



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection  
HSA ABS AUTO INSPECTION MACHINE DEVELOPMENT



ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection  
HSA ABS AUTO INSPECTION MACHINE DEVELOPMENT



รพี วรรณศิริ

ร.พ.  
ร 1451  
2559

60266858

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 148524  
ในเดือนปี 30 ต.ค. 2560

b. 128704114  
i. ....

สมาคมหอสมุด

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	การพัฒนาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายรพี วรรณศิริ
ภาควิชา	วิศวกรรมการวัดและควบคุม
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายวรัต ทองรับใบ
สถานประกอบการ	บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

## บทคัดย่อ

เครื่อง HSA ABS Auto Inspection ในขั้นตอน QC ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด มีปัญหาเรื่องคุณภาพของภาพถ่าย ABS อันส่งผลให้การตรวจสอบ ABS ไม่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังขาดเครื่องมือวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS ผู้เขียนร่วมมือกับบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด พัฒนาซอฟต์แวร์ที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้เขียนอาศัยหลักการประมวลผลภาพ (Image Processing) ได้แก่ การหาขอบภาพ (Edge Detection) และการเปรียบเทียบแม่แบบ (Template Matching) เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นมีทั้งหมดสามซอฟต์แวร์คือ เครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool) ระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus) และระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment) Manual Inspection Tool คือ เครื่องมือวัดซึ่งเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอมบน ABS กับขนาดมาตรฐาน ส่วน Auto Focus และ Frame Adjustment เป็นกระบวนการ Image Processing อาศัยหลักการ Edge Detection และ Template Matching ตามลำดับ ผลการพัฒนาพบว่าซอฟต์แวร์ใหม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ ABS อย่างมีนัยสำคัญ มีทั้งเครื่องมือวัดและคุณภาพของภาพถ่ายที่ดีขึ้น ซอฟต์แวร์เป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน อย่างไรก็ตามกระบวนการทำงานโดยรวมหลังเพิ่มซอฟต์แวร์ดังกล่าวยังเพิ่มเวลาการทำงานของเครื่อง HSA ABS Auto Inspection มากขึ้น

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ, คอมพิวเตอร์วิทัศน์, หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, การหาวัตถุ, การควบคุมคุณภาพ, การหาขอบภาพ, การเปรียบเทียบแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Cooperative Title** HSA ABS Auto Inspection Machine Development  
**Student Intern Name** Mr. Rapee Wannasiri  
**Departure** Instrumentation and Control Engineering  
**Advisor Name** Asst. Prof. Dr. Noppadol Maneerat  
**Mentor Name** Mr. Warat Thongrubbai  
**Company** Seagate Technology (Thailand) Ltd.

## ABSTRACT

HSA ABS Auto Inspection Machine is in quality control process. It has some problems, low quality captured image and lag of inspection tool. They cause to reduce inspection performance. In this case, the suitable software is a solution. Image processing is applied. The solution composes of three software components, Manual Inspection Tool, Auto Focus and Frame Adjustment. Manual Inspection Tool is used for identifying the defection on ABS. Auto Focus and Frame Adjustment are a kind of image processing. Edge detection is an image processing technique which is used in the Auto Focus. Template Matching is also an image processing technique which is used in Frame Adjustment. These software improve inspection performance significantly. However, the software caused to take longer machine time.

**Keywords:** Image Processing, Computer Vision, Air Bearing Surface, Quality Control, Edge Detection, Object Detection, Template Matching, Laplacian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ท่านได้ติดตามความก้าวหน้าและตรวจแก้รายงานฉบับนี้ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณพี่ๆ ที่บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด โดยเฉพาะ คุณวรัตน์ ทองรับใบ เจ้าของโครงการ คุณจิรากร วรชินา หัวหน้าโครงการ คุณกอบศักดิ์ พงพานภาศิริ ผู้จัดการแผนก และคุณศิวินท์ สมชิต วิศวกรอาวุโส ตลอดจนบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปฏิบัติงานสหกิจครั้งนี้ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

รพี วรรณศิริ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 การหาขอบภาพ.....	4
2.1.2 การเปรียบเทียบแม่แบบ.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	8
3.1 การศึกษาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection.....	8
3.2 การพัฒนาเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool).....	11
3.2.1 แนวคิด.....	11
3.2.2 วิจัยและพิสูจน์.....	11
3.2.3 การสร้างวิธีการ.....	12
3.2.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์.....	14
3.2.5 การสร้างโปรแกรมหลัก.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การพัฒนาระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus).....	17
3.3.1 แนวคิด.....	17
3.3.2 วิจัยและพิสูจน์.....	17
3.3.3 การสร้างวิธีการ.....	18
3.3.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์.....	19
3.3.5 การสร้างโปรแกรมหลัก.....	19
3.4 การพัฒนาระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment).....	22
3.4.1 แนวคิด.....	22
3.4.2 วิจัยและพิสูจน์.....	22
3.4.3 การสร้างวิธีการ.....	23
3.4.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์.....	23
3.4.5 การสร้างโปรแกรมหลัก.....	24
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย.....</b>	<b>27</b>
4.1 ผลการประเมินเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool).....	27
4.2 ผลการประเมินระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus).....	29
4.3 ผลการประเมินระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment).....	30
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>33</b>
5.1 สรุป.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>34</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>35</b>
ภาคผนวก ก Hard Disk Drive.....	36
ภาคผนวก ข OpenCV.....	45
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>51</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 กระบวนการทำงานของเครื่อง HSA ABS Auto Inspection ด้านซอฟต์แวร์.....	10
3.2 แนวคิดของการตรวจวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS การวัดขนาดของสิ่งแปลกปลอม และการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอม.....	11
3.3 วิธีการใช้งานเครื่องมือวัด.....	13
3.4 ลักษณะและคุณสมบัติของเครื่องมือวัด .....	14
3.5 กระบวนการทำงานของโปรแกรมหลักหลังเพิ่มเครื่องมือวัด.....	16
3.6 ภาพแสดงเฉพาะขอบของภาพที่มีความชัดต่างกัน.....	17
3.7 วิธีการวัดและเปรียบเทียบค่าความชัด.....	18
3.8 ตัวอย่างการแปรปรวนบนกราฟ Histogram.....	18
3.9 การทำงานของซอฟต์แวร์ Auto Focus .....	20
3.10 กระบวนการทำงานของโปรแกรมหลักหลังเพิ่ม Auto Focus .....	21
3.11 แนวคิดการเปรียบเทียบแม่แบบ.....	22
3.12 วิธีการปรับแต่งตำแหน่งภาพ.....	23
3.13 การทำงานของซอฟต์แวร์ Frame Adjustment.....	25
3.14 กระบวนการของโปรแกรมหลักหลังเพิ่ม Frame Adjustment.....	26
4.1 กระบวนการทำงานของ HSA ABS Auto Inspection Machine หลังผ่านการพัฒนาแล้ว .....	32

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลการทดลองจากแนวคิดการวัดและการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอมโดยการประเมินด้วยเกณฑ์ต่างๆ .....	12
4.1 การประเมินผลการทำงานของเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool) .....	28
4.2 การประเมินผลการทำงานของระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus).....	29
4.3 การประเมินผลการทำงานของระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment) .....	30



# บทที่ 1

## บทนำ

โครงการนี้คือการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรอย่างมีขั้นตอนและมีขอบเขต พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรให้มากขึ้น อันส่งผลดีต่อคุณภาพของการผลิต ผู้เขียนได้รับโอกาสอันดีงามนี้ ได้ร่วมโครงการที่สำคัญ อันเป็นประโยชน์แก่ผู้เขียนและสถานประกอบการ บทนำนี้จะกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินโครงการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 1.1 ความจำเป็นและความสำคัญ

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรือ Hard Disk Drive (HDD) ส่วนมากจะประกอบด้วยหลายสายการผลิต เช่น Head Stack Assembly (HSA), Head Gimbal Assembly (HGA) และ Drive Assembly เป็นต้น หนึ่งในสถานที่สำคัญแห่งหนึ่งในสายการผลิต HSA คือ สถานีสุ่มตรวจสอบ HSA ซึ่งเป็นหนึ่งในงานควบคุมคุณภาพหรือ Quality Control (QC) โดย Air Bearing Surface (ABS) เป็นส่วนหนึ่งของ HSA ที่มีความสำคัญต่อการอ่านและเขียนข้อมูลมากที่สุด ABS เป็นพื้นผิวที่นำหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไปอยู่เหนือแผ่นมีเดีย ซึ่งทำหน้าที่เป็นคลังข้อมูลขณะที่แผ่นมีเดียกำลังหมุน ทำให้หัวอ่านสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้<sup>[1]</sup> ABS ที่เสียรูป (Deform) หรือมีสิ่งแปลกปลอม (Defection) ส่งผลต่อการบินของหัวอ่านและการอ่านหรือเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้น ABS ควรถูกตรวจสอบทุกครั้งก่อนนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงเกิดงาน QC ในส่วนของ HSA ABS Inspection หรืองานตรวจสอบ ABS บน HSA โดยใช้กล้องส่องหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS ณ ท้ายสายการผลิต HSA

แผนการผลิตหรือ Production Engineer (PE) ผู้รับผิดชอบงาน QC ดำเนินงานตรวจสอบ ABS บน HSA ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ขนาด 100x หรือมีกำลังขยายหนึ่งร้อยเท่า โดยดำเนินงานด้วยแรงงานทุกขั้นตอน แต่ PE ต้องการลดแรงงานและค่าใช้จ่าย PE จึงแทนที่แรงงานด้วยเครื่องจักร เรียกว่า HSA ABS Auto Inspection Machine ซึ่งเครื่องจักรนี้จะโหลดงานและส่อง ABS ด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาด 100x อย่างอัตโนมัติ โดยมีศูนย์กลางการควบคุมอยู่ที่ซอฟต์แวร์ตัวหนึ่ง เครื่องจักรนี้เพิ่งถูกพัฒนาเป็นครั้งแรก ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องจักรยังไม่ดีนัก เครื่องจักรจึงมีช่องว่างสำหรับการพัฒนาและการปรับปรุงอยู่มาก แผนก HSA Process Development จึงรับหน้าที่พัฒนาเครื่องจักรเครื่องนี้ ก่อให้เกิดโครงการ HSA ABS Auto Inspection Machine Development ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาและปรับปรุงเครื่องจักร (HSA ABS Auto Inspection Machine) ในส่วนของซอฟต์แวร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม ซึ่งช่วยให้การคัดแยก HSA ที่ดีและเสียมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาซอฟต์แวร์ให้ผู้ใช้เครื่องสามารถตรวจสอบ ABS ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายใดๆ พัฒนาซอฟต์แวร์โดยการปรับปรุงแก้ไขหรือเพิ่มการทำงาน เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพแก่งานตรวจสอบ ABS ให้ดียิ่งขึ้น ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาจะเป็นเพียงต้นแบบ เพื่อทดลองระบบใหม่ๆ ซอฟต์แวร์จึงไม่จำเป็นต้องพร้อมทำงานในสายการผลิตจริง

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้เขียนดำเนินโครงการอย่างเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาและทำความเข้าใจ HSA ABS Auto Inspection Machine ในทุกๆ ด้าน
2. ค้นหาปัญหา จัดการแยกแยะปัญหา และแก้ไขที่ละปัญหา
3. สร้างแนวคิดและตั้งสมมติฐาน เพื่อแก้ไขปัญหานั้นๆ
4. วิจัยแนวคิดและพิสูจน์สมมติฐาน ก่อนนำแนวคิดนั้นๆ ไปพัฒนาวิธีการต่อไป
5. สร้างวิธีการโดยอาศัยหลักการและศาสตร์ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ
6. พัฒนาซอฟต์แวร์บนพื้นฐานจากวิธีการที่พัฒนาขึ้น ทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์จนกระทั่งซอฟต์แวร์ทำงานได้อย่างถูกต้อง
7. นำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบเข้ากับโปรแกรมหลักของ HSA ABS Auto Inspection Machine ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรมจนกระทั่งการทำงานอย่างสอดคล้องและถูกต้อง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประสบการณ์การทำงานร่วมกับผู้ร่วมงาน แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์กับผู้ร่วมงาน
2. เพิ่มทักษะการสื่อสาร ทักษะการนำเสนอ ทักษะการแก้ปัญหา และทักษะการทำงานอื่นๆ
3. เรียนรู้การปรับตัวเข้าสู่สังคมการทำงาน และเรียนรู้วัฒนธรรมขององค์กรใหญ่ๆ
4. สัมผัสระบบต่างๆ ภายในองค์กรขนาดใหญ่ที่มีเครือข่ายในหลายประเทศทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เรียนรู้การเขียนโปรแกรม การเขียนโปรแกรมแบบทีม และการใช้ภาษาระดับสูงถึงภาษาระดับควบคุมฮาร์ดแวร์
6. เรียนรู้การทำงานและโครงสร้างของเครื่องจักรคุณภาพสูง สัมผัสฮาร์ดแวร์ที่หลากหลาย และสัมผัสการทำงานของสายการผลิตขนาดใหญ่
7. เรียนรู้งานคอมพิวเตอร์วิทัศน์ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎีและการวิจัยที่ถูกนำมาใช้สำหรับการวิจัยและพัฒนาตู้โครงงาน HSA ABS Auto Inspection Machine Development คือ การประมวลผลภาพ หรือ Image Processing ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เป็นแก่นของโครงงานคือ การหาขอบภาพ (Edge Detection) และการเปรียบเทียบแม่แบบ (Template Matching) นำทฤษฎีเหล่านี้มาประยุกต์คู่กับการเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องจักร

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพหรือ Edge Detection<sup>[3]</sup> คือ หนึ่งใน Local Image Pre-processing<sup>[3]</sup> หรือการประมวลผลภาพก่อนแบบพื้นถิ่น โดยมี Edge Detector หรือตัวหาขอบ ทำหน้าที่ระบุการเปลี่ยนแปลงในฟังก์ชันของความเข้มแสง หรือ Intensity Function บนภาพดิจิทัล ขอบบนภาพดิจิทัลคือบริเวณพิกเซล (Pixel) ที่มีฟังก์ชันของความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แคลคูลัส (Calculus) และการอนุพันธ์ (Derivatives) จึงถูกนำมาใช้ในการหาขอบบนภาพดิจิทัล แต่ฟังก์ชันของภาพ (Image Function) มีตัวแปรทั้งหมด 2 ตัวแปร คือ ตำแหน่ง Co-ordinate ขนาดสองมิติ (X, Y) บนระนาบของภาพดิจิทัล Partial Derivative จึงถูกนำมาใช้ในการหาขอบบนภาพดิจิทัล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ Image Function จะถูกอธิบายด้วย Gradient<sup>[2][3][4]</sup> ซึ่งชี้ไปตามการเติบโตของฟังก์ชัน

