ระบบต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล

AN OBJECT DETECTION AND RECOGNITION SYSTEM PROTOTYPE FOR COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE APPLICATIONS BY USING DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นายจตุพรหม บุญประเสริฐ

MR. JATUPROM BOONPRASERT

นายศุภกร ดีปัญญา

MR. SUPAKORN DEEPUNYA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ระบบต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล

AN OBJECT DETECTION AND RECOGNITION SYSTEM PROTOTYPE FOR COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE APPLICATIONS BY USING DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นายจตุพรหม บุญประเสริฐ
MR. JATUPROM BOONPRASERT
นายศุภกร ดีปัญญา
MR. SUPAKORN DEEPUNYA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN OBJECT DETECTION AND RECOGNITION SYSTEM PROTOTYPE FOR COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE APPLICATIONS BY USING DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

MR. JATUPROM BOONPRASERT
MR. SUPAKORN DEEPUNYA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT"S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล

AN OBJECT DETECTION AND RECOGNITION SYSTEM PROTOTYPE FOR COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE APPLICATIONS BY USING DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นักศึกษา นายจตุพรหม บุญประเสริฐ รหัสประจำตัว 58010154

นายศุภกร ดีปัญญา รหัสประจำตัว 58011231

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์)

(ดร.นพดล สุกแสงปัญญา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล
นักศึกษา	นายจตุพรหม บุญประเสริฐ นายศุภกร ดีปัญญา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์ ดร.นพดล สุกแสงปัญญา

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบต้นแบบที่สามารถตรวจจับและคัดแยกภาพเพื่อมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมตำแหน่งของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing, DIP) ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจศึกษาหุ่นยนต์แขนกลสำหรับงานหยิบและวาง ในอุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในปัจจุบันการปรับตั้งตำแหน่งเมื่อมีการเปลี่ยนแบบหรือเปลี่ยนขนาดของผลิตภัณฑ์ ในบางโรงงานยังใช้การปรับตำแหน่งใหม่โดยใช้มนุษย์อยู่ ซึ่งมีผลเสียหลายประการ ได้แก่ ใช้เวลาปรับตั้งตำแหน่งนาน, พนักงานที่ปรับตั้งต้องมีทักษะหรือประสบการณ์ หรืออาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดระหว่างการปรับตั้งขึ้นได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบที่ใช้ในการปรับตั้งตำแหน่งขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการทดสอบระบบที่สร้างขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งกล้องเว็บแคมบนเครื่องจักรซีเอ็นซี และปรับระยะห่างความสูงของกล้องที่ระดับความสูงต่างๆ ได้แก่ ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต้นแบบ จากผลการทดลองพบว่า ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่หาศูนย์กลางของวงกลมที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 28.0937 วินาที 29.0851 วินาที และ 32.8923 วินาที ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งพิกัดจริงเทียบกับผลการทดลอง ในค่าพิกัด X ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 0.0744%, 0.1145% และ 0.1708% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด Y ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 0.2470%, 0.2450% และ 0.3189% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	An Object Detection and Recognition System Prototype for Computer Numerical Control Machine Applications by Using Digital Image Processing Technique
Student	Mr. Jatuprom Boonprasert Mr. Supakorn Deepunya
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Dr. Nirand Pisutha-arnond Dr. Nobphadon Suksangpunya

ABSTRACT

The objective of this research is to build an object detection and recognition prototype system for control CNC machine by using Digital Image Processing technique. We focus on Pick-and-Place job for brass bush picking in an electronics assembly. In a conventional method, when bush size has been changed. The operators must adjust coordinate to fit any bush size. However, the adjustment may take a long time or cause an error. Therefore, we design system to solve those problems effectively. Then, we setup experimental environment by mounting the camera on CNC machine and compare the results in different height at 5 cm, 7.5 cm, and 10 cm. After that, we test a prototype to measure the system performance. The result indicates the mean processing time at 5 cm, 7.5 cm, and 10 cm. are 28.0937 seconds, 29.0851 seconds, and 32.8923 seconds, respectively. And the percent error of X coordinate at 5 cm, 7.5 cm, and 10 cm. are 0.0744%, 0.1145%, and 0.1708%, respectively. Finally, the percent error of Y coordinate at 5 cm, 7.5 cm, and 10 cm. are 0.2470%, 0.2450%, and 0.3189%, respectively

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ดร. นิรันดร์ พิสุทธอานนท์ และ ดร. นพดล สุกแสงปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษา กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้คำแนะนำและปรึกษาในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน และเสนอแนะในการแก้ไขปัญหาของการทำโครงงาน รวมทั้งตรวจแก้รายงานทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์มายิ่งขึ้น

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้คำแนะนำ รวมทั้งการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์

รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบรายงานปริญญานิพนธ์ให้ออกมาเสร็จสมบูรณ์

คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และคณาจารย์ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้จัดทำทำให้มีความรู้ในการคิดแก้ไขปัยหา และนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการทดลองต่างๆ จวบจนการทดลองสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมไปถึงผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่มิได้เอ่ยนาม และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และคำแนะนำตลดมา หากมีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายจตุพรหม บุญประเสริฐ
นายศุภกร ดีปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์คาร์เทเชียน 3

