



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง กฎพีชซีสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด
โดย นายอนรรจน์ สกุลทอง

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก)

27 กันยายน 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตยสุวัฒน์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุ่ง มีลัจ)

กฎพีซีซีสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

นายอนรรตน์ สกุลทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตรบัณฑิตสาขารัฐประศาสนศาสตร์

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-19-0814-3

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายอนรรตน์ สกุลทอง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : กฎฟิชซีสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด
สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรัตนปัญญา
: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตยสุวัฒน์
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพมาก แต่เนื่องจากกรณีที่ภาพที่บันทึกได้นั้นมีส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดมืด ทำให้ไม่สามารถใช้ในการตรวจสอบวัตถุภายในภาพได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงภาพให้มีความสว่างมากขึ้นด้วยวิธีการสร้างกฎของฟิชซีขึ้นมา เรียกว่า “ฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟิชซี” โดยมีวิธีการปรับปรุงภาพเริ่มจากแนวความคิดพื้นฐานในการกระจายตำแหน่งค่าความเข้มสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม (Histogram) ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำ ให้อยู่ในรูปแบบของสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ซึ่งมีหลักการเบื้องต้นดังนี้คือ ขั้นตอนแรก แบ่งค่าความเข้มสีออกเป็น 3 ช่วงดังนี้คือ 25%, 50% และ 25% ตามลำดับ จากนั้น กำหนดจุดสมมูล 2 จุดที่ตำแหน่งค่าความเข้มสี 25% และ 75% ก่อนจะทำการย้ายตำแหน่งจุดสมมูลทั้งสองไปยังตำแหน่งค่าความเข้มสีที่ 64 และ 192 (ในภาพขนาด 8 บิต) ขั้นตอนสุดท้ายทำการสร้างค่าความเป็นสมาชิก (Membership Values) ขึ้นมา ระหว่างจุดทั้งสี่คือ 0%, 25%, 75% และ 100%. ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้้นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพในรูปแบบเดียวกันที่นิยมใช้รวมทั้งวิธีฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (Histogram Equalization) แล้วปรากฏว่าได้ผลดีกว่าอย่างชัดเจน นอกจากนั้นแล้วยังสามารถนำไปใช้ปรับปรุงภาพในรูปแบบอื่นๆ ได้ดีอีกด้วย

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 75 หน้า)

คำสำคัญ : การปรับปรุงคุณภาพของภาพ, กล้องโทรทัศน์วงจรปิด,
ฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟิชซี, ฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน,
ระบบรักษาความปลอดภัย



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr. Anurat Sakunthong
Thesis Title : A Fuzzy Rule for Image Enhancement on CCTV
Major Field : Computer Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr. Kuntpong Woraratpanya
: Assistant Professor Dr. Supot Nitsuwat
Academic Year : 2006

Abstract

A CCTV camera is one of the most commonly used acquisition devices for surveillance systems, but in dark areas its captured image sequence is not brilliant. This leads to an obstacle for detecting and monitoring objects in a scene. For this reason, a novel fuzzy rule called "balanced histogram fuzzy rule" for enhancing the dark image is proposed. The basic idea of this method is to distribute an intensity histogram of the low gray-levels to be a form of an isosceles triangle. In order to achieve this concept, the following designing phases are presented as follows. First, the intensity resolution is divided into three intervals, 25%, 50%, and 25%, respectively. Then two balanced points need to set at 25% and 75% of intensity resolution before moving them to the new positions at 64 and 192 of 8 bits gray-levels, respectively. Finally, membership values are regenerated between these positions. In this way, the experimental results show that the proposed approach achieves better perceptual when compared with the well-known method, histogram equalization. Moreover, it also outperforms the state-of-the-art image enhancement based on fuzzy techniques.

(Total 75 pages)

Keywords : Image enhancement, CCTV, balanced histogram fuzzy rules,
histogram equalization, surveillance system.



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือของหลายฝ่าย ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พงษ์ วรรณปัญญา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตยสุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จรัญ แสนราช และอาจารย์ประจำภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีเรื่อยมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้มีอุปการะทุกท่าน รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องคอยให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจนสามารถทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อนรรัตน์ สกุลทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV)	3
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	5
2.3 ฮิสโตแกรม (Histogram)	9
2.4 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	31
3.2 หลักการและแนวความคิด	32
3.3 การสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์	41
3.4 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	46
3.5 การทดสอบโปรแกรม	47
บทที่ 4 ผลของการวิจัย	50
4.1 ภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV)	50
4.2 ภาพจากกล้องดิจิทัล (Digital Camera)	58
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	64
4.4 สรุปผลการทดลอง	65
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อดีของวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่	67
5.3 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย	67
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก ก	70
โคดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Program Codes)	71
ประวัติผู้วิจัย	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 คุณสมบัติของพีซีเซต	19

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ตัวกล้องและเลนส์	4
2-2 มอนิเตอร์ของกล้องโทรทัศน์วงจรปิด	4
2-3 การเชื่อมต่อระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิดเบื้องต้น	4
2-4 การบันทึกภาพ (Image Acquisition)	5
2-5 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ (Image Sampling)	6
2-6 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพด้วยจำนวนจุดภาพต่างกัน	6
2-7 การประมาณค่าความเข้มแสง (Image Quantization)	7
2-8 การลำดับค่าสีด้วยเลขฐานสอง	7
2-9 การแทนค่าสีด้วยตัวเลข	8
2-10 ภาพที่มีขนาดบิตต่างกัน	8
2-11 ฮิสโตแกรมและภาพถ่าย	9
2-12 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มต่ำ	10
2-13 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มสูง	10
2-14 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบกว้าง	10
2-15 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบแคบ	11
2-16 ตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) กับตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic)	11
2-17 เพอร์เซนต์ความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ	12
2-18 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ	13
2-19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน	14
2-20 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและเซตแบบฟัซซี	15
2-21 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตแบบไม่ต่อเนื่อง A	16
2-22 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตแบบต่อเนื่อง A	17
2-23 การยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต A และ B	17
2-24 การอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต A และ B	18
2-25 การคอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต A	18
2-26 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม	19
2-27 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู	20
2-28 ฟังก์ชันเกาส์เซียน	20
2-29 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ	21
2-30 ฟังก์ชันตัวเอส	21
2-31 ฟังก์ชันตัวแซด	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-32 ตัวอย่างตัวแปลภาษา	23
2-33 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี่	24
2-34 ฟังก์ชัน Possibility Distribution สำหรับการคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิก	25
2-35 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากวิธีของ FHH	27
2-36 ฟังก์ชันจัดเทียบที่ได้จากวิธีของ FHH	28
2-37 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากวิธี Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules	29
3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	32
3-2 ภาพและฮิสโตแกรมจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด	33
3-3 ฮิสโตแกรมของภาพที่ต้องการปรับปรุงและฮิสโตแกรมของภาพในอุดมคติ	33
3-4 การแบ่งรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วออกเป็น 3 ส่วน	34
3-5 เปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วกับฮิสโตแกรมในอุดมคติ	35
3-6 การแบ่งพื้นที่ของเปอร์เซ็นต์รวมฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ	35
3-7 กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเทียบกับฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ	36
3-8 กราฟฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) จากวิธีฮิสโตแกรมสมดุล ด้วยกฎฟัซซี่	37
3-9 การปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรมให้มีรูปแบบในอุดมคติ	38
3-10 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุลจุดที่ 1 น้อยกว่า 25% และจุดที่ 2 มากกว่า 75%	39
3-11 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุลจุดที่ 1 มากกว่า 25% และจุดที่ 2 น้อยกว่า 75%	39
3-12 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุล 1 จุดเข้าใกล้ 0% และ 100%	40
3-13 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุล 1 จุดเข้าใกล้ 50%	40
3-14 แผนผังขั้นตอนการปรับปรุงภาพ	41
3-15 ตำแหน่งของตัวแปร $G_{\min}$, P_1 , P_2 และ $G_{\max}$	42
3-16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ	43
3-17 ภาพและตัวเลขแสดงค่าระดับสีเทาขนาด 10x10 จุดภาพ	44
3-18 กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากสมการที่ 3-9	45
3-19 กราฟฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) ที่ได้จากสมการที่ 3-10	46
3-20 แผนผังการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	46
3-21 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่มีลักษณะ บางจุดมืดมาก ๆ และบางจุดสว่างมาก ๆ	47
3-22 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องดิจิตอลที่มีลักษณะค่อนข้างมืด	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-23 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องดิจิตอลที่มีลักษณะมีดมาก ๆ	49
4-1 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 1	52
4-2 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 2	53
4-3 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 3	54
4-4 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 4	55
4-5 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 5	56
4-6 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 1	59
4-7 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 2	60
4-8 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 3	61
4-9 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 4	62
4-10 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 5	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่ใช้สำหรับบันทึกเหตุการณ์เพื่อรักษาความปลอดภัยหรือกล้อง CCTV นั้นได้ถูกนำมาใช้ตามสถานที่ต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าภาพที่ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดนั้นจะสามารถช่วยทำให้การวิเคราะห์ตัวคนร้ายนั้นง่ายขึ้น แต่ก็ยังประสบปัญหาในเรื่องความไม่ชัดเจนของภาพ ความมืดของภาพซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องได้รับการแก้ไข ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากปริมาณแสงสว่างในบริเวณที่กล้องถูกติดตั้งอยู่นั้นมีน้อย หรือบริเวณที่คนร้ายปรากฏในภาพนั้นเป็นมุมที่มีความมืด ทำให้ภาพที่ได้นั้นยากต่อการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้สืบสวนหาตัวคนร้าย แนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวแนวทางหนึ่งก็คือการนำภาพที่มีความมืดนั้นมาทำการปรับปรุงคุณภาพให้มีความสว่างเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ดูชัดเจนมากที่สุดด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพในปัจจุบันนั้นกระทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่ได้ผลดีอีกวิธีหนึ่งคือการกำหนดค่าฮิสโตแกรมแบบอัตโนมัติโดยการนำทฤษฎีของฟัซซีเซต (Fuzzy Set) โดยเริ่มจากการกำหนดค่าฮิสโตแกรม (Histogram) ที่ต้องการในอุดมคติให้เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วและแบ่งพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมออกเป็น 3 ส่วนเพื่อกำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุล (Balanced Histogram Points) 2 จุด จากนั้นทำการค้นหาจุดสมดุลจากภาพต้นฉบับที่มีตำแหน่งตรงกับจุดสมดุลในอุดมคติ เพื่อใช้ปรับตำแหน่งของค่าฮิสโตแกรมจากตำแหน่งที่มีความเข้มของแสงมากให้เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในอุดมคติด้วยวิธีฮิสโตแกรมสมดุลด้วยกฎฟัซซี (Balanced Histogram Fuzzy Rules) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการที่ใช้รูปแบบของฟัซซีเซตเช่นเดียวกันรวมทั้งวิธีการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization) นั้นปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าอย่างชัดเจนอันเนื่องมาจากค่าฮิสโตแกรมของภาพที่ปรับปรุงแล้วนั้นอยู่ในตำแหน่งที่มีระยะห่างของช่วงระดับสีเทาน้อยกว่า จึงทำให้ภาพที่ได้แสดงรายละเอียดเนื้อหาในภาพได้ชัดเจนกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมสมดุลด้วยกฎฟัซซีสำหรับภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้ภาพนิ่งที่ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV)
- 1.3.2 ภาพที่ใช้เป็นภาพโทนสีเทา (Gray Scale)
- 1.3.3 ปรับความมืดของภาพให้สว่างแบบอัตโนมัติ
- 1.3.4 ปรับปรุงภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟิชชี
- 1.3.5 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการพัฒนา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 วิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟิชชีที่มีประสิทธิภาพ
- 1.4.2 นำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัยได้โดย ติดตั้งโปรแกรมไว้ในช่วงขั้นตอนการปรับปรุงภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

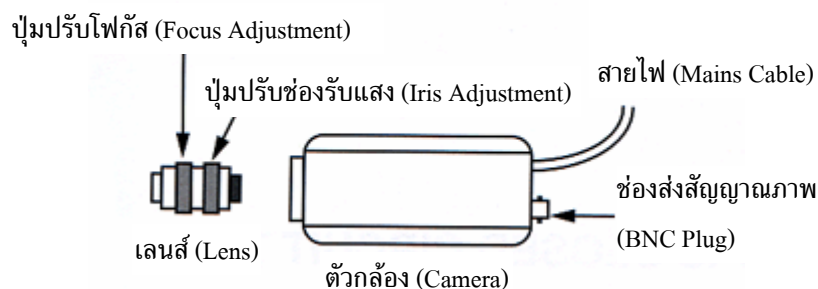
เนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด แบ่งออกเป็นส่วนๆ เริ่มตั้งแต่ในส่วนของพื้นฐานของระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด, การประมวลผลภาพ, การปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรม (Histogram), ทฤษฎีของฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic), ฟัซซีเซต (Fuzzy Set), ฟัซซีรูส์ (Fuzzy Rules) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงภาพด้วย Fuzzy Set โดยเริ่มจากระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

2.1 ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV)

2.1.1 กล้อง CCTV

CCTV ย่อมาจากคำว่า “Close Circuit Television” คือ ระบบที่เป็นวงจรแบบปิดและมีอุปกรณ์ทุกส่วนต่อกันโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากระบบแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ (Broadcast Television) ที่ผู้สัญญาณรับนั้นสามารถค้นหาและรับสัญญาณได้จากสายอากาศ โดยที่ระบบการต่อโดยตรงนี้อาจเชื่อมต่อกับสัญญาณ คลื่นวิทยุและคลื่นอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ CCTV ได้ถูกนำไปใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยโดยนำไปติดตั้งในห้างสรรพสินค้า ธนาคาร หน่วยงานราชการ เป็นต้น ซึ่งแท้จริงแล้ว CCTV สามารถนำไปใช้ได้อย่างไร้ขีดจำกัด ยกตัวอย่างดังนี้ ใช้ตรวจสอบสภาพการจราจร ใช้บันทึกภาพภายในเตาอบกรณีศึกษาปัญหา เป็นระบบชั่วคราวในการสำรวจภายในตัวเมือง บันทึกภาพอย่างซ้ำในการเปลี่ยนแปลงการขึ้นรูปพลาสติก ใช้บันทึกภาพแสดงส่วนที่ถูกซ่อนอยู่ของชิ้นส่วนทั้งหมด ซ่อนในรถประจำทางเพื่อควบคุมผู้ที่จะกระทำความผิด บันทึกการเกิดของลูกลิงกอริลาในสวนสัตว์ บันทึกภาพวิธีการดำรงชีวิตในป่าด้วยเฮลิคอปเตอร์ บันทึกภาพจากบอลลูน (Hot Air Balloon) บันทึกขั้นตอนการควบคุมในโรงงาน

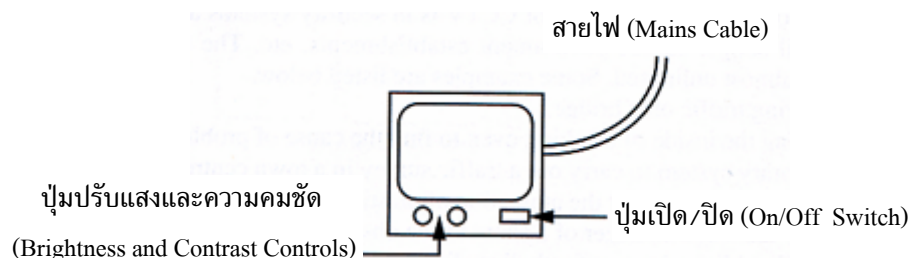
หน้าที่หลักของระบบ CCTV ก็คือส่วนของตัวกล้อง ซึ่งมีหน้าที่สร้างภาพเพื่อส่งต่อไปยังจุดควบคุม ตัวกล้อง CCTV นั้นไม่ได้เป็นส่วนเดียวกับเลนส์ เลนส์จะต้องแยกออกจากตัวกล้องและต่อเข้ากับส่วนหน้าของตัวกล้องด้วยสกรู ที่มีรูปแบบมาตรฐานสำหรับระบบ CCTV ซึ่งแตกต่างจากเลนส์ทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ตัวกล้องและเลนส์

2.1.2 มอนิเตอร์ (Monitor)

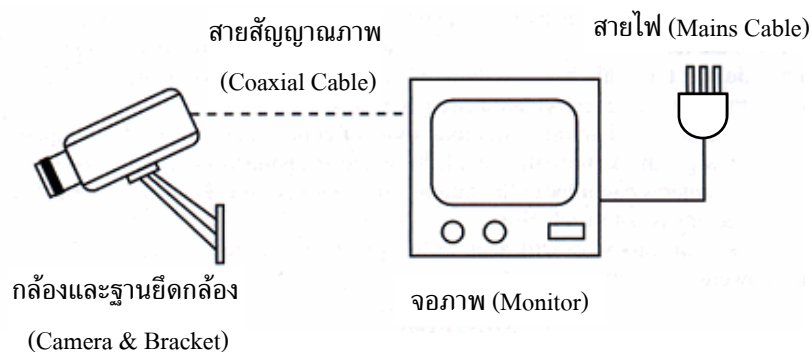
ภาพจะถูกสร้างจากกล้องและส่งไปยังส่วนควบคุม CCTV Monitor คือ การแสดงภาพ เช่นเดียวกับเครื่องรับโทรทัศน์ทั่วไป แต่ไม่มีส่วนของวงจรค้นหาสัญญาณนั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 มอนิเตอร์ของกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

2.1.3 ระบบ CCTV อย่างง่าย

ระบบ CCTV อย่างง่าย คือ ตัวกล้องจะถูกต่อโดยตรงไปยังจอภาพ ด้วยสายสัญญาณภาพ ภาพที่ 2-3 แสดงระบบการเชื่อมต่อในรูปแบบง่าย เพราะว่ามีหลักการต่อที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ สามารถทำได้ด้วยตัวเอง และใช้ส่วนประกอบน้อย



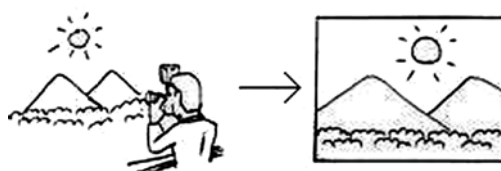
ภาพที่ 2-3 การเชื่อมต่อระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิดเบื้องต้น

ภาพที่บันทึกได้จากกล้อง CCTV นั้น ในปัจจุบันยังประสบปัญหาในเรื่องของความมืดของภาพ อันเนื่องมาจากปริมาณแสงสว่างในบริเวณนั้นมีน้อย จึงทำให้ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าวัตถุหรือคนในภาพนั้นเป็นใคร ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการปรับปรุงภาพให้มีความสว่างมากขึ้น ซึ่งภาพที่จะนำมาใช้ปรับปรุงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องเป็นภาพที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล โดยรูปแบบและวิธีการเปลี่ยนภาพให้เป็นดิจิทัลนั้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อการประมวลผลภาพ

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

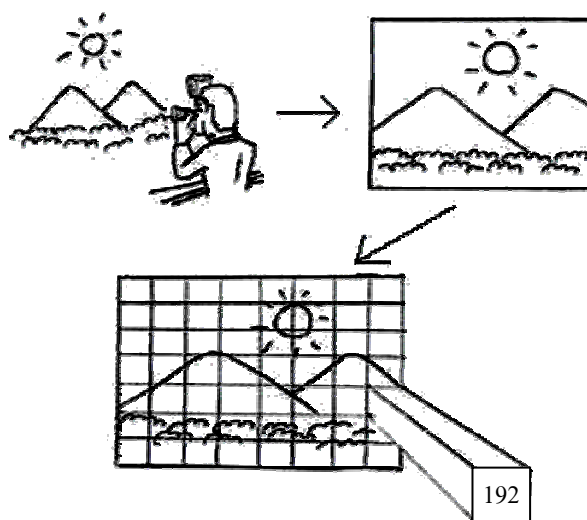
ภาพเป็นกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลากๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวนด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาสู่ประสาทรับรู้ทางตาของมนุษย์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ เช่น เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น ภาพดิจิทัลนั้นเป็น ฟังก์ชัน 2 มิติ หรือ $f(x,y)$ ของค่าความเข้มแสงโดยที่ x และ y คือ ค่าในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น กระบวนการแปลงภาพให้เป็นภาพในเชิงดิจิทัลเรียกว่า “Image Digitization” มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ การบันทึกภาพ (Image Acquisition), การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ (Image Sampling) และการประมาณค่าความเข้มของแสง (Image Quantization)