ขนาด (Magnitude) ของ Gradient ( $|\text{grad } g(x, y)|$ ) และทิศ (Direction) ของ Gradient ( $\varphi$ ) บนฟังก์ชันต่อเนื่องสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$|\text{grad } g(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}, \quad (2.1)$$

$$\varphi = \arg\left(\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}\right), \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $\varphi$  ทำมุมระหว่างพิกัด  $(X, Y)$  กับแกน  $X$  ในกรณีที่สนใจแต่ขนาดของขอบโดยไม่สนใจทิศทาง Linear Differential Operator หรือ Laplacian<sup>[2][3][4][5]</sup> จึงถูกนำมาใช้ในกรณีนี้ ดังสมการที่ (2.3)

$$\nabla^2 g(x, y) = \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial^2 y}, \quad (2.3)$$

เนื่องจากภาพดิจิทัลเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง สมการที่ (2.1) และ (2.2) จึงทำการอนุพันธ์ไม่ได้ ดังนั้นจำเป็นต้องประมาณผลการอนุพันธ์ด้วยการคำนวณผลต่างแทน โดยผลต่างถูกคำนวณจากสองตัวแปร ได้แก่ ผลต่างตามแนวตั้ง (แทนด้วย  $i$ ) และผลต่างตามแนวนอน (แทนด้วย  $j$ ) ที่อยู่บนระนาบของภาพดิจิทัล สมการผลต่างเป็นดังสมการที่ (2.4) และ (2.5)

$$\Delta_i g(i, j) = g(i, j) - g(i - n, j), \quad (2.4)$$

$$\Delta_j g(i, j) = g(i, j) - g(i, j - n), \quad (2.5)$$

กำหนดให้ฟังก์ชัน  $g$  แทนภาพดิจิทัล ขณะที่  $n$  เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าน้อย (โดยปกติแล้วมีค่าเท่ากับ 1) และ  $n$  ควรมีค่าน้อยพอที่จะประมาณการอนุพันธ์ได้ แต่ต้องมีค่ามากพอที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สำคัญ อย่างไรก็ตามสมการผลต่างที่สมมาตรเป็นดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$\Delta_i g(i, j) = g(i + n, j) - g(i - n, j), \quad (2.6)$$

$$\Delta_j g(i, j) = g(i, j + n) - g(i, j - n), \quad (2.7)$$

ปกติแล้วสมการที่ (2.6) และ (2.7) จะไม่ถูกนำมาใช้ เนื่องจากไม่ได้คำนวณการเปลี่ยนแปลง ณ พิกเซลที่สนใจ  $(i, j)$

สำหรับตัววัดความคมของขอบบนภาพดิจิทัลถูกเรียกว่า Gradient Operator ซึ่งแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ

1. Operator กลุ่มที่ประมาณการอนุพันธ์ด้วยการคำนวณผลต่าง แต่ Operator บางตัวนั้นไม่

สามารถคำนวณทิศทางของการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น Laplacian เป็นต้น ดังนั้นการคำนวณจึงอาศัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Convolution Mask<sup>[2][3][4]</sup> เพียงตัวเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตาม Operator ที่ใช้ Convolution หลาย Mask ยังคงมี ซึ่ง Operation เหล่านี้จะประมาณการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน สำหรับการคำนวณทิศทางการเปลี่ยนแปลงนั้นจะอาศัยพื้นฐานการ Match Pattern เป็นหลัก

2. Operator กลุ่มที่ใช้ Zero-Crossing กับฟังก์ชันอนุพันธ์อันดับที่สองของภาพดิจิทัล ตัวอย่างเช่น Marr-Hildreth และ Canny Edge Detector เป็นต้น

3. Operator กลุ่มที่เปรียบเทียบฟังก์ชันภาพดิจิทัลกับสมการแบบจำลองของขอบ

Gradient Operator จะคำนวณพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ในบริเวณรอบๆ พิกเซลที่สนใจ นำค่าพิกเซลที่แต่ละตำแหน่งคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ประจำตำแหน่งนั้นๆ ชุดค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเรียกว่า Convolution Mask โดย Operator แต่ละชนิดจะใช้ Mask ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับ Operator ที่สามารถระบุทิศทางได้จะใช้ Convolution Mask หลายตัว

Laplace Operator<sup>[2][5]</sup> ( $\nabla^2$ ) เป็น Operator ที่มีความนิยมสูง เนื่องจากมันสามารถอธิบายการมีอยู่ของขอบได้ดีที่สุด มันจะประมาณการอนุพันธ์อันดับที่สองของฟังก์ชันและให้ผลลัพธ์คือขนาดของขอบบนภาพดิจิทัลเพียงอย่างเดียว Laplacian ดังสมการที่ (2.3) ถูกประยุกต์ใช้บนภาพดิจิทัลที่ผลรวมของ Convolution ขนาดของ Convolution Mask (แทนด้วย  $h$ ) ที่นิยมใช้คือ  $3 \times 3$  โดย Mask ขนาดนี้ใช้กับพิกเซลล้อมรอบจำนวน 4 และ 8 พิกเซล มีเมตริกซ์ดังสมการที่ (2.8)

$$h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, h = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

Laplacian Operator สามารถมีค่านัยสำคัญที่กลางเมตริกซ์หรือบริเวณรอบๆได้มากกว่า สมการที่ (2.8) แต่ส่งผลให้ความสามารถในการหาทิศทางลดลง เช่น เมตริกซ์ดังสมการที่ (2.9) เป็นต้น

$$h = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ -1 & -4 & -1 \\ 2 & -1 & 2 \end{bmatrix}, h = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ 2 & -4 & -2 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

แต่อย่างไรก็ตาม Laplacian Operator ยังคงมีข้อเสีย คือ ตอบสนองต่อความแปรปรวนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การเปรียบเทียบแม่แบบ

การเปรียบเทียบแม่แบบหรือ Template Matching<sup>[2][3][4][5]</sup> เป็นแนวทางที่เรียบง่ายที่สุดสำหรับการระบุตำแหน่งของวัตถุบนภาพดิจิทัล โดยเปรียบเทียบ (Match) ทุกๆ พิกเซลบนภาพกับแม่แบบ (Template) การหาวัตถุหรือ Object Detection<sup>[5]</sup> จึงสามารถประยุกต์ใช้ Template Matching ได้เช่นกัน

กำหนดให้  $T$  คือ Template ที่มีมิติขนาด  $r_T \times c_T$  กำหนดให้ภาพดิจิทัลคือ  $I$  ตำแหน่งพิกเซลที่ถูกเปรียบเทียบแม่แบบคือ  $X = (x_a, x_b)$  สมการการเปรียบเทียบแม่แบบเป็นดังสมการที่ (2.10)

$$E(x) = \sum_{i=1}^{r_T} \sum_{j=1}^{c_T} (T_{i,j} - I_{x_a+i, x_b+j})^2, \quad (2.10)$$

$E$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนหรือค่าความเหมือนหลังการเปรียบเทียบแม่แบบกับตำแหน่งนั้นๆ บนภาพดิจิทัล โดยหาก  $E$  ที่มีค่าต่ำจะแสดงความเหมือนกันระหว่างแม่แบบกับภาพดิจิทัล ณ ตำแหน่งนั้นๆ ว่ามีความใกล้เคียงกัน

## บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินโครงการประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection เพื่อเข้าใจปัญหา และจัดการแยกแยะปัญหา โดยแก้ไขปัญหาละเอียดตามขั้นตอนต่อไป

2. แนวคิด สร้างแนวคิดและแนวทางการแก้ไขปัญหา

3. วิจัยและพิสูจน์แนวคิด เพื่อหาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

4. การสร้างวิธีการ เพื่อเป็นคู่มือการพัฒนา

5. การพัฒนาซอฟต์แวร์ สร้างซอฟต์แวร์ที่ตอบสนองแนวทางการแก้ไขปัญหา

6. การสร้างโปรแกรมหลัก นำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบเข้ากับโปรแกรมหลักของเครื่องจักร

ขั้นตอนเหล่านี้ส่งเสริมการดำเนินโครงการให้มีประสิทธิภาพ รวมทั้งการวิจัยและการพัฒนาสามารถดำเนินได้อย่างน่าเชื่อถือ

### 3.1 การศึกษาเครื่อง HSA ABS Auto Inspection

ผู้เขียนได้ใช้งานเครื่อง HSA ABS Auto Inspection เพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมบน ABS ประกอบความเข้าใจกับการศึกษาคู่มือต่างๆ เช่น คู่มือเครื่องจักร HSA ABS Auto Inspection Machine Manual เป็นต้น ทำให้ผู้เขียนมีความรู้และความเข้าใจในงานตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม รวมถึงเข้าใจส่วนประกอบของเครื่องจักรและการทำงานของเครื่องจักรทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ สำหรับกระบวนการทำงานด้านซอฟต์แวร์ของเครื่องจักรถูกแสดงดังรูปที่ 3.1 ผู้เขียนและหัวหน้างานพบปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ การสั่นของกล่อง กลไกการจับชิ้นงานที่ติดขัด การเคลื่อนที่ของเซอร์โว (Servo) ที่ติดขัด ภาพถ่ายที่ไม่ชัด ภาพถ่ายไม่อยู่ในเฟรม และขาดเครื่องมือวัดขนาดสิ่งแปลกปลอม เป็นต้น ทั้งนี้ผู้เขียนได้รับมอบหมายให้พัฒนาเครื่องจักรในส่วนซอฟต์แวร์ ดังนั้นผู้เขียนจึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์เพิ่มคุณภาพความชัดของภาพ ซอฟต์แวร์ปรับตำแหน่งของภาพถ่าย และเครื่องมือวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ได้ทางซอฟต์แวร์ อีกทั้งความชัดภาพและตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายส่งผลถึงคุณภาพและความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบ HSA หรือหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งต้องการการแก้ปัญหาอย่างเร่งด่วน

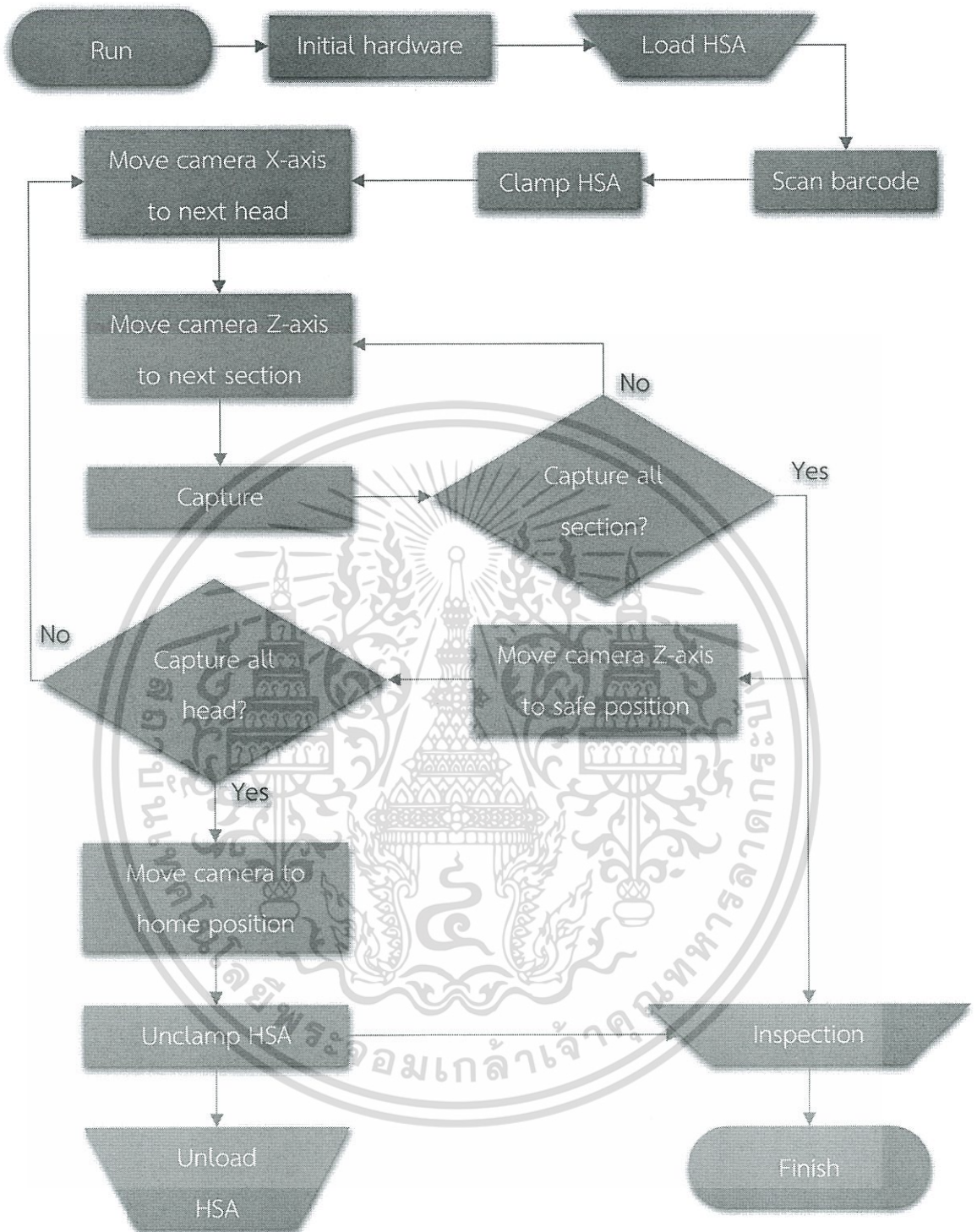
เมื่อผู้เขียนทราบสิ่งที่คุณเขียนจะต้องพัฒนาแล้ว ผู้เขียนจึงจำแนกงานออกเป็นดังนี้

1. การพัฒนาเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool)
2. การพัฒนาระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus)
3. การพัฒนาระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment)

โดยรายละเอียดของแต่ละงานจะถูกอธิบายในหัวข้อที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงานของเครื่อง HSA ABS Auto Inspection ด้านซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การพัฒนาเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool)

### 3.2.1 แนวคิด

แนวคิดหลักๆ ของการตรวจวัดสิ่งแปลกปลอมมืออยู่สองแบบคือ การวัดขนาดของสิ่งแปลกปลอม และการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอม การวัดขนาดนั้นผู้เขียนได้พิจารณาการใช้เมาส์ลากเส้นผ่านสิ่งแปลกปลอม เพื่อวัดขนาดตามความยาวเส้น ส่วนการเปรียบเทียบนั้นผู้เขียนใช้ขนาดจากมาตรฐานการตัดแยกสิ่งแปลกปลอมชนิดต่างๆ เป็นตัวแปรอ้างอิง ซึ่งนำไปเทียบกับขนาดของสิ่งแปลกปลอมที่อยู่บนภาพถ่าย โดยลักษณะของการวัดทั้ง 2 แนวคิดเป็นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แนวคิดของการตรวจวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS (ภาพถ่าย) การวัดขนาดของสิ่งแปลกปลอม (ภาพขวา) การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอม

### 3.2.2 วิจัยและพิสูจน์

จากแนวคิดทั้งสองแบบคือ การวัดด้วยการลากเส้น และการเปรียบเทียบกับขนาดอ้างอิง ผู้เขียนจึงทำการวิจัยเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เกณฑ์ดังนี้

1. ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ
2. ความสามารถของแนวคิดในการตัดแยกงานดีหรือเสีย

ผู้เขียนเริ่มต้นด้วยการแปลงแนวคิดทั้งสองให้เป็นโปรแกรมสองโปรแกรม จากนั้นทดลองใช้โปรแกรมแต่ละตัวกับภาพถ่าย ABS

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองจากแนวคิดการวัดและการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งแปลกปลอมโดยการประเมินด้วยเกณฑ์ต่างๆ

แนวคิด \ เกณฑ์	ความสะดวกในการใช้	ความสามารถในการคัดแยก
	เครื่องมือ	งานดีหรือเสีย
การวัดด้วยการลากเส้น	★★★	★★★
การเปรียบเทียบกับขนาดอ้างอิง	★★★★★	★★★★★

ผลการทดลองใช้โปรแกรมทั้งสองแสดงดังตารางที่ 3.1 เมื่อใช้เกณฑ์ที่ผู้เขียนกำหนดพบว่า การลากเส้นจะใช้ยากขึ้นเมื่อสิ่งแปลกปลอมมีขนาดเล็กมากๆ ขณะที่การเปรียบเทียบนั้นใช้ได้ดีที่ทุกขนาดของสิ่งแปลกปลอม ซึ่งขยายความได้ว่าการลากเส้นสามารถวัดงานได้ดีเมื่อสิ่งแปลกปลอมมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อสิ่งแปลกปลอมมีขนาดเล็กจะส่งผลให้การวัดไม่แม่นยำ ทำให้ไม่สามารถคัดแยกงานได้ ขณะที่การเปรียบเทียบขนาดสามารถคัดแยกงานได้ดี เพราะขนาดของสิ่งแปลกปลอมกับขนาดที่อ้างอิงสามารถเปรียบเทียบกันได้ง่าย

เมื่อพิจารณาผลตามเกณฑ์ ผู้เขียนพบว่าการเปรียบเทียบขนาดนั้นดีกว่าการวัดด้วยการลากเส้นทุกเกณฑ์ ดังนั้นผู้เขียนจึงเลือกใช้การเปรียบเทียบขนาดเป็นแนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์ต่อไป

### 3.2.3 การสร้างวิธีการ

ลักษณะเครื่องมือวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS ที่เหมาะสมคือ แบบเปรียบเทียบขนาด อย่างไรก็ตามการตรวจสอบ ABS ต้องเป็นไปตามความต้องการของ QC ผู้เขียนจึงออกแบบการใช้งานเครื่องมือวัดสำหรับการตรวจสอบ ABS ร่วมกับโปรแกรมหลักของเครื่อง HSA ABS Auto Inspection แสดงดังรูปที่ 3.3

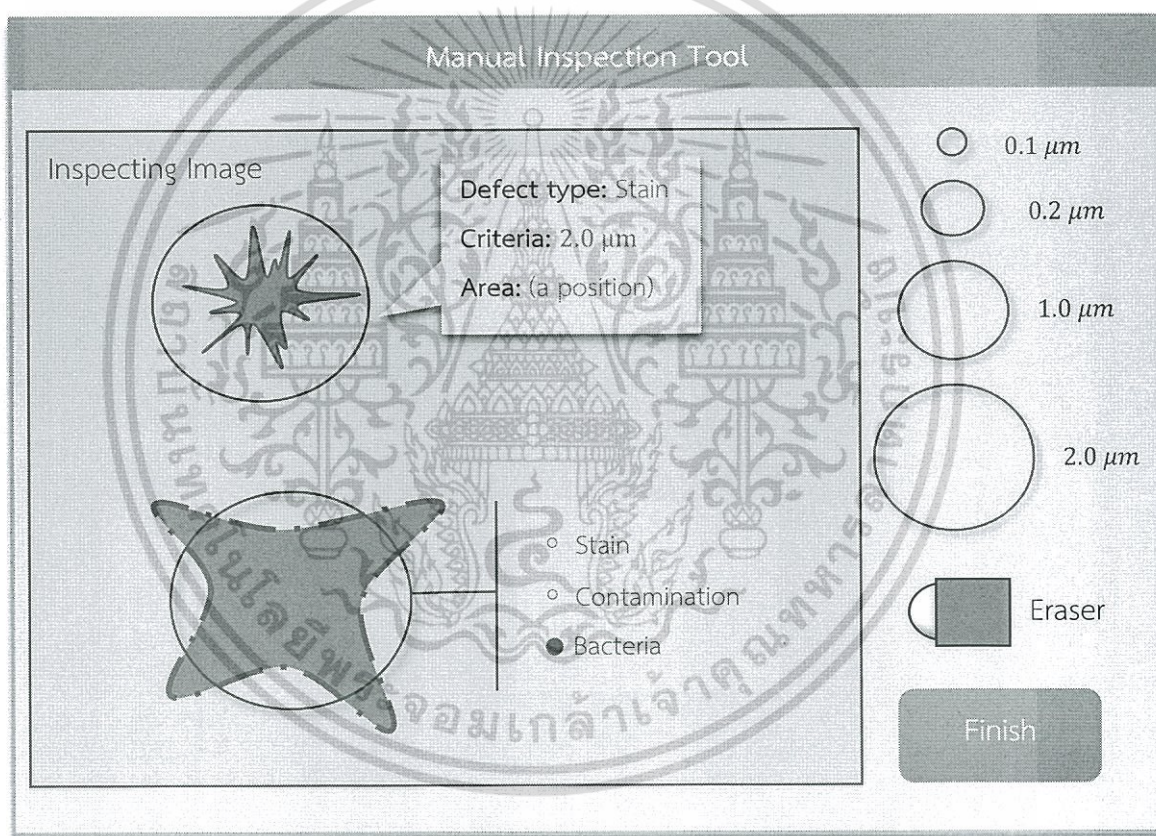


รูปที่ 3.3 วิธีการใช้งานเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์

เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การสร้างเครื่องมือวัดที่ใช้วิธีการเปรียบเทียบขนาด เครื่องมือวัดจะถูกโปรแกรมหลักของเครื่องจักรนำไปใช้ในขั้นตอนถัดๆ ไป เครื่องมือถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C# ลักษณะของเครื่องมือแสดงด้วยรูปแบบพื้นฐาน (Basic Frame) ของระบบปฏิบัติการ ซึ่งระบบปฏิบัติการที่ใช้คือ Windows 7 ผู้เขียนพัฒนาเครื่องมือวัดให้ทำงานตามวิธีการและขั้นตอนดังรูปที่ 3.3 อันได้แก่ เครื่องมือที่มีขนาดหลากหลายให้เลือกใช้ ตัวเลือกระบุชนิดของสิ่งแปลกปลอม การแสดงรายละเอียดของสิ่งแปลกปลอมที่ถูกตรวจแล้ว การลบผลการตรวจวัด และการเสร็จสิ้นการตรวจวัดพร้อมทั้งบันทึกผลลัพธ์ลงฐานข้อมูล รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะและคุณสมบัติของเครื่องมือ



รูปที่ 3.4 ลักษณะและคุณสมบัติของเครื่องมือวัด

ผู้เขียนพัฒนาเครื่องมือวัดที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยมุ่งเน้นที่ความสะดวกในการใช้งานเครื่องมือวัด เมื่อพัฒนาจนเป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้แล้ว จึงนำเครื่องมือประกอบลงโปรแกรมหลักของเครื่องจักร

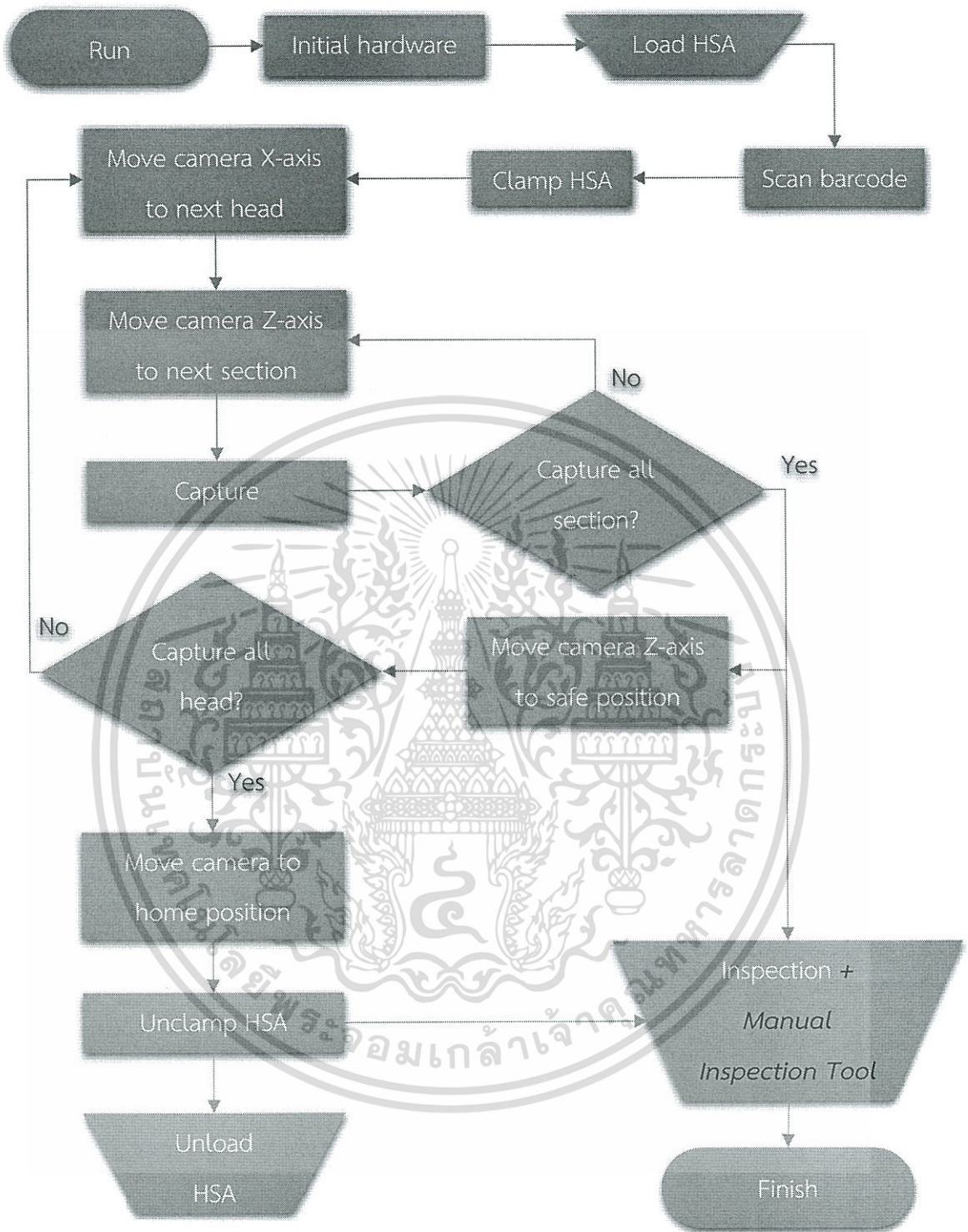
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 การสร้างโปรแกรมหลัก

ผู้เขียนนำเครื่องมือวัดประกอบลงโปรแกรมหลัก โดยไม่ได้แก้ไขส่วนของโปรแกรมเดิมแต่อย่างใด เพียงแต่เพิ่มฟังก์ชันเข้าไปในกระบวนการตรวจวัดสิ่งแปลกปลอม หรือ HSA ABS Inspection และเพิ่มการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องมือและฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.5 ทั้งนี้ผู้เขียนเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# หลังจากนั้นทดสอบระบบโดยรวมและปรับปรุงให้โปรแกรมทำงานอย่างถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กระบวนการทำงานของโปรแกรมหลักหลังเพิ่มเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การพัฒนาระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus)