2.1.1 ความหมายของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน 3

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน 4

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานหุ่นยนต์คาร์เทเชียน 4

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 4

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์ 4

2.2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 5

2.2.3 ภาษาที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 6

2.2.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด Arduino 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.3 การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ 16
2.3.1 ความหมายของเครื่องจักรซีเอ็นซี 16
2.3.2 องค์ประกอบของเครื่องจักรซีเอ็นซี 16
2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรซีเอ็นซี 17
2.3.4 การประยุกต์ใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีในอุตสาหกรรม 18
2.4 การประมวลผลภาพดิจิตอล 18
2.4.1 ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิตอล 18
2.4.2 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล 19
2.5 โปรแกรม MATLAB 20
2.6 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ 20
2.6.1 ความหมายและความสำคัญของการออกแบบการทดลอง 20
2.6.2 หลักการทั่วไปของการออกแบบการทดลอง 21
2.6.3 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 23
2.7 โปรแกรม MINITAB 26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและออกแบบระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภา. .29
3.2 การสร้างตัวต้นแบบของระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยใช้กล้องถ่ายภาพและซอฟต์แวร์ตรวจจับและคัดแยกภาพติดตั้งบนเครื่องจักร 30
3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ 32
3.4 การทดสอบตัวต้นแบบ 33
3.5 การเก็บข้อมูลผลการทดสอบตัวต้นแบบ 36
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบตัวต้นแบบ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของตัวต้นแบบ 37

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความเร็วของตัวต้นแบบ 39

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 41

5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง 42

5.3 ข้อเสนอแนะ 42

5.4 งานในอนาคต 42

เอกสารอ้างอิง 43

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. คำสั่งโปรแกรม MATLAB ผ1

ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการตรวจหากล้องที่พร้อมใช้งานภายในเครื่องคอมพิวเตอร์หรือที่ เชื่อมต่ออยู่ ผ6

ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการหาค่า adaptorname, deviceid และ format สำหรับคำสั่ง imaq.videodevice ผ6

ภาคผนวก ง. การหาค่า port, name และ value สำหรับคำสั่ง serial ผ9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณความแปรปรวน 22
ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำ 32
ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่ทำการศึกษาและระดับของปัจจัยในการทดลองศึกษาปัจจัย 33
ตารางที่ 3.4 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ 36
ตารางที่ 3.5 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วของตัวต้นแบบ 36
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ (ค่าพิกัด X)..... 38
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ (ค่าพิกัด Y)..... 38
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความแม่นยำของค่าพิกัด X..... 39
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความแม่นยำของค่าพิกัด Y..... 39
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วของตัวต้นแบบ 40
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความเร็วของตัวต้นแบบ..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์คาร์เทเชียนแบบเคลื่อน 3 มิติ 3

รูปที่ 2.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ 6

รูปที่ 2.3 บอร์ด Arduino UNO R3 8

รูปที่ 2.4 บอร์ด Arduino UNO SMD 8

รูปที่ 2.5 บอร์ด Arduino Mega ADK 9

รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino Mega 2560 10

รูปที่ 2.7 บอร์ด Arduino Leonardo 11

รูปที่ 2.8 บอร์ด Arduino Mini 05 11

รูปที่ 2.9 บอร์ด Arduino Pro Mini 328 3.3 V 12

รูปที่ 2.10 บอร์ด Arduino Pro Mini 328 5 V 12

รูปที่ 2.11 บอร์ด Arduino Ethernet with PoE module 13

รูปที่ 2.12 บอร์ด Arduino Ethernet without PoE module 13

รูปที่ 2.13 บอร์ด Arduino Duo 14

รูปที่ 2.14 บอร์ด i-Duino UNO R3 14

รูปที่ 2.15 ซอฟต์แวร์ Arduino IDE 15

รูปที่ 2.16 หน้าต่างของโปรแกรม Arduino 15

รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์โปรแกรม MATLAB 20

รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์โปรแกรม MINITAB 26

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 28

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบ 28

รูปที่ 3.3 ซอฟต์แวร์ที่เขียนขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิตอล 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการทดสอบซอฟต์แวร์เบื้องต้นที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร (ก) ตำแหน่งเริ่มต้น (ข) ตำแหน่งเป้าหมาย 30

รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของตัวต้นแบบ 31

รูปที่ 3.6 รูปที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดรัศมี 1 เซนติเมตร 33

รูปที่ 3.7 ค่าศูนย์กลางของกล้องจากการคำนวณ 34

รูปที่ 3.8 การตั้งค่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของกล้องถึงศูนย์กลางของภาพ (มุมมองแบบด้านบน) 34

รูปที่ 3.9 การตั้งค่าก่อนทำการทดสอบตัวต้นแบบ (ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านหน้า 35

รูปที่ 3.10 การวัดระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ (ก) ระยะ 5 เซนติเมตร (ข) ระยะ 7.5 เซนติเมตร (ค) ระยะ 10 เซนติเมตร 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีต่างๆ ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยเทคโนโลยีถูกนำไปใช้ในเกือบทุกกิจกรรม ไม่ว่าจะเป็นด้านการศึกษา ด้านเกษตรกรรม หรือด้านการแพทย์ แต่เทคโนโลยีถูกนำไปใช้มากที่สุดคือในภาคอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการผลิตสินค้า การประกอบชิ้นส่วน หรือการขนส่ง เป็นต้น โดยหนึ่งในเทคโนโลยีด้านการผลิตและการประกอบที่ถูกพัฒนาอย่างมากและใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ เทคโนโลยีในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control, CNC) หรือเรียกสั้นๆ ว่า "ซีเอ็นซี" โดยตัวอย่างของการนำเครื่องจักรซีเอ็นซีไปใช้ที่เห็นได้ชัด จะเป็นในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความแม่นยำและความสะอาดสูงมาก จึงมีการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีมาใช้ในสายการประกอบชิ้นส่วนอย่างแพร่หลาย หนึ่งในเครื่องจักรซีเอ็นซีที่นิยม คือ หุ่นยนต์แขนกลสำหรับงานหยิบและวาง (Pick-and-Place Robot Arm) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมระหว่างการผลิตหรือการประกอบ และยังช่วยลดความผิดพลาดจากการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากฝีมือมนุษย์