การถ่ายภาพเป็นการแปลงภาพเชิงต่อเนื่อง (Continuous Image) แบบ 3 มิติ ให้เป็นภาพเชิงต่อเนื่อง 2 มิติ โดยใช้อุปกรณ์เชิงแสง (Optical Device) เช่น กล้องถ่ายรูป เพื่อแปลงภาพให้มาเป็นภาพบนฟิล์ม (Film) ภาพถ่ายบนกระดาษ หรือภาพบนจอคอมพิวเตอร์ โดยปกติแล้วภาพที่มองเห็นกันอยู่นั้น มีทั้งความกว้าง ความสูง และความลึก ซึ่งเป็นแบบ 3 มิติ การถ่ายภาพด้วยกล้องจะทำให้ได้ภาพที่มีแต่ความกว้าง และความสูงเท่านั้น ซึ่งเป็นภาพแบบ 2 มิติ เพราะไม่อาจถ่ายภาพลึกลงของสถานที่มาได้ ในส่วนของการบันทึกภาพนี้ เป็นหน้าที่ของกลไกทางแสงในตัวกล้อง ที่จะทำหน้าที่รับภาพเข้ามา



ภาพที่ 2-4 การบันทึกภาพ (Image Acquisition)

การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ (Image Sampling) เป็นการแปลงภาพ 2 มิติที่ได้ให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง (Spatially Sampling) โดยสุ่มเลือกเฉพาะบางตำแหน่งในภาพ ซึ่งถ้าสุ่มเลือกมาจำนวนจุดมาก ภาพที่ได้ก็就会有ความละเอียดสูง หน่วยของการสุ่มเลือกก็คือจุดภาพ (Pixel)



ภาพที่ 2-5 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ (Image Sampling)

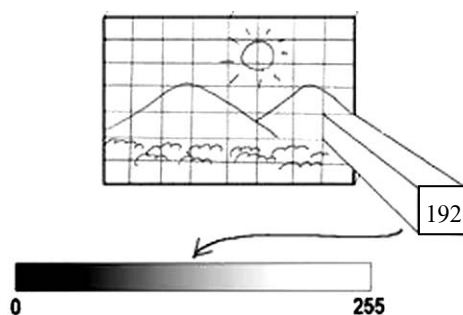
เหตุผลของการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพก็คือ ในการแสดงผลของจอภาพคอมพิวเตอร์นั้น หน่วยของความละเอียดในการแสดงผลนั้นเป็นจุดภาพ แต่ในโลกแห่งความเป็นจริง ภาพที่มองเห็นด้วยตา ไม่ใช่การเรียงกันของจุด แต่เป็นภาพเชิงต่อเนื่องกล่าวคือ ไม่สามารถแยกลงไปเป็นทีละจุดภาพๆ ได้ เพราะฉะนั้นเมื่อภาพนั้นมาอยู่ในคอมพิวเตอร์ ภาพจะต้องถูกปรับให้อยู่ในหน้าจอที่ประกอบด้วยจุดสี่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง หรือการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ จากที่ได้กล่าวมานี้ถ้าทำการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งด้วยความถี่มากเท่าใด คุณภาพของภาพที่ได้ก็จะดีขึ้น สามารถเปรียบเทียบภาพเมื่อขยายเท่าๆ กัน ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพด้วยจำนวนจุดภาพต่างกัน

จากภาพที่ 2-6 แสดงภาพๆ เดียวกัน แต่เมื่อทำการซูมเลือกจุดมาไม่เท่ากัน เมื่อนำภาพมาขยาย คุณภาพของภาพที่ได้จึงต่างกัน ภาพที่ 1 ซูมเลือก 128x128 จุด ภาพที่ 2 ซูมเลือก 64x64 จุด และภาพที่ 3 ซูมเลือก 32x32 จุด ในการซูมเลือกทางตำแหน่งนี้ ถ้าในระยะความกว้างและความสูงของภาพที่ซูมมีความละเอียดมากๆ เช่น ซูมด้วย 128 จุดภาพ คุณภาพของภาพก็จะดีขึ้น แต่ก็ต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลภาพมากขึ้น และขนาดของภาพก็จะมากขึ้นด้วย

การประมาณค่าความเข้มของแสง (Image Quantization) เมื่อได้ภาพจากการการซูมเลือกจุดตำแหน่งภาพแล้ว แต่ละจุดในภาพจะถูกแทนด้วยภาพโทนสีเทา (Grayscale Image) ซึ่งประกอบด้วยสีดำและไล่เฉดสีจางลงไปจนถึงสีขาวดังภาพที่ 2-7



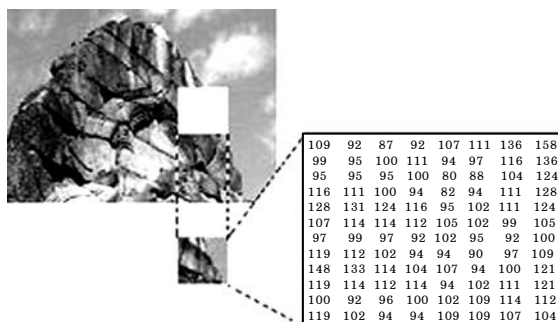
ภาพที่ 2-7 การประมาณค่าความเข้มแสง (Image Quantization)

สีดำจะแทนด้วยค่าตัวเลข 0 สีขาวจะแทนด้วยค่าตัวเลขคือ 255 รวมทั้งสิ้น 256 ระดับสี (0-255) หรือ 2 กำลัง 8 โดยที่ 8 หมายถึง จำนวนบิตในหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บค่านี้หนึ่งค่า เพราะฉะนั้น สีดำจะถูกแทนด้วยรหัสในเลขฐานสองคือ 00000000 และสีขาวก็จะถูกแทนด้วยรหัส 11111111 และสีที่อยู่ตรงกลางระหว่างสีดำกับสีขาวก็จะไล่ไปตามลำดับการนับของบิตในเลขฐานสองดังแสดงในภาพที่ 2-8

0	0000 0000
1	0000 0001
2	0000 0010
3	0000 0011
4	0000 0100
-	-
-	-
-	-
254	1111 1110
255	1111 1111

ภาพที่ 2-8 การลำดับค่าสีด้วยเลขฐานสอง

ภาพที่มีลักษณะเป็นโทนขาวดำ (Grayscale) แต่ละจุดภาพก็จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลขที่บอกถึงค่าสีตั้งแต่ 0-255 ดังแสดงในภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 การแทนค่าสีด้วยตัวเลข

จะเห็นว่าแต่ละจุดภาพ จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลข ซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เป็นโทนสีเทา แต่ถ้าเป็นภาพขาวดำก็จะมีอยู่ด้วยกันแค่ 2 สีคือ สีดำ แทนด้วยเลข 0 กับสีขาวแทนด้วยเลข 1 เพราะฉะนั้นถ้าเป็นภาพขาวดำหนึ่งจุดภาพจะใช้พื้นที่เก็บข้อมูลเพียง 1 บิตเท่านั้น แต่ถ้าเป็นภาพในโทนสีเทานั้น ใน 1 จุดภาพจะใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล 8 บิต ที่เป็น 8 บิตก็เพราะว่าค่าระดับสีเมื่อเปลี่ยนเป็นเลขฐานสองแล้วจะได้ 8 บิต เช่น ค่าระดับสี 0 ก็คือ 00000000 ค่าระดับสี 1 ก็คือ 00000001 ค่าระดับสี 2 ก็คือ 00000010 ค่าระดับสี 256 ก็คือ 11111111 เป็นต้น เพราะฉะนั้นใน 1 จุดสี จะมีค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น จึงใช้พื้นที่ในการเก็บเพียง 8 บิต บางครั้งจะการใช้การเขียนในแบบยกกำลังคือ ภาพขาวดำ 2 ยกกำลัง 1 (1 ก็คือจำนวน 1 บิต) ภาพโทนสีเทา 2 ยกกำลัง 8 (8 ก็คือจำนวน 8 บิต) ระดับความเข้มของสีที่ถูกกำหนดให้กับภาพ ถ้าภาพๆ นั้นใช้ระดับสีน้อย เช่น 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2 (1 บิต) ผลที่ได้ก็คือการไล่สีของภาพนั้นจะไม่ราบเรียบ และมีความแตกต่างของเฉดสีมาก ดังแสดงในภาพที่ 2-10

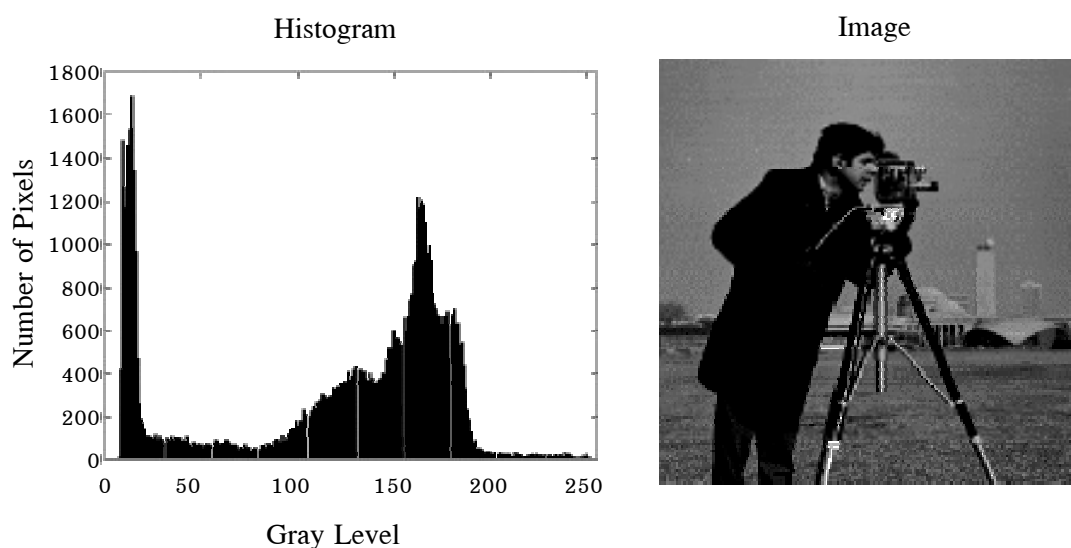


ภาพที่ 2-10 ภาพที่มีจำนวนบิตที่ต่างกัน

ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพนั้นมีรูปแบบการปรับปรุงมากมายหลายวิธี วิธีการที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่งก็คือการปรับปรุงภาพโดยการปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรม (Histogram) เพื่อให้ภาพเกิดความสมดุลและมีความคมชัดขึ้น ซึ่งความหมายและผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยการปรับค่าฮิสโตแกรม นั้นจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรมเป็นฟังก์ชันที่แสดงว่าในแต่ละระดับความเข้มมีจำนวนจุดภาพ (Pixel) ในภาพที่มีค่าความเข้มนี้เท่าไร เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ แกนนอนคือระดับความเข้ม (Gray Level) และแกนย่นคือความถี่ของค่าความเข้มนั้น ๆ (Number of Pixels) ฮิสโตแกรมเป็นการนำเสนอภาพในลักษณะแบบรวม ๆ (Global Characteristic) ภาพที่ 2-11 แสดงภาพและฮิสโตแกรมของภาพ

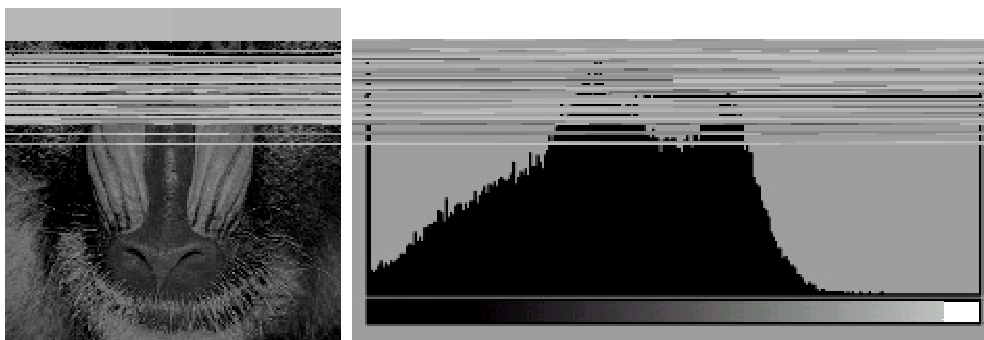


ภาพที่ 2-11 ฮิสโตแกรมและภาพถ่าย

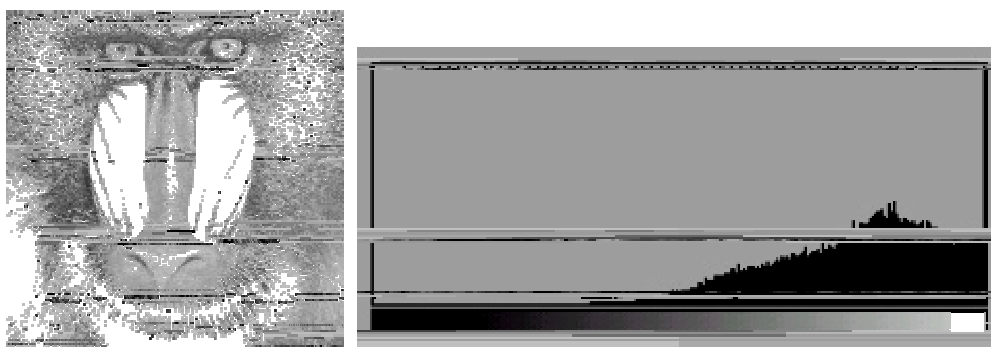
ให้ h_i เป็นฮิสโตแกรมของระดับ i ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าร้อยละของจำนวนจุดภาพที่มีความเข้มระดับนี้ (n_i) เทียบกับจำนวนจุดภาพทั้งหมด (กว้าง L จุดภาพ และยาว N จุดภาพ) จะได้สมการของฮิสโตแกรมดังนี้

$$h_i = \frac{n_i}{LN} \text{ สำหรับ } 0 \leq i \leq 255$$

ลักษณะที่สำคัญของฮิสโตแกรมมี 2 ลักษณะ ประกอบด้วย 1) ค่าเฉลี่ยของความเข้ม ฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยต่ำ (เบ้มาทางค่าความเข้มต่ำ) จะแทนภาพที่มืด และฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยสูง (เบ้มาทางค่าความเข้มสูง) จะแทนภาพที่สว่าง

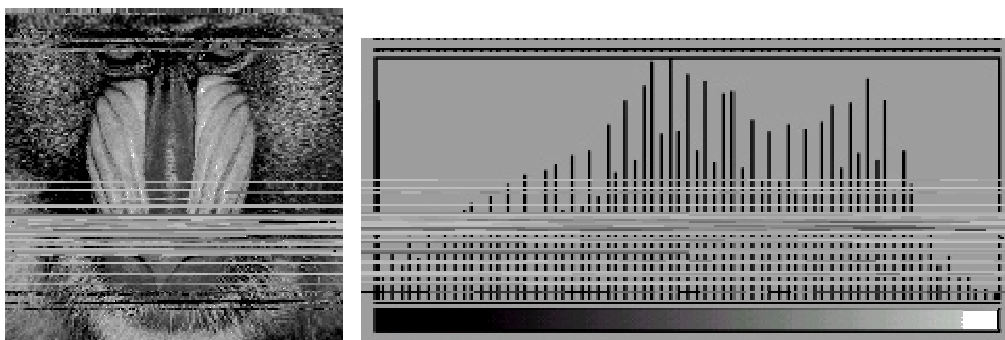


ภาพที่ 2-12 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มต่ำ

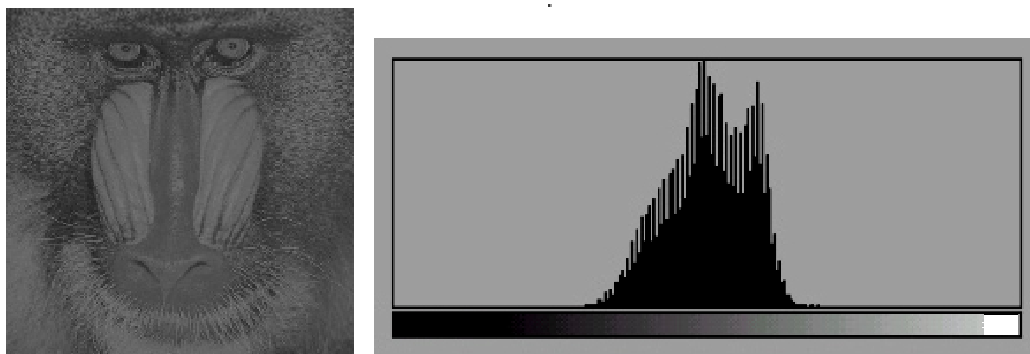


ภาพที่ 2-13 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มสูง

จากภาพที่ 2-12 ฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มต่ำจะแทนภาพที่มีมืด และจากภาพที่ 2-13 ฮิสโตแกรมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มสูงจะแทนภาพที่สว่าง 2) ลักษณะของการกระจายของฮิสโตแกรม จะแสดงความคมชัดของภาพ นั่นคือ ฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบกว้างจะแทนภาพที่มีความคมชัดสูง และฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบแคบจะแทนภาพที่มีความคมชัดต่ำ



ภาพที่ 2-14 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบกว้าง

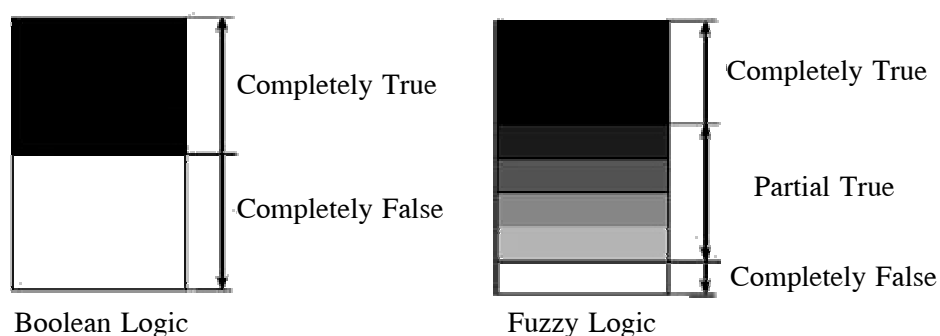


ภาพที่ 2-15 ภาพและฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบแคบ

จากภาพที่ 2-14 แสดงฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบกว้างจะแทนภาพที่มีความคมชัดสูง และจากภาพที่ 2-15 แสดงฮิสโตแกรมที่มีการกระจายเป็นแถบแคบจะแทนภาพที่มีความคมชัดต่ำ

2.4 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [1] ถูกคิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าบูลีนลอจิก (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนลอจิกเดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2-16

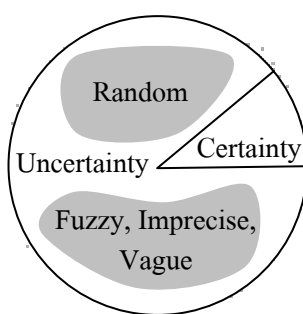


ภาพที่ 2-16 บูลีนลอจิก (Boolean Logic) กับฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า “มัลติวาลานซ์ (Multivalence)” ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับ “ไบวาลานซ์ (Bivalence)” ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง

2 คำ ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่จะตัดสินใจไม่ใช่เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่ยาว จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายของตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วน โดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary Sense) จะได้ผลเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่าความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาต่างๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

ภาพที่ 2-17 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซีหรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



ภาพที่ 2-17 เปอร์เซนต์ความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ

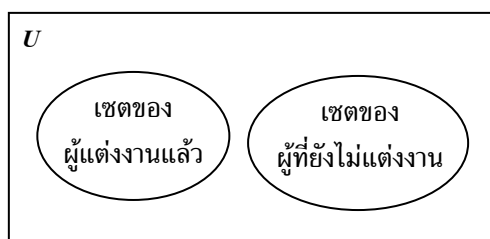
ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความเป็นสมาชิก (Set Membership)

ฟัซซีลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงลอจิก โครงสร้างของระบบลอจิกสามารถเข้าใจได้ เนื่องจากสามารถตีความได้ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้น ฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบสัดส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว

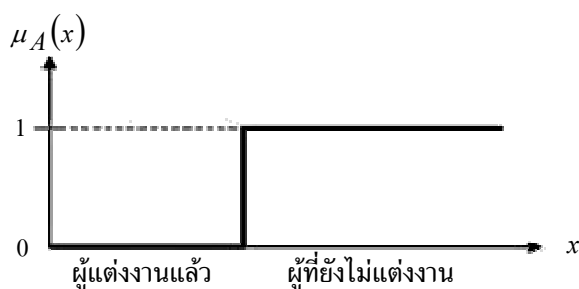
สำหรับข้อเสียของระบบฟัซซีก็คือ ไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างซึ่งกฎและตัวแปรต่างๆ ในตัวระบบเอง โครงสร้างของระบบจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่กำลังพิจารณาร่วมกับนักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ถ้าหากต้องการสร้างระบบเพื่อการวิเคราะห์โรคมะเร็ง แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโรคมะเร็งจะต้องเป็นผู้กำหนดกฎและตัวแปรต่างๆ ของระบบ และนอกจากนั้นแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต้องตรวจสอบประเมินความถูกต้องของระบบ ซึ่งบ่อยครั้งในการสร้างระบบฟัซซีอาจไม่มีผู้เชี่ยวชาญในโดเมนดังกล่าว การสร้างระบบจึงอาจไม่สัมฤทธิ์ผล การที่ระบบฟัซซีไม่มีกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองจึงถือเป็นข้อด้อย

