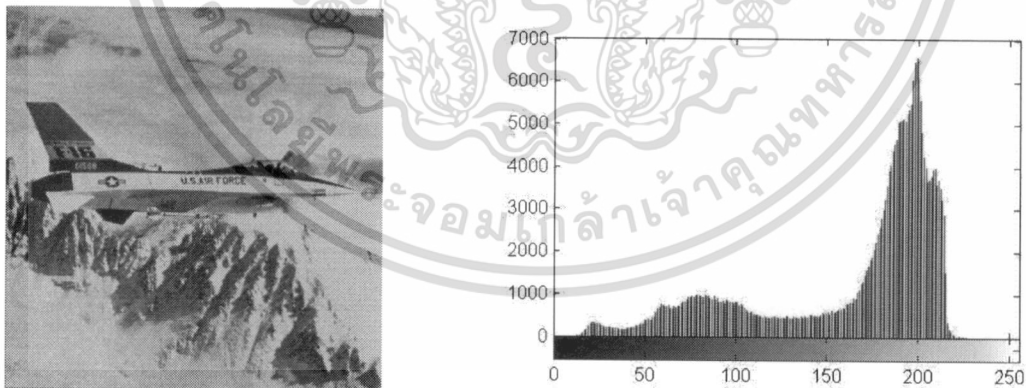
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าถ้า ϵ สูงขึ้นจะได้ค่า $ATEN$ ลดลง ในขณะที่ค่า $ATEN$ มีการแกว่งตัว อย่างไรก็ตามจะพบว่าค่า $ATEN$ ในวิธีการที่นำเสนอจะสูงกว่าวิธีการทั่วไปแบบ HE ในการพยายามรักษาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของภาพให้ใกล้เคียงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธี HE จึงได้นำไบรท์เนส แมทซิ่งมาช่วยในการแปลงข้อมูลภาพ ทำให้ภาพผลลัพธ์หลังการทำแมทซิ่งให้ค่า $ATEN$ สูงกว่าภาพที่ไม่ได้ทำแมทซิ่ง ดังแสดงในตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.10 ภาพผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายของ Baboon หลังทำไบรท์เนส แมทซิ่ง

สำหรับภาพที่นำมาทดสอบภาพถัดไป คือ F16 ซึ่งเป็นภาพต้นฉบับขนาด 512X512 ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ $E(X)$ และค่าเทเนนเกรด $ATEN$ ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.6



รูปที่ 5.11 ภาพต้นฉบับและฮิสโตแกรมของ F16

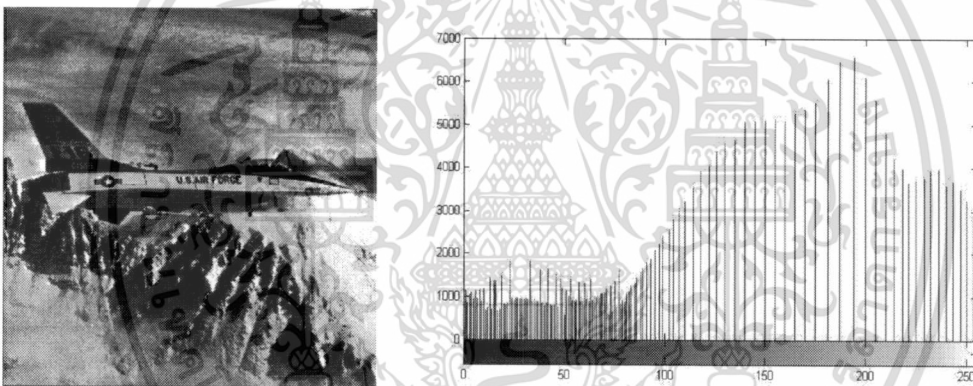
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของภาพ F16 ต้นฉบับ

ชื่อภาพ	F16 (ต้นฉบับ)
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$)	164.2718
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	0.3974

จากตารางที่ 5.6 จะแสดงรายละเอียดของภาพ F16 ต้นฉบับแล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$) และเทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$) หากดูจากลักษณะของฮิสโตแกรมจะพบปัญหาคือแท่งฮิสโตแกรมจะกระจุกตัวรวมกันอยู่แคบเกินไปจนทำให้ภาพนั้นมีคุณภาพที่ต่ำ ความสว่างของภาพไม่ชัดเจน

จากนั้นจะทำการปรับเรียบฮิสโตแกรมด้วยวิธี HE ตลอดทั้งภาพ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีแบบดั้งเดิมที่จะให้คอนทราสต์สูงที่สุด แต่ในขณะที่เดียวกันจะได้ค่า AMBE ที่สูงด้วย



รูปที่ 5.12 ภาพและฮิสโตแกรมของ F16 ภายหลังจากการปรับเรียบด้วยวิธี HE

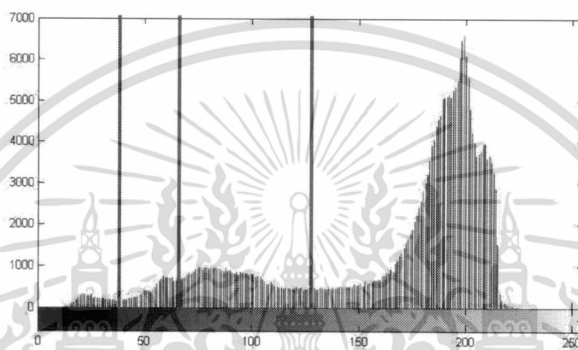
ตารางที่ 5.7 แสดงรายละเอียดของภาพ Baboon หลังปรับเรียบด้วยวิธี HE

ชื่อภาพ	F16 (ต้นฉบับ)
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(X)$)	127.6219
ค่าเบี่ยงเบน (σ)	74.8083
ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE)	36.6499
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	1.7879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

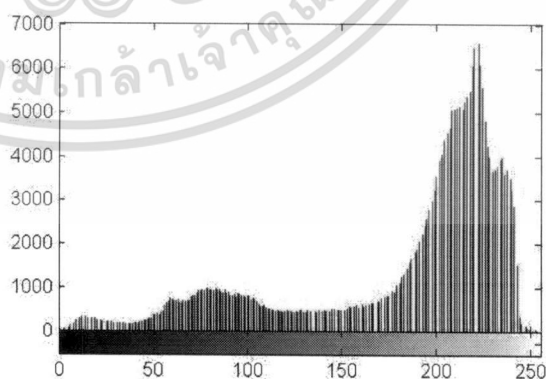
ตารางที่ 5.7 จะแสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆที่เก็บได้จากภาพ F16 ที่ผ่านการปรับปรุงภาพด้วยวิธีตั้งเดิมหรือ Histogram Equalization ที่มีค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดถึง14.1076และเทนเนเกรดเท่ากับ 5.1681 ซึ่งป็นค่าสูงสุด

ขั้นตอนถัดไปจะนำฮิสโตแกรมต้นฉบับไปผ่านกรรมวิธีหาจำนวนและตำแหน่งของพีค โดยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 พบว่าฮิสโตแกรมของ F16 ต้นฉบับตรวจพบพีค 3 ตำแหน่ง คือ 33, 64 และ 133 ดังรูป 5.13



รูปที่ 5.13 พีคฮิสโตแกรมที่ตรวจพบจาก F16 ต้นฉบับ

กรณีภาพระดับสีเทา F16 ต้นฉบับ ขนาด 512X512 มีระดับสีเทา 256 ระดับ (8 บิตต่อจุดภาพ) สามารถแบ่งฮิสโตแกรมออกได้ 4 กลุ่มย่อยที่ระดับสีเทา 0-37, 38-64, 65-133 และ 134-255 จากนั้นจะใช้วิธีการยืดฮิสโตแกรมแบบเชิงเส้นออก (Stretching Out) ตามพีคที่ตรวจจับพบ



รูปที่ 5.14 ภาพผลลัพธ์และฮิสโตแกรมที่ยืดออกจาก 4 กลุ่มย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 แสดงรายละเอียดของภาพ F16 เมื่อยืดคอนทราสต์ไฮสปีดแกรมเชิงเส้นออก

ชื่อภาพ	F16 (ต้นฉบับ)		
จำนวนจุดภาพรวม (n)	262,144		
ค่าเฉลี่ยความสว่าง ($E(\mathbf{X})$)	169.3523		
ค่าเบี่ยงเบน (σ)	73.327		
ตำแหน่งเทรชโฮลด์ (Thresholds) เดิม (T_i)	37	64	133
ตำแหน่งเทรชโฮลด์ (Thresholds) ใหม่ (T'_i)	29	61	144
ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด ($AMBE$)	2.0805		
เทนเนนเกรดเฉลี่ย ($ATEN$)	1.958		

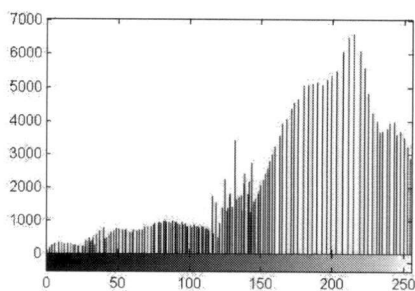
จากรูปที่ 5.14 จะแสดงรูปผลลัพธ์ที่ผ่านขั้นตอนการยืดคอนทราสต์ไฮสปีดแกรม จะพบว่าไฮสปีดแกรมที่เดิมเคยกระจุกตัวใกล้กัน ได้ขยายออกจนเต็มย่านระหว่าง 0-255 ตำแหน่งของค่าเทรชโฮลด์เดิมและใหม่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 ค่าความสว่างผิดพลาดของภาพผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับของภาพต้นฉบับ ในขณะที่ $ATEN$ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

จากตำแหน่งเทรชโฮลด์ใหม่ T'_i ที่ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหา $AMBE$ ของภาพผลลัพธ์นั้น พบว่ายังไม่ต่ำสุด ดังนั้นจึงกำหนดช่วง ϵ ให้ตำแหน่งของเทรชโฮลด์ที่ได้เลื่อนตำแหน่งไปในการเลื่อนทุกๆ 1 ตำแหน่งผลลัพธ์ของภาพก็จะถูกคำนวณใหม่ทั้งหมดด้วย สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกำหนดค่า ϵ เป็น 10, 20, และ 30 ตามลำดับ

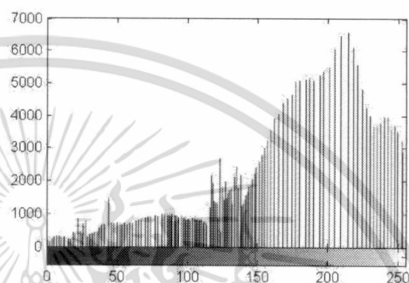
ตารางที่ 5.9 แสดงผลลัพธ์จากการเลื่อนตำแหน่งเทรชโฮลด์ตามที่กำหนดค่า ϵ ของภาพ F16

ผลลัพธ์ของวิธี HE				$AMBE$	$ATEN$		
				48.7	2.3974		
ผลลัพธ์ของวิธีที่นำเสนอ							
Shifting Range (ϵ)	เทรชโฮลด์			$AMBE$ และ $ATEN$			
				ไม่ทำแมทซิง		ทำแมทซิง	
	(T'_1)	(T'_2)	(T'_3)	$AMBE$	$ATEN$	$AMBE$	$ATEN$
-	37	64	133	1.564	1.908	0.1053	2.099
10	27	74	124	1.355	2.1806	0.0600	2.2630
20	18	83	115	0.0597	2.1914	0.0470	2.3207
30	17	94	120	0.0561	2.1734	0.01841	2.2934

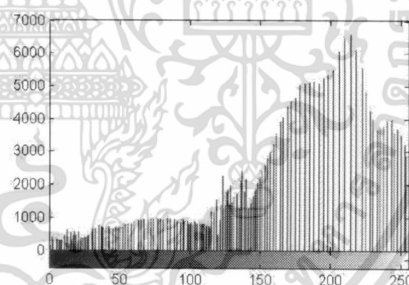
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 10$



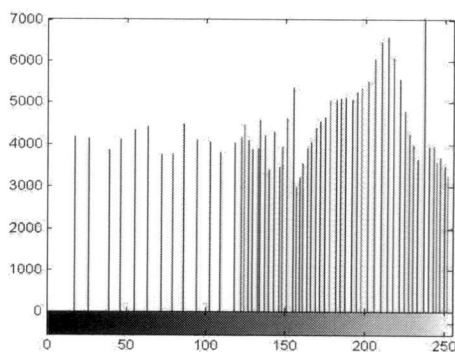
รูปที่ 5.16 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 20$



