

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงขอบภาพโดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่

EDGE ENHANCEMENT USING SPATIAL FREQUENCY MEASUREMENT



T110321



ภุริชญ์ เอมะปาน
BHURIT EMAPANA

ฉ.พ.

ภ ๕๗๗ ก

๒๕๕๓

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **110321**

วัน,เดือน,ปี **- 1 พ.ย. 2553**

b. 12262560
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KMITL 2010-EN-M-230-014

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDGE ENHANCEMENT USING SPATIAL FREQUENCY MEASUREMENT



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMITL 2010-EN-M-230 -014



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงขอบภาพโดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่
นักศึกษา	นายภูริชญ์ เอมะปาน
รหัสนักศึกษา	51061025
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมहरรรษากุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการปรับปรุงขอบภาพ โดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency Measurement) และต้องการขจัดสัญญาณรบกวนของภาพต้นฉบับหลังจากปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ กระบวนการดังกล่าวจะทำการทดลองสองรูปแบบ โดยรูปแบบแรกจะทำการปรับปรุงขอบภาพโดยใช้วิธีการหาขอบภาพด้วยวิธีแบบพื้นฐาน โดยวิธีการจะนำค่าเกรเดียนทางด้านแนวแถวและแนวหลัก ที่ได้จากกระบวนการหาขอบภาพแบบ โซเบล (Sobel operator) โรเบิร์ต (Robert operator) และ พรีวิท (Prewitt operator) มาทำการปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่โดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่ และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีการปรับปรุงขอบภาพแบบ Wavelet Based Image Fusion และการทดลองที่สองคือการปรับปรุงขอบภาพเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับ โดยวิธีที่นำเสนอจะทำการหาขอบภาพโดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี (Stationary Wavelet Transform) ในระดับความละเอียดที่หนึ่งและระดับความละเอียดที่สอง และนำไปปรับปรุงขอบภาพ โดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่เพื่อดูว่าขอบภาพที่ได้สามารถขจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้หรือไม่ เมื่อเทียบกับการหาขอบภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่ได้นั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ โดยวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างขอบภาพที่ได้รับการปรับปรุงกับภาพต้นฉบับ ทั้งนี้ผลการทดลองทั้งสองรูปแบบพบว่าวิธีที่ได้นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ของขอบภาพที่คมชัดและสมบูรณ์กว่าวิธีการแบบ Wavelet Based Image Fusion และสามารถขจัดสัญญาณรบกวนของขอบภาพได้ดี

Thesis Title	Edge Enhancement using Spatial Frequency Measurement
Student	Mr. Bhurit Emapana
Student ID.	51061025
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somkait Udomhunsakul

ABSTRACT

In this thesis, we propose the edge enhancement methods using Spatial Frequency Measurement. In the first methodology, the simple edge detection operators including Sobel Operator, Robert Operator and Prewitt Operator are used to get the gradient image both in horizontal and vertical direction. Next, both gradient images are fused to get a completed edge image using SFM, which is computed with Wavelet Based Image Fusion method. In the second methodology, SWT is used to extract the feature and reduce the noise from the source images both in level1 and level2. Next, the features or edges in both levels are fused to get a completed edge image using SFM. Finally, the correlation values between the edge image and source image and used to evaluated the completed edge images. From the experiments, we found that our proposed withed provided complete edge images.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สมเกียรติ อุดมธรรมากุล ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหามา
โดยตลอด ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณครู อาจารย์ทุกๆ ท่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ที่กรุณาอบรมสั่งสอน ที่
ประสาทความรู้วิชาต่างๆแก่ข้าพเจ้า และคอยชี้แนะแนวทางที่ดีในการศึกษา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง คุณพ่อ คุณแม่ ทุกคนในครอบครัว ที่ให้โอกาส
ทางการศึกษา คอยให้กำลังใจเรื่อยมา และช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์ต่างๆเรื่อยมาโดยตลอด



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานกระบวนการหาขอบภาพ.....	5
2.1 ขอบภาพ.....	5
2.2 รูปแบบขอบภาพ.....	7
2.3 การหาขอบภาพ.....	11
2.3.1 การสร้างเกรเดียนต์มุมฉาก.....	11
2.3.2 โรเบิร์ต โอเปอเรเตอร์.....	13
2.3.3 ฟรีวิทท์ โอเปอเรเตอร์.....	15
2.3.4 โซเบล โอเปอเรเตอร์.....	17
2.3.5 เทมเพลตเกรเดียนต์สำหรับการหาขอบภาพ.....	19
2.3.6 การหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสองแบบ Laplacian.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การแปลงเวฟเล็ต.....	25
3.1 ทฤษฎีเวฟเล็ต.....	25
3.2 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพ.....	28
3.2.1 การกระจายข้อมูล.....	28
3.2.2 การรวมข้อมูลกลับ.....	29
3.2.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี.....	32
บทที่ 4 ทฤษฎีพื้นฐานของการปรับปรุงขอบภาพ.....	34
4.1 การปรับปรุงข้อมูลขอบภาพ.....	34
4.2 กระบวนการปรับปรุงขอบภาพ.....	34
4.2.1 วิวัฒนาการของกระบวนการปรับปรุงขอบภาพ.....	34
4.2.2 ค่าเชิงปริภูมิความถี่การปรับปรุงขอบภาพ.....	35
4.3 การวัดประสิทธิภาพการปรับปรุงขอบภาพ.....	39
4.3.1 การวัดเชิงคุณภาพหรือวัดโดยความหมายของขอบภาพ.....	39
4.3.2 การวัดเชิงปริมาณ.....	39
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	43
5.1 ผลการทดลองการปรับปรุงขอบภาพ โดยใช้การหาขอบภาพแบบพื้นฐาน.....	43
5.2 ผลการปรับปรุงขอบภาพ โดยการขจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับ.....	64
5.3 สรุปผลการทดลอง.....	74
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนา.....	75
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
6.2 แนวทางการพัฒนา.....	76

บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก ก.	79
ประวัติผู้เขียน.....	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การพิจารณาค่าสำประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	42
4.2 การพิจารณาค่าสำประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากรูปที่ 4.6.....	42
5.1 ค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Sobel operator.....	52
5.2 ค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Robert operator.....	56
5.3 ค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Prewitt operator.....	60
5.4 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 30 dB.....	70
5.5 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB.....	70
5.6 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 50 dB.....	70
5.7 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 30 dB.....	71
5.8 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB.....	71
5.9 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 50 dB.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มเทา.....	5
2.2 ลักษณะการเกิดขอบภาพ.....	6
2.3 รูปแบบของขอบใน 1 มิติ.....	8
2.4 รูปแบบของขอบใน 2 มิติ.....	9
2.5 รูปแบบของขอบในระบบ 2 มิติซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่อง.....	10
2.6 การหาเกรเดียนต์มุมฉาก.....	11
2.7 มาส์คการหาขอบภาพแบบโรเบิร์ต.....	13
2.8 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Robert.....	14
2.9 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Robert.....	14
2.10 ลักษณะเทมเพลตที่มีขนาด 3×3.....	15
2.11 มาส์คการหาขอบภาพแบบพรีวิท.....	15
2.12 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Prewitt.....	16
2.13 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Prewitt.....	16
2.14 อิมพัลส์เรสปอนส์ของเกรเดียนต์โอเปอเรเตอร์ในแนวมุมฉาก.....	17
2.15 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel.....	18
2.16 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel.....	18
2.17 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel.....	18
2.18 เทมเพลตเกรเดียนต์ที่มีขนาด 3×3.....	20
2.19 การกระจายทิศทางของภาพ.....	21
2.20 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Laplacian operator.....	24
2.21 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Laplacian operator.....	24
3.1 การวิเคราะห์สัญญาณเปรียบเทียบ STFT และ Wavelet Transform	25
3.2 การกระจายข้อมูลเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	28
3.3 การรวมข้อมูลกลับเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	29
3.4 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	30
3.5 ตัวอย่างการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	31
3.6 การกระจายเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี.....	32
3.7 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี.....	32
3.8 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี 1 ระดับ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบสแตชันนารี 2 ระดับ.....	33
4.1 ตัวอย่างรูปและค่าเอสเอฟเอ็ม.....	36
4.2 ลักษณะการปรับปรุงขอบภาพโดยวิธีการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่.....	37
4.3 ลักษณะบล็อกลอยที่ต่างกันภายในภาพ.....	38
4.4 ลักษณะสหสัมพันธ์ที่สูงของตัวแปรสองตัวที่ไปในทิศทางเดียวกัน.....	40
4.5 ลักษณะสหสัมพันธ์ที่สูงของตัวแปรสองตัวที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม.....	41
4.6 ตัวอย่างภาพที่ถูกทำให้เบลตด้วย Moving Average Filter เพื่อหาค่า Correlation.....	41
5.1 กระบวนการปรับปรุงขอบภาพเกรเดียนพื้นฐานแบบเอสเอฟเอ็ม.....	43
5.2 การปรับปรุงขอบภาพเกรเดียนพื้นฐานแบบการเลือกค่าสูงสุด.....	44
5.3 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพทิวทัศน์.....	45
5.4 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพ Lenna	46
5.5 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพผลไม้.....	47
5.6 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพมือคน.....	48
5.7 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างทั้งหมดโดยใช้การหาขอบภาพแบบ Sobel operator.....	49
5.8 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างทั้งหมดโดยใช้การหาขอบภาพแบบ Robert operator.....	53
5.9 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างทั้งหมดโดยใช้การหาขอบภาพแบบ Prewitt operator.....	57
5.10 ภาพที่ใช้ในการอ้างอิง.....	61
5.11 การผสมภาพแบบ Wavelet Based Fusion.....	65
5.12 การปรับปรุงขอบภาพแบบ SFM Fusion โดยการหาขอบภาพแบบ SWT.....	65
5.13 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ Lenna แบบเอสเอฟเอ็ม.....	65
5.14 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ต้นไม้ แบบเอสเอฟเอ็ม.....	66
5.15 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ผลไม้ แบบเอสเอฟเอ็ม.....	67
5.16 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ หมี แบบเอสเอฟเอ็ม.....	68
5.17 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ถนน แบบเอสเอฟเอ็ม.....	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน มีการนำภาพเข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์กันมากขึ้น และขอบภาพก็เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบที่สำคัญในการที่จะนำมาวิเคราะห์ หารายละเอียดเพื่อใช้ในงานต่างๆ ขอบภาพถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญในกระบวนการประมวลผลภาพทางดิจิทัล เนื่องจากในงานด้านการประมวลผลภาพในบางสาขาจำเป็นต้องอาศัย รายละเอียดหรือขอบภาพที่มีความสมบูรณ์ของรายละเอียดในภาพนั้นนำมาวิเคราะห์ในการใช้งาน เช่น งานด้านการแพทย์ เพราะในบางครั้งจำเป็นต้องพิจารณารายละเอียดของภาพในภาพถ่ายนั้นๆ เนื่องจากการวินิจฉัยโรคบางโรคต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำจากภาพ อีกทั้งยังจำเป็นต้องงานด้านวิศวกรรม โดยส่วนใหญ่จะนิยมนำไปใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น คำนวณเพื่อหาพื้นที่ระหว่างจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อาทิเช่น วิเคราะห์ความยาวของถนนจากแผนที่ การคำนวณโครงสร้างตึกอาคารจากภาพถ่าย เป็นต้น

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้มีความสนใจที่จะนำเสนอการหาขอบภาพใหม่ที่ได้จากการนำภาพถ่ายที่มีลักษณะเป็นภาพระดับความเข้มเทา (Gray Scale) มาผ่านกระบวนการหาขอบภาพและนำขอบภาพที่ได้ของ แต่ละองค์ประกอบในวิธีนั้นๆมาผ่านกระบวนการผสมภาพ (Image Fusion) เพื่อให้ได้เป็นขอบภาพใหม่ที่ชัดเจนมากขึ้น เหตุผลที่สำคัญในการผสมภาพก็เพื่อทำการรวมองค์ประกอบและข้อมูลส่วนเกินจากขอบภาพหลายๆภาพ เพื่อทำการสร้างขอบภาพใหม่ขึ้นมาให้มีคุณภาพที่ดีกว่า และมีรายละเอียดที่ดีกว่า

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษา หลักการและวิธีการของการหาขอบภาพและผสมเป็นขอบภาพใหม่เพื่อให้ได้ขอบภาพที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการหาขอบภาพแบบทั่วไป โดยความมุ่งหมายของการศึกษานั้นต้องการที่จะนำเสนอการหาขอบภาพ โดยใช้กระบวนการผสมภาพเพื่อให้ได้เป็นขอบภาพใหม่ สำหรับกระบวนการผสมขอบภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการผสมขอบภาพโดยใช้หลักการผสมแบบการหาค่าเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial frequency measurement) โดยจะนำขอบภาพที่จะนำมาพิจารณาด้วยวิธีที่แตกต่างกันออกไป เพื่อต้องการนำขอบภาพใหม่ที่ได้เปรียบเทียบกับการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐานเช่น Sobel Operator, Laplacian Operator, Prewitt Operator หรือจะเป็นการหาขอบภาพที่ได้จากการหาขอบภาพโดเมน และทั้งนี้ทั้งนั้นวิธีการหาขอบภาพใหม่ที่ได้จะมีการนำขอบภาพจากวิธีที่นำเสนอดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่า

ความสัมพันธ์ (Correlation) กับภาพต้นฉบับเพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าการผสมขอบภาพใหม่ที่ได้ นั้นมีความสมบูรณ์และคมชัดกว่าการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐานธรรมดา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการหาขอบภาพโดยใช้วิธีการแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี (Stationary Wavelet Transform) มีคุณสมบัติในการหาขอบภาพโดยขอบภาพที่ได้จะมีขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ เนื่องจากกระบวนการนี้ไม่มีขั้นตอนการลดอัตราการสุ่มและด้วยลักษณะของการแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี (Stationary Wavelet Transform) จะเป็นการแยกภาพต้นฉบับออกเป็นสององค์ประกอบย่อยโดยภาพต้นแบบจะถูกกรองในแนวแถวและแนวหลักด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ G และตัวกรองความถี่ต่ำ H ด้วยเหตุผลนี้จึงได้นำหลักการนี้มาตั้งเป็นสมมติฐานที่ว่าถ้านำภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) มาผ่านกระบวนการหาขอบภาพโดยการแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี (Stationary Wavelet Transform) สัญญาณรบกวนนั้นน่าจะถูกลด (Noise Reduction) ออกไปได้โดยผ่านตัวกรองความถี่สูง H โดยขอบภาพที่ได้น่าจะเป็นขอบภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการผสมขอบภาพด้วยวิธีอื่น

การหาขอบภาพโดยการผสมเป็นขอบภาพใหม่โดยใช้หลักการผสมขอบภาพแบบหาค่าเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency Measurement) จะสามารถให้ลักษณะของขอบภาพที่ได้มีความคมชัด ด้วยเหตุผลที่ว่าในการผสมขอบภาพจะเป็นการรวมองค์ประกอบของข้อมูลของแต่ละพิกเซลบนขอบภาพนั้นๆ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากที่สุดมาสร้างเป็นองค์ประกอบของขอบภาพใหม่ขึ้นมาที่มีความคมชัดของขอบภาพที่ดีขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการหาขอบภาพ จะใช้หลักการหาขอบภาพจากกระบวนการที่จะนำเสนอให้ได้ องค์ประกอบของขอบภาพสององค์ประกอบหลัก โดยเริ่มแรกจะใช้วิธีการพื้นฐาน คือการหาขอบภาพแบบโซเบล (Sobel Operator) โรเบิร์ต (Robert Operator) พรูวิท (Prewitt Operator) เพื่อมาทำการคัดแยกเกรเดียนต์ (Gradient) ให้ได้องค์ประกอบสองเกรเดียนต์ คือ ด้านแนวแถว และด้านแนวหลัก และงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาขอบภาพที่มีการแยกองค์ประกอบบนเวฟเลตโดเมน (Wavelet Domain) เข้ามาคัดแยกองค์ประกอบของขอบภาพคือ การหาขอบภาพโดยใช้การแปลงเวฟเลต (Wavelet) แบบสเตชันนารี (Stationary wavelet transform) ซึ่งการหาขอบภาพโดยใช้การแปลงเวฟเลตสเตชันนารีจะใช้เพียงสองระดับขั้นคือ ระดับขั้นที่หนึ่ง (First level) และระดับขั้นที่สอง (Second level) และนำองค์ประกอบของแต่ละระดับขั้นมาผสมเป็นขอบภาพใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหลักการผสมขอบภาพจะใช้หลักการวัดค่าเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency Measurement) เพื่อค้นหาและรวบรวมองค์ประกอบของพิกเซล (Pixel) ภายในขอบภาพมาเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยจะผ่านการคำนวณค่าเชิงปริภูมิความถี่จากพิกเซลแรกไปจนถึงพิกเซลสุดท้ายของภาพ แล้วนำมาสร้างเป็นขอบภาพใหม่ และนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ (Correlation) กับภาพต้นฉบับ และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาขอบภาพที่นำเสนอกับวิธีการแบบเดิม

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิธีการผสมขอบภาพใหม่โดยใช้การวัดค่าแบบเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency measurement) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐานแล้ว ในส่วนของการหาความสัมพันธ์ (Correlation) หรือค่าที่บอกค่าความคมชัดของขอบภาพที่ได้เปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ (Source Image) จะให้ค่าความคมชัดที่ดีกว่าภาพที่ได้จากการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐาน

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการผสมขอบภาพใหม่โดยใช้การวัดค่าแบบเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial frequency measurement) รวมกับการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐานที่แตกต่างกันและแบบการหาขอบภาพบนเวฟเล็ตโดเมน (Wavelet Domain) โดยการแปลงแบบสแตชันนารี (Stationary Wavelet Transform) โดยจะทดลองนำภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) ที่มีค่าระดับสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน (Signal Noise Ratio) นำมาทดลองผ่านกระบวนการหาขอบภาพโดยวิธีที่ต่างกันรวมไปถึงวิธีนำเสนอ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อค้นหาว่าวิธีการใดจะให้ขอบภาพที่สมบูรณ์ที่สุด

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานกระบวนการขั้นตอนการหาขอบภาพ (Edge Detection) ความเป็นมาของทฤษฎี และวิธีการหาขอบภาพขั้นพื้นฐานแบบต่างๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ทความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ท และการแปลงเวฟเล็ทแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีการผสมข้อมูลภาพและการวัดประสิทธิภาพของขอบภาพ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลอง โดยมีรูปและตารางของผลการทดลองที่ได้จากการผสม เป็นขอบภาพใหม่และผลการทดลองที่ได้ในกรณีที่ภาพต้นฉบับมีสัญญาณรบกวน

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและแนวทางการพัฒนา



บทที่ 2

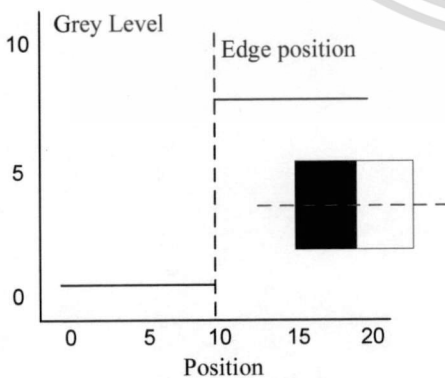
ทฤษฎีพื้นฐานกระบวนการหาขอบภาพ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและความหมายของกระบวนการหาขอบภาพ ซึ่งคำว่าขอบในที่นี้จะหมายถึงจุดที่มีระดับความเข้ม (Gray-level) เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด และจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นกรอบของรายละเอียดในส่วนต่างๆของภาพ ซึ่งขอบนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทางและอาจมีระดับความเข้มที่ไม่เท่ากัน โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการหาขอบภาพแบบต่างๆ และทฤษฎีการหาขอบภาพขั้นพื้นฐาน ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษา และนำขอบภาพมาผสมเป็นขอบภาพใหม่

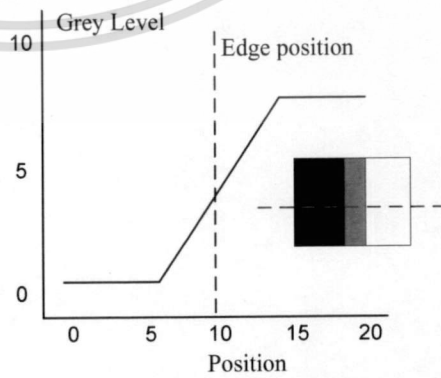
2.1 ขอบภาพ (Edge Image) [6]

ขอบภาพคือการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของระดับความเข้มของค่าระดับเทา (Gray-level) ดังนั้นคำจำกัดความของการหาขอบภาพคือการระบุถึงตำแหน่งของพิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มเทา

อัลกอริทึมที่ใช้ในการหาขอบภาพนั้น จำเป็นต้องเริ่มจากการให้คำจำกัดความรูปแบบของขอบภาพภาพนั้นก่อน แล้วจึงใช้คำจำกัดความนั้นในการหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อไป มีคำจำกัดความมากที่ถูกใช้ในการให้ความหมายของขอบภาพ แต่ที่ง่ายและใช้กันมากคือ ขอบภาพแบบขั้นบันไดอุดมคติ (Ideal Step Edge) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 ก เป็นตัวอย่างของสัญญาณหนึ่งมิติที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในตำแหน่งที่แน่นอนเพียงตำแหน่งเดียว แล้วถ้าการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ที่เป็นขอบภาพสามารถถูกตรวจพบได้โดยง่าย



(ก) เปลี่ยนที่พิกเซลที่ 10

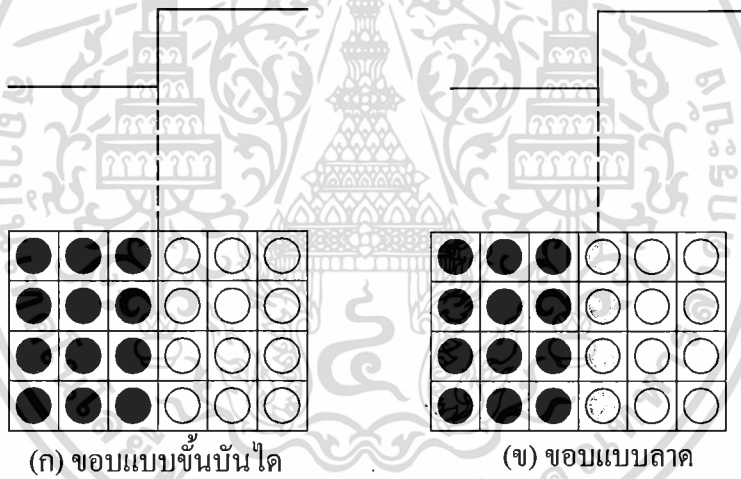


(ข) เปลี่ยนแปลงขยายเป็น 10 พิกเซล

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะทั่วไปของภาพที่ได้จะมีลักษณะที่เรียกว่าขอบภาพแบบลาด (Ramp Edge) แสดงได้ดังรูป 2.1 ข เนื่องจากสาเหตุของขอบภาพที่มีลักษณะที่ค่อยๆมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสาเหตุที่สำคัญอยู่สองประการคือ ประการแรกเกิดจากการสุ่มตัวอย่างที่ตำแหน่งของพิกเซลในภาพของอุปกรณ์ดิจิทัลไม่พอดีกับตำแหน่งที่เป็นขอบภาพ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าขอบภาพดังกล่าวจะปรากฏลักษณะของพิกเซลที่มีสีขาวโดยตำแหน่งอยู่บริเวณซ้ายสุด แล้วถ้าเมื่อได้ทำการเลื่อนกล้องไปทางซ้ายเป็นระยะทางครึ่งพิกเซล โดยตำแหน่งที่เป็นขอบภาพที่เห็นจากกล้องก็จะทำการเลื่อนมาทางขวามือเป็นระยะทางครึ่งพิกเซล ผลที่ได้คือค่าความเข้มของพิกเซลในตำแหน่งที่เป็นขอบภาพจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างพิกเซลสีขาวและสีดำ ทำให้ตำแหน่งที่เป็นขอบภาพมีลักษณะเบลอ (Blur) และการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มจะเกิดขึ้นในช่วงจำกัดค่าหนึ่งซึ่งจะเรียกขอบภาพแบบนี้ว่าภาพแบบลาด (Ramp Edge) ประการที่สอง เกิดจากสัญญาณรบกวนซึ่งอาจเกิดได้จากสาเหตุหลายประการเช่น ความเข้มของแสง ชนิดของกล้องและเลนส์ ความเคลื่อนไหวของวัตถุในภาพ อุณหภูมิ ฝุ่น และอื่นๆ

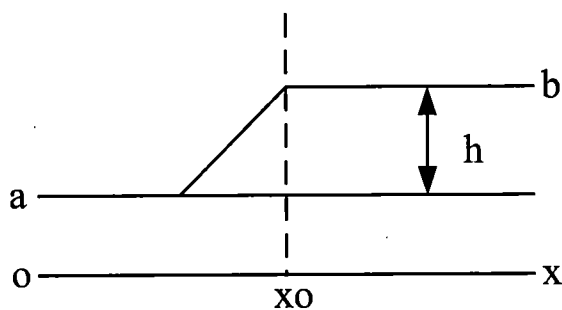


รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดขอบภาพ

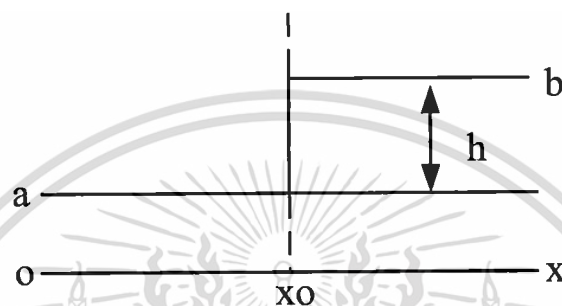
การหาขอบภาพเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการที่เรียกว่าแบบแยกส่วน (Segmentation) ซึ่งจะทำกรแบ่งและระบุพื้นที่แต่ละพื้นที่ที่มีลักษณะหรือคุณสมบัติต่าง ๆ กัน การทำกระบวนการนี้พื้นที่ต่างๆในภาพซึ่งอาจเป็นวัตถุต่างๆจะถูกแยกจากกันด้วยขอบภาพและจะต้องถูกทำขั้นตอนอื่นๆต่อไปเพื่อจะระบุว่าแต่ละพื้นที่ภายในภาพเป็นวัตถุอะไร แต่ในบางครั้งการหาขอบภาพเพียงขั้นตอนเดียวก็เพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งานสำหรับงานบางอย่างได้ โดยเฉพาะเมื่อวัตถุหรือภาพที่เราสนใจภายในภาพเป็นเส้นที่มีความชัดเจนที่เพียงพอ