2.4.1 เซตแบบฉบับ (Classical Set)

เซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันโดยสิ้นเชิง เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่งๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของคุณแต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



ภาพที่ 2-18 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



ภาพที่ 2-19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

ภาพที่ 2-18 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่แต่งงาน ในภาพที่ 2-19 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น “0” ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น “1” ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

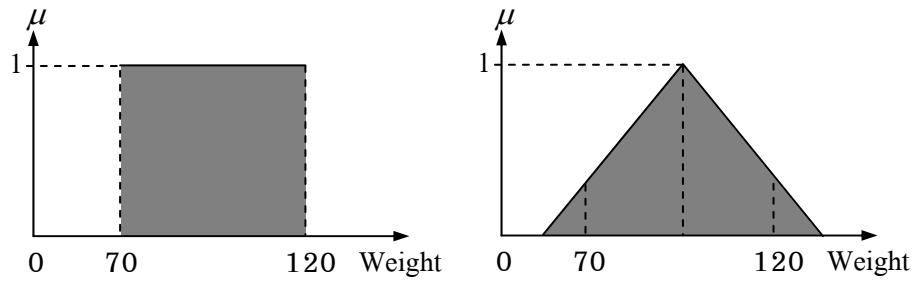
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2-1)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.4.2 ฟัชซีเซต (Fuzzy Sets)

ฟัชซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัชซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัชซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น แต่จะมีเซตแบบฟัชซีด้วย ฟัชซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัชซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของคู่แต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่จะมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตแบบฉบับอาจกำหนดเป็นคนที่น้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัชซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 2-20 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (2-2)$$

เมื่อ μ_A สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละฟัซซีเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples) ดังนี้

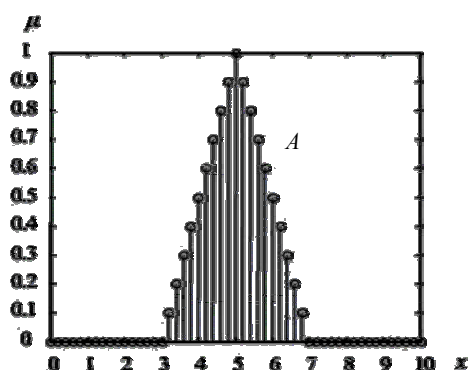
$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2-3)$$

เมื่อ A หมายถึงฟัซซีเซต A , x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set Membership) μ_A หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) μ_A บางครั้งแทนด้วย $A(x)$, X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe)

ถ้า $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete) และจำกัดสัญลักษณ์ (Notation) ของฟัซซีเซต เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2-4)$$

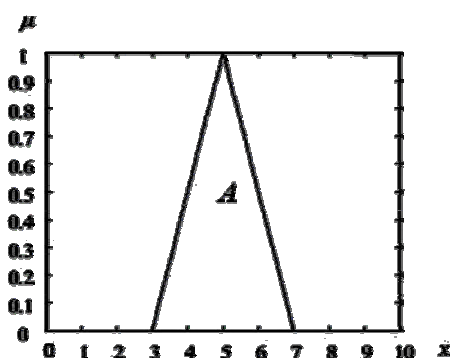
เมื่อพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i, i=1,2,\dots,n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต A และเครื่องหมายบวก “+” หมายถึงยูเนียน (Union)



ภาพที่ 2-21 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตแบบไม่ต่อเนื่อง A

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) สัญกรณ์ของฟัซซีเซต A เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (2-5)$$



ภาพที่ 2-22 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตแบบต่อเนื่อง A

ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญหาลำดับของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$, โดย “0” หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต “1” หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใดๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต ความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซตมีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์

คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับ จะกำหนดตามดังสมการที่ (2-6)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2-6)$$

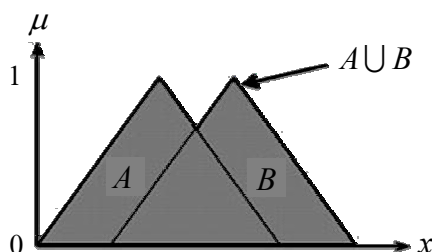
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับ x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.4.3 การดำเนินการทางฟัซซีเซต (Fuzzy Set Operations)

การดำเนินการของฟัซซีเซต มีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป คือ มีการดำเนินการ (Operation) คือ ยูเนียน (Union), อินเตอร์เซกชัน (Intersection) และ คอมพลีเมนต์ (Complement)

ยูเนียน (Union) ของ 2 ฟัซซีเซต จะเป็นการรวมทางลอจิก (OR Operation) ในพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) ซึ่งจะได้ค่าสูงสุดของสมาชิก ดังสมการที่ 2-7 และภาพที่ 2-23

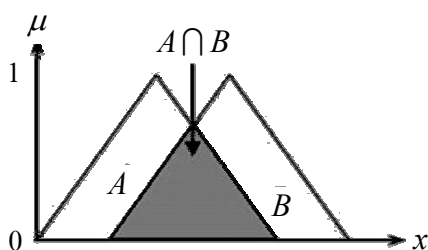
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2-7)$$



ภาพที่ 2-23 การยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต A และ B

อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของ 2 ฟัซซีเซต จะเป็นการคูณทางลอจิก (AND Operation) ในพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) ซึ่งจะได้ค่าต่ำสุดของสมาชิก ดังสมการที่ 2-8 และภาพที่ 2-24

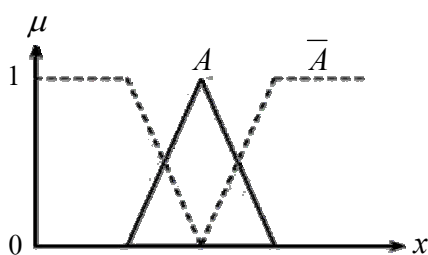
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2-8)$$



ภาพที่ 2-24 การอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต A และ B

คอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซตจะเป็นการกลับค่าทางลอจิก (NOT Operation) ในพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) ซึ่งจะได้ค่าส่วนกลับของสมาชิก ดังสมการที่ 2-9 และภาพที่ 2-25

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2-9)$$



ภาพที่ 2-25 การคอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต A

คุณสมบัติของฟัซซีเซต ฟัซซีเซตมีคุณสมบัติตามเซตแบบฉบับซึ่งแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของฟัซซีเซต

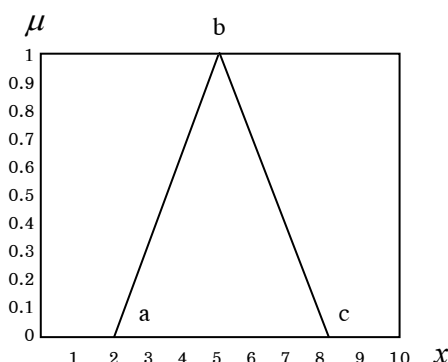
Commutativity	$A \cup B = B \cup A, A \cap B = B \cap A$
Associativity	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C, A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$
Distributivity	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C), A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Idempency	$A \cup A = A$ และ $A \cap A = A$
Identity	$A \cup 0 = A$ และ $A \cap X = A, A \cap 0 = 0$ และ $A \cup X = X$
Transitivity	ถ้า $A \subseteq B, B \subseteq C$ แล้ว $A \subseteq C$
Involution	$\bar{\bar{A}} \subseteq A$

2.4.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี่ เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงบางส่วนดังนี้

ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) มีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

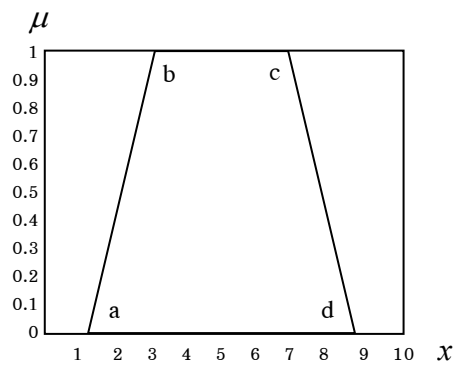
$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \mu(x : a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x < b \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (2-10)$$



ภาพที่ 2-26 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) มีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

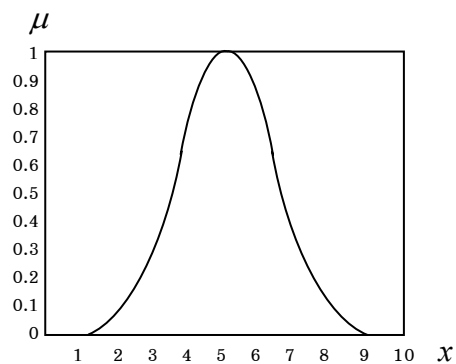
$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \mu(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ (d - x)/(d - c), & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (2-11)$$



ภาพที่ 2-27 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function) มีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

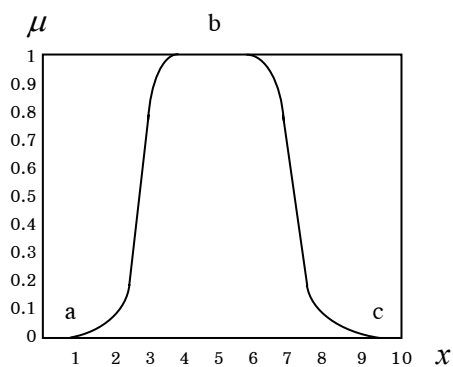
$$gaussian(x : m, \sigma) = \mu(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (2-12)$$



ภาพที่ 2-28 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

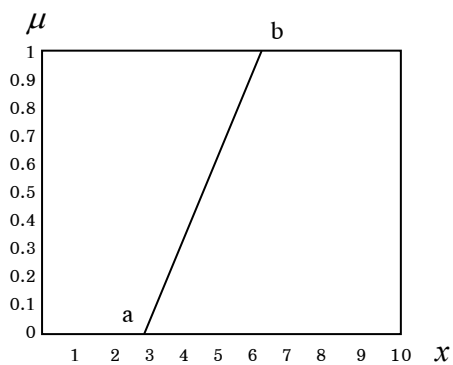
$$bell - shaped(x : a, b, c) = \mu(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - c}{a}\right|^{2b}} \quad (2-13)$$



ภาพที่ 2-29 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ

ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

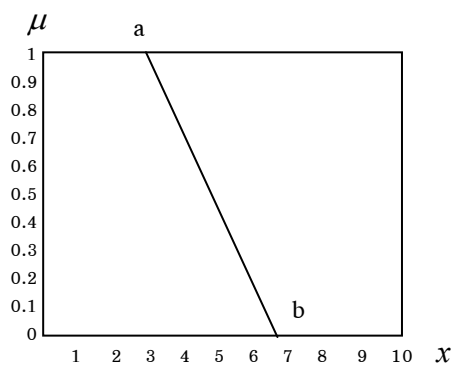
$$S(x : a, b) = \mu(x : a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (2-14)$$



ภาพที่ 2-30 ฟังก์ชันตัวเอส

ฟังก์ชันตัวแสด (Z-Membership Function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$Z(x : a, b) = \mu(x : a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2-15)$$

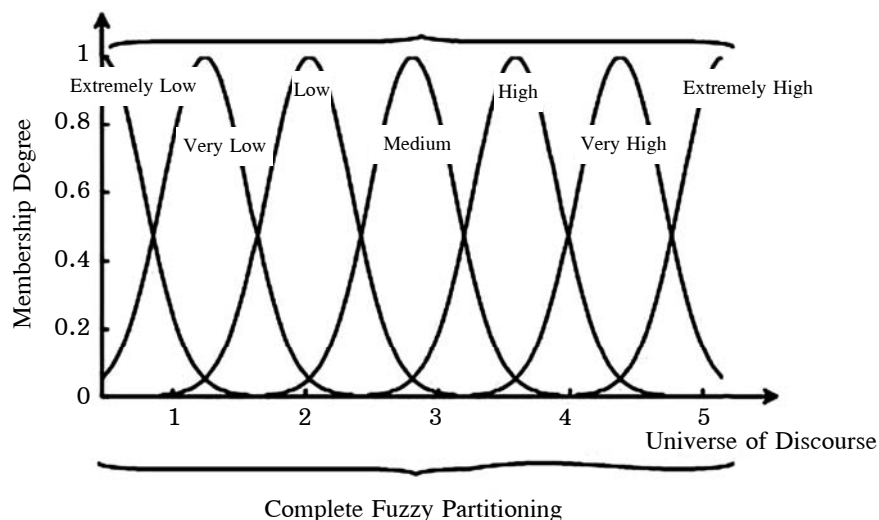


ภาพที่ 2-31 ฟังก์ชันตัวแสด

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะสมกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

2.4.5 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปร เช่นเดียวกับเซตแบบฉบับ เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิ ในห้อง เย็น หรือ “TemperatureQuantity is Cold” ตัวแปร TemperatureQuantity เป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็น ซึ่งแสดงข้อความของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

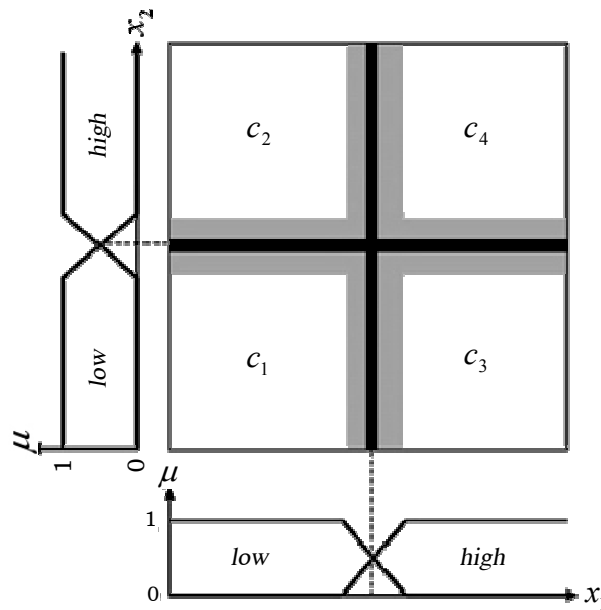


ภาพที่ 2-32 ตัวอย่างตัวแปลภาษา

ตัวแปลภาษาเป็นการประกอบกัน (Composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็น ทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4’) ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขางานด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่นๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปลภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ภาพที่ 2-32 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปลภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

2.4.6 กฎฟัซซี (Fuzzy Rule)

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังภาพที่ 2-33 ซึ่ง แสดงปริภูมิรูปแบบ (Pattern Space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี



ภาพที่ 2-33 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากภาพที่ 2-33 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม c_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม c_2

กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม c_3

กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม c_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (Linguistic Terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ c_1, c_2, c_3 และ c_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4 สมมติให้กฎข้อ $l, l = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_{li} เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น $c_k, k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1:

ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ...และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม c_1

กฎข้อ 2:

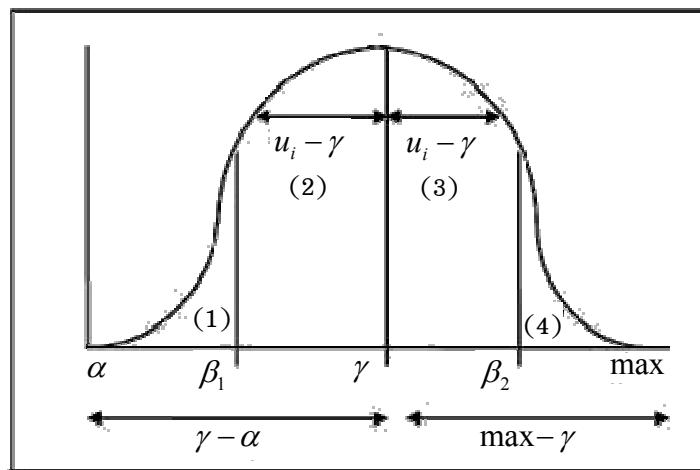
ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ...และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม c_2

กฎข้อ l :

ถ้า x_1 มีค่า A_{l1} และ x_2 มีค่า A_{l2} และ...และ x_n มีค่า A_{ln} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม c_k

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Identification of Regions of Interest in Digital Mammograms [2] เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพ Mammogram เพื่อใช้ตรวจสอบหามะเร็งเต้านมในสตรี โดยใช้วิธีการปรับปรุงแบบ Possibility Distribution Algorithm มีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้คือกำหนดค่าตัวแปร 5 ตัว (α , β_1 , γ , β_2 , max) แสดงดังภาพที่ 2-34



ภาพที่ 2-34 ฟังก์ชัน Possibility Distribution สำหรับการคำนวณค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

เมื่อได้ตำแหน่งของจุดต่างๆ แล้วต่อไปเป็นการคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากกฎฟัซซีดังนี้

$$P = \begin{cases} 2 \left(\frac{u_i - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2, & \alpha \leq u_i < \beta_1 \\ 1 - 2 \left(\frac{u_i - \gamma}{\gamma - \alpha} \right)^2, & \beta_1 \leq u_i < \gamma \\ 1 - 2 \left(\frac{u_i - \gamma}{\max - \gamma} \right)^2, & \gamma \leq u_i < \beta_2 \\ 2 \left(\frac{u_i - \gamma}{\max - \gamma} \right)^2, & \beta_2 \leq u_i \leq \max \end{cases} \quad (2-16)$$

เมื่อ u_i คือ ระดับสีเทาของจุดภาพ

γ คือ ค่ากลางของการกระจายของค่าฮิสโตแกรม

α คือ ค่าระดับสีเทาต่ำสุด

$\max$ คือ ค่าระดับสีเทาสูงสุด

β_1 คือ ค่าระดับสีเทากึ่งกลางระหว่าง α กับ γ

β_2 คือ ค่าระดับสีเทากึ่งกลางระหว่าง γ กับ $\max$

จากนั้นทำการปรับเปลี่ยน (Modification) ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและสร้างภาพขึ้นมาใหม่ด้วยกระบวนการย้อนกลับ (Inverse Operation) ดังนี้

$$P' = P^2 \quad (2-17)$$

$$F^{-1} = [P'(x, y)] = P'(x, y)f(x, y) \quad (2-18)$$

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องนี้นั้นจะเห็นว่าผู้วิจัยนี้ต้องการให้ภาพที่ปรับปรุงแล้วนั้น แสดงส่วนของภาพในตำแหน่งที่ต้องการให้ดูชัดเจนขึ้น จึงทำการเลือกปรับปรุงในช่วงระดับความเข้มเฉพาะระดับ โดยทำการแยกการปรับ (Modify) ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกออกเป็นส่วนๆ

Generalized Fuzzy Enhancement of Image for Radiographic Testing Weld [3] เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพ Radiographic Testing Weld เพื่อให้สามารถถ่ายต่อการบ่งบอก ชนิดตำแหน่ง และขนาดของรอยเชื่อม ภายในพื้นที่ใช้งานของวัตถุโลหะ โดยใช้วิธีการปรับปรุงที่เรียกว่า Contrast Improvement with Intensification Operator มีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้คือ กำหนดค่า Parameters (F_c , F_d , $g_{\max}$) เพื่อหาค่า

$$F_c = 2 \text{ และ } F_d = \frac{X_{\max} - X_{mid}}{0.5^{(-1/F_c)^1}} \quad (2-19)$$

$$P_{mn} = G(X_{mn}) = \left[1 + \frac{X_{\max} - X_{mn}}{F_d} \right]^{-F_c} \quad (2-20)$$

เมื่อ P_{mn} คือ ค่า Membership Function

$X_{\max}$ คือ ค่าความเข้มสูงสุดของภาพ

X_{mid} คือ ค่าความเข้มกลางของภาพ

$X_{\min}$ คือ ค่าความเข้มต่ำสุดของภาพ

F_d และ F_c คือ ค่า Fuzzy Factors ของ Index และ Reciprocal Respectively

จากนั้นทำการปรับค่าสมาชิกด้วยสมการดังนี้

$$P'_{mn} = T_r(P_{mn}) = P_{mn}^{(r)} = \begin{cases} 2^{(r-1)}[P_{mn}]^r, & 0 \leq P_{mn} \leq 0.5 \\ 1 - 2^{(r-1)}[1 - P_{mn}]^r, & 0.5 \leq P_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (2-21)$$