รูปที่ 5.17 ผลลัพธ์ของ F16 เมื่อกำหนด $\epsilon = 30$

จะพบว่าถ้า ϵ สูงขึ้นจะได้ค่า *AMBE* ลดลง ในขณะที่ค่า *ATEN* มีการแกว่งตัว อย่างไรก็ตามจะพบว่าค่า *ATEN* ในวิธีการที่นำเสนอจะสูงกว่าวิธีการทั่วไปแบบ *HE* ในการพยายามรักษาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพให้ใกล้เคียงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธี *HE* จึงได้นำไบนารีแมทซ์ซึ่งมาช่วยในการแปลงข้อมูลภาพ ทำให้ภาพผลลัพธ์หลังการทำแมทซ์ซึ่งให้ค่า *ATEN* สูงกว่าภาพที่ไม่ได้ทำแมทซ์ซึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ภาพผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายของ F16 หลังทำไบร์เนส แมทซิง

5.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ต้องการพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของภาพต้นฉบับให้
ได้มากที่สุด วิธีที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป อย่างเช่น HE, BBHE, DSIHE และ MMBEBHE จึงได้นำมา
เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีที่นำเสนอซึ่งแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 5.10 ผลเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆโดยกำหนดค่า $\epsilon=40$ ยกเว้นภาพ F16 ที่ใช้ $\epsilon=30$

รูป	ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE)				Proposed Method
	HE	BBHE	DSIHE	MMBEBHE	
Arctic hare	75.74	24.2	37.9	13.5	11.5819
Airplane2	65.73	15.89	27.80	2.83	2.3967
Clocks	13.81	5.97	13.96	5.29	0.0035
Baboon	14.11	0.65	0.66	0.77	0.5661
Splash	17.43	10.14	11.45	0.95	0.9210
Pepper	5.58	4.96	4.99	0.74	0.0657
House	5.18	13.37	8.63	2.42	0.0697
F16 ($\epsilon=30$)	48.7	0.35	14.6	0.02	0.01841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบ ATEN และ S.D. กับรูปภาพทั้ง 8 ภาพ

		Original	HE	BBHE	DSIHE	MMBEBHE	Proposed Method
ATEN	Arctic hare	0.1256	0.7479	1.0445	0.0703	0.1861	2.0319
S.D.		52.7309	88.3441	78.1794	79.0489	59.0266	88.2778
ATEN	Airplane2	0.2511	0.6553	0.2481	1.0775	0.5689	1.3874
S.D.		33.0725	74.9306	77.1544	73.1001	72.0905	74.9006
ATEN	Clocks	0.0025	1.0407	0.3177	0.2224	0.2369	0.8972
S.D.		57.2497	74.8019	77.6743	82.6133	65.9124	74.2717
ATEN	Baboon	4.0982	5.1338	5.1788	2.0456	4.81	5.381
S.D.		43.3851	74.8465	75.3884	59.0943	73.5569	73.9849
ATEN	Splash	0.122	1.2717	0.8543	0.5033	0.5347	1.2393
S.D.		50.6061	74.8225	75.9359	59.3065	73.5333	74.7999
ATEN	Pepper	0.1874	0.7829	0.7875	0.1558	0.1874	1.9044
S.D.		53.1518	74.79	74.3659	59.9039	55.4147	74.78
ATEN	House	0.0589	0.4736	0.0544	0.3012	0.0614	0.6205
S.D.		46.0225	74.7876	73.9551	63.8661	48.8687	74.2756
ATEN	F16	0.3974	1.7879	1.4129	1.4166	0.7788	2.2934
S.D.		50.1211	74.8082	76.2615	73.3164	50.9938	73.9632

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากตารางการทดลองจะพบว่า จากปัญหาการกระจุกตัวของแท่งฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ ทำให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดความสว่างนั้นมีมาก โดยวิธีการจากนักวิจัยที่มีพัฒนาการปรับปรุงภาพด้วยฮิสโตแกรมอย่างต่อเนื่องก็ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเรื่อยๆ แต่ส่วนใหญ่ไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างหรือคอนทราสต์ของภาพผลลัพธ์เลย ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ ไม่สามารถให้ภาพผลลัพธ์ที่มีค่าคอนทราสต์สูงขึ้นไป เพียงแต่ทำให้ค่า *AMBE* น้อยลงเท่านั้น ดังนั้นจากวิธีการที่นำเสนอมานี้ไม่เพียงแต่จะทำให้ *AMBE* ลดต่ำลงเท่านั้นในขณะเดียวกัน จะให้ค่าคอนทราสต์สูงขึ้นไปดังแสดงในตารางผลการทดลองที่ 5.10 กับ 5.11

บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1สรุปผลการวิจัย

จุดมุ่งหมายของงานวิทยานิพนธ์นี้คือพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพให้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับให้ได้มากที่สุดและพร้อมกับปรับปรุงคอนทราสต์ของภาพให้สูงเพื่อรักษาความแตกต่างในภาพไว้ให้ได้ แนวคิดก่อนจะมีการพัฒนาในเรื่องนี้ได้มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามหาวิธีการมาแก้ไขปัญหา เริ่มต้นจากปรับปรุงภาพด้วยวิธี Global Histogram Equalization (HE) วิธีการ Mean Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE), Dualistic Sub-Image Histogram Equalization (DSIHE) และ Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization (MMBEBHE) ซึ่งวิธีการเหล่านี้ก็ยังมีจุดบกพร่องที่ทำทนายให้นักวิจัยรุ่นหลังเข้ามาคิดและหาแนวทางที่จะพัฒนาวิธีการใหม่ๆขึ้น อย่างเช่นในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้พัฒนาการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพให้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับด้วยการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นกลุ่มๆตามเค้าโครงของฮิสโตแกรมต้นฉบับ เมื่อแบ่งแล้วจะได้ตำแหน่งของขีดเริ่มเปลี่ยน หรือเทรชโฮลด์(Threshold) ก็ทำการปรับเรียบอย่างอิสระจากกันโดยการยืดคอนทราสต์แบบเชิงเส้น หลังจากนั้นจะทดลองหาค่าตำแหน่งของเทรชโฮลด์ตาม ϵ ที่กำหนด ก็จะได้ตำแหน่งของเทรชโฮลด์ที่เหมาะสม ในขณะเดียวกันก็จะพยายามปรับปรุงคอนทราสต์ให้มีความแตกต่างสูงสุดในที่นี้จะวัดด้วยค่าเฉลี่ยเทนเนนเกรด (ATEN) โดยการนำภาพผลลัพธ์ที่ได้ในขณะนี้ ผ่านเข้าไปในสมการ Brightness Matching ได้ภาพผลลัพธ์ใหม่ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐานคือได้ AMBE ต่ำสุดในขณะเดียวกันก็ได้ ATEN สูงใกล้เคียงกับ ATEN กับภาพผลลัพธ์จากวิธี HE ด้วยเช่นกัน

จากวิธีการต่างๆที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นจะสามารถนำไปพัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อสังคมประเทศชาติ และพัฒนาในวงการอุตสาหกรรมต่างๆได้ เช่น ภาพเอกซเรย์ในวงการแพทย์ ภาพถ่ายดาวเทียม การตรวจหาอาวุธหรือสิ่งเสพติดในวงการตำรวจหรือทหารได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากวิธีการที่ได้นำเสนอมานี้ ภาพที่นำมาทดสอบจะต้องเป็นภาพระดับสีเทา 8 บิต 1 เลเยอร์ที่มีความแตกต่างของคอนทราสต์ในภาพ 256 ระดับ หรือระดับที่ 0-255 ซึ่งวิธีนี้จะสามารถที่จะนำไปใช้กับภาพสี RGB ได้โดยภาพ RGB นี้จะมี 3 เลเยอร์ ประกอบไปด้วย เลเยอร์ R, เลเยอร์ G และเลเยอร์ B ซึ่งหากจะใช้วิธีมัลติพีค-ฮีสโตแกรมมาปรับปรุงนั้นจะทำได้โดยทำทีละเลเยอร์ แล้วผ่านกรรมวิธีและขั้นตอนตามที่ได้นำเสนอมาแล้ว แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละเลเยอร์กลับมารวมกันเป็นภาพใหม่ที่จะได้ AMBE ต่ำสุดและ ATEN สูงสุดด้วย

แต่ปัญหาที่สนใจและควรถูกนำมาทบทวนคือ เวลาในการประมวลผล ซึ่งหากการประมวลผลด้วยวิธีนี้ทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วต่ำจะทำให้สิ้นเปลืองเวลามาก หากสามารถพัฒนาโปรแกรมหรืออัลกอริทึมให้สั้นและรวดเร็วกว่านี้จะทำให้ลดระยะเวลาและพลังงานลงได้ ซึ่งอาจส่งผลถึงการนำไปใช้จริงหรือการแข่งขันในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์บางอย่างที่ต้องการประหยัดพลังงานให้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย เช่น อุตสาหกรรมทางด้านโทรศัพท์มือถือประเภทสมาร์ตโฟน หรือเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กสมัยใหม่ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

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

- [14] Erwin Kreyszig. 1993. **Advance Engineering Mathematics**. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Scott E Umbaugh. **Computer Vision and Image Processing**, Prentice Hall: New Jersey, 1998, pp. 209.
- [16] Yeong-Taeg Kim, **Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization**. IEEE Trans Consumer Electronics, vol.43, no. 1, pp. 1-8, Feb. 1997.
- [17] Yu Wan, Qian Chen and Bao-Min Zhang., **Image Enhancement Based On Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method**, IEEE Trans Consumer Electronics, vol. 45, no. 1, pp. 68-75, Feb. 1999.
- [18] Young-tack Kim and Yong-hun Cho. **Image Enhancing Method Using Men-Separate Histogram Equalization**, United States Patent, PatentNo. 5,963,665, Oct 5, 1999.
- [19] Yeong-Taeg Kim, **Method for Image Enhancing Using Quantized Mean Separate Histogram Equalization**. United States Patent, Patent No. 5,857,033, Jan 5, 1999.
- [20] Yeong-taeg Kim. **Image Enhancing Method and Circuit Using Mean Separate /Quantized Mean Separate Histogram Equalization And Color Compensation**.United States Patent, Patent No. 6,049,626, Apr 11,2000.
- [21] Z. Chen, B. Abidi, D. Page, and M. Abidi, **Gray Level Grouping (GLG): An Automatic Method for Optimized Image Contrast Enhancement - Part I: The Basic Method**, IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 15, No. 8, pp. 2290 - 2302, August 2006.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFLECTION OF THE PAST VISION FOR THE FUTURE

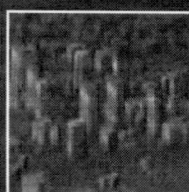
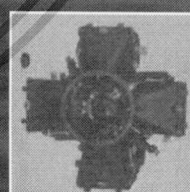
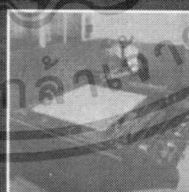
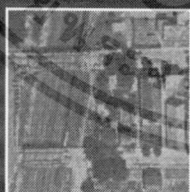
ASPRS 2009 Annual Conference

March 9 - 13, 2009

Baltimore Marriott Waterfront Hotel

Baltimore, Maryland

Preliminary Program



CONTRAST ENHANCEMENT FOR MINIMUM MEAN BRIGHTNESS ERROR FROM HISTOGRAM PARTITIONING

N. Phanthuna^{1,2}, F. Cheevasuvit² and S. Chitwong²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Bangkok, 10800 THAILAND

²Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, 10520 THAILAND

nattapong100@gmail.com, kcfusak@kmitl.ac.th, kcsakrey@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper presents the image enhancing using a mean separated histogram equalization method. To provide the minimum mean brightness error after the histogram modification. It separates the input image's histogram into n ($n=1,2,3,\dots$) groups based on input mean before equalizing them independently. The image initially is separated class by calculated threshold level and each class is histogram equalized to entire image, and gets lowest AMBE (AMBE : Absolute Mean Brightness Error). The result found that AMBE gradually reduces when the separation is increased. Therefore, the error threshold is assigned in order to automatically dividing the original histogram for obtaining the desired AMBE. This process will be applied to remote sensing data by treating each region of histogram independently. Also Tenengrad is employed in order to verify the contrast performance. The image performance is considered higher if its Tenengrad value is larger.

INTRODUCTION

Image enhancement is one method to increase contrast of image. Digital image processing is widely used to much field such as remote sensing, etc. One of algorithm applied is analyzing and interpreting data of satellite image. The accuracy of that job is dependent on quality of such data in term of contrast. The better contrast, the more efficiency for interpreting data is. Raw data must then be enhanced to get better quality by histogram equalization. This method is simple and efficient when comparing with other method. Histogram equalization tries to distribute more concentrated gray level, significantly. One popular method of histogram equalization is global histogram equalization based on basic rule of probability distribution of original gray level. Disadvantage of one is some brightness saturation and shifting mean. This is losing information. To solve that problem, having many reports (Russ, J. C. 1994, Conzalez, R. C. and WinTZ, P. 1987, Sid-Ahmed, M. A. 1995, Wongsritong, K., Kittayaruasiriwat, K., Cheevasuvit, F., Dejhnan, K., and Somboonkaew, A.,1998, Kim, Y-T. 1997, and Chen, S.-D, Ramli, A. R. 2003) has been proposed equalization technique by classing histogram equalization into sub-histogram calling local histogram equalization. Such method is still not better enough because each region partitioned is not appropriate. The main key to apply histogram equalization efficient is to class each region of histogram to give mean of enhanced image the same as original image by re-adjusting peak point to class.