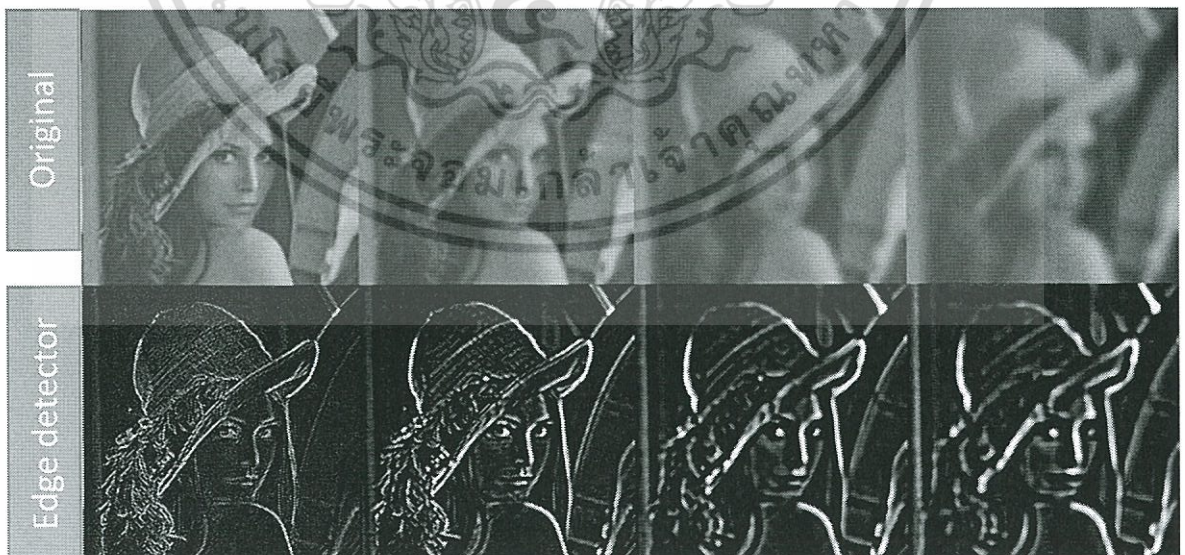
#### 3.3.1 แนวคิด

ถ่ายภาพหลายๆ ภาพ ซึ่งแต่ละภาพมีความชัดที่แตกต่างกัน นำภาพถ่ายเหล่านั้นมาเลือกภาพที่ชัดที่สุด และนำภาพที่ชัดที่สุดเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดงาน

เมื่อนำแนวคิดข้างต้นมาสร้างเป็นกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์จะต้องคำนวณหาค่าความชัดเชิงคณิตศาสตร์ของแต่ละภาพ หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าความชัดของแต่ละภาพ เพื่อค้นหาภาพที่ชัดที่สุด เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดี แต่ไม่สามารถตีความข้อมูลเชิงรูปธรรมได้ ซอฟต์แวร์จึงต้องคำนวณค่าความชัดเชิงคณิตศาสตร์ด้วยการประมวลผลภาพถ่าย หรือ Image Processing

#### 3.3.2 วิจัยและพิสูจน์

สิ่งที่ควรทราบเป็นลำดับแรกคือ นิยามความชัดเชิงคณิตศาสตร์ของภาพถ่ายใดๆ ผู้เขียนสังเกตและวิเคราะห์ภาพถ่ายหลากหลายภาพจึงได้ข้อสันนิฐานว่าภาพชัดคือ ภาพคม กล่าวได้ว่าภาพคมคือภาพที่มนุษย์สังเกตเห็นขอบ และความคม (Sharpness) คือ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มชั้นแสง โดยขนาดของความคมคือ การกระจายของความเข้มชั้นแสงบริเวณขอบ ผู้เขียนวิเคราะห์ข้อมูลจากบทความ Fun With Frequency<sup>[6]</sup> บนเว็บไซต์ของ University of California, Berkeley เพื่อพิสูจน์ข้อสันนิฐาน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงเฉพาะขอบของภาพที่มีความชัดต่างกัน

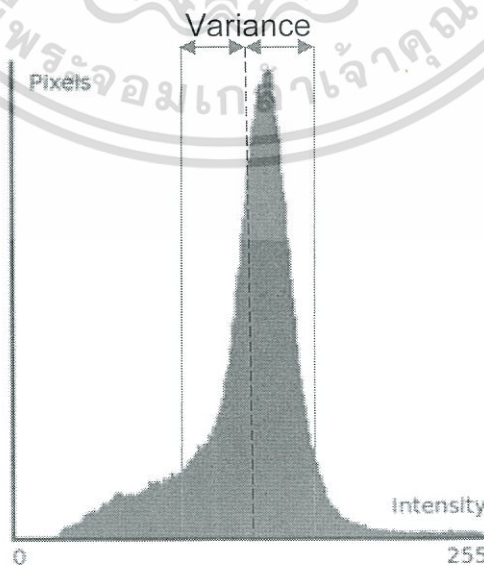
การทดสอบข้อสันนิษฐานจากแหล่งข้อมูลดังกล่าว ด้วยการนำภาพถ่ายที่มีความชัดแตกต่างกัน มาแสดงเฉพาะขอบ โดยวิธีการตรวจจับขอบ (Edge Detector) ผลการทดลองคือ ภาพชัดมีการกระจายของขอบต่ำ และภาพเบลอมีการกระจายของขอบสูง ดังรูปที่ 3.6 ดังนั้นการกระจายของขอบแปรผกผันกับความชัด ขนาดของความคมจึงสามารถเป็นตัวแทนค่าความชัดเชิงคณิตศาสตร์ได้ โดยขนาดของความชัดคือ การกระจายของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มชั้นแสง

### 3.3.3 การสร้างวิธีการ



รูปที่ 3.7 วิธีการวัดและเปรียบเทียบค่าความชัด

เมื่อทราบนิยามความชัดเชิงคณิตศาสตร์ของภาพถ่ายใดๆ แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การสร้างวิธีการวัดและเปรียบเทียบค่าความชัด แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยลำดับแรกคือ การเตรียมภาพถ่าย ลำดับที่สองคือการนำภาพนั้นๆ แสดงเฉพาะขอบด้วยการตรวจจับขอบ (Edge Detect) การตรวจจับขอบอาศัยคณิตศาสตร์ Laplacian ลำดับที่สามคือ การหาค่าความแปรปรวนบนกราฟการกระจายความถี่ หรือ Histogram ของภาพหลังผ่านการตรวจจับขอบแล้ว ตัวอย่างการแปรปรวนบนกราฟ Histogram แสดงดังรูปที่ 3.8 และลำดับสุดท้ายนำค่าความแปรปรวนของแต่ละภาพมาเปรียบเทียบ เพื่อหาภาพที่มีค่าความแปรปรวนต่ำสุด นั่นก็คือ ภาพที่ชัดที่สุดของภาพกลุ่มนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

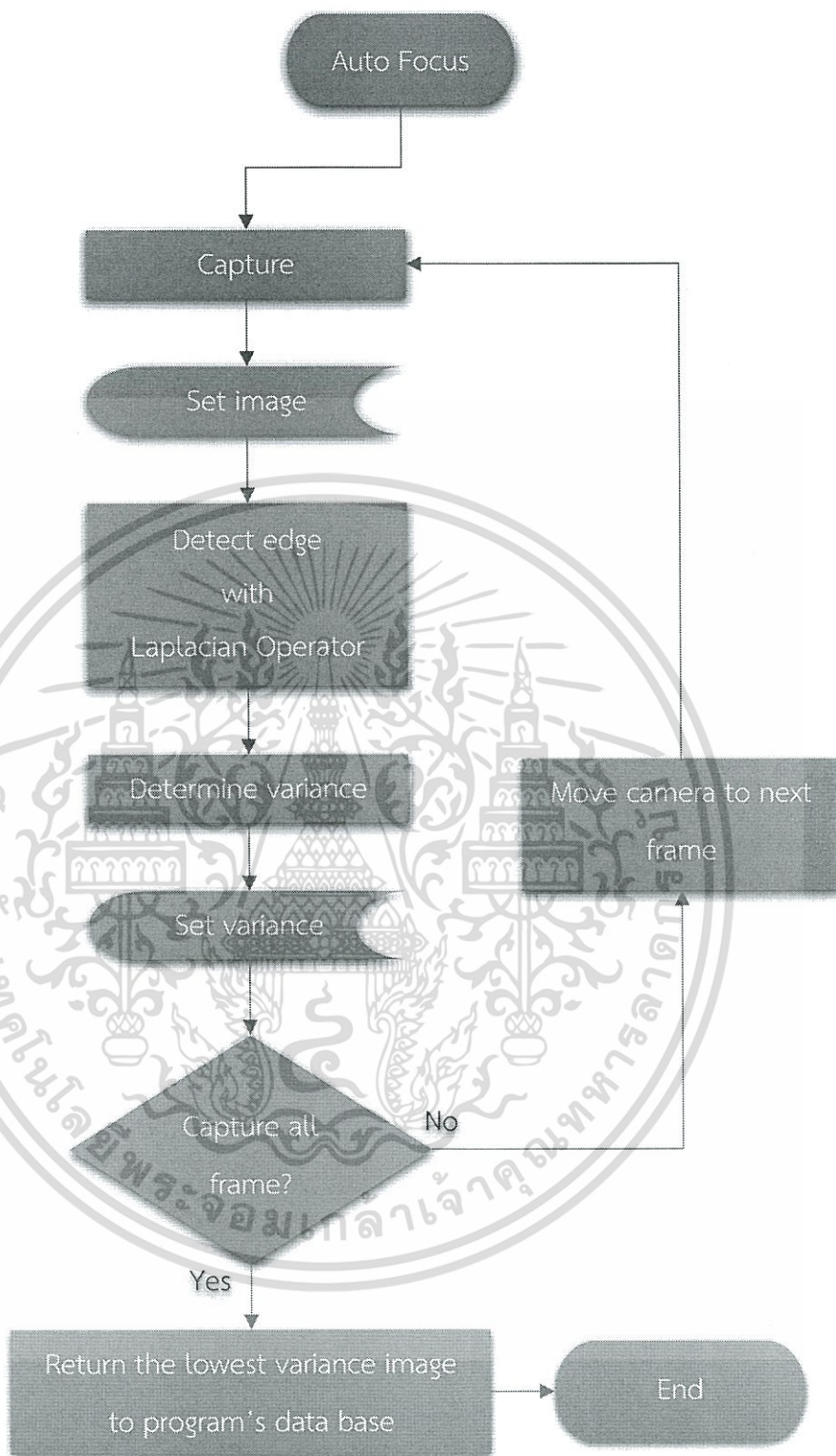
### 3.3.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์

จากวิธีการทำงานในหัวข้อที่ 3.3.3 ผู้เขียนพัฒนาซอฟต์แวร์จากวิธีการดังกล่าว โดยใช้ภาษา C# ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio ภายหลังจากการพัฒนาซอฟต์แวร์ Auto Focus เสร็จสิ้น ผู้เขียนจะนำซอฟต์แวร์ตัวนี้ประกอบเข้ากับโปรแกรมหลัก ซอฟต์แวร์ Auto Focus จะควบคุมการเคลื่อนที่ของกล้องผ่านการควบคุมเซอร์โวและประมวลผลภาพเพื่อหาภาพที่ชัดที่สุด โดยยึดหลักวิธีการที่สร้างขึ้น รูปที่ 3.9 แสดงกระบวนการทำงานของ Auto Focus

### 3.3.5 การสร้างโปรแกรมหลัก

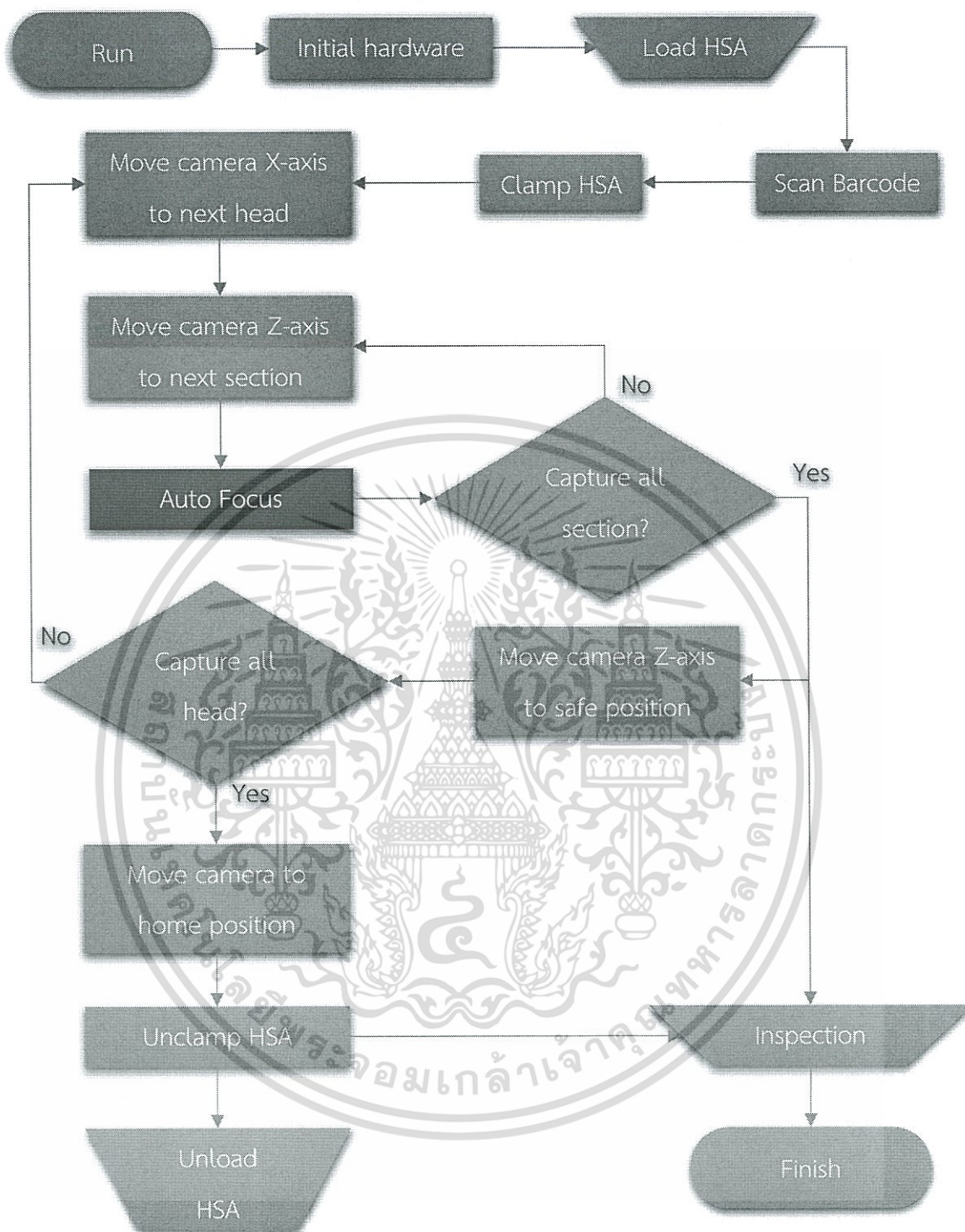
นำซอฟต์แวร์ประกอบเข้ากับโปรแกรมหลักและปรับแต่งให้ทำงานร่วมกันได้ สร้าง User Interface เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตั้งค่าการทำงานของระบบ Auto Focus ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมหลัก เพื่อให้เครื่องจักรทำงานขณะที่มีระบบ Auto Focus ได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับกระบวนการทำงานของโปรแกรมหลักหลังการพัฒนาเพิ่มระบบ Auto Focus ถูกแสดงดังรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.9 การทำงานของซอฟต์แวร์ Auto Focus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กระบวนการทำงานของโปรแกรมหลักหลังเพิ่ม Auto Focus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การพัฒนาระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment)