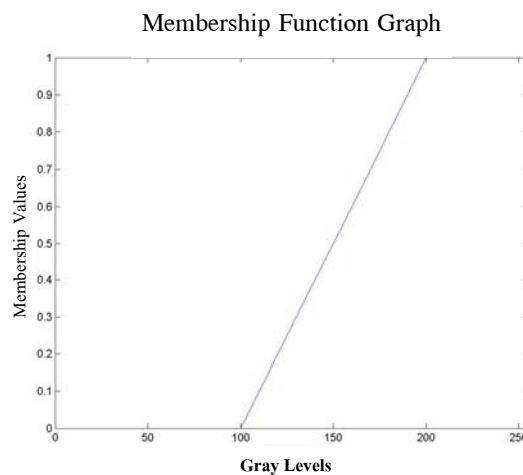
เมื่อ r คือ จำนวนครั้งในการเปลี่ยนของรูปแบบ (Inversion Transform)

สร้างภาพขึ้นมาใหม่ด้วยสมการดังนี้

$$X'_{mn} = \begin{cases} X_{\min} - D_L + \frac{D_L \sin^{-1}(-2P'_{mn} - 1)}{\frac{\pi}{2}}, & X_{mn} < X_c \\ X_{\max} - D_H + \frac{D_H \sin^{-1}(2P'_{mn} - 1)}{\frac{\pi}{2}}, & X_{mn} \geq X_c \end{cases} \quad (2-22)$$

Fuzzy Image Enhancement and Associative Feature Matching in Radiotherapy [4] เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพในส่วนของ EPI (Electronic Portal Image) ซึ่งเป็นภาพ Radiograph โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Fuzzy Histogram Hyperbolization (FHH) เพื่อตรวจสอบรูปทรงและตำแหน่งของ Therapy Beam ในการวินิจฉัยรักษาผู้ป่วย ซึ่งมีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้คือ กำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้วยสมการที่ 2-23

$$\mu_{mn} = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \leq g_{mn} < 100 \\ (0.01 \times g_{mn}) - 1 & , \quad 100 \leq g_{mn} \leq 200 \\ 1 & , \quad 200 < g_{mn} \leq 255 \end{cases} \quad (2-23)$$



ภาพที่ 2-35 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากวิธีของ FHH

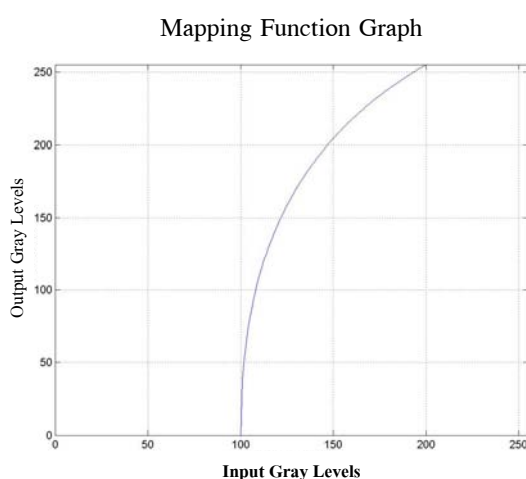
จากนั้นทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นมาด้วยสมการที่ 2-24 โดยแสดงกราฟฟังก์ชันจัดเทียบดังภาพที่ 2-38

$$g'_{mn} = \left(\frac{L-1}{e^{-1}-1} \right) \times \left(e^{-\mu(g_{mn})^\beta} - 1 \right) \quad (2-24)$$

เมื่อ L คือ ค่าระดับสีเทาสูงสุดของภาพ (256 ในกรณี 8 บิต)

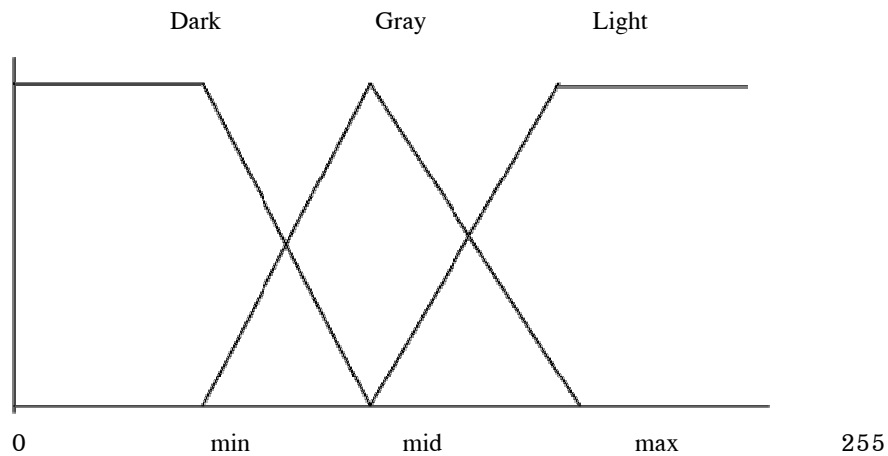
μ_{mn} คือ ค่า สมาชิกของระดับสีเทาของภาพต้นฉบับ

β คือ ค่า Parameter ที่จะเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของ Fuzzy Set



ภาพที่ 2-36 ฟังก์ชันจัดเทียบที่ได้จากวิธีของ FHH

Automatic Histogram Specification Based on Fuzzy Set Operations for Image Enhancement [5] เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการ Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules โดยจะทำการกำหนดค่าฟังก์ชันจัดเทียบเพื่อใช้ในการสร้างภาพขึ้นมาใหม่ที่มีการปรับปรุงแล้วโดยอ้างอิงจากภาพต้นฉบับ โดยมีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้ คือทำการกำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 3 ค่าประกอบด้วย Dark, Gray และ Light ดังนี้



ภาพที่ 2-37 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากวิธี Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules

$$\mu_{dark} = \begin{cases} 1 & , \quad 0 \leq X_{mn} < \min \\ \frac{\min - X_{mn}}{\min - \text{mid}} & , \quad \min \leq X_{mn} < \text{mid} \\ 0 & , \quad \text{mid} \leq X_{mn} \leq 255 \end{cases} \quad (2-25)$$

$$\mu_{gray} = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \leq X_{mn} < \min \\ \frac{X_{mn} - \min}{\text{mid} - \min} & , \quad \min \leq X_{mn} < \text{mid} \\ \frac{\max - X_{mn}}{\max - \text{mid}} & , \quad \text{mid} \leq X_{mn} < \max \\ 0 & , \quad \max \leq X_{mn} \leq 255 \end{cases} \quad (2-26)$$

$$\mu_{light} = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \leq X_{mn} < \text{mid} \\ \frac{X_{mn} - \text{mid}}{\max - \text{mid}} & , \quad \text{mid} \leq X_{mn} < \max \\ 1 & , \quad \max \leq X_{mn} \leq 255 \end{cases} \quad (2-27)$$

จากนั้นทำการย้อนกลับค่าฟัซซี (Defuzzification) ด้วยสมการดังนี้

$$g = \frac{\mu_{dark} \times g_{\min} + \mu_{gray} \times g_{\text{mid}} + \mu_{bright} \times g_{\max}}{\mu_{dark} + \mu_{gray} + \mu_{bright}} \quad (2-28)$$

เมื่อ μ_{dark} คือ สมาชิกในส่วนของค่าความเข้มต่ำ

μ_{gray} คือ สมาชิกในส่วนของค่าความเข้มปานกลาง

μ_{light} คือ สมาชิกในส่วนของค่าความเข้มสูง

g คือ ภาพผลลัพธ์

จากการศึกษางานวิจัยทั้ง 4 เรื่องปรากฏว่างานวิจัยทั้งหมดจะมีขั้นตอนของการกำหนดค่า Membership Function ขึ้นมาเพื่อเปลี่ยนแปลงภาพในช่วงค่าความเข้มที่ต้องการปรับปรุงซึ่งผลที่ได้ทำให้ภาพที่ต้องการปรับปรุงนั้นมีความชัดเจนมากขึ้น และง่ายต่อการวิเคราะห์เพื่อนำไปแก้ปัญหาหรือหาสาเหตุการเกิดมะเร็ง (ในภาพเอกซเรย์เต้านม) แต่เมื่อนำวิธีการปรับปรุงภาพทั้ง 4 วิธีดังกล่าวมาใช้กับภาพที่ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดแล้วนั้น ปรากฏว่าผลของภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้นไม่ทำให้ภาพมีคุณภาพดีขึ้น และไม่สามารถบ่งบอกรายละเอียดของวัตถุในภาพได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการปรับปรุงแก้ไขวิธีการปรับปรุงภาพดังกล่าวให้สามารถใช้ปรับปรุงภาพจากกล้อง CCTV ได้มีความชัดเจนเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 3

บทที่ 3

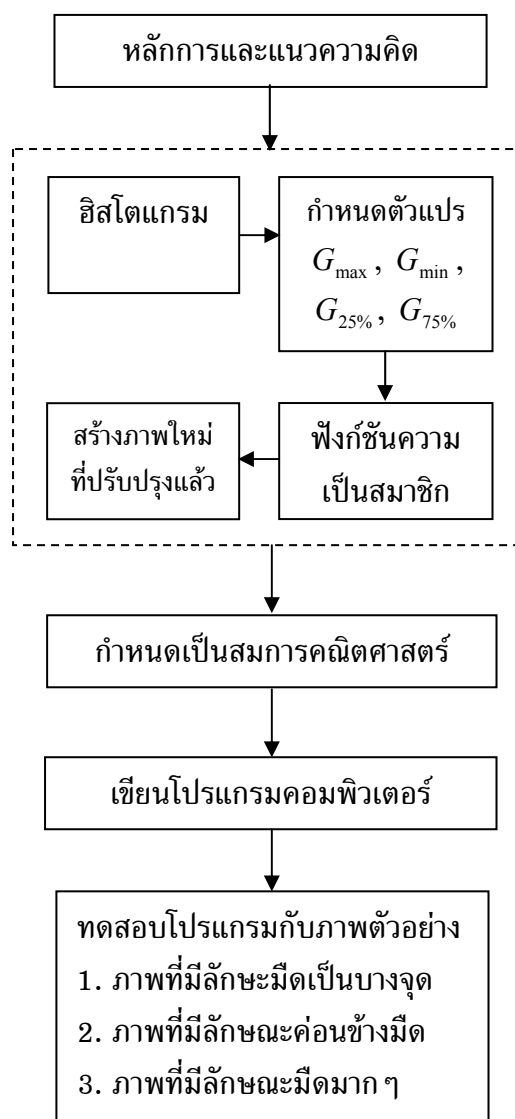
วิธีการดำเนินการวิจัย

การนำทฤษฎีของฟิชเชอร์มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนพื้นฐานของฮิสโตแกรม (Histogram-Based) มีคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้น และมีความยืดหยุ่น (Flexible) ในการทำงาน ด้วยการกำหนดค่าฮิสโตแกรมในรูปแบบอัตโนมัติ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization) [10] ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก และมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเช่นเดียวกัน ผลที่ได้คือวิธีการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน นั้นมีจุดด้อยอยู่ที่ภาพผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการปรับปรุงแล้วนั้น จะมีความแตกต่างของระดับสีเทามาก จึงทำให้ภาพเกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ขึ้นเป็นจำนวนมาก และยังต้องการการเปรียบเทียบกับตารางลำดับสีเทา (Look Up Table) เพื่อใช้เปรียบเทียบสร้างภาพผลลัพธ์

ในการปรับปรุงภาพด้วยการใช้กฎฟิชเชอร์นั้นจะใช้หลักการกำหนดค่า ฮิสโตแกรมขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ภาพที่ต้องการเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกับวิธีการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน แต่จะใช้วิธีสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดกับภาพต้นฉบับเพื่อสร้างภาพใหม่ทำการปรับปรุงแล้วแทนการใช้ตารางลำดับสีเทา ซึ่งภาพที่ได้นั้นจะมีปริมาณจุดสีขาวน้อยกว่าภาพที่ได้จากวิธีการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน

3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

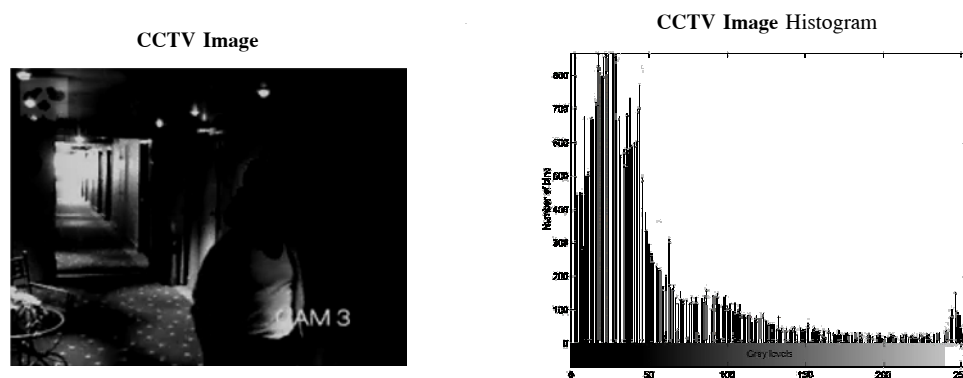
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัยนั้นได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) หลักการและแนวความคิดในการปรับปรุงภาพ 2) สร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ 3) เขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 4) นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบกับภาพตัวอย่าง ซึ่งในขั้นตอนของการปรับปรุงภาพนั้นได้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) นำไปคำนวณหาค่าฮิสโตแกรม ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตัวแปรคณิตศาสตร์ 4 ตัวแปรคือ $G_{\max}$, $G_{\min}$, $G_{25\%}$, $G_{75\%}$ ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากตัวแปรทั้ง 4 ขั้นตอนที่ 4 สร้างภาพขึ้นมาใหม่ทำการปรับปรุงแล้วโดยการเปรียบเทียบกับค่าพิกัดกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมที่ได้กับภาพตัวอย่างจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด โดยแบ่งภาพออกเป็น 3 ลักษณะคือ ภาพที่มีลักษณะมืดเป็นบางจุด ภาพที่มีลักษณะค่อนข้างมืด และภาพที่มีลักษณะมืดมาก ๆ ซึ่งแต่ละขั้นตอนแสดงด้วยแผนผังการทำงานดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

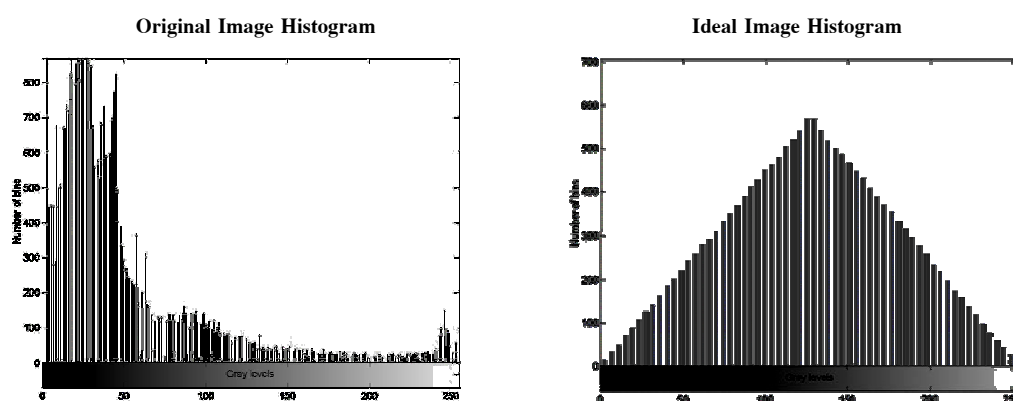
3.2 หลักการและแนวความคิด

ภาพที่ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด ซึ่งเป็นภาพที่มีคุณสมบัติมืดอันเนื่องมาจากเป็นภาพที่บันทึกได้ในเวลากลางคืนหรือสภาพแสงสว่างในบริเวณนั้นมีน้อยจนไม่สามารถบ่งบอกรายละเอียดของสิ่งที่ปรากฏบนภาพได้อย่างชัดเจน เมื่อนำมาคำนวณหาค่าฮิสโตแกรมแล้ว ปรากฏว่าค่าฮิสโตแกรมที่คำนวณได้นั้นมีคุณลักษณะดังนี้คือมีปริมาณของจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาอยู่ในช่วงต่ำนั้นจะมีจำนวนมาก และมีจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาอยู่ในช่วงปานกลางไปจนถึงค่าระดับสีเทาสูงเป็นจำนวนน้อยแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ภาพและฮิสโตแกรมจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

จากคุณสมบัติของภาพดังกล่าวนี้สามารถนำมากำหนดเป็นหลักการด้วยแนวความคิดที่ว่า จะทำอะไรให้ภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้นเมื่อนำมาคำนวณหาค่าฮิสโตแกรมแล้ว ค่าที่ได้จะต้องมีค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพใกล้เคียงกับรูปแบบของฮิสโตแกรมในอุดมคติมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะคล้ายรูป สามเหลี่ยมหน้าจั่วแสดงดังภาพที่ 3-3

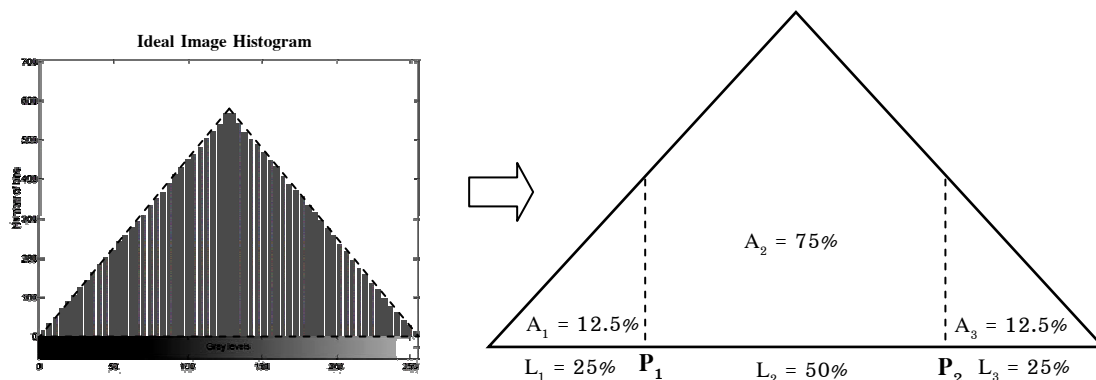


ภาพที่ 3-3 ฮิสโตแกรมของภาพที่ต้องการปรับปรุงและฮิสโตแกรมของภาพในอุดมคติ

หลังจากนำค่าฮิสโตแกรมที่ต้องการในอุดมคติมาวัดเป็นรูป สามเหลี่ยมหน้าจั่วแล้ว วิธีการที่จะสามารถปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ ให้มีรูปแบบใกล้เคียงกับค่าฮิสโตแกรมในอุดมคตินั้นจะใช้หลักการที่เรียกว่า “ฮิสโตแกรมสมดุลด้วยกฎฟัซซี่” (Balanced Histogram Fuzzy Rules) โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมดุล (Balanced Histogram Points) 2 จุด โดยทำการแบ่งรูปสามเหลี่ยมออกเป็น 3 ส่วนตามความยาวของเส้นฐานดังนี้คือ L_1 , L_3 มีความยาวเท่ากับ 25% และ L_2 มีความยาวเท่ากับ 50% ของความยาวฐานทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าจุด P_1 จะอยู่ที่

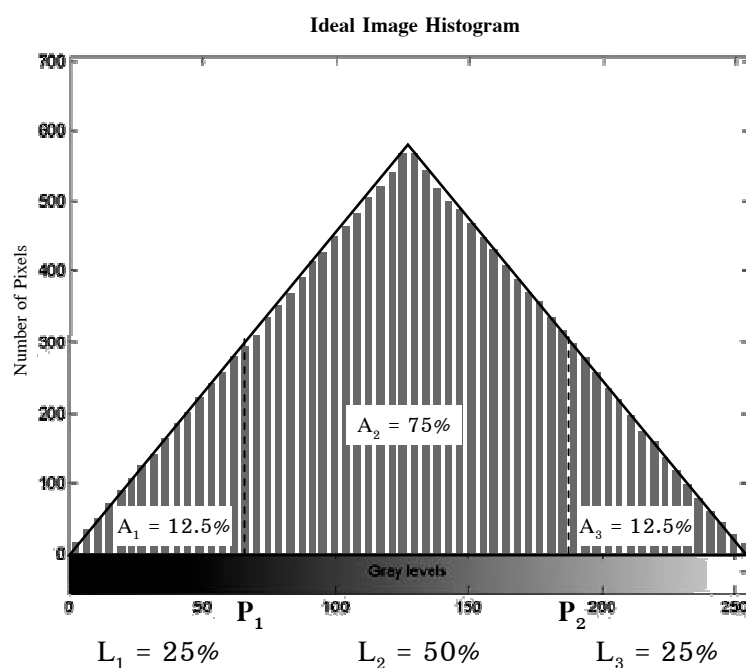
ตำแหน่ง 25% ของเส้นฐานสามเหลี่ยม และจุด P_2 จะอยู่ที่ตำแหน่ง 75% ของเส้นฐานสามเหลี่ยม นับจากด้านซ้ายไปขวา จากจุด P_1 และ P_2 ทำการลากเส้นตั้งฉากกับเส้นฐานไปจนถึงเส้นสูงสุดที่ด้านทั้งสองเพื่อแบ่งพื้นที่รูปสามเหลี่ยมออกเป็น 3 ส่วน ดังภาพที่ 3-4