This paper is organized as follows. Multi-peak histogram searching is firstly described to get a number of peak points. To obtain the enhanced image preserved mean brightness, many gray level of peak point is shifted by the proposed histogram partition method described. Experimental results are described and shown as numerical result as quality measuring criterion together with global histogram equalization method and visual image. The conclusion is given in last section.

ASPRS 2009 Annual Conference
Baltimore, Maryland ♦ March 9-13, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTIPEAK HISTOGRAM SEARCHING

We will briefly describes multi-peak histogram searching (Wongsritong, K., Kittayarasiriwat, K., Cheevasuvit, F., Dejhan, K., and Somboonkaew, A.,1998). The histogram of an image will be consisted as many peaks. Each peak of histogram can not easily be detected since the probability of brightness levels are quit fluctuated and also some brightness levels are disappeared. The linear interpolation is then employed to fill up the disappeared brightness levels, while the neighborhood averaging process is applied to smooth the histogram. Nine consecutive probabilities of brightness levels are averaged for the new probability of the central brightness level. This new probability value of the k^{th} central brightness level, defined as $P_n(r_k)$ can be obtained by the following equation.

$$P_n(r_k) = \begin{cases} \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 p(r_{k-5+i}) & ; 5 \leq k \leq L-4 \\ p(r_k) & ; k < 5, k > L-4 \end{cases}$$

The new probability $P_n(r_k)$ is used only in the peak point detection process. In order to obtain the peak point of each peak, the signs of the difference between two successive probabilities in the smoothed histogram are calculated. However, the fluctuation of sign will be appeared. So the sign changing process is used when three consecutive signs is swing such as the following examples, +-+ change to +++ and -+- change to ---.

After the sign changing process is applied then the peak point detection process is utilized. Each peak point is smoothed, histogram is detected when four successive negative signs are followed by eight successive positive signs is occurred. That mean, the peak point is detected only the downward path of probabilities, the histogram is composed of N+1 region, N peak points must be detected.

HISTOGRAM PARTITION

Linear Contrast Expansion

Since gray level of pixel is concentrated in some narrow interval of histogram, such image is then low contrast. Linear contrast expansion in each group of histogram is employed to solve brightness saturation problem. Based on peak value calculated is used to class groups of histogram. Contrast of each of the grouped one is expanded linearly by which maximum and minimum point of gray level is number of the previous calculated peak. The entire image is expanded full range as 0-255 levels.

Let X_{\min} and X_{\max} are range of original histogram expanded into Y_{\min} and Y_{\max} shown in Figure 1. Range of gray level in image X is $X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$. To solve problem in calculation, if X is less than X_{\min} , X is then X_{\min} and if X is more than X_{\max} , X is then X_{\max} . New gray level can be obtained from equation below.

$$Y = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} (Y_{\max} - Y_{\min}) + Y_{\min}$$

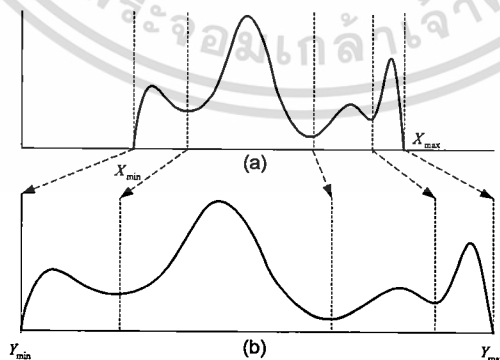


Figure 1. Linear contrast expansion (a) Original histogram (b) New histogram.

Quality Measuring Criterion

The proposed method is trying to preserve brightness mean more and more possible by considering value of absolute mean brightness error (AMBE). AMBE is calculated from equation below.

$$AMBE = |E[Y] - E[X]|$$

where $E[Y]$ and $E[X]$ are mean of new and original gray level of image, respectively.

Generally, classing number of histogram region affects to AMBE value. The more one is, the less AMBE. Also, suddenly hanging of slope of gray level in image indicates that contrast is either increase or decrease. Gradient is slope between pixels used to detect image edge to verify image quality. The Tenendrad criterion (TEN) is based on gradient magnitude maximization. The value of TEN is calculated from gradient of all pixels in image. The partial derivatives are obtained by a high pass filter using Sobel operator with the convolution kernels i_x and i_y . The gradient is given as

$$S(x, y) = \sqrt{(i_x * I(x, y))^2 + (i_y * I(x, y))^2}$$

where $*$ stands for convolution, $I(x, y)$ is enhanced image.

The Tenendrad criterion is formulated as

$$TEN = \sum_x \sum_y S(x, y)^2$$

The Proposed Histogram Partition

To preserve brightness mean of finally enhanced image, partitioning of smoothed histogram corresponding to quality criterion is important. We will present the method to partitions histogram to get the lowest AMBE by shifting peak point based on local minima both lower and upper. The shifting process is described as following.

Step 1 Using peak points which has got from the smoothed multi-peak histogram searching, let $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ are gray levels of each peak. Histogram is classed into N group $N=P_N$.

Step 2 Calculating original mean,

$$E[X] = \sum_{i=0}^{L-1} f_i g_i / \sum_{i=0}^{L-1} f_i$$

where L is the maximum gray level such as 255, f_i is frequency of i^{th} gray level, g_i is i^{th} gray level.

For instance, the number of peak point is of 3 ($N=3$), P_1, P_2 , and P_3 . Histogram is grouped into 4 regions $[0 - P_1]$, $[P_1+1 - P_2]$, $[P_2+1 - P_3]$ and $[P_3+1 - L]$.

Step 3 Calculating mean from the enhanced image,

$$E[Y] = \sum_{i=0}^{L-1} f'_i g_i / \sum_{i=0}^{L-1} f'_i$$

where f'_i is frequency of i^{th} gray level via enhancement.

Step 4 Histogram mentioned in step 1 is expanded by using linear contrast expansion method together with getting new peak $P'_1, P'_2, P'_3, \dots, P'_N$ but the number of histogram groups is the same as step 1.

Step 5 The gray level of peak point $P'_1, P'_2, P'_3, \dots, P'_N$ is shifted into both lower and upper with ε shifting range value and AMBE of both original and enhanced image by using histogram equalization based on such peak point to group sub-histogram is calculated. If AMBE is still higher, the gray level of peak point is then adjusted by increasing ε value until the lowest AMBE is obtained.

For instance, let $N=2$ and $P'_1=91, P'_2=153$. For $\varepsilon=10, P'_1=91$, that is, such histogram is composed of 3 regions $[0 - 91]$, $[92 - 153]$ and $[154 - 255]$. We will search to get new peak point around P'_1 following. Lower side values are of 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81 and upper side 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101 by which upper side value must not be more than $P'_2=153$. Firstly, to search lower side, range of histogram, $[0-90]$ for lower, $[91-153]$ for upper and $[154 - 255]$, is allocated and equalized firstly, together with calculating AMBE value for such range. The other ranges consist of $[0-89]$ and $[90-153]$, $[0-88]$ and $[89-153]$, $[0-87]$ and $[88-153]$, $[0-86]$ and $[87-153]$, $[0-85]$ and $[86-153]$, $[0-84]$ and $[85-153]$, $[0-83]$ and $[84-153]$, $[0-82]$ and $[83-153]$, $[0-81]$ and $[82-153]$ which are consecutively allocated and equalized the same fashion as mentioned. A number of AMBE values are of 10. Secondly, to search upper side, range of histogram, $[0-92]$ for lower, $[93-153]$ for upper and $[154 - 255]$, is allocated and equalized firstly, together with calculating AMBE value for such range. The other ranges consist of $[0-93]$ and $[94-153]$, $[0-94]$ and $[95-$

153], [0-95] and [96-153], [0-96] and [97-153], [0-97] and [98-153], [0-98] and [99-153], [0-99] and [100-153], [0-100] and [101-153], [0-101] and [102-153] which are consecutively allocated and equalized the same fashion as mentioned. A number of AMBE values are of 10. Total of AMBE values is of 20, one of them is the lowest AMBE value corresponding with one of any gray level of peak point is obtained and assigned as new peak point. For other peak point, the same style is performed. If such the obtained AMBE value is still higher, the shifting range value is then increased. AMBE value is calculated again, so on, until getting the lowest AMBE.

EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed method is applied to satellite image (LS001) shown in Figure 2(a). By using multi-peak histogram, results of the number of peak points is of 2 peak points (P1=91 and P2=153) and local histogram equalization applied with 2 regions has given AMBE and TEN, numerically shown in Table 1 and visual image and its histogram shown in Figure 2(c), seeing that there are better than global histogram equalization surely shown in Figure 2(b). To get the enhanced image corresponding with both AMBE and TEN quality measuring criterion, shifting range is finely adjusted from 10 to 40 for this experiment until AMBE is the lowest value and TEN is the highest value. Figure 2(d)-(g) are shown visual image for shifting range from 10 to 40, respectively. As shown in Table 1, finally, the new peak points are P1=73 and P2=189, appropriate.

Table 1.

Image	HE Method			AMBE	TEN
				46.0343	1.11×10^4
	Proposed Method				
	Shifting Range (ϵ)	Peak 1 (P1)	Peak 2 (P2)	AMBE	TEN
LS001	1	91	153	8.48836	7.76×10^4
	10	81	163	8.30481	9.45×10^4
	20	73	173	6.03268	12.17×10^4
	30	73	183	3.95550	15.00×10^4
	40	73	189	0.02863	18.96×10^4

CONCLUSIONS

This paper presents a method for preserving mean brightness of original of enhanced image via histogram equalization. The input image will be partitioned into a number of regions by detected peak point. Each region independently will be expanded for full dynamic histogram range, then independently applied the classical local histogram equalization to each region. In order to minimize the AMBE, the roughly detected peak point will be finely adjusted by shifting them in a certain defined range. The results of AMBE obtained from the proposed method give the lowest AMBE. Also the method presents the highest tenengrad of each enhanced image in order to show the quality of enhancement.

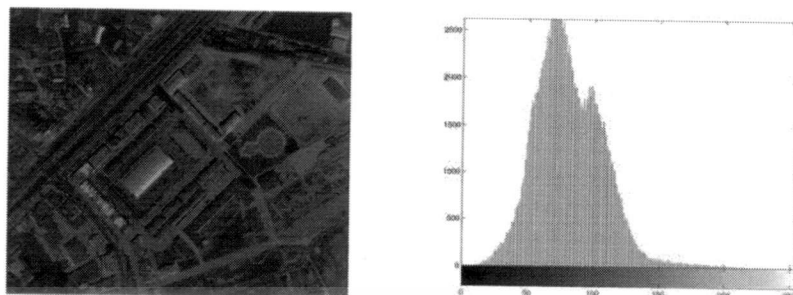
REFERENCES

- Russ, J. C., 1994. *The Image Processing Handbook*, 2nd Edition, IEEE Press.
- Conzalez, R.C. and P. WinTZ, 1987. *Digital Image Processing*, 2nd Edition, Addison-Wesley Pub., Massachusetts.
- Sid-Ahmed, M.A., 1995. *Image Processing: Theory, Algorithm & Architectures*, McGraw-Hill, New York.
- Wongsritong, K., K. Kittayarasirawat, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, and A. Somboonkaew, 1998. Contrast enhancement using multippeak histogram equalization with brightness preserving, *IEEE Asia-Pacific Conf. Circuit and System*, 455-458.
- Kim, Y-T., 1997. Contrast enhance using brightness preserving bi-histogram rqualization, *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 43(1):1-8.

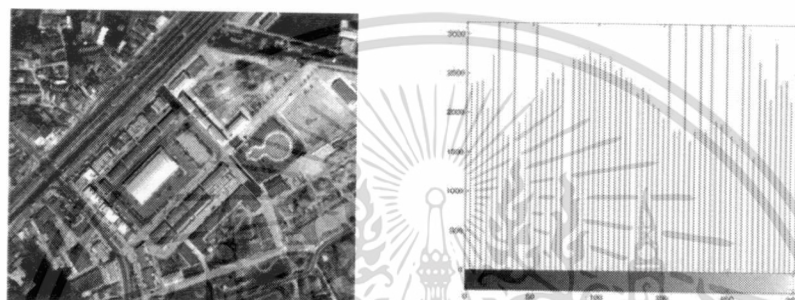
ASPRS 2009 Annual Conference
Baltimore, Maryland ♦ March 9-13, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

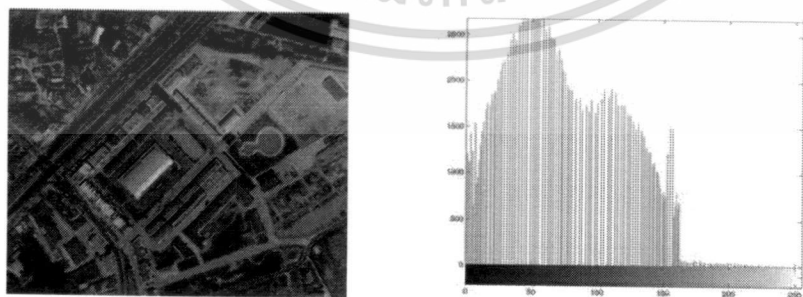
Chen, S.-D, A.R. Ramli, 2003. Minimum mean brightness error bi-histogram equalization in contrast enhancement, *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 49(4):1310-1318.