หุ่นยนต์แขนกลสำหรับงานหยิบและวาง คือ หุ่นยนต์แขนกลที่มีหน้าที่หยิบและวางชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงในตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ถูกตั้งคำสั่งไว้ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการผลิตหรือการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในภาคอุตสาหกรรม แต่การผลิตหรือการประกอบสินค้าใดๆ ในภาคอุตสาหกรรมนั้นมีความหลากหลายสูงมาก ทำให้โรงงานแต่ละโรงงานนั้นไม่ได้ทำการผลิตสินค้าเพียงแค่แบบเดียวหรือขนาดเดียว โดยแต่ละครั้งที่ทำการเปลี่ยนแบบของสินค้าหรือขนาดของสินค้าที่ทำการผลิต ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแม่พิมพ์ หรือแก้ไขคำสั่งของหุ่นยนต์แขนกลหรือระบบซีเอ็นซี เพื่อให้ได้ลักษณะและขนาดของสินค้าตามแบบที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียเวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ หรือแก้ไขคำสั่งและก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ในระหว่างทำการแก้ไขคำสั่ง ซึ่งอาจเกิดความเสียหายตามมาได้ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing, DIP) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตและประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเทคโนโลยีหุ่นยนต์แขนกล และกล้องถ่ายภาพ โดยหลักการจะใช้การถ่ายภาพจากแขนกล แล้วส่งภาพถ่ายเข้าสู่กระบวนการตรวจจับภาพและวัดหาจุดศูนย์กลางด้วยซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้น เพื่อระบุตำแหน่งที่เราต้องการ จากนั้นก็จะส่งตำแหน่งที่วัดได้ไปยังระบบซีเอ็นซี เพื่อให้ระบบควบคุมแขนกลไปยังตำแหน่งและทำการหยิบหรือวางชิ้นส่วนลงในตำแหน่ง ซึ่งข้อดีก็คือเราไม่ต้องทำการแก้คำสั่งหุ่นยนต์แขนกลหรือระบบซีเอ็นซี เมื่อมีการเปลี่ยนแบบของสินค้า หรือเปลี่ยนขนาดของสินค้า ทำให้ประหยัดเวลาปรับตั้งและเพิ่มเวลาในการผลิตหรือการประกอบได้อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการออกแบบระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตรวจจับภาพและวัดขนาดด้วยโปรแกรม MATLAB รวมไปถึงสร้างตัวต้นแบบโดยใช้กล้องถ่ายภาพเพื่อนำมาใช้งานกับ เครื่องจักรซีเอ็นซี ในภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และรองรับการพัฒนาในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2 ประการ ดังนี้

1. เพื่อออกแบบระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตรวจจับภาพและวัดขนาดด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาใช้งานกับเครื่องจักรซีเอ็นซี

2. เพื่อสร้างตัวต้นแบบของระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษา เพื่อกำหนดกรอบของปัญหาให้ชัดเจนขึ้น โดยขอบเขตของการศึกษามีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ออกแบบระบบซอฟต์แวร์ของตัวต้นแบบที่ใช้สำหรับตรวจจับภาพและวัดขนาด ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขซึ่งสร้างบนโปรแกรม MATLAB

2. พัฒนาตัวต้นแบบของระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยใช้กล้องถ่ายภาพและซอฟต์แวร์ตรวจจับภาพและวัดขนาดติดตั้งบนเครื่องจักรซีเอ็นซี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ คาดหวังที่จะได้ประโยชน์จากการศึกษา มีอยู่ 5 ประการ ดังนี้

1. ได้ทราบถึงหลักการทำงานและหลักโครงสร้างของเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงตัวเลข

2. ได้ทราบถึงหลักการทำงานและหลักโครงสร้างของโปรแกรม MATLAB

3. สามารถลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรระหว่างการผลิตหรือการประกอบ

4. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหุ่นยนต์แขนกลให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาระบบหรืออุปกรณ์ในการตรวจจับภาพและวัดขนาดที่ติดตั้งบนอุปกรณ์อื่นนอกจากหุ่นยนต์แขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้แสดงถึงทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาเพื่อจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ โดยมีทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 หุ่นยนต์คาร์เทเชียน

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3 การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์

2.4 การประมวลผลภาพดิจิตอล

2.5 โปรแกรม MATLAB

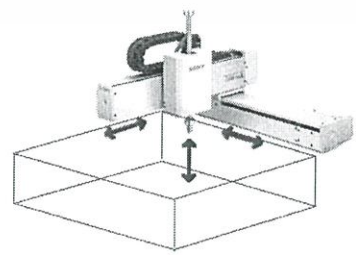
2.6 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

2.7 โปรแกรม MINITAB

2.1 หุ่นยนต์คาร์เทเชียน

2.1.1 ความหมายของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน [1]

หุ่นยนต์คาร์เทเชียน (Cartesian Coordinate Robot or Linear Robot) คือ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ถูกควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมการเคลื่อนที่สามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 แกนของหุ่นยนต์ โดยจะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด Gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่าหุ่นยนต์ชนิดคาร์เทเชียน



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์คาร์เทเชียนแบบเคลื่อน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน

หุ่นยนต์คาร์เทเชียน มีข้อดีและข้อเสียในการนำไปใช้งาน ดังนี้

2.1.2.1 ข้อดีของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน

1. เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
2. การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย
3. มีส่วนประกอบง่ายๆ
4. โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

2.1.2.2 ข้อเสียของหุ่นยนต์คาร์เทเชียน

1. ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก
2. บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์
3. ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้
4. แกนแบบเชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานหุ่นยนต์คาร์เทเชียน

เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine Loading) การจัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานทดสอบต่างๆ