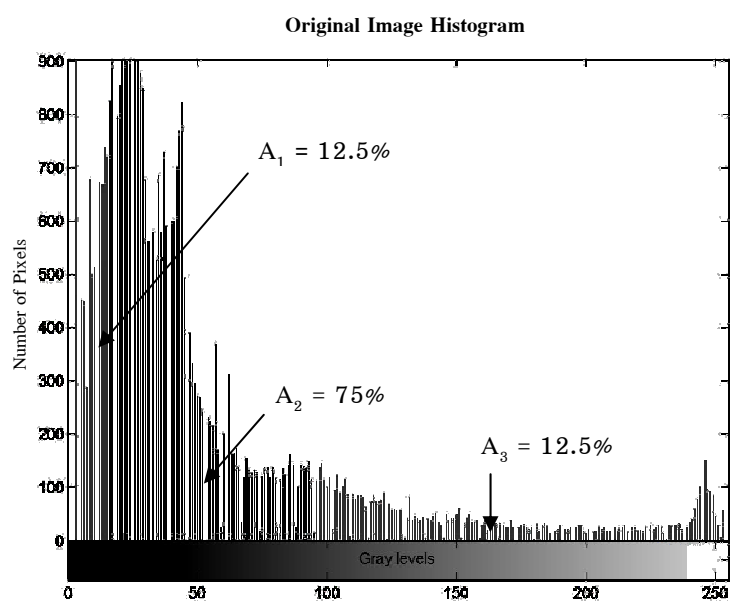
ภาพที่ 3-4 การแบ่งรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วออกเป็น 3 ส่วน

จากนั้นจะได้รูป สามเหลี่ยมมุมฉาก 2 รูปคือ A_1 และ A_3 ซึ่งมีขนาดพื้นที่เท่ากันคือ 12.5% ของพื้นที่สามเหลี่ยมทั้งหมด และรูป ห้าเหลี่ยม 1 รูปที่มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 75% ของพื้นที่สามเหลี่ยมทั้งหมด เมื่อนำภาพสามเหลี่ยมที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพของฮิสโตแกรมในอุดมคติแล้ว สามารถสรุปได้ว่า ค่าของฮิสโตแกรมในอุดมคตินั้น จำนวนจุดภาพของค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรม (Histogram Percentile) ตั้งแต่ 0% ถึง 12.5% นั้นจะต้องอยู่ในตำแหน่งของระดับค่าความเข้มระหว่าง 0% ถึง 25%, จำนวนจุดภาพของค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรม ตั้งแต่ 12.5% ถึง 87.5% นั้นจะต้องอยู่ในตำแหน่งของระดับค่าความเข้มระหว่าง 25% ถึง 75% และจำนวนจุดภาพของค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่อยู่ในตำแหน่งตั้งแต่ 87.5% ถึง 100% นั้นจะต้องอยู่ในตำแหน่งของระดับค่าความเข้มระหว่าง 75% ถึง 100% ของค่าความเข้มสูงสุดของภาพ ดังภาพที่ 3-5

ในภาพที่ 3-6 แสดงการนับจำนวนเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามแนวคิดรูปสามเหลี่ยมเพื่อกำหนดจุดสมดุลของเปอร์เซ็นต์สะสมจำนวน 2 จุด สำหรับใช้ในการอ้างอิงการปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรมตามหลักการข้างต้น



ภาพที่ 3-5 เปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วกับฮิสโตแกรมในอุดมคติ



ภาพที่ 3-6 การแบ่งพื้นที่เปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ

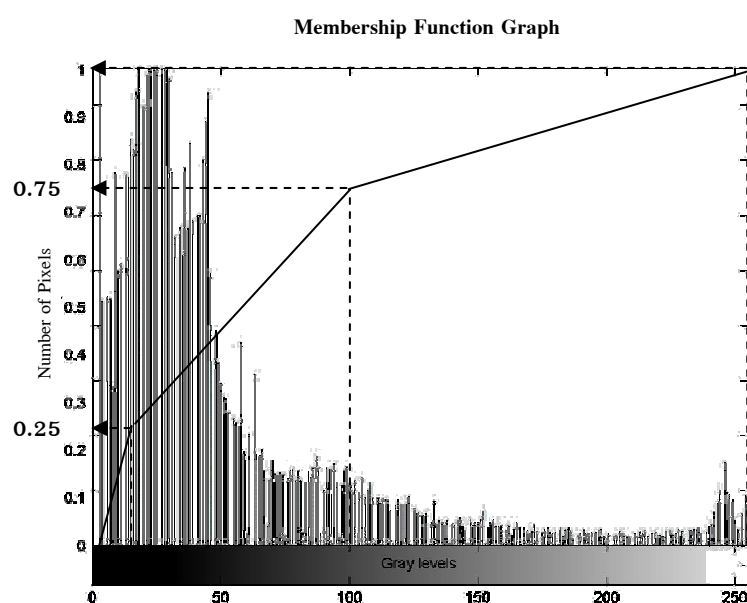
ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำหลักการข้างต้นมากำหนดเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เพื่อใช้ในการสร้างภาพใหม่ทำการปรับปรุงแล้วขึ้นมาโดยเปรียบเทียบค่านวณขึ้นจากภาพต้นฉบับ โดยใช้

ทฤษฎีของกฎฟัซซี่ ซึ่งในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกด้วยหลักการของเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟัซซึ้นั้น มีขั้นตอนและหลักการดังนี้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.25 สามารถคำนวณได้จากค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่อยู่ระหว่างช่วงจำนวนตั้งแต่ 0% ถึง 12.5% (A_1) ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ โดยเรียงลำดับตามค่าระดับความเข้มของภาพต้นฉบับ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 สามารถคำนวณได้จากค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่อยู่ระหว่างช่วงจำนวนตั้งแต่ 12.5% ถึง 87.5% (A_2) ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ โดยเรียงลำดับตามค่าระดับความเข้มของภาพต้นฉบับ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 ถึง 1 สามารถคำนวณได้จากค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่อยู่ระหว่างช่วงจำนวนตั้งแต่ 87.5% ถึง 100% (A_3) ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ โดยเรียงลำดับตามค่าระดับความเข้มของภาพต้นฉบับ ซึ่งสามารถสร้างเป็นกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

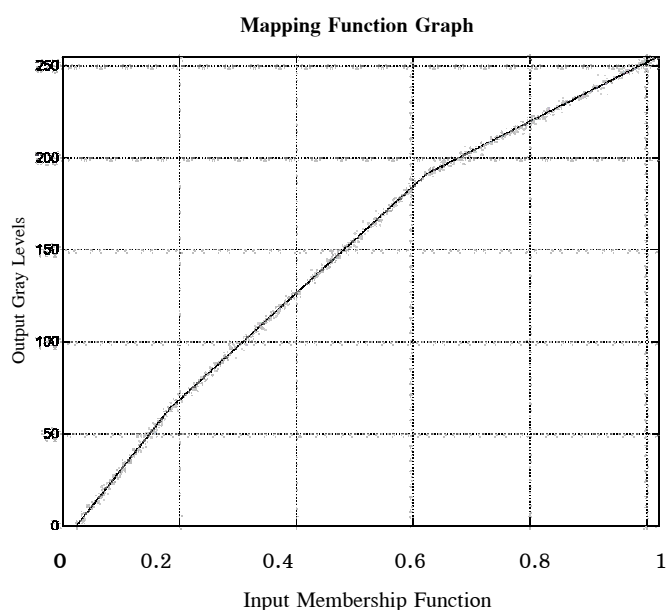


ภาพที่ 3-7 กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเทียบกับฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ

จากภาพที่ 3-7 เป็นการกำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยเปรียบเทียบจากภาพต้นฉบับซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ค่าระดับสีเทาคือค่าความเข้มของระดับสีที่อยู่ในรูปแบบของฮิสโตแกรม มีค่า 256 ระดับ (0-255 ในภาพขนาด 8 บิต) นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นกราฟที่ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสร้างขึ้นมา โดยกำหนดให้เริ่มทำการนับจำนวนจุดภาพเริ่มจากการนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาค่ำที่สุดไปจนกระทั่งมีจำนวนจุดภาพเท่ากับ 12.5 % ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ จากนั้นจึงสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขึ้นมาให้มีค่าอยู่ระหว่าง

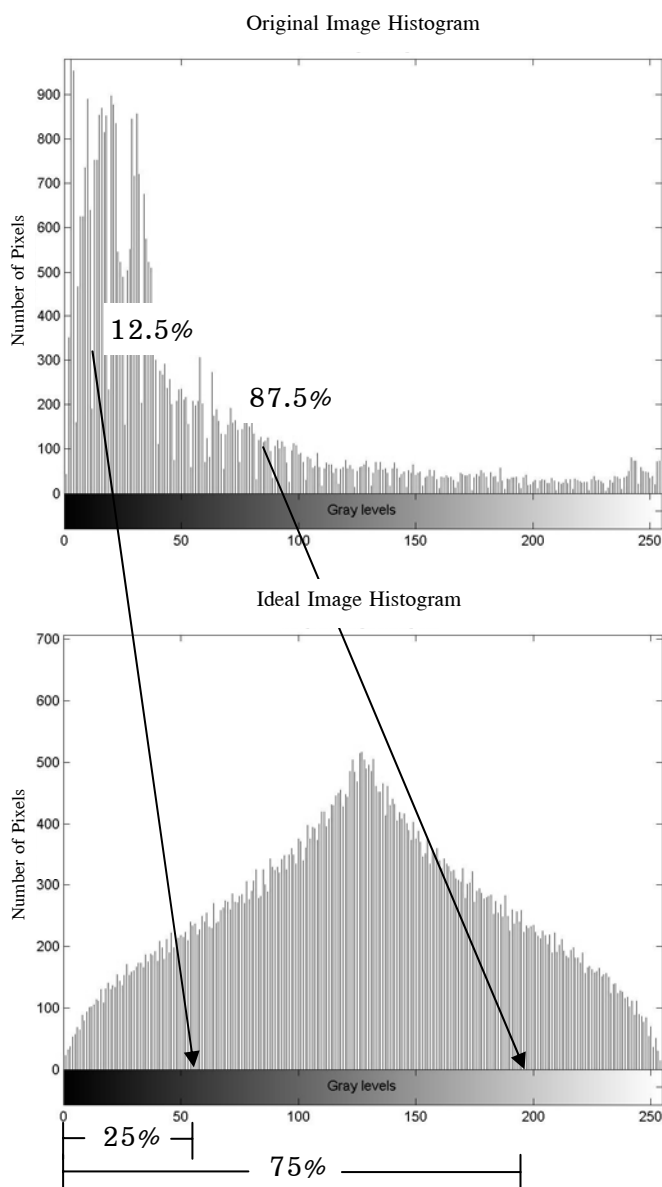
2 ตำแหน่งคือ 0 ถึง 0.25 ต่อจากนั้นทำการนับจำนวนจุดภาพต่อจากจำนวน 12.5 % ไปจนถึง 87.5 % ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดแล้วจึงสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขึ้นมาให้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ตำแหน่งเช่นเดิมคือ 0.25 ถึง 0.75 และสุดท้ายทำการนับจำนวนจุดภาพต่อจาก 87.5 % ไปจนถึง 100 % ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดแล้วจึงสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขึ้นมาให้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ตำแหน่งเช่นเดิมคือ 0.75 ถึง 1 ซึ่งค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สร้างขึ้นจะต้องไล่เรียงลำดับจากค่าความเข้มมากไปน้อย

ในขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการเปลี่ยนฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ให้กลับไปอยู่ในรูปแบบของฮิสโตแกรม โดยทำการสร้างฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) เพื่อเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ให้เปลี่ยนไปเป็นรูปแบบฮิสโตแกรมที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ดังภาพที่ 3-8



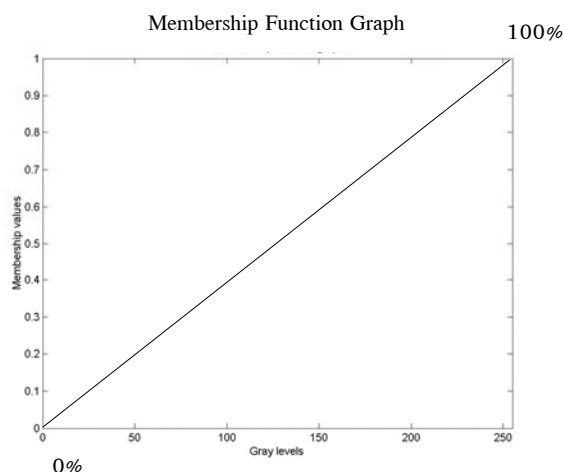
ภาพที่ 3-8 กราฟฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) จากวิธีฮิสโตแกรมสมมูลด้วยกฎฟuzzy

จากนั้นจะได้ภาพขึ้นมาใหม่ที่ทำการปรับปรุงแล้วโดยนำค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 12.5 % ถูกย้ายมาอยู่ที่ตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่ 64 และค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 87.5 % ถูกย้ายมาอยู่ที่ตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่ 224 (ในภาพขนาด 8 บิต)



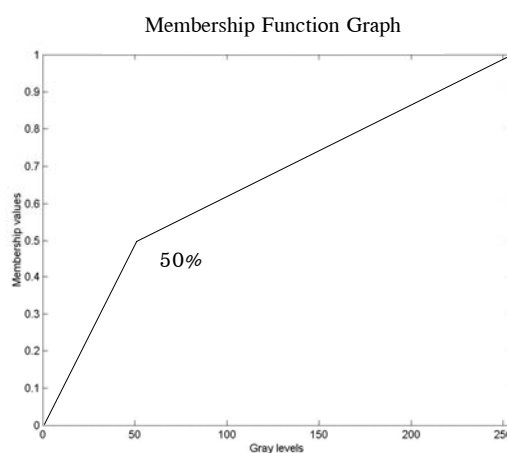
ภาพที่ 3-9 การปรับเปลี่ยนค่าฮิสโตแกรมให้มีรูปแบบในอุดมคติ

การกำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูลนั้นจะต้องกำหนดที่จุด 25% และ 75% ถ้ากำหนดจุดที่ 1 น้อยกว่า 25% และจุดที่ 2 มากกว่า 75% นั้นจะทำให้จุดที่ 1 เข้าใกล้ 0% และจุดที่ 2 เข้าใกล้ 100% ซึ่งหมายความว่า เมื่อนำไปกำหนดเป็นค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแล้วจะไม่มี การปรับปรุง คุณภาพ แสดงดังภาพที่ 3-10



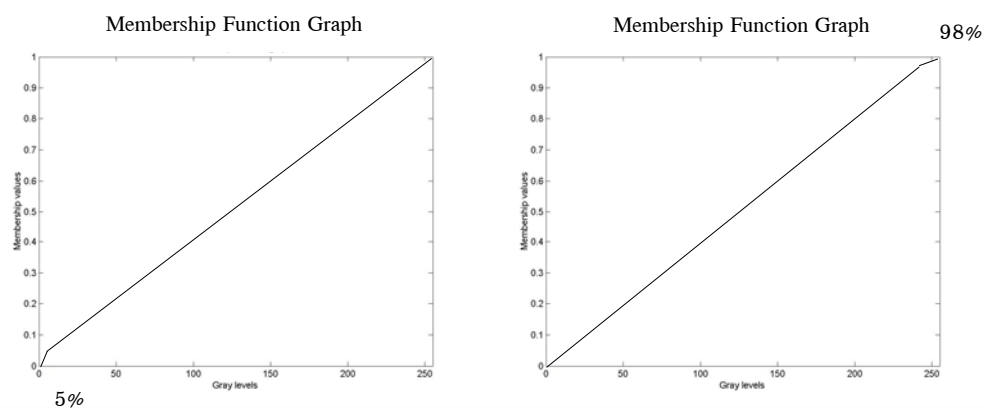
ภาพที่ 3-10 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูลจุดที่ 1 น้อยกว่า 25% และจุดที่ 2 มากกว่า 75%

ถ้ากำหนดจุดที่ 1 มากกว่า 25% และจุดที่ 2 น้อยกว่า 75% นั้น จะทำให้จุดที่ 1 และจุดที่ 2 เข้าใกล้ 50% ซึ่งหมายความว่า ทั้ง 2 จุด มีโอกาสเป็นจุดเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้น มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาเกินไป ทำให้ภาพสูญเสียรายละเอียดและผิดเพี้ยนไปจากที่ควรเป็น



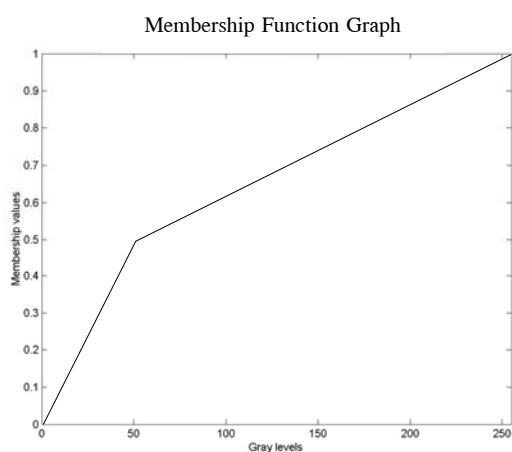
ภาพที่ 3-11 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูลจุดที่ 1 มากกว่า 25% และจุดที่ 2 น้อยกว่า 75%

การกำหนดจุดสมมูลของเปอร์เซ็นต์สีของฮิสโตแกรมจะต้องกำหนดเป็น 2 จุด ถ้ากำหนด 1 จุดและเข้าใกล้ 0% หรือ 100% นั้นหมายความว่าภาพที่ทำการปรับปรุงแล้ว จะมีการปรับปรุงน้อยมาก จนถึงไม่มีการปรับปรุงเลย



ภาพที่ 3-12 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูล 1 จุดเข้าใกล้ 0% และ 100%

ถ้ากำหนด 1 จุด เข้าใกล้ 50% นั้นหมายความว่าภาพที่ทำการปรับปรุงแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาเกินไป ทำให้ภาพสูญเสียรายละเอียดและผิดเพี้ยนไปจากที่ควรเป็นเนื่องจากมีความแตกต่างของระดับสีเทาเกินไป

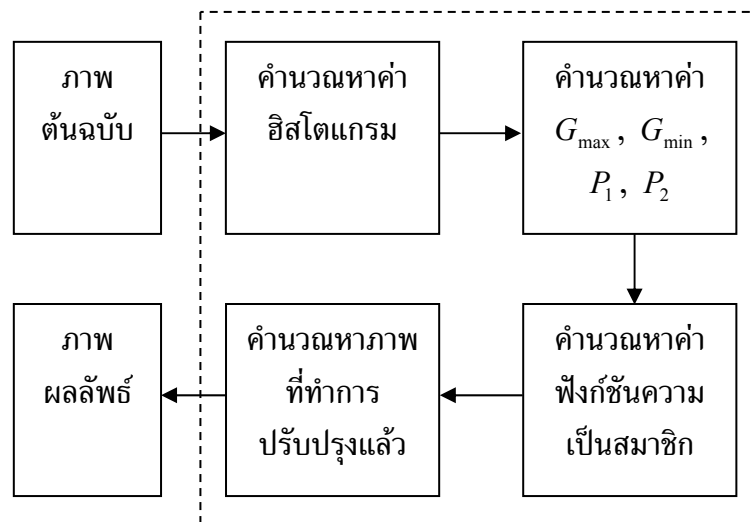


ภาพที่ 3-13 กำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูล 1 จุดเข้าใกล้ 50%

ไม่ควรกำหนดจุดฮิสโตแกรมสมมูลของมากกว่า 2 จุด เนื่องจากถ้ามีจุดใดจุดหนึ่งอยู่ใกล้หรือเท่ากับ 50% จะทำให้ภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาเกินไป ทำให้ภาพสูญเสียรายละเอียดและผิดเพี้ยนไปจากที่ควรเป็น และมีโอกาสที่จุด 2 จุดจะเข้าใกล้กันและรวมกลายเป็นจุดเดียวกัน ซึ่งไม่มีประโยชน์ในการใช้คำนวณเพื่อปรับปรุงภาพ