2.2 รูปแบบขอบภาพ (Edge Model) [2]

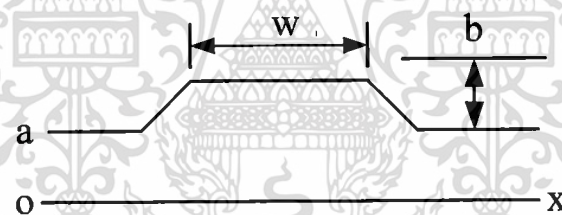
จากรูปที่ 2.3 (ก) แสดงรูปร่างของขอบในหนึ่งมิติซึ่งแสดงในขอบเขตที่ต่อเนื่อง (Continuous domain) โดยขอบที่มีลักษณะดังรูปนี้จะเรียกว่า แรมป์(Ramp) หรือแบบลาด ซึ่งค่าของมันจะเพิ่มขึ้นตามระดับแอมพลิจูดของภาพจากต่ำไปสูง สิ่งที่สามารถบ่งบอกลักษณะของขอบคือ ความสูง ความชัน (Slop) มุม(Angle) และพิกัดในแนวนอน ณ จุดกึ่งกลางของความชัน ถ้าหากค่าของความชันของมุมมีค่าเท่ากับ 90 องศา จะเรียกขอบชนิดนี้ว่า ขอบแบบขั้นบันได (Step Edge) แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 (ข) ถ้าบริเวณของภาพมีค่าของความเข้มเพิ่มจากน้อยไปมากจากนั้นจึงลดลงจากมากไปน้อย จะเรียกลักษณะนี้ว่าเส้น (Line) ดังรูป 2.3 (ค) โดยมีพารามิเตอร์ W กำหนดความกว้างของเส้น จะเรียกลักษณะของเส้นว่าเป็นแบบ Roof Edge เมื่อลิมิตของ W เข้าใกล้ 0 ดังรูป 2.3 (ง) ซึ่งในระบบดิจิทัลจะนำขอบแบบขั้นบันไดไปใช้ในการสร้างภาพอิมเมจชนิดที่เรียกว่า มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้น (Artificial Image) ตัวอย่างเช่น แบบการทดสอบ (Test Pattern) และข้อมูลในทางกราฟิก (Bilevel Graphic Data) และในขอบเขตที่มีความต่อเนื่องนี้รูปแบบของภาพในระบบสองมิติจะถือว่าแอมพลิจูดที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องนั้น เป็นค่าคงที่ในจุดข้างเคียงทั้งแปดจุด (Neighborhood Orthogonal) ในรูปที่ 2.4 (ก) แสดงรูปร่างของขอบภาพในระบบสองมิติ นอกเหนือจากพารามิเตอร์ และนอกเหนือจากพารามิเตอร์ในระบบหนึ่งมิติแล้วในระบบสองมิตินี้ ยังประกอบด้วยสิ่งที่สำคัญคือ ความชันของขอบที่มีความสัมพันธ์กับแนวแกนและในรูปที่ 2.4 (ข) แสดงทางเดินของขอบวัตถุที่มีรูปร่างแปดเหลี่ยมที่มีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าบริเวณที่เป็นพื้น (Back-ground) และในรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของขอบที่มีรูปแบบเป็นแบบลาดและยูนิต (Unit) ในขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่องจากรูปจะพบว่ารูปแบบของขอบแบบลาดในแนวตั้งจะประกอบด้วย พิกเซล(Pixel) ที่มีค่าเดียวกันซึ่งค่าแอมพลิจูดของมันมีค่าเท่ากับค่ากลางโดยเฉลี่ยของจุดข้างเคียงจากรูปที่แสดงให้เห็นจะมีขอบแบบลาดที่อยู่ในแนวทแยงอยู่ 2 แบบ คือ ซึ่งเกิดพิกเซลทรานส์ซิชัน (single pixel transition) ซึ่งจุดที่เป็นขอบเขตอยู่ระหว่างแอมพลิจูดสูงกับแอมพลิจูดต่ำและอีกแบบหนึ่งเรียกว่า สมูททรานส์ซิชัน (smoothed transition) ซึ่งวิธีการหาขอบจะหาจากการหาค่าเฉลี่ยใน 2×2 จุดจากทุกๆจุดของขอบในแนวทแยง



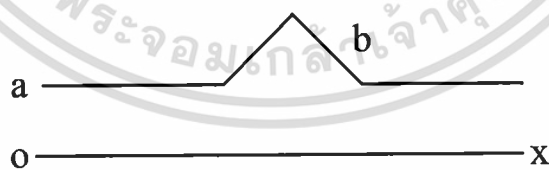
(ก) Ramp edge



(ข) Step edge



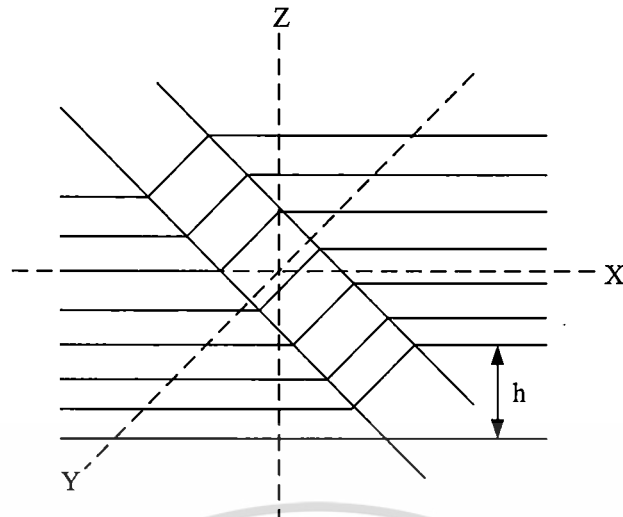
(ค) Line



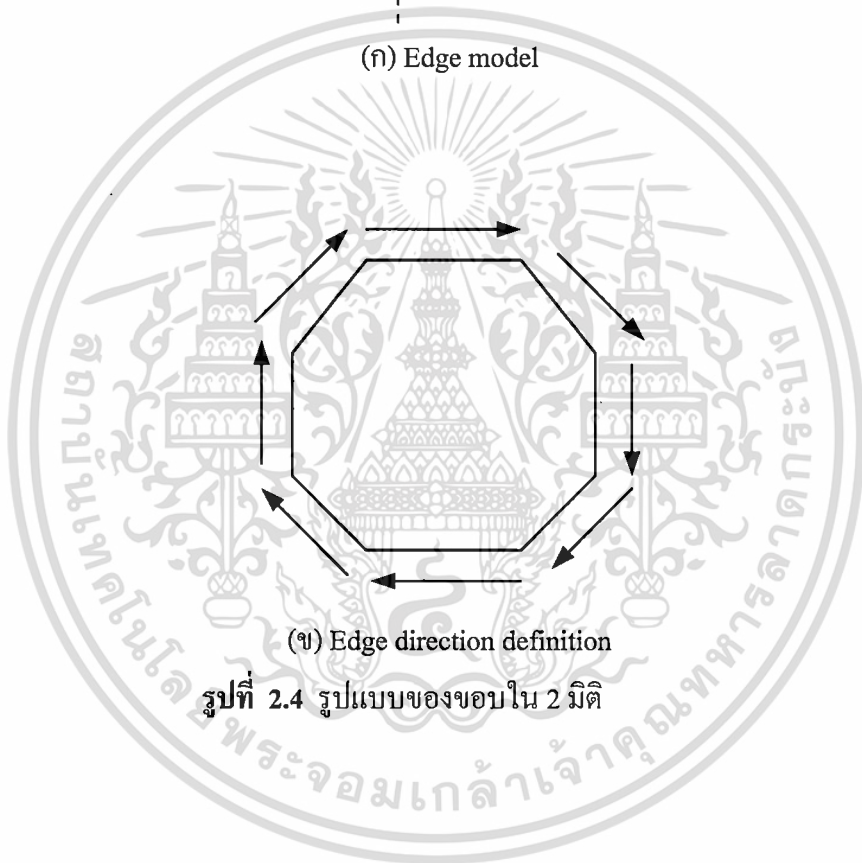
(ง) Roof edge

รูปที่ 2.3 รูปแบบของขอบใน 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Edge model



(ข) Edge direction definition

รูปที่ 2.4 รูปแบบของขอบใน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a a a a a b b b b b	a a a b b b b b b b	a a a a a a a a a a
a a a a a b b b b b	a a a a b b b b b b	a a a a a a a a a a
a a a a a b b b b b	a a a a a b b b b b	a a a a a b b b b b
a a a a a b b b b b	a a a a a a b b b b	a a a a a b b b b b
a a a a a b b b b b	a a a a a a a b b b	a a a a a b b b b b
Vertical step edge	Diagonal step edge	Corner step edge
a a a a c b b b b b	a a c b b b b b b b	a a a a a a a a a a
a a a a c b b b b b	a a a c b b b b b b	a a a a c c c c c c
a a a a c b b b b b	a a a a c b b b b b	a a a a c b b b b b
a a a a c b b b b b	a a a a a c b b b b	a a a a c b b b b b
a a a a c b b b b b	a a a a a a c b b b	a a a a c b b b b b
Vertical ramp edge	Diagonal ramp edge	Corner ramp edge
a a a a c b b b b b	a a d e b b b b b b	a a a a a a a a a a
a a a a c b b b b b	a a a d e b b b b b	a a a a d c c c c c
a a a a c b b b b b	a a a a d e b b b b	a a a a c b b b b b
a a a a c b b b b b	a a a a a d e b b b	a a a a c b b b b b
a a a a c b b b b b	a a a a a a d e b b	a a a a c b b b b b
Vertical ramp edge	Diagonal ramp edge	Corner ramp edge

รูปที่ 2.5 รูปแบบของขอบในระบบ 2 มิติ ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่อง

จากรูปที่ 2.5 นี้จะพบว่าสำหรับขอบแบบขั้นบันได (Discrete Step Edge) และขอบแบบคอนเนอร์แรมป์ (Corner Ramp Edge) ตำแหน่งของขอบอยู่ที่มีแอมพลิจูดสูงกว่ารอบข้าง สำหรับขอบแบบซิงเกิลพิกเซลทรานซิชัน ตำแหน่งที่เหมาะสมของขอบจะอยู่ตรงที่จุดที่อยู่ในแนวที่มีการเปลี่ยนแปลงและในแบบของแนวทแยงจะมีจุด 2 จุดที่อยู่ใกล้กันในทิศทางเดินของขอบภาพ ดังนั้น ตำแหน่งของขอบที่แท้จริงจะอยู่ตรงจุดที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าอีกจุดหนึ่งในระหว่างจุดคู่นั้น และ ใน รูปที่ 2.5 นี้จุดที่เป็นตำแหน่งของขอบภาพจะพิมพ์เป็นตัวเอียง

2.3 การหาขอบภาพ (Edge Detection) [1],[7]

วิธีการเบื้องต้นที่ใช้สำหรับการหาขอบภาพในอนุพันธ์อันดับแรก (First Order Derivative Edge Detection) มีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือ การหาเกรเดียนต์ (gradient) ในทิศทางมุมฉากคือตามแนวนอนและแนวตั้ง (Two Orthogonal Direction) ในภาพ และอีกวิธีจะเกี่ยวข้องกับการหาเซ็ทของอนุพันธ์ที่แปรตามทิศทาง (Directional Derivatives) ส่วนการหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่สองมีอยู่ 2 วิธีได้แก่วิธีการหาอนุพันธ์อันดับที่สองแบบ Laplacian และวิธีการหาโดยทางตรง

2.3.1 การสร้างเกรเดียนต์มุมฉาก (Orthogonal Gradient Generation)

ถ้ากำหนดให้ $G(x,y)$ คือเกรเดียนต์ใน 1 มิติ และ θ คือมุมที่พิจารณาโดยเทียบกับแนวระดับ ดังนั้นจะทำการคำนวณหาเกรเดียนต์สำหรับขอบภาพจาก

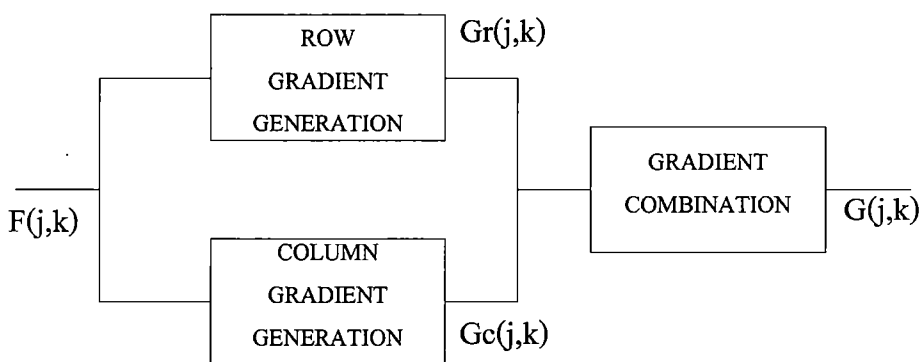
$$G(x,y) = \frac{\partial F(x,y)}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial F(x,y)}{\partial y} \sin \theta \tag{2.1}$$

จากรูปที่ 2.6 แสดงการสร้างเกรเดียนต์ของขอบภาพ $[G(j,k)]$ ในขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะแยกเป็นเกรเดียนต์ของแถว (row edge gradient) $[Gr(j,k)]$ และเกรเดียนต์ของหลัก (column edge gradient) $[Gc(j,k)]$ และค่าแอมพลิจูดของเกรเดียนต์ ซึ่งหมายถึงความถึงความเข้มของภาพแสดงได้ดังนี้

$$G(j,y) = \{[Gr(j,k)] + [Gc(j,K)]\}^{\frac{1}{2}} \tag{2.2}$$

การคำนวณค่าเกรเดียนต์บางครั้งอาจประมาณค่าจาก

$$G(j,y) = |Gr(j,k)| + |Gc(j,k)| \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.6 การหาเกรเดียนต์มุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทิศทางของเกรเดียนต์ตามแนวนอนคือ

$$\theta(j, k) = \tan^{-1} \left\{ \frac{Gc(j, k)}{Gr(j, k)} \right\} \quad (2.4)$$

ซึ่งวิธีการที่ง่ายที่สุดสำหรับการสร้างเกรเดียนต์คือ การหาค่าความแตกต่างของความเข้มในแต่ละจุดตามแนวแกนนอน (row) และตามแนวแกนตั้ง (column) ซึ่งเกรเดียนต์ตามแนวแกนนอนหาได้จาก

$$Gr(j, k) = F(j, k) - F(j, k - 1) \quad (2.5ก)$$

และเกรเดียนต์ในแนวแกนตั้งหาได้จาก

$$Gc(j, k) = F(j, k) - F(j + 1, k) \quad (2.5ข)$$

โดยเกรเดียนต์นี้จะนำมาใช้หาขอบภาพก็ต่อเมื่อ Gc และ Gr มีค่าเป็นบวกจากซ้ายไปขวาหรือจากล่างขึ้นบนของภาพอิมเมจ

ตัวอย่างเช่นจะหาค่าผลต่างความเข้ม โดยใช้เกรเดียนต์ตามแนวแกนนอนของรูปที่ 2.5 เป็นขอบของภาพแบบลาดในแนวตั้ง (vertical ramp edge model) ได้ดังนี้

0 0 0 0 h 0 0 0 0

โดยที่ $h = b - a$ ซึ่งหมายถึง ความสูงของขั้นบันไดและเกรเดียนต์ในแนวแกนนอนของขอบภาพแบบลาดในแนวตั้งคือ

0 0 0 0 h/2 h/2 0 0 0

จากค่าข้างบนนี้จะมีค่าที่เท่ากันอยู่ 1 คู่

สำหรับเกรเดียนต์ของขอบในแนวทแยง (diagonal edge gradient) จะหาได้จากผลต่างขอบจุดแต่ละคู่ตามแนวทแยง ซึ่งในเรื่องนี้จะใช้วิธีการที่เรียกว่า โรเบิร์ตดิฟเฟอเรนซ์โอเปอเรเตอร์ (Robert Difference operator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โรเบิร์ตโอเปอเรเตอร์ (Robert Operator)

สำหรับโอเปอเรเตอร์ชนิดนี้หาได้จาก

$$G(j, k) = \{[G1(j, k)] + [G2(j, k)]\} \quad (2.6ก)$$

หรือหาได้จาก

$$G(j, k) = \{[Gr(j, k)]^2 + [Gc(j, k)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.6ข)$$

เมื่อ

$$G1(j, k) = F(j, k) - F(j+1, k+1) \quad (2.6ค)$$

$$G2(j, k) = F(j, k+1) - F(j+1, k) \quad (2.6ง)$$

และทิศทางของขอบภาพคือ

$$G(j, k) = \frac{\pi}{4} + \tan^{-1} \left\{ \frac{Gc(j, k)}{Gr(j, k)} \right\} \quad (2.7)$$

การหาขอบภาพในทิศทางเดียวเช่นนี้ จะไม่ค่อยสมบูรณ์นักสำหรับภาพอิมเมจที่มีความส่องสว่างเพียงเล็กน้อย ซึ่งการแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการหาเกรเดียนท์ใน 2 มิติ คือทำการหาผลต่างใน 1 ทิศทางแต่จะแสดงค่าออกมาเป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมดในทิศทางมุมฉาก

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

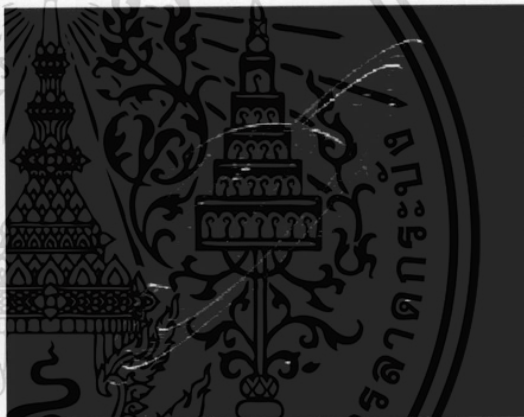
รูปที่ 2.7 มาส์คการหาขอบภาพแบบโรเบิร์ต



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Robert Operator

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Robert



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Robert Operator

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Robert Operator

2.3.3 ฟรีวิทโอเปอเรเตอร์ (Prewitt Operator)

A0	A1	A2
A7	F(j,k)	A3
A6	A5	A4

รูปที่ 2.10 ลักษณะเทมเพลตที่มีขนาด 3×3

โอเปอเรเตอร์ชนิดนี้จะใช้เทมเพลต (Template) ที่มีขนาด 3×3 ในการหาเกรเดียนท์ โอเปอเรเตอร์ ถ้าสมมุติให้แต่ละจุดมีการเรียงลำดับตามรูปที่ 2.9 ดังนั้นเกรเดียนท์ของขอบคือ

$$G(j,k) = \{[Gr(j,k)]^2 + [Gc(j,k)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.8ก)$$

โดยที่

$$G(j,k) = \frac{1}{k+2} [(A2 + KA3 + A4) - (A0 + KA7 + A6)] \quad (2.8ข)$$

$$G(j,k) = \frac{1}{k+2} [(A0 + KA1 + A2) - (A6 + KA5 + A4)] \quad (2.8ค)$$

การหาโอเปอเรเตอร์แบบฟรีวิทค่า K ที่นำมาใช้มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อแทนค่าลงไปในสูตรข้างต้นของเกรเดียนท์ในแนวนอนและแนวตั้ง สุดท้ายยูนิตเกน (unit gain) ที่มีค่าเป็นบวกและลบของค่าเฉลี่ยความเข้มเพื่อหาตำแหน่งของขอบภาพ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.11 มาส์คการหาขอบภาพแบบฟรีวิท

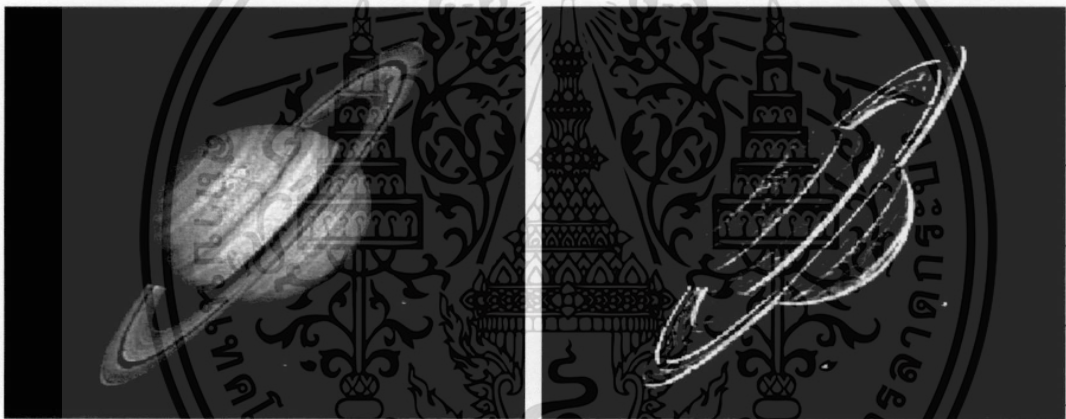


(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ



(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Prewitt Operator

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของการหาขอบภาพ โดยใช้ Prewitt Operator



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Prewitt Operator

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของการหาขอบภาพ โดยใช้ Prewitt Operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 โซเบลโอเปอเรเตอร์ (Sobel Operator)

การหาขอบภาพของโซเบลนี้จะแตกต่างจากแบบพรีวิทีทตรงที่ค่าความเข้มของภาพในทิศเหนือ ได้ ตะวันออก ตะวันตก จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวในที่นี้คือค่า K ในสมการที่ (2.8 ข) และ (2.8 ค) มีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นค่าน้ำหนัก (weight) ที่เปลี่ยนไปในแต่ละจุดคือตัวที่แสดงการกระจายของเกรเดียนท์

พรีวิทีทโอเปอเรเตอร์จะใช้สำหรับการหาขอบภาพในแนวตั้งและแนวนอนได้ดีกว่า โอเปอเรเตอร์แบบโซเบล แต่โซเบลโอเปอเรเตอร์จะใช้การหาขอบภาพในทิศทางลักษณะทแยงได้ดี การใช้โอเปอเรเตอร์แบบพรีวิทีทและโซเบล จะทำให้ได้ขอบภาพของวัตถุที่มีความคมชัดเกินกว่าการใช้โรเบิร์ตโอเปอเรเตอร์ ทั้งนี้เพราะว่ามีขนาดของโอเปอเรเตอร์ที่ใหญ่กว่าทำให้การเฉลี่ยค่าความเข้มในส่วนที่มีความส่องสว่างน้อยได้ดีกว่าเกรเดียนท์ในแนวนอน และแนวตั้งของดีเทกเตอร์ (detector) ชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะประกอบด้วยการนำความเข้มรอบๆจุดที่ต้องการหาค่ามารวมกัน ดังนั้นเกรเดียนท์ในแนวนอนและแนวตั้งจะคำนวณจากความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$Gr(j,k) = F(j,k) \times Hr(j,k) \tag{2.9ก}$$

$$Gc(j,k) = F(j,k) \times Hc(j,k) \tag{2.9ข}$$

โดยที่ $Hr(j,k)$ คือ อิมพัลส์เรสปอนส์ในแนวแกนนอน
และ $Hc(j,k)$ คือ แนวแกนตั้งของโอเปอเรเตอร์ชนิดต่างๆ

Operator	Row gradient	Column gradient
Pixel difference	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Sobel	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

รูปที่ 2.14 อิมพัลส์เรสปอนส์ของเกรเดียนท์โอเปอเรเตอร์ในแนวมุมฉาก

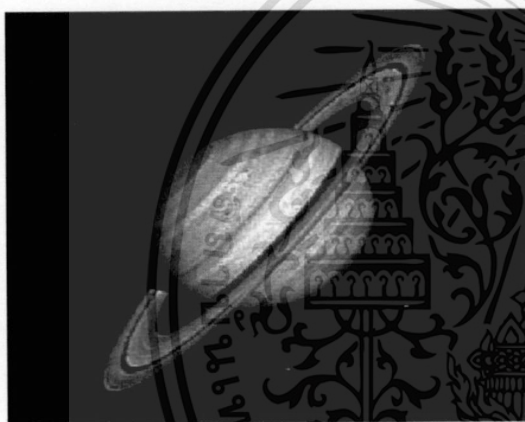
โอเปอเรเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนี้มีข้อจำกัดตรงที่จะไม่สามารถ หาขอบภาพได้ถูกต้อง แม่นยำในสภาพที่มีการรบกวนสูง (noise) ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยการใช้โอเปอเรเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Sobel operator

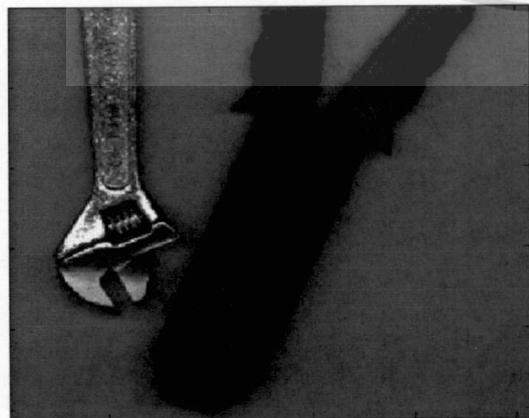
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel operator



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Sobel operator

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel operator



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ

(ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Sobel operator

รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Sobel operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 เคมเพลทเกรเดียนท์สำหรับการหาขอบภาพ (Edge Template Gradient)

การหาขอบภาพโดยใช้เทคนิคการเกรเดียนท์ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำการหาการเปลี่ยนแปลงความเข้มของภาพในทิศทางมุมฉากคือ ในแนวแกนนอนและตามแนวแกนตั้ง ดังนั้นวิธีการหาทิศทางของขอบภาพนั้นจะทำได้โดยการคำนวณค่าเวกเตอร์ (vector) จากผลบวกของเกรเดียนท์เหล่านั้น และต่อไปจะคำนวณทิศทางของขอบภาพในหลายๆทิศทางโดยการคอนโวลูชันระหว่างภาพกับเกรเดียนท์เทมเพลต (template gradient impulse) ซึ่งเทมเพลตเหล่านั้นจะได้อมาจาก

$$G(j,k) = \text{MAX}[|G1(j,k)|, \dots, |Gm(j,k)|, \dots, |Gm(j,k)|] \quad (2.10ก)$$

โดยที่

$$Gm(j,k) = F(j,k) * Hm(j,k) \quad (2.10ข)$$

โดยที่ M^m คือจำนวนทิศทางในการคำนวณ ดังนั้นเกรเดียนท์จะได้อมาจากคอนโวลูชันระหว่างภาพกับเกรเดียนท์ของอิมพัลส์เรสปอนส์คือ $Hm(j,k)$ สุดท้ายขอบภาพที่ได้จะอยู่ในทิศทางที่มีผลต่างความเข้มมากที่สุด