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์ [2]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ ระบบควบคุมขนาดเล็กหรือสามารถเรียกอีกแบบหนึ่งว่าระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก เนื่องจากมีความสามารถที่คล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และพอร์ตเป็นส่วนประกอบ ซึ่งคล้ายกับคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และพอร์ตเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญ โดยทำการบรรจุทั้งสามส่วนประกอบเข้าไว้ในที่เดียวกัน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถออกแบบวงจรให้เหมาะสมกับงานและสามารถโปรแกรมคำสั่งในการควบคุมขา Input/Output เพื่อสั่งงานในการควบคุมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ได้อีกด้วย นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย ทั้งทางด้านดิจิตอล (Digital) และอนาล็อก (Analog) ตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ ระบบบัตรคิว ระบบตอกบัตรพนักงาน เป็นต้น

2.2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู (Central Processing Unit, CPU) เป็นส่วนที่ควบคุมการปฏิบัติงานของเครื่อง เป็นอุปกรณ์หลักในการประมวลผลกลาง โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาประมวลผลข้อมู,ตามคำสั่งของโปรแกรมและส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผลลัพธ์

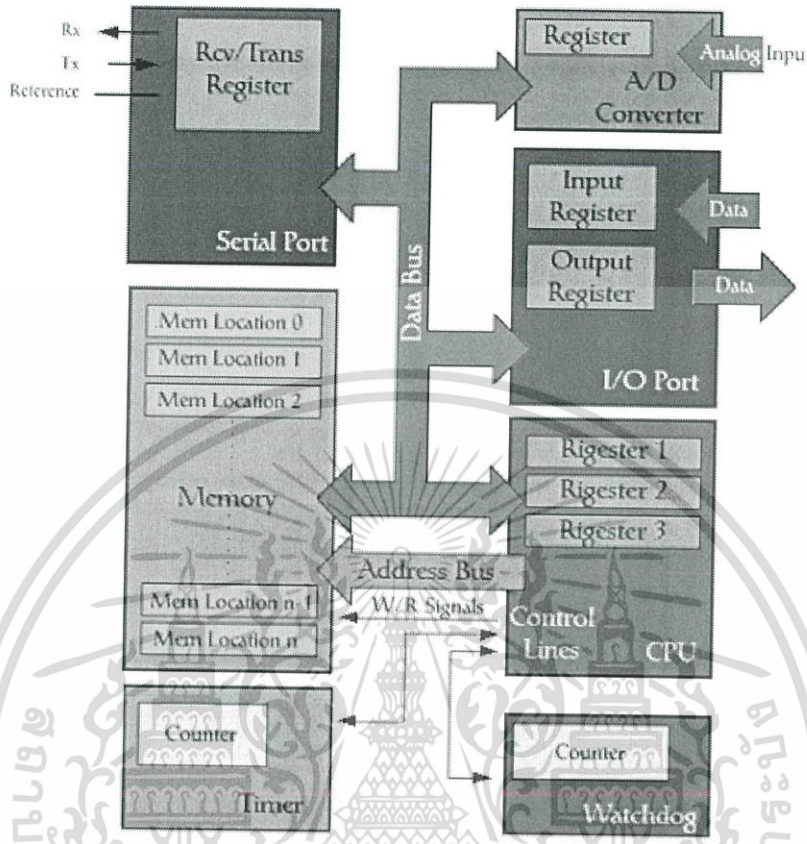
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Random Access Memory, RAM) และหน่วยความจำข้อมูล (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM) โดยหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลักจะเก็บข้อมูลไว้โดยที่ข้อมูลไม่หายไปแม้ไม่มีไฟฟ้าเลี้ยงระบบ แต่หน่วยความจำข้อมูลนั้นเป็นเพียงที่พักข้อมูลชั่วคราวเปรียบเหมือนกระดาษทด หากไม่มีไฟฟ้าเลี้ยงในระบบข้อมูลก็จะหายไป

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต (Port, I/O) เป็นส่วนที่สำคัญมากโดยจะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก มี 2 ลักษณะ คือพอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) หรือพอร์ตส่งสัญญาณ

4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (Bus) เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรา (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.3 ภาษาที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ [3]

ภาษาที่นิยมใช้โดยทั่วไปกับไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ภาษาเครื่อง (Machine Language) เป็นภาษาที่อยู่ในรูปแบบของรหัสเลขฐานสอง (Binary Code) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอรสามารถเข้าใจภาษานี้ได้ทันทีโยไม่ต้องผ่านกระบวนการแปลภาษา ข้อดีของการใช้ภาษานี้ คือ ภาษานี้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วและสามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้โดยตรง ส่วนข้อจำกัด คือ เป็นภาษาที่ยากต่อการเรียนรู้และผู้ใช้ต้องมีความรู้เกี่ยวกับฮาร์ดแวร์เป็นอย่างดี

2. ภาษาแอสแซมบลี้ (Assembly Language) เป็นภาษาที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้นเนื่องจากภาษาแอสแซมบลี้ใกล้เคียงกับภาษาเครื่องมาก โดยจะใช้รหัสเป็นคำแทนคำสั่งภาษาเครื่อง ดังนั้นในการใช้งานจะต้องผ่านการแปลจากภาษาแอสแซมบลี้เป็นภาษาเครื่องก่อน ข้อดีของการใช้ภาษาแอสแซมบลี้ คือ โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาแอสแซมบลี้จะทำงานเร็วและมีขนาดเล็กเพราะสามารถเข้าถึงฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้โดยตรงเช่นเดียวกับภาษาเครื่อง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนของผู้เขียนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อินเตอร์พรีเตอร์ (Interpreter) เป็นภาษาระดับสูงซึ่งใกล้เคียงกับภาษาของมนุษย์ โดยจะฝังตัวอยู่ในหน่วยความจำและทำหน้าที่อ่านคำสั่งจากโปรแกรมขึ้นมาทีละคำสั่ง ทำการแปลเป็นภาษาเครื่อง แล้วปฏิบัติตามคำสั่งนั้นๆ ข้อจำกัดของภาษาอินเตอร์พรีเตอร์ คือ ทำงานช้าเนื่องจากต้องแปลงทีละคำสั่ง เช่น ภาษา BASIC

