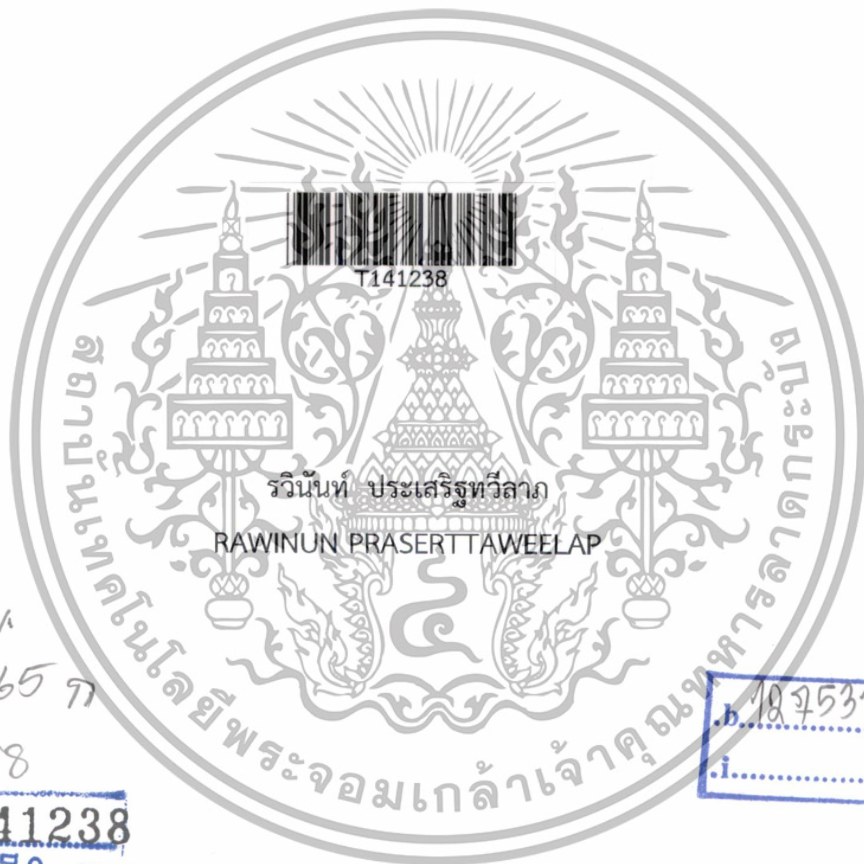


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาวงจรไฟฟ้าบนหัวอ่านแม่เหล็กเพื่อการจำแนกชนิด
ของวงจรถ่ายอ่านแม่เหล็กในระบบอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพ
และเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล

A STUDY ON HEAD GIMBAL ASSEMBLY CIRCUIT
FOR CLASSIFICATION IN AUTOMATION SYSTEM WITH
IMAGE PROCESSING AND CLUSTERING TECHNIQUES



จพ.
5165 ก
2558

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 141238
วันเดือนปี... 8 มี.ค. 2559

b. 187531ด1
i.....

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558
KMITL-2015-EN-M-020-198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON HEAD GIMBAL ASSEMBLY CIRCUIT
FOR CLASSIFICATION IN AUTOMATION SYSTEM WITH
IMAGE PROCESSING AND CLUSTERING TECHNIQUES



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMUTL-2015-EN-M-020-198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวงจรบนหัวอ่านแม่เหล็กเพื่อการจำแนกชนิดของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กในระบบอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพและเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล

Thesis Title A Study on Head Gimbal Assembly Circuit for Classification in Automation System with Image Processing and Clustering Techniques

นักศึกษา นางสาววรินทร์ ประเสริฐทวิลาภ

รหัสประจำตัว 57601087

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

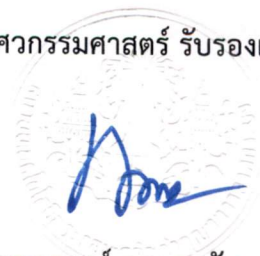
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-020-198

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.อิสระชัย	งามหรุ	
ผศ.ดร.ศิริเดช	บุญแสง	
ผศ.ดร.คมสันต์	หงษ์สมบัติ	
รศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวินเลิศ	
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2558 เวลา 11.30-13.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 5

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องคงอย่างงถึงต้นฉบับ

วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวงจรไฟฟ้าบนหัวอ่านแม่เหล็กเพื่อการจำแนกชนิดของ วงจรถ่านแม่เหล็กในระบบอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพ และเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล
นักศึกษา	นางสาวรวินันท์ ประเสริฐทวีลาภ
รหัสประจำตัว	57601087
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญเพราะการจัดเก็บข้อมูลต่างๆมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หนึ่งในส่วนประกอบสำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือหัวอ่านแม่เหล็ก ซึ่งการผลิตหัวอ่านแม่เหล็กในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการเชื่อมวงจรทางไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็กในกระบวนการด้วยโลหะตะกั่วสำหรับบัดกรี ซึ่งทั้งนี้ การเชื่อมวงจรไฟฟ้าผ่านเครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถทำให้เกิดงานเสียจากการเชื่อมวงจรได้ 4 แบบ คือ กลุ่มวงจรที่เชื่อมไปยังวงจรข้างเคียง (bridging) กลุ่มวงจรที่มีรอยไหม้ (burn) กลุ่มวงจรที่เชื่อมไม่สมบูรณ์ (no connect) และกลุ่มวงจรที่ไม่มีการเชื่อมต่อกัน (missing) ในปัจจุบัน วิธีการตรวจสอบวงจรหัวอ่านแม่เหล็กที่เป็นงานเสีย ผ่านการตรวจสอบโดยผู้ดำเนินการหน้างาน ด้วยวิธีการมองชิ้นงานผ่านกล้องไมโครสโคปขนาดกำลังขยาย 30 เท่า ผู้ทำการตรวจสอบชิ้นงาน จะผ่านการเรียนรู้ชนิดของงานเสียและลักษณะของงานดีมาแล้ว งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอกระบวนการใหม่ สำหรับตรวจสอบชนิดของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กด้วยวิธีประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เทคนิคการประมวลผลภาพและการจัดกลุ่มข้อมูลถูกนำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ด้วย เทคนิคที่ใช้ในการคัดเลือกวิธีและจำนวนคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดคือการค้นหาแบบ branch and bound จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคนี้สามารถหาคำตอบการจัดกลุ่มได้ถูกต้องมากกว่า 99% โดยมีภาพตัวอย่าง 300 ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on Head Gimbal Assembly Circuit for Classification in Automation System with Image Processing and Clustering Techniques
Student	Miss Rawinun Praserttaweelap
Student ID.	57601087
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai

ABSTRACT

Nowadays, hard disk drive industry is the one important industry because data storages are necessary for human life. The important component of hard disk drive is the Head Gimbal Assembly (HGA). The method to build HGA has the electrical inter connection with laser soldering in automation process. Currently, the automation laser soldering can generate the defect HGA part. Four types of defect types which are bridging, burn, no connect, and missing. The inspection method on defect parts is completed by operator with 30X microscope. The operator must be completed the learning process of shape between the good part and defect part. This research focuses on the new automation concept for inspection the HGA circuit in each type. The new automation process is an algorithm via computer with the image processing and clustering techniques. The proposed technique for determining the optimal method and features for this problem is branch and bound search technique. As results indicated, the accuracy of clustering technique is more than 99% with 300 sampling images.

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่องการศึกษาวงจรไฟฟ้าบนหัวอ่านแม่เหล็กเพื่อการจำแนกชนิดของวงจรถ่ายอ่านแม่เหล็กในระบบอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพและเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลแบบต่างๆ สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะของผู้จัดทำ และได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนจากบุคคล รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหลายๆ ฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายชื่อดังต่อไปนี้

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณในความกรุณา รศ. ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางจนโครงการชิ้นนี้สำเร็จตามเป้าหมาย ขอขอบพระคุณนายภูมิ คงห้วยรอบและนายนิสิต กิวัฒนา นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณนายสัญญา ทองจันทร์ นายเกรียงชัย เลิศรุ่งเรือง นายธีรศักดิ์ ทรงประเสริฐชัย นายภูมิศักดิ์ งามวงษ์วาน และนายเชิวชาญ ตั้งกองเกียรติ วิศวกร บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยในระดับปริญญาโทนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณนางศรภมล แซ่พั้ว มารดา นายพศิน ประเสริฐทวีลาภ พี่ชาย และนางสาว ไศรยา ประเสริฐทวีลาภ พี่สาว ที่ให้แรงบันดาลใจ และกำลังใจที่เต็มมาตลอด รวมทั้งคอยสนับสนุนในทุกๆ อย่างให้มีจนถึงวันนี้

รวินันท์ ประเสริฐทวีลาภ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive).....	5
2.2 หัวอ่านแม่เหล็ก (Head Gimbal Assembly).....	8
2.2.1 วงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่านแม่เหล็ก.....	9
2.2.2 ส่วนประกอบของหัวอ่านแม่เหล็ก.....	9
2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของหัวอ่านแม่เหล็ก.....	10
2.3 ระบบการตรวจจับแบบวิทซ์นีย์.....	11
2.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับแบบวิทซ์นีย์.....	11
2.3.1.1 กล้อง.....	11
2.3.1.2 เลนส์.....	11
2.3.1.3 แสง.....	11
2.3.1.4 สี.....	14
2.3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น.....	15
2.3.2.1 การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น.....	15
2.3.2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.3 การสร้างแกน x-y ของภาพจากการหาตำแหน่งต้นแบบ	17
2.3.2.4 การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ	18
2.3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากส่วนที่สนใจ	20
2.4 การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล (Feature selection)	21
2.5 วิธีจัดหมู่ (Combination).....	22
2.6 การจำแนกประเภทของข้อมูล (Classification).....	23
2.7 การจัดกลุ่มข้อมูล (Clustering).....	24
2.7.1 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย K (K-Means Clustering).....	24
2.7.2 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนน (Kohonen Clustering).....	26
2.7.3 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีฟัซซีค่าเฉลี่ยซี (Fuzzy C-Means Clustering).....	26
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)	28
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	31
3.1 การวิเคราะห์รูปภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก	31
3.2 การประมวลผลภาพ	33
3.3 การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูลด้วยการค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด	35
3.4 การจัดกลุ่มข้อมูลจากตัวแปรที่ได้	40
3.5 การออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	42
4.1 ข้อมูลภาพจากกระบวนการประมวลผลภาพ	42
4.2 ผลการทดลองหลังจากผ่านกระบวนการ Branch and Bound (BNB)	47
4.3 การทดสอบระบบ	54
4.4 การนำไปประยุกต์ใช้	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	62
5.3 แนวทางการพัฒนา	63
เอกสารอ้างอิง.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	68
ภาคผนวก ข. ภาพจากเครื่องจักรที่ใช้ทดสอบ.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	5
2.2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	7
2.3 การประกอบหัวอ่านแม่เหล็กเป็นชุด (stack) ก่อนประกอบเข้ากับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	8
2.4 การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็กด้วยกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 30 เท่า.....	8
2.5 หัวอ่านแม่เหล็ก.....	9
2.6 แชนยัด.....	10
2.7 หัวอ่าน.....	10
2.8 ปัจจัยในการเลือกแสงกับแสงในแบบต่างๆ.....	12
2.9 การให้แสงจากลักษณะและคุณสมบัติของผิววัตถุ.....	12
2.10 เทคนิคการให้แสงด้านหลัง.....	13
2.11 เทคนิคการให้แสงโดยตรง.....	13
2.12 เทคนิคการให้แสงแบบมีสื่อ.....	13
2.13 เทคนิคการให้แสงกระเจิงแบบโคม.....	14
2.14 เทคนิคการให้แสงกระเจิงแบบบนแกน.....	14
2.15 วงกลมสี.....	15
2.16 ลักษณะของกราฟฮิสโตแกรม.....	16
2.17 การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ; ก. ภาพต้นแบบ ข. ภาพหลังการทำ Erosion ค. ภาพหลังการทำ Dilate ง. ภาพหลังการทำ Opening จ. ภาพหลังการทำ Closing.....	17
2.18 ภาพต้นแบบที่ถูกสอนตำแหน่งแกน x-y.....	18
2.19 ภาพที่มีมุมที่เปลี่ยนไปจากภาพต้นแบบกับตำแหน่งแกน x-y.....	18
2.20 การตั้งค่า threshold แบบตายตัว (Fixed).....	19
2.21 การตั้งค่า threshold แบบยืดหยุ่นเป็นเปอร์เซ็นต์ (Relative).....	19
2.22 กราฟฮิสโตแกรมกับการวิเคราะห์ส่วนของพื้นหลังและส่วนที่สนใจ.....	20
2.23 วิธี Branch and Bound.....	22
2.24 โมเดลการจำแนกข้อมูล.....	23
2.25 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย K.....	25
2.26 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนน.....	26
2.27 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีฟัชซี ค่าเฉลี่ยซี.....	28

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 การจัดวางหัวอ่านแม่เหล็กในระบบตรวจจับแบบวิทซ์น์.....	31
3.2 ระบบการตรวจจับแบบวิทซ์น์ของวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็ก.....	32
3.3 วงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กด้วยระบบการตรวจจับแบบวิทซ์น์.....	33
3.4 การหารูปแบบของรูปภาพเพื่อสร้างแกน x-y.....	34
3.5 รูปภาพวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กหลังผ่านกระบวนการของบลิบ.....	35
3.6 การตั้งค่าเครื่องมือบลิบกับภาพวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็ก.....	35
3.7 ฟังก์ชันหลักที่ถูกกำหนดขึ้นบน MATLAB.....	37
3.8 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยที่ถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก.....	38
3.9 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มโคโฮเนนที่ถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก.....	38
3.10 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มแบบพีชชีค่าเฉลี่ยที่ถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก.....	38
3.11 ฟังก์ชันการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ถูกออกแบบขึ้นใน MATLAB.....	39
3.12 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูล.....	39
3.13 ฟังก์ชัน Branch and Bound บน MATLAB.....	39
3.14 การนำไปประยุกต์ใช้จริงจากผลลัพธ์การจัดกลุ่ม.....	41
4.1 รูปแสดงส่วนที่สนใจซึ่งถูกตรวจจับด้วยเครื่องมือบลิบทั้ง 9 วงจร.....	42
4.2 กราฟแสดงค่าข้อมูลมมของ 300 ตัวอย่าง.....	43
4.3 กราฟแสดงค่าข้อมูลพื้นที่ของ 300 ตัวอย่าง.....	43
4.4 กราฟแสดงค่าข้อมูลโมเมนต์ความเฉื่อยของ 300 ตัวอย่าง.....	44
4.5 กราฟแสดงค่าข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน X ของ 300 ตัวอย่าง.....	44
4.6 กราฟแสดงค่าข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน Y ของ 300 ตัวอย่าง.....	45
4.7 กราฟแสดงค่าข้อมูลความเป็นวงกลมของ 300 ตัวอย่าง.....	45
4.8 กราฟแสดงค่าข้อมูลเส้นรอบรูปของ 300 ตัวอย่าง.....	46
4.9 กราฟแสดงค่าข้อมูลอัตราส่วนโมเมนต์ของ 300 ตัวอย่าง.....	46
4.10 กราฟแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกจาก 765 เหตุการณ์.....	47
4.11 กราฟแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกตามลำดับ.....	49
4.12 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีค่าเฉลี่ย K ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 61.....	50
4.13 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีค่าเฉลี่ย K ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 60.....	51
4.14 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีพีชชีค่าเฉลี่ย ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 517.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 61 53
4.16	กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 517..... 54
4.17	รูปวงจรถ่ายอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 017..... 55
4.18	รูปวงจรถ่ายอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 023..... 55
4.19	รูปวงจรถ่ายอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 101..... 56
4.20	กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 017..... 57
4.21	กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 023..... 57
4.22	กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 101..... 58
4.23	ภาพวงจรที่เกิดการจับกลุ่มผิดพลาด..... 59
4.24	สคริป Visual Basic ที่ใช้เขียนใน Vision Pro..... 60
4.25	ตัวอย่างไฟล์ CSV เมื่อเปิดบน Microsoft Excel กับผลลัพธ์..... 61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 10 อันดับค่าคำตอบที่ดีที่สุดหลังการประมวลผล	48
4.2 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 61.....	50
4.3 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 60.....	51
4.4 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 517.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน มีการพัฒนาด้านกระบวนการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมถึงการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตให้สามารถก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในปัจจุบันได้ วิธีการที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาใช้ คือระบบสายการผลิตแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการใช้เครื่องจักรกับระบบควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติ เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว หนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่กำลังพัฒนาและปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตให้เป็นระบบอัตโนมัติ คือโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในอดีตจนถึงปัจจุบัน อาศัยเครื่องมือร่วมกับการใช้คนในกระบวนการผลิต โดยการใช้งานเครื่องมือในแต่ละอย่าง รวมถึงกระบวนการใช้นั้น ผู้ใช้งานจะต้องผ่านการเรียนรู้ ทำความเข้าใจในการใช้งานเครื่องมือเหล่านั้น ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกรณีข้างต้น ส่งผลในเรื่องของระยะเวลาในการดำเนินการ ความถูกต้องและความแม่นยำที่ขึ้นกับการเรียนรู้ของผู้ใช้งานที่มีความแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ ขั้นตอนการทำงานบางขั้นตอน อาจส่งผลกระทบต่อทั้งในทางตรงและทางอ้อมต่อผู้ใช้งานอีกด้วย จากผลกระทบข้างต้น สายการผลิตแบบอัตโนมัติจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ที่จะต้องมีการพัฒนาให้เกิดขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

จุดมุ่งหมายในการทำวิจัยนี้คือ ศึกษาการจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนการสอนกับการประมวลผลภาพในระบบอัตโนมัติ และแยกแยะลักษณะของวงจรไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็ก ทั้ง 5 แบบ

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของวงจรไฟฟ้าหัวอ่านแม่เหล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการในการประมวลผลภาพ

1.2.3 เพื่อศึกษาเทคนิคการจัดกลุ่มแบบไม่มีการเรียนการสอน

1.2.4 เพื่อศึกษาเทคนิคการคัดเลือกข้อมูลที่ดีที่สุด

1.2.5 เพื่อออกแบบรูปแบบการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.6 เพื่อออกแบบรูปแบบในการนำข้อมูลภาพมาประยุกต์ใช้

1.2.7 เพื่อออกแบบรูปแบบในการใช้ข้อมูลภาพกับการจัดกลุ่มข้อมูลภาพแบบไม่มีการเรียนการสอน

1.2.8 เพื่อออกแบบรูปแบบการคัดเลือกข้อมูลและค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด

1.2.9 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ รวมทั้งสร้างโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเพื่อจำแนกความแตกต่างของวงจรถั่วอ่านแม่เหล็กทั้ง 5 แบบ เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์และประมวลผลภาพวงจรถั่วอ่านแม่เหล็กด้วยการออกแบบลักษณะของโปรแกรม Vision Pro ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม มาประยุกต์ใช้กับภาพวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก หลังจากนั้น นำข้อมูลภาพซึ่งเป็นผลลัพธ์จากโปรแกรมที่ออกแบบไว้ใน Vision Pro มาเป็นตัวแปรต้นให้กับการประมวลผลบน MATLAB Simulink ในกระบวนการของการออกแบบฟังก์ชันบน MATLAB ข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มและนำมาเลือกหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 จัดเตรียมหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาหาวิธีการจำแนกข้อมูลของวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก
- 1.4.2 จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ
- 1.4.3 ออกแบบและสร้างโปรแกรมประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูล
- 1.4.4 ทดสอบและปรับปรุงการตั้งค่าให้เหมาะสมกับระบบการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก
- 1.4.5 สรุปผลของงานวิจัย เพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.5.1 โครงการวิจัยนี้ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำ เทคนิคการประมวลผลภาพ การตั้งค่าต่างๆ เทคนิคการปรับแต่งรูปภาพ และการนำข้อมูลภาพมาประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.2 ข้อมูลภาพบางข้อมูล แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทั้ง 5 กลุ่มวงจร หัวอ่านแม่เหล็ก

1.5.3 การจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนการสอนในแบบต่างๆ มีวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน แต่ถ้าหากข้อมูลที่ถูกเลือกใช้มีความสัมพันธ์กัน วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลวิธีใดก็ตาม จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน

1.5.4 เปลี่ยนระบบการตรวจลักษณะของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กด้วยวิธีการที่ใช้คนในการตรวจสอบ เป็นการตรวจสอบด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

1.5.5 โครงการวิจัยนี้เป็นการบูรณาการระหว่างวิทยาการทางด้านต่างๆ เช่น การประมวลผลภาพ การจัดกลุ่มข้อมูล และระบบคัดเลือกข้อมูลที่ดีที่สุด ซึ่งย่อมาก่อนให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ศึกษาค้นคว้าวิจัยในหัวข้อดังกล่าว

1.5.6 โครงการนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการพัฒนาในด้านการประมวลผลภาพและการจัดกลุ่มข้อมูล เพื่อนำไปใช้งานจริงได้

1.6 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกข้อมูลวงจรหัวอ่านแม่เหล็กด้วยกระบวนการประมวลผลภาพและการจัดกลุ่มข้อมูลในแบบต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ หัวอ่านแม่เหล็ก วงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่านแม่เหล็กและหน้าที่ของหัวอ่านแม่เหล็ก ระบบการตรวจจับแบบวีทีซีน การประมวลผลภาพเบื้องต้น การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล วิธีจัดหมู่ การจำแนกประเภทข้อมูล การจัดกลุ่มข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์รูปภาพของวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก การประมวลผลภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูลด้วยการค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด การจัดกลุ่มข้อมูลจากตัวแปรที่ได้ การออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 แสดงผลทดลองการทำงาน โดยเริ่มต้นจากผลข้อมูลภาพหลังจากกระบวนการประมวลผลภาพ ผลการทดลองหลังจากผ่านกระบวนการ Branch and Bound (BNB) การทดสอบระบบ การนำไปประยุกต์ใช้

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและจากการดำเนินการจัดทำโครงงานสรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิจัยนี้

ภาคผนวก บทควมวิชาการรวม 2 บทควมและภาพจากเครื่องจักรที่ใช้ทดสอบ



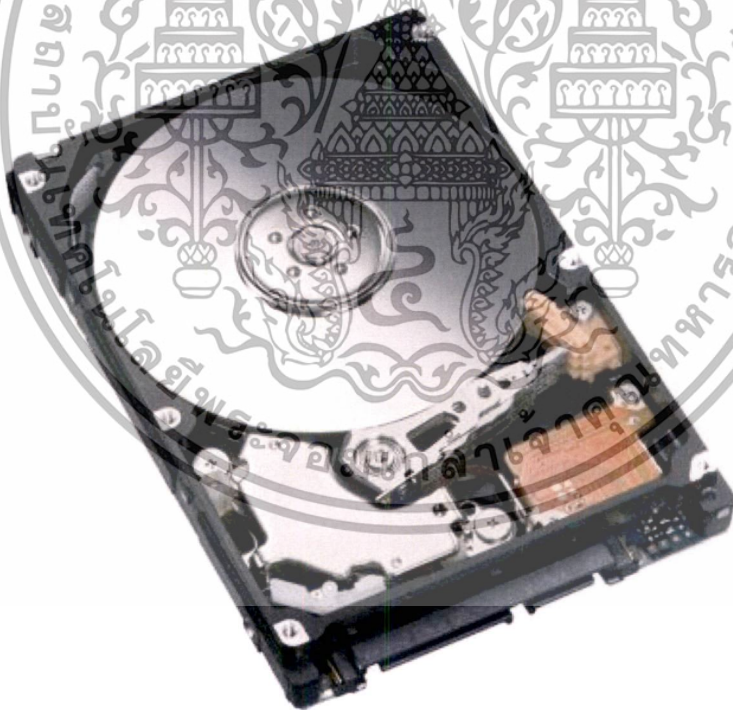
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นหนึ่งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยคุณสมบัติหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือการจัดเก็บข้อมูล การอ่านและการเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่อยู่บนแผ่นดิสก์ ซึ่งภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีแผ่นจานโลหะแม่เหล็กหรือแผ่นดิสก์ซึ่งมีสารแม่เหล็กเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วหรือแผ่นอลูมิเนียมที่มีความเรียบมาก ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อาจมีแผ่นดิสก์ มากกว่า 1 แผ่นก็ได้ ในขณะที่ทำงานแผ่นดิสก์จะเคลื่อนที่แบบหมุน โดยจะหมุนด้วยความเร็ว 7,200 ถึง 15,000 รอบต่อนาที และมีหัวอ่านแม่เหล็กเคลื่อนที่อยู่เหนือแผ่นจานแม่เหล็กในระยะสูง 10 ไมโครเมตร ลักษณะของส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แสดงดังรูปที่ 2.1



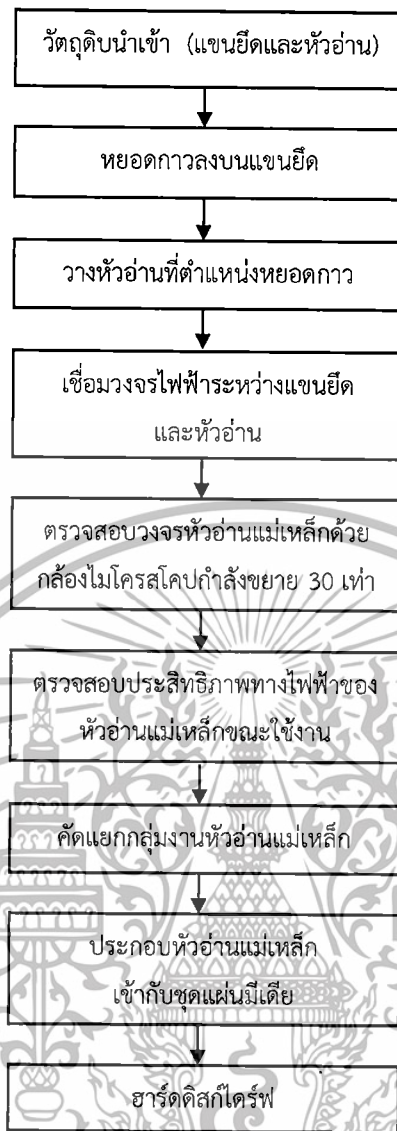
รูปที่ 2.1 ลักษณะของส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะพบว่า ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ อาทิเช่น แผ่นดิสก์ ส่วนของแขน และส่วนของหัวอ่านแม่เหล็ก โดยส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือ หัวอ่านแม่เหล็ก (Head Gimbal Assembly-HGA) เพราะมีหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลลงบน แผ่นดิสก์ กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะเริ่มต้นจากการนำวัตถุดิบนำเข้าไปที่เรียกว่า แขนยึด (suspension) และหัวอ่าน (slider) มาผ่านกระบวนการประกอบเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องหยอดกาว แบบอัตโนมัติ และเครื่องหยิบหัวอ่านอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การวางหัวอ่าน ลงบนตำแหน่งที่หยอดกาว ทำให้หัวอ่านและแขนยึด เกาะติดเป็นชิ้นเดียวกัน ชิ้นงานที่ได้หลังจากกระบวนการดังกล่าว เรียกว่า หัวอ่านแม่เหล็ก หลังจากนั้นหัวอ่านแม่เหล็กจะเข้าสู่กระบวนการของเครื่องเชื่อมวงจรทางไฟฟ้าแบบ อัตโนมัติ เพื่อเชื่อมวงจรไฟฟ้าระหว่างแขนยึดและหัวอ่านด้วยตะกั่วบัดกรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้นนี้ ผู้ดำเนินการหน้างานจะทำการตรวจสอบชิ้นงานว่า วงจรหัวอ่านแม่เหล็กที่เกิดการเชื่อมวงจรทางไฟฟ้านั้น ถูกเชื่อมวงจรอย่างสมบูรณ์หรือไม่ หาก วงจรไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็กมีลักษณะที่ผิดปกติไปจากวงจรต้นแบบ ผู้ดำเนินการหน้างานจะแยก กลุ่มงานชิ้นนั้นออกจากกระบวนการทันที แต่ทั้งนี้การตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าว ตรวจสอบผ่านกล้อง ไมโครสโคปขนาดกำลังขยาย 30 เท่า ซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลาในการผลิต ทำให้กระบวนการใน ปัจจุบัน ผู้ดำเนินการหน้างานจะทำการสุ่มเลือกการตรวจสอบงาน 25% จากงานผลิต 100% เพื่อลด ผลกระทบต่อเวลาที่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้ ผลกระทบที่ส่งผลต่อมาจากวิธีดังกล่าว จึงเป็นเรื่องคุณภาพของ งาน ที่อาจมีงานที่ไม่ได้คุณภาพ หลุดออกไปยังกระบวนการอื่นได้ นอกจากนี้ การตรวจสอบงานด้วย วิธีในปัจจุบันยังส่งผลกระทบต่อความอ่อนล้าทางสายตาของผู้ดำเนินการหน้างานอีกด้วย

หลังจากกระบวนการตรวจสอบวงจรไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็ก งานกลุ่มที่ผ่านการตรวจสอบ จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า เมื่อหัวอ่านแม่เหล็กทำงานอยู่บนแผ่น มีเดีย เพื่อนำกลุ่มงานดังกล่าว ไปตรวจสอบคุณภาพของหัวอ่านแม่เหล็กในแต่ละเงื่อนไข พร้อมทั้ง นำไปคัดแยกกลุ่มงานในแต่ละแบบ ก่อนที่จะนำหัวอ่านแม่เหล็กเหล่านั้น ไปประกอบเข้าด้วยกันเป็น ชุด (stack) และประกอบเข้ากับชุดแผ่นมีเดีย จึงได้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับอ่านและเขียนข้อมูล กระบวนการการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยสรุป แสดงดังรูปที่ 2.2