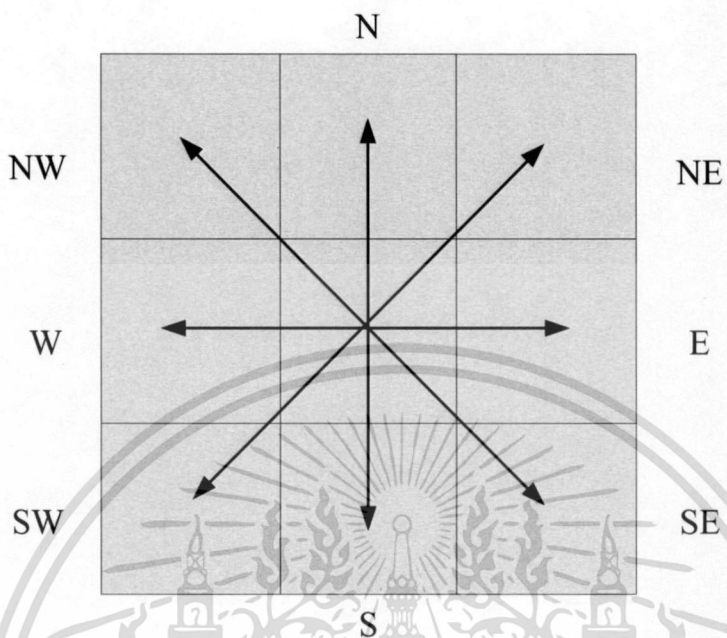
Gradient direction	Prewitt compass gradient	Kirsch compass gradient
East(H1)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix}$
Northeast(H2)	$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix}$
North(H3)	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gradient direction	Prewitt compass gradient	Kirsch compass gradient
Northwest(H4)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$
West(H5)	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix}$
Southwest(H6)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$
South(H7)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$
Southeast(H8)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$
Scale factor	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{15}$

รูปที่ 2.18 เเทมเพลตเกรเดียนต์ที่มีขนาด 3×3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การกระจายของทิศทางของภาพ (compass direction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสองแบบ Laplacian (Laplacian Operator)

กระบวนการหาขอบภาพจากภาพต้นฉบับอีกรูปแบบหนึ่งก็คือการใช้วิธีการการหาค่าอนุพันธ์ลำดับที่ 2 มาประยุกต์ใช้ หรือที่นิยมเรียกว่าการหาขอบภาพแบบลาปลาเซียน (Laplacian operator) คือ การนำเอาผลรวมของการหาค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของภาพในแนวแถว และ หลักมารวมกัน

Laplacian ของภาพ $F(x, y)$ ถูกนิยามดังนี้

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = \frac{\partial(f(x+1, y) - f(x, y))}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+2, y) - 2f(x+1, y) + f(x, y) \quad (2.13)$$

แทน x ด้วย $x-1$ จะได้

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y) \quad (2.14)$$

จะได้มาส์คในแนวแถวเท่ากับ

1	-2	1
---	----	---

ดังนั้น จะได้อนุพันธ์อันดับที่ 2 ทางด้านแนวหลัก ดังสมการที่ (2.15)

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \quad (2.15)$$

จะได้มาส์คในแนวหลักเท่ากับ

1
-2
1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการที่ (2.14) มารวมกับสมการที่ (2.15) จะได้สมการที่ (2.16) คือ

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (2.16)$$

ทำให้ได้มาร์สขนาด 2 มิติจากการทำแบบลาเพลเซียน (Laplacian operator) คือ

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

และมาส์ค 2 มิติของ Laplacian operator ที่สามารถนำมาหาขอบภาพของภาพต้นแบบมีหลายแบบด้วยกันคือ

-1	-1	-1	1	-2	1
-1	8	-1	-2	4	-2
-1	-1	-1	1	-2	1

การกระทำแบบลาเพลเซียนจะมีข้อเสียบางประการคือ ภาพที่ได้ออกมาจะมีความไวต่อสัญญาณรบกวน (noise) ดังนั้นเมื่อนำภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนมาผ่านกระบวนการแบบลาเพลเซียนแล้วนั้น ภาพนั้นไม่สามารถให้ความคมชัดได้ดีพอ เพราะกระบวนการดังกล่าวไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้มากเท่าที่ควร



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ (ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Laplacian operator

รูปที่ 2.20 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Laplacian operator



(ก) ภาพตัวอย่างที่นำมาหาขอบภาพ (ข) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ Laplacian operator

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของการหาขอบภาพโดยใช้ Laplacian operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

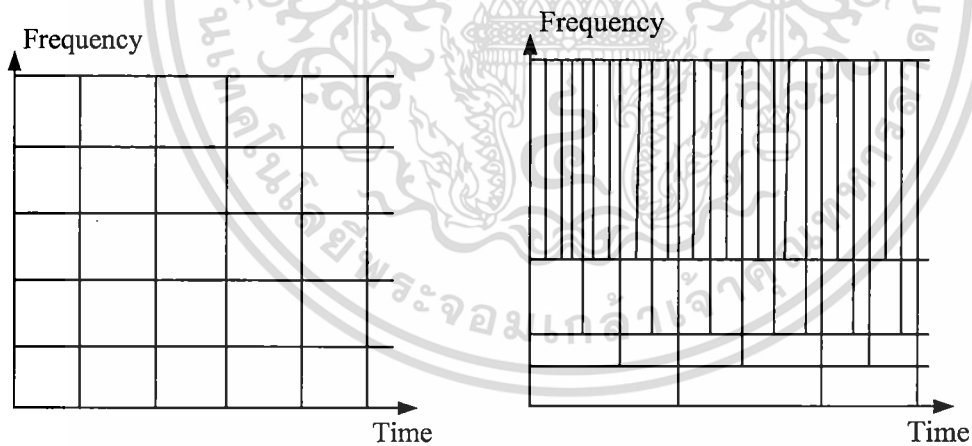
บทที่ 3

การแปลงเวฟเล็ต

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติทั่วไปของการแปลงเวฟเล็ต ความเป็นมาของเวฟเล็ต โดยในเนื้อหาส่วนนี้จะเน้นในส่วนที่จำเป็นต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในดำเนินงานประมวลผลภาพ และการหาขอบที่หลายระดับของการแปลงภาพได้โดยการอนุพันธ์ของการแปลงเวฟเล็ต

3.1 ทฤษฎีเวฟเล็ต [9]

การแปลงเวฟเล็ตเป็นการพัฒนามาจาก STFT (Short time fourior transform) ที่ต่างกันคือ การแปลงเวฟเล็ตใช้ วินโดว์ที่ปรับขนาดได้ตามช่วงความถี่ (Frequency rang) หรือ สามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ โดยที่สัญญาณความถี่สูงจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์น้อยลง แต่ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์กว้างขึ้นดังรูป 3.1(ข) แต่ STFT จะวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ หน้าต่างที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง (Fixed window) ดังรูปที่ 3.1(ก)



(ก) Short Time Fourior Transform

(ข) Wavelet Transform

รูปที่ 3.1 การวิเคราะห์สัญญาณเปรียบเทียบ STFT และ Wavelet Transform

การแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของเวฟเล็ต ต้องสร้างเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน ที่เรียกว่า เวฟเล็ต ก่อนเพื่อใช้เป็นฟังก์ชันต้นแบบ หรือ เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet : $\Psi(t)$) โดยมีฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ โดยต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.1)$$

โดยเวฟเล็ตแม่ จะทำการย่อ/ขยายมาตราส่วน (Scaling) โดยให้ a คือ พารามิเตอร์ ย่อ/ขยาย และ b คือ พารามิเตอร์ เลื่อนตำแหน่ง (Translation) ไปตามแกนของเวลา เมื่อค่า a มีขนาดใหญ่ ฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็นต้นแบบใช้ในการขยายขนาด (Low Frequency) และเมื่อค่า a มีขนาดเล็ก ฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็นต้นแบบในการย่อขนาด (High Frequency) การย่อ (Contraction) และการขยาย (Dilation) กระทำกับเวฟเล็ตแม่ในโดเมนเวลา ต้องสัมพันธ์กับการทำการขยาย และการทำการย่อ ในโดเมนความถี่ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous wavelet transform : CWT) ของสัญญาณ $x(t)$ หาได้จาก inner product ของ $x(t)$ และ $\Psi_{a,b}(t)$

$$w_c(a,b) = \int x(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (3.2)$$

เมื่อ $*$ คือการ complex conjugation และ $\Psi_{a,b}$ เป็นอิสระในแนวตั้งฉาก (Orthogonal) โดยที่ a เป็นพารามิเตอร์ของการสเกล และ b เป็นพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ การแปลงเวฟเล็ตจะเป็นการส่งสัญญาณอินพุต ผ่านฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระไปยังปริภูมิ (space) ของฟังก์ชันที่เป็น 2 มิติ ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ a, b และเซตของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดได้ ($W_c(a,b)$ ที่ a, b ใดๆ) เรียกว่า โดเมนของเวฟเล็ต (Wavelet domain)

ดังนั้นการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง เป็นผลรวมของสัญญาณเวลาทั้งหมดที่ถูกคูณด้วยเวฟเล็ตที่มีขนาด (Scale) และการเลื่อน (Shift) กระบวนการนี้จะสร้างสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดและตำแหน่ง สัญญาณเดิม (Original Signal) จะสามารถถูกสร้างกลับคืน (Reconstructed) ได้ด้วยค่าสัมพัทธ์ ผกผัน (Inverse relationship) ดังนี้

$$X(t) = c \iint W_c(a,b) \Psi_{a,b}(t) da db \quad (3.3)$$

เมื่อ c เป็นค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะ (Constant of proportionality) จากการพัฒนาฟังก์ชันเวฟเล็ต (Wavelet function) : $\Psi(t)$ ไปสู่การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multi resolution Analysis) จะต้องใช้ฟังก์ชันพื้นฐานเพิ่มขึ้นอีก คือฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function : $\Phi(t)$)

ฟังก์ชันสเกลลิงใช้ในการแปลงสัญญาณจากละเอียดไปจนถึงหยาบ ซึ่งในทางปฏิบัติเราแทนการสเกล (Scaling) เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) ในขณะที่ฟังก์ชันเวฟเล็ต ทำหน้าที่คล้ายตัวกรองความถี่สูง (High pass filtering) ซึ่งฟังก์ชันสเกลลิง มีรูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ $\Phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ยาน่า นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (3.4) ยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง มีข้อเสีย 2 ประการ คือความซ้ำซ้อน (Redundancy) และปฏิบัติจริงได้ยาก (Impracticality) ปัญหาทั้งสองแก้ไขได้โดยการสุ่มพารามิเตอร์สำหรับการย่อ/ขยาย และปรับตำแหน่ง (Dilation and translation) แนวทางการแก้ปัญหาจึงนำไปสู่ family of wavelets และ scaling function ที่มีพารามิเตอร์ขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discrete parameter)

ให้ $a = a_0^m$ และ $b = kb_0 a_0^m$ หากค่า $\Psi(t)$ และ $\Phi(t)$ จากสมการที่ (3.1) และ (3.4) จะได้

$$\Psi_{mk}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi(a_0^{-m}t - kb_0) \quad (3.5)$$

$$\Phi_{mk}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Phi(a_0^{-m}t - kb_0) \quad (3.6)$$

เมื่อค่า m, k เป็นเลขจำนวนเต็ม และ a_0 มากกว่า 1 และ b_0 ไม่เท่ากับ 0 แทนค่า สมการ (3.5) ด้วยสมการ (3.2) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตแบบเจาะจงเฉพาะค่า (Wavelet Coefficients in discrete form)

$$W_d(m, k) = a_0^{-\frac{m}{2}} \int x(t) \Psi(a_0^{-m}t - kb_0) dt \quad (3.7)$$

เราจะเลือกเวฟเล็ตแม่ที่สามารถสร้างสัญญาณเดิมกลับคืนได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวฟเล็ตแม่ต้องสามารถสร้างฟังก์ชันพื้นฐานเชิงตั้งฉากปกติ (Orthogonal basis) ในปริภูมิ $L^2(\mathbb{R})$ ได้นั้นคือ ต้องมีลักษณะดังนี้

$$\int \Psi_{mk}(t) \Psi_{m'k'}^*(t) dt = 1 \text{ เมื่อ } m = m', k = k' \text{ หรือ } = 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \quad (3.8)$$

Orthogonality Condition ใช้พารามิเตอร์ $a_0 = 2$ และ $b_0 = 1$ ซึ่งหมายถึงฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็น dyadic scale

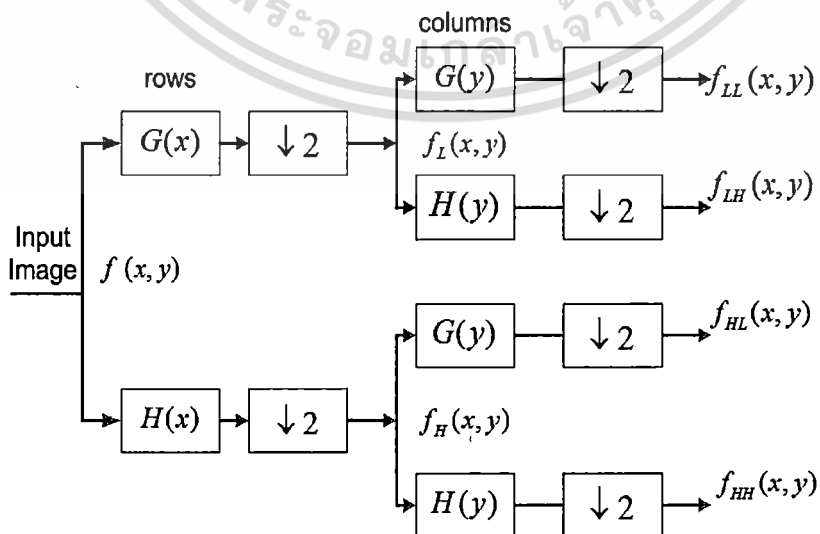
3.2 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพ [8]

ในที่นี้จะกล่าวถึงการแปลงข้อมูลภาพในระดับ 2 มิติ โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต และการแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี ซึ่งแต่ละวิธีมีอยู่ 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนการกระจายข้อมูล (Decomposition) และขั้นตอนการรวมข้อมูลกลับ (Reconstruction)

3.2.1 การกระจายข้อมูล (Decomposition)

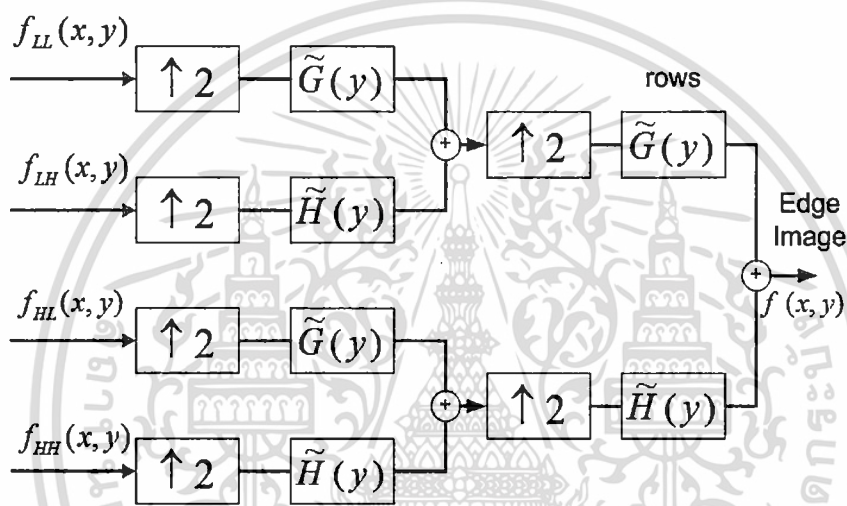
จากข้อมูลภาพที่เป็นสัญญาณ 2 มิติ ขบวนการแปลงเวฟเลตที่ใช้ จะต้องเป็น 2 มิติ ด้วย โดยเริ่มแปลงสัญญาณภาพต้นแบบ $f(x, y)$ ใน 1 มิติ 2 ระดับ ในการกระจายครั้งแรกจะทำการแปลงในแกนแนวนอน (Horizontal) แต่ละแถวจนครบทุกแถว และการกระจายครั้งที่ 2 นำข้อมูลที่ผ่านการแปลงตามแกนแนวนอนแล้ว ไปผ่านขบวนการแปลงตามแกนแนวตั้ง (Vertical) อีกครั้ง

จากการแปลงเวฟเลตแบบวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด ที่มีอัตราส่วนในการสเกลลิ่งเท่ากับสอง ผลลัพธ์ที่ได้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ข้อมูลผ่านตัวกรองความถี่สูง H และส่วนที่ข้อมูลผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ G ดังนั้นเมื่อข้อมูลภาพถูกนำมาทำการแปลงเวฟเลตค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนเรียกว่า ซับแบนด์ (Subband) เก็บค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่เป็นผลลัพธ์จากการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำและตัวกรองความถี่สูง จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้มาทำการลดจำนวนการสุ่มลงมา 2 เท่า ซึ่งจะได้เอาต์พุตความถี่สูงและความถี่ต่ำ จากนั้นเอาต์พุตทั้งสองจะถูกกรองตามแนวหลัก (Column) และลดจำนวนลง 2 เท่า โดยการเก็บข้อมูล 1 แถวจาก 2 แถว ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบด้วยแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ $f_{LL}(x, y)$ จำนวน 1 ภาพและภาพ แบนด์ย่อยที่มีองค์ประกอบของความถี่สูงจำนวน 3 ภาพ คือ $f_{LH}(x, y)$, $f_{HL}(x, y)$ และ $f_{HH}(x, y)$ ตามลำดับ โดยภาพแบนด์ย่อยแต่ละภาพจะมีขนาดลดลงเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของภาพต้นฉบับ



3.2.2 การรวมข้อมูลกลับ (Reconstruction)

การรวมข้อมูลกลับเวฟเล็ต เป็นวิธีการสร้างภาพขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบของซับแบนด์ต่างๆ โดยเริ่มจากภาพ ซับแบนด์ทั้ง 4 ภาพ ถูกเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า โดยการเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแต่ละคู่ของคอตมันน์ หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คอนโวลูชันด้วย ตัวกรองความถี่ต่ำ \tilde{G} และตัวกรองความถี่สูงและบวกเข้าด้วยกัน จากนั้นทำซ้ำไปตามแกนแนวนอน โดยเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแถว หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง บวกเข้าด้วยกันจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการรวมข้อมูลกลับเวฟเล็ตแบบดีสคริต

f_{LL1}	f_{LH1}
f_{HL1}	f_{HH1}

(ก) การแปลงเวฟเลิต 1 ระดับ

f_{LL2}	f_{LH2}	f_{LH1}
f_{HL2}	f_{HH2}	
f_{HL1}	f_{HH1}	

(ข) การแปลงเวฟเลิต 2 ระดับ

f_{LL3}	f_{LH3}	f_{LH2}	f_{LH1}
f_{HL3}	f_{HH3}		
f_{HL2}	f_{HH2}		
f_{HL1}	f_{HH1}		

(ค) การแปลงเวฟเลิต 3 ระดับ

รูปที่ 3.4 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตแบบดิสคริต

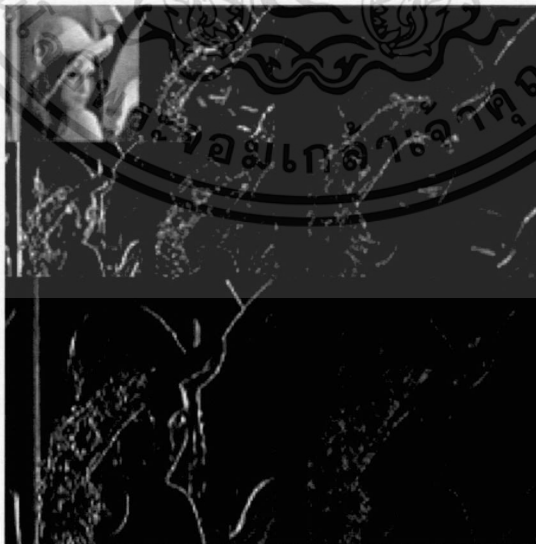
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



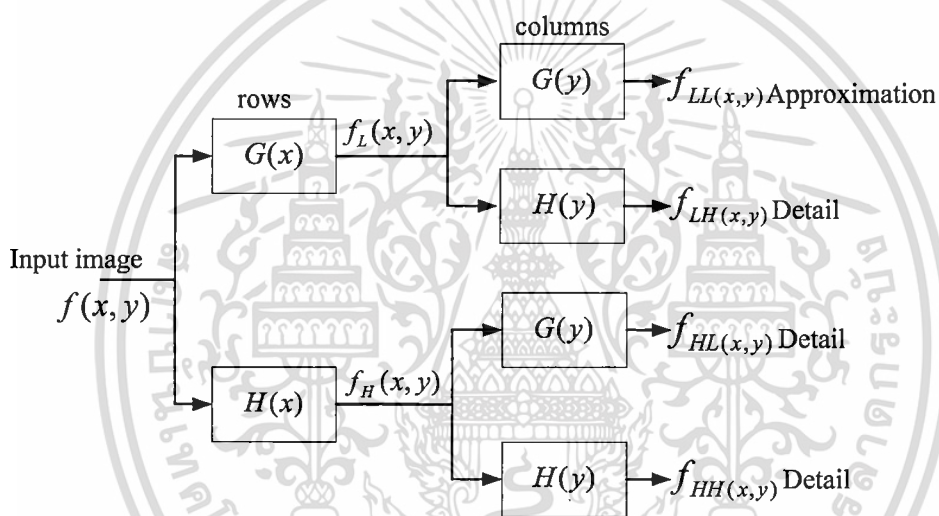
(ค)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสคริต (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 1 ระดับ (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 2 ระดับ

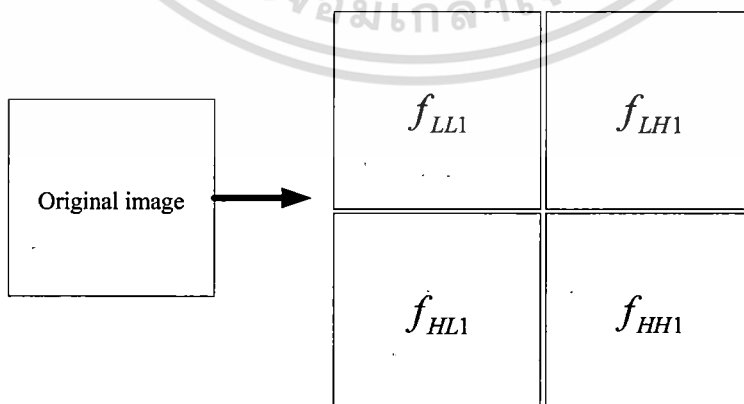
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเข้าเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี

เป็นการแยกภาพต้นแบบออกเป็นองค์ประกอบย่อย โดยภาพต้นแบบ $f(x, y)$ จะถูกกรองไปตามแนวแถวด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ G และตัวกรองความถี่สูง H จะได้ผลลัพธ์ความถี่ต่ำและความถี่สูง จากนั้นผลลัพธ์ทั้งสองจะถูกกรองตามแนวหลัก ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ G และตัวกรองความถี่สูง H อีกครั้งจะได้ภาพแบนด์ย่อย 4 ภาพ คือ ภาพแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ $f_{LL}(x, y)$ จำนวน 1 ภาพ และภาพแบนด์ย่อยที่มีองค์ประกอบความถี่สูงอีกจำนวน 3 ภาพ คือ $f_{LH}(x, y)$, $f_{HL}(x, y)$ และ $f_{HH}(x, y)$ ตามลำดับ โดยแต่ละภาพจะมีขนาดเท่ากับภาพต้นแบบ เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการลดอัตราการสุ่ม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และในขั้นตอนในการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี จะมีกระบวนการเหมือนกับการแปลงกลับแบบดิสครีต แต่จะไม่มีขั้นตอนการเพิ่มอัตราการสุ่มเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.6 การกระจายเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี



รูปที่ 3.7 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบสเตชันนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบสเตชันนารี 1 ระดับ



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบสเตชันนารี 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีพื้นฐานของการปรับปรุงขอบภาพ

การปรับปรุงข้อมูลโดยทั่วไปจะเป็นงานวิจัยในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงงานด้านปัญญาประดิษฐ์ การปรับปรุงข้อมูลเป็นการรวม หรือหล่อหลอมข้อมูลหลายๆ ข้อมูลที่กำเนิดมาจากแหล่งความรู้หลายแหล่งด้วยกันจนก่อให้เกิดข้อมูลภาพใหม่ที่มีรายละเอียดของข้อมูลเพิ่มขึ้น เช่น การปรับปรุงภาพทางการแพทย์ การปรับปรุงภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

4.1 การปรับปรุงข้อมูลขอบภาพ (Edge image fusion)

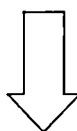
การปรับปรุงขอบภาพ คือ การนำข้อมูลภาพอินพุต 2 มิติ จำนวน 2 ภาพ ที่มีแหล่งกำเนิดต่างกันรวมกัน หรือหล่อหลอมกันจะเกิดภาพใหม่ขึ้นมา 1 ภาพ ที่ยังคงรักษาส่วนประกอบหรือลักษณะเด่น (Feature) ของภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพ ได้ ซึ่งการผสมขอบภาพในระดับจุดภาพ (Pixel level fusion) เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจนของมนุษย์ (Human perception) หรือหุ่นยนต์ (Machine perception) และสามารถนำไปปรับปรุงได้ง่ายขึ้น จะรวมถึง ภาพทางการแพทย์ (Medical image) เช่น ภาพถ่ายจากเครื่อง CT สแกนเนอร์ ผสมกับภาพถ่ายจากเครื่อง MRI เป็นต้น

4.2 กระบวนการปรับปรุงขอบภาพ

4.2.1 วิวัฒนาการของกระบวนการปรับปรุงขอบภาพ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิวัฒนาการของกระบวนการปรับปรุงขอบภาพ จากการผสมภาพระหว่างค่าของจุดภาพแต่ละภาพจนถึงการปรับปรุงขอบภาพโดยกรผ่านกระบวนการแปลงต่างๆ และนำสัมประสิทธิ์ที่ได้ได้จากการแปลงมาผสม ซึ่งเห็นได้จากแผนผัง แสดงกระบวนการปรับปรุงขอบภาพต่างๆ ดังนี้