3.3 การสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์

ในขั้นตอนนี้จะนำแนวความคิดจากข้างต้นมาเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ในการคำนวณเพื่อปรับปรุงภาพโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้คือ 1) จากภาพต้นฉบับนำมาคำนวณหา ค่า ฮิสโตแกรม 2) คำนวณหาค่าตัวแปรคณิตศาสตร์ $G_{\max}$, $G_{\min}$, P_1 และ P_2 3) คำนวณหา ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และ 4) สร้างภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วขึ้นมาใหม่ด้วยฟังก์ชันจัดเทียบ ซึ่งแสดงด้วยแผนผังดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 แผนผังขั้นตอนการปรับปรุงภาพ

ขั้นตอนแรกจากภาพต้นฉบับทำการกำหนดสมการคำนวณค่าฮิสโตแกรมดังนี้

$$h_i = \text{histogram}(g_{mn}) \quad (3-1)$$

เมื่อ h_i คือ ค่าฮิสโตแกรม
 g_{mn} คือ ค่าระดับสีเทาในแต่ละจุดภาพของภาพต้นฉบับ

เมื่อได้ค่าฮิสโตแกรมแล้วจากนั้นนำมาคำนวณค่า $G_{\max}$, $G_{\min}$, P_1 และ P_2 โดยกำหนดเป็นสมการ ดังนี้

$$G_{\max} = \max_{i=1}^{M \times N} (h_i) \quad (3-2)$$

$$G_{\min} = \min_{i=1}^{M \times N} (h_i) \quad (3-3)$$

$$P_1 = \sum_{i=1}^{A_1} h_i, \quad A_1 = \text{จำนวนเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 12.5\%} \quad (3-4)$$

$$P_2 = \sum_{i=1}^{A_4} h_i, \quad A_4 = \text{จำนวนเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 87.5\%} \quad (3-5)$$

เมื่อ $G_{\max}$ คือ ค่าความเข้มสูงสุดของภาพ

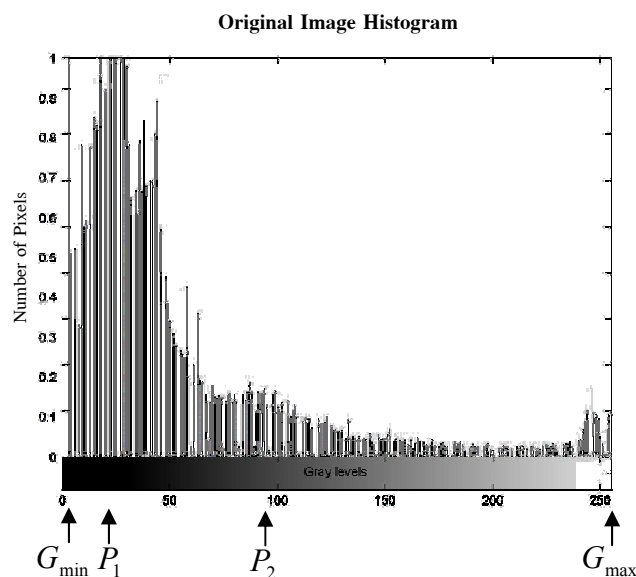
$G_{\min}$ คือ ค่าความเข้มต่ำสุดของภาพ

A_1 คือ จำนวนเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 12.5%

A_4 คือ จำนวนเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 87.5%

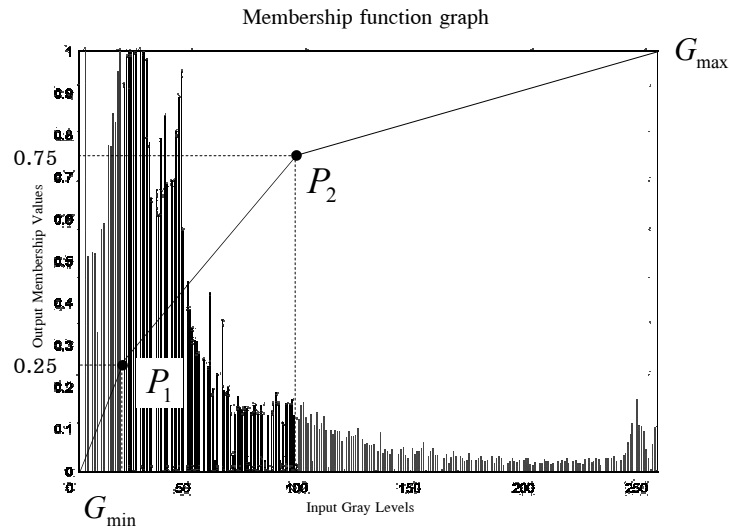
P_1 คือ ตำแหน่งระดับสีเทาที่ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรม 12.5%

P_2 คือ ตำแหน่งระดับสีเทาที่ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรม 87.5%



ภาพที่ 3-15 ตำแหน่งของตัวแปร $G_{\min}$, P_1 , P_2 และ $G_{\max}$

ขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซีเซตมาสร้างเป็นกฎฟัซซี เริ่มจากการคำนวณค่าสมาชิกจากค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ โดยทำการแบ่งค่าฮิสโตแกรมออกเป็น 3 ช่วงตามแนวความคิดรูปสามเหลี่ยมคือ ช่วง 25% แรก (a ถึง b) ช่วง 50% (b ถึง c) ต่อมา และ ช่วง 25% สุดท้าย (c ถึง d) แสดงดังภาพที่ 3-16 และในการกำหนดสมการเพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมชักรุนั้นได้ใช้ทฤษฎีของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากหัวข้อที่ 2.4.4 ในการคำนวณ



ภาพที่ 3-16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ

จากภาพที่ 3-16 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้โดยเริ่มจากการกำหนดสมการในช่วงเปอร์เซ็นต์สะสมของฮิสโตแกรมที่ 25% แรก นั่นคือค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในช่วง $G_{\min}$ ถึง P_1 ซึ่งแต่ละค่าที่ได้ก็คืออัตราส่วนระหว่างระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมที่ตำแหน่งใดๆ จาก $G_{\min}$ แต่ไม่เกิน P_1 ต่อระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมระหว่าง $G_{\min}$ ถึง P_1 โดยจะต้องคูณด้วย 0.25 เนื่องจากต้องการให้สมาชิกที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.25 ดังสมการที่ 3-6

$$\mu(h_i) = \frac{h_i - G_{\min}}{P_1 - G_{\min}} \times 0.25, \quad G_{\min} \leq h_i \leq P_1 \quad (3-6)$$

สมการในการหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากค่าฮิสโตแกรมในช่วงต่อไป (50%) จะอยู่ในช่วง P_1 ถึง P_2 ซึ่งแต่ละค่าที่ได้ก็คืออัตราส่วนระหว่าง ระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมที่ตำแหน่งใดๆ จาก P_1 แต่ไม่เกิน P_2 ต่อระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมระหว่าง P_1 ถึง P_2 โดยจะต้องคูณด้วย 0.5 และบวกด้วย 0.25 เนื่องจากต้องการให้สมาชิกที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 และเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0.25 ดังสมการที่ 3-7

$$\mu(h_i) = \left(\frac{h_i - P_1}{P_2 - P_1} \times 0.50 \right) + 0.25, \quad P_1 < h_i \leq P_2 \quad (3-7)$$

สมการในการหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในช่วงสุดท้าย (25%) จะอยู่ในช่วง P_2 ถึง $G_{\max}$ ซึ่งแต่ละค่าที่ได้ก็คืออัตราส่วนระหว่าง ระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมที่ตำแหน่งใดๆ จาก P_2 แต่ไม่เกิน $G_{\max}$ ต่อระยะห่างของค่าฮิสโตแกรมระหว่าง P_2 ถึง $G_{\max}$ โดยจะต้องคูณด้วย 0.25

และบวกด้วย 0.75 เนื่องจากต้องการให้สมาชิกที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 ถึง 0.1 และเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0.75 ดังสมการที่ 3-8

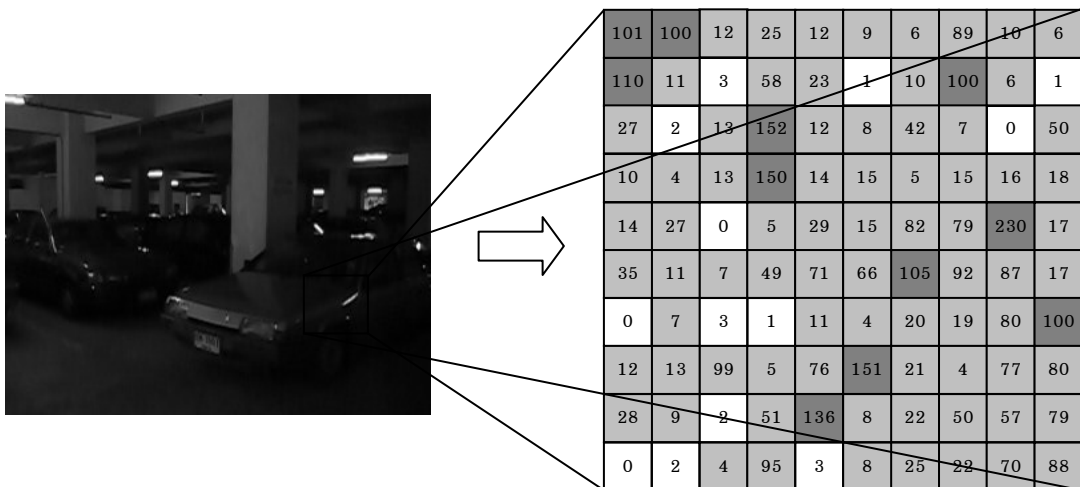
$$\mu(h_i) = \left(\frac{h_i - P_2}{G_{\max} - P_2} \times 0.25 \right) + 0.75, \quad P_2 < h_i \leq G_{\max} \quad (3-8)$$

เมื่อ $\mu(h_i)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฮิสโตแกรม
 h_i คือ ค่าฮิสโตแกรม

เมื่อนำสมการที่ได้ทั้ง 3 สมการมาเขียนรวมกันแล้วจะได้สมการคำนวณหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังสมการที่ 3-9

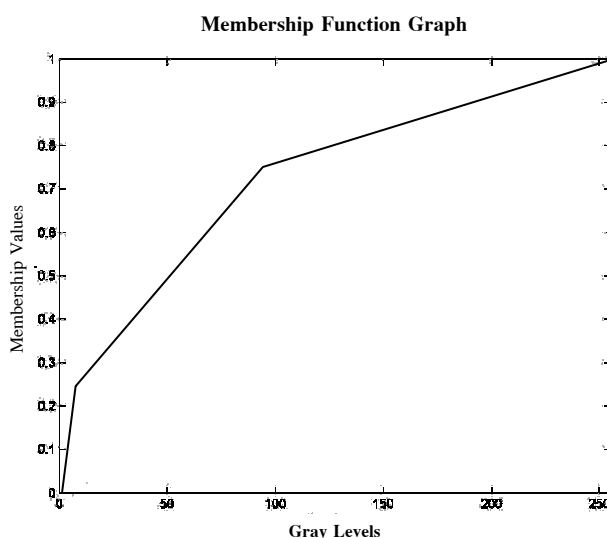
$$\mu(g_{mn}) = \begin{cases} \frac{g_{mn} - G_{\min}}{P_1 - G_{\min}} \times 0.25, & G_{\min} \leq g_{mn} \leq P_1 \\ 0.25 + \left(\frac{g_{mn} - P_1}{P_2 - P_1} \times 0.50 \right), & P_1 < g_{mn} \leq P_2 \\ 0.75 + \left(\frac{g_{mn} - P_2}{G_{\max} - P_2} \times 0.25 \right), & P_2 < g_{mn} \leq G_{\max} \end{cases} \quad (3-9)$$

เมื่อ $\mu(g_{mn})$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฮิสโตแกรมภาพต้นฉบับ
 g_{mn} คือ ค่าระดับสีเทาของภาพต้นฉบับ



ภาพที่ 3-17 ภาพและตัวเลขแสดงค่าระดับสีเทขนาด 10x10 จุดภาพ

จากสมการที่ 3-9 เมื่อใช้ภาพตัวอย่างขนาด 10x10 จุดภาพ สามารถอธิบายได้ดังนี้ จากค่าความเข้มสีของภาพจำนวน 100 จุดภาพ ผ่านการคำนวณหาค่า $G_{\max}$, $G_{\min}$, $G_{25\%}$ และ $G_{75\%}$ แล้วได้ค่าดังนี้คือ $G_{\max} = 230$, $G_{\min} = 0$, $G_{25\%} = 3$ (ค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์สะสม 12.5%) และ $G_{75\%} = 99$ (ค่าความเข้มสีที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์สะสม 87.5%) ซึ่งจะได้กลุ่มของค่าความเข้มสี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีค่าความเข้มสี 0 ถึง 3, 4 ถึง 99 และ 100 ถึง 255 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยกลุ่มของค่าระดับสีเทา 0 ถึง 3 จะใช้กฎฟัซซิกกฎที่ 1, กลุ่มของค่าความเข้มสี 4 ถึง 99 จะใช้กฎฟัซซิกกฎที่ 2 และ กลุ่มของค่าความเข้มสี 100 ถึง 255 จะใช้กฎฟัซซิกกฎที่ 3 ซึ่งค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่คำนวณได้นั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สามารถแสดงด้วยกราฟดังนี้



ภาพที่ 3-18 กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากสมการที่ 3-9

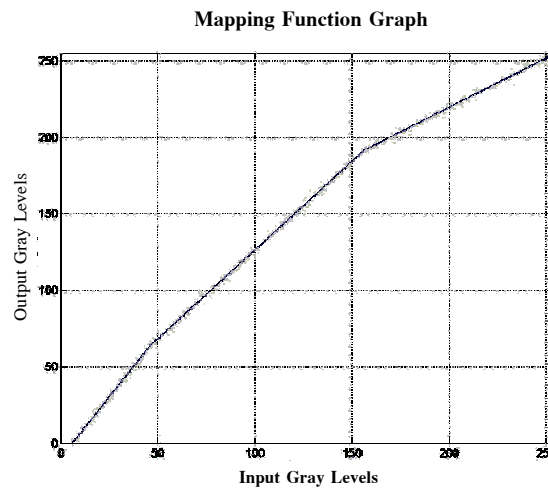
จากภาพที่ 3-18 จะเห็นว่าที่ค่าระดับสีเทาระหว่าง 0 ถึง 3 จะถูกคำนวณให้มีค่าสมาชิกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.25 (25% ของ 1), ค่าระดับสีเทาระหว่าง 4 ถึง 99 จะถูกคำนวณให้มีค่าสมาชิกอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.75 (50% ของ 1) และค่าระดับสีเทาระหว่าง 100 ถึง 255 จะถูกคำนวณให้มีค่าสมาชิกอยู่ระหว่าง 0.76 ถึง 1 (25% ของ 1)

ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างภาพที่ทำการปรับปรุงแล้ว เนื่องจากค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่คำนวณได้นั้นจะมีค่าสมาชิกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นเมื่อต้องการคำนวณหาภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้นสามารถนำค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้ ไปคูณกับกับค่าระดับสีเทาสูงสุดของภาพได้โดยตรง ซึ่งในที่นี้ใช้ภาพที่มีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 255 ระดับ (8 บิต)

$$g'_{mn} = \mu(g_{mn}) \times 255 \quad (3-10)$$

เมื่อ g'_{mn} คือ ค่าระดับสีเทาแต่ละจุดภาพของภาพที่ทำการปรับปรุงแล้ว

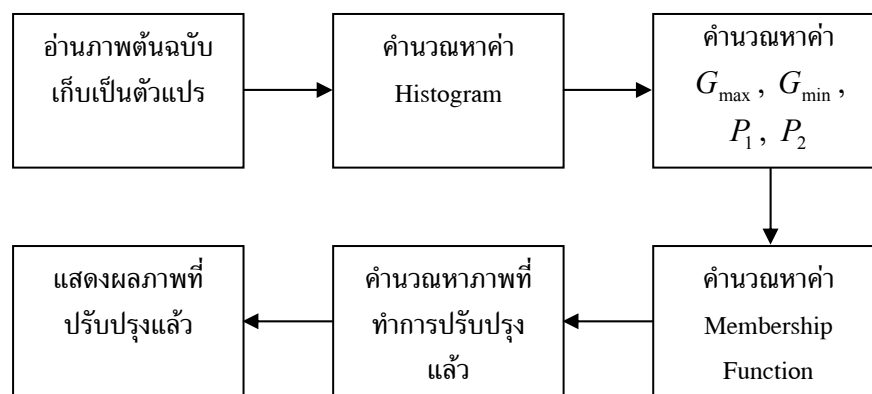
ค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้นั้นสามารถแสดงด้วยกราฟฟังก์ชันจัดเทียบ แลวดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 กราฟฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) ที่ได้จากสมการที่ 3-10

3.4 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้จะนำสมการที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงภาพด้วยโปรแกรม MATLAB โดยสามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วนๆ ได้ 6 ส่วนดังนี้ คือ อ่านภาพต้นฉบับ, คำนวณค่า histogram, คำนวณค่า $G_{\max}$, $G_{\min}$, P_1 , P_2 , คำนวณค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก, คำนวณหาภาพที่ทำการปรับปรุงแล้ว และแสดงภาพที่ปรับปรุง ซึ่งได้แสดงโปรแกรมไว้แล้วในภาคผนวก ก

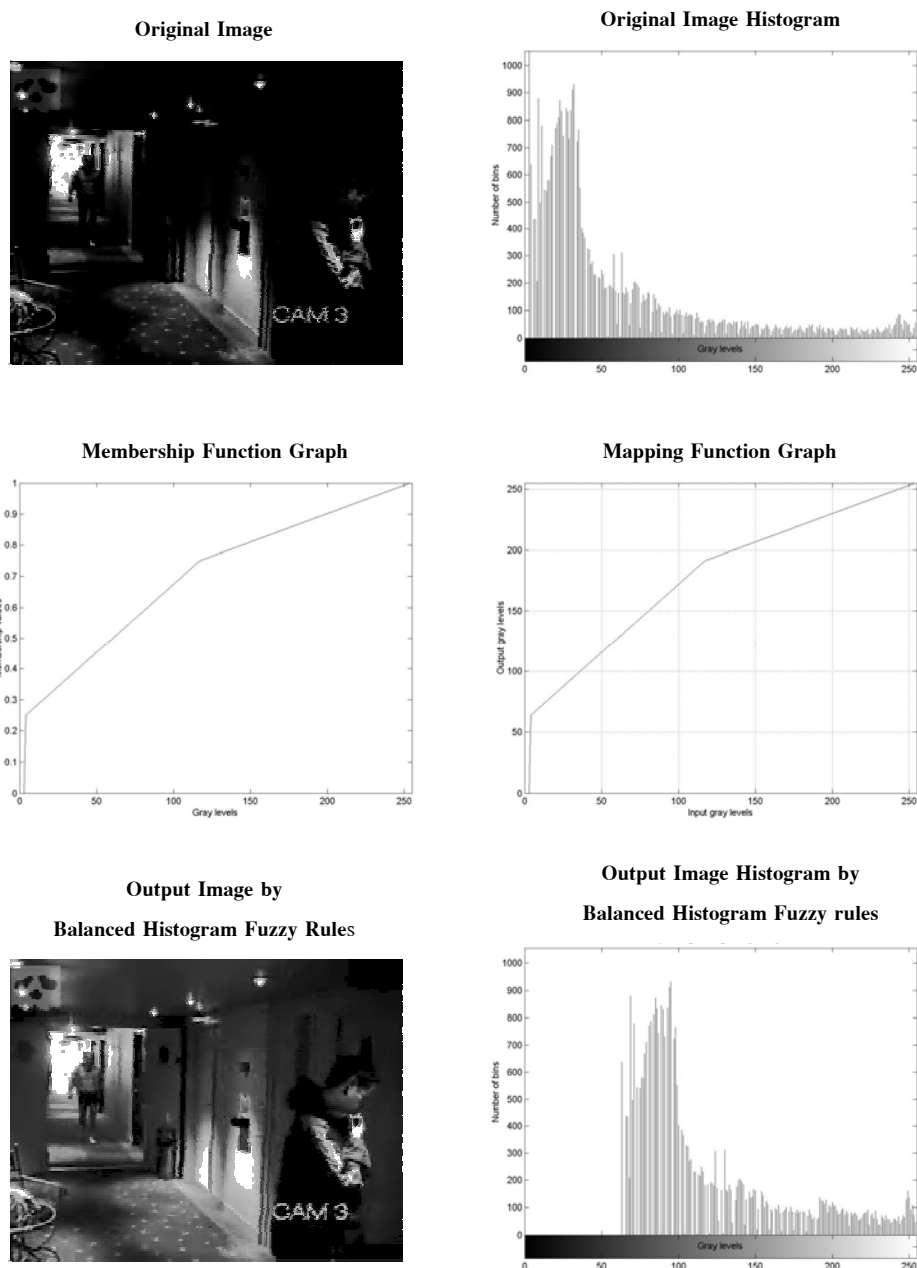


ภาพที่ 3-20 แผนผังการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.5 การทดสอบโปรแกรม