4. คอมไพเลอร์ (Compiler) เป็นภาษาระดับสูงซึ่งแปลโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง จากนั้นเอาเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ แล้วจึงสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ปฏิบัติตามคำสั่งนั้นๆ ทีละคำสั่ง ทำให้การทำงานได้เร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ภาษาซี (C++) เป็นต้น

2.2.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด Arduino [2]

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบสำเร็จรูป มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐานโดยใช้ภาษาซี ใช้งานได้ง่าย เพียงอัพโหลดโค้ดลงบนบอร์ด และ Arduino ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์พ่วง (Shield) อื่นๆ เพื่อนำไปปรับใช้งานและพัฒนาต่อได้หลากหลายมากขึ้น โดยบอร์ด Arduino นั้นมีอยู่หลายรุ่น หลายขนาด โดยมีความจุ ความเร็ว จำนวนขาพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตามความเหมาะสม

2.2.4.1 รุ่นต่างๆ ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

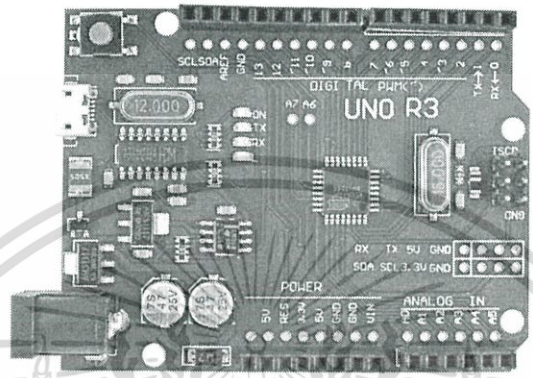
1. Arduino UNO R3 เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ผลิตออกมา ได้รับความนิยมมากที่สุด เหมาะกับการใช้งานสำหรับผู้เริ่มต้น มีอุปกรณ์พ่วงให้เลือกใช้งานมากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V มีพอร์ต Digital I/O 14 พอร์ต มีพอร์ต Analog Input 6 พอร์ต มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (RAM) 2 KB หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 1 KB มีพื้นที่โปรแกรมภายใน 32 KB และมีหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit, MCU) ที่เป็น Package DIP

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	30 mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3 V 50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32 KB (500B ถูกใช้โดย Boot Loader)
พื้นที่ RAM	2 KB

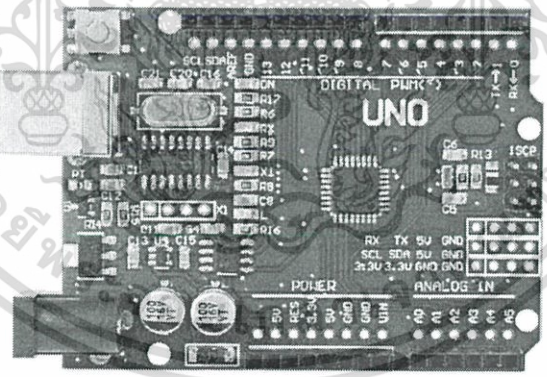
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1 KB
ความถี่คริสตัล	16 MHz
ขนาด	68.6 x 53.4 มม.
น้ำหนัก	25 กรัม



รูปที่ 2.3 บอร์ด Arduino UNO R3

2. Arduino UNO SMD เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติและการทำงานเหมือนกับบอร์ด Arduino UNO R3 ทุกประการ แต่จะแตกต่างกันที่ Package ของ MCU ซึ่งบอร์ดนี้จะมี MCU ที่เป็น Package SMD



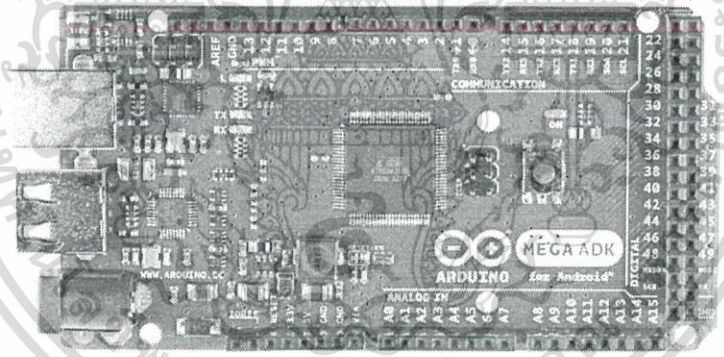
รูปที่ 2.4 บอร์ด Arduino UNO SMD

3. Arduino Mega ADK ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V มีพอร์ต Digital I/O 54 พอร์ต พื้นที่โปรแกรมภายใน 256 KB พื้นที่ RAM 8 KB มีพื้นที่ EEPROM 4 KB และยังมีชิปไอซี USB Host เบอร์ MAX3421e มาให้บนบอร์ดซึ่งใช้สำหรับเชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ผ่าน OTG (สายที่สามารถใช้งาน USB Storage ร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์) เหมาะสำหรับงานที่ใช้การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือ แต่ไม่เหมาะจะนำไปใช้กับงานคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	16 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3 V 50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256 KB (8 KB ถูกใช้โดย Boot Loader)
พื้นที่ RAM	8 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4 KB
ความถี่คริสตัล	16 MHz
ขนาด	101.52 x 53.3 มม.
น้ำหนัก	36 กรัม