การปรับปรุงภาพโดยการหาค่าเฉลี่ยของภาพอินพุตที่เป็นภาพ



การปรับปรุงขอบภาพโดยผ่านกระบวนการคำนวณแบบเชิงปริภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของการผสมขอบภาพโดยการหาค่าเฉลี่ยของภาพอินพุตที่เป็นภาพต้นฉบับนี้เป็นวิธีการผสมขอบภาพแบบเบื้องต้น ซึ่งกระบวนการนี้นั้นจะพิจารณาการผสมขอบภาพต้นฉบับ (Source image) ทั้ง 2 ภาพที่มีระดับค่าความแตกต่างในระดับพิกเซล (Pixel) ที่ต่างกันแล้วกระทำการผสมขอบภาพทั้งสองนี้ ซึ่งจากผสมขอบภาพในกระบวนการนี้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นกับความคมชัดของขอบภาพเนื่องจากเมื่อทำการผสมด้วยวิธีนี้ ก็จะทำให้ความคมชัด (Contrast) ของภาพลดลงไป และอาจทำให้จุดเด่นของภาพต้นฉบับทั้ง 2 นั้นหายไปด้วยเช่น กระทำการผสมโดย นำเอาค่าในแต่ละพิกเซลมาบวกกันแล้วหารสอง เป็นต้น

ซึ่งกระบวนการที่สองนั้นจะเป็นการนำเอาวิธีการผสมขอบภาพ (Edge Fusion Method) ในลักษณะการประยุกต์ใช้ การคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency Measurement) มาใช้ในการผสมขอบภาพ ซึ่งการใช้วิธีการผสมขอบภาพดังกล่าวนี้จะไม่ก่อให้เกิดการลดทอนความคมชัดของภาพที่ผสมแล้วเกิดขึ้น

4.2.2 ค่าเชิงปริภูมิความถี่การปรับปรุงขอบภาพ (Spatial Frequency Measurement)

ค่าเชิงปริภูมิความถี่ [13], [14], [15] เป็นวิธีหนึ่งซึ่งใช้ในการวัดคุณสมบัติของภาพ ทฤษฎีของการวัดค่าเชิงปริภูมิความถี่หรือเอสเอฟเอ็ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$R = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=2}^N (x(m,n) - x(m,n-1))^2} \quad (4.1)$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=2}^M \sum_{n=1}^N (x(m,n) - x(m-1,n))^2} \quad (4.2)$$

$$SFM = \sqrt{R^2 + C^2} \quad (4.3)$$

โดยที่ค่า R คือค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลข้างเคียงในแนวนอนและ C คือ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลข้างเคียงในแนวตั้ง $x(m,n)$ แทนรูปและ m, n คือขนาดของรูปตามแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ

ค่าที่ได้จากการหาเอสเอฟเอ็มในแต่ละภาพนั้น จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่มีอยู่ในภาพ ในกรณีที่ภาพนั้นมีรายละเอียดภายในภาพมาก ค่าที่ได้จากการหาเอสเอฟเอ็มก็จะมีค่ามาก แต่ในภาพที่มีรายละเอียดในภาพน้อยๆ หรือลักษณะของภาพเป็นลักษณะที่มีสีหรือความสว่างๆ เท่าๆกันทั้งภาพ ก็จะให้ค่าเอสเอฟเอ็มน้อย แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



(ก) ค่า SFM=19.5079



(ข) ค่า SFM=29.0542



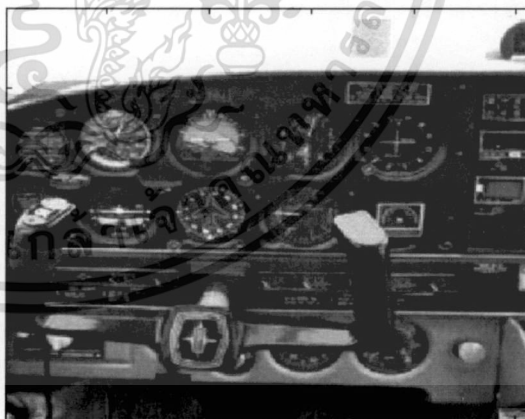
(ค) ค่า SFM=26.7178



(ง) ค่า SFM=9.0982



(จ) ค่า SFM=13.4707



(ฉ) ค่า SFM=31.3110

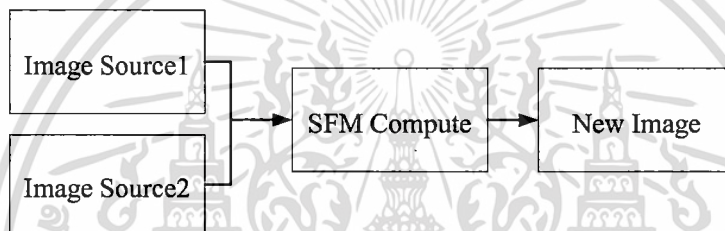
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรูปและค่าเอสเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นว่า ในรูปที่มีรายละเอียดในภาพน้อย เช่นรูป (ง) จะเห็นว่า ภาพมีองค์ประกอบน้อยและมีการเปลี่ยนแปลงของรายละเอียดภายในภาพน้อย ซึ่งทำให้การคำนวณเชิงปริภูมิความถี่ค่าที่ได้จึงมีค่าที่น้อย

การปรับปรุงขอบภาพโดยการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่

คุณสมบัติการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่ คือการเปรียบเทียบค่าระหว่างพิกเซลข้างเคียงในแนวนอนและแนวตั้ง โดยจะคำนวณตั้งแต่พิกเซลแรกไปจนถึงพิกเซลสุดท้ายของภาพ ดังนั้นเมื่อเราคำนึงถึงคุณสมบัติดังกล่าว เราสามารถนำหลักการที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการ ผสมเป็นภาพใหม่ได้



รูปที่ 4.2 ลักษณะการปรับปรุงขอบภาพโดยวิธีการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่

การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่ จะทำการคำนวณเปรียบเทียบพิกเซลในแนวนอน และแนวตั้งจากภาพต้นฉบับที่ 1 และ ภาพต้นฉบับที่ 2 หลังจากนั้นจะทำการกำหนดเงื่อนไขเพื่อเลือกขนาดของพิกเซลที่ผ่านการคำนวณนั้น นำไปประกอบเป็นภาพใหม่ โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการผสมภาพของการคำนวณสามารถอธิบายได้คือ

$$GF_i = \begin{cases} GA_i, & SFGA_i > SFGB_i, \\ GB_i, & SFGA_i < SFGB_i, \\ \frac{GA_i + GB_i}{2}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.4)$$

กำหนดให้

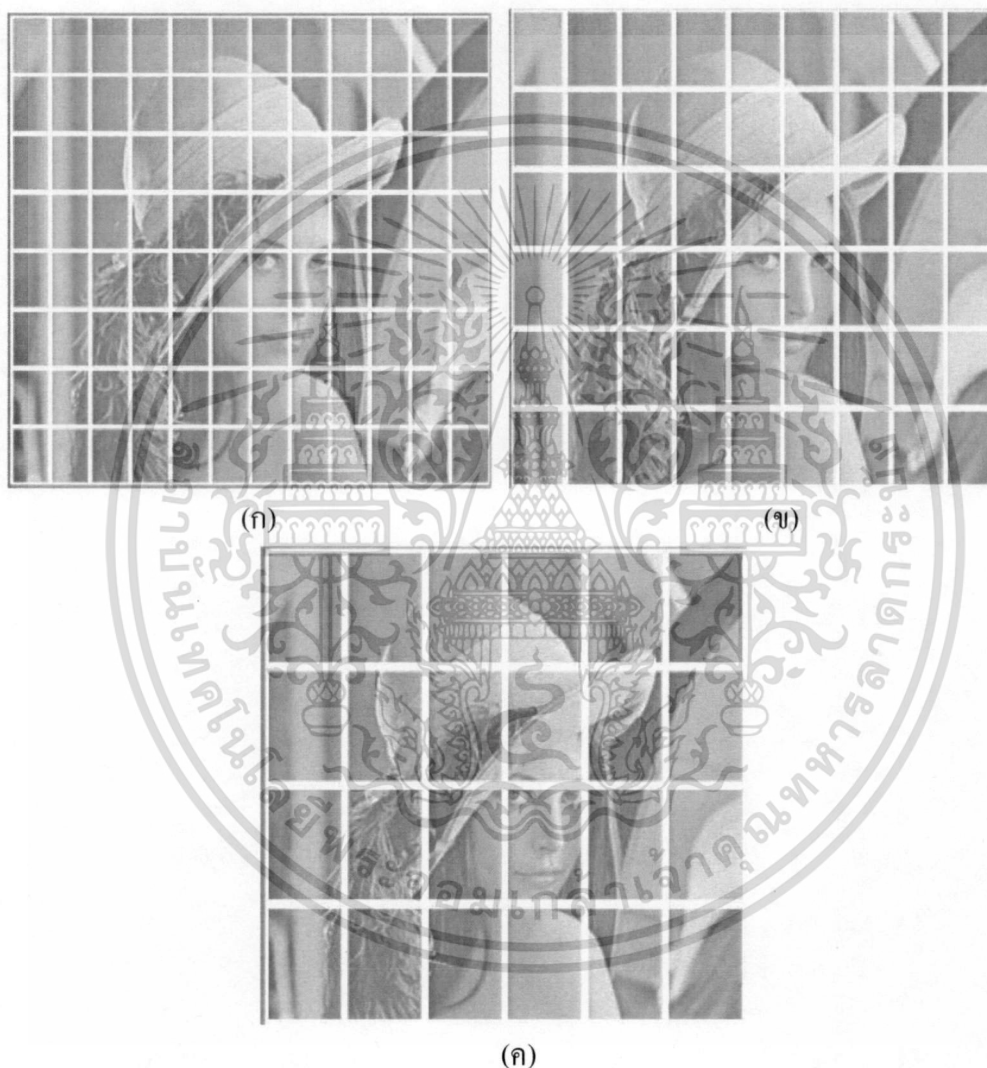
GF_i คือ สัมประสิทธิ์จากภาพที่ได้จากการผสมเป็นภาพใหม่

GA_i และ GB_i คือ ขนาดของพิกเซลหรือบล็อกละเอียดของสัมประสิทธิ์จาก ภาพต้นฉบับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยที่ i จะเท่ากับลำดับของบล็อกละเอียดหรือพิกเซล

$SFGA_i$ และ $SFGB_i$ คือค่าเอสเอฟเอ็มที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ (4.3) จากภาพต้นฉบับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงขอบภาพในงานวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของบล็อกย่อย โดยบล็อกย่อยนี้จะเป็นการกำหนดกรอบของพิกเซลภายในภาพต้นฉบับ เนื่องจากขนาดของบล็อกย่อยมีความสำคัญในการกำหนดขนาดของพิกเซลจากภาพต้นฉบับนั้นๆ ก่อนการคำนวณค่าเอสเอฟเอ็ม เพื่อที่จะใช้เป็นตัวเลือกในการหาภาพที่ผสมใหม่ที่ชัดเจนที่สุด โดยบล็อกย่อยจะถูกกำหนดให้มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยการกำหนดขนาดครั้งนี้จะทำการกำหนดอยู่ 4 ขนาดด้วยกัน คือ 4×4 , 8×8 , 16×16 และ 32×32



รูปที่ 4.3 ลักษณะขนาดของบล็อกย่อยที่ต่างกันภายในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวัดประสิทธิภาพการปรับปรุงขอบภาพ

ในการผสมขอบภาพ บางส่วนของภาพที่ผสม อาจจะสูญเสียไปบ้าง ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการผสมขอบภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

4.3.1 การวัดเชิงคุณภาพหรือวัดโดยความหมายของขอบภาพ

เป็นวิธีพื้นฐานโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสิน คุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้ธรรมดา และยังใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้ามการตัดสินใจอาจใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

(1) การตัดสินใจจากภาพทดสอบแล้วให้ระดับคะแนน เมื่อผู้ทดสอบได้มองภาพทดสอบแล้วระดับคุณภาพตามที่ระบุไว้ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้อ้างอิงด้วย ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความถูกต้องและระดับความผิดพลาด

(2) การตัดสินใจจากชุดคุณภาพทดสอบแล้วเรียงลำดับคุณภาพของภาพ ซึ่งผู้ใช้จะเรียงลำดับภาพทดสอบตามคุณภาพของภาพที่เห็น โดยผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

ดังนั้นการวัดคุณภาพของภาพ โดยอาศัยการประเมินจากผู้สังเกต จะให้ผลถูกต้อง และน่าเชื่อถือมาก

4.3.2 การวัดเชิงปริมาณ [4]

ค่าของปริมาณข้อมูลที่สูญเสียหรือผิดพลาดไป จะสามารถอธิบายได้ในรูปของ ฟังก์ชันของภาพที่สมบูรณ์ กับภาพที่ได้หลังจากผ่านขบวนการผสมแล้ว ซึ่งการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการปรับปรุงภาพสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวัดประสิทธิภาพของภาพโดยการวัดแบบ การวิเคราะห์แบบหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

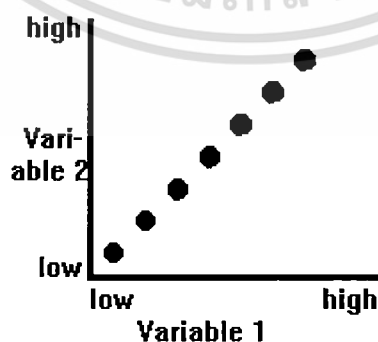
การวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) ตัวอย่างการศึกษาความสัมพันธ์เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความดันโลหิต ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการศึกษากับพฤติกรรมตนเอง ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของเด็กกับวิธีการอบรมเลี้ยงดูเด็ก ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพครอบครัวกับการติดยาเสพติดในวัยรุ่น เป็นต้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์ ซึ่งโดยวิธีการทางสถิติมีอยู่หลายวิธี การใช้

สถิติตัวใดขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัดในตัวแปรนั้นๆ สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรสองตัวคือ เปรียบเทียบหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงแล้ว เพื่อดูว่าภาพที่ได้จากการปรับปรุงใหม่แล้วนั้นมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ

สำหรับในการวัดความสัมพันธ์แต่ละวิธีจะต้องมีการทดสอบนัยสำคัญก่อน จึงจะสรุปได้ว่าตัวแปรคู่ใดมีความสัมพันธ์กันจริงหรือไม่ มากน้อยเพียงใด สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง การแปรผันร่วมกัน หรือไปด้วยกัน แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุและอีกตัวแปรเป็นผล (หรือไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม) เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก เราไม่สามารถบอกได้ว่าส่วนสูงหรือน้ำหนักตัวใดเป็นเหตุ และตัวใดเป็นผล บอกได้เพียงว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีขนาดของความสัมพันธ์กันมาน้อยเพียงใด

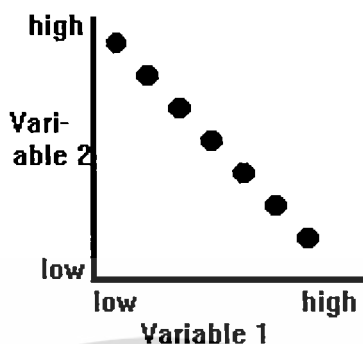
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวซึ่งอาจจะมีความสัมพันธ์มากน้อยหรือไม่ มีเลยและอาจจะสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงข้ามกัน ซึ่งเราสามารถทราบถึงขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ดังกล่าวได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมประสิทธิ์จะมีค่าสูงสุดเป็น 1 หมายความว่า ตัวแปรทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันเป็นอันมากนอกจากนี้ค่าของประสิทธิ์อาจเป็นได้ทั้งบวกและลบ ในกรณีที่เมื่อบวกแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าตัวแปรทั้งสองสัมพันธ์กันในทิศทางตรงข้าม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะออกมาเป็นค่าลบ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าเป็น 0 เมื่อตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งจะไม่มีผลทำให้ตัวแปรอีกตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด และเพื่อความเข้าใจ ขอให้พิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลอันได้แก่ตัวแปรทั้งสองตัว (x และ y) ในแผนภาพกระจายต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 ลักษณะสหสัมพันธ์ที่สูงของตัวแปรสองตัวที่ไปในทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของตัวแปร x และ y จะเคลื่อนไหวไปในทิศทางเดียวกันและสหสัมพันธ์สูงกล่าวคือ ถ้าตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มขึ้น ตัวแปรอีกตัวหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นในอัตราเดียวกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าเป็น $+1$



รูปที่ 4.5 ลักษณะสหสัมพันธ์ที่สูงของตัวแปรสองตัวที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม

ข้อมูลของตัวแปร x และ y จะเคลื่อนไหวไปในทิศทางตรงกันข้ามและสหสัมพันธ์สูง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่า -1

การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวนั้นสามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ คือ การพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลของตัวแปรทั้งสองตัวในแผนภาพแบบการกระจาย ก็สามารถบอกคร่าวๆ ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และถ้าสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์นั้นจะเป็นไปในทิศทางใด แต่ถ้าต้องการทราบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันนั้น ตัวแปรใดเป็นเหตุให้ตัวแปรอีกตัวเปลี่ยนแปลงไปก็จะต้องหาสมการถดถอยอย่างง่าย โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างง่ายซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสูตร

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.5)$$

โดยที่ r คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และ y

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปนิยมใช้สัญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง (บางชนิดจะใช้สัญลักษณ์ C, W หรืออื่นๆ) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ใช้วัดขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ $-1 \leq r \leq 1$ และ $0 \leq r \leq 1$

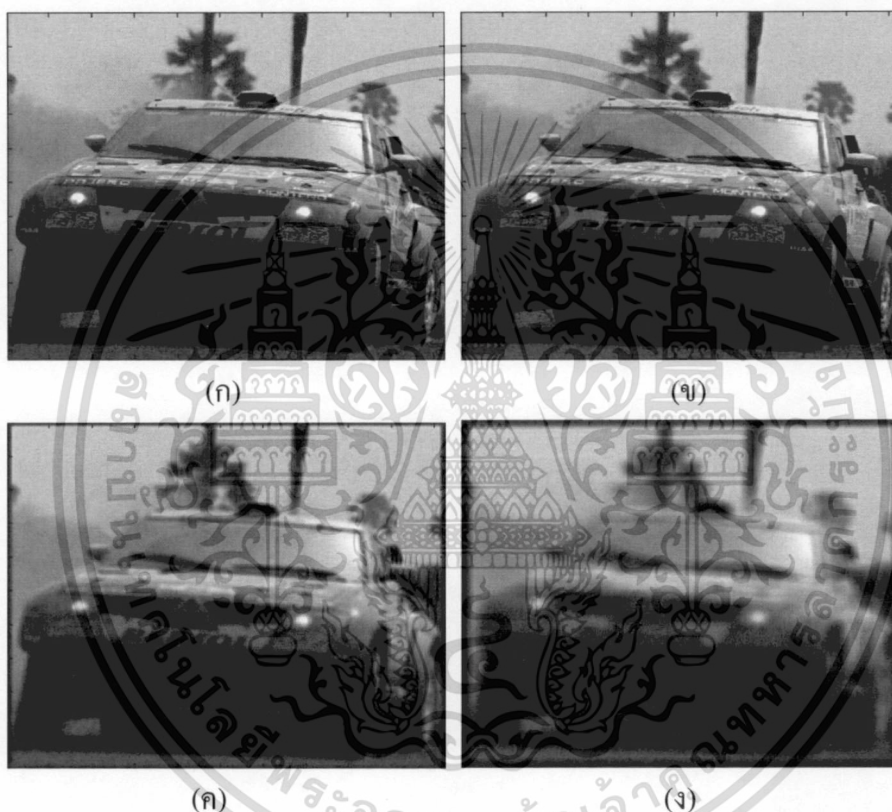
การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
.70 - .90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
.50 - .70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
.30 - .50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
.00 - .30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพที่ถูกทำให้เบลอด้วย Moving Average Filter เพื่อหาค่า Correlation (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) บล็อก 3x3 (ค) บล็อก 5x5 (ง) บล็อก 7x7

ตารางที่ 4.1 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากรูปที่ 4.6

ภาพ	(ก) เปรียบเทียบ (ข)	(ก) เปรียบเทียบ (ค)	(ก) เปรียบเทียบ (ง)
ค่า Correlation	1	0.609	0.207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

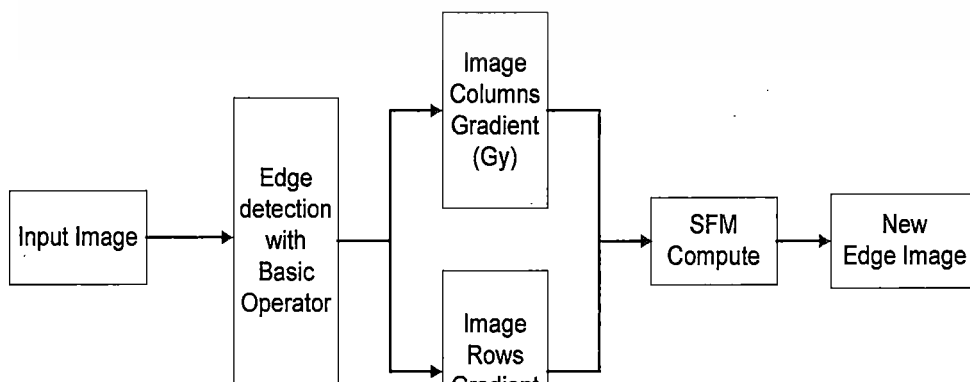
บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง โดยได้แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อด้วยกันคือ ผลการทดลองจากการปรับปรุงขอบภาพโดยใช้หลักการหาขอบภาพแบบพื้นฐาน ผลการทดลองจากการปรับปรุงขอบภาพใหม่โดยการขจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับด้วยวิธีที่แตกต่างกัน และสรุปผลการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งหมดนี้ได้จำลองการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมที่ทำงานด้วย MATLAB เวอร์ชัน 7.6 ประมวลผลบนเครื่อง Computer Notebook Intel Core2Duo CPU 2 GHz

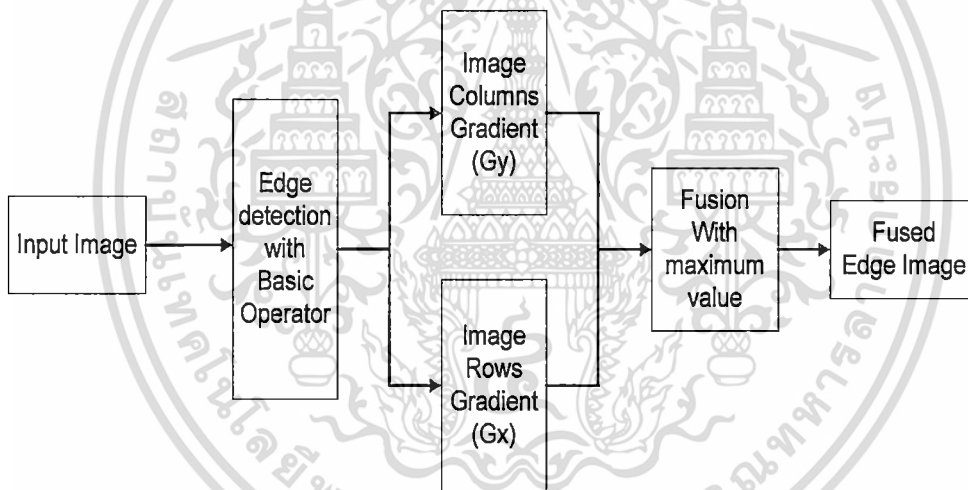
5.1 ผลการทดลองการปรับปรุงขอบภาพโดยใช้การหาขอบภาพแบบพื้นฐาน

ผลการทดลองในส่วนนี้ได้นำภาพถ่ายที่มีลักษณะเป็นภาพระดับความเข้มเทา จำนวน 18 ภาพ โดยแต่ละภาพมีขนาดเท่ากับ 256×256 จุดภาพ จากตัวอย่างการปรับปรุงขอบภาพใหม่ ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งแต่ละภาพจะถูกการหาขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐานที่แตกต่าง แล้วนำขอบภาพนั้นทำการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีการคำนวณแบบเชิงปริภูมิความถี่ ซึ่งการหาขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐานนี้จะใช้หลักการและกระบวนการในบทที่ 2 โดยกระบวนการที่ใช้คือการหาขอบภาพแบบ โซเบล (Sobel operator) โรเบิร์ต (Robert operator) และ พรูวิท (Prewitt operator) โดยขอบภาพที่ได้ผ่านกระบวนการหาขอบภาพแบบพื้นฐานนี้จะให้ลักษณะของอนุพันธ์ 2 แนว คือ ค่าเกรเดียน (Gradient) ทางด้านแนวแถว และค่าเกรเดียนแนวหลัก หลังจากนั้นจะทำการปรับปรุงขอบภาพที่ได้โดยใช้การปรับปรุงแบบเอสเอฟเอ็ม (Spatial Frequency Measurement : SFM) สามารถอธิบายโครงสร้างได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กระบวนการปรับปรุงขอบภาพเกรเดียนพื้นฐานแบบเอสเอฟเอ็ม

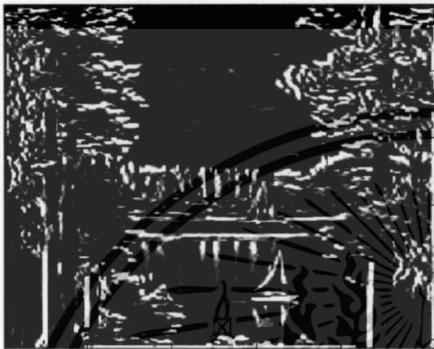
โดยผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังรูป 5.3(ข) 5.3 (ง) 5.3(ฉ) 5.4(ข) 5.4(ง) 5.4(ฉ) 5.5(ข) 5.5(ง) 5.5(ฉ) 5.6(ข) 5.6(ง) 5.6(ฉ) โดยขอบภาพที่ได้จากการปรับปรุงแบบเอ็สเอฟเอ็มจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของบล็อกย่อย เนื่องจากขนาดของบล็อกย่อยมีความสำคัญต่อความคมชัดของภาพ ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของขอบภาพต้นฉบับ เพราะความแตกต่างของความละเอียดภายในภาพต่างกันขนาดของบล็อกย่อยที่เลือกใช้ก็ต่างกันออกไป จากตารางที่ 5.1 5.2 และ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์ (Correaltion) ของบล็อกย่อยที่มีขนาดต่างกันและการเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์ของการหาขอบภาพด้วยวิธีที่ต่างกัน โดยขอบภาพใหม่ที่ได้จากการปรับปรุงขอบภาพที่ได้จากการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐาน จำเป็นต้องนำมาทำการเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เพื่อเปรียบเทียบค่าความคมชัดของขอบภาพที่ได้กับภาพต้นฉบับ และจะทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิธีการแบบ การเปรียบเทียบค่าสูงสุดของแต่ละเกรเดียน อธิบายได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งภาพที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูป 5.3(ค) 5.3(จ) 5.3(ช) 5.4(ค) 5.4(จ) 5.4(ช) 5.5(ค) 5.5(จ) 5.5(ช) 5.6(ค) 5.6(จ) 5.6(ช)