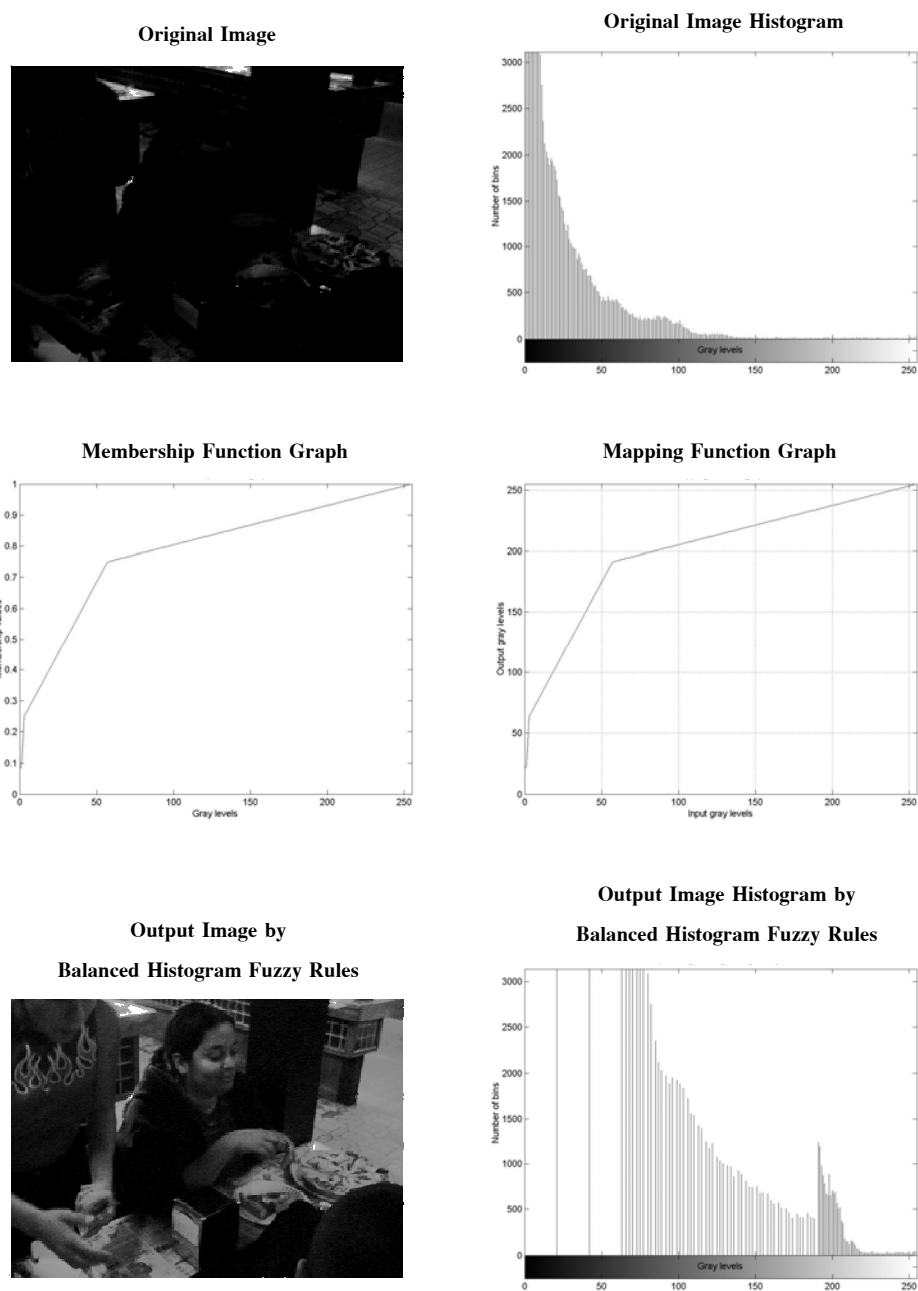
ในส่วนนี้เป็นการนำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบกับภาพตัวอย่างภาพที่มีลักษณะความมืดแตกต่างกัน 3 ลักษณะคือ ภาพที่มีลักษณะบางจุดมืดมากๆ และบางจุดสว่างมากๆ ภาพที่มีลักษณะค่อนข้างมืด และภาพที่มีลักษณะมืดมากๆ

ทดสอบกับภาพจากกล้อง CCTV ที่มีลักษณะบางจุดมืดมากๆ และบางจุดสว่างมากๆ



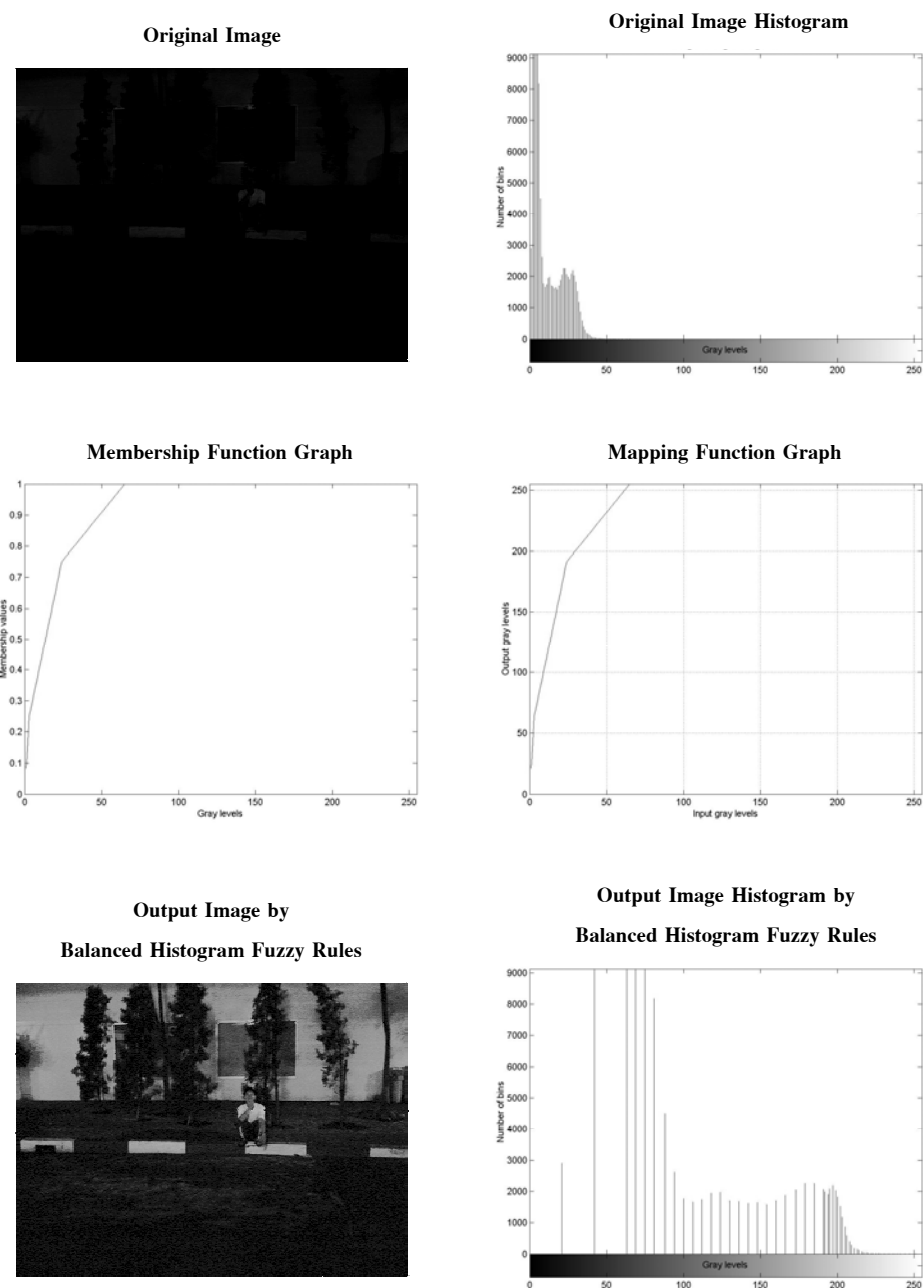
ภาพที่ 3-21 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่มีลักษณะบางจุดมืดมากๆ และบางจุดสว่างมากๆ

ทดสอบกับภาพจากกล้องดิจิทัลที่มีลักษณะค่อนข้างมืด



ภาพที่ 3-22 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องดิจิทัลที่มีลักษณะค่อนข้างมืด

ทดสอบกับภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่มีลักษณะมืดมาก ๆ



ภาพที่ 3-23 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากกล้องดิจิทัลที่มีลักษณะมืดมาก ๆ

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพ ด้วยวิธีฮิสโตแกรมสมดุลด้วยกฎฟัซซี (Balanced Histogram Fuzzy Rules) กับวิธีการจากงานวิจัยทั้ง 4 เรื่อง ได้แก่วิธี Possibility Distribution Algorithm [2], Contrast Improvement with Intensification Operator [3], FHH [4], Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules [5] รวมทั้งวิธี ฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization) [10] ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงภาพที่นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นในปัจจุบัน โดยการทดสอบนั้นจะใช้ภาพที่มีคุณสมบัติต่างกัน 2 ลักษณะคือ ภาพจากกล้องวงจรปิดจากฐานข้อมูลในอินเทอร์เน็ต และภาพจากกล้องดิจิทัลที่บันทึกขึ้นมาใหม่ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป

4.1 ภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV)

จากภาพที่ 4-1 (ก) เป็นภาพต้นฉบับซึ่งมีความมืดในบริเวณบางส่วนคือบริเวณใบหน้าของคนและด้านซ้ายของภาพ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากยังคงมีความมืดอยู่มาก ไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดในส่วนใบหน้าได้ชัดเจน และภาพมีความเป็นธรรมชาติมากกว่าเนื่องจากภาพมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-2 (ก) เป็นภาพต้นฉบับซึ่งค่อนข้างมืดมาก ๆ โดยมีส่วนที่สว่างอยู่เป็นบริเวณน้อยคือบริเวณตัวถังรถ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากยังคงมีความมืดอยู่มาก ไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพจากวิธี (ข)

สามารถให้รายละเอียดของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-3 (ก) เป็นภาพต้นฉบับซึ่งไม่จัดว่ามีดีมาก โดยบุคคลในภาพนั้นจะอยู่ในบริเวณที่เป็นมุมมืดและมีส่วนที่สว่างอยู่หลายจุด เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดในส่วนของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-4 (ก) เป็นภาพต้นฉบับซึ่งค่อนข้างมืดเนื่องจากมีแสงไฟส่องเข้าทางด้านหลังของบุคคลในภาพจึงทำให้บริเวณด้านหน้านั้นไม่สามารถแสดงรายละเอียดต่างๆ ได้ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลได้มากขึ้นกว่าเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดในส่วนของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า เนื่องจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

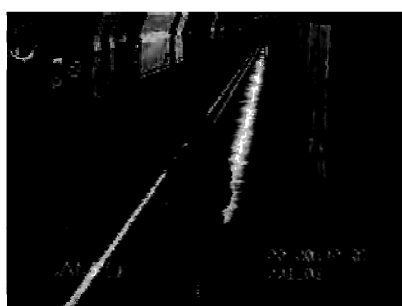
จากภาพที่ 4-5 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่ค่อนข้างสว่างเนื่องจากมีแสงไฟภายในภาพเป็นจำนวนมาก แต่ใบหน้าของบุคคลในภาพนั้นอยู่ในบริเวณมุมมืดจึงไม่สามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าได้ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดขึ้นกว่าเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดในส่วน of ใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 4-1 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 1



(ก) ภาพต้นฉบับ



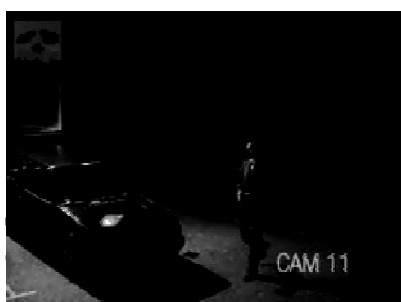
(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่น่าเสนอ

ภาพที่ 4-2 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 2



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]

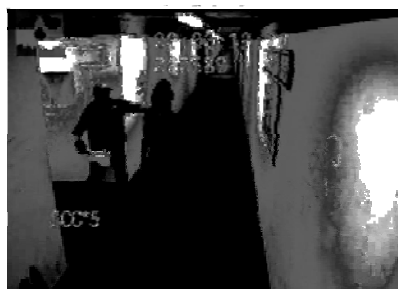


(ช) วิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 4-3 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 3



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ซ) วิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 4-4 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 4



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 4-5 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดภาพที่ 5

4.2 ภาพจากกล้องดิจิทัล (Digital Camera)

จากภาพที่ 4-6 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่ค่อนข้างมืดโดยมีจุดที่สว่างอยู่เป็นบริเวณน้อย แต่ใบหน้าของบุคคลในภาพนั้น อยู่ในบริเวณมุมมืดจึงไม่สามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าได้ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนขึ้นกว่าเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพของบุคคลที่อยู่ด้านหน้านั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบบุคคลที่อยู่ด้านหลัง ภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดในส่วนขอใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพโดยรวมนั้นมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

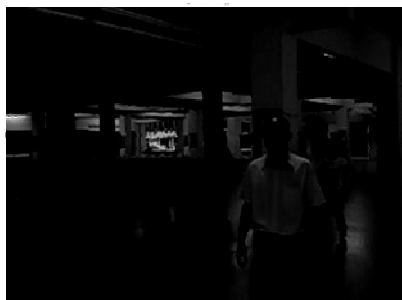
จากภาพที่ 4-7 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่ค่อนข้างมืดโดยมีจุดที่สว่างอยู่เป็นบริเวณน้อย แต่บุคคลภายในภาพนั้น อยู่ในบริเวณมุมมืดจึงไม่สามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าได้ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนขึ้นกว่าเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพของบุคคลที่อยู่ด้านหน้านั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบบุคคลที่อยู่ด้านซ้าย ภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพโดยรวมนั้นมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-8 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่ค่อนข้างมืดโดยมีจุดที่สว่างอยู่เป็นบริเวณน้อย แต่บุคคลภายในภาพนั้น อยู่ในบริเวณมุมมืดจึงไม่สามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าได้ เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนขึ้นกว่าเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าภาพของบุคคลที่อยู่ด้านหน้านั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบ

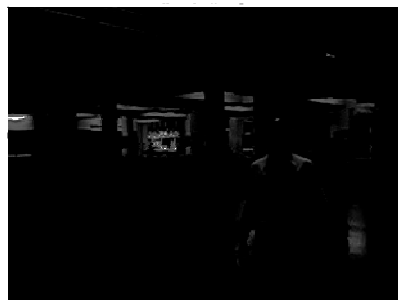
บุคคลที่อยู่ด้านซ้าย ภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพโดยรวมนั้นมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-9 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่บุคคลในภาพนั้นอยู่ในระยะใกล้และมีสภาพแวดล้อมค่อนข้างมืด เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลในภาพได้ชัดเจนขึ้นกว่าเดิม สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่า ภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดของบุคคลในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพโดยรวมนั้นมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า

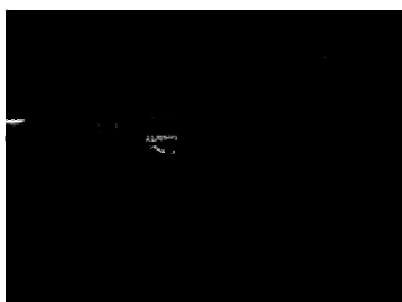
จากภาพที่ 4-10 (ก) เป็นภาพต้นฉบับที่บุคคลในภาพนั้นอยู่ในระยะใกล้และมีสภาพแวดล้อมค่อนข้างมืด เมื่อนำภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 วิธี [2, 3, 4, 5] ปรากฏว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการปรับปรุงน้อยมากไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบุคคลภายในภาพนั้นเพิ่มมากขึ้นได้ และมีบางส่วนมืดลงจากเดิม มีเพียงภาพผลลัพธ์จากวิธี [10] และ (ข) เท่านั้นที่มีการปรับปรุงจนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คือสามารถแสดงรายละเอียดของใบหน้าของบุคคลในภาพได้ชัดเจนขึ้นกว่าเดิม สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้งานได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ปรับปรุงด้วยวิธี [10] กับ (ข) นั้นปรากฏว่าทั้ง 2 วิธีให้ภาพที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ภาพจากวิธี (ข) สามารถให้รายละเอียดขององค์ประกอบภายในภาพได้ชัดเจนกว่าวิธี [10] และภาพโดยรวมนั้นมีความกลมกลืนดูเป็นธรรมชาติมากกว่า อันเนื่องมาจากภาพนั้นมีคุณสมบัติของความแตกต่างของระดับสีเทาที่น้อยกว่า



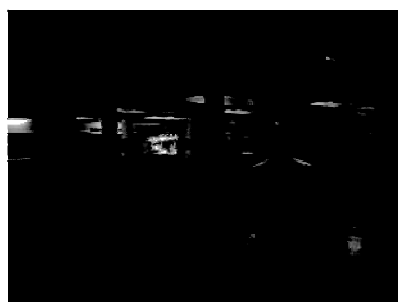
(ก) ภาพต้นฉบับ



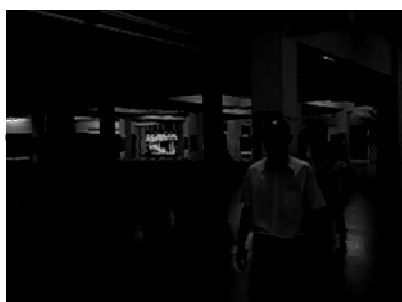
(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]

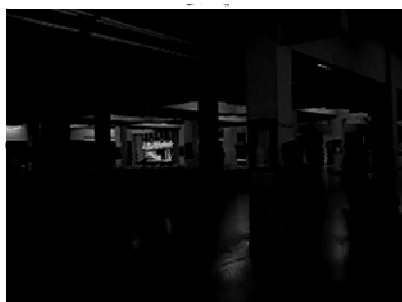


(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่นำเสนอ

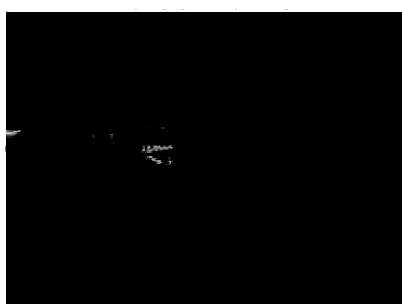
ภาพที่ 4-6 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิทัลภาพที่ 1



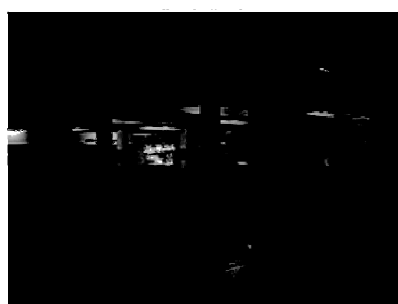
(ก) ภาพต้นฉบับ



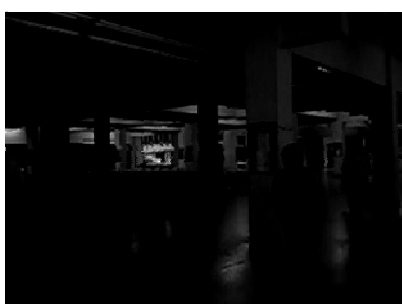
(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]

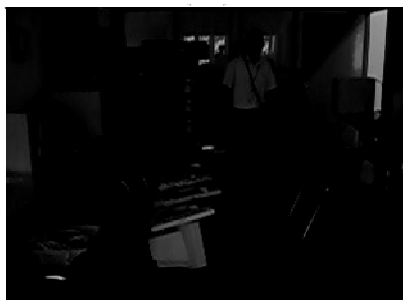


(ฉ) วิธี [10]

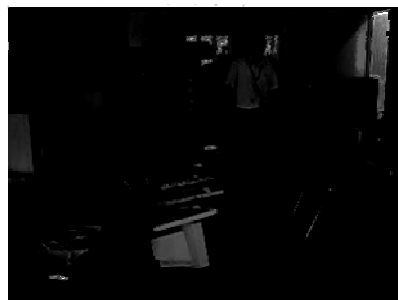


(ช) วิธีที่นำเสนอ

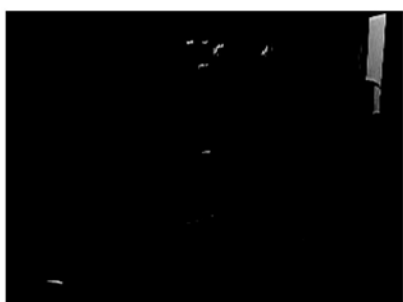
ภาพที่ 4-7 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 2