(a)

(b) AMBE=46.0343 , TEN=1.11x10⁴Peak=2, P1=91,P2=153 $\epsilon=1$ AMBE=8.48836 , TEN=7.76x10⁴

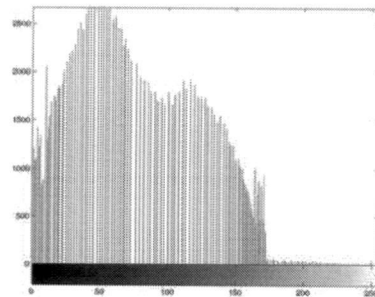
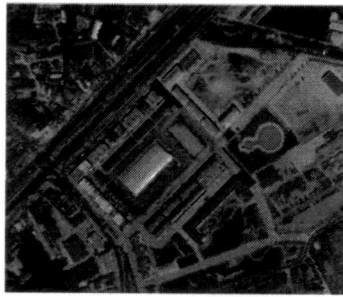
(c)

Peak=2, P1=81,P2=163 $\epsilon=10$ AMBE=8.30481 , TEN=9.45x10⁴

(d)

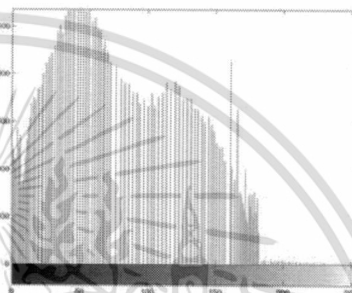
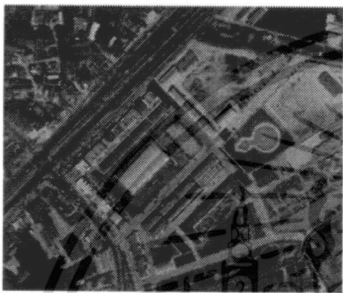
ASPRS 2009 Annual Conference
Baltimore, Maryland ♦ March 9-13, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



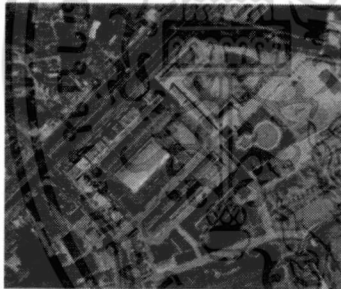
Peak=2, P1=73,P2=173 $\epsilon=20$ AMBE=6.03268 , TEN=12.17x10⁴

(e)



Peak=2, P1=73,P2=183 $\epsilon=30$ AMBE=3.95550 , TEN=15.00x10⁴

(f)



Peak=2, P1=73,P2=189 $\epsilon=40$ AMBE=0.02863 , TEN=18.96x10⁴

(g)

Figure 2. (a) Original image and its histogram, Results of enhanced image and its histogram by using (b) Global histogram equalization (c) Local histogram equalization (d) – (g) Local histogram equalization with adjusting shifting range from 10-40.

ICMV 2010

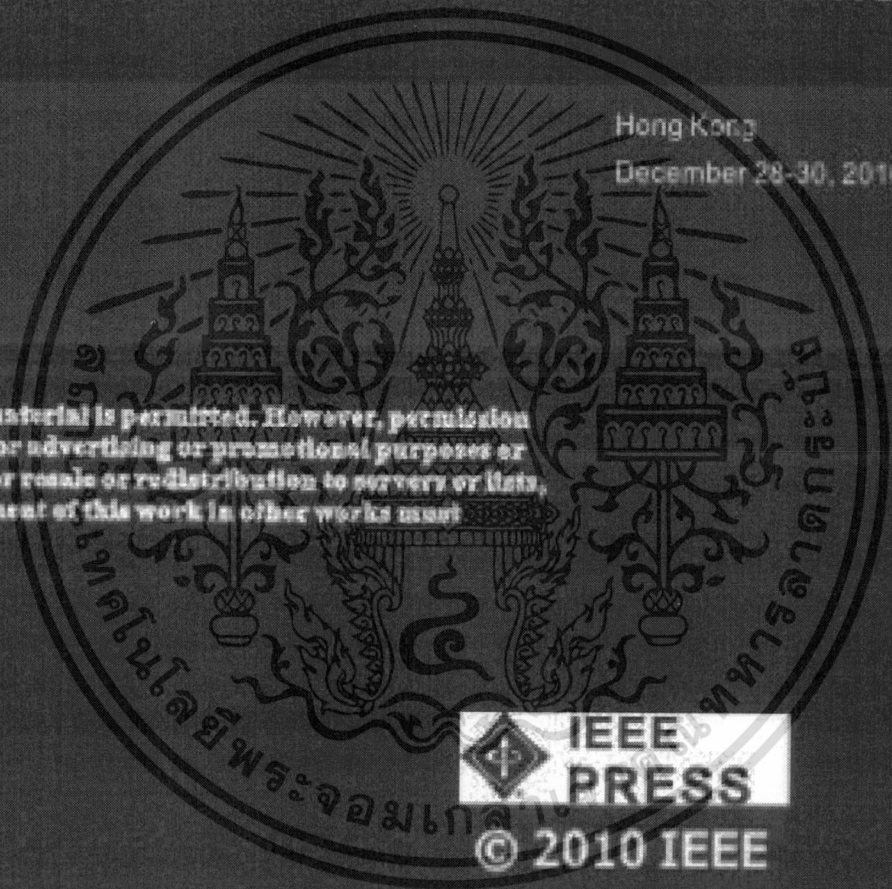
Proceedings

2010 3rd International Conference on Machine Vision

Hong Kong

December 28-30, 2010

© 2010 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.



© 2010 IEEE

IEEE Catalog Number: CFP1032D-PRT

ISBN: 978-1-4244-8888-9



Simplified method of high-resolution sharpening in fused image based on IHS transform

Fusak Cheevasuvit , Sakreya Chitwong

Department of Instrumentation Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
e-mail: kcfusak@kmitl.ac.th

Nattapong Phanthuna, *Member, IEEE*

Department of Electrical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
e-mail: nattapong100@gmail.com

Abstract— The colorful and useful remote sensing image can be obtained from various algorithms. One of the most essential methods is known as image fusion. The fused image can be accomplished by combining images from difference sources since the great desire of remote sensing image is the image which contains high spatial resolution and also high spectral resolution. The most popular and widely use method for achieving these objectives is the intensity-hue-saturation (IHS) transform. The IHS approach is applied to fuse the low-resolution multispectral images and high-resolution panchromatic image since the successfulness of the fusion process must be met the color distortion constrain. Therefore, in generally, no enhancement of panchromatic image in preceding researches is proposed. To emphasis some information in the fused image such as the edges, here we construct a high frequency enhancement panchromatic image as an intensity component in the inverse process of IHS. In order to maintain the color distortion criterion, the intensity matching formula will be employed.

Keywords- IHS; fusion; smoothing; subtraction;

I. INTRODUCTION

The sensors of the satellites are generally composed of high-resolution panchromatic system and low-resolution multispectral system. However, the high-resolution can provide a few spectral band images (almost satellites give only one panchromatic image), while the low-resolution can generate more spectral band images. Normally, the panchromatic image gives rich in spatial information, while the multispectral images give rich in spectral information. To integrate spectral information, the false color image is created panchromatic by combining three bands of low-resolution images as *RGB* images. But this false color image will lose the high spatial information. So, to collect the high spatial and high spectral information in the same image, the fusion process via IHS transform is utilized. Since some applications need to enhance the high spatial information, we propose a method of high resolution sharpening based on IHS transform as mentioned in the following sections.

II. HIS FUSION METHOD

The most popular and broadly used for image fusion is IHS transform. The IHS fusion algorithm will be converted the red, green and blue of low-resolution multispectral images into intensity (*I*), hue (*H*) and saturation (*S*) components. Then the *I* component will be substituted by panchromatic image (I_{pan}) with high spatial resolution. Then this new intensity component and the previous *H* and *S* components will be reconverted to new *RGB* images. The resulting image is contained high spatial information. The IHS transform can be expressed as the following equation.

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Or

$$I = \frac{R+G+B}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \quad (3)$$

$$S = \sqrt{(v_1)^2 + (v_2)^2} \quad (4)$$

For inverse process, the *I* component will be replaced by I_{pan} while the *H* and *S* (or v_1 and v_2) components still used the previous components. The inverse transform can be presented as

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{pan} \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Or

$$R' = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{pan} + \left(\frac{2R-G-B}{3} \right) \quad (6)$$

$$G' = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{pan} + \left(\frac{-R+2G-B}{3} \right) \quad (7)$$

$$B' = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{pan} + \left(\frac{-R-G+2B}{3} \right) \quad (8)$$

The new false color image is then obtained by the combination of R' , G' and B' . It can provide a rich in spatial and spectral information. Nevertheless, this image will cause an importance of color distortion because of the intensity component is completely changed from one spatial resolution into another and also the difference in wavelength. Therefore in [6], the tradeoff parameter t is introduced for reducing the difference of pixel intensity between the image I and I_{pan} by using the following equation.

$$I_{new} = I_{pan} + \left(\frac{I_{pan} - I}{t} \right) \quad (9)$$

When the tradeoff parameter t is 1, the image I_{new} is the same as image I . But when t increase to infinity, I_{new} will be fully equal to I_{pan} . That means the increasing of t will cause the increasing of spectral distortion. In the same time, more information of high spatial information will be presented in the fused image.

The fused image showed that the high spatial resolution is still not enhanced since it will cause highly in color distortion. However, in this paper we try to present the HIS fusion algorithm which can be able to enhance the high spatial information, while the color distortion can keep as less as possible by using the intensity matching transformation formula.

For the problem of color distortion, some researches only added high frequency component onto I , they did not attend to change completely I intensity from low-spatial resolution to I_{pan} image. In [4], Zhang and Hong employed wavelet transform in order to decompose the intensity component from I to I_{pan} . After that, only lower frequency band LL_1 of intensity component is altered to the band LL_1 of I_{pan} . The frequency bands LL_1 , LH_1 , HL_1 and HH_1 are used for inverting wavelet transform to generate a new intensity component I_{new} . This I_{new} with the previous H and S components are used for inverting IHS transform to

provide a fused RGB image. Also in [5] Ling *et al.* used Fourier transform to decompose the intensity component and then replace the high frequency by the high frequency from panchromatic image. The new intensity component I_{new} is retrieved from inverse Fourier transform of this mixed frequency spectrum component.

III. PROPOSE OF HIGH-RESOLUTION SHARPENING OF FUSED IMAGE

However, two algorithms as mentioned above are consumed high computation time. In order to simplify the idea of injection the high frequency from panchromatic image for replacing the high frequency of the original intensity component, we propose the use of smoothing mask convolution to achieve two bands of frequency. For providing low frequency components, the smoothing mask as shown in Fig. 1 is used to convolve with the original intensity component I . The smoothed component will be blurred because the edges or the high frequencies are devastated so that only low frequencies still appeared in it. The blurring process also applies to the panchromatic image I_{pan} in order to construct a low frequency image I_{pan_low} . For extracting the edges or high frequency component in the panchromatic image, the original I_{pan} image will be subtracted by I_{pan_low} to obtain the image I_{pan_edge} . Before adding I_{pan_edge} back to the smoothed original component I_{org_low} , we can emphasis the I_{pan_edge} by multiplying it with the parameter α to provide image I' . The image I' contains the high spatial information from panchromatic image and high spectral information from multispectral images.

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{273} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) Averaging mask

(b) Gaussian mask with $\sigma=1$

Figure 1. Smoothing masks.

In order to minimize the color distortion of fused image, the I' component has to be matched to the original intensity component I by using the following transform formula.

$$I'' = \left(\frac{\sigma_I}{\sigma_{I'}} \right) I' + m_I - \left(\frac{\sigma_I}{\sigma_{I'}} \right) m_{I'} \quad (10)$$

Where m_I and σ_I stand for the mean and the standard deviation of the original intensity component I while $m_{I'}$ and $\sigma_{I'}$ are the mean and the standard deviation of the intensity component I' .