รูปที่ 2.5 บอร์ด Arduino Mega ADK

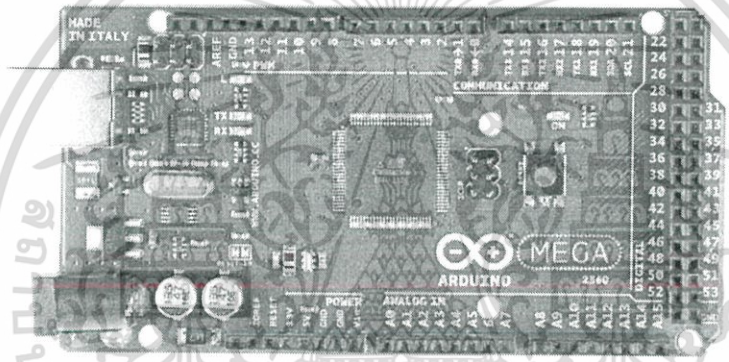
4. Arduino Mega 2560 จะมีคุณสมบัติคล้ายกับบอร์ด Arduino Mega ADK แต่แตกต่างกันตรงที่บนบอร์ดมี USB Host มาให้ การโปรแกรมยังต้องทำผ่านโปรโตคอล UART (การเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ บนบอร์ด) เป็นบอร์ด Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตมาก เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจากเซนเซอร์หรือควบคุม Motor Servo หลายๆ ตัว

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	16 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3 V 50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256 KB (8 KB ถูกใช้โดย Boot Loader)
พื้นที่ RAM	8 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4 KB
ความถี่คริสตัล	16 MHz



รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino Mega 2560

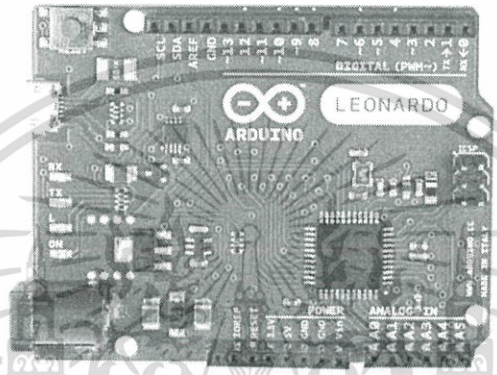
5. Arduino Leonardo ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega25u4 ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V ทำให้ไม่มีปัญหากับเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์เสริม มีพอร์ต Digital I/O 20 พอร์ต พื้นที่โปรแกรมภายใน 32 KB พื้นที่ RAM 2.5 KB มีพื้นที่ EEPROM 1 KB เป็นบอร์ดที่การทำงานจะคล้ายกับบอร์ด Arduino UNO R3 แต่มีการเปลี่ยน MCU ตัวใหม่ที่รองรับการเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ได้โดยตรง ทำให้บอร์ดสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองตัวเองให้เป็นเมาส์หรือคีย์บอร์ดได้

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega32u4
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	20 พอร์ต (มี 7 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	12 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3 V 50 mA

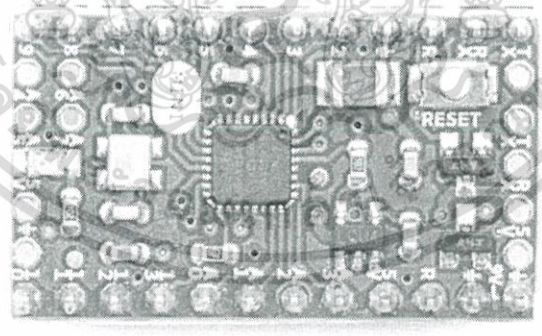
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่โปรแกรมภายใน	32 KB (4 KB ถูกใช้โดย Boot Loader)
พื้นที่ RAM	2.5 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1 KB
ความถี่คริสตัล	16 MHz
ขนาด	68.6 x 53.3 มม.
น้ำหนัก	20 กรัม



รูปที่ 2.7 บอร์ด Arduino Leonardo

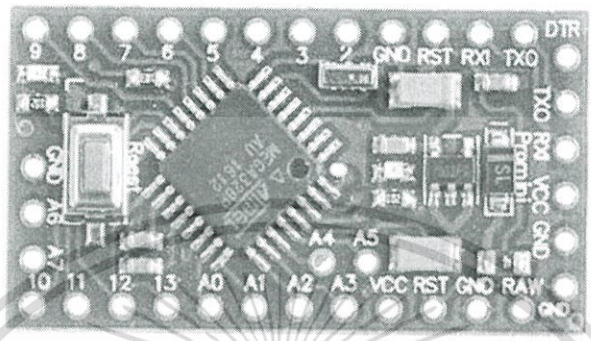
6. Arduino Mini 05 เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ที่ไม่มีพอร์ต USB มาให้ เมื่อต้องการโปรแกรมบอร์ด ผู้ใช้งานต้องต่อบอร์ดกับ USB to Serial Converter



รูปที่ 2.8 บอร์ด Arduino Mini 05

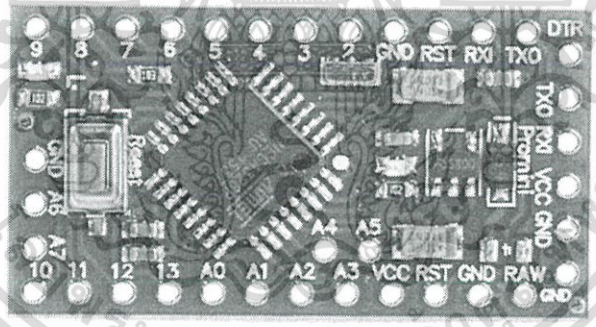
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Arduino Pro Mini 328 3.3 V เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กคุณสมบัติคล้ายคลึงกับบอร์ด Arduino Mini 05 แต่บนบอร์ดจะมี Regulator 3.3 V ชุดเดียวเท่านั้น ระดับแรงไฟฟ้าที่พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต คือ 3.3 V