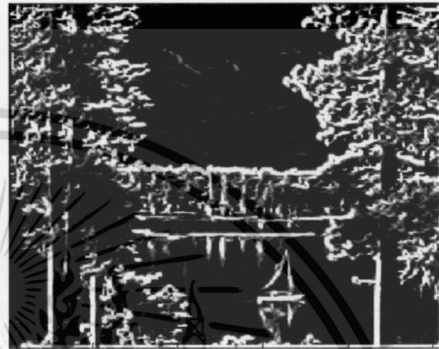
รูปที่ 5.2 การปรับปรุงขอบภาพเกรเดียนพื้นฐานแบบการเลือกค่าสูงสุด



(ก) ภาพต้นฉบับ



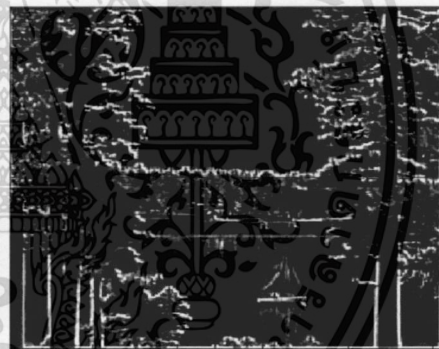
(ข) SFM Fusion with Sobel



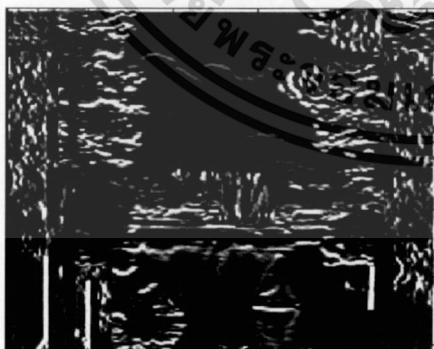
(ค) Maximum value fusion with Sobel



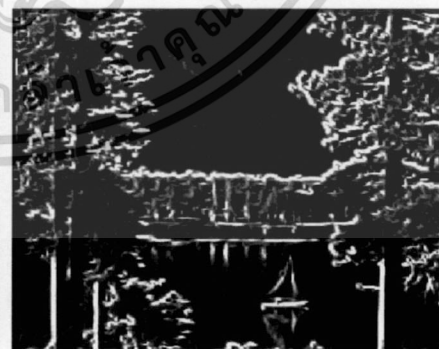
(ง) SFM Fusion with Robert



(จ) Maximum value fusion with Robert



(ฉ) SFM Fusion with Prewitt



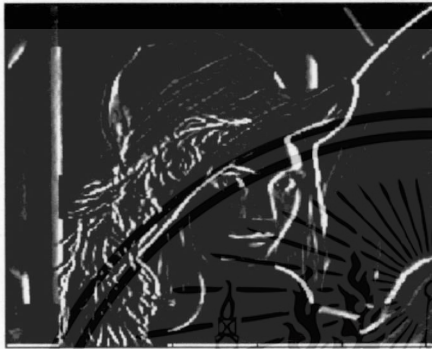
(ช) Maximum value fusion with Prewitt

รูปที่ 5.3 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพทิวทัศน์

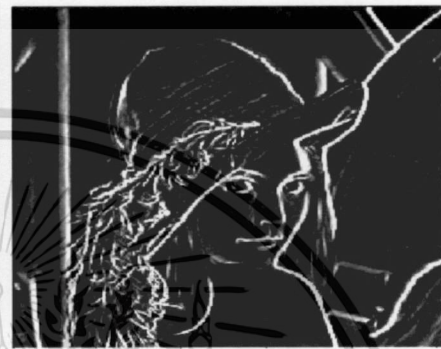
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) SFM Fusion with Sobel



(ค) Maximum value fusion with Sobel



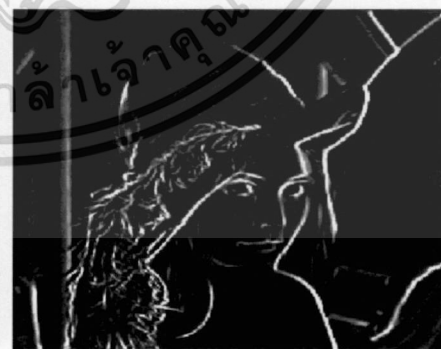
(ง) SFM Fusion with Robert



(จ) Maximum value fusion with Robert



(ฉ) SFM Fusion with Prewitt



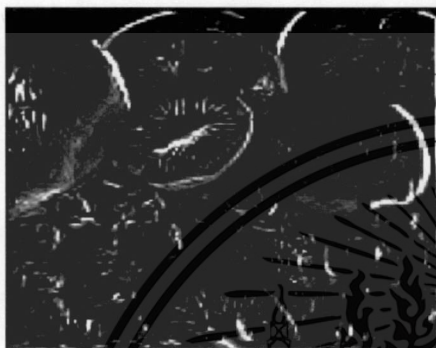
(ช) Maximum value fusion with Prewitt

รูปที่ 5.4 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพ Lena

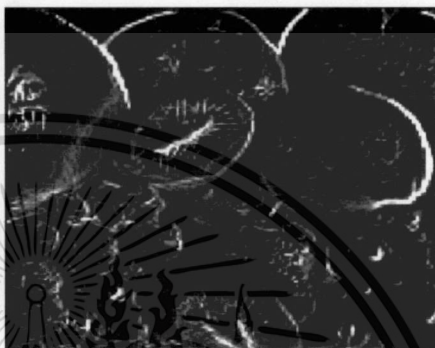
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ



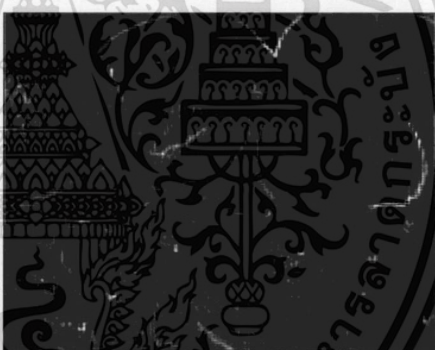
(ข) SFM Fusion with Sobel



(ค) Maximum value fusion with Sobel



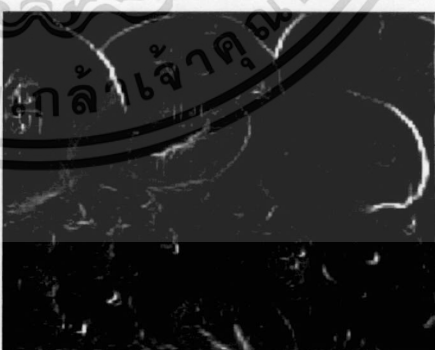
(ง) SFM Fusion with Robert



(จ) Maximum value fusion with Robert



(ฉ) SFM Fusion with Prewitt



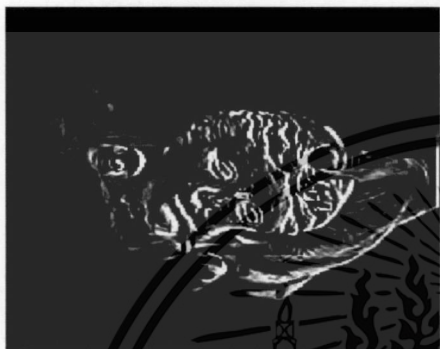
(ช) Maximum value fusion with Prewitt

รูปที่ 5.5 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพผลไม้

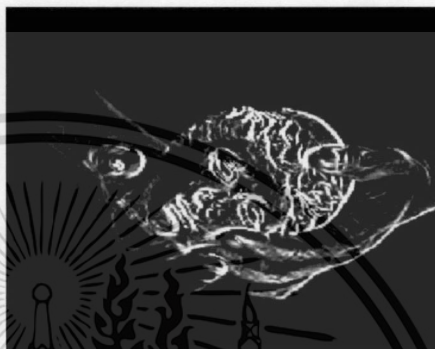
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ



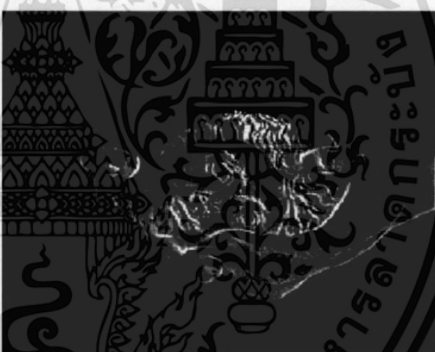
(ข) SFM Fusion with Sobel



(ค) Maximum value fusion with Sobel



(ง) SFM Fusion with Robert



(จ) Maximum value fusion with Robert



(ฉ) SFM Fusion with Prewitt



(ช) Maximum value fusion with Prewitt

รูปที่ 5.6 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพของภาพ มือคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



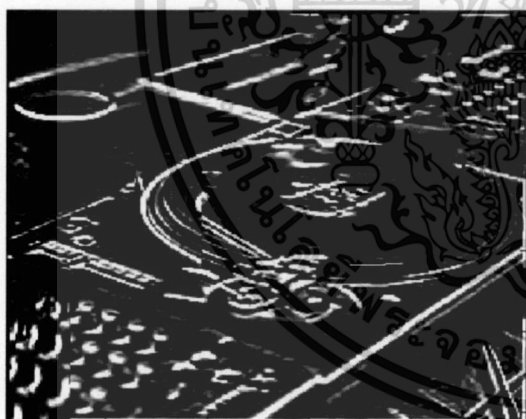
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.7 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอ็สเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Sobel operator

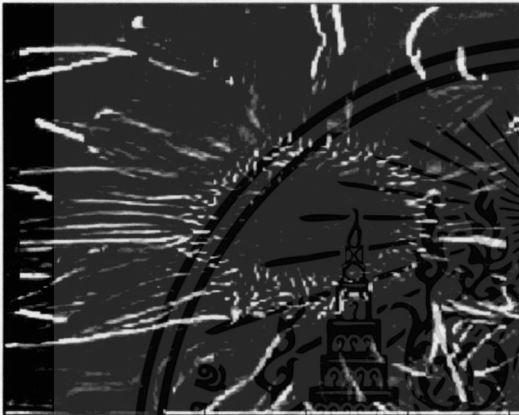
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



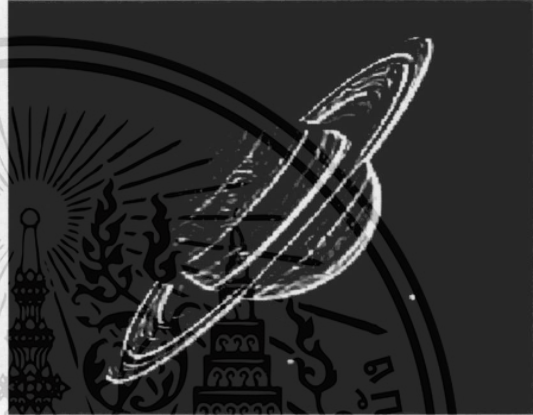
(ช)



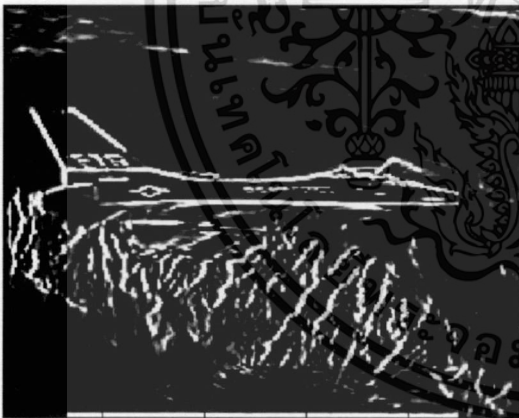
(ซ)



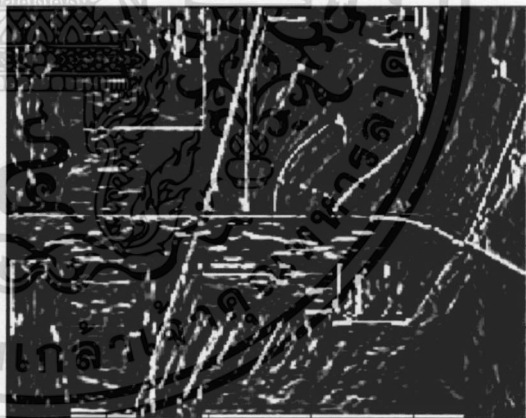
(ฅ)



(ญ)



(ฎ)



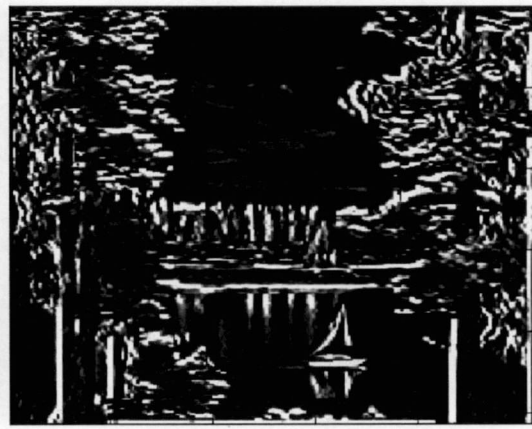
(ฏ)

รูปที่ 5.7 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Sobel operator

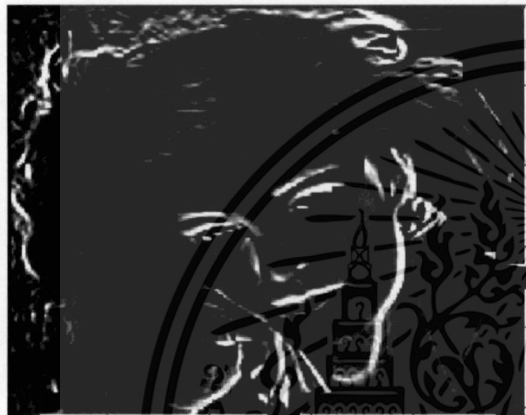
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



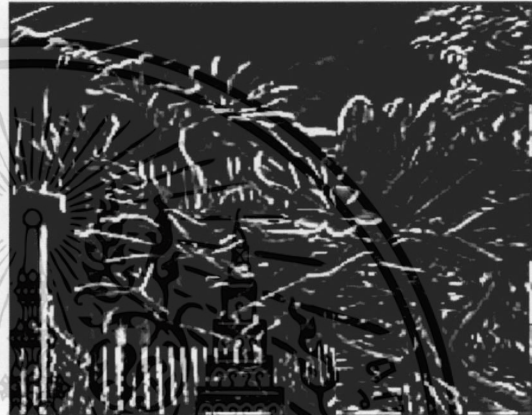
(จ)



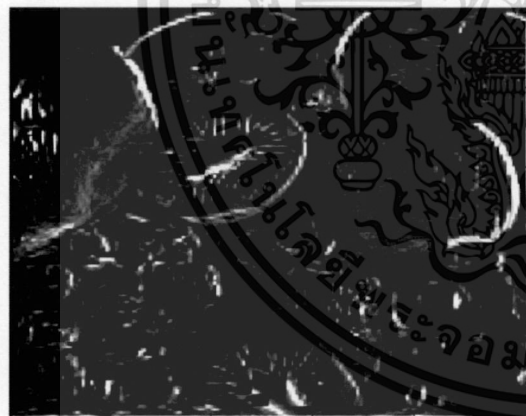
(ข)



(ค)



(ค)



(ด)



(ด)

รูปที่ 5.7 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอ็สเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Sobel operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Sobel operator

ภาพ	SFM ภาพ ต้นฉบับ	บล็อกย่อย 4×4	บล็อกย่อย 8×8	บล็อกย่อย 16×16	บล็อกย่อย 32×32	Maximum Values Fusion
ฟัน	0.0982	0.0889	0.0889	0.0967	0.0945	0.0016
ใบหน้า	12.1578	0.0246	0.0154	0.0199	0.0021	0.0128
ผู้หญิง	13.1374	0.0343	0.0356	0.0490	0.0583	0.0424
หมี	13.4707	0.0822	0.0825	0.0722	0.0794	0.0778
ลิง	13.5270	0.0261	0.0259	0.0204	0.0063	0.1195
ผลไม้	13.7464	0.0134	0.0173	0.0121	0.0152	0.0377
ความเสาร้	17.1512	0.0603	0.0737	0.0629	0.0432	0.1216
หอคอย	17.7756	0.1984	0.1975	0.1942	0.2353	0.1465
ดอกไม้	18.1394	0.0268	0.0370	0.0415	0.0387	0.0963
มือคน	19.1177	0.0987	0.1067	0.1062	0.0998	0.0876
Lenna	19.5079	0.0646	0.0762	0.1050	0.1180	0.0574
ตักแตน	22.6545	0.1009	0.1119	0.1198	0.1484	0.0718
เครื่องบิน	26.7178	0.1088	0.1132	0.1108	0.1247	0.0091
ดีเจ	29.0542	0.0481	0.0542	0.0528	0.0693	0.0313
ต้นไม้	29.1057	0.1005	0.1220	0.1597	0.1710	0.0915
ถนน	29.6527	0.0393	0.0454	0.0510	0.0680	0.0380
ห้องเครื่อง	31.3110	0.1375	0.1404	0.1516	0.1247	0.0703
ทิวทัศน์	34.0685	0.0784	0.0920	0.1014	0.0919	0.0129

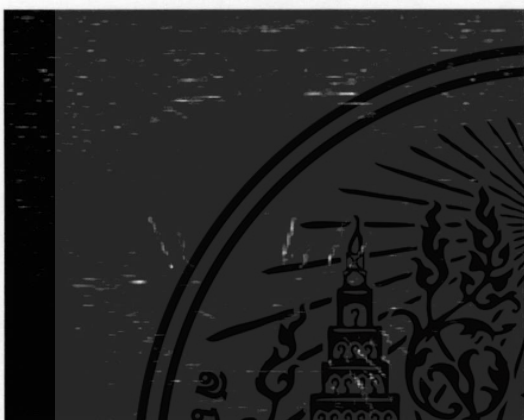
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



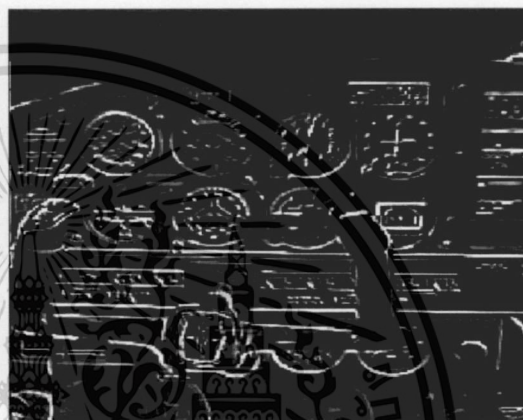
(ก)



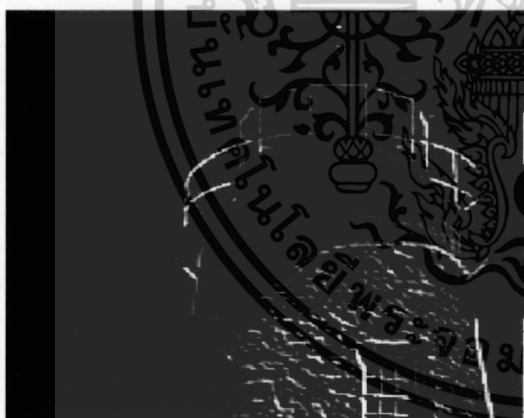
(ข)



(ค)



(ง)



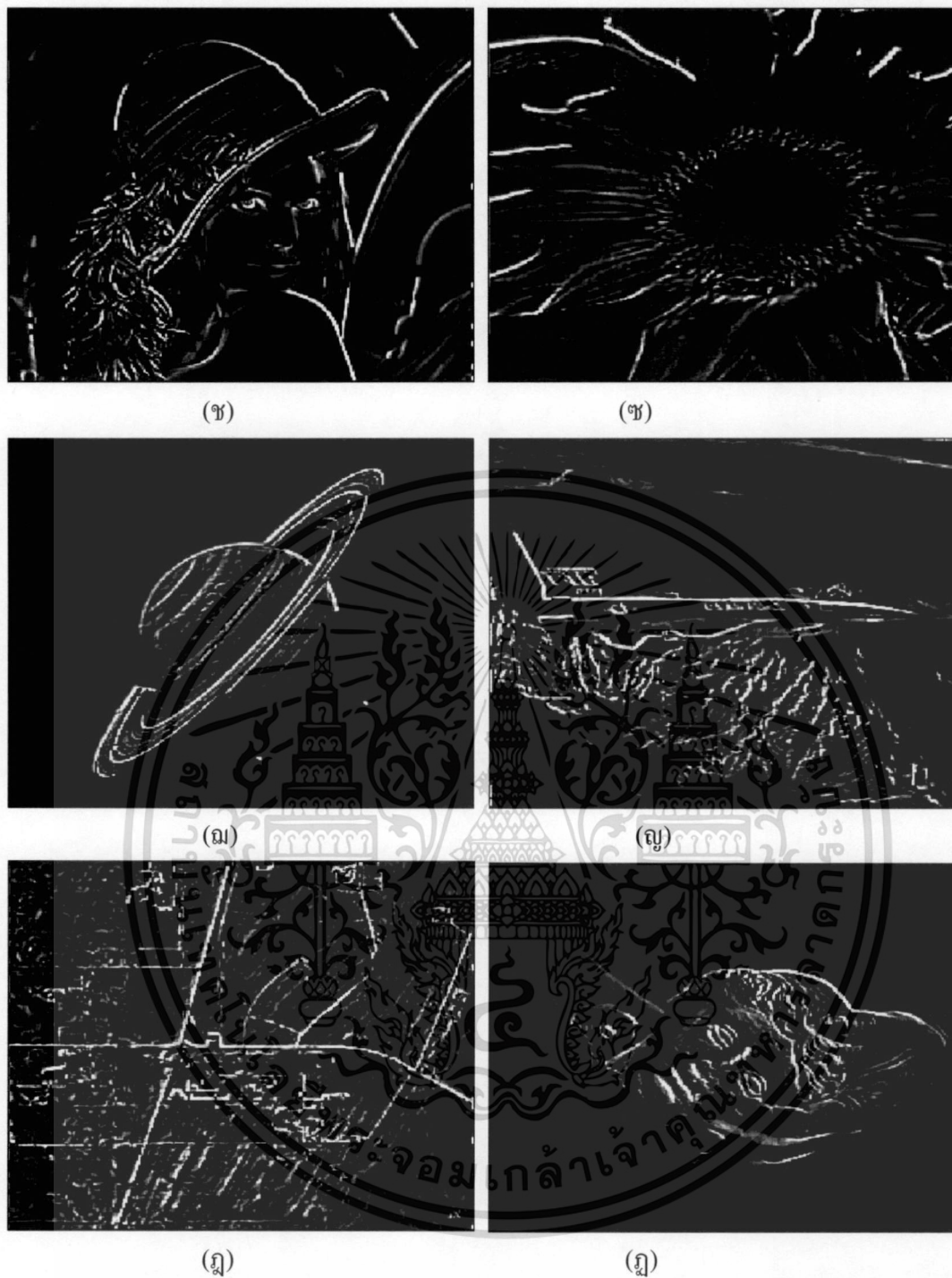
(จ)



(ฉ)

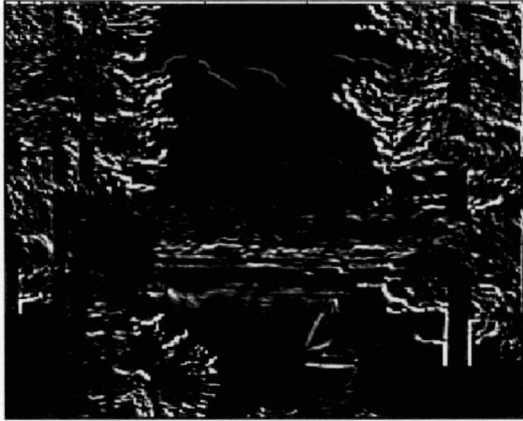
รูปที่ 5.8 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Robert operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอ็ดจ์เอมจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Robert operator

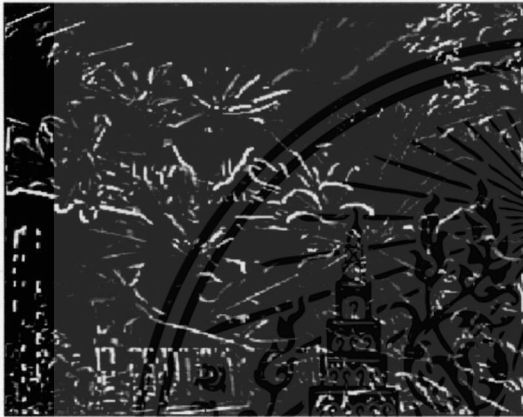
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ข)



(ค)



(ด)



(จ)



(ข)

รูปที่ 5.8 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเตอร์เพิ่มเติมจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Robert operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพ โดยการหาขอบภาพแบบ Robert operator

ภาพ	SFM ภาพ ต้นฉบับ	บล็อกย่อย 4×4	บล็อกย่อย 8×8	บล็อกย่อย 16×16	บล็อกย่อย 32×32	Maximum Values Fusion
ฟัน	0.0982	0.0532	0.0576	0.0609	0.0201	0.1101
ใบหน้า	12.1578	0.0362	0.0290	0.0309	0.0191	0.0068
ผู้หญิง	13.1374	0.0667	0.0871	0.0932	0.1009	0.0986
หมี	13.4707	0.0168	0.0183	0.0234	0.0238	0.0576
ลิง	13.5270	0.1886	0.2299	0.2640	0.2386	0.2816
ผลไม้	13.7464	0.0414	0.0535	0.0488	0.0854	0.0332
ความเสาร้	17.1512	0.0579	0.0505	0.0556	0.0619	0.0303
หอคอย	17.7756	0.0203	0.0141	0.0490	0.0924	0.1167
ดอกไม้	18.1394	0.0071	0.0014	0.0102	0.0103	0.3399
มือคน	19.1177	0.0557	0.0625	0.0835	0.0587	0.6279
Lenna	19.5079	0.0171	0.0379	0.0180	0.0354	0.0171
ตึกเตน	22.6545	0.1792	0.1750	0.1899	0.2214	0.2013
เครื่องบิน	26.7178	0.0288	0.0475	0.1113	0.0291	0.0103
ดีเจ	29.0542	0.0736	0.0705	0.0676	0.0433	0.603
ต้นไม้	29.1057	0.0209	0.0119	0.0075	0.0110	0.0103
ถนน	29.6527	0.0218	0.0148	0.0167	0.0213	0.0193
ห้องเครื่อง	31.3110	0.1436	0.1422	0.1379	0.1600	0.1450
ทิวทัศน์	34.0685	0.0715	0.0867	0.1018	0.0732	0.0976