The intensity component I'' together with original H and S will be used in inverse IHS transform to furnish a new

fused image which contains high spatial information and also high spectral information in the same image. The overall schematic flowchart of our propose can be presented in Fig. 2

TABLE I. CORRELATION

	$\alpha = 2$	$\alpha = 5$
$R - R'$	0.99989961	0.99848938
$G - G'$	0.99988837	0.99917573
$B - B'$	0.99979336	0.99649572

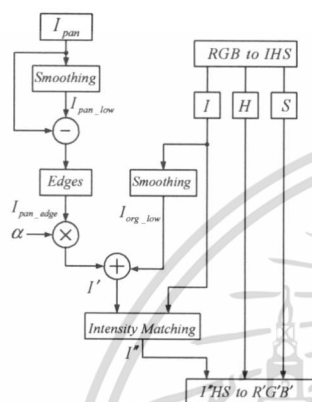


Figure 2. Schematic diagram of the proposed fusion algorithm.

IV. EXPERIMENTAL RESULT

The IKONOS panchromatic image and multispectral RGB images as shown in the Fig. 3 are used in the proposed algorithm. Here the smoothing of Fig. 1 (b) is used in blurring process and edge emphasis parameter $\alpha = 1$. The resulting of fused image in Fig. 3 is clearly presented the image detail. The performance of the propose algorithm can be expressed in the term of correlation coefficients which stated in Table I and the absolute difference of standard deviation is shown in Table II.

TABLE II. ABSOLUTE DIFFERENCE OF STANDARD DEVIATION

	$\alpha = 2$	$\alpha = 5$
$ SD_R - SD_{R'} $	2.11950594	9.06728555
$ SD_G - SD_{G'} $	2.21577923	9.25598947
$ SD_B - SD_{B'} $	2.16779314	8.96890668



(a)



(b)



(c)

Figure 3. (a) RGB Original (b) Fused Image $\alpha = 2$ (c) Fused Image $\alpha = 5$.

V. CONCLUSION

In this paper we propose a simplified image fusion the high spatial resolution of panchromatic image with the high spectral resolution of multispectral images. The algorithm injects the high frequency or edges information of panchromatic image into the low frequency of intensity component which obtained by smoothing original intensity. However, for more enhancing fused image, the high frequency information can be increased by multiplying it with emphasis parameter. The resulting fused image in Fig. 4 is shown that the quality of visualization will be improved, while the color distortion is quite satisfied as shown in Table I

REFERENCES

- [1] M. Gonzalez -Audicana, J.L. Saleta, R.G. Catalan, and R. Garcia, "Fusion of multispectral and panchromatic images using improved HIS and PCA mergers based on wavelet decomposition," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, no. 6, pp. 1291-1299, Jun. 2004.
- [2] M. Choi, R.Y. Kim, M.-Y. Nam, and H.O. Kim, "Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 2, no. 2, pp. 136-140, Feb. 2005.
- [3] T.-M. Tu, P.S. Huang, and C.-L. Hung, "A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 1, no. 4, pp. 309-312, Apr. 2004.
- [4] Y. Zhang and G. Hong, "An HIS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images," Information Fusion 6(2005), pp. 225-234.
- [5] Y. Ling, M. Ehlers, E.L. Usery, and M. Madded, "FFT-enhanced HIS transform method for fusing high-resolution satellite," Photogrammetry and Remot Sensing 61(2007), pp. 381-392.
- [6] M. Choi, R.Y. Kim, M.-Y. Nam, and H.O. Kim, "Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 2, no. 2, pp. 136-140, Feb. 2005.
- [7] T.-M. Tu, P.S. Huang, and C.-L. Hung, "A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 1, no. 4, pp. 309-312, Apr. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mean Brightness Preserving in Sub-Region Sharpening via Histogram Equalization

Fusak Cheevasuvit¹, Sakreya Chitwong¹

¹Department of Instrumentation Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
e-mail: kcfusak@kmitl.ac.th

Nattapong Phanthuna^{1,2}, Member, IEEE
Thaweesak Trongtirakul^{1,2}

²Department of Electrical Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Bangkok, Thailand
e-mail: nattapong100@gmail.com

Abstract— This paper presents on Sub-region sharpening with mean brightness preserving by the histogram equalization method for local information accentuation in sub-region. In order to segment each sub-region precisely, this issue has been achieved by using smoothing mask that is able to eliminate noise while still maintaining the edges of the sub-regions without degradation. Then, the fuzzy-c means is applied to smoothed image for sub-regions segmentation. To preserve the original mean brightness, the histogram of the each sub-region is divided into a certain number of the sub-histograms by defining the cumulative distribution function (CDF). Accordingly, each sub-histogram will be independently equalized. The resulting image not only presents the improvement of image quality, but the mean brightness of the processed image is also preserved.

Keywords- Local histogram equalization, image enhancement, Sub-image, Fuzzy c-means

I. INTRODUCTION

Image sharpening plays an important role for visualization improvement. To achieve the task, histogram equalization (HE) method is then employed. The HE method tries to force the distribution of input histogram to be a uniform distribution. However, the process of HE cause two defects. First, the HE method will transform the input pixel's intensity value into a new intensity without regarding the spatial relation of its adjacent neighbor pixels. The second, the mean brightness of output image will be shifted away from the input mean. The mean shifting problem is not suitable for some consumer devices as mentioned in [1]. The first defect has been solved many researches such as in [1, 2, 3, 4, 5, 6], and also many research such as [7,8] has been proposed for solving the second defect. That means each research is only solve for each specified defect. Hence, in this issue, two defects will be simultaneously solved by using FCM for segmented the image into a number of sub-region in order to support the first defect. Then, the histogram of each sub-region will be partitioned by the thresholds which are defined by the specified cumulative distribution function. After that the HE method is applied to each partitioned sub-histogram independently for overcome the second defect. The procedure of the proposed method will be detailed in the following paragraphs.

II. HISTOGRAM EQUALIZATION

Let $\mathbf{X} = \{X(i, j)\}$ denote a given image composed of L discrete gray levels denoted as $\{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$, where $X(i, j)$ represents an intensity of the image at the spatial location (i, j) and $X(i, j) \in \{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$. For a given image \mathbf{X} , the probability density function $p(X_k)$ is defined as

$$p(X_k) = \frac{n^k}{N} \quad (1)$$

for $k = 0, 1, \dots, L-1$, where n^k represents the number of times that the levels X_k appears in the input image \mathbf{X} and N is the total number of samples in the input image. Note that $p(X_k)$ is associated with the histogram of the input image which represents the number of pixels that have a specific intensity X_k . In fact, a plot of n^k versus X_k is known as the histogram of \mathbf{X} . Based on the probability density function, we define the cumulative density function as

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

where $X_k = x$, for $k = 0, 1, \dots, L-1$. Note that $c(X_{L-1}) = 1$ by definition. Histogram equalization is a scheme that maps the input image into the entire dynamic range, (X_0, X_{L-1}) , by using the cumulative density function as a transform function. That is, let us define a transform function $f(x)$ based on the cumulative density function as

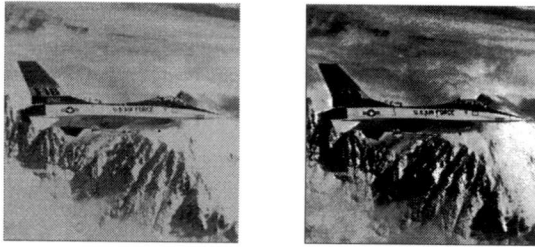
$$f(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(x) \quad (3)$$

Then the output image of the histogram equalization, $\mathbf{Y} = \{Y(i, j)\}$, can be expressed as

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}) \quad (4)$$

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

For example of the histogram equalization is shown in Fig.1, where the first image is an original image *Jet* and the second one is the result of the histogram equalization. However the mean brightness of output image from the HE method is shifted away from the input image. So, the section V will describe how to solve this problem.



(a) Original. (b) Histogram equalized.
Fig1. The original image *Jet* and the result of histogram equalization

III. EDGE PRESERVING SMOOTHING

Image segmentation is an essential tool for object extraction. However, in some images, there exist some pixels which have intensity difference from their neighbor. This effect will cause many holes in the homogeneous region of segmented object. These pixels are considered as noise pixels which can be eliminated by smoothing method. Many smoothing methods are proposed, however all of them not only remove the noise pixels but also destroy the edges of object in the same time. Therefore, the segmentation process cannot efficiently achieve in this blurred image. To conquer this problem, Tomita and Nagao in [9, 10] have suggested an algorithm which can remove the noise pixels and can while the edges of object can be maintained. This algorithm is known as edge preserving smoothing. The method of Nagao [10] used 9 masks for smoothing the image as shown in Fig. 2. Each mask is contained the pixel coordinate (i, j) which will be smoothed.



Fig.2 Nagao's mask

The process of edge preserving smoothing can be detailed as the following steps.

1. Calculate the mean and standard deviation (or variance) of the pixels which are in each mask.
2. Find the mask which gives the minimum standard deviation.
3. Replace the intensity of pixel co-ordinate (i, j) by the mean value of the mask which gives minimum standard deviation.
4. Move the masks over the image from left to right and upper to lower.
5. Iterate step 1 to step 4 until the process reach to some criterion such as the number of iteration turns.

The edge preserving smoothing process is applied to the original image of Fig. 1(a), the Fig.3 is the smoothed image with only one turn of iteration.



Fig.3 *Jet* after smoothing by Nagao's mask

IV. FUZZY C-MEAN FOR IMAGE SEGMENTATION

Fuzzy c-means (FCM) [11, 12] is used as a method of clustering in this paper that a method is based on minimization of the following objective function:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - v_j\|^2 \quad ; \quad 1 \leq m < \infty \quad (6)$$

where m is any real number greater than 1, u_{ij} is the degree of membership of x_i in the cluster j , x_i is the i^{th} of d -dimensional measured data, v_j is the d -dimension centre of the cluster. While N is the total number of data, C is the number of clusters or sub-regions and $\|*\|$ is any norm expressing the similarity between any measured data and the centre. Fuzzy partitioning is carried out through an iterative optimization of the objective function shown above with the update of membership u_{ij} and the cluster centre v_j by:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|x_i - v_j\|}{\|x_i - v_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (7)$$

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad (8)$$

This iteration will stop when $\{|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^{(k)}|\} < \varepsilon$, where ε is a defined termination criterion and k is the iteration turns. This procedure converges to a local minimum or saddle point of J_m . The algorithm of FCM can be described as the following steps:

1. Initialize $U = [u_{ij}]$ matrix, $U^{(0)}$
2. At k -step: calculate the centre vectors $V^{(k)} = [v_j]$ with $U^{(k)}$ in equation (8)
3. Update $U^{(k)}$, $U^{(k+1)}$ in equation (7)

4. If $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \epsilon$ then STOP; otherwise return to step 2.

The FCM process is employed to the smoothed image of Fig. 3 by defining the number of cluster $C=3$. The segmented of these three sub-regions are shown in Fig. 4.

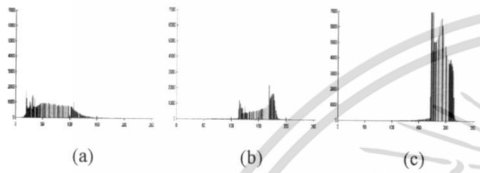
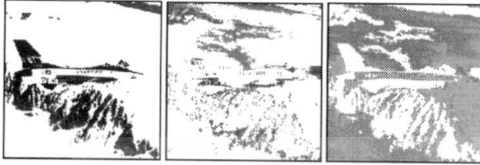


Fig. 4 Three segmented regions with the corresponding histogram.

V. MEAN BRIGHTNESS PRESERVING VIA SUB-REGION HISTOGRAM EQUALIZATION

Let X_i is the i^{th} segmented sub-region from the section IV with its gray level range of $[L_B^i, L_S^i]$. In order to preserve mean brightness, each histogram of sub-region will be partitioned into M intervals. The thresholds T_m^i for using in partitioning process can be defined by the specified CDF as the following equation.

$$T_m^i = c(L_m^i) = \frac{m}{M} ; \text{ for } m=1,2,\dots,M-1 \tag{9}$$

When i is varies from 1 to C , which C is the number of sub-regions. The partitioned histogram is presented in Fig. 5. Each interval I_m^i will be consisted of gray levels as shown in following equation.

$$\begin{aligned} [L_0^i+1, L_1^i] &\in I_1^i \\ [L_1^i+1, L_2^i] &\in I_2^i \\ [L_2^i+1, L_3^i] &\in I_3^i \\ &\vdots \\ [L_{M-1}^i+1, L_M^i] &\in I_M^i \end{aligned} \tag{10}$$

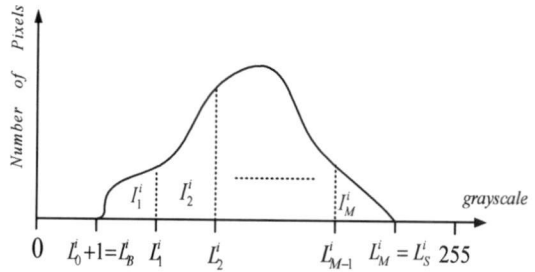


Fig. 5 M intervals of partitioned histogram.