(ก) ภาพต้นฉบับ



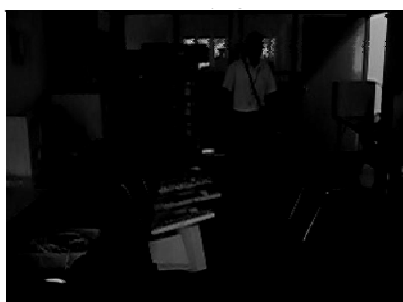
(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่นำเสนอ

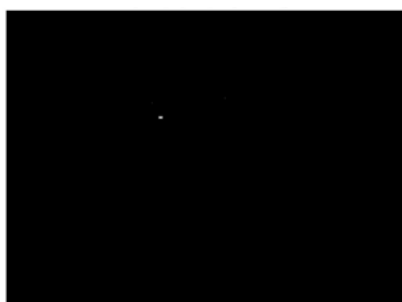
ภาพที่ 4-8 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิทัลภาพที่ 3



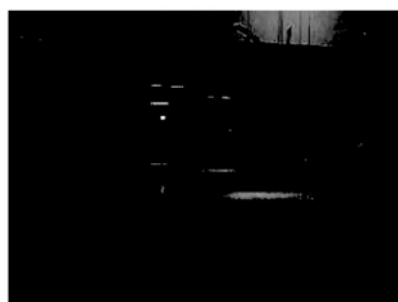
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) วิธี [2]



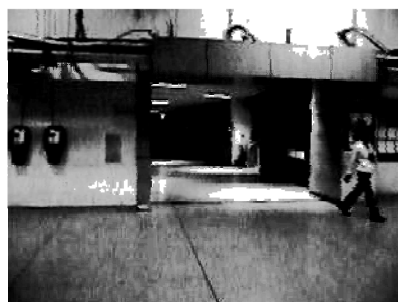
(ค) วิธี [3]



(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]

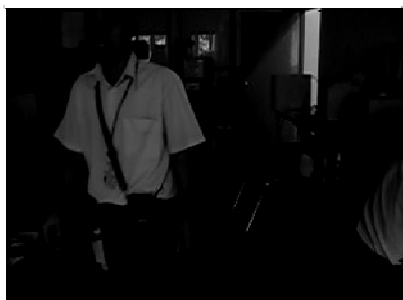


(ฉ) วิธี [10]

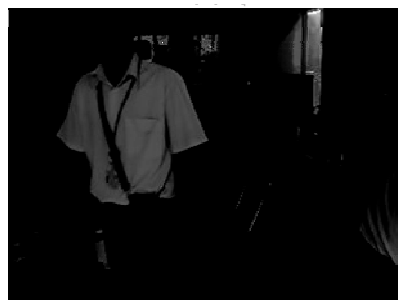


(ช) วิธีที่นำเสนอ

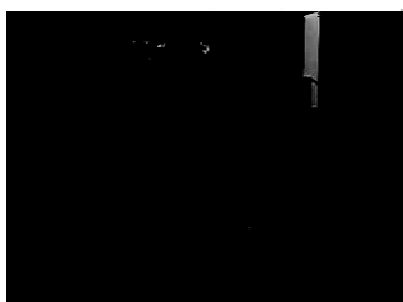
ภาพที่ 4-9 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิทัลภาพที่ 4



(ก) ภาพต้นฉบับ



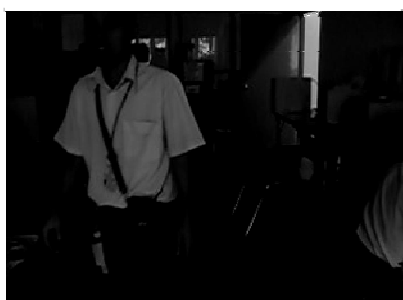
(ข) วิธี [2]



(ค) วิธี [3]



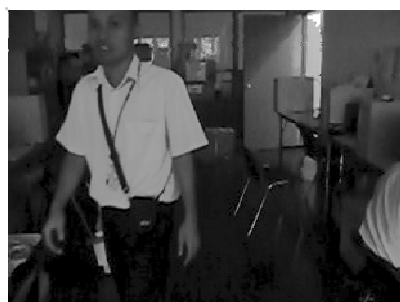
(ง) วิธี [4]



(จ) วิธี [5]



(ฉ) วิธี [10]



(ช) วิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 4-10 ผลลัพธ์ของภาพจากกล้องดิจิตอลภาพที่ 5

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาภาพจากวิธี [2] ซึ่งเป็นภาพเอกซเรย์เต้านม (Digital Mammogram) ที่ใช้ตรวจสอบมะเร็งเต้านม ดังนั้นการปรับปรุงภาพจึงได้แบ่งค่าระดับสีเทา (Gray-Levels) ออกเป็น 4 ส่วนดังภาพที่ 2-36 โดยส่วนที่ 1 และ 2 จะทำการกระจายค่าระดับสีเทาให้เต็มพื้นที่ 256 ระดับสี แต่ส่วนที่ 3 และ 4 จะทำการกระจายค่าระดับสีเทาแบบย้อนกลับ (Inverse) ให้เต็มพื้นที่ 256 ระดับสีเช่นกัน ดังนั้นภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงจะทำให้ส่วนของภาพที่แสดงเนื้อเยื่อของมะเร็งนั้นเด่นชัดขึ้นเพื่อให้่ายต่อการวิเคราะห์ของแพทย์ เมื่อพิจารณาภาพจากวิธี [3] ซึ่งเป็นภาพเอกซเรย์รอยเชื่อมโลหะ (Radiographic Testing Weld) ที่ใช้ตรวจสอบรอยเชื่อมของโลหะ โดยจะทำการเลือกปรับปรุงภาพในส่วนของระดับสีเทาที่มีค่ามากซึ่งเป็นส่วนที่แสดงรอยเชื่อมของพื้นผิวโลหะให้ชัดเจนขึ้นจึงทำให้่ายต่อการวิเคราะห์โดยวิศวกร เมื่อพิจารณาภาพจากวิธี [4] ซึ่งเป็นภาพเอกซเรย์ (Radiography) ที่ใช้ตรวจสอบการผัดตกรกระดูก ดังนั้นการปรับปรุงภาพจึงได้เจาะจงช่วงตำแหน่งของค่าระดับสีเทาไว้ที่ระหว่างค่า 100 ถึง 200 ดังภาพที่ 2-37 เนื่องจากเป็นช่วงระดับสีที่แสดงส่วนของกระดูกและอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ช่วยในการรักษากระดูก โดยไม่สนใจการปรับปรุงในส่วนของระดับสีอื่น ๆ เพื่อให้ภาพที่ได้นั้น ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลการรักษาของแพทย์ เมื่อพิจารณาภาพจากวิธี [5] ซึ่งเป็นการปรับปรุงภาพในลักษณะทั่วไป ไม่ระบุเจาะจงชนิดของภาพ ดังนั้นการปรับปรุงภาพจึงกระทำกับทุกค่าระดับสีเทาเพื่อทำการกระจายระดับสีจากบริเวณสีเข้มให้ไปอยู่ในบริเวณสว่างในแบบเชิงเส้น (Linear) เพื่อให้ภาพนั้นสว่างขึ้น แต่มีข้อเสียคือ เมื่อภาพต้นฉบับนั้นมีการกระจายของระดับสีเทาอยู่ในตำแหน่งต่ำสุดและสูงสุดอยู่ก่อนแล้ว การปรับปรุงภาพจะทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อพิจารณาภาพจากวิธี [10] ซึ่งเป็นการปรับปรุงภาพทั่วๆ ไปให้มีความสว่าง (Brightness) เพิ่มขึ้น และนิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงภาพในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากการปรับปรุงภาพด้วยวิธีนี้นั้นจะนำค่าระดับสีเทาทั้งหมดมาเรียงลำดับตั้งแต่ค่าระดับสีน้อยสุดไปมากที่สุด และนำค่าระดับสีแต่ละตำแหน่งไปเทียบกับตารางระดับสี (Look Up Table) เพื่อกระจายค่าระดับสีให้ภาพมีความสว่างเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือ ภาพที่ได้จะมีความแตกต่างของระดับสีมากเกินไปและมีสัญญาณรบกวน (Noise) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการปรับค่าระดับสีโดยใช้ตารางระดับสีนั้นจะทำให้แต่ละจุดภาพ (Pixels) เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่สัมพันธ์กัน เมื่อพิจารณาภาพจากวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการปรับปรุงภาพมิติที่ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด ดังนั้นการปรับปรุงภาพจึงกระทำ การปรับปรุงกับทุกค่าระดับสีโดยแบ่งค่าระดับสีออกเป็น 3 ส่วน ตามจำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสี จากต่ำไปสูงดังภาพที่ 3-6 และทำการปรับให้ทั้ง 3 ส่วนมีการกระจายของระดับสีเพิ่มมากขึ้นโดยแต่ละระดับสีนั้นมีความสัมพันธ์กัน จึงทำให้ภาพที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้น แสดงรายละเอียดของภาพได้ชัดเจน มีความสมดุล และดูเป็นธรรมชาติมากกว่าวิธีการอื่นๆ ที่ได้กล่าวมา

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบภาพที่มีลักษณะต่างๆ กันนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพด้วยวิธี Histogram Balanced Fuzzy Rules เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับแล้วปรากฏว่าภาพที่ได้นั้นมีความสว่างเพิ่มมากขึ้นจนสามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีในทุกภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพจากงานวิจัยทั้ง 4 วิธีได้แก่วิธี Possibility Distribution Algorithm [2], Contrast Improvement with Intensification Operator [3], FHH [4], และ Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules [5] นั้น ปรากฏว่าภาพที่ได้สามารถให้ความสว่างและแสดงรายละเอียดได้ชัดเจนกว่าในทุกภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพด้วยวิธี Histogram Equalization ปรากฏว่าภาพที่ได้นั้นให้ความสว่างใกล้เคียงกันแต่สามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีกว่าและภาพดูเป็นธรรมชาติมากกว่า เนื่องจากวิธีการนี้นั้นค่าระดับความเข้มของแต่ละจุดภาพ (Pixels) นั้นเมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลแล้ว จะยังคงรักษาระดับความเข้มของแต่ละระดับในลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งหมายความว่าค่าระดับความเข้มของแต่ละจุดภาพ นั้นจะไม่ถูกปรับให้มีค่าปะปนกัน จึงไม่ทำให้ภาพที่ได้นั้นสูญเสียรายละเอียดของภาพไปดังวิธีการ Histogram Equalization

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการ “ฮิสโตแกรมสมดุลด้วยกฎฟัซซี (Balanced Histogram Fuzzy Rules)” ซึ่งเป็นการนำทฤษฎีของฟัซซีเซต (Fuzzy Set) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) ที่มีคุณสมบัติมืดให้มีความสว่างเพิ่มขึ้น จนสามารถแสดงรายละเอียดของวัตถุหรือบุคคลที่อยู่ในภาพได้อย่างชัดเจน โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่มีวิธีการปรับปรุงภาพในลักษณะเดียวกัน และนำมากำหนดเป็นวิธีใหม่ดังกล่าว ซึ่งมีหลักการของแนวความคิดเป็นการกำหนดค่าฮิสโตแกรม (Histogram) ของภาพที่ปรับปรุงแล้วในอุดมคติให้เป็นรูป 3 เหลี่ยมหน้าจั่ว และทำการปรับปรุงภาพต้นฉบับให้มีระดับค่าความเข้มของฮิสโตแกรม เปลี่ยนแปลงไปจนมีลักษณะใกล้เคียงกับฮิสโตแกรมในอุดมคติ โดยใช้การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) จากทฤษฎีของกฎฟัซซี (Fuzzy Rules) เพื่อค้นหาฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) ที่ใช้ในการสร้างภาพขึ้นมาใหม่

จากการปรับปรุงภาพด้วยวิธีดังกล่าว เมื่อนำมาใช้ทดสอบกับภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) และภาพจากกล้องดิจิทัล (Digital Camera) ในบทที่ 4 ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้คือ ภาพที่ได้จากการปรับปรุงด้วยวิธีจากงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงให้ภาพต้นฉบับที่มีต้นสว่างขึ้นได้ดีขึ้นสามารถนำไปวิเคราะห์ใช้งานต่อไปได้ทั้งหมด สามารถให้ผลการปรับปรุงที่ดีกว่าสว่างมากกว่า ชัดเจนกว่าทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาทั้ง 4 วิธี ได้แก่ Possibility Distribution Algorithm [2], Contrast Improvement with Intensification Operator [3], FHH [4], Contrast Improvement based on Fuzzy If-Then Rules [5] ซึ่งเป็นการปรับปรุงภาพทางการแพทย์ที่ต้องการการเลือกปรับปรุงเฉพาะช่วงระดับค่าความเข้ม (Gray-Level) ในช่วงใดช่วงหนึ่ง และสามารถให้ผลการปรับปรุงที่แสดงรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนกว่า ภาพดูเป็นธรรมชาติมากกว่าทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงภาพด้วยวิธี Histogram Equalization ดังนั้นการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการนี้จึงเหมาะกับภาพต้นฉบับที่ต้องการกระทำการปรับปรุงทุก ๆ ระดับค่าความเข้มของภาพในลักษณะที่ต้องการให้ภาพมีความสว่างเพิ่มขึ้น และยังคงรายละเอียดภายในภาพไว้ให้มากที่สุด

5.2 ข้อดีของวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่

ภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงด้วยวิธีการนี้นั้น สามารถแสดงรายละเอียดได้อย่างชัดเจนกว่าวิธีการอื่นๆ แม้ว่าภาพต้นฉบับจะเป็นภาพที่มีคุณสมบัติมีดในลักษณะต่างๆ และยังคงรักษาสภาวะสมดุลของภาพไว้โดยไม่ทำให้ภาพเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิม รวมทั้งไม่ทำให้ภาพที่ได้เกิดมีสัญญาณรบกวน (Noise) ปรากฏขึ้นมากดังเช่นวิธีการอื่นๆ

5.3 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย

ภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงด้วยวิธีการนี้นั้นมีค่าความจัดของสี (Contrast) น้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการนี้นั้น สามารถนำไปใช้ปรับปรุงภาพในรูปแบบอื่นที่มีคุณสมบัติมีदनอกเหนือไปจากภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดและกล้องดิจิตอลได้ดี เนื่องจากภาพที่ได้สามารถแสดงรายละเอียดได้อย่างชัดเจน รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงภาพที่มีความสว่างมากเกินไปให้กลับสู่สภาวะสมดุลได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. L. A. Zadeh. "Fuzzy Sets*." Information and Control [serial online] 1965 ; (Pt 8) : 338-353.
2. Sameer Singh, Reem Al-Mansoori. "Identification of Regions of Interest in Digital Mammograms." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems [serial online] 2000 ; (Pt 10) : 183-210.
3. ZHANG Xiao-guang, GAO Ding XU Jian-jian. "Generalized Fuzzy Enhancement of Image for Radiographic Testing Weld." Proceedings of the 4th International Symposium on Image Processing and Analysis [serial online] 2005 ; (Pt 4) : 94-99.
4. G. Krell, H.R. Tizhoosh, T. Lilienblum, C. J. Moore, B. Michaelis. "Fuzzy Image Enhancement and Associative Feature Matching in Radiotherapy." ICNN '97 [serial online] 1997 ; (Pt 1) : 1490-1495.
5. Bor-Tow Chen, Yung-Sheng Chen, Wen-Hsing Hsu. "Automatic Histogram Specification Based on Fuzzy Set Operations for Image Enhancement." IEEE Signal Processing Letters [serial online] 1995 ; (Pt 2) : 37-40.
6. Aboul Ella Hassanien, Amr Badr. "A Comparative Study on Digital Mammography Enhancement Algorithms Based on Fuzzy Theory." Studies in Informatics and Control [serial online] 2003 : (Pt 12) : 21-31.
7. Tae Keun Kim, Joon Ki Paik, Bong Soon Kang. "Contrast Enhancement System Using Spatially Adaptive Histogram Equalization with Temporal Filtering*." IEEE Transactions on Consumer Electronics [serial online] 1998 ; (Pt 44) : 82-87.
8. Brian P. Mackey. "A Non-Linear Fuzzy Set Technique for Combining Precipitation Forecasts." 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting [serial online] 2004 Jan [cited 2005 Sep 22]. Available from : URL : http://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper_71601.htm
9. Orlando J. Tobias, Rui Seara. "Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Fuzzy Sets." IEEE Transactions on Image Processing [serial online] 2002 ; (Pt 11) : 1457-1465.
10. Maria Petrou, Panagiota Bosdogianni. Image Processing: The Fundamentals. John Wiley & Sons, Ltd : United Kingdom. Reprinted April 2000.

11. พยุง มีสัจ. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [ออนไลน์].
[สืบค้นวันที่ 20 มิถุนายน 2549].
จาก <http://suanpalm3.kmitnb.ac.th/teacher/phayung/powerpoint.asp?pno=1>.

ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Program Codes)

```
% Automatic image contract enhancement using Fuzzy Set.
```

```
% Start program.
```

```
clear;
```

```
L=256;
```

```
% Read image file.
```

```
img='2006_04_30\Image8G.bmp';
```

```
OriImg=imread(img);
```

```
OriHist=imhist(OriImg);
```

```
% Get information of image.
```

```
info=imfinfo(img);
```

```
rows=info.Height;
```

```
cols=info.Width;
```

```
size=rows*cols;
```

```
% Show original image and image histogram.
```

```
imshow(OriImg)
```

```
title('Original image','FontSize',10)
```

```
figure, imhist(OriImg)
```

```
xlabel('Gray levels')
```

```
ylabel('Number of bins')
```

```
title('Original image histogram','FontSize',10)
```

```
% Define Gmin, Gmax, Gmid, G25, G75.
```

```
Gmin=min(OriImg);
```

```
Gmin=min(Gmin);
```

```
Gmin=double(Gmin);
```

```
Gmax=max(OriImg);
```

```
Gmax=max(Gmax);
```

```
Gmax=double(Gmax);
```

```
p125=size*0.125;
```



```

p875=size*0.875;
bins1=0;
bins2=0;
for i=Gmin+1:Gmax+1
    if (bins1<=p125)
        bins1=bins1+OriHist(i);
        G25=i;
    end
    if (bins2<=p875)
        bins2=bins2+OriHist(i);
        G75=i;
    end
end

% Define the membership function.
OriImg=double(OriImg);
for i=1:rows
    for j=1:cols
        if (OriImg(i,j)<=G25)
            U(i,j)=((OriImg(i,j)-Gmin)/(G25-Gmin))*0.25;
        end
        if (OriImg(i,j)>G25&OriImg(i,j)<=G75)
            U(i,j)=0.25+(((OriImg(i,j)-G25)/(G75-G25))*0.50);
        end
        if (OriImg(i,j)>G75)
            U(i,j)=0.75+(((OriImg(i,j)-G75)/(Gmax-G75))*0.25);
        end
    end
end

% Create the membership function and the mapping function graph.
MembGra=0;
for i=1:256

```

```

if (i>=Gmin&i<=G25)
    MembGra(i)=((i-Gmin)/(G25-Gmin))*0.25;
end
if (i>G25&i<=G75)
    MembGra(i)=0.25+(((i-G25)/(G75-G25))*0.50);
end
if (i>G75&i<=Gmax)
    MembGra(i)=0.75+(((i-G75)/(Gmax-G75))*0.25);
end
if (i<Gmin)
    MembGra(i)=0;
end
if (i>Gmax)
    MembGra(i)=1;
end
MapGra(i)=MembGra(i)*255;
end

% Generate new gray-levels image by membership function.
for i=1:rows
    for j=1:cols
        FuzzyImg(i,j)=U(i,j)*255;
    end
end
FuzzyImg=uint8(FuzzyImg);

% Plot the membership function and the mapping function graph.
figure, plot(MembGra)
xlim([0 255])
ylim([0 1])
xlabel('Gray levels')
ylabel('Membership values')
title('Member ship function graph','FontSize',10)

```

```
figure, plot(MapGra)
grid on
xlim([0 255])
ylim([0 255])
xlabel('Input gray levels')
ylabel('Output gray levels')
title('Mapping function graph','FontSize',10)

% Show output by Fuzzy image and histogram.
figure, imshow(FuzzyImg)
title('Output image by Fuzzy Set','FontSize',10)
figure, imhist(FuzzyImg)
xlabel('Gray levels')
ylabel('Number of bins')
title('Output image histogram by Fuzzy Set','FontSize',10)

% End of program.
```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายอนรรตน์ สกุลทอง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : กฎพีซีซีสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด
สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ประวัติ

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาวุฒิ คอบ. ในสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2541

สถานที่ทำงาน โรงเรียนนานาชาติใหม่แห่งประเทศไทย จังหวัดกรุงเทพฯ ตำแหน่งพนักงานคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน

สถานที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 87/37 ซ.ประชาอุทิศ 15 ราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ 10140