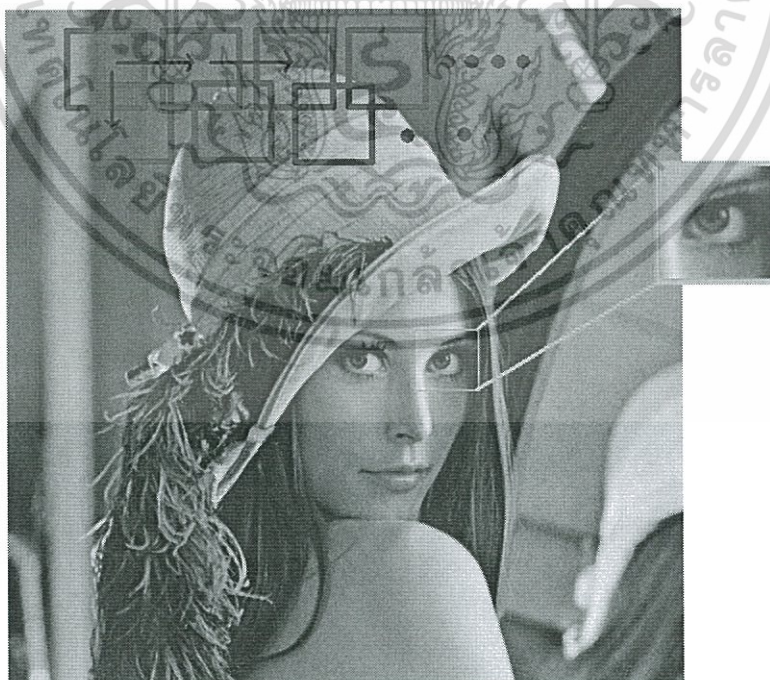
#### 3.4.1 แนวคิด

ถ่ายภาพ ABS จำนวนสองครั้ง ครั้งแรกคือ การถ่ายภาพ ณ ตำแหน่งที่ถูกกำหนด ประมวลผลภาพถ่ายครั้งแรกเพื่อหาระยะที่ ABS คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ควรเป็น นำระยะที่คลาดเคลื่อนมาปรับตำแหน่งกล้องและถ่ายภาพครั้งที่สอง ภาพถ่ายครั้งสุดท้ายจะปรากฏ ABS อยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการ

#### 3.4.2 วิจัยและพิสูจน์

การระบุตำแหน่ง ABS บนภาพถ่ายใดๆ นั้นต้องอาศัยการประมวลผลภาพด้วยการหาวัตถุบนภาพถ่าย (Object Detection) การระบุตำแหน่งภาพด้วย Object Detection มีอยู่หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือ การเปรียบเทียบแม่แบบ หรือ Template Matching วิธีการนี้นับว่าเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดเพียงมีภาพแม่แบบของ ABS และนำแม่แบบไปเปรียบเทียบกับทุกๆ พิกเซลบนภาพถ่าย เพื่อหาตำแหน่งของ ABS

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างแนวคิดการเปรียบเทียบแม่แบบ กล่าวคือ มีดวงตาของนางแบบเป็นแม่แบบ แล้วนำแม่แบบดังกล่าวเปรียบเทียบกับทุกๆ พิกเซลบนภาพของนางแบบ เพื่อหาตำแหน่งของดวงตาของนางแบบ



รูปที่ 3.11 แนวคิดการเปรียบเทียบแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การสร้างวิธีการ



รูปที่ 3.12 วิธีการปรับแต่งตำแหน่งภาพ

จากการวิจัยแนวคิดการเปรียบเทียบแม่แบบในหัวข้อที่ 3.4.2 ผู้เขียนจึงออกแบบวิธีการ Frame Adjustment ดังรูปที่ 3.12 ลำดับแรกคือ การเตรียมภาพถ่ายที่จะถูกประมวลผลภาพ ลำดับถัดมาคือ การเปรียบเทียบแม่แบบ (Template Matching) หลังจากนั้นหาตำแหน่งบนภาพถ่ายที่มีค่าความเหมือนมากที่สุดในลำดับถัดมา และลำดับสุดท้ายคือ การหาระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่มีค่าความเหมือนมากที่สุดกับตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกกำหนดไว้

#### 3.4.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์

ผู้เขียนพัฒนาซอฟต์แวร์โดยมีพื้นฐานจากวิธีการตามหัวข้อที่ 3.4.3 ขั้นตอนการรับภาพถ่าย (Input Image) ซอฟต์แวร์จะต้องควบคุมตำแหน่งกล้องให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นส่งภาพถ่าย เก็บภาพถ่ายพร้อมกำหนด ROI หรือ Region of Interest หรือ บริเวณภาพถ่ายที่สนใจเพื่อดำเนินการประมวลผลภาพในบริเวณดังกล่าว ขั้นตอนถัดไปคือ การเปรียบเทียบแม่แบบ (Template Matching) โดยนำแม่แบบ (Template) ซึ่งถูกกำหนดไว้และภาพถ่ายเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบแม่แบบ และนำผลลัพธ์เข้าสู่ขั้นตอนถัดไปคือ การหาตำแหน่งที่มีค่าความใกล้เคียงกับแม่แบบมากที่สุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้จากการเปรียบเทียบแม่แบบ ซอฟต์แวร์จะส่งระยะปรับตำแหน่งกล้องเป็นศูนย์และจบกระบวนการ Frame Adjustment ทั้งนี้ หากค่าความใกล้เคียงที่มากที่สุดต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ขั้นตอนสุดท้ายคือ การคำนวณระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่มีค่าความเหมือนที่มากที่สุดกับตำแหน่งอ้างอิง (Reference) เนื่องจากระยะห่างดังกล่าวเป็นระยะพิกเซล จึงต้องแปลงระยะพิกเซลเป็นระยะตามมาตรวัด โดยใช้อัตราส่วนที่ถูกกำหนดไว้ เพื่อนำระยะที่ได้ไปปรับแต่งตำแหน่งของกล้อง แต่การเคลื่อนที่ของกล้องนั้นมีระยะจำกัด ซอฟต์แวร์จึงต้องตรวจระยะที่คำนวณได้ตามมาตรวัด ถ้าระยะเกินค่าจำกัด ซอฟต์แวร์จะส่งระยะปรับตำแหน่งกล้องเป็นศูนย์ และหากอยู่ในระยะที่กำหนด ซอฟต์แวร์จะส่งระยะปรับตำแหน่งเท่ากับระยะที่คำนวณได้ เมื่อส่งข้อมูลครบถ้วนแล้ว จึงจบกระบวนการ Frame Adjustment การทำงานของซอฟต์แวร์แสดงดังรูปที่ 3.13

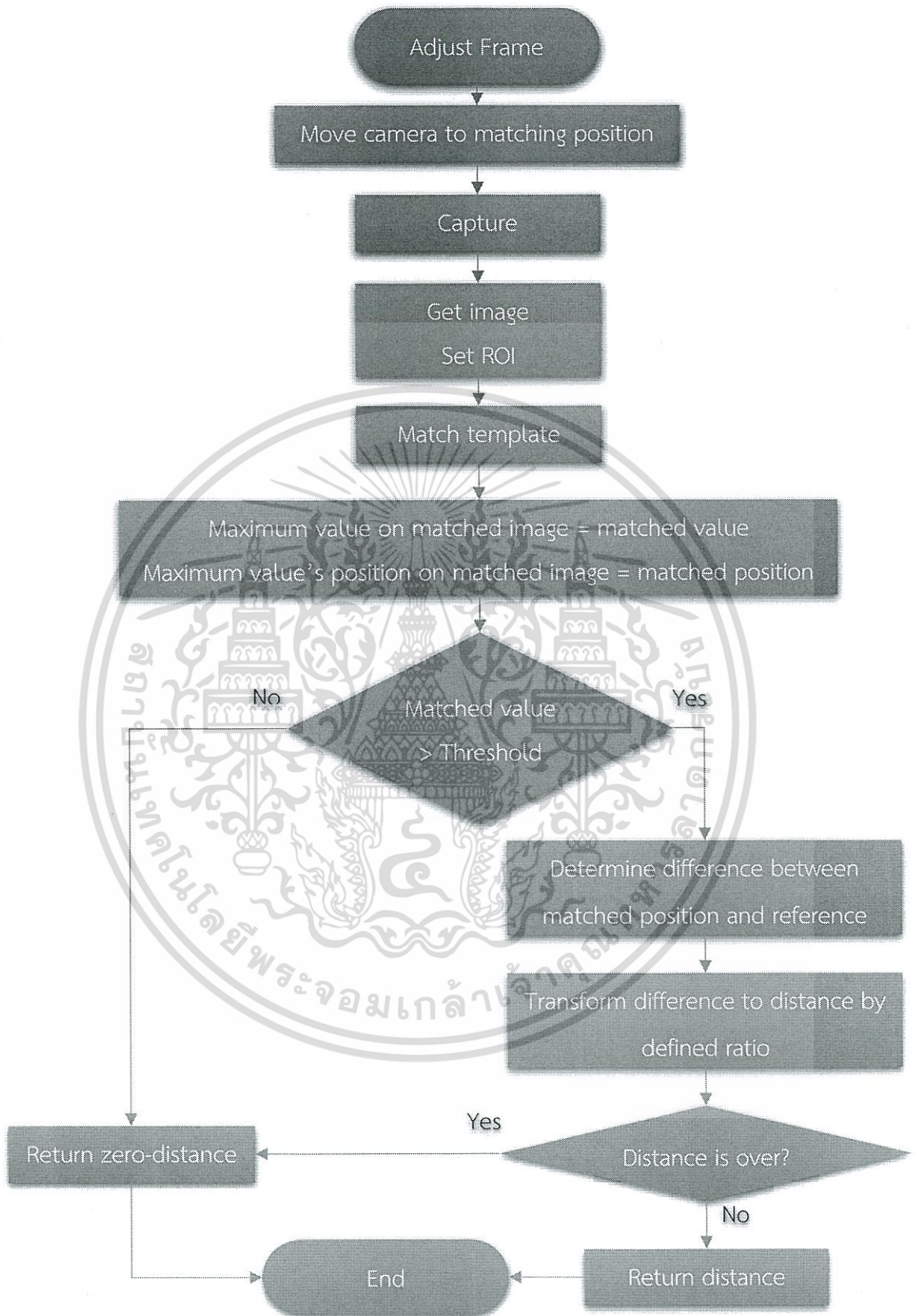
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ซอฟต์แวร์ Frame Adjustment ถูกพัฒนาแยกจากโปรแกรมหลักของเครื่องจักร โดยเขียนโปรแกรมด้วย Microsoft Visual Studio และใช้ภาษา C# ผู้เขียนพัฒนาซอฟต์แวร์แยกจากโปรแกรมหลัก เพื่อลดความซับซ้อนของระบบ โดยซอฟต์แวร์ Frame Adjustment เป็นเพียงส่วนหนึ่งของโปรแกรมหลักเท่านั้น

#### 3.4.5 การสร้างโปรแกรมหลัก

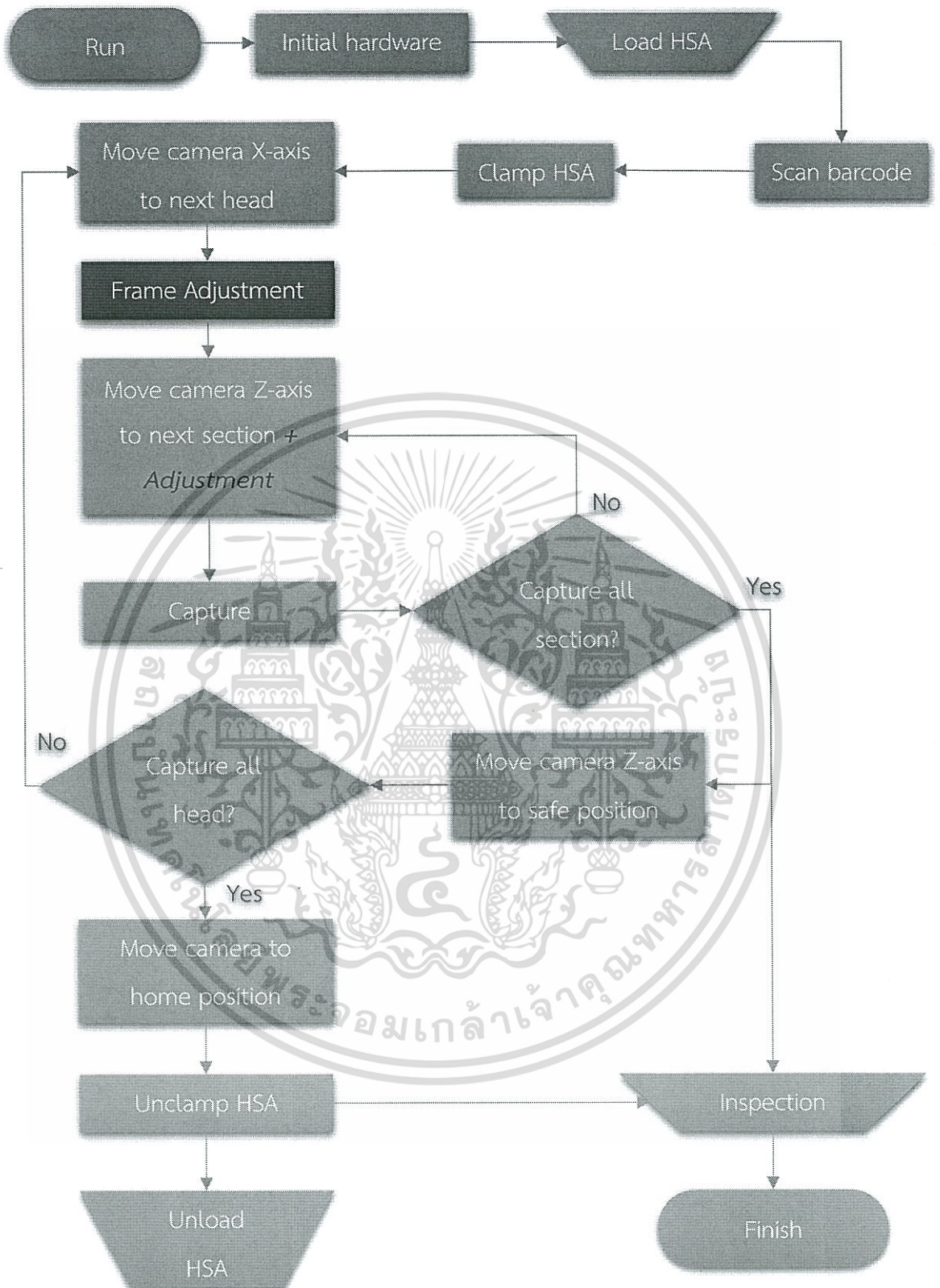
สำหรับซอฟต์แวร์ Frame Adjustment จะนำมาเพิ่มกระบวนการทำงานของระบบเดิมโดยเพิ่มกระบวนการ Frame Adjustment นี้ก่อนกระบวนการถ่ายภาพ (Capture) ค่าระยะปรับตำแหน่งกล้องที่ได้จากกระบวนการ Frame Adjustment จะถูกนำไปปรับแต่งตำแหน่งกล้องในกระบวนการถัดจาก Frame Adjustment รูปที่ 3.14 แสดงกระบวนการทำงานของระบบใหม่





