

วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีการวัดความชัด
แบบปรับขนาดวินโดวส์ของลาปลาเซียนโดยอัตโนมัติ

IMPROVEMENT OF IMAGE QUALITY BY USING ADAPTIVE WINDOW SIZE
FOR MULTI-FOCUS IMAGE FUSED BASED ON SUM OF MODIFIED
LAPLACIAN

นิวัฒน์ น้อมนบ
NIWAT NOMNOB

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-EN-M-040-176

วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีการวัดความชัด
แบบปรับขนาดวินโดวส์ของลาปลาเซียโดยอัตโนมัติ

IMPROVEMENT OF IMAGE QUALITY BY USING ADAPTIVE WINDOW SIZE
FOR MULTI-FOCUS IMAGE FUSED BASED ON SUM OF MODIFIED
LAPLACIAN



T138769

ณิวัฒน์ น้อมนบ

NIWAT NOMNOB

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 138769
วันเดือนปี..... 16 ต.ค. 2558

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

KMITL-2014-EN-M-040-176

IMPROVEMENT OF IMAGE QUALITY BY USING ADAPTIVE WINDOW SIZE
FOR MULTI-FOCUS IMAGE FUSED BASED ON SUM OF MODIFIED
LAPLACIAN

NIWAT NOMNOB

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014
KMITL-2014-EN-M-040-176

COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีการวัดความชัดแบบปรับขนาดวินโดวส์ของลาปลาเซียลโดยอัตโนมัติ

Thesis Title Improvement of Image Quality by using Adaptive Window Size for Multi-focus Image Fused based on Sum of Modified Laplacian

นักศึกษา นายณวัฒน์ น้อมนบ


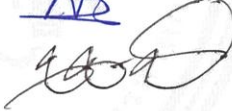
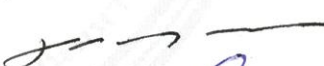


รหัสประจำตัว 54611011

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุทธนา คัดใจเดียว

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-040-176

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพฑูลย์	
รศ.ดร.ชูชาติ	ปิณฑวิรุจน์	
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
ดร.เทอดศักดิ์	ลิวหาทอง	
ผศ.ดร.ยุทธนา	คัดใจเดียว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2557 เวลา 09.30-11.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัส เฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาดวินโดวส์ของลาปลาเซียโดยอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายณวัฒน์ น้อมนบ
รหัสประจำตัว	54611011
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว

บทคัดย่อ

การปรับปรุงภาพที่ถ่ายด้วยเลนส์ที่มีระยะชัดที่แคบนั้นวิธีการส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวัดความชัดที่ขนาด Window คงที่ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการปรับปรุงภาพโดยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดด้วยวิธีการวัดความชัดแบบปรับขนาด Window ซึ่งพัฒนามาบนพื้นฐานวิธีการวัดแบบ Sum of Modified Laplacian (SML) โดยวิธีการจะทำการเลือกบริเวณที่ชัดที่สุดของแต่ละภาพมารวมกันเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดทั้งภาพ ซึ่งขนาดของ Window จะปรับขนาดได้ โดยขนาดที่ใช้ในการวัดจะขึ้นอยู่กับค่าของความแปรปรวนใน Window ของภาพต้นฉบับที่ผ่านการหาขอบภาพ ดังนั้นงานที่นำเสนอจะใช้ขนาด Window ในการวัดความชัดที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ของภาพทำให้ผลที่ได้มีความผิดพลาดน้อยและได้รอยต่อของการรวมภาพที่ราบเรียบ

Thesis	IMPROVEMENT OF IMAGE QUALITY BY USING ADAPTIVE WINDOW SIZE FOR MULTI-FOCUS IMAGE FUSED BASED ON SUM OF MODIFIED LAPLACIAN
Student	Mr. Niwat Nomnob
Student ID.	54611011
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Yuttana Kitjaidure

ABSTRACT

Almost of multi-focus images fused methods use fixed window size for computation. This work presents a new method to improve image quality by using adaptive window size multi-focus image fusion based on Sum of Modified Laplacian (SML). The method employs the focus measurement to select the best in focus area of the input images. Then combine these areas to be the output image which all areas are in focus. The size of the window for the focus measurement is adjustable. The criterion to adjust the window size is the variance of gray level information of edged input images. Therefore, the proposed method will use appropriate size of the window for each area in the input images. The result showed the improvement of this method, which give the smoother boundary.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณความกรุณาจาก ผศ.ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาแนะนำ ต่างๆ รวมถึงยังให้ความดูแลเอาใจใส่สอบถามถึงความก้าวหน้าของงานวิจัยของผู้เขียนอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณ บริษัท แม็กชิมอินทริเกรตเต็ด โพรดักส์ (ประเทศไทย) ที่ให้การสนับสนุน ค่าเล่าเรียน, ค่าใช้จ่ายในงานวิจัย และเวลาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้เอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงานวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้เขียนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีและท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องวิจัยทุกคนที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดี เสมอมาจนสามารถนำสิ่งต่างๆ ที่ได้รับมานั้นจัดทำเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง ครูอาจารย์ที่เคารพ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณิวัฒน์ น้อมนบ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยการวิเคราะห์วิธีวัดความชัด	3
2.1.1 ประสิทธิภาพการวัดความชัดโดยรวม	4
2.1.2 ความทนต่อสัญญาณรบกวน (Robustness to noise)	4
2.1.3 ประสิทธิภาพการวัดความชัดต่อขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลง	5
2.1.4 ความไวต่อความคมชัดของภาพ	5
2.2 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดแบบปรับขนาด Window ตามขอบเด่นของภาพ	5
2.3 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดด้วยวิธีการ Differential Evolution	7
2.4 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดแบบอื่นๆ	8
บทที่ 3 พื้นฐานการวัดความชัดของภาพ	9
3.1 การวัดความชัดของภาพด้วยวิธีการ Gray-Level Variance	9
3.2 การวัดความชัดของภาพด้วยวิธีการ Sum of wavelet coefficients	13
3.3 วิธีการวัดความชัดของภาพด้วยวิธีการ Modified Laplacian	17
บทที่ 4 การออกแบบวิธีการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุด	21
4.1 การรวมภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างกันด้วยวิธีการวัดความชัด	21
4.2 ผลกระทบของขนาด Window ต่อประสิทธิภาพการวัดความชัดของภาพ	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ.....	24
4.3.1 การคำนวณหาความชัดของภาพ.....	25
4.3.2 การเลือกขนาด Window ที่ใช้ในการวัดความชัดแบบอัตโนมัติ.....	26
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	30
5.1 การทดลองด้วยภาพสังเคราะห์(Synthetic Image)	30
5.1.1 การทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 1	31
5.1.1.1 ผลการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 1	33
5.1.2 การทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2.....	36
5.1.2.1 ผลการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2.....	39
5.2 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิตอลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR).....	40
5.2.1 รูรับแสง (Aperture) หรือ เลข F ของกล้องถ่ายภาพ.....	41
5.2.2 ผลกระทบจากรูรับแสงต่อระยะชัดของภาพ.....	43
5.2.3 การออกแบบการทดลองด้วยภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลแบบ DSLR	43
5.2.4 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 1	43
5.2.4.1 ผลการทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ด้วย ภาพชุดที่ 1	45
5.2.5 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 2.....	48
5.2.5.1 ผลการทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ด้วย ภาพชุดที่ 1	50
5.3 การทดลองกับภาพที่โฟกัสแบบลำดับ (Sequence Focus Images)	52
5.3.1 การออกแบบการทดลอง.....	52
5.3.2 การทดลองด้วยภาพถ่ายลูกบอลตะกั่ว (Soldering Ball) ของ วงจรรวม (IC)	54
5.3.2.1 ผลการรวมภาพลูกบอลตะกั่วที่โฟกัสแบบลำดับ	56
5.3.3 การทดลองด้วยภาพถ่ายหลุมที่เกิดจากการยิงเลเซอร์.....	58
5.3.3.1 ผลการรวมภาพหลุมที่เกิดจากยิงเลเซอร์ที่โฟกัสแบบลำดับ	61
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	63
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	66
ประวัติผู้เขียน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าระดับเทาของรูปที่ 3.1 ในแต่ละพิกเซล.....	11
3.2 แสดงค่าระดับเทาของรูปที่ 3.2 ในแต่ละพิกเซล.....	12
4.1 แสดงตัวอย่างของวิธีการวัดความชัดแบบต่างๆ.....	22
4.2 แสดงค่าความแปรปรวนที่ตำแหน่ง A และ B.....	27
5.1 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 1.....	35
5.2 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2.....	40
5.3 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 1.....	47
5.4 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 2.....	51

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงปัญหาการเกิดขอบภาพจากภาพเบลอ (ก) ภาพหน้าชัด (ข) ภาพหลังชัด	6
2.2 (ก) ภาพเบลอบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย (ข) ภาพชัดบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย	6
2.3 บล็อกไดอะแกรมวิธีการรวมภาพที่โพกัสหลายจุดด้วยวิธีการ Differential Evolution	7
3.1 ภาพที่โพกัสขนาด 15x15 pixel	11
3.2 ภาพที่ไม่โพกัส 15x15 pixel	11
3.2 ภาพที่ไม่โพกัส 15x15 pixel	11
3.3 กราฟแสดงค่าความแปรปรวน(Variance) ของรูปที่ 3.1	12
3.4 กราฟแสดงค่าความแปรปรวน(Variance) ของรูปที่ 3.2	13
3.5 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟังก์ชันเวฟเล็ต	14
3.6 ความสัมพันธ์ของ Window กับการแปลง Wavelet ในการวัดความชัด	15
3.7 ตัวอย่างการแปลง Wavelet ที่ Level 3	15
3.8 กราฟแสดงค่าผลการทำ Sum of Wavelet Coefficient ของรูปที่ 3.1	16
3.9 กราฟแสดงค่าผลการทำ Sum of Wavelet Coefficient ของรูปที่ 3.2	16
3.10 ผลสนองของการทำอนุพันธ์อันดับสองกับภาพเบลอในโดเมนความถี่	18
3.11 แสดงค่าผลการทำ Sum of Modified Laplacian ของรูปที่ 3.1	20
3.12 แสดงค่าผลการทำ Sum of Modified Laplacian ของรูปที่ 3.2	20
4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมวิธีการรวมภาพ	21
4.2 ตัวอย่างการรวมภาพที่โพกัสตำแหน่งต่างกัน	22
4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพวัดเทียบกับขนาด Window	23
4.4 แสดงผลการรวมภาพของวิธีการวัดความชัดที่ใช้ขนาด Window ที่ใหญ่	23
4.5 แสดงผลการรวมภาพของวิธีการวัดความชัดที่ใช้ขนาด Window ที่เล็ก	24
4.6 แสดงตำแหน่งการหาค่าความแปรปรวนของภาพโพกัสด้านหน้า	26
4.7 ภาพผลการทำ Modified Laplacian	27
4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแปรปรวนที่ตำแหน่ง A และ B	28
4.9 แสดงขั้นตอนการรวมภาพแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ	29
4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ	32
5.1 แสดงการบวนการคอนโวลูชันภาพ	31
5.2 ภาพสังเคราะห์ที่วัดดูด้านหน้าชัดชัดที่ 1	31
5.3 ภาพสังเคราะห์ที่วัดดูด้านหลังชัดชัดที่ 1	32
5.4 ภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพชัดที่ 1	32
5.5 กราฟค่าความผิดพลาดของวิธีการวัดต่อขนาด Window ของภาพสังเคราะห์ ชัดที่ 1	33
5.6 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 15x15 ของภาพชัดที่ 1	33
5.7 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชัดที่ 1	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 51x51 ของภาพชุดที่ 1	34
5.9 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ของภาพชุดที่ 1	35
5.10 ภาพสังเคราะห์ที่วัตถุด้านหน้าชัดของภาพชุดที่ 2	36
5.11 ภาพสังเคราะห์ที่ฉากด้านหลังชัดของภาพชุดที่ 2.....	36
5.12 ภาพที่ชัดหมดทั้งภาพของภาพชุดที่ 2.....	37
5.13 กราฟค่าความผิดพลาดของวิธีการวัดต่อขนาด Window ของภาพสังเคราะห์ ชุดที่ 2	37
5.14 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2.....	38
5.15 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2.....	38
5.16 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2.....	39
5.17 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอของภาพชุดที่ 2.....	39
5.18 กล้องดิจิตอลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR).....	40
5.19 แสดงการปรับรับแสง.....	41
5.20 แสดงค่าการปรับช่องรับแสง.....	41
5.21 ผลของขนาดรับแสงต่อภาพถ่าย	42
5.22 แสดงช่องรับแสงและระยะชัดลึก.....	42
5.23 ภาพที่โพกัสวัตถุใกล้ถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 1.....	43
5.24 ภาพที่โพกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 1.....	44
5.25 ภาพที่โพกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 1.....	44
5.26 กราฟค่าความผิดพลาดต่อขนาด Window ของภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ชุดที่ 1.....	45
5.27 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 25x25 ของภาพชุดที่ 1.....	45
5.28 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 1.....	46
5.29 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 21x21 ของภาพชุดที่ 1	46
5.30 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ของภาพชุดที่ 1	47
5.31 ภาพที่โพกัสวัตถุใกล้ถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 2.....	48
5.32 ภาพที่โพกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 2.....	48
5.33 ภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/14 ของภาพชุดที่ 2	49
5.34 กราฟค่าความผิดพลาดต่อขนาด Window ของภาพจากกล้องดิจิตอล DSLR ชุดที่ 2.....	49
5.35 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชุดที่ 2.....	50
5.36 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชุดที่ 2.....	50
5.37 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 9x9 ของภาพชุดที่ 2.....	51
5.38 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอของภาพชุดที่ 2.....	51
5.39 กล้องจุลทรรศน์ของ ZIESS รุ่น Axiotron ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
5.40 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานกล้องจุลทรรศน์ที่ออกแบบ.....	53
5.41 แสดงกล้องจุลทรรศน์และระบบที่ใช้งาน.....	53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42 ภาพลูกบอลตะกั่วที่โพกัสแบบลำดับ.....	56
5.43 ผลการรวมภาพลูกบอลตะกั่วที่โพกัสแบบลำดับ.....	57
5.44 แสดงแผนที่ความลึกของลูกบอลตะกั่ว (Depth Map).....	57
5.45 แสดงการยิงเลเซอร์บนแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นอักษร.....	58
5.46 ภาพขยายรอยของการยิงเลเซอร์บนแผ่นเวเฟอร์.....	58
5.47 แสดงรูปหลุมที่เกิดจากยิงเลเซอร์ที่โพกัสแบบลำดับ.....	61
5.48 ผลการรวมภาพหลุมที่เกิดจากยิงเลเซอร์ที่โพกัสแบบลำดับ.....	62
5.49 แสดงแผนที่ความลึก (Depth Map) ของหลุมที่เกิดจากการยิงเลเซอร์.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยข้อจำกัดของเลนส์ที่ใช้ถ่ายภาพที่เรียกว่าระยะชัด (Depth of Field) ทำให้การถ่ายภาพหลายวัตถุที่มีระยะต่างกันจะได้ภาพที่มีเพียงวัตถุที่อยู่ในจุดโฟกัสเท่านั้นที่ชัด ยิ่งเป็นเลนส์ที่มีกำลังการขยายสูงแล้วระยะชัด (Depth of Field) ของเลนส์จะมีค่าน้อยมากทำให้วัตถุที่อยู่นอกระยะโฟกัสเพียงเล็กน้อยก็จะได้ภาพที่ไม่ชัดแล้ว ซึ่งปัญหานี้จะเห็นได้ชัดเจนในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังการขยายสูงๆ เช่น การใช้งานกล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวต่างระดับกัน ซึ่งถ้ากล้องโฟกัสที่พื้นผิวใดพื้นผิวนั้นจะชัดส่วนพื้นผิวอื่นจะเบลอ ด้วยเหตุนี้จึงมีการแก้ปัญหาโดยการถ่ายภาพทีละพื้นผิวแล้วทำการรวมภาพโดยเลือกเอาเฉพาะบริเวณที่ชัด ผลทำให้ภาพที่ได้ชัดหมดทั้งภาพ ทำให้การตรวจสอบชิ้นงานมีความสะดวกมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการนำวิธีการวัดความชัดของภาพไปใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติ (Shape From Focus) ทำให้สามารถประมาณขนาดของวัตถุได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวัดความชัดของภาพนั้นมีประโยชน์และใช้งานกันอย่างกว้างขวางอย่างเช่น การปรับโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus) ของกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล ในการติดตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบชิ้นงานก็จะใช้การวัดความชัดของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ได้โฟกัสและความชัดมากที่สุด การใช้งานกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวต่างระดับกันก็จะใช้การรวมภาพโดยใช้วิธีวัดความชัดของภาพวัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิจัยในหัวข้อนี้จึงเป็นการศึกษาการทำงานของวิธีการวัดความชัดของภาพแบบต่างๆ แล้วปรับปรุงให้มีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อได้วิธีการที่ดีขึ้นแล้วก็จะนำไปประยุกต์ใช้กับการรวมภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการวัดความชัดของภาพในแต่ละวิธีนั้นจะทำการคำนวณใน Window และขนาด Window ที่นำมาใช้ในการวัดความชัดนั้นมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการวัด เพราะถ้าขนาด Window ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้การวัดความชัดของภาพนั้นผิดพลาดได้ นอกจากนี้ในการเลือกขนาด Window นั้นไม่ใช่แค่เลือกให้เหมาะสมกับภาพเท่านั้น เพราะบางพื้นที่ของภาพจะมีรายละเอียดน้อยทำให้การวัดความชัดนั้นผิดพลาดได้ ดังนั้นขนาดของ Window ควรจะเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ของภาพ โดยที่บริเวณที่มีรายละเอียดน้อยควรจะใช้ขนาด Window ที่ใหญ่ ส่วนบริเวณที่มีรายละเอียดมากควรจะใช้ขนาด Window ที่เล็ก ดังนั้นการวัดความชัดภาพ 1 ภาพจะใช้ขนาด Window หลายขนาดขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากงานวิจัยการวัดความชัดของภาพที่ผ่านมา หลายงานวิจัยได้ให้ความสำคัญกับการเลือกขนาด Window ให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ของภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความแปรปรวนเป็นตัวระบุบริเวณไหนมีรายละเอียดของภาพว่ามีมากหรือน้อยแล้วเลือกขนาด Window ให้เหมาะสม จากนั้นก็ใช้วิธีการวัดความชัดของภาพแบบ Sum of Modified Laplacian ซึ่งวิธีการนี้ใช้การคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก และให้ผลการวัดที่ดี

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิธีการวัดความชัดของภาพของงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ให้ผลการวัดที่ดี และการคำนวณไม่ซับซ้อน แล้วทำการทดลองด้วยโปรแกรม Matlab จากนั้นก็ออกแบบและปรับปรุงวิธีการวัดความชัดที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยตัวชี้วัดค่าประสิทธิภาพการวัดนั้นจะใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error)

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ศึกษาวิธีการวัดความชัดของภาพแบบต่างๆ ให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบจากนั้นทำการออกแบบวิธีการวัดความชัดแบบปรับขนาด Window ได้อัตโนมัติที่ทำให้การวัดความชัดของภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการวัดความชัดของภาพแบบอื่นๆ โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยส่วนแรกจะทดลองกับภาพที่สังเคราะห์ให้เบลอ โดยภาพที่ใช้ในการทดลองนี้จะสังเคราะห์ให้มีตำแหน่งที่ชัดและเบลอตำแหน่งต่างกัน การทดลองที่สองจะใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล Digital Single Lens Reflex(DSLR) ซึ่งสามารถควบคุมระยะชัดลึกและระยะชัดตื้นได้และยังสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการโฟกัสได้อีกด้วย ในการทดลองสุดท้ายจะเป็นการทดลองการรวมภาพที่โฟกัสแบบลำดับจากกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีระยะชัดที่แคบมากๆ โดยตำแหน่งที่โฟกัสจะมีตำแหน่งที่ต่างกันซึ่งวิธีการนี้สามารถสร้างภาพสามมิติได้ และยังสามารถประมาณค่าความสูงของวัตถุได้

ผลที่คาดหวังจากการทำวิจัยคือการปรับปรุงวิธีการวัดความชัดที่มีความผิดพลาดน้อยลง และนำวิธีการวัดไปใช้กับกล้องจุลทรรศน์เพื่อใช้ในการประมาณค่าความสูงได้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยการวิเคราะห์วิธีวัดความชัด

การหาบริเวณที่ชัดของภาพจะใช้วิธีการวัดความชัดของภาพ ซึ่งจะเป็นการหารายละเอียดของภาพ ตรงบริเวณที่ได้โฟกัสจะมีรายละเอียดของภาพที่ชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วภาพที่ชัดจะมีองค์ประกอบความถี่สูงอยู่ ดังนั้นการออกแบบวิธีการวัดความชัดของภาพจะเป็นการหาองค์ประกอบความถี่สูงของภาพ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน ในงานของ Said Pertuz และคณะ ได้ศึกษาและทำการทดลองหาข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดความชัดของภาพแบบต่างๆ[1] ซึ่งงานวิจัยนี้จะแบ่งวิธีการวัดความชัดของภาพออกเป็นกลุ่มๆ ดังนี้

Gradient-Based

วิธีวัดกลุ่มนี้จะใช้วิธีการหา Gradient ของภาพหรือการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งภาพที่ได้โฟกัสจะมีความชัดและเมื่อหา Gradient ของภาพก็จะได้ขอบภาพส่วนบริเวณที่ไม่ได้โฟกัสก็จะมีขอบภาพ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ขอบภาพเป็นตัวบ่งชี้ว่าบริเวณไหนชัด ซึ่งวิธีการวัดที่อยู่ในกลุ่มนี้จะประกอบด้วย Gradient energy, Gaussian derivative, Thresholded absolute gradient, Squared gradient, 3D gradient, Tenengrad, Tenengrad variance ฯลฯ

Laplace-Based

วิธีวัดกลุ่มนี้จะเป็นการหาอนุพันธ์อันดับสองของภาพ ซึ่งจะคล้ายกับกลุ่มแรกที่จะเป็นการหาขอบภาพ และตรวจสอบหาว่าบริเวณไหนมีขอบก็จะเป็นบริเวณที่ได้โฟกัสและมีความชัด วิธีการวัดความชัดที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Energy of Laplacian, Modified Laplacian, Diagonal Laplacian, Variance of Laplacian และ Laplacian in 3D window [1]

Wavelet-Based

วิธีการวัดกลุ่มนี้จะอาศัยค่าสัมประสิทธิ์(Coefficient) ของการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) เป็นตัววัดความชัด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลตจะบ่งบอกองค์ประกอบทางความถี่ของภาพซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวัดความชัดได้ ซึ่งวิธีการวัดความชัดที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Sum of wavelet coefficients, Variance of wavelet coefficients, Ratio of the wavelet coefficients และ Ratio of curvelet coefficients [1]

Statistics-Based

วิธีการวัดกลุ่มนี้จะอาศัยคุณสมบัติทางสถิติของภาพมาเป็นตัวชี้วัดบริเวณที่ได้โฟกัส ซึ่งจะอาศัยลักษณะพื้นผิว (Texture) ของภาพเป็นตัวบ่งบอกบริเวณที่ชัด ซึ่งวิธีการวัดความชัดที่อยู่ในกลุ่มนี้

ได้แก่ Chebyshev moments-based, Eigenvalues-based, Gray-level variance, Gray-level local variance, Normalized gray-level variance, Modified gray-level variance, Histogram entropy และ Histogram range [1]

Discrete Cosine Transform (DCT)-Based

วิธีการวัดในกลุ่มนี้จะคล้ายกับกลุ่มเวฟเลต Wavelet-Based ซึ่งจะอาศัยค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลง Discrete Cosine Transform เป็นตัวบ่งบอกบริเวณที่ได้โฟกัสหรือมีความชัด ซึ่งวิธีการวัดความชัดของภาพในกลุ่มนี้ยังไม่ถูกนำไปใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติจากโฟกัส (Shape From Focus) ซึ่งวิธีการวัดความชัดที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ DCT energy ratio, DCT reduced energy ratio และ Modified DCT [1]

Miscellaneous-Based

วิธีการวัดที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่กล่าวมาข้างต้นจะอยู่ในกลุ่มนี้ซึ่งจะใช้วิธีการวัดความชัดของภาพที่แตกต่างออกไป ซึ่งวิธีการวัดความชัดที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Absolute central moment, Brenner's measure, Image contrast, Image curvature, Hemli and Scherer's mean, Local binary patterns-based, Steerable filters-based, Spatial frequency measure และ Vollath's autocorrelation [1]

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สรุปข้อดีและข้อเสียในแง่ต่างๆ ของแต่ละกลุ่มไว้ดังนี้

2.1.1 ประสิทธิภาพการวัดความชัดโดยรวม

ในการวัดภาพปกตินั้น วิธีการวัดความชัดในกลุ่ม Laplace-Based นั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีการนี้เป็นการทำอนุพันธ์อันดับที่สองซึ่งตอบสนองต่อความถี่สูงที่ดีที่สุดเหมาะต่อการนำไปใช้ในวิธีการวัดความชัดและประยุกต์ใช้กับการปรับโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus)

2.1.2 ความทนต่อสัญญาณรบกวน (Robustness to noise)

เมื่อภาพต้นฉบับที่จะทำการวัดความชัดมีสัญญาณรบกวนวิธีวัดความชัดของภาพในกลุ่ม Statistics-Based นั้นจะทนต่อสัญญาณรบกวนมากที่สุด ในส่วนของ Gradient-Based นั้นจะทนต่อสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด เช่นเดียวกับกับกลุ่ม Laplace-Based ที่ให้ประสิทธิภาพการวัดความชัดดีที่สุดเมื่อภาพปกติ แต่กลับทนต่อสัญญาณรบกวนน้อย เพราะเป็นการหาอนุพันธ์เหมือนกันซึ่งเมื่อภาพมีสัญญาณรบกวนตรงบริเวณนั้นจะมีความแตกต่างที่สูงทำให้การหาอนุพันธ์ได้ค่าที่สูงตามส่งผลให้การวัดความชัดผิดพลาด คุณสมบัติข้อนี้จะต้องพิจารณาเมื่อใช้กล้องที่ให้ภาพคุณภาพต่ำ เช่น กล้องเว็บแคม (Webcam)

2.1.3 ประสิทธิภาพการวัดความชัดต่อขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลง (Window Size Sensitivity)

ในการวัดความชัดของภาพนั้นวิธีการวัดแบบต่างจะทำการคำนวณใน Window ซึ่ง Window จะมีหน่วยเป็นพิกเซล (Pixel) ขนาดเป็นจตุรัส $m \times m$ ซึ่งการเลือกขนาด Window จะมีผลต่อการวัดอย่างมาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะในด้านของวิธีการวัดความชัดของภาพแบบต่างๆ ปรากฏว่า กลุ่ม Gradient-Based มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด Window มากที่สุด ส่วนกลุ่ม Wavelet-Based นั้นมีความไวต่อขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและยังให้ผลของการวัดที่ดีที่สุดเมื่อใช้ขนาด Window ที่เล็ก ในการใช้งานจริงนั้นการเลือกขนาด Window ที่เหมาะสมนั้นสำคัญอย่างมาก เพราะหากเลือกขนาดที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผลของการวัดความชัดออกมาไม่ดี

2.1.4 ความไวต่อความคมชัดของภาพ (Sensitivity to Image Contrast)

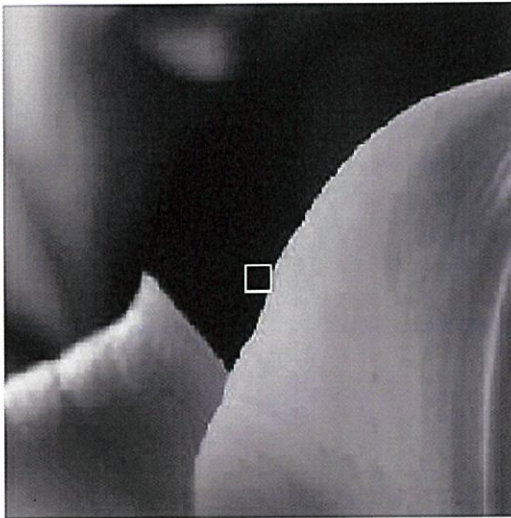
การทดลองได้ทำการลดความคมชัด (Image Contrast) ลงประมาณ 10% ซึ่งในการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่า ความคมชัดของภาพไม่มีผลต่อการวัดความชัดของภาพทุกกลุ่ม

2.1.5 ความไวต่อความอิ่มตัวของภาพ (Sensitivity to image saturation)

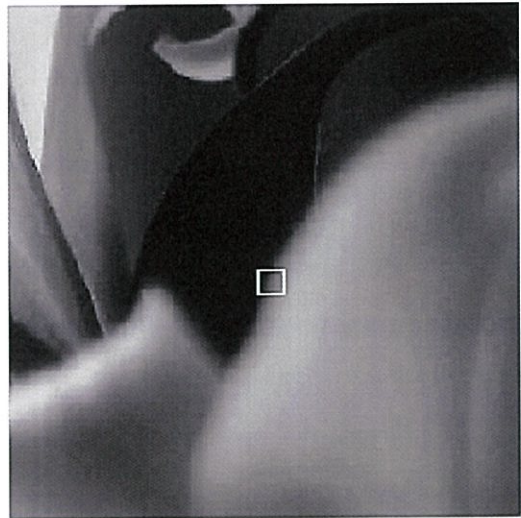
การทดลองได้ทำการลดความอิ่มตัวของภาพ (Image saturation) ลงประมาณ 30% และเพิ่มขึ้น 30% จากภาพปกติ ในการลดความอิ่มตัวของภาพนั้น ไม่ส่งผลต่อการวัด แต่การเพิ่มความอิ่มตัวนั้นส่งผลต่อการวัดความชัดของภาพในกลุ่ม Laplace-Based มากที่สุด

2.2 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดแบบปรับขนาด Window ตามขอบของภาพที่เด่นชัด (Salient Edge)