For $L_0^i+1=L_B^i$ and $L_M^i=L_S^i$. The CDF of m^{th} sub-histogram interval in the i^{th} sub-region can be written as

$$c_m^i(k) = \sum_{\ell=L_{m-1}^i}^k \left(\frac{n_\ell^i}{N_m^i} \right) \tag{11}$$

n_ℓ^i stands for the number of pixels in the ℓ^{th} gray level while N_m^i is the total number of pixels in m^{th} interval. By definition, we obtain the CDF

$$c_m^i(L_m^i) = 1 ; \text{ for } m=1,2,\dots,M \tag{12}$$

Therefore, the enhancement in each interval of the i^{th} sub-region, by HE method, can be obtained by the following equation.

$$Y_m^i(i, j) = (L_{m-1}^i+1) + \{(L_{m-1}^i+1) - L_m^i\} c_m^i(X_m^i(i, j)) \tag{13}$$

For $X_m^i(i, j)$ and $Y_m^i(i, j)$ are input and output of the m^{th} interval in i^{th} sub-region.

For applying this method to the image in Fig. 4 with 3 sub-regions and the histogram of each sub-region will be partitioned into 2 intervals. The enhanced image and its histogram can be presented in Fig. 6.

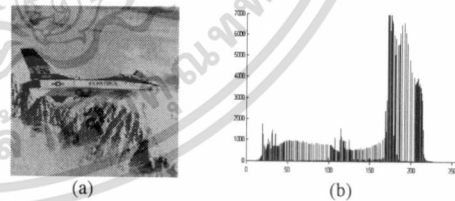


Fig.6 The result of sub-region sharpening via HE method

The performance of mean brightness preserving can be presented by the absolute difference of input and output expected value as

$$AMBE = |E(X) - E(Y)| \tag{14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

By the proposed method the performance of mean preserving is shown in Table 1 for various of sub-regions and intervals.

TABLE 1. 512x512 JET IMAGE WITH 164.2718 MEAN BRIGHTNESS

No. of Sub-regions	No. of intervals			
	1	2	3	4
1	23.2175	12.7363	7.6947	5.12230
2	15.3695	8.7548	5.8265	4.1675
3	12.9164	7.0892	4.8693	3.5825

VI. CONCLUSION

In this paper we have been proposed a method of mean brightness preserving in sub-region sharpening via histogram equalization. The proposed method is responded two purposes which are sharpening the segmented sub-regions and also preserving the mean brightness of the final result image. The performances of the proposed are presented by visualization of result image in Figure 5, and for mean preserving in Table 1. This table shows that increasing the number of sub-regions and intervals, the AMBE will be decreased. However, the quality of sharpening will be decreased for more number of sub-regions and intervals, it cause by the narrow dynamic range for applying HE.

REFERENCES

- [1] Y.-T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 43, no.1, pp.1-8, Feb. 1997.
- [2] Y. Wan, Q. Chen and B.-M. Zhang, "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-image Histogram Equalization Method," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 43, no. 1, pp. 1-8, Feb. 1997.
- [3] K. Wongsritong, K. Kittiyarasriwat, F. Cheevasuvit, K. Dejhan and A. Somboonkaew, "Contrast enhancement using multipeak histogram equalization with brightness preserving," *IEEE Asia-Pacific Conf. on Circuit and Systems*, Nov. 1998, pp. 455-458.
- [4] S.-D. Chen and A. Ramli, "Contrast enhancement using recursive mean- separate histogram equalization for scalable brightness preserving," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1301-1309, Nov. 2003.
- [5] S.-D. Chen and A. Ramli, "Minimum mean brightness Error bi-histogram equalization in contrast enhancement," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1310-1318, Nov. 2003.
- [6] N. Phanthuna, F. Cheevasuvit and S.Chitwong, "Contrast enhancement for minimum mean brightness error from histogram partitioning", *ASPRS 2009 Annual Conference*, Baltimore, Maryland, Mar. 9-13, 2009.
- [7] S. Chitwong, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, S. Mitatha, T. Namman and T. Puangma, "Enhancement of colour image obtained from principal component analysis using local area histogram equalization", *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2000) C6-2-6*, Honolulu, Hawaii, U.S.A., Nov. 5-8, 2000.
- [8] H. Ibrahim and N. Sia Pik Kongi, "Image sharpening using sub-regions histogram equalization," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 2, pp.891-895, May 2009.
- [9] F. Tomita and S. Tsuji, "Extraction of Multiple regions by smoothing in selected neighborhoods", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-7, pp. 107-109, February 1977.
- [10] M. Nagao and T. Matsuyama, "Edge preserving Smoothing", *Computer Graphic and Image processing*, vol. 10, 1979.
- [11] J.C. Dunn, "A fuzzy relative of the ISIDATA process and its use in detecting compact well-separated clusters", *Journal of Cybernetics* 3, pp. 32-57, 1973.
- [12] J.C. Beadek. "Pattern recognition with fuzzy object function algorithms", *Plenum Press*, New york. 1981.

Simultaneous Mean Brightness Preservation and Contrast Improvement via Multi-Peak Histogram Equalization

Fusak Cheevasuvit Non-member (Faculty of Engineering, KMITL, kcfusak@kmitl.ac.th)

Nattapong Phanthuna Non-member (Faculty of Engineering, KMITL, nattapong100@gmail.com)

Phongchai Nilas Non-member (Faculty of Engineering, KMITL, knphongc@kmitl.ac.th)

Keywords : Mean Brightness Preservation, Contrast Improvement, Multi-Peak, Histogram Equalization, Tenengrad

This research proposes a novel technique of preserving mean brightness of original image as well as enhancing the image contrast. Many previous researches studied only on preserving meaning brightness, but very less works invested in improving image contrast. This research could minimize the Absolute Minimum Mean Brightness Error (AMBE) to close to zero and increase the Average Gradient or the Average Tenengrad (ATEN) of images. The research aims for output image with highest image contrast, complied with the preserved AMBE yet high ATEN. Moreover, the standard deviation (SD) of the result image is almost equal to that of the image enhanced with Global Histogram Equalization (HE). The presented result provided high quality of output image to obtain the best contrast—image gradient—i.e. close-to-zero AMBE and high ATEN, moreover, SD is close to result of HE.

There were many investigations in the field of image equalization; for example the very first brightness preservation (BBHE) by Kim [1]; Wan's [2] histogram equalization method (DSIHE); and many others. Global Histogram Equalization (HE) provides high contrast yet impacted in shift of AMBE value. However, after equalizing by various methods focusing on the AMBE value preservation, the contrast is disregarded; most cases provide only AMBE preservation and ignore contrast improvement. This study attempts to maintain the value of AMBE and also improves the contrast as it has been done through HE method. Stages of this research are referred to our previous research proposing methods of Multipeak Histogram Equalization [3] that equalizes each sub-histogram identified by location of appropriate thresholds. However, there are a lot of peaks in histogram of an image with different objects inside. Therefore, the appropriate threshold locations are calculated from each peak in order to divide histogram into sub-histogram and then to equalize the divided histogram independently. In our approach, the input histogram will be segmented into an arbitrary number (AN)—the amount of divided peaks that are generated and calculated from sub-histograms depended on the input histogram shape—of sub-histograms using different thresholds according to the input

histogram.

According to the result images from above procedures, it is found that contrast of the image is not satisfied as well as the AMBE. Thus, the stretching out of the Dynamic Range of Sub-Histogram is applied in order to expand each sub-histogram.

The image resulted from the previous step gets higher contrast and preserved brightness. The higher contrast is proved with contrast improvement by finding out the Average Tenengrad, ATEN; the more ATEN value reaches higher, the more quality and contrast of the images are improved. Sometimes, the selected initial threshold value is not appropriate resulting in unmaintained AMBE value. Thus, it is necessary to shift threshold again in order to retrieve the AMBE value to be close to zero as much as possible.

Table 1 shows the detailed result from the Baboon image. Through the HE method, the original Baboon image has AMBE of 14.1076 and ATEN of 5.1681. This research computation process starts with detecting thresholds of local minima; the threshold position at 105 and 149 that provides the minimum AMBE at 2.0635 with ATEN at 5.0228. However, these values indicate that the result image has a high AMBE and low contrast. The enhancing process continues by employing the Shifting Range of ϵ to determine the new threshold, AMBE, and ATEN. This process continues iteratively until the most suitable threshold is found. The result image will has highest image contrast, complied with the preserved AMBE yet high ATEN. Fig.2 shows the Baboon image with the Shifting Range of $\epsilon = 40$ and the AMBE and ATEN values are 0.5661 and 5.3810 respectively.

Table 1. The enhanced Baboon image from the proposed method

Shifting Range (ϵ)	Threshold (T_1'')	Threshold (T_2'')	AMBE	ATEN
-	105	149	2.0635	5.0228
10	96	158	1.5548	5.4840
20	86	166	0.7676	5.4367
30	76	169	0.6332	5.4222
40	66	169	0.5661	5.3810

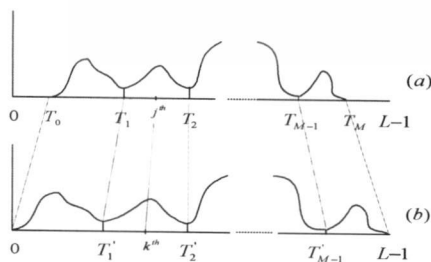


Fig. 1. The input histogram composed of M peaks with M + 1 local minimum point. (a) Input histogram (b) After the linear expansion



(a) original (b) proposed method
Fig. 2. The original and the enhanced Baboon image from the proposed method

Simultaneous Mean Brightness Preservation and Contrast Improvement via Multi-Peak Histogram Equalization

Fusak Cheevasuvit* Non-member, Nattapong Phanthuna** Non-member
Phongchai Nilas* Non-member

(Manuscript received Jan. 29, 2011, revised June 17, 2011)

Histogram Equalization is a traditional image improvement method for enhancing image contrast. However, this image contrast improvement is unsuitable for some consumer electronic applications since mean brightness of output image is different from that of the original image. Nevertheless, when the average brightness of the output image is close to the mean brightness of the original image, its contrast is also decreased thereby reducing efficiency of contrast improvement algorithm. In this paper, we propose a method that not only preserves the mean brightness but also improves the contrast of the output image. By separating the Histogram into Sub-histograms or Multi-peak histogram based on local minima, each sub-histogram will be spread out in a maximum dynamic range based on their gray level interval proportions. Subsequently, the conventional histogram equalization is independently applied to sub-histogram of each peak. To preserve the mean brightness, positions of local minima will be finely adjusted by shifting them within a certain gray scale interval. During each adjustment, sub-histograms of the two local minima which connected to the new local minimum point are re-equalized again. Finally, standard deviation will be normalized in order to improve contrast of the output image.

Keywords : Mean Brightness Preservation, Contrast Improvement, Multi-Peak, Histogram Equalization, Tenengrad

1. Introduction

Technique entailing pixel modification of the input image resulting in image improvement and enhancement might be termed as Histogram Equalization. Proposing methods for image enhancing and equalizing, many research papers have been invested in the field to improve the image quality or to propose approaches in mean brightness preservation of the input image after the equalizing procedure; yet the outcome is sometime no more utilized with some consumer electronics or types of displaying monitors. Mean brightness preservation was first proposed by Kim⁽¹⁾. In (1), the input histogram is partitioned into two sub-histograms (or sub-images) by the mean gray level of the input image. This method is referred to as brightness preserving bi-histogram equalization (BBHE). Each sub-histogram will be equalized independently via general conventional histogram equalization. Similarly, Wan⁽²⁾ introduced a method which is called equal area dualistic sub-image histogram equalization (DSIHE). DSIHE uses the median of gray level of the input image as the threshold for separating the input histogram into two sub-histograms. Wongsritong⁽³⁾ has proposed a method which splits the input histogram into many sub-histograms depending on input image type. Each sub-histogram will be equalized independently. The splitting thresholds are obtained from local minima in one dimension curve of input histogram. This method is referred to as multi-peak histogram equalization with brightness

preservation (MPHEBP). Chen has proposed recursive mean-separate histogram equalization (RMSHE)⁽⁴⁾ and also minimum mean brightness error bi-histogram equalization (MMBEBHE)⁽⁵⁾. Ibrahim has proposed brightness preserving dynamic histogram equalization (BPDHE)⁽⁶⁾. This method⁽⁶⁾ splits the input histogram into many sub-histograms based on local maxima. Each sub-histogram is equalized and then all gray levels are normalized to ensure that the output mean is close to the input mean. Also, many papers have been presented for preserving input mean such as⁽⁷⁾⁽⁸⁾. Most of these methods tried to keep the output mean brightness to be close to that of the input. So far, the absolute mean brightness error (AMBE) is commonly used as a performance indicator of the mean preserving method. In general, when AMBE approaches zero, the contrast of the output image is usually close to the original image and make an undesirable outcome for histogram equalization because the contrast and quality of image do not seem to be improved in a poor contrasting input image. Moreover, the both mentioned BBHE and DISHE method still imposed some limitations; the methods require higher degree of brightness preservation to avoid annoying artifacts. While HE method change brightness of the input image so that it is not regularly applied to consumer electronics like television.