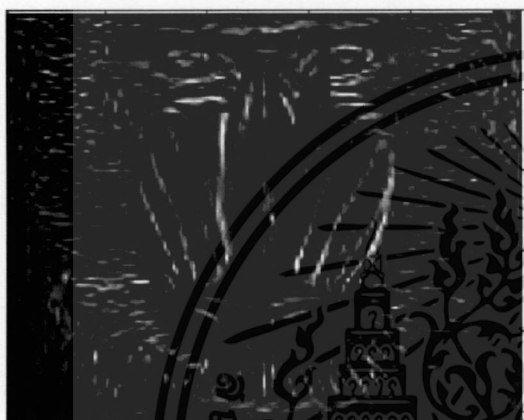
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



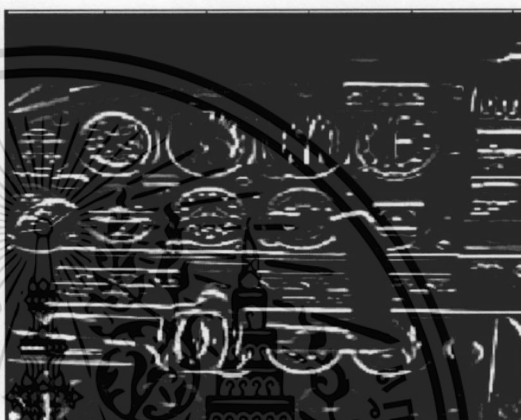
(ก)



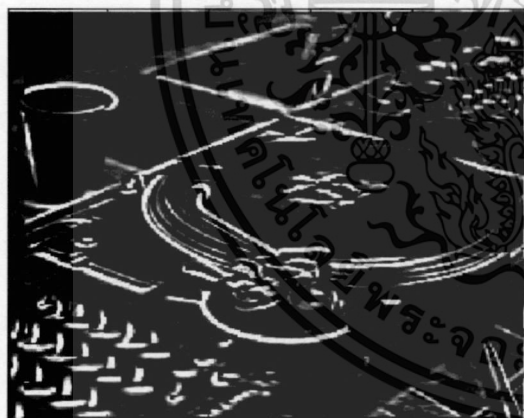
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอ็สเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดย
ใช้การหาขอบภาพแบบ Prewitt operator

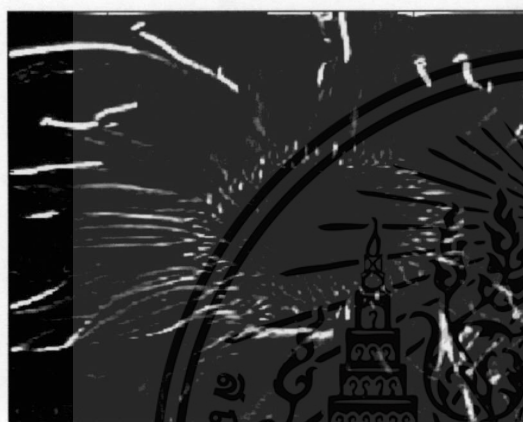
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



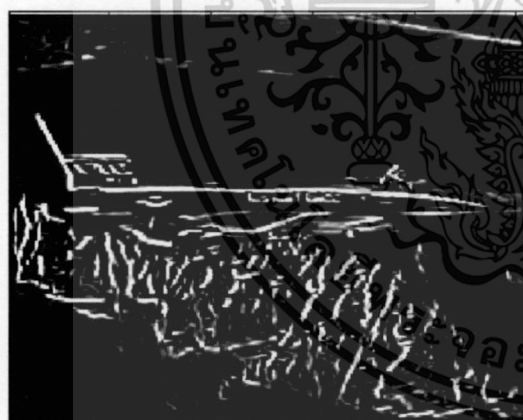
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Prewitt operator

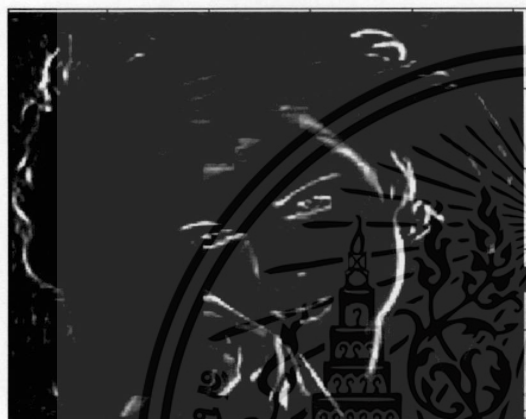
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



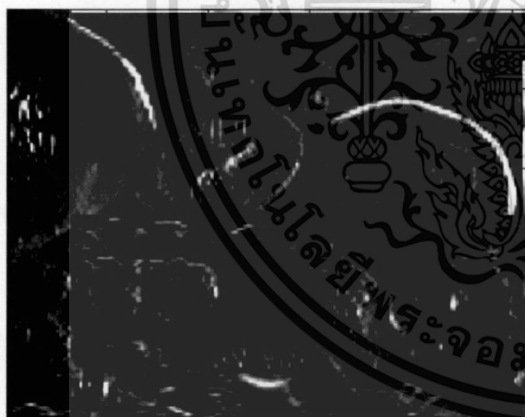
(ข)



(ค)



(ง)



(ฉ)



(ช)

รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจากตัวอย่างภาพทั้งหมด โดยใช้การหาขอบภาพแบบ Prewitt operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Prewitt operator

ภาพ	SFM ภาพ ต้นฉบับ	บล็อกย่อย 4×4	บล็อกย่อย 8×8	บล็อกย่อย 16×16	บล็อกย่อย 32×32	Maximum Values Fusion
พื้น	0.0982	0.0534	0.0455	0.0042	0.0058	0.0021
ใบหน้า	12.1578	0.0818	0.0904	0.0988	0.1125	0.0111
ผู้หญิง	13.1374	0.1453	0.1488	0.1561	0.1516	0.0325
หมี	13.4707	0.0891	0.0763	0.0722	0.0813	0.0766
ลิง	13.5270	0.0576	0.0587	0.0603	0.0474	0.1217
ผลไม้	13.7464	0.0249	0.0216	0.0210	0.0368	0.0362
ดาวเสาร์	17.1512	0.0096	0.0141	0.0214	0.0215	0.1215
หอคอย	17.7756	0.0466	0.0151	0.0068	0.0365	0.1469
ดอกไม้	18.1394	0.0738	0.0724	0.0776	0.0846	0.0797
มือคน	19.1177	0.1286	0.1302	0.1290	0.0970	0.1545
Lenna	19.5079	0.0800	0.0852	0.0785	0.0799	0.0803
ตึกแดง	22.6545	0.1183	0.1205	0.1225	0.1330	0.0738
เครื่องบิน	26.7178	0.1361	0.1201	0.1066	0.1165	0.0089
ดีเจ	29.0542	0.0662	0.0715	0.0671	0.0543	0.0328
ต้นไม้	29.1057	0.0378	0.0447	0.0482	0.0408	0.0896
ถนน	29.6527	0.0135	0.0290	0.0402	0.0259	0.0428
ห้องเครื่อง	31.3110	0.1081	0.1116	0.1276	0.1284	0.0410
ทิวทัศน์	34.0685	0.0773	0.0913	0.1024	0.1055	0.0089

จากผลการทดลองการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีการหาขอบภาพโดยใช้วิธีแบบพื้นฐานจากภาพต้นฉบับที่มีระดับความละเอียดของภาพที่แตกต่างจำนวน 18 ภาพ ด้วยวิธีการปรับปรุงขอบภาพโดยใช้วิธีการหาขอบภาพของ Sobel operator, Robert operator และ Prewitt operator พบว่าผลที่ได้จากวิธีที่นำเสนอส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีการแบบการคำนวณหาค่าสูงสุดของเกรเดียน (Maximum Values) โดยนำขอบภาพของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบภาพด้วยวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์จากภาพต้นฉบับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



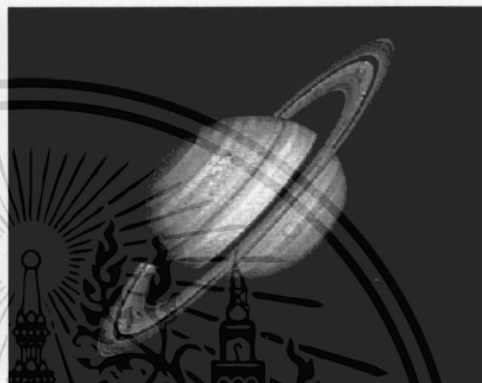
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



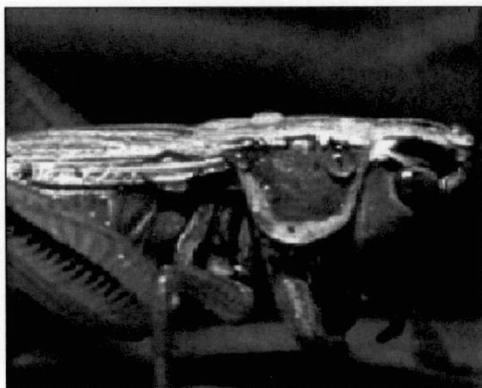
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.10 ภาพที่ใช้ในการอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ง)



๑ (ฉ)



(ญ)



(ฉ)



(ฎ)

รูปที่ 5.10 ภาพที่ใช้ในการอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ข)



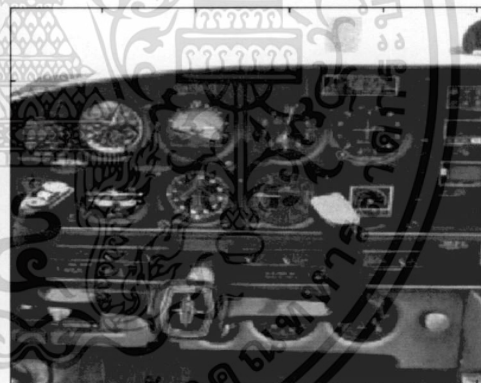
ข (ฅ)



(ค)



(ค)



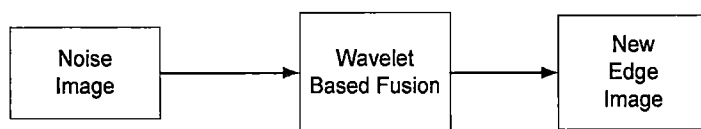
(ค)

รูปที่ 5.10 ภาพที่ใช้ในการอ้างอิง

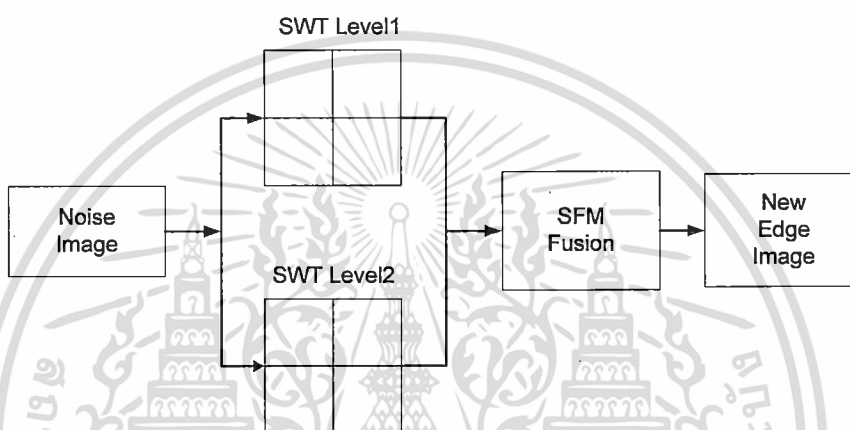
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการปรับปรุงขอบภาพโดยการขจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับ

ผลการทดลองในส่วนนี้ จะทำการทดลองการปรับปรุงขอบภาพโดยการขจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับ โดยการปรับปรุงขอบภาพจะใช้การคำนวณแบบเอสเอฟเอ็มและส่วนวิธีการหาขอบภาพ เพื่อที่ว่าวิธีไหนจะสามารถลดหรือขจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าหรือคมชัดกว่า ซึ่งกระบวนการหาขอบภาพที่ใช้ ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการหาขอบภาพจากวิธีการหาขอบภาพแบบพื้นฐาน คือ วิธีการแบบโซเบล (Sobel operator) วิธีการแบบโรเบิร์ต (Robert operator) วิธีการแบบพรีวิท (Prewitt operator) การหาขอบภาพโดยใช้ออนุพันธ์อันดับสองโดยใช้การหาขอบภาพแบบลาเพลเซียน (Laplacian operator) และการหาขอบภาพโดยการแปลงบนเวฟเล็ตโดเมน โดยจะทำการหาขอบภาพแบบสเตชันนารี (Stationary wavelet transform : SWT) ส่วนภาพที่จะนำมาทดลองจะมีระดับรายละเอียดของภาพที่แตกต่างกันออกไป จำนวน 5 ภาพ คือ ภาพเลนน่า ภาพต้นไม้ ภาพผลไม้ ภาพหมี และภาพถนน โดยภาพที่จะนำมาทดลองจะมีความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนขนาดเท่ากับ 30 40 และ 50 dB ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพที่ได้จะทำการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เปรียบเทียบว่าวิธีใดจะให้ระดับความคมชัดของภาพได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ และดูว่าวิธีไหนสามารถขจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับวิธีการแบบ ปรับปรุงขอบภาพแบบ Wavelet Based Image Fusion สำหรับผลการทดลองสามารถดูได้ดังรูป 5.13(ข) 5.14(ข) 5.15(ข) 5.16(ข) 5.17(ข) จากรูปคือภาพต้นฉบับที่มีการแปรปรวนของระดับสัญญาณรบกวนระดับ 40 dB มาทำการหาขอบภาพเพื่อทำการปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ด้วยวิธีการหาขอบภาพแบบ SWT แสดงดังรูป 5.13(ค) 5.14(ค) 5.15(ค) 5.16(ค) 5.17(ค) ส่วนขอบภาพที่ได้จากการหาขอบภาพแบบพื้นฐานดังรูป 5.13(ง) 5.14(ง) 5.15(ง) 5.16(ง) 5.17(ง) คือการหาขอบภาพโดยใช้การหาขอบภาพแบบ Sobel operator การหาขอบภาพโดยใช้กระบวนการ Robert operator แสดงได้ดังรูป 5.13(จ) 5.14(จ) 5.15(จ) 5.16(จ) 5.17(จ) และกระบวนการหาขอบภาพโดยใช้ Prewitt operator แสดงได้ดังรูป 5.13(ฉ) 5.14(ฉ) 5.15(ฉ) 5.16(ฉ) 5.17(ฉ) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการหาขอบภาพแบบหาอนุพันธ์อันดับแรก ส่วนการหาขอบภาพโดยใช้ออนุพันธ์อันดับสองนั้นสามารถแสดงได้รูปที่ 5.13(ซ) 5.14(ซ) 5.15(ซ) 5.16(ซ) 5.17(ซ) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการหาขอบภาพผ่านกระบวนการแบบ Laplacian operator และสุดท้ายคือการหาขอบภาพโดยใช้กระบวนการแบบ Wavelet based image fusion ซึ่งเป็นกระบวนการปรับปรุงภาพอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอต่างเพื่อเปรียบเทียบความคมชัดของขอบภาพที่ได้กับวิธีการแบบ Wavelet based fusion โดยจะนำขอบภาพใหม่ที่ได้ผ่านการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงดังตารางที่ 5.7 5.8 และตารางที่ 5.9 โดยตารางดังกล่าวเป็นการแสดงค่าสหสัมพันธ์ของของขอบภาพที่ได้ซึ่งขอบภาพที่นำเสนอคือ การปรับปรุงขอบภาพโดยใช้การหาขอบภาพแบบ SWT นั้นเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เพื่อดูความแตกต่างระดับความคมชัดของขอบภาพ โดยมีระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่ระดับ 30dB 40dB และ 50dB



รูปที่ 5.11 การผสมภาพแบบ Wavelet Based Fusion



รูปที่ 5.12 วิธีที่นำเสนอการปรับปรุงขอบภาพแบบ SFM Fusion โดยการหาขอบภาพแบบ SWT

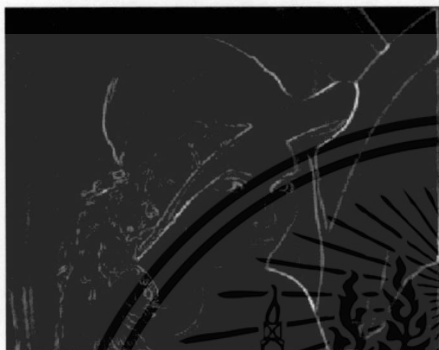
จากรูป 5.11 แสดงการผสมภาพโดยใช้การผสมบนเวฟเล็ตโดเมนจากรูปสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาผ่านกระบวนการ wavelet based fusion กระบวนการดังกล่าวจะผ่านการแปลงเวฟเล็ตและหลังจากนั้นก็ทำการผสมภาพด้วยวิธีการหาค่าสูงสุด (Maximum Value) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสมมุติฐานที่การทดลองนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอคือ จากรูปที่ 5.12 จากรูปคือการนำเสนอการปรับปรุงขอบภาพแบบ SFM fusion โดยการหาขอบภาพแบบ SWT จากกระบวนการนี้จะนำ Stationary Wavelet Transform มาหาขอบภาพที่ระดับความละเอียดที่ 1 และ 2 ก่อนและหลังจากนั้นจะนำขอบภาพที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการผสมหรือปรับปรุงขอบภาพใหม่ด้วยวิธีการคำนวณค่าเชิงปริภูมิความถี่



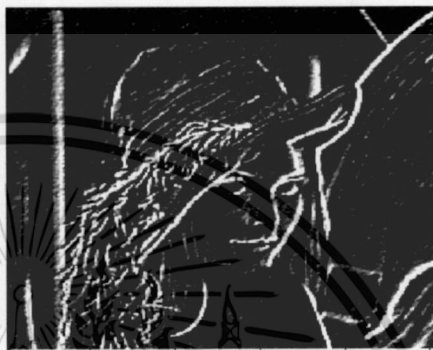
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพมีสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB



(ค) SWT Fusion



(ง) Sobel operator



(จ) Robert operator



(ฉ) Prewitt operator



(ช) LOG



(ซ) Wavelet Based fusion

รูปที่ 5.13 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ Lenna แบบเอสเอฟเอ็ม

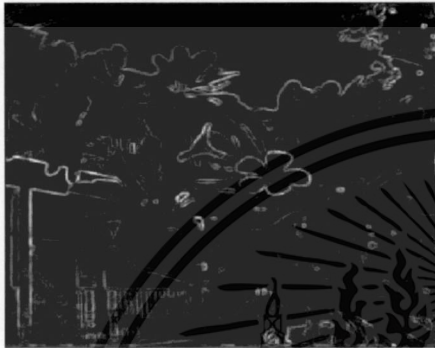
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



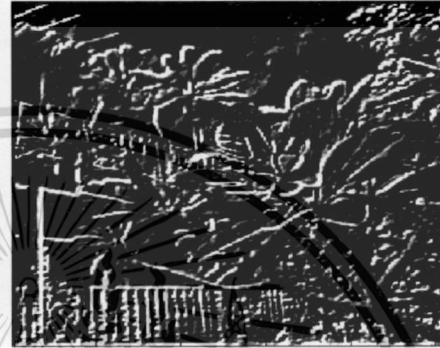
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพมีสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB



(ค) SWT Fusion



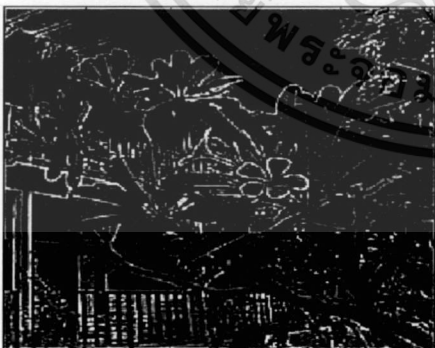
(ง) Sobel operator



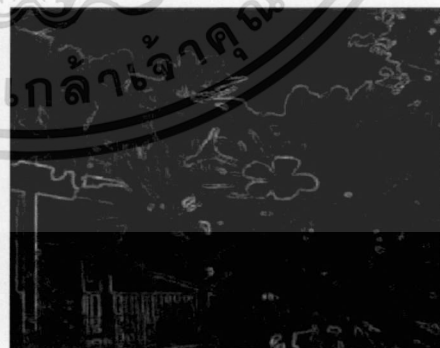
(จ) Robert operator



(ฉ) Prewitt operator



(ช) LOG



(ซ) Wavelet Based fusion

รูปที่ 5.14 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ต้นไม้ แบบเอสเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



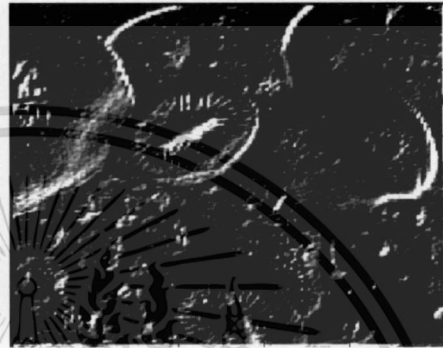
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพมีสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB



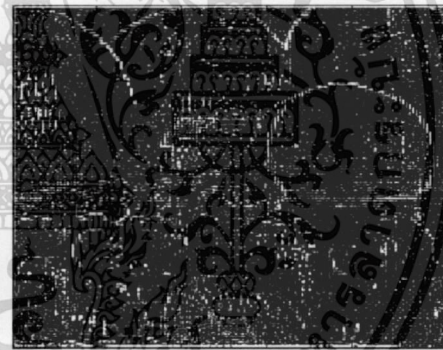
(ค) SWT Fusion



(ง) Sobel operator



(จ) Robert operator



(ฉ) Prewitt operator



(ช) LOG



(ซ) Wavelet Based fusion

รูปที่ 5.15 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ผลไม้ แบบเอสเอฟเอ็ม

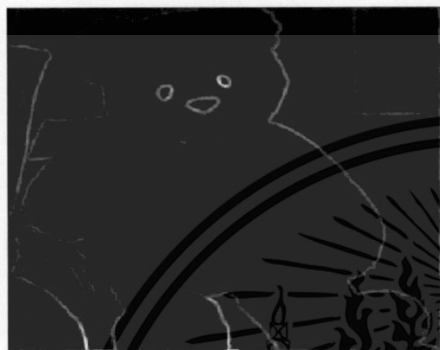
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพมีสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB



(ค) SWT Fusion



(ง) Sobel operator



(จ) Robert operator



(ฉ) Prewitt operator



(ช) LOG



(ซ) Wavelet Based fusion

รูปที่ 5.16 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ หมี แบบเอสเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



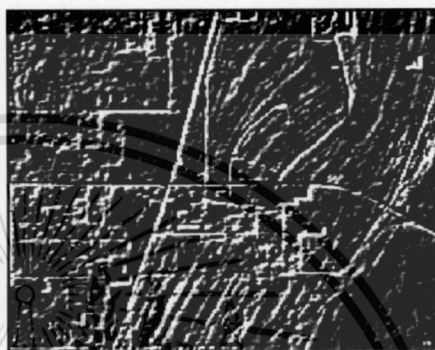
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพมีสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB



(ค) SWT Fusion



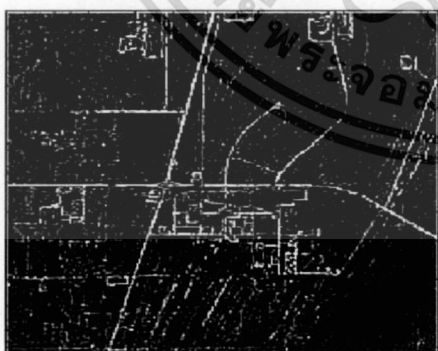
(ง) Sobel operator



(จ) Robert operator



(ฉ) Prewitt operator



(ช) LOG



(ซ) Wavelet Based fusion

รูปที่ 5.17 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงขอบภาพ ถนน แบบเฮสเฟอเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 30 dB

บล็อกย่อย ภาพ	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย
	4×4	8×8	16×16	32×32
Lenna	0.0713	0.0760	0.0773	0.0768
ต้นไม้	0.0981	0.1027	0.1054	0.1052
ผลไม้	0.0633	0.0719	0.0680	0.0816
ลูกหมี	0.1248	0.1254	0.1258	0.1251
ถนน	0.1675	0.1822	0.1956	0.1955

ตารางที่ 5.5 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB

บล็อกย่อย ภาพ	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย
	4×4	8×8	16×16	32×32
Lenna	0.0735	0.0776	0.0787	0.0776
ต้นไม้	0.0994	0.1028	0.1061	0.1056
ผลไม้	0.0688	0.0764	0.0790	0.0918
ลูกหมี	0.1304	0.1311	0.1299	0.1278
ถนน	0.1675	0.1840	0.1962	0.1959

ตารางที่ 5.6 ค่าสหสัมพันธ์ของการปรับปรุงขอบภาพโดยการหาขอบภาพแบบ Stationary wavelet transform และมีการแปรปรวนระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 50 dB

บล็อกย่อย ภาพ	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย	บล็อกย่อย
	4×4	8×8	16×16	32×32
Lenna	0.0724	0.0771	0.0776	0.0770
ต้นไม้	0.1010	0.1030	0.1063	0.1059
ผลไม้	0.0715	0.0803	0.0813	0.0949
ลูกหมี	0.1309	0.1333	0.1308	0.1290
ถนน	0.1684	0.1863	0.1968	0.1966

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 30 dB

กระบวนการ ภาพ	SWT+SFM	Sobel Operator with SFM	Robert Operator with SFM	Prewitt Operator with SFM	LOG with SFM	Wavelet Based Fusion
Lenna	0.0773	0.0566	0.0386	0.0452s	0.0325	0.0732
ต้นไม้	0.1061	0.0858	0.0355	0.0442	0.0426	0.1024
ผลไม้	0.0816	0.0030	0.0481	0.0249	0.0713	0.0454
ลูกหมี	0.1258	0.0872	0.0028	0.0464	0.0815	0.1256
ถนน	0.1956	0.0440	0.0331	0.0204	0.0386	0.1557