ในวิธีการวัดความชัดของภาพในกลุ่ม Gradient-Based และกลุ่ม Laplace-Based จะอาศัยการตรวจหาขอบภาพเพื่อที่จะระบุบริเวณไหนชัดหรือเบลอ ในบริเวณที่ชัดจะมีขอบภาพที่ชัดเจน ส่วนบริเวณที่เบลอจะไม่มีขอบภาพ แต่ด้วยปัญหาการเกิดขอบภาพบริเวณรอยต่อบริเวณที่หน้า (Foreground) เบลอและหลัง (Background) ชัด ทำให้การวัดความชัดของภาพนั้นผิดพลาดดังแสดงในรูป 2.1 ดังนั้น P. W. Huang ได้นำเสนอวิธีการวัดที่ปรับขนาด Window ได้ เพื่อแก้ปัญหานี้



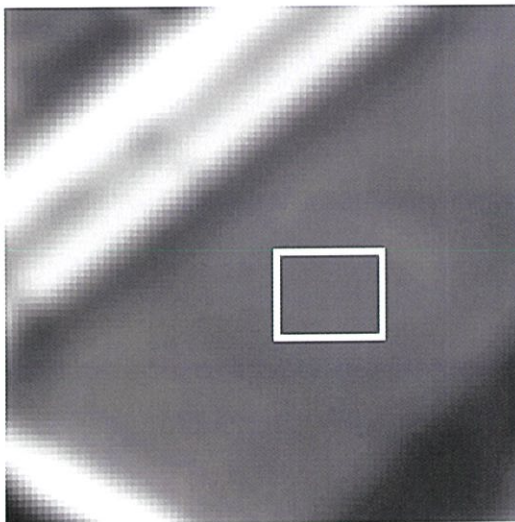
(ก)



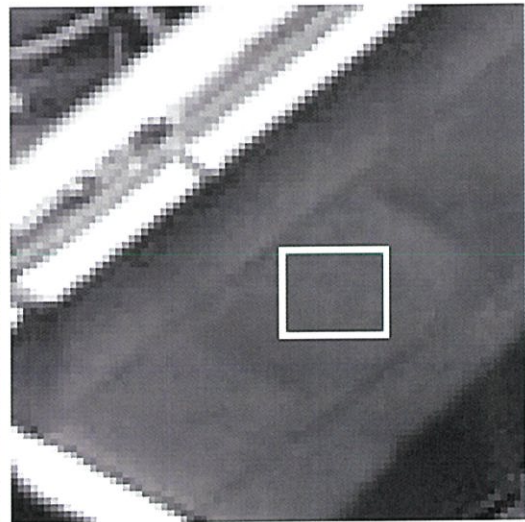
(ข)

รูปที่ 2.1 แสดงปัญหาการเกิดขอบภาพจากภาพเบลอ (ก) ภาพหน้าชัด (ข) ภาพหลังชัด

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าที่บริเวณเดียวกันจะเมื่อใช้ขนาด Window ดังกรอบสีขาวจะเห็นว่าภาพ (ข) ภาพหลังชัดจะเกิดขอบภาพตรงบริเวณรอยต่อทำให้ตรงบริเวณนี้เกิดการวัดที่ผิดพลาดเพราะตรงบริเวณเดียวกันภาพ (ก) ที่ตรงบริเวณนี้ชัดจะไม่เกิดขอบภาพ การแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้จะทำการขยายขนาด Window จนกว่าจะเจอขอบที่เด่นชัด (Salient Edge) ซึ่งวิธีการนี้ยังช่วยแก้ปัญหาภาพบริเวณที่มีรายละเอียดน้อยได้อีกด้วย[2]



(ก)



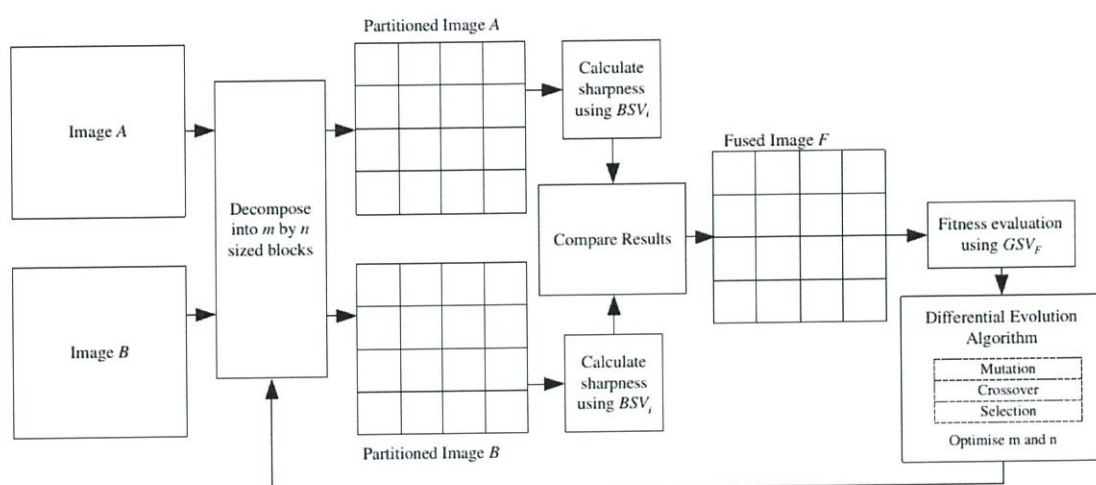
(ข)

รูปที่ 2.2 (ก) ภาพเบลอบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย (ข) ภาพชัดบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีรายละเอียดน้อยนั้นไม่ว่าภาพจะชัดหรือเบลอจะแยกได้ยาก แต่ถ้าหากขยายขนาด Window จนได้รายละเอียดที่มากขึ้นแล้วก็จะสามารถแยกได้ ซึ่งงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นที่ใช้ขนาด Window คงที่แล้ววิธีการที่งานวิจัยนี้นำเสนอให้ผลการวัดที่ดีกว่า

2.3 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดด้วยวิธีการ Differential Evolution

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการรวมภาพด้วยวิธีการ Differential Evolution [3] ซึ่งภาพอินพุต A และ B จะถูกแบ่งเป็น Block ที่มีขนาด $m \times n$ แล้วใช้วิธีการวัดความชัดแบบ Spatial domain เป็นตัววัดความชัด โดยที่กระบวนการ Differential Evolution จะเป็นตัวเลือกขนาด Block ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด



รูปที่ 2.3 แผนภาพวิธีการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดด้วยวิธีการ Differential Evolution

จากรูปที่ 2.3 กระบวนการจะเริ่มทำการแบ่งภาพอินพุตเป็นบล็อกขนาด $m \times n$ ซึ่งมีหลายค่าแบบสุ่ม ซึ่งแต่ละค่าจะเป็นประชากร (Population) ในกระบวนการ Differential Evolution เมื่อภาพถูกแบ่งแล้วก็ทำการวัดความชัดด้วยการแปลง Spatial domain แล้วทำการเปรียบเทียบกันว่าบล็อกของภาพไหนชัดกว่าก็จะเลือกบล็อกนั้นไปเป็นภาพเอาร์ทพุต แล้วทำการวัดความชัดทั้งภาพอีกครั้งโดยการวัดครั้งนี้จะเป็น Fitness Function จากนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการ Differential Evolution เพื่อหาประชากรกลุ่มใหม่ ขนาดบล็อกไหนที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยก็จะถูกถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสร้างประชากรกลุ่มใหม่ เป็นขนาดบล็อกใหม่ แล้ววนรอบการทำงานจนได้ค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้หรือจำนวนรอบเกินก็จะหยุดการทำงาน วิธีการนี้ระยะเวลาการทำงานจะขึ้นอยู่กับประชากรที่สุ่มขึ้นมาด้วยว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมากแค่ไหน ถ้าใกล้เคียงก็จะทำให้ระยะเวลาการคำนวณน้อยลง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเลือกขนาดบล็อกหรือ Window ที่ไม่เป็นจตุรัส $m \times n$ และผลลัพธ์ที่ได้เทียบกับวิธีการ Laplacian Pyramid และ Wavelet-Based แล้วงานวิจัยนี้ให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า แต่ก็ต้องใช้ เวลา,การคำนวณและประมวลผลที่มากขึ้น

2.4 งานวิจัยการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดแบบอื่นๆ

นอกจากวิธีการที่กล่าวมา ยังมีวิธีการวัดความชัดของภาพและการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุดแบบอื่นเช่น Fusion Based on PCNN [4], Multifocus image fusion using artificial neural networks [5], Shape Extraction From Multi-Focus Image Using Fuzzy Approach [6] ซึ่งวิธีการเหล่านี้ได้นำกระบวนการทางด้าน Computer Intelligent มาประยุกต์ใช้กับวิธีการวัดความชัดของภาพและกระบวนการรวมภาพที่โฟกัสหลายจุด แต่วิธีการเหล่านี้ก็จะให้การคำนวณและประมวลผลที่สูง

บทที่ 3

พื้นฐานการวัดความชัดของภาพ

ในการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดนั้นมืองค์ประกอบหลักของกระบวนการก็คือการวัดความชัดของภาพ(Image Focus Measurement) โดยที่เมื่อทำการวัดความชัดของภาพที่โฟกัสจะได้ค่าของการวัดความชัดที่มาก ส่วนภาพที่ไม่โฟกัสหรือเบลอ(Bur) จะให้ค่าของการวัดความชัดที่น้อย

เมื่อพิจารณาบริเวณภาพที่ไม่ได้โฟกัส บริเวณนั้นของภาพจะมีรายละเอียดของภาพน้อยและในทางกลับกันบริเวณที่ได้โฟกัสจะมีรายละเอียดของภาพมาก ดังนั้นการวัดความชัดจะเป็นการหา รายละเอียดของภาพว่ามีมากน้อยแค่ไหน หรือกล่าวอีกอย่างคือการหาองค์ประกอบความถี่สูงของภาพ ซึ่งวิธีการหารายละเอียดของภาพจะมีหลายวิธี อย่างเช่น วิธีการหา Contrast จะเป็นการหาความแตกต่างระหว่างพิกเซลที่ทำการวัดกับพิกเซลรอบข้าง ภาพที่รายละเอียดมากจะมีค่าความแตกต่างมาก วิธีการทำ Gradient จะเป็นการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งบนพิกเซลที่ทำการวัด วิธีการทำ Laplacian จะเป็นการหาอนุพันธ์อันดับสอง หรือการประยุกต์ใช้กระบวนการทางสถิติ ส่วนวิธีการแปลง Wavelet จะเป็นรูปแบบการวัดแบบแยกองค์ประกอบย่อย และยังมีอีกหลายรูปแบบที่ใช้การคำนวณที่สูงขึ้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วแต่ละวิธีจะใช้วิธีการคำนวณเทียบกับพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ใน Window เดียวกัน โดยขนาด Window จะมีขนาดเป็นจตุรัส

ในงานวิจัยนี้จะนำวิธีการวัดความชัดแบบ Gray-Level Variance ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Statistics-Based, แบบ Sum of Wavelet Coefficient ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Wavelet-based และ Sum of Modified Laplacian ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Laplacian-Based มาศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดในแง่ของความผิดพลาด (Error), ผลกระทบจากขนาด Window ที่ใช้ และความซับซ้อนในการคำนวณ (Complexity) โดยที่รายละเอียดของแต่ละวิธีจะอยู่ในหัวข้อถัดไป

3.1 วิธีวัดความชัดของภาพแบบ Gray-Level Variance

ความแปรปรวน (Variance) เป็นมาตรการวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากความแปรปรวนสามารถคำนวณได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง ความแปรปรวนจึงเป็นการวัดการกระจายของข้อมูลในรูปของพื้นที่ การวัดการกระจายที่นิยมใช้กันมากคือความแปรปรวนซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ต่อไปนี้จะพูดถึงความแปรปรวนของประชากรและการประมาณค่าความแปรปรวนของประชากรจากกลุ่มตัวอย่าง

ความแปรปรวนของประชากร มีสูตรคำนวณได้ดังสมการ (3.1)

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X - \mu)^2}{N_p} \quad (3.1)$$

เมื่อ σ^2 แทนความแปรปรวนของประชากร, μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากร และ N_p แทนจำนวนประชากร $(x - \mu)^2$ คือกำลังสองของความเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยเมื่อเราหาร $\sum(x - \mu)^2$ ด้วย N_p จะหมายถึงส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยยกกำลังสอง

หากเราต้องการประมาณค่าความแปรปรวนของประชากร เราจะต้องประมาณค่าจากกลุ่มตัวอย่าง ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ประมาณค่า σ^2 คือ

$$S^2 = \frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1} \quad (3.2)$$

เมื่อ S^2 ของสมการ (3.2) แทนความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง, \bar{X} แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง และ N แทนจำนวนกลุ่มตัวอย่างเมื่อใส่สแควร์รูทความแปรปรวน ผลที่ได้คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจะได้ตามสมการ (3.3)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{N_p}} \quad (3.3)$$

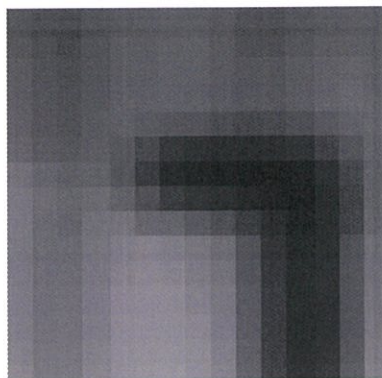
และของกลุ่มตัวอย่างตามสมการ (3.4)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (3.4)$$

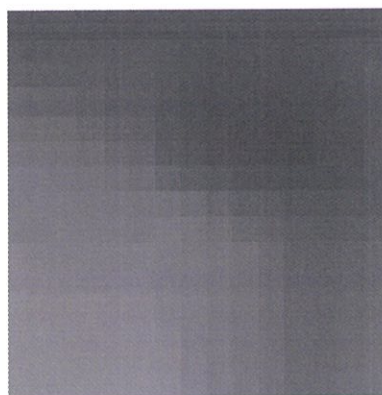
ในการนำค่าความแปรปรวนมาใช้ในการวัดความชัดของภาพนั้นจะใช้ความแปรปรวนระดับเทา (Gray Level) [7] ของภาพที่อยู่ใน Window ซึ่งขนาดของ Window จะมีขนาดจตุรัส $m \times m$ ซึ่งวิธีการวัดแบบ Gray Level Variance นั้นจะอยู่ในกลุ่ม Statistic สามารถคำนวณได้ตามสมการ (3.5)

$$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega_{(x,y)}} (I_{(i,j)} - \mu)^2 \quad (3.5)$$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของระดับเทา ใน window ที่มีขนาด $\Omega_{(x,y)}$



รูปที่ 3.1 ภาพที่โฟกัสขนาด 15x15 pixel



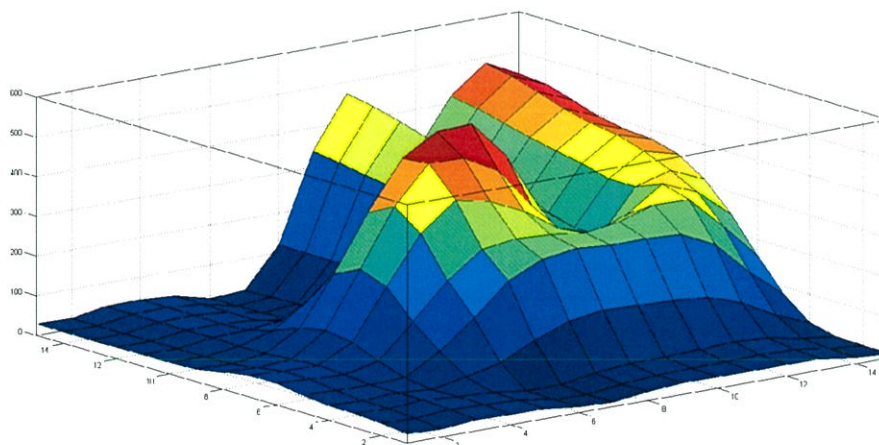
รูปที่ 3.2 ภาพที่ไม่โฟกัส 15x15 pixel

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าระดับเทาของรูปที่ 3.1 ในแต่ละพิกเซล

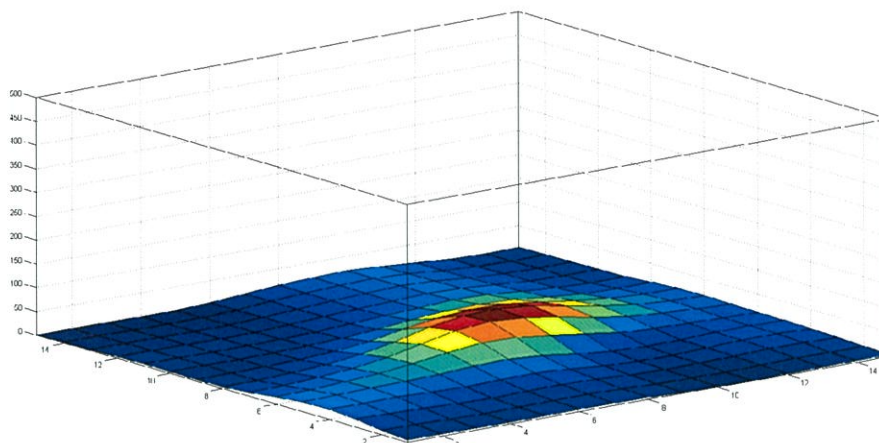
98	91	89	94	100	103	105	103	98	90	89	94	100	103	105
102	95	89	97	107	107	109	109	102	92	91	99	106	108	108
108	100	93	100	109	109	111	110	104	97	97	105	112	114	112
112	103	96	104	112	111	113	110	105	100	100	107	114	118	116
114	104	99	106	111	105	101	97	90	86	87	93	104	112	117
118	109	105	109	104	88	73	66	60	58	59	67	83	99	114
127	119	114	115	102	79	56	49	43	41	39	45	66	87	113
133	124	119	122	114	94	79	70	62	54	44	42	60	83	114
134	123	118	127	129	117	115	105	93	79	60	48	62	84	116
133	123	122	131	139	142	138	131	122	96	69	55	62	94	123
135	125	124	134	142	144	143	136	127	100	73	58	65	97	125
137	127	127	137	145	148	148	141	132	105	77	60	66	99	128
139	129	129	139	148	151	150	144	135	107	78	61	67	100	131
141	131	131	141	150	153	153	147	138	109	78	61	69	102	135
143	132	132	142	152	155	156	150	140	111	80	63	72	107	138

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าระดับเทาของรูปที่ 3.2 ในแต่ละพิกเซล

110	109	109	108	106	105	104	102	101	100	100	101	102	103	104
114	112	111	111	110	109	106	102	100	101	101	101	103	107	107
117	115	114	113	111	110	106	102	99	99	99	99	102	106	109
123	121	119	116	113	111	105	101	97	96	95	96	99	103	107
128	127	125	121	117	114	106	101	96	94	92	93	96	100	105
133	132	130	127	122	119	110	104	99	95	93	92	95	99	106
137	136	134	132	128	125	118	112	106	102	99	97	98	101	106
138	138	137	135	133	131	128	123	117	112	108	104	104	106	108
139	138	138	137	136	134	135	130	124	119	114	110	108	110	113
143	141	140	140	139	139	136	133	129	125	119	113	112	114	117
144	143	142	141	141	141	138	134	130	126	121	115	114	116	119
147	145	144	144	143	143	140	137	132	128	122	117	116	118	121
148	147	146	145	145	145	142	138	134	129	123	118	117	120	123
149	148	147	146	146	146	143	139	134	129	124	119	118	121	124
150	149	148	147	147	147	144	140	134	130	124	119	119	122	125



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความแปรปรวน(Variance) ของรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่าความแปรปรวน(Variance) ของรูปที่ 3.2

ภาพที่โฟกัสในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 15x15 พิกเซล ค่าระดับเทา(Gray Level) ของแต่ละพิกเซลจะแสดงในตารางที่ 3.1 เมื่อทำการหาค่าความแปรปรวนที่ขนาด Window 3x3 พิกเซล กราฟของค่าที่ได้จะแสดงในรูปที่ 3.3 ส่วนภาพที่ไม่โฟกัสในรูปที่ 3.2 ก็มีขนาดเท่ากัน ค่าระดับเทา(Gray Level) จะแสดงในตารางที่ 3.2 กราฟค่าความแปรปรวนที่ได้จะแสดงในรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าภาพที่โฟกัส(ภาพที่ 3.1) นั้นจะมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่า จากกราฟในรูปที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งแกน X และ Y จะเป็นตำแหน่งพิกเซล แกน Z เป็นค่าความแปรปรวนซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าความแปรปรวนภาพที่โฟกัส(ภาพที่ 3.1) มีค่ามากกว่า

3.2 การวัดความชัดของภาพด้วยวิธีการ Sum of wavelet coefficients

การแปลงเวฟเล็ต(Wavelet Transform) เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณเฉพาะหลายๆสัญญาณมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะป็นรูปคลื่นเล็กๆที่เรียกว่า“เวฟเล็ต” ซึ่งจะป็นรูปคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง(Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว

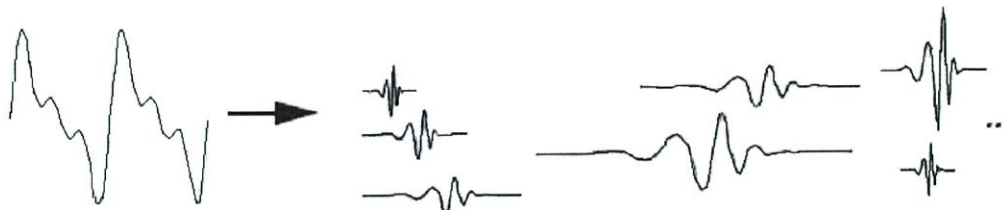
การแปลงเวฟเล็ต(Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณจะแสดงในรูปของผลรวมที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำ(Approximated Version) และองค์ประกอบความถี่สูง(Detailed Version) ในระดับต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตทำหน้าที่เป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบความถี่แต่ละระดับ ดังนั้นในการอธิบายสัญญาณใดๆด้วยการแปลงเวฟเล็ตจึงทำได้โดยนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างแบบฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นฟังก์ชันต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเล็ตแม่(Mother Wavelet) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการปรับสเกล(Scale ; a) หรือการแสดงการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตแม่นั่นเอง ส่วนการเลื่อนตำแหน่ง(Translation or Shifting ; b) จะป็นการแสดงตำแหน่งบนแกนเวลา โดยจะสามารถเขียนสมการของเวฟเล็ตได้ดังสมการที่ (3.6)

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.6)$$

เมื่อ $\psi(t)$ คือ ฟังก์ชันของเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับสเกล
 a คือ พารามิเตอร์ของการปรับสเกล(Scaling)
 b คือ พารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง(Shifting)

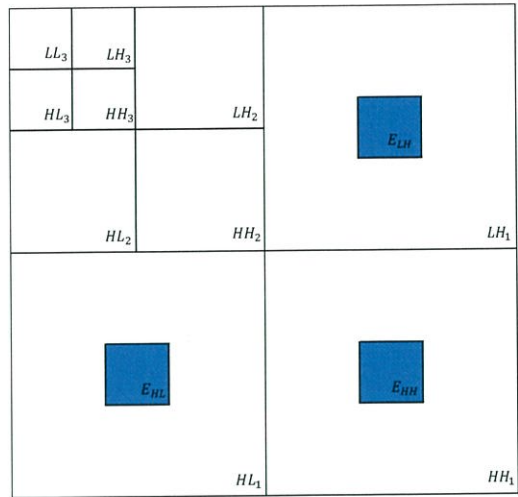
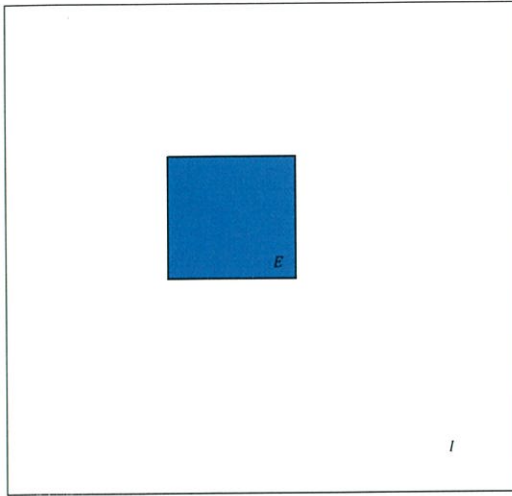
ซึ่งในสมการจะมีการปรับค่าเพื่อให้สัญญาณที่ได้ หลังจากปรับสเกลแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่เสมอ ด้วย $\frac{1}{\sqrt{a}}$



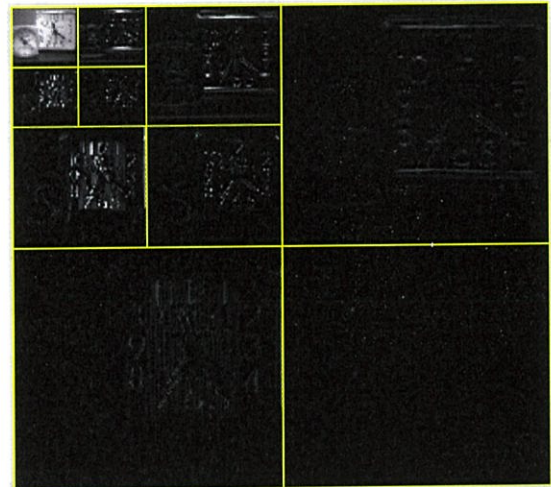
รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟังก์ชันเวฟเล็ต

เมื่อนำสัญญาณใดๆ มาผ่านกระบวนการแปลงเวฟเล็ตก็เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณนั้นให้ออกมาดังรูปของเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับสเกลและตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบของการแปลงเวฟเล็ต โดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง(Continuous Wavelet Transform) และการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย(Discrete Wavelet Transform)

การวัดความชัดด้วยวิธีนี้จะเป็นการหาผลรวมของ Wavelet Coefficient ทางด้านความถี่สูง ซึ่งการแปลงจะใช้การแปลงแบบ Discrete wavelet transform [8] ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ภาพต้นฉบับแทนด้วยสัญลักษณ์ $I(x,y)$, E แทน window ที่มีขนาดกว้างคูณยาว ($w \times l$) โดยที่แถบความถี่ย่อย (Sub band) LH, HL และ HH ที่สัมพันธ์กับ Window ที่ระดับที่ 1(Level 1) จะแทนค่าด้วย E_{LH} , E_{HL} และ E_{HH} ตามลำดับ ส่วนแถบความถี่ย่อย(Sub band) LH, HL และ HH ของการแปลง Wavelet ภาพจะแทนค่าด้วย W_{LH} , W_{HL} และ W_{HH} ตามลำดับ ส่วนค่า Coefficient ของแต่ละแถบความถี่ย่อยจะแทนด้วย μ_{LH} , μ_{HL} และ μ_{HH} ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการแปลงเวฟเล็ตภาพ



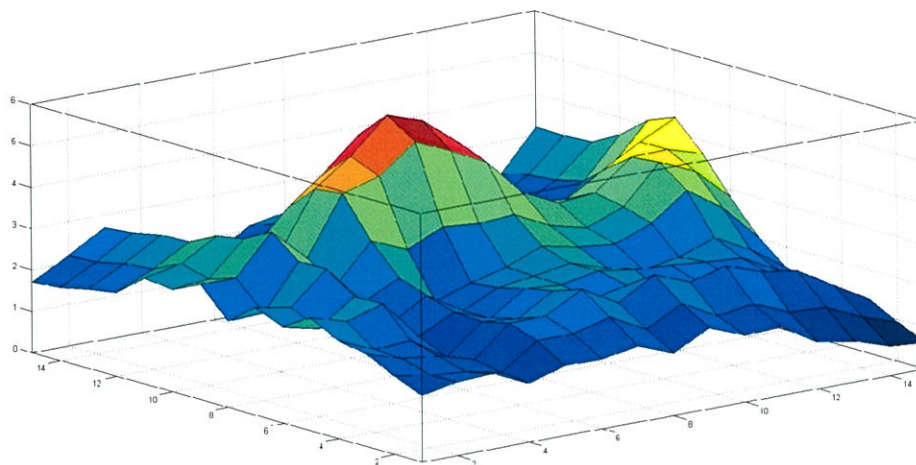
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) แถบความถี่ย่อย(Sub band)
 รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของ Window กับการแปลง Wavelet ในการวัดความชัด



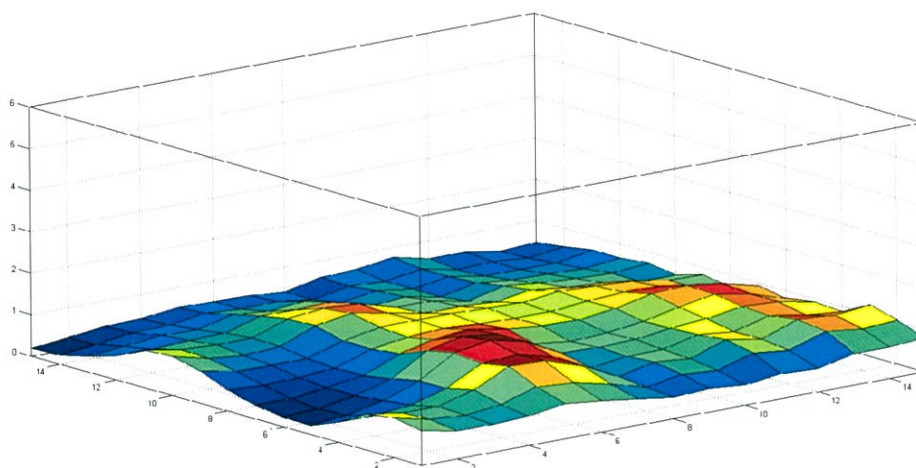
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) แถบความถี่ย่อย(Sub band)
 รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการแปลง Wavelet ที่ Level 3

กระบวนการวัดความชัดแบบ Sum of Wavelet Coefficient สามารถคำนวณได้ตามสมการ ที่ 3.7

$$M_{WT} = \frac{1}{wl} \left[\sum_{(i,j) \in E_{LH}} (W_{LH(i,j)} - \mu_{LH})^2 + \sum_{(i,j) \in E_{HL}} (W_{HL(i,j)} - \mu_{HL})^2 + \sum_{(i,j) \in E_{HH}} (W_{HH(i,j)} - \mu_{HH})^2 \right] \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงค่าผลการทำ Sum of Wavelet Coefficient ของรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่าผลการทำ Sum of Wavelet Coefficient ของรูปที่ 3.2

เมื่อนำภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นภาพที่โฟกัสและภาพที่ 3.2 เป็นภาพที่ไม่โฟกัส มาหาวิธีการคำนวณ Sum of Wavelet Coefficient โดยใช้ขนาด window 3x3 พิกเซล ค่าที่ได้จะแสดงอยู่ในกราฟในรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าภาพที่โฟกัสจะมีค่าที่สูงกว่าภาพที่ไม่โฟกัส

3.3 วิธีการวัดความชัดของภาพด้วยวิธีการ Modified Laplacian

ในการบ่งบอกคุณภาพความชัดของภาพในพื้นที่ขนาดเล็กนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการวัดความชัดของภาพขึ้นมา ซึ่งวิธีการที่ใช้ในอุดมคติจะต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนระดับความเข้มของภาพที่ความถี่สูง และให้ค่าผลลัพธ์ที่มากที่สุดเมื่อบริเวณนั้นของภาพได้โฟกัส เมื่อพิจารณาภาพที่เบลอ จะเป็นลักษณะของการนำภาพที่ชัดไปทำคอนโวลูชันกับฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Function) ดังสมการที่ (3.8) $I_d(x,y)$ เป็นภาพที่เบลอ $I_f(x,y)$ เป็นภาพที่ชัด ส่วน $h(x,y)$ คือฟังก์ชันเกาส์เซียน [9]

$$I_d(x,y) = h(x,y) * I_f(x,y) \quad (3.8)$$

ในสมการที่ (3.8) เป็นสมการของภาพที่เบลอไม่โฟกัสหรือเรียกอีกอย่างว่าเบลอฟังก์ชัน (Blurring Function) ซึ่งเป็นจุดที่น่าสนใจอย่างหนึ่งในการสร้างวิธีการวัดความชัดของภาพ และเมื่อเพิ่มกระบวนการวัดความชัด (Focus Measurement) $o(x,y)$ ลงไปในสมการที่ (3.8) จะได้สมการใหม่ดังสมการที่ (3.9) โดยจะได้ภาพเอาท์พุทเป็น $r(x,y)$ ซึ่งจะแสดงได้ดังนี้

$$r(x,y) = o(x,y) * (h(x,y) * I_f(x,y)) \quad (3.9)$$

เมื่อใช้คุณสมบัติความเป็นลิเนียร์ (Linear) และการเลื่อน (Shift-Invariant) เราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (3.10) [9]

$$r(x,y) = h(x,y) * (o(x,y) * I_f(x,y)) \quad (3.10)$$

ดังนั้นการใช้กระบวนการวัดความชัดในภาพที่เบลอ ก็เปรียบเสมือนกับการทำภาพเบลอ จากภาพที่เกิดจากการคอนโวลูชันภาพที่ชัดกับฟังก์ชันกระบวนการวัด ดังแสดงในสมการที่ (3.10) กระบวนการวัดจะทำการเลือกความถี่ของภาพที่โฟกัส ซึ่งจะมีค่าน้อยเนื่องจากเป็นภาพที่เบลอ เนื่องด้วยภาพที่เบลอจะเป็นเหมือนการที่ภาพผ่านกระบวนการกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ดังนั้นบริเวณภาพที่มีความถี่สูงก็สามารถตรวจจับและบ่งบอกได้ว่าเป็นบริเวณที่ได้โฟกัส อีกนัยหนึ่งกระบวนการวัดความชัดของภาพก็คือการกรองความถี่สูง (High Pass Filter) นั่นเอง

กระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการกรองความถี่สูงของภาพนั้นคือการหาอนุพันธ์อันดับสองภาพ ซึ่งการหาอนุพันธ์อันดับสองจะทำในสองทิศทางคือแนวแกน X และแนวแกน Y ซึ่งกระบวนการนี้จะเรียกอีกอย่างว่า ลาปราชเซียน (Laplacian) โดยสามารถเขียนได้ตามสมการที่ (3.11)

$$\nabla^2 I = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \quad (3.11)$$

จากสมการ 3.8 เมื่อวิเคราะห์ในโดเมนความถี่จะได้ดังสมการ 3.12

$$I_{D(u,v)} = H_{(u,v)} \cdot I_{F(u,v)} \quad (3.12)$$

โดยที่

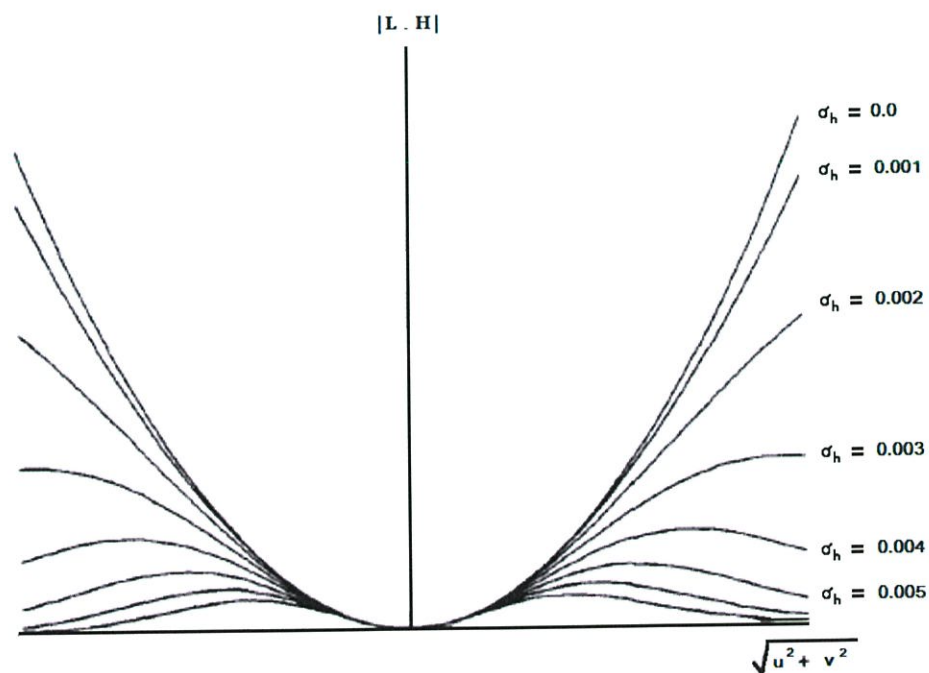
$$H_{(u,v)} = e^{-\left(\frac{u^2+v^2}{2}\right)\sigma_h^2} \quad (3.13)$$

ในโดเมนความถี่เมื่อแปลงลาปราช $L(u, v)$ กับภาพที่เบลอ $I_d(u, v)$ ในสมการ 3.12 จะได้สมการที่ (3.14)

$$L_{(u,v)} \cdot H_{(u,v)} \cdot I_{F(u,v)} \quad (3.14)$$

โดยที่ $L_{(u,v)} \cdot H_{(u,v)}$ มีค่าตามสมการ (3.15)

$$L_{(u,v)} \cdot H_{(u,v)} = -(u^2 + v^2) \cdot e^{-\left(\frac{u^2+v^2}{2}\right)\sigma_h^2} \quad (3.15)$$



รูป 3.10 ผลตอบสนองของอนุพันธ์อันดับสองกับภาพเบลอในโดเมนความถี่ [9]

รูปที่ 3.6 แสดงค่าผลตอบสนองทางความถี่ของ $|L.H|$ ที่ค่าพารามิเตอร์ของการเบลอ σ_h ค่าต่างๆ ซึ่งที่ความถี่ต่างๆ $(u, v), |L.H|$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าพารามิเตอร์ของการเบลอ σ_h ของฟังก์ชันเกียร์เซียน ซึ่งโดยปกติแล้วผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับกระจายตัวทางความถี่ของภาพ และโดยทั่วไปพื้นผิวของภาพจะมีลักษณะเป็นแบบสุ่มที่มีองค์ประกอบจากหลายๆความถี่ ในเมื่อแต่ละความถี่นั้นถูกลดทอนโดยฟังก์ชันเกียร์เซียนในเทอมของ σ_h ในการใช้กระบวนการลาปราชเซียนกับภาพที่เบลอก็เป็นเหมือนกับการหาผลรวมของฟังก์ชันเกียร์เซียนในเทอมของ σ_h ซึ่งผลลัพธ์จะให้ค่าที่มากที่สุดเมื่อค่า σ_h มีค่าเท่ากับ 0 หรือภาพนั้นได้โฟกัส เมื่อพื้นผิวของภาพนั้นเป็นแบบสุ่มตามลักษณะของภาพ ดังนั้นความกว้างของฟังก์ชันเกียร์เซียนก็จะเป็นแบบสุ่ม และเมื่อใช้ทฤษฎีขีดจำกัดกลาง(Center Limit Theorem) ผลของการทำกระบวนการลาปราชเซียน ณ จุดใดๆก็คือค่าสัมประสิทธิ์ σ_h ของฟังก์ชันเกียร์เซียน [9]

เนื่องจากกระบวนการลาปราชเซียนเป็นการหาอนุพันธ์อันดับสองในทิศทางแนวแกน X และแนวแกน Y ของภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถมีค่าบวกกับค่าลบที่ตรงกันข้ามกัน ซึ่งมีโอกาสที่จะหักล้างกันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ภาพมีพื้นผิวที่ละเอียดจะทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์นี้ได้บ่อย เป็นผลให้การทำงานมีลักษณะที่ไม่แน่นอน(Unstable) เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีการปรับปรุงวิธีการลาปราชเซียน(Modified Laplacian) [9] ดังสมการที่ (3.16)

$$\nabla^2_M I = \left| \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \right| \quad (3.16)$$

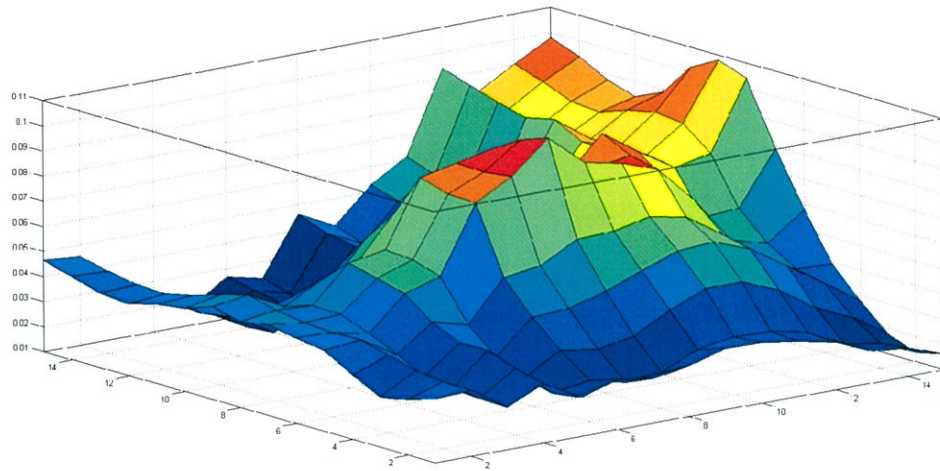
ซึ่งวิธีการ Modified Laplacian จะให้ค่าที่สูงกว่าหรือเท่ากับวิธีการ Laplacian เสมอ โดยที่การคำนวณ Laplacian แบบเต็มหน่วย(Discrete) ปกติจะใช้การคำนวณแบบ Mask ที่ขนาด 3×3 เพื่อให้รองรับรูปแบบต่างๆของพื้นผิวของภาพ และใช้การคำนวณแบบอนุพันธ์แบ่งส่วน(Partial derivative) โดยใช้ตัวแปรระยะห่างระหว่างพิกเซลในการคำนวณอนุพันธ์ ซึ่งการคำนวณ Modified Laplacian แบบเต็มหน่วย (Discrete Modified Laplacian) จะได้ตามสมการ (3.17)

$$ML_{(x,y)} = \left| 2I_{(x,y)} - I_{(x-step,y)} - I_{(x+step,y)} \right| \\ + \left| 2I_{(x,y)} - I_{(x,y-step)} - I_{(x,y+step)} \right| \quad (3.17)$$

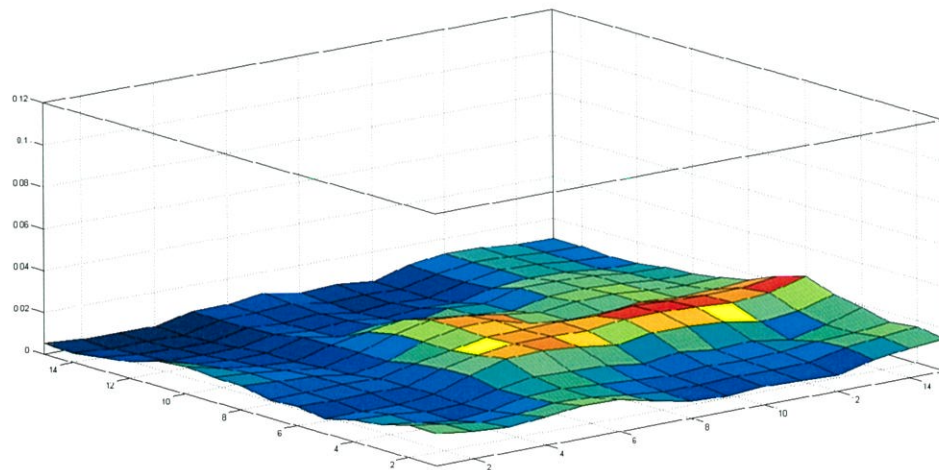
ในที่สุดท้ายการคำนวณความชัดที่จุด (i, j) จะทำการหาผลรวมค่าผลลัพธ์ของการคำนวณ Modified Laplacian ใน Window ที่อยู่รอบจุด (i, j) ถ้าค่าผลลัพธ์มากกว่าค่า Threshold ดังสมการ (3.18)

$$F_{(i,j)} = \sum_{x=i-n}^{i+N} \sum_{y=j-N}^{j+N} ML_{(x,y)} \text{ For } ML_{(x,y)} \geq T_1 \quad (3.18)$$

ตัวแปร N เป็นขนาด window ที่ใช้ในการคำนวณความชัด มีค่าได้ตั้งแต่ 3 X 3, 5 X 5, 7 X 7 ฯลฯ กระบวนการที่กล่าวไปข้างต้นเรียกว่า Sum of Modified Laplacian



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าผลการทำงาน Sum of Modified Laplacian ของรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าผลการทำงาน Sum of Modified Laplacian ของรูปที่ 3.2

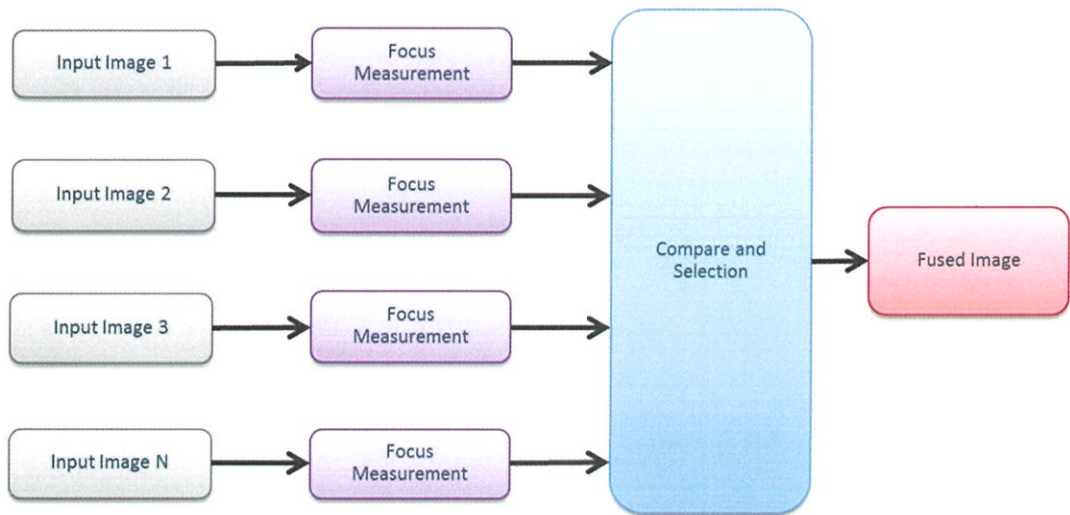
เช่นเดียวกันกับวิธีการวัดความชัดอื่นๆ เมื่อนำภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นภาพที่โฟกัสและภาพที่ 3.2 เป็นภาพที่ไม่โฟกัสมาทำการคำนวณ Sum of Modified Laplacian ภาพที่ได้โฟกัสจะให้ค่าของการคำนวณ Sum of Modified Laplacian ที่มากกว่าภาพที่ไม่ได้โฟกัสซึ่งจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 3.11 และ 3.12

บทที่ 4

การออกแบบวิธีการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุด

4.1 การรวมภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างกันด้วยวิธีการวัดความชัด (Multi-Focus Images Fused)

โดยอาศัยวิธีการวัดความชัดของภาพ เราสามารถทำการรวมภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างกันตั้งแต่สองภาพขึ้นไปได้ โดยกระบวนการจะเริ่มจากการวัดโฟกัสของภาพอินพุตแต่ละภาพ จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ที่ละพิกเซลกับภาพผลลัพธ์ของภาพอื่นๆ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน โดยที่ถ้าผลลัพธ์ของภาพอินพุตไหนให้ค่ามากที่สุดก็จะเลือกภาพอินพุต(Input Image)ที่ตำแหน่งพิกเซลที่สัมพันธ์กันนั้นไปเป็นภาพเอาต์พุต(Output Image) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำทุกพิกเซลจนครบหมดทั้งภาพก็จะได้ภาพเอาต์พุตที่ชัดหมดทั้งภาพ บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการทำงานจะแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมวิธีการรวมภาพ



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการรวมภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างกัน

ภาพที่ 4.2 แสดงแบบจำลองการรวมภาพที่โฟกัสต่างตำแหน่งกัน โดยภาพอินพุตจะมีสองภาพ ภาพแรกเป็นภาพที่โฟกัสวัตถุใกล้(Font Focus) ซึ่งจะเห็นว่าวัตถุที่อยู่ใกล้เป็นกล่องสี่ดำจะมีความชัด ส่วนวัตถุไกลคือกล่องสีขาวจะไม่ชัดหรือเบลอ(BLUR) กลับกันในส่วนของภาพที่สองจะโฟกัสวัตถุไกลคือกล่องสีขาวจะชัดส่วนวัตถุใกล้จะเบลอ และเมื่อผ่านกระบวนการการรวมภาพแล้วก็จะได้ภาพเอาท์พุตที่ชัดหมดทั้งภาพ(All Focus)

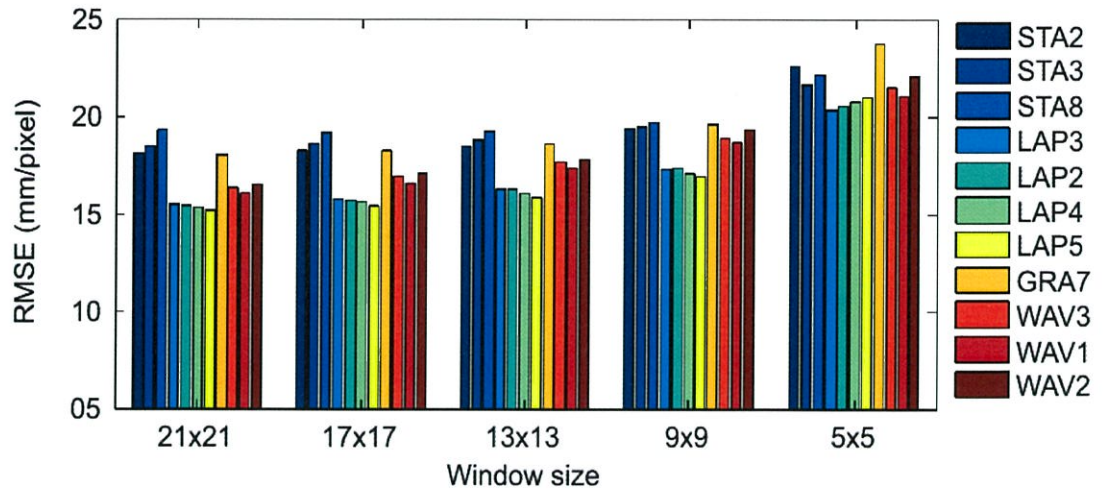
4.2 ผลกระทบของขนาด Window ต่อประสิทธิภาพการวัดความชัดของภาพ

จากวิธีการวัดความชัดแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจะเห็นว่าองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวัดความชัดภาพนั้นก็คือนาฬิกาของ Window ที่ใช้ จากหลายๆ งานวิจัยจะเห็นว่ามีการนำเสนอวิธีการเลือกขนาดของ Window ให้เหมาะสมกับภาพที่นำมาวัดความชัด [2][3] เพราะถ้าหากใช้ขนาด Window ที่ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพการวัดความชัดนั้นลดลงแล้วจะทำให้ผลการรวมภาพนั้นมีค่าความผิดพลาดมาก ในการวัดประสิทธิภาพการวัดความชัดนั้นจะใช้ภาพอ้างอิงที่มีความชัดหมดทั้งภาพมาเปรียบเทียบกับภาพเอาท์พุตที่ได้จากกระบวนการรวมภาพ ในงานของ Said P. [1] ได้สรุปไว้ว่าวิธีการวัดกลุ่ม Wavelet-Base มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการวัดที่ดีขึ้นเมื่อขนาดของ Window ที่ใช้วัดนั้นมีขนาดที่ลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือวิธีการนี้มีความคงทนต่อขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนกลุ่ม Gradient-Base นั้นไวต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด Window มากที่สุด ดังแสดงกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งวิธีการหาความผิดพลาดของการวัดความชัดของภาพนั้นจะใช้วิธี Root Mean Square Error (RMSE)

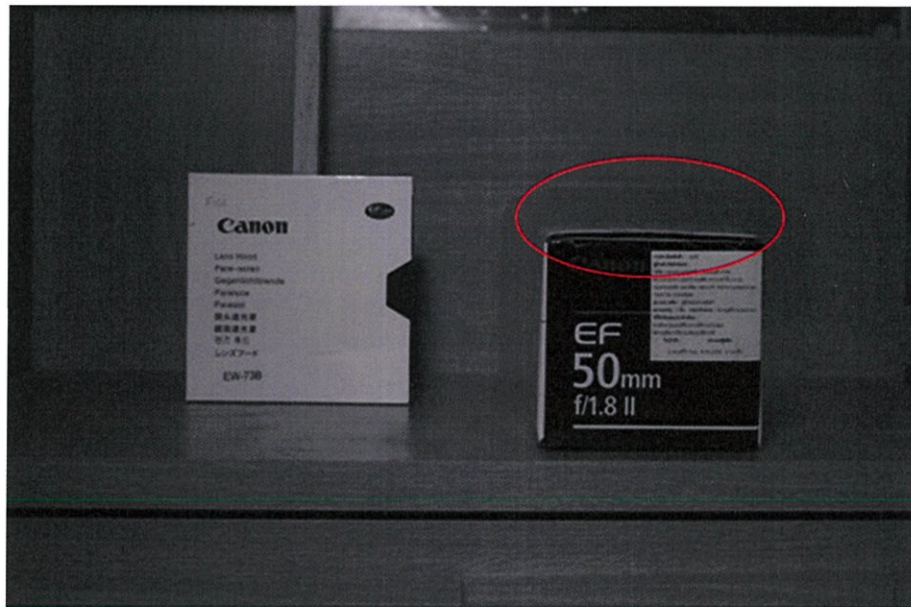
ซึ่งในงานของ Said P. [1] ได้ทำการศึกษาวิธีการวัดความชัดหลายวิธีโดยแต่ละวิธีจะมีตัวอย่างตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของวิธีการวัดความชัดแบบต่างๆ [1]

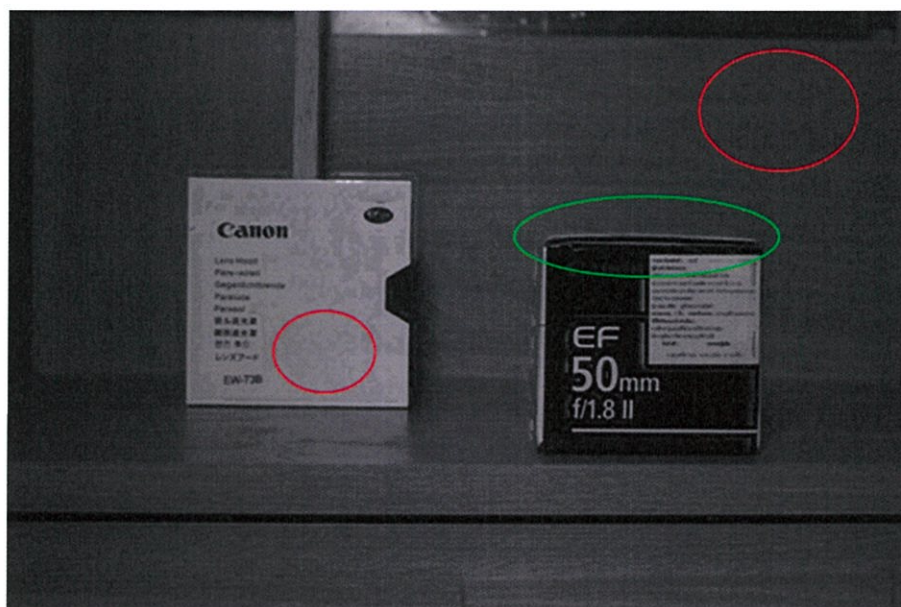
Focus operator	Abbr.	Focus operator	Abbr.
Gradient energy	GRA2	Gray-level variance	STA3
Gaussian derivative	GRA1	Gray-level local variance	STA4
Thresholded absolute gradient	GRA3	Normalized gray-level variance	STA5
Squared gradient	GRA4	Modified gray-level variance	STA6
3D gradient	GRA5	Histogram entropy	STA7
Tenengrad	GRA6	Histogram range	STA8
Tenengrad variance	GRA7	DCT energy ratio	DCT1
Energy of Laplacian	LAP1	DCT reduced energy ratio	DCT2
Modified Laplacian	LAP2	Modified DCT	DCT3
Diagonal Laplacian	LAP3	Absolute central moment	MIS1
Variance of Laplacian	LAP4	Brenner's measure	MIS2
Laplacian in 3D window	LAP5	Image contrast	MIS3
Sum of wavelet coefficients	WAV1	Image curvature	MIS4
Variance of wavelet coefficients	WAV2	Hemli and Scherer's mean	MIS5
Ratio of the wavelet coefficients	WAV3	Local binary patterns-based	MIS6
Ratio of curvelet coefficients	WAV4	Steerable filters-based	MIS7
Chebyshev moments-based	STA1	Spatial frequency measure	MIS8
Eigenvalues-based	STA2	Vollath's autocorrelation	MIS9



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการวัดเทียบกับขนาด Window [1]



รูปที่ 4.4 แสดงผลการรวมภาพของวิธีการวัดความชัดที่ใช้ขนาด Window ที่ใหญ่



รูปที่ 4.5 แสดงผลการรวมภาพของวิธีการวัดความชัดที่ใช้ขนาด Window ที่เล็ก

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นผลกระทบของขนาด Window ต่อประสิทธิภาพการวัดได้อย่างชัดเจน โดยที่รูปที่ 4.4 จะใช้ขนาด Window ที่ใหญ่เกินไปส่งผลให้ผลของการรวมภาพนั้นผิดพลาดตรงบริเวณรอยต่อของการรวมภาพ ทำให้ภาพที่ได้มีรอยต่อที่หยاب ส่วนรูปที่ 4.5 จะใช้ขนาด Window ที่เล็กเกินไป ที่ให้ผลการรวมภาพเกิดสัญญาณรบกวน(Noise) แต่รอยต่อของภาพจะราบเรียบ

4.3 การรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ

จากหัวข้อก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า ขนาดของ Window นั้นมีความสำคัญต่อการวัดความชัดของภาพมาก ถ้าหากเลือกขนาดที่ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้การวัดความชัดของภาพนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ส่งผลให้การเลือกภาพมารวมเป็นภาพเอาร์ทพุตนั้นผิดพลาดไปด้วย ดังตัวอย่างในหัวข้อก่อนหน้านี้ ในการหาขนาดของ Window ที่เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นเรื่องยากพอสมควรเพราะจะต้องทำการทดลองที่ขนาด Window หลายๆขนาด แล้วเลือกขนาดที่ให้ผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าเป็นเรื่องที่ต้องเสียเวลาและไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการลดระยะเวลาการทำงานและความสะดวกต่อการใช้งานของการหาขนาดของ Window ที่ใช้ในการวัดความชัด

งานที่นำเสนอจะพัฒนามาบนพื้นฐานการวัดความชัดของภาพแบบ Sum of Modified Laplacian (SML) ซึ่งมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน และให้ผลลัพธ์ของการวัดความชัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยวิธีการคำนวณจะใช้ขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลงอย่างอัตโนมัติให้เหมาะสมกับแต่พื้นที่ของภาพ

วิธีการวัดแบบ SML จะอยู่ในกลุ่ม Laplacian-Based ซึ่งมีผลการวัดภาพปกติที่มีสัญญาณรบกวนต่ำที่ดี อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะต้องเลือกขนาด Window ให้เหมาะสมกับภาพที่จะนำมาวัดความชัด หากเลือกขนาดที่ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ผลการวัดออกมาไม่ดี ถึงแม้ว่าจะได้ขนาดที่เหมาะสมแล้ว จากการสังเกตจะเห็นได้ว่าตรงรอยต่อจะมีผลการวัดที่ผิดพลาดจากขนาดของ Window ที่ใช้ ในงานของ Cheng-I Chen และคณะได้นำเสนอการวัดความชัดแบบใช้ขนาด

Window หลายขนาดโดยขึ้นอยู่กับขอบภาพแบบ Discriminative edge โดยใช้วิธีการหาขอบภาพ แล้วหาขนาดของ Window ที่เหมาะสมจากนั้นก็คำนวณหาค่าความชัดของภาพ [5]

4.3.1 การคำนวณหาความชัดของภาพ

การวัดความชัดจะพัฒนาบนพื้นฐานงานของ S. Nayar ซึ่งเป็นการวัดแบบ SML วิธีคือการหาผลรวมของการแปลง Modified Laplacian โดยการแปลงนั้นจะทำการ Convolution ภาพกับ Mask ในแนวแกน X และแนวแกน Y

$$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j) \quad (4.1)$$

สมการที่ (4.1) แสดงการหาค่าผลรวมของการแปลง Modified Laplacian ตามขนาด Window ซึ่งการเลือกขนาด Window จะขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวนที่เปลี่ยนแปลงซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป ส่วน Δ_m คือการแปลง Modified Laplacian หาได้โดย

$$\Delta_m I = |I * L_x| + |I * L_y| \quad (4.2)$$

สมการที่ (4.2) เป็นการทำ Convolution ระหว่างภาพ (I) กับ Mask ในแนวแกน X (L_x) และแนวแกน Y (L_y) โดย Mask ที่ใช้จะได้จากสมการที่ 3.15 ซึ่งมีค่าดังสมการที่ (4.3) และ (4.4) [9]

$$L_x = [-1 \quad 2 \quad -1] \quad (4.3)$$

$$L_y = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ที่ตำแหน่งพิกเซลใดๆ $I(x,y)$ จะได้ค่าผลรวมการแปลง Modified Laplacian เป็น $\phi_{x,y}$ ค่านี้จะแปรผันตามความชัดของภาพ ถ้าตำแหน่งใดมีค่ามากก็แสดงว่าตำแหน่งนั้นได้โฟกัสจึงมีความชัด

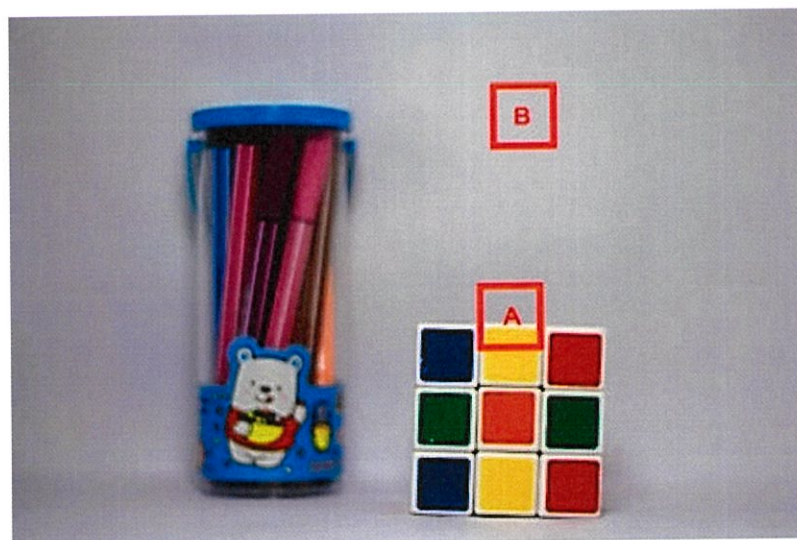
4.3.2 การเลือกขนาด Window ที่ใช้ในการวัดความชัดแบบอัตโนมัติ

เมื่อพิจารณาภาพที่โฟกัสเฉพาะจุด แล้วจะเห็นว่าตรงบริเวณรอยต่อระหว่างจุดที่ชัดและจุดที่เบลอจะมีรอยต่อที่ชัดเจน เมื่อทำการหาขอบภาพแล้วก็จะได้ขอบของรอยต่อนี้ ดังนั้นตรงจุดนี้จะใช้ขนาด Window ที่เล็ก

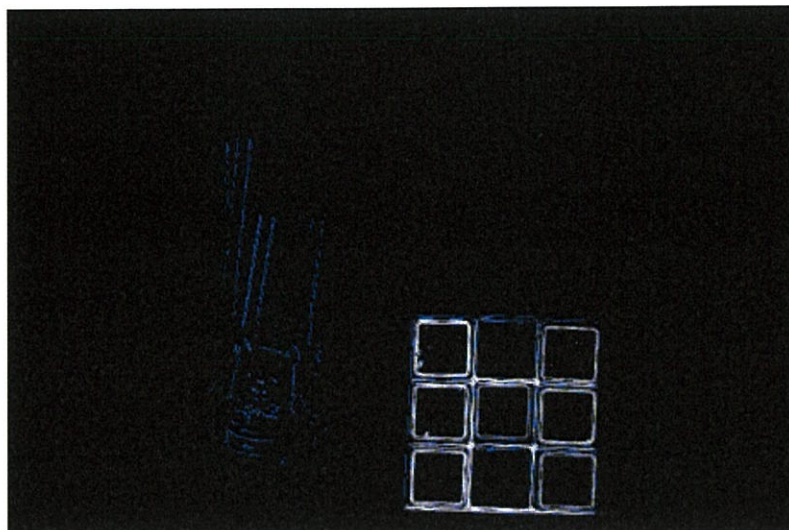
$$\sigma^2 = \frac{1}{XY} \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (I_{(i,j)} - \bar{I})^2 \quad (4.5)$$

σ^2	คือค่าความแปรปรวน
$I_{(i,j)}$	คือค่าระดับเทาที่ตำแหน่ง i, j
\bar{I}	คือค่าระดับเทาเฉลี่ยใน Window
$\Omega(x,y)$	คือฟังก์ชัน Window
X, Y	คือขนาด Window

เกณฑ์ในการปรับขนาด Window นั้นจะใช้ค่าความแปรปรวน(Variance)ของความเข้มระดับเทาใน Window เป็นตัวตัดสิน โดยจะใช้สมการที่ (4.5) ซึ่งเป็นสมการหาค่าความแปรปรวน เมื่อหาค่าความแปรปรวนที่ขนาด Window ที่ลดลงแล้วถ้าค่าความแปรปรวนที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยแสดงว่าข้อมูลบริเวณนั้นของภาพไม่มีลักษณะเด่นซึ่งจะไม่ใช้ขอบภาพ จึงกลับไปใช้ขนาด Window ที่ใหญ่ในการวัด แต่ถ้าค่าความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามขนาด Window ที่ลดลงแสดงว่าข้อมูลตรงบริเวณนั้นมีลักษณะเด่นหรือเป็นขอบภาพ ในกรณีนี้ขนาด Window จะลดลงจนค่าความแปรปรวนไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงเลือกขนาด Window นั้นมาใช้ในการวัด



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งการหาค่าความแปรปรวนของภาพโฟกัสด้านหน้า

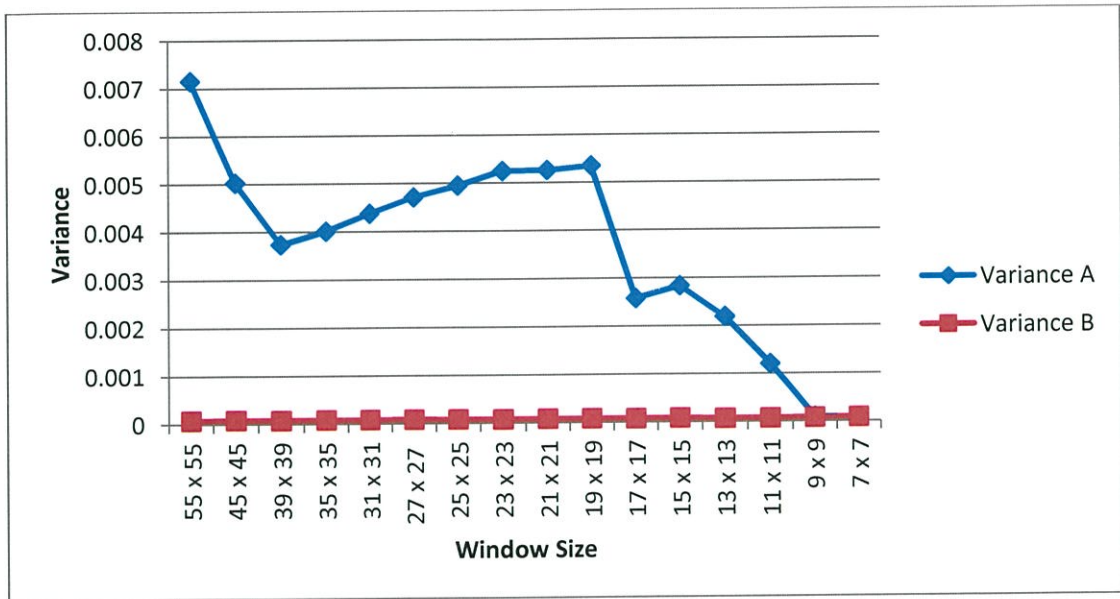


รูปที่ 4.7 ภาพผลการทำ Modified Laplacian

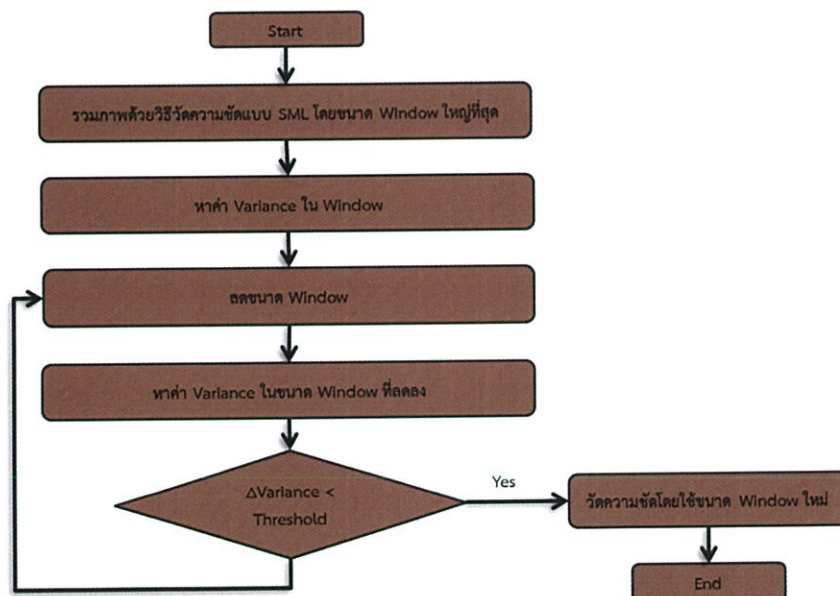
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแปรปรวนที่ตำแหน่ง A และ B

Window Size	Variance	
	A	B
55 x 55	0.007157	0.000071
45 x 45	0.005022	0.000075
39 x 39	0.003738	0.000074
35 x 35	0.004015	0.000077
31 x 31	0.00438	0.000078
27 x 27	0.004712	0.00008
25 x 25	0.004949	0.000076
23 x 23	0.005252	0.000073
21 x 21	0.005264	0.000078
19 x 19	0.005348	0.000076
17 x 17	0.002576	0.000073
15 x 15	0.002834	0.000076
13 x 13	0.002186	0.000068
11 x 11	0.001206	0.000065
9 x 9	0.000092	0.000073
7 x 7	0.000076	0.000079

จากรูปที่ 4.6 เป็นรูปที่โฟกัสด้านหน้าที่ตำแหน่งรูบิคซึ่งบริเวณนี้จะชัด ส่วนบริเวณอื่นจะเบลอ เมื่อทำ Modified Laplacian จะได้ผลดังรูปที่ 4.7 ซึ่งบริเวณที่มีรายละเอียดจะเกิดเป็นขอบภาพ และเมื่อทำการหาค่าความแปรปรวนที่จุด A และจุด B ที่ขนาด Window ต่างๆ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 เห็นว่าที่จุด B เป็นบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย เมื่อขนาด Window ลดลงแต่ค่าความแปรปรวนจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นตรงจุดนี้จะใช้ขนาด Window ที่ใหญ่ ส่วนที่จุด A เป็นบริเวณที่มีรายละเอียดมาก ค่าความแปรปรวนจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาด Window ลดลง ดังนั้นจุดนี้จะใช้ขนาด Window ที่เล็กลง ซึ่งเมื่อนำค่าไปเขียนเป็นกราฟจะได้ดังรูป 4.8 จะเห็นได้ความแตกต่างอย่างชัดเจน

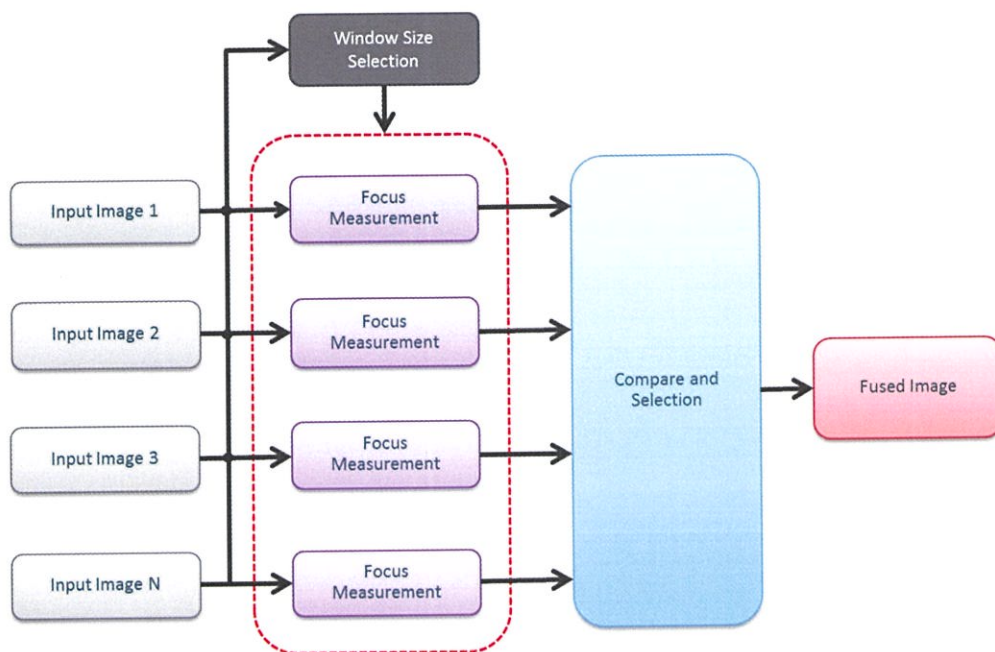


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแปรปรวนที่ตำแหน่ง A และ B



รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการรวมภาพแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ

จากภาพที่ 4.9 ขั้นตอนการรวมภาพแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ โดยกระบวนการเริ่มที่ขนาด Window ที่ใหญ่ ในวิธีการวัดความชัดแบบ Sum of Modified Laplacian ก่อน จากนั้นจะหาค่าความแปรปรวนเทียบกับขนาด Window ที่เล็กลงถ้าค่าความแปรปรวนมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำการลดขนาด Window จนกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความแปรปรวนจะน้อยกว่าค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ก็จะได้ขนาด Window ที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้นของภาพ เมื่อได้ขนาด Window ที่เหมาะสมแล้วก็จะทำการวัดความชัดของภาพอีกครั้งด้วยขนาด Window ใหม่ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะทำบนทุกพิกเซลของภาพ ดังนั้นการวัดความชัดแบบใหม่จะใช้ขนาด Window ที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ของภาพ โดยที่บล็อกไดอะแกรมวิธีการที่ปรับปรุงจะแสดงในรูป 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองจะใช้ภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างๆกัน จากนั้นก็ทำการรวมภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิงที่มีความชัดทั้งภาพแล้วหาค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error) ดังสมการที่ 5.1 โดยกระบวนการทั้งหมดจะออกแบบและทดลองโดยใช้โปรแกรม Matlab 2012b

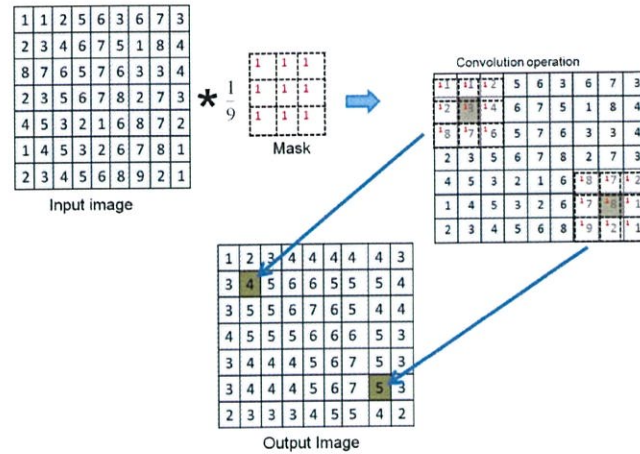
$$MSE = \frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (RI_{(x,y)} - FI_{(x,y)})^2 \quad (5.1)$$

<i>MSE</i>	คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสอง
<i>RI</i>	คือ ภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพ
<i>FI</i>	คือ ภาพที่ได้จากการรวมภาพ
<i>X, Y</i>	คือ ขนาดภาพ

การทดลองนั้นจะแบ่งออกเป็นสามการทดลอง การทดลองแรกภาพต้นฉบับจะได้จากการสังเคราะห์ การทดลองที่สองภาพต้นฉบับจะได้จากกล้องดิจิตอลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR) ส่วนการทดลองสุดท้ายจะเป็นการทดลองภาพที่โฟกัสแบบลำดับ (Sequence Focus) โดยภาพจะได้มาจากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) แต่ละการทดลองจะเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธี Sum of Modified of Laplacian, Gray Level Variance และวิธี Sum of Wavelet Coefficients

5.1 การทดลองด้วยภาพสังเคราะห์ (Synthetic Image)

จากหัวข้อในบทที่ 3 ที่อธิบายการเกิดภาพเบลอ ก็คือการนำภาพที่ชัดไปคอนโวลูชัน (Convolution) กับฟังก์ชันเกาส์เซียน หรือการทำกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ดังแสดงในรูป 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการกระบวนกรคอนโวลูชันภาพ

ดังนั้นการทดลองนี้จะทำภาพที่ชัดมาทำให้เบลอในบางจุดที่ตำแหน่งแตกต่างกันจากนั้นก็ใช้วิธีการวัดความชัดเลือกเอาเฉพาะส่วนที่ชัดไปรวมเป็นภาพเอทพุต แล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับที่ไม่ได้ทำการเบลอแล้วหาค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธี

5.1.1 การทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.2 ภาพสังเคราะห์ที่วัตถุไกลชัดชุดที่1

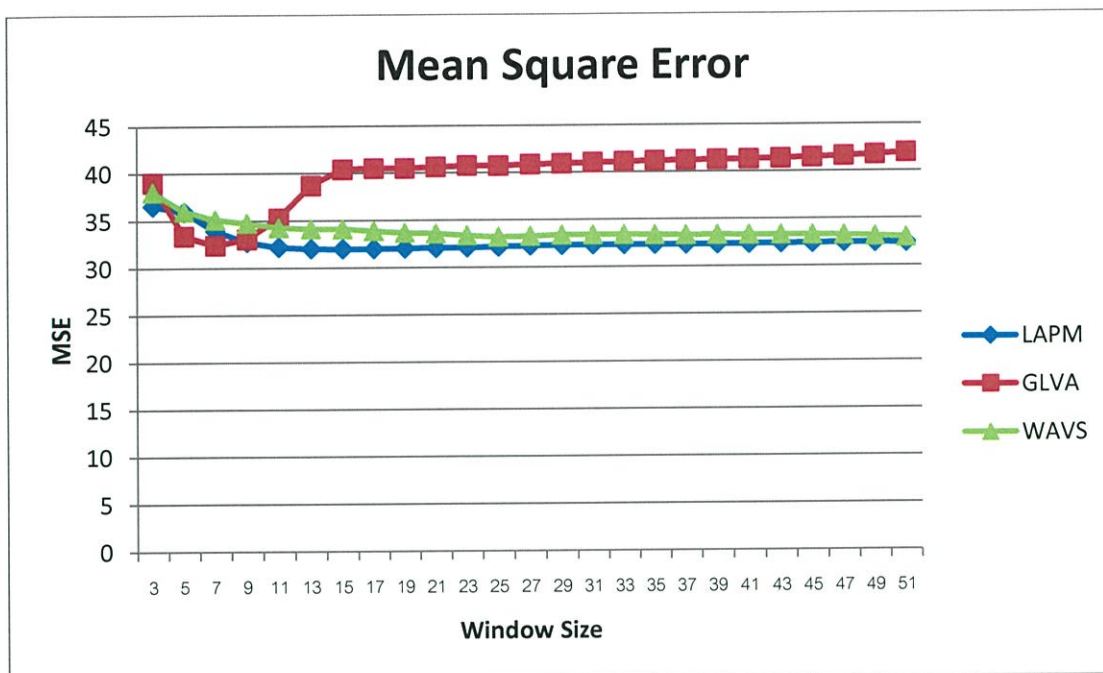


รูปที่ 5.3 ภาพสังเคราะห์ที่วัตถุใกล้ชัดชัดที่ 1



รูปที่ 5.4 ภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพชัดที่ 1

ภาพชุดนี้เป็นภาพสังเคราะห์ที่ทำให้ภาพบางส่วนเบลอ ซึ่งงานวิจัยวิธีการวัดความชัดของภาพหลายงานวิจัยได้ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของวิธีการวัดความชัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการวัดแบบต่างๆ เทียบกับวิธีที่นำเสนอ โดยภาพแรกคือรูปที่ 5.2 วัตถุที่อยู่ไกลจะชัด ภาพที่สองคือรูปที่ 5.3 วัตถุใกล้จะชัด ส่วนภาพสุดท้ายภาพอ้างอิงคือรูปที่ 5.4 จะชัดหมดทั้งภาพ



รูปที่ 5.5 กราฟค่าความผิดพลาดของวิธีการวัดต่อขนาด Window ของภาพสี่แฉกชุดที่ 1

5.1.1.1 ผลการทดลองกับภาพสี่แฉกด้วยภาพชุดที่ 1

จากกราฟในรูปที่ 5.5 วิธีการ Sum of Modified Laplacian (LAPM) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 31.97 ที่ขนาด Window 15x15 วิธีการ Gray Level Variance (GLVA) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 32.4 ที่ขนาด Window 7x7 ส่วนวิธีการ Sum of Wavelet Coefficients (WAVS) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 32.98 ที่ขนาด Window 51x51



รูปที่ 5.6 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 15x15 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.7 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.8 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 51x51 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.9 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ของภาพชุดที่ 1

รูปที่ 5.6 เป็นผลการรวมภาพที่ใช้วิธีวัดความชัดแบบ Sum of Modified Laplacian ที่ใช้ขนาด Window 15x15 รูปที่ 5.7 เป็นของวิธี Gray Level Variance ที่ขนาด Window 7x7 รูปที่ 5.8 เป็นของวิธี Sum of Wavelet Coefficients ที่ขนาด Window 51x51 ซึ่งขนาด Window ที่ใช้ในแต่ละวิธีจะเป็นขนาดที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดซึ่งได้มาจากกราฟที่ 5.1 และในส่วนของรูปที่ 5.9 นั้นเป็นผลของการรวมภาพที่ใช้วิธีการวัดของงานที่นำเสนอ เมื่อนำค่าความผิดพลาด(Mean square error) มาเปรียบเทียบกับกันได้ตามตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นว่างานที่นำเสนอให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 1

Operation	Window Size	MSE	Time(s)
LAPM	15x15	31.97	0.55
GLVA	7x7	32.40	0.60
WAVS	51x51	32.98	0.66
Proposed	-	31.68	5.31

5.1.2 การทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.10 ภาพสังเคราะห์ที่วัตถุด้านหน้าชัดของภาพชุดที่ 2

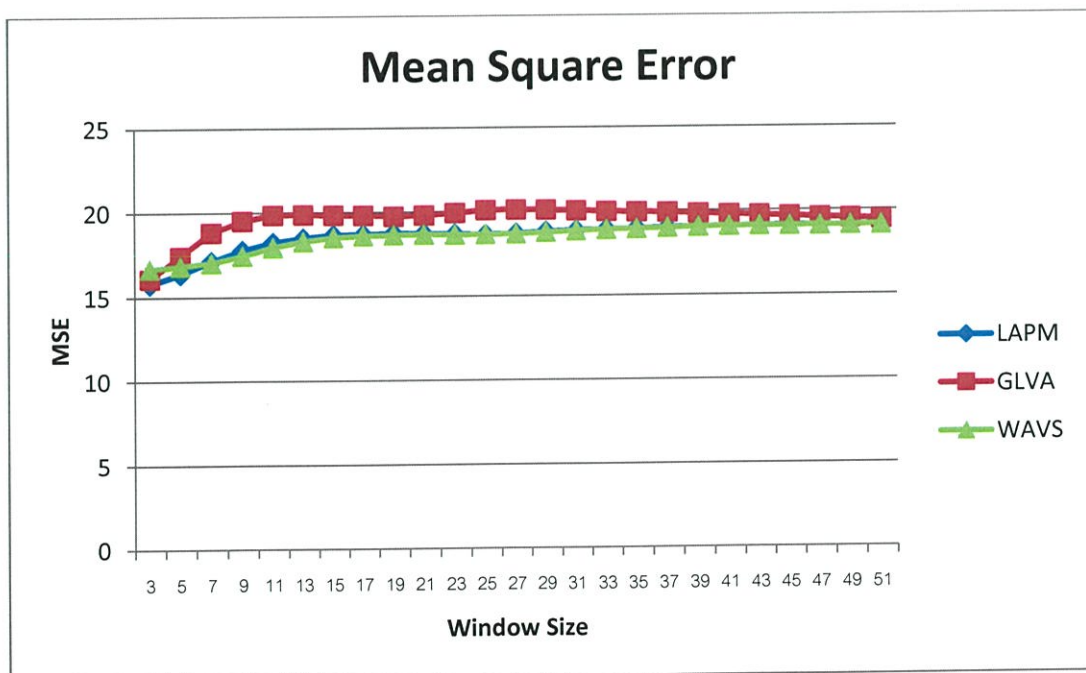


รูปที่ 5.11 ภาพสังเคราะห์ที่ฉากด้านหลังชัดของภาพชุดที่ 2

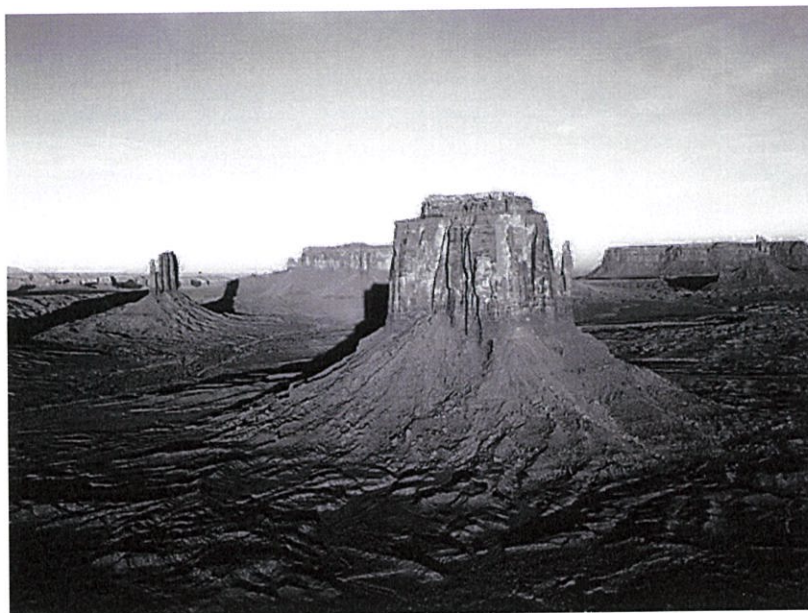


รูปที่ 5.12 ภาพที่ขัดหมดทั้งภาพของภาพชุดที่ 2

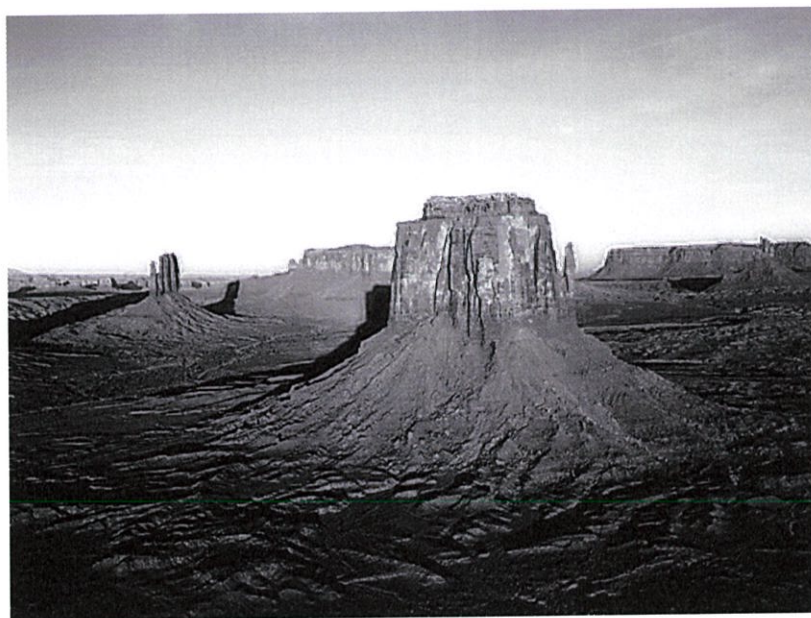
ภาพชุดนี้เป็นภาพสังเคราะห์ที่ทำให้ภาพบางส่วนเบลอ โดยใช้โปรแกรม Photoshop โดยรูปที่ 5.10 จะให้ส่วนของท้องฟ้าเบลอ รูปที่ 5.11 จะให้บริเวณแผ่นดินเบลอ ส่วนรูปที่ 5.12 เป็นภาพต้นฉบับที่ขัดหมดทั้งภาพ



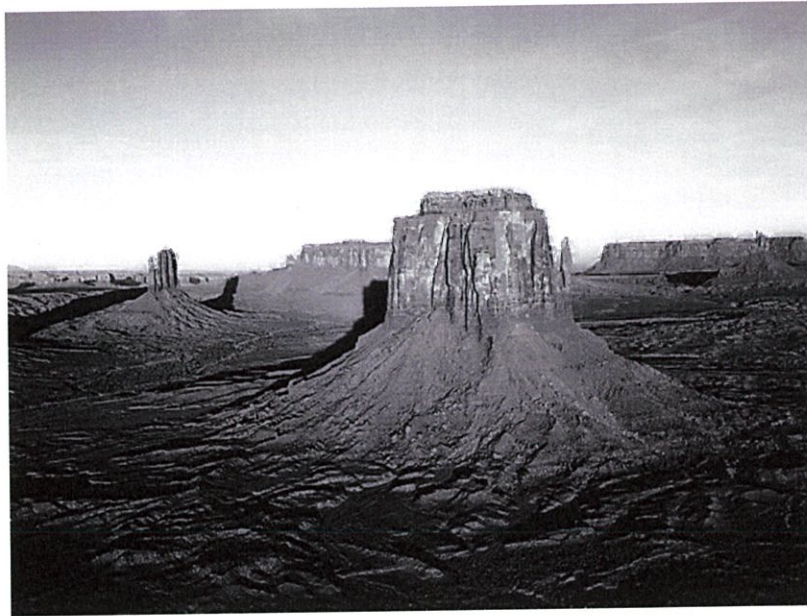
รูปที่ 5.13 กราฟค่าความผิดพลาดของวิธีการวัดต่อขนาด Window ของภาพสังเคราะห์ ชุดที่ 2



รูปที่ 5.14 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.15 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.16 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.17 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอของภาพชุดที่ 2

5.1.2.1 ผลการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2

เมื่อนำขนาด Window ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดจากกราฟในรูปที่ 5.13 มาใช้ในการคำนวณ ในรูปที่ 5.14 เป็นผลการรวมภาพที่ใช้วิธีวัดความชัด SML ที่ใช้ขนาด Window 3x3 รูปที่ 5.15 เป็นของวิธี Gray Level Variance ที่ขนาด Window 3x3 รูปที่ 5.16 เป็นของวิธี Sum of Wavelet Coefficients ที่ขนาด Window 3x3 ส่วนของรูปที่ 5.17 นั้นเป็นผลของการรวมภาพที่ใช้วิธีการวัดของงานที่นำเสนอ และเมื่อนำค่าความผิดพลาดมาเปรียบในตารางที่ 5.2 งานที่นำเสนอจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความผิดพลาดของการทดลองกับภาพสังเคราะห์ด้วยภาพชุดที่ 2

Operation	Window Size	MSE	Time
LAPM	3x3	15.73	0.89
GLVA	3x3	16.06	0.72
WAVS	3x3	16.65	0.95
Proposed	-	15.61	10.64

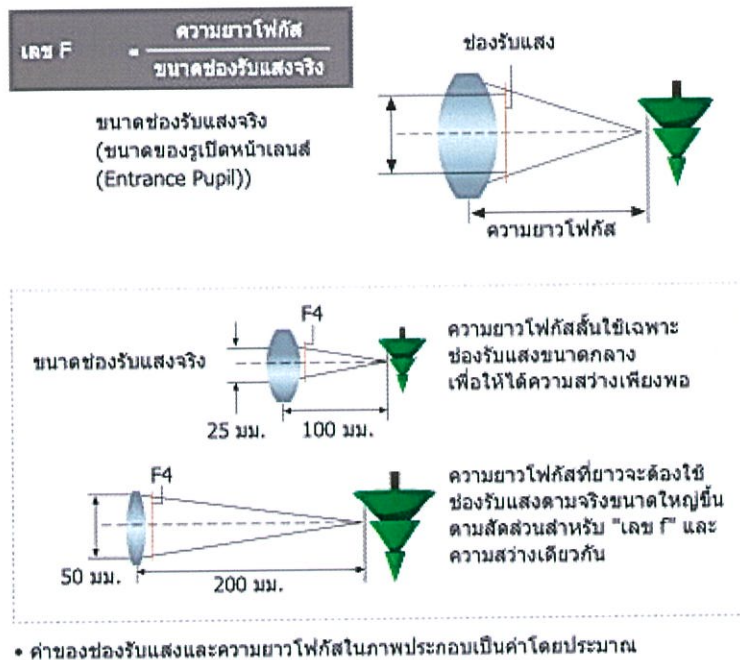
5.2 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR)

ด้วยข้อดีของกล้องดิจิทัลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR) ที่สามารถควบคุมระยะชัดลึก (Depth of Field, DOF) ได้ด้วยการปรับขนาดรูรับแสง (Aperture) ของเลนส์ที่ใช้ถ่ายภาพ ทำให้ภาพที่ได้สามารถกำหนดได้ว่าจะให้ชัดระยะเท่าไร จึงเหมาะต่อการทดลองวัดประสิทธิภาพรวมภาพ



รูปที่ 5.18 กล้องดิจิทัลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR)[10]

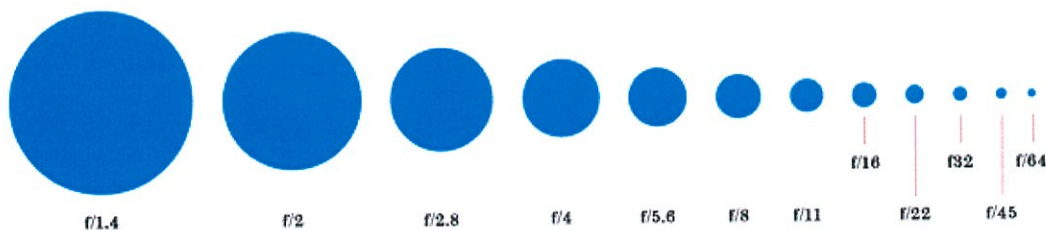
รูปที่ 5.18 เป็นตัวอย่างกล้องดิจิทัลแบบ SLR ซึ่งในปัจจุบันเป็นระบบ Auto Diaphragm ซึ่งเลนส์จะเปิดรูรับแสงกว้างสุดเอาไว้ตลอดเวลา เพื่อให้ผู้ใช้สามารถปรับความชัด (ปรับโฟกัส) และช่องมองภาพได้ง่ายขึ้น ดังนั้นภาพที่ปรากฏในช่องมองภาพที่มีระยะชัดลึกน้อยที่สุดของเลนส์ที่กำลังใช้งานอยู่ เมื่อชัตเตอร์บันทึกภาพ ระบบควบคุมของกล้องจะทำให้รูรับแสงหรือลงตามขนาดรูรับแสงจริงที่เราตั้งเอาไว้จากนั้นชัตเตอร์จึงทำงาน หลังจากที่ชัตเตอร์ปิด รูรับแสงก็จะเปิดกว้างสุดเหมือนเดิม หากถ่ายภาพโดยใช้รูรับแสงแคบ เช่น ถ้าใช้รูรับแสง $f/11$ ก็จะได้ภาพถ่ายที่มีระยะชัดลึกมากกว่าที่มองเห็นในช่องมองภาพ



รูปที่ 5.19 แสดงการปรับรูรับแสง

5.2.1 รูรับแสง(Aperture) หรือ เลข F ของกล้องถ่ายภาพ

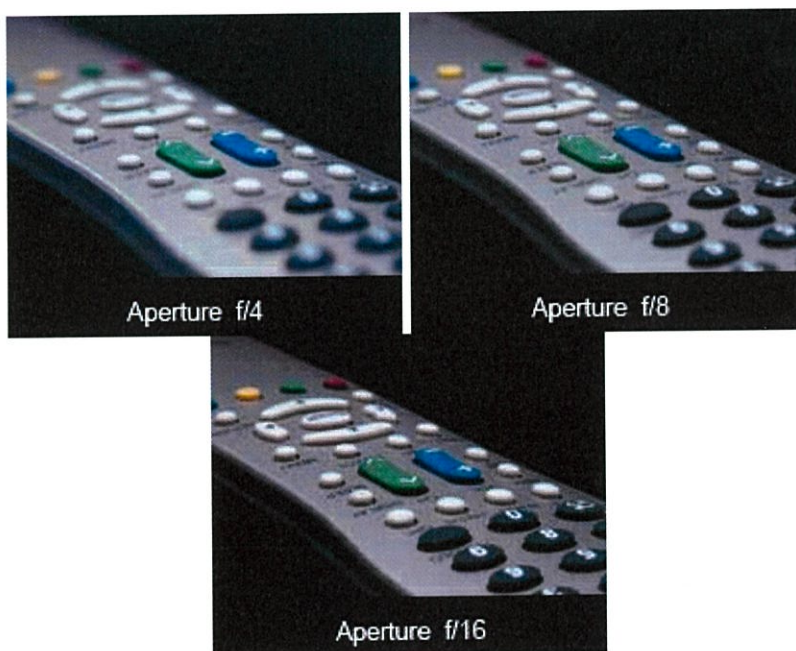
รูปที่ 5.19 แสดงตัวอย่างการปรับรูรับแสง หรือ Aperture ซึ่งหมายถึงขนาดของรูรับแสงที่อยู่ภายในเลนส์ ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณแสงผ่านเข้าไปสู่ตัวเซ็นเซอร์ ค่าของรูรับแสงใดๆ คำนวณได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงที่ปรับตั้งในขณะนั้นหารด้วยความยาวโฟกัสของเลนส์ ยกตัวอย่างเช่น เลนส์ขนาดความยาวโฟกัส 100 มม. มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงวัดได้ 25 มม. นั่นคือจะได้ค่ารูรับแสง = 25/100 = 1/4 เราเรียกว่า f-Numbers หรือ f-Stops เขียนได้เป็น f/4 หรือ F4 หรือ 1:4 เป็นต้น



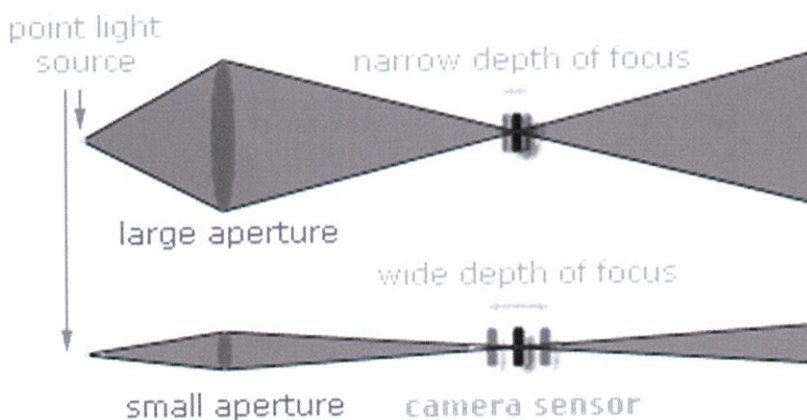
f-Stop	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	45	64
ปริมาณแสงที่ผ่านรูรับแสง	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	1/1,024	1/2,048

รูปที่ 5.20 แสดงค่าการปรับช่องรับแสง

จากรูป 5.20 แสดงให้เห็นถึงขนาดของรูรับแสงที่มีค่าแตกต่างกัน 1 f-Stop ตามลำดับกันไป (สังเกตค่ารูรับแสงที่มีค่าสูงกว่าจะมีขนาดรูเล็กกว่า ทั้งนี้เนื่องจากตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าเศษส่วนไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม) ค่าแสงที่ต่างกัน 1 Stop หมายถึงค่าแสงที่ต่างกันสองเท่า สังเกตการเปรียบเทียบค่าแสงที่ได้จากตาราง โดยเริ่มที่ $f/1.4$ สมมุติว่ามีแสงผ่านเข้ามา มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อห้ค่ารูรับแสงลงเป็น $f/2$ แสงที่ผ่านเข้ามาจะถูกลดค่าลงสองเท่า ซึ่งจะเหลือค่าเพียง $1/2$ เท่า เมื่อห้ค่าลงอีกเป็น $f/2.8$ จะเห็นว่าแสงจะลดลงจากค่า $f/2$ อีกสองเท่า ซึ่งจะเหลือค่าแสงเพียง $(1/2 \times 1/2 = 1/4)$ เท่า และเมื่อห้รูรับแสงไปจนกระทั่งเป็นค่า $f/64$ ปริมาณแสงถูกลดลงเหลือเพียง $1/2,048$ เท่า ซึ่งพอสรุปได้ว่าค่ารูรับแสงแตกต่างกัน 11 stops (จากค่า $f/1.4$ จนถึงค่า $f/64$) จะมีปริมาณแสงแตกต่างกันถึง 2,048 เท่า



รูปที่ 5.21 ผลของขนาดรูรับแสงต่อภาพถ่าย



รูปที่ 5.22 แสดงช่องรับแสงและระยะชัดลึก

5.2.2 ผลกระทบจากรูรับแสงต่อระยะชัดของภาพ

ระยะชัดลึก หมายถึง ช่วงของระยะห่างจากกล้อง ซึ่งภาพวัตถุที่อยู่ภายในช่วงนั้นจะปรากฏคมชัด ตัวอย่างถ้าปรับรับแสงกว้างมากๆ ความลึกในระยะโฟกัสอาจเป็นเพียงแค่มิลลิเมตร และในทางตรงกันข้ามกัน ภาพที่ชัดบางภาพแสดงระยะชัดลึกสูงมากโดยมีความคมชัดของทุกสิ่งตั้งแต่ระยะหน้ากล้องจนถึงห่างออกไปหลายกิโลเมตร การควบคุมความลึกของภาพเป็นหนึ่งในเทคนิคที่มีประโยชน์ต่อการสร้างสรรค์ภาพโดยทั่วไปแล้ว ช่องรับแสงขนาดใหญ่จะให้ระยะชัดลึกแคบ ดังนั้นหากต้องการถ่ายภาพบุคคลให้มีฉากหลังเบลอสวยงาม จะต้องเปิดช่องรับแสงให้กว้าง แต่ปัจจัยอื่นก็มีส่วนช่วยเช่นกัน เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสยาวมักจะสามารสรสร้างระยะชัดลึกแคบ (ส่วนหนึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่เราเรียนรู้ทางด้านบนแล้ว ตัวอย่างเช่น ช่องรับแสง F1.4 ในเลนส์ 85 มม. นั้นมีขนาดใหญ่กว่าช่องรับแสง F1.4 ในเลนส์มุมกว้าง 24 มม. มาก) และระยะห่างระหว่างวัตถุในฉากที่กำลังถ่ายภาพจะมีผลกระทบกับระยะชัดลึกเช่นกัน ในรูป 5.22 แสดงแนวแสงที่ผ่านเลนส์ที่มีรูรับแสงต่างกันซึ่งภาพที่ได้ก็จะต่างกันดังแสดงในรูป 5.21

5.2.3 การออกแบบการทดลองด้วยภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลแบบ DSLR

ในการทดลองนี้ภาพอินพุตที่นำมารวมนั้นจะมีสองภาพขึ้นไปโดยจะใช้รูรับแสงที่กว้างเพื่อที่จะให้มีระยะชัดที่แคบ ส่วนตำแหน่งทำโฟกัสนั้นแต่ละภาพจะมีตำแหน่งต่างกัน ซึ่งภาพที่ได้จะมีความชัดเพียงแค่วัตถุที่อยู่ตำแหน่งในระยะชัดเท่านั้นตำแหน่งอื่นจะไม่ชัด ดังนั้นภาพอินพุตจะชัดเจนเฉพาะบางจุดที่ไม่เหมือนกัน เมื่อได้ภาพอินพุตแล้วก็จะทำการรวมภาพแล้วนำภาพเอาท์พุตที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิงซึ่งภาพอ้างอิงจะชัดหมดทั้งภาพ ซึ่งภาพอ้างอิงจะถ่ายด้วยรูรับแสงที่แคบจะทำให้ภาพมีระยะชัดที่กว้างและภาพที่จะมีความชัดหมดทั้งภาพ

5.2.4 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.23 ภาพที่โฟกัสวัตถุใกล้ถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 1

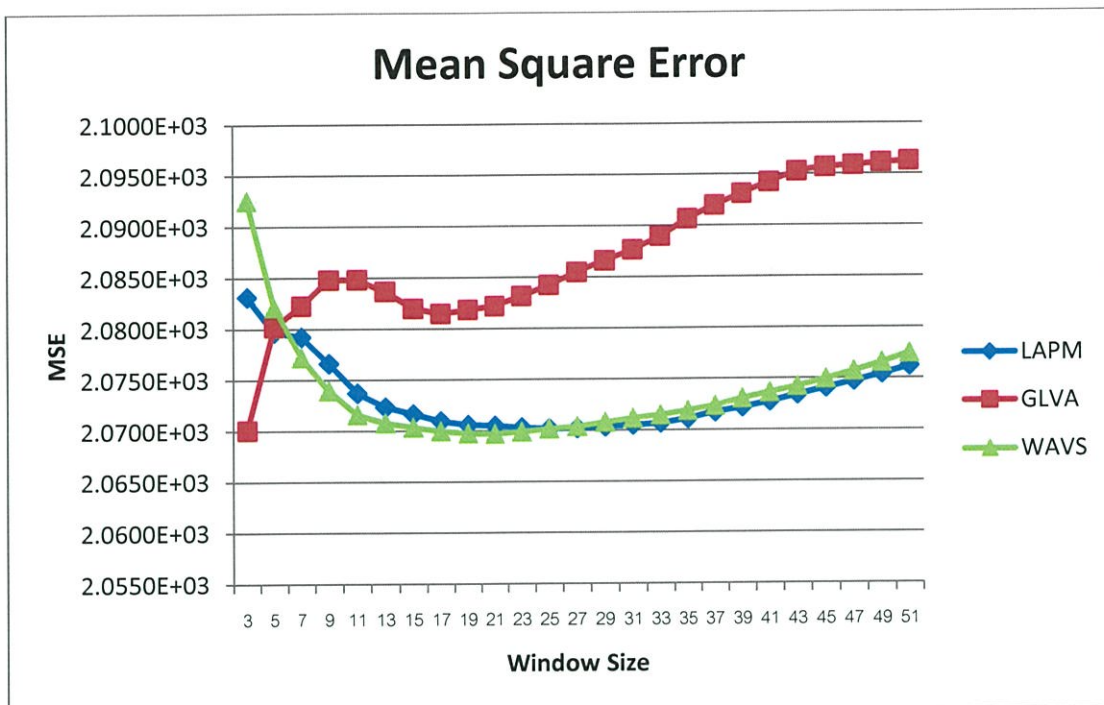


รูปที่ 5.24 ภาพที่โฟกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/1.8 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.25 ภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ f/9 ของภาพชุดที่ 1

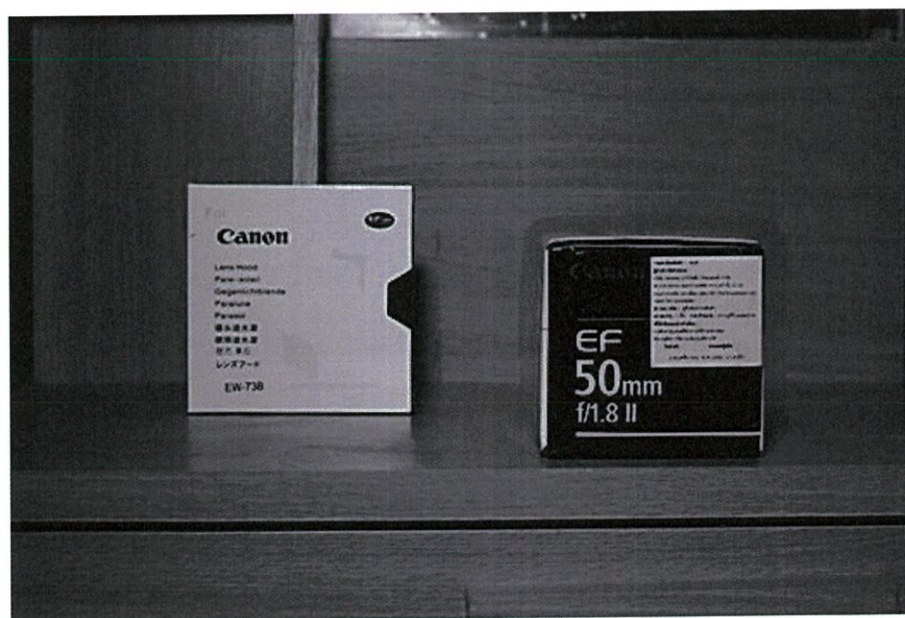
การทดลองแรกภาพอินพุตสองภาพจะถ่ายด้วยเลนส์ 50 mm ขนาดรูรับแสงที่ f/1.8 ซึ่งจะมีระยะชัดที่แคบ โดยภาพอินพุตภาพแรกคือรูปที่ 5.23 จะโฟกัสที่ตำแหน่งของวัตถุใกล้คือกล่องสีดำ ส่วนรูปที่สองคือรูปที่ 5.24 จะโฟกัสที่ตำแหน่งของกล่องสีขาว และภาพอ้างอิงในรูปที่ 5.25 จะใช้ขนาดรูรับแสงที่ f/9 ภาพที่ได้จะชัดหมดทั้งภาพ ภาพทั้งหมดจะมีขนาด 518x346 พิกเซล



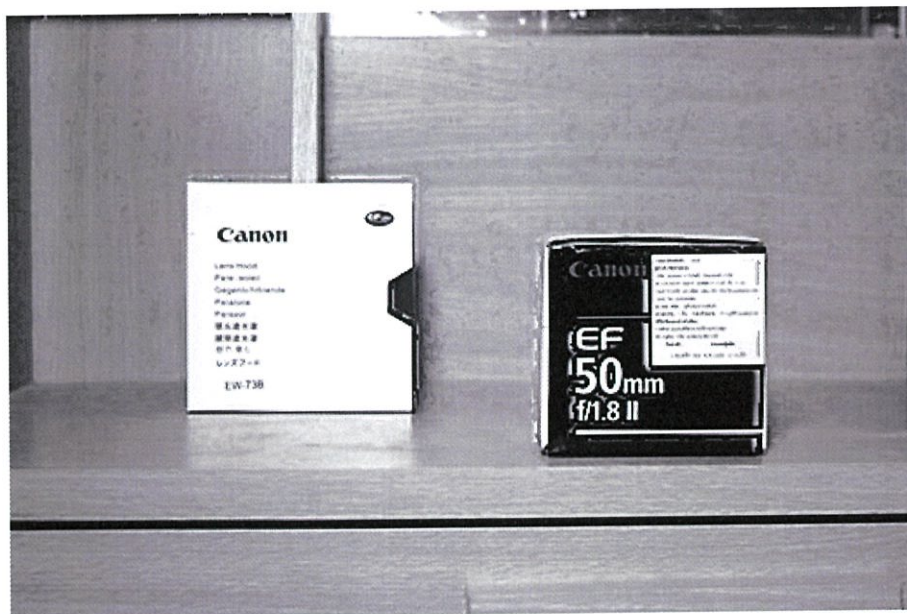
รูปที่ 5.26 กราฟค่าความผิดพลาดต่อขนาด Window ของภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ชุดที่ 1

5.2.4.1 ผลการทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 1

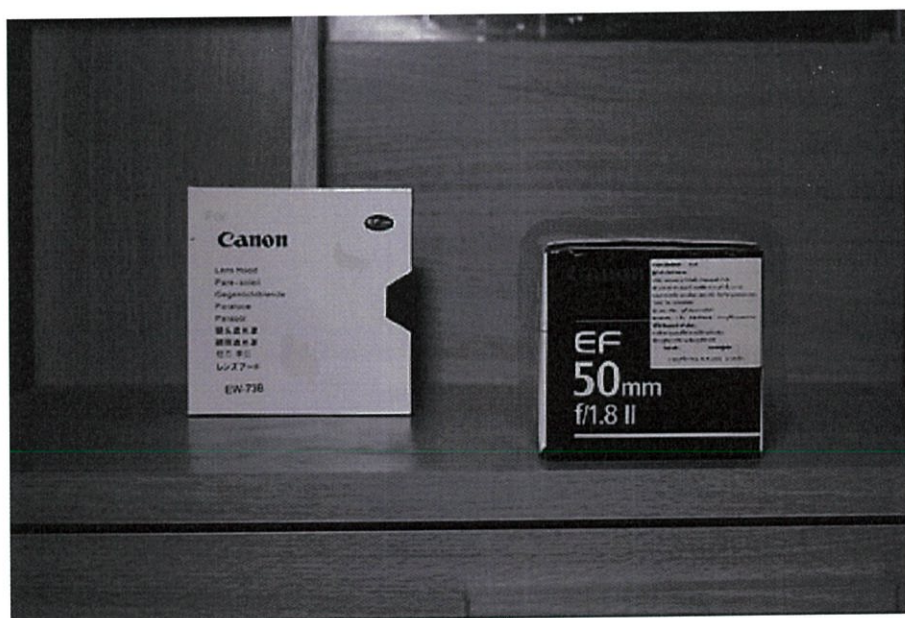
ผลการทดลองแสดงที่กราฟที่ 5.26 ซึ่งวิธีการ Sum of Modified Laplacian (LAPM) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 2070.2 ที่ขนาด Window 25x25 วิธีการ Gray Level Variance (GLVA) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 2070 ที่ขนาด Window 3x3 ส่วนวิธีการ Sum of Wavelet Coefficients (WAVS) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 2069.7 ที่ขนาด Window 21x21



รูปที่ 5.27 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 25x25 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.28 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 3x3 ของภาพชุดที่ 1



รูปที่ 5.29 ภาพผลการรวมแบบ WAVS ที่ขนาด Window 21x21 ของภาพชุดที่ 1



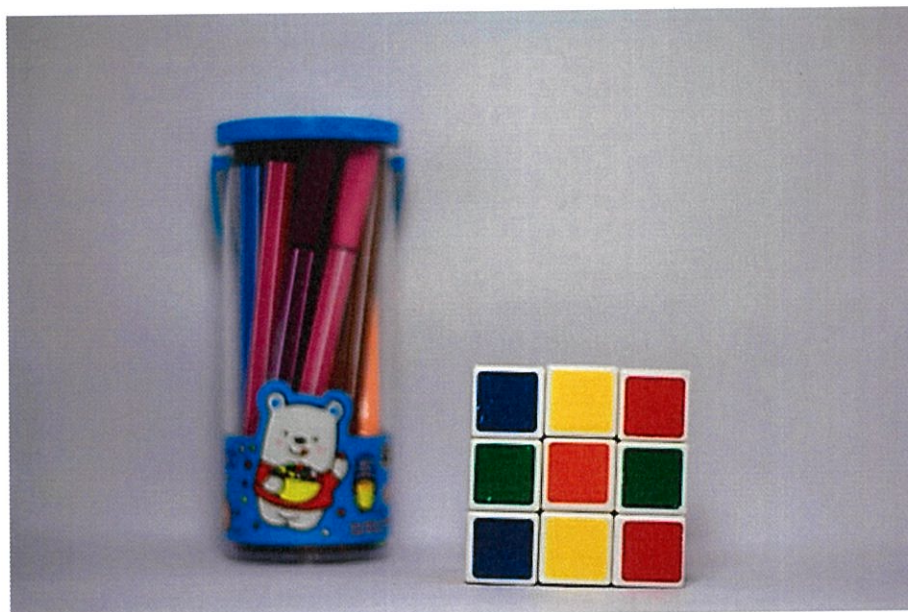
รูปที่ 5.30 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ของภาพชุดที่ 1

รูปที่ 5.27 ถึงรูปที่ 5.29 เป็นผลการรวมภาพของแต่ละวิธีที่ใช้ขนาด Window ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละวิธี ส่วนในรูปที่ 5.30 นั้นเป็นผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ซึ่งจะเห็นว่าภาพจากงานที่นำเสนอนั้นมีคุณภาพที่ดีกว่า และเมื่อนำค่าความผิดพลาดมาเปรียบเทียบจะเห็นว่าวิธีที่นำเสนอนั้นให้ความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความผิดพลาดของกาทดลองกับภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 1

Operation	Window Size	MSE	Time(s)
LAPM	25x25	2070.18	0.45
GLVA	3x3	2070.04	0.59
WAVS	21x21	2069.70	0.50
Proposed	-	2059.79	5.21

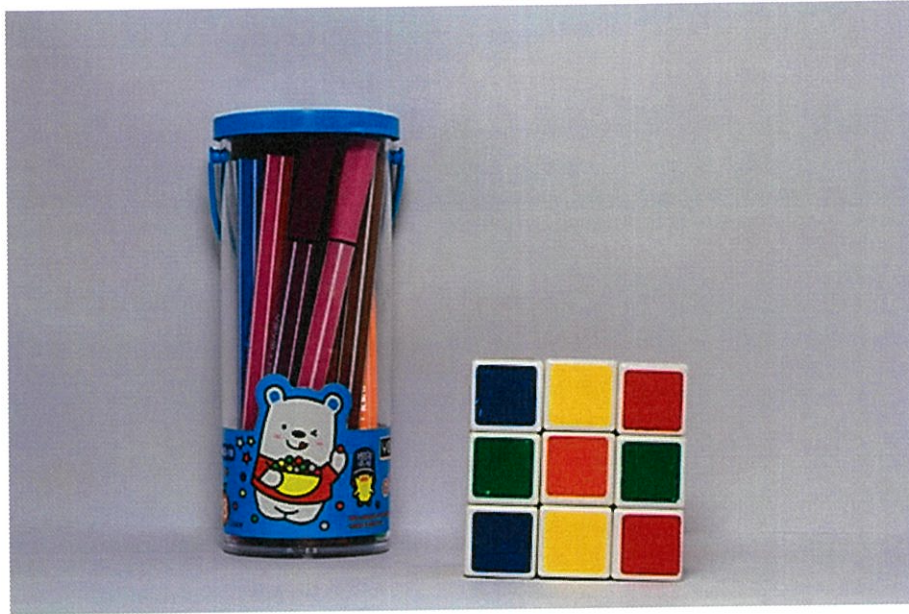
5.2.5 การทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.31 ภาพที่โฟกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ $f/1.8$ ของภาพชุดที่ 2

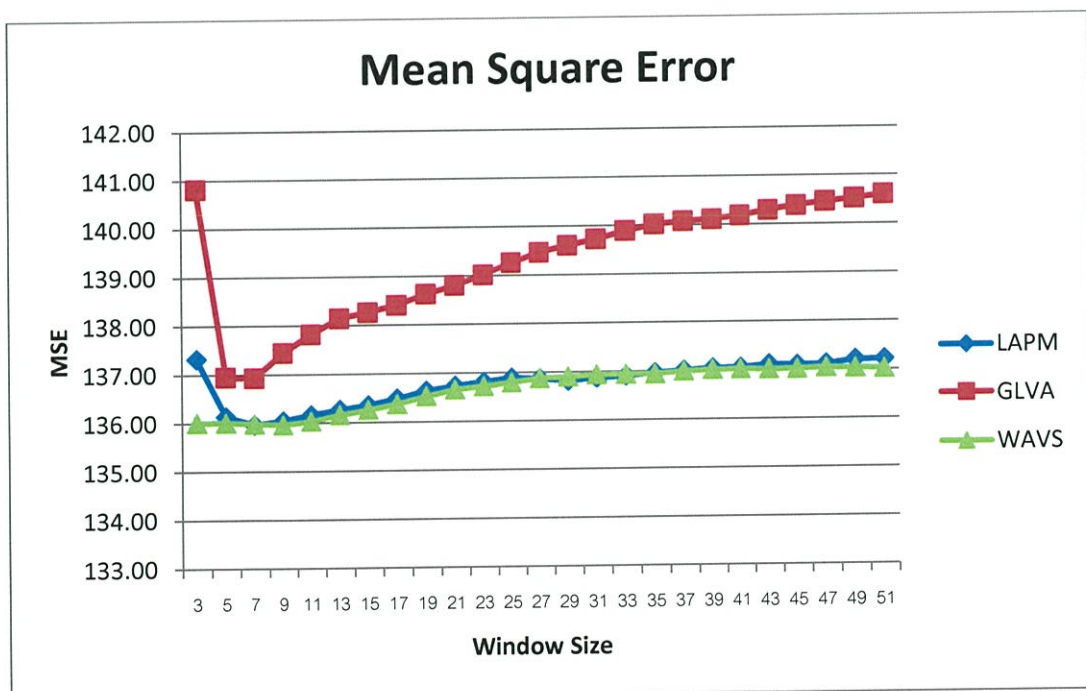


รูปที่ 5.32 ภาพที่โฟกัสวัตถุไกลถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ $f/1.8$ ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.33 ภาพอ้างอิงที่ชัดเจนทั้งภาพถ่ายด้วยเลนส์ 50mm ที่ $f/14$ ของภาพชุดที่ 2

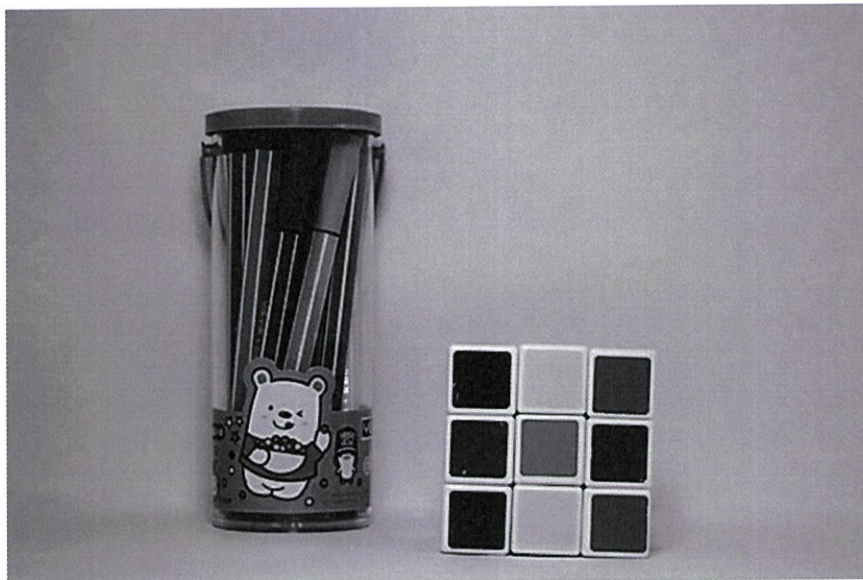
การทดลองที่สองจะเหมือนกับการทดลองแรกคือภาพอินพุตสองภาพจะถ่ายด้วยเลนส์ 50 mm ขนาดรูรับแสงที่ $f/1.8$ แต่ฉากหลังของภาพจะมีรายละเอียดน้อยและขนาดของภาพจะมีขนาดใหญ่กว่า โดยภาพอินพุตภาพแรกคือรูปที่ 5.31 จะโฟกัสที่ตำแหน่งของวัตถุใกล้คือรูบิค(Rubik) ส่วนรูปที่สองคือรูปที่ 5.32 จะโฟกัสที่ตำแหน่งของกระป๋องปากกา และภาพอ้างอิงในรูปที่ 5.33 จะใช้ขนาดรูรับแสงที่ $f/14$ ภาพที่ได้จะชัดเจนทั้งภาพ ภาพทั้งหมดจะมีขนาด 648x432 พิกเซล



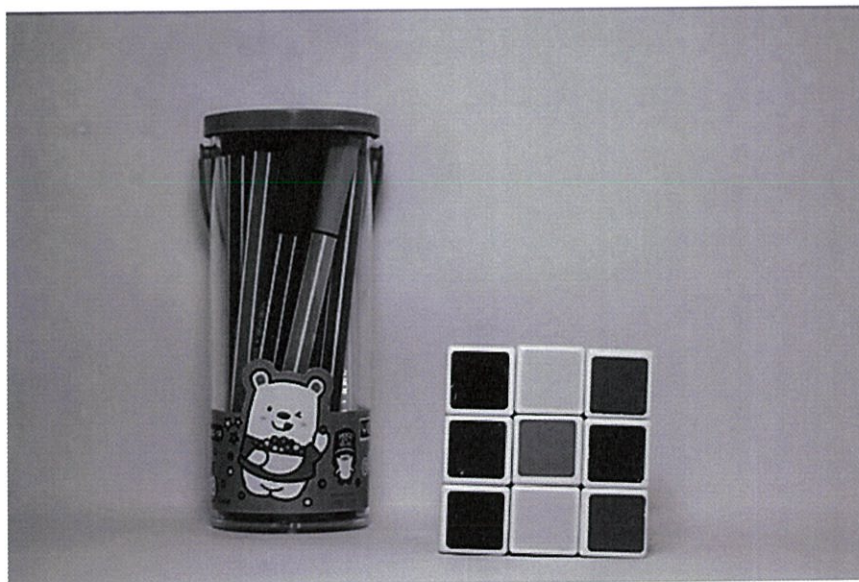
รูปที่ 5.34 กราฟค่าความผิดพลาดต่อขนาด Window ของภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ชุดที่ 2

5.2.4.1 ผลการทดลองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 2

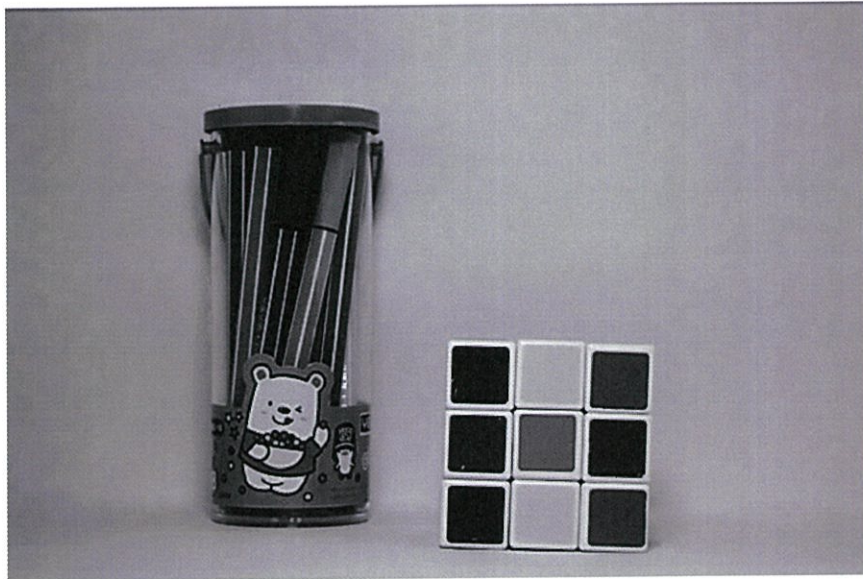
ผลการทดลองแสดงที่รูปที่ 5.34 ซึ่งวิธีการ Sum of Modified Laplacian (LAPM) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 135.97 ที่ขนาด Window 7x7 วิธีการ Gray Level Variance (GLVA) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 136.92 ที่ขนาด Window 7x7 ส่วนวิธีการ Sum of Wavelet Coefficients (WAVS) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 135.97 ที่ขนาด Window 9x9



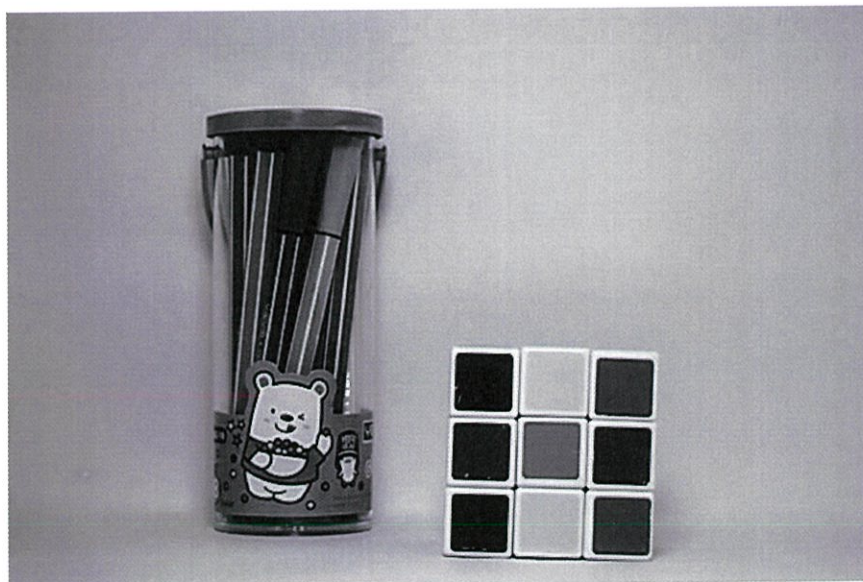
รูปที่ 5.35 ภาพผลการรวมแบบ LAPM ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.36 ภาพผลการรวมแบบ GLVA ที่ขนาด Window 7x7 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.37 ภาพผลการรวมแบบ WAWS ที่ขนาด Window 9x9 ของภาพชุดที่ 2



รูปที่ 5.38 ภาพผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอของภาพชุดที่ 2

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความผิดพลาดของกาทดลองกับภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ด้วยภาพชุดที่ 2

Operation	Window Size	MSE	Time(s)
LAPM	7x7	135.97	0.61
GLVA	7x7	136.92	0.62
WAWS	9x9	135.97	0.70
Proposed	-	133.31	4.26

รูปที่ 5.35 ถึงรูปที่ 5.37 เป็นผลการรวมภาพของแต่ละวิธีที่ใช้ขนาด Window ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละวิธี ส่วนในรูปที่ 5.38 นั้นเป็นผลการรวมภาพของงานที่นำเสนอ ซึ่งก็จะเหมือนกับ การทดลองแรกคืองานที่นำเสนอมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดดังแสดงในตารางที่ 5.4

5.3 การทดลองกับภาพที่โฟกัสแบบลำดับ(Sequence Focus Images)

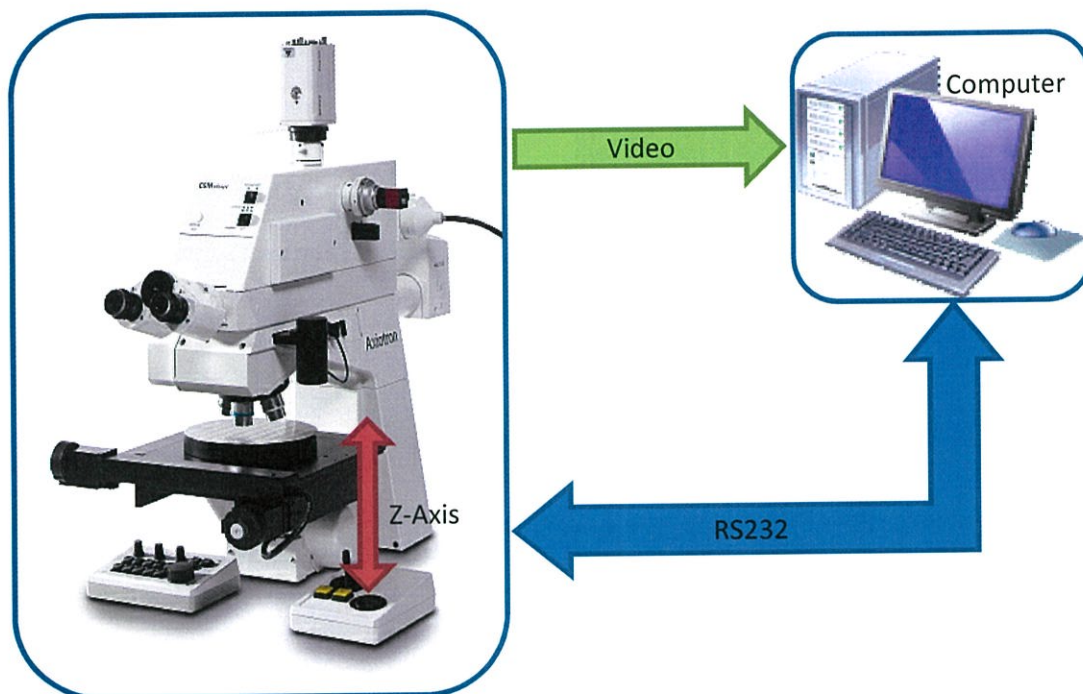
ในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงๆ นั้นจะมีปัญหาเกี่ยวกับระยะชัดที่แคบมากๆ เพราะเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์เป็นเลนส์ที่ไม่สามารถปรับรับแสงได้ ทำให้ภาพวัตถุที่ได้มีระยะชัดที่แคบมากและอาจจะได้ภาพวัตถุไม่ครบ ทำให้ต้องถ่ายภาพหลายๆ ภาพ โดยที่โฟกัสที่ตำแหน่งต่างกันซึ่งอาจจะมากกว่าสองภาพ จากนั้นก็ทำการรวมภาพ ก็จะได้ภาพวัตถุที่ชัดทั้งหมด นอกจากนี้เมื่อนำตำแหน่งที่ถูกเลือกของแต่ละภาพมาเขียนเป็นกราฟ เรียงลำดับตามระยะโฟกัสก็จะสามารถสร้างภาพสามมิติได้ ซึ่งวิธีการนี้จะเรียกว่า การสร้างภาพสามมิติจากภาพโฟกัสหลายจุด (Shape From Focus)

5.3.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้จะใช้กล้องจุลทรรศน์ของ ZEISS รุ่น Axiotron ดังแสดงในรูป 5.39 ซึ่งเป็นกล้องที่ใช้ตรวจแผ่นวงจรรวม (Wafer) ตัวกล้องสามารถเลือกขนาดเลนส์วัตถุได้ 5 ขนาด คือ 5x, 10x, 20x, 50x และ 100x การแสดงผลของตัวกล้องสามารถแสดงผลบนจอมอนิเตอร์และยังสามารถต่อเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อการบันทึกและการประมวลผลได้ ในการควบคุมตัวจับยึดวัตถุ (Stage Table) สามารถควบคุมได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) ซึ่งสามารถควบคุมได้ 3 ทิศทางคือแนวแกน X, Y และ Z โดยที่แกน Z จะเป็นการควบคุมระยะโฟกัสของกล้อง ในการทดลองนี้จะเขียนโปรแกรมควบคุมระยะโฟกัสตามที่ต้องการแล้วทำการบันทึกภาพ



รูปที่ 5.39 กล้องจุลทรรศน์ของ ZIESS รุ่น Axiotron ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.40 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานกล้องจุลทรรศน์ที่ออกแบบ

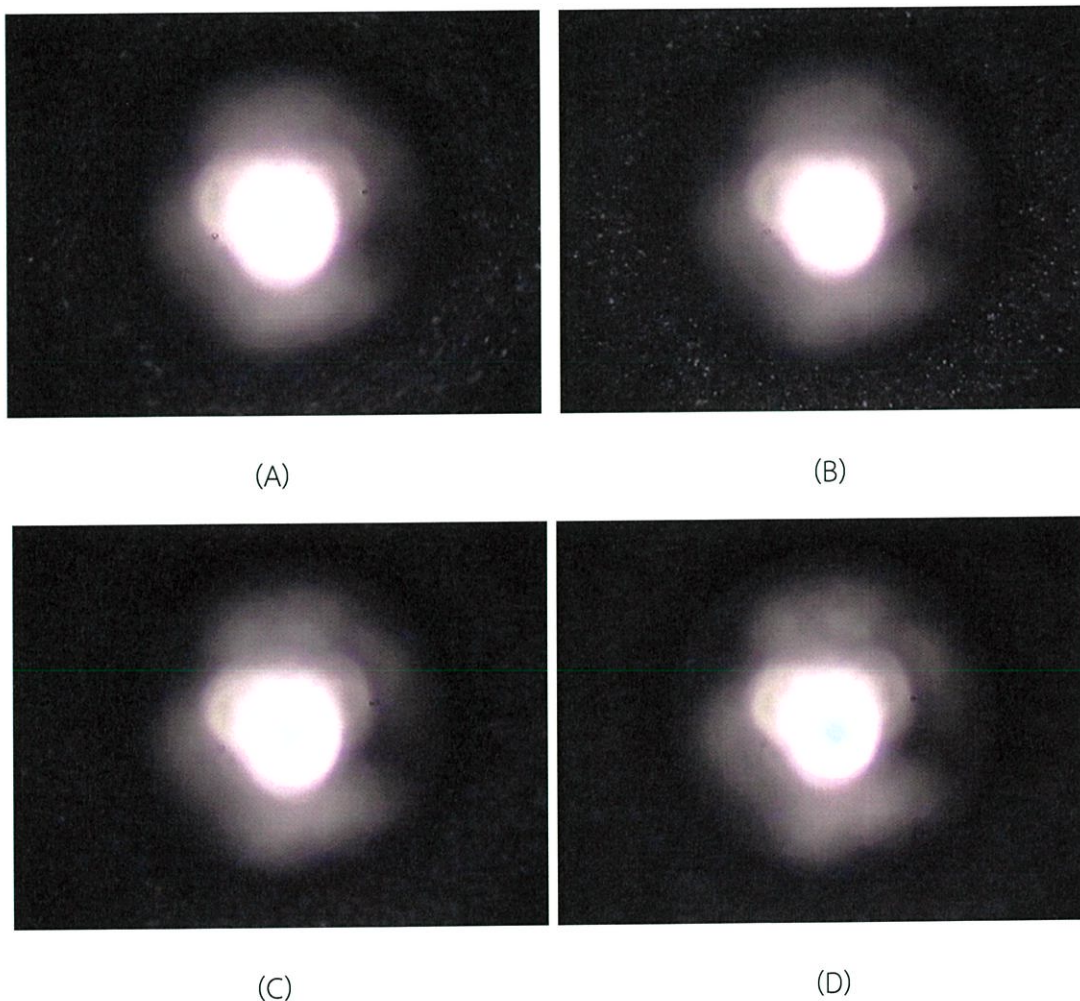


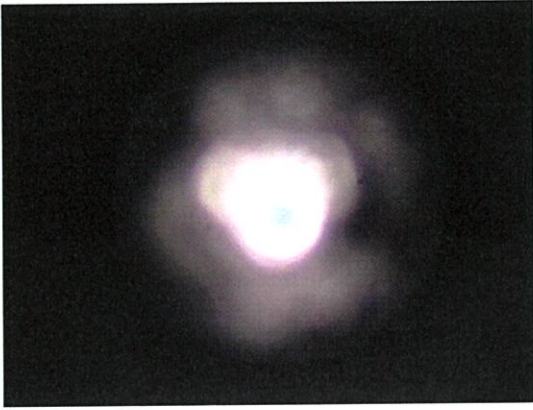
รูป 5.41 แสดงกล้องจุลทรรศน์และระบบที่ใช้งาน

รูปที่ 5.40 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการทดลองนี้ โดยคอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ของกล้องจุลทรรศน์เมื่อกำลังเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดแล้วก็จะทำการถ่ายภาพที่ตำแหน่งนั้น โดยตัวโปรแกรมควบคุมและถ่ายภาพจะเขียนโดยใช้โปรแกรม Visual Studio C# 2010 Express เมื่อได้ภาพตามที่ต้องการแล้วจะใช้โปรแกรม Matlab ทำการรวมภาพ ซึ่งระบบที่ใช้งานจะแสดงในรูปที่ 5.41

5.3.2 การทดลองด้วยภาพถ่ายลูกบอลตะกั่ว (Soldering Ball) ของวงจรรวม (IC)

การทดลองนี้จะถ่ายภาพลูกบอลตะกั่ว (Soldering Ball) ของวงจรรวมจำนวนทั้งหมด 16 ภาพ แต่ละภาพจะโฟกัสตำแหน่งต่างกัน 20 ไมโครเมตร โดยจะเริ่มถ่ายจากฐานไปจนถึงด้านบนสุดของลูกบอล ซึ่งแต่ละภาพจะมีบริเวณที่ชัดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

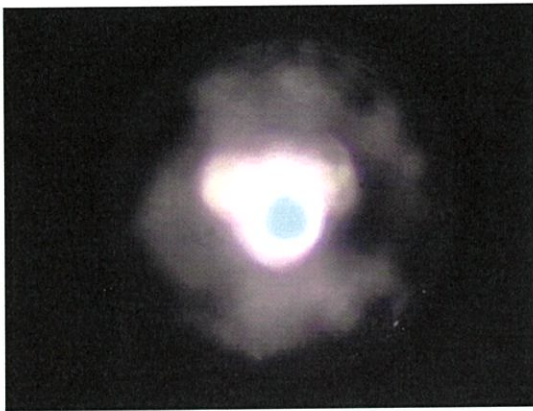




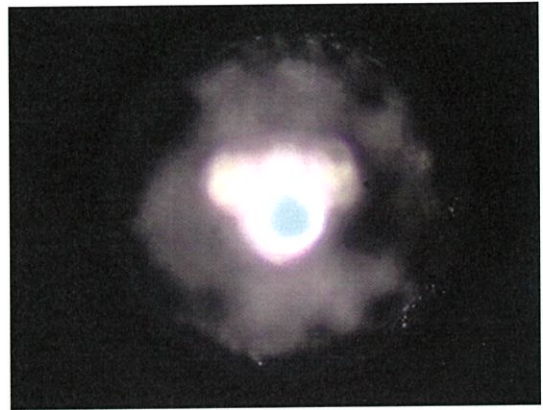
(E)



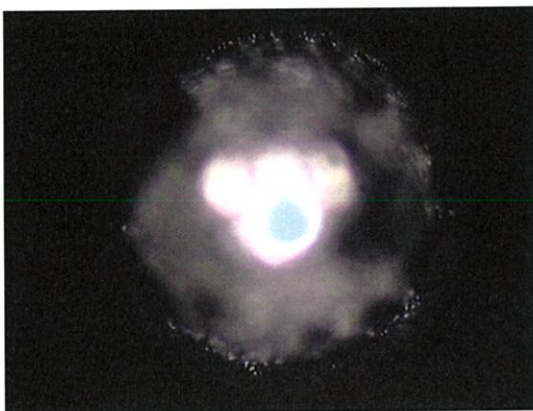
(F)



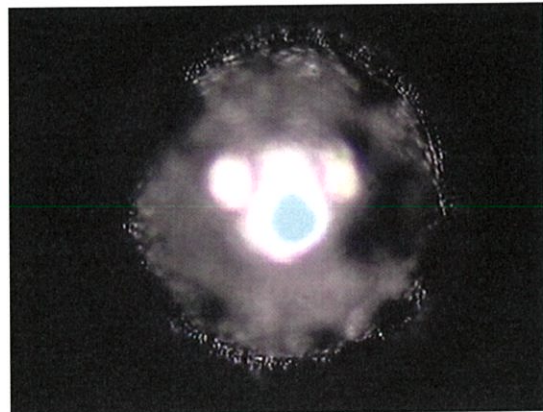
(G)



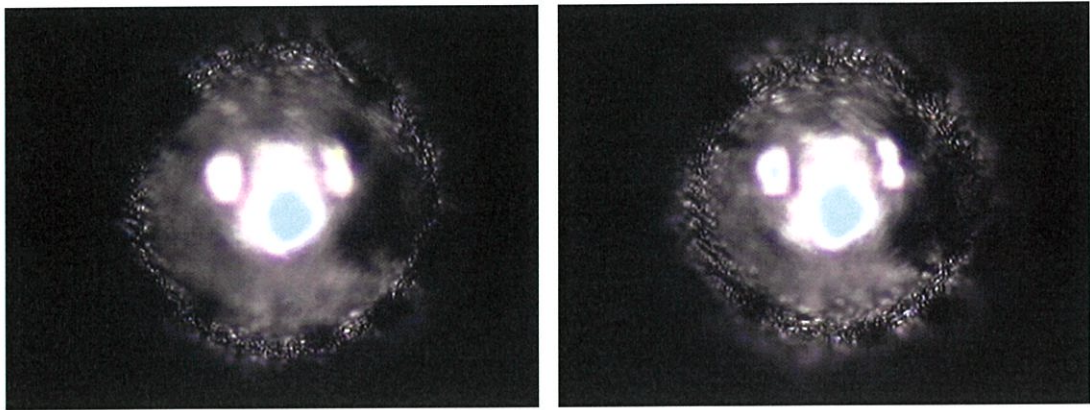
(H)



(I)

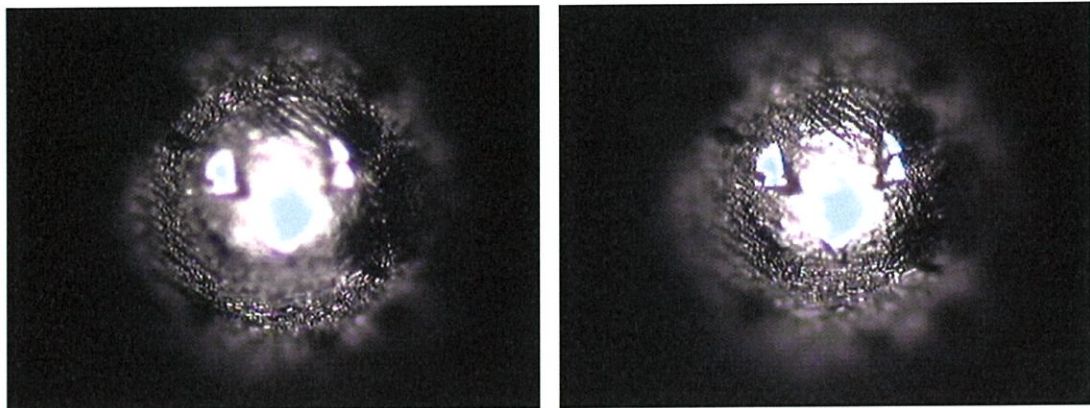


(J)



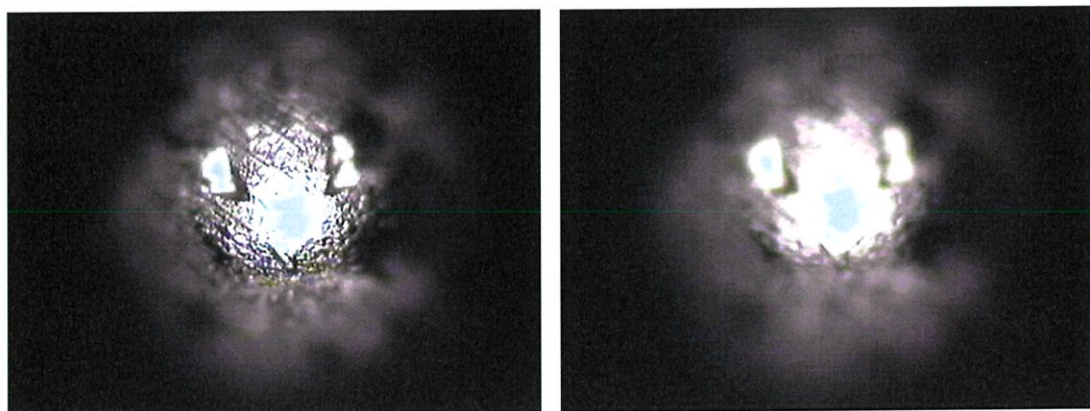
(K)

(L)



(M)

(N)



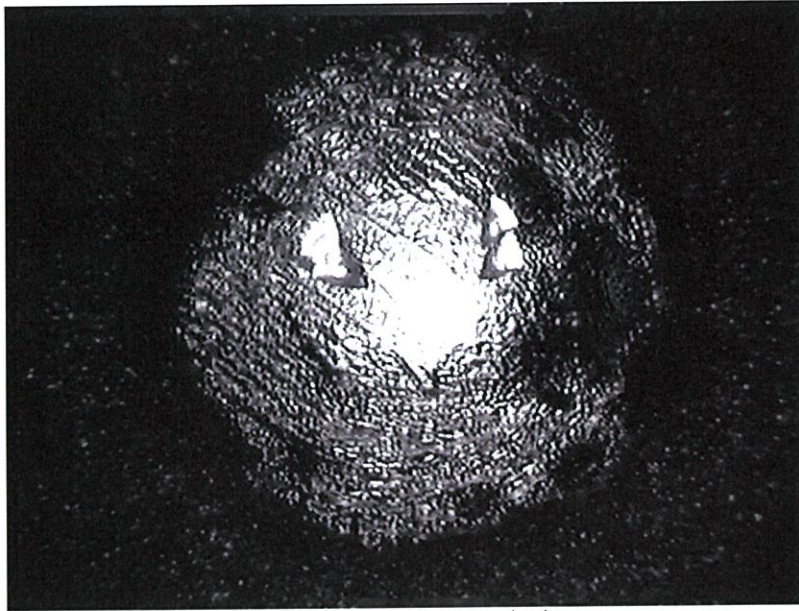
(O)

(P)

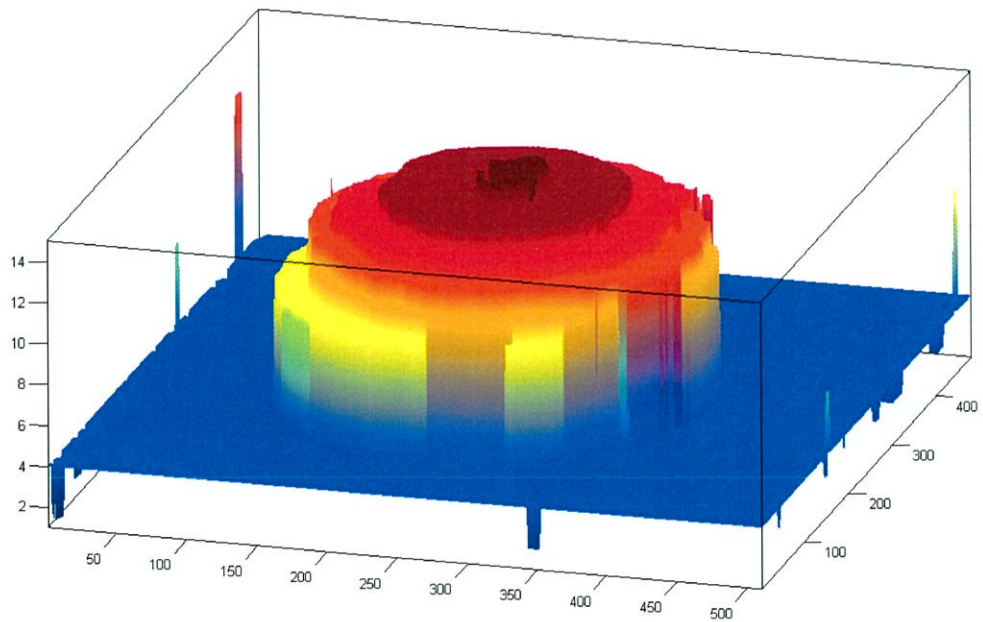
รูปที่ 5.42 ภาพลูกบอลตะกั่วที่โฟกัสแบบลำดับ

5.3.2.1 ผลการรวมภาพลูกบอลตะกั่วที่โฟกัสแบบลำดับ

เมื่อนำภาพที่โฟกัสแบบลำดับในรูปที่ 5.42(A) ถึงรูปที่ 5.42(P) มาเข้ากระบวนการการรวมภาพตามวิธีที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 5.43 จะเห็นว่าภาพที่ได้มีความชัดเจนหมดทั้งภาพทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบหรือเอาไปใช้ในการประมวลผลต่อไปได้



รูปที่ 5.43 ผลการรวมภาพลูกบอลตะกั่วที่โฟกัสแบบลำดับ

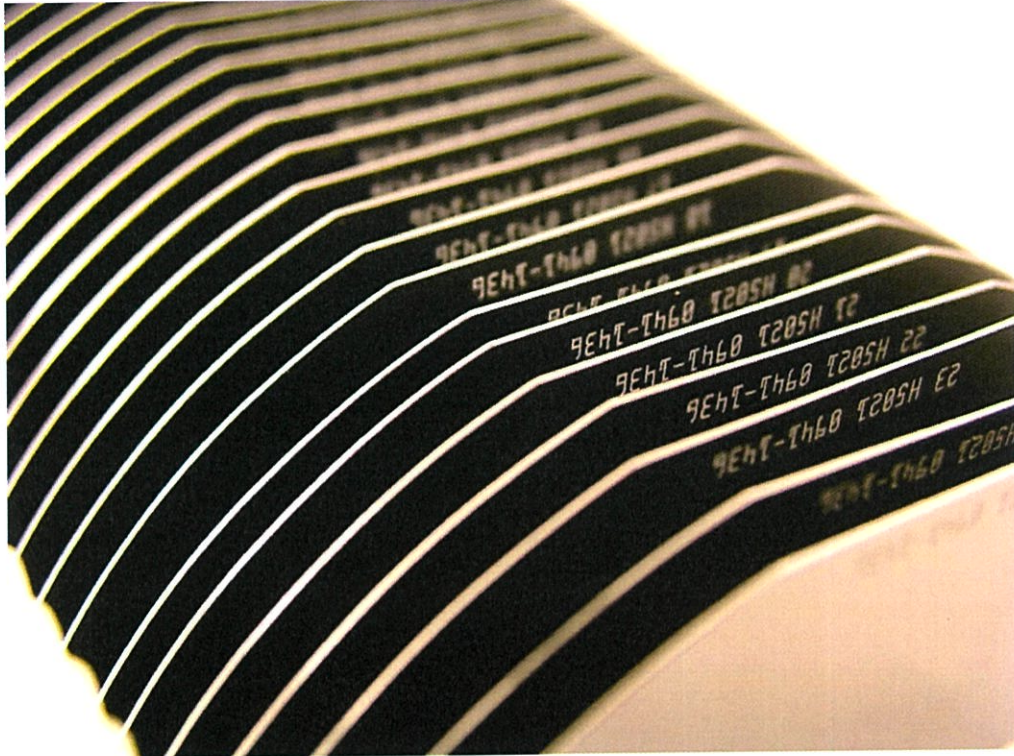


รูปที่ 5.44 กราฟแสดงแผนที่ความลึก (Depth Map)

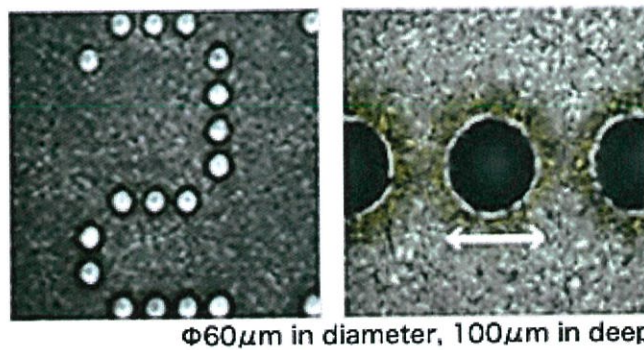
เมื่อนำบริเวณที่ถูกเลือกของแต่ละภาพมาวาดเป็นกราฟโดยเรียงลำดับตำแหน่งการโฟกัสก็จะได้กราฟแผนที่ความลึกดังแสดงในรูปที่ 5.44 โดยกราฟที่ได้จะเป็นโมเดล 3 มิติของวัตถุ ซึ่งสามารถใช้ประมาณความสูงหรือความลึกของวัตถุได้

5.3.3 การทดลองด้วยภาพถ่ายหลุมที่เกิดจากการยิงเลเซอร์

จากการทดลองก่อนหน้านี้วัตถุเป็นวัตถุที่มีลักษณะนูน การทดลองนี้วัตถุจะเป็นลักษณะหลุมหรือรอย ซึ่งภาพหลุมในการทดลองนี้จะเกิดจากการยิงเลเซอร์ (Laser) บนแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นตัวหนังสือดังแสดงในรูป 5.45 และ รูปที่ 5.46

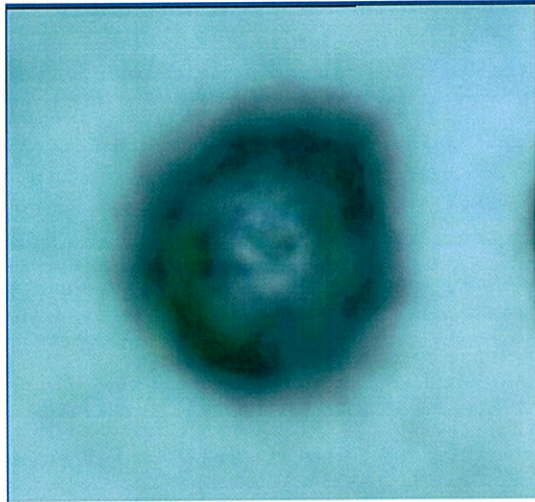


รูปที่ 5.45 แสดงการยิงเลเซอร์บนแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นอักษร

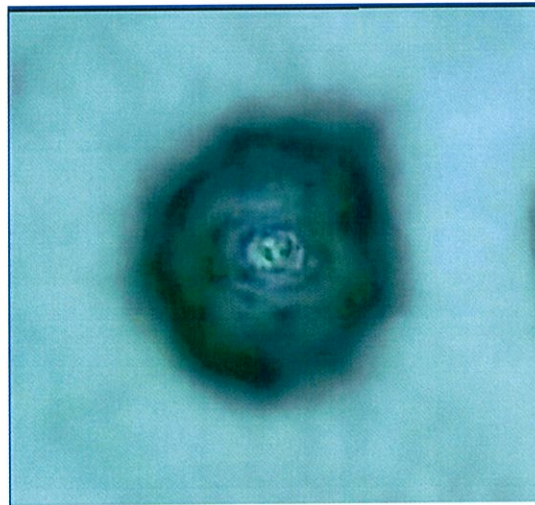


รูปที่ 5.46 ภาพขยายรอยของการยิงเลเซอร์บนแผ่นเวเฟอร์

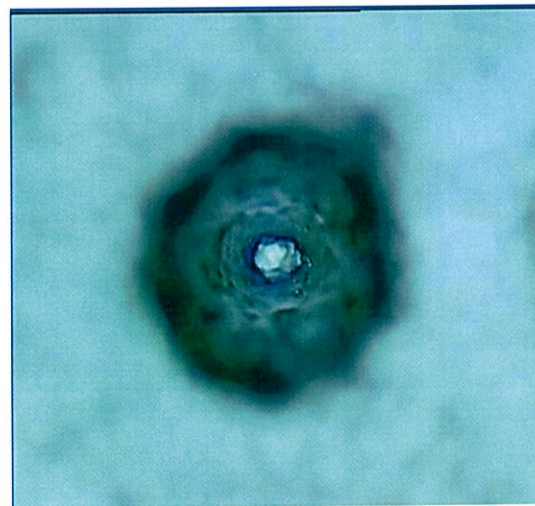
ภาพที่ใช้ในการทดลองจะมีทั้งหมด 8 โดยจะเริ่มถ่ายตั้งแต่กันหลุมไปจนถึงปากหลุม โดยแต่ละภาพจะโฟกัสตำแหน่งต่างกัน 20 ไมโครเมตร



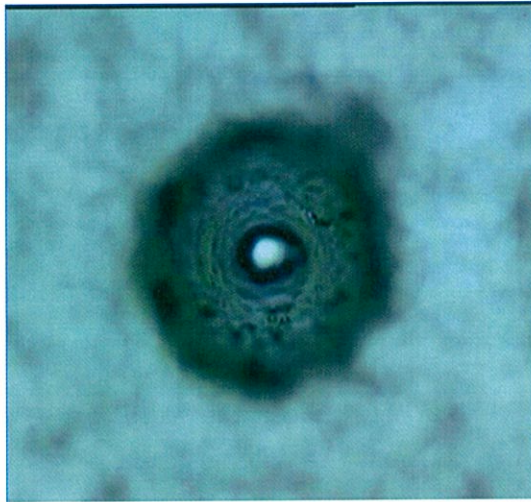
(A)



(B)



(C)



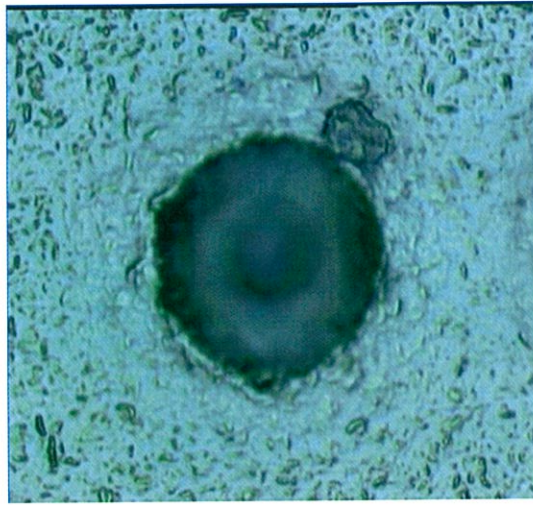
(D)



(E)



(F)



(G)

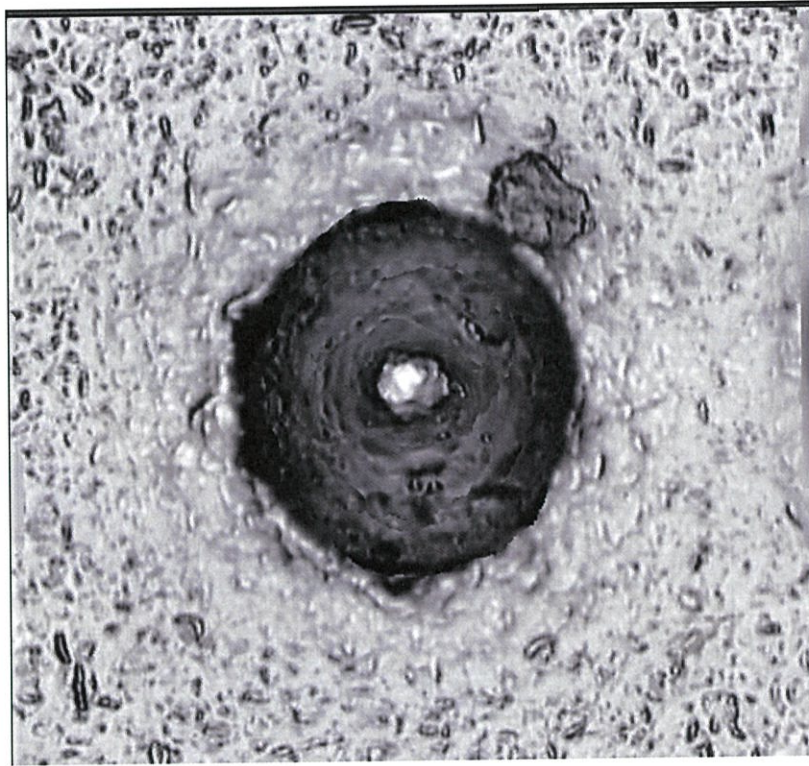


(H)

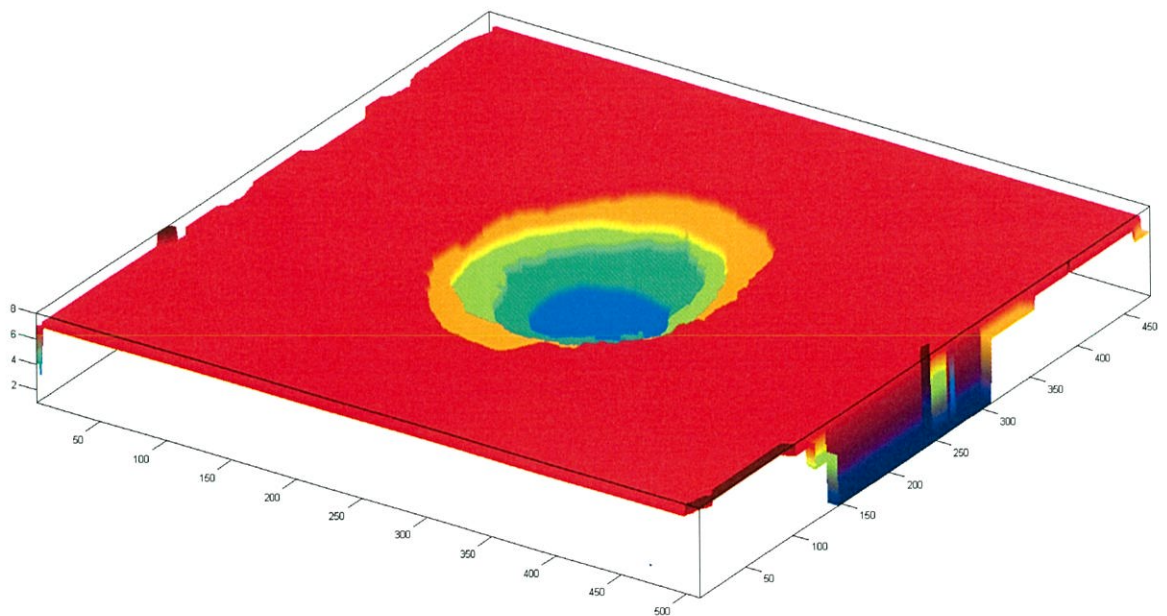
รูป 5.47 แสดงรูปหลุมที่เกิดจากยิงเลเซอร์ที่โฟกัสแบบลำดับ

5.3.3.1 ผลการรวมภาพหลุมที่เกิดจากยิงเลเซอร์ที่โฟกัสแบบลำดับ

เมื่อนำภาพที่โฟกัสแบบลำดับในรูปที่ 5.47(A) ถึง 5.47(H) มาเข้ากระบวนการรวมภาพตามวิธีที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 5.48 จะเห็นว่าภาพที่ได้มีความชัดเจนหมดภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการรวมภาพที่ได้ออกแบบสามารถรวมภาพได้ทั้งแบบนูนขึ้นและแบบหลุมลึกลงไป



รูปที่ 5.48 ผลการรวมภาพที่โฟกัสแบบลำดับ



รูปที่ 5.49 กราฟแสดงแผนที่ความลึก (Depth Map) ของหลุมที่เกิดจากการยิงเลเซอร์

เมื่อนำบริเวณที่ถูกเลือกของแต่ละภาพมาวาดเป็นกราฟโดยเรียงลำดับตำแหน่ง การโฟกัสก็จะได้กราฟแผนที่ความลึกดังแสดงในรูปที่ 5.49 ซึ่งสามารถใช้ประมาณความลึกของหลุมได้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีการวัดความชัดที่ปรับขนาด Window ได้อัตโนมัติ การทดลองนั้นจะแบ่งออกเป็นสามการทดลอง การทดลองแรกภาพต้นฉบับจะได้รับการสังเคราะห์ โดยจะนำภาพที่ชัดหมดทั้งภาพมาทำให้เบลอในบางจุดต่างตำแหน่งกัน ซึ่งการทดลองลักษณะนี้เป็นการทดลองที่สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพของวิธีการวัดความชัดของภาพได้เป็นอย่างดีเพราะว่าสามารถทราบได้อย่างแน่นอนว่าบริเวณไหนของภาพชัดหรือเบลอ ในการทดลองภาพชุดแรกเป็นภาพมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยวิธีการวัดความชัดของภาพหลายๆ งานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งภาพจะมีขนาด 640 x 486 พิกเซล ผลการทดลองวิธีการวัดความชัดที่ออกแบบสามารถให้ค่าความผิดพลาดจากภาพอ้างอิงน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการ Sum of Modified of Laplacian, Gray Level Variance และวิธี Sum of Wavelet Coefficients ซึ่งวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบเหล่านี้เป็นวิธีการที่ใช้ขนาด Window ที่คงที่ในการคำนวณ โดยที่ขนาด Window ที่นำมาใช้ในแต่ละวิธีนั้นจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ในการทดลองภาพชุดต่อมาเป็นภาพขนาด 666 x 499 พิกเซล แล้วทำให้เบลอในบางจุดด้วยโปรแกรม Photoshop ผลการทดลองวิธีการที่ออกแบบยังคงให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเช่นเดียวกับภาพชุดแรก

การทดลองที่สองภาพต้นฉบับจะได้จากกล้องดิจิทัลแบบ Digital Single Lens Reflex (DSLR) เป็นการทดลองการวัดความชัดของภาพด้วยภาพที่เบลอด้วยเลนส์ที่มีระยะชัดที่แคบ ด้วยข้อดีของกล้องชนิดนี้คือสามารถควบคุมระยะชัดของภาพด้วยการปรับรูรับแสงของเลนส์ ในการทดลองภาพอินพุตจะถ่ายด้วยกล้อง DSLR ยี่ห้อ Canon 60D ด้วยเลนส์ 50 มิลลิเมตร ขนาดรูรับแสง $F = 1.8$ โดยจะเลือกโฟกัสที่วัตถุใกล้ 1 ภาพ และวัตถุไกล 1 ภาพ ส่วนภาพอ้างอิงที่นำมาเปรียบเทียบจะถ่ายด้วยเลนส์ตัวเดียวกันกับภาพอินพุตและถ่ายที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่จะใช้รูรับแสงที่แคบกว่าเพื่อให้มีระยะชัดที่กว้าง โดยรูรับแสงที่ใช้จะมีค่า $F=9$ ทำให้ได้ภาพที่มีความชัดหมดภาพ โดยผลการทดลองด้วยภาพทั้งสองชุด ค่าความผิดพลาดเมื่อเทียบกับภาพอ้างอิงของวิธีการวัดความชัดที่ออกแบบให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดความชัดแบบอื่น

ส่วนการทดลองสุดท้ายจะเป็นการทดลองภาพที่โฟกัสแบบลำดับ (Sequence Focus) โดยภาพจะได้มาจากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีปัญหาเรื่องระยะชัดที่แคบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเลนส์ที่มีกำลังการขยายของภาพที่สูงๆ ระยะชัดจะแคบมากๆ การถ่ายภาพวัตถุที่มีพื้นผิวหลายระดับจากกล้องจุลทรรศน์จะต้องถ่ายหลายๆ ภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างกันแล้วใช้วิธีวัดความชัดของภาพมาเลือกบริเวณที่ชัดแล้วรวมเป็นภาพเอาต์พุตที่ชัดหมดทั้งภาพ ในการทดลองภาพอินพุตจะเป็นภาพลูกบอลตะกั่วของวงจรรวม (IC) จะมีทั้งหมด 16 ภาพ แต่ละภาพจะมีบริเวณที่ชัดเพียงเล็กน้อย โดยแต่ละภาพจะโฟกัสที่ตำแหน่งต่างกัน 20 ไมโครเมตร หลังจากทำการรวมภาพด้วยวิธีการวัดความชัดที่ออกแบบก็จะได้ภาพเอาต์พุตที่ชัดหมดทั้งภาพ นอกจากนี้บริเวณที่ถูกเลือกของแต่ละภาพเมื่อนำมาวาดกราฟเป็นแผนที่ความลึก (Depth Map) ก็จะสามารถสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติของตัววัตถุได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการประมาณค่าความสูงของวัตถุได้ ในการทดลองนี้ไม่มีภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพทำให้การทดลองไม่ได้นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการวัดความชัดของภาพวิธีอื่น ในการทดลองภาพชุดที่สองจะเป็นภาพหลุมจากการยิงเลเซอร์บนแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งจะมีทั้งหมด 8

ภาพ ผลการทดลองก็จะเหมือนกับภาพชุดแรกคือภาพที่ได้มีความชัดหมดทั้งภาพและสามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติของหลุมได้ จากการทดลองนี้จะเห็นว่า วิธีการรวมภาพนั้นสามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุจากภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดได้ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความสูงหรือความลึกของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ โดยที่เครื่องมือทั่วไปไม่สามารถทำได้

กระบวนการหา Window ของวิธีการที่นำเสนอไม่ได้จำกัดว่าจะต้องนำไปใช้กับวิธีการวัดความชัดแบบ Sum of Modified Laplacian เท่านั้น เพราะวิธีการวัดความชัดแบบอื่นก็ต้องอาศัยขนาด Window ที่เหมาะสมในการกระบวนการวัดความชัดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังนั้นขนาด Window ที่ได้จากงานที่นำเสนอจึงสามารถนำไปปรับใช้กับวิธีการวัดความชัดของภาพแบบอื่นได้ ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองว่า วิธีการวัดความชัดของภาพที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องหาขนาด Window ที่เหมาะสม ดังนั้นหากนำกระบวนการของวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ก็จะทำให้มีความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพของการวัดความชัดมากขึ้น

ในส่วนของเวลาการประมวลผลวิธีการวัดความชัดที่ออกแบบจะต้องคำนวณ Modified Laplacial หลายครั้งขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวนและความละเอียดของขนาด Window ที่ใช้ ทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณที่มากกว่าวิธีทั่วไปที่ใช้ขนาด Window คงที่ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการเปรียบเทียบไม่สามารถทำได้โดยตรงเพราะว่าวิธีการทั่วไปจะต้องหาขนาด Window ที่เหมาะสมซึ่งจะต้องใช้เวลานานกว่าและยุ่งยากกว่า โดยที่ขนาด Window ที่ใช้ในการทดลองของวิธีทั่วไปนั้นได้มาจากการคำนวณที่ขนาด Window หลายๆ ขนาดแล้วเลือกอันที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดมาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่ากว่าที่จะได้ขนาด Window ที่เหมาะสมนั้นต้องใช้การคำนวณหลายรอบและต้องใช้เวลาที่นานกว่า

ความละเอียดของขนาด Window ที่เป็นปัจจัยหนึ่งทำให้การคำนวณของวิธีการที่ออกแบบใช้เวลานานเพราะถ้าความละเอียดของขนาด Window มากจำนวนรอบการคำนวณก็จะมากตาม ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาต่อไปคือการหาความละเอียดของขนาด Window ที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาการคำนวณลง นอกจากนี้ยังอาจจะนำกระบวนการเปลี่ยนความละเอียดของขนาด Window แบบ Quadtree มาปรับใช้ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาของกระบวนการนั้นสั้นลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Pertuz, "Analysis of focus measure operators for shape-from-focus," *Pattern Recognition*, Volume 46, Issue 5, May 2013, Pages 1415-1432
- [2] C. Chen, "A new fusion scheme for multi-focus images based on dynamic salient weights on discriminative edge points," *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, Volume 1, 2010, Page 351 – 356
- [3] V. Aslantas; R. Kurban, "Fusion of multi-focus images using differential evolution algorithm," *Expert Systems with Applications, ScienceDirect*, Volume 37, 2010, Page 8861 – 8870
- [4] X. Wang, "Multi-focus Image Fusion Based on PCNN Model," *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Volume 1, 2012, Page 289 – 292
- [5] S. Li, J.T. Kwok, Y. Wang, "Multifocus image fusion using artificial neural networks," *Pattern Recognition Letter* 23 (2002), Page 985–997
- [6] Darsana K.; Santhosh Kumar S., "Shape Extraction from Multi Focus Images Using Fuzzy Approach," *National Conference on Technological Trends (NCTT09)*, Volume 10, 2009, Page 211 – 214
- [7] L.Firestone; K.Cook; K.Culp; N.Talsania; K.Preston Jr., "Comparison of auto focus methods for automated microscopy," *Cytometry*, Volume 12, 1991, Pages 195 – 206.
- [8] G.Yang; B.Nelson, "Wavelet-based autofocussing and unsupervised segmentation of microscopic images," *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Volume 3, 2003, Pages 2143–2148.
- [9] S. Nayar, Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Issue 16, 1994, Page 824–831.
- [10] Canon 60D. [Online]. Available: <http://www.kenrockwell.com>

ภาคผนวก ก

- 1 นิวัฒน์ น้อมนบ; ยุทธนา คัดใจเดียว, "วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, 2556, Volume 2, หน้า 781 – 784, 11 – 13 ธันวาคม 2556
- 2 Nomnab N.; Kitjaidure Y., " Adaptive Window Size Multi-Focus Images Fused Based On Sum of Modified Laplacian," The Forth Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE), 2014, Volume 4, Pages 177 – 180, 5 – 8 March 2014

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



Volume 2

- (CM) ไฟฟ้าสื่อสาร
- (EL) อิเล็กทรอนิกส์
- (PH) ไฟโตนิคส์
- (CT) ระบบควบคุม
และการวัดคุม
- (DS) การประมวล
สัญญาณดิจิทัล
- (CP) คอมพิวเตอร์
และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- (GN) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
กับวิศวกรรมไฟฟ้า
- (BE) วิศวกรรมชีวการแพทย์

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Latyao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503-1504

Fax: 02-579-7566



L&E

ilicon craft

ABB

วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ

Adaptive Window Size Multi-Focus Images Fused Based On Sum of Modified Laplacian

นิวัฒน์ น้อมนบ และ ยุธธนา คัดใจเดียว

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ : 0-2329-8000 - 99 E-mail: niwat_nom@hotmail.com, kkyuttan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานที่นำเสนอเป็นการปรับปรุงภาพโดยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดด้วยวิธีการวัดความชัดแบบปรับขนาด Window ซึ่งพัฒนามาบนพื้นฐานวิธีการวัดแบบ Sum of Modified Laplacian (SML) โดยวิธีการจะทำการเลือกบริเวณที่ชัดที่สุดของแต่ละภาพมารวมกันเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดทั้งภาพ ซึ่งขนาดของ Window จะปรับขนาดได้ โดยขนาดที่ใช้ในการวัดจะขึ้นอยู่กับค่าของความแปรปรวนใน Window ของภาพต้นฉบับที่ผ่านการหาขอบภาพ ดังนั้นงานที่นำเสนอจะใช้ขนาด Window ในการวัดความชัดที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ของภาพทำให้ผลที่ได้มีความชัดพลาดน้อยและได้รอยต่อของการรวมภาพที่ราบเรียบ

คำสำคัญ: การวัดความชัดภาพ, การรวมภาพ

Abstract

This paper presents new a method to improve image quality by using adaptive window size multi-focus image fusion based on Sum of Modified Laplacian (SML). The method employs the focus measurement to select the best in focus area of the input images. Then combine these areas to be the output image which all areas are in focus. The size of the window for the focus measurement is adjustable. The criterion to adjust the window size is the variance of gray level information of edged input images. Therefore, the proposed method will use appropriate size of the window for each area in the input images. The result showed the improvement of this method, which give the smoother boundary.

Keywords: Focus Measurement, Multi-Focus Images Fusion

1. คำนำ

ด้วยข้อจำกัดของเลนส์ที่ใช้ถ่ายภาพและสภาพแวดล้อมทำให้การถ่ายภาพหลายวัตถุที่อยู่ในระยะต่างกันจะได้ภาพที่มีเพียงวัตถุที่อยู่ในจุดโฟกัสเท่านั้นที่ชัด ซึ่งเป็นเลนส์ที่มีกำลังขยายสูงแล้วจะชัดลึก (Depth of Field) ของเลนส์จะมีค่าน้อยมากทำให้วัตถุที่อยู่ในระยะ

โฟกัสเพียงเล็กน้อยจะได้ภาพที่ไม่ชัดแล้ว ซึ่งปัญหานี้จะเห็นได้ชัดเจนในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงๆ เช่น การใช้งานกล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวต่างๆ กัน ซึ่งถ้ากล้องโฟกัสที่พื้นผิวใดพื้นผิวนั้นจะชัดส่วนพื้นผิวอื่นจะเบลอ ด้วยเหตุนี้จึงมีการแก้ปัญหาโดยการถ่ายภาพทีละพื้นผิวแล้วทำการรวมภาพโดยเลือกเอาเฉพาะบริเวณที่ชัด

การหาบริเวณที่ชัดของภาพจะใช้วิธีการวัดความชัดของภาพซึ่งจะเป็นการหารายละเอียดของภาพ ตรงบริเวณที่ได้โฟกัสจะมีรายละเอียดของภาพที่ชัดเจน ซึ่งมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน ในงานของ Said Pertuz และคณะ จะแบ่งวิธีการวัดออกเป็นกลุ่มดังนี้ Gradient-Based, Laplace-Based, Wavelet-based, Statistics-Based, DCT-Based, Miscellaneous ในกลุ่ม Wavelet-based จะให้ผลลัพธ์ค่อนข้างดีเมื่อขนาด Window เล็ก ส่วน Gradient-Based จะไวต่อขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลง ส่วนกลุ่ม Laplacian-Based จะทำงานได้ดีที่สัญญาณรบกวนน้อยแต่ Statistics-Based จะทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากกว่า[2] นอกจากนี้ยังมีวิธีการที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น Fusion Based on PCNN [3], Neural Network Based image fusion [4] ซึ่งกลุ่มนี้จะต้องใช้การประมวลผลและการคำนวณค่อนข้างสูง

วิธีการวัดแบบ SML จะอยู่ในกลุ่ม Laplacian-Based ซึ่งมีผลการศึกษาพบว่ามีสัญญาณรบกวนต่ำที่ดี อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะต้องเลือกขนาด Window ให้เหมาะสมกับภาพที่จะนำมาวัดความชัด หากเลือกขนาดที่ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ผลการวัดออกมาไม่ดี ถึงแม้ว่าจะได้ขนาดที่เหมาะสมแล้วจากการสังเกตจะเห็นได้ว่าตรงรอยต่อจะมีผลการวัดที่ผิดพลาดจากขนาดของ Window ที่ใช้ ในงานของ Cheng-I Chen และคณะ ได้นำเสนอการวัดความชัดแบบใช้ขนาด Window หลายขนาดโดยขึ้นอยู่กับขอบภาพแบบ Discriminative edge โดยใช้วิธีการหาขอบภาพแล้วหาขนาดของ Window ที่เหมาะสมจากนั้นก็คำนวณหาความชัดของภาพ [5]

งานที่นำเสนอจะพัฒนามาบนพื้นฐานการวัดความชัดของภาพแบบ SML ซึ่งมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน โดยการคำนวณจะใช้ขนาด Window ที่เปลี่ยนแปลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับขอบภาพที่จะทำการวัดความชัด บริเวณที่มีขอบจะใช้ขนาด Window ที่เล็ก ส่วนบริเวณที่ไม่มีขอบภาพจะใช้ Window ที่ใหญ่[5] ส่วนเกณฑ์ในการ

เปลี่ยนขนาด Window จะขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวน (Variance) ใน Window ของภาพที่ได้จากการทำ Modified Laplacian เป็นตัวกำหนด

2. วิธีการ

2.1 พื้นฐานการวัดความชัดของภาพ

เมื่อพิจารณาบริเวณภาพที่ไม่ได้โฟกัสบริเวณนั้นจะมีรายละเอียดของภาพน้อยและในทางกลับกันบริเวณที่ได้โฟกัสจะมีรายละเอียดของภาพมาก ดังนั้นการวัดความชัดจะเป็นการหารายละเอียดของภาพว่ามีมากน้อยแค่ไหน ซึ่งวิธีการหารายละเอียดของภาพจะมีหลายวิธี อย่างเช่น วิธีการหา Contrast จะเป็นการหาความแตกต่างระหว่างพิกเซลที่ทำกรวัดกับพิกเซลรอบข้าง ภาพที่รายละเอียดมากจะมีค่าความแตกต่างมาก วิธีการทำ Gradient จะเป็นการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งบนพิกเซลที่ทำกรวัด วิธีการทำ Laplacian จะเป็นกรหาอนุพันธ์อันดับสอง ส่วนวิธีการแปลง Wavelet จะเป็นรูปแบบการวัดแบบแยกองค์ประกอบย่อย และยังอีกหลายรูปแบบที่ใช้การคำนวณที่สูงขึ้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วแต่ละวิธีจะใช้วิธีการคำนวณเกี่ยวกับพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ใน Window เดียวกัน โดยขนาด Window จะมีขนาดเป็นจตุรัส ซึ่งขนาดนี้จะมีผลต่อการวัดความชัดซึ่งกล่าวไปแล้วข้างต้น

2.2 การคำนวณหาความชัดของภาพแบบปรับขนาด Window

การวัดความชัดจะพัฒนามาบนพื้นฐานงานของ S. Nayar ซึ่งเป็นกรวัดแบบ SML [1] วิธีการหาผลรวมของการแปลง Modified Laplacian โดยการแปลงนั้นจะทำการ Convolution ภาพกับ Mask ในแนวแกน X และแนวแกน Y

$$O_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j) \quad (1)$$

สมการที่ 1 แสดงการหาค่าผลรวมของการแปลง Modified Laplacian ตามขนาด Window ซึ่งการเลือกขนาด Window จะขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวนที่เปลี่ยนแปลงซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป ส่วน Δ_m คือการแปลง Modified Laplacian หาได้โดย

$$\Delta_m I = |I * L_x| + |I * L_y| \quad (2)$$

สมการที่ 2 เป็นการทำ Convolution ระหว่างภาพกับ Mask ในแนวแกน X และแนวแกน Y ส่วน Mask ที่ใช้จะมีค่าดังนี้

$$L_x = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \text{ และ } L_y = L_x^T$$

ที่ตำแหน่งพิกเซลใดๆ $I(x,y)$ จะได้ค่าผลรวมการแปลง Modified Laplacian เป็น $O_{x,y}$ ค่านี้จะแปรผันตามความชัดของภาพ ถ้าตำแหน่งใดมีค่ามากก็แสดงว่าตำแหน่งนั้นได้โฟกัสซึ่งมีความชัด

2.3 การเลือกขนาด Window แบบอัตโนมัติ

เมื่อพิจารณาภาพที่โฟกัสเฉพาะจุด แล้วจะเห็นว่าตรงบริเวณรอยต่อระหว่างจุดที่ชัดและจุดที่เบลอจะมีรอยต่อที่ชัดเจน เมื่อทำการหาขอบภาพแล้วก็จะได้ขอบของรอยต่อนี้ ดังนั้นตรงจุดนี้จะใช้ขนาด Window ที่เล็ก

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (I(i,j) - \bar{I})^2} \quad (3)$$

เกณฑ์ในการปรับขนาด Window นั้นจะใช้ค่าความแปรปรวน (Variance) ของความเข้มระดับเทาใน Window เป็นตัวตัดสิน โดยจะใช้สมการที่ 3 เมื่อหาค่าความแปรปรวนที่ขนาด Window ที่ลดลงแล้วค่าความแปรปรวนที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยแสดงว่าข้อมูลบริเวณนั้นของภาพไม่มีลักษณะเด่นซึ่งจะไม่ใช้ขอบภาพ จึงกลับไปใช้ขนาด Window ที่ใหญ่ในการวัด แต่ถ้าค่าความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามขนาด Window ที่ลดลงแสดงว่าข้อมูลตรงบริเวณนั้นมีลักษณะเด่นหรือเป็นขอบภาพ ในกรณีนี้ขนาด Window จะลดลงจนค่าความแปรปรวนไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงเลือกขนาด Window นั้นมาใช้ในการวัด



(a)



(b)

รูปที่ 1 (a) โฟกัสด้านหน้า (b) ผลการทำ Modified Laplacian

จากรูปที่ 1 (a) เป็นรูปที่โฟกัสด้านหน้าที่ตำแหน่งรูบิกซึ่งบริเวณนี้จะชัด ส่วนบริเวณอื่นจะเบลอ เมื่อทำ Modified Laplacian จะได้ผลดังรูปที่ 1 (b) ซึ่งบริเวณที่มีรายละเอียดจะเกิดเป็นขอบภาพ และเมื่อทำการหาค่าความแปรปรวนที่จุด A และจุด B เห็นว่าที่จุด B เป็นบริเวณที่มีรายละเอียดน้อย เมื่อขนาด Window ลดลงแล้วค่าความแปรปรวนจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นตรงจุดนี้จะใช้ขนาด Window ที่ใหญ่ ส่วนที่จุด A เป็น

บริเวณที่มีรายละเอียดมากกว่าความแปรปรวนจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาด Window ลดลง ดังนั้นจุดนี้ จะใช้ขนาด Window ที่เล็กลง

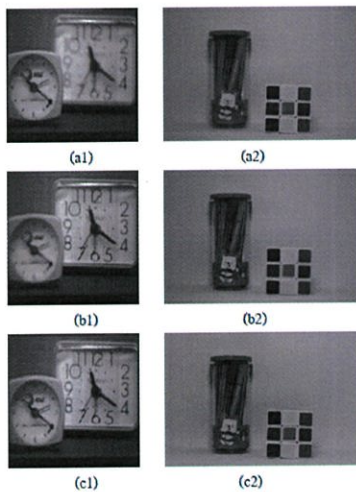
จะเห็นว่ากระบวนการเริ่มที่ขนาด Window ที่ใหญ่ก่อนแล้วปรับให้เล็กลงถ้าค่าความแปรปรวนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวัดความชัดจะได้ขนาด Window ที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ของภาพ

4. ผลการทดลอง

ในการทดลองจะใช้ภาพที่โฟกัสตำแหน่งต่างๆกัน จากนั้นก็ทำการรวมภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิงที่มีความชัดทั้งภาพแล้วหาค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error)

$$MSE = \frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (RI_{(x,y)} - FI_{(x,y)})^2 \quad (4)$$

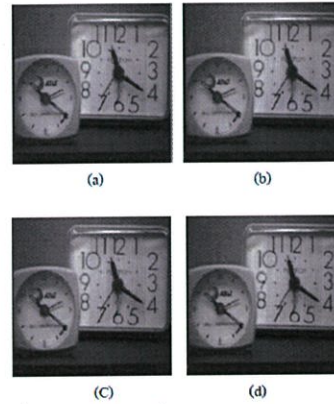
จากสมการที่ 4 MSE คือค่าความผิดพลาดกำลังสอง ส่วน RI คือภาพอ้างอิงและ FI คือภาพที่ได้จากการรวมภาพ



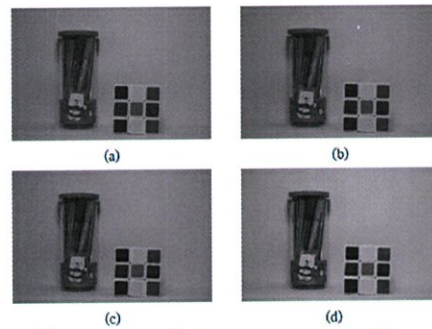
รูปที่ 2 (a) โฟกัสด้านหน้า (b) โฟกัสด้านหลัง (c) ภาพอ้างอิง

รูปที่ 2 (a) และ (b) เป็นรูปที่นำมาทำการทดลอง ส่วนภาพ 2 (c) เป็นภาพอ้างอิงที่ชัดหมดทั้งภาพ รูปที่ 3 (a) เป็นผลจากการรวมภาพแบบ Sum of Modified Laplacian ด้วยขนาด Window แบบคงที่ 15x15 รูปที่ 3 (b) เป็นผลจากการรวมแบบ Graylevel Variance (GLVA)[2] ที่ขนาด Window 7x7 รูปที่ 3 (c) เป็นผลจากการรวมแบบ Sum of Wavelet Coeffis (WAVS) [2] ที่ขนาด Window 51x51 ส่วน รูปที่ 3 (d) เป็นภาพจากงานที่นำเสนอ เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4 แต่ขนาด Window จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าขนาด Window ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะเป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าความ

ผิดพลาดน้อยสุดในแต่ละวิธี ในตารางที่ 1 เป็นค่าความผิดพลาดของการรวมแต่ละแบบเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิง



รูปที่ 3 ผลการรวมภาพชุดที่ 1 (a) แบบ SML(15x15) (b)แบบ GLVA(7x7) (c)แบบ WAVS(51x51) (d) แบบที่นำเสนอ

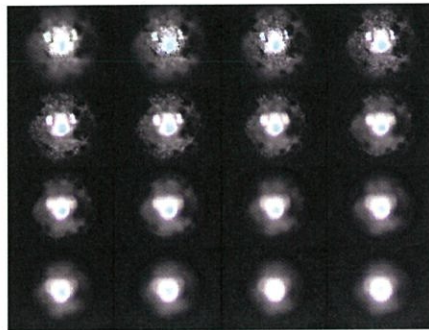


รูปที่ 4 ผลการรวมภาพชุดที่ 2 (a) แบบ SML(7x7) (b)แบบ GLVA(7x7) (c)แบบ WAVS(9x9) (d) แบบที่นำเสนอ

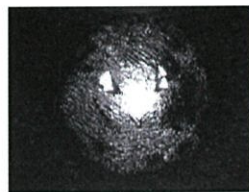
ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดของวิธีการวัดแบบต่างๆ

Operation	ภาพชุดที่ 1	ภาพชุดที่ 2
	MSE / Widow Size	MSE / Widow Size
LAPM	31.97269 / 15	135.9655 / 7
WAVS	32.97617 / 51	135.9656 / 9
GLVA	32.40327 / 7	136.9225 / 7
Propose Method	31.67901 / Adaptive	134.8 / Adaptive

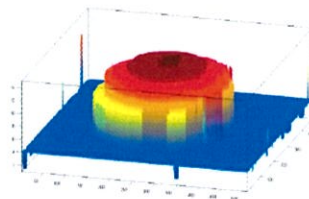
จากการทดลองจะเห็นว่าวิธีการวัดที่นำเสนอขึ้นให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และเมื่อสังเกตจากภาพผลลัพธ์จากการรวมภาพจะเห็นว่าได้ภาพที่มีรอยต่อที่ราบเรียบและมีสัญญาณรบกวนน้อย



รูปที่ 5 ภาพการโฟกัสแบบลำดับ



รูปที่ 6 ผลการรวมภาพ



รูปที่ 7 แผนที่ความลึก

การทดลองการรวมภาพโฟกัสแบบลำดับ ภาพต้นฉบับจะแสดงในรูปที่ 5 เป็นภาพห่วยบอล(Solder Ball)ของวงจรรวม(IC)แพคเกจแบบ CSP ซึ่งจะมีทั้งหมด 16 รูปโดยจะโฟกัสจากส่วนบนสุดของบอลไล่ไปจนถึงฐาน ผลที่ได้จากการรวมจะแสดงในรูปที่ 6 ส่วนรูปที่ 7 แสดงแผนที่ความลึก

5. สรุป

การรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะ จุดแบบปรับขนาด Window อดโนมิติ นั้นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการวัดแบบ SML ที่เป็นแบบขนาด Window คงที่ได้ โดยที่ขนาดของ Window ของงานที่นำเสนอขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวนใน Window ของภาพที่ผ่านการหาขอบ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการวัดความชัดแบบ SML เดิมอยู่แล้ว จะเพิ่มกระบวนการหาค่าความแปรปรวนขึ้นมาทำให้วิธีการใหม่อยังคงรูปแบบวิธีการวัดที่ง่ายแต่ประสิทธิภาพสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท แม็กซิมอินทริเกรเท็ดโปรดักส์ประเทศไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุน เครื่องมือและเวลาในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Nayar, Y. Nakagawa, "Shape from focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Issue 16, 1994, Page 824-831.
- [2] S. Pertuz, D. Puig, A. Garcia, "Analysis of focus measure operators for shap-from-focus," Pattern Recognition, Volume 46, Issue 5, May 2013, Pages 1415-1432
- [3] X. Wang, D. Zhou, R. Nie, "Multi-focus Image Fusion Based on PCNN Model," Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, Volume 1, 2012, Page 289 - 292
- [4] S. Li, J.T. Kwok, Y. Wang, "Multifocus image fusion using artificial neural networks," Pattern Recognition Letter 23 (2002), Page 985-997.
- [5] C. Chen, P. Lin, P. Huang, "A new fusion scheme for multi-focus images based on dynamic salient weights on discriminative edge points," Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), Volume 1, 2010, Page 351 - 356

ประวัติผู้เขียนบทความ

ฉวีรัตน์ น้อมหม

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความสนใจด้าน การประมวลผลภาพ

ยุทธนา กิจใจเดียว

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก จากประเทศอังกฤษ ปัจจุบันเป็น อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำงานวิจัยด้าน การประมวลผลภาพ, Artificial Neural Network และ Biomedical Electronics

JICTEE 2014

The Forth Joint International Conference on Information and
Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering

March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand



JICTEE
2014

Adaptive Window Size Multi-Focus Images Fused Based On Sum of Modified Laplacian

Niwat Nomnob

Department of Electronics Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand.
Niwat_nom@hotmail.com

Yuttana Kitjaidure

Department of Electronics Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand.
kkyuttan@gmail.com

Abstract— This paper presents a new method to improve image quality by using adaptive window size multi-focus image fusion based on Sum of Modified Laplacian (SML). The method employs the focus measurement to select the best in focus area of the input images. Then combine these areas to be the output image which all areas are in focus. The size of the window for the focus measurement is adjustable. The criterion to adjust the window size is the variance of gray level information of edged input images. Therefore, the proposed method will use suitable size of the window for each area in the input images. The result showed the improvement of this method, which gives the smoother boundary.

Keywords— *Images Fusion, Multi-Focus Images Fusion, Adaptive Window Size Multi-Focus Images Fused.*

I. INTRODUCTION

The depth of field is a limitation of optic lens. This problem will result to defocus in an image. The only the objects within the depth of field are sharply focused. Especially lens with high degree of magnification, the depth of field is very small this will result to defocus of objects with certain different position from a focal plane. Microscopy is usually encountered this problem because of high magnitude of the lens. For example using 500X microscope inspects the multi-surfaces work piece, the depth of field is in micrometer level so this will result the only one surface in focal plane focused. Inspection one by one surface can cover this but take longer time and difficulty to make the decision. But some applications need to integrate all surfaces in one picture to clearly view. The multi-focus images fusion technology was proposed to solve this problem. The method employs the focus measurement to select the best in focus area of the input images. Then combine these areas to be the output image which all areas are in focus.

There are many operations of focus measurement have been proposed. Each operation has advantages and disadvantages. In Said P. et work, they divided the focus measurement operator in groups by methodology. The first one is Gradient-based. This operator based on gradient or first derivative of the image. This method has sensitive to window size. The second group is Laplace-based. It is second derivative of the image. This method has a good performance with low noise image inputs. The third group is Wavelet-based. This operator uses discrete wavelet transform to describe the

frequency and spatial content of image. The advantage of this operator is not sensitive to the window size. The fourth group is Statistics-based. This group has an advantage in noise robustness [2]. There are other operators which more complex such as Fusion based on PCNN [3] and Neural Network based image fusion [4].

SML focus measurement method is in Laplacian-Based group. This method has a good performance measurement result with low noise images [2]. However, this method uses the fixed window size. Therefore the measurement result is depended on this window size. The inapplicable window size will cause higher errors of measurement results. In observations, the fusion errors can be seen on boundaries which were affected from the size of the window. Cheng-I Chen et al proposed a new method which the window size is adjustable by discriminative edge [5]. This method reduced the error from falling edge.

The proposed method was developed based on SML. It is a simple computation. The computation use the window size automatic adjustable which size is depending on edge information of the image. The small window size should be used on edge area and the large window size for the area with no edge [5]. The criterion to adjust the window size is the variance of gray level information of edged input images.

The proposed method developed based on SML focus measurement method. The SML method has an advantage in simple calculation but give a good performance result. The proposed method added the automatically window size adjustment in the original SML method. The window size adjustment is depended on the image edged information. The edged area of the image will use the small window while other areas will use bigger window size [5]. The criteria to select the window size are a gray level information variance of the edged image.

II. METHOD

A. Focus measurement and window size effects

The focus measurement is the image sharpness measure. Recently, there are many focus measure techniques. Here are some focus measure methods: Contrast, Gradient, Laplacian, Statistic and Wavelet. Almost all techniques compute in fixed

$m \times m$ window size. Therefore, the window affects most of the efficient of focus measurement. The wrong window size will result in bad performance.

B. SML Focus measurement

The proposed method of focus measurement is developed based on the work of S. Nayar, which is the Sum of Modified Laplacian[1]. The approach is the sum of Modified Laplacian transformation by a convolution image mask in X axis and Y axis.

$$\Phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j) \quad (1)$$

Equation (1) shows the computation of Sum of Modified Laplacian. The computation is summation of the gray level intensity in the window. The window size in this work depends on the change of the variance. For window size selection will be described in the next section. Δ_m is the Modified Laplacian transform obtained from equation (2).

$$\Delta_m I = |I * L_x| + |I * L_y| \quad (2)$$

Equation 2 is the convolution between the mask and images in X axis and Y axis. The mask is as follows.

$$L_x = [-1 \ 2 \ -1] \text{ And } L_y = L_x^T$$

$\Phi(x, y)$ is the sum of Modified Laplacian at any pixel in image $I(x, y)$. The value is variable to the sharpness of the image. If any positions get the high value, it indicates that position is very clear focus. The output image of modified Laplacian process is the second order derivative. Therefore this process gives the edged image result.

C. Automatic window size selection

In observation of the multi-focus image, (the output image of modified Laplacian process) there is an edge sharply on the boundary between focus area and defocus area. To reduce the measurement error, the small window size must put in boundary. In defocus area of the edged image, there is no edge so the gray level information has no variation even the window size was changed. But on focus area there is the edge and the gray level information is variation.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (I(i,j) - I)^2} \quad (3)$$

The variance of gray level intensity in the window is the criteria that will be used to select size of the window. Equation (3) is used for variance estimation in the window. In case a variance does not change or slightly changes by the window size it means this area of the image is not variation which is not edges. In this case large window size will be selected for the measurement. But if the variance changes by window size, this area has a distinctive edge. The window size will be reduced until the variance does not change then choose this window size for the focus measurement. Figure 1 (a) is a front focus which focus on position of a Rubik. The other areas of the image are blurred. The result image of the Modified

Laplacian process shows in figure 1 (b). There is the edge in the focused areas. Consider the variance at point A and B of the image, at point B is an area with less detail. In this case the variance is not changed by the window size so the large window is selected for this point. At point A there is more detail. The variance will change by the window size. In this case the smaller window size will be selected for the measurement.

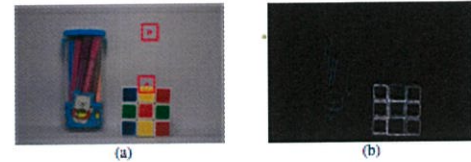


Fig. 1. (a) The front focus image (b) Results of the Modified Laplacian

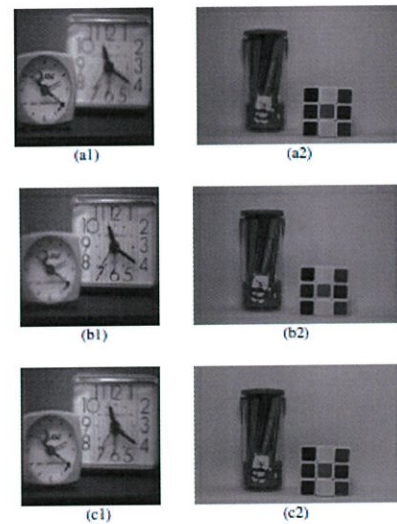


Fig. 2. Test images which consist of two sets (a) A front focus image (b) A rear focus image (c) A reference image

The process will start with the large window size and then reduce the size until the variance is not change. Therefore the proposed method will use the suitable window size for each area of the image.

However, there is noise or high frequency in some areas of low detail region. The pre-processing was employed to reduce this problem. The low pass filter was selected for noise reduction before processing window size selection.

III. EXPERIMENTS

The different focused images were used in this experiment. The fused image was compared with the reference image for all

area in the image focused. Then, the mean square error was used for a performance indicator.

$$MSE = \frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (RI_{(x,y)} - FI_{(x,y)})^2 \quad (4)$$

The mean square error was shown in equation (4). MSE is a mean square error, RI is a reference image and FI is a fused image.

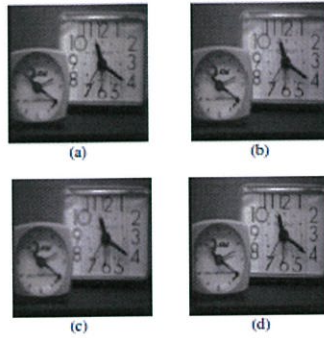


Fig. 3. The result from image set 1 (a) SML (15x15) (b) GLVA (7x7) (c) WAVS (51x51) (d) The proposed Method

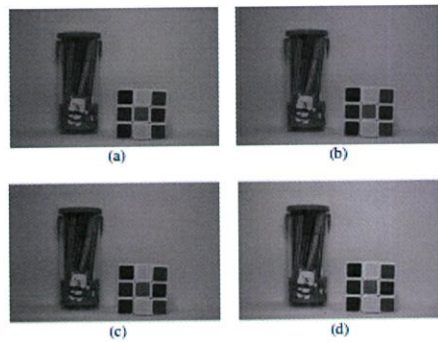


Fig. 4. The result from image set 2 (a) SML (7x7) (b) GLVA (7x7) (c) WAVS (9x9) (d) Proposed Method

Table 1. The comparison of mean square error

Operation	Image set 1		Image set 2	
	MSE	Widow Size	MSE	Widow Size
LAPM	31.97269	15x15	135.9655	7x7
WAVS	32.97617	51x51	135.9656	9x9
GLVA	32.40327	7x7	136.9225	7x7
Proposed	31.67901	Adaptive	134.8	Adaptive

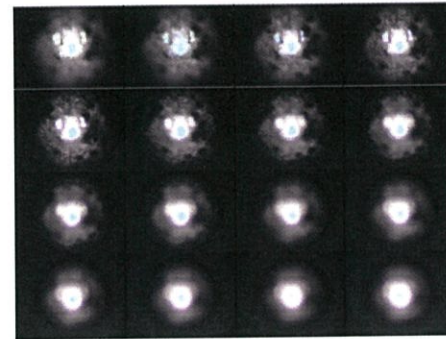


Fig. 5. The sequence of focus images.

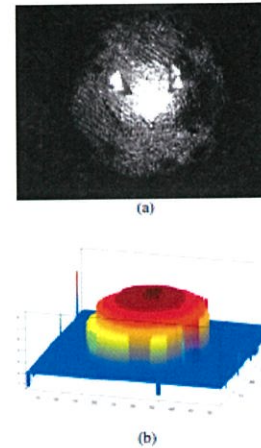


Fig. 6. (a) A result of sequence focus images fusion (b) Depth map

Figure 2 (a) and (b) are the different focused images. Figure 2 (c) is reference image with all area focused. Figure 3 (a) is the result image from Sum of Modified Laplacian with fixed window size at 15x15. Figure 3 (b) shows a result image of gray level Variance (GLVA) [2], with fixed window size at 7x7. Figure 3 (c) is the result image of Sum of Wavelet Coefficient (WAVS) [2], with fixed window size at 51x51. Figure 3 (d) is the image from the proposed method.

Similar results obtained in Figure 4, but the size of window is different from the first experiment, which shows that the appropriate size of window used in the experiments gives the result in less error. Table 1 shows the performance comparison between the conventional and the proposed method in term of MSE.

The experiment result showed the proposed method gives the best performance and also gives a smooth boundary with little noise.

JICTEE 2014

The experiment of the sequence image focus, the source images are shown in Figure 5. It is a solder ball of integrated circuit (IC) and the package is CSP. There are 16 images with different focus positions. The sequence focus starts from the top of a ball to the bottom. The result obtained from the proposed method was shown in Figure 6(a) and Figure 6(b) showed the depth map.

IV. SUMMARY

The proposed method is adaptive window size for multi-focus image fusion. This method has better performance than the original SML operator which using fixed window size. The criterion to adjust the window size is the variance of gray level information of edged input images. Therefore edged image process is a part of original SML operator. Only the computation of the variance process was added in this work. So

the new method still simple but it can improve the performance.

REFERENCES

- [1] S. Nayar, Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Issue 16, 1994, Page 824-831.
- [2] S. Pertuz, "Analysis of focus measure operators for shape-from-focus," *Pattern Recognition*, Volume 46, Issue 5, May 2013, Pages 1415-1432
- [3] X. Wang, "Multi-focus Image Fusion Based on PCNN ModzL," *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Volume 1, 2012, Page 289 - 292
- [4] S. Li, J.T. Kwok, Y. Wang, "Multifocus image fusion using artificial neural networks," *Pattern Recognition Letter* 23 (2002), Page 985-997.
- [5] C. Chen, "A new fusion scheme for multi-focus images based on dynamic salient weights on discriminative edge points," *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, Volume 1, 2010, Page 351 - 356

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณวัฒน์ น้อมนบ
วัน เดือน ปีเกิด	1 มกราคม 2525 ที่จังหวัด เชียงราย
ที่อยู่	88/33 หมู่ 1 หมู่บ้านประภัสสร 6 ตำบล หนองกะขะ อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี 20160
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ 2.) การประมวลผลภาพ
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2548 - ปัจจุบัน	ทำงานในตำแหน่ง Test Production Engineer บริษัท Maxim Integrated Product Thailand