To eliminate the mentioned drawback, we propose a new method which simultaneously preserves the input mean brightness and improves contrast. In our proposed method, the AMBE of the final outcome virtually approach zero; that means almost all of the mean brightness of the input image is preserved. Furthermore, enhancing image gradient (or image contrast) to be far superior, the method can improve the contrast of low-contrast-scale image. As a result, the output image can be use with the display of consumer electronic products including televisions and mobile devices: cell phone, tablet, etc. Through the equalization

* King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, THAILAND 10520

** King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, THAILAND 10520

procedure, the input histogram will be segmented into an arbitrary number (AN)—the amount of divided peaks that are generated and calculated from sub-histograms depended on the input histogram shape—of sub-histograms using different thresholds according to the input histogram. These thresholds can be obtained by local minima. Then each dynamic range of sub-histogram will be fully stretched out by its proportion ratio over the whole range of the histogram and each sub-histogram will be equalized independently. In order to preserve the input mean brightness, each threshold will be finely adjusted. Whenever a threshold is changed, the two adjacent sub-histograms of this common threshold will be re-equalized, while others will not be changed, and the AMBE is calculated. The thresholds which give the minimum AMBE will be selected. Finally, to improve contrast of the output image, standard deviation will be normalized to the one which is obtained from the whole or global image histogram equalization.

In this paper, global histogram equalization method (HE) and AMBE for measuring the efficiency of mean brightness preserving is described in section 2. Method for obtaining the minima of AMBE by detecting the thresholds based on local minima of input histogram is described in section 3. The dynamic range expansion of sub-histograms is presented in section 4 and contrast improvement method is mentioned in section 5. The result of the proposed method is concluded in section 6.

2. Histogram Equalization and Mean Preserving Evaluation Function

Let an input image $X = I(x, y)$ consists of discrete gray levels in the range of $[0, L-1]$, where L is the highest gray level value of the image. To enhance contrast of the input image, the HE method is used to flatten and stretch out the input histogram over the whole dynamic range. This can be accomplished by the cumulative distribution function s_k or $C(r_k)$.

$$s_k = C(r_k) = \sum_{i=0}^k P(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{N} \dots\dots\dots (1)$$

Where $0 < r_k \leq 1$, $0 < s_k \leq 1$ and $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$. n_i is the frequency of pixel in the i^{th} gray level and N is the total pixels in the image. $P(r_i)$ stands for the probability density function of pixel in i^{th} gray level and $C(r_k)$ is the cumulative density function.

The HE method gives a high contrast image. However, the mean brightness of the resulting image shifts away from the input one; therefore the processed result is not suitable for some consumer electronic products. Chen⁽⁵⁾ has evaluated the mean brightness preservation performance by AMBE equation.

$$AMBE = |E(Y) - E(X)| \dots\dots\dots (2)$$

Where $E(\cdot)$ is the expected value, X and Y are the inputs image and output image respectively.

It is found that the HE method gives a high AMBE value (mean brightness is not preserved). This paper proposes a method of multi-peak histogram (or sub-histogram) equalization to maintain the mean brightness of the output enhanced image as most closely as the input image.

3. The Thresholds Detection for Minimum AMBE

Histogram of an input image composes of many peaks which correspond to objects in the image. However, each peak (or each

sub-histogram) in the histogram of the input image is quite difficult to detect due to regular fluctuation and disappearance of some gray levels. To enhance the image, this research utilizes the method of multi-peak histogram equalization (3). The histogram needs to predict the lost gray levels before smoothing the regular fluctuation making a smoothed histogram which is uncomplicated to detect each peak of the histogram. This smoothed histogram is a required step for the forthcoming detecting peaks and stretching out of dynamic range in the histogram. As presented in (3), nine consecutive probabilities of gray level will be averaged to determine the central gray level in the smoothed histogram. Thresholds are used to divide the histogram, which is already smoothed, into sub-histogram by local minima of the first derivative of the histogram. Nevertheless, regular fluctuation might still exist; to avoid the regular fluctuation of the signs, the oscillated signs will be eliminated. Sign differential process is applied with three consecutive signs for smoothing as shown in following examples.

+ - + is changed to + + +
 - + - is changed to - - -

Local minima of thresholds are required to separate each peak of the input histogram. These local minima can be estimated by observing the fluctuating probabilities of the smoothed histogram. The threshold is detected when probabilities vary from negative to positive. The threshold from the local minima can be detected by the succession from negative sign followed by right positive signs. In this research, the fluctuating probabilities are defined in the series of four negative followed by eight positive to ensure that the detected threshold is the absolute local minimum point. So, the input histogram is divided into M peaks by $M+1$ local minimum. The input histogram composed of M sub-histograms which are X_1, X_2, \dots, X_M . The input image X is

$$X = X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_M \dots\dots\dots (3)$$

These M peaks or sub-histograms are separated by $M+1$ local minima which are $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{M-1}, T_M$ as shown in Fig. 1 (a). Each peak is composed of a certain number of gray levels as presented in the following equations.

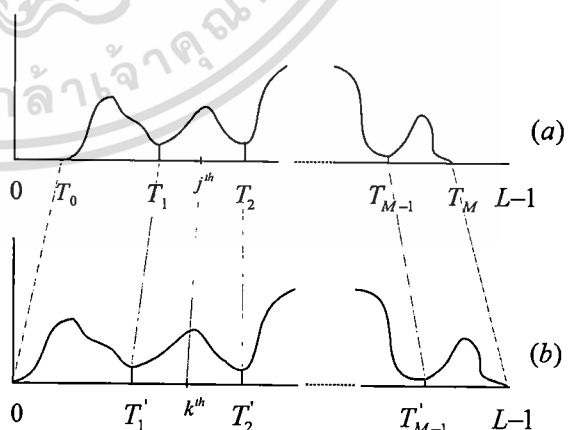


Fig. 1. The input histogram composed of M peaks with $M+1$ local minimum point. (a) Input histogram. (b) After the linear expansion

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \{I(x,y); T_0 \leq I(x,y) < T_1, \forall I(x,y) \in \mathbf{X}\} \\
 X_2 &= \{I(x,y); T_1 \leq I(x,y) < T_2, \forall I(x,y) \in \mathbf{X}\} \\
 &\vdots \\
 X_M &= \{I(x,y); T_{M-1} \leq I(x,y) \leq T_M, \forall I(x,y) \in \mathbf{X}\}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Where T_0 and T_M are the first and the last gray levels which appear in the input image.

4. The Stretching Out of Dynamic Range of Sub-Histogram

The dynamic range of existing gray levels in poor contrasting input image is generally narrow. Hence, each detected range of sub-histogram will be stretched out by linear proportional ratio over the full dynamic range of encoded gray scales. As presented in (9), the new expanded dynamic range of the i^{th} sub-histogram can be calculated by the following equation.

$$range_i = \left(\frac{T_i - T_{i-1}}{T_M - T_0} \right) (L-1) \tag{5}$$

The mapping function (5) maps histogram of the input image $\mathbf{X} = I(x,y)$ onto the new histogram of image $\mathbf{Y} = I'(x,y)$. Moreover, the $M+1$ thresholds $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{M-1}, T_M$ will be linearly mapped onto $0, T'_1, T'_2, \dots, T'_{M-1}, L-1$. After expansion, the input histogram can be demonstrated as in Fig. 1 (b). Therefore, the intensity at j^{th} gray level will be changed to the k^{th} level by the following transformation equation.

$$k^{th} = \left(\frac{j^{th} - T_{i-1}}{T_i - T_{i-1}} \right) (T'_i - T'_{i-1}) + T'_{i-1} \tag{6}$$

Where $T_{i-1} \leq j^{th} \leq T_i$ and $T'_{i-1} \leq k^{th} \leq T'_i$, with $T'_0 = 0$ and $T'_M = L-1$.

Each sub-histogram after linear expansion is then further processed by conventional histogram equalization. Absolute difference between expected values of the input image and the output image (AMBE) is used for evaluating performance of brightness preservation as shown in equation (2). In order to obtain the minimum AMBE, initial value of $M-1$ thresholds, $T'_1, T'_2, \dots, T'_{M-1}$ must be finely adjusted in a certain intervals of ϵ as shown in Fig. 2. The finely adjusted threshold T''_i can be obtained by shifting it in an interval of $[T'_i - \epsilon, T'_i + \epsilon]$, where $1 \leq i \leq M-1$. The final optimal thresholds $T''_1, T''_2, \dots, T''_{M-1}$ must satisfy the following conditions:

$$T'_i - \epsilon \leq T''_i \leq T'_i + \epsilon \tag{7}$$

$$T'_1 - \epsilon > 0 \text{ and } T'_{M-1} + \epsilon < L-1 \tag{8}$$

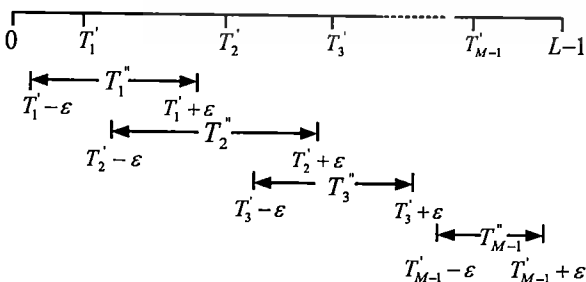


Fig. 2. Adjusting interval for thresholds $T''_1, T''_2, \dots,$ and T''_{M-1}

$$T'_i - \epsilon > T'_{i-1} \text{ and } T'_i + \epsilon < T'_{i+1} \tag{9}$$

As a result of linear expansion and threshold adjustment, the value of threshold T'_i is changed. Two sub-histograms around this threshold will be re-equalized once again, while the other sub-histograms remain unchanged. When T'_i is changed, the AMBE value will be recalculated and recorded to determine the optimum threshold that gives the minimum AMBE. The process repeats itself for each threshold until the last one, T'_{M-1} , is obtained. At this point, the output image $\mathbf{Y}' = I'(x,y)$ gives the overall minimum AMBE value.

5. Contrast Improvement

With other brightness preservation methods, their resulting image closely resembles the input image with its AMBE value close to zero. Since shape of the processed histogram is almost unchanged; contrast of the resulting image is not improved. As presented in (10), the Tenengrad (TEN) value is proposed for measuring the contrast enhancement quality of the resulting image. For the image with higher quality, its TEN value is larger. The TEN value of pixel at co-ordinate (x,y) of the image is calculated from its gradient $\nabla I'(x,y)$. The gradient magnitude is obtained by convoluting the directional gradient masks with the considered image. The most common gradient masks are the masks of Sobel as shown in the following equation.

$$i_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad i_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

The gradient magnitude at co-ordinate (x,y) is obtained by

$$M(x,y) = \sqrt{(i_x * I'(x,y))^2 + (i_y * I'(x,y))^2} \tag{11}$$

and the TEN value is calculated by

$$TEN = \sum_x \sum_y M(x,y)^2 \tag{12}$$

However, for more convenient comparison of enhancement quality of processed images, we proposed to use average of TEN value by the following equation

$$ATEN = \frac{TEN}{N} \tag{13}$$

Where N is the total number of pixels in the considered image.

In general, an image with a greater standard deviation value gives a higher contrast. To improve contrast of mean preserving image of HE method, we need to match the standard deviation σ_i of the image $I'(x,y)$ (obtained from section 4) onto the standard deviation σ_r of HE method while the mean brightness m_i of the image $I'(x,y)$ is preserved as the mean brightness m_r of the original image $I(x,y)$. The transformation formula to satisfy the desired objectives can be written as the following equation.

$$I''(x,y) = \frac{\sigma_r}{\sigma_i} I'(x,y) + m_r - \frac{\sigma_r}{\sigma_i} m_i \tag{14}$$

Hence, the final output image $\mathbf{Y}'' = I''(x,y)$ will satisfy the desired objectives: brightness preserving and contrast improving.

6. The Result of Proposed Method

Fig. 3 (a) shows an input image of Baboon. In this case, we utilized the Multi-peak histogram (3) to identify the threshold

positions. Four detected threshold positions (T_0, T_1, T_2, T_3) divide the original histogram into three histogram peaks. Then, the process was continued to find the lowest AMBE (minimum AMBE) by adjusting the threshold positions in shifting ranges of the gray level. Therefore, optimal threshold positions could be met by replacing those on both sides of roughly detected threshold positions. Many shifting ranges, such as $\pm 5, \pm 10, \pm 15, \pm 20$, were used to finely adjust the threshold position to verify the lowest AMBE. In each assigned shifting range, only the smallest AMBE and the corresponding threshold positions were recorded. To improve image contrast, the transformation formula of equation (14) was applied onto the considered image. Improvement of AMBE and $ATEN$ values are shown in the Table 1 and 2.

Another input image, F16, is shown in Fig. 3 (b). In this case, five thresholds (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4) could be detected. Therefore the input histogram was divided onto 4 sub-histograms. Its result is presented in Table 2.

Our implementation increases image contrast as well as preserves the mean of the original image. Therefore, we obtain a better resulting image than other previous methods, both in terms of brightness preservation and contrast improvement, as shown in the results in Table 3, 4.

For the comparison of the proposed method with the previous methods, 8 input images from (4), (5) are used. As shown in Table 3, the proposed method gives high efficiency for mean

brightness preservation. Table 4 shows that the proposed method keeps standard deviation close to the standard deviation obtained from the HE method. Table 4 also shows that the proposed method provides a higher $ATEN$ image resulting in a higher contrast or a

Table 1. Baboon with some shifting range sizes

HE Method		AMBE	$ATEN$			
		14.1076	5.1681			
Proposed Method						
Shifting Range (ϵ)	Threshold (T_1^*) (T_2^*)		AMBE and $ATEN$			
			Without equation (14)		With equation (14)	
		AMBE	$ATEN$	AMBE	$ATEN$	
-	105	149	6.568	5.113	2.0635	5.0228
10	96	158	5.512	5.190	1.5548	5.4840
20	86	166	3.837	5.234	0.7676	5.4367
30	76	169	3.678	5.233	0.6332	5.4222
40	66	169	3.458	5.216	0.5661	5.3810

Table 2. F16 with some shifting range sizes

HE Method		AMBE	$ATEN$				
		48.7	1.7879				
Proposed Method							
Shifting Range (ϵ)	Threshold (T_1^*) (T_2^*) (T_3^*)			AMBE and $ATEN$			
				Without equation (14)		With equation (14)	
			AMBE	$ATEN$	AMBE	$ATEN$	
-	37	64	133	0.433	2.018	0.304	2.2406
10	27	74	124	0.298	2.233	0.128	2.3575
20	19	74	115	0.093	2.204	0.068	2.2016
30	19	91	115	0.091	2.198	0.018	2.2934

Table 3. Absolute mean brightness error (AMBE)

IMAGE	AMBE				
	HE	BBHE	DSIHE	MMBEBHE	Proposed Method
Arctic hare	75.74	24.2	37.9	13.5	11.5819
Airplane2	65.73	15.89	27.80	2.83	2.3967
Clocks	13.81	5.97	13.96	5.29	0.0035
Baboon	14.11	0.65	0.66	0.77	0.5661
Splash	17.43	10.14	11.45	0.95	0.9210
Pepper	5.58	4.96	4.99	0.74	0.0657
House	5.18	13.37	8.63	2.42	0.0697
F16	48.7	0.35	14.6	0.02	0.01841

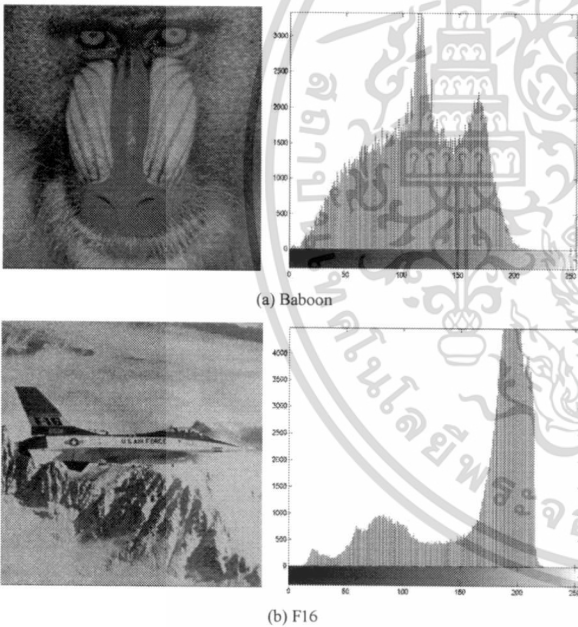


Fig. 3. the Original images and their histograms

Table 4. The result of $ATEN$ and S.D. of each images

IMAGES	Original		HE		BBHE		DSIHE		MMBEBHE		Proposed Method	
	$ATEN$	S.D.	$ATEN$	S.D.	$ATEN$	S.D.	$ATEN$	S.D.	$ATEN$	S.D.	$ATEN$	S.D.
Arctic hare	0.1256	52.7309	0.7479	88.3441	1.0445	78.1794	0.0703	79.0489	0.1861	59.0266	2.0319	88.2778
Airplane2	0.2511	33.0725	0.6553	74.9306	0.2481	77.1544	1.0775	73.1001	0.5689	72.0905	1.3874	74.9006
Clocks	0.0025	57.2497	1.0407	74.8019	0.3177	77.6743	0.2224	82.6133	0.2369	65.9124	0.8972	74.2717
Baboon	4.0982	43.3851	5.1338	74.8465	5.1788	75.3884	2.0456	59.0943	4.8100	73.5569	5.3810	73.9849
Splash	0.1220	50.6061	1.2717	74.8225	0.8543	75.9359	0.5033	59.3065	0.5347	73.5333	1.2393	74.7999
Pepper	0.1874	53.1518	0.7829	74.7900	0.7875	74.3659	0.1558	59.9039	0.1874	55.4147	1.9044	74.7800
House	0.0589	46.0225	0.4736	74.7876	0.0544	73.9551	0.3012	63.8661	0.0614	48.8687	0.6205	74.2756
F16	0.3974	50.1211	1.7879	74.8082	1.4129	76.2615	1.4166	73.3164	0.7788	50.9938	2.2934	73.9632

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

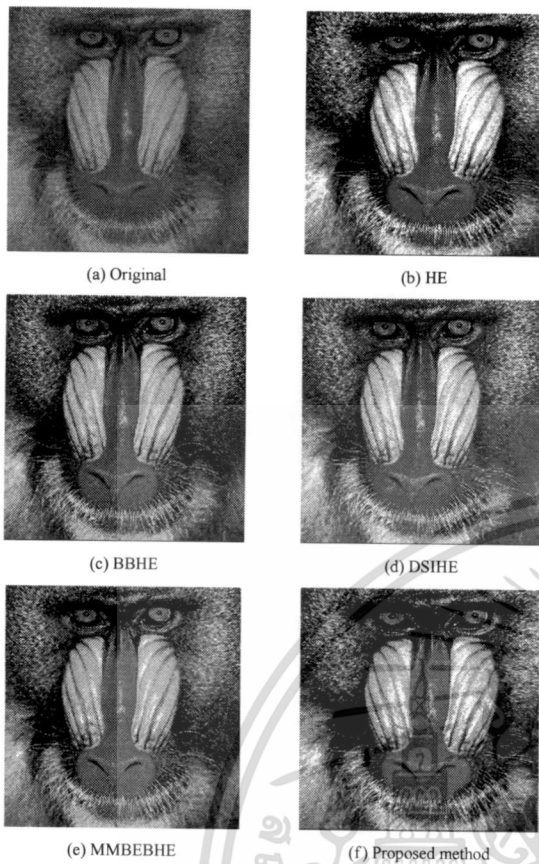


Fig. 4. Enhancement results for the Baboon image

better quality (10). The image results from various methods are presented in Fig. 4.

7. Conclusion

The proposed method tries to preserve the mean brightness of the input image after the histogram equalization procedure. First of all, the histogram of input image is divided into many peaks corresponding to the detected thresholds. Then the histogram of each peak will be stretched out by linear proportional ratio and histogram equalization will be done for each peak independently. Next, in order to obtain the lowest AMBE, each roughly detected threshold will be finely adjusted in a certain defined shifting range. The result shows that a large ε range gives a low AMBE. To improve contrast of the output image, the transformation formula is used in order to force standard deviation of final output image to be the same as that obtained by HE method. Simulation results show that the proposed method gives higher *ATEN* value which means a higher quality of enhanced image will be obtained.

References

- (1) Y. T. Kim : "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol.43, No.1, pp.1-8 (1997-2)
- (2) Y. Wan, Q. Chen, and B.-M. Zhang : "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-image Histogram Equalization Method", IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol.43, No.1, pp.1-8 (1997-2)

- (3) K. Wongsritong, K. Kittiyaruasirawat, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, and A. Somboonkaew : "Contrast enhancement using multippeak histogram equalization with brightness preserving", IEEE Asia-Pacific Conf. on Circuit and Systems, pp.455-458 (1998-11)
- (4) S. D. Chen and A. Ramli : "Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preserving", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.49, No.4, pp.1301-1309 (2003-11)
- (5) S. D. Chen and A. Ramli : "Minimum mean brightness Error bi-histogram equalization in contrast enhancement", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.49, No.4, pp.1310-1318 (2003-11)
- (6) H. Ibrahim and N. S. P. Kong : "Brightness preserving dynamic histogram equalization for image contrast enhancement", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.53, No.4, pp.1752-1758 (2007-11)
- (7) D. Menotti, L. Najman, J. Facon, and A. de A. Araujo : "Multi-histogram equalization Methods for contrast enhancement and brightness preserving", IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol.53, No.3, pp.1186-11194 (2007-8)
- (8) N. Sengee and H. K. Choi : "Brightness preserving weight clustering histogram equalization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.54, No.4, pp.1752-1758 (2008-8)
- (9) M. Abdullah-AL-Wadud, MD. H. Kabir, M. A. AKber Dewan, and O. Chae : "A Dynamic Histogram Equalization For Image Contrast Enhancement," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.53, No.2, pp.593-600 (2007-5)
- (10) Z. Y. Chen, B. R. Abidi, D. L. Page, and M. A. Abidi : "Gray-level Grouping (GAG): An automatic method for optimized image contrast enhancement-Part I: The basic method", IEEE Trans. on Image Processing, Vol.15, No.8, pp.2290-2302 (2006-8)



Fusak Cheevasuvit (Non-member) received the B.Eng. and M.Eng. degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 1977 and 1979, respectively. He also received the Doctor of Engineering degree from the Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications (Telecom Paris), Paris in 1984. He is an Associate Professor.



Nattapong Phanthuna (Non-member) received the Bachelor Engineering degree in Electrical Power from Rajamangala University of Technology, Thailand. He received Master of Business Administration degree in Industrial Management from Sripatum University; he received his Master Engineering degree in Instrumentation Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. Currently he is pursuing his Doctor of Engineering Program in Electrical Engineering in the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. His research interest includes image enhancement, power quality and wireless communications.



Phongchai Nilas (Non-member) received his B.S. (Honor) degree in Instrumentation Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand. He acquired his M.S. and Ph.D. in Electrical Engineering and Computer Science from Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA, where he was a Fellow of Robotics and Autonomous Systems Laboratory. He is currently an Assistant Professor in Electrical Engineering, Instrumentation Engineering Department, KMITL. Dr. Nilas's current researches involve intelligent robotics for disabled person, information security, computer vision and image analysis in three different areas: sensory-guided robotics, intelligent human-machine interaction, and information-encryption/hiding in real-time signal processing.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพงศ์ พันธุ์นะ
วัน เดือน ปีเกิด สถานที่เกิด	11 กันยายน 2517 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	91/379 หมู่บ้านปัฐวิกรณ์2 ถนนรามอินทรา ต.คลองกุ่ม แขวงบึงกุ่ม จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10230
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2539
ปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550 บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต การบริหารอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม 2542
ประสบการณ์ทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พระนครเหนือ 2539 ถึงปัจจุบัน

ผลงานวิจัยการประชุมวิชาการ

1. Nattapong Phanthuna , Fusak Cheevasvit, Sakreya Chitwong “**Contrast Enhancement for minimum mean brightness error from histogram partitioning**”, Reflection of the past, Vision for the Future, ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, Maryland, USA. March 9-13,2009
2. Fusak Cheevasvit, Sakreya Chitwong, Nattapong Phanthuna “**Simplified method of high-resolution sharpening in fused imgs based on IHS transform**”, 2010 The 3rd International Conference on Machine Vision (ICMV 2010), Hong Kong, 28-30 December, 2010
3. Fusak Cheevasvit, Sakreya Chitwong, Nattapong Phanthuna, Thaweesak Trongtrirakul, “**Mean Brightness Preserving in Sub-Region Sharpening via Histogram Equalization**”, 2010 The 3rd International Conference on Machine Vision (ICMV 2010), Hong Kong, 28-30 December, 2010
4. Fusak Cheevasvit, Nattapong Phanthuna, Phongchai Nilas, “**Simultaneous Mean Brightness Preservation and Contrast Improvement via Multi-Peak Histogram Equalization**” The Journal IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.131 No.11,2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้