

การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ

**A COMBINATION OF CORRUGATED CARDBOARD IMAGE
USING IMAGE STITCHING TECHNIQUE**

วนิดา สุวรรณกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การรวมภาพกระดาษถูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ

วนิดา สุวรรณกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ

A Combination of Corrugated Cardboard Image Using Image Stitching
Technique

ชื่อ – นามสกุล

นางสาววนิดา สุวรรณกิจ

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา

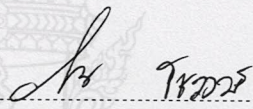
อาจารย์ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.


ปีการศึกษา


2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย พันธุ์คง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา ชัยวงษ์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกอ อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรวมภาพกระดาดลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ
ชื่อ - นามสกุล	นางสาววนิดา สุวรรณกิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การนับกระดาดลูกฟูกอัตโนมัติโดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องของกล้องที่มีราคาแพง เพื่อลดต้นทุนของระบบ จึงมีแนวความคิดที่นำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพแทน ซึ่งมีพื้นที่การรับภาพที่จำกัดทำให้ไม่สามารถรับภาพกระดาดลูกฟูกที่วางเรียงเป็นกองขนาดสูงที่ไม่เท่ากันได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องนำภาพกระดาดลูกฟูกที่ถ่ายในแต่ละภาพมาต่อกัน เพื่อให้ได้ภาพที่ครอบคลุมทั้งกองกระดาดลูกฟูก

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนออัลกอริทึมการต่อภาพเพื่อรวมภาพกระดาดลูกฟูก ซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพด้วยวิธีฟอรัทเนอร์ การจับคู่คุณลักษณะที่มีความสอดคล้องกันและกำจัดข้อมูลที่ไม่สอดคล้องด้วยวิธีการหาความสอดคล้องข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่ม และใช้เทคนิคการปรับแก้แบบกลุ่มในการรวมภาพทั้งหมดด้วยการปรับตำแหน่งของภาพผลลัพธ์ แล้วนำอัลกอริทึมที่ออกแบบไปทำการทดสอบด้วยโปรแกรม HALCON และทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกที่ออกแบบโดยการนำภาพผลลัพธ์ไปนับหาจำนวนกระดาดลูกฟูกด้วยวิธีตรวจหาพื้นที่ลอนเพื่อหาจำนวนกระดาดลูกฟูก

ผลการทดสอบกับการถ่ายภาพกระดาดลูกฟูกชนิด BC, C และ B พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถรวมกระดาดลูกฟูกได้ถูกต้อง โดยมีการทับซ้อนระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำภาพที่ได้จากเทคนิคการต่อภาพมานับจำนวนกระดาดด้วยระบบแมนนวล และโปรแกรม เปรียบเทียบกับจำนวนกระดาดจริงพบว่าสามารถนับได้จำนวนเท่ากัน และมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างจากกล้องถึงกองกระดาด 480 มิลลิเมตร \pm 30 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: กล้องรับภาพแบบพื้นที่ เทคนิคการต่อภาพ การนับจำนวนกระดาดลูกฟูก

Thesis Title	A Combination of Corrugated Cardboard Image Using Image Stitching Technique
Name - Surname	Miss Wanida Suwannakit
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.
Academic Year	2018

ABSTRACT

Automatic counting the number of corrugated cardboard using line scan camera has a limitation on the cost of the camera which is very expensive. To reduce the cost of the system, an area scan camera is considered to be used instead of the line scan camera to capture the corrugated cardboard image. However, the capability of the area scan camera is limited because it cannot capture the image of the whole pile of corrugated cardboards which do not have the same height. To solve this problem, the cardboard images need to be combined to get the picture of the whole cardboard pile.

The thesis proposed the algorithm of image stitching technique to combine the corrugated cardboard images. The algorithm consists of the detection feature of corner using Foerstner method, the matching feature to find harmonious characteristics and eliminate unmatched information by using random sample consensus (RANSAC), and the bundle adjustment feature for image composition by refining the output image position. After that, the designed algorithm was tested by HALCON program. The algorithm of the combination of cardboard images on the cut-off side was also tested. Result images were used to detect the flute area to determine the number of corrugated cardboards.

The experimental result of the photos type BC, B and C was found that the proposed method can combine the cardboard images correctly with an overlapping of at least 25% between images. Then, the number of corrugated cardboard on the stitched image was counted manually by hand and automatically by the program. When the results were compared with real number of corrugated cardboard, it was found that the accuracy was 100%. The distance of the camera from the pile of the cardboard was $480 \text{ mm} \pm 30 \text{ mm}$.

Keywords: area scan camera, image stitching technique, counting corrugated cardboard

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์บทความและงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามีความพยายาม มุมานะในการทำวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ด้วยดีตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วนิดา สุวรรณกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	15
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	15
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	16
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 ความหมายของกระดาศลูกฟูก.....	18
2.2 ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้อง (Machine Vision System).....	24
2.3 เทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching Technique).....	31
2.4 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing).....	37
2.5 เทคนิคมอร์โฟโลยี (Morphology).....	41
2.6 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นแบบไบนารี (BLOB Analysis).....	44
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
3.1 ศึกษาวิธีการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่.....	49
3.2 ศึกษาวิธีการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ.....	54
3.3 ออกแบบอัลกอริทึมการนับกระดาศทางด้านลอนลูกฟูก (Cut-off).....	58
3.4 วิธีนับจำนวนกระดาศลูกฟูก.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ศึกษาโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพ	65
3.6 สรุป.....	68
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	69
4.1 ผลทดสอบการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ..	69
4.2 ผลทดสอบหาขนาดพื้นที่ซ้อนทับที่ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับต่างๆ	76
4.3 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ซ้อนทับต่างๆ โดยกำหนดค่าระยะรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร	79
4.4 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ	85
4.5 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละค่าระยะการรับภาพ (Working Distance) ที่แต่ละ เปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับของกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิด.....	90
4.6 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกทางด้านลอน	97
4.7 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกทางด้านลอนเมื่อระยะการรับภาพ (Working Distance) มีการเปลี่ยนแปลง.....	105
4.8 สรุป.....	111
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	112
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	112
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	114
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	119
ประวัติผู้เขียน.....	135

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดของลอนกระดาศลูกฟูก	23
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของการเชื่อมต่องอ่กับคอมพิวเตอร้ในแบบต่าง ๆ	27
ตารางที่ 4.1	ขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ของ Basler รุ่น Aca 1300-30 gm. ที่ระยะการรับภาพ (Working Distance) ที่ค่าต่าง ๆ	70
ตารางที่ 4.2	จำนวนกระดาศลูกฟูกที่ครอบคลุมภายในหนึ่งภาพของกล้องรับภาพแบบพื้นที่ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca 1300 – 30 gm.	71
ตารางที่ 4.3	ค่าขนาดพื้นที่ช้อนทับที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การช้อนทับที่ค่าต่าง ๆ ของกระดาศลอน BC	76
ตารางที่ 4.4	ค่าขนาดพื้นที่ช้อนทับที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การช้อนทับที่ค่าต่าง ๆ ของกระดาศลอน B	77
ตารางที่ 4.5	ค่าขนาดพื้นที่ช้อนทับที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การช้อนทับที่ค่าต่าง ๆ ของกระดาศลอน C	78
ตารางที่ 4.6	ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน BC จำนวน 73 แผ่น ...	80
ตารางที่ 4.7	ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน B จำนวน 73 แผ่น	81
ตารางที่ 4.8	ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน C จำนวน 73 แผ่น	82
ตารางที่ 4.9	เวลาที่ใช้ในกระบวนการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ	84
ตารางที่ 4.10	จำนวนกระดาศในพื้นที่ช้อนทับเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละระยะการรับภาพระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศ (Working Distance)	86
ตารางที่ 4.11	ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่การช้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของกระดาศชนิด BC	87
ตารางที่ 4.12	ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่การช้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของกระดาศชนิด B	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของ กระดาศชนิด C	89
ตารางที่ 4.14 ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้องในแต่ละค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับในแต่ละ ค่า Working Distance	91
ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อน ทับต่างๆ ของกระดาศชนิด BC	92
ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อน ทับต่างๆ ของกระดาศชนิด B	93
ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อน ทับต่างๆ ของกระดาศชนิด C	94
ตารางที่ 4.18 จำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละค่า Working Distance.....	96
ตารางที่ 4.19 ค่ากำหนดขีดแบ่งที่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้	97
ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน BC, B และ C แบบ Manual โดยกำหนดค่าระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตรและเปรียบเทียบกับจำนวนของ กระดาศจริง	98
ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ด้วยโปรแกรมซึ่งกำหนดค่า ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตรโดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาศจริง ..	100
ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้วย โปรแกรมซึ่งกำหนดค่า ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตรโดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาศจริง ..	102
ตารางที่ 4.23 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C ด้วย โปรแกรมซึ่งกำหนดค่า ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตรโดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาศจริง ..	103
ตารางที่ 4.24 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, C และ B เทียบแบบ Manual และแบบใช้โปรแกรมนับ	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.25 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 15 แผ่น ด้วย โปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้	106
ตารางที่ 4.26 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 20 แผ่น ด้วย โปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้	107
ตารางที่ 4.27 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 30 แผ่น ด้วย โปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้	108



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างกระดาดลูกฟูกชนิด BC.....	18
รูปที่ 2.2 ชนิดแผ่นกระดาดลูกฟูก.....	19
รูปที่ 2.3 สีของกระดาดกราฟท์ที่ใช้ผลิตแผ่นกระดาดลูกฟูก	21
รูปที่ 2.4 บริเวณสำหรับใช้พิจารณาในการตรวจสอบ	23
รูปที่ 2.5 ก่อตั้งอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานตรวจสอบชิ้นงาน	25
รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์สำหรับการพิจารณาเลือกเลนส์กล้อง	27
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ให้แสงแบบวง	28
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ให้แสงแบบ โคม	29
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ให้แสงแบบวงชนิดมุมแสงต่ำ	29
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ให้แสงแบบจุด	30
รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่ง	30
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ของวิธี RANSAC.....	34
รูปที่ 2.13 การจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน.....	35
รูปที่ 2.14 ลักษณะภาพสี.....	38
รูปที่ 2.15 ลักษณะภาพระดับสีเทา.....	38
รูปที่ 2.16 ลักษณะภาพขาวดำ.....	39
รูปที่ 2.17 ลักษณะของ Structure Element.....	41
รูปที่ 2.18 การทำการขยายภาพ	42
รูปที่ 2.19 การทำการลดขนาดภาพ	43
รูปที่ 2.20 การแยกกลุ่มจุดภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบลึบ.....	45
รูปที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่	50
รูปที่ 3.2 กล้องรับภาพแบบพื้นที่ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca 1300-30 gm.....	51
รูปที่ 3.3 ลักษณะการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่.....	52
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกในการทดสอบ	53
รูปที่ 3.5 อัลกอริทึมสำหรับการรวมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูก	54
รูปที่ 3.6 คุณลักษณะมุมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกที่ได้จากวิธีฟอรัทเนอร์	55

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 การจับคู่คุณลักษณะมุมมอง.....	56
รูปที่ 3.8 ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ถูกนำมาต่อกัน.....	57
รูปที่ 3.9 ภาพผลลัพธ์การรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกหลังจากใช้ Bundle adjustment....	57
รูปที่ 3.10 อัลกอริทึมสำหรับการนับกระดาศของภาพด้านลอนลูกฟูก.....	58
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ.....	59
รูปที่ 3.12 การหาจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนกระดาศลูกฟูกด้วยวิธี BLOB Analysis.....	60
รูปที่ 3.13 ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอนในแต่ละแถว ความสูง และขนาดพื้นที่ลอน.....	61
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนกระดาศลูกฟูกในแถวแรก.....	62
รูปที่ 3.15 จำนวนกระดาศลูกฟูก 1 แผ่น ที่มีจำนวนลอนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์.....	63
รูปที่ 3.16 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน BC ในแต่ละแถว.....	64
รูปที่ 3.17 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน B ในแต่ละแถว.....	64
รูปที่ 3.18 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน C ในแต่ละแถว.....	65
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของโปรแกรม HALCON.....	66
รูปที่ 3.20 ขั้นตอนแสดงแนวคิดในการทำงานของโปรแกรม.....	67
รูปที่ 3.21 ขั้นตอนแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	68
รูปที่ 4.1 จำนวนแผ่นกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่ครอบคลุมภายในหนึ่งภาพที่ระยะรับภาพ ต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.2 ระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตร จากเลนส์กล้องถึงกระดาศลูกฟูก.....	75
รูปที่ 4.3 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์.....	80
รูปที่ 4.4 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์.....	81
รูปที่ 4.5 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์.....	82
รูปที่ 4.6 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่เปอร์เซ็นต์การซ้อนทับเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์.....	83
รูปที่ 4.7 การทำ BLOB Analysis เพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนลูกฟูก.....	99

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระยะห่างระหว่างแถวของลอนในแต่ละแถว	99
รูปที่ 4.9 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์และมีระยะในการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งจะครอบคลุมจำนวน 5 ภาพ	101
รูปที่ 4.10 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์และมีระยะในการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งจะครอบคลุมจำนวน 3 ภาพ	102
รูปที่ 4.11 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์และมีระยะในการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งจะครอบคลุมจำนวน 2 ภาพ	104
รูปที่ 4.12 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 15 แผ่นที่ระยะการรับภาพ 400 มิลลิเมตร	109
รูปที่ 4.13 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 20 แผ่นที่ระยะการรับภาพ 430 มิลลิเมตร	109
รูปที่ 4.14 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 30 แผ่นที่ระยะการรับภาพ 400 มิลลิเมตร	110



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคนิคทางด้านระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) ถูกนำมาใช้สำหรับงานตรวจสอบในอุตสาหกรรมมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่รับภาพจากกล้องมาทำการประมวลผลเพื่อนำไปใช้สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานต่างๆ ซึ่งเป็นระบบที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ดังนั้นระบบการตรวจรู้ด้วยกล้องจึงถูกนำมาใช้ในงานการตรวจสอบแทนสายตาคนเนื่องจากความสามารถในการทำงานของคนนั้นมีขีดจำกัด ซึ่งหากมีการใช้สายตาในการทำงานเป็นเวลานานจะทำให้เกิดความเพล่ามัว และเป็นผลทำให้การทำงานเกิดความผิดพลาดขึ้น สำหรับงานตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูกถือว่าเป็นงานที่ต้องใช้ความแม่นยำในการตรวจสอบเป็นอย่างมากเพื่อต้องการจำนวนกระดาศที่แน่นอนและมีความถูกต้อง ดังนั้นการนำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมาใช้ตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูกจะช่วยทำให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น

สำหรับกระบวนการผลิตกระดาศลูกฟูกในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาศลูกฟูกจำเป็นต้องตรวจนับจำนวนกระดาศที่ผลิตได้เพื่อส่งไปยังหน่วยงานถัดไป สำหรับวิธีการนับกระดาศลูกฟูกนั้นมีหลายวิธี เช่น การใช้คนในการนับ การชั่งน้ำหนักแล้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักของกระดาศหนึ่งแผ่น การใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความสูงของกระดาศ เป็นต้น ซึ่งพบว่าวิธีดังกล่าวทำให้เกิดความผิดพลาดในการนับเนื่องจากแผ่นกระดาศลูกฟูกที่นำมาทดสอบอาจมีความเสียหายเกิดขึ้นอยู่ เช่น โคนกดทับจนเสียรูปทรง หรือมีรอยฉีกขาดเกิดขึ้น เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการนำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมาใช้งานเพื่อทำให้การตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

สำหรับกล้องที่นำมาใช้ในการรับภาพกระดาศลูกฟูกเพื่อนำไปตรวจสอบ ในปัจจุบันได้มีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) มาใช้ในการรับภาพ เนื่องจากมีความรวดเร็วในการรับภาพสูง และสามารถรับภาพได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้สามารถรับภาพกระดาศลูกฟูกที่วางเรียงเป็นกองขนาดสูงได้อย่างครอบคลุม แต่เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวของกล้องจึงทำให้กล้องชนิดรับภาพแบบเส้นนี้มีราคาสูง หากมีการนำมาใช้ในระบบตรวจสอบจำนวนกระดาศลูกฟูกจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้เลือกนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) มาใช้งานแทนเนื่องจากเป็นกล้องอุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานเช่นเดียวกัน และมีราคาที่ถูกลง แต่สำหรับกล้องรับภาพแบบพื้นที่นั้นมีเซ็นเซอร์รับแสงเป็น

รูปสี่เหลี่ยมจึงทำให้ตัวกล้องมีพื้นที่ในการมองเห็นวัตถุอยู่ในพื้นที่ที่จำกัด และเมื่อมีการนำมาใช้รับภาพกระดาษลูกฟูกที่มีจำนวนมากจึงทำให้ไม่สามารถรับภาพได้ครอบคลุมทั้งหมดภายในการถ่ายภาพเพียงครั้งเดียว ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มีความสามารถในการรับภาพกระดาษลูกฟูกได้ครอบคลุมเช่นเดียวกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกทีละภาพจนครอบคลุมกระดาษลูกฟูกทั้งหมด จากนั้นนำแต่ละภาพมารวมให้เป็นภาพเดียวกันเพื่อนำไปตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกในขั้นต่อไป

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการรวมภาพทางด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ เพื่อให้ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง โดยใช้กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่เลือกนำมาใช้งานมีความสามารถในการรับภาพได้เช่นเดียวกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น โดยทำการศึกษาวิธีการรับภาพจากกล้องรับภาพแบบพื้นที่ และทำการออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานจากภาพ และมีความรวดเร็วในการประมวลผล โดยอัลกอริทึมที่ออกแบบจะถูกนำไปทดสอบความถูกต้องด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้วิธีการตรวจหาพื้นที่ลอนของกระดาษด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บล็อบ (BLOB Analysis) เพื่อให้ทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกเพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบการตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เพื่อนำมาใช้สำหรับในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก

1.2.3 เพื่อทดสอบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกได้ทำการที่ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรม HALCON เพื่อนำภาพผลลัพธ์ไปใช้สำหรับการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก

1.2.4 เพื่อศึกษาวิธีการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลเพื่อนำมาทดสอบการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูก

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องซึ่งกล้องที่นิยมนำใช้งานจะเป็นกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น เพราะมีความรวดเร็วในการถ่ายภาพสูงและสามารถถ่ายภาพได้อย่างต่อเนื่อง แต่ข้อเสียคือมีราคาแพงมาก เพื่อเป็นการลดต้นทุนจึงเลือกกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

มาใช้งานแต่เนื่องจากมีพื้นที่การรับภาพที่จำกัด จึงทำให้ไม่สามารถรับภาพกระดาษลูกฟูกที่วางเรียงเป็นกองขนาดสูงได้ครอบคลุมด้วยการรับภาพเพียงครั้งเดียว จำเป็นต้องถ่ายภาพหลายๆภาพแล้วนำมารวมเป็นภาพเดียวกันเพื่อทำให้สามารถรับภาพได้อย่างครอบคลุม ดังนั้นวิธีที่จะสามารถนำภาพกระดาษลูกฟูกทั้งหมดมารวมให้เป็นภาพเดียวกันได้นั้น จะใช้เทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching) จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพไปทดสอบความถูกต้องด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกว่าจะสามารถนับจำนวนกระดาษได้ถูกต้องตามจำนวนกระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบหรือไม่

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพทางด้านลอนของกระดาษลูกฟูกชนิด BC, B และ C ด้วยเทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching)

1.4.2 ออกแบบวิธีการควบคุมการทำงานของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่เพื่อใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกของชนิด BC, B และ C

1.4.3 นำอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกมาทดสอบความถูกต้องโดยการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้หลักการตรวจหาพื้นที่ลอนลูกฟูกด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบบล็อบ (BLOB Analysis)

1.4.4 ทดสอบอัลกอริทึมการรวมภาพและทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนกับเวลาจริง (Real time) ด้วยโปรแกรม HALCON

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC, B และ C โดยที่แต่ละภาพจะถูกรวมกันด้วยเทคนิคการต่อภาพ จากนั้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก จึงได้ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยวิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System)

1.5.2 ศึกษาหลักการทำงานของกล้องรับภาพแบบพื้นที่และวิธีการรับภาพจากกล้อง

1.5.3 ศึกษาทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการนำภาพมารวมกันด้วยเทคนิคการต่อภาพ

1.5.4 กำหนดหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกล้องเพื่อนำมาใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก

1.5.5 ศึกษาการใช้โปรแกรม HALCON เพื่อใช้สำหรับทดสอบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก

1.5.6 นำวิธีการประมวลผลภาพมาใช้ในการทดสอบนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพ

1.5.7 เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการรับภาพของกล้องและนำมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม HALCON

1.5.8 ตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และทำการปรับปรุงแก้ไข

1.5.9 วิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างชุดการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกที่มีต้นทุนลดลง

1.6.2 สามารถทำให้กล้องชนิดรับภาพพื้นที่มีความสามารถในการรับภาพได้เช่นเดียวกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น

1.6.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษลูกฟูกต่อไป

1.6.4 มีความรู้และเข้าใจเทคนิคการต่อภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ โดยจะกล่าวถึงหลักการที่นำมาใช้ในการทดสอบและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนของกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพเพื่อนำภาพไปใช้ในการตรวจนับจำนวนกระดาษโดยใช้ระบบการตรวจจับอัตโนมัติด้วยกล้องในการรับภาพ และได้ทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยวิธีการนับโดยการประมวลผลภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ความหมายของกระดาษลูกฟูก [1]

กระดาษลูกฟูก คือ กระดาษที่มีลักษณะเป็นคลื่น หรือที่เรียกว่าลอนลูกฟูก ซึ่งได้มีการนำกระดาษกราฟมาใช้ในการผลิต โดยที่กระดาษลอนลูกฟูกนิยมนำมาใช้ทำกล่องบรรจุสินค้าเพื่อใช้ในการขนส่งไปยังที่ต่างๆ เนื่องจากตัวกระดาษลูกฟูกมีความแข็งแรง และสามารถรองรับน้ำหนักได้ปริมาณมาก จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมการผลิตและการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำกระดาษลูกฟูกมาออกแบบเป็นกล่องบรรจุภัณฑ์ได้ตามแบบที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบในเรื่องของขนาด รูปร่าง หรือการพิมพ์ สำหรับโครงสร้างแผ่นกระดาษลูกฟูกจะประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) คือ กระดาษแผ่นเรียบที่อยู่ติดกับลอนลูกฟูก และลอนลูกฟูก (Medium) คือ ส่วนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นคลื่นอยู่ระหว่างแผ่นเรียบ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างกระดาษลูกฟูกชนิด BC [1]

2.1.1 ชนิดของแผ่นกระดาดลูกฟูก [1]

กระดาดลูกฟูกที่มีการนำมาใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิด ซึ่งจะแบ่งตามจำนวนชั้นของกระดาดลูกฟูกได้ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 กระดาดลูกฟูกสองชั้น (Single Face)

ลักษณะของแผ่นกระดาดลูกฟูกจะประกอบด้วยกระดาดแผ่นเรียบจำนวน 1 แผ่น และกระดาดลอนลูกฟูก 1 แผ่น ซึ่งจะถูกระงับติดกันแสดงดังรูปที่ 2.2 (a) โดยมีลอน BC ลอน C และลอน E เป็นลอนมาตรฐาน สำหรับคุณสมบัติของกระดาดลูกฟูกชั้นนี้จะสามารถกันการกระแทกที่จะเกิดขึ้นได้และมีความสามารถในการม้วนงอจึงถูกนำมาใช้สำหรับเป็นแผ่นรองภายในกล่อง

2.1.1.2 กระดาดลูกฟูกสามชั้น (Single Wall)

ลักษณะของแผ่นกระดาดลูกฟูกจะประกอบด้วยจำนวนแผ่นเรียบ 2 แผ่น ซึ่งถูกระงับติดกับกระดาดลอนลูกฟูกที่คั่นอยู่ระหว่างตรงกลาง โดยมีลอน B ลอน C และลอน E เป็นลอนมาตรฐาน ซึ่งจะเหมาะสำหรับนำมาใช้ทำกล่องเพื่อบรรจุสินค้าที่ไม่หนักจนเกินไป

2.1.1.3 กระดาดลูกฟูกห้าชั้น (Double Wall)

ลักษณะของแผ่นกระดาดลูกฟูกห้าชั้นจะมีความแตกต่างไปจากชนิดอื่น เพราะจะเป็นการนำแผ่นกระดาดลูกฟูกจำนวน 2 ชนิดมารวมเป็นแผ่นเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถรองรับน้ำหนักของวัตถุได้เป็นอย่างดี โดยลอนมาตรฐานจะเป็นชนิดลอน BC



(a) กระดาดลูกฟูกสองชั้น



(b) กระดาดลูกฟูกสามชั้น



(c) กระดาดลูกฟูกห้าชั้น

รูปที่ 2.2 ชนิดแผ่นกระดาดลูกฟูก [1]

2.1.2 กระดาษที่นำมาใช้ผลิตแผ่นกระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) [1]

กระดาษแผ่นเรียบหรือบางครั้งอาจเรียกว่ากระดาษทำผิวกล่องซึ่งจะถูกนำไปประกบติดกับแผ่นลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อผลิตเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ ซึ่งกระดาษแผ่นเรียบนี้จะเป็นการนำกระดาษกราฟท์มาใช้งาน โดยจะมีหลายประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน โดยมีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.1.2.1 ชนิด KS (กระดาษกราฟท์สีขาว)

เหมาะสำหรับนำมาใช้ทำผิวกล่องที่ต้องการความสวยงาม ซึ่งสามารถสร้างสีสันทนลงบนแผ่นกระดาษได้ ซึ่งกระดาษชนิด KS จะมีความแข็งทำให้สามารถป้องกันวัตถุได้ดี โดยได้มีการนำมาใช้ในการผลิตกล่องบรรจุเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงกล่องบรรจุสินค้าเพื่อการส่งออกซึ่งจะมีค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษเท่ากับ 170 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.2 ชนิด KA (กระดาษกราฟท์สีเหลืองทอง)

เหมาะสำหรับทำผิวกล่องที่บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมาก เช่น บรรจุสินค้าอะไหล่ยนต์ ฟอรันิเจอร์ รวมถึงอาหารที่มีบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋อง เพราะกระดาษชนิด KA จะเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรง และทนทานเป็นอย่างมาก และที่สำคัญสีของกระดาษชนิดนี้ยังเป็นที่นิยมเลือกมาใช้งานอีกด้วย

2.1.2.3 ชนิด KI (กระดาษกราฟท์สีน้ำตาลอ่อน)

กระดาษแผ่นเรียบชนิด KI จะนิยมนำมาใช้งานเกี่ยวกับการพิมพ์ภาพหรือตัวหนังสือเป็นส่วนมาก แต่จะไม่เหมาะต่อการนำไปบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากๆ ซึ่งจะมีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 125, 150 และ 180 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.4 ชนิด KP (กระดาษกราฟท์สีน้ำตาล)

เป็นกระดาษที่มีการใช้งานมากและเป็นที่ยอมรับกันในสากล ซึ่งเหมาะกับการใช้ผลิตกล่องสำหรับสินค้าส่งออกทุกชนิด โดยมีน้ำหนักมาตรฐานคือ 175 และ 275 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.5 ชนิด KT (กระดาษกราฟท์สีน้ำตาล)

เป็นกระดาษที่ใช้สำหรับทำผิวกล่อง ผลิตจากเยื่อรีไซเคิล 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อส่งเสริมด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่ยังคงความสวยงามและความแข็งแรง มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการวางเรียงซ้อน เหมาะกับสินค้าส่งออกที่ระบุให้ใช้กล่องที่ทำจากเยื่อรีไซเคิลทั้งหมด น้ำหนักมาตรฐาน คือ 125 และ 150 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.6 ชนิด CA (กระดาษลอนลูกฟูก)

เป็นกระดาษที่มีคุณสมบัติมีความแข็งแรงมาก เหมาะสำหรับในการป้องกันแรงกระแทก ซึ่งใช้สำหรับทำลอนลูกฟูกขนาดต่างๆ และนิยมนำมาใช้ทำเป็นกระดาษทำฝีกกล่องด้านหลังเพื่อลดต้นทุนอีกด้วยน้ำหนักมาตรฐานคือ 105 และ 125 กรัมต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.3 สีของกระดาษกราฟที่ใช้ผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก [1]

2.1.3 กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก [2]

หลักการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก คือ การนำกระดาษที่ใช้สำหรับทำลอนมาเข้าเครื่องผลิตแผ่นลูกฟูกโดยวิ่งผ่านลูกกลอนเพื่อกดและทำให้เกิดลอนขึ้น จากนั้นประกบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) โดยใช้กาวในการยึดติด และทำให้แห้งตัวโดยการผ่านแผ่นความร้อน จากนั้นทำการตัดกระดาษให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ สำหรับเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่

2.1.3.1 ส่วนที่หนึ่ง Single Facer Section เป็นส่วนขึ้นรูปลอน โดยมีอุปกรณ์ได้แก่

1) Mill Roll Stand ทำหน้าที่จับยึดแกนของม้วนกระดาษเพื่อใช้ในการหมุนกระดาษเพื่อให้กระดาษที่ออกมาจากเครื่องมีความตึงเสมอกันทั้งหมด

2) Splice ทำหน้าที่ในการตัด หรือต่อม้วนของกระดาษ และทำงานร่วมกับส่วนของ Mill Roll Stand ในการช่วยทำให้กระดาษมีความตึง

3) Pre-heater ทำหน้าที่ ให้ความร้อนกับกระดาษแผ่นเรียบก่อนมีการนำมาติดกาว เพื่อให้ความชื้นของกระดาษลดลงและทำให้แผ่นลอนลูกฟูกสามารถติดกับแผ่นเรียบได้แห้งสนิท

4) Pre-condition ทำหน้าที่ ในการทำให้กระดาษสามารถดูดซึมกาวได้ดีและมีความอ่อนตัวเพื่อทำให้ง่ายต่อการนำมาขึ้นรูปลอน

5) Corrugating Roll ทำหน้าที่ ในการขึ้นรูปลอนโดยจะมีช่องสูญญากาศสำหรับทำให้กระดาษที่นำมาใช้ทำลอนสามารถแนบติดไปกับเครื่องได้อย่างสนิท

2.1.3.2 ส่วนที่สอง Double Facer Section เป็นส่วนผลิตกระดาษลูกฟูกโดยการนำกระดาษลอนลูกฟูกที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ก่อนหน้ามาทำการประกบติดกับกระดาษแผ่นเรียบ ซึ่งมีอุปกรณ์คือ

1) Heating section ทำหน้าที่ ทำให้แผ่นกระดาษลูกฟูกแห้งด้วยวิธีการอบโดยใช้แผ่นความร้อน โดยจะมีชุด Weight roll คอยทำหน้าที่กดแผ่นกระดาษลูกฟูกให้ติดแน่น

2) Cooling Section ทำหน้าที่ ในการกดแผ่นกระดาษลูกฟูกให้ติดแน่นแต่จะไม่มีการใช้ความร้อนกับแผ่นกระดาษ โดยจะใช้หลักการระบายความร้อนแทน

3) Rotary shear ทำหน้าที่ สำหรับตัดกระดาษในส่วนที่มีตำหนิหรือเป็นบริเวณรอยต่อของแผ่นกระดาษลูกฟูก

4) Slitter ทำหน้าที่ ตัดขอบของกระดาษลูกฟูกเพื่อให้ได้ขนาดความกว้างของแผ่นกระดาษตามที่ต้องการ

5) Cut off ทำหน้าที่ ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกทางด้านลอน

6) Stacker ทำหน้าที่ สำหรับลำเลียงแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตัดกระดาษเพื่อนำไปเรียงเป็นกองเตรียมนำไปใช้งานต่อไป

2.1.4 ลอนลูกฟูก [3]

เมื่อนำลอนลูกฟูกมาติดกับแผ่นกระดาษที่เรียบจะทำให้สามารถทนทานต่อความโค้งงอและแรงกดได้จากทุกทิศทาง ลอนลูกฟูกมีหลายชนิดโดยลอนแต่ละประเภทจะมีขนาดและความสูงของลอนไม่เท่ากัน รวมถึงความเหมาะสมกับการใช้งานก็มีความแตกต่างกันออกไป สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแสดงลอนชนิดต่างๆของกระดาษลูกฟูกและคุณสมบัติการนำไปใช้งาน ประกอบไปด้วยลอนชนิด A, B, C, E, และ F สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC มาใช้ซึ่งเป็นลอนผสมระหว่างลอน B และลอน C หรือเรียกว่า กระดาษลูกฟูก 5 ชั้นคือใช้ลอน B ประกบกันกับลอน C โดยจะมีความหนาและความแข็งแรง โดยกระดาษลอนลูกฟูกที่

อยู่ติดกับผิวกล่องด้านนอกจะเป็นลอน B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลูกฟูกลอน C จะอยู่ด้านในเพื่อใช้สำหรับรับแรงกระแทกซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำกล่องรูปแบบต่างๆไป

ตารางที่ 2.1 ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก [3]

ชนิด	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)	จำนวนลอนต่อเมตร
ลอน A	4.2 – 4.7	104 – 125
ลอน B	2.1 – 2.6	150 – 184
ลอน C	3.3 – 3.8	120 – 145
ลอน E	0.9 – 1.4	275 – 310
ลอน F	0.6 – 0.8	407 – 437

2.1.5 บริเวณกระดาษลูกฟูกสำหรับการตรวจสอบ

แผ่นกระดาษลูกฟูกจะประกอบด้วย 2 ด้าน คือ ด้านลอน (Cut Off) และด้านรอยตัด (Slitter) ซึ่งในการนำกระดาษลูกฟูกมาใช้งานตรวจสอบจะพิจารณาจากด้านดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการทดสอบการต่อภาพทางด้านลอนกระดาษลูกฟูกและทำการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนลูกฟูก



รูปที่ 2.4 บริเวณสำหรับใช้พิจารณาในการตรวจสอบ [4]

2.2 ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้อง (Machine Vision System)

ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้องเป็นระบบสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานต่างๆ ซึ่งเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น โดยใช้ข้อมูลจากภาพ ซึ่งมีความสามารถเทียบได้กับสายตามนุษย์แต่จะให้ความรวดเร็ว แม่นยำและมีความละเอียดที่มากกว่า ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมกับงานที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานต่างๆ โดยสามารถตรวจสอบข้อบกพร่องและมองเห็นชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้อย่างชัดเจน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำระบบการตรวจรู้ด้วยกล้องไปใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น นำไปใช้ในระบบการมองเห็นของตัวหุ่นยนต์ ระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ และรวมไปถึงการประยุกต์ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมเพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.2.1 การรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition)

สำหรับการรับข้อมูลภาพเป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากการถ่ายภาพด้วยกล้อง และส่งข้อมูลภาพมายังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลภาพด้วยซอฟต์แวร์ที่ถูกติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ และนำไปใช้สั่งการในงานต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป สำหรับกล้องที่นำมาใช้ในการรับข้อมูลภาพเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบชิ้นงานที่นิยมนำมาใช้งานจะมีอยู่ 2 ชนิด ซึ่งมีลักษณะการรับภาพที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.2.1.1 กล้องชนิดรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) [5]

เป็นกล้องที่มีลักษณะการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพมีลักษณะคล้ายกับเครื่องสแกนเนอร์ทำให้ภาพมีลักษณะเป็นแถวยาว และสามารถจับภาพวัตถุทั้งหมดได้แต่จะต้องออกแบบโปรแกรมการทำให้มีความสัมพันธ์กับการทำงานของกล้องเพื่อไม่ให้ภาพบางส่วนขาดหายไป จึงเหมาะสมกับงานที่ต้องการความเร็วสูงและชิ้นงานมีขนาดใหญ่ เช่น งานเกี่ยวกับระบบการลำเลียงสายพานที่ต้องมีความรวดเร็ว แต่ข้อเสียของกล้องรับภาพแบบเส้นคือมีราคาค่อนข้างสูงมากจึงทำให้ต้นทุนมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ ดังรูปที่ 2.5 (a)

2.2.1.2 กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) [5]

มีลักษณะการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีความละเอียดน้อยกว่ากล้องรับภาพแบบเส้น แต่สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและมีราคาไม่สูงจึงนิยมสำหรับงานตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพที่ไม่ต้องให้ความเร็วมากจนเกินไป ดังรูปที่ 2.5 (b)



(a) กล้องชนิดรับภาพแบบเส้น



(b) กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

รูปที่ 2.5 กล้องอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานตรวจสอบชิ้นงาน [6]

2.2.2 หลักการเลือกกล้อง [5]

การเลือกกล้องเพื่อนำมาใช้ในงานการตรวจสอบชิ้นงานถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เพราะหากเลือกกล้องไม่เหมาะสมกับการใช้งานก็จะทำให้ความสามารถในการทำงานของกล้องลดลง สำหรับกล้องที่นำมาใช้ในงานการตรวจรู้อัตโนมัตด้วยกล้อง โดยจะต้องเลือกใช้งานให้มีความเหมาะสมกับชนิดของงาน โดยพารามิเตอร์ที่นำมาใช้พิจารณาในการเลือกกล้องมีดังนี้

$$resolution_{X, Y} = \frac{FOV}{Minimum Resolution} \times 2 \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) [5] แสดงวิธีการเลือกกล้องที่นำมาใช้งานเพื่อให้มีความเหมาะสมกับประเภทของงานที่จะนำมาใช้

โดยที่	Resolution X,Y	คือ	ความละเอียดภาพตามแนวแกน X และแกน Y
	FOV	คือ	บริเวณที่ต้องการตรวจสอบเป็นบริเวณที่กล้องสามารถมองเห็นได้
	Minimum Resolution	คือ	ความละเอียดที่เล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบ

สำหรับการคำนวณหาจำนวนภาพที่กล้องสามารถรับภาพได้ในเวลา 1 วินาที (Frame Rate) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2) [5]

$$FrameRate = \frac{ObjectSpeed}{FOV} \quad (2.2)$$

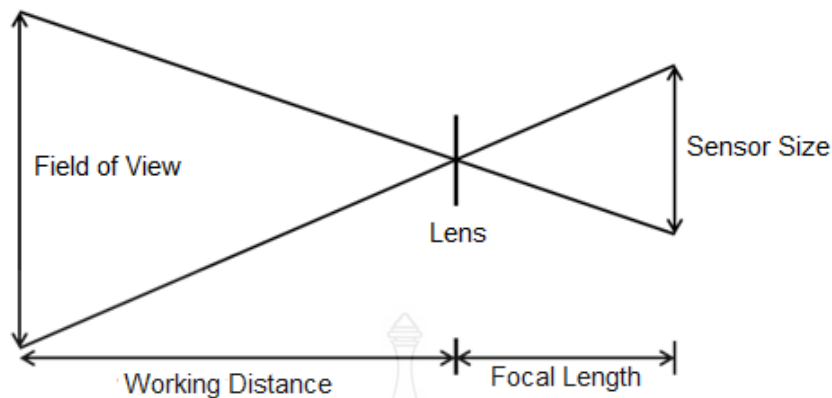
โดยที่	Frame Rate	คือ	อัตราการแสดงภาพเคลื่อนไหวในหนึ่งวินาที
	Object Speed	คือ	ความเร็วของวัตถุที่ตรวจสอบหน่วยเป็น mm/s
	FOV	คือ	บริเวณที่ต้องการตรวจสอบที่ใหญ่ที่สุด

2.2.3 เลนส์ (Lens) [2]

เลนส์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของกล้องซึ่งมีหน้าที่ในการรับแสงและปรับความคมชัดของภาพ โดยเลนส์จะมีหลายชนิดและแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน เช่น CCTV Lens เป็นเลนส์ที่เหมาะสมสำหรับงานทั่วไป, Tele-centric Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น งานการวัดขนาด, Macro Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องการมองภาพขยายให้มีขนาดใหญ่ เช่น งานตรวจสอบ งาน OCR เป็นต้น สำหรับเลนส์ที่มีการนำมาใช้ในงานระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องจะถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้เกิดความบิดเบือนของภาพที่เกิดจากเลนส์ (Lens Distortions) และการเลือกใช้เลนส์จะเลือกจากความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length) คือระยะห่างที่วัดจากจุดศูนย์กลางของเลนส์ถึงเซ็นเซอร์ที่อยู่ในกล้อง ซึ่งความยาวโฟกัสจะสำคัญต่อการจับภาพโดยจะทำให้มุมของการถ่ายภาพกว้างหรือแคบ การเลือกขนาดภาพในบริเวณที่ต้องการและความคมชัดของภาพ สำหรับการคำนวณความยาวโฟกัสสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.3) [2]

$$FCR = \frac{SS \times WD}{FOV} \quad (2.3)$$

โดยที่	<i>FCR</i>	คือ	ความยาวโฟกัส (Focal Length) หน่วย mm
	<i>SS</i>	คือ	ขนาดเซ็นเซอร์ของกล้อง (Sensor Size) หน่วย mm
	<i>WD</i>	คือ	ระยะห่างระหว่างเลนส์กับชิ้นงาน (Working Distance)
	<i>FOV</i>	คือ	พื้นที่รับภาพ (Field of View) หน่วย mm



รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์สำหรับการพิจารณาเลือกเลนส์กล้อง [2]

2.2.4 ช่องทางการสื่อสารระหว่างกล้องกับคอมพิวเตอร์เพื่อส่งข้อมูลภาพ [5]

ภาพถ่ายจากกล้องจะถูกส่งมาประมวลผลด้วยโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลภาพซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งผ่านทางพอร์ตของคอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องเลือกใช้พอร์ตในการเชื่อมต่อให้เหมาะสมกับประเภทของกล้องที่นำมาใช้งาน โดยสามารถพิจารณาคุณสมบัติของการเชื่อมต่อในแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของการเชื่อมต่อกล้องกับคอมพิวเตอร์ในแบบต่างๆ [5]

interface	USB 3.0	FireWire (IEEE1394b)	Gigabit Ethernet	Camera Link
Properties				
Bandwidth	400 MB/s	80 MB/s	125 MB/s	680 MB/s
Cable length	3 m	4.5 m	100 m	10 m
CPU usage	Low	Low	Medium	Medium
Difficulty of	Low	Medium	Low	High
System Integration				
Multiple cameras	Excellent	Excellent	Good	Fair
System Cost	Low	Medium	Medium	High
(Single Camera)				

2.2.4 อุปกรณ์ให้แสงสว่าง [7]

การให้แสงสว่างต่อวัตถุมีความจำเป็นต่อระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง เพราะหากแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ข้อมูลของภาพที่ได้รับเกิดความผิดพลาดและทำให้การตรวจสอบวัตถุผิดพลาดไปด้วยการเลือกใช้อุปกรณ์ให้แสงควรเลือกจากลักษณะของงานที่จะนำไปใช้เพื่อจะทำให้ได้แสงที่มีความเหมาะสม

2.2.4.1 อุปกรณ์ให้แสงสว่างแบบวง (Ring Light) [7]

สำหรับอุปกรณ์ให้แสงแบบวงชนิดมุมแสงตกกระทบสูงจะมีค่าความเข้มแสงที่ส่วนบริเวณตรงกลางวัตถุจำนวนมากจึงทำให้ไม่มีเงาของการสะท้อนเกิดขึ้น โดยมีการนำไปใช้งานเพื่อตรวจหาตำแหน่งที่บอร์ควงจร ใช้ในการจับงานเพื่อนำมาประกอบกัน และใช้ในการตรวจตัวอักษรบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้เห็นวัตถุได้ชัดเจน



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ให้แสงแบบวง [7]

2.2.4.2 อุปกรณ์ให้แสงแบบโดม (Dome Light) [7]

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้แสงได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงาน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ตรวจสอบงานที่ต้องการความสว่างของแสงที่สม่ำเสมอ และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้กับชิ้นงานที่มีลักษณะผิวที่เกิดความมันวาวหรือมีความไม่เรียบได้ซึ่งจะทำให้ไม่มีเงาเกิดขึ้นกับภาพ โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การตรวจจับตัวอักษรต่างๆบนกระป๋องอลูมิเนียม การตรวจสอบงานผิวโค้งมันวาว และการตรวจสอบแผงบรรจุยา เป็นต้น



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ให้แสงแบบโคม [7]

2.2.4.3 อุปกรณ์ให้แสงแบบวงชนิดมุมแสงต่ำ (Low-angle Ring Light) [7]

มีการให้แสงกวาดเป็นมุมแบบ 360 องศา จึงทำให้เกิดแสงตกกระทบที่วัตถุโดยตรง และเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นแบบมุมต่ำจึงทำให้ลดการสะท้อนของแสงจากวัตถุได้ และทำให้สามารถเห็นผิวของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น โดยในการใช้งานจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการเน้นขอบของชิ้นงาน รอยขีดข่วน หรือสิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวชิ้นงาน การนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การตรวจการกัดผิวของแสงเลเซอร์ การตรวจสอบขนาดรูปร่างและพื้นที่การบัดกรี เป็นต้น



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ให้แสงแบบวงชนิดมุมแสงต่ำ [7]

2.2.4.4 อุปกรณ์ให้แสงแบบจุด (Spot Light) [7]

เป็นอุปกรณ์ที่นำหลอดแอลอีดีมาใช้งานเพื่อให้ความเข้มแสงแบบเฉพาะจุด ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเลนส์มาโครที่มีกำลังขยายสูง ขนาดของไฟแอลอีดีแบบเฉพาะจุดจะมีลักษณะขนาดเล็ก จึงทำให้สามารถติดตั้งได้ง่ายและสะดวก โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานจะใช้ในการตรวจสอบต่างๆ ที่ต้องมีการเคลื่อนที่ของไฟแอลอีดี และใช้กับเลนส์ที่มีกำลังขยายสูง



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ให้แสงแบบจุด [7]

2.2.4.4 อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่ง (Bar Light) [7]

จะนำหลอดไฟแอลอีดีมาประกอบเรียงกันอยู่บนแผงของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะทำให้มีความยืดหยุ่นในการติดตั้งเป็นอย่างมาก จึงทำให้มีความหลากหลายในการเลือกนำไปใช้งาน เพราะเนื่องจากสามารถที่จะทำการตรวจสอบองศาของแสงที่เกิดขึ้นได้อย่างอิสระ โดยได้มีการนำไปประยุกต์กับงานการตรวจสอบ การตรวจและแยกแยะรูปร่างต่างๆ และการวัดขนาดรูปร่างของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่ง [7]

2.3 เทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching Technique) [8]

การต่อภาพ คือ การนำภาพจำนวนหลายภาพมารวมให้เป็นภาพเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดสูง โดยใช้ซอฟต์แวร์ทางคอมพิวเตอร์เป็นตัวดำเนินการ ซึ่งการต่อภาพจำเป็นต้องกำหนดให้มีส่วนของภาพซ้อนทับกัน (Overlap) เพื่อใช้เป็นบริเวณอ้างอิงในการหาความสัมพันธ์หรือความเปลี่ยนแปลงระหว่างภาพเพื่อใช้ในการต่อภาพ และต้องการให้มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอเพื่อให้ภาพผลลัพธ์มีความกลมกลืนกัน เพื่อให้สามารถสร้างภาพที่มีมุมมองการมองเห็นได้กว้างขึ้น สำหรับเทคนิคการต่อภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การสร้างภาพถ่ายทางดาวเทียม และการสร้างแผนที่ดิจิทัล เป็นต้น สำหรับชนิดของการต่อภาพ ได้แก่ ภาพโมเสก (mosaic image) ซึ่งเป็นการต่อภาพจำนวนหลายแถวโดยการถ่ายภาพจะไม่มีการหมุนกล้อง แต่กล้องจะทำการถ่ายภาพในแนวตั้งฉากกับวัตถุ และภาพพาโนรามา (Panorama image) เป็นการต่อภาพที่ได้จากการถ่ายภาพโดยหมุนกล้องไปตามแนวราบ ซึ่งหลักการของเทคนิคการต่อภาพมีดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาคุณลักษณะภาพ (Feature Detection)

ภาพที่นำมาใช้ในเทคนิคการต่อภาพจะมีส่วนซ้อนทับระหว่างภาพที่อยู่ติดกัน ซึ่งวิธีการหาคุณลักษณะภาพเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วและแม่นยำ จึงทำให้สามารถหาความสอดคล้องของส่วนที่ภาพซ้อนทับกันได้ โดยการหาคุณลักษณะภาพเป็นการหาคุณลักษณะที่มีความโดดเด่นและแตกต่างไปจากบริเวณโดยรอบ สำหรับชนิดของคุณลักษณะภาพ ได้แก่ จุด มุม เส้น และพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้หาความสอดคล้องของบริเวณภาพที่อยู่ติดกันเพื่อทำให้ภาพนั้นสามารถต่อกันได้ และสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำวิธีการหาคุณลักษณะภาพโดยการหามุมภาพด้วยฟอร์ทเนอร์ (Foerstner Corner Detection) [9] มาใช้หาคุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูก ซึ่งวิธีนี้ถูกคิดค้นโดย W.Forstner และ E.Gulch ที่สถาบัน Photogrammetry Stuttgart ในปี ค.ศ. 1986 เป็นวิธีการตรวจหาจุดสนใจที่มีความรวดเร็ว และให้ความแม่นยำ ใช้สำหรับตรวจหาจุดที่สำคัญของภาพซึ่งเป็นจุดที่แตกต่างไปจากบริเวณรอบข้าง เช่น จุดที่มีสี และความสว่างของวัตถุในภาพแตกต่างกัน สำหรับวิทยานิพนธ์นี้การหาคุณลักษณะมุมภาพด้วยวิธีฟอร์ทเนอร์ได้ถูกนำมาใช้หาคุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูก โดยพิจารณาหามุมภาพจากจุดภาพทั้งหมด ซึ่งภาพด้านลอนลูกฟูกนั้นจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นพื้นหลัง และเส้นลอนลูกฟูก โดยจะมีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันจึงทำให้เกิดเป็นจุดตัดขึ้นระหว่างที่มุมของจุดตัดที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน โดยภาพด้านลอนลูกฟูกที่ถูกปรับเข้ามาจะต้องทำการปรับปรุงภาพให้มีความคมชัดด้วยวิธีการกรองภาพแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ซึ่งเป็นการกรองด้วยวิธีคอนโวลูชัน (Convolution) เพื่อเป็นการสร้างความแตกต่างของระดับความเข้มแสงของจุดภาพภายในภาพให้ชัดเจน ดังสมการที่ (2.4) [10]

$$L(x, y) = G(x, y) * \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

- โดยที่ $L(x,y)$ คือ ภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว
- $\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}$ คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพในแนวแกน x และ y ของภาพต้นฉบับ I ที่ตำแหน่ง (x, y)
- $*$ คือ การคอนโวลูชันบนภาพ I
- $G(x,y)$ คือ ตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีขนาดการกรอง 3×3

สำหรับตัวกรองแบบเกาส์เซียนจะช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเพื่อสามารถตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.5) [10]

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.5)$$

- โดยที่ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งเป็นตัวควบคุมในการกรองภาพ
- (x,y) คือ ตำแหน่งพิกัดบนภาพ

และภาพที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพด้วยวิธีฟอรัทเนอร์ โดยจุดที่เป็นมุมภาพจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมีการคำนวณเทียบจากจุดรอบข้าง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.6) [10] โดยที่ $H(x,y)$ คือ ค่าที่ถูกคำนวณจากจุดภาพเพื่อหามุมภาพที่มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดรอบข้าง

$$H(x, y) = \frac{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 - \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (2.6)$$

2.3.2 การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature Matching)

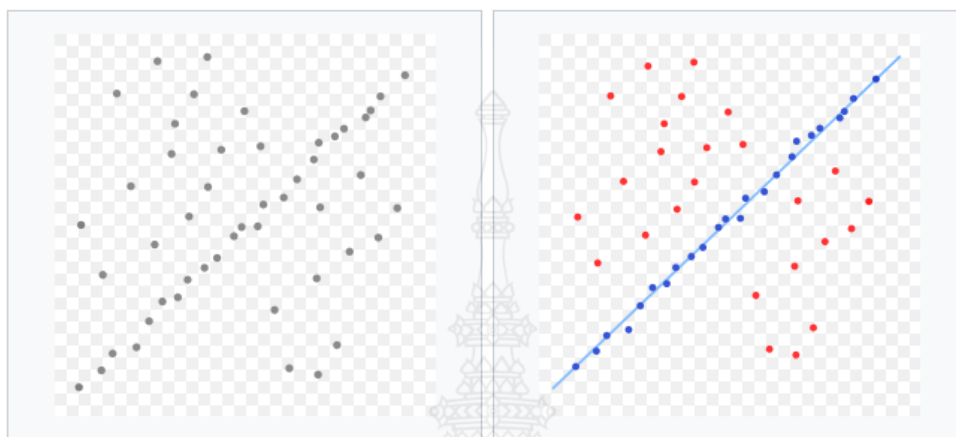
เป็นการจับคู่คุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันเพื่อให้ภาพสามารถนำมาต่อกันได้ ซึ่งคุณลักษณะภาพที่หาได้จากในขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้จะมีส่วนที่แต่ละภาพมีคุณลักษณะภาพที่ไม่สอดคล้องกันรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้การจับคู่ของภาพเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นต้องกำจัดคุณลักษณะภาพในส่วนที่ไม่สอดคล้องนี้ออกไปเพื่อให้ภาพนำมาต่อกันได้อย่างถูกต้อง และสำหรับคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันเมื่อถูกนำมาจับคู่เข้าด้วยกันจะต้องมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่ภาพเดิมไปยังตำแหน่งอื่นเพื่อให้แต่ละภาพสามารถทำการต่อกันได้ตามตำแหน่งที่มีคุณลักษณะของภาพที่สอดคล้องกันซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric transformation) โดยจะอยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ดังสมการที่ (2.7) [11] เพื่อให้ได้ภาพอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H1 & H2 & H3 \\ H4 & H5 & H6 \\ H7 & H8 & H9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยที่	(x,y,1)	คือ	ตำแหน่งจุดภาพที่เป็นภาพหลัก
	(x',y',1)	คือ	ตำแหน่งจุดภาพที่มีความสอดคล้องกัน
	H1,H2,H3...,H9	คือ	เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงเรขาคณิตของคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน

สำหรับคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันจะถูกจับคู่เข้าด้วยกันด้วยวิธีการของ RANSAC (Random Sample Consensus) [12] ซึ่งถูกคิดค้นโดย Fischler และ Bolles ที่ SRI International ในปี ค.ศ. 1981 เป็นการคำนวณหาเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงภาพเชิงฉาย (projective transformation matrix) ระหว่างทั้งสองภาพโดยจะหาความสอดคล้องระหว่างข้อมูลของคุณลักษณะภาพจากภาพทั้งหมดที่ได้ทำการหาไว้แล้วในขั้นตอนก่อนหน้า สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ข้อมูลดังกล่าวคือคุณลักษณะมุมภาพซึ่งหาได้โดยวิธีฟอเรนอร์ และสำหรับการหาความสอดคล้องของคุณลักษณะภาพจะทำโดยการหาความสัมพันธ์โดยใช้เมตริกซ์ที่มีขนาด 3×3 ในการหารอบจุดคุณลักษณะภาพในแต่ละคู่ภาพเพื่อสร้างความสัมพันธ์ของจุดภาพที่สอดคล้องกัน โดยวิธีการ RANSAC เป็นกระบวนการทำซ้ำเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลที่เก็บค่าได้ซึ่งคือคุณลักษณะภาพโดยที่จะมีข้อมูลที่ภาพทั้งสองที่ไม่สอดคล้องกัน (Outlier) รวมอยู่ด้วย โดยเป็นการประมาณ

ค่าพารามิเตอร์จากชุดข้อมูลที่ได้รับความช่วยเหลือวิธีกลุ่ม และจะถูกทำซ้ำจนกว่าพารามิเตอร์ที่ได้จะสามารถเข้ากันได้กับข้อมูลส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.12 จึงทำให้เป็นวิธีที่มีความทนทานต่อข้อมูลที่ปะปนไปด้วยข้อมูลที่ผิดพลาด



(a) ข้อมูลที่ปะปนกัน

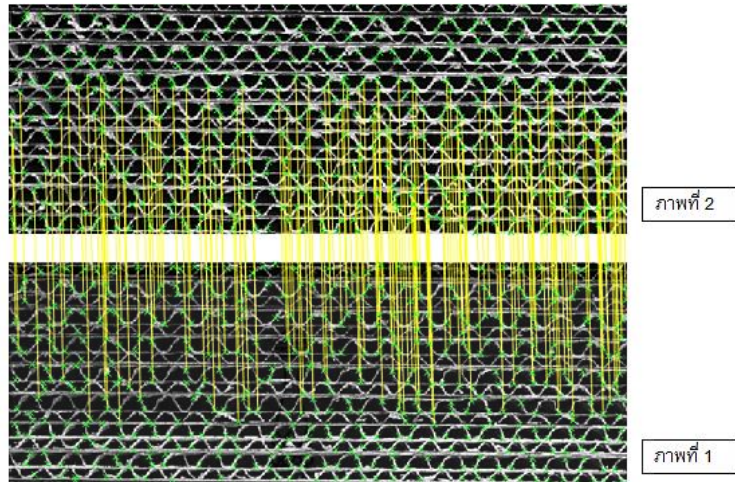
(b) การจับกลุ่มข้อมูลที่สอดคล้องกัน

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ของวิธี RANSAC [12]

จากรูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของวิธี RANSAC โดยในภาพที่ 2.12 (a) แสดงถึงข้อมูลที่รับเข้ามาทั้งหมดซึ่งจะปะปนกันทั้งข้อมูลที่ถูกต้องและผิดพลาด และในภาพที่ 2.12 (b) แสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากการใช้วิธี RANSAC ในการหาข้อมูลที่สอดคล้องกันซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลที่เป็นเส้นตรงจะเป็นข้อมูลที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้มากที่สุด โดยข้อมูลที่อยู่นอกเส้นตรงจะไม่นำมาพิจารณา และสำหรับการประมาณค่าสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างคู่ของคุณลักษณะที่หาได้นำมาเปรียบเทียบกับระยะค่ากำหนดขีดแบ่ง โดยที่ข้อมูลของคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันจะมีค่าของระยะห่างน้อยกว่าค่ากำหนดขีดแบ่ง ซึ่งสามารถหาระยะห่างได้ดังสมการที่ (2.8) [11]

$$D = \sum_{n=1}^M \min(D(K'_n, \varphi(K_n : H)T)) \quad (2.8)$$

โดยที่	T	คือ	ค่ากำหนดขีดแบ่งซึ่งเป็นค่าคงที่
	M	คือ	จำนวนคุณลักษณะทั้งหมด
	D	คือ	ระยะห่างระหว่างคุณลักษณะของภาพ K และ K'



รูปที่ 2.13 การจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน [13]

จากรูปที่ 2.13 แสดงการจับคู่คุณลักษณะภาพด้านลอนลูกฟูกโดยเลือกใช้คุณลักษณะมุมภาพ โดยจุดสีเขียวแสดงคุณลักษณะของภาพที่ตรวจหาได้ซึ่งก็คือคุณลักษณะเส้นลอนกระดาศลูกฟูก และเส้นสีเหลืองแสดงคุณลักษณะมุมของแต่ละภาพที่สอดคล้องกัน

2.3.3 การรวมภาพ (Image Combination)

หลังจากหาความสอดคล้องคุณลักษณะภาพแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายของการต่อภาพคือการนำภาพทั้งหมดมารวมกันเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมตามรูปแบบที่ได้กำหนดตรงกับภาพจริง เนื่องจากเมื่อภาพถูกนำมารวมกันจะมีแนวของภาพที่เอียงผิดแปลกไปจากแนวที่ควรจะเป็น จึงจำเป็นต้องทำการปรับตำแหน่งภาพให้มีความเหมาะสมตามรูปแบบที่เหมือนจริง โดยได้ใช้วิธีการปรับแก้แบบกลุ่ม (Bundle Adjustment) [14] เป็นวิธีการประมาณค่าเพื่อใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างของภาพ ซึ่งทำให้การรวมภาพมีความแม่นยำ ทนทานสูง แต่ไม่ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของโครงสร้างไปจากเดิม โดยกำหนดให้มีภาพอ้างอิงหนึ่งภาพและจากนั้นภาพที่เหลือจะถูกปรับตำแหน่งการนำมาต่อกันให้มีความเหมาะสมตรงตามโครงสร้างความเป็นจริงที่ควรเป็น สำหรับวิธีการปรับแก้แบบกลุ่มนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพในช่วงปี ค.ศ. 1950 และมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทางด้าน Computer Vision (CV) จนถึงปัจจุบัน เป็นวิธีการลดค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของภาพที่ได้รับ และหาตำแหน่งของจุดภาพที่มีความเป็นไปได้ สำหรับในการประมาณค่าที่มีนำมาใช้งานมีดังนี้

2.3.3.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเน็ยเรสเนเบอร์ (Nearest Neighbor) [15]

เป็นวิธีการประมาณค่าที่นำไปใช้งานได้ง่ายแต่จะไม่ค่อยมีความละเอียดในการประมาณค่า เพราะจะเป็นการประมาณค่าโดยใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับจุดที่ทำการประมาณค่ามากที่สุด โดยจะมีเพียงแค่ค่าเดียวเท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้งานจึงทำให้มีความรวดเร็วในการคำนวณ แต่เมื่อจุดผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้กับจุดที่ทำการประมาณค่ามีจำนวนมากว่าหนึ่งจุดจะทำให้ไม่สามารถกำหนดได้ว่า จะนำจุดใดมาเป็นจุดของการประมาณค่าในช่วง ซึ่งจะส่งผลทำให้การเลื่อนตำแหน่งภาพเกิดการบิดค่าของเศษจากการคำนวณทำให้พิกัดการเลื่อนตำแหน่งภาพไปยังจุดภาพที่ควรจะเป็นเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงส่งผลให้ภาพผลลัพธ์ที่รวมกันมีตำแหน่งการรวมภาพที่ไม่ถูกต้อง

2.3.3.2 การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation) [15]

เป็นวิธีการประมาณค่าที่มีความนิยมนำมาใช้มากที่สุดเพราะผลลัพธ์จากการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์จะมีความละเอียดมากกว่าการประมาณค่าในช่วงแบบเรสเนเบอร์ซึ่งจะทำให้ภาพผลลัพธ์มีประสิทธิที่ดีกว่า ซึ่ง โดยวิธีนี้จะทำการประมาณจากจุด 4 จุดที่ล้อมรอบจุดที่ต้องการและกำหนดให้จุดที่อยู่ล้อมรอบจุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วงนี้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น โดยค่าที่ถูกประมาณค่าในช่วงจะอยู่บนเส้นที่ลากระหว่างจุดสองจุดดังสมการที่ (2.9) [15] ซึ่งจะสามารถทำได้โดยเริ่มจากการหาจุดที่ทราบค่า 4 จุดที่อยู่รอบข้างจุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วง จากนั้นทำการประมาณค่าในช่วงในแนวแกน X และผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะถูกนำไปใช้ในการประมาณค่าในช่วงในแนวแกน Y ต่อไปตามลำดับ

$$f(d) = \left(\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \right) \cdot d + f(x_0) \quad (2.9)$$

โดยที่ $f(d)$ คือ ค่าที่ได้จากการประมาณในช่วง
 d คือ ระยะห่างระหว่างจุดที่ตำแหน่ง x_0 กับจุดที่ต้องการประมาณ

สำหรับวิทยานิพนธ์ได้นำวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์มาใช้ในขั้นการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกเพื่อทำให้ภาพที่มีการเลื่อนตำแหน่งมาต่อกันสามารถรวมภาพกันได้มีความเหมาะสมและมีแนวการจัดเรียงภาพเป็นไปตามแนวความเป็นจริง

2.4 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing) [15]

การประมวลผลภาพ หมายถึง การนำภาพมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณเพื่อนำไปใช้ตรวจสอบงานต่างๆ

2.4.1 จุดภาพ (Pixels) [15]

จุดภาพ คือบริเวณของความเข้มแสงที่ถูกนำมารวมเข้าด้วยกันทำให้เกิดเป็นภาพขึ้น โดยในภาพหนึ่งภาพจะเกิดจากการรวมกันของจุดภาพจำนวนมาก และจุดภาพต่าง ๆ นั้นจะมีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเข้มแสงในบริเวณนั้น ซึ่งค่าความหนาแน่นของจุดภาพจะแสดงถึงค่าความละเอียดของภาพ (Resolution) ซึ่งจะมีจำนวนเป็นจุดภาพต่อนิ้ว (pixel per inch)

2.4.2 ภาพดิจิทัล (Digital Image) [15]

ภาพดิจิทัล คือ ภาพที่มีลักษณะของฟังก์ชันมีค่าเป็น 2 มิติของความเข้มแสง คือจะมีค่า X และ Y ซึ่งเป็นค่าตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก โดยภาพจะมีข้อมูลอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเพื่อให้สามารถนำไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ เพราะหากนำภาพที่เป็นแบบอนาล็อกมาใช้ในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์จะทำให้ไม่สามารถประมวลผลได้เนื่องจากภาพจะไม่มี ความต่อเนื่อง ดังนั้นในการประมวลผลภาพผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องทำให้ภาพอยู่ในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งการแปลงภาพจากอนาล็อกให้เป็นภาพแบบดิจิทัลซึ่งเรียกว่าการ Image Digitization สามารถทำได้โดยการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อแปลงค่าความเข้มแสงให้เป็นค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของภาพคือ $f(x,y)$ โดยจะถูกทำให้มีลักษณะสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบภาพทั้งหมด ซึ่งเรียกว่า การสุ่มเลือกตำแหน่งจุดภาพ เพื่อแปลงภาพ 2 มิติให้เป็นภาพดิจิทัล โดยจะเป็นการเลือกสุ่มจุดตำแหน่งภาพเฉพาะบางจุดเท่านั้นตามแนวแกน X และแกน Y โดยการที่จะนำภาพไปทำการประมวลผลเพื่อใช้งานจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการเพื่อทำให้การประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้รายละเอียดของภาพที่ต้องการ

2.4.3 ประเภทของภาพ [15]

2.4.3.1 ภาพสี (Color Image)

ในทางคณิตศาสตร์ภาพสีจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 จำนวนทั้งหมด 256 ค่า มีขนาดอาร์เรย์เป็นสามมิติ สำหรับระบบภาพสีมีอยู่หลายระบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน ได้แก่ ระบบสี RGB ซึ่งจะมีแถบแม่สีหลักอยู่ 3 สีซ้อนทับกัน ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เป็นระบบที่ใช้สำหรับแสดงผลของกล้องถ่ายรูป นอกจากนี้ยังมีระบบสี CMY และ CMYK ซึ่งใช้สำหรับกับงานพิมพ์ และระบบสี HIS ซึ่งเป็นระบบที่มีความใกล้เคียงกับความสามารถในการมองเห็น

ของมนุษย์โดยจะพิจารณาสีที่ประกอบด้วยค่าสีหลักที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสี ความเข้มตัวของสี และความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าความเข้มข้นของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกัน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะภาพสี

2.4.3.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

เป็นภาพที่มีความเข้มสีในแต่ละระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับที่เป็นสีดำไปเป็นสีขาวและไปยังระดับสีเขาดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะภาพระดับสีเทา

2.4.3.3 ภาพขาวดำ (Binary Image)

จะมีขนาดอาร์เรย์เป็นสองมิติ แต่จะมีค่าอยู่แค่ 0 กับ 1 เท่านั้น โดยที่ 1 จะแสดงจุดภาพสีขา และ 0 แสดงจุดภาพสีดำ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะภาพขาวดำ

2.4.4 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา [15]

เป็นการนำภาพสี (RGB) มาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) เพื่อให้การประมวลผลภาพทำได้ง่ายและมีความรวดเร็วเพราะระบบภาพระดับสีเทามีค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากัน จึงทำให้จุดภาพของระบบภาพระดับสีเทาประกอบด้วยค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากันด้วย ส่วนระบบภาพสี (RGB) ซึ่งแต่ละภาพสีประกอบด้วยภาพสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งการประมวลผลภาพจะต้องทำผ่านทั้ง 3 ข้อมูล ซึ่งทำให้การประมวลผลภาพต้องใช้เวลาาน สำหรับการแปลงระบบภาพสีเป็นระบบภาพระดับสีเทา เป็นไปตามสูตรของ Craig Markwart ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.10) [15]

$$Y = 0.3(R) + 0.59(G) + 0.11(B) \quad (2.10)$$

โดยที่	Y	คือ	ค่าความเข้มข้นของจุดภาพระดับสีเทามีค่าระหว่าง 0 – 255
	R	คือ	ค่าความเข้มข้นของจุดภาพสีแดงมีค่าระหว่าง 0 – 255
	G	คือ	ค่าความเข้มข้นของจุดภาพสีเขียวมีค่าระหว่าง 0 – 255
	B	คือ	ค่าความเข้มข้นของจุดภาพสีน้ำเงินมีค่าระหว่าง 0 – 255

2.4.5 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ [15]

เป็นการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ซึ่งจะกำหนดค่าขีดแบ่งของภาพออกเป็น 2 ส่วนโดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ค่าขีดแบ่ง จึงทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงและสามารถจัดการกับภาพได้ง่ายขึ้น สำหรับการกำหนดค่าขีดแบ่งสามารถทำได้บนกราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram-base threshold) เป็นการแปลงภาพระดับสีเทาซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ให้มีค่าเหลือแค่ 0 กับ 1 เรียกว่า ภาพสองระดับ (Binary Image) โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าของจุดภาพกับค่าคงที่ที่ใช้ในการกำหนดค่าขีดแบ่ง โดยค่าจุดภาพใดๆ หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดค่าขีดแบ่งจะมีค่าเปลี่ยนเป็น 0 (ภาพสีดำ) และหากค่าจุดภาพใดๆ มีค่าน้อยกว่าค่ากำหนดค่าขีดแบ่งจะเปลี่ยนเป็น 1 (ภาพสีขาว) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.11) [15]

$$f'(x, y) = \begin{cases} 1; & f(x, y) \geq T \\ 0; & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2.11)$$

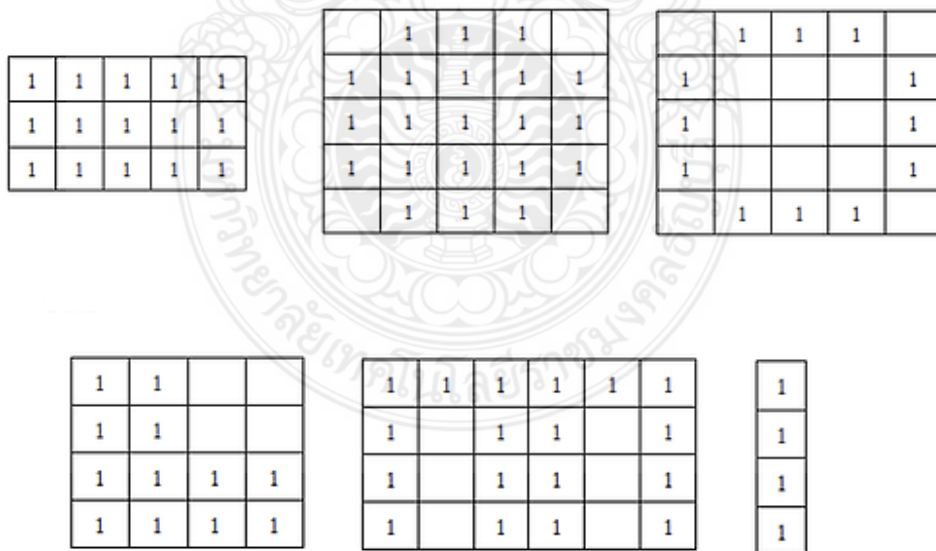
โดยที่	$f'(x, y)$	คือ	จุดภาพผลลัพธ์ที่เป็นภาพไบนารี
	T	คือ	ค่าเทรชโฮลด์
	$f(x, y)$	คือ	จุดภาพต้นฉบับ

ในการการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการสร้างภาพขาวดำ (Binary Image) ถ้าหากเลือกค่าขีดแบ่งไม่เหมาะสม คืออาจน้อยไปหรือมากไป จะส่งผลทำให้ภาพอาจจะสว่างเกินไปหรือสว่างน้อยเกินไป ดังนั้นก่อนที่จะนำค่าขีดแบ่งมากำหนดใช้งานควรมีการหาค่ากำหนดขีดแบ่งไว้ก่อนด้วยวิธีดังนี้ คือ การหาค่าขีดแบ่งโดยกำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งเป็นการกำหนดเองจากผู้ใช้งานซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้งาน โดยการเลือกค่าคงที่คงหนึ่งจะเป็นค่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพที่มีจำนวนข้อมูล 8 บิตความเข้มแสงก็จะมี 256

ระดับ ก็สามารถเลือกค่าขีดแบ่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 แต่ถ้าหากไม่กำหนดค่าขีดแบ่งเองก็สามารถหาได้จากค่าการคำนวณ โดยการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย โดยค่าขีดแบ่งเมื่อคำนวณได้ก็สามารถนำไปสร้างภาพไบนารีได้

2.5 เทคนิคมอร์โฟโลยี (Morphology) [16]

เป็นเทคนิคช่วยในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรูปภาพซึ่งเป็นวิธีการประมวลผลภาพที่เป็นชนิดไม่เป็นเชิงเส้น โดยจะทำการประมวลผลเฉพาะกับภาพที่เป็นภาพระดับสีเทาหรือภาพขาวดำ เพื่อเป็นการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น การแยกวัตถุออกจากกัน หรือการเชื่อมวัตถุในภาพเข้าด้วยกัน รวมไปถึงการลดสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพ สำหรับในการทำกระบวนการภาพจะต้องกำหนดองค์ประกอบของโครงสร้าง (Structuring Element) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น mask ที่เป็นภาพขาวดำ คือในกรอบ mask จะมีค่า 0 กับ 1 โดยมีหลากหลายลักษณะดังรูปที่ 2.17 โดยเมื่อนำ Structuring Element ไปวางยังตำแหน่งต่างๆ ในรูปภาพที่เป็นภาพขาวดำ ตำแหน่งจุดภาพที่สนใจจะต้องมีการอ้างอิงกับจุดภาพรอบข้างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของ mask การทำกระบวนการภาพมีได้หลายแบบด้วยกัน ได้แก่ การขยายภาพ (Dilation) การลดขนาดภาพ (Erosion) การเปิดภาพ (Opening) และการปิดภาพ (Closing)



รูปที่ 2.17 ลักษณะของ Structure Element

2.5.1 การขยายภาพ (Dilation) [16]

การขยายภาพเป็นลักษณะการเพิ่มข้อมูลภาพตามลำดับตลอดทั้งภาพ ซึ่งเป็นการขยายจุดภาพ เป็นวิธีที่ใช้ในการเพิ่มพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวหรือเชื่อมต่อกันระหว่างแต่ละกลุ่มจุดภาพขาวที่อยู่ใกล้กัน โดยเมื่อนำ Structure Element ที่มีขนาด เป็นตัวพิจารณาโดยเมื่อเลื่อนไปที่บริเวณใดของจุดภาพ แล้วพบว่าจุดตรงกลางทับกับบริเวณที่เป็นจุดภาพขาวก็จะมีการสำเนา Structure Element ลงไปในบริเวณนั้นของภาพผลลัพธ์ โดยที่เมื่อจุดเริ่มต้นของ Structure Element ตรงกับตำแหน่งข้อมูลภาพที่เท่ากับ 1 จะทำให้บริเวณที่ค่าจุดภาพเป็น 0 มีค่าเป็น 1 เมื่อค่าจุดภาพใดๆบน Structure Element มีค่าตรงกับค่าจุดภาพเดิมก็จะมีค่าคงเดิม ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.12) [16]

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \subseteq A\} \quad (2.12)$$

โดยที่	A	คือ	ภาพที่ต้องการนำมาขยาย
	B	คือ	Structuring Element
	Z	คือ	เซตข้อมูลจุดภาพ



รูปที่ 2.18 การทำการขยายภาพ

2.5.2 การลดขนาดภาพ (Erosion) [16]

การย่อภาพเป็นลักษณะของการลบข้อมูลภาพบริเวณขอบของภาพเป็นการลดขนาดของจุดภาพโดยเมื่อนำ Structure Element ที่กำหนดเลื่อนไปในบริเวณใดๆของภาพและทับกับบริเวณของภาพพอดีทุกจุดก็จะทำการใส่จุดภาพดำที่ภาพผลลัพธ์ในตำแหน่งเดียวกับจุดภาพเดิมที่ทับพอดีกับจุดกลางของ Structure Element โดยการเปลี่ยนค่าจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ให้เป็น 0

เมื่อ Structure Element มีค่าตรงกลับค่าจุดภาพจะคงค่าเดิมนั้นไว้โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.13) [16]

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2.13)$$

โดยที่

A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการย่อภาพ
B	คือ	Structuring Element
Z	คือ	เซตข้อมูลจุดภาพ



(a) ภาพขาวดำ



(b) ภาพจากการย่อภาพ

รูปที่ 2.19 การทำการลดขนาดภาพ

2.5.3 การเปิดภาพ (Opening) [16]

เป็นการนำภาพมาทำการกร่อนภาพแล้วค่อยทำการขยายภาพ เพื่อใช้ในการลบสิ่งที่ยกวนในภาพโดยใช้สำหรับการลบขอบภาพที่ยื่นออกมาจากวัตถุ โดยการเปิดภาพจะใช้เมื่อต้องการลบจุดภาพสีขาวที่มีลักษณะเป็นคอคอดสำหรับภาพขาวดำสามารถเขียนแทนได้ตามสมการที่ (2.14) [16]

$$A^\circ B = (A \ominus B) \oplus A \quad (2.14)$$

โดยที่

A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการเปิดภาพ
B	คือ	Structuring Element
\circ	คือ	สัญลักษณ์การเปิดภาพ

2.5.4 การปิดภาพ (Closing) [16]

เป็นการนำภาพมาทำการขยายภาพแล้วค่อยทำการกร่อนภาพ ใช้สำหรับในการลบจุดเล็กๆในภาพ โดยจะเป็นเชื่อมวัตถุที่แยกออกจากกันเพราะมีสิ่งรบกวนกับภาพโดยนำ Structure Element มาใช้พิจารณาการปิดภาพ สามารถเขียนแทนได้ตามสมการที่ (2.15) [16]

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.15)$$

โดยที่	A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการปิดภาพ
	B	คือ	Structuring Element
	\bullet	คือ	สัญลักษณ์การปิดภาพ

2.6 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นแบบไบนารี (BLOB Analysis) [17]

การวิเคราะห์กลุ่มภาพแบบไบนารี หรือเรียกว่าการวิเคราะห์แบบบล็อบ เป็นการนำภาพขาวดำ (Binary Image) มาทำการวิเคราะห์เพื่อแยกกลุ่มของจุดภาพที่มีค่าเป็นจุดภาพสีดำกับจุดภาพสีขาวออกจากกันด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้วงประกอบของจุดเชื่อมต่อ (region growing) ซึ่งมีวิธีการกำหนดจำนวนจุดเชื่อมต่อแบบ 4 connected ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อจุดตามแนวแกนตั้งและแนวนอนหรือแบบ 8 connected ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อจุดทุกทิศทางทำให้มีความละเอียดมาก สำหรับการวิเคราะห์กลุ่มภาพด้วยวิธีบล็อบถูกนำมาใช้เพื่อเป็นการหาจำนวนวัตถุที่อยู่ในภาพ ขนาดของวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ จุดศูนย์กลางของวัตถุ และเส้นขอบของวัตถุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบงานต่างๆ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้การวิเคราะห์แบบบล็อบถูกนำมาใช้สำหรับตรวจหาจุดศูนย์กลางของลอนกระดาศลูกฟูกเพื่อนำไปนับหาจำนวนกระดาศลูกฟูก สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์บล็อบจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

2.6.1 การรับภาพ (Acquire Image)

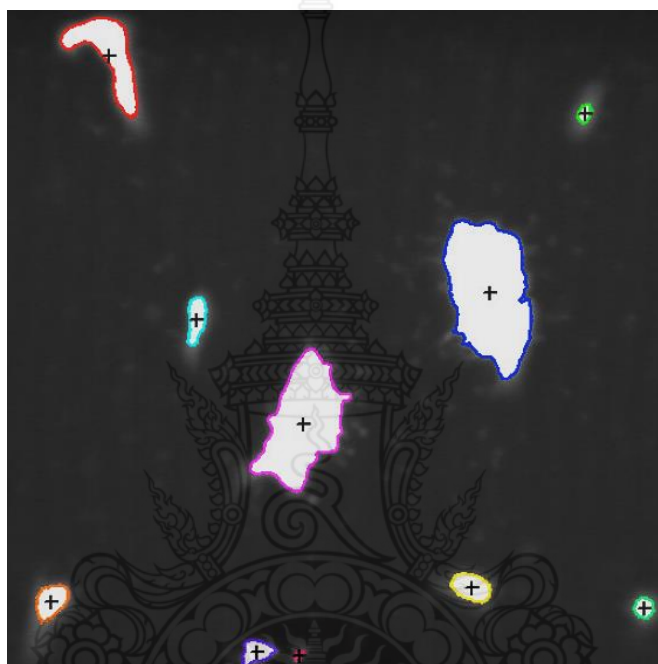
สำหรับภาพที่นำมาใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีบล็อบจะต้องเป็นภาพขาวดำเพราะเป็นการหาความแตกต่างของกลุ่มจุดภาพ โดยภาพจะมีการถูกปรับปรุงก่อนที่จะทำการประมวลผลภาพ

2.6.2 การแยกภาพ (Segment Image)

เพื่อทำการแยกจุดภาพสีขาวกับจุดภาพสีดำออกจากกัน โดยสามารถนำวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) มาใช้ในการแยกกลุ่มจุดภาพที่แตกต่างกัน

2.6.3 การหาคุณลักษณะ (Extract Feature)

เมื่อทำการวิเคราะห์แยกกลุ่มจุดภาพออกจากกันแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์แบบลึบจะเป็นการหาผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยสามารถหาพื้นที่ของวัตถุในภาพ จำนวนวัตถุในภาพ ตำแหน่งของวัตถุในภาพ และจุดศูนย์กลางของวัตถุในภาพ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่นำไปทำการตรวจสอบ



รูปที่ 2.20 การแยกกลุ่มจุดภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบลึบ [17]

จากรูปที่ 2.20 เป็นการแยกกลุ่มของจุดภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบลึบซึ่งเป็นการแยกกลุ่มจุดภาพที่เป็นสีขาวกับสีดำออกจากกันโดยการใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลางของวัตถุในภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานการรวมภาพกระดาศลูกฟูกมีวัตถุประสงค์เพื่อนำภาพถ่ายของกระดาศลูกฟูกแต่ละภาพมารวมเป็นภาพเดียวกันเพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูก เพราะเนื่องจากงานนับกระดาศลูกฟูกเป็นงานที่ต้องใช้ความรอบครอบและต้องมีความแม่นยำ ซึ่งวิธีการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกมีได้หลายวิธี เช่น การใช้คนนับ การนับด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักกระดาศลูกฟูก การนับด้วยวิธีหาความสูงของกองกระดาศโดยใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจจับ เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้พบว่ามีความผิดพลาดในการนับเพราะเป็นวิธีการประมาณค่าเพียงเท่านั้น [2] เนื่องจากกระดาศลูกฟูกที่นำมาใช้ตรวจนับอาจมีความเสียหายเกิดขึ้นกับตัวกระดาศจึงทำให้การนับด้วยวิธีดังกล่าวเกิดความคลาดเคลื่อน โดยต่อมาได้มีการนำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมาใช้งานแทนวิธีดังกล่าว ซึ่งเป็นการรับภาพจากกล้องประมวลผลจึงทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยระบบกล้องที่นิยมนำมาใช้ในงานตรวจสอบจะเป็นกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) เพราะมีความรวดเร็วในการทำงานสูง และมีการถ่ายภาพได้อย่างต่อเนื่องทำให้สามารถตรวจสอบงานที่มีขนาดชิ้นงานใหญ่ได้ และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้กล้องมีราคาสูง แต่เนื่องด้วยในงานการนับกระดาศลูกฟูกไม่จำเป็นต้องใช้ความเร็วในการรับภาพที่สูงมากเพราะจะต้องออกแบบอุปกรณ์และโปรแกรมในการทำงานให้สามารถรับภาพได้ทันกับเวลาที่ใช้รับภาพซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ง่าย เพราะหากไม่สามารถรับภาพที่ส่งมาจากกล้องได้ทันจะทำให้ภาพนั้นหายไปและจะเป็นการรับภาพอื่นเข้ามาแทนซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่ผิดพลาด และนอกจากนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้ถูกลง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) มาใช้งานแทนเพื่อช่วยลดต้นทุนในการสร้างชุดตรวจนับกระดาศลูกฟูก โดยที่กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้อง (Field of View) ทำให้เมื่อนำมาใช้ในการรับภาพกระดาศลูกฟูกที่วางซ้อนเป็นกองขนาดสูงนั้นไม่สามารถรับภาพได้ครอบคลุมจากการถ่ายภาพเพียงหนึ่งครั้ง และเพื่อให้สามารถรับภาพกระดาศลูกฟูกได้ครอบคลุมทั้งหมด ดังนั้นจำเป็นต้องถ่ายภาพจำนวนหลายภาพแล้วนำมารวมกันเพื่อให้ได้ภาพที่ครอบคลุม โดยวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการนำเทคนิคการต่อภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อรวมภาพกระดาศลูกฟูก และนำภาพผลลัพธ์ไปตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพโดยวิธีการหาตำแหน่งพื้นที่ของลอนกระดาศลูกฟูกเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนับเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ออกแบบไว้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษางานวิจัยที่นำระบบกล้องมาใช้ในการตรวจนับ ซึ่งได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการนับจำนวนปลา [18] การนับจำนวนรถยนต์บนถนน [19] การนับจำนวนประชากรสาหร่าย [20]

การคัดแยกเซลล์เม็ดเลือดขาว [15] และการนับกระดาศลูกฟูก [21] เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าวิธีการตรวจนับด้วยภาพเป็นการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้งานเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในภาพเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนับ สำหรับงานวิจัยการนับกระดาศลูกฟูกด้วยการใช้กล้องจากงานวิจัยของ จูตีวัชร ศิริอมรรตน์ และทวีพล ชื้อสตัย [22] ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกด้วยภาพจากกล้องแบบ USB โดยทำการถ่ายภาพในแนวตั้งหลายภาพต่อเนื่องกันแล้วนำไปประมวลผลภาพ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.48 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่ากล้องแบบ USB จะใช้ได้เฉพาะกับงานที่ไม่มีกลไกซับซ้อนจำเป็นต้องควบคุมความแม่นยำในการรับภาพ ระยะที่คงที่ และควบคุมแสง และจากนั้น มีนา รัตนากร [2] ได้นำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมาใช้งานในเบื้องต้นได้นำกล้องรับภาพแบบพื้นที่มาใช้งานพบว่าไม่สามารถรับภาพได้ครอบคลุมองศากระดาศทั้งหมด จึงได้นำกล้องรับภาพแบบเส้นมาใช้งาน และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการนับ พบว่าสามารถนับกระดาศลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อขอบกระดาศวางเรียงเสมอกันและเกิดความผิดพลาดเมื่อขอบกระดาศวางเหลื่อมกันทำให้จุดโฟกัสของกล้องไม่สามารถจับภาพได้ทำให้ไม่สามารถนับได้เนื่องจากภาพไม่มีความคมชัด

การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการรวมภาพสำหรับวิธีการรวมภาพ ได้แก่ เทคนิค Genetic Algorithm เป็นการรวมภาพโดยนำลักษณะเด่นของภาพมารวมกันเพื่อสร้างเป็นภาพใหม่ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย แต่ไม่ค่อยมีความแม่นยำในการจับคู่ภาพ โดยจะเกิดการจับคู่ข้ามคุณลักษณะภาพซึ่งจะทำให้เกิดภาพผิดเพี้ยน เนื่องจากไม่มีความทนทานต่อการรวมภาพที่มีแสงไม่สม่ำเสมอ [23], เทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching) เป็นการรวมภาพโดยใช้คุณลักษณะของภาพ ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนที่ดิจิทัล และการสร้างภาพถ่ายดาวเทียม [8] การตรวจสอบแผงโซลาร์เซลล์จากภาพถ่าย [11] การสร้างระบบเฝ้าระวังแบบอัจฉริยะทางอากาศแบบพกพาจากภาพถ่าย [24] จากการศึกษาพบว่าวิธีการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพจำเป็นต้องกำหนดให้แต่ละภาพมีส่วนที่ซ้อนทับกันเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงทำให้ภาพสามารถต่อกันได้ถูกต้อง โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้้นำเทคนิคการต่อภาพมาใช้ในการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกโดยมีการนำเสนอวิธีการต่อภาพโดยใช้การหาคุณลักษณะภาพ ซึ่งเป็นการหาจุด เส้น และมุมภาพ [25] , และได้แนะนำอัลกอริทึมการต่อภาพโดยใช้เทคนิค SIFT, FAST, Foerstner และ Harris ในการตรวจหาคุณลักษณะภาพ [26] เพื่อใช้ในการต่อภาพ พบว่าวิธี SIFT, Foerstner และ Harris ให้ความแม่นยำในการต่อภาพ 90.53 ถึง 95.00% ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน สำหรับเทคนิค FAST ไม่มีความแม่นยำในการต่อภาพ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้้นำวิธีการหาคุณลักษณะภาพด้วย Foerstner มาใช้ในการหามุมภาพด้านลอนลูกฟูก และสำหรับคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันจะถูกจับคู่กันเพื่อให้ภาพสามารถต่อกันได้โดย Hicham Tribak, Omar El Kadmiri และ Youssef Zaz [11] ได้นำเสนอวิธีการจับคู่คุณลักษณะภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่สอดคล้องกันด้วย

วิธี RANSAC ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการจับคู่คุณลักษณะมุมภาพด้านลอนลูกฟูก จากนั้นภาพทั้งหมดจะถูกรวมเป็นภาพเดียวกัน โดย You-Jin Ha และ Hyun-Deok Kang [27] ได้นำเสนอวิธี Bundle Adjustment เพื่อปรับโครงสร้างแนวภาพที่รวมกันให้มีลักษณะเหมือนกับลักษณะของภาพจริง

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นมาใช้ในงานการรับภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกจะต้องนำเทคนิคการต่อภาพเข้ามาช่วยแก้ปัญหากล้องถ่ายภาพที่มีพื้นที่การรับภาพของกล้องที่จำกัด วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ โดยทำการรวมภาพทั้งหมดให้เป็นภาพเดียวกัน และนำภาพผลลัพธ์ไปทำการประมวลผลเพื่อสำหรับการตรวจนับจำนวนกระดาดลูกฟูกเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ได้ออกแบบไว้



บทที่ 3

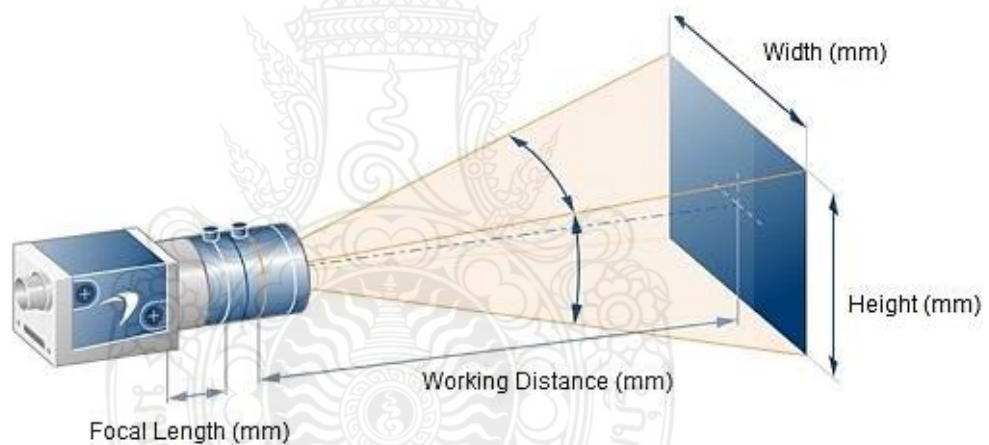
วิธีดำเนินการวิจัย

การนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพกระดาษลูกฟูกเพื่อนำไปตรวจสอบหาจำนวนกระดาษ โดยกระดาษลูกฟูกจะถูกวางซ้อนกันเรียงเป็นกองขนาดสูง ซึ่งกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะไม่สามารถรับภาพได้ครอบคลุมตลอดความสูงของกองกระดาษลูกฟูกทั้งหมดที่มี ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีแนวคิดทำให้กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่ได้เลือกนำมาใช้งานสามารถที่จะรับภาพกระดาษลูกฟูกได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมกระดาษลูกฟูกทั้งหมดได้เช่นเดียวกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกทีละภาพจนครอบคลุมจำนวนกระดาษทั้งหมด จากนั้นนำภาพที่ได้มารวมให้เป็นภาพเดียวกันด้วยเทคนิคการต่อภาพ เพื่อให้แต่ละภาพสามารถรวมกันได้ และภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปทำการประมวลผลภาพเพื่อใช้ตรวจสอบหาจำนวนกระดาษลูกฟูก ซึ่งในส่วนของบทนี้จะแสดงขั้นตอนการออกแบบวิธีการรวมภาพทางด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ โดยทำการประมวลผลผ่าน โปรแกรม HALCON และทำการนับจำนวนกระดาษเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาวิธีการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

โดยทั่วไปกล้องที่นำมาใช้สำหรับในงานการตรวจสอบจะมีอยู่ 2 ชนิด ซึ่งจะมีลักษณะการวางตัวเช่นเซอร์ของกล้องที่แตกต่างกันได้แก่ กล้องชนิดรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) และกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) สำหรับกล้องที่นิยมนำมาใช้งานและให้ความรวดเร็วสูง คือ กล้องชนิดรับภาพแบบเส้น เนื่องจากกล้องชนิดนี้จะมีความสามารถในการถ่ายภาพที่รวดเร็วและสามารถถ่ายภาพได้อย่างต่อเนื่องเป็นเส้นตรง จึงทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดครอบคลุมตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากตัวกล้องนั้นมีราคาแพงมาก ดังนั้นเมื่อนำกล้องชนิดรับภาพแบบเส้นมาใช้ในการรับภาพกระดาษลูกฟูกจึงทำให้มีต้นทุนในการสร้างชุดการตรวจสอบจำนวนกระดาษลูกฟูกมีราคาสูงตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการสร้างชุดการตรวจสอบจำนวนกระดาษลูกฟูก วิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้งานแทน แต่ด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่นั้นมีข้อจำกัดในส่วนพื้นที่การรับภาพของกล้อง (Field of View) ซึ่งจะสามารถรับภาพของวัตถุได้ตามขนาดพื้นที่รับภาพของกล้องซึ่งอยู่ในบริเวณที่จำกัด จึงทำให้ไม่สามารถรับภาพกระดาษลูกฟูก

ที่วางเรียงซ้อนกันขนาดสูงได้อย่างครอบคลุม ดังนั้นเพื่อให้กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่นั้นมีประสิทธิภาพในการรับภาพได้อย่างครอบคลุมเช่นเดียวกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้น จำเป็นต้องทำการถ่ายภาพจำนวนหลายภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ครอบคลุมกระดาดูกฟูกทั้งหมดแล้วนำแต่ละภาพนั้นมารวมกันด้วยเทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching) โดยลักษณะการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะมีขนาดพื้นที่ที่อยู่ในบริเวณที่จำกัด ซึ่งจะให้ภาพที่มีขนาดความกว้าง (Width) และความสูง (Height) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยขนาดพื้นที่การมองเห็นของกล้อง (Field of View) ในการรับภาพจะขึ้นอยู่กับค่าความยาวโฟกัส (Focal Length) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความกว้างและแคบของภาพ รวมไปถึงความคมชัดของภาพด้วย และขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาดูกฟูก (Working Distance) เพราะหากมีค่าน้อยพื้นที่ในการมองเห็นภาพก็มีค่าน้อยและถ้ามีค่ามากก็ จะทำให้มีพื้นที่ในการมองเห็นของกล้องที่มากตามไปด้วย โดยสามารถแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ [28]

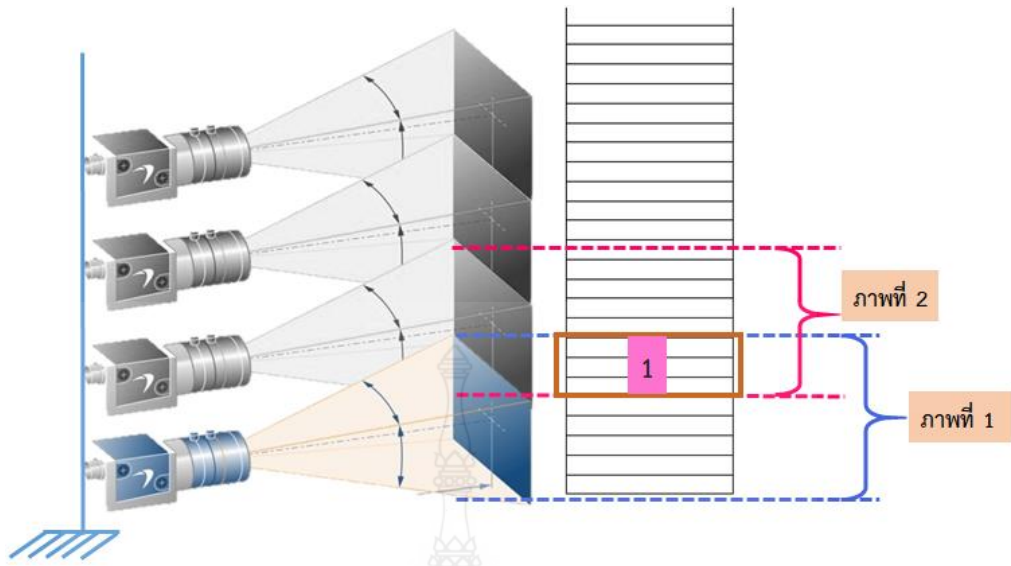
สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca1300 – 30 gm ชนิด monochrome ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งให้ภาพระดับสีเทามาใช้สำหรับรับภาพด้านลอนกระดาดูกฟูกชนิด BC, B และ C โดยตัวกล้องมีค่าความละเอียดของภาพเท่ากับ 1280×960 จุดภาพ ซึ่งมีขนาดเซ็นเซอร์ในการรับภาพเท่ากับ 4.9 มิลลิเมตร \times 3.6 มิลลิเมตร และมีความเร็วในการถ่ายภาพอยู่ที่ 30 ภาพต่อวินาที โดยสื่อสารเพื่อส่งภาพผ่านทาง GigE Vision



รูปที่ 3.2 กล้องรับภาพแบบพื้นที่ชี้หือ Basler ace รุ่น Aca 1300 – 30 gm

3.1.1 การรับภาพ (Image Acquisition)

สำหรับการรับภาพในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการรับภาพจากกล้องโดยตรง ซึ่งจำเป็นต้องคำนวณหาขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้อง (Field of View) เพื่อให้ทราบขนาดพื้นที่ของกล้องที่สามารถรับภาพได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) โดยขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องจะนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้อง เพราะเนื่องจากเมื่อกำลังเคลื่อนที่ไปถ่ายภาพ ณ ตำแหน่งถัดไปจำเป็นต้องกำหนดให้ภาพแรกและภาพที่อยู่ถัดไปมีบริเวณของภาพทั้งสองซ้อนทับกันอยู่เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการนำภาพมาต่อกัน สำหรับการเลื่อนกล้องไปยังตำแหน่งต่างๆ เพื่อทำการรับภาพกระดาดลูกฟูกนั้น โดยที่ตัวกล้องจะถูกติดตั้งอยู่บนแท่นเลื่อน และมีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวสำหรับขับเคลื่อนเพื่อให้กล้องสามารถเคลื่อนที่ไปรับภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูก ณ ที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

จากรูปที่ 3.3 หมายเลข 1 คือ ส่วนของบริเวณที่มีการซ้อนทับกันระหว่างภาพที่ 1 และภาพที่ 2 โดยจะถูกกำหนดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันระหว่างภาพ เพื่อนำมาใช้คำนวณหาค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกล้องเพื่อรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก ซึ่งหากพื้นที่ที่ซ้อนทับระหว่างภาพมีค่าน้อยก็จะทำให้มีจำนวนภาพถ่ายน้อยตามไปด้วย แต่หากพื้นที่ที่ซ้อนทับมีค่ามากก็จะทำให้มีจำนวนภาพที่มากซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการถ่ายภาพเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องหาขนาดพื้นที่ที่ซ้อนทับระหว่างภาพที่มีค่าน้อยสุดที่ยังคงทำให้การต่อภาพนั้นมีความถูกต้อง โดยการหาขนาดพื้นที่การซ้อนทับเพื่อนำมากำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกล้อง สามารถหาได้ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$Y(new) = \frac{FOV_{(y)} \times Overlap}{100} \quad (3.1)$$

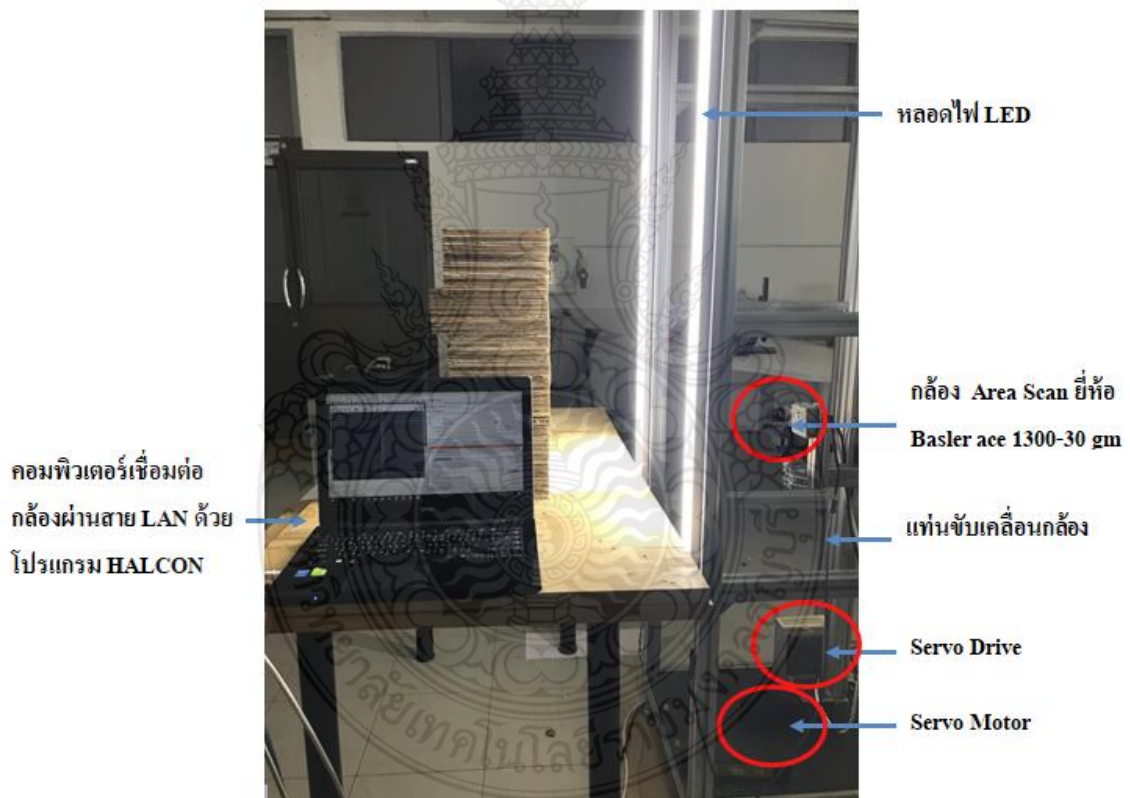
$$\text{ระยะเคลื่อนที่ของกล้อง} = FOV_{(y)} - Y(new) \quad (3.2)$$

โดยที่ $Y(new)$ คือ ระยะที่ภาพซ้อนทับกัน

$FOV_{(y)}$ คือ ขนาดพื้นที่การมองเห็นของกล้องในแกน y

$Overlap$ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับระหว่างภาพ

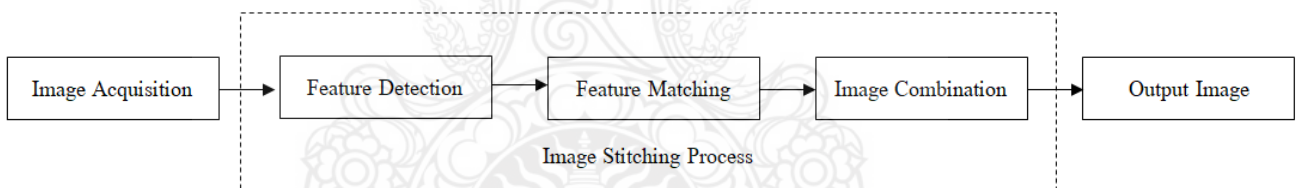
สำหรับการรับภาพจำเป็นต้องมีการให้แสงสว่างกับกระดาษลูกฟูกจากอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้ภาพมีความสว่างชัดเจนและไม่เกิดเงาสะท้อนของแสงขึ้นกับภาพ โดยได้เลือกนำอุปกรณ์ให้แสงสว่างที่เป็นหลอดแอลอีดียี่ห้อ LAMTAN มาใช้งาน โดยมีค่ากำลังไฟฟ้า 18 วัตต์ และให้ค่าความสว่างอยู่ที่ 1800 ลูเมน สำหรับภาพถ่ายจากกล้องจะถูกส่งมายังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม HALCON version 13.0 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลภาพที่มีความรวดเร็วและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย โดยประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ยี่ห้อ acer ระบบประมวลผล Windows 10 Pro 64-bit มีการสื่อสารเพื่อส่งภาพถ่ายจากกล้องมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตกิกะอีเธอร์เน็ต (GigE) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกในการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกในการทดสอบ

3.2 ศึกษาวิธีการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ

ภาพด้านลอนลูกฟูกจำนวนหลายภาพที่ถูกรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะถูกนำมารวมให้เป็นภาพเดียวกัน โดยใช้เทคนิคการต่อภาพซึ่งเป็นวิธีสำหรับการนำภาพจำนวนหลายภาพมารวมให้เกิดเป็นภาพขนาดใหญ่หนึ่งภาพซึ่งจะทำให้มีรายละเอียดของภาพครอบคลุมตามต้องการ โดยมีการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เป็นตัวดำเนินการ ดังนั้นการที่แต่ละภาพจะสามารถนำมาต่อกันได้จำเป็นต้องกำหนดให้ภาพต่างๆที่อยู่ติดกันมีส่วนที่ซ้อนทับกันเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการต่อภาพ โดยที่พื้นที่ที่ซ้อนทับกันระหว่างภาพที่อยู่ติดกันหากมีค่าน้อยจะทำให้จำนวนภาพที่นำมาใช้ในการต่อภาพมีจำนวนน้อยตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้การต่อภาพมีความรวดเร็ว ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเทคนิคการต่อภาพมาใช้สำหรับรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C และได้ทำการทดสอบหาขนาดพื้นที่การซ้อนทับของภาพที่อยู่ติดกันที่มีขนาดน้อยที่สุดที่จะยังคงทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดสามารถต่อกันได้ถูกต้อง โดยที่บริเวณพื้นที่ที่ซ้อนทับกันระหว่างภาพจะเป็นตำแหน่งที่ทำให้แต่ละภาพสามารถต่อกันได้ สำหรับอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

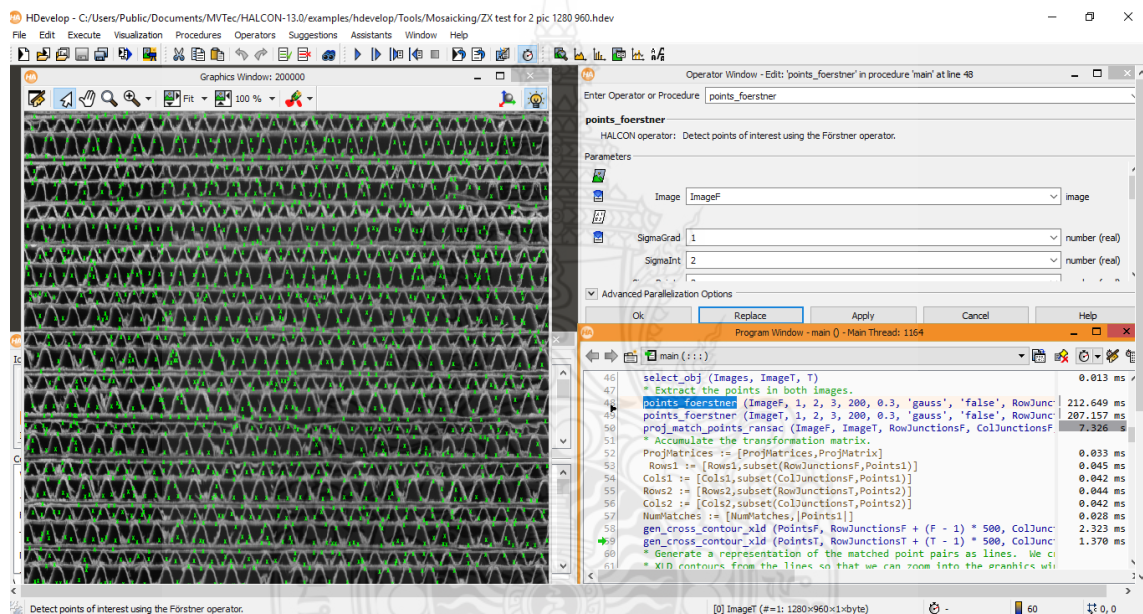


รูปที่ 3.5 อัลกอริทึมสำหรับการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก

3.2.1 การตรวจหาคุณลักษณะภาพ (Feature Detection)

ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ถูกรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะถูกส่งมายังโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์โดยสื่อสารผ่านทาง GigE Vision เพื่อนำมาใช้ในการรวมภาพ โดยภาพจะถูกทำการประมวลผลตามอัลกอริทึมการรวมภาพที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการหาคุณลักษณะภาพซึ่งจะมีความโดดเด่นและแตกต่างไปจากบริเวณที่อยู่รอบข้าง และสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกก่อนที่จะนำไปตรวจหาคุณลักษณะภาพจะต้องถูกกำจัดสัญญาณรบกวนเพื่อทำภาพให้มีความคมชัดก่อนด้วยวิธีการกรองภาพแบบเกาส์เซียน ซึ่งจะเลือกการกรองด้วยวิธีการคอนโวลูชัน เพื่อทำให้ระดับความเข้มแสงของเส้นลอนกระดาศลูกฟูกกับภาพพื้นหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.4) และ (2.5) เพื่อนำภาพที่ได้หลังจากผ่าน

การกรองแล้วไปตรวจหาคุณลักษณะภาพเพื่อทำให้คุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกมีความเด่นชัดขึ้น สำหรับคุณลักษณะภาพที่เลือกนำมาใช้ในการตรวจหาคุณลักษณะของภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคุณลักษณะมุมภาพ เนื่องจากมีความทนทานและไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภาพ โดยได้นำวิธีการตรวจหามุมของฟอร์ทเนอร์ (Foerstner Corner Detector) มาใช้ในการตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก ซึ่งจะพิจารณาจากจุดภาพของบริเวณส่วนที่เป็นเส้นลอนลูกฟูกกับพื้นหลัง ซึ่งจะมีค่าระดับความเข้มสีที่แตกต่างกัน และสำหรับบริเวณของจุดภาพที่มีระดับความเข้มสีแตกต่างกันนี้จะทำให้เกิดเป็นจุดตัดระหว่างมุมของจุดภาพขึ้น ดังรูปที่ 3.6

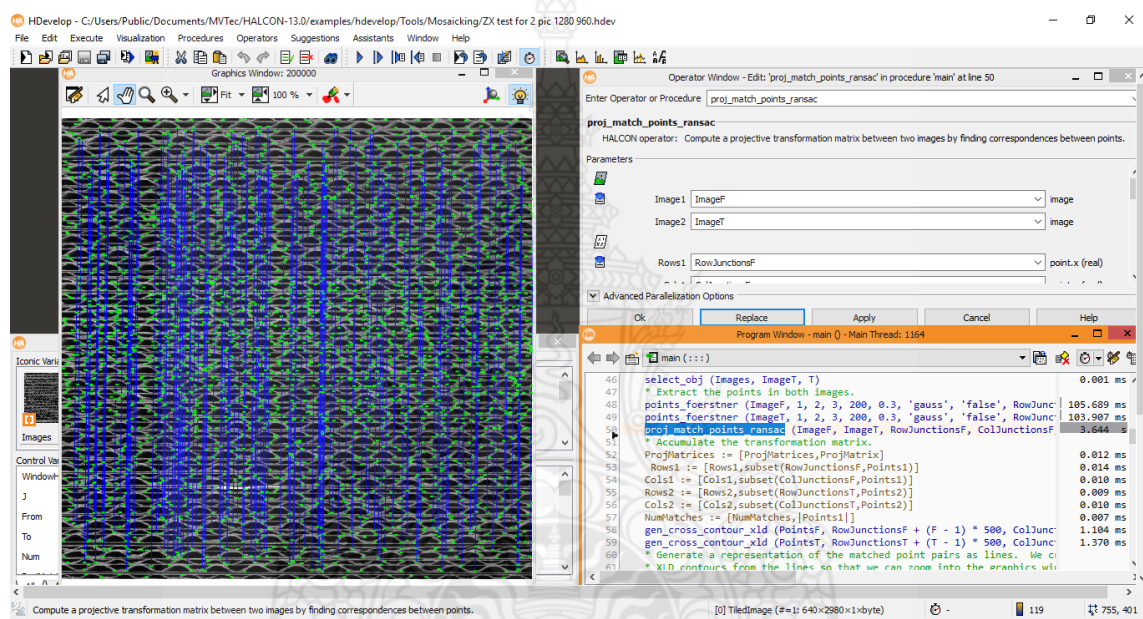


รูปที่ 3.6 คุณลักษณะมุมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้จากวิธีฟอร์ทเนอร์

3.2.2 การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature Matching)

เมื่อทำการหาคุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้แล้ว จากนั้นคุณลักษณะของภาพในแต่ละภาพที่มีความสอดคล้องกันจะถูกนำมาจับคู่กันเพื่อทำให้ภาพด้านลอนลูกฟูกแต่ละภาพสามารถทำการต่อกันได้ โดยวิธีการจับคู่คุณลักษณะภาพจำเป็นต้องกำจัดคุณลักษณะของภาพที่ไม่สอดคล้องกันออกไปเพื่อทำให้การจับคู่ของแต่ละภาพมีความถูกต้อง เนื่องจากคุณลักษณะภาพที่หาได้จากในขั้นตอนก่อนหน้านั้นจะเป็นการหาคุณลักษณะภาพของด้านลอนลูกฟูกทั้งหมด ซึ่งจะทำให้มีคุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันและไม่สอดคล้องกันรวมอยู่ด้วยกัน ดังนั้นจึงได้นำวิธีของ

RANSAC (Random Sample Consensus) มาใช้เพื่อกำจัดคุณลักษณะของภาพที่ไม่สอดคล้องกันออกไป ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าโดยจะหาจากระยะห่างของคุณลักษณะที่สอดคล้องกันแล้วเปรียบเทียบกับระยะค่ากำหนดขีดแบ่ง โดยที่คุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันจะมีระยะห่างที่น้อยกว่าระยะค่ากำหนดขีดแบ่ง ดังสมการ (2.8) และในรูปที่ 3.7 แสดงการหาคุณลักษณะเด่นในภาพของแต่ละภาพและนำบริเวณของภาพที่เป็นจุดเดียวกันมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยจุดสีเขียวแสดงการหาคุณลักษณะเด่นภาพของแต่ละภาพ และเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงการเชื่อมต่อกันของคุณลักษณะจุดภาพที่สอดคล้องกันของแต่ละภาพ

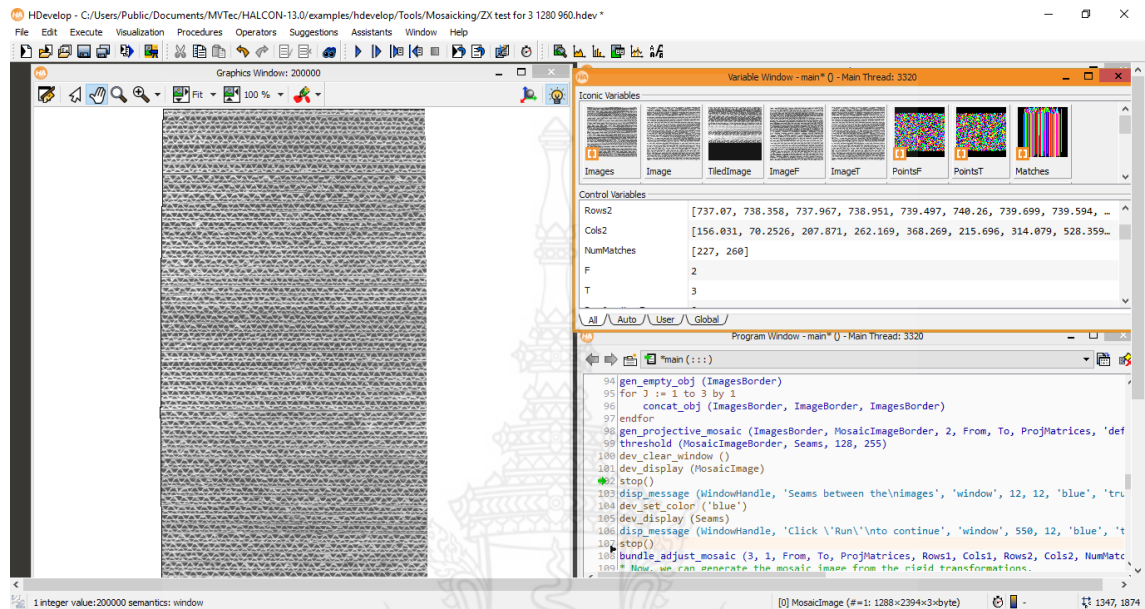


รูปที่ 3.7 การจับคู่คุณลักษณะมุมภาพที่สอดคล้องกัน

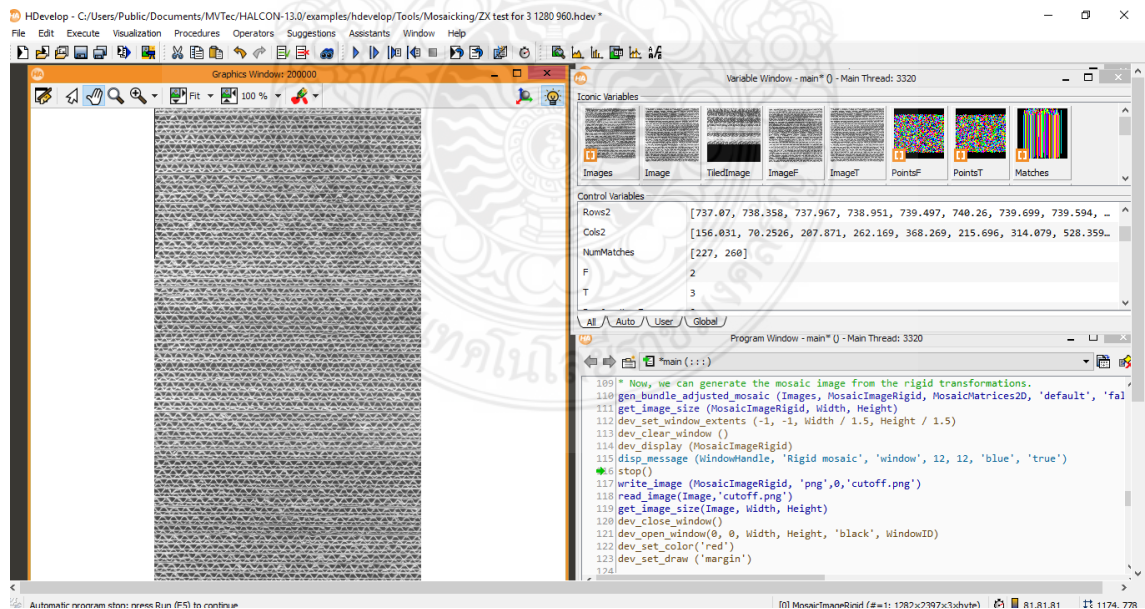
3.2.3 การรวมภาพ (Image Combination)

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของเทคนิคการต่อภาพคือการนำภาพทั้งหมดมารวมกัน โดยที่คุณลักษณะของภาพที่มีความสอดคล้องกันจะถูกนำมาจับคู่เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ภาพสามารถรวมเป็นภาพเดียวกันได้ ซึ่งภาพที่เกิดจากการรวมกันจะมีลักษณะที่เอียงไปตามตำแหน่งของคุณลักษณะภาพที่จับคู่กัน ซึ่งเมื่อทุกภาพถูกนำมารวมกันทั้งหมดแล้วพบว่าจะมีการเอียงไปจากแนวที่ควรจะเป็น ดังรูปที่ 3.8 ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับโครงสร้างภาพทั้งหมดให้เรียงเป็นแนวเดียวกัน วิทยานิพนธ์นี้ได้ นำวิธี Bundle adjustment มาใช้เพื่อทำให้ภาพทั้งหมดเรียงอยู่ในแนวที่ควรจะเป็น ซึ่งเป็นวิธีสำหรับ

ปรับปรุงโครงสร้างของภาพให้เหมือนกับลักษณะภาพจริง และเป็นการจัดโครงสร้างภาพให้มีความถูกต้องกับของจริงมากที่สุดแสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก 3 ภาพ โดยถูกปรับปรุงโครงสร้างการรวมภาพด้วยวิธี Bundle adjustment



รูปที่ 3.8 ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ถูกนำมาต่อกัน



รูปที่ 3.9 ภาพผลลัพธ์การรวมภาพด้านลอนลูกฟูกหลังจากใช้ Bundle adjustment

หลังจากได้ทำการรวมภาพกระดาษลูกฟูกทั้งหมดให้เป็นภาพเดียวกันได้แล้ว สำหรับขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำภาพผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการต่อภาพไปทดสอบด้วยวิธีการนับเพื่อหาจำนวนกระดาษลูกฟูกว่ามีจำนวนถูกต้องตรงกับจำนวนกระดาษที่นำมาใช้ในการทดสอบหรือไม่ โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อที่ 3.3

3.3 ออกแบบอัลกอริทึมการนับกระดาษทางด้านลอนลูกฟูก (Cut- Off)

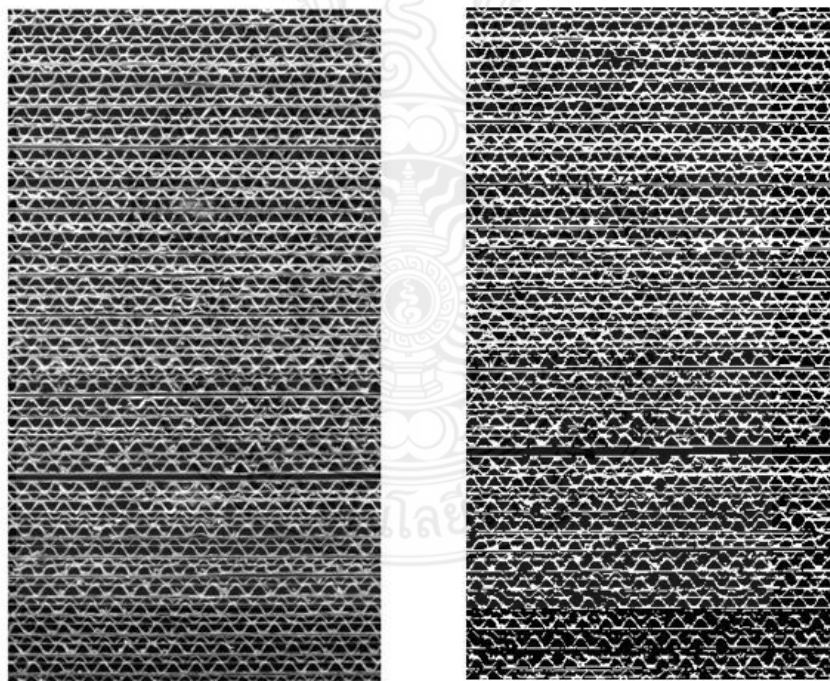
จากภาพที่ 3.9 แสดงภาพผลลัพธ์ของการรวมภาพทางด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ จากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปทดสอบหาความถูกต้องของอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก โดยใช้หลักการของวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจนับกระดาษลูกฟูกว่ามีจำนวนกระดาษตรงตามจำนวนที่นำมาทดสอบจริงหรือไม่ และเนื่องจากกระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้ซึ่งกระดาษบางแผ่นเกิดความเสียหายเนื่องจากถูกกดทับจนลอนของกระดาษบิดเบี้ยวไม่เท่ากัน จึงทำให้กระดาษลูกฟูกแต่ละแผ่นมีขนาดของลอนที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกนำวิธีการตรวจหาดำแหน่งของวัตถุ (BLOB - Analysis) มาใช้ในการนับจำนวนกระดาษ ซึ่งจากในภาพที่ 3.9 จะเห็นว่าส่วนที่เป็นวัตถุของภาพก็คือลอนของกระดาษลูกฟูก ดังนั้นการหาดำแหน่งของลอนลูกฟูกจึงเป็นการหาดำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนของกระดาษลูกฟูก โดยเริ่มจากการแยกวัตถุในภาพกับพื้นหลังออกจากกันก่อน จากนั้นจึงคำนวณหาพื้นที่ของลอนลูกฟูกในแต่ละลอนและจะทำให้ทราบค่าจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกและนำจุดศูนย์กลางนี้ไปใช้หาจำนวนกระดาษลูกฟูกต่อไป โดยมีรายละเอียดของอัลกอริทึมการนับกระดาษลูกฟูกทางด้านลอน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อัลกอริทึมสำหรับการนับกระดาษของภาพด้านลอนลูกฟูก

3.3.1 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

สำหรับกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นกล้องชนิดที่ให้ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image) โดยจะมีค่าของระดับสีอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขนาดข้อมูลภาพให้มีค่าน้อยลงเพื่อให้การประมวลผลภาพมีความรวดเร็วขึ้น จึงได้ทำการแปลงภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ (Binary Image) โดยใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแยกภาพออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะทำให้ข้อมูลภาพมีค่าอยู่ที่ 0 กับ 1 ซึ่งการที่ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกมีลักษณะเป็นภาพขาวดำจะทำให้สามารถแยกลอนของกระดาศลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลังได้ ดังรูปที่ 3.11 และเพื่อนำภาพไปใช้ในการตรวจหาพื้นที่ของวัตถุในภาพในขั้นตอนต่อไปซึ่งจะเห็นว่าลอนของกระดาศลูกฟูกบางลอนนั้นไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีด้วยวิธีการปิดภาพดังสมการที่ (2.15) ก่อนนำไปทำการนับกระดาศ เพื่อทำการปิดจุดภาพสีขาวในลอนและให้ได้ลอนที่มีสีดำชัดเจนขึ้น โดยได้เลือกใช้ส่วนประกอบโครงสร้างของเมตริกซ์ (Structure element) ที่มีขนาด 5×5 เพราะหากส่วนประกอบโครงสร้างมีขนาดเล็กจะทำให้ปิดวัตถุได้ไม่หมดและถ้าขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ลอนบางส่วนหายไปซึ่งจะส่งผลทำให้การนับผิดพลาด



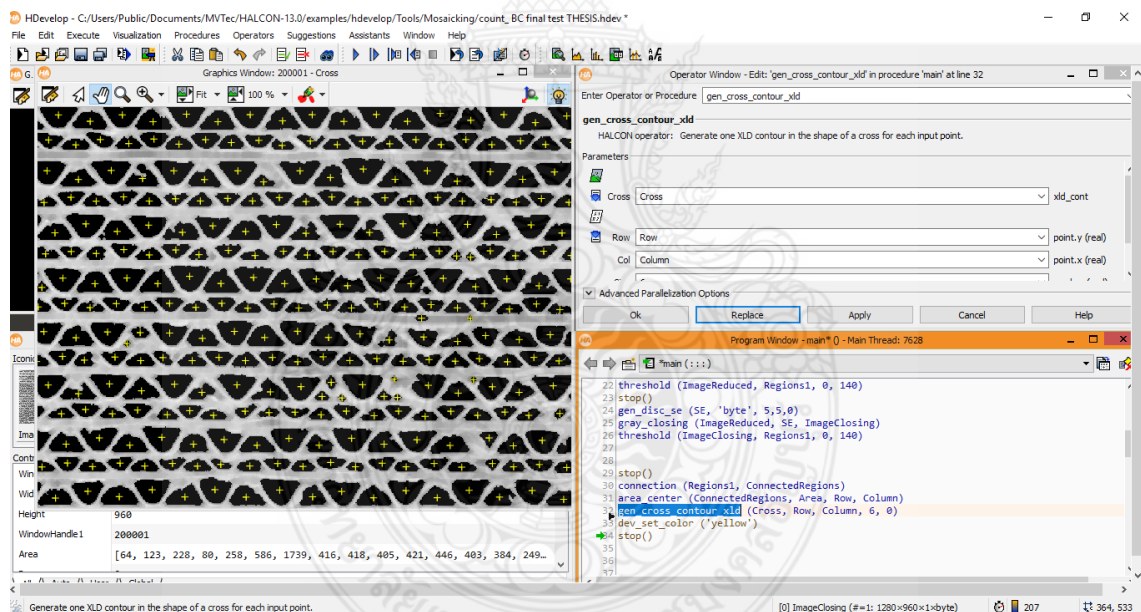
(a) ภาพระดับสีเทา

(b) ภาพขาวดำ

รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

3.3.2 การวิเคราะห์หีบถีบ (BLOB Analysis)

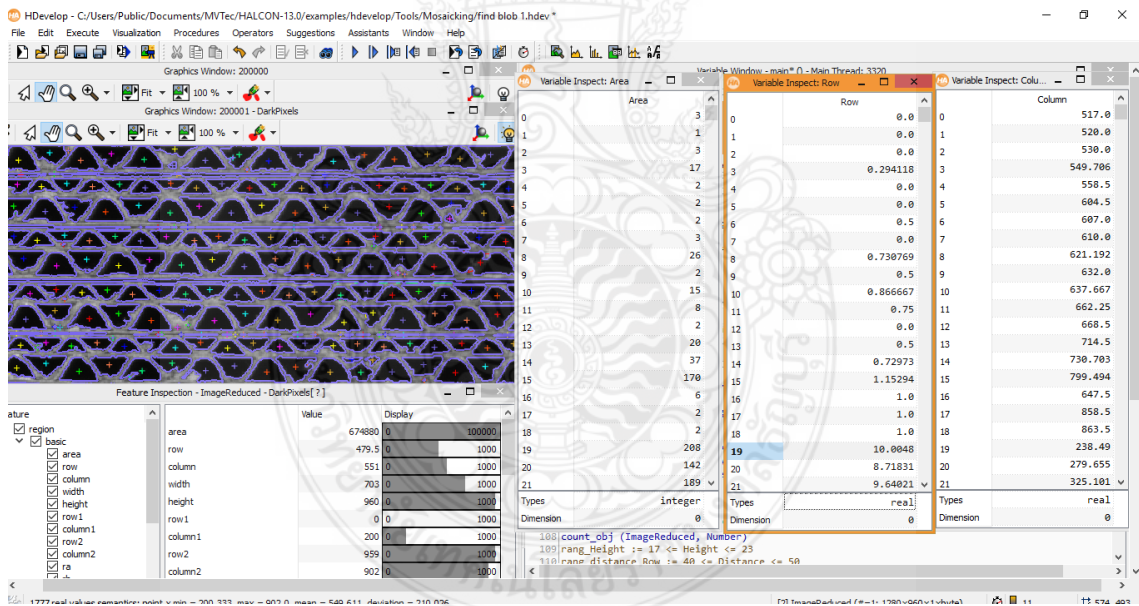
สำหรับภาพทางด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาความถูกต้องของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะพบว่าเมื่อทำการแยกลอนลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลังแล้ว ลักษณะของลอนลูกฟูกแต่ละลอนจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการที่จะสามารถนับจำนวนกระดาศลูกฟูกทางด้านลอนได้นั้นจำเป็นต้องทำการหาขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูกเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกในแต่ละแถวโดยได้เลือกนำหลักการวิเคราะห์หีบถีบมาใช้งานเพื่อทำการหาขนาดเส้นรอบวงของลอนลูกฟูกแต่ละลอนแล้วลากเส้นภายในลอนที่ยาวที่สุดเพื่อทำให้เกิดจุดตัดภายในลอนซึ่งจะทำให้ทราบค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอน เนื่องจากเมื่อลอนของลูกฟูกมีขนาดที่ไม่เท่ากันก็จะยังทำให้สามารถหาจุดศูนย์กลางได้ ซึ่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกที่หาได้นั้นจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกต่อไป โดยสามารถแสดงจุดศูนย์กลางของลอนกระดาศลูกฟูกที่หาได้จากวิธีการวิเคราะห์หีบถีบได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การหาจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนกระดาศลูกฟูกด้วยวิธี BLOB Analysis

3.4 วิธีนับจำนวนกระดาดลูกฟูก

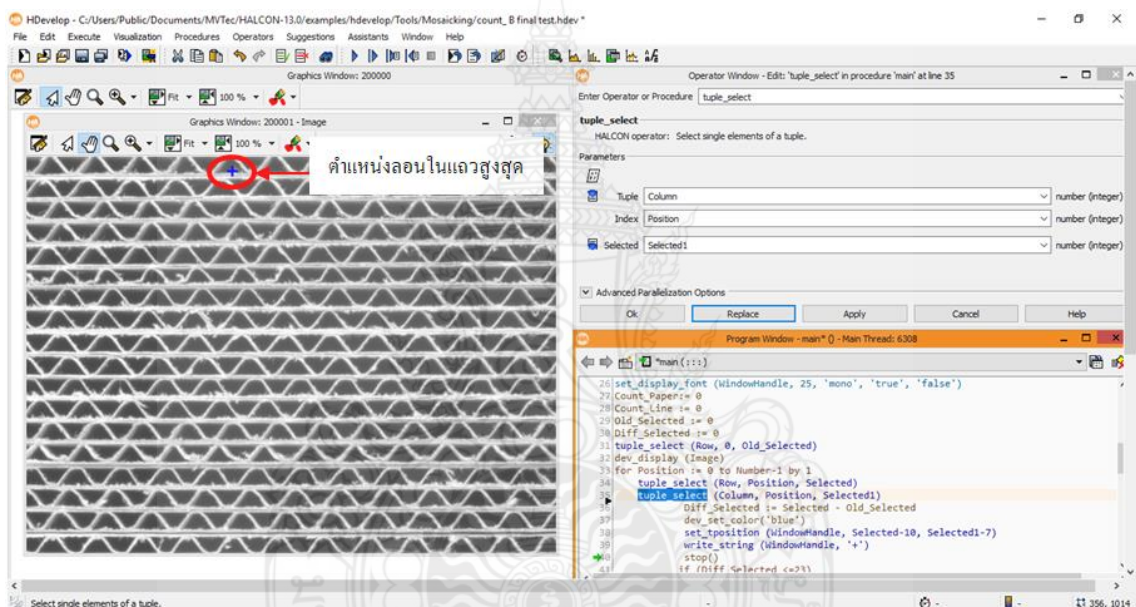
จากหัวข้อที่ 3.3 เมื่อหาขนาดพื้นที่ของลอนกระดาดลูกฟูกด้วยวิธีการวิเคราะห์หีบถีบจะทำให้ทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกซึ่งจะเป็นค่าของแถว (row) และคอลัมน์ (column) โดยจะนำค่าจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนลูกฟูกที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลในการนับจำนวนกระดาดลูกฟูก โดยที่สำหรับกระดาดลูกฟูกชนิด BC จำนวน 1 แผ่น จะมีกระดาดอยู่ 2 แถว ซึ่งประกอบด้วยหนึ่งแถวคือกระดาดชนิดลอน B และอีกหนึ่งแถวเป็นกระดาดชนิดลอน C แต่สำหรับกระดาดลูกฟูกชนิด B และ C จะมีจำนวนกระดาดเพียงแถวเดียวเท่านั้น โดยที่แต่ละแถวของลอน B กับ C จะมีขนาดพื้นที่ลอนและระยะความห่างระหว่างแถวที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดความสูงของลอน ดังนั้นเมื่อนำมานับจำนวนกระดาดลูกฟูกจึงต้องกำหนดระยะห่างในการนับที่แตกต่างกัน โดยในวิธีการนับจะใช้ค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอนลูกฟูกในแถวก่อนหน้ากับแถวที่อยู่ถัดไป เพื่อนำมากำหนดเป็นค่าระยะห่างระหว่างแถวของลอนเพื่อกำหนดการนับจำนวนกระดาดลูกฟูกโดยที่สามารถแสดงค่าจุดศูนย์กลางซึ่งคือตำแหน่งของแถวและคอลัมน์ รวมถึงขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูก แสดงดังรูปที่ 3.13



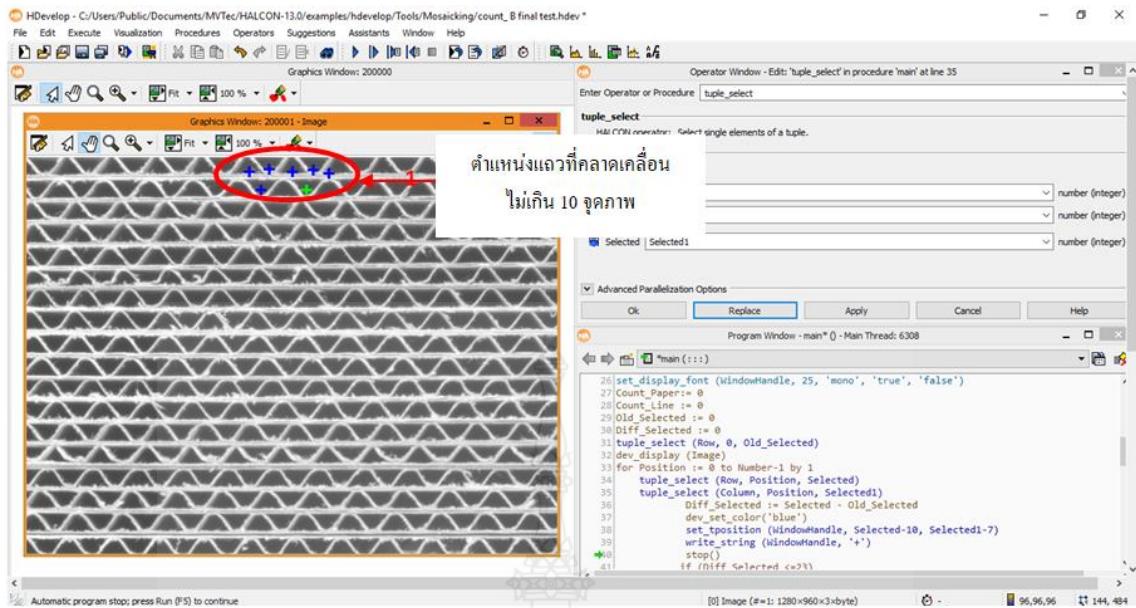
รูปที่ 3.13 ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอนในแต่ละแถว ความสูงของลอน และขนาดพื้นที่ลอน

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาใช้ในกระบวนการนับแล้วโดยวิธีในการนับกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 จากภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกทั้งหมดจะต้องหาตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อนับกระดาษแผ่นที่ 1 โดยจะทำการหาตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนซึ่งคือค่าจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูก จากนั้นทำการตรวจหาลอนของกระดาษลูกฟูกที่ค่าตำแหน่งแถวมีความคลาดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางของตำแหน่งแถวสูงสุดที่หาได้ไม่เกิน 10 จุดภาพ และตรวจจำนวนลอนกระดาษลูกฟูกในแถวนั้น ซึ่งหากมีจำนวนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ก็จะถือว่าเป็นกระดาษลูกฟูกจำนวนหนึ่งแผ่น ซึ่งสามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 3.14 และ 3.15

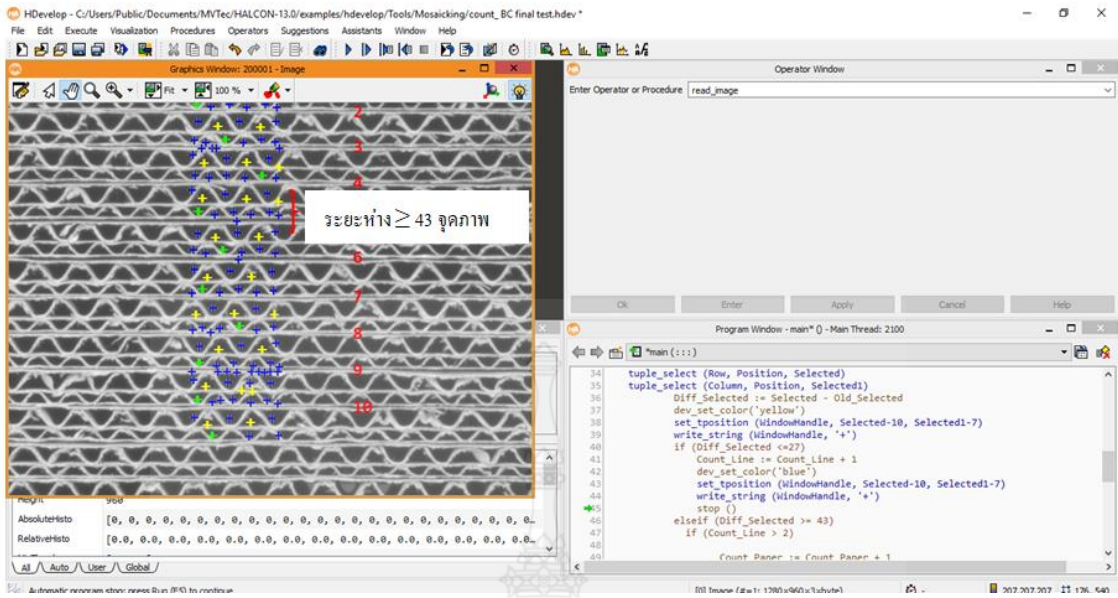


รูปที่ 3.14 ตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนกระดาษลูกฟูกในแถวแรก

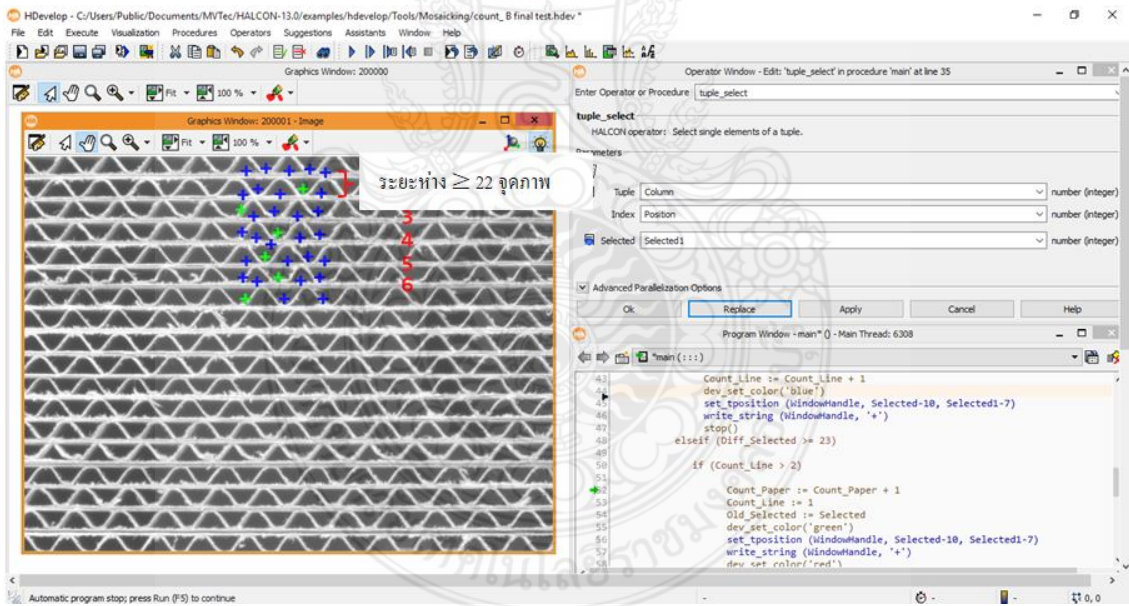


รูปที่ 3.15 จำนวนกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น ที่มีจำนวนลอนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

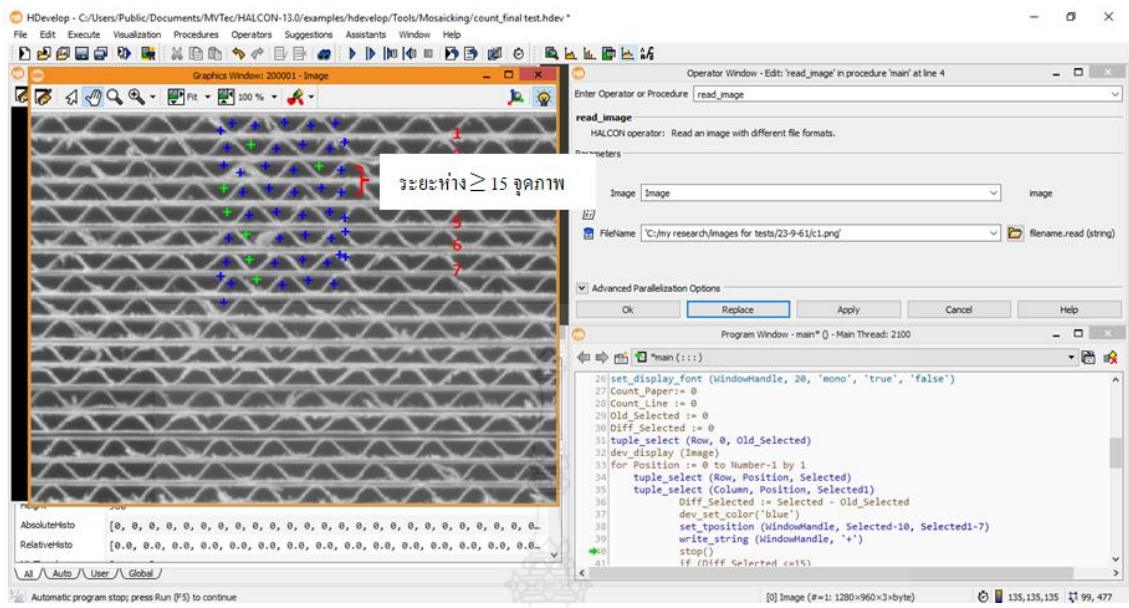
3.4.2 เมื่อหากระดาษลูกฟูกแผ่นที่ 1 ได้แล้ว สำหรับวิธีการนับกระดาษลูกฟูกแผ่นถัดไปจะใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของตำแหน่งแถวสูงสุดในแผ่นก่อนหน้าแล้วหารระยะห่างระหว่างแถวโดยที่กระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีค่าระยะห่างระหว่างแถวที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจากการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางจึงได้กำหนดค่าความแตกต่างของตำแหน่งแถวสูงสุดในแผ่นก่อนหน้ากับแผ่นถัดไปของภาพลอนลูกฟูกชนิด BC ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 43 จุดภาพ, ภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 22 จุดภาพ และภาพด้านลอน B ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 15 จุดภาพ แสดงได้ดังรูปที่ 3.16 ถึง 3.18 จากระยะความแตกต่างของแต่ละแถวตามค่าที่กำหนดจะทำให้ทราบค่าตำแหน่งแถวสูงสุดของแผ่นถัดไป จากนั้นก็พิจารณาตามหัวข้อที่ 4.3.1 โดยที่ผลลัพธ์จะเป็นการนับเพิ่มทีละ 1 แผ่นต่อจากแผ่นก่อนหน้า และทำกระบวนการซ้ำจนครบภาพลอนกระดาษลูกฟูกทั้งหมด



รูปที่ 3.16 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน BC ในแต่ละแถว



รูปที่ 3.17 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน C ในแต่ละแถว



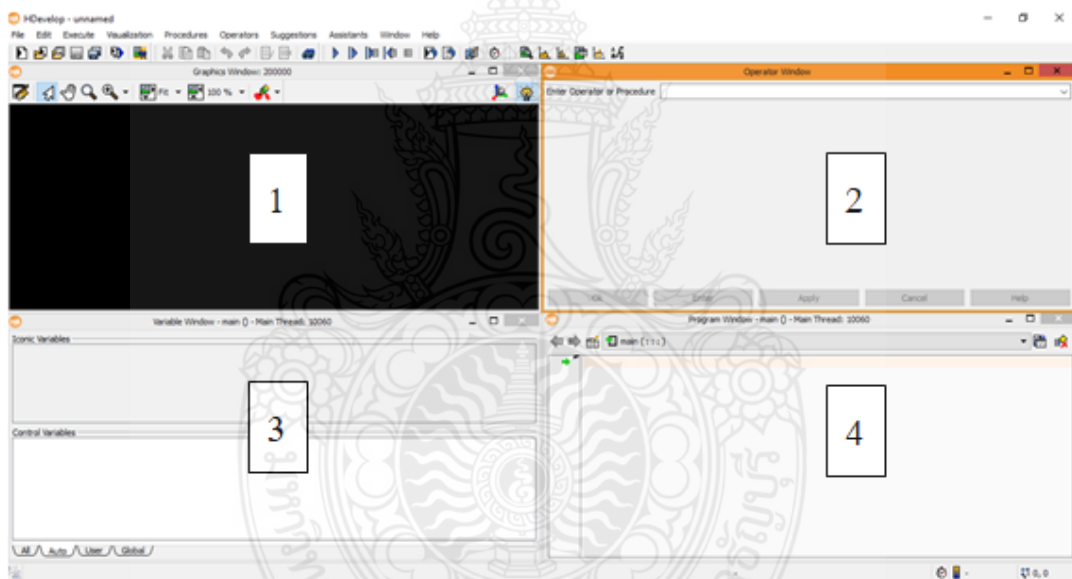
รูปที่ 3.18 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลอน B ในแต่ละแถว

3.5 ศึกษาโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพ

เมื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกแล้วจำเป็นต้องนำอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้มาทดสอบความถูกต้อง ซึ่งในการทดสอบจะต้องทำการทดสอบกับเวลาจริง (Real-time) ดังนั้นโปรแกรมที่จะนำมาใช้สำหรับทดสอบอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนลูกฟูกและตรวจนับจำนวนกระดาษจะต้องสามารถทำงานในลักษณะแบบเวลาจริงได้ ดังนั้นจึงได้เลือกนำมาทดสอบด้วยโปรแกรม HALCON เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในกระบวนการตรวจสอบอัตโนมัติซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานการตรวจสอบต่างๆ เพราะสามารถทำการประมวลที่รวดเร็ว ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย และทำงานแบบเวลาจริงได้โดยสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ถ่ายภาพ เช่น กล้อง หรือเว็บแคมได้โดยตรง โดยที่โปรแกรมสามารถทำการแก้ไขคำสั่งเพื่อปรับแก้ไขโค้ดคำสั่งซึ่งสามารถทำผ่านทางซอฟต์แวร์ HALCON ได้เลยจึงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน และโปรแกรมสามารถแปลงโปรแกรมที่เป็นภาษา HALCON (.hdev) ไปประยุกต์ใช้กับภาษา Visual C#, C, C++, และ .NET เพื่อนำไปใช้งานต่างๆ สำหรับในส่วนการนำซอฟต์แวร์มาใช้งานสามารถดาวน์โหลดมาติดตั้งโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และสามารถทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่เป็น Windows, Linux และ mac OS ซึ่งสามารถทำให้มีความง่ายต่อการนำมาใช้งาน

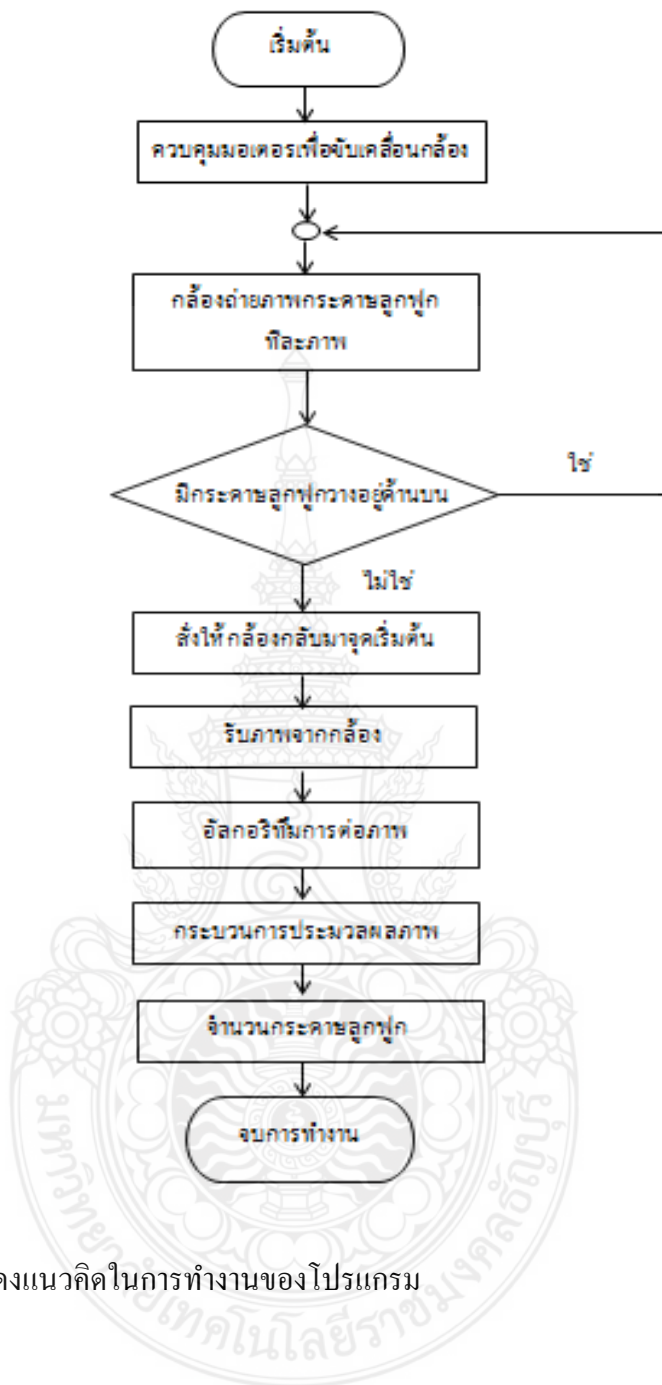
สำหรับการใช้งานโปรแกรม HALCON จะเป็นการเขียนคำสั่งลงในโปรแกรมซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเขียนภาษา C โดยเป็นการป้อนคำสั่งด้วยการเขียนโค้ด ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีทักษะ

ในการเขียนโปรแกรมจึงถือว่าเป็นข้อเสียของโปรแกรม แต่ข้อดีคือการทำงานของโปรแกรมมีการประมวลผลรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับโปรแกรม NI ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้สำหรับงานการตรวจสอบเช่นเดียวกัน สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำโปรแกรม HALCON มาใช้สำหรับทดสอบการรวมภาพด้านลอนกระดาษถูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ และทำการตรวจนับจำนวนกระดาษถูกฟูกด้วยวิธีการประมวลผลภาพ และสำหรับหน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม HALCON แสดงได้ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งคำสั่งที่ใช้ในการทำงานจะถูกเขียนลงใน Program Window จะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 4 โดยที่หน้าต่างหมายเลข 2 คือ Operator Window ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยในการค้นหาคำสั่งของโปรแกรม และยังสามารถทำการแก้ไขคำสั่งคือค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ด้วย จึงทำให้การเขียนโปรแกรมมีความง่ายขึ้น สำหรับภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 1 โดยเมื่อโปรแกรมมีการประมวลผล สำหรับค่าต่างๆ ที่เป็นผลลัพธ์ในโปรแกรมจะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 3

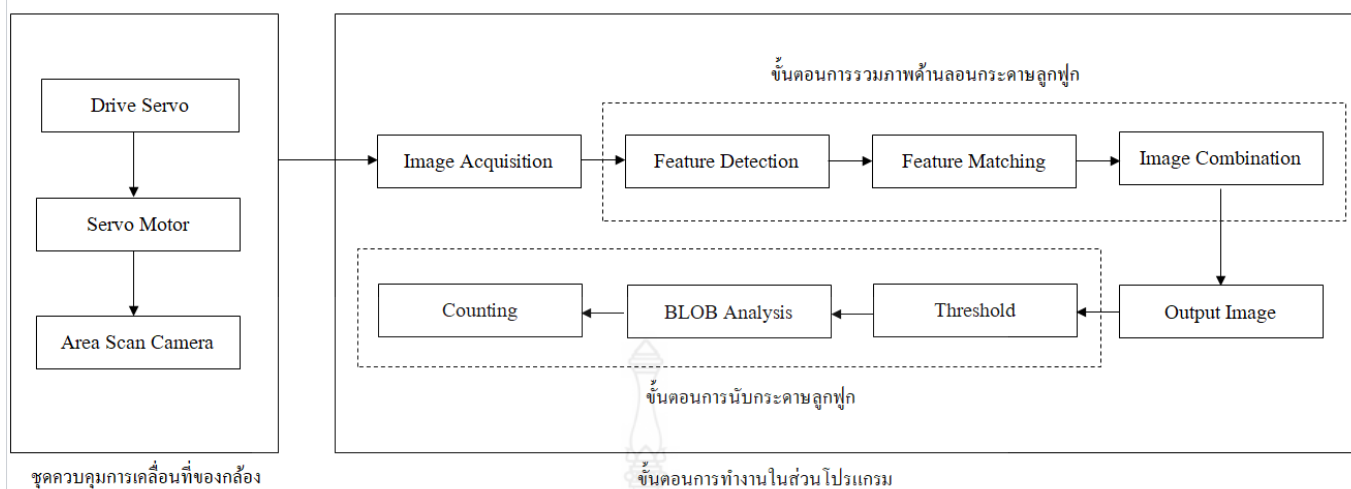


รูปที่ 3.19 โครงสร้างของโปรแกรม HALCON

จากรูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างเพื่อการประมวลผล โดยมีรายละเอียดดังนี้
 หมายเลข 1 คือ หน้าต่างแสดงผลรูปภาพ
 หมายเลข 2 คือ หน้าต่างสำหรับแสดงคำสั่งและแก้ไขค่าพารามิเตอร์หรือสร้างพารามิเตอร์
 หมายเลข 3 คือ หน้าต่างเพื่อแสดงค่าการทำงานของโปรแกรมเมื่อมีการประมวลตามคำสั่ง
 หมายเลข 4 คือ หน้าต่างเพื่อเขียนโปรแกรมการทำงาน



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนแสดงแนวคิดในการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการทำงานโดยรวม

3.6 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยเริ่มจากการศึกษาวิธีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C โดยนำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มาใช้เพื่อออกแบบอัลกอริทึมรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ และจากนั้นภาพผลลัพธ์ที่เกิดจากการรวมภาพของด้านลอนกระดาศลูกฟูกจะถูกนำมาตรวจนับเพื่อหาจำนวนกระดาศลูกฟูกด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบลือบ โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม HALCON เพื่อเป็นการทดสอบหาความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ สำหรับบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพกระดาศลูกฟูกที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการทดสอบร่วมกับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน BC, B และ C โดยกำหนดให้การรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกของภาพที่อยู่ติดกันให้มีพื้นที่ซ้อนทับกันระหว่างแต่ละภาพ โดยกำหนดค่าพื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพที่แตกต่างกันเพื่อทำการหาขนาดพื้นที่ซ้อนทับที่มีค่าน้อยที่สุดที่ยังคงทำให้การต่อภาพนั้นมีความถูกต้อง และทำการทดสอบต่อภาพด้วยอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาศลูกฟูก โดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาศจริงที่นำมาใช้ทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลทดสอบการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

การทดสอบรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำกล้องยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca 1300 – 30 gm. มาใช้ในการรับภาพ ซึ่งตัวกล้องมีความละเอียดของภาพเท่ากับ 1280×960 จุดภาพ และมีขนาดเซ็นเซอร์รับภาพเท่ากับ 4.9×3.6 ตารางมิลลิเมตร โดยเลือกขนาดความยาวโฟกัสของกล้องเท่ากับ 12 มิลลิเมตร แล้วได้นำแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีขนาด 1800 ลูเมน จำนวน 2 หลอด มาใช้เพื่อให้แสงสว่างกับกระดาศลูกฟูก สำหรับการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้งาน ซึ่งกล้องจะมีพื้นที่ในการรับภาพ (Field of View) ที่จำกัด โดยขึ้นอยู่กับค่าระยะการรับภาพซึ่งคือระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์ของตัวกล้องกับกระดาศ (Working Distance) สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพกระดาศลูกฟูกทางด้านลอน ดังนั้นจำเป็นต้องทำการทดสอบหาค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกเพื่อหาระยะการรับภาพที่มีค่าน้อยที่สุด และสามารถครอบคลุมพื้นที่กระดาศในการรับภาพได้จำนวนมากโดยที่ภาพยังมีความชัดเจนอยู่ ซึ่งสามารถคำนวณหาพื้นที่ในการรับภาพของกล้องได้ตามสมการที่ 2.3 และให้ผลทดสอบของพื้นที่ในการรับภาพที่ระยะรับภาพต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ของ Basler รุ่น Aca 1300-30 gm. ที่ระยะการรับภาพ (Working Distance) ที่ค่าต่างๆ

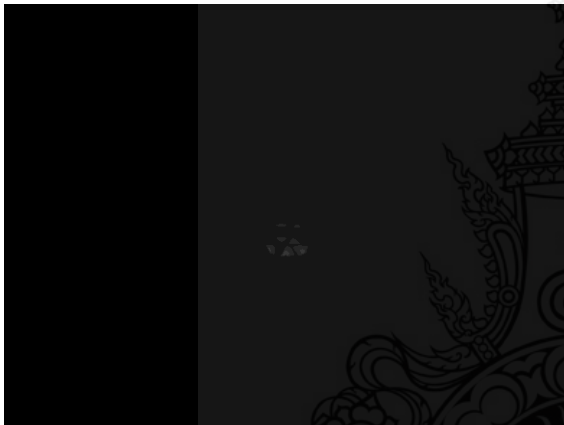
Working Distance (mm)	Field of View (FOV) ในแกน x (mm)	Field of View (FOV) ในแกน y (mm)	ขนาดจุดภาพเล็กสุดที่ สามารถตรวจสอบได้
200 mm.	76 mm.	57 mm.	$0.12 \times 0.12 \text{ mm}^2$
210 mm.	80 mm.	60 mm.	$0.12 \times 0.12 \text{ mm}^2$
280 mm.	109 mm.	81 mm.	$0.17 \times 0.17 \text{ mm}^2$
300 mm.	117 mm.	87 mm.	$0.18 \times 0.18 \text{ mm}^2$
330 mm.	129 mm.	96 mm.	$0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$
380 mm.	149 mm.	111 mm.	$0.23 \times 0.23 \text{ mm}^2$
400 mm.	157 mm.	117 mm.	$0.24 \times 0.24 \text{ mm}^2$
430 mm.	169 mm.	126 mm.	$0.26 \times 0.26 \text{ mm}^2$
450 mm.	177 mm.	132 mm.	$0.27 \times 0.27 \text{ mm}^2$
480 mm.	190 mm.	141 mm.	$0.29 \times 0.29 \text{ mm}^2$
500 mm.	198 mm.	147 mm.	$0.31 \times 0.31 \text{ mm}^2$
550 mm.	218 mm.	162 mm.	$0.34 \times 0.34 \text{ mm}^2$
580 mm.	230 mm.	171 mm.	$0.36 \times 0.36 \text{ mm}^2$
600 mm.	238 mm.	177 mm.	$0.37 \times 0.37 \text{ mm}^2$
630 mm.	250 mm.	186 mm.	$0.39 \times 0.39 \text{ mm}^2$
680 mm.	271 mm.	202 mm.	$0.42 \times 0.42 \text{ mm}^2$
750 mm.	299 mm.	223 mm.	$0.46 \times 0.46 \text{ mm}^2$
780 mm.	311 mm.	232 mm.	$0.48 \times 0.48 \text{ mm}^2$
880 mm.	352 mm.	262 mm.	$0.54 \times 0.54 \text{ mm}^2$

จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบหาขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ซึ่งมีระยะการรับภาพที่ต่างๆ เพื่อทดสอบหาค่าระยะการติดตั้งอุปกรณ์ระหว่างหน้าเลนส์ของกล้องกับ กระจายลูกฟูกที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการรับภาพ

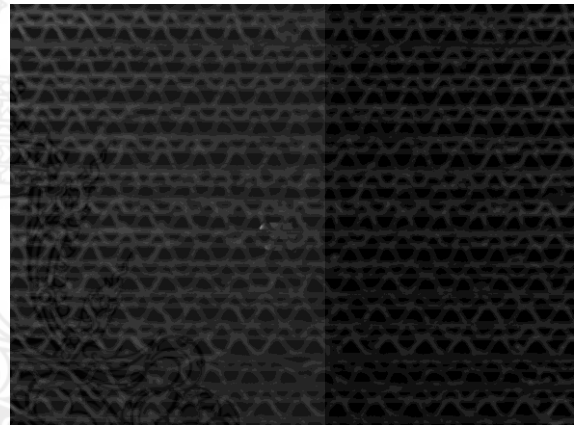
ตารางที่ 4.2 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ครอบคลุมภายในหนึ่งภาพของกล้องรับภาพแบบพื้นที่ยี่ห้อ
Basler ace รุ่น Aca 1300-30 gm.

Working Distance (mm)	จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกต่อ 1 ภาพ		
	ชนิด BC	ชนิด C	ชนิด B
200 mm.	ไม่สามารถรับภาพได้	ไม่สามารถรับภาพได้	ไม่สามารถรับภาพได้
210 mm.	10 แผ่น	15 แผ่น	22 แผ่น
280 mm.	12 แผ่น	20 แผ่น	29 แผ่น
300 mm.	15 แผ่น	20 แผ่น	30 แผ่น
330 mm.	14 แผ่น + 1 ลอน C	24 แผ่น	33 แผ่น
380 mm.	16 แผ่น	27 แผ่น	38 แผ่น
400 mm.	17 แผ่น	29 แผ่น	40 แผ่น
430 mm.	18 แผ่น	31 แผ่น	43 แผ่น
450 mm.	19 แผ่น	33 แผ่น	46 แผ่น
480 mm.	21 แผ่น	36 แผ่น	48 แผ่น
500 mm.	22 แผ่น	37 แผ่น	50 แผ่น
550 mm.	24 แผ่น	39 แผ่น	54 แผ่น
580 mm.	25 แผ่น + 1 ลอน B	40 แผ่น	56 แผ่น
600 mm.	26 แผ่น + 1 ลอน C	42 แผ่น	58 แผ่น
630 mm.	27 แผ่น + 1 ลอน C	44 แผ่น	61 แผ่น
680 mm.	30 แผ่น	47 แผ่น	66 แผ่น
750 mm.	32 แผ่น	53 แผ่น	73 แผ่น
780 mm.	34 แผ่น	55 แผ่น	76 แผ่น
880 mm.	37 แผ่น + 1 ลอน C	62 แผ่น	84 แผ่น

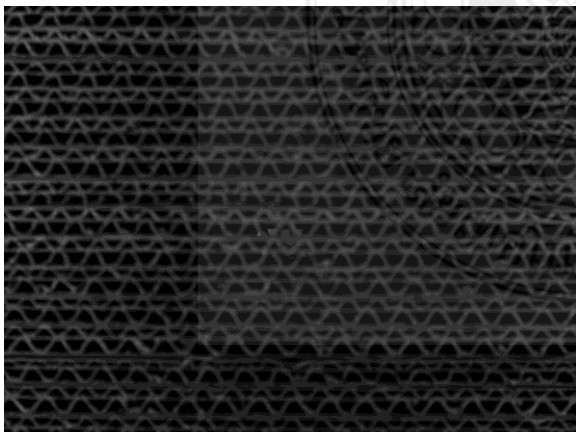
จากตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนกระดาษลูกฟูกที่ครอบคลุมภายในหนึ่งภาพที่แต่ละระยะการรับภาพ และจากการทดสอบพบว่าระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตร เป็นระยะที่กล้องสามารถรับภาพด้านลอนกระดาษชนิด BC, C และ B ได้จำนวน 21 แผ่น, 36 แผ่น และ 48 แผ่น ตามลำดับ ถือว่าครอบคลุมกระดาษได้จำนวนมากและให้ภาพที่มีความชัดเจน ดังนั้นจึงเป็นระยะการรับภาพที่มีความเหมาะสมในการรับภาพกระดาษลูกฟูกมากที่สุด เนื่องจากที่ระยะรับภาพที่น้อยกว่า 480 มิลลิเมตร จะทำให้พื้นที่ในการรับภาพมีค่าน้อยและเมื่อเข้าใกล้มากขึ้นภาพจะเริ่มไม่ชัด และที่ระยะมากกว่า 480 มิลลิเมตร จะทำให้มีพื้นที่ในการรับภาพกว้างขึ้น แต่จะทำให้รายละเอียดในภาพเห็นไม่ชัดเจนเพราะมีขนาดเล็ก และยังทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถแสดงพื้นที่ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ได้ดังรูปที่ 4.1



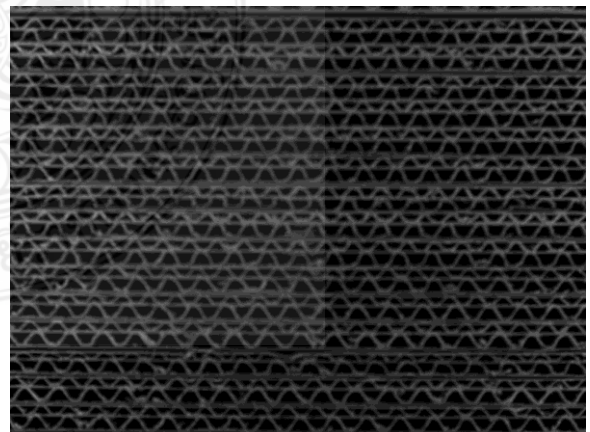
(a) WD = 210 mm , จำนวนกระดาษ 10 แผ่น



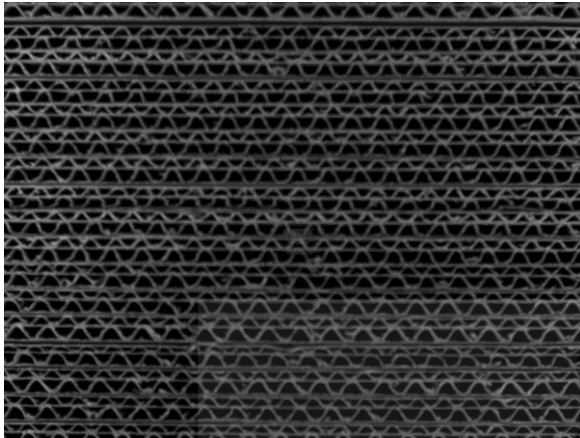
(b) WD = 280 mm , จำนวนกระดาษ 12 แผ่น



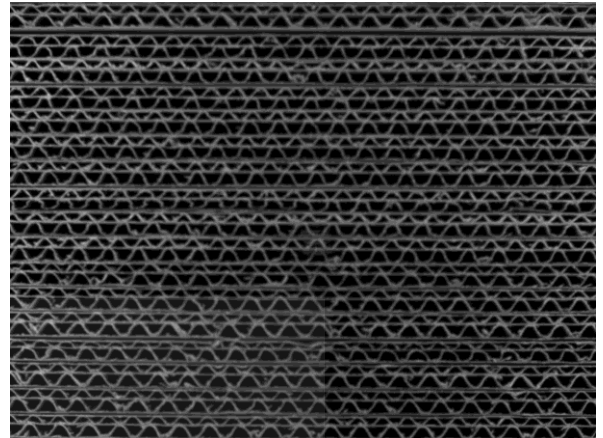
(c) WD = 300 mm, จำนวนกระดาษ 15 แผ่น



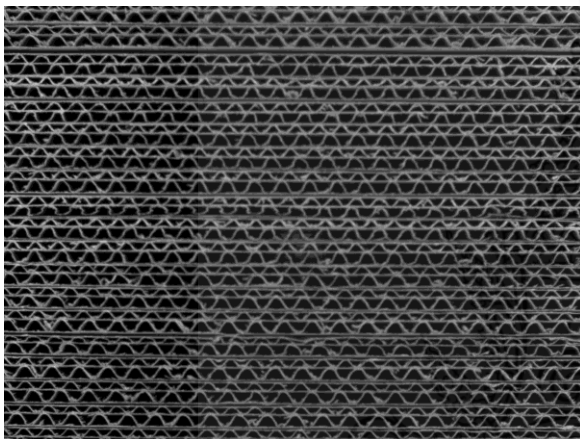
(d) WD = 330 mm, จำนวนกระดาษ 14 แผ่น 1 ลอน C



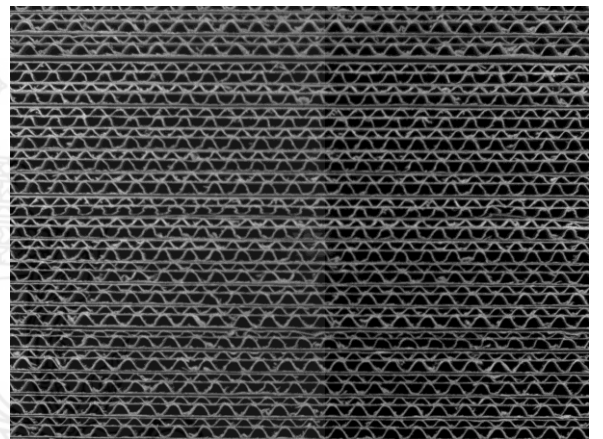
(e) WD = 380 mm, จำนวนกระดาษ 16 แผ่น



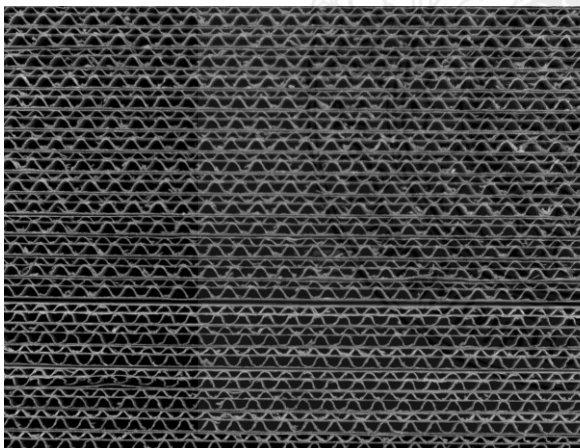
(f) WD = 400 mm, จำนวนกระดาษ 17 แผ่น



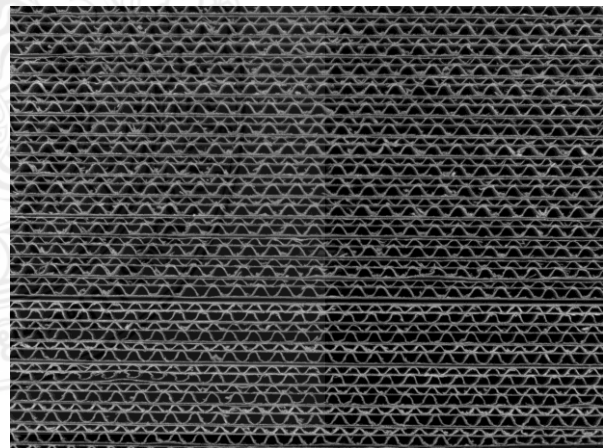
(g) WD = 430 mm, จำนวนกระดาษ 18 แผ่น



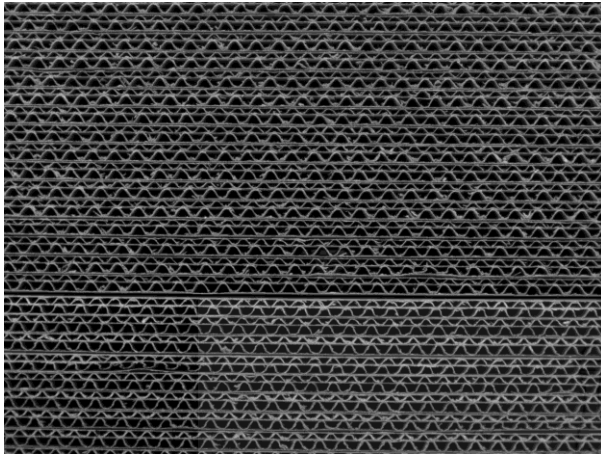
(h) WD = 450 mm, จำนวนกระดาษ 19 แผ่น



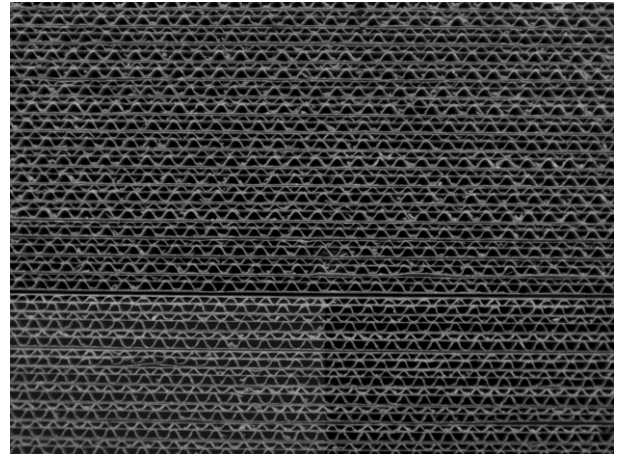
(i) WD = 480 mm, จำนวนกระดาษ 21 แผ่น



(j) WD = 500 mm, จำนวนกระดาษ 22 แผ่น

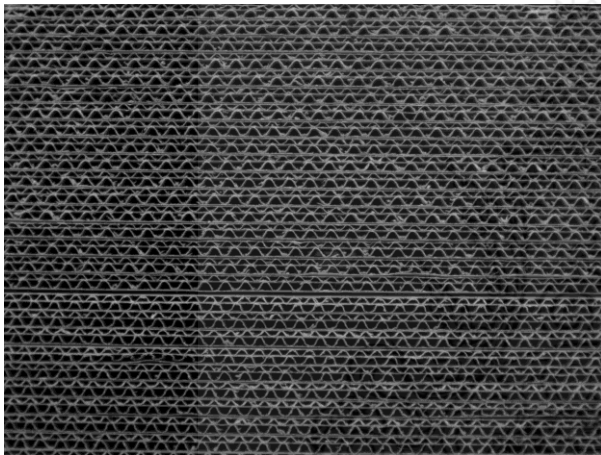


(k) WD = 550 mm, จำนวนกระดาษ 24 แผ่น



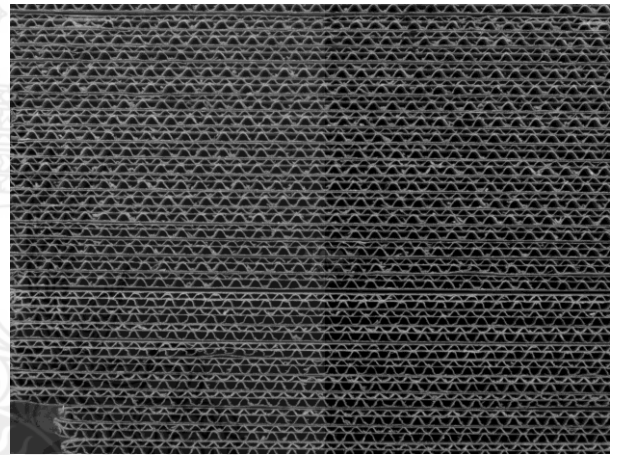
(l) WD = 580 mm, จำนวนกระดาษ 25 แผ่นกับ

ลอน B



(m) WD = 600 mm, จำนวนกระดาษ 26 แผ่นกับ

ลอน C

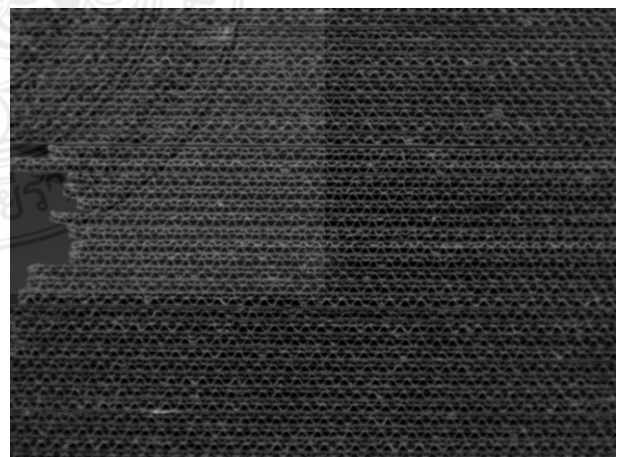


(n) WD = 630 mm, จำนวนกระดาษ 27 แผ่นกับ

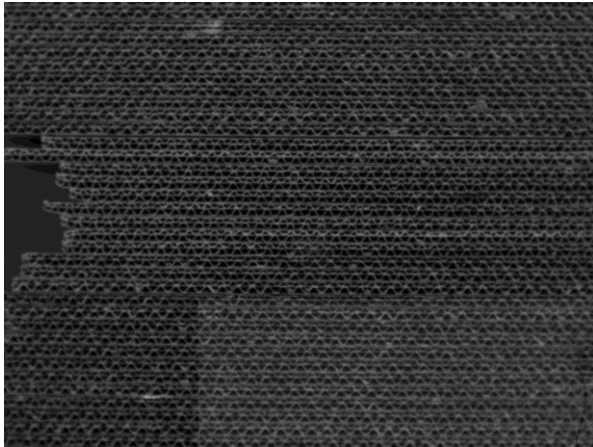
ลอน C



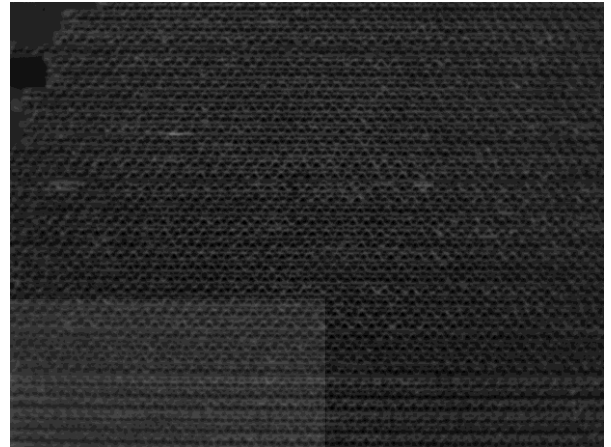
(o) WD = 680 mm, จำนวนกระดาษ 30 แผ่น



(p) WD = 750 mm, จำนวนกระดาษ 32 แผ่น

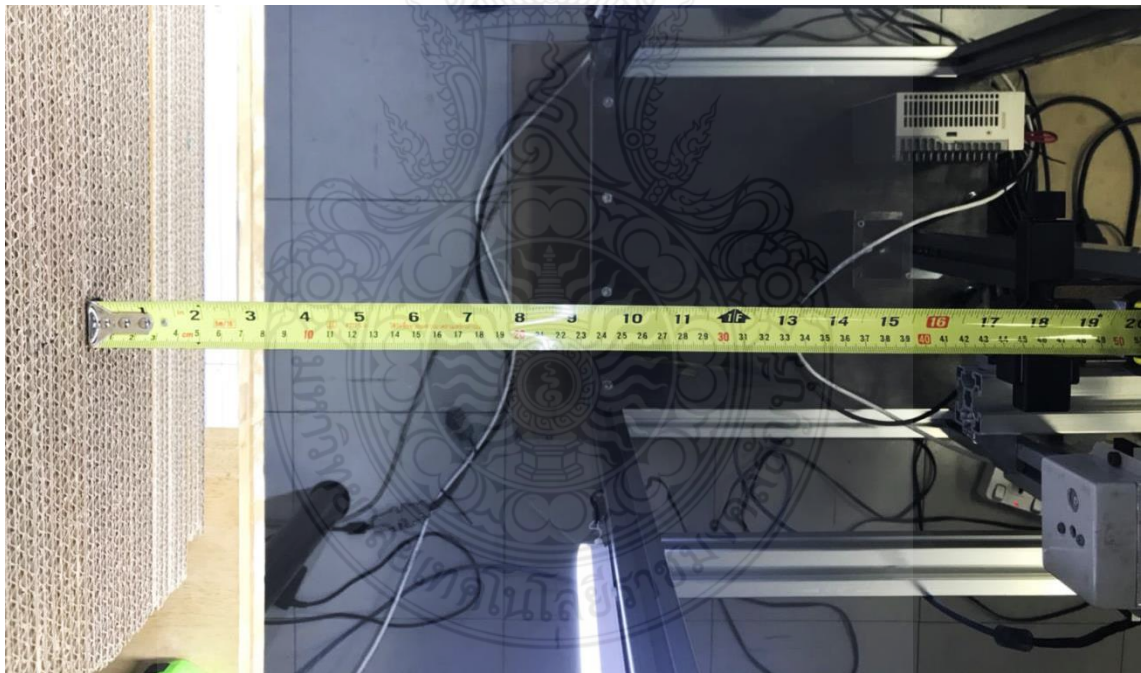


(q) WD = 780 mm, จำนวนกระดาษ 34 แผ่น



(r) WD = 880 mm, จำนวนกระดาษ 37 แผ่นกับ
1 ลอน C

รูปที่ 4.1 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ครอบคลุมภายในหนึ่งภาพที่ระยะรับภาพต่างๆ



รูปที่ 4.2 ระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตรจากเลนส์กล้องถึงกระดาษลูกฟูก

4.2 ผลทดสอบการหาขนาดพื้นที่ซ้อนทับที่ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับต่างๆ

จากการทดสอบให้หัวข้อที่ 4.1 พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์ของกล้องกับกระดาษลูกฟูกที่เท่ากับ 480 มิลลิเมตร เป็นระยะรับภาพที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้นำระยะดังกล่าวมาใช้กำหนดระยะห่างในการติดตั้งกล้องกับกระดาษลูกฟูกในการทดสอบ เพื่อหาขนาดพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ซ้อนทับ (Overlap) โดยเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ของภาพทั้งหมด ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (4.1)

$$Overlap_{(x,y)} = \frac{FOV_{(x,y)} \times \% \text{ overlap}}{100} \quad (4.1)$$

โดยที่	$Overlap_{(x,y)}$	คือ	ขนาดพื้นที่ซ้อนทับในแนวแกน x และ y
	$FOV_{(x,y)}$	คือ	พื้นที่การรับภาพของกล้องในแนวแกน x และ y
	% overlap	คือ	เปอร์เซ็นต์ค่าการซ้อนทับระหว่างภาพ

ตารางที่ 4.3 ค่าขนาดพื้นที่ซ้อนทับที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับต่างๆ ของกระดาษลอน BC

ค่าพื้นที่ซ้อนทับ	ขนาดพื้นที่ซ้อนทับ	ขนาดจุดภาพเล็กสุด ในพื้นที่ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษใน พื้นที่ซ้อนทับ
5 %	$190 \times 7.05 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.011 \text{ mm}^2$	1 แผ่น + 1 ลอน B
10 %	$190 \times 14.1 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.022 \text{ mm}^2$	2 แผ่น + 1 ลอน B
15 %	$190 \times 21.15 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.033 \text{ mm}^2$	3 แผ่น + 1 ลอน B
20 %	$190 \times 28.2 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.044 \text{ mm}^2$	4 แผ่น + 1 ลอน B
21 %	$190 \times 29.61 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.045 \text{ mm}^2$	4 แผ่น + 1 ลอน C
22 %	$190 \times 31.02 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.048 \text{ mm}^2$	4 แผ่น + 1 ลอน C
23 %	$190 \times 32.43 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.05 \text{ mm}^2$	5 แผ่น
24 %	$190 \times 33.84 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.052 \text{ mm}^2$	5 แผ่น
25 %	$190 \times 35.25 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.054 \text{ mm}^2$	5 แผ่น + 1 ลอน B
30 %	$190 \times 42.3 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.065 \text{ mm}^2$	6 แผ่น + 1 ลอน B
35 %	$190 \times 49.35 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.076 \text{ mm}^2$	7 แผ่น + 1 ลอน B
40 %	$190 \times 56.4 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.087 \text{ mm}^2$	8 แผ่น + 1 ลอน B

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพของกระดาษลูกฟูกชนิด BC เพื่อใช้เป็นบริเวณอ้างอิงสำหรับการต่อภาพ ซึ่งพบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ในแนวแกน y โดยที่แนวแกน x จะมีค่าคง เนื่องจากกล้องถูกติดตั้งและเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ซึ่งในการทดสอบได้กำหนดค่าพื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพเพิ่มขึ้นทีละ 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจะครอบคลุมกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 1 แผ่นกับอีก 1 แผ่นของลอน B หากค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีพื้นที่ในการซ้อนทับน้อยซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างไปทีละน้อยมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนกระดาษเพิ่มเข้ามาทีละ 1 แผ่นกับอีก 1 แผ่นของลอน B จะทำให้เกิดความแตกต่างของพื้นที่ภาพที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน สำหรับกระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบต่อภาพในวิทยานิพนธ์นี้ คือกระดาษลูกฟูกชนิด BC ซึ่งเป็นกระดาษที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุด แต่เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ จึงได้นำไปทดสอบร่วมกับกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C โดยมีการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพเช่นเดียวกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC

ตารางที่ 4.4 ค่าขนาดพื้นที่ซ้อนทับที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับต่างๆ ของกระดาษลอน C

ค่าพื้นที่ซ้อนทับ	ขนาดพื้นที่ซ้อนทับ	ขนาดจุดภาพเล็กสุด ในพื้นที่ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษใน พื้นที่ซ้อนทับ
5 %	$190 \times 7.05 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.011 \text{ mm}^2$	1 แผ่น
10 %	$190 \times 14.1 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.022 \text{ mm}^2$	3 แผ่น
15 %	$190 \times 21.15 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.033 \text{ mm}^2$	5 แผ่น
20 %	$190 \times 28.2 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.044 \text{ mm}^2$	7 แผ่น
21 %	$190 \times 29.61 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.045 \text{ mm}^2$	7 แผ่น
22 %	$190 \times 31.02 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.048 \text{ mm}^2$	7 แผ่น
23 %	$190 \times 32.43 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.05 \text{ mm}^2$	8 แผ่น
24 %	$190 \times 33.84 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.052 \text{ mm}^2$	8 แผ่น
25 %	$190 \times 35.25 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.054 \text{ mm}^2$	9 แผ่น
30 %	$190 \times 42.3 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.065 \text{ mm}^2$	10 แผ่น
35 %	$190 \times 49.35 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.076 \text{ mm}^2$	12 แผ่น
40 %	$190 \times 56.4 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.087 \text{ mm}^2$	14 แผ่น

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าขนาดพื้นที่ซ็อนทับของค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C ซึ่งพบว่าที่ค่าพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของจำนวนแผ่นกระดาษในพื้นที่ซ็อนทับได้ ซึ่งจะต้องมีพื้นที่ซ็อนทับที่เพิ่มขึ้นไปที่ละ 5 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้สามารถเห็นความแตกต่างในการเปลี่ยนแปลงจำนวนกระดาษในพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพได้อย่างชัดเจน โดยที่ค่าพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ จะครอบคลุมจำนวนกระดาษในพื้นที่ซ็อนทับจำนวน 1 แผ่น

ตารางที่ 4.5 ค่าขนาดพื้นที่ซ็อนทับที่แต่ละค่าเปอร์เซ็นต์การซ็อนทับต่างๆของกระดาษลอน B

ค่าพื้นที่ซ็อนทับ	ขนาดพื้นที่ซ็อนทับ	ขนาดจุดภาพเล็กสุด ในพื้นที่ซ็อนทับ	จำนวนกระดาษใน พื้นที่ซ็อนทับ
5 %	$190 \times 7.05 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.011 \text{ mm}^2$	3 แผ่น
10 %	$190 \times 14.1 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.022 \text{ mm}^2$	5 แผ่น
15 %	$190 \times 21.15 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.033 \text{ mm}^2$	7 แผ่น
20 %	$190 \times 28.2 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.044 \text{ mm}^2$	9 แผ่น
21 %	$190 \times 29.61 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.045 \text{ mm}^2$	10 แผ่น
22 %	$190 \times 31.02 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.048 \text{ mm}^2$	10 แผ่น
23 %	$190 \times 32.43 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.05 \text{ mm}^2$	11 แผ่น
24 %	$190 \times 33.84 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.052 \text{ mm}^2$	11 แผ่น
25 %	$190 \times 35.25 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.054 \text{ mm}^2$	12 แผ่น
30 %	$190 \times 42.3 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.065 \text{ mm}^2$	14 แผ่น
35 %	$190 \times 49.35 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.076 \text{ mm}^2$	17 แผ่น
40 %	$190 \times 56.4 \text{ mm}^2$	$0.29 \times 0.087 \text{ mm}^2$	19 แผ่น

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ค่าพื้นที่ซ็อนทับต่างๆ ซึ่งพบว่าค่าพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพที่มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นไปที่ละ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ขนาดพื้นที่ซ็อนทับเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยจะมีจำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ครอบคลุมในพื้นที่ซ็อนทับระหว่างภาพอยู่จำนวน 3 แผ่น ซึ่งหากกำหนดให้ค่าพื้นที่ซ็อนทับระหว่างมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ซ็อนทับมีค่าน้อยมาก

4.3 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ซ้อนทับต่างๆ โดยกำหนดค่าระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร

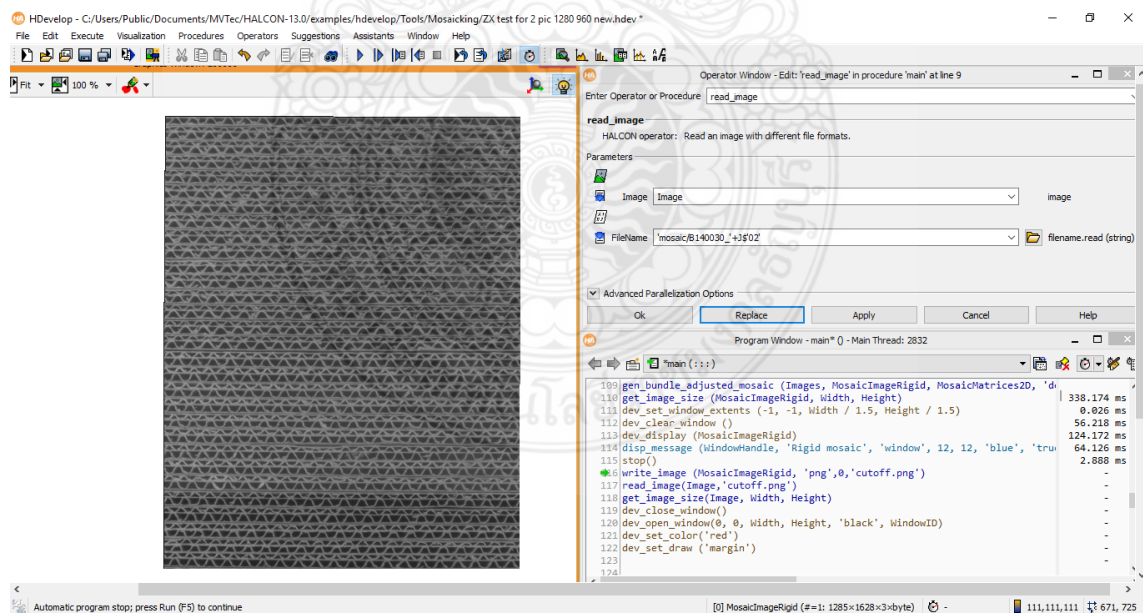
สำหรับการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกซึ่งภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบได้ทำการรับภาพมาจากกล้องโดยตรง โดยกำหนดค่าระยะการรับภาพซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องจนถึงกองของกระดาศลูกฟูกเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้มีขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องมีค่าเท่ากับ 190×141 ตารางมิลลิเมตร และได้ทำการทดสอบร่วมกับกระดาศลูกฟูกชนิด BC, C และ B จำนวนชนิดละ 73 แผ่น ดังนั้นการทดสอบต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกในหัวข้อที่ 4.3 นี้จึงเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับระหว่างภาพที่มีค่าน้อยที่สุดที่ยังคงทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถต่อกันได้ถูกต้องและเพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำในการต่อภาพจากอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 3 จึงได้ทำการทดสอบรับภาพและนำภาพมารวมกันในการทดสอบเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยทำการทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพต่างๆ โดยที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับของภาพจะมีค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งกล้องไปในแนวแกนตั้งที่แตกต่างกันแต่ขนาดพื้นที่ในแนวนอนจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2) โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพมีค่าน้อย จะทำให้ภาพกระดาศลูกฟูกที่นำมาต่อกันมีจำนวนน้อยซึ่งจะเป็นผลดีเพราะจะทำให้ใช้เวลาในประมวลผลลดลง และหากค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพมีค่ามากจะทำให้ใช้เวลาในการต่อภาพมากตามไปด้วย เพราะเนื่องจากบริเวณพื้นที่ของภาพที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการนำภาพมารวมกันมีพื้นที่มาก

หมายเหตุ

- X หมายถึง ไม่สามารถต่อภาพได้
- ✓ หมายถึง สามารถต่อภาพได้
- หมายถึง ไม่สามารถทดสอบได้

ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน BC จำนวน 73 แผ่น

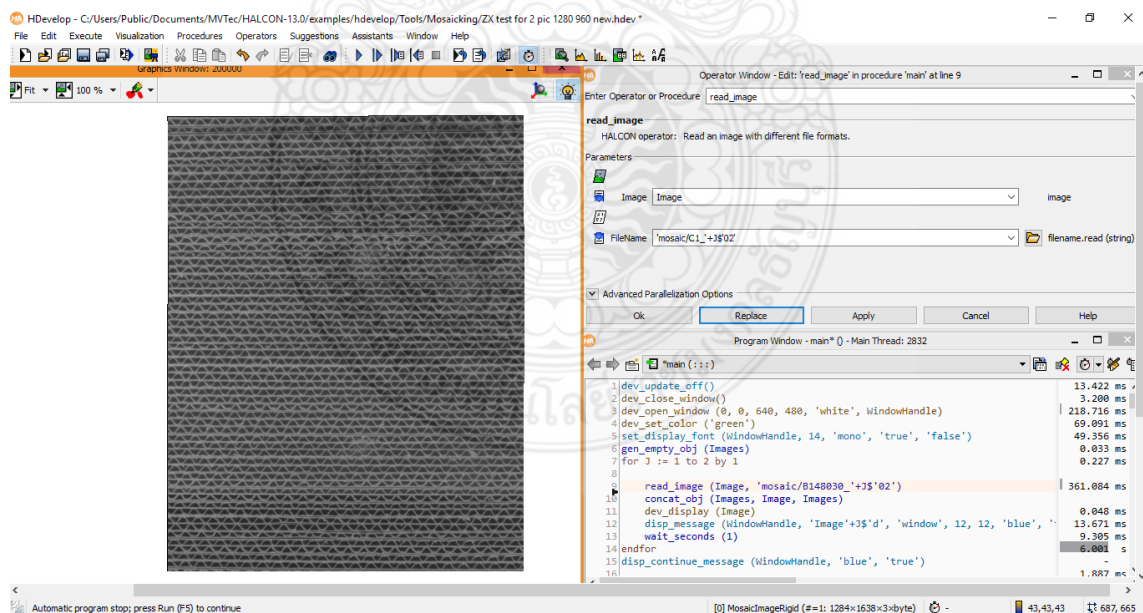
ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกล้อง	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
5 %	13.395 cm.	4 ภาพ	X	X	X
10 %	12.69 cm.	4 ภาพ	X	X	X
15 %	11.985 cm.	4 ภาพ	X	X	X
20 %	11.28 cm.	4 ภาพ	X	X	X
21 %	11.139 cm.	4 ภาพ	X	X	X
22 %	10.998 cm.	4 ภาพ	X	X	X
23 %	10.857 cm.	5 ภาพ	X	X	X
24 %	10.716 cm.	5 ภาพ	X	X	X
25 %	10.575 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
30 %	9.87 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
35 %	9.165 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
40 %	8.46 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓



รูปที่ 4.3 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน C จำนวน 73 แผ่น

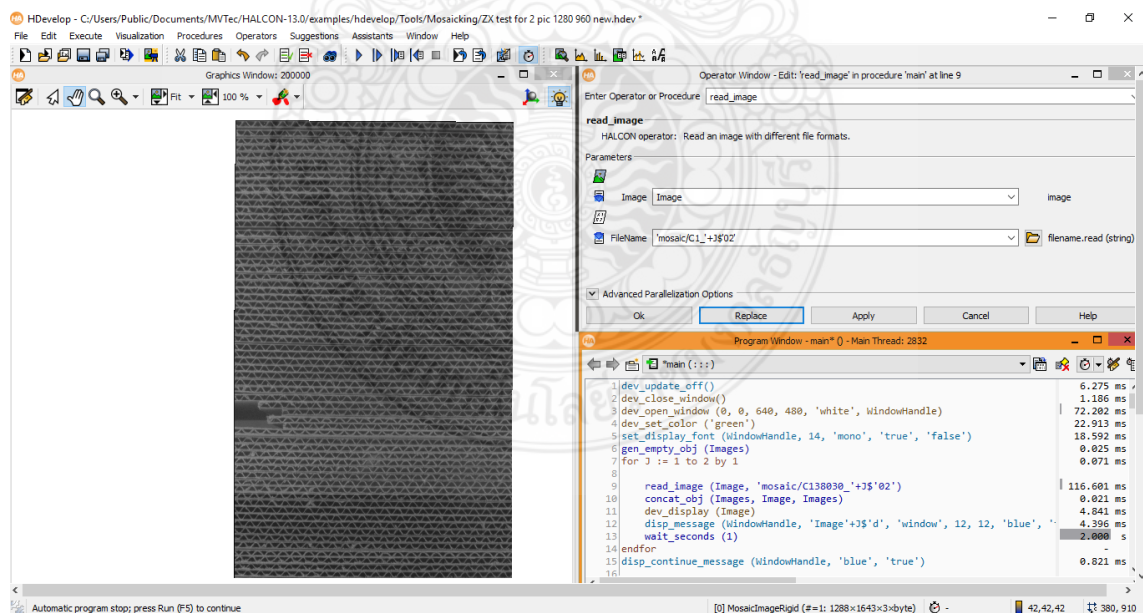
ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกลิ้ง	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
5 %	13.395 cm.	3 ภาพ	X	X	X
10 %	12.69 cm.	3 ภาพ	X	X	X
15 %	11.985 cm.	3 ภาพ	X	X	X
20 %	11.28 cm.	3 ภาพ	X	X	X
21 %	11.139 cm.	3 ภาพ	X	X	X
22 %	10.998 cm.	3 ภาพ	X	X	X
23 %	10.857 cm.	3 ภาพ	X	X	X
24 %	10.716 cm.	3 ภาพ	X	X	X
25 %	10.575 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
30 %	9.87 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
35 %	9.165 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
40 %	8.46 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓



รูปที่ 4.4 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์

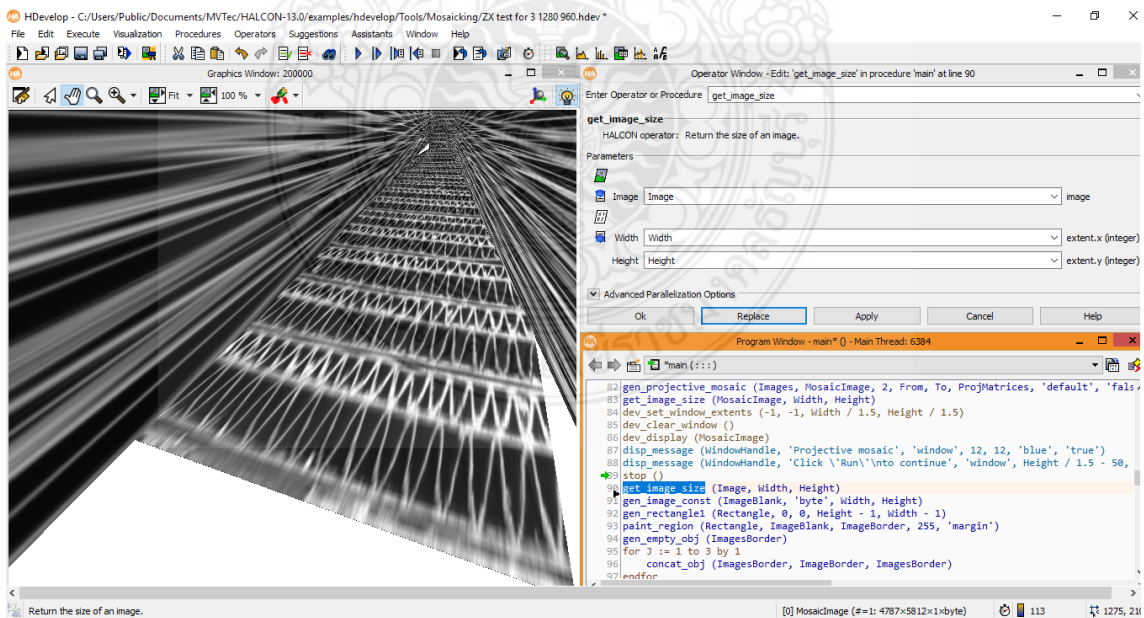
ตารางที่ 4.8 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิดลอน B จำนวน 73 แผ่น

ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกล้อง	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
5 %	13.395 cm.	2 ภาพ	X	X	X
10 %	12.69 cm.	2 ภาพ	X	X	X
15 %	11.985 cm.	2 ภาพ	X	X	X
20 %	11.28 cm.	2 ภาพ	X	X	X
21 %	11.139 cm.	2 ภาพ	X	X	X
22 %	10.998 cm.	2 ภาพ	X	X	X
23 %	10.857 cm.	2 ภาพ	X	X	X
24 %	10.716 cm.	2 ภาพ	X	X	X
25 %	10.575 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
30 %	9.87 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
35 %	9.165 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
40 %	8.46 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓



รูปที่ 4.5 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ที่พื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.6 ถึง 4.7 แสดงผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกของชนิด BC , C และ B ตามลำดับด้วยอัลกอริทึมการรวมภาพที่ได้ออกแบบไว้ พบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับของภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกอย่างน้อยเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องถึงกระดาศลูกฟูกเท่ากับ 480 มิลลิเมตรจะทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, C และ B สามารถทำการต่อกันได้ โดยจะมีกระดาศที่ครอบคลุมในพื้นที่ที่ซ้อนทับจำนวน 5 แผ่นกับ 1 ลอน C, 9 แผ่น และ 12 แผ่น ตามลำดับ ซึ่งจะมีจำนวนจุดภาพที่มีความสอดคล้องกันในแต่ละภาพที่เพียงพอต่อการใช้เป็นข้อมูลในการนำภาพมาต่อกัน โดยที่จำนวนกระดาศลูกฟูก 73 แผ่นที่นำมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะทำให้การรับภาพครอบคลุมจำนวนภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 5 ภาพ, ชนิด C จำนวน 3 ภาพ และชนิด B ได้จำนวน 2 ภาพ โดยภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ไม่สามารถต่อกันได้ถูกต้องคือในการต่อภาพนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ซ้อนทับน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่สามารถหาคุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันระหว่างภาพได้อย่างเพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นข้อมูลในการต่อภาพ จึงทำให้การต่อภาพเกิดความผิดพลาด โดยในการต่อภาพจำเป็นต้องกำหนดค่าแสงที่ใช้ในการรับภาพให้มีความเหมาะสมเพื่อทำให้การต่อภาพเกิดความถูกต้องและจากการทดสอบพบว่าแสงที่มีค่าเหมาะสมในการรับภาพจะมีค่าความสว่างเท่ากับ 167 ลักซ์ ถึง 334 ลักซ์ จึงจะทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถต่อภาพได้ ซึ่งภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ไม่สามารถต่อกันได้จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่การซ้อนทับเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9 เวลาที่ใช้ในการกระบวนการรวมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ

ค่าพื้นที่ ชั้นทับ	ภาพกระดาดชนิด BC		ภาพกระดาดชนิด C		ภาพกระดาดชนิด B	
	จำนวน	เวลาที่ต่อภาพ	จำนวน	เวลาที่ต่อภาพ	จำนวน	เวลาที่ต่อภาพ
5 %	4 ภาพ	13.42 วินาที	3 ภาพ	8.57 วินาที	2 ภาพ	8.02 วินาที
10 %	4 ภาพ	14.08 วินาที	3 ภาพ	8.91 วินาที	2 ภาพ	8.23 วินาที
15 %	4 ภาพ	14.23 วินาที	3 ภาพ	9.31 วินาที	2 ภาพ	10.97 วินาที
20 %	4 ภาพ	14.88 วินาที	3 ภาพ	10.05 วินาที	2 ภาพ	11.29 วินาที
21 %	4 ภาพ	15.11 วินาที	3 ภาพ	10.09 วินาที	2 ภาพ	11.83 วินาที
22 %	4 ภาพ	15.59 วินาที	3 ภาพ	10.33 วินาที	2 ภาพ	11.94 วินาที
23 %	5 ภาพ	16.20 วินาที	3 ภาพ	10.62 วินาที	2 ภาพ	12.02 วินาที
24 %	5 ภาพ	16.39 วินาที	3 ภาพ	10.81 วินาที	2 ภาพ	12.06 วินาที
25 %	5 ภาพ	16.54 วินาที	3 ภาพ	10.94 วินาที	2 ภาพ	12.10 วินาที
30 %	5 ภาพ	18.03 วินาที	3 ภาพ	11.13 วินาที	2 ภาพ	12.61 วินาที
35 %	5 ภาพ	22.65 วินาที	3 ภาพ	11.30 วินาที	2 ภาพ	13.49 วินาที
40 %	5 ภาพ	23.76 วินาที	3 ภาพ	11.45 วินาที	2 ภาพ	14.02 วินาที

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลเวลาที่ใช้ในการรวมภาพด้านลอนกระดาดลูกฟูกแต่ละชนิดด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ชั้นทับต่างๆ โดยกำหนดค่าระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนภาพที่นำมาใช้ในการรวมภาพมีจำนวนเท่ากันแต่ค่าเปอร์เซ็นต์ชั้นทับไม่เท่ากัน โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ชั้นทับน้อยจะใช้เวลาในการรวมภาพน้อยกว่าที่เปอร์เซ็นต์พื้นที่ชั้นทับมาก เนื่องจากบริเวณที่ใช้ในการหาคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันมีขนาดน้อยกว่า จึงทำให้ใช้เวลาในการต่อภาพที่มีความรวดเร็วกว่า

4.4 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ

จากการทดสอบให้หัวข้อที่ 4.3 เป็นการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับที่มีค่าน้อยที่สุดที่ยังคงทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถต่อกันได้ ซึ่งพบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับระหว่างภาพที่อย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกของชนิด BC, C และ B สามารถต่อกันได้ถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพเมื่อการรับภาพมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเลนส์กล้องกับกระดาศลูกฟูกโดยกำหนดตามค่าเปอร์เซ็นต์ซ้อนทับของภาพที่น้อยที่สุดที่ทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดสามารถต่อกันได้คือที่ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีกระดาศในการทดสอบจำนวน 73 แผ่น ซึ่งการทดสอบในหัวข้อ 4.4 นี้เพื่อเป็นการทดสอบว่าเมื่อค่าระยะการรับภาพมีการเปลี่ยนแปลงแล้วอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพจะยังคงทำให้สามารถต่อภาพได้หรือไม่ เนื่องจากในการนำไปใช้งานอาจมีค่าระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ที่มากหรือน้อยกว่า 480 มิลลิเมตร หรือบางครั้งกองกระดาศลูกฟูกที่นำมาวางอาจไม่วางในระยะที่เท่ากับ 480 มิลลิเมตร ในหัวข้อนี้จึงได้ทดสอบหาระยะการติดตั้งอุปกรณ์ที่อัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพสามารถยอมรับได้ในการต่อภาพเมื่อระยะในการรับภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะช่วยทำให้ไม่ต้องทำโฟกัสอัตโนมัติ (Auto-focus) ที่ตัวกล้องหากระยะที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่ทำให้สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4.10 จำนวนกระดาษในพื้นที่ซ้อนทับเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละระยะการรับภาพ
ระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาษ (Working Distance)

Working Distance (mm)	ขนาดพื้นที่ซ้อนทับ ในแกน y (mm)	จำนวนกระดาษถูกฟูกในพื้นที่ซ้อนทับ		
		กระดาษชนิด BC	กระดาษชนิด C	กระดาษชนิด B
200 mm.	14.25 mm.	ไม่สามารถหาได้	ไม่สามารถหาได้	ไม่สามารถหาได้
210 mm.	15 mm.	1 แผ่น+1ลอนB	4 แผ่น	7 แผ่น
280 mm.	20.25 mm.	3 แผ่น	5 แผ่น	8 แผ่น
300 mm.	21.75 mm.	3 แผ่น+1ลอนB	6 แผ่น	8 แผ่น
330 mm.	24 mm.	3 แผ่น+1ลอนC	6 แผ่น	8 แผ่น
380 mm.	27.75 mm.	4 แผ่น	7 แผ่น	10 แผ่น
400 mm.	29.25 mm.	4 แผ่น+1ลอนB	7 แผ่น	10 แผ่น
430 mm.	31.50 mm.	4 แผ่น+1ลอนC	7 แผ่น	11 แผ่น
450 mm.	33 mm.	5 แผ่น	8 แผ่น	11 แผ่น
480 mm.	35.25 mm.	5 แผ่น+1ลอนB	9 แผ่น	12 แผ่น
500 mm.	36.75 mm.	5 แผ่น+1ลอนC	9 แผ่น	12 แผ่น
550 mm.	40.50 mm.	6 แผ่น	10 แผ่น	13 แผ่น
580 mm.	42.75 mm.	6 แผ่น+1ลอนB	10 แผ่น	13 แผ่น
600 mm.	44.25 mm.	6 แผ่น+1ลอนC	11 แผ่น	15 แผ่น
630 mm.	46.50 mm.	7 แผ่น	11 แผ่น	15 แผ่น
680 mm.	50.50 mm.	7 แผ่น+1ลอนC	11 แผ่น	17 แผ่น
750 mm.	55.75 mm.	8 แผ่น	12 แผ่น	-
780 mm.	58 mm.	8 แผ่น+1ลอนC	12 แผ่น	-
880 mm.	65.5 mm.	9 แผ่น+1ลอนB	13 แผ่น	-

จากตารางที่ 4.10 แสดงจำนวนกระดาษถูกฟูกชนิด BC, C และ B ในพื้นที่ซ้อนทับที่เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าระยะการรับภาพต่างๆ ซึ่งพบว่าที่ระยะการรับภาพของกระดาษแต่ละชนิดเมื่อระยะการรับภาพมีค่าน้อยจำนวนกระดาษในพื้นที่ซ้อนทับก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย แต่หากระยะการรับภาพมีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีจำนวนกระดาษในพื้นที่ซ้อนทับเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่การซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของกระดาศชนิด BC

Working Distance (mm)	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกล้อง	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200 mm.	4.275 cm.	รับภาพไม่ได้	-	-	-
210 mm.	4.5 cm.	11 ภาพ	X	X	X
280 mm.	6.075 cm.	8 ภาพ	X	X	X
300 mm.	6.525 cm.	8 ภาพ	X	X	X
330 mm.	7.2 cm.	7 ภาพ	X	X	X
380 mm.	8.325 cm.	6 ภาพ	X	X	X
400 mm.	8.775 cm.	6 ภาพ	X	X	X
430 mm.	9.45 cm.	6 ภาพ	✓	✓	✓
450 mm.	9.9 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
480 mm.	10.575 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
500 mm.	11.025 cm.	5 ภาพ	✓	✓	✓
550 mm.	12.15 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
580 mm.	12.825 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
600 mm.	13.275 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
630 mm.	13.95 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
680 mm.	15.15 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
750 mm.	16.725 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
780 mm.	17.4 cm.	3 ภาพ	X	X	X
880 mm.	19.65 cm.	3 ภาพ	X	X	X

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 73 เพื่อหา ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้ถูกต้องเมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า จะสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ได้ถูกต้องเมื่อมีค่าระยะการรับภาพตั้งแต่ 430 มิลลิเมตร ถึง 750 มิลลิเมตรและที่ระยะการรับภาพเกินจากนี้จะทำให้ไม่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่การซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของกระดาศชนิด C

Working Distance (mm)	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกล้อง (cm)	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200 mm.	4.275 cm.	รับภาพไม่ได้	-	-	-
210 mm.	4.5 cm.	5 ภาพ	X	X	X
280 mm.	6.075 cm.	4 ภาพ	X	X	X
300 mm.	6.525 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
330 mm.	7.2 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
380 mm.	8.325 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
400 mm.	8.775 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
430 mm.	9.45 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
450 mm.	9.9 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
480 mm.	10.575 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
500 mm.	11.025 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
550 mm.	12.15 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
580 mm.	12.825 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
600 mm.	13.275 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
630 mm.	13.95 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
680 mm.	15.15 cm.	3 ภาพ	X	X	X
750 mm.	16.725 cm.	3 ภาพ	X	X	X
780 mm.	17.4 cm.	3 ภาพ	X	X	X
880 mm.	19.65 cm.	3 ภาพ	X	X	X

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 73 เพื่อหา ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้ถูกต้องเมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า จะสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ได้ถูกต้องเมื่อมีค่าระยะการรับภาพตั้งแต่ 300 มิลลิเมตร ถึง 630 มิลลิเมตรและที่ระยะการรับภาพเกินจากนี้จะทำให้ไม่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่พื้นที่การซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาศลูกฟูกของกระดาศชนิด B

Working Distance (mm)	ระยะการเลื่อน ตำแหน่งกล้อง (cm)	จำนวนภาพ	ทดสอบการต่อภาพ		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200 mm.	4.275 cm.	รับภาพไม่ได้	-	-	-
210 mm.	4.5 cm.	4 ภาพ	X	X	X
280 mm.	6.075 cm.	4 ภาพ	X	X	X
300 mm.	6.525 cm.	4 ภาพ	X	X	X
330 mm.	7.2 cm.	4 ภาพ	X	X	X
380 mm.	8.325 cm.	4 ภาพ	✓	✓	✓
400 mm.	8.775 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
430 mm.	9.45 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
450 mm.	9.9 cm.	3 ภาพ	✓	✓	✓
480 mm.	10.575 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
500 mm.	11.025 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
550 mm.	12.15 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
580 mm.	12.825 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
600 mm.	13.275 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
630 mm.	13.95 cm.	2 ภาพ	✓	✓	✓
680 mm.	15.15 cm.	2 ภาพ	X	X	X
750 mm.	16.725 cm.	1 ภาพ	-	-	-
780 mm.	17.4 cm.	1 ภาพ	-	-	-
880 mm.	19.65 cm.	1 ภาพ	-	-	-

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 73 เพื่อหา ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้ถูกต้องเมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าจะสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ได้ถูกต้องเมื่อมีค่าระยะการรับภาพตั้งแต่ 380 มิลลิเมตร ถึง 630 มิลลิเมตรและที่ระยะการรับภาพเกินจากนี้จะทำให้ไม่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4 เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกเมื่อระยะการรับภาพมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้มีค่าพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ระยะการรับภาพระหว่างหน้าเลนส์กล้องกับกระดาศมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบว่าภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ยังสามารถต่อกันได้เมื่อมีระยะห่างออกไปไม่เกิน 750 มิลลิเมตร และระยะเลื่อนใกล้เข้ามาไม่เกิน 430 มิลลิเมตร ในขณะที่ภาพลอนกระดาศชนิด C สามารถต่อกันได้เมื่อระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 300 มิลลิเมตร ถึง 630 มิลลิเมตร และสำหรับภาพด้านลอนลูกฟูกชนิด B จะยังคงสามารถต่อกันได้เมื่อค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 380 มิลลิเมตร ถึง 630 มิลลิเมตร เพราะหากระยะการรับภาพที่เกินจากนี้จะทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกไม่สามารถต่อกันได้เนื่องจากภาพเริ่มไม่มีความคมชัดและทำให้รายละเอียดของภาพไม่ชัดเจน ซึ่งทำให้ไม่สามารถหาคุณลักษณะมุมภาพได้ครอบคลุมทั้งหมด จึงทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกไม่สามารถต่อกันได้ถูกต้อง และจากผลทดสอบตารางที่ 4.13 พบว่าที่ระยะการรับภาพตั้งแต่ 750 มิลลิเมตร ขึ้นไปของภาพลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B จะไม่สามารถทำการทดสอบต่อภาพได้ เนื่องจากที่ระยะ 750 มิลลิเมตร จะครอบคลุมกระดาศ 73 แผ่นต่อ 1 ภาพ และด้วยกระดาศลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบมีจำนวน 73 แผ่น ดังนั้นจะสามารถรับภาพได้เพียงภาพเดียวจึงทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบต่อภาพได้

4.5 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละค่าระยะการรับภาพ (Working Distance) ที่แต่ละเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับของกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิด

สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกโดยมีการกำหนดระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกับกระดาศลูกฟูกที่ค่าต่างๆ ซึ่งในหัวข้อก่อนหน้านี้ได้ทำการทดสอบต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ระยะหน้าเลนส์กล้องกับกระดาศที่ค่าต่างๆ โดยกำหนดพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยที่ทำให้สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้ แต่สำหรับในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบกับค่าพื้นที่ซ้อนทับเริ่มต้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นจนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบว่าที่ระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาศลูกฟูกที่ค่าต่างๆ นั้นจะสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดได้ถูกต้องเมื่อมีค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อยที่เท่าไร

ตารางที่ 4.14 ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้องในแต่ละค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับในแต่ละค่า

Working Distance								
Working Distance (mm)	ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้อง (cm.)							
	ที่ 5 %	ที่ 10 %	ที่ 15 %	ที่ 20 %	ที่ 25 %	ที่ 30%	ที่ 35%	ที่ 40 %
200	5.415	5.13	4.845	4.56	4.275	3.99	3.705	3.42
210	5.7	5.4	5.1	4.8	4.5	4.2	3.9	3.6
280	7.695	7.29	6.885	6.48	6.075	5.67	5.265	4.86
300	8.265	7.83	7.395	6.96	6.525	6.09	5.655	5.22
330	9.12	8.64	8.16	7.68	7.2	6.72	6.24	5.76
380	10.545	9.99	9.435	8.88	8.325	7.77	7.215	6.66
400	11.115	10.53	9.945	9.36	8.775	8.19	7.605	7.02
430	11.97	11.34	10.71	10.08	9.45	8.82	8.19	7.56
450	12.54	11.88	11.22	10.56	9.9	9.24	8.58	7.92
480	13.395	12.69	11.985	11.28	10.575	9.87	9.165	8.46
500	13.965	13.23	12.495	11.76	11.025	10.29	9.555	8.82
550	15.39	14.58	13.77	12.96	12.15	11.34	10.53	9.72
580	16.245	15.39	14.535	13.68	12.825	11.97	11.115	10.26
600	16.825	15.93	15.045	14.16	13.275	12.39	11.505	10.62
630	17.67	16.74	15.81	14.88	13.95	13.02	12.09	11.16
680	19.19	18.18	17.17	16.16	15.15	14.14	13.13	12.12
750	21.185	20.07	18.955	17.84	16.725	15.61	14.495	13.38
780	22.04	20.88	19.72	18.56	17.4	16.24	15.08	13.92
880	24.89	23.58	22.27	20.96	19.65	18.34	17.03	15.72

จากตารางที่ 4.14 แสดงตำแหน่งการเลื่อนกล้องเพื่อใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาษ ลูกฟูก ซึ่งพบว่าเมื่อระยะการรับภาพมีค่ามากจะทำให้กล้องมีการเคลื่อนที่ได้มาก และที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับมีค่าน้อยก็จะทำให้การเลื่อนตำแหน่งกล้องในครั้งมีระยะการเลื่อนได้ไกลกว่าในส่วนขอพื้นที่ซ้อนทับที่มีค่ามากซึ่งจะทำให้การรับภาพมีความรวดเร็ว

ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับ
ต่างๆ ของกระดาษชนิด BC

Working Distance (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
200 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-
210 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
280 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
300 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
330 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
380 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
400 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
430 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
450 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500 mm.	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
550 mm.	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
580 mm.	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
600 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
630 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
680 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
750 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
780 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
880 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC พบว่าที่ระยะการ
รับภาพที่ไม่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถต่อ
ภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นที่ระยะการรับภาพที่ 500 มิลลิเมตร
ถึง 580 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับ
ต่างๆ ของกระดาษชนิด C

Working Distance (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
200 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-
210 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
280 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
300 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
330 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
380 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
400 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
430 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
450 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
550 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
580 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
600 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
630 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
680 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
750 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
780 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
880 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓

จากตารางที่ 4.16 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C พบว่าที่ระยะการรับภาพที่ไม่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมีช่วงระยะการรับภาพตั้งแต่ 680 มิลลิเมตร ถึง 880 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบการต่อภาพของแต่ละ Working Distance ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับ
ต่างๆ ของกระดาษชนิด B

Working Distance (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
200 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-
210 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
280 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
300 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
330 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
380 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
400 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
430 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
450 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
550 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
580 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
600 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
630 mm.	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
680 mm.	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
750 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-
780 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-
880 mm.	-	-	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด B พบว่าที่ระยะการรับภาพที่ไม่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ถึง 370 มิลลิเมตร และระยะ 640 มิลลิเมตร ถึง 680 มิลลิเมตร

จากผลทดสอบในหัวข้อที่ 4.5 นี้ซึ่งเป็นการทดสอบต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกของแต่ละชนิดที่ค่า Working Distance ต่างๆ โดยทดสอบต่อภาพที่มีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบว่าในแต่ละค่า Working Distance จะสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้เมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยกี่เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าผลการต่อภาพทางด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C มีดังนี้

สำหรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC โดยเมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถต่อภาพได้ที่ระยะ Working Distance ในช่วงตั้งแต่ 430 ถึง 750 มิลลิเมตร และที่ระยะเกินจาก 750 จนถึง 880 มิลลิเมตร และระยะที่น้อยกว่า 430 ถึง 300 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป โดยที่ระยะตั้งแต่ 500 ถึง 580 มิลลิเมตร จะเริ่มสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์

สำหรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C การต่อภาพที่พื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถต่อได้เมื่อมีค่า Working Distance อยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 630 มิลลิเมตร และที่ระยะเกินจาก 630 ถึง 880 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับของภาพอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระยะน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร จะไม่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกทั้งชนิด BC และชนิด C ได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์

สำหรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B การต่อภาพที่มีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่า Working Distance ตั้งแต่ 380 ถึง 630 มิลลิเมตร และสำหรับที่ระยะน้อยกว่า 380 ถึง 330 มิลลิเมตร และระยะที่เกิน 630 จนถึง 680 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้ที่พื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยที่ค่า Working Distance ที่น้อยกว่า 330 มิลลิเมตร จะไม่สามารถทำการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์

โดยที่ระยะเท่ากับ 210 มิลลิเมตร ของภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดจะไม่สามารถใช้อัลกอริทึมรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ออกแบบไว้ได้เนื่องจากจุดภาพที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพมีจำนวนไม่เพียงพอจึงทำให้อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ไม่สามารถทำการนำภาพมาต่อกันได้ และสำหรับค่าพื้นที่ซ้อนทับที่อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นค่าที่ให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C ที่ระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องถึงกระดาศลูกฟูกที่ไม่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ เริ่มที่จะสามารถทำการต่อภาพกันได้ ซึ่งจะมีจำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 จำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละค่า Working Distance

Working Distance (mm)	ขนาดพื้นที่ซ้อนทับ ในแกน y (mm)	จำนวนกระดาศลูกฟูกในพื้นที่ซ้อนทับ		
		กระดาศชนิด BC	กระดาศชนิด C	กระดาศชนิด B
200 mm.	14.25 mm.	ไม่สามารถหาได้	ไม่สามารถหาได้	ไม่สามารถหาได้
210 mm.	15 mm.	2 แผ่น+1 ลอน C	4 แผ่น	6 แผ่น
280 mm.	20.25 mm.	3 แผ่น+1 ลอน C	6 แผ่น	8 แผ่น
300 mm.	21.75 mm.	4 แผ่น	7 แผ่น	8 แผ่น
330 mm.	24 mm.	4 แผ่น+1 ลอน C	7 แผ่น	9 แผ่น
380 mm.	27.75 mm.	4 แผ่น+1 ลอน C	8 แผ่น	11 แผ่น
400 mm.	29.25 mm.	5 แผ่น	9 แผ่น	12 แผ่น
430 mm.	31.50 mm.	5 แผ่น+1 ลอน B	9 แผ่น	13 แผ่น
450 mm.	33 mm.	6 แผ่น	10 แผ่น	13 แผ่น
480 mm.	35.25 mm.	6 แผ่น+1 ลอน B	10 แผ่น	14 แผ่น
500 mm.	36.75 mm.	6 แผ่น+1 ลอน C	11 แผ่น	14 แผ่น
550 mm.	40.50 mm.	7 แผ่น	12 แผ่น	15 แผ่น
580 mm.	42.75 mm.	7 แผ่น+1 ลอน C	12 แผ่น	16 แผ่น
600 mm.	44.25 mm.	8 แผ่น	12 แผ่น	16 แผ่น
630 mm.	46.50 mm.	8 แผ่น	13 แผ่น	17 แผ่น
680 mm.	50.50 mm.	8 แผ่น+1 ลอน B	14 แผ่น	19 แผ่น
750 mm.	55.75 mm.	9 แผ่น	15 แผ่น	-
780 mm.	58 mm.	9 แผ่น+1 ลอน B	16 แผ่น	-
880 mm.	65.5 mm.	10แผ่น+1ลอน C	17 แผ่น	-

จากตารางที่ 4.18 แสดงจำนวนแผ่นกระดาศลูกฟูกชนิด BC, C และ B ในพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระยะการรับภาพที่ทำให้เริ่มสามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้ที่ระยะการรับภาพเกินจาก 480 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าที่แต่ละระยะการรับภาพจะมีจำนวนแผ่นกระดาศลูกฟูกในพื้นที่ซ้อนทับ 30 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากจำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ของกระดาศลูกฟูกชนิด BC และ B จำนวน 2 แผ่น และชนิด C จำนวน 1 แผ่น

ตารางที่ 4.19 ค่ากำหนดขีดแบ่งที่สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกได้

ชนิดภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก	ค่า Threshold ที่สามารถต่อภาพได้
BC	93 – 194
C	125 – 129
B	120 – 147

จากตารางที่ 4.19 แสดงค่ากำหนดขีดแบ่งที่ทำให้สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, C และ B ได้ โดยพบว่าค่ากำหนดขีดแบ่งที่มีค่า 125 ถึง 129 จะสามารถทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดสามารถต่อภาพ

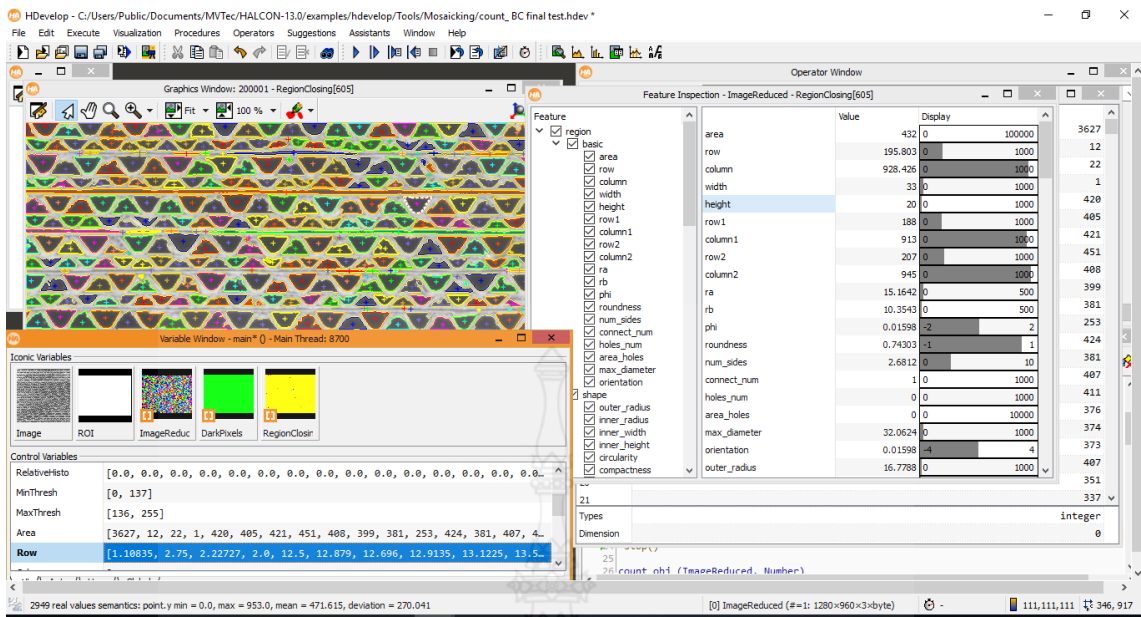
4.6 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกทางด้านลอน

จากการออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกในบทที่ 3 ซึ่งได้มีการนำอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้มาทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกกับชนิด BC ซึ่งเป็นกระดาศที่มีความนิยมนำมาใช้งานมากที่สุด และเพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของอัลกอริทึมการต่อด้านลอนกระดาศลูกฟูกจึงได้มีการนำมาทดสอบร่วมกับกระดาศลูกฟูกชนิด B และ C ซึ่งพบว่าที่ระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาศลูกฟูกที่ 480 มิลลิเมตร เป็นค่าระยะที่มีความเหมาะสมที่สุดในการรับภาพ และทำให้การต่อภาพด้านลอนของกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C ที่มีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำการต่อกันได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องในการต่อภาพของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ จึงได้นำภาพผลลัพธ์ของกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดที่ได้จากการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก แสดงดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 มาใช้ทำการตรวจนับจำนวนกระดาศว่ามีจำนวนเท่ากับจำนวนกระดาศที่นำมาใช้ทดสอบหรือไม่ โดยให้ผลในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.20

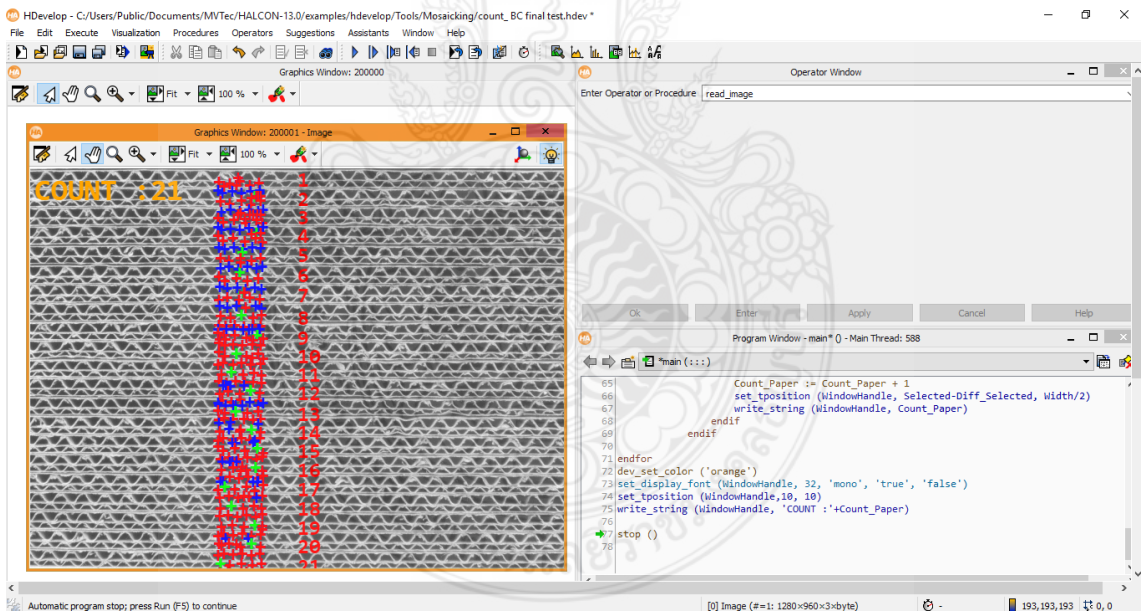
ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC, B และ C แบบ Manual โดยกำหนดค่าระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตรและเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริง

ชนิดของลอน	จำนวนกระดาษในการทดสอบ	ผลการนับจำนวนแผ่นที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับ				เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการนับ
		25 %	30 %	35 %	40 %	
BC	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
C	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
B	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดที่สามารถรวมกันได้ถูกต้องด้วยเทคนิคการต่อภาพและเมื่อนำมานับด้วยแบบ Manual พบว่ามีจำนวนกระดาษเท่ากับจำนวนกระดาษที่นำมาใช้ทดสอบจริง ซึ่งถือได้ว่าให้ความถูกต้องในการนับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงได้นำภาพผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกไปใช้ทดสอบนับจำนวนกระดาษลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON โดยใช้หลักการประมวลผลภาพ และจากภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกจะพบว่ามิขนาดของลอนไม่เท่ากัน เนื่องจากกระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบซึ่งตัวลอนลูกฟูกจะถูกกดทับจนเสียรูปทรง จึงทำให้แต่ละลอนมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนจะนำวิธีการหาพื้นที่ของลอนด้วยวิธี BLOB Analysis ดังหัวข้อที่ 3.3.2 มาใช้เพื่อหาดำแหน่งจุดศูนย์กลางและความสูงของแต่ละลอนลูกฟูกเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการนับ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการนับด้วยโปรแกรมได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 การใช้ BLOB Analysis เพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนลูกฟูก



รูปที่ 4.8 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระยะห่างระหว่างแถวของลอนในแต่ละแถว

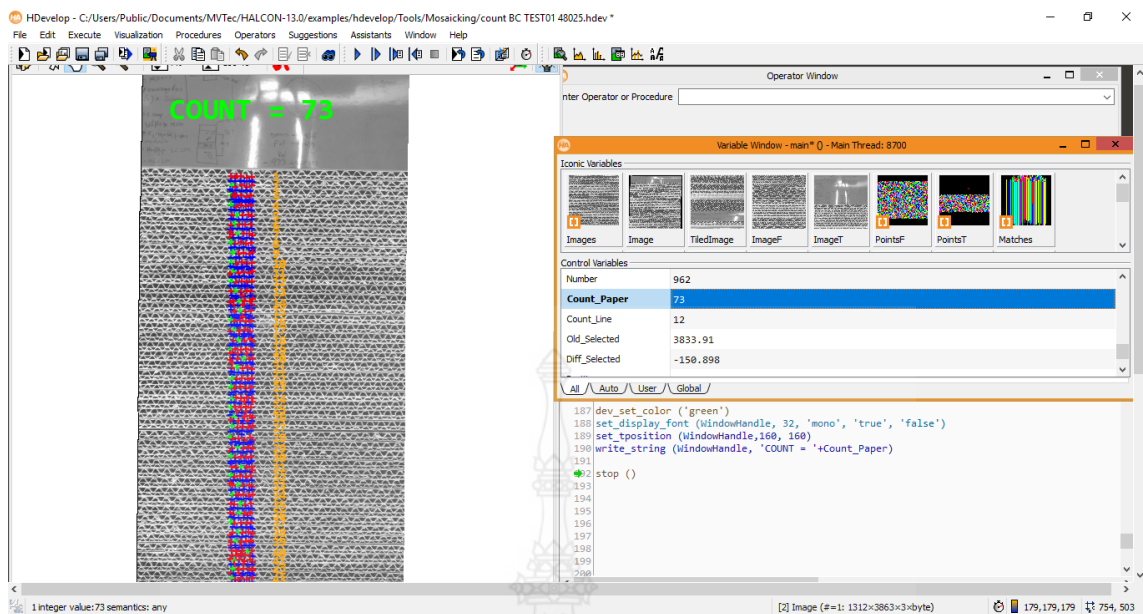
4.6.1 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพทางลอนชนิด BC ด้วยโปรแกรม

สำหรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ในกระดาษจำนวน 1 แผ่น จะประกอบไปด้วยลอน B และ C โดยจากการใช้วิธีการวิเคราะห์หับลือพบพบว่าภาพด้านลอนลูกฟูกชนิด BC ซึ่งลอน C จะมีขนาดพื้นที่ของลอนเท่ากับ 400 จุดภาพ และมีขนาดความสูง 24 จุดภาพ และสำหรับลอน B จะมีขนาดพื้นที่ลอนเท่ากับ 250 จุดภาพ และมีขนาดความสูง 15 จุดภาพ ดังนั้นในการทดสอบนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่มีระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร จะพิจารณาจากจุดศูนย์กลางของลอน C มาใช้ในการนับ โดยจุดศูนย์กลางของลอน C ในแผ่นที่ 1 กับแผ่นที่ 2 จะกำหนดมีระยะห่างมากกว่าหรือเท่ากับ 43 จุดภาพ จึงจะทำการพิจารณาลอนในแถวนั้นเพื่อนับเป็น 1 แผ่น แต่เนื่องจากกระดาษชนิดลอน BC จะมีลอน B ขึ้นอยู่ตรงกลาง ดังนั้นระยะห่างของจุดศูนย์กลางลอน C กับลอน B ที่ติดกันถูกกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 27 จุดภาพ โดยที่หากเจระยะห่างเท่ากับค่าดังกล่าวจะไม่นำมาพิจารณาในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก ซึ่งผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC ด้วยโปรแกรม HALCON สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC ด้วยโปรแกรม ซึ่งกำหนดค่าระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริง

ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษ ในการทดสอบ	จำนวนกระดาษจากการนับ ด้วยโปรแกรม			เปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องในการนับ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
25 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
30 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
35 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
40 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.21 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด BC จากภาพผลลัพธ์การต่อภาพที่ค่าพื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพที่สามารถต่อภาพได้ จำนวน 73 แผ่น โดยใช้โปรแกรม พบว่าทำการทดสอบต่อภาพและนำภาพมานับจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องในการนับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแสดงผลการนับได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะในการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งจะครอบคลุมจำนวน 5 ภาพ

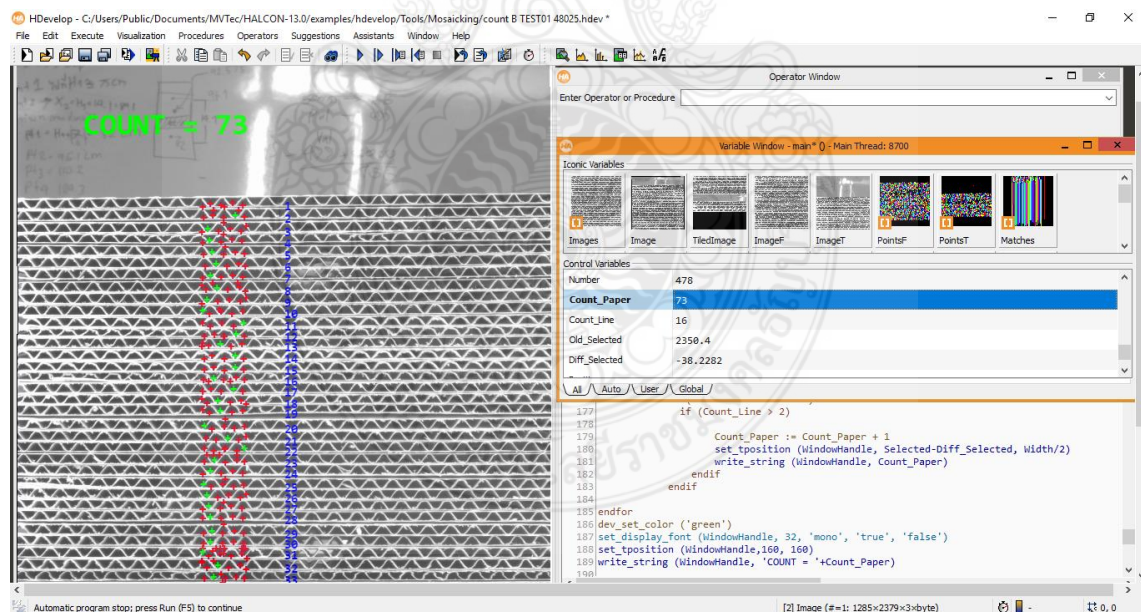
4.6.2 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพทางลอนชนิด C ด้วยโปรแกรม

สำหรับสำหรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C ซึ่งจะมีขนาดพื้นที่ลอนเท่ากับ 400 จุดภาพ และมีขนาดความสูง 24 จุดภาพ ดังนั้นการนับจำนวนจะกำหนดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางลอนแต่ละแถวซึ่งจะพิจารณาจากความสูงของลอน โดยในการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ได้กำหนดให้นับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน C เป็น 1 แผ่น เมื่อมีระยะห่างของจุดศูนย์กลางลอนแผ่นที่ 1 กับแผ่นที่ 2 ตั้งแต่ 22 จุดภาพขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการนับได้ดังรูปที่ 4.10 และผลทดสอบดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน C ด้วยโปรแกรม ซึ่งกำหนดค่า
ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริง

ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษ ในการทดสอบ	จำนวนกระดาษจากการนับ แบบอัตโนมัติ			เปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องในการนับ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
25 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
30 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
35 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
40 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.22 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด C จากภาพผลลัพธ์การต่อภาพที่ค่าพื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพที่สามารถต่อภาพได้ จำนวน 73 แผ่น โดยใช้โปรแกรม พบว่าทำการทดสอบต่อภาพและนำภาพมานับจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องในการนับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแสดงผลการนับได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อ
ภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะในการรับ
ภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตรซึ่งจะครอบคลุมจำนวน 3 ภาพ

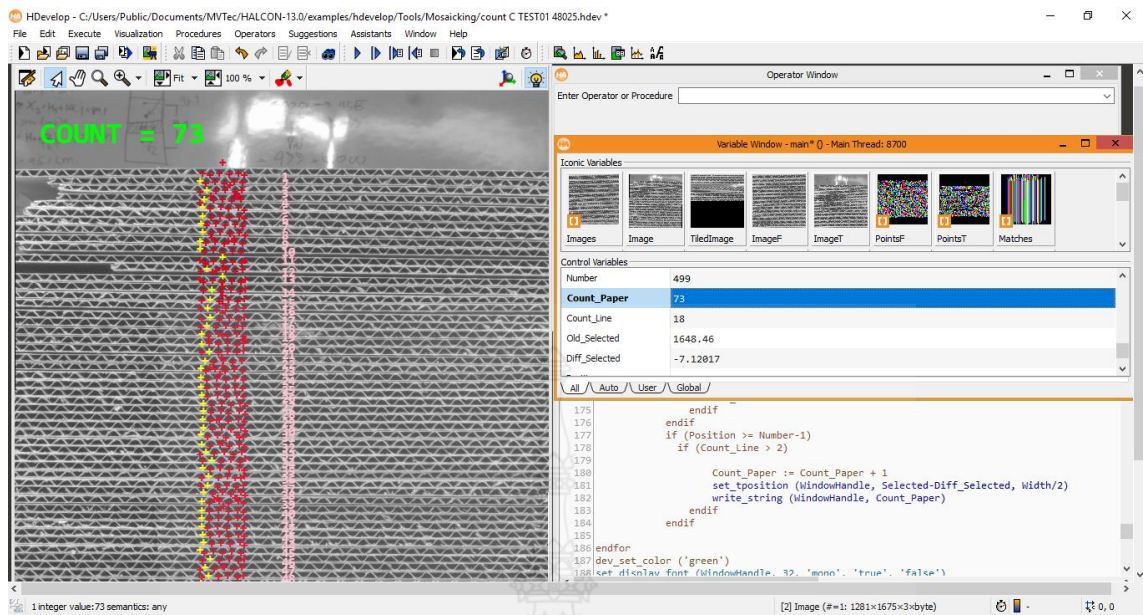
4.6.3 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพทางลอนชนิด B ด้วยโปรแกรม

สำหรับสำหรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด B ซึ่งจะมีขนาดพื้นที่ลอนเท่ากับ 250 จุดภาพ และมีขนาดความสูง 15 จุดภาพ ดังนั้นการนับจำนวนจะกำหนดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางลอนแต่ละแถวซึ่งจะพิจารณาจากความสูงของลอนของระยะห่างของจุดศูนย์กลางของแถวสูงสุด โดยในการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ได้กำหนดให้นับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B เป็น 1 แผ่น เมื่อมีระยะห่างของจุดศูนย์กลางลอนแผ่นที่ 1 กับแผ่นที่ 2 ตั้งแต่ 15 จุดภาพขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการนับได้ดังรูปที่ 4.11 และผลทดสอบดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B แบบอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดค่าระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริง

ค่าพื้นที่ ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษ ในการทดสอบ	จำนวนกระดาษจากการนับ ด้วยโปรแกรม			เปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องในการนับ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
25 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
30 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
35 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
40 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.23 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด B จากภาพผลลัพธ์การต่อภาพที่ค่าพื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพที่สามารถต่อภาพได้ จำนวน 73 แผ่น โดยใช้โปรแกรม พบว่าทำการทดสอบต่อภาพและนำภาพมานับจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องในการนับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแสดงผลการนับได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ได้จากอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพด้วยโปรแกรม HALCON โดยมีพื้นที่ซ้อนทับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะในการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ซึ่งจะครอบคลุมภาพจำนวน 2 ภาพ

ตารางที่ 4.24 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C และ B เทียบแบบ Manual และแบบใช้โปรแกรมนับ

ค่าพื้นที่ซ้อนทับ	จำนวนกระดาษในการทดสอบ	จำนวนกระดาษจากการนับด้วย		เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการนับ
		Manual	โปรแกรม	
25 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	0 เปอร์เซ็นต์
30 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	0 เปอร์เซ็นต์
35 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	0 เปอร์เซ็นต์
40 %	73 แผ่น	73 แผ่น	73 แผ่น	0 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC, B และ C โดยเปรียบเทียบวิธีการนับแบบ Manual และแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม HALCON โดยได้พิจารณาจากภาพทางด้านลอนกระดาษลูกฟูก เพื่อใช้สำหรับทดสอบหาความถูกต้องของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ โดยการทดสอบได้มีการนำภาพทางด้านลอน

กระดาษลูกฟูกที่สามารถต่อกันได้จากในหัวข้อที่ 4.3 มาตรวจนับเพื่อหาจำนวนกระดาษลูกฟูก โดยพบว่าพื้นที่การซ้อนทับของภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถทำให้ภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C และ B สามารถต่อกันได้ ดังนั้นในการทดสอบหาจำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกในหัวข้อที่ 4.14 นี้จึงได้ทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกจากภาพด้านลอนที่มีพื้นที่การซ้อนทับตั้งแต่ 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และจากการทดสอบพบว่าภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกที่มีจำนวนกระดาษสำหรับนำมาใช้ในการทดสอบจำนวน 73 แผ่น และถูกนำมาต่อกันด้วยเทคนิคการต่อภาพสามารถต่อกันได้ถูกต้อง และพบว่าจำนวนกระดาษที่เป็นผลลัพธ์จากอัลกอริทึมการต่อภาพมีจำนวนเท่ากับจำนวนแผ่นกระดาษที่นำมาใช้ในการทดสอบจริง ซึ่งถือว่าอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพมีความถูกต้องในการต่อภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่เกิดความผิดพลาดในการนับ

4.7 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนเมื่อระยะการรับภาพ (Working Distance) มีการเปลี่ยนแปลง

จากหัวข้อที่ 4.6 เป็นการทดสอบนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนของกระดาษชนิด BC, B และ C ที่สามารถนำมารวมกันได้ถูกต้องด้วยเทคนิคการต่อภาพโดยกำหนดระยะการรับภาพอยู่ที่ 480 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่มีความเหมาะสมมากที่สุดและจากการทดสอบพบว่าจำนวนกระดาษลูกฟูกที่ได้จากกานับมีจำนวนเท่ากับกระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ทดสอบ จึงถือได้ว่าระยะการรับภาพที่ 480 มิลลิเมตร สามารถทำให้การนับจำนวนกระดาษด้านลอนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนที่มีระยะการรับภาพต่างๆ ที่สามารถรวมภาพด้านลอนลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพได้ ตามหัวข้อที่ 4.5 เพื่อหาระยะการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกที่เมื่อสามารถต่อภาพได้และสามารถให้ผลการนับได้ถูกต้องด้วย โดยในการทดสอบได้กำหนดระยะที่มีความเหมาะสมในการรับภาพคือที่ 480 มิลลิเมตร จากนั้นกำหนดระยะเลื่อนตำแหน่งกล้องเข้าและออกจากระยะดังกล่าวไปที่ละ 50 มิลลิเมตร โดยจะทดสอบการนับกระดาษที่ระยะการรับภาพไม่เกินจากระยะที่ทำให้สามารถต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง เพื่อหาช่วงความสามารถที่ยอมรับได้ในการต่อภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกและทำให้สามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อระยะในการรับภาพมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งให้ผลในการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.25 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน BC จำนวน 15 แผ่น ด้วยโปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้	จำนวนกระดาษ	ขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุด
380 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.23 mm × 0.069 mm
390 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.24 mm × 0.071 mm
400 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.24 mm × 0.073 mm
410 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.25 mm × 0.075 mm
420 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.26 mm × 0.076 mm
430 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.26 mm × 0.065 mm
480 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.29 mm × 0.073 mm
490 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.31 mm × 0.075 mm
500 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.31 mm × 0.076 mm
510 มิลลิเมตร	15 แผ่น	0.31 mm × 0.078 mm
520 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.32 mm × 0.079 mm
530 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.32 mm × 0.081 mm

จากการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด BC พบว่าระยะการรับภาพที่เกินจาก 480 มิลลิเมตร ออกไป 50 มิลลิเมตร จะไม่สามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบระยะรับภาพที่เกิน 480 มิลลิเมตร ไปทีละ 10 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าสามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะห่างออกไปไม่เกิน 30 มิลลิเมตร และในส่วนระยะการรับภาพที่มีค่าน้อยกว่า 480 มิลลิเมตรพบว่าจะนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะรับภาพน้อยกว่า 480 มิลลิเมตร ไม่เกิน 90 มิลลิเมตร ซึ่งระยะการรับภาพที่สามารถให้ผลการนับจำนวนกระดาษที่ถูกต้องจะมีขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุดที่สามารถทำให้การต่อภาพและการนับมีความถูกต้องอยู่ในช่วง 0.017 ตารางมิลลิเมตร ถึง 0.024 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 4.26 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน C จำนวน 20 แผ่น ด้วยโปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

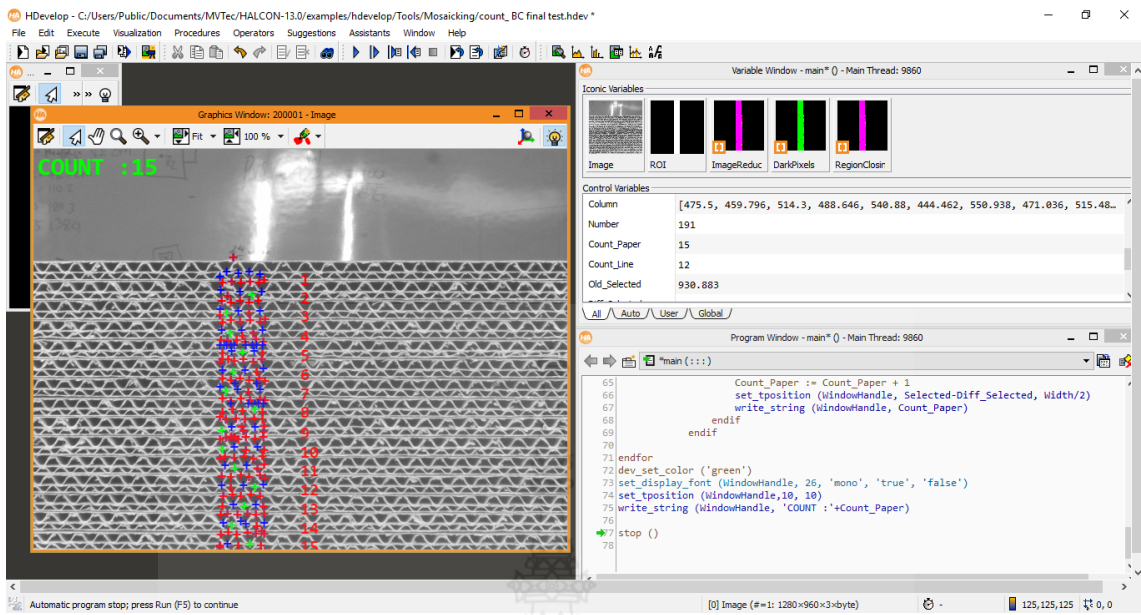
ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้	จำนวนกระดาษ	ขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุด
380 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.23 mm × 0.057 mm
390 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.24 mm × 0.059 mm
400 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.24 mm × 0.06 mm
410 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.25 mm × 0.062 mm
420 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.26 mm × 0.064 mm
430 มิลลิเมตร	20 แผ่น	0.26 mm × 0.065 mm
480 มิลลิเมตร	20 แผ่น	0.29 mm × 0.073 mm
530 มิลลิเมตร	20 แผ่น	0.32 mm × 0.081 mm
580 มิลลิเมตร	20 แผ่น	0.36 mm × 0.089 mm
590 มิลลิเมตร	20 แผ่น	0.36 mm × 0.09 mm
600 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.37 mm × 0.092 mm
630 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.39 mm × 0.096 mm

จากการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด C พบว่าสามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะห่างจาก 480 มิลลิเมตร ออกไปไม่เกิน 110 มิลลิเมตร และระยะการรับภาพที่มีค่าน้อยกว่า 480 มิลลิเมตร ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ซึ่งระยะการรับภาพที่สามารถให้ผลการนับจำนวนกระดาษที่ถูกต้องจะมีขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุดที่สามารถทำให้การต่อภาพและการนับมีความถูกต้องอยู่ในช่วง 0.017 ตารางมิลลิเมตร ถึง 0.0324 ตารางมิลลิเมตร

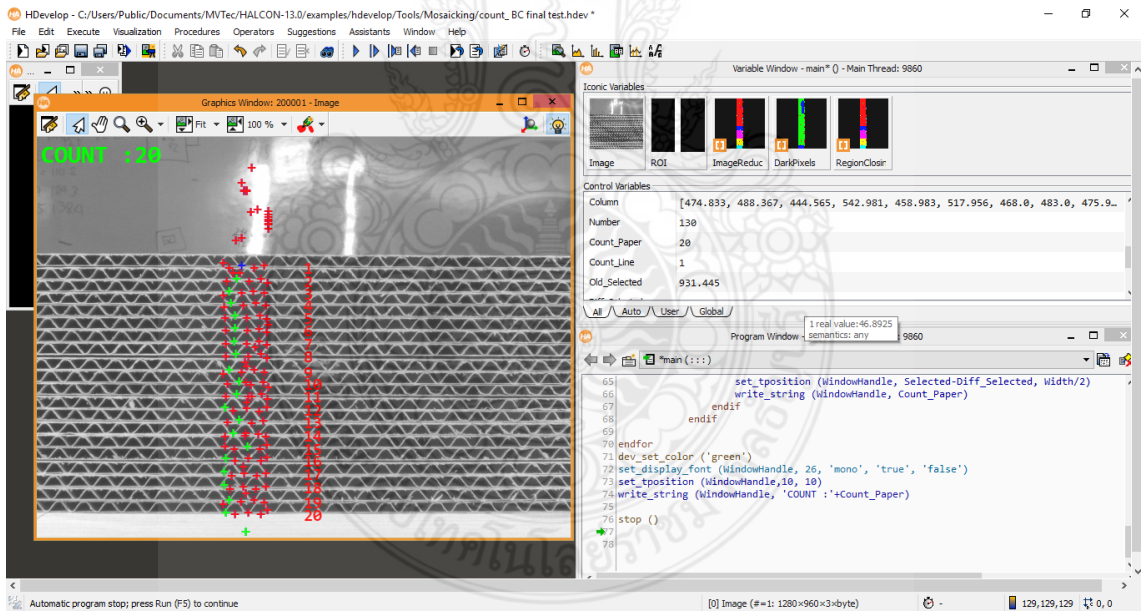
ตารางที่ 4.27 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B จำนวน 30 แผ่น ด้วยโปรแกรม HALCON ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้	จำนวนกระดาษ	ขนาดจุดภาพเล็กที่สุด
380 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.23 mm × 0.057 mm
390 มิลลิเมตร	มากกว่าที่กำหนด	0.24 mm × 0.059 mm
400 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.24 mm × 0.06 mm
410 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.25 mm × 0.062 mm
420 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.26 mm × 0.064 mm
430 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.26 mm × 0.065 mm
480 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.29 mm × 0.073 mm
530 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.32 mm × 0.081 mm
580 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.36 mm × 0.089 mm
590 มิลลิเมตร	30 แผ่น	0.36 mm × 0.09 mm
600 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.37 mm × 0.092 mm
630 มิลลิเมตร	ต่ำกว่าที่กำหนด	0.39 mm × 0.096 mm

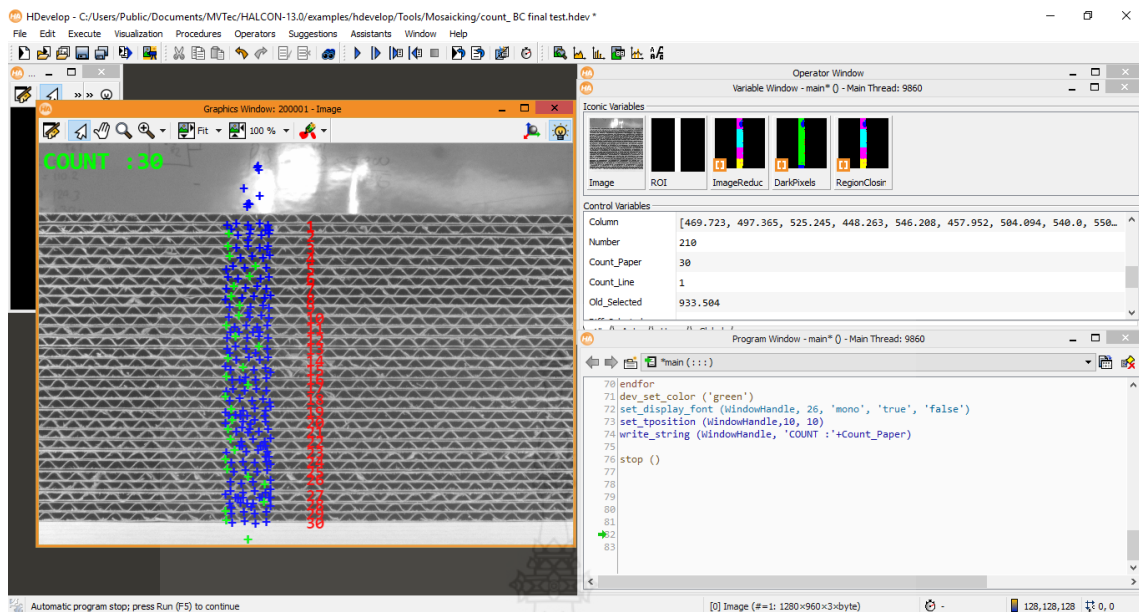
จากการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนชนิด B พบว่าสามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะห่างจาก 480 มิลลิเมตร ออกไปไม่เกิน 110 มิลลิเมตร และระยะการรับภาพที่มีค่าน้อยกว่า 480 มิลลิเมตร ไม่เกิน 80 มิลลิเมตร ซึ่งระยะการรับภาพที่สามารถให้ผลการนับจำนวนกระดาษที่ถูกต้องจะมีขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุดที่สามารถทำให้การต่อภาพและการนับมีความถูกต้องอยู่ในช่วง 0.014 ตารางมิลลิเมตร ถึง 0.0324 ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 4.12 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 15 แผ่นที่ระยะรับภาพ 400 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 20 แผ่นที่ระยะรับภาพ 430 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.14 ผลการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 30 แผ่นที่ระยะรับภาพ 400 มิลลิเมตร

จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.7 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนจากระยะการรับภาพที่สามารถรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องด้วยเทคนิคการต่อภาพเพื่อหาว่าระยะที่สามารถต่อภาพได้นั้นจะสามารถให้ผลการนับที่ถูกต้องด้วยหรือไม่ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด BC สามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 390 ถึง 510 มิลลิเมตร, ชนิด C อยู่ระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 430 ถึง 590 มิลลิเมตร และชนิด B ระยะการรับภาพจะอยู่ในช่วง 400 ถึง 590 มิลลิเมตร ดังนั้นระยะของการโฟกัสกล้องที่มีความทนทานสำหรับการต่อภาพและให้ผลการนับที่ถูกต้องอยู่ในช่วงไม่เกิน ± 30 มิลลิเมตร โดยที่จุดภาพที่มีขนาดเล็กที่สุด คือจุดภาพที่กล้องสามารถตรวจจับได้ และทำให้สามารถรวมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพได้โดยที่ให้ผลการนับจำนวนกระดาษได้อย่างถูกต้อง และสำหรับระยะการรับภาพนอกเหนือจากนี้การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกด้วยอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ไม่สามารถนับได้ถูกต้อง เนื่องจากเมื่อภาพถูกนำมากำหนดค่าขีดแบ่งของลอนเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการนับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของภาพขาวดำที่เกิดขึ้นจะทำให้ไม่สามารถหาขนาดพื้นที่ของลอนได้ครบถ้วนจึงทำให้อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบเกิดความผิดพลาดในการนับ

4.8 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงการทดสอบการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ โดยได้นำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพทางด้านลอนกระดาศลูกฟูก ซึ่งได้ทำการทดสอบหาค่าระยะการรับภาพที่เหมาะสม ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาศลูกฟูก ซึ่งพบว่าที่ค่าระยะการรับภาพเท่ากับ 480 มิลลิเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้กล้องสามารถรับภาพกระดาศลูกฟูกได้จำนวนมากและภาพมีความชัดเจน และส่วนของระยะแสงที่เหมาะสมในการรับภาพมีค่าตั้งแต่ 167 ลักซ์ ถึง 334 ลักซ์ ซึ่งในการทดสอบได้กำหนดระยะ Working Distance เท่ากับระยะ 480 มิลลิเมตร เป็นระยะคงที่ในการรับภาพ และกำหนดระยะให้กล้องเคลื่อนที่เข้าออกไปทีละ 50 มิลลิเมตร เพื่อหาช่วงความสามารถในการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ยอมรับได้ เพื่อเป็นการทดสอบความคงทนของอัลกอริทึมการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ระยะการรับภาพต่างๆ โดยที่ค่าขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องในแนวแกน y ที่ระยะต่างๆ ที่หาได้จะถูกนำมาใช้กำหนดระยะการเคลื่อนที่ของกล้องเพื่อทำการรับภาพในตำแหน่งถัดไป โดยจะต้องกำหนดให้แต่ละภาพมีพื้นที่ของภาพซ้อนทับกันอยู่เพื่อให้ภาพสามารถนำมาต่อกันได้ สำหรับพื้นที่การซ้อนทับจะถูกกำหนดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ซึ่งเปรียบเทียบจากความสูงของภาพ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับของภาพมีค่าน้อยจะทำให้ระยะการเคลื่อนกล้องมีค่ามาก และทำให้ได้ภาพจำนวนน้อยซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพที่น้อยที่สุดที่ทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถต่อกันได้ โดยที่ กำหนดพื้นที่ซ้อนทับเพิ่มขึ้นทีละ 5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C สามารถต่อกันได้ถูกต้อง จากนั้นภาพผลลัพธ์ที่สามารถต่อกันได้จะถูกนำมานับหาจำนวนกระดาศเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ และจากการทดสอบพบว่าจำนวนกระดาศลูกฟูกจากการนับมีจำนวนเท่ากับกระดาศที่นำมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งถือว่าอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้ออกแบบมีความถูกต้องในการต่อภาพ 100 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ โดยได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C โดยใช้เทคนิคการต่อภาพเพื่อทำให้การรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มีประสิทธิภาพในการรับภาพได้เช่นเดียวกันกับกล้องชนิดรับภาพแบบเส้นเพื่อนำภาพมาใช้ในการตรวจนับจำนวนกระดาศลูกฟูก โดยได้ทำการออกแบบและทดสอบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON และสำหรับภาพผลลัพธ์จากกระบวนการต่อภาพจะถูกนำมาทดสอบหาความถูกต้องของอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ด้วยวิธีการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกโดยใช้หลักการประมวลผลภาพเพื่อทดสอบว่ามีจำนวนแผ่นกระดาศลูกฟูกตรงกับจำนวนกระดาศที่นำมาใช้ในการทดสอบหรือไม่ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกร่วมกับกระดาศชนิด BC, B และ C โดยได้ทำการทดสอบหาระยะการติดตั้งอุปกรณ์ระหว่างหน้าเลนส์กล้องกับกระดาศลูกฟูก (Working Distance) เพื่อใช้เป็นระยะในการรับภาพ ซึ่งพบว่าที่ค่า Working Distance เท่ากับ 480 มิลลิเมตร เป็นระยะที่มีความเหมาะสมในการรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกมากที่สุด โดยในหนึ่งภาพที่รับได้จะสามารถครอบคลุมแผ่นกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 21 แผ่น , ชนิด C จำนวน 36 แผ่น และชนิด B จำนวน 48 แผ่น และทำให้ภาพถ่ายมีความชัดเจน ซึ่งถือว่าเป็นระยะที่ไม่ใช่พื้นที่ในการติดตั้งมากเกินไปและให้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจน โดยได้ทำการทดสอบร่วมกับกระดาศลูกฟูกชนิด BC, B และ C อย่างละจำนวน 73 แผ่น ซึ่งในการรับภาพเพียงครั้งเดียวจะไม่สามารถครอบคลุมกระดาศลูกฟูกได้ครบทั้งหมด 73 แผ่น ดังนั้นจึงต้องทำการรับภาพกระดาศลูกฟูกจำนวนหลายภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ครอบคลุมจำนวนแผ่นกระดาศลูกฟูกทั้งหมด และทำการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยการหาคุณลักษณะภาพด้วยวิธีฟอर्थเนอร์ การจับคู่คุณลักษณะภาพด้วยวิธีการหาความสอดคล้องของข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่ม และทำการรวมภาพด้วยวิธีการปรับแก้แบบกลุ่ม โดยที่กำหนดให้การรับภาพแต่ละภาพต้องมีบริเวณของภาพที่อยู่ติดกันมีส่วนซ้อนทับกันอยู่เพื่อ

ทำให้ภาพสามารถนำมารวมกันได้ ซึ่งพื้นที่การซ้อนทับกันระหว่างภาพหากมีค่าน้อยก็จะทำให้มีจำนวนภาพที่นำมาต่อกันจำนวนน้อย และจะใช้เวลาในการต่อภาพที่รวดเร็ว ดังนั้นจึงได้กำหนดพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับพื้นที่ของภาพทั้งหมดในหนึ่งภาพ และทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับที่น้อยที่สุดที่ทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดสามารถนำมาต่อกันได้ถูกต้อง โดยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับประมวลผลภาพและมีความรวดเร็วในการประมวลผลซึ่งสามารถทดสอบร่วมกับเวลาจริงได้ และจากการทดสอบพบว่าภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC สามารถต่อกันได้ถูกต้องเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งครอบคลุมจำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับจำนวน 5 แผ่นกับ 1 ลอน B และสำหรับภาพลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C และ B สามารถต่อภาพได้อย่างถูกต้องเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน โดยจะมีจำนวนกระดาศในพื้นที่ซ้อนทับ 9 แผ่น และ 12 แผ่น ตามลำดับ และหากในการทดสอบการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกถ้าระยะการติดตั้งอุปกรณ์มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 480 มิลลิเมตร พบว่าการต่อภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดจะยังคงสามารถให้ความถูกต้องในการต่อภาพโดยภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC เมื่อมีระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 430 ถึง 750 มิลลิเมตร ในขณะที่ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C และ B ซึ่งจะมีระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 300 ถึง 630 มิลลิเมตร และ 330 ถึง 630 ตามลำดับ ซึ่งหากมีระยะที่เกินจากนี้จะทำให้ภาพไม่มีความชัดเจน และจำนวนจุดภาพที่คุณลักษณะสอดคล้องกันมีจำนวนไม่เพียงพอสำหรับการนำภาพมาต่อกันจึงทำให้การต่อภาพเกิดความผิดพลาด และเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ได้ออกแบบไว้จึงได้นำภาพผลลัพธ์ที่สามารถต่อกันได้มาทดสอบนับจำนวนกระดาศลูกฟูกเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการต่อภาพด้วยวิธีการประมวลผลภาพโดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบบลิบเพื่อหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางและความสูงของแต่ละลอนลูกฟูกเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการนับ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าจำนวนกระดาศลูกฟูกจากภาพผลลัพธ์จากการต่อภาพเท่ากับจำนวนกระดาศลูกฟูกที่นำมาใช้ทดสอบซึ่งมีจำนวน 73 แผ่นเท่ากัน ดังนั้นจึงถือว่าอัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพให้ความถูกต้องในการต่อภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีระยะในการรับภาพที่เหมาะสม โดยระยะการรับภาพที่สามารถทำให้ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกสามารถต่อกันได้และให้ผลการนับจำนวนกระดาศที่ถูกต้อง ซึ่งสำหรับภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จะมีระยะการรับภาพตั้งแต่ 390 มิลลิเมตร ถึง 510 มิลลิเมตร, กระดาศชนิดลอน C มีค่าตั้งแต่ 430 มิลลิเมตร ถึง 590 มิลลิเมตร และกระดาศชนิดลอน B มีค่าตั้งแต่ 400 มิลลิเมตร ถึง 590 มิลลิเมตร โดยระยะโฟกัสของกล้องในการรับภาพที่ทำให้สามารถต่อภาพด้านลอน

กระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องและให้ผลการนับจำนวนกระดาษที่ถูกต้องจะมีช่วงที่ยอมรับได้ไม่เกิน ± 30 มิลลิเมตร จากระยะ 480 มิลลิเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การรับภาพควรให้แสงสว่างกับภาพอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ภาพนั้นมีความคมชัดเหมือนกันทุกภาพ

5.2.2 การรับภาพจำเป็นต้องให้การจับภาพจากกล้องมีความนิ่งเพื่อทำให้การต่อภาพมีความถูกต้อง เนื่องจากหากภาพไม่นิ่งจะทำให้ภาพเกิดการเอียง ทำให้จุดภาพที่มีความสอดคล้องกันมีตำแหน่งเปลี่ยนไปซึ่งจะส่งผลทำให้การต่อภาพเกิดความผิดพลาด

5.2.3 กระดาษลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบควรมีระนาบในการวางกระดาษที่เสมอกันทุกแผ่นเพื่อทำให้การต่อภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] ลี เปเปอร์ อินดัสตรีเอล จำกัด, leepaper (online), 2015, Available:
<http://leepaper.co.th/index.php/th/contact-th>. (22 มิถุนายน 2560).
- [2] มีนา รัตนากร, “ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับกระดาษลูกฟูก,”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ชนิดของลอน จำนวนต่อเมตรและความสูง
ของลอน. มอก. 550-2555.
- [4] บริษัท ดิจิตอล กราเวียร์ แพคเกจจิ้ง จำกัด, packingsiam (online), 2018, Available:
<http://www.packingsiam.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539312694>.
(15 มีนาคม 2561).
- [5] โครงการฝึกอบรมระบบการตรวจรู้ด้วยกล้องสนับสนุน Industry 4.0 : ศูนย์พัฒนาบุคลากรเพื่อ
อุตสาหกรรมและปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 23-24 สิงหาคม
2560.
- [6] Basler AG, Basler Camera Portfolio (online), 2018, Available:
<http://www.baslerweb.com/en/products/cameras/> (2 March 2018).
- [7] i-factory industrial appliance, หลอดไฟสำหรับแมชชีนวิชั่น (online), 2018, Available:
<http://www.ifactoryonline.com/หลอดไฟสำหรับแมชชีนวิชั่น-list.aspx>, (22 June 2017).
- [8] S. Vrushali and S.R. Gupta, “Image Stitching Technique An overview,” International Journal
of Computer Science and Applications, vol.6, pp.324-330, April 2013.
- [9] HALCON HDevelop, HALCON operator, MVTec Software GmbH, 2016.
- [10] Varkonyi-Koczy, A., A. Rovid and E. Selenyi, “A New Corner Detector Supporting Feature
Extraction for Automatic 3D Reconstruction,” Proceedings of the 4th Slovakian-
Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, 2006, pp.195-208.
- [11] T. Hicham, E.K. Omar and Z. Youssef, “Automatic Inspection of Solar Panels Based on Image
Stitching Technique,” International Renewable and Sustainable Energy Conference,
2017, pp.538-542, Available: IEEE organization, IEEE Xplore (26 November 2017).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] ฉันทนทร์ วงษ์วิไล, “การวางแผนการจัดวางปลายนิ้วสำหรับการจับวัตถุที่ไม่รู้จักโดยใช้แนวทางตาในมือแบบสแลม,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.
- [13] วนิตา สุวรรณกิจ, จิรวัดณ์ แก้วกumar และฉัตรชัย สุขพิทักษ์สกุล, “การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ,” วลัยลักษณ์วิจัยครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2561.
- [14] A. Shikha, “A Review on Image Stitching and its Different Methods,” International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol.5, pp.299-303, May 2015.
- [15] ภิญโย แยมพราย, “การคัดแยกเซลล์เม็ดเลือดขาวโดยอ้างอิงการวิเคราะห์ส่วนประกอบพื้นฐาน,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [16] สุพรรณิ ศิริมาก, “การประมวลผลภาพซีพีซีเอสเตอร์ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557.
- [17] MVTEC Software GmbH, Solution Guide I Basics 8.0, Available: www.HALCON.com/, (3 กุมภาพันธ์ 2561).
- [18] พิชัย ปันมณี และวราห์ เทพาหุดี, “การนับจำนวนลูกปลาโดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล,” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50, กรุงเทพฯ, 2555.
- [19] ชลธิศา เวทโอสถ และนิคม สุวรรณวร, “การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจนับปริมาณรถบนถนนด้วยการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอ,” วรสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ครั้งที่ 5, 2556, หน้า. 35-48.
- [20] อัจฉรรัตน์ ชัยมณี, จิรยุทธ ไชยจารุณิช, युวดี พิรพรพิศาล และนที ทองศิริ, “การนับจำนวนประชากรสาหร่าย Chlorella sp. ด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล,” การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553, หน้า.744-749.
- [21] Chatchai Suppitaksakul and Meena Rattakorn, “Machine Vision System for Counting the Number of Corrugated Cardboard,” Proceeding of the International Electrical Engineering Congress, Chonburi, 2014, pp.1-4.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] ฐิติวัชร ศิริอมรรตน์ และทวีพล ชื้อสัตย์, “การนับแผ่นกระดาษลูกฟูกโดยระบบการประมวลผลภาพแบบพานoramik,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, ขอนแก่น, 2557.
- [23] H. Takahiro, I Momoyo, Shin-ichi and F. Minoru, “Creation of a Panoramic Image by Genetic Algorithm,” IEEE Conference on System Process & Control, 2013, pp.135-138, Available: IEEE organization, IEEE Xplore (2 May 2017).
- [24] D. Ruixiang and P. Taskin, “Image Stitching Technique for An Intelligent Portable Aerial Surveillance System,” in IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications, 2014, Available: IEEE organization, IEEE Xplore (22 September 2017).
- [25] B.Z. Moushumi and S.U. Mohammad, “Feature-Based Image Stitching Algorithms,” International Workshop on Computational Intelligence, 2016, Available: IEEE organization, IEEE Xplore (2 May 2017).
- [26] J. Daguang and Junkai Yi, “Comparision and Study Classic Feature Point Detection Algorithm,” International Conference on Computer Science and Service System, 2012, pp.2307-2309.
- [27] H. You-Jin and K. Hyun-Deok, “Evaluation of Feature based Image Stitching Algorithm using OpenCV,” 10th International Conference on Human System Interactions, 2017, Available: IEEE organization, IEEE Xplore (30 December 2017).
- [28] Basler, baslerweb (online), 2018, Available: <https://www.baslerweb.com/en/products/tools/lens-selector/#camera-series=s-2071;camera-model=m-7448> (2 March 2018).

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



WALAILAK PROCEDIA 2018

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2561



คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ อารังค์อัญวงศ์ รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการสังคม
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ ไหมศรีกรรต รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา ผู้ประสานงานสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.ภูมิภาค : ภาคใต้)
5. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์
6. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ ไหมศรีกรรต คณบดีสำนักวิชานิติศาสตร์และรัฐศาสตร์
7. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตบรรจง ตั้งปอง คณบดีสำนักวิชาสหเวชศาสตร์
8. รองศาสตราจารย์ ดร.พูลพงษ์ บุญพราหมณ์ คณบดีสำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์
9. รองศาสตราจารย์ ดร.สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์ คณบดีสำนักวิชาการจัดการ
10. รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
11. รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวรรณ ชะอุ่ม เพ็ญสุขสันต์ คณบดีสำนักวิชาพยาบาลศาสตร์
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ทิพย์ศรีนิมิต คณบดีสำนักวิชาศิลปศาสตร์
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาริท เจาะจิตต์ คณบดีสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวิ คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นรารักษ์ สมบัติทอง คณบดีสำนักวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
16. อาจารย์ ดร.นพ.ปรีชญาพันธุ์ เพชรช่วย คณบดีสำนักวิชาแพทยศาสตร์
17. อาจารย์ ดร. จิราพร ชินกุลพิทักษ์ คณบดีสำนักวิชาเภสัชศาสตร์

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม ประธานฝ่ายวิชาการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อธิไกริน ประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ
3. อาจารย์ ดร.กรวิทย์ อยู่สกุล รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ
4. อาจารย์ ดร.สิริพร สมบูรณ์บุรณะ ประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
5. อาจารย์ ดร.สมรภัช ชัยสิงห์กานานนท์ รองประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรนรินทร์ ศุภกร รองประธานกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
7. อาจารย์ ดร.พรหมศิริ คำโอ ประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
9. อาจารย์ ดร. ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง รองประธานกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล ประธานหัวข้อพิเศษ: งานวิจัยพัฒนาคุณภาพการศึกษาและการพัฒนาท้องถิ่น
11. นางสาวรัชฎา คชแสงสันต์ ประธานหัวข้อพิเศษ : งานวิชาการรับใช้สังคม
12. นางปิ่นเพชร ภักดีณรงค์ รองประธานหัวข้อพิเศษ : งานวิชาการรับใช้สังคม
13. ผู้อำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประธานหัวข้อพิเศษ : Creative Innovation
14. นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์ เลขานุการฝ่ายวิชาการ
15. นางสาวดาดาวัลย์ มนต์แก้ว ผู้ช่วยเลขานุการฝ่ายวิชาการ

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล ที่ปรึกษา
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ ประธานกรรมการ
3. นางสาวนุสนธ์ สงเอียด กรรมการ
4. นางแก้วใจ สุขสะอาด กรรมการ
5. นางสาวรติยา ก้องก้า กรรมการ
6. นางวันฤดี รัตนพันธ์ กรรมการ
7. นางสาวรัชฎา คชแสงสันต์ กรรมการ
8. นางปิ่นเพชร ภักดีณรงค์ กรรมการ
9. นางสาวสุจินดา ย่องเงิน กรรมการ
10. นายภาณุวัฒน์ บุญเรืองขาว กรรมการ
11. นางสาวดาดาวัลย์ มนต์แก้ว กรรมการและเลขานุการ
12. นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์ กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



กำหนดการนำเสนอผลงานแบบบรรยาย (Oral Presentation)

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ 27-28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ อาคารเรียนรวม 3 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2561 เวลา 13.00-16.45 น. ณ ห้อง 3217 ชั้น 2

<p>ประธาน (Chair Person) รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี ประธานร่วม (Co-Chair) อาจารย์ ดร.พรณศิริ คำโอ และ อาจารย์ ดร.ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง เลขานุการ: นางแก้วใจ สุขสะอาด</p>
--

เวลา	รหัส บทความ	ชื่อผลงาน	ผู้นำเสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน
07.30-08.30		ลงทะเบียน		
08.30-12.00		พิธีเปิดงานประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10 ณ ห้อง 3310 บรรยายพิเศษโดย รศ.ดร.นรินทร์ มาแทน ศ.ดร.สุภางค์ จันทวานิช		
12.00-13.00		รับประทานอาหารกลางวัน		
13.00-14.00		บรรยายรับเชิญ หัวข้อ What make males so sexy? A point of view from mate choice and mate selection.	รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
14.00-14.15	13	การเพาะเลี้ยงแบบกะและแบบต่อเนื่องของไดอะตอมท้องน้ำ Amphora subtropica BUUC1502 ที่แยกจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	ปวีณา ตปนียวรงค์ ปรารถนา ปานทอง ปาริชาติ ชุมทอง มะลิวัลย์ คุณตะโค รชนิมุข หิรัญสังจาเลิศ ชลิ ไพบูลย์กิจกุล และ สรวิศ เผ่าทองสุข	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
14.15-14.30	22	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า	ธนิษฐา ทรพน์นันทน์ และ รจิต เพ็งลี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
14.30-14.45	29	Do ovigerous and non-ovigerous Uca rosea females differ in size and burrow characteristics?	Kanitta Keeratipattarakarn Fahmida Wazed Tina Mullica	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2561 เวลา 08.30-16.00 น. ณ ห้อง 3202 ชั้น 2

ประธาน (Chair Person) อาจารย์ ดร.สลิลา บุญพราหมณ์ ประธานร่วม (Co-Chair)

เลขานุการ: นางสาวรติยา ก้องก้า

เวลา	รหัส บทความ	ชื่อผลงาน	ผู้นำเสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน
07.30-08.30		ลงทะเบียน		
สาขาสารสนเทศศาสตร์				
08.30-08.45	12	Knowledge Discovery of Game Design Elements from Literature Review of Gamification	Sakchai Muangsrinoon and Poonpong Boonpharm	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
08.45-09.00	14	การจัดการระบบเครือข่ายไร้สายระดับองค์กรผ่านอุปกรณ์ Aruba Controller กรณีศึกษาระบบเครือข่ายไร้สายมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	สาธิต ขวัญชุม และ สุริยะ เมืองสุวรรณ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
09.00-09.15	27	การพัฒนาบทเรียนอีเลิร์นนิ่ง รายวิชาทักษะการพัฒนาอาชีพ กรณีศึกษาการศึกษานอกระบบ ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมือง จังหวัด นครศรีธรรมราช	ศิริภา ชัยณรงค์ จันทร์ธิดารัตน์ แก้วแท้ ปริญญา ทองแกมมาก ศิริพันธ์ เทพมาก ศศิพัชร บุญขวัญ และ ภัทราวรรณ วังบุญคง	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช
09.15-09.30	69	Creating a healthcare community by village volunteers with mobile e-Visiting: social-based approach	Premrudee Noonsang Manit Jitprapai and Tanit Sompong	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
09.30-09.45	71	การประเมินภาวะอ่านโดยใช้ระบบกฎเกณฑ์ฟัชซี	วรรณศิริ คุริพรณ์ และ วรา มินเสน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
09.45-10.00	88	การพัฒนาแบบจัดเก็บสารสนเทศ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SENAYAN กรณีศึกษาผลงานนักศึกษา สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	จันทร์วิมล สະແສສີ กนิษฐา อุเชิง และ Siriyaporn Preecha	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช
10.00-10.15	92	Data Cleaning	Chairote Yaiprasert	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
10.15-10.30	109	ระบบรักษาความปลอดภัยบนพื้นฐานระบบสมาร์ตโฮม : กรณีศึกษาการแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบวัตถุเคลื่อนไหวที่เป็นมนุษย์	ประเสริฐศักดิ์ อุอรุณ ไชยพงศ์ จันธราษฎร์บุญ และ สุภัตรา ผลภาค	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เวลา	รหัส บทความ	ชื่อผลงาน	ผู้นำเสนอ/นักวิจัย	หน่วยงาน
10.30-10.45	117	แนวทางการใช้สื่อออนไลน์ Google Classroom ในการเรียนการสอน ของ นักศึกษา สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยตาปี	Teerayut Khunsrikaew และ ธนิต สำลึงค์	มหาวิทยาลัยตาปี
10.45-11.00	127	การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการแนะแนว การศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศ คณะ มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	กนิษฐา อุเชิง จันทรวิมล สะเหล๊ะ และ ศิริญาพร ปรีชา	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช
11.00-11.15	138	การสำรวจความพึงพอใจเพื่อปรับปรุงคุณภาพ การให้บริการห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ศูนย์เทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	Pattama Sucharee and Premrudee Noonsang	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
11.15-11.30	161	ระบบลงทะเบียนเข้าร่วมกิจกรรมด้วย QR Code มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	ณิรดา เพ็ชรคงทอง มานิต จิตต์ประไพ เกศิณี พรหมชาติ และ เปรมฤดี นุ่นสังข์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
11.30-11.45	162	การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการ ต่อภาพ	วนิดา สุวรรณกิจ จิรวัดน์ แก้วกุมาร และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.45-12.00	171	การศึกษาการออกแบบสื่อการเรียนรู้ค้นคว้าด้วย เทคโนโลยี Augmented Reality	กัญญารัตน์ ทองชุม และ สรมย์พร เจริญพิทย์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
12.00-13.00		รับประทานอาหารกลางวัน		
13.00-13.15	174	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมการแบ่งช่วงข้อมูล สำหรับตัวจำแนกต้นไม้ตัดสินใจ	รัตยากร ไทยพันธ์ และ ฐิติมาพร เพชรแก้ว	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
13.15-13.30	183	ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ในประเทศไทยด้วยการ ตรวจจับและติดตามคนเดินถนนที่กำลังข้าม ทางม้าลาย	พิศณู คุ้มชัย	โรงเรียนนายเรือ
13.30-13.45	188	การจำแนกประเภทและรู้จำป้ายทะเบียน รถยนต์ในประเทศไทยโดยใช้เทคนิคเคเน็ยเรส เนเบอร์	พงศธร ตรีเกษม และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
13.45-14.00	191	การพัฒนาโมเดลการยอมรับทางการเงิน บริบท การซื้อขายหุ้นผ่านแอปพลิเคชัน Streaming บนมือถือ	จิตรราพร บุญยงค์ และ อรรถพรณ คงมาลัย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
14.00-14.15	198	การจัดระเบียบจำแนกสิทธิ์การรักษาพยาบาล เพื่อรองรับระบบสารสนเทศโรงพยาบาลศูนย์ การแพทย์ (ผู้ป่วยนอก) มหาวิทยาลัยวลัย ลักษณ์	ศรัณย์ เพียงจันทร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ

วนิดา สุวรรณกิจ, จิรวัดน์ แก้วกุมาร และ นิตร์ชัย ศุภพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

wanida_su@mail.rmutt.ac.th, chatchai.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการต่อภาพ ร่วมกับการถ่ายภาพด้านลอนของกระดาษลูกฟูก ด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่เพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกแทนการใช้กล้องชนิดรับภาพแบบเส้นที่มีราคาแพง โดยเทคนิคอัลกอริทึมที่ใช้ในการต่อภาพประกอบไปด้วย การตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพด้วยวิธีพอร์ทเนอร์ การจับคู่คุณลักษณะที่มีความสอดคล้องกันและกำจัดข้อมูลที่ไม่สอดคล้องด้วยวิธีการหาความสอดคล้องข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่ม และใช้เทคนิคการปรับแก้แบบกลุ่มในการรวมภาพทั้งหมดด้วยการปรับตำแหน่งของภาพผลลัพธ์ แล้วนำอัลกอริทึมที่ออกแบบไปทำการทดสอบรวมภาพด้านลอนของกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 5 ภาพ ด้วยโปรแกรม HALCON จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถรวมภาพด้านลอนของกระดาษลูกฟูกได้โดยมีพื้นที่ซ้อนทับกันของภาพที่นำมาต่อที่ 25 เปอร์เซ็นต์ และนำภาพที่ได้จากเทคนิคการต่อภาพมานับจำนวนกระดาษด้วยมือเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริงพบว่าสามารถนับได้จำนวนเท่ากัน หรือมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: กล้องรับภาพแบบพื้นที่ เทคนิคการต่อภาพ การนับจำนวนกระดาษลูกฟูก

บทนำ

ในปัจจุบันกระดาษลูกฟูกถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการใส่สิ่งของ เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และน้ำหนักเบา ดังนั้นการตรวจนับจำนวนกระดาษในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษลูกฟูกให้มีจำนวนที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกจะถูกวางซ้อนกันเป็นกองขนานสูง ทำให้การใช้คนมานับเป็นเรื่องที่ไม่ง่าย และอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำระบบตรวจนับด้วยกล้องเข้ามาใช้งานแทน และจะทำการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกมีประสิทธิภาพและให้ความแม่นยำมากขึ้น

สำหรับวิธีการตรวจสอบจำนวนกระดาษลูกฟูกด้วยระบบการตรวจนับด้วยกล้องเป็นวิธีที่ให้แม่นยำ โดย Balestrino A. Landi, A. and Pacini, L. [1] ได้นำระบบการตรวจนับด้วยกล้องเข้าตรวจหาความสูงของกองกระดาษลูกฟูกทั้งหมดแล้วเฉลี่ยด้วยความสูงของกระดาษแต่ละแผ่นซึ่งพบว่าเกิดความผิดพลาดน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้แนะนำให้มีการปรับปรุงแหล่งกำเนิดแสง C. Suppitaksakul and M. Rattanakorn [2] ในเบื้องต้นได้นำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพเนื่องจากมีราคาถูก แต่มีพื้นที่ในการรับภาพจำกัดจึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบกระดาษลูกฟูกที่วางเป็นกองสูงได้ ต่อมาจึงได้นำกล้องชนิดรับภาพแบบเส้นมาใช้งานซึ่งสามารถถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกอย่างต่อเนื่องและให้ความถูกต้องในการตรวจสอบเมื่อกรณีขอบกระดาษลูกฟูกวางเรียงเสมอกัน ซึ่งกล้องชนิดรับภาพแบบเส้นเป็นกล้องที่มีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนในการสร้างชุดตรวจนับกระดาษลูกฟูกมีราคาสูง เพื่อเป็นการลดต้นทุนให้ถูกลง บทความนี้จึงศึกษาวิธีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพกระดาษลูกฟูก

การรับภาพของกล้องแบบพื้นที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่การมองเห็นของกล้อง ทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพกองกระดาษลูกฟูกที่มีขนาดสูงได้อย่างครอบคลุม ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาโดยการถ่ายภาพจำนวนหลายภาพแล้วนำมารวมกัน V. S. Sakharkar [3] ได้นำเสนอเทคนิคการต่อภาพ (Image Stitching) เพื่อรวมภาพเข้าด้วยกัน โดยต้องมีส่วนที่ซ้อนทับระหว่างภาพที่อยู่ติดกัน เพื่อใช้เป็นบริเวณอ้างอิงในการต่อภาพ Shikha, A. [4] และ Moushumi, Z. B. and Mohammad, S. U [5] ได้นำเทคนิคการต่อภาพมาสร้างภาพพาโนรามาโดยใช้วิธีการหาคุณลักษณะภาพเพื่อตรวจหาลักษณะภาพในบริเวณที่ซ้อนทับกัน และพบว่าลักษณะที่เป็นมุมจะสามารถตรวจหาได้ง่ายและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพ D. Jiang and J. Yi [6] ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจหาคุณลักษณะภาพโดยทดสอบกับภาพที่มีการปรับขนาด การหมุนภาพ ภาพที่มีความสว่างต่างกัน และภาพที่ถูกปรับทอน ซึ่งพบว่าวิธีพอร์ทเนอร์

(Foerstner) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการนำมาใช้งานสามารถตรวจหาคุณลักษณะภาพได้ใกล้เคียงกับวิธี SUSAN ซึ่งเป็นวิธีที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพได้ดีที่สุดแต่มีความซับซ้อนในการนำมาใช้งาน Hicham, T., Omar, E. K. and Youssef, Z. [7] ทำการตรวจสอบแผนกโซลาร์เซลล์จากภาพถ่ายจำนวนมาก และได้นำเทคนิคการต่อภาพมาใช้เพื่อรวมภาพที่ถ่ายได้ทั้งหมดก่อนนำไปตรวจสอบ สำหรับการจับคู่แต่ละภาพได้เลือกวิธีการหาความสอดคล้องข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่ม (RANSAC) มาจัดการกับคุณลักษณะที่ไม่ต้องการเพื่อทำให้ภาพสามารถต่อกันได้ถูกต้อง สำหรับการรวมภาพที่มีจำนวนมากอาจทำให้ภาพผลลัพธ์ไม่ได้ตามตรงการเนื่องจากการจัดเรียงถูกรวมกันผิดพลาด และยากที่จะกำจัดได้ Xianyong Fang, Bin Luo and Haifeng Zhao [8] ได้นำเสนอวิธีการรวมภาพที่ถูกนำมาต่อกันด้วยการปรับแก้แบบกลุ่ม (Bundle Adjustment) เพื่อไม่ให้ตำแหน่งการรวมภาพเกิดความผิดพลาด บทความนี้ได้ศึกษาวิธีการนำเทคนิคการต่อภาพมาใช้ในการรวมภาพกระดาดลูกฟูกที่ได้รับจากกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ เพื่อให้ได้ภาพกระดาดลูกฟูกที่ครอบคลุมทั้งหมด และสามารถนำไปตรวจนับจำนวนกระดาดลูกฟูกต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ชนิดกระดาดลูกฟูก

กระดาดลูกฟูกได้รับความนิยมในการนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่สิ่งของ ซึ่งกระดาดลูกฟูกจะประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่เป็นลอนลูกฟูก และส่วนแผ่นกระดาดเรียบที่นำมาประกบเข้ากับลอนลูกฟูก ดังรูปที่ 1.2 สำหรับตัวลอนลูกฟูกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งจะทำให้กระดาดมีความแข็งแรง และสามารถต้านทานแรงกดจากรอบทิศทางได้ กระดาดลูกฟูกมีหลายชนิดโดยขึ้นอยู่กับชนิดของลอน ในขณะที่แต่ละชนิดจะมีขนาดและความสูงที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดกระดาดลูกฟูก [2]

ชนิด	จำนวนแผ่นกระดาดลูกฟูก	ความสูงของแผ่นลูกฟูก
A	1 แผ่น	4.50 มิลลิเมตร
B	1 แผ่น	2.50 มิลลิเมตร
C	1 แผ่น	3.50 มิลลิเมตร
E	1 แผ่น	1.20 มิลลิเมตร
BA	2 แผ่น	7.00 มิลลิเมตร
BC	2 แผ่น	6.00 มิลลิเมตร

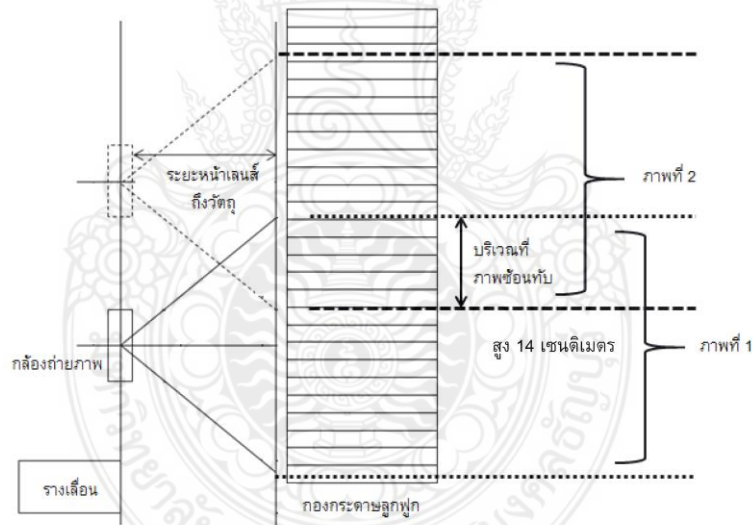
สำหรับกระดาดลูกฟูกที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องทำการตัดให้มีขนาดตามที่ต้องการ จากนั้นจะถูกวางซ้อนกันเป็นกอง สำหรับการนับจำนวนกระดาดลูกฟูกจะพิจารณาจากด้านของกระดาด ดังรูปที่ 1.1 ได้แก่ ด้านรอยตัดมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยการหาจำนวนกระดาดลูกฟูก 1 แผ่น ของทางด้านรอยตัดจะดูจากจำนวนเส้นขอบกระดาด ซึ่งประกอบด้วยเส้นตรง 2 เส้น หรือ 3 เส้น และทางด้านลอนสามารถหาจากจำนวนแถวของลอน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาดลูกฟูกที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 1 กระดาษลูกฟูกชนิด BC

การรับภาพ

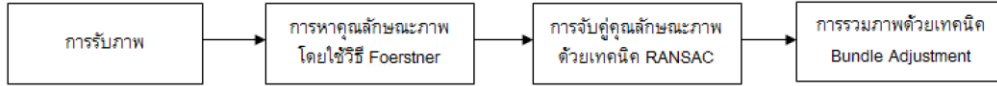
ในส่วนของการรับภาพจะใช้กล้องโมโนโครมชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ซึ่งมีการสื่อสารแบบ GigE โดยมีความละเอียดเท่ากับ 640x480 จุดภาพ มาใช้ในการรับภาพทางด้านลอนลูกฟูก ซึ่งกล้องจะถูกติดตั้งอยู่บนแท่นเลื่อนเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปรับภาพ ณ ตำแหน่งตามความสูงของกองกระดาษได้ ดังรูปที่ 2 และส่งข้อมูลภาพมายังโปรแกรม HALCON เพื่อทำการประมวลผลสำหรับรวมภาพเข้าด้วยกันในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2 การรับภาพโดยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

เทคนิคการต่อภาพ

การต่อภาพ (Image Stitching) คือวิธีการนำภาพจำนวนหลายภาพมารวมกัน โดยกำหนดให้มีส่วนของภาพซ้อนทับกันเพื่อใช้เป็นบริเวณอ้างอิงในการต่อภาพ ทำให้สามารถสร้างภาพที่มีมุมมองการมองเห็นได้กว้างขึ้น เทคนิคการต่อภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การสร้างภาพถ่ายทางดาวเทียม และการสร้างแผนที่ดิจิทัล [3] เป็นต้น สำหรับบทความนี้เทคนิคการต่อภาพถูกนำมาใช้ในการรวมภาพทางด้านลอนลูกฟูกโดยมีอัลกอริทึม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนกระดาดาลูกฟูก

การหาคุณลักษณะภาพ

ภาพที่นำมาใช้ในการต่อภาพจะมีส่วนซ้อนทับระหว่างภาพที่อยู่ติดกัน การหาคุณลักษณะภาพเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วและแม่นยำ จึงทำให้สามารถหาความสอดคล้องของส่วนที่ซ้อนทับกันได้ ซึ่งเป็นการหาคุณลักษณะที่มีความโดดเด่นและแตกต่างไปจากบริเวณโดยรอบ สำหรับชนิดของคุณลักษณะภาพ ได้แก่ จุด มุม เส้น และพื้นที่ เป็นต้น จะถูกนำไปใช้หาความสอดคล้องของแต่ละภาพเพื่อให้ภาพสามารถต่อกันได้ ในบทความนี้คุณลักษณะของภาพด้านลอนกระดาดาลูกฟูกถูกรับปรุงให้มีความชัดเจนโดยการเบลอภาพด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน ดังสมการที่ (1) [9] เพื่อเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพออกไป จากนั้นจึงทำการหาคุณลักษณะของมุมภาพด้วยวิธีฟอรัทเนอร์ (Foerstner) โดยพิจารณาหามุมจากจุดภาพ สำหรับภาพด้านลอนของกระดาดาลูกฟูกจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นพื้นหลัง และเส้นลอนลูกฟูก ซึ่งเป็นบริเวณที่ระดับความเข้มสีต่างกันจะทำให้เกิดเป็นจุดตัดขึ้นที่ระหว่งมุมของจุดภาพทำให้สามารถหาคุณลักษณะของภาพได้

$$L(x, y) = G(x, y) * \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) L คือ ภาพที่ผ่านการกรองแล้ว $I(x, y)$ คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของแต่ละภาพ สำหรับ * คือ การคอนโวลูชันบนภาพ I และ G คือ ตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีขนาด σ ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (2) [9] โดยที่ σ คือ ตัวแปรขนาดของการเบลอหากมีค่ามากจะยิ่งทำให้เบลอมาก และ (x, y) คือ พิกัดบนภาพ

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

สำหรับภาพที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาตรวจหามุมด้วยวิธีฟอรัทเนอร์ ดังสมการที่ (3) [9] โดยที่ $H(x, y)$ คือ ค่าที่ถูกคำนวณจากจุดภาพเพื่อหามุมโดยจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดรอบๆ

$$H(x, y) = \frac{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 - \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

การจับคู่คุณลักษณะภาพ

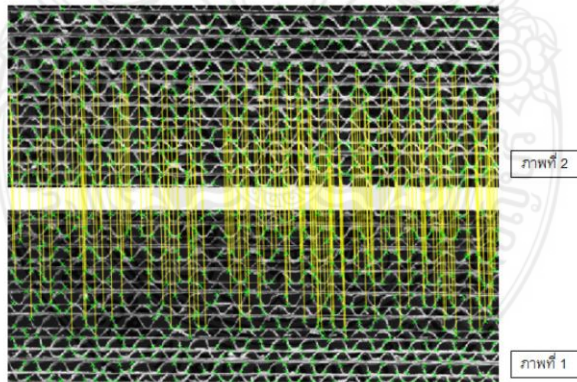
ขั้นตอนนี้เป็นารจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน เป็นการหาคุณลักษณะทั้งหมดที่เกิดขึ้นในภาพ โดยลักษณะที่หาได้จะมีส่วนที่แต่ละภาพนั้นไม่สอดคล้องกันรวมอยู่ด้วยซึ่งจะทำให้การจับคู่เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจำเป็นต้องกำจัดส่วนที่ไม่สอดคล้องกันออกไปโดยใช้วิธีการประมาณการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบเรขาคณิต (Geometrical Transformation Estimation) ซึ่งเป็นการหาตำแหน่งคุณลักษณะที่ความสอดคล้องกัน โดยจะทำการหาในรูปแบบของเมตริกซ์ ดังสมการที่ 4 [7] เมื่อ $(x, y, 1)$ คือ ตำแหน่งจุดภาพในภาพหลัก ส่วน $(x', y', 1)$ คือ ตำแหน่งจุดภาพที่สอดคล้องกัน และ H คือเมตริกซ์ลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H1 & H2 & H3 \\ H4 & H5 & H6 \\ H7 & H8 & H9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

สำหรับคุณลักษณะภาพลอนลูกฟูกที่ไม่สอดคล้องกันจะถูกกำจัดโดยใช้วิธีการหาความสอดคล้องข้อมูลตัวอย่างด้วยวิธีแบบสุ่ม (Random Sample Consensus หรือ RANSAC) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าการประมาณที่แม่นยำ โดยค่าข้อมูลของคุณลักษณะภาพจะถูกทำการประมาณและทำซ้ำหลายครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการด้วยหลักการสุ่มข้อมูล แล้วทำการคำนวณหาข้อมูลที่สอดคล้องกัน เพื่อกำจัดข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกันออกไป โดยจะทำวนซ้ำไปจนกว่าข้อมูลที่สุ่มมีความสอดคล้องเหมือนกันทั้งหมด ซึ่งการประมาณจะหาจากระยะห่างระหว่างคู่คุณลักษณะที่เหมือนกันนำมาเทียบกับระยะของค่ากำหนดขีดแบ่ง สำหรับข้อมูลของคุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกันจะมีระยะห่างน้อยกว่าค่ากำหนดขีดแบ่ง ซึ่งสามารถหาระยะห่างได้ ดังสมการที่ 5 [7]

$$D = \sum_{n=1}^M \min(D(K'_n, \varphi(K_n : H)T)) \quad (5)$$

เมื่อ T คือ ค่ากำหนดขีดแบ่งซึ่งเป็นค่าคงที่ M คือ จำนวนคุณลักษณะทั้งหมด D คือ ระยะห่างระหว่างคุณลักษณะของภาพ K และ K'



รูปที่ 4 การจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน

จากรูปที่ 4 แสดงการจับคู่คุณลักษณะภาพด้านลอนลูกฟูกด้วยมุมระหว่างสองภาพ โดยจุดสีเขียวแสดงคุณลักษณะของภาพที่ตรวจหาได้ และเส้นสีเหลืองแสดงคุณลักษณะมุมแต่ละภาพที่สอดคล้องกัน

การรวมภาพ

หลังจากหาความสอดคล้องของคุณลักษณะภาพได้แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำภาพทั้งหมดมารวมกันและเพื่อให้ภาพที่เป็นผลลัพธ์มีโครงสร้างตรงกับภาพจริงจึงต้องทำการปรับตำแหน่งของภาพผลลัพธ์โดยใช้วิธีการปรับแก้แบบกลุ่ม (Bundle Adjustment) เป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำ ทนทานสูง และมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยที่สุด โดยกำหนดให้มีภาพอ้างอิงหนึ่งภาพและจากนั้นภาพที่เหลือจะถูกย้ายตำแหน่งเพื่อปรับตำแหน่งภาพให้มีความเหมาะสมในการต่อกัน

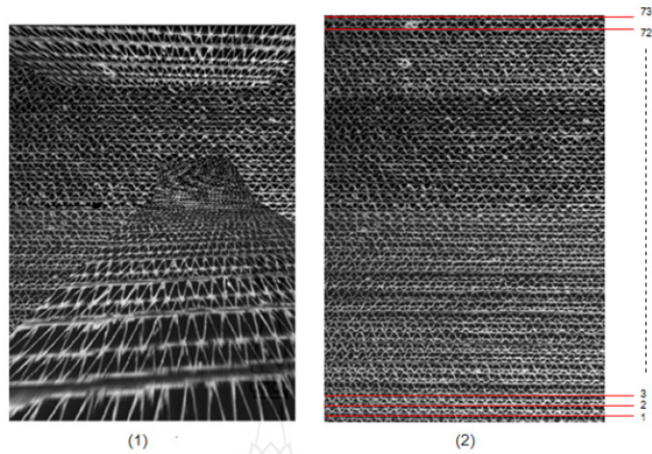
ผลและอภิปรายผล

อัลกอริทึมที่นำเสนอถูกนำมาเขียนโดยใช้โปรแกรม HALCAON เพื่อทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม สำหรับกระดาดลูกฟูกที่นำมาทดสอบเป็นแบบชนิด BC จำนวน 73 แผ่น ซึ่งถูกถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ความยาวโฟกัส 12 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างกล้องกับกองกระดาด 480 มิลลิเมตร ในการที่ภาพจะสามารถต่อกันได้ต้องกำหนดให้มีส่วนซ้อนทับของภาพที่อยู่ติดกันเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการต่อภาพ ดังนั้นการทดสอบจึงกำหนดขนาดพื้นที่การซ้อนทับกันของภาพเพื่อหาค่าที่มีขนาดน้อยที่สุด และสามารถต่อภาพได้อย่างถูกต้อง ภาพที่สามารถต่อกันได้จะถูกนำมานับจำนวนกระดาดเพื่อหาความถูกต้องในการรวมภาพ โดยจะเปรียบเทียบการนับจำนวนจากภาพที่ต่อได้ กับกระดาดที่นำมาใช้งานจริง สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ

พื้นที่การซ้อนทับระหว่างภาพ	จำนวนภาพที่นำมาต่อ	ทดสอบการต่อภาพ			จำนวนแผ่นกระดาดลูกฟูก		เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	กระดาดลูกฟูกที่ใช้งานจริง	กระดาดลูกฟูกจากการต่อภาพ	
5.00 เปอร์เซ็นต์	4 ภาพ	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	73 แผ่น	ไม่สามารถนับได้	0 เปอร์เซ็นต์
10.00 เปอร์เซ็นต์	4 ภาพ	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	73 แผ่น	ไม่สามารถนับได้	0 เปอร์เซ็นต์
15.00 เปอร์เซ็นต์	4 ภาพ	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	73 แผ่น	ไม่สามารถนับได้	0 เปอร์เซ็นต์
20.00 เปอร์เซ็นต์	4 ภาพ	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	73 แผ่น	ไม่สามารถนับได้	0 เปอร์เซ็นต์
25.00 เปอร์เซ็นต์	4 ภาพ	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
30.00 เปอร์เซ็นต์	5 ภาพ	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์
35.00 เปอร์เซ็นต์	5 ภาพ	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	ต่อภาพได้	73 แผ่น	73 แผ่น	100 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบพบว่าภาพด้านลอนลูกฟูกสามารถต่อกันได้เมื่อมีพื้นที่การซ้อนทับกันของภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งครอบคลุมจำนวนกระดาดลูกฟูก 5 แผ่น และใช้ภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพ จึงจะสามารถถ่ายภาพกระดาดลูกฟูกได้ครบทั้ง 73 แผ่น สำหรับพื้นที่การซ้อนทับที่น้อยกว่าจะทำให้การต่อภาพเกิดความผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 และพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถต่อภาพด้านลอนลูกฟูกได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5 ผลการรวมภาพด้วยเทคนิคการต่อภาพที่พื้นที่การซ้อนทับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนออัลกอริทึมการรวมภาพด้านลอนลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ ประกอบไปด้วยการหาคุณลักษณะภาพด้วยวิธีฟอเรนเนอร์ การจับคู่คุณลักษณะภาพด้วยวิธีการหาความสอดคล้องของข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่ม และทำรวมภาพด้วยวิธีการปรับแก้แบบกลุ่ม โดยทำการทดสอบอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม HALCON จากผลการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถรวมภาพด้านลอนของกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้องเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับกันระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ และผลการนับกระดาษลูกฟูกด้วยการนับจากภาพมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการนับจำนวนกระดาษจริง โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถนำไปทดสอบด้วยการนับแบบอัตโนมัติต่อไป สำหรับการรับภาพจำเป็นต้องให้การจับภาพมีความนิ่งเพื่อทำให้การต่อภาพมีความถูกต้อง และต้องมีการให้แสงสว่างสม่ำเสมอเพื่อให้ภาพมีความคมชัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณโครงการวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2560

บรรณานุกรม

- [1] A Balestrino, A Landi and L. Pacini. (2006). Machine Vision system for monitoring the production of corrugated card board. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications.
- [2] C. Suppitaksakul and M. Rattanakorn. (2014). Machine Vision System for Counting the Number of Corrugated Cardboard. Proceedings of the 2014 IEEE International Electrical Engineering Congress.
- [3] V. S. Sakharkar. Image Stitching Techniques-An overview. International Journal of Computer Science and Applications 2013; 6(2), 324-330.
- [4] A. Shikha. A Review on image Stitching and its Different Methods. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 5, 2015.
- [5] Z. B. Moushumi and S. U. Mohammad. (2016). Feature-Based Image Stitching Algorithms. Proceedings of the 2016 IEEE International Workshop on Computational Intelligence.
- [6] D. Jiang and J. Yi. (2012). Comparison and Study of Classic Feature Point Detection Algorithm. Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Service System.

- [7] T. Hicham, E K Omar and Z. Youssef. (2016). Automation Inspection of Solar Panels Based on Images Stitching Technique. Proceedings of the 2016 IEEE International Renewable and Sustainable Energy Conference.
- [8] X. Fang, B. Luo and H. Zhao. (2009). A 5-Parameter Bundle Adjustment Method for Image Mosaic. Proceedings of the 2009 Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science.
- [9] A. R. Varkonyi-Koczy, A. Rovid and E. Selenyi. A New Corner Detector Supporting Feature Extraction for Automatic 3D Reconstruction. Department of Measurement and Information System, Budapest University of Technology and Economics.





มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

ผลงานเรื่อง การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ
โดย วนิตา สุวรรณกิจ จิรวินน์ แก้วกุมาร และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ได้ร่วมนำเสนอผลงาน ภาคบรรยาย (Oral presentation) กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การประชุมวิชาการระดับชาติ วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ ๑๐
ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๘ เดือนมีนาคม พุทธศักราช ๒๕๖๑

(ศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อภิวัฒน์ สุประเสริฐ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการสังคม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทยพันธ์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม
ประธานจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ ๑๐





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวนิตา สุวรรณกิจ
วัน เดือน ปีเกิด 26 กุมภาพันธ์ 2536
ที่อยู่ 49/1 หมู่ 8 ตำบลสามตุ่ม อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา ปี 2558
เบอร์โทรศัพท์ 084-942-8739
Email wanida_su@mail.rmutt.ac.th, wanida.suwannakit99@gmail.com