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB

กระบวนการ ภาพ	SWT+SFM	Sobel Operator with SFM	Robert Operator with SFM	Prewitt Operator with SFM	LOG with SfM	Wavelet Based Fusion
Lenna	0.0787	0.0590	0.0423	0.0507	0.0357	0.0720
ต้นไม้	0.1061	0.0877	0.0368	0.0476	0.0454	0.1013
ผลไม้	0.0918	0.0052	0.0515	0.0264	0.0735	0.0539
ลูกหมี	0.1304	0.0964	0.0042	0.0557	0.0827	0.1104
ถนน	0.1962	0.0441	0.0345	0.0236	0.0402	0.1578

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์การปรับปรุงขอบภาพที่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 50 dB

กระบวนการ ภาพ	SWT+SFM	Sobel operator with SFM	Robert Operator with SFM	Prewitt Operator with SFM	LOG with SFM	Wavelet Based Fusion
Lenna	0.0724	0.0586	0.0423	0.0670	0.0372	0.0712
ต้นไม้	0.1063	0.0874	0.0371	0.0511	0.0467	0.1013
ผลไม้	0.0949	0.0048	0.0524	0.0283	0.0764	0.0859
ลูกหมี	0.1333	0.0910	0.0074	0.0598	0.0837	0.1308
ถนน	0.1863	0.0437	0.0340	0.0254	0.0430	0.1568

จากผลการทดลอง การปรับปรุงขอบภาพของภาพตัวอย่างที่มีความแตกต่างทางด้านความละเอียดของภาพต้นฉบับที่ไม่เหมือนกัน พบว่าผลลัพธ์การปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีที่นำเสนอคือการหาขอบภาพด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบสถิตินารี (Stationary wavelet transform : SWT) สามารถให้ระดับความคมชัดของขอบภาพที่ได้ได้ชัดเจน หรือคมชัดกว่าวิธีการหาขอบภาพแบบ Sobel operator, Robert operator, Prewitt operator และ LOG ซึ่งวิธีที่นำเสนอดังกล่าวยังสามารถให้ระดับความคมชัดของภาพได้ดีกว่าแบบการปรับปรุงภาพแบบเก่าคือ Wavelet based fusion และวิธีที่นำเสนอสสามารถช่วยลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนได้จริง และมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

5.3 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การปรับปรุงขอบภาพใหม่โดยการใช้วิธีการหาขอบภาพแบบวิธีพื้นฐาน และ การปรับปรุงขอบภาพใหม่โดยการขจัดสัญญาณรบกวนของภาพต้นฉบับด้วยวิธีการหาขอบภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทั้งสองส่วนนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากผลการทดลองในส่วนของการปรับปรุงขอบภาพใหม่ โดยการใช้วิธีการหาขอบภาพแบบพื้นฐาน คือ Sobel operator, Robert operator และ Prewitt operator ดังแสดงผลการทดลองได้ดังรูป 5.3 ถึงภาพที่ 5.6 โดยผลการทดลองจากภาพจะแสดงการเปรียบเทียบขอบภาพที่ได้จากการปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน การปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐานดังกล่าวยังได้ถูกนำไปเปรียบเทียบความคมชัดเทียบกับกระบวนการแบบ การคำนวณหาค่าสูงสุดในเกรเดียนภายในภาพ ซึ่งจะนำเกรเดียนที่ได้จากขอบภาพจากวิธีพื้นฐานดังกล่าวมาปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ แต่เมื่อนำมาปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ด้วยวิธีแบบเอสเอฟเอ็มทั้งวิธีการหาขอบภาพจากวิธีพื้นฐาน และปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีแบบ การคำนวณแบบเลือกค่าสูงสุด จากการหาขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐานเช่นกัน พบว่าวิธีการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็มจะให้ภาพที่คมชัดกว่าวิธีแบบเก่าหรือแบบ การคำนวณแบบเลือกค่าสูงสุด ซึ่งความคมชัดที่ได้สามารถดูได้จากตารางที่ 5.1 ถึงตารางที่ 5.3 โดยการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธีการแบบเอสเอฟเอ็มนั้นระดับความคมชัดของภาพที่ได้ยิ่งขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อกละเอียด โดยขนาดของบล็อกละเอียดจะมีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าขนาดของบล็อกละเอียดมีผลต่อการปรับปรุงขอบภาพแบบเอสเอฟเอ็ม

2. ผลการทดลองในส่วนของการขจัดสัญญาณรบกวนของภาพที่มีระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน พบว่าวิธีการที่นำเสนอ คือการหาขอบภาพด้วยวิธีการแบบ SWT ที่ระดับที่ 1 และระดับที่ 2 แล้วนำขอบภาพที่ได้มาปรับปรุงเป็นขอบภาพใหม่ด้วยวิธีการแบบเอสเอฟเอ็ม จะให้ขอบภาพที่ได้มีความคมชัดกว่าวิธีการหาขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐาน คือแบบ Sobel operator, Robert operator และ Prewitt operator อีกทั้งยังนำการหาขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับสองแบบ Laplacian operator (LOG) มาใช้ในการหาขอบภาพ และการปรับปรุงขอบภาพแบบ Wavelet based fusion ซึ่งวิธีที่นำเสนอสามารถขจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้ดีกว่าและ รักษาความละเอียดของภาพมากที่สุด ในภาพที่มีระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน โดยผลการทดลองสามารถดูได้จากตารางที่ 5.7 ถึงตารางที่ 5.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SWT ให้ขอบภาพ ในแต่ละระดับที่แตกต่างกันเมื่อนำมาปรับปรุง ให้ขอบภาพที่สมบูรณ์และให้ภาพที่ดีกว่า อีกทั้งเหมาะกับภาพที่มีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก SWT สามารถลดสัญญาณรบกวนได้ ในการหาขอบภาพในแต่ละระดับ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และแนวทางในการพัฒนา

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและการทดลองการผสมขอบภาพและการหาขอบภาพ เนื่องจากวิธีการหาขอบภาพในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีมากมาย โดยขอบภาพที่ได้ในแต่ละภาพมีรูปแบบและลักษณะที่แตกต่างกันออกไป และในบางครั้งในการนำขอบภาพมาประยุกต์ใช้กับงานที่แตกต่างจำเป็นที่จะต้องหาขอบภาพที่มีความคมชัดในจุดที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองนำวิธีการหาขอบภาพที่แตกต่างกัน เพื่อหาขอบภาพในลักษณะต่างกันและจากสมมติฐานที่ว่าถ้านำองค์ประกอบหลักของภาพที่ต่างกันมารวมกันเป็นภาพใหม่ น่าจะให้ภาพหรือขอบภาพที่ชัดเจนมากขึ้นเพื่อที่จะให้เกิดความหลากหลายในวัตถุประสงค์ ซึ่งจากผลการทดลองการหาขอบภาพโดยใช้วิธีการหาแบบพื้นฐานคือ Sobel operator, Robert operator และ Prewitt operator พบว่า กระบวนการหาขอบภาพดังกล่าวสามารถนำเกรเดียนในแนวแถวและแนวหลักมาผสมเป็นขอบภาพใหม่ได้ ผลที่ได้คือ แต่ละวิธีให้ความคมชัดของภาพที่แตกต่างกัน โดยระดับค่าความคมชัดหาได้จากการหาค่าสหสัมพันธ์ของภาพต้นฉบับกับขอบภาพที่ผสมใหม่ แต่การเลือกใช้กระบวนการหาขอบภาพแบบพื้นฐานนี้ยังมีข้อเสียที่ว่า ลักษณะของขอบภาพที่ได้จากวิธีดังกล่าววิธีต่างๆจะให้จุดเด่นของภาพแตกต่างกัน ดังนั้นจุดเด่นของภาพที่ได้บางภาพจะไม่เหมือนกัน

จากผลการทดลองในส่วนของการจัดสัญญาณรบกวนจากภาพต้นฉบับ ซึ่งการหาขอบภาพของงานวิจัยนี้ได้้นำวิธีการแปลงเวฟเล็ตโดยจำแนกระดับชั้นออกเป็นระดับที่ 1 และระดับที่ 2 มาประยุกต์ใช้ในการผสมเป็นขอบภาพใหม่ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถจัดสัญญาณรบกวนได้ดี และสามารถรักษารายละเอียดของขอบภาพที่ได้มากที่สุดและมีความสม่ำเสมอทั้งภาพ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาขอบภาพที่ได้จากวิธีพื้นฐานแล้ว พบว่าคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ตแบบสแตชันนารีสามารถนำมาประยุกต์ในการจัดสัญญาณรบกวนได้ดี โดยสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการจัดสัญญาณรบกวนจากผลการทดลองและตารางการวัดค่าประสิทธิภาพ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของการแปลงเวฟเล็ตแบบสแตชันนารี คือ การรักษาการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนการแยกองค์ประกอบย่อยของภาพซึ่งจะช่วยในการคัดกรอง หรือแยกความถี่ที่ได้จากภาพต้นฉบับออกเป็นความถี่สูงและความถี่ต่ำออกจากกัน และยังไม่มีการลดอัตราการสุ่มทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ มีขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงและการสูญเสียของข้อมูลภาพระหว่างการจัดสัญญาณรบกวนจึงมีน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ทั้งนั้นการจัจัดสัญญาณรบกวน โดยการแปลงเวฟเล็ดแบบสเตชันนารีเพื่อหาขอบภาพยังมีข้อจำกัดเนื่องจากระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่ใช้ในกาทดสอบนี้ ยังอยู่ในช่วงที่ให้ความแปรปรวนของภาพไม่มาก เพื่อเป็นการทดสอบว่าขอบภาพที่ผ่านกระบวนการที่นำเสนอสามารถจัจัดสัญญาณรบกวนได้จริงหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้เมื่อเทียบกับการหาขอบภาพด้วยวิธีพื้นฐานแบบ Sobel operator, Robert operator และ Prewitt operator รวมไปถึงการหาขอบภาพโดยใช้การคำนวณค่าอนุพันธ์ลำดับสองแบบ Laplacian operator ผลที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ นั้นสามารถให้ขอบภาพที่จัจัดความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนได้ดีที่สุด

6.2 แนวทางในการพัฒนา

เนื่องจากลักษณะของภาพที่ได้จากหาขอบภาพใหม่นั้น มีลักษณะของภาพที่เป็นภาพระดับความเข้มเทา (Gray scale) ดังนั้นกระบวนการจึงมีข้อจำกัดของการหาขอบภาพที่มาจากภาพสี ถ้ามีการพัฒนาในลักษณะการหาขอบภาพ ที่มาจากภาพต้นฉบับที่เป็นภาพสีกระบวนการหาขอบภาพก็จะครอบคลุมมากยิ่งขึ้น และวิธีการที่ใช้ในการผสมภาพ ถ้าสามารถมีการกำหนดหรือเพิ่มวิธีการผสมขอบภาพให้มีลักษณะที่แตกต่างหรือหลากหลายกันมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความหลากหลายเพื่อที่จะใช้ในการพิจารณาขอบภาพใหม่ที่ดีขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมธรรมากุล. การประมวลผลภาพเบื้องต้น Fundamental of Digital Image Processing. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [2] รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย MATLAB. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [3] รศ.ดร.พุศศักดิ์ ชีวสุวิทย์. การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล Digital Image Processing. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551
- [4] รศ.ดร.ทรงศิริ แค่มบัติ. การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Wood and Steven L. Eddins, Digital Image Processing using MATLAB. Prentice Hall, 2004
- [6] วรพจน์ เกียรติสุขศรี. “วิธีการหาขอบภาพโดยใช้คุณสมบัติของมัลติรีโวลูชัน DSCT.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [7] อานันตยา ทองเพ็ญ และ พรเทพ สงวนถ้อย “ระบบขอบภาพด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [8] พิเชษฐ วงษ์สีเทา. “การขจัดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลและการหาจุดเด่นของภาพถ่ายอัลตราซาวด์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [9] มานิกา กันทุกข์. “การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [10] S. Udomhunsakul, “Edge Detection in Ultrasonic Image Using Gabor Filters,” IEEE Transaction on TENCON, pp. 175-178, May 2004.
- [11] Q. Gao, Y. Zhao and Y. Lu, “Despecking SAR image using stationary wavelet transform combining with directional filter banks” Appiled Mathematics and

- [12] G. Pajares and J. Manuel la Cruz, “**A wavelet-based image fusion tutorial**” Pattern Recognition, pp. 1855 –1872, 2004.
- [13] P. Borwonwatanadelok, W. Rattanapitak and S. Udomhunsakul, “**Multi-Focus Image Fusion based on Stationary Wavelet Transform and extend Spatial Frequency Measurement,**” IEEE Trans. on Electronic Computer Technology, pp. 77 –81, Jul 2009.
- [14] Y. Zheng, E.A. Essock, B.C. Hansen and A.M. Huan, “**A new metric based on extend spatial frequency and its application to DWT based fusion algorithms,**” Information Fusion, pp. 177-192, 2007.
- [15] S. Li, J.T. Kwok and Y Wang, “**Combination of images with diverse focuses using the spatial frequency,**” Information Fusion2, pp. 169 –176, 2001.
- [16] P. Wongsita and U. Sritheeravirojana, “**Line Detection using a trous algorithm,**” National Computer Science and Engineering, pp. 203 –208, 2004.
- [17] S. Udomhunsakul and P. Wongsita, “**Feature Extraction in Medical MRI,**” Proceeding of the 2004 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent System, pp. 340 –344, 2004.
- [18] W. Huang and Z. Jing, “**Evaluation of focus measures in multi-focus image,**” Pattern Recognition Letters 28, pp. 493 –500, 2007.

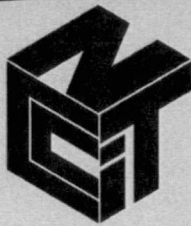
ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. ภูริชญ์ เอมะปาน และ สมเกียรติ อุดมหารธากุล, “Edge Gradient Fusion using Spatial Frequency Measurement,” The 5th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT’ 2009), pp. 368-374, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, Thailand, May 22-23, 2009.
2. K. Toontham, B. Emapana and S. Udomhunsakul, “Line detection Fusion Using Spatial Frequency Measurement,” The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE2010), Singapore, February 26-28, 2010 (Accepted).

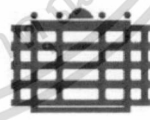


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NCCIT2009

King Mongkut's University of Technology North Bangkok
May 22-23, 2009



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Edge Gradient Fusion using Spatial Frequency Measurement

การผสมขอบภาพโดยใช้ตัววัดแบบเชิงปริภูมิความถี่

ภูริชญ์ เอมะปาน และ สมเกียรติ อุดมพรธากุล

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Email: s1061025@kmitl.ac.th, kwsomkai@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการผสมขอบภาพที่สมบูรณ์โดยจะทำการพิจารณาจากค่าเชิงปริภูมิเชิงความถี่ (Spatial Frequency Measurement) หรือเอสเอฟเอ็ม โดยเริ่มต้นจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของค่าเกรเดียนในแนวหลักและค่าเกรเดียนในแนวแนวที่โค้งจากกระบวนการหาขอบภาพแบบพื้นฐานแบบโซเบลโอเปอเรเตอร์ (Sobel Operator) และพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้เพื่อทำการผสมภาพเป็นขอบภาพใหม่ที่สมบูรณ์โดยขอบภาพที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกระบวนการหาขอบภาพแบบ Wavelet Based Image Fusion บนเวฟเล็ตโดเมน ด้วยวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพต้นฉบับกับขอบภาพสมบูรณ์ที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ด้วยค่าความสัมพันธ์ (correlation) จากผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอให้คุณภาพของภาพที่ได้มีความสมบูรณ์และคมชัดที่ดีกว่าวิธีแบบ Wavelet Based Image Fusion กับภาพต้นฉบับที่มีค่า SFM สูง

คำสำคัญ: ค่าเชิงปริภูมิเชิงความถี่ โซเบลโอเปอเรเตอร์ การผสมภาพ เวฟเล็ต โดเมน

Abstract

In this paper, we propose an edge gradient fusion method using Spatial Frequency Measurement (SFM). Our proposed method, Sobel Operator is firstly used to get two gradient images both in horizontal and vertical gradient directions. Next, both gradient images are fused to get a completed edge image using Spatial Frequency Measurement, which is compared with Wavelet Based Image Fusion method. In the experiments, our proposed method provides a completely sharp edge image evaluated by the correlation value.

Keywords: Spatial Frequency Measurement, Sobel Operator, Wavelet Based Image, Fusion, Correlation

1. บทนำ

ปัจจุบันการหาขอบภาพถือได้ว่ามีความสำคัญในกระบวนการประมวลผลภาพทางดิจิทัล เพราะเนื่องจากในงานด้านการประมวลผลภาพในบางสาขาจำเป็นต้องอาศัยสายเส้นหรือขอบภาพที่มีความสมบูรณ์ของรายละเอียดในภาพนั้นนำมาวิเคราะห์ใช้งาน เช่น งานด้านการแพทย์ เพราะในบางครั้งจำเป็นต้องพิจารณาลายละเอียดของภาพในภาพถ่ายนั้นๆ เนื่องจากกรณีวินิจฉัยโรคบางโรคต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำจากภาพ อีกทั้งยังจำเป็นต้องงานด้านวิศวกรรม โดยส่วนใหญ่จะนิยมนำไปใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป เช่นคำนวณเพื่อหาพื้นที่ระหว่างจุดจุด

หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อาทิเช่น วิเคราะห์ความยาวของถนน จากแผนที่ การคำนวณ โครงสร้างตึกอาคารจากภาพถ่าย เป็นต้น

ในระยะเวลาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันวิธีการหาขอบภาพได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการหาขอบภาพนั้นมีกระบวนการหาด้วยกันหลายวิธี โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ Gradient method และ Laplacian method ซึ่งสำหรับ Gradient method จะเป็นการหาขอบภาพโดยการหาจุดต่ำสุด และจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ เช่น Sobel, Roberts, Prewitt, Canny เป็นต้น ส่วน Laplacian method จะทำการหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น [1] อีกทั้งยังได้มีการนำเอากระบวนการทางคณิตศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการค้นหาหลายละเอียดของขอบภาพได้คือ การนำ ทฤษฎีแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) โดยคุณสมบัติที่เด่นชัดของทฤษฎีนี้คือสามารถแบ่งความถี่ในย่านความถี่ต่างๆในหลายระดับความละเอียด [2]

ดังนั้นในบทความนี้ต้องการที่จะนำเสนอการค้นหาลักษณะขอบภาพวิธีใหม่ โดยจะนำวิธีค้นหาขอบภาพแบบพื้นฐานคือ Sobel Operator และยังได้นำการวัดค่าปริภูมิเชิงความถี่ (Spatial Frequency Measurement) [2-3] หรือเฮตอพอเอ็ม มาประยุกต์ใช้เพื่อเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้ในการผสมเป็นขอบภาพใหม่ที่มีความชัดเจนของขอบภาพที่มากขึ้น และในบทความนี้จะนำขอบภาพที่ได้จากผสมเป็นขอบภาพใหม่ นำไปเปรียบเทียบกับคุณภาพของขอบภาพที่ได้จากทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) [3-5] เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการผสมขอบภาพใหม่นั้นสามารถให้ความคมชัดของขอบภาพที่ดีกว่า

2. หลักการและวิธีการผสมขอบภาพ

2.1 การหาขอบภาพโดยใช้ Sobel operator

โซเบลโอเปอเรเตอร์เป็นวิธีการหาขอบภาพแบบพื้นฐานที่ให้ผลลัพธ์ในระดับที่คืออีกวิธีหนึ่งของกระบวนการประมวลผลภาพ สำหรับขั้นตอนวิธีโซเบลแบบภาพ 2 มิติจะพิจารณาการหาอนุพันธ์ของด้านแนวแถว และแนวหลัก ของ

ข้อมูลภาพแยกส่วนออกจากกัน ผลลัพธ์ของค่าอนุพันธ์ที่ได้ก็คือเกรเดียน ทางด้านแนวแถว (G_x) และ ค่าเกรเดียนเคียนแนวหลัก (G_y) สำหรับค่าเกรเดียนที่ได้สามารถหาค่าประมาณของค่าขนาดเกรเดียนได้จากสมการ

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

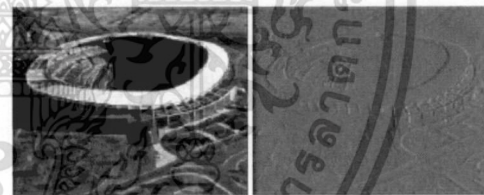
$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

สำหรับมาร์สค์ที่ใช้หาอนุพันธ์ของภาพอันดับที่ 1 นิยมใช้ มาร์สค์ 2 มิตินำมาหาขอบของภาพในแนวแถว และ แนวหลักของภาพ

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

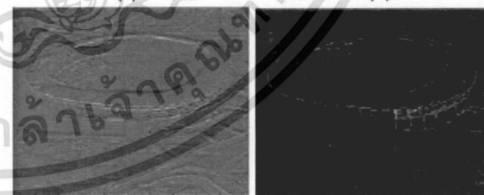
ภาพที่ 1 มาร์สค์ 2 มิติของโซเบลโอเปอเรเตอร์

โดยที่กำหนดให้ G_x จะเป็นมาร์สค์ที่ใช้หาขอบภาพในแนวหลักของภาพต้นแบบ และ G_y จะเป็นมาร์สค์ที่ใช้ในการหาขอบของภาพในแนวแถวของภาพต้นแบบ



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการหาขอบภาพจากภาพต้นแบบ โดยใช้วิธีการหาอนุพันธ์แบบอันดับที่ 1 โดยการใช่มาร์สค์ 2 มิติของโซเบล โอเปอเรเตอร์โดยที่ (ก) ภาพต้นแบบ (ข)

ขอบภาพแนวหลัก (ค) ขอบภาพแนวแถว (ง) ธารเคียนของภาพ

2.2 การวัดค่าเชิงปริภูมิความถี่ (Spatial Frequency Measurement)

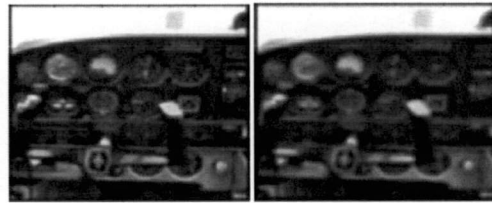
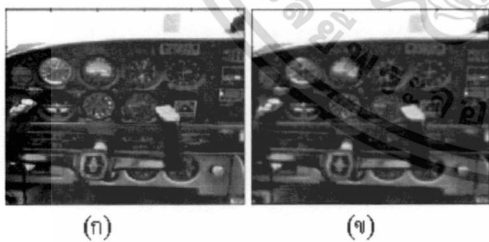
ค่าเชิงปริภูมิความถี่ (SFM) [3] คือการวัดคุณสมบัติของภาพ โดยคำนวณหาค่าความแตกต่างของระดับความเข้มเทาของพิกเซลที่อยู่ติดกันในแต่ละแนวระดับ สำหรับค่าเอสเอฟเอ็่มในแต่ละภาพนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่มีอยู่ในภาพ ยิ่งรายละเอียดของภาพมีมาก ค่าเอสเอฟเอ็่มก็จะมีค่ามากตามไปด้วยและภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อยหรือลักษณะของภาพที่มีสีความสว่างของภาพเท่าๆกันทั้งภาพ ก็จะทำให้ค่าเอสเอฟเอ็่มน้อย ซึ่งค่าเอสเอฟเอ็่มนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันเพื่อนำมาใช้ในการผสมภาพได้ [6] สำหรับสมการในการพิจารณา ค่าเอสเอฟเอ็่มของภาพ I ที่มีขนาด $M \times N$ แสดงดังสมการ

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [I(i, j) - I(i, j-1)]^2} \quad (3)$$

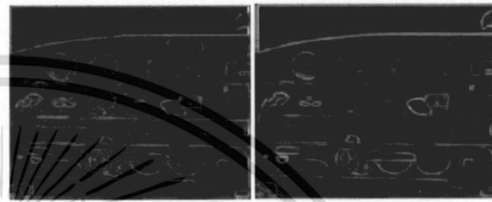
$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [I(i, j) - I(i-1, j)]^2} \quad (4)$$

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2} \quad (5)$$

เมื่อนำ RF, CF, SF คือค่าเอสเอฟเอ็่มในทิศทางแนวนอนแนวตั้ง และค่าเอสเอฟเอ็่มของทั้งทุกแนวระดับตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงภาพต้นฉบับ (ก) และภาพที่ถูกทำให้เบลอด้วย Moving Average Filter ที่มีขนาดมาส์ค: (ข) 3×3 (ค) 5×5 (ง) 7×7



ภาพที่ 4 แสดงการหาขอบภาพจากภาพที่ 1 (ก) (ข) (ค) (ง) ตามลำดับโดยใช้ Sobel operator

ตารางที่ 1: แสดงค่า SFM ของภาพที่ 4

ภาพที่ 2	(ข)	(ค)	(ข)	(ข)
SFM	147.8495	80.8388	45.4692	30.6652

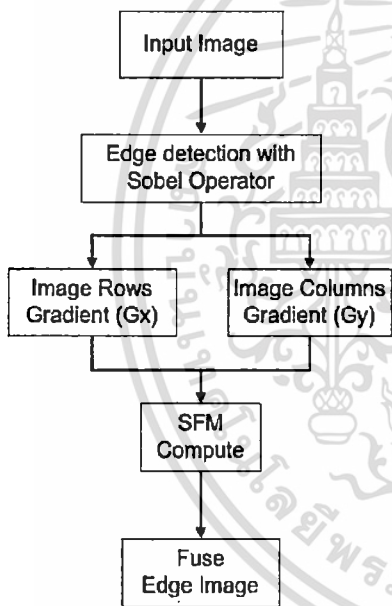
จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อรูปเชิงเบลอค่าเอสเอฟเอ็่มที่ได้จะมีแนวโน้มที่ลดลง ในกรณีเดียวกันเมื่อนำหลักการของเอสเอฟเอ็่มมาพิจารณาแล้วนั้นสามารถบอกได้ว่าขอบภาพที่มีความชัดเจนที่สุดนั้นจะต้องมีค่าเอสเอฟเอ็่มที่มาก ดังนั้นสามารถนำค่าเอสเอฟเอ็่มไปประยุกต์เพื่อเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของภาพในแนวแกนหลักเปรียบเทียบกับแนวแกนแถวเพื่อนำมาผสมกันเป็นขอบภาพใหม่ที่สมบูรณ์ได้ชัดเจนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนกระบวนการในการผสมขอบภาพ

3.1 กระบวนการผสมขอบภาพ

กระบวนการผสมขอบภาพในบทความนี้จะนำภาพผ่านกระบวนการหาขอบภาพด้วยกระบวนการโซเบลโอเปอเรเตอร์ โดยจะนำค่าเกรเดียนของขอบภาพที่ได้ในแนวหลักและขอบภาพในแนวแฉกที่ได้นำมาพิจารณาเพื่อหาเอสเฟอเอ็มซึ่งการพิจารณาในแต่ละแนวแกนทั้งสองเป็นบล็อกย่อยจากนั้นจะนำค่าเอสเฟอเอ็มที่ได้ในแต่ละแนวแกนนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกบล็อกสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเอสเฟอเอ็มที่มากที่สุดมาใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการผสมขอบภาพใหม่หรือจะทำให้เกิดขอบภาพที่สมบูรณ์และชัดเจนมากขึ้นซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างการทำงานได้ดังนี้



ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างกระบวนการผสมขอบภาพ

จากรูปสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้คือ

- นำรูปที่จะพิจารณาเข้าสู่กระบวนการการหาขอบภาพโดยใช้โซเบลโอเปอเรเตอร์ เมื่อผ่านกระบวนการการหาขอบภาพ

แล้วก็จะได้ขอบภาพที่มีค่าเกรเดียนในแนวแฉก (G_x) และขอบภาพที่มีค่าเกรเดียนในแนวหลัก (G_y)

2. จากนั้นนำค่าเกรเดียนในแต่ละแนวแกนมาหาค่าเอสเฟอเอ็ม โดยกำหนดให้ GA_i และ GB_i คือบล็อกย่อยของสัมประสิทธิ์เกรเดียนของขอบภาพในแนวหลัก และสัมประสิทธิ์ของขอบภาพในแนวแฉกตามลำดับ โดยที่ i จะเท่ากับลำดับของบล็อกย่อย

3. นำค่าเกรเดียนของขอบภาพในแต่ละแนวแกนมาคำนวณหาค่าเอสเฟอเอ็ม ของบล็อกย่อย GA_i และ GB_i ด้วยสมการที่ (5) และเปรียบเทียบค่าเอสเฟอเอ็มของ GA_i และ GB_i เพื่อเลือกค่าสัมประสิทธิ์เกรเดียนของขอบภาพในแนวหลักและค่าสัมประสิทธิ์เกรเดียนของขอบภาพในแนวแฉก โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

$$GF_i = \begin{cases} GA_i, & SFGA_i > SFGB_i \\ GB_i, & SFGA_i < SFGB_i \\ \frac{GA_i + GB_i}{2}, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

เมื่อ GF_i คือค่าสัมประสิทธิ์สำหรับภาพผสม $SFGA_i$ และ $SFGB_i$ คือ ค่าเอสเฟอเอ็มของบล็อกสัมประสิทธิ์จากขอบภาพในแนวหลักและขอบภาพในแนวแฉกตามลำดับ

3.2 วัดคุณภาพของลายเส้นหรือขอบภาพด้วยค่า Correlation

การวัดคุณภาพของลายเส้นหรือขอบภาพด้วยค่า correlation [4] เป็นการหาความสัมพันธ์ของภาพต้นแบบกับรายละเอียดของลายเส้นที่ได้จากกระบวนการต่างๆที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถ้าค่าที่ได้มีค่ามากแสดงว่าลายเส้นหรือขอบภาพที่ได้มีคุณภาพและชัดเจนเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับสามารถคำนวณหาได้จากสามการ

$$corr(A, B) = \frac{\sum_{j=1}^{m \times n} (A_j - \bar{A})(B_j - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m \times n} (A_j - \bar{A})^2 \sum_{j=1}^{m \times n} (B_j - \bar{B})^2}} \quad (7)$$

กำหนดให้ A คือ ภาพต้นฉบับ

B คือ สายเส้นหรือขอบภาพที่จะนำมาพิจารณา

ตารางที่ 2: แสดงค่า Correlation ของขอบภาพ (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) จากภาพที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ (ก) จากภาพที่ 1

ภาพที่ 2	(จ)	(ฉ)	(ช)	(ซ)
Correlation	0.1409	0.1260	0.0581	0.0018

4. สรุปผลการทดลอง



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



Detail Image	Wavelet base Image Fusion	SFM 4x4	SFM 8x8	SFM 16x16	SFM 32x32
Seal SFM 3.6500	0.0185	0.0176	0.0167	0.0118	0.0145
Bear SFM 13.4707	0.0862	0.0822	0.0825	0.0722	0.0794
Woman SFM 11.3119	0.1073	0.0996	0.1018	0.1029	0.1048
Cat SFM 13.4936	0.1656	0.1527	0.1515	0.1588	0.1472

(ง)

(ฉ)

Detail Image	Wavelet base Image Fusion	SFM 4x4	SFM 8x8	SFM 16x16	SFM 32x32
Flower SFM 29.1057	0.1273	0.1375	0.1404	0.1516	0.1247
Cockpit SFM 31.3110	0.1273	0.1375	0.1404	0.1516	0.1247
Chair SFM 37.9192	0.0866	0.0971	0.0977	0.1107	0.0980
Brian2 SFM 30.0854	0.1463	0.1452	0.1648	0.1722	0.1996

ภาพที่ ๓ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การรวมขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet based image fusion) (ค) การผสมขอบภาพด้วยเอ็ดเจ็ดด้วยมาร์คขนาด 4x4 (ง) การผสมขอบภาพด้วยเอ็ดเจ็ดด้วยมาร์คขนาด 8x8 (จ) การผสมขอบภาพด้วยเอ็ดเจ็ดด้วยมาร์คขนาด 16x16 (ฉ) การผสมขอบภาพด้วยเอ็ดเจ็ดด้วยมาร์คขนาด 32x32

ตารางที่ 3: แสดงค่า Correlation ของภาพต้นฉบับ SFM ต่ำ
ตารางที่ 4: แสดงค่า Correlation ของภาพต้นฉบับ SFM สูง

จากตารางที่ 3 และ สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อนำภาพต้นฉบับที่มีค่า SFM ที่แตกต่างกันมาทำการหาขอบภาพด้วยวิธี wavelet based image fusion [5] และทำการค้นหาขอบภาพโดยนำไปผ่านกระบวนการ sobel operator และนำค่าเกรเดียนของแต่ละแนวคือ เกรเดียนในแนวตั้งและเกรเดียนในแนวแนวนามาผสมขอบภาพด้วยวิธีคำนวณหาค่า SFM ด้วยมาร์คขนาดที่แตกต่างกัน โดยเมื่อนำภาพต้นฉบับที่มีค่า SFM ที่ต่ำทำการหาขอบภาพด้วยวิธี wavelet based image fusion จะให้คุณภาพของขอบภาพดีกว่าการหาขอบภาพด้วยการผสมภาพโดยใช้ SFM แต่เมื่อได้มีการลองนำภาพต้นฉบับที่มีค่า SFM ที่สูงมาทำการทดลองหาขอบภาพปรากฏว่าขอบภาพที่ได้จากกระบวนการผสมภาพของขอบภาพที่ได้โดยใช้ SFM จะให้ขอบภาพที่ชัดเจนกว่าวิธี wavelet based image fusion และสามารถสรุปค่า

ความสัมพันธ์ของภาพต้นฉบับกับภาพลายละเอียดของของภาพที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ได้ด้วยค่า ความสัมพันธ์ (correlation) คั่งค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 4 และ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการค้นหาขอบภาพด้วยวิธีการผสมภาพโดยใช้ SFM จะให้ค่า correlation ที่มากกว่า เมื่อเทียบกับวิธี

wavelet based image fusion เมื่อกระทำกับภาพต้นฉบับที่มีลายละเอียดของภาพมาก หรือ ภาพต้นฉบับที่มีค่า SFM สูง

5. สรุป

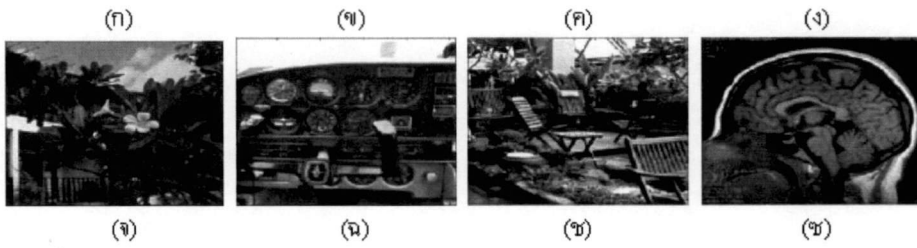
เอกสารอ้างอิง

ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาขอบภาพโดยการพิจารณาค่าปริภูมิเชิงความถี่ในกระบวนการหาขอบภาพแบบ Sobel operator ซึ่งผลที่ได้จากวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการหาลายละเอียดของภาพหาขอบภาพแบบ wavelet base image fusion เพราะเมื่อนำขอบภาพที่ได้ของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบภาพด้วยวิธีการใช้ค่า correlation หาความสัมพันธ์ระหว่างภาพต้นฉบับกับขอบของภาพที่ได้ ซึ่งผลการทดสอบสรุปได้จากตารางที่ 4 ขอบของภาพที่ได้จะค่า correlation สูงสุดซึ่งแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องและชัดเจนของขอบภาพมากที่สุด

สำหรับแนวทางในการพัฒนากระบวนการหาขอบภาพใหม่ที่มีความชัดเจนในอนาคตนั้น จำเป็นต้องหาวิธีแก้ไขปัญหที่เกี่ยวกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับภาพได้ เนื่องจากวิธีที่ได้นำเสนอในบทความนี้เป็นวิธีวัดค่าปริภูมิเชิงความถี่ในกระบวนการของ sobel operator โดยที่ภาพต้นฉบับไม่มีสัญญาณรบกวน แต่เมื่อนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาทำการทดลองหาขอบภาพ จะทำให้วิธีการหาขอบภาพทำได้ยากขึ้นและซับซ้อนขึ้น และยังจำเป็นต้องสามารถหาวิธีการหาขอบภาพจากภาพต้นฉบับที่มีค่าปริภูมิเชิงความถี่ได้ในทุกระดับ

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital image processing, Prentice-Hall, 2002.
- [2] P. Borwonwatanadelok, W. Rattanapitak and S. Udomhunsakul, "Multi-Focus Image Fusion based on Stationary Wavelet Transform and extend Spatial Frequency Measurement," *IEEE Trans. on Electronic Computer Technology*, pp. 77-81, 2009.
- [3] Y. Zheng, E.A. Essock, B.C. Hansen and A.M. Huan, "A new metric based on extend spatial frequency and its application to DWT based fusion algorithms," *Information Fusion*, pp. 177-192, 2007.
- [4] P. Wongsita and U. Sriheeravirojana, "Line Detection using a trous algorithm" *National Computer Science and Engineering Conference*, pp. 203-208, 2004.
- [5] S. Udomhunsakul and P. Wongsita, "Feature Extraction in Medical MRI Image," *IEEE Trans. on Cybernetics and Intelligent System*, pp. 340-344, 2004.
- [6] S. Li, J.T. Kwok and Y. Wang, "Combination of images with diverse focuses using the spatial frequency," *IEEE Trans. on Cybernetics and Intelligent System*, pp. 340-344, 2004.





ภาพที่ 7 ภาพต้นแบบ (ก) seal (ข) bear (ค) woman (ง) cat (จ) flower (ฉ) cockpit (ช) chair (ซ) brian2



Line detection Fusion using Spatial Frequency Measurement

Kitti Toontham^{*}, Bhurit Emapana^{**} and Somkait Udomhunsakul^{**}
Rajamangala University of Technology Isan^{}*
Computer Engineering Department, Faculty of Technical Education^{}*
*King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang^{**}*
*Faculty of Engineering, Department of Information Engineering^{**}*
 E-mail: kitti_kkc@hotmail.com, s1061025@kmitl.ac.th, kusomkai@kmitl.ac.th

Abstract

In this paper, we present a line detection fusion method using Spatial Frequency Measurement (SFM). Our proposed method, A trous algorithm is firstly applied with the original image to get the line feature detail information in two difference resolutions from a coarse one with 5x5 mask and a fine one with 3x3 mask. Next, both line feature detail information are fused to get a complete line feature using Spatial Frequency Measurement, which is compared with Laplacian Operator. From the experiments, we found that our proposed method provides a complete line feature evaluated by the correlation value. Also, the method is general and can be applied to other features in imagery.

1. Introduction

The line detection of a gray-level imagery is an essential part to identify linear features in an image. Many researchers use filters that have small masks to detect lines in an image. However, the choice of the size of the masks is important because the optimal mask size varies with the image. In general, the smaller masks are sensitive to noise and suffer from excessive unwanted line fragments whereas the larger masks cannot resolve fine detail [1,2]. A useful and convenient way to select only the salient lines is the magnitude of the second derivative of line profile in the point where the first derivative of line profile equal zero [3]. In fact, a line having the same contrast on both sides is not realistic. Therefore, line position can be misplaced from the true position. To overcome this drawback, we emphasize line detection based on a multiresolution approach using the Wavelet Transform.

In this paper, we present a line detection method using a trous algorithm [4]. Two different resolutions of the same image are used, a coarse one with 5x5

mask, and a fine one with 3x3mask. To combine the detail coefficients on different scales, the spatial frequency measurement is used [5, 6] and compared with Laplacian Operator evaluated by the correlation value.

The rest of this paper is organized as follow. Section 2 and 3, line detection and fusion methodology are described. Finally, the experimental results and conclusion are presented in section 4 and 5

2. Line detection Methodology

2.1 A Trous Algorithm

In the past decades, the wavelet transform (WT) is a powerful and remarkable tool, which is used for handling fundamental problem in science and engineering. It is an alternative way to represent a signal. Instead of transforming a pure time description into a pure frequency description, it is carried out to represent a signal in the term of time-frequency description. Due to the downsampling in the filter bank algorithm, a wavelet transform is not translation invariant. In order to overcome this drawback, the undecimated wavelet transform (a trous algorithm) was used. It gets rid of the downsampling step, causing all subbands to have the same size as the original data set. It consists of a bandpass and a lowpass filter. The bandpass filter is the dilated by two mother wavelet samples and the low pass filter is a trous. The low pass filter f is said to be an a trous if it satisfies [4],

$$f = \delta(k) / \sqrt{2} \quad (1)$$

This algorithm performs successive convolutions with a filter obtained from an auxiliary function named scaling function. It is extensible to the two dimensional space,

which can lead to a convolution with a mask 3x3 pixels for the wavelet related to linear interpolation. The coefficients of the mask are:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \end{pmatrix} \quad (2)$$

In addition, we also use a scaling function, which has a B_3 cubic spine profile. The use of a cubic spline leads to a convolution with a mask of 5x5:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{3}{128} & \frac{3}{32} & \frac{9}{64} & \frac{3}{32} & \frac{3}{128} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \end{pmatrix} \quad (3)$$

2.2 Laplacian Operator

Laplacian operator is a convoluted mask to approximate the second derivative unlike the Sobel method which approximates the gradient. Laplace uses 3x3 mask for the 2nd derivative in both the row and column directions. However, because these masks are approximating a second derivative measurement on the image its can be show as the follow.

0	1	0	-1	-1	-1	1	-2	1
1	-4	1	-1	8	-1	-2	4	-2
0	1	0	-1	-1	-1	1	-2	1
(a)	(b)	(c)						

Figure 1. Mask 2 dimension of Laplacian operator

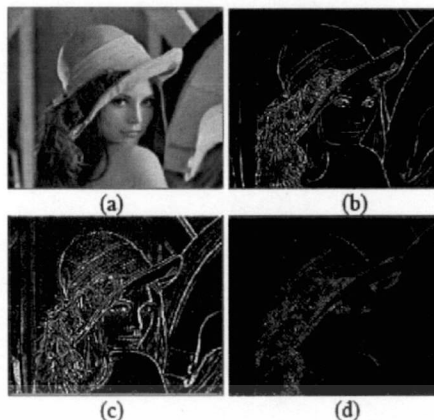


Figure 2. Line detection using Laplacian operator, (a) Original image (b) line detection using mask fig.1 (a), (c) line detection using mask fig.1 (b), (d) line detection using mask fig.1 (c)

As can be seen in fig.2, line detection result (c) is sharper than (b) and (d) because mask (a) and (c) in fig.1 are very sensitive to noise. Therefore, in this paper, we use mask fig.1 (b) in our experiments compared with our proposed line detection method.

2.3 Spatial Frequency Measurement(SFM)

Spatial Frequency Measures (SFM) is a method to measure the overall activity level in an image. For an $M \times N$ image block F , with gray value $F(i, j)$ at position (i, j) , the spatial frequency is defined as [6].

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [I(i, j) - I(i, j - 1)]^2} \quad (4)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [I(i, j) - I(i - 1, j)]^2} \quad (5)$$

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2} \quad (6)$$

where RF and CF are the row frequency and column frequency and SF represented frequency in row, column and all spatial frequency of an image.

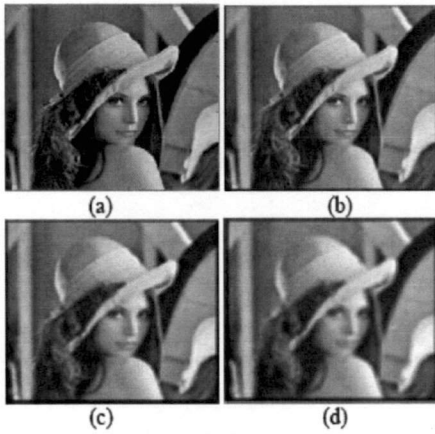


Figure 3. Original and blurred image versions with moving average filter: (a) original image, (b) 3x3 mask, (c) 5x5 mask, (d) 7x7 mask

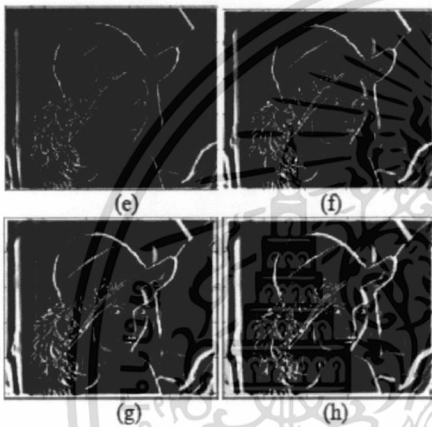


Figure 4. Line detection with á trous mask 3x3 from (a), (b), (c) and (d) in Fig.3

Table 1. Spatial Frequency Measurement of line feature results in Fig.4

Fig.	(e)	(f)	(g)	(h)
SFM	31.6709	26.6330	24.1553	22.7208

Fig. 3 (a) shows an original image. (b)-(d) show the degraded image versions after blurring with a moving average filter of mask 3x3, 5x5, 7x7, respectively. Fig. 4 shows line detection results using á trous algorithm. As can be seen from Table 1, when the images get more blurred, the SFM values are decreased consequently. These demonstrate that the spatial frequent value can be used to reflect the clarity of a line feature image.

3. Line Feature Fusion Methodology

3.1 Line detection Fusion Scheme

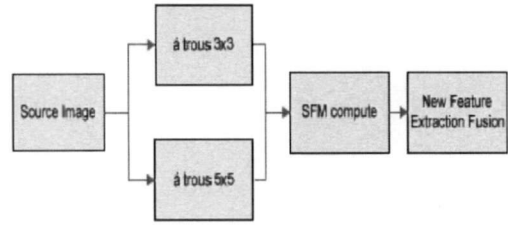


Figure 5. Line detection fusion scheme

The algorithm of line detection fusion scheme consists of the following steps.

A) Convolved a source image using á trous algorithm with a mask 3x3 and a 5x5 mask to get two low-pass images

B) To obtain two line feature images, finding the difference between the low passed images and the source image

C) Partition the coefficients of line feature images in to blocks of size MxN. Denote the i_{th} coefficients blocks from each line image1 and line image2 by GA_i and GB_i , respectively

D) Compute the spatial frequency values of two corresponding blocks GA_i and GB_i , the simple rule for construct the i_{th} fused coefficient block GF_i is given by,

$$GF_i = \begin{cases} GA_i & SFGA_i > SFGB_i \\ GB_i & SFGA_i < SFGB_i \\ \frac{GA_i + GB_i}{2} & otherwise \end{cases}$$

where GF_i is fused coefficient blocks and $SFGA_i$, $SFGB_i$ is spatial frequency value of GA_i and GB_i block, respectively.

3.2 Correlation Measurement

Correlation measurement is a measurement that is used to find out the closely correlation between line detection result and original image. If the correlation measurement value is high or get the maximum result, it can be concluded that the line feature result is completely sharp. The correlation measurement is defined as,

$$corr(A, B) = \frac{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})(B_j - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})^2 \sum_{j=1}^{npix} (B_j - \bar{B})^2}} \quad (7)$$

where A is an original image and B is line feature result image

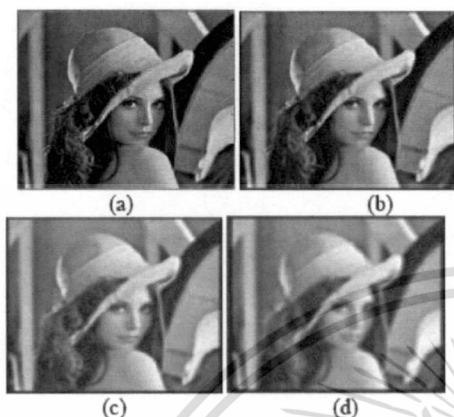


Figure 6. Original and blurred image versions with moving average filter: (a) original image, (b) 3x3mask, (c) 5x5mask, (d) 5x5mask

Table 2. Correlation values of image in Fig.6

Fig.	(a)	(b)	(c)	(d)
SFM	1	0.4145	0.1676	0.0807

Fig.6 (a) shows an original image. (b)-(d) show the images are used to find the correlation values compared with the original image. In Table 2, when the correlate measurement value is high, it can be seen that image is completely sharp image when compared with the original images. These demonstrate that the spatial frequent value can be used to reflect the clarity of a sharp line feature image.

4. Experimental Results

Six original images, figure 8, are used for line detection results. The experiments of line detection are shown in figure 7 and table 3. Comparing line detecting results in an image using á trous algorithm and Laplacian Operator, we found that our proposed line detection fusion method using spatial frequency measurement using the block size 32x32 gives the

completely sharp line feature results. Obviously, in figure 7 (b), Laplacian operator is sensitive to noise. Moreover, table 3, line detection using Laplacian Operator provides the correlation results lower than using line detection fusion with spatial frequency measurement.

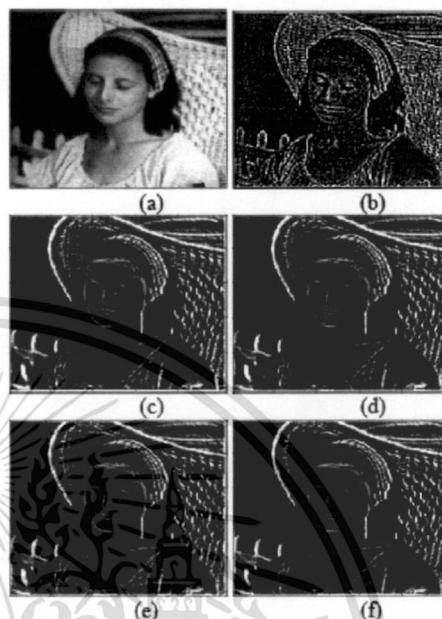


Figure 7. (a) Original image; (b) Line detection using Laplacian Operator; (c) Line detection using SFM fusion with mask 4x4; (d) Line detection using SFM fusion with mask 8x8; (e) Line detection using SFM fusion with mask 16x16; (f) Line detection using SFM fusion with mask 32x32

Table 3. Correlation Values from Experiments

Detail Image	Laplacian Operator	SFM 4x4	SFM 8x8	SFM 16x16	SFM 32x32
Babara	0.0980	0.6160	0.6200	0.6362	0.6807
Face	0.0922	0.6231	0.6388	0.6584	0.6999
Road	0.4629	0.9304	0.9373	0.9425	0.9468
Cockpit	0.4529	0.9132	0.9151	0.9171	0.9216
F16	0.4386	0.8861	0.8863	0.8901	0.8954
Einstein	0.1236	0.9497	0.9522	0.9546	0.9574

Conclusion

In this paper, a method of line detection fusion is proposed. It is based on the use of á trous algorithm and Spatial Frequency Measurement. Our proposed method provides a sharp line feature image compared with Laplacian Operator. From the experiments, we evaluate the performance results using correlation values and found using the block size 32x32 providing the complete line feature results. In addition, the proposed method is general and can be applied to other features in imagery.

References

- [1] M. A. Fischler, J. M. Tenenbaum, and H. C. Wolf, "Detection of roads and linear structures in low-resolution aerial imagery using a multisource knowledge integration technique," *Computer Graphics and Image Processing*, 15(3), 201-223, 1981.
- [2] R. Nevatia and K. R. Babu, "Linear feature extraction and description," *Computer Graphics and Image Processing*, 13, 257-269, 1980.
- [3] C. Seger, "Extraction of Curved Lines from Images," *Proceedings of ICPR' 96*, 251-255, 1996.
- [4] R. M. Rao, and A. S. Bopardikar, *Wavelet transforms: introduction to theory and applications*, Addison-Wesley, 1998.
- [5] Y. Zheng, E.A. Essock, B.C. Hansen and A.M. Huan, "A new metric based on extend spatial frequency and its application to DWT based fusion algorithms," *Information Fusion*, 2007, pp. 177-192.
- [6] S. Li, J.T. Kwok and Y. Wang, "Combination of images with diverse focuses using the spatial frequency," *IEEE Trans. on Cybernetics and Intelligent System*, pp. 340-344, 2004

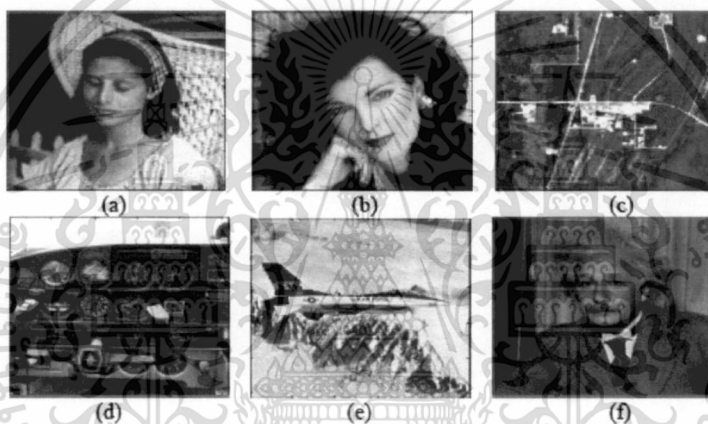


Figure 8. Reference Images used in this research

ประวัติผู้เขียน

เกิดวันที่ 6 เดือนตุลาคม 2526 จังหวัดสุโขทัย การศึกษา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม จังหวัดสุโขทัย หลังจากนั้นได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาตรี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก หลังจากจบการศึกษาก็ได้ทำการศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้