รูปที่ 3.13 การทำงานของซอฟต์แวร์ Frame Adjustment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กระบวนการของโปรแกรมหลักหลังเพิ่ม Frame Adjustment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานของซอฟต์แวร์ทั้งหมดถูกประเมินเชิงคุณภาพ โดยยึดเกณฑ์ต่างๆ ตามมาตรฐานการประเมิน เนื่องจากซอฟต์แวร์ทั้งสามตัวทำงานแยกกัน และให้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์แต่ละตัวจึงถูกประเมินด้วยเกณฑ์ที่ต่างกันดังหัวข้อที่ 4.1 ผลการประเมินเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool) 4.2 ผลการประเมินระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus) และ 4.3 ผลการประเมินระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment)

#### 4.1 ผลการประเมินเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool)

การประเมินผลการดำเนินงานของซอฟต์แวร์เครื่องมือวัด อาศัยเกณฑ์ดังนี้

1. ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัด (Reliability)
2. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ (Operating Time)
3. ความแม่นยำของเครื่องมือวัด (Precision)
4. ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด (Accuracy)
5. ความเชี่ยวชาญของผู้ใช้ (Expert User)
6. ความซับซ้อนของการใช้เครื่องมือวัด (Complicated)
7. ความยืดหยุ่นของเครื่องมือวัด (Flexibility)
8. การเปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison)

ผลการดำเนินงานเป็นดังตารางที่ 4.1

ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัด (Reliability) ปานกลาง เปรียบเทียบผลการตรวจสอบ ABS ด้วยเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool) กับผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูง พบว่าผลลัพธ์ต่างกันเล็กน้อย

เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ (Operating Time) เป็นที่พึงพอใจ ใช้เวลาไม่มาก แต่ก็ไม่รวดเร็ว เนื่องจากการเลือกขนาดของเครื่องมือจำเป็นต้องใช้เวลาเล็กน้อย แต่วิธีการตรวจวัดนั้นรวดเร็ว ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ในเวลาอันควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์การเรียนรู้เพื่อการพัฒนาคน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การประเมินผลการทำงานของเครื่องมือวัด (Manual Inspection Tool)

Indicator/Score	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★
Reliability			▼		
Operating Time			▼		
Precision	▼				
Accuracy		▼			
Expert User				▼	
Complicated				▼	
Flexibility		▼			
Comparison		▼			

ความแม่นยำของเครื่องมือวัด (Precision) สูงมาก เนื่องจากขนาดของเครื่องมือถูกกำหนดไว้ในซอฟต์แวร์ ทำให้ทุกครั้งที่เปิดใช้เครื่องมือวัด ขนาดของเครื่องมือจึงคงที่เสมอ

ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด (Accuracy) สูง เนื่องจากขนาดของเครื่องมือและภาพถ่ายที่ถูกตรวจวัดมีขนาดสม่ำเสมอ ทำให้การตรวจวัดไม่ค่อยคลาดเคลื่อน ดังนั้นความเที่ยงตรงจึงขึ้นอยู่กับ การตั้งค่าขนาดมาตรฐานและอัตราส่วนของภาพถ่ายเท่านั้น

ผู้ใช้เครื่องมือวัด (Expert User) ไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญมาก ใช้เพียงความรู้ประเภทของสิ่งแปลกปลอมที่อยู่บน ABS เท่านั้น เพื่อเลือกใช้เครื่องมือได้อย่างเหมาะสม

เครื่องมือวัดนี้ไม่มีความซับซ้อน (Complicated) เครื่องมือวัดถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย ตั้งค่าเครื่องมือง่าย และอาศัยหลักการที่เรียบง่าย แต่ขณะที่เลือกใช้ขนาดของเครื่องมือวัด อาจพบความยุ่งยากเล็กน้อย

เครื่องมือวัดมีความยืดหยุ่น (Flexibility) มาก อนุญาตให้ผู้ใช้เข้าถึงตัวแปรและเงื่อนไขเกือบทั้งหมดในการตั้งค่าเครื่องมือวัด

เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison) พบว่าความสามารถในการตรวจสอบชิ้นงานมีมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการประเมินระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus)

การประเมินผลการทำงานของซอฟต์แวร์ Auto Focus อาศัยเกณฑ์ดังนี้

1. ความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ (Reliability)
2. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ (Operating Time)
3. ความชัดของภาพหลังซอฟต์แวร์ (Sharpness)
4. ความยืดหยุ่นของซอฟต์แวร์ (Flexibility)
5. การเปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison)

ผลการทำงานเป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การประเมินผลการทำงานของระบบโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus)

Indicator/Score	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★
Reliability			▼		
Operating Time	▼				▼
Sharpness		▼			
Flexibility		▼			
Comparison		▼			

ความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ (Reliability) ปานกลาง ผลลัพธ์สุดท้ายได้ภาพถ่ายที่ชัดเจน และโฟกัสถูกต้องตำแหน่ง แต่ยังพบการโฟกัสผิดตำแหน่งเพียงน้อยครั้ง

เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการของซอฟต์แวร์ (Operating Time) จำเป็นต้องใช้เวลายาวนาน เนื่องจากกระบวนการทำงานต้องถ่ายภาพหลายครั้งและกล้องเคลื่อนที่หลายตำแหน่ง เมื่อทำงานซ้ำๆ ตามกระบวนการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เกิดการสะสมเวลาขึ้น เวลาปฏิบัติการของซอฟต์แวร์จึงใช้เวลามาก ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการขึ้นอยู่กับจำนวนการถ่ายภาพซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้

ความชัดของภาพถ่ายหลังซอฟต์แวร์ (Sharpness) โดยรวมค่อนข้างดี หลายครั้งที่ภาพชัดเจน แต่บางครั้งพบว่าภาพไม่ชัดเจน เพราะความไม่เที่ยงตรงเพียงเล็กน้อยของ HSA ส่งผลให้ตำแหน่ง ABS ไม่อยู่ในระยะโฟกัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟต์แวร์มีความยืดหยุ่น (Flexibility) สูง เนื่องจากผู้ใช้สามารถตั้งค่าโปรแกรมได้  
เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison) พบว่าภาพชัดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.3 ผลการประเมินระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment)

การประเมินผลการทำงานของซอฟต์แวร์ Frame Adjustment อาศัยเกณฑ์ดังนี้

1. ความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ (Reliability)
2. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ (Operating Time)
3. ความยืดหยุ่นของซอฟต์แวร์ (Flexibility)
4. เปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison)

ผลการทำงานเป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การประเมินผลการทำงานของระบบปรับตำแหน่งภาพ (Frame Adjustment)

Indicator/Score	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★
Reliability		▼			
Operating Time		▼			
Flexibility	▼				
Comparison	▼				

ความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ (Reliability) ค่อนข้างดี เนื่องจากการทำงานของซอฟต์แวร์ Frame Adjustment ประกอบด้วยเงื่อนไขที่ครอบคลุม ทำให้ผลลัพธ์มีความผิดพลาดน้อย

เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ (Operating Time) ค่อนข้างน้อย เนื่องจากใช้วิธีการที่เรียบง่าย

ซอฟต์แวร์ค่อนข้างยืดหยุ่นมาก (Flexibility) เนื่องจากซอฟต์แวร์ Frame Adjustment มีเงื่อนไขที่สามารถตั้งค่าได้เกือบทั้งหมด

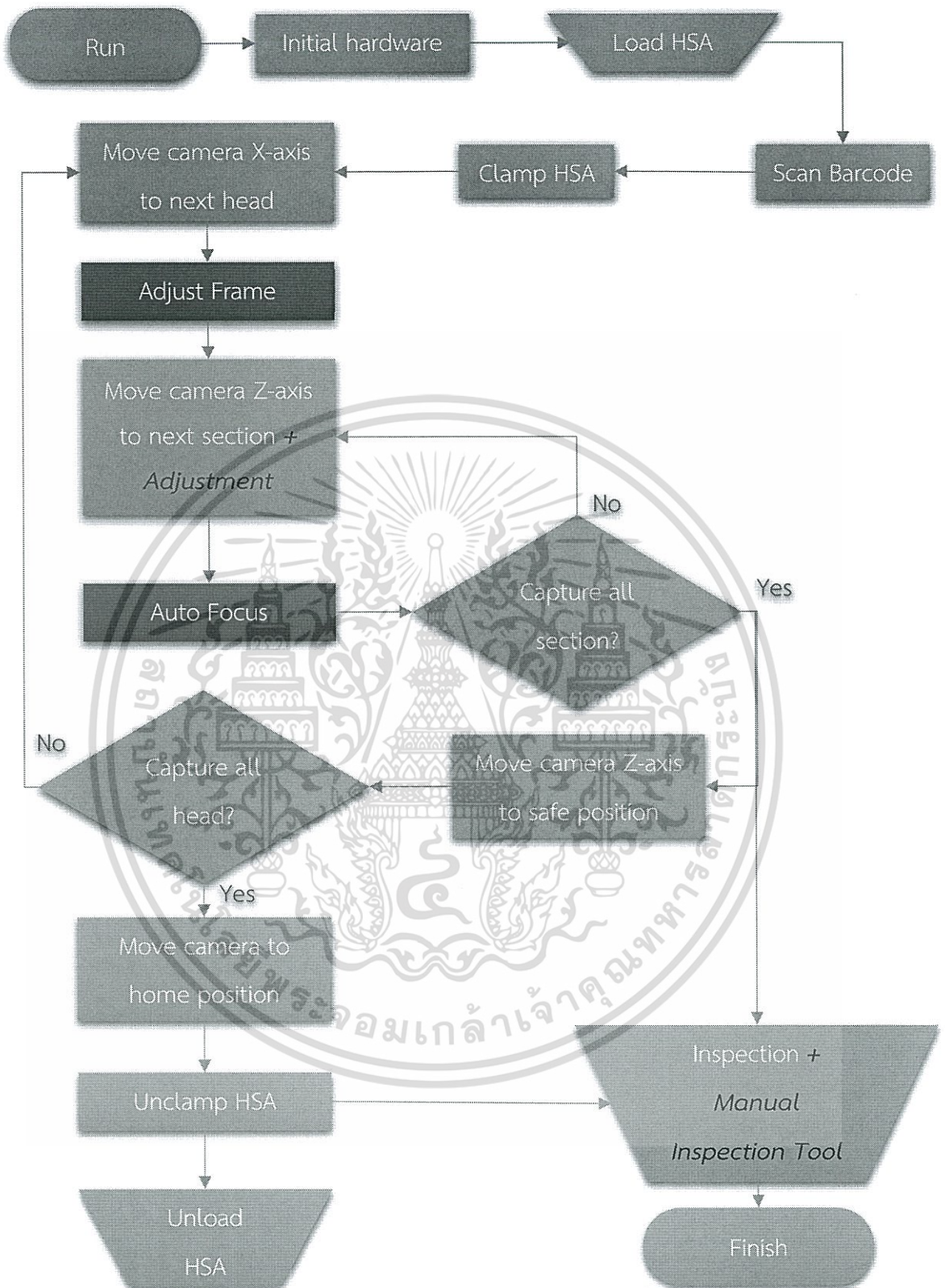
เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมเก่า (Comparison) พบว่าตำแหน่งของ ABS จากภาพถ่ายอยู่ในพื้นที่ที่ปฏิบัติการตรวจสอบได้ง่ายกว่าภาพถ่ายที่ไม่มีระบบ Flame Adjustment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์จากการพัฒนาเครื่องจักร (HSA ABS Auto Inspection Machine) คือ การพัฒนาชิ้นส่วนซอฟต์แวร์ทั้งสาม ได้แก่ Manual Inspection Tool, Auto Focus และ Frame Adjustment เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ทำให้เกิดกลไกใหม่ๆ ขึ้นภายในเครื่องจักรและกระบวนการตรวจวัด ABS สุดท้ายเครื่องจักรจึงมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กระบวนการทำงานของ HSA ABS Auto Inspection Machine หลังผ่านการพัฒนาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภายหลังการดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์ และการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ ผู้เขียนจัดทำบทสรุป ถึง ข้อดี ข้อเสีย และอุปสรรคที่พบตลอดการดำเนินโครงการ และให้ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง พัฒนาและต่อยอดเครื่อง HSA ABS Auto Inspection

### 5.1 สรุป

ผลการพัฒนาเครื่องจักร หรือ HSA ABS Auto Inspection Machine Development ด้านซอฟต์แวร์โดยรวมพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าโปรแกรมเดิม โปรแกรมใหม่ให้ผลลัพธ์การทำงานที่ดีขึ้น อีกทั้งการตรวจสอบ ABS ง่ายขึ้นด้วย ผลการทำงานเดิมของเครื่องจักรให้คุณภาพของภาพถ่ายที่ผู้ใช้ไม่พึงพอใจ อีกทั้งยังขาดเครื่องมือวัดสิ่งแปลกปลอมบน ABS ผู้เขียนพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้างดังกล่าวได้ทั้งหมด ถึงแม้ผลการวิจัยและผลการทำงานของซอฟต์แวร์เป็นที่พึงพอใจ แต่ยังมีผลข้างเคียง เช่น ซอฟต์แวร์ใหม่ใช้เวลาในการปฏิบัติการมากขึ้น และปัญหาอื่นในตัวซอฟต์แวร์เอง เป็นต้น

ผู้เขียนพบเจออุปสรรคระหว่างการดำเนินโครงการคือ สิ่งอำนวยความสะดวกในการพัฒนาซอฟต์แวร์นั้นไม่เอื้ออำนวย ส่งผลให้ผู้เขียนเสียเวลาไปกับสิ่งเหล่านี้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

HSA ABS Auto Inspection Machine ควรถูกพัฒนาต่อไป เนื่องจากเครื่องจักรยังพบปัญหาการใช้งานอื่นๆ อีกทั้งยังมีฟังก์ชันให้พัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ดียิ่งขึ้นทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ รวมถึงการพัฒนาต่อยอดซอฟต์แวร์ที่ผู้เขียนพัฒนาไว้ ซอฟต์แวร์เหล่านี้เป็นเพียงกลไกใหม่ในเครื่องจักรที่ไม่เคยมีมาก่อน ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของพัฒนาการต่อไป

สิ่งอำนวยความสะดวกในการพัฒนาซอฟต์แวร์ควรมีความเหมาะสม เนื่องจากผู้เขียนพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องจักร ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ไม่เหมือนกับเครื่องจักร ทั้งระบบปฏิบัติการ ฮาร์ดแวร์ และการตั้งค่าต่างๆ ส่งผลให้ผู้เขียนไม่สามารถทดสอบซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ของผู้เขียนระหว่างการพัฒนาได้ ผู้เขียนจำต้องทดสอบกับเครื่องจักรในสายการผลิตจริงเท่านั้น ดังนั้นสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมแก่การพัฒนาโปรแกรมคือ การจัดสิ่งแวดล้อมเลียนแบบเครื่องจักรในสายการผลิตจริง เพื่อความสะดวกในการวิจัยและพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Tannin and others. 2016. **Hard disk Drive**. San Francisco, CA; Wikimedia Foundation. [Online]. Available from Internet [https://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_disk\\_drive](https://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive), accessed 20 October 2016.
- [2] Gary Bradski and others. 2008. **Learning OpenCV**. 1<sup>st</sup> ed. United State of America: O'Relly Media.
- [3] Milan Sonka and others. 2015. **Image Processing, Analysis, and Machine Vision**. 4<sup>th</sup> ed. United State of America: Cengage Learning.
- [4] Robert Fisher and others. 2004. **HPIR2**. Edinburgh, UK: The University of Edinburgh. [Online]. Available from Internet, [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HPIR2/hipr\\_top.html](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HPIR2/hipr_top.html), accessed 10 December 2016.
- [5] 2016. **OpenCV Documentation**. San Francisco, CA: Itseez. [Online]. Available <http://docs.opencv.org/2.4/index.html>, 8 September 2016.
- [6] Japheth Wong. **Fun with Frequencies**. Berkeley, CA: University of California. [Online]. Available from Internet, <https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs194-26/fa14/upload/files/proj3/cs194-fb>, accessed 12 December 2016.

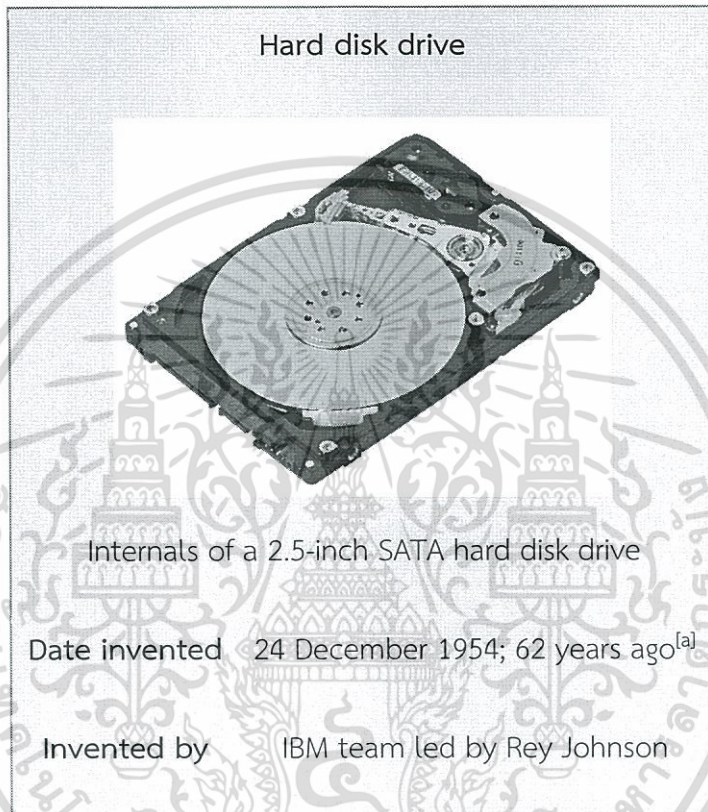


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## Hard Disk Drive

From Wikipedia, the free encyclopedia. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_disk\\_drive](https://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive))



รูปที่ ก.1 First Invented Hard Disk Drive



รูปที่ ก.2 A disassembled and labeled 1997 HDD lying atop a mirror

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A **hard disk drive (HDD)**, **hard disk**, **hard drive** or **fixed disk** is a data storage device that uses magnetic storage to store and retrieve digital information using one or more rigid rapidly rotating disks (platters) coated with magnetic material. The platters are paired with magnetic heads, usually arranged on a moving actuator arm, which read and write data to the platter surfaces. Data is accessed in a random-access manner, meaning that individual blocks of data can be stored or retrieved in any order and not only sequentially. HDDs are a type of non-volatile memory, retaining stored data even when powered off.

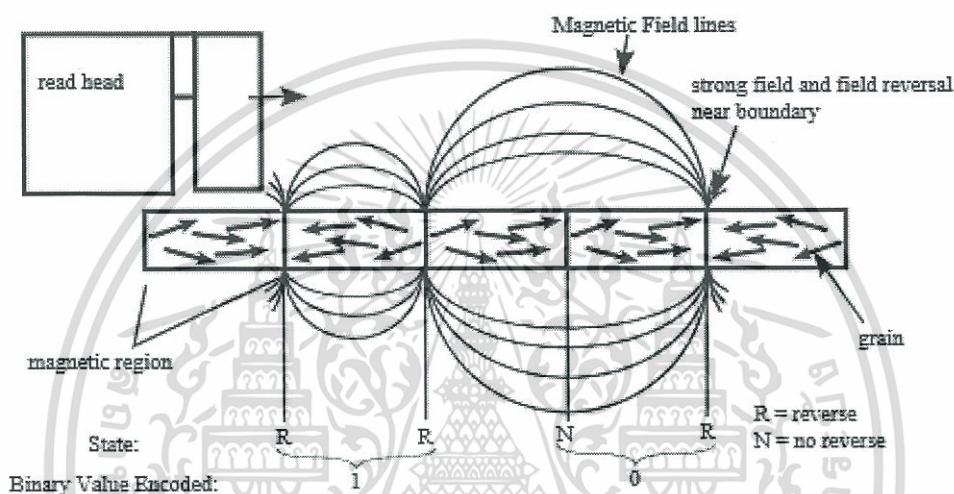
Introduced by IBM in 1956, HDDs became the dominant secondary storage device for general-purpose computers by the early 1960s. Continuously improved, HDDs have maintained this position into the modern era of servers and personal computers. More than 200 companies have produced HDDs historically, though after extensive industry consolidation most current units are manufactured by Seagate, Toshiba, and Western Digital. As of 2016, HDD production (in bytes per year) is growing, although unit shipments and sales revenues are declining. The primary competing technology for secondary storage is flash memory in the form of solid-state drives (SSDs), which have higher data-transfer rates, higher areal storage density, better reliability, and much lower latency and access times. While SSDs have higher cost per bit, SSDs are replacing HDDs where speed, power consumption, small size, and durability are important.

The primary characteristics of an HDD are its capacity and performance. Capacity is specified in unit prefixes corresponding to powers of 1000: a 1-terabyte (TB) drive has a capacity of 1,000 gigabytes (GB; where 1 gigabyte = 1 billion bytes). Typically, some of an HDD's capacity is unavailable to the user because it is used by the file system and the computer operating system, and possibly inbuilt redundancy for error correction and recovery. Performance is specified by the time required to move the heads to a track or cylinder (average access time) plus the time it takes for the desired sector to move under the head (average latency, which is a function of the physical rotational speed in revolutions per minute), and finally the speed at which the data is transmitted (data rate).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The two most common form factors for modern HDDs are 3.5-inch, for desktop computers, and 2.5-inch, primarily for laptops. HDDs are connected to systems by standard interface cables such as PATA (Parallel ATA), SATA (Serial ATA), USB or SAS (Serial attached SCSI) cables.

## Technology



รูปที่ ๓.3 Magnetic cross section & frequency modulation encoded binary data

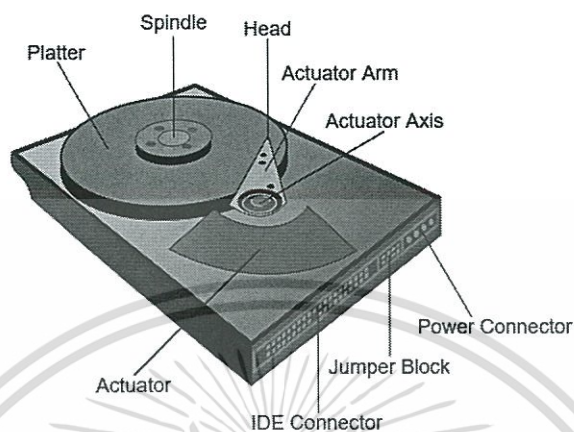
### Magnetic recording

A modern HDD records data by magnetizing a thin film of ferromagnetic material on a disk. Sequential changes in the direction of magnetization represent binary data bits. The data is read from the disk by detecting the transitions in magnetization. User data is encoded using an encoding scheme, such as run-length limited reverse encoding, which determines how the data is represented by the magnetic transitions.

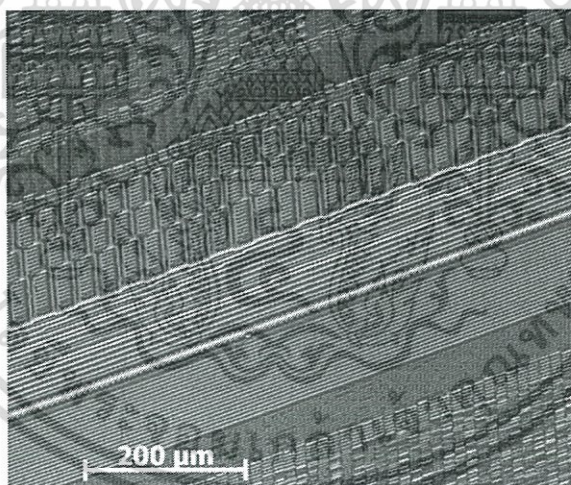
A typical HDD design consists of a *spindle* that holds flat circular disks, also called platters, which hold the recorded data. The platters are made from a non-magnetic material, usually aluminum alloy, glass, or ceramic, and are coated with a shallow layer of magnetic material typically 10–20 nm in depth, with an outer layer of carbon for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

protection. For reference, a standard piece of copy paper is 0.07–0.18 millimeters (70,000–180,000 nm).

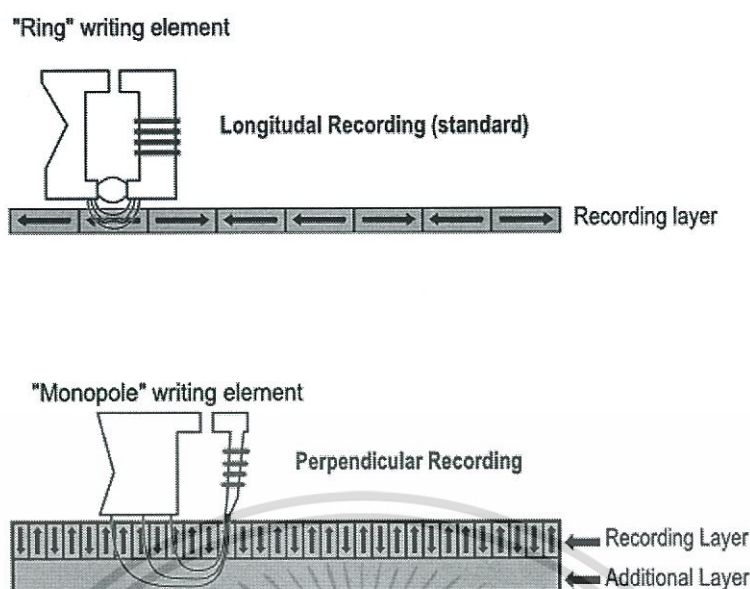


รูปที่ ก.4 Diagram labeling the major components of a computer HDD



รูปที่ ก.5 Recording of single magnetizations of bits on a 200 MB HDD-platter (recording made visible using CMOS-MagView).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 (Above) Longitudinal recording (standard), (Below) perpendicular recording diagram

The platters in contemporary HDDs are spun at speeds varying from 4,200 rpm in energy-efficient portable devices, to 15,000 rpm for high-performance servers. The first HDDs spun at 1,200 rpm and, for many years, 3,600 rpm was the norm. As of December 2013, the platters in most consumer-grade HDDs spin at either 5,400 rpm or 7,200 rpm.

Information is written to and read from a platter as it rotates past devices called read-and-write heads that are positioned to operate very close to the magnetic surface, with their flying height often in the range of tens of nanometers. The read-and-write head is used to detect and modify the magnetization of the material passing immediately under it.

In modern drives, there is one head for each magnetic platter surface on the spindle, mounted on a common arm. An actuator arm (or access arm) moves the heads on an arc (roughly radially) across the platters as they spin, allowing each head to access almost the entire surface of the platter as it spins. The arm is moved using a voice coil actuator or in some older designs a stepper motor. Early hard disk drives wrote data at some constant bits per second, resulting in all tracks having the same

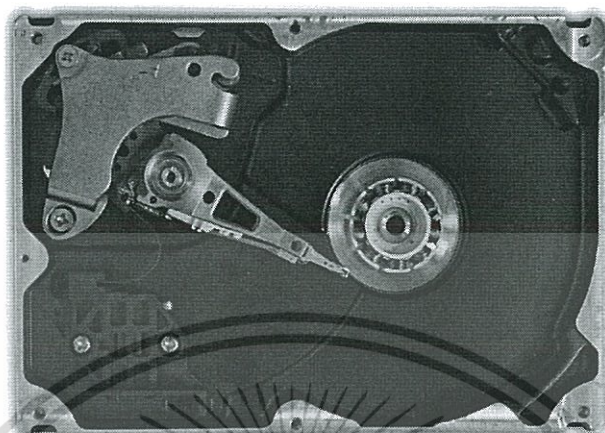
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

amount of data per track but modern drives (since the 1990s) use zone bit recording—increasing the write speed from inner to outer zone and thereby storing more data per track in the outer zones.

In modern drives, the small size of the magnetic regions creates the danger that their magnetic state might be lost because of thermal effects, thermally induced magnetic instability which is commonly known as the "superparamagnetic limit". To counter this, the platters are coated with two parallel magnetic layers, separated by a 3-atom layer of the non-magnetic element ruthenium, and the two layers are magnetized in opposite orientation, thus reinforcing each other. Another technology used to overcome thermal effects to allow greater recording densities is perpendicular recording, first shipped in 2005, and as of 2007 the technology was used in many HDDs.

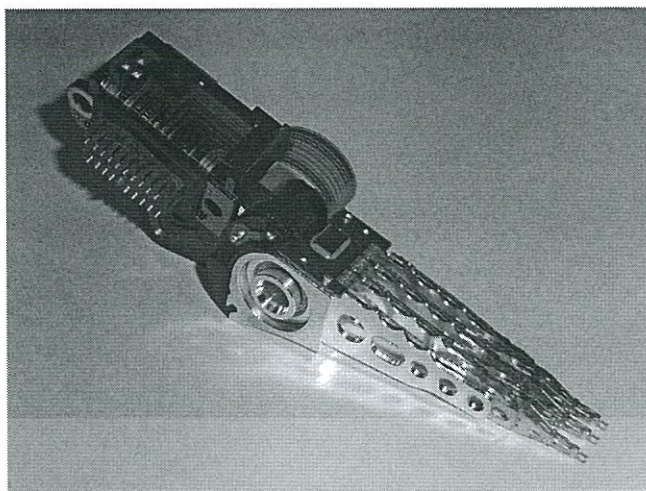
In 2004, a new concept was introduced to allow further increase of the data density in magnetic recording, using recording media consisting of coupled soft and hard magnetic layers. That so-called *exchange spring media*, also known as *exchange coupled composite media*, allows good writability due to the write-assist nature of the soft layer. However, the thermal stability is determined only by the hardest layer and not influenced by the soft layer.

## Components

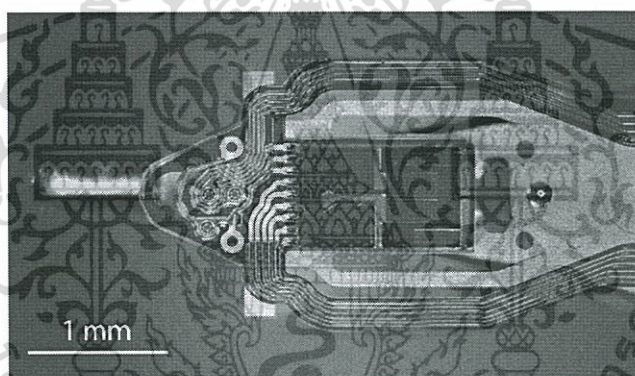


รูปที่ ก.7 HDD with disks and motor hub removed exposing copper colored stator coils surrounding a bearing in the center of the spindle motor. Orange stripe along the side of the arm is thin printed-circuit cable, spindle bearing is in the center and the actuator is in the upper left

A typical HDD has two electric motors; a spindle motor that spins the disks and an actuator (motor) that positions the read/write head assembly across the spinning disks. The disk motor has an external rotor attached to the disks; the stator windings are fixed in place. Opposite the actuator at the end of the head support arm is the read-write head; thin printed-circuit cables connect the read-write heads to amplifier electronics mounted at the pivot of the actuator. The head support arm is very light, but also stiff; in modern drives, acceleration at the head reaches 550 g.



รูปที่ ก.7 Head stack with an actuator coil on the left and read/write heads on the right



รูปที่ ก.8 Close-up of a single read-write head, showing the side facing the platter.

The *actuator* is a permanent magnet and moving coil motor that swings the heads to the desired position. A metal plate supports a squat neodymium-iron-boron (NIB) high-flux magnet. Beneath this plate is the moving coil, often referred to as the *voice coil* by analogy to the coil in loudspeakers, which is attached to the actuator hub, and beneath that is a second NIB magnet, mounted on the bottom plate of the motor (some drives have only one magnet).

The voice coil itself is shaped rather like an arrowhead, and made of doubly coated copper magnet wire. The inner layer is insulation, and the outer is thermoplastic, which bonds the coil together after it is wound on a form, making it

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

self-supporting. The portions of the coil along the two sides of the arrowhead (which point to the actuator bearing center) then interact with the magnetic field of the fixed magnet. Current flowing radially outward along one side of the arrowhead and radially inward on the other produces the tangential force. If the magnetic field were uniform, each side would generate opposing forces that would cancel each other out. Therefore, the surface of the magnet is half north pole and half south pole, with the radial dividing line in the middle, causing the two sides of the coil to see opposite magnetic fields and produce forces that add instead of canceling. Currents along the top and bottom of the coil produce radial forces that do not rotate the head.

The HDD's electronics control the movement of the actuator and the rotation of the disk, and perform reads and writes on demand from the disk controller. Feedback of the drive electronics is accomplished by means of special segments of the disk dedicated to servo feedback. These are either complete concentric circles (in the case of dedicated servo technology), or segments interspersed with real data (in the case of embedded servo technology). The servo feedback optimizes the signal to noise ratio of the GMR sensors by adjusting the voice-coil of the actuated arm. The spinning of the disk also uses a servo motor. Modern disk firmware is capable of scheduling reads and writes efficiently on the platter surfaces and remapping sectors of the media which have failed.

## ภาคผนวก ข

# OpenCV

From OpenCV's Official Website, free document. ([www.opencv.org](http://www.opencv.org))

### Introduction

OpenCV (Open Source Computer Vision Library: <http://opencv.org>) is an open-source BSD-licensed library that includes several hundreds of computer vision algorithms. The document describes the so-called OpenCV 2.x API, which is essentially a C++ API, as opposite to the C-based OpenCV 1.x API. The latter is described in [opencv1x.pdf](#).

OpenCV has a modular structure, which means that the package includes several shared or static libraries. The following modules are available:

- **core** - a compact module defining basic data structures, including the dense multi-dimensional array Mat and basic functions used by all other modules.
- **imgproc** - an image processing module that includes linear and non-linear image filtering, geometrical image transformations (resize, affine and perspective warping, generic table-based remapping), color space conversion, histograms, and so on.
- **video** - a video analysis module that includes motion estimation, background subtraction, and object tracking algorithms.
- **calib3d** - basic multiple-view geometry algorithms, single and stereo camera calibration, object pose estimation, stereo correspondence algorithms, and elements of 3D reconstruction.
- **features2d** - salient feature detectors, descriptors, and descriptor matchers.
- **objdetect** - detection of objects and instances of the predefined classes (for example, faces, eyes, mugs, people, cars, and so on).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **highgui** - an easy-to-use interface to video capturing, image and video codecs, as well as simple UI capabilities.
- **gpu** - GPU-accelerated algorithms from different OpenCV modules.
- ... some other helper modules, such as FLANN and Google test wrappers, Python bindings, and others.

The further chapters of the document describe functionality of each module. But first, make sure to get familiar with the common API concepts used thoroughly in the library.

## Called Function

### Image Filtering

Functions and classes described in this section are used to perform various linear or non-linear filtering operations on 2D images (represented as `Mat()`'s). It means that for each pixel location  $(x, y)$  in the source image (normally, rectangular), its neighborhood is considered and used to compute the response. In case of a linear filter, it is a weighted sum of pixel values. In case of morphological operations, it is the minimum or maximum values, and so on. The computed response is stored in the destination image at the same location  $(x, y)$ . It means that the output image will be of the same size as the input image. Normally, the functions support multi-channel arrays, in which case every channel is processed independently. Therefore, the output image will also have the same number of channels as the input one.

Another common feature of the functions and classes described in this section is that, unlike simple arithmetic functions, they need to extrapolate values of some non-existing pixels. For example, if you want to smooth an image using a Gaussian  $3 \times 3$  filter, then, when processing the left-most pixels in each row, you need pixels to the left of them, that is, outside of the image. You can let these pixels be the same as the left-most image pixels (“replicated border” extrapolation method), or assume that all the non-existing pixels are zeros (“constant border” extrapolation method), and so on. OpenCV enables you to specify the extrapolation method. For

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

details, see the function `borderInterpolate()` and discussion of the `borderType` parameter in the section and various functions below.

### Laplacian

Calculates the Laplacian of an image.

**C++:** `void Laplacian(InputArray src, OutputArray dst, int ddepth, int ksize=1, double scale=1, double delta=0, int borderType=BORDER_DEFAULT )`

**Python:** `cv2.Laplacian(src, ddepth[, dst[, ksize[, scale[, delta[, borderType]]]])` → `dst`

**C:** `void cvLaplace(const CvArr* src, CvArr* dst, int aperture_size=3 )`

**Python:** `cv.Laplace(src, dst, apertureSize=3)` → `None`

- `src` – Source image.
- `dst` – Destination image of the same size and the same number of channels as `src`.
- `ddepth` – Desired depth of the destination image.
- `ksize` – Aperture size used to compute the second-derivative filters. See `getDerivKernels()` for details. The size must be positive and odd.

#### Parameter:

- `scale` – Optional scale factor for the computed Laplacian values. By default, no scaling is applied. See `getDerivKernels()` for details.
- `delta` – Optional delta value that is added to the results prior to storing them in `dst`.
- `borderType` – Pixel extrapolation method. See `borderInterpolate()` for details.

The function calculates the Laplacian of the source image by adding up the second x and y derivatives calculated using the Sobel operator:

$$\text{dst} = \Delta \text{src} = \frac{\partial^2 \text{src}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \text{src}}{\partial y^2}$$

This is done when  $ksize > 1$ . When  $ksize == 1$ , the Laplacian is computed by filtering the image with the following  $3 \times 3$  aperture:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

## Object Detection

### matchTemplate

Compares a template against overlapped image regions.

**C++:** `void matchTemplate(InputArray image, InputArray templ, OutputArray result, int method)`

**Python:** `cv2.matchTemplate(image, templ, method[, result]) → result`

**C:** `void cvMatchTemplate(const CvArr* image, const CvArr* templ, CvArr* result, int method)`

**Python:** `cv.MatchTemplate(image, templ, result, method) → None`

- **image** – Image where the search is running. It must be 8-bit or 32-bit floating-point.
- **templ** – Searched template. It must be not greater than the source image and have the same data type.

#### Parameter:

- **result** – Map of comparison results. It must be single-channel 32-bit floating-point. If image is  $W \times H$  and templ is  $w \times h$ , then result is  $(W - w + 1) \times (H - h + 1)$ .

- **method** – Parameter specifying the comparison method (see below).

The function slides through image, compares the overlapped patches of size  $w \times h$  against `templ` using the specified method and stores the comparison results in `result`. Here are the formulae for the available comparison methods (**I** denotes image, **T** template, **R** result). The summation is done over template and/or the image patch:  $x' = 0 \dots w - 1, y' = 0 \dots h - 1$

`method=CV_TM_SQDIFF`

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x + x', y + y'))^2$$

`method=CV_TM_SQDIFF_NORMED`

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x + x', y + y'))^2}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}}$$

`method=CV_TM_CCORR`

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y'))$$

`method=CV_TM_CCORR_NORMED`

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}}$$

`method=CV_TM_CCOEFF`

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T'(x', y') \cdot I'(x + x', y + y'))$$

Where

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T'(x', y') = T(x', y') - 1/(w \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} T(x'', y'')$$

$$I'(x + x', y + y') = I(x + x', y + y') - 1/(w \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} I(x + x'', y + y'')$$

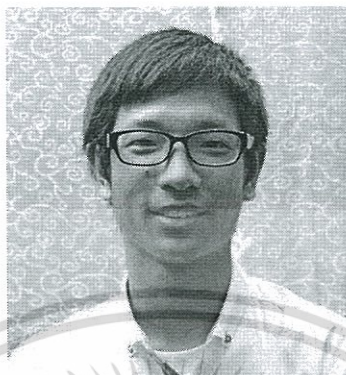
method=CV\_TM\_CCOEFF\_NORMED

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T'(x', y') \cdot I'(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T'(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I'(x + x', y + y')^2}}$$

After the function finishes the comparison, the best matches can be found as global minimums (when CV\_TM\_SQDIFF was used) or maximums (when CV\_TM\_CCORR or CV\_TM\_CCOEFF was used) using the `minMaxLoc()` function. In case of a color image, template summation in the numerator and each sum in the denominator is done over all of the channels and separate mean values are used for each channel. That is, the function can take a color template and a color image. The result will still be a single-channel image, which is easier to analyze.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายรพี วรรณศิริ
รหัสนักศึกษา	56010998
วันเดือนปีเกิด	24 มิถุนายน พ.ศ.2538
อีเมล	rapeew@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> <li>● จบมัธยมศึกษาชั้นปลาย ที่โรงเรียนอมาตยกุล เมื่อปีการศึกษา 2555</li> <li>● กำลังศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</li> </ul>
ประวัติการอบรม	เรื่อง Manufacturing Automation ที่ Delta Electronic (Thailand) Co, Ltd. เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558
ประวัติการทำงาน	ที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ระหว่างเดือน มิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้