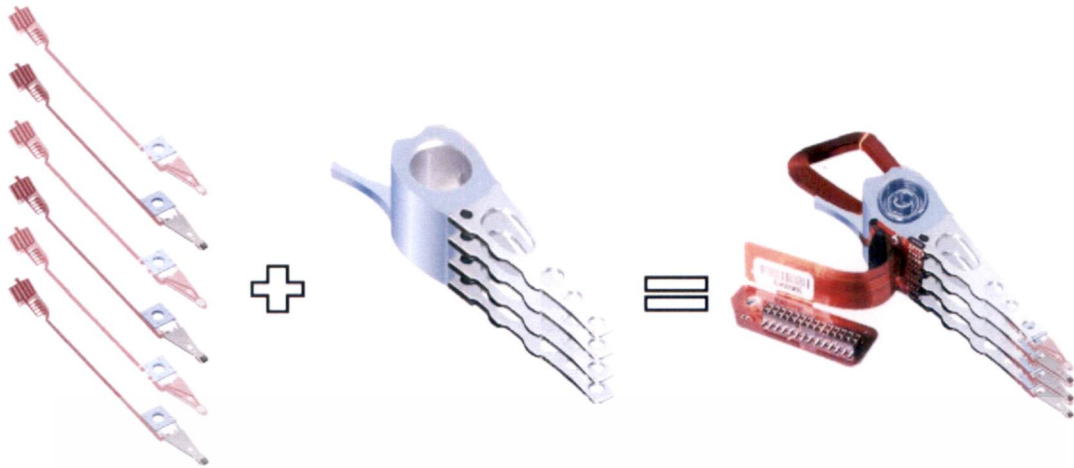
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



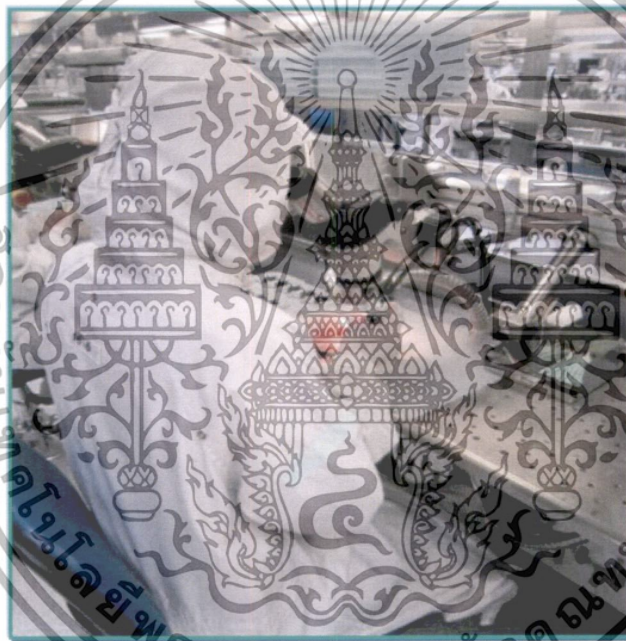
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]

กระบวนการก่อนนำหัวอ่านแม่เหล็กไปประกอบในชุดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น จะมีการประกอบหัวอ่านแม่เหล็กเป็นชุดก่อน ลักษณะการประกอบแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะมีผู้ดำเนินการหน้างานตรวจสอบวงจรไฟฟ้าก่อนการประกอบด้วยกล้องไมโครสโคปขนาด 30 เท่า ลักษณะการตรวจสอบงานแสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การประกอบหัวอ่านแม่เหล็กเป็นชุด (Stack) ก่อนประกอบเข้ากับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าของหัวอ่านแม่เหล็กด้วยกล่องไมโครสโคปกำลังขยาย 30 เท่า [1]

2.2 หัวอ่านแม่เหล็ก (Head Gimbal Assembly)

หัวอ่านแม่เหล็กจัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะประกอบไปด้วยหัวอ่านแม่เหล็กมากกว่า 1 หัวอ่านแม่เหล็ก ที่เคลื่อนที่อยู่เหนือแผ่นมีเดีย หน้าที่หลักของหัวอ่านแม่เหล็กคือการบินอยู่เหนือแผ่นมีเดียเพื่ออ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นมีเดีย ลักษณะของหัวอ่านแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หัวอ่านแม่เหล็ก [1]

2.2.1 วงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่านแม่เหล็ก

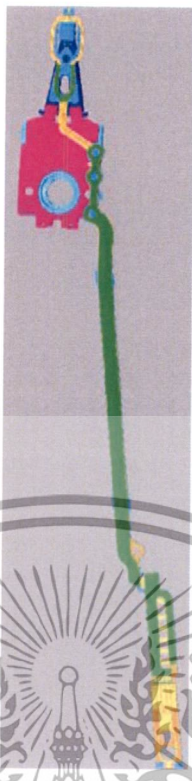
วงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่านแม่เหล็กประกอบไปด้วยวงจรรอ่าน (Reader) วงจรเขียน (Writer) วงจรฮีทเทอร์ (Heater) วงจรทีเอ (TA) และวงจรถั่วเก็บประจุ (Micro actuator) วงจรดังกล่าว ถูกเชื่อมต่อกันด้วยเส้นไฟ ซึ่งเป็นเส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าภายในตัวหัวอ่านแม่เหล็ก เราเรียกเส้นไฟดังกล่าวว่า ฟอส (FOS)

2.2.2 ส่วนประกอบของหัวอ่านแม่เหล็ก

หัวอ่านแม่เหล็ก เกิดจากการประกบกันระหว่างแกนยึด (Suspension) และหัวอ่าน (slider) โดยผ่านกระบวนการประกอบส่วนประกอบเหล่านี้เข้าด้วยกัน และทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า

2. 2.2.1 แกนยึด (Suspension) แกนยึดเป็นโครงสร้างของหัวอ่านแม่เหล็กที่จะนำไปยึดติดกับโครงสร้างอื่นๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของแกนยึดคือเส้นสายไฟ (trace) ซึ่งจะเป็นสายไฟที่เชื่อมวงจรมาจากส่วนด้านบนของแกนยึด มายังที่หางของแกนยึด ลักษณะของแกนยึดแสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แขนยึด [1]

2.2.2.2 หัวอ่าน (Slider) เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับหัวอ่านแม่เหล็ก มีหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นมีเดีย ลักษณะของหัวอ่านแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หัวอ่าน [1]

2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของหัวอ่านแม่เหล็ก

หน้าที่ของหัวอ่านแม่เหล็ก คือการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นมีเดีย ซึ่งภายในหัวอ่านนั้น จะมีขดลวดพันอยู่โดยรอบ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก การเขียนข้อมูล ใช้วิธีการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ซึ่งส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเปลี่ยนแปลงบนแผ่นมีเดีย ส่วนการอ่านข้อมูล จะรับค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นผ่านขดลวด แล้วแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณไปยังหน่วยประมวลผล การบวนการข้างต้นนี้ เกิดขึ้นในระหว่างที่หัวอ่านแม่เหล็กเคลื่อนที่อยู่เหนือแผ่นมีเดียที่กำลังหมุนอยู่ ทั้งนี้ ระยะห่างระหว่างหัวอ่านแม่เหล็กและแผ่นมีเดียจะมีค่าน้อยมาก เพื่อลดการสูญเสียสัญญาณ

2.3 ระบบการตรวจจับแบบวิทัศน์

2.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับแบบวิทัศน์

ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากคืออุปกรณ์ในการตรวจจับแบบวิทัศน์ ซึ่งมีผลต่อการประมวลผลภาพ โดยอุปกรณ์ตรวจจับแบบวิทัศน์นี้ ประกอบไปด้วย กล้อง เลนส์ แสง และสี

2.3.1.1 กล้อง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับภาพ ซึ่งมีทั้งแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล ในการเลือกใช้กล้องนั้นตัวแปรที่สำคัญคือ ขนาดของตัวตรวจจับภาพในกล้อง ความเร็วกล้อง ซึ่งในกรณีที่ต้องการความเร็วในการทำงานในระบบอัตโนมัติ จะต้องการเลือกกล้องที่มีความไวสูงเพื่อรองรับการตรวจจับวิทัศน์แบบไม่หยุดตรวจ (Fast scan) และอัตราส่วนความคมชัดของกล้อง (contrast ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าของความสว่างที่มากที่สุดกับค่าของความสว่างที่น้อยที่สุด สำหรับงานที่มีการเปลี่ยนแปลงแสงมาก จะเหมาะกับการเลือกอัตราส่วนความคมชัดที่มีค่าสูง

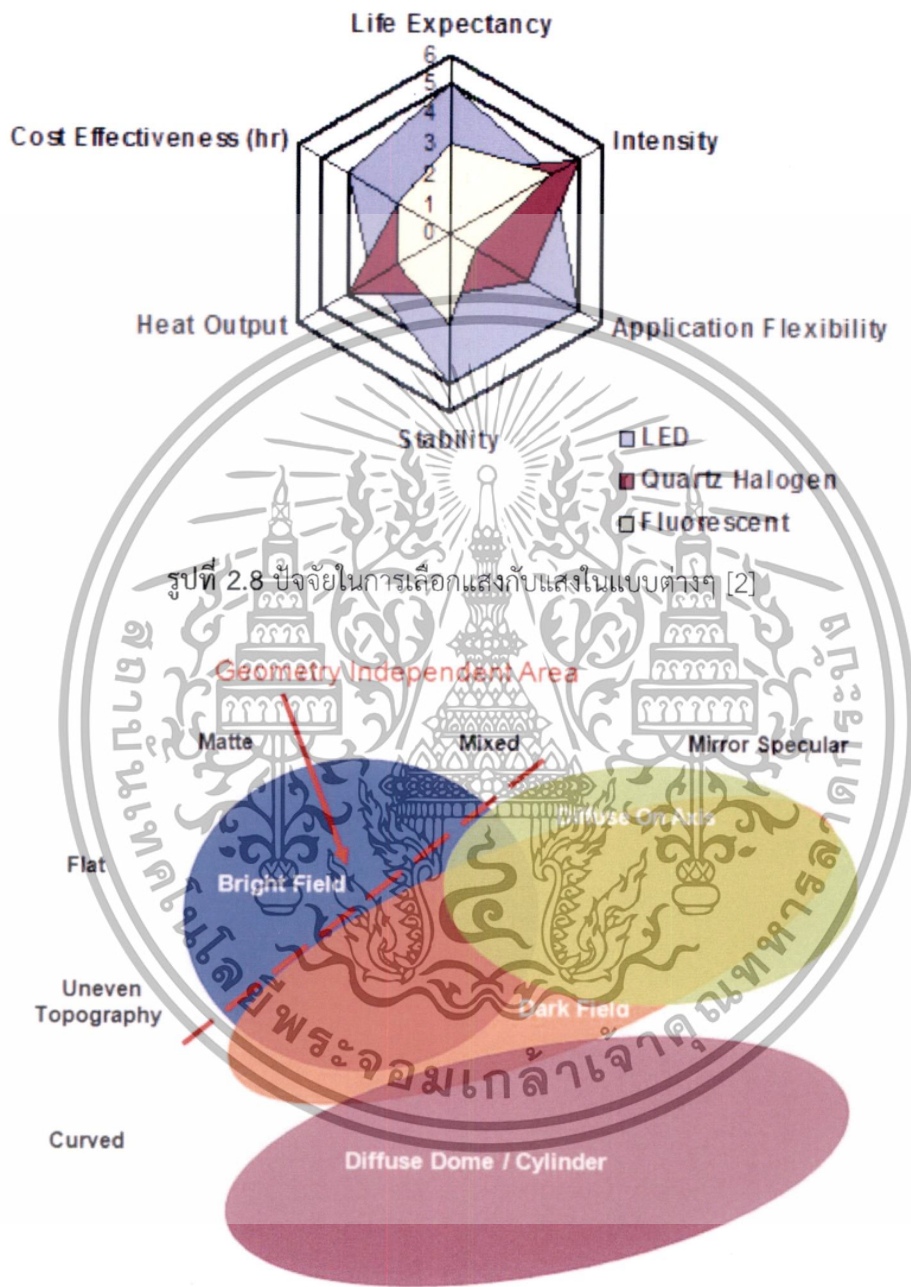
2.3.1.2 เลนส์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับอัตราขยายของขนาดของภาพ ซึ่งหลักการในการเลือกใช้เลนส์ จะต้องวิเคราะห์ค่าของพื้นที่การมอง (Field of View-FOV) ซึ่งเป็นค่าพื้นที่ของกล้องที่ต้องการมองวัตถุ และค่าความลึกของสนาม (Depth of field) ซึ่งเป็นกำหนดระยะห่างของกล้องกับวัตถุที่ทำให้ภาพไม่เบลอ อัตราขยาย (Magnification) ที่ใช้ในการเลือกกล้อง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 เมื่อ W_{camera} คือระยะทำงานของกล้องและ W_{FOV} คือพื้นที่การมองวัตถุ

$$m = \frac{W_{camera}}{W_{FOV}} \quad (2.1)$$

2.3.1.3 แสง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ ซึ่งการเลือกใช้แสงนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องคำนึงถึง อาทิเช่น อายุการใช้งาน ราคา ความสว่าง ความหลากหลายและสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ และความเสถียรของแสง ทั้งนี้ สำหรับงานในโรงงานอุตสาหกรรม จะนิยมเลือกใช้ หลอดแอล อี ดี (Light Emitting Diode-LED) ด้วยเหตุผลในเรื่องของอายุการใช้งาน ความคุ้มค่าและการประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย นอกจากการเลือกแสงให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการประยุกต์ใช้แล้ว เทคนิคการให้แสงก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของวัตถุและคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัตถุหนึ่งๆ นั้นมีความแตกต่างกัน รูปที่ 2.8 แสดงถึงปัจจัยของแสงในแต่ละแบบ อาทิเช่น อายุการใช้งาน ความเข้มแสง ค่าความสว่าง การนำไปประยุกต์ใช้ ความทนทาน และความคุ้มค่า



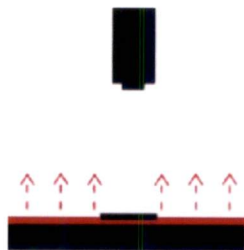
รูปที่ 2.8 ปัจจัยในการเลือกแสงกับแสงในแบบต่างๆ [2]

รูปที่ 2.9 การให้แสงจากลักษณะและคุณสมบัติของผิววัตถุ [2]

จากรูปที่ 2.9 จะพบว่าคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิววัตถุและผิวของวัตถุในแบบต่างๆ มีลักษณะการให้แสงที่เหมาะสมแตกต่างกัน ลักษณะการให้แสงในแต่ละแบบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. เทคนิคการให้แสงด้านหลัง (Back lighting) ใช้การยิงแสงผ่านด้านหลังวัตถุแสดงดังรูปที่ 2.10



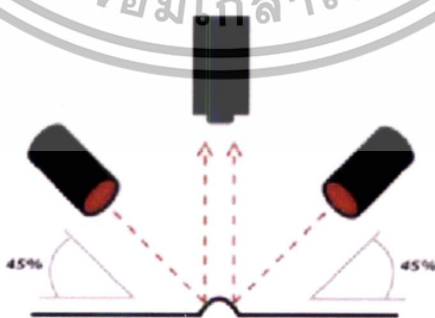
รูปที่ 2.10 เทคนิคการให้แสงด้านหลัง [2]

ข. เทคนิคการให้แสงโดยตรง (Bright field) ให้แสงโดยตรง เหมาะกับวัตถุผิวเรียบแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เทคนิคการให้แสงโดยตรง [2]

ค. เทคนิคการให้แสงแบบมื่อ (Dark field) เหมาะกับวัตถุที่ไม่เรียบและผิวสะท้อนแสงแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เทคนิคการให้แสงแบบมื่อ [2]

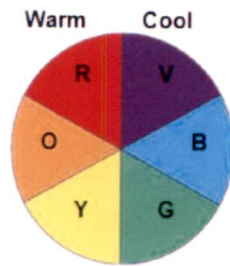
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. เทคนิคการให้แสงแบบกระเจิง (Diffuse lighting) เหมาะวัตถุที่มีผิวสะท้อนแสงแสดงดังรูปที่ 2.13 แต่กรณีนี้จำเป็นต้องให้แหล่งกำเนิดเข้าใกล้วัตถุ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยการใช้เทคนิคการให้แสงกระเจิงแบบบนแกน แสดงดังรูปที่ 2.14



2.3.1.4 สี เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในระบบตรวจสอบแบบวิทัศน์ เพราะการให้สีในแบบต่างๆ ขึ้นกับสีของวัตถุที่ต้องการพิจารณา ในทฤษฎีการให้สีนั้น แสงสีขาวจะสามารถสะท้อนได้ทุกสี แต่แสงสีอื่นๆ จะสามารถสะท้อนได้แค่สีตัวเองและสีที่เป็นองค์ประกอบเท่านั้น วงกลมสีแสดงดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



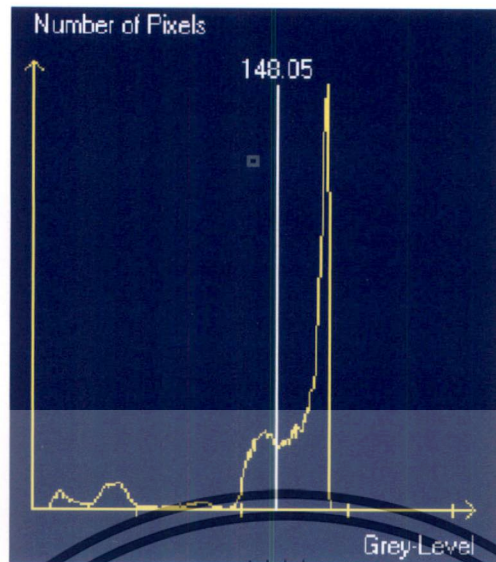
รูปที่ 2.15 วงกลมสี [2]

2.3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

การประมวลผลภาพเบื้องต้น คือการนำภาพมาคิดหรือคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เรากำลังต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยขั้นตอนต่าง ๆ นั้น มีขั้นตอนสำคัญๆ ดังนี้

2.3.2.1 การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น ในการเพิ่มความคมชัดของภาพนั้น มีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากภาพที่ต้องการนำมาประมวลผลนั้นมีความคลุมเครือซึ่งจะส่งผลให้การประมวลผลภาพมีความผิดพลาดสูง การปรับความคมชัดจะทำให้การประมวลผลภาพมีความถูกต้องมากขึ้น ตัวแปรเกี่ยวกับกระบวนการปรับแต่งความคมชัดของภาพคือ ค่าความแตกต่าง (contrast) ซึ่งในเชิงความหมายของการประมวลผลภาพนั้น เมื่อค่าความแตกต่างมีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือการเปลี่ยนแปลงช่วงของระดับความเป็นสีเทา (Grey level) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-255 โดย 0 หมายถึงสีดำ และ 255 หมายถึงสีขาว แสดงในลักษณะกราฟฮิสโตแกรมดังรูปที่ 2.16 หากมีการปรับค่าของความแตกต่างให้ลดลง ช่วงของค่าระดับความเป็นสีเทาก็จะมีช่วงที่น้อยกว่าค่า 0-255 ลักษณะของกราฟแสดงระดับความเป็นสีเทา ถูกแสดงอยู่ในรูปของกราฟฮิสโตแกรม โดยแกน X แสดงถึง ระดับความเป็นสีเทา และแกน Y แสดงถึงจำนวนของพิกเซลที่ถูกพบในแต่ละค่าระดับความเป็นสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ลักษณะของกราฟฮิสโตแกรม [3]

2.3.2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ในการกำจัดสัญญาณรบกวนอาศัยวิธีการทางการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ ซึ่งเครื่องมือในการจัดการพิกเซลภาพมี 4 แบบดังนี้

2.3.2.2.1 Erosion เป็นการตัดขอบของพิกเซลภาพออกดังรูปที่ 2.17 ข.

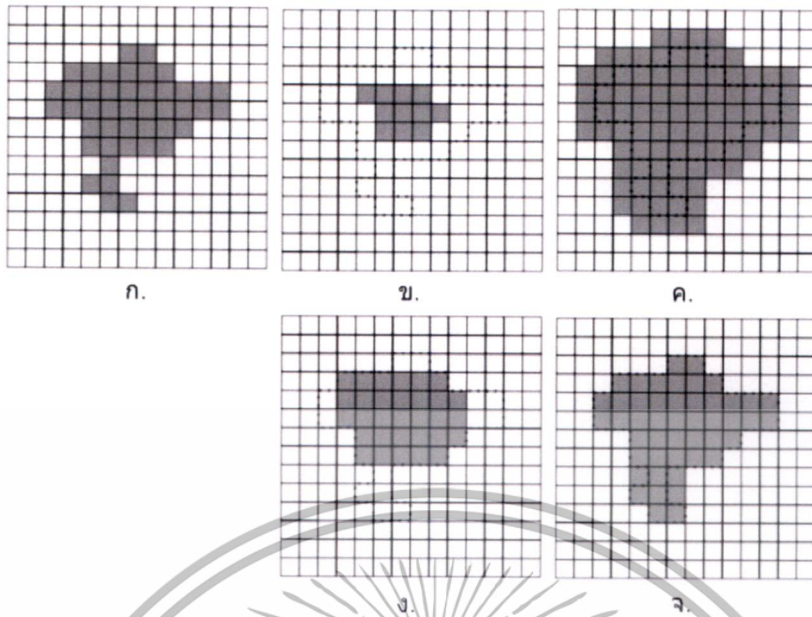
2.3.2.2.2 Dilation เป็นการเติมเต็มขอบของพิกเซลภาพดังรูปที่ 2.17 ค.

2.3.2.2.3 Opening เป็นการตัดขอบของพิกเซลภาพออกก่อนแล้วเติมเต็มขอบของพิกเซลภาพที่ได้จากการตัดขอบแล้ว เหมาะกับงานที่ต้องการตัดส่วนเกินของภาพดังรูปที่ 2.17 ง.

2.3.2.2.4 Closing เป็นการเติมเต็มขอบของพิกเซลภาพก่อนแล้วตัดขอบของพิกเซลภาพที่ได้จากการเติมเต็มขอบแล้ว เหมาะกับการที่ต้องการตัดสัญญาณรบกวนบนภาพดังรูปที่ 2.17 จ.

ทั้งนี้ จากความหมายของเครื่องมือการจัดการพิกเซลภาพ จะเห็นได้ว่า วิธีการแบบ Closing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้เครื่องมือมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะภาพตั้งต้น จึงต้องเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมภาพในลักษณะนั้นๆ

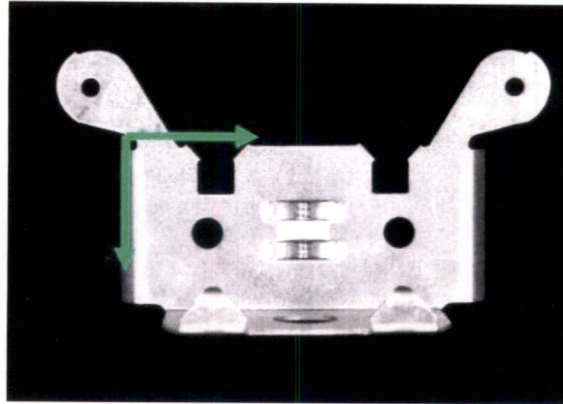
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ; ก. ภาพต้นแบบ ข. ภาพหลังการทำ Erosion ค. ภาพหลังการทำ Dilation ง. ภาพหลังการทำ Opening จ. ภาพหลังการทำ Closing [4]

2.3.2.3 การสร้างแกน x-y ของภาพจากการหาดำแหน่งต้นแบบ การสร้างแกน x-y

นั้น หนึ่งในวิธีการที่สำคัญคือการหาดำแหน่งของภาพใดๆ จากภาพต้นแบบที่มีการสอนตำแหน่งไว้ โดยทั่วไป ภาพแต่ละภาพมีความแตกต่างกันในแต่ละครั้งที่มีการถ่ายภาพซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการสะท้อนของแสงที่มุมต่างๆรวมทั้งมีความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากวัตถุที่เปลี่ยนไปในการถ่ายภาพด้วย จากความแตกต่างข้างต้นนี้ อาจทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมีมุมภาพที่เปลี่ยนไป การหาดำแหน่งภาพจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อให้ส่วนของภาพที่ต้องการวิเคราะห์ ยังคงอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการพิจารณา เราเรียกวิธีการนี้ว่า การหาดำแหน่งต้นแบบ (pattern location) ตัวอย่างภาพการสร้างแกน x-y เมื่อภาพมีการเปลี่ยนแปลงของมุม ไปจากภาพต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.18 ภาพต้นแบบที่ถูกสอนตำแหน่งแกน x-y [3]



รูปที่ 2.19 ภาพที่มีมุมที่เปลี่ยนไปจากภาพต้นแบบกับตำแหน่งแกน x-y [3]

2.3.2.4 การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกจากภาพ จะช่วยทำให้ง่ายในการวิเคราะห์ภาพมากขึ้น เพราะการวิเคราะห์องค์ประกอบทั้งหมดของภาพ โดยวิเคราะห์ทั้งส่วนพื้นหลังของภาพและส่วนที่สนใจของภาพ อาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการวัดค่าเชิงปริมาณได้ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพจึงเป็นเทคนิคที่นิยมแพร่หลายเป็นอย่างมากในปัจจุบันสำหรับประมวลผลภาพใดๆ โดยหลักการคำนวณอาศัยการวิเคราะห์ค่า threshold ซึ่งสามารถกำหนดได้ใน 5 รูปแบบ

- 1) Hard threshold (Fixed)

เป็นการกำหนดค่า threshold แบบตายตัว กำหนดได้เพียงค่าเดียวแสดงดังรูปที่ 2.20

- 2) Hard threshold (Relative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการกำหนดค่า threshold แบบยืดหยุ่น สามารถตั้งค่า threshold เป็นเปอร์เซ็นต์ และกำหนดเปอร์เซ็นต์ของค่าขอบบน ขอบล่างได้ แสดงดังรูปที่ 2.21

3) Hard threshold (Dynamic)

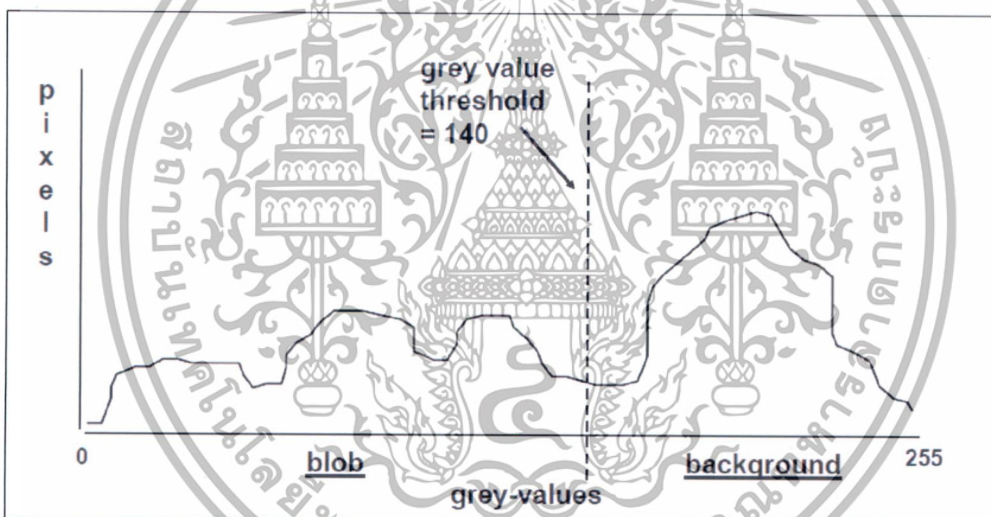
เป็นการกำหนดค่า threshold ที่สามารถกำหนดเปอร์เซ็นต์ของค่าขอบบน ขอบล่างได้

4) Soft threshold (Fixed)

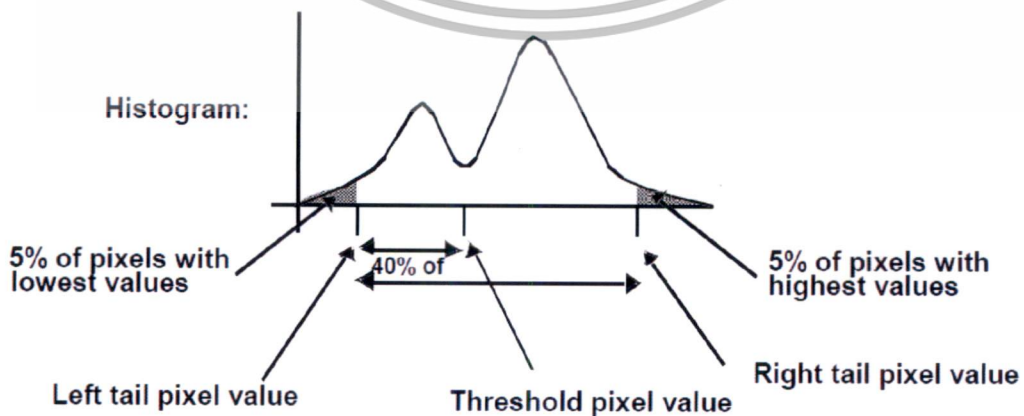
เป็นการกำหนดค่า threshold แบบตายตัว โดยสามารถกำหนดค่าขอบบน ขอบล่างของ threshold และค่า softness ได้

5) Soft threshold (Relative)

เป็นการกำหนดค่า threshold แบบยืดหยุ่น โดยสามารถกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ขอบบน ขอบล่างของ threshold, เปอร์เซ็นต์ขอบบน ขอบล่าง และค่า softness ได้



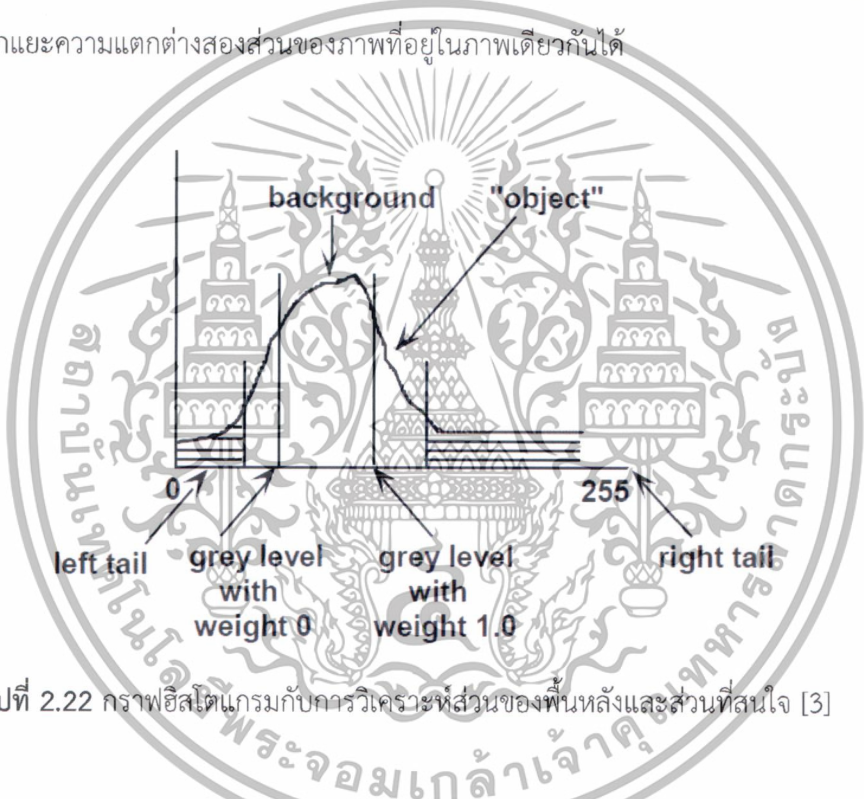
รูปที่ 2.20 การตั้งค่า threshold แบบตายตัว (Fixed) [3]



รูปที่ 2.21 การตั้งค่า threshold แบบยืดหยุ่นเป็นเปอร์เซ็นต์ (Relative) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากกระบวนการตั้งค่า threshold ที่เหมาะสมเพื่อการแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจบนภาพนั้น หลักการการวิเคราะห์ความแตกต่างของส่วนที่เราสนใจกับพื้นหลังในกระบวนการประมวลผลภาพนั้น วิเคราะห์ด้วยกราฟฮิสโตแกรม จากรูปที่ 2.22 จะพบว่ามีช่วงของกราฟที่ถูกแบ่งตามค่า threshold ที่ตั้ง พื้นที่ส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนของพื้นหลัง และพื้นที่อีกส่วนจะเป็นส่วนที่สนใจ โดยหากเราใส่เงื่อนไขว่าให้ส่วนที่เราสนใจเป็นสีดำ ส่วนพื้นหลังเป็นสีขาว พื้นที่ฝั่งซ้ายของกราฟฮิสโตแกรมจะเป็นส่วนที่เรานสนใจ และพื้นที่ฝั่งขวาของกราฟฮิสโตแกรมจะเป็นพื้นหลัง ในทางกลับกันหากเราใส่เงื่อนไขว่าให้ส่วนที่เราสนใจเป็นสีขาว ส่วนพื้นหลังเป็นสีดำ พื้นที่ฝั่งซ้ายของกราฟฮิสโตแกรมจะเป็นพื้นหลัง และพื้นที่ฝั่งขวาของกราฟฮิสโตแกรมจะเป็นส่วนที่เรานสนใจ หลักการดังกล่าว ทำให้โปรแกรมสามารถแยกแยะความแตกต่างสองส่วนของภาพที่อยู่ในภาพเดียวกันได้



รูปที่ 2.22 กราฟฮิสโตแกรมกับการวิเคราะห์ส่วนของพื้นหลังและส่วนที่สนใจ [3]

2.3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากส่วนที่สนใจ ข้อมูลเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ภาพ อาทิเช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางของภาพ สามารถนำไปใช้ในด้านต่างๆได้มากมาย ในงานด้านการตรวจสอบคุณภาพ งานที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกประเภท หรืองานเกี่ยวกับการอ่านรหัสตัวเลข

ลักษณะตัวแปรที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการประมวลผลภาพนั้น มีดังนี้

- มุม (Angle) คือค่าของมุมที่วัดจากแกน x-y ที่สร้างขึ้น หน่วยเป็น เรเดียน (rad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พื้นที่ (Area) คือค่าของพื้นที่บนภาพในหน่วยพิกเซล ซึ่งถูกวัดในแนวแกน x-y แล้วบวกรวมกันเป็นจำนวนพิกเซลทั้งหมด ดังสมการที่ 2.2 เมื่อ A คือค่าของพื้นที่, x_i คือค่าพิกเซลในแกน x, y_i คือค่าพิกเซลในแกน y และ N คือจำนวนพิกเซลทั้งหมด

$$A = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (2.2)$$

- โมเมนต์ความเฉื่อย (Inertia) คือค่าโมเมนต์ความเฉื่อยบนภาพ โดยถูกคำนวณจากการวิเคราะห์จากจำนวนของพิกเซลในแนวแกน x-y

- จุดศูนย์กลางมวลแกน X (CenterMassX) คือศูนย์กลางวัตถุบนภาพในแกน X

- จุดศูนย์กลางมวลแกน Y (CenterMassY) คือศูนย์กลางวัตถุบนภาพในแกน Y

- ความเป็นวงกลม (Acircularity) คือค่าที่แสดงความเป็นวงกลม เมื่อค่าความเป็นวงกลมมีค่าเป็นหนึ่ง แปลว่ามีความเป็นวงกลมอย่างสมบูรณ์ ค่าของความเป็นวงกลมคำนวณจากอัตราส่วนของเส้นรอบรูปกำลังสองหารด้วยค่าคงที่คูณกับพื้นที่ ดังสมการที่ 2.3 เมื่อ C คือค่าความเป็นวงกลม, P คือค่าเส้นรอบรูป และ A คือค่าของพื้นที่

$$C = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (2.3)$$

- เส้นรอบรูป (Perimeter) คือค่าที่คำนวณเส้นรอบรูปบนวัตถุที่อยู่บนภาพนั้นๆ

- อัตราส่วนโมเมนต์ (Elongation) คือค่าที่คำนวณอัตราส่วนของโมเมนต์แกนหลักกับแกนรอง

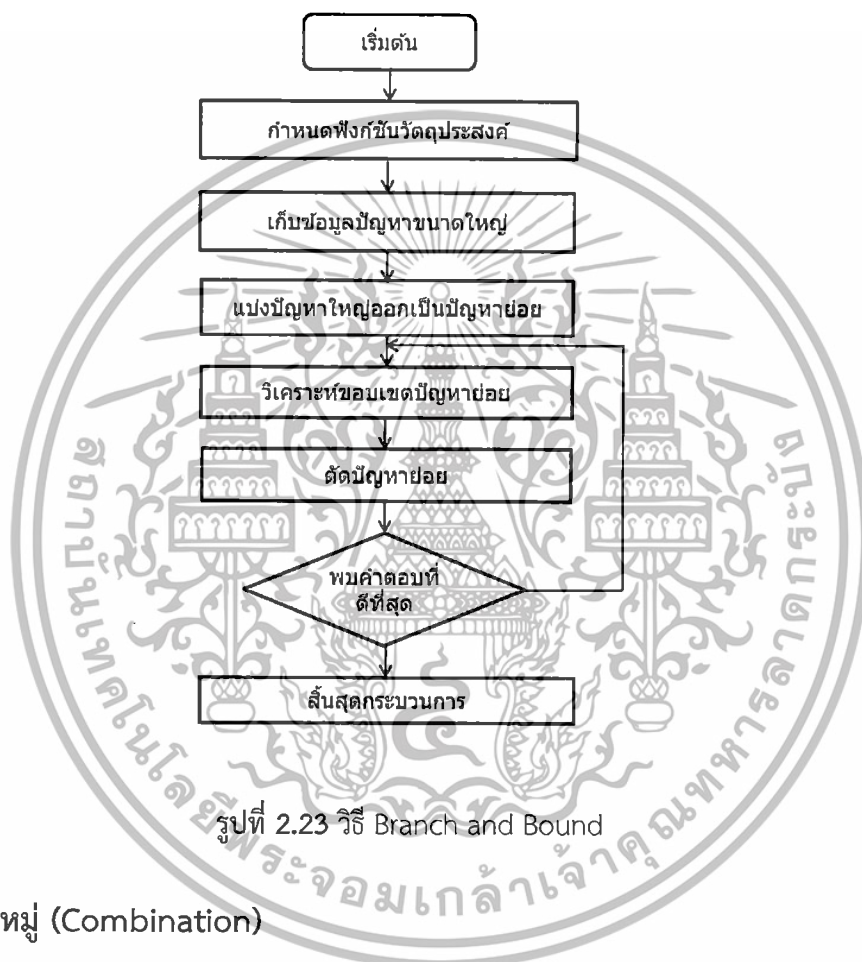
2.4 การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล (Feature selection)

การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูลมีความสำคัญในการค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การแก้ปัญหาบนฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ด้วยระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้ ในกรณีที่มีข้อมูลตั้งต้นเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ยิ่งทำให้กระบวนการค้นหา มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น หนึ่งในวิธีการที่เป็นที่นิยมในการแก้ปัญหาในลักษณะดังกล่าวคือ วิธี Branch and Bound

หลักการของ Branch and Bound คือ การค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด จากข้อมูลตั้งต้น ด้วยการค้นหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ผู้ออกแบบสามารถเลือกออกแบบได้เองตามความต้องการในการแก้โจทย์ปัญหาหนึ่งๆ ในขั้นตอนของการค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุดนั้น เริ่มต้นจากการแตกกิ่ง (Branch) จากปัญหาเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่และแบ่งเป็นปัญหาย่อยๆ จากนั้น พิจารณาขอบเขตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา (Bound) และพิจารณาเลือกตัดปัญหาที่ไม่สามารถให้คำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดได้ พร้อมทั้งทำซ้ำกับทุกปัญหาย่อย จนกระทั่งพบปัญหาย่อยที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด จึงหยุดกระบวนการค้นหา ในปัจจุบัน วิธี Branch and Bound นั้นถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในหลายรูปแบบ อาทิ เช่น การแก้ปัญหา Integer Linear Programming, การหาคำตอบที่เป็น Binary, การแก้ปัญหา Traveling salesman กระบวนการ Branch and Bound โดยสรุปแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วิธี Branch and Bound

2.5 วิธีจัดหมู่ (Combination)

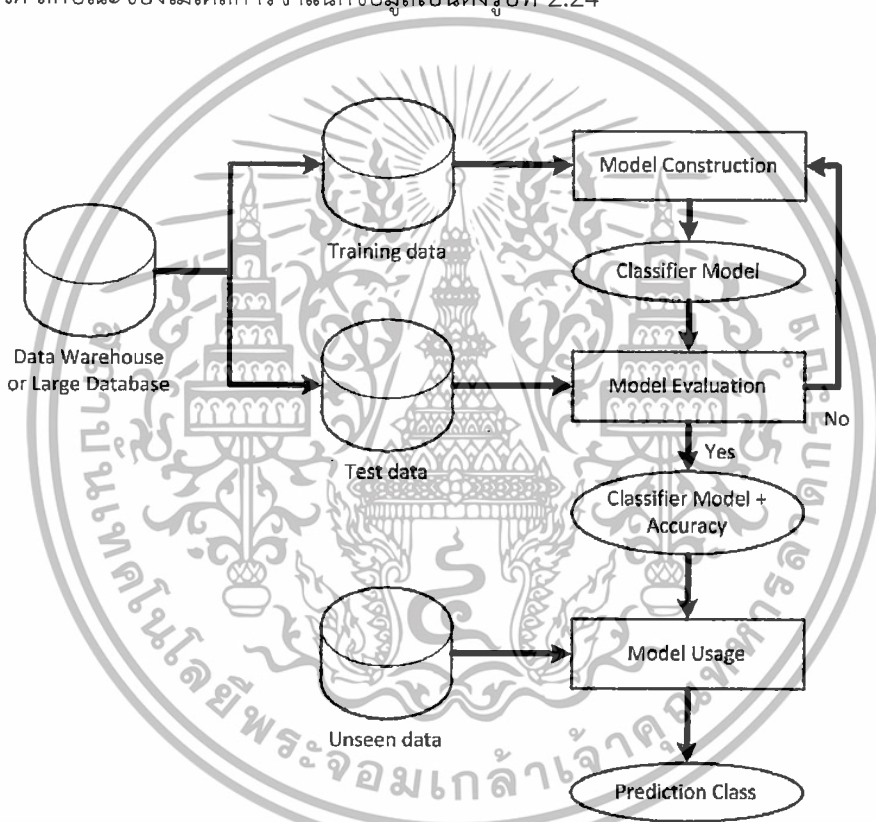
วิธีจัดหมู่นั้น มีความหมายว่า การนำสิ่งของที่มีความแตกต่างกันทั้งหมดหรือเพียงบางส่วน มาจัดหมู่โดยไม่สนใจตำแหน่งก่อนหลัง ซึ่งหากมีของแตกต่างกัน n สิ่ง ต้องการจัดหมู่ ให้มีหมู่ละ r สิ่ง จะสามารถคำนวณจำนวนเหตุการณ์ในการจัดหมู่ได้ดังสมการที่ 2.4 เมื่อ n คือจำนวนสิ่งของทั้งหมด และ r คือจำนวนสิ่งของที่ต้องการจัดเป็นกลุ่ม

$${}^n C_r = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การจำแนกประเภทของข้อมูล (Classification)

การจำแนกข้อมูลเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกข้อมูลเป็นกลุ่มประเภทข้อมูล โดยกลุ่มของข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน ข้อมูลที่มีความแตกต่างกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มที่ต่างออกไป การสร้างโมเดลการจำแนกประเภทของข้อมูล จึงเกิดขึ้นจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยข้อมูลทั้งหมด จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training set) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test set) ซึ่งชุดข้อมูลสำหรับทดสอบนี้ จะเป็นชุดที่ประเมินค่าความถูกต้องของโมเดลการจำแนกข้อมูล ว่ามีประสิทธิภาพดีมาน้อยเพียงใด ลักษณะของโมเดลการจำแนกข้อมูลเป็นดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 โมเดลการจำแนกข้อมูล

กระบวนการการจำแนกข้อมูลในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

- 1.การสร้างโมเดล (Model construction) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการสร้างโมเดลเพื่อจำแนกประเภท โดยอาศัยการเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้มีการระบุชนิดของกลุ่มข้อมูลไว้แล้ว หรือเรียกว่า ข้อมูลเรียนรู้ (Training data)
- 2.การตรวจสอบโมเดล (Model evaluation) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง โดยอาศัยข้อมูลที่ใช้สำหรับทดสอบ หรือเรียกว่าข้อมูลทดสอบ (Testing data) นำข้อมูลกลุ่มมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากโมเดลการจำแนกข้อมูล เพื่อทดสอบว่าโมเดลนี้ สามารถจัดประเภทกลุ่มข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากน้อยเพียงใด

3. การใช้โมเดล (Model usage) เป็นขั้นตอนการนำโมเดลจำแนกประเภทที่สร้างมาใช้กับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน (unseen data) เพื่อทำนายและกำหนดกลุ่มของข้อมูลเหล่านั้น

จากโมเดลการจำแนกข้อมูลจะเห็นได้ว่า มีการเรียนรู้จากข้อมูลที่รู้ชนิดอยู่แล้ว ลักษณะดังกล่าวเรียกได้ว่าการจำแนกข้อมูล เป็นลักษณะการเรียนรู้ข้อมูลแบบมีการเรียนการสอน (Supervised learning)

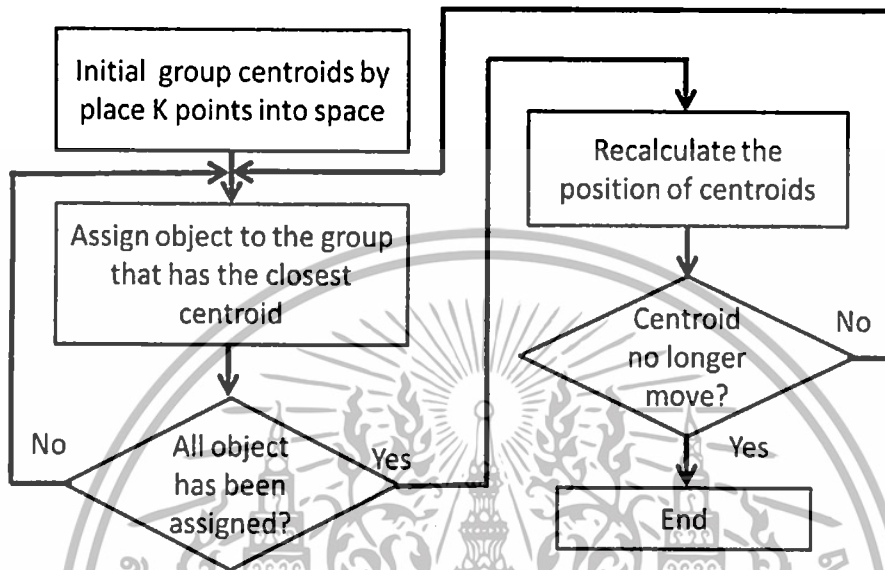
2.7 การจัดกลุ่มข้อมูล (Clustering)

การจัดกลุ่มข้อมูล เป็นวิธีการพิจารณาข้อมูลซึ่งมีหลักการเหมือนกับการจำแนกประเภทของข้อมูล คือมีการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ แล้วเรียกกลุ่มเหล่านั้นว่า คลัสเตอร์ (Cluster) โดยข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกัน จะถูกจัดให้อยู่ในคลัสเตอร์เดียวกัน และข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน จะถูกจัดให้อยู่ในคลัสเตอร์ที่แตกต่างออกไป ทั้งนี้ การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ดังกล่าว ใช้ระยะทางเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ที่เหมือนกันหรือแตกต่างกัน การจัดกลุ่มของข้อมูลแต่ละคลัสเตอร์นั้น ถูกกำหนดด้วยค่าจุดศูนย์กลางคลัสเตอร์ ซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์นั้น ซึ่งจากกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า มีการเรียนรู้ด้วยตนเองโดยการศึกษาลักษณะธรรมชาติของข้อมูลเหล่านั้น วิธีการดังกล่าว จึงเรียกได้ว่าการจัดกลุ่มข้อมูล เป็นลักษณะของการเรียนรู้แบบไม่มีการเรียนการสอน (Unsupervised learning) การจัดกลุ่มข้อมูลในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะกล่าวถึงการจัดกลุ่มข้อมูลใน 3 แบบดังนี้

2.7.1 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย K (K-Means Clustering)

วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย K อาศัยหลักการเรียนรู้แบบไม่มีการเรียนการสอนบนกลุ่มข้อมูลที่มี โดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่า K เพื่อแทนจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม หรือบางกรณีที่ไม่ทราบจำนวนกลุ่มข้อมูลบนข้อมูลนี้ การสุ่มค่า K เพื่อแทนจำนวนกลุ่มข้อมูลอาจทำให้เกิดความผิดพลาดสูง หลังจากการกำหนดค่า K เริ่มต้นแล้ว วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย K จะทำการสุ่มค่าเริ่มต้น K ค่า เพื่อเป็นค่ากึ่งกลางของข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์ แล้วทำการคำนวณระยะห่างระหว่างค่าข้อมูลใดๆ กับค่ากึ่งกลางข้อมูลทั้ง K ค่า เลือกค่าระยะห่างที่น้อยที่สุด แล้วจัดข้อมูลนั้นให้อยู่ในกลุ่มดังกล่าว ทำกระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกข้อมูลแล้ว จะทำการคำนวณค่ากึ่งกลางข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์ใหม่จากข้อมูลที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มนั้น ด้วยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในกลุ่ม ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบว่าค่ากึ่งกลางคลัสเตอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการก่อนหน้า กระบวนการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ย K ก็จะสิ้นสุดลง กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย K โดยสรุปเป็นดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย K

สมการการคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลใดๆ กับค่ากึ่งกลางคลัสเตอร์ คือสมการยูคลิเดียน (Euclidean equation) แสดงดังสมการที่ 2.4 เมื่อ D แทนระยะห่างระหว่างข้อมูลใดๆ, x_1 แทนเวกเตอร์ของข้อมูล x_i ใดๆ และ y_1 แทนเวกเตอร์ของ y_i ค่ากึ่งกลางคลัสเตอร์

$$D(x_1, y_1) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2.4)$$

การทำงานของกระบวนการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ย K จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อข้อมูลเกาะกลุ่มกันหนาแน่นในงานกลุ่มเดียวกัน และแยกจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน พร้อมทั้งความหนาแน่นของข้อมูลในแต่ละกลุ่มต้องมีความใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ K-means ยังไม่สามารถจัดการกับกลุ่มงานที่มีรูปร่างไม่เป็นรูปทรงกลม แต่ข้อดีคือเป็นวิธีการที่ใช้งานง่ายและสามารถใช้กับข้อมูลได้หลายประเภท

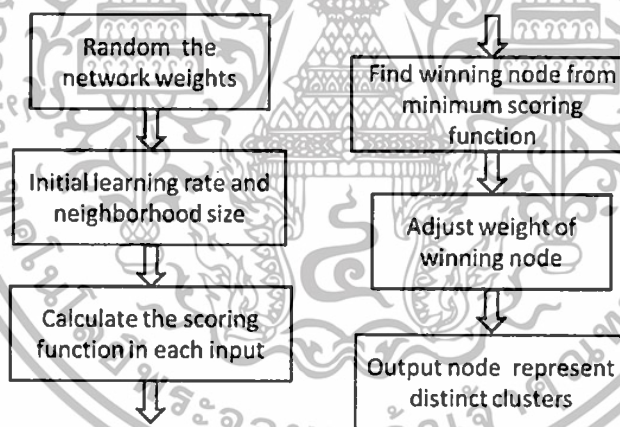
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนน (Kohonen Clustering)

การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนนจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าเริ่มต้นของน้ำหนัก (weight) และกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) กับค่าขนาดของกลุ่มข้อมูล หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลใดๆ กับค่าน้ำหนักของกลุ่มข้อมูล ค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดเป็นผู้ชนะ (winning node) แล้วทำการปรับค่าใหม่ของน้ำหนักที่ใช้เป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่มข้อมูล สมการการคำนวณค่าน้ำหนักใหม่แสดงดังสมการที่ 2.5 เมื่อ $w_{ij,NEW}$ แทนเมตริกซ์น้ำหนักใหม่, $w_{ij,CURRENT}$ แทนเมตริกซ์น้ำหนักปัจจุบัน, x_{ni} แทนค่าข้อมูลใดๆ และ η แทนค่าอัตราการเรียนรู้

$$w_{ij,NEW} = w_{ij,CURRENT} + \eta(x_{ni} - w_{ij,CURRENT}) \quad (2.5)$$

ค่าน้ำหนักจะถูกคำนวณใหม่ไปเรื่อยๆจนกระทั่งข้อมูลเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว กระบวนการจะสิ้นสุดลง กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนนโดยสรุป แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีโคโฮเนน

2.7.3 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีฟuzzy ค่าเฉลี่ยซี (Fuzzy C-Means Clustering)

การจัดกลุ่มข้อมูลแบบฟuzzy ค่าเฉลี่ยซี เป็นวิธีการในการจัดกลุ่มของข้อมูลไปยังคลัสเตอร์ที่กำหนด กระบวนการของฟuzzy ค่าเฉลี่ยซี เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นกลุ่มข้อมูลแล้วทำการคำนวณค่ากึ่งกลางของกลุ่มข้อมูลนั้นๆ หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าของข้อมูลใหม่ กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำกันจนกระทั่งได้ค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด การจัดกลุ่มข้อมูลแบบฟuzzy ค่าเฉลี่ยซี มีการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้น เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าน้อยที่สุด ฟังก์ชันดังกล่าวเขียนแทนด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.6 เมื่อ J_{FCM} แทนค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์, u_{ij}^m แทนค่าของฟังก์ชันสมาชิก, x_i แทนค่าของข้อมูลใดๆ และ c_j แทนค่ากึ่งกลางข้อมูล

$$J_{FCM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2.6)$$

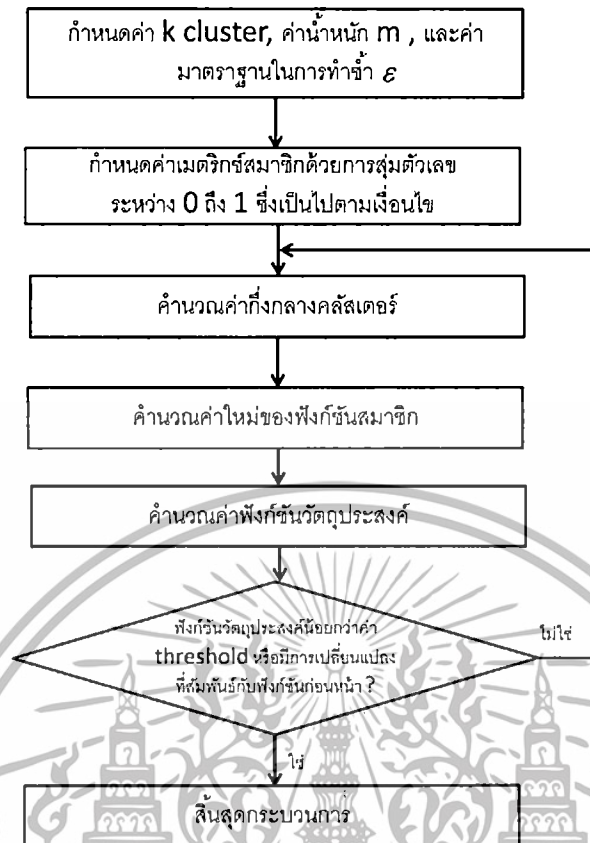
เมื่อกำหนดให้ N คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด, j คือจำนวนกลุ่มข้อมูล, c_j และ c_k คือค่ากึ่งกลางของกลุ่มข้อมูล, x_i แทนค่าของข้อมูลใดๆ ข้อมูลทั้งหมดถูกระบุไว้ในรูปของเมตริกซ์ u_{ij} และ u_{ij}^m ซึ่งแทนค่าของฟังก์ชันกลุ่มของสมาชิก สมการคำนวณค่าฟังก์ชันสมาชิกและสมการค่ากึ่งกลางกลุ่มข้อมูลแสดงดังสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|x_i - c_j\|^2}{\|x_i - c_k\|^2} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2.7)$$

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad (2.8)$$

กระบวนการโดยสรุปของการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีฟัซซี ค่าเฉลี่ยชี้ แสดงดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีฟัซซี ค่าเฉลี่ยซี

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงในงานอุตสาหกรรม จึงมีการนำโปรแกรมการประมวลผลภาพของ Vision Pro มาประยุกต์ใช้เป็นหลัก เนื้อหาในงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือสไลด์พร้อมทั้งเทคนิคการตั้งค่า Threshold มาจากหนังสือ Image Processing & Machine Vision Training [3] ซึ่งเมื่อพูดถึงการประมวลผลภาพนั้น จะพบว่าในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ งานวิจัยของ Bochém, Herpers และ Kent ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาในระบบการประมวลผลภาพ ปัญหาส่วนหนึ่งคือเรื่องของการตรวจจับวัตถุของภาพที่มีขนาดใหญ่บนภาพวิดีโอแบบต่อเนื่องและการคำนวณจุดกึ่งกลางเพื่อระบุตำแหน่ง งานวิจัยของพวกเขาได้นำวิธีการ FPGA หรือ Field Programmable Gate Array มาแก้ปัญหาข้างต้น ซึ่งได้ประสิทธิภาพที่ดี แต่ถูกจำกัดประสิทธิภาพด้วยอุปกรณ์ขาเข้า[5] งานวิจัยของ Pal, Vikas, และ Raju ศึกษาเกี่ยวกับระบบสัมผัสด้วยนิ้วมือบนหน้าจอ พวกเขาได้ทำการศึกษาในกรณีที่มีการสัมผัสแบบหลายครั้งบนผิวของหน้าจอ ด้วยการวิเคราะห์ระนาบสองมิติในรูปแบบของ Cartesian ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้กับขนาดนิ้วที่หลากหลาย และแสงที่แตกต่างกันออกไป ด้วยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาวิธีการของงานวิจัยบนโปรแกรม MATLAB 2012a [6] งานวิจัยของ Ravoor, Ranjani และ Rupanagudi ศึกษาเกี่ยวกับการสัมผัสหน้าจอด้วยนิ้วมือ โดยพวกเขาพบว่าปัญหาในปัจจุบันคือ ความแตกต่างของขนาดนิ้วมือ พวกเขาพัฒนาโปรแกรมบน Java และไต่เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับนิ้วมือที่มาสัมผัสหน้าจอเป็น 100% ด้วยหลักการประมวลผลภาพ[7]

ในส่วนของการจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนรู้มาก่อน ก็มีงานวิจัยหลายชิ้น ที่นำวิธีการจัดกลุ่มในแบบต่างๆมาประยุกต์ใช้ งานวิจัยของ Jaganathan และ Jaiganesh ศึกษาวิธี Particle Swarm Optimization กับการปรับวิธีการจัดกลุ่มแบบวิธีค่าเฉลี่ยเค แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มเอกสาร ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถจัดกลุ่มเอกสารในช่วง 204 ถึง 878 กลุ่มข้อมูลได้ แล้วพบว่าวิธีการดังกล่าวได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ [8] Singh, Tiwari และ Garg ศึกษาการจัดกลุ่มเอกสารเช่นกัน โดยเลือกใช้การจัดกลุ่มแบบค่าเฉลี่ยเคและแบบฟuzzyค่าเฉลี่ยซี ผลลัพธ์ที่ได้คือการจัดกลุ่มด้วยฟuzzy ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด[9] Sirotkovic, Dujmic และ Papic นำการจัดกลุ่มแบบค่าเฉลี่ยเคมาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มภาพบน GPU Platform ซึ่งพบว่าได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วกว่าวิธีดั้งเดิม [10] งานวิจัยของ Garcia และ Naldi นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ MapReduce เพื่อประมวลผลการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคแบบรันหลายครั้งด้วยค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกันและรันข้อมูลไปพร้อมๆกัน และหาข้อมูลสุดท้ายที่ดีที่สุด [11] Zifen, Zhaolin และYinhui เพิ่มในแต่ละกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคให้มี WLSMB หรือค่าน้ำหนักกำลังสองที่น้อยที่สุด [12] นอกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคแล้ว ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มข้อมูลแบบโคโฮเนน Lim และ Haron ศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลใน 3 มิติ แล้วพบว่าวิธีโคโฮเนนแบบ 2 มิติมีข้อจำกัดเพราะไม่สามารถที่จะครอบคลุมพื้นผิวทั้งหมดของข้อมูลใน 3 มิติได้ จึงทำการปรับปรุงโมเดลด้วยการระบุค่าตัวเลขและสร้างสมการใหม่ขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนการทำซ้ำในกระบวนการ พื้นผิวของภาพผลลัพธ์ก็จะยิ่งดีขึ้น [13] Pham และ Didier ศึกษาเกี่ยวกับการแสดงภาพ sonar โดยใช้วิธีโคโฮเนน [14] บางงานวิจัยมีการนำวิธีโคโฮเนนไปใช้กับ Tree Pyramidal ซึ่งสามารถใช้ในการแก้ปัญหใน 2 มิติหรือ 3 มิติได้ [15] Harchli, Abdelatif, และ Mohamed พบว่าตัวเลขที่ดีของค่าเริ่มต้นยังคงเป็นปัญหา จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดกลุ่มข้อมูลแบบโคโฮเนน และเริ่มต้นด้วยการหาค่าเริ่มต้นที่ดีก่อนจะเริ่มกระบวนการเรียนรู้ [16] อีกลักษณะของงานวิจัยคือการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มให้ดียิ่งขึ้น เช่นการวิจัยการจัดกลุ่มข้อมูลฟuzzyค่าเฉลี่ยซี แล้วปรับปรุงด้วยการใช้บนวิธีเคอนลและแบบไม่มีระยะยูคลิเดียน (Euclidean) [17] ในงานวิจัยทางการแพทย์ยังมีการนำเทคนิคการจัดกลุ่มแบบฟuzzyค่าเฉลี่ยซีมาใช้ในการวิเคราะห์เนื้ออกในสมอง Parveen และ Singh นำเทคนิคฟuzzy เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยซีมาตรวจจับสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นบนภาพที่ได้จากการแสกนสมอง [18] ในงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลภาพ เช่นภาพ Remote Sensing ซึ่งเป็นลักษณะของภาพที่มีจำนวนประเภทค่อนข้างมากนั้น ก็สามารถนำการจัดกลุ่มแบบฟัซซีค่าเฉลี่ยซีมาใช้จัดกลุ่มข้อมูลในทุกๆประเภทเหล่านั้นได้ [19] Tripathy, และ Rajulu พบว่าการปรับปรุงโมเดลด้วยการผสมผสานเทคนิคเข้าด้วยกัน ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการเลือกใช้วิธีการเพียงวิธีเดียว จึงนำ Rough, Possiblistic มาผสมผสานกับวิธีฟัซซีค่าเฉลี่ยซี และได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าบนชนิดกลุ่มข้อมูลชนิดต่างๆ [20] ทั้งนี้การผสมผสานจะต้องไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา Wang, Yunjie, Yi, และ Xiaona ปรับปรุงความเร็วในการประมวลผลฟัซซีค่าเฉลี่ยซี โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแก้ปัญหา[21]

งานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดกลุ่มข้อมูล อีกหนึ่งหัวข้อที่งานวิจัยฉบับนี้นำมาศึกษา คือวิธีการ Branch and Bound การศึกษาข้อมูลที่มีลักษณะแบบ Discrete แล้วนำมาหาค่าที่ให้คำตอบประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [22] Merakeb และ Messine ต้องการหาค่าน้อยที่สุดในการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ไซค์ในขณะที่เคลื่อนที่ จึงนำวิธีการBranch and Bound มาหาคำตอบดังกล่าว [23] บางงานวิจัยนำ Branch and Bound มาประยุกต์ใช้กับการตัวแปรควบคุมในระบบควบคุม[24] Thakoor และ Gao เลือกใช้ Branch and Bound และออกแบบให้ Branch and Bound หาค่าที่ดีที่สุดจากกลุ่มข้อมูลขาเข้า [25] Ajit, Arvind, Daniel และ Lorenz นำ Branch and Bound มาใช้วิเคราะห์หาค่า power flow ที่ดีที่สุด [26] เมื่อข้อมูลมีโมเดลหลายแบบ ก็สามารถนำ Branch and Bound มาประยุกต์ใช้ได้อีกด้วย [27] Chathuranga, และ Codreanu นำ Branch and Bound มาประยุกต์ใช้กับการหาผลรวมน้ำหนักที่มากที่สุด [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์รูปภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก

งานวิจัยฉบับนี้ เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของบริเวณวงจรรีไฟฟาของหัวอ่านแม่เหล็กที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อทำการเลือกการให้แสงที่เหมาะสมกับงาน ซึ่งพบว่าลักษณะพื้นผิวเป็นผิวเรียบสีทอง ถูกจัดวางในแนวเอียง 45 องศาจากแนวระดับ เพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสงแล้วเกิดภาพขึ้นทั้งสองฝั่งของวงจรในภาพเดียว หลักการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นบนวงจรรีไฟฟาบนหัวอ่านแม่เหล็กนี้ เริ่มต้นด้วยการให้แสงตกกระทบลงบนเส้นไฟของฟอส แล้วแสงจากเส้นไฟของฟอสสะท้อนไปยังเส้นไฟของหัวอ่าน และสะท้อนกลับเข้ากล้อง ทั้งนี้จากหลักการการสะท้อนแสงข้างต้น หากลักษณะพื้นผิวของเส้นไฟฟอส มีลักษณะผิติดเพี้ยนไป แสงสะท้อนไปยังเส้นไฟของหัวอ่านก็จะผิติดเพี้ยนไปเช่นกัน ลักษณะการจัดวางหัวอ่านแม่เหล็กเพื่อระบบตรวจจับแบบวิทศน์ แสดงดังรูปที่

3.1



รูปที่ 3.1 การจัดวางหัวอ่านแม่เหล็กในระบบตรวจจับแบบวิทศน์

จากลักษณะการจัดวางตัวข้างต้น ทำให้ลักษณะงานที่เกิดขึ้นในระบบตรวจจับแบบวิทศน์ไม่ใช่ผิวเรียบ เพราะลักษณะพื้นผิวในบริเวณที่สนใจถูกวางตัวอยู่ในรูปตัววี (V) งานวิจัยฉบับนี้จึงจัดประเภทของการจัดวางในลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะผิวโค้ง โดยที่พื้นผิวของวัตถุเป็นแบบผสม เพราะบริเวณพื้นผิวของเส้นไฟของฟอสและเส้นไฟของหัวอ่านทำมาจากทองคำ (Au) ซึ่งเป็นโลหะแข็งสีเหลืองและนำไฟฟา จากข้อมูลลักษณะพื้นผิวข้างต้น เทคนิคการให้แสงที่เหมาะสมกับระบบนี้จึง

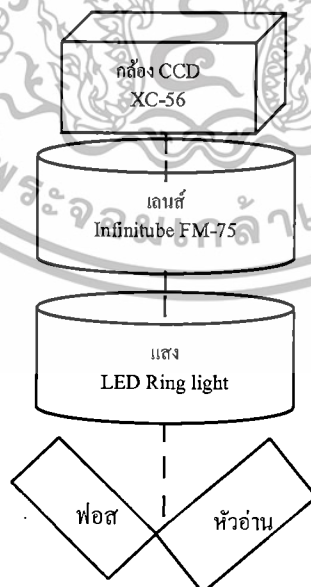
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทคนิคการให้แสงแบบกระเจิง (Diffuse Lighting) การให้แสงกระเจิงแบบโตน นอกจากนี้ในงานวิจัยฉบับนี้ยังเลือกใช้แสงแอล อี ดี (Light Emitting Diode) เพราะอายุการใช้งาน ความสว่าง ความเสถียรของแสงเมื่อเวลาผ่านไป และความง่ายในการประยุกต์ใช้ ซึ่งเหมาะกับงานที่มีการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

การเลือกเลนส์และกล้องสำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรวดหัวอ่านแม่เหล็กนั้น เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ พื้นที่การมองเห็นหรือ Field of view (FOV) กับความลึกของสนามหรือ Depth of field เพื่อกำหนดระยะที่ภาพที่เกิดขึ้นไม่เบลอ พื้นที่การมองเห็นของภาพจรวดหัวอ่านแม่เหล็กนี้เป็น 280 x 210 พิกเซล ความลึกของสนามเป็น 80 ไมโครเมตร ในการเลือกกล้องที่เหมาะสมกับงานนั้น ต้องเลือกกล้องที่สามารถมองวัตถุได้กว้างกว่าพื้นที่การมองเห็น งานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้กล้อง CCD ของ sony รุ่น XC-56 ที่มีค่าของพิกเซลเป็น 659 x 464 และเลือกเลนส์จากค่าอัตราขยาย (magnification) จากสมการการหาอัตราขยาย จะได้ว่า

$$m = \frac{659 \times 464}{280 \times 210} = 5.20$$

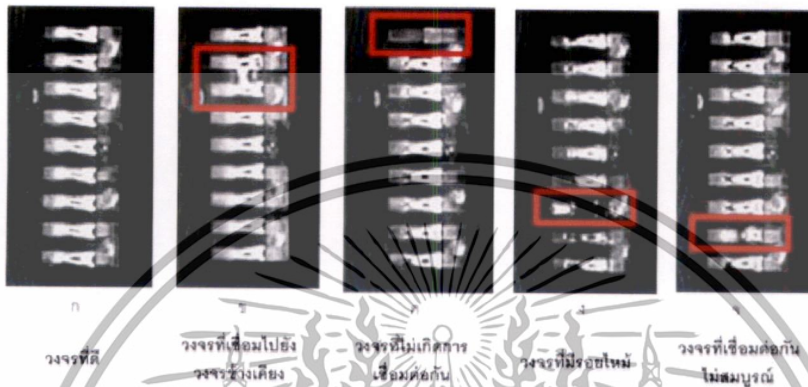
จากค่าอัตราขยาย 5.20 ด้วยระยะทำงาน (Working distance) เป็น 15 มิลลิเมตร จึงเลือกใช้เลนส์ Infinitube FM-75 PL-18 Series ในระบบตรวจจับแบบวิทัศน์ของจรวดหัวอ่านแม่เหล็ก ระบบการตรวจจับแบบวิทัศน์ของจรวดหัวอ่านแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบการตรวจจับแบบวิทัศน์ของจรวดหัวอ่านแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่เกิดขึ้นจากระบบการตรวจจับวิถีศน์ด้วยวิธีการข้างต้น เป็นดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงลักษณะภาพของวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก ทั้ง 5 แบบ คือ แบบวงจรถั่วที่ดี (Good), วงจรถั่วที่เชื่อมไปยังวงจรถั่วข้างเคียง(Bridging), วงจรถั่วที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน(Missing), วงจรถั่วที่มีรอยไหม้(Burn), และวงจรถั่วที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์(No connection)

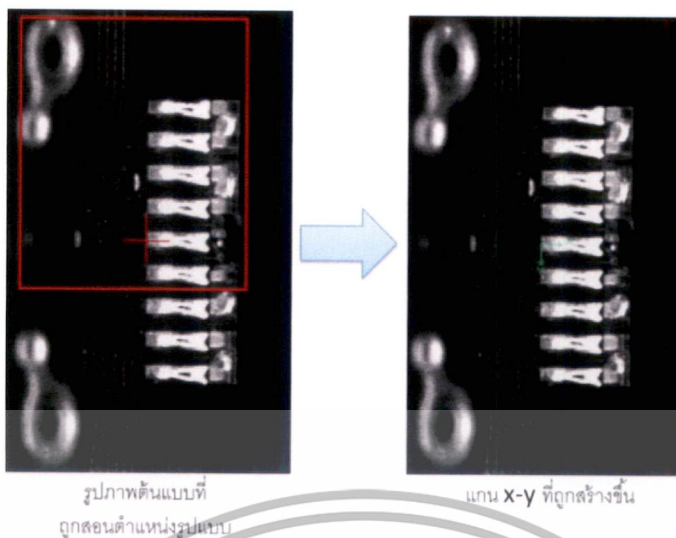


รูปที่ 3.3 วงจรถั่วอ่านแม่เหล็กด้วยระบบการตรวจจับแบบวิถีศน์

3.2 การประมวลผลภาพ

การออกแบบการประมวลผลภาพ เราเลือกใช้โปรแกรม Cognex Vision Pro Version 7.2 เพราะจัดเป็นโปรแกรมที่สามารถประยุกต์ใช้เข้ากับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมได้อย่างง่าย ในกระบวนการของการประมวลผลภาพของวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก เริ่มต้นจากการเลือกภาพต้นแบบเพื่อใช้เป็นภาพสอนตำแหน่งค้นหาครั้งแรก การค้นหาตำแหน่งจากภาพต้นแบบ จะเป็นการสร้างจุดเริ่มต้น (Origin point) ในแกน x-y ด้วยวิธีการ PatMax & BatQuick ซึ่ง PatMax คือเทคโนโลยีหนึ่งในการค้นหาตำแหน่งรูปแบบ ที่ให้ค่าความถูกต้องสูง ในส่วนของ PatQuick ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของ PatMax จะช่วยเรื่องของความเร็วในการประมวลผลและรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพที่นำมาประมวลผล ลักษณะการหารูปแบบของภาพและการสร้างแกน x-y บนรูปภาพวงจรถั่วอ่านแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



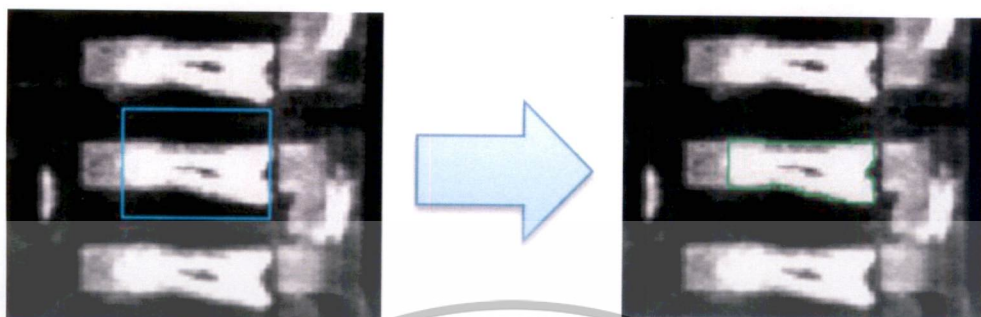
รูปที่ 3.4 การหารูปแบบของรูปภาพเพื่อสร้างแกน x-y

กระบวนการหารูปแบบของภาพเพื่อสร้างแกน x-y มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากภาพของงานแต่ละภาพนั้น จะมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของรูปร่าง ตำแหน่งบนภาพ สีของภาพ ซึ่งหากไม่มีการค้นหารูปแบบก่อน การนำภาพเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการอื่นๆเลยจะเกิดค่าความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของภาพสูง และส่งผลให้กรประมวลผลภาพในขั้นตอนถัดไปเกิดความผิดพลาดสูงเช่นกัน

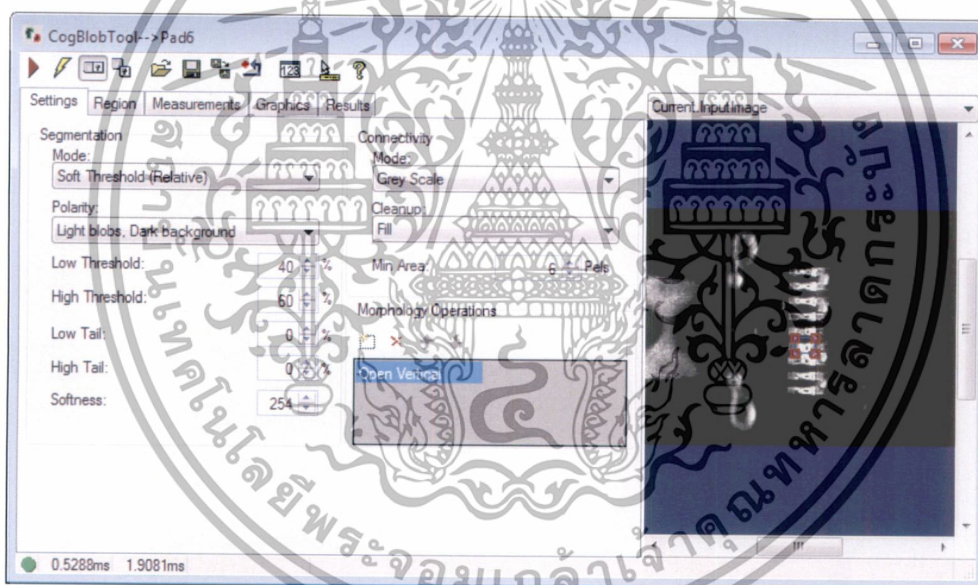
หลังจากภาพได้ผ่านกระบวนการค้นหาตำแหน่งรูปแบบที่ถูกต้องแล้ว ภาพจะถูกนำมาเข้ากระบวนการหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า บล็อก โดยบล็อกจัดเป็นเครื่องมือทางการตรวจจับแบบวิทัศน์ชนิดหนึ่งที่สามารถแยกแยะส่วนของภาพที่เราสนใจออกจากพื้นหลังของภาพได้ด้วยหลักการวิเคราะห์ค่า threshold งานวิจัยนี้เราเลือกการตั้งค่าของบล็อกแบบ Relative ซึ่งเป็นการวิเคราะห์พิทเชลของภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างพิทเชลทางซ้ายและพิทเชลทางขวาของกราฟฮิสโตแกรม โดยตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ทางซ้ายเป็น 40% และเปอร์เซ็นต์ทางขวาเป็น 60% ด้วยการวิเคราะห์ส่วนที่สนใจของภาพเป็นสีขาว และภาพพื้นหลังเป็นสีดำ ข้อดีของการเลือกใช้บล็อกแบบ Relative คือ การรองรับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงได้ ซึ่งทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของแสงบนภาพที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระยะที่ชุดอุปกรณ์การตรวจจับแบบวิทัศน์ หรือเกิดจากค่าความแตกต่างของงานหัวอ่านแม่เหล็กในแต่ละตัว ซึ่งทั้งนี้ หากเลือกใช้บล็อกแบบ Fixed จะเป็นการตั้งค่าคงที่ threshold มาค่าหนึ่ง ซึ่งถ้าหากภาพมีแสงที่เปลี่ยนไป จะส่งผลให้การแยกแยะส่วนของภาพที่เราสนใจออกจากพื้นหลังของภาพผิดพลาดไป ลักษณะของภาพวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กที่ผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็ออบเป็นดังรูปที่ 3.5 ซึ่งตำแหน่งสีเขียวแสดงถึงส่วนของภาพที่สนใจ ที่ได้จากการค้นหาด้วย เครื่องมือบล็ออบ โดยการตั้งค่าเครื่องมือบล็ออบสำหรับภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 รูปภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็กหลังผ่านกระบวนการของบล็ออบ



รูปที่ 3.6 การตั้งค่าเครื่องมือบล็ออบกับภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก

3.3 การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูลด้วยการค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด

ในงานวิจัยฉบับนี้ เลือกใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลข้อมูล โดยการเขียน ฟังก์ชันการทำงานเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. การจัดเตรียมข้อมูลในอาร์เรย์ (Data preparation in array)
2. การวิเคราะห์ข้อมูลในอาร์เรย์และเลือกให้เป็นค่าที่กำหนด (Define value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การนำข้อมูลในอาร์เรย์ไปเป็นตัวแปรขาเข้า เพื่อใช้กับฟังก์ชันใดๆ
4. ประมวลผลที่ได้จากฟังก์ชันเพื่อค้นหาข้อมูลที่ดีที่สุด

วิธีการในการคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูลนั้น เลือกจากข้อมูลตั้งต้นที่ได้จากกระบวนการประมวลผลภาพด้วยเครื่องมือบล็อก ข้อมูลที่ออกจากบล็อกเป็นข้อมูลภาพ ซึ่งบล็อกมีความสามารถในการดึงข้อมูลออกมาเป็นจำนวน 8 ตัวแปร ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์จำนวนเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีตัวแปรจำนวน 8 ตัวแปร จำนวนเหตุการณ์คำนวณได้จากการจัดกลุ่ม (Combination) จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น แสดงดังสมการที่ 3.1

$$\begin{aligned}
 \text{Total event} &= {}_1C^8 + {}_2C^8 + {}_3C^8 + {}_4C^8 + {}_5C^8 + {}_6C^8 + {}_7C^8 + {}_8C^8 \\
 &= \frac{8!}{1!(8-1)!} + \frac{8!}{2!(8-2)!} + \frac{8!}{3!(8-3)!} + \frac{8!}{4!(8-4)!} + \frac{8!}{5!(8-5)!} + \frac{8!}{6!(8-6)!} + \frac{8!}{7!(8-7)!} + \frac{8!}{8!(8-8)!} \\
 &= 8 + 28 + 56 + 70 + 56 + 28 + 8 + 1 = 255
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

จากการคำนวณจะพบว่ามี 255 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อวิเคราะห์ 8 ตัวแปร โดยทุกตัวแปรจะพบกันหมด ในลักษณะการวิเคราะห์ 1 แกน, 2 แกน, 3 แกน, 4 แกน, 5 แกน, 6 แกน, 7 แกน, และ 8 แกน โดยแต่ละแกนจะแทนหนึ่งคุณลักษณะหรือ feature นอกจากนี้ทั้ง 255 เหตุการณ์จะถูกนำไปผ่านเทคนิคการจัดกลุ่ม 3 แบบนั่นคือ การจัดกลุ่มแบบค่าเฉลี่ย, การจัดกลุ่มแบบโคไฮเนน และการจัดกลุ่มแบบฟัชซีค่าเฉลี่ย ทำให้จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็น 765 เหตุการณ์

$$\text{Total event} = 3 \times 255 = 765 \tag{3.2}$$

ข้อมูลดิบจากการประมวลผลภาพ ได้ถูกออกแบบไว้ในโปรแกรมเพื่อให้เกิดเหตุการณ์ ทั้ง 765 เหตุการณ์ มาวิเคราะห์เพื่อแยกแยะหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งถูกกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นดังสมการที่ 3.3

$$\text{Objective function} = \frac{\text{count of correct class index}}{\text{total data}} \times 100 \tag{3.3}$$

จากสมการที่ 3.3 จะพบว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ถูกกำหนดให้เป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจัดกลุ่มของข้อมูลแบบไม่มีการเรียนการสอนมาก่อน เปรียบเทียบกับการจำแนกข้อมูลด้วยสายตา เหตุการณ์ที่ให้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงที่สุด เหตุการณ์นั้น จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนหนึ่งที่สำคัญคือการนำหลักการ Branch and Bound เข้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์ปัญหาบนฟังก์ชันที่มีคำตอบของปัญหาได้หลายเงื่อนไข การจะเลือกคำตอบสุดท้ายที่ดีที่สุด จะต้องผ่านทุกเงื่อนไขที่เป็นไปได้ การตัดปัญหาที่ไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ จะทำให้กระบวนการหาคำตอบมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น งานวิจัยฉบับนี้ ได้เขียนโปรแกรมบน MATLAB โดยการออกแบบและเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้นมา พร้อมทั้งเขียนฟังก์ชันที่เชื่อมโยงกับการจัดกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 วิธี

```

1 - tic
2 - timerVal = tic
3 - angle = [-79 15 277 264 105 0 -58 -80 20 17 172 -18 36 167 81 247 144 -11 -10 1 27;
4 - area = [634.082 742.733 643.745 641.635 791.243 675.115 700.91 775.776 809.176 764.016 652.77;
5 - inertiamax=[182.2444821 240.0497158 204.823463 218.193749 222.4401587 188.5526993 225.093616;
6 - centermassx=[34.402 35.403 35.53 35.357 36.461 34.895 37.377 38.228 37.661 39.226 36
7 - centermassy = [-116.927 -88.037 -87.203 -87.343 -90.579 -94.174 -62.924 -63.434 -63.257 -63.291
8 - acircularity = [259.2 207.4 161.2 185.8 174.3 212.5 201.2 166.3 183.8 179.18;
9 - perimeter = [142.613 139.146 121.066 122.407 131.657 134.569 142.709 127.31 136.695 131.10;
10 - elongation = [362 343.9 417.7 462.5 242.1 328.7 366.2 301.7 264.2 303.9 41;
11
12

```

รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันหลักที่ถูกกำหนดขึ้นบน MATLAB

จากรูปที่ 3.7 ฟังก์ชันหลักที่ถูกกำหนดขึ้นบน MATLAB เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพของวงจรถ่วงแม่เหล็กนั้น ถูกกำหนดฟังก์ชันหลักขึ้นเพื่อกำหนดค่าของตัวแปรขาเข้าทั้งหมด พร้อมทั้งจัดเตรียมให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ที่เหมาะสมกับเงื่อนไขต่างๆ ในการนำข้อมูลไปวิเคราะห์บนฟังก์ชันใดๆ นอกจากนี้ ฟังก์ชันหลักยังเป็นฟังก์ชันที่เรียกใช้ทุกๆ ฟังก์ชันในนี้ ดังนั้น ทุกๆ ครั้งของการประมวลผล จะเริ่มการประมวลผลที่ฟังก์ชันหลักนี้ และเรียกใช้ฟังก์ชันย่อยภายในในลำดับต่อมา

```

1987
1988 - [cidx83, ctrs83] = kmeans(matrixData83, 5);
1989 - [accuracy(83), group83, maxCount83] = FunctionHGAGroup_ref4(cidx83);
1990

```

รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยเคถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก

```

2509 %kohonen clustering
2510 %1-axis
2511 - net256= newc([-inf inf],5);
2512 - wts256= net256.IW(1,1);
2513 - biases256 = net256.b(1);
2514 - net256.trainParam.epochs = 40;
2515 - net256 = train(net256,matrixData1);
2516 - a256 = sim(net256,matrixData1);
2517 - class_index256 = vec2ind(a256);
2518 - [accuracy(256), group256, maxCount256] = FunctionHGAGroup_ref4(class_index256);
2519

```

รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มโคโฮเนนถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก

```

5033
5034
5035 - [ classIndex572 ] = IndexFuzzy( matrixData62 );
5036 - [accuracy(572), group572, maxCount572] = FunctionHGAGroup_ref4(classIndex572);
5037

```

รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันการจัดกลุ่มแบบฟัซซีค่าเฉลี่ยซีกถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลัก

จากรูปที่ 3.8 ถึง 3.10 แสดงฟังก์ชันที่การจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยเค, การจัดกลุ่มโคโฮเนน, และการจัดกลุ่มแบบฟัซซีค่าเฉลี่ยซีกซึ่งถูกเรียกใช้ในฟังก์ชันหลักตามลำดับ นั่นคือฟังก์ชันการจัดกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 แบบ ก่อนที่ข้อมูลนั้นจะถูกนำไปประมวลผลหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 function [accuracy,group,maxCount] = FunctionHGAGroup_ref4(cidx)
2 %UNTITLED Summary of this function goes here
3
4
5
6 %countt(1) = 0.0;
7 %countt(2) = 0.0;
8 %countt(3) = 0.0;

```

รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ถูกออกแบบขึ้นใน MATLAB

```

606 end
607 end
608
609 sum = maxCount(1) + maxCount(2) + maxCount(3) + maxCount(4) + maxCount(5);
610
611 accuracy = (sum/300)*100;
612
613
614

```

รูปที่ 3.12 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูล

```

1 function [B,sset,cps]=b3msv(O,nc)
2 %B3MSV Bidirectional Branch and Bound with Minimum Singular Value Criterion for Subset Sele
3
4 %
5 % Consider the following subset selection problem:
6 % Given a tall (m x n, m>n) matrix, A, to find n rows of A
7 % such that the resulted n x n square submatrix has the
8 % largest MSV among all possible n x n submatrices.

```

รูปที่ 3.13 ฟังก์ชัน Branch and Bound บน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

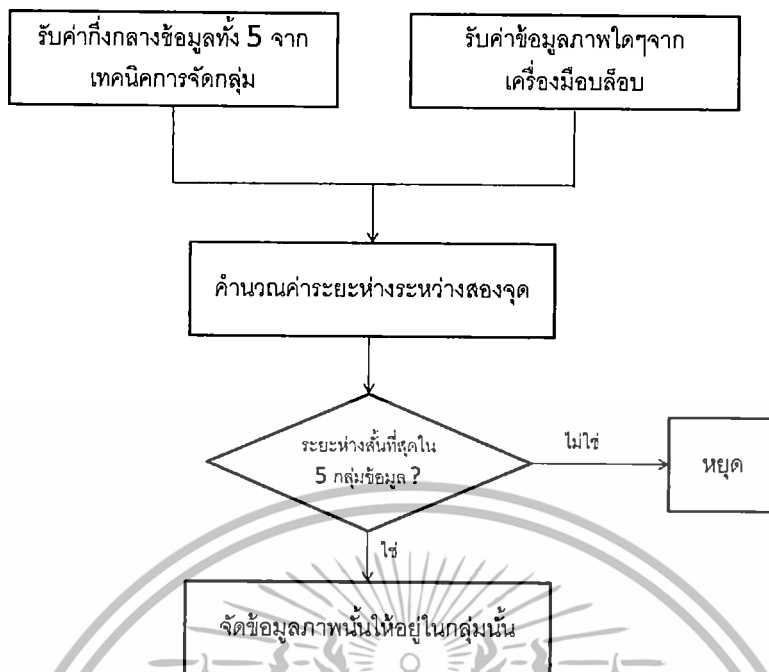
รูปที่ 3.11 แสดงฟังก์ชันที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อกำหนดตัวแปรและสร้างเงื่อนไขในการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รูปที่ 3.12 แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ รูปที่ 3.13 แสดงฟังก์ชัน Branch and Bound

3.4 การจัดกลุ่มข้อมูลจากตัวแปรที่ได้

ในการจัดกลุ่มข้อมูลจากตัวแปรที่ได้จากเครื่องมือบล็อบ งานวิจัยฉบับนี้เราเลือกใช้การจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนการสอน (Unsupervised learning) แบบค่าเฉลี่ยเค (K-means), แบบโคโฮเนน (Kohonen) และแบบฟัซซี ค่าเฉลี่ยซี (Fuzzy C-means) หลักการในการออกแบบการวิเคราะห์นี้คือ การให้กลุ่มของข้อมูลตัวแปรจากเครื่องมือบล็อบ เข้าไปผ่านกระบวนการเรียนรู้แบบไม่มีการสอนในทั้ง 3 วิธีข้างต้น แล้วนำผลลัพธ์การจัดกลุ่มทั้งสามวิธีนี้ มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของการจำแนกประเภทของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กด้วยผู้ดำเนินการหน้างานซึ่งตรวจสอบชนิดของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กผ่านกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 30 เท่า เพื่อวิเคราะห์ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูลในวิธีต่างๆ วิธีการที่ได้ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูลวงจรหัวอ่านแม่เหล็กได้ดีที่สุด จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับงานวิจัยฉบับนี้ ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละวิธีคือ ค่าศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะเป็นตัวแทนค่าของกลุ่มนั้นๆ

3.5 การออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

ในแง่ของการนำไปประยุกต์ใช้ ผลลัพธ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการเรียนรู้จากการจัดกลุ่มข้อมูลในแบบต่างๆ นั้น คือค่ากึ่งกลางของข้อมูลทั้ง 5 กลุ่ม ซึ่งค่ากึ่งกลางเหล่านี้ จะเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลในแต่ละกลุ่มนั้นๆ เพื่อวิเคราะห์ค่าของข้อมูลใดๆที่เข้ามา ด้วยการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลใดๆ กับค่ากึ่งกลางของแต่ละกลุ่ม หากข้อมูลใด มีระยะห่างกับกลุ่มไหนน้อยที่สุด แสดงว่าข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์กับกลุ่มๆ นั้น จึงจัดให้ข้อมูลนั้น อยู่ในกลุ่มนั้น ซึ่งจากหลักการข้างต้นนี้ การนำไปประยุกต์ใช้จริงเป็นวิธีการดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การนำไปประยุกต์ใช้จริงจากผลลัพธ์การจัดกลุ่ม

ในส่วนของลักษณะการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้จริงกับโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ใช้วิธีการออกแบบและพัฒนาสคริปที่อยู่ในโปรแกรม Vision Pro ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีอยู่ในเครื่องจักรอยู่แล้ว สามารถประยุกต์ใช้ได้โดยง่าย โดยสคริปที่เลือกใช้เป็นรูปแบบของ Visual Basic การกำหนดค่าตัวแปรการใช้ข้อมูลจากการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ข้อมูลอาทิเช่น การวิเคราะห์ว่าข้อมูลกลุ่มนี้ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มงานใด รวมถึงการออกแบบผลลัพธ์สุดท้าย ที่มีการแสดงค่าหลังการประมวลผลใน CSV ไฟล์ นั้น ถูกกำหนดไว้บนสคริป Visual Basic ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

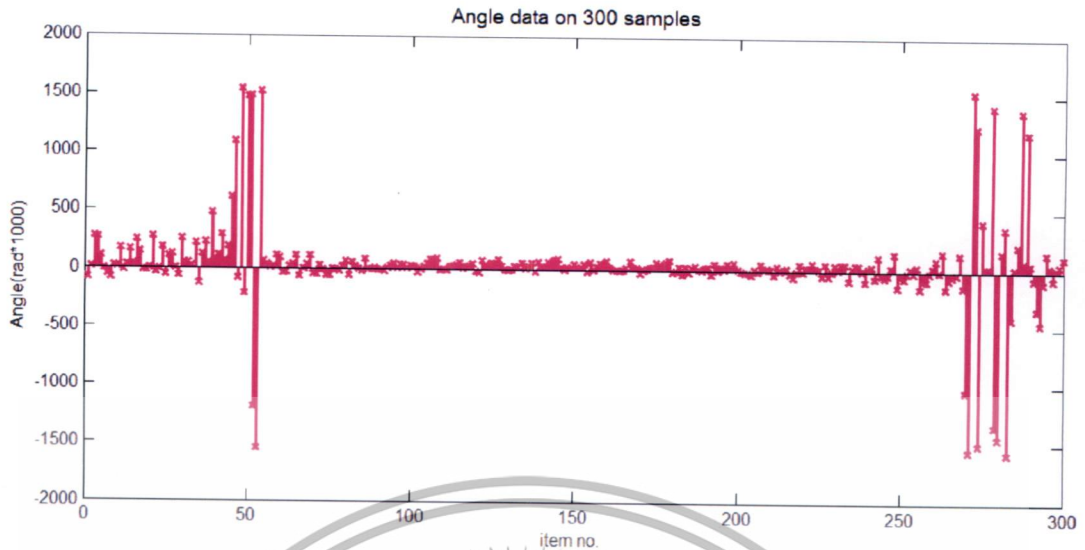
4.1 ข้อมูลภาพจากกระบวนการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพของหัวอ่านแม่เหล็ก ประมวลผลจากกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพด้วยเครื่องมือบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลภาพ ทั้ง 8 ตัวแปรต่อภาพ 1 ภาพ ค่าทั้ง 8 ตัวแปรนั้น ประกอบไปด้วยค่า มุม, พื้นที่, โมเมนต์ความเฉื่อย, จุดศูนย์กลางมวลแกน X, จุดศูนย์กลางมวลแกน Y, ความเป็นวงกลม, เส้นรอบรูป, และ อัตราส่วนโมเมนต์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากกระบวนการวัดค่าและวิเคราะห์ค่าของภาพด้วยเครื่องมือบล็อกซึ่งเป็นเครื่องมือในโปรแกรม Vision Pro ผลลัพธ์ของการหาคุณลักษณะต่างๆของข้อมูลภาพทั้ง 300 ตัวอย่าง แสดงดังรูป 4.2 ถึง 4.9



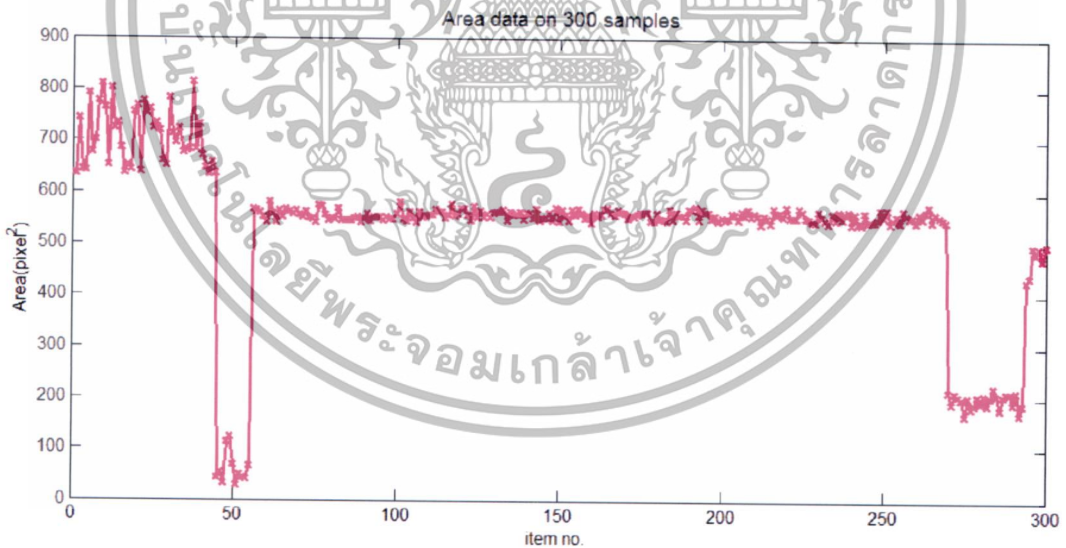
รูปที่ 4.1 รูปแสดงส่วนที่สนใจซึ่งถูกตรวจจับด้วยเครื่องมือบล็อกทั้ง 9 วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าข้อมูลมุมของ 300 ตัวอย่าง

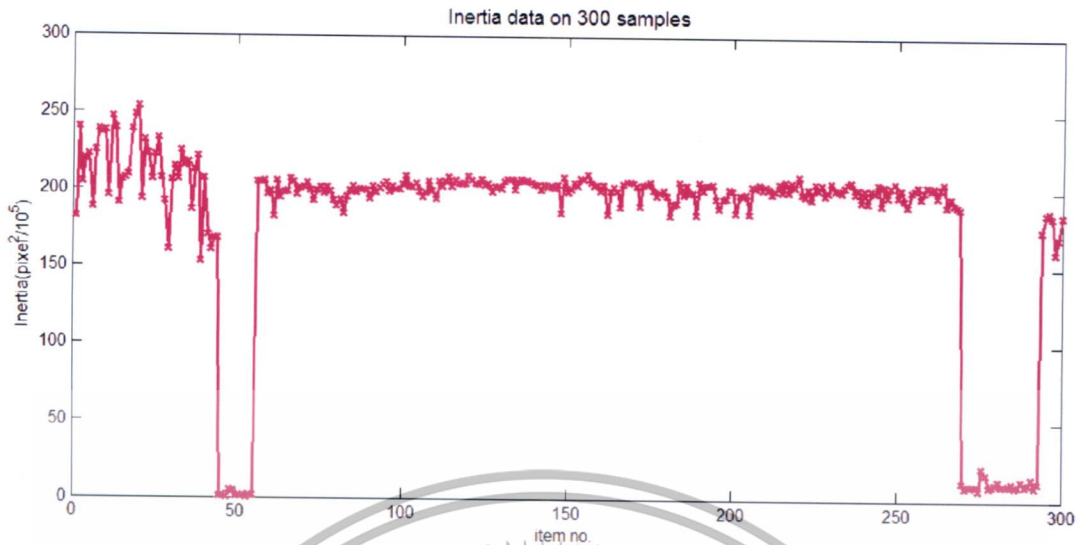
จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าของข้อมูลมุมหน่วยของมม ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ เรเดียน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าข้อมูลพื้นที่ของ 300 ตัวอย่าง

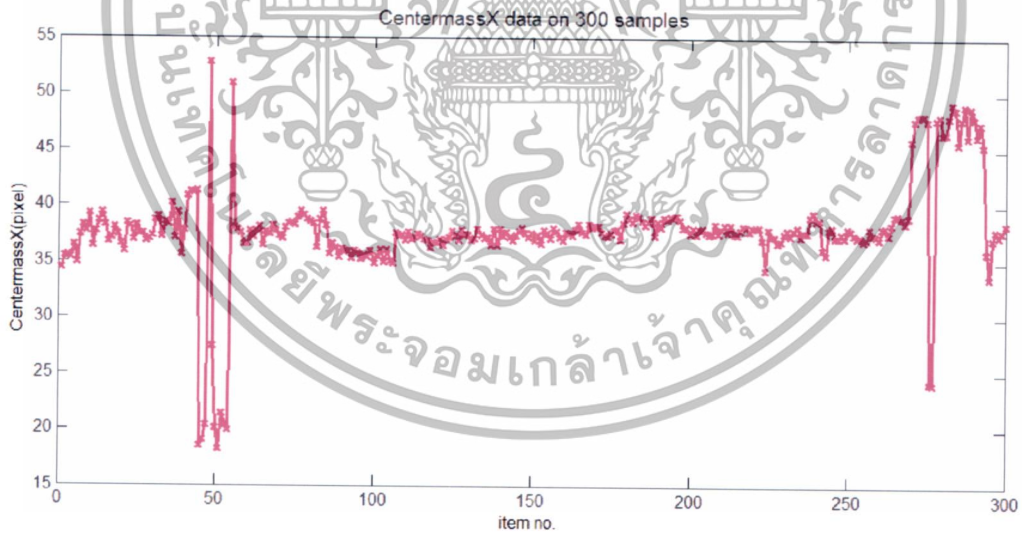
จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของข้อมูลพื้นที่นั้น หน่วยของพื้นที่ ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ พิกเซลกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าข้อมูลโมเมนต์ความเฉื่อยของ 300 ตัวอย่าง

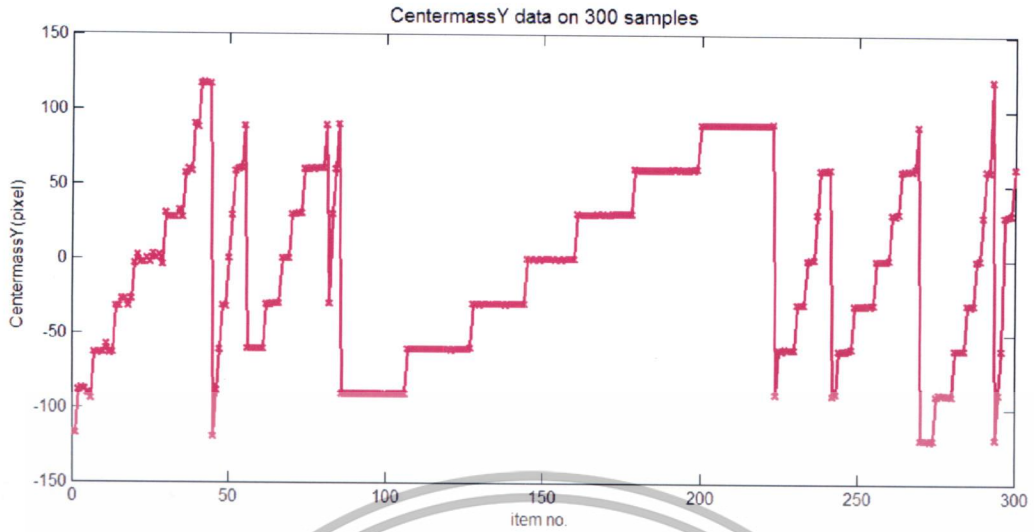
จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าของข้อมูลโมเมนต์ความเฉื่อยนั้น หน่วยของโมเมนต์ความเฉื่อยที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ พิกเซลกำลังสอง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน X ของ 300 ตัวอย่าง

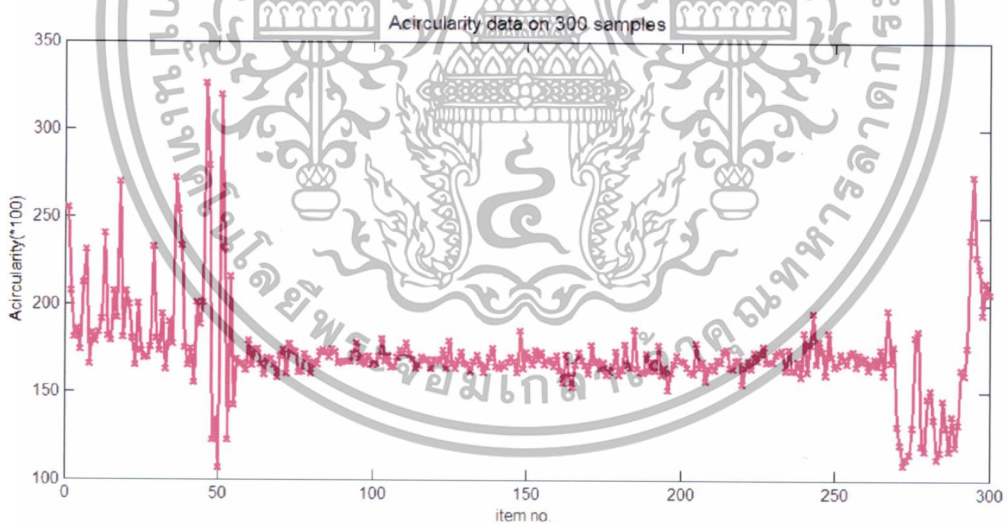
จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าของข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน X นั้น หน่วยของจุดศูนย์กลางมวลแกน X ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน Y ของ 300 ตัวอย่าง

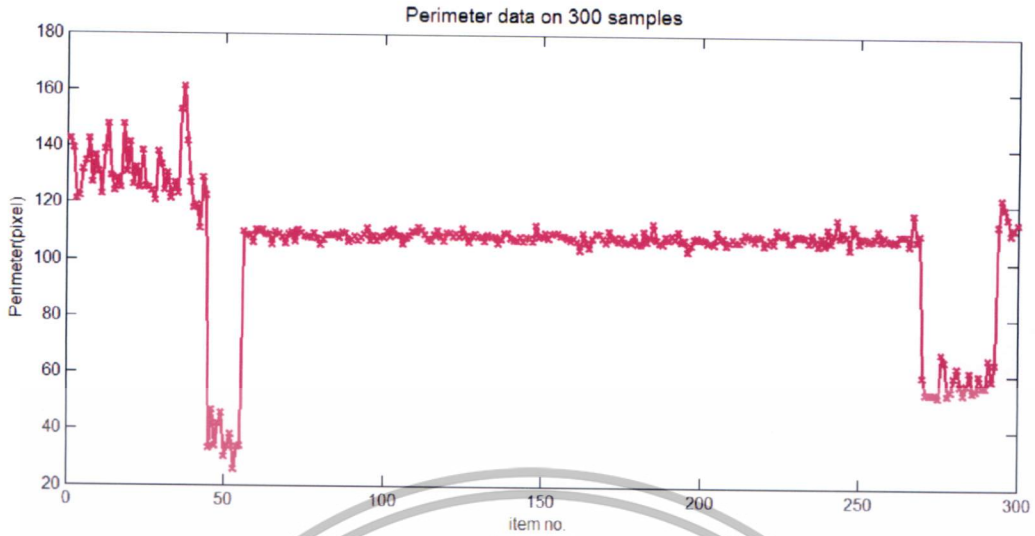
จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าของข้อมูลจุดศูนย์กลางมวลแกน Y นั้น หน่วยของจุดศูนย์กลางมวลแกน Y ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ พิกเซล



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าข้อมูลความเป็นวงกลมของ 300 ตัวอย่าง

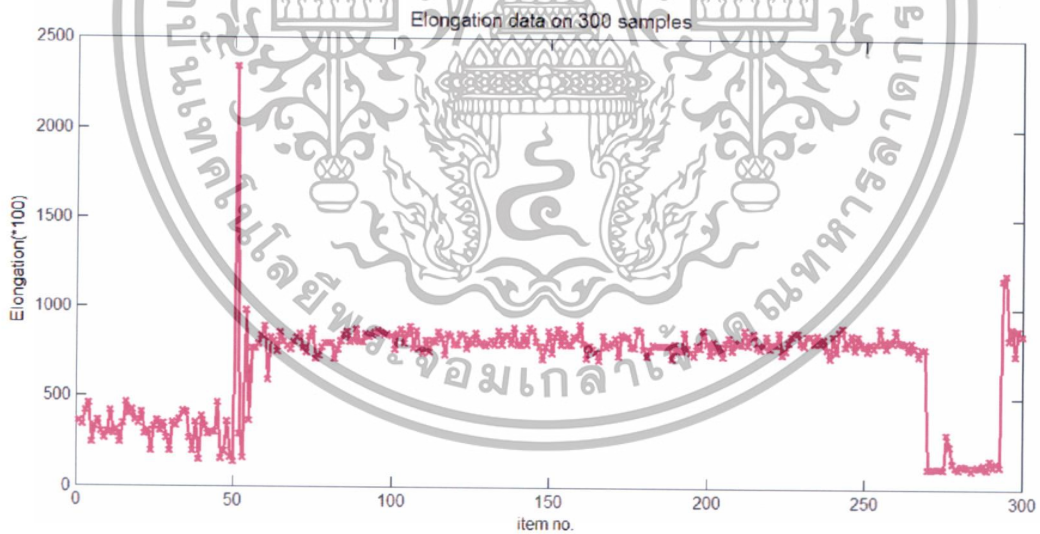
จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าของข้อมูลความเป็นวงกลมนั้น หน่วยของความเป็นวงกลม ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพนั้น ไม่มีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าข้อมูลเส้นรอบรูปของ 300 ตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าของข้อมูลเส้นรอบรูปนั้น หน่วยของเส้นรอบรูป ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพคือ พิกเซล



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าข้อมูลอัตราส่วนโมเมนต์ของ 300 ตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าของข้อมูลอัตราส่วนโมเมนต์นั้น หน่วยของอัตราส่วนโมเมนต์ที่วัดได้จากกระบวนการประมวลผลภาพนั้น ไม่มีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองหลังจากผ่านกระบวนการ Branch and Bound (BNB)

หลังจากได้ข้อมูลภาพทั้ง 8 ตัวแปรจากกระบวนการในการประมวลผลภาพแล้วนั้น ข้อมูลดังกล่าว ถูกนำมาวิเคราะห์ผลในโปรแกรม MATLAB ที่ถูกสร้างเงื่อนไขการจับกลุ่มของข้อมูลแบบพบกันหมด ซึ่งมีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดเป็น 765 เหตุการณ์ ความแตกต่างของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขการหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดในการจัดกลุ่มแบบไม่มีการเรียนการสอนมาก่อน และวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลที่ดีที่สุดกับจำนวนข้อมูลเหล่านั้น

ผลการทดลองด้วยการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แล้วนำไปวิเคราะห์ผ่านกระบวนการของ Branch and Bound นั้น พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดหลังจากกระบวนการค้นหาด้วย Branch and Bound นั้น แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดง 10 อันดับของคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยค่าคำตอบที่ดีที่สุดและตำแหน่งของค่าคำตอบเหล่านั้น ค่าแกนตั้งแสดงความถูกต้องของกลุ่มข้อมูลซึ่งเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเดิมคือการดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งพบว่าได้คำตอบที่ดีที่สุดที่ 99.667%



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกจาก 765 เหตุการณ์

วิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการประมวลผลทั้งหมด 3823.9863 วินาที หรือ 1.0622 ชั่วโมง แล้วได้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นตำแหน่งที่ 61 โดยให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดเป็น 99.6667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

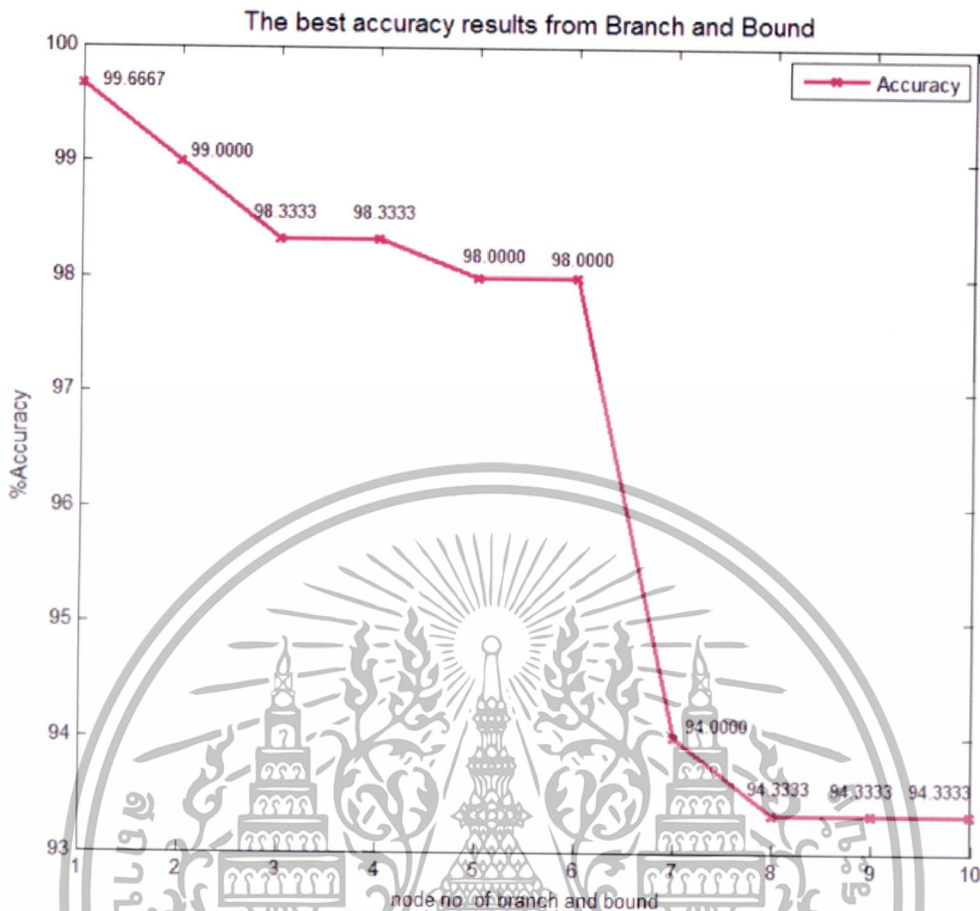
ตารางที่ 4.1 10 อันดับค่าคำตอบที่ดีที่สุดหลังการประมวลผล

ลำดับ	แกน	วิธีการจัดกลุ่ม	คุณลักษณะ
1 (61)	3	ค่าเฉลี่ยเค	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/เส้นรอบรูป
2 (60)	3	ค่าเฉลี่ยเค	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/ความเป็นวงกลม
3 (517)	3	พีชชีค่าเฉลี่ยซี	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/เส้นรอบรูป
4 (575)	3	พีชชีค่าเฉลี่ยซี	พื้นที่/จุดศูนย์กลางมวลแกน X/เส้นรอบรูป
5 (529)	2	พีชชีค่าเฉลี่ยซี	พื้นที่/ความเป็นวงกลม
6 (568)	3	พีชชีค่าเฉลี่ยซี	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/จุดศูนย์กลางมวลแกน X
7 (204)	5	ค่าเฉลี่ยเค	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/จุดศูนย์กลางมวลแกน Y /ความเป็นวงกลม/ เส้นรอบรูป
8 (317)	3	โคโฮเนน	พื้นที่/โมเมนต์ความเฉื่อย/อัตราส่วนโมเมนต์
9 (321)	3	โคโฮเนน	พื้นที่/จุดศูนย์กลางมวลแกน X /อัตราส่วนโมเมนต์
10 (327)	3	โคโฮเนน	พื้นที่/เส้นรอบรูป/อัตราส่วนโมเมนต์

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของ 10 อันดับแรกของคำตอบที่ดีที่สุด จะพบว่า ทั้ง 10 อันดับ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล แบบ 3 แกน จำนวน 7 อันดับ อีก 2 อันดับเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ 2 แกน และ 5 แกน นอกจากนี้ ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่า 5 อันดับแรกนั้น มีเพียงวิธีการจัดกลุ่มแบบค่าเฉลี่ยเค และวิธีพีชชีค่าเฉลี่ยซีเท่านั้น

ข้อมูลส่วนหนึ่งจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่เหมือนกันในส่วนของตัวแปรที่ลำดับที่ 1 และ 3 ด้วยวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกัน จะพบว่า ในลำดับที่ 1 และ 3 นั้น ถูกวิเคราะห์ที่ 3 แกน ด้วยข้อมูล พื้นที่, โมเมนต์ความเฉื่อย, และเส้นรอบรูป โดยลำดับที่ 1 ถูกจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเป็น 99.6667% และลำดับที่ 3 ถูกจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีพีชชีค่าเฉลี่ยซีซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเป็น 98.3333% ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

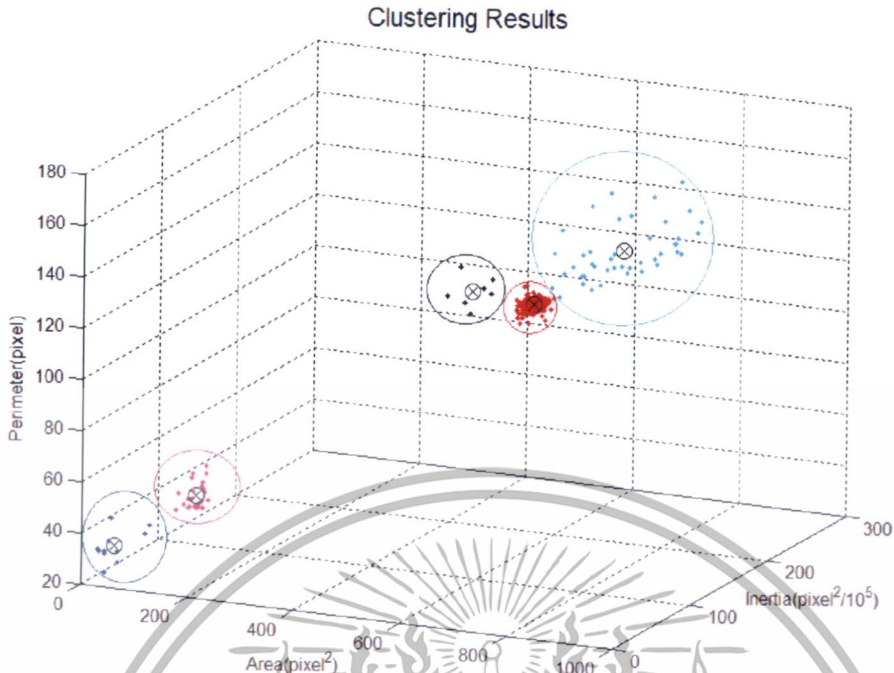


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกตามลำดับ

แต่ทั้งนี้ ในลำดับที่ 2 ซึ่งจากรูปที่ 4.11 จะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความถูกต้องเป็น 99.0000% นั้น ก็มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลของลำดับที่ 1 และ 3 เพราะตัวแปรทั้งสามที่ลำดับดังกล่าว นั้นมีข้อมูลของ พื้นที่และโมเมนต์ความเฉื่อยเหมือนกัน แต่ข้อมูลที่ลำดับที่ 2 แตกต่างออกไปคือเป็นข้อมูลที่แกนที่สาม เป็นค่าความเป็นวงกลม ซึ่งลำดับที่ 1 และ 3 เป็นเส้นรอบรูป ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ที่ความหมายของข้อมูลระหว่างค่าความเป็นวงกลมและค่าเส้นรอบรูปนั้น ทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน เพราะค่าความเป็นวงกลมถูกคำนวณมาจากอัตราส่วนระหว่างเส้นรอบรูปกำลังสองกับพื้นที่

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ที่กระบวนการการจัดกลุ่มข้อมูลจะได้ผลลัพธ์ของข้อมูลออกมาเป็นค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายของแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่งค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายเหล่านั้นจะเป็นตัวแทนข้อมูลกลุ่มนั้นๆ กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



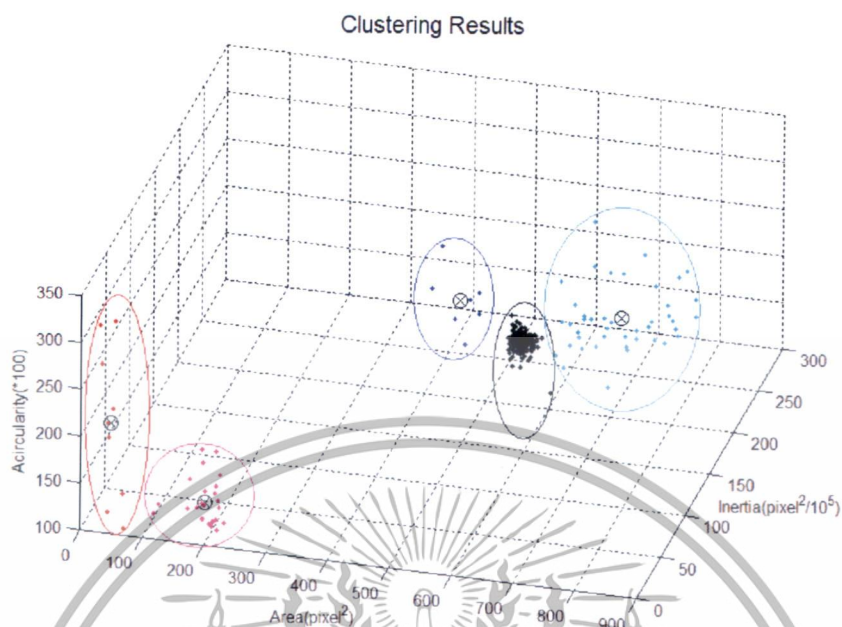
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีค่าเฉลี่ย K ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 61

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลใน 5 กลุ่มข้อมูล สีฟ้าแทนวงจรถที่เชื่อมไปยังวงจรถข้างเคียง สีน้ำเงินแทนกลุ่มข้อมูลวงจรถที่มีรอยไหม้ สีแดงแทนวงจรถที่ดี สีชมพูแทนกลุ่มข้อมูลของวงจรถที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน และสีดำแทนวงจรถที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ ส่วนวงกลมที่มีกากบาท X บนกราฟแสดงจุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้าย แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 61

กลุ่ม	พื้นที่(พิกเซล ²)	โมเมนต์ความเฉื่อย(พิกเซล ² /10 ⁵)	เส้นรอบรูป(พิกเซล)
วงจรถที่เชื่อมไปยังวงจรถข้างเคียง	708.2615	211.1732	131.5751
วงจรถที่มีรอยไหม้	60.4703	1.8718	36.1733
วงจรถที่ดี	556.7256	200.5483	108.4784
วงจรถที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน	198.7688	11.3017	57.9568
วงจรถที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์	474.0023	178.3713	115.4271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



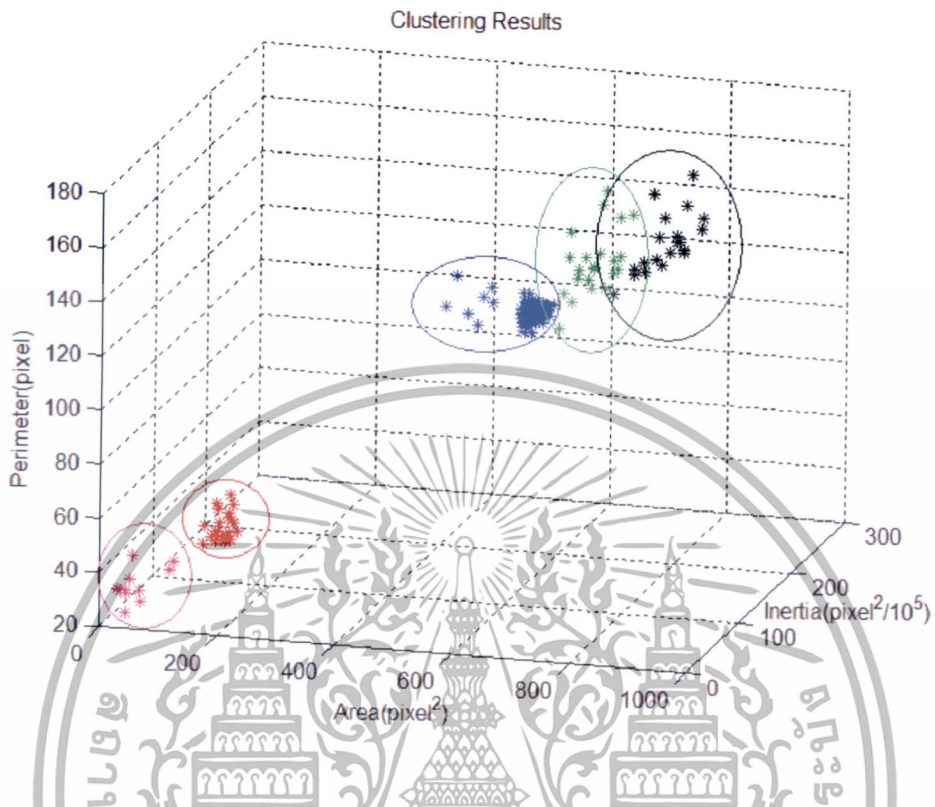
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีค่าเฉลี่ย K ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 60

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลใน 5 กลุ่มข้อมูล สีที่แทนวงจรถูกเชื่อมโยงไปยังวงจรถ้างเคียง สีแดงแทนกลุ่มข้อมูลวงจรถที่มีรอยไหม้ สีดำแทนวงจรถที่ดี สีชมพูแทนกลุ่มข้อมูลของวงจรถที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน และสีน้ำเงินแทนวงจรถที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ ส่วนวงกลมที่มีกากบาท X บนกราฟแสดงจุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้าย แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 60

กลุ่ม	พื้นที่(พิกเซล ²)	โมเมนต์ความเฉื่อย(พิกเซล ² /10 ⁵)	ความเป็นวงกลม (*100)
วงจรถที่เชื่อมโยงไปยัง วงจรถข้างเคียง	708.2615	211.1732	195.9907
วงจรถที่มีรอยไหม้	47.6009	1.2495	216.1667
วงจรถที่ดี	556.7256	200.5483	168.3060
วงจรถที่ไม่เกิดการ เชื่อมต่อกัน	192.5853	10.7917	135.2077
วงจรถที่เชื่อมต่อกันไม่ สมบูรณ์	474.0023	178.3713	224.9571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลแบบวิธีพีซีซีค่าเฉลี่ย ใน 3 แกนของข้อมูลตำแหน่งที่ 517

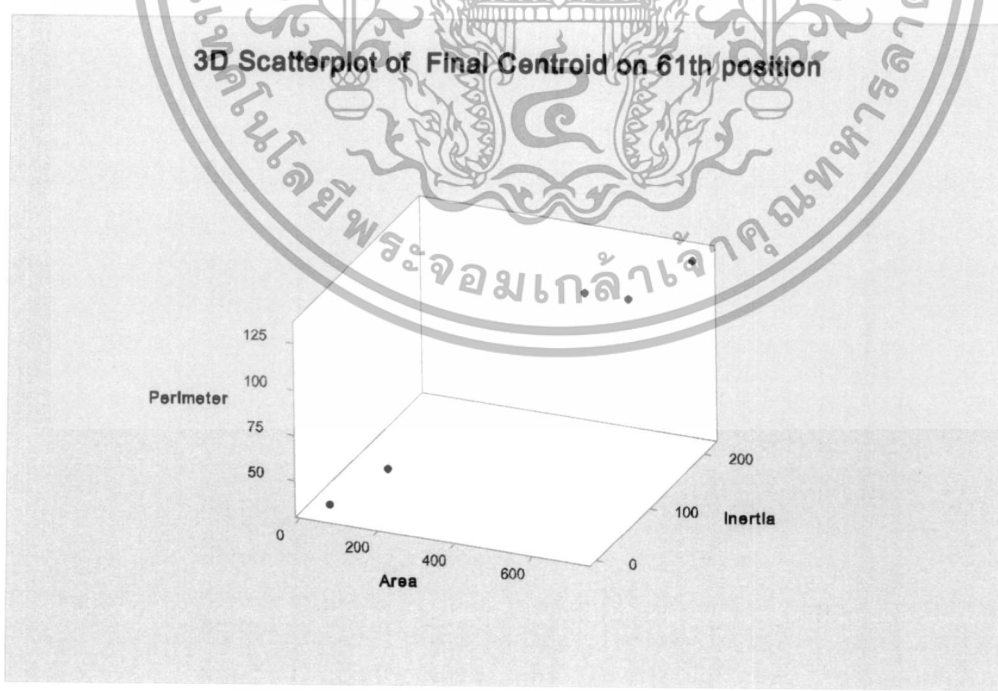
จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลใน 5 กลุ่มข้อมูล สีตัวแทนวงจรถัดไปยังวงจรถัดข้างเคียง สีชมพูแทนกลุ่มข้อมูลวงจรถัดที่มีรอยไหม้ สีเขียวแทนวงจรถัดที่ดี สีแดงแทนกลุ่มข้อมูลของวงจรถัดที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน และสีน้ำเงินแทนวงจรถัดที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ ส่วนวงกลมที่มีกากบาท X บนกราฟแสดงจุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้าย แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 517

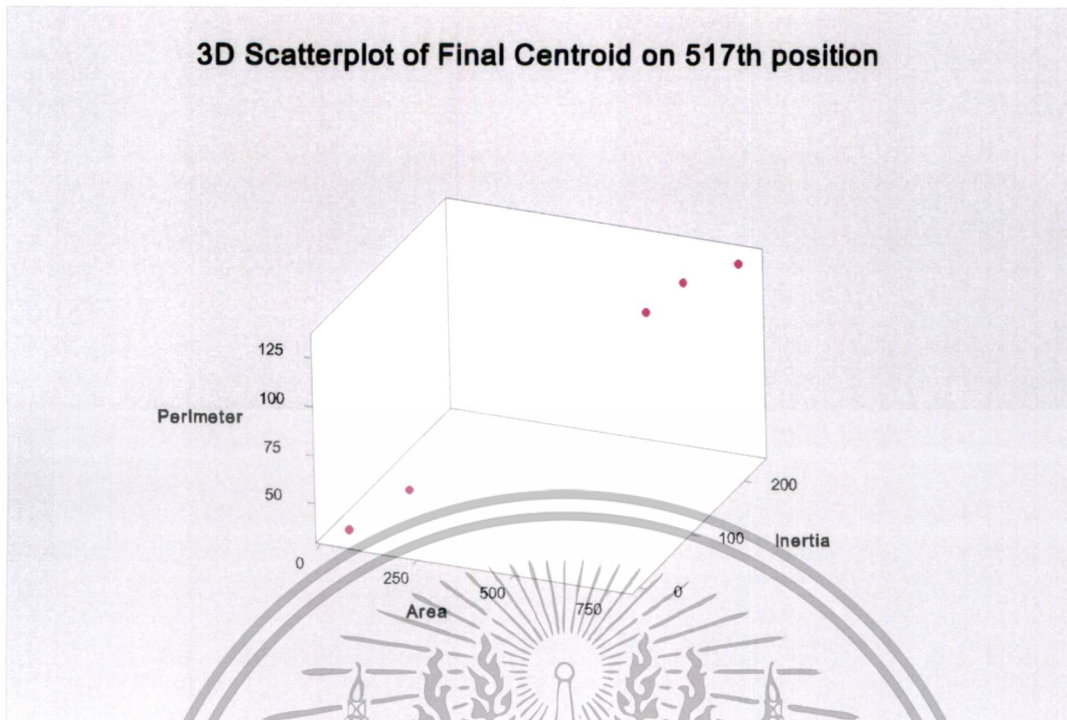
กลุ่ม	พื้นที่(พิกเซล ²)	โมเมนต์ความเฉื่อย(พิกเซล ² /10 ⁵)	เส้นรอบรูป(พิกเซล)
วงจรมีรอยขีดข่วน	761.0129	227.6887	132.5356
วงจรมีรอยไหม้	53.2074	1.6422	35.2445
วงจรมีรอยขีดข่วน	660.0781	197.0967	128.0773
วงจรมีรอยขีดข่วน	198.3262	11.4325	57.8586
วงจรมีรอยขีดข่วน	554.9220	200.3512	108.5939

เมื่อเปรียบเทียบค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายของข้อมูลตำแหน่งที่ 61 ซึ่งเป็นลำดับที่ 1 กับข้อมูลตำแหน่งที่ 571 ซึ่งเป็นลำดับที่ 3 นั้น จะพบว่ามีค่าที่แตกต่างกันที่กลุ่มของข้อมูลวงจรมีรอยขีดข่วนไม่สมบูรณ์กับวงจรมีรอยขีดข่วน ซึ่งส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง มีความแตกต่างกัน ลักษณะความแตกต่างของค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลตำแหน่งที่ 517

4.3 การทดสอบระบบ

จากผลการทดลองข้างต้น จะพบว่า เป็นผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้แบบไม่มีการเรียนการสอนมาก่อน ซึ่งเป็นการเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Training process) จากกลุ่มข้อมูลนั้น จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบระบบเพื่อหาคำตอบว่า จากกระบวนการเรียนรู้ข้างต้นนั้น ได้ประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ เมื่อวิธีการนี้ ถูกนำไปใช้กับเครื่องจักรอื่นๆ ในสายการผลิตจริง

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบระบบโดยการนำค่าจุดกึ่งกลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มมาใช้เป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้ง 5 กลุ่ม จากนั้น วิเคราะห์ค่าของข้อมูลใดๆ ที่เข้ามา ว่ามีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางทั้ง 5 กลุ่มข้อมูลเป็นอย่างไร ระยะห่างที่น้อยที่สุดเกิดจากการคำนวณระยะห่างที่กลุ่มข้อมูลใด ให้จัดข้อมูลนั้น ไว้ในกลุ่มข้อมูลกลุ่มนั้น จากวิธีการข้างต้นนี้ กระบวนการทดสอบจึงเลือกการนำข้อมูลภาพ ภาพละ 3 ข้อมูล นั่นคือ พื้นที่, โมเมนต์ความเฉื่อย, และเส้นรอบรูป โดยนำวิธีดังกล่าวและค่าจุดศูนย์กลางนั้นมาใช้กับเครื่องจักรเครื่องอื่นโดยไม่มีการเรียนรู้ใหม่ และใช้ภาพถ่ายตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมา จำนวน 300 ภาพ พบว่า ที่เครื่องจักรเบอร์ 017 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 66.13% ที่เครื่องจักรเบอร์ 023 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 62.80% และที่เครื่องจักรเบอร์ 101 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 71.20% ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่า ได้ค่าความถูกต้องที่ลดลงจากกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

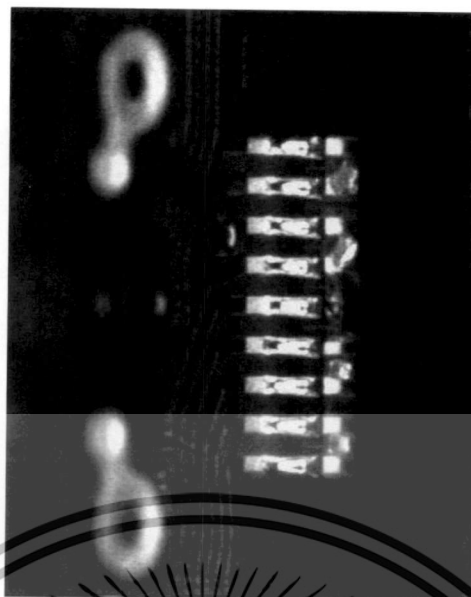
เรียนรู้ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 99.67% รูปที่ 4.17 ถึง 4.19 แสดงรูปวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 017, 023, และ 101 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 รูปวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 017

รูปที่ 4.18 รูปวงจรถ่ายหัวอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 023

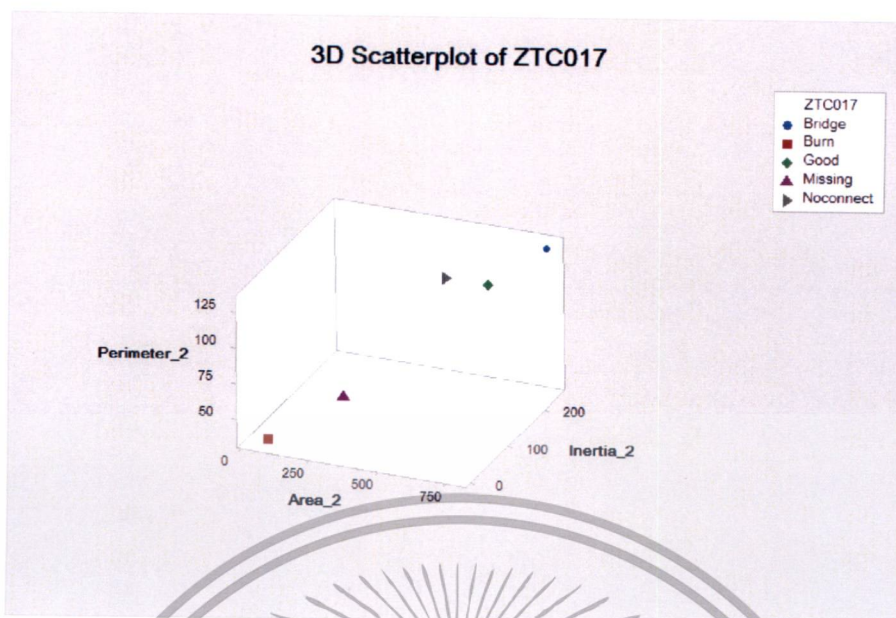
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 รูปวงจรหัวอ่านแม่เหล็กจากเครื่องเบอร์ 101

จากการวิเคราะห์พบว่า ความถูกต้องที่ได้แตกต่างกันน่าจะมาจากสาเหตุหนึ่งหนึ่ง คือ ภาพที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพผ่านเครื่องจักรในแต่ละเครื่องนั้น มีลักษณะของภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุมาจากระบบวิทัศน์ที่มีความแตกต่างกัน แสงที่ตกกระทบลงบนภาพนั้นมีความแตกต่างและส่งผลให้สีและความเข้มของภาพแตกต่างกันออกไปด้วย นอกจากนี้ ชุดอุปกรณ์สำหรับการตั้งมุมถ่ายภาพก็มีความแตกต่างกันที่ค่าๆหนึ่ง ดังนั้น การเลือกใช้ค่าจุดกึ่งกลางสุดท้ายจากการวิเคราะห์ที่เครื่องต้นแบบมาใช้กับทุกเครื่องจึงได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นในขั้นต่อไปจึงได้ใช้ภาพที่มาจากภาพถ่ายของหัวอ่านแม่เหล็กในแต่ละเครื่องมาหาวิธีและคุณลักษณะที่เหมาะสมของแต่ละเครื่องแล้วค่อยนำไปทดสอบระบบแทน แล้วทำการวิเคราะห์กระบวนการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ในแต่ละเครื่องจักร เพื่อให้ข้อมูลแต่ละเครื่องมีค่าจุดกึ่งกลางสุดท้ายที่เหมาะสมกับค่าจากภาพที่เกิดขึ้นบนเครื่องนั้นๆ พบว่า ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้เป็น เครื่องจักรเบอร์ 017 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 100% ที่เครื่องจักรเบอร์ 023 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 99.21% และที่เครื่องจักรเบอร์ 101 ได้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 99.12% ผลลัพธ์ของจุดกึ่งกลางสุดท้ายซึ่งเป็นตัวแทนของทั้ง 5 กลุ่มข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

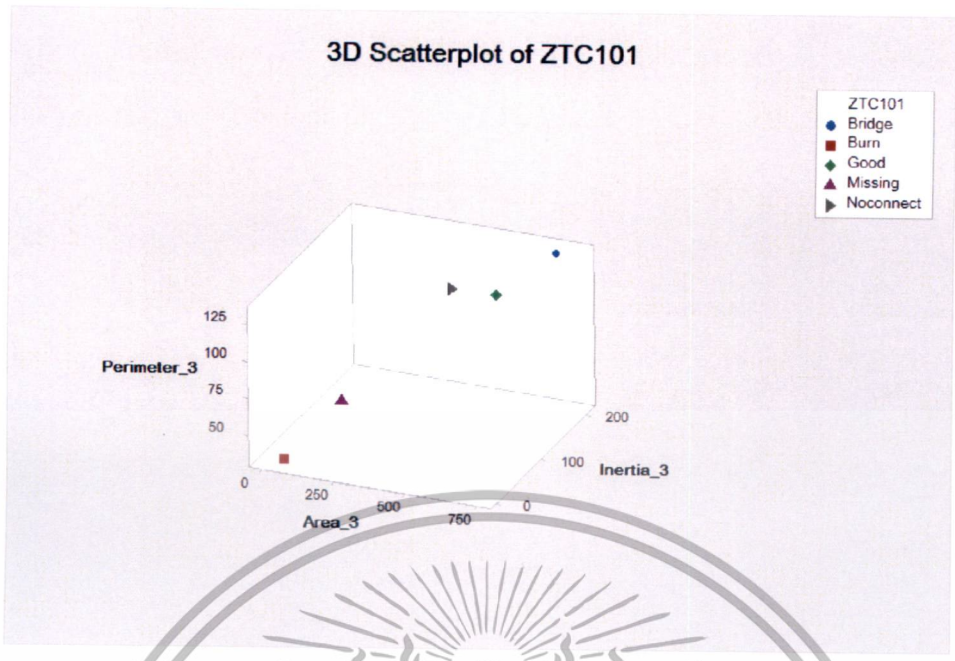


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 017



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

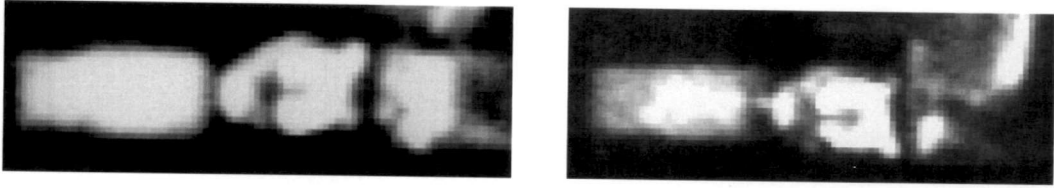


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการจัดกลุ่มของเครื่องจักรเบอร์ 101

จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.22 จะพบว่าลักษณะตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายทั้ง 5 กลุ่มข้อมูลนั้น มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยจะมีตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของวงจรมีรอยไหม้ ซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมสีแดงบนกราฟ อยู่ใกล้กับค่าจุดศูนย์กลางของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกัน ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมสีม่วงบนกราฟ ตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมสีเทา ตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมสีเขียวและตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นวงกลมสีน้ำเงิน มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน ลักษณะดังกล่าวของกราฟผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการจัดกลุ่มข้อมูลของภาพที่ได้จากเครื่องจักรทั้งสามเครื่องนั้น มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อวิเคราะห์ไปที่ลักษณะของภาพที่ก่อให้เกิดการจัดกลุ่มที่ผิดพลาดไปนั้น จากเครื่องเบอร์ 023 และเครื่องเบอร์ 101 เป็นลักษณะของการจัดกลุ่มภาพของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ ไปเป็นภาพของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกัน ซึ่งสาเหตุดังกล่าว มาจากการใช้เทคนิคการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพแบบ Opening ซึ่งจะทำการตัดขอบพิกเซลของภาพออกก่อนแล้วจึงเติมเต็มพิกเซลขอบ ซึ่งหลังจากตัดขอบออกแล้วเติมเต็ม ทำให้ภาพของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับภาพของวงจรมิที่เกิดการเชื่อมต่อกัน ลักษณะภาพดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ภาพวงจรที่เกิดการจับกลุ่มผิดพลาด

4.4 การนำไปประยุกต์ใช้

จากผลการทดลองที่ได้ จะพบว่าค่าผลลัพธ์สุดท้ายที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ คือค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังจากการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ย แต่ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ที่เครื่องจักรต่างๆ จะต้องมีการนำภาพของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กที่ถ่ายภาพผ่านเครื่องนั้นๆ ไปผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยตัวเองในครั้งแรกก่อน เพื่อนำค่าจุดศูนย์กลางสุดท้ายที่ได้จากข้อมูลภาพจากเครื่องนั้นๆ มาเป็นค่าตัวแทนในการวิเคราะห์ภาพใดๆ หนึ่งในโปรแกรมที่เรานำมาประยุกต์ใช้บนเครื่องจักรในอุตสาหกรรม คือโปรแกรม Vision Pro ซึ่งสามารถออกแบบลักษณะของการวิเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งลักษณะของข้อมูลที่ต้องการออกมาในรูปแบบของไฟล์ได้

งานวิจัยฉบับนี้ ออกแบบและเขียนโค้ดภายในสคริปของโปรแกรม Vision Pro โดยเลือกใช้ภาษา Visual Basic เพื่อรับค่าข้อมูลภาพใดๆ จากเครื่องมือบัส หลังจากนั้น นำค่าข้อมูลภาพเหล่านั้นมาวิเคราะห์ระยะห่างที่สั้นที่สุด โดยภายในได้ถูกกำหนดค่าของจุดศูนย์กลางสุดท้าย หลังจากผ่านการเรียนรู้ไว้ทั้ง 5 กลุ่มข้อมูลแล้ว จากลักษณะของวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก ในหนึ่งวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก จะประกอบไปด้วย 9 วงจรย่อย ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ภาพเลือกวิเคราะห์ทีละ 1 วงจรย่อย ภายในโค้ดจึงเพิ่มข้อมูลการตัดสินใจผลลัพธ์ของวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก ด้วยการกำหนดเงื่อนไข 3 เงื่อนไขดังนี้

1. เจอวงจรที่ดีทั้ง 9 วงจรย่อย จะกำหนดให้งานนั้นเป็นวงจรที่ดี
2. เจอวงจรที่ดีน้อยกว่า 9 วงจรย่อย จะนับวงจรที่เหลือว่ามีวงจรลักษณะใดมากที่สุด แล้วกำหนดให้วงจรนั้นเป็นผลลัพธ์
3. เจอวงจรที่ดีน้อยกว่า 9 วงจรย่อย และนับวงจรที่เหลือ หากแต่ละกลุ่มวงจรที่เหลือมีจำนวนเท่ากัน จะทำการเลือกวงจรตามระดับความรุนแรง

รูปที่ 4.24 แสดงสคริป Visual Basic ที่ใช้เขียนใน Vision Pro เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

450
451 Public Function GetResults() As Integer
452 Dim dict As Dictionary(Of String, Integer) = New Dictionary(Of String, Integer)
453 dict.Add("Good", 1)
454 dict.Add("Bridge", 2)
455 dict.Add("Burn", 3)
456 dict.Add("Missing", 4)
457 dict.Add("Noconnect", 5)
458
459 If (dict.ContainsKey("Good")) Then
460 dict("Good") += 1
461 End If
462 If (dict.ContainsKey("Bridge")) Then
463 dict("Bridge") += 1
464 End If
465 If (dict.ContainsKey("Burn")) Then
466 dict("Burn") += 1
467 End If
468 If (dict.ContainsKey("Missing")) Then
469 dict("Missing") += 1
470 End If
471 If (dict.ContainsKey("Noconnect")) Then
472 dict("Noconnect") += 1
473 End If
474
475 Dim maxCount0 As Integer = Math.Max(dict("Good"), dict("Bridge"))
476 Dim maxCount1 As Integer = Math.Max(maxCount0, dict("Burn"))
477 Dim maxCount2 As Integer = Math.Max(maxCount1, dict("Missing"))
478 Dim maxCount3 As Integer = Math.Max(maxCount2, dict("Noconnect"))
479
480 Dim strResults As String
481 If maxCount3 = 5 Then
482 strResults = "Good"
483 End If
484 If maxCount3 = dict("Bridge") Then

```

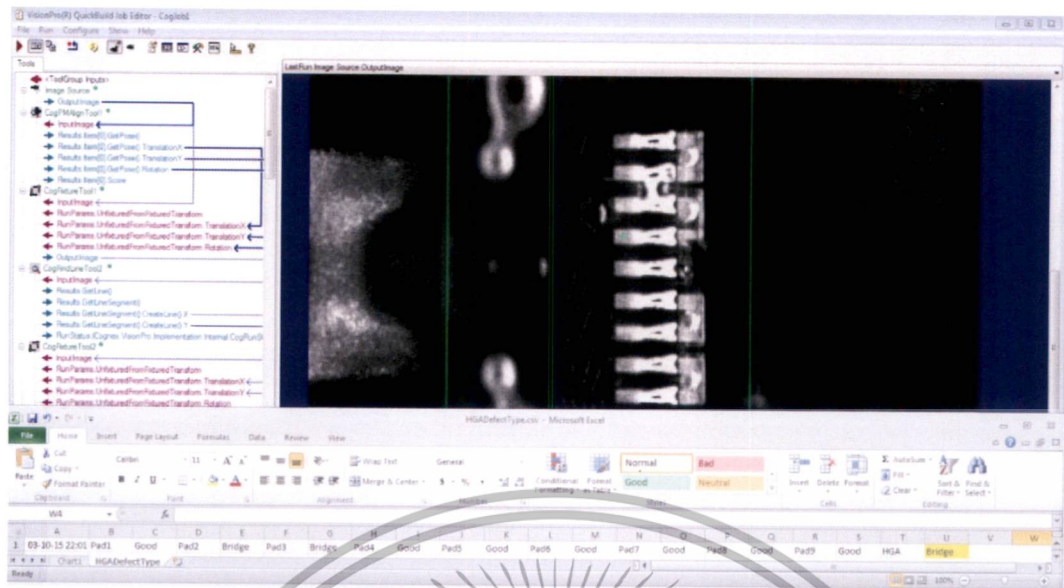
รูปที่ 4.24 สคริป Visual Basic ที่ใช้เขียนใน Vision Pro

ในแง่ของอุตสาหกรรม ความรุนแรงของวงจรเสียหายในแบบต่างๆ ถูกกำหนดจากลักษณะวิธีการแก้ไขเครื่องจักรเพื่อลดลักษณะวงจรที่เสียหายแต่ละแบบ ลักษณะความรุนแรงถูกกำหนดไว้ดังนี้

1. วงจรที่มีรอยไหม้ เป็นวงจรที่มีความรุนแรงสูงสุด เพราะเกิดเนื่องจากการใช้พลังงานในการหลอมตะกั่วมากเกินไป หรือเกิดจากการเชื่อมตะกั่วด้วยตำแหน่งที่ผิดพลาด
2. วงจรที่เชื่อมไปยังวงจรข้างเคียง เป็นวงจรที่มีความรุนแรงเป็นลำดับที่ 2 เกิดเนื่องจากการใช้พลังงานในการหลอมตะกั่วน้อย ทำให้ตะกั่วไม่สามารถหลอมเหลวได้สมบูรณ์ ตะกั่วจึงยังมีลักษณะเป็นของแข็งบางส่วน แล้วเชื่อมไปยังวงจรข้างเคียงได้ หรือเกิดจากการใช้พลังงานมากเกินไป ทำให้ตะกั่วหลอมเหลวเป็นของเหลวอย่างสมบูรณ์ก่อนที่ตะกั่วจะไหลไปเชื่อมวงจร ตะกั่วจึงไหลไปยังวงจรข้างเคียงแทน
3. วงจรที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์ เป็นวงจรที่สามารถแก้ไขให้วงจรเชื่อมต่อกันได้ในบางเงื่อนไข หากมีสิ่งปนเปื้อนที่วงจรหลังกระบวนการเชื่อมวงจรแล้ว การเชื่อมตะกั่วเพิ่มอีกหนึ่งครั้งอาจทำให้วงจรมีรอยไหม้เกิดขึ้นแทน
4. วงจรที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน เป็นวงจรที่สามารถแก้ไขวงจรให้เชื่อมต่อกันได้ทั้งหมดด้วยการเชื่อมตะกั่วเพิ่มอีกหนึ่งครั้ง

จากเงื่อนไขทางอุตสาหกรรมข้างต้นนี้ โค้ด Visual Basic จึงถูกกำหนดให้เป็นไปตามเงื่อนไขของโรงงานอุตสาหกรรม ลักษณะของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ถูกนำออกมาในรูปแบบของไฟล์ CSV ซึ่งสามารถเปิดใช้งานบนโปรแกรม Notepad เพื่อดูข้อมูลเบื้องต้น หรือเปิดใช้งานผ่าน Microsoft Excel เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ได้อีกด้วย ลักษณะไฟล์ CSV เป็นดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างไฟล์ CSV เมื่อเปิดบน Microsoft Excel กับผลลัพธ์

จากรูปที่ 4.25 จะพบว่าไฟล์ CSV แสดงข้อมูลผลลัพธ์ของวงจรที่ 1 ถึง 9 จากวงจรบนสุด ถึงวงจรล่างสุด ตามลำดับ พบว่ามีผลแสดงค่า Bridge หรือวงจรที่เชื่อมโยงไปยังวงจรข้างเคียงที่ตำแหน่งของวงจรที่ 2 และวงจรที่ 3. พร้อมทั้งสรุปผลลัพธ์ของงานชิ้นนี้ว่าเป็นวงจรที่เชื่อมโยงไปยังวงจรข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าการจัดกลุ่มงานของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม Vision Pro และนำข้อมูลภาพมาประมวลผลผ่านฟังก์ชันที่กำหนดขึ้นเองบน MATLAB Simulink โดยการประมวลผลภายใน MATLAB นั้น ประกอบไปด้วยการจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนการสอนใน 3 วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยเค วิธีโคโฮเนน และวิธีพีชค่าเฉลี่ยซี ผลลัพธ์จาก 3 วิธีข้างต้นถูกนำไปประมวลผลด้วยการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี Branch and Bound คำคำตอบสุดท้ายที่เกิดขึ้นคือ การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค แบบวิเคราะห์ข้อมูลใน 3 แกน ซึ่งประกอบไปด้วย พื้นที่ โมเมนต์ความเฉื่อย และเส้นรอบรูป โดยให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยสายตาเป็น 99.67% ด้วยภาพตัวอย่าง 300 ภาพ นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบระบบ พบว่าแต่ละเครื่องให้ลักษณะของภาพที่แตกต่างกัน หากใช้ค่าจุดศูนย์กลางเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลร่วมกัน จะได้ผลลัพธ์ของการจัดกลุ่มข้อมูลที่น้อย การวิเคราะห์ข้อมูลกรณีเครื่องจักรต่างเครื่องกัน จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเรียนรู้ใหม่ที่เครื่องนั้นๆ โดยผลลัพธ์จากการทดลองด้วยวิธีดังกล่าว กับเครื่องจักรอีก 3 เครื่อง พบว่าได้ค่าความถูกต้องเป็น 100%, 99.21% และ 99.21% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเค ด้วยการวิเคราะห์ใน 3 แกนบนตัวแปร พื้นที่ โมเมนต์ความเฉื่อย และ เส้นรอบรูป เป็นวิธีการที่ได้ประสิทธิภาพและเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้จำแนกกลุ่มข้อมูลของวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. ในการถ่ายรูปภาพของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กในแต่ละเครื่องจักรนั้น เครื่องจักรควรผ่านกระบวนการสอบเทียบระบบแสงก่อน เพื่อให้แสงของแต่ละเครื่องมีความใกล้เคียงกัน
2. ในการถ่ายรูปภาพของวงจรหัวอ่านแม่เหล็กนั้น จะต้องมีการปรับค่าระยะโฟกัสที่เหมาะสมในการถ่ายภาพวงจรหัวอ่านแม่เหล็กก่อน เพื่อให้ภาพหลังกระบวนการถ่ายภาพ มีความคมชัดที่สุด
3. ในกระบวนการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลแบบไม่มีการเรียนรู้มาก่อน ควรเลือกค่าการทำซ้ำให้เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นมีความถูกต้อง
4. ในขั้นตอนการประมวลผลภาพใน Vision Pro มีการเลือกส่วนที่สนใจด้วยการลากตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมเลือกตำแหน่งและเลื่อนด้วยมือ ดังนั้น หากมีการเลือกตำแหน่งที่แตกต่าง

ออกไป อาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปเช่นกัน พร้อมทั้งส่งผลให้ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มข้อมูลลดลง

5.3 แนวทางการพัฒนา

จากผลการทดลองจะพบว่า ข้อมูลในแต่ละกลุ่มนั้น หากเลือกภาพต้นแบบที่มีความคลุมเครือมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจะลดลงและส่งผลให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางสุดท้ายหลังกระบวนการเรียนรู้ มีตำแหน่งตัวแทนที่ผิดเพี้ยนไป แนวทางการพัฒนาคือ การปรับปรุงชุดของระบบวิทัศน์ใหม่ อาทิเช่นการเพิ่มความละเอียดของกล้อง การเปลี่ยนลักษณะของระบบแสงที่ใช้ การเปลี่ยนจากการใช้ภาพขาว-ดำเป็นภาพสี เมื่อระบบวิทัศน์มีประสิทธิภาพมากขึ้น กระบวนการประมวลผลภาพก็จะยังสามารถวัดค่าข้อมูลภาพที่มีความแตกต่างกันอยู่ให้ชัดเจนขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Seagate: Process training for engineer. Seagate technology (Thailand), Samutprakarn (2015)
- [2] ผศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล,เทคนิคการประมวลผลภาพ การประมวลผลภาพขั้นสูงและการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม, ประเทศไทย (2013)
- [3] Cognex: Image Processing & Machine Vision Training. Cognex Corporation, Massachusetts (2014)
- [4] C. A. Glasbey, and G. W. Horgan, Image Analysis for the biological sciences, February (1994)
- [5] A. Bochém, R. Herpers, and K. B. Kent, “Hardware Acceleration of BLOB Detection for Image Processing,” *2010 Third International Conference on Advances in Circuits, Electronics and Micro-electronics.*, 2010, pp. 28-33
- [6] P. Pal, S. Vikas, and P. Raju, “Implementation of Multiple Fingertip Blob Recognition on Image Processing Based Touch-screen for surface Computers,” *2014 5th International Conference of Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence).*, 2014, pp. 663-668
- [7] P. C. Ravoor, R. B.S., and S. R, Rupanagudi, “Optimized Fingertip Blob Recognition for Image Processing Based Touch-screens.” *2012 International Conference on Recent Advances in Computing and Software Systems (RACSS).*, 2012, pp. 104-108
- [8] P. Jaganathan, and S. Jaiganesh, “An Improved K-means algorithm combined with Particle Swarm Optimization approach for efficient web document clustering,” *2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE).*, 2013, pp. 772-776
- [9] V. K. Singh, N. Tiwari, and S. Garg, “Document Clustering using K-means, Heuristic K-means and Fuzzy C-means,” *2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Systems.*, 2011, pp. 297-301
- [10] J.Sirotkovic, H. Dujmic, and V. Papic, “K-Means Image Segmentation on Massively Parallel GPU Architecture,” *MIPRO, 2012 Proceedings of the 35th International Convention.*, 2012, pp. 489-494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [11] K. D. Garcia, and M. C. Naldi, "Multiple Parallel MapReduce k-means Clustering with Validation and Selection," *2014 Brazilian Conference on Intelligent Systems.*, 2014, pp. 432-437
- [12] H. Zifen, Z. Zhaolin, and Z. Yinhui, "WLSMB Halftoning Based on Improved K-means Cluster Algorithm Using Direct Binary Search," *2013 Fifth Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.*, 2013, pp. 1310-1313
- [13] S. P. Lim, and H. Haron, "Cube Kohonen Self-Organizing Map (CKSOM) Model With New Equations in Organizing Unstructured Data", *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS AND LEARNING SYSTEMS.*, Vol. 24, No. 9, 2013, pp. 1414-1424
- [14] M. T. Pham, and D. Gueriot, "Guided block-matching for sonar image registration using unsupervised Kohonen neural networks", *Oceans-San Diego.*, 2013, pp. 1-5
- [15] M. V. Akinin, A. I. Taganov, M. B. Nikiforov, and A. V. Sokolova, "Image Segmentation Algorithm Based on Self-Organized Kohonen's Neural Maps and Tree Pyramidal Segmenter", *2014 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO).*, 14-18 Jun, 2015, pp. 168-170
- [16] F. Harchli, ES-Safi Abdelatif, and E. Mohamed, "Novel method to optimize the architecture of Kohonen's topological maps and clustering", *2014 International Conference on Logistics and Operations Management (GOL).*, 2014, pp. 8-14
- [17] B. Mohaned, T. Ahmed, H. Lassad, and C. Abdelkader, "A New Extension of Fuzzy C-Means Algorithm using Non Euclidean Distance and Kernel Methods", *2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT).*, 6-8 May, 2013, pp. 242-249
- [18] Parveen, and A. Singh, "Detection of Brain Tumor in MRI Images, using Combination of Fuzzy C-Means and SVM", *2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN).*, 19-20 Feb, 2015, pp. 98-102
- [19] P. S. S. Aydav, and S. Minz, "Generalized Fuzzy C-Means with Spatial Information for Clustering of Remote Sensing Images", *2014 International Conference on Data Mining and Intelligent Computing(ICDMIC).*, 5-6 Sept, 2014, pp. 1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [20] B. K. Tripathy, A. Tripathy, and K. G. Rajulu, "Possibilistic Rough Fuzzy C-Means Algorithm in Data Clustering and Image Segmentation", *2014 IEEE International Conference on Computational Intelligent and Computing Research (ICIC)*., 18-20 Dec, 2014, pp. 1-6
- [21] W. Wang, Y. Zhang, Y. Li and X. Zhang, "The Global Fuzzy C-Means Clustering Algorithm", *The 6th World Congress on Intelligent Control and Automation(WCICA)*., 21-23 Jun, 2006, pp. 3604-3607
- [22] C. Jung, H. Kim, and T. Lee, "A Branch and Bound Algorithm for Cyclic Scheduling of Timed Petri Nets," *IEEE Transaction on Automation Science and Engineering*., vol.12, Issue.1, 2014, pp. 309-323
- [23] A. Merakeb, and F. Messine, "A Branch and Bound Approach for Minimizing the Energy Consumption of an Electrical Vehicle", *2013 IEEE 11th International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their application to Mechatronics(ECMSM)*., 24-26 Jun, 2013, pp. 1-3
- [24] V. Kariwala, L. Ye and Y. Cao, "Branch and Bound Method for Globally Optimal Controlled Variable Selection", *2012 UKACC International Conference on Control(CONTROL)*., 3-5 Sept, 2012, pp. 142-147
- [25] N. Thakoor, and J. Gao, "Branch and Bound for Model Selection and Its Computational Complexity", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*., vol. 23, Issue.5, 24 Mar, 2011, pp. 655-668
- [26] A. Gopalakrishnan, A. U. Raghunathan, D. Nikovski and L. T. Biegler, "Global Optimization of Optimal Power Flow Using a Branch & Bound Algorithm", *2012 50th Annual Allerton Confence on Communication, Control, and Computing(Allerton)*., 1-5 Oct, 2012, pp. 609-616
- [27] C. S. Sasireka, and P. Raviraj, "Performance Analysis of Branch and Bound Approach with Various Model-Selection Clustering Techniques for Image data point", *2013 4th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT)*., 4-6 Jul, 2013, pp. 1-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [28] P. C. Weeraddana, M. Codreanu, M. Latva-aho, and A. Ephremides, "Weighted Sum-Rate Maximization for a Set of Interfering Links via Branch and Bound", *IEEE Transactions on Signal Processing.*, vol.59, Issue.8, 11 Jul, 2011, pp. 3977-3996

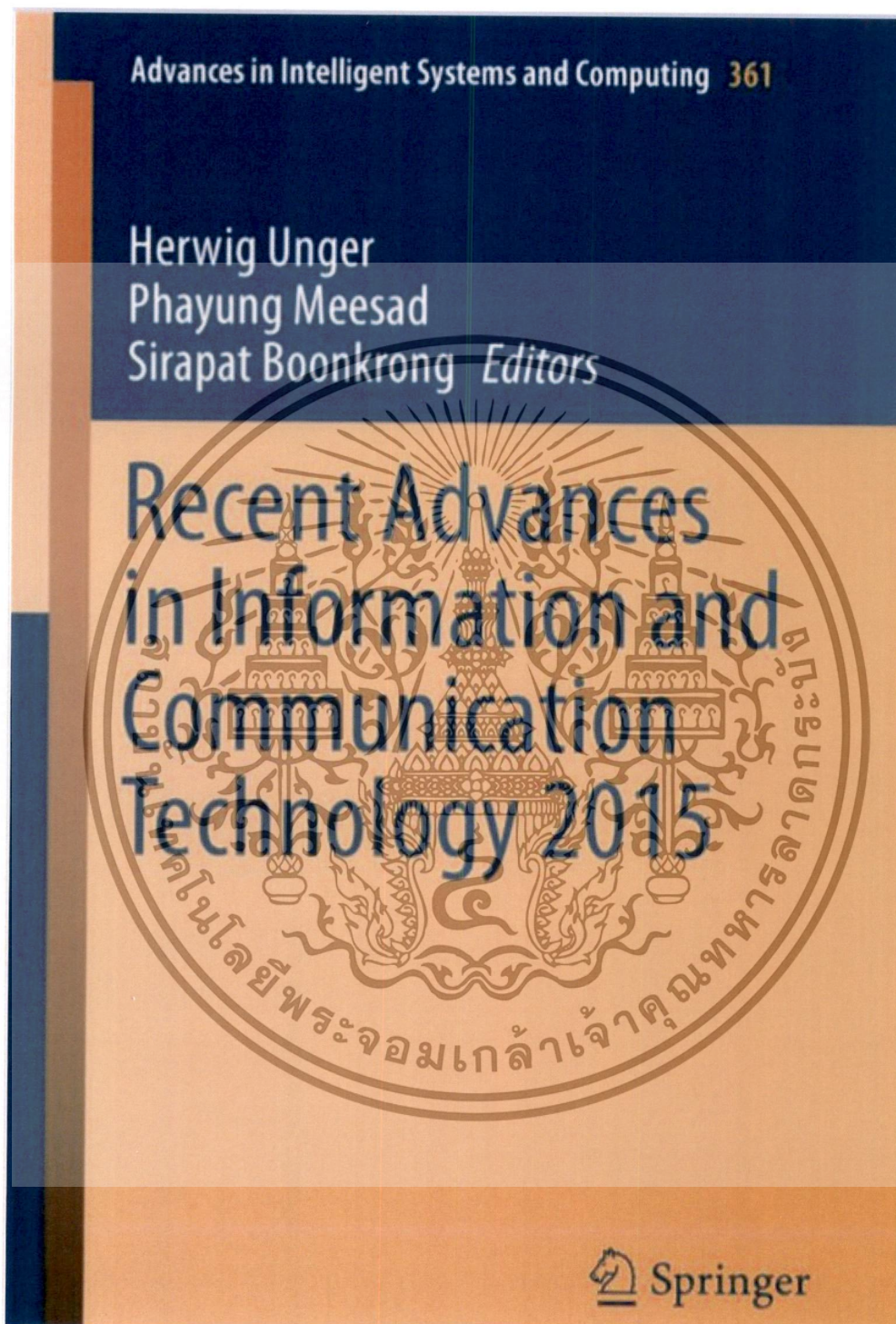


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vision Inspection with K-Means Clustering on Head Gimbal Assembly Defect

Rawinun Prasertaweelap and Somyot Kiatwanidvilai

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand

rawinun.prasertaweelap@seagate.com,
drsonyotk@gmail.com

Abstract. Head Gimbal Assembly (HGA) is an important feature of read and write process in a Hard Disk Drive (HDD). Currently, HGA circuit inspections are done using human operators under microscope; the vision processing for inspection in automated systems is required. This research work proposes an algorithm for detection the HGA circuit defect by using the blob detection, and then analysis the properties of blob tool. By the measurement properties of the blob tool, the K-Means Clustering can specify the data in each group in 95.45% accuracy with 110 samples.

Keywords: Head Gimbal Assembly, Hard Disk Drive, Blob Detection, K-Means Clustering.

1 Introduction

Currently, image processing is one of the popular choices for inspection process. New technologies with high performance are required for HDD manufacturing process [1-4]. The HGA circuit defect is one of the key factors that impact the read and write performance of HDD. The HGA circuit test has been done by electrical inspection in case of open and short circuit only. It still be a problem when the electrical parametric is within specification from the HGA variation but the vision image found the abnormal connection area.

Nowadays, the image processing has a lot of features for analysis. In HDD manufacturing process, the automatic inspection in each defect type is required and the accuracy and repeatable results are very important. Fig. 1 shows the diagram of a part of HGA process.

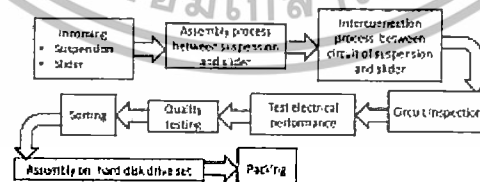


Fig. 1. Diagram of a Hard Disk Drive Process

© Springer International Publishing Switzerland 2015

H. Unger et al. (eds.), *Recent Advances in Information and Communication Technology 2015*,
Advances in Intelligent Systems and Computing 361, DOI: 10.1007/978-3-319-19024-2_13

127

In HDD industry, the new technology in automatic systems is very important. The HDD manufacturing processes always develop and improve for the production speed and product quality. The one important thing in HDD manufacturing is the tool for inspecting the output failure in each type. The different failure has come from the different root cause. Quality improvement will be the high efficiency when specifying the correct root cause. The clustering method is required for classification [2].

2 Vision Processing and Clustering

2.1 Input Image

This paper proposes the using of input image from Thermal Interconnection machine by integrating the industrial camera into the machine. The vision systems composes of the progressive scan CCD with square pixels, VGA resolution of 659 x 494, and LED ring light with red LED. The mechanical setup of machine for vision system uses the reflection concept by fixing the angle of clamp. The reflection device is adopted for capturing the image because the connection area of HGA is not flat. It has an angle on the HGA. The HGA defect images are shown in Fig. 2.

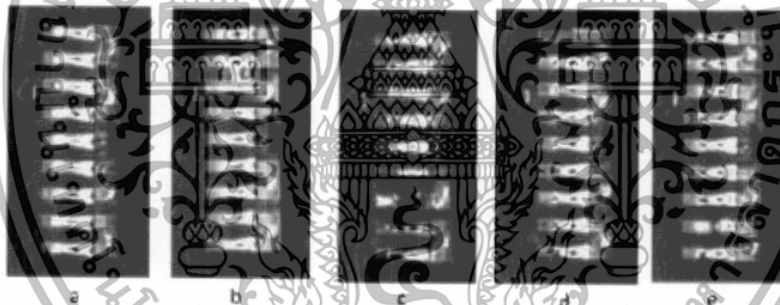


Fig. 2. Image of HGA circuit; (a), (b), (c), (d) and (e) are examples of good, bridge, burn, missing, and no-connect part, respectively

2.2 Image Processing

In this research work, we developed the image processing and clustering on the Cognex VisionPro Quickbuild Version 7.2. The concepts used in the processing are the PatMax for pattern training by feature-based matching, create the fixture coordinate system and then analysis the image by blob tool. The blob tool is a vision tool for detection and analysis of two- dimensional shape within an image. Blob tool concept is the process to separate the pixels between the regions of interest pixels or blob pixels and background. pixels. The example of blob image is shown in Fig. 3.

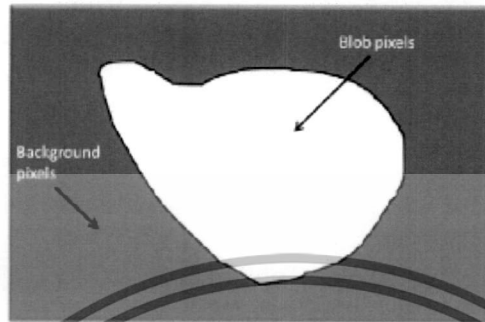


Fig. 3. The example of blob pixels and background pixels on image

The blob tool has ability to measure the properties of an image. Three measurement properties from blob tool used in this research work are the Elongation, Perimeter, and Acircularity; these properties result in different features those are useful in clustering process. The different features show the different characteristics for each input data. The description of each feature is shown in the followings.

The elongation is the dividing of the second moment of inertia between minor axis and major axis. The second moment of inertia is given by (1) which is the calculation of the moment of inertia about the second principal axis of the blob. The elongation can be computed by (2).

$$M_{yy} = \int I_i(x) \cdot x_i \cdot x_i \cdot dx \quad (1)$$

$$\text{Elongation} = \frac{M_{\text{MinorAxis}}}{M_{\text{MajorAxis}}} \quad (2)$$

The perimeter is the length of the outside edge of the blob that is computed by counting the number of pixel edges.

Acircularity is the measuring index of the lack of circularity of the blob that is computed by the dividing of square of perimeter and area of the blob. Acircularity is given by (3).

$$C = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (3)$$

C is the Acircularity, P is the perimeter of the blob and A is the area of the blob [1].

2.3 K-Means Clustering

K-Means Clustering is the technique for classification the data in each small group. The concept of this technique is based on the dividing the group in k groups.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

process will be applied until the mean value in each group is not changed. Fig. 4 shows the brief diagram of this technique.

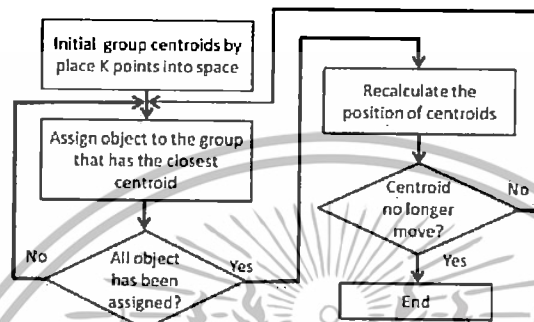


Fig. 4. The process step of K-Means Clustering

K-Means clustering process has the calculation function for clustering data. The distance calculation uses the data point and centroid point to define the minimum distance value which is the Euclidean distance. The Euclidean distance equation is given by (4) when vector $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ and another vector $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. [5]

$$D(x_i, y_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

The Euclidean distance shows that the relationship between data point and centroid on this group is minimized.

3 Experiment Results

3.1 Blob Analysis

The blob analysis of Cognex vision pro program are used for analysis the classification of the HGA image in each defect type. This paper proposes the soft threshold in relative type by 40% low threshold and 60% high threshold. The measurement results in each group of input image are on the Table 1.

Table 1. Blob measurement properties with HGA group

Group	Measurement properties		
	Elongation (-)	Perimeter (pixel)	Acircularity (-)
<i>Good</i>	106.075	11.416	1.903
<i>Bridge</i>	38.819	14.248	2.544
<i>Burn</i>	29.019	3.898	1.906
<i>Missing</i>	12.020	6.099	1.488
<i>No-connect</i>	28.466	7.145	1.568

3.2 K-Means Clustering Result

This research work utilized the K-Means for clustering the measurement properties from blob detection. In the algorithm, the K-value was specified as 5 and the repeat testing was done in 10 times. The clustering results of all 10 testing results were the same. The center point of each group is changed a little bit in the repeatability testing. The sample size in this experiment is 110; the sample size of good, bridge, burn, missing, and no-connect groups are 30, 27, 11, 22, and 20 samples, respectively. The results in Table 1 show the group properties separated by the final value of centroid. With this result, the good performance from K-Means clustering is achieved with the 95.45% accuracy. The 4.55% errors are from the burn part and no connect part; however, this defect is able to be classified by using the electrical tester in the HGA process.

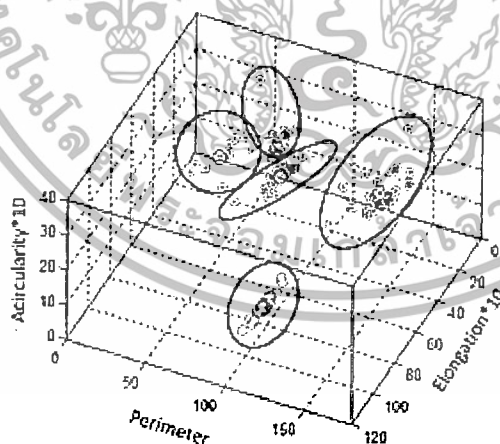


Fig. 5. The raw data and clustering group results

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

132 R. Prasertaweelup and S. Kiatwanidvilai

in each part is the one thing that impacts the clustering performance. Currently, this error is fixed by using the electrical testing process in HGA production line.

4 Conclusion

The experiment shows the performance of K-Means Clustering when using the blob analysis on the HGA defect type. The results show the accuracy of 95.45% with 110 samples. In this experiment, the incorrect clustering is the burn and no connect defect which is able to be classified by the electrical tool in the process line. The effective measurement properties are adequate for clustering and this technique was applied to the production line in the HGA manufacturing.

Acknowledgement. This work was supported by Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd. and DSTAR, KMITL under grant no. SOW#152980.

References

1. Cognex: Image Processing & Machine Vision Training. Cognex Corporation, Massachusetts (2014)
2. Chee, W.M., Afzulpurkar, N.V., Dailey, M.N., Saram, P.B.: A Bayesian Approach to Automated Optical Inspection for Solder Jet Ball Joint Defects in the Head Gimbal Assembly Process. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* **11**, 1155–1162 (2014)
3. Saenthon, A., Kiatwanidvilai, S., Kunakorn, A., Ngamroo, I.: A New Edge Detection Technique for an Automatic Visual Inspection System using Genetic Algorithms. In: *Proceeding of the International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1882–1887 (2008)
4. Araiza, R.: The use of interval-related expert knowledge in processing 2-D and 3-D data, with an emphasis on applications to geosciences and biosciences. ProQuest Information and Learning Company, Michigan (2008)
5. Na, S., Xumin, L., Yong, G.: Research on k-means Clustering Algorithm: An Improved K-means Clustering Algorithm. In: *Proceeding of the 2010 Third International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics*, pp. 63–67 (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Head Gimbal Assembly Circuit with Vision Technique and Fuzzy C-Means Clustering

Rawinun Prasertaweelap¹ and Somyot Kiatwanidvilai^{2*}

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand (rawinun.prasertaweelap@seagate.com)

² Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand (drsomyotk@gmail.com)

Abstract: In Hard Disk Drive (HDD) Industry, the automation system is the one key for manufacturing process. Head Gimbal Assembly (HGA) is a part of HDD which have the reader and writer circuit. The HGA circuit is very important for read/write process. This research proposes the new vision technique and clustering by Fuzzy C-Means algorithm for HGA circuit inspection in 3 groups. HGA circuits in 3 groups are good, bridging, and missing group. The bridging and missing groups are the defect group. Blob analysis is the one of vision technique that it can measure the properties of image. The measurement properties from blob analysis are used in clustering technique. Fuzzy C-Means Clustering is the clustering technique which is grouped the measurement data into the cluster group based on the natural grouping of data. From the experiment results of this research, the clustering performance from Fuzzy C-Means Clustering is 99.11% accuracy based on the measurement properties in blob analysis with 225 samples.

Keywords: Hard Disk Drive, Head Gimbal Assembly, blob analysis, Fuzzy C-Means Clustering

1. INTRODUCTION

Nowadays, many industries are designed the production line to be an automation process for good repeatability and speed. It means that the automated machine and automation algorithm are concerned. This research proposes the automation algorithm to inspect the Head Gimbal Assembly Circuit in the automation process. The HGA circuit is very important in HDD because it is used for read/write process. The inspection algorithm on HGA circuit is concerned. Currently, the HGA circuit inspection has been done by human under 30X microscope. The tasks are a tedious and time consuming due to the heavy fatigue load to human eyes. In addition, the inspection process requires an expert for classifying the type of HGA circuit in good and bad circuit. Because HDD manufacturing is the one of technology, New research and development are important. For an example, Reangroaj, Nitin, and Siridech studied the bad part of HGA, and find the new method to rework it which is help to improve cost. The concept are study the bridging defect and simulate for defect with heat transfer model [1]. Tanachai and Benjamas studied the servo system by using particle swarm optimization for weight adjustment [2]. In addition, the other topic on HGA such as electro static discharge (ESD) was studied to protect the damage on reader and writer head [3].

The process of Hard Disk Drive is shown in figure 1. The incoming part, such as the suspension and slider will be in the assembly process. After that, the inspection process will inspect the defect part by microscope. The good part will arrange in the same group before sending to test on qualification testing. In HDD manufacturing, the method for quality inspection is very important. The special tool for analysis and clustering are required. Image processing is the one tool for image analysis. The capability to export the data of the image is concerned, which are the measurement properties of the measurement tool in vision algorithm. In addition, the Clustering technique is an essential tool for clustering the proper group based on the measurement properties. This research proposes the blob tool for image analysis and clustering by Fuzzy C-Means technique.

2. HGA IMAGE

This paper has proposed using the image in grayscale by clamping the part in 50 degrees before capturing the image. The systems of vision use the reflection concept with LED red ring light. Base on the suspension and slider design, the amount of lighting should be concerned to find the best image results. The example of an image for analysis is shown in figure 2.

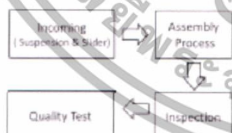


Fig. 1 Hard Disk Drive Process Flow



Fig. 2 HGA image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This research studies the clustering on the HGA circuit in 3 types. The first one is a good part. The second and third images are the bridging and missing defect respectively. The example of images is shown in figure 3.

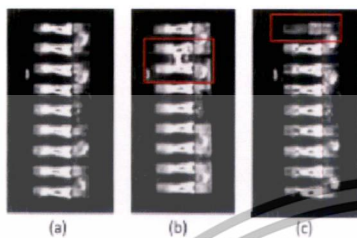


Fig. 3 Example of an input image in case of defect type: (a) good part, (b) bridging part, (c) and missing part

3. VISION INSPECTION

The vision inspection process of this research uses the Cognex VisionPro Quickbuild Version 7.2 for image analysis. The processing is using the pattern training for finding reference point. After that, the coordinate system will be created. The new coordinate will define the origin point on the image. The best pattern training is the pattern that it can use to create the coordinate correctly when the image has the variation of shape and angle. After coordinating process completed, the measurement process will start. The measurement tool of Vision Pro is the blob tool. The blob tool is the tool that it uses for analysis in two-dimensional shapes within the image. The blob tool can separate the pixels of the region of interest and background by thresholding decision. Two concepts of thresholding setup are the fixed thresholding and relative thresholding. The fixed thresholding will specify the threshold value to separate the region of interest and background. However, the fixed condition can not cover in case of image lighting changes. The relative thresholding are required. It can set the threshold value in percentage of the total pixels between left and right tail [4]. The main concept on vision inspection of this research is blob tool which is the popular tool for image processing. Many research applied the blob technique in the experiment [5-8]. Kong, Akakin, and Sarma studied the laplacian for blob detection in Gaussian function and applied to biomedical and natural images [5]. Ravoor, Ranjani, and Rupanagudi applied the blob concept on the fingertip for touch-screens process [6]. In addition, the medical image such as retina images were used to analysis with blob concept as well [7]. Boehm, Hoppers, and Kent in [8] have proposed the hardware design for blob detection. They studied and developed the processing speed but it still consume more time than a software

solution.

This research studies the measurement properties in blob tool and compares the measurement properties in each input image. The selected properties are Acircularity, Elongation, and Perimeter.

Acircularity is computed by the square of perimeter and divided by area. Equation (1) is the equation of Acircularity when C is Acircularity, P is the perimeter and A is the area of the blob. This parameter describes the circular value of an image.

$$C = \frac{P^2}{4\pi A} \tag{1}$$

Elongation is the ratio of the second moment of inertia between minor axis and major axis. The major and minor axes are specified from the rotation of the principal axes. Equation (2) is the equation of Elongation.

$$Elongation = \frac{M_{MinorAxis}}{M_{MajorAxis}} \tag{2}$$

The perimeter is the length that it is calculated from the outside edge of the region of interest. The total pixel edges between nonzero value pixels and zero value pixels will be used for perimeter calculation. The vision processing flow is shown in figure 4.

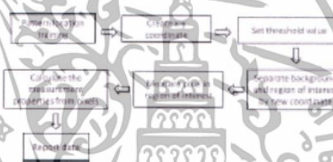


Fig. 4 Vision Processing Flow

4. FUZZY C-MEANS CLUSTERING

The Fuzzy C-Means (FCM) Clustering was originally developed by Dunn in 1973 and improved by Jim Bezdek in 1981. Many research analysis the data by Fuzzy C-Means technique [9-12]. For an example, Aydeval and Minz proposed clustering the data of remote sensing images which is contain the large number of class by generalized Fuzzy C-Means with spatial information. The results is better than the traditional technique [9]. In [10], the Fuzzy C-Means was applied in new weighted to increase the accuracy. Some input data were applied in four kinds such as Fuzzy C-Means, traditional relational Fuzzy C-Means, non-Euclidean relational Fuzzy C-Means, and any relational Fuzzy C-Means, according to Wang in [11]. In the medical, Fuzzy C-Means technique was applied in the breast cancer cells images and analysis the segmentation sensitivity [12].

Fuzzy C-Means is the technique to group the data point into the clusters. The minimization of the objective function is given by equation (3).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_{FCM} = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \tag{3}$$

The membership grade is the degree of membership in the cluster j . The center of fuzzy cluster is represented by c_j and m is greater than or equal 1. All of data point is defined in matrix U . The membership function and cluster center are given by (4) and (5) respectively.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \tag{4}$$

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \tag{5}$$

The Fuzzy Clustering process will be iterated until the criteria met which is the termination criterion is and the iteration step is defined by k . The FCM algorithm is shown in figure 5.

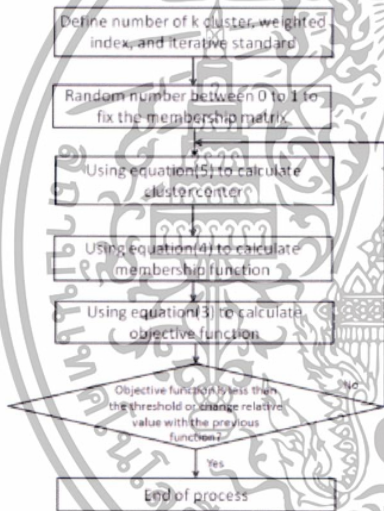


Fig. 5 Fuzzy C-Means Clustering Algorithm

5. EXPERIMENT RESULTS

3.1 Vision Processing Results

The blob tool analyzes the input image of HGA in each group. The thresholding setting is the soft thresholding in relative mode with 40% low threshold

and 60% high threshold. The output result of blob tool is the measurement properties in each region of interest. Based on the measurement properties from blob analysis, raw data has the problem of clustering. The accuracy looks bad. It's about 33.33% accuracy with raw data. However, it can fix the problem by re-scaling. The measurement properties were re-scaled by multiplying the constant value. The mean value of new data after re-scaling is shown in figure 6.

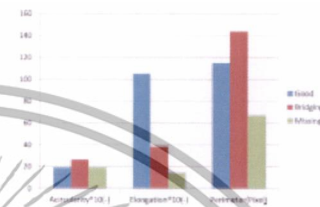


Fig. 6 Graph of mean value of measurement properties in 3 groups after re-scaling

3.2 Clustering Results

The measurement properties were put on the MATLAB for Fuzzy C-Means Clustering. The clustering process has the iterations in 16 times with 3 clustering groups. The clustering result has 99.11% accuracy with 225 samples: 100 samples of good part, 70 samples of bridging part and 55 samples of missing part. It means that three measurement properties have the significance on the HGA circuit group. With 0.89% error, the input images are not clear which is impact the measurement output from blob analysis. An error output from blob affect the clustering performance. The Fuzzy C-Means Clustering result in 3-axis graph is shown in figure 7.

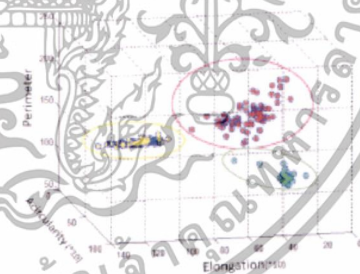


Fig. 7 Cluster group in 3-Axis Graph from Fuzzy C-Means Clustering

The centroid value after training process is shown in table 1. Cluster number represent the data of bridging.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

missing, and good group respectively. In application mode, the final value of centroid after training process will be used with Euclidean distance to find the minimum distance. If the data point has minimum distance on cluster N, it will be assigned to cluster N.

Table 1 Centroid value from the training process of the Fuzzy C-Means Clustering

Cluster#	Acircularity*	Elongation*	Perimeter
(1)	26.5282	37.0598	147.5053
(2)	15.1290	13.0662	63.4263
(3)	18.9876	98.9418	116.0578

4. CONCLUSION

The measurement properties which are suitable for HGA circuit clustering are the Acircularity, Elongation, and Perimeter. The Fuzzy C-Means Clustering shows the good performance for clustering the HGA circuit in 3 groups based on the three measurement data from blob analysis. The clustering result with 225 samples is 99.11% accurate. Main root cause of error is an unclear image. It can be improved by hardware changing for vision processing such as new camera changing, lens upgrading, lighting changing, and new design of mechanical for clamping part. The concept of this research is effective for HGA circuit clustering on good, bridging, and missing group.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd. and DSTAR, KMUTT under grant no. SOW#152980.

REFERENCES

- [1] R. Rajanasiri, N. Atzulpitkar, and S. Boonsang, "The Rework Study and Simulation on Solder Bridging of TMR Magnetic Head," *2012 IEEE International Conference on Information Science and Technology*, pp. 55-61, 2012.
- [2] T. Jaturongkapolkul, and B. Panomratanarung, "Frequency Domain System Identification for Servo System in HGA Testing System Using Particle Swarm Optimization," *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 587-591, 2011.
- [3] F. Kugiya, N. Kobayashi, and M. Miyatake, "ESD Tolerance of GMR and TMR Heads Within Hard Disk Drives," *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 10, No. 4, 2010.
- [4] COGNEX, *Image Processing & Machine Vision Training*, Cognex Corporation, Massachusetts, 2014.
- [5] H. Kong, H. C. Akakin, and S. E. Sarma, "A Generalized Laplacian of Gaussian Filter for Blob Detection and Its Applications," *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol. 43, No. 6, pp. 1719-1733, 2013.
- [6] P. C. Ravoora, B. S. Ranjani, and S. R. Rupanagudi, "Optimized fingertip blob recognition for image processing based touch-screens," *2012 International Conference on Recent Advances in Computing and Software Systems*, pp. 104-108, 2012.
- [7] C. Duanggate, B. Uyyanonvara, S. S. Makhanov, and K. Inthajak, "Medical image blob detection with feature stability and KNN classification," *2011 Eighth International Joint Conference on Computer and Science and Software Engineering*, pp. 128-131, 2011.
- [8] R. Herpers, K. B. Kent, and A. Boehm, "Hardware Acceleration of BLOB Detection for Image Processing," *2010 Third International Conference on Advances in Circuits, Electronics and Micro-Electronics*, pp. 28-33, 2010.
- [9] P. S. S. Ayday, and S. Mintz, "Generalized Fuzzy C-Means with Spatial Information for Clustering of Remote Sensing Images," *2014 International Conference on Data Mining and Intelligent Computing*, pp. 1-5, 2014.
- [10] C. C. Hung, S. Kulkarni, and B. C. Kuo, "A New Weighted Fuzzy C-Means Clustering Algorithm for Remotely Sensed Image Classification," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, pp. 543-553, 2011.
- [11] Z. Wang, "Comparison of Four Kinds of Fuzzy C-Means Clustering Methods," *2010 Third International Symposium on Information Processing*, pp. 563-566, 2010.
- [12] R. Harmbi, and E. B. Braick, "Color Image Segmentation Using a Modified Fuzzy C-Means Technique and different color spaces: Application in the Breast Cancer Cells Images," *1st International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing*, pp. 231-236, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



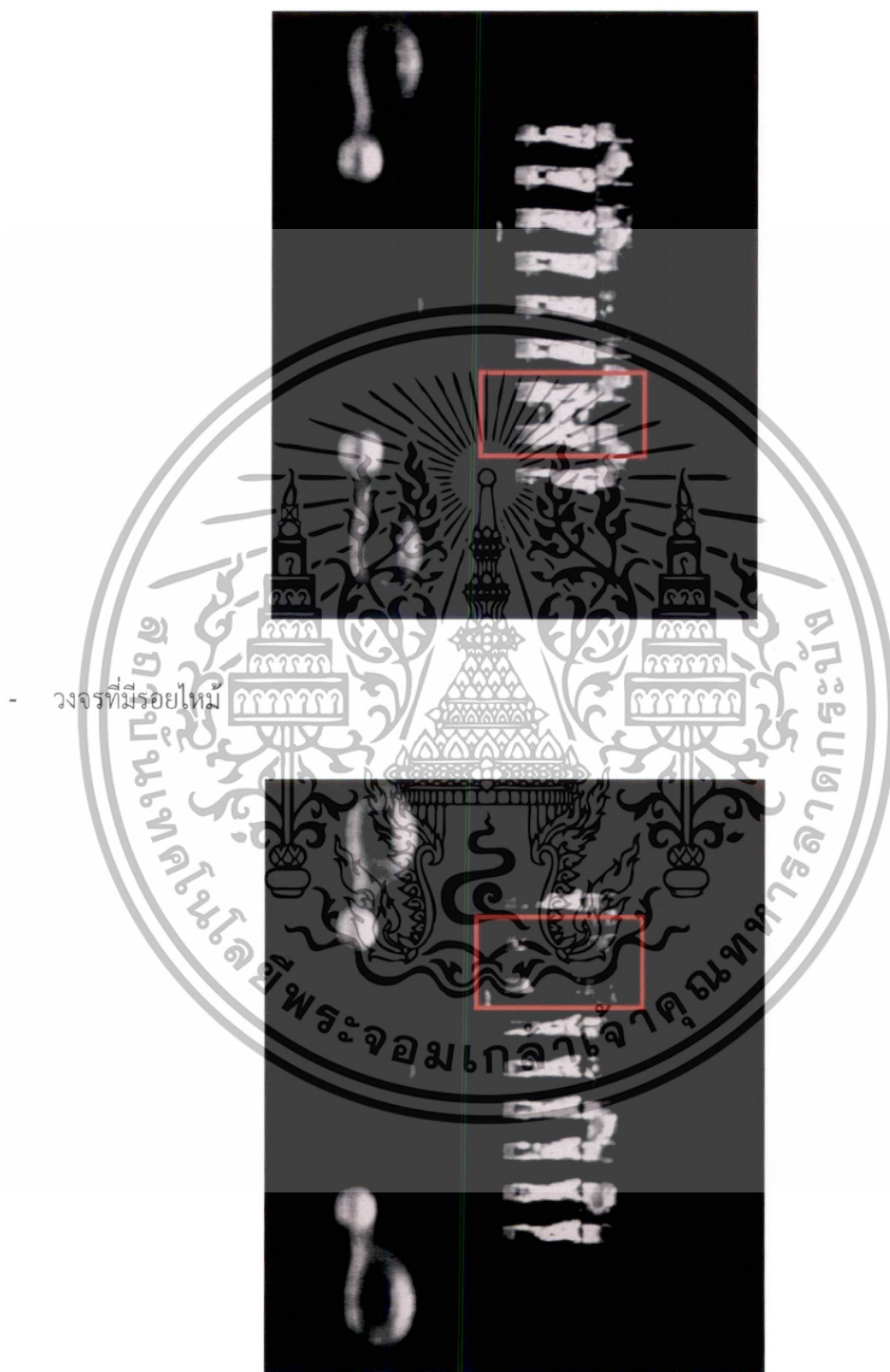
ภาคผนวก ข.

ภาพจากเครื่องจักรที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายวงจรถั่วอ่านแม่เหล็กด้วยเครื่องจักรเบอร์ 017

- วงจรที่เชื่อมไปยังวงจรถั่วเคียง



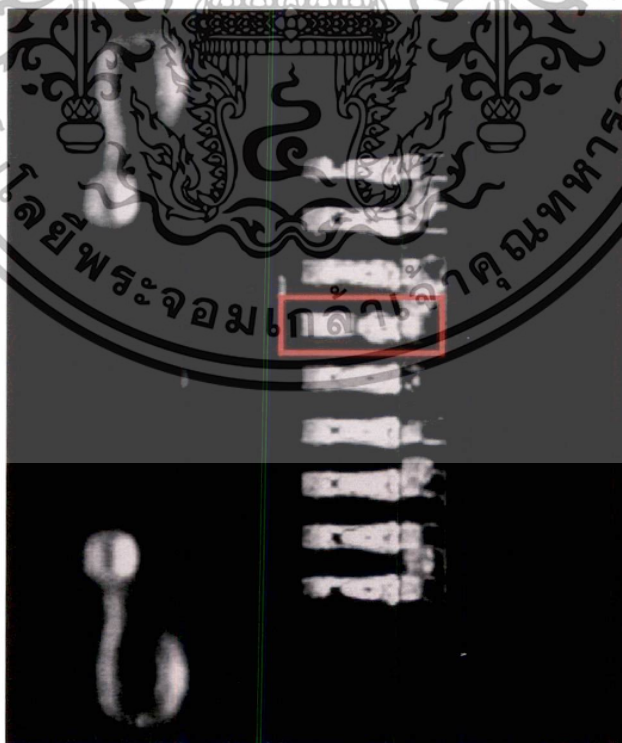
- วงจรที่มีรอยไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน



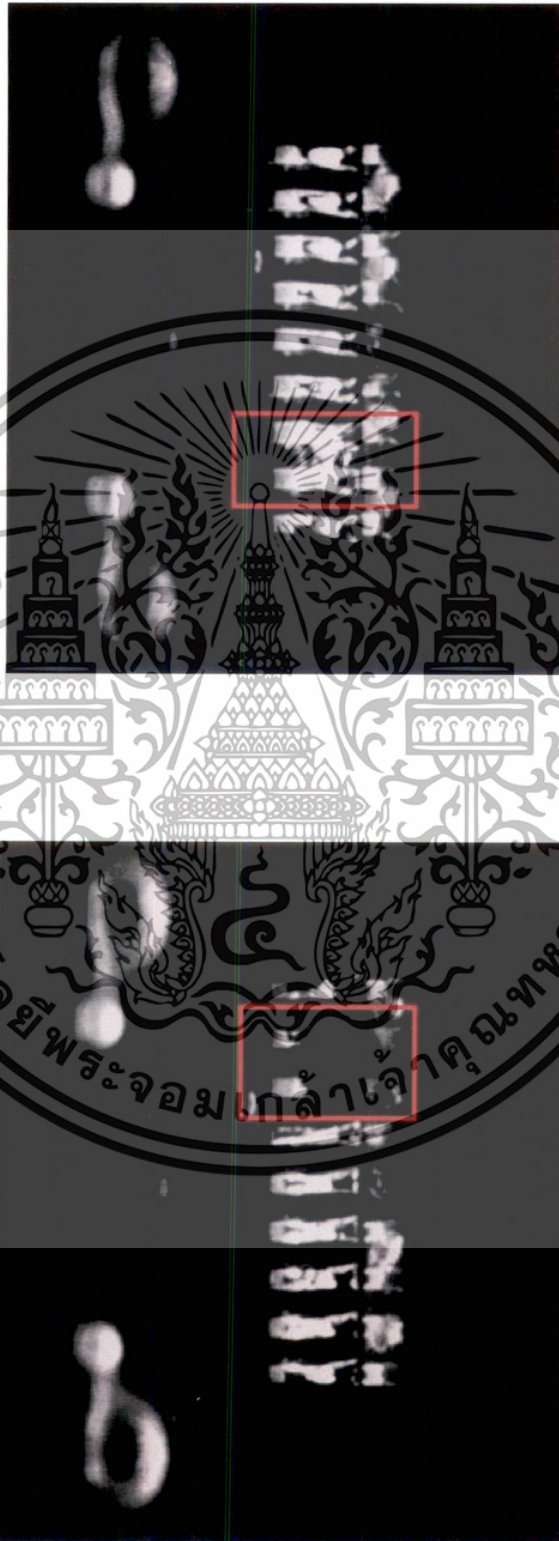
- วงจรที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายวงจรถั่วอ่านแม่เหล็กด้วยเครื่องจักรเบอร์ 023

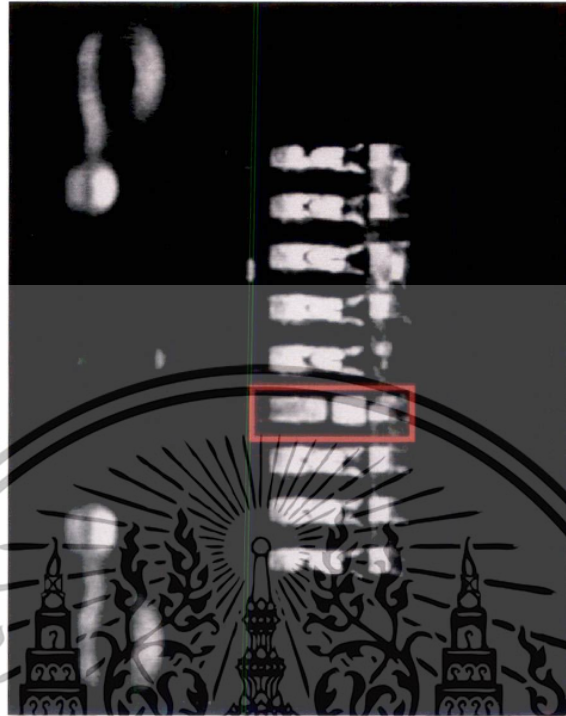
- วงจรที่เชื่อมไปยังวงจรถั่วเคียง



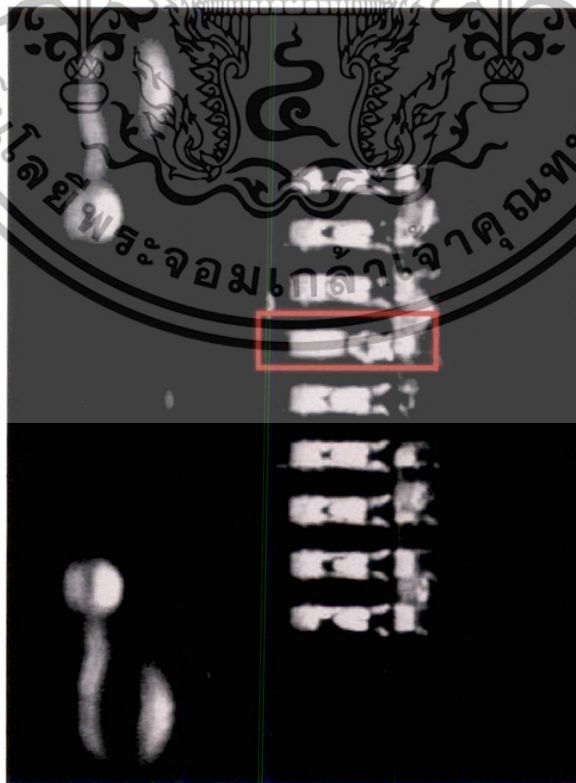
- วงจรที่มีรอยไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน



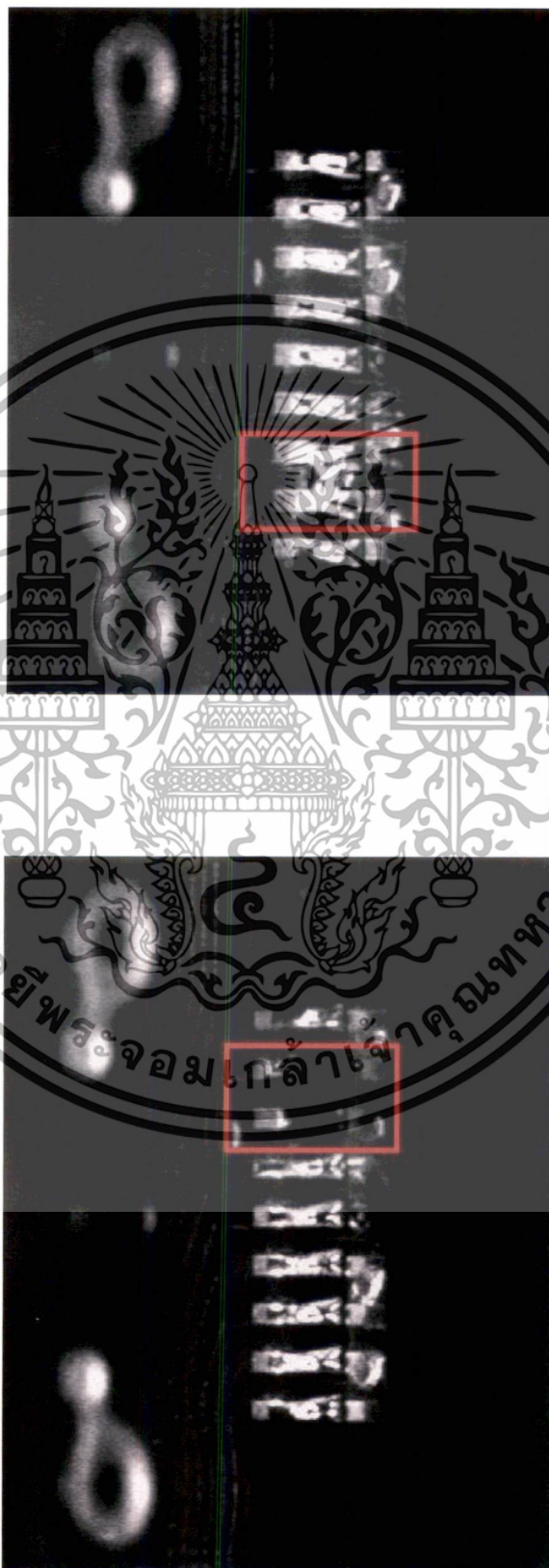
- วงจรที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายวงจรถั่วอ่านแม่เหล็กด้วยเครื่องจักรเบอร์ 101

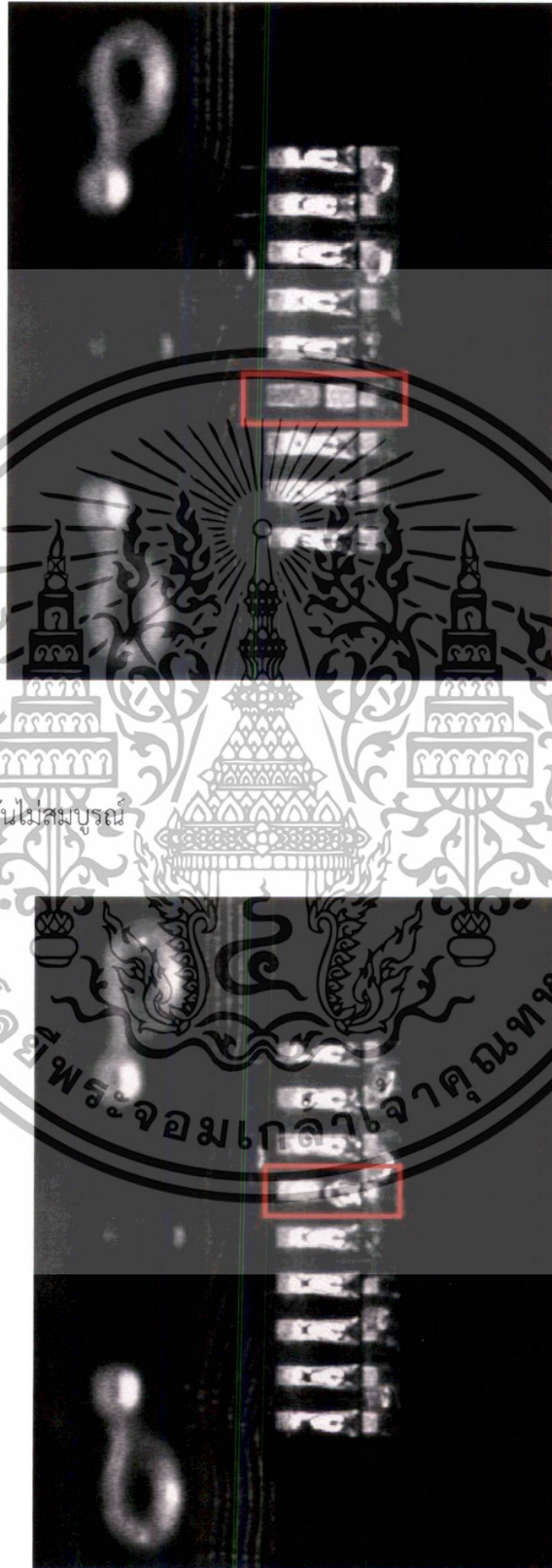
- วงจรที่เชื่อมไปยังวงจรข้างเคียง



- วงจรที่มีรอยไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรที่ไม่เกิดการเชื่อมต่อกัน



- วงจรที่เชื่อมต่อกันไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวรวินันท์ ประเสริฐทวีลาภ
วัน เดือน ปีเกิด	31 มีนาคม 2533
สถานที่เกิด	จ. นนทบุรี
ที่อยู่	82/22 หมู่ 6 ต.ตลาดขวัญ อ. เมือง จ.นนทบุรี
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การประมวลผลภาพในอุตสาหกรรม 2.) การออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Rawinun Praserttaweelap, and Somyot Kaitwanidvilai, "Vision Inspection with K-Means Clustering on Head Gimbal Assembly," The 11th International Conference on Computing and Information Technology (IC2IT 2015), Vol. 361, pp. 127-132, 2015.
- [2] Rawinun Praserttaweelap, and Somyot Kaitwanidvilai, "Head Gimbal Assembly Circuit with Vision Technique and Fuzzy C-Means Clustering," 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015), 2015.