รูปที่ 2.9 บอร์ด Arduino Pro Mini 328 3.3 V

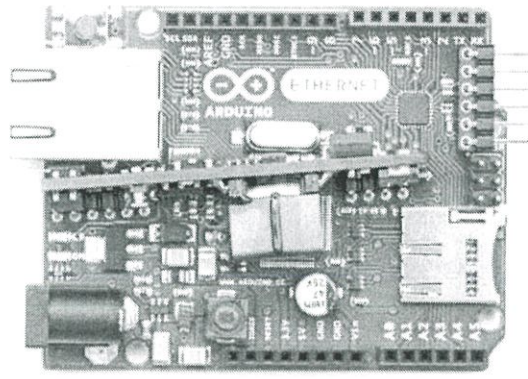
8. Arduino Pro Mini 328 5 V เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กคุณสมบัติคล้ายคลึงกับบอร์ด Arduino Mini 05 และบอร์ด Arduino Pro Mini 328 3.3 V มีข้อแตกต่างที่ Regulator บนพอร์ตเป็นขนาด 5 V ระดับแรงไฟฟ้าที่พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต คือ 5 V



รูปที่ 2.10 บอร์ด Arduino Pro Mini 328 5 V

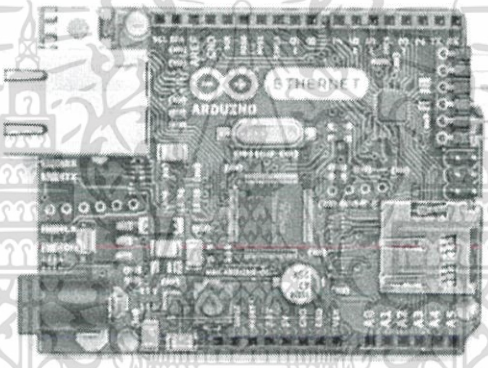
9. Arduino Ethernet with PoE module เป็นบอร์ด Arduino ที่ในบอร์ดมีชิป Ethernet และช่องสำหรับเสียบ SD Card รวมทั้งโมดูล PoE ทำให้บอร์ดนี้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากสาย LAN ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องต่อตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเพิ่ม แต่เวลาโปรแกรมต้องต่อบอร์ด USB to Serial Converter เพิ่มเติม เนื่องจากไม่มีพอร์ต USB ติดในตัวมาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 บอร์ด Arduino Ethernet with PoE module

10. Arduino Ethernet without PoE module มีคุณสมบัติทุกประการคล้ายกับบอร์ด Arduino Ethernet with PoE module แตกต่างเพียงแค่จะไม่มีโมดูล PoE ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพอร์ต Power Jack เท่านั้น



รูปที่ 2.12 บอร์ด Arduino Ethernet without PoE module

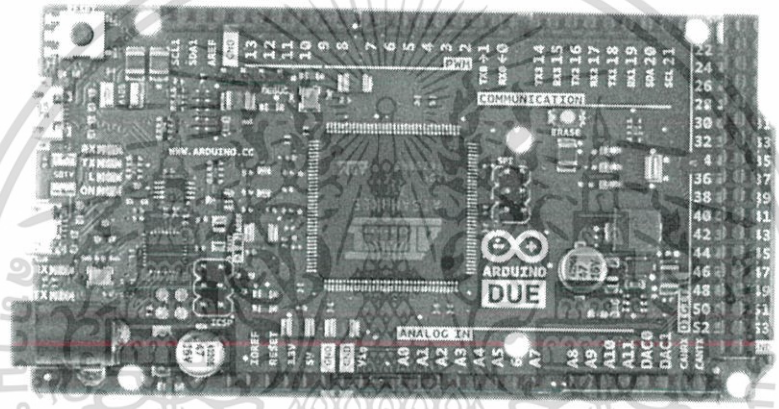
11. Arduino Duo ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT91SAM3X8E เป็นชิไอซีที่ใช้เทคโนโลยี ARM Core ที่เร่งความถี่คริสตัลขึ้นไปสูงถึง 84 MHz จึงทำให้สามารถทำงานด้านการคำนวณหรือการประมวลผลอัลกอริทึมได้เร็ว แต่เนื่องจากชิปไอซีทำงานที่แรงดัน 3.3 V ดังนั้นการนำไปใช้งานกับเซ็นเซอร์ควรระวังไม่ให้แรงดันไฟฟ้า 5 V ไหลเข้าบอร์ด ควรใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าเพื่อช่วยลดแรงดันไฟฟ้าลงมาให้เหมาะสม มีพอร์ต Digital I/O 54 พอร์ต (12 พอร์ต PWM) พื้นที่โปรแกรมภายใน 512 KB พื้นที่ RAM 2 KB และพื้นที่ EEPROM 96 KB

<u>ข้อมูลจำเพาะ</u>

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	AT91SAM3X8E
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 16 V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 12 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	2 พอร์ต

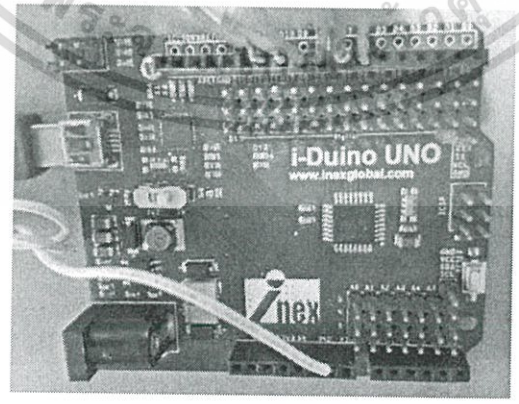
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	130 mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	3.3 V 800 mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต	5 V 800 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	512 KB
พื้นที่ RAM	2 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	96 KB
ความถี่คริสตัล	84 MHz
ขนาด	101.52 x 53.3 มม.
น้ำหนัก	36 กรัม



รูปที่ 2.13 บอร์ด Arduino Duo

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้บอร์ด i-Duino ซึ่งเป็นบอร์ดแบบ Arduino-Compatible ก็คือบอร์ดที่มีคุณสมบัติเหมือนกับบอร์ด Arduino รุ่นนั้นๆ สามารถเข้ากันได้กับซอฟต์แวร์และอุปกรณ์พ่วงอื่นๆ ที่ถูกพัฒนาโดย Arduino โดยรุ่นของบอร์ดที่เลือกใช้ คือ บอร์ด i-Duino UNO R3



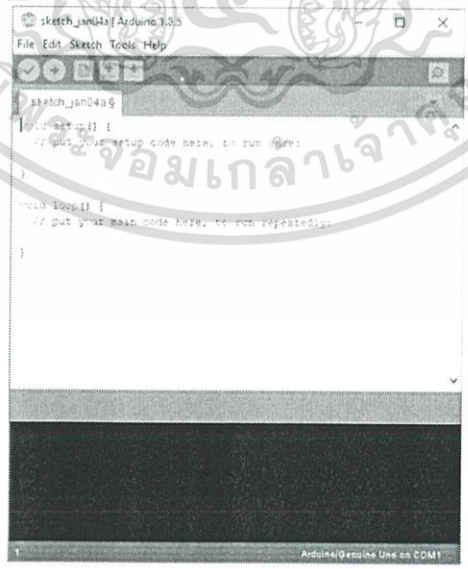
รูปที่ 2.14 บอร์ด i-Duino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 โปรแกรมสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

โปรแกรมสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า Arduino IDE ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถดาวน์โหลดได้อย่างถูกกฎหมาย ไม่ต้องเสียเงินแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้ออื่น โดยโปรแกม Arduino IDE นั้นจะใช้สำหรับควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ให้ทำงานตามที่ต้องการ การเขียนโปรแกรมจะใช้การเขียนด้วยภาษาซี โดยตัวโปรแกรมจะแบ่งฟังก์ชันการทำงานออกเป็น 2 ฟังก์ชัน คือ void setup() และ void loop() โดยฟังก์ชัน setup() เป็นส่วนที่ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน โดยโปรแกรมจะทำตามคำสั่งที่อยู่ภายใต้ฟังก์ชันนี้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ส่วนฟังก์ชัน loop() เป็นส่วนที่คล้ายกับการควบคุมการทำงาน โดยคำสั่งที่อยู่ภายใต้ฟังก์ชันนี้จะถูกทำงานแบบต่อเนื่อง โดยก่อนทำการคำสั่งโปรแกรมต้องมีการประกาศตัวแปรที่ส่วนหัว (Header) ของโปรแกรมก่อนที่จะประกาศคำสั่งในฟังก์ชันต่างๆ อีกทั้งต้องคำนึกถึงข้อจำกัดของการตั้งชื่อตัวแปร ความถูกต้องของการประกาศตัวแปร และความถูกต้องของคำสั่งที่เรียกใช้ด้วย [4]

รูปที่ 2.15 ซอฟต์แวร์ Arduino IDE



รูปที่ 2.16 หน้าต่างของโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์

2.3.1 ความหมายของเครื่องจักรซีเอ็นซี

การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control, CNC) หรือซีเอ็นซี คือ ระบบการควบคุมเครื่องจักรด้วยคำสั่งเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ การเคลื่อนที่หรือการทำงานอื่นๆ ของเครื่องจักร จะถูกควบคุมด้วยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษรและสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (Pulse) ของกระแสไฟฟ้า หรือสัญญาณอื่นๆ ออกไปสั่งมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อทำให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ [5]

เครื่องจักรซีเอ็นซี (CNC Machine) คือ เครื่องจักรที่มีคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับการควบคุมการทำงาน โดยคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์จะสามารถเข้าใจโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นโดยมนุษย์ และทำการสั่งงานเครื่องจักรตามคำสั่งนั้น โดยสามารถป้อนคำสั่งให้คอมพิวเตอร์ได้ 3 วิธี ได้แก่ แป้นพิมพ์ สื่อบันทึกความจำ (แผ่นดิสก์,ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ,แฟลชไดร์ฟ) และระบบสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูล (อินเตอร์เน็ต,เครือข่าย LAN) [6]

2.3.2 องค์ประกอบของเครื่องจักรซีเอ็นซี [6]

เครื่องจักรซีเอ็นซี มีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ดังต่อไปนี้

1. ชุดควบคุม (Controller) หรือ คอนโทรลเลอร์ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรม (Store) และแก้ไขดัดแปลงโปรแกรม (Edit) ได้ คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำการควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานตามคำสั่งในโปรแกรม ชุดควบคุมประกอบด้วย แผงควบคุม (Control Panel) จอภาพ (Monitor) แป้นพิมพ์ (Keyboard/Keypad) และปุ่มสวิตช์ควบคุมต่างๆ เช่น ความเร็วฟีด เป็นต้น

2. กลไกการเคลื่อนที่ (Drive Mechanism) ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้ โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide Way) รองรับการเคลื่อนที่แกนต่างๆ

3. คัวเครื่องจักร (Machine Body) คือ โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่อง (Machine Bed/Bed) โต๊ะวางชิ้นงาน (Table) แท่นติดตั้งสปินเดิล (Spindle Head) และมอเตอร์สปินเดิล (Spindle Motor) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรซีเอ็นซี [6]

เครื่องจักรซีเอ็นซี มีข้อดีและข้อเสียในการนำไปใช้งาน ดังนี้

2.3.3.1 ข้อดีของเครื่องจักรซีเอ็นซี

1. มีความเที่ยงตรงสูง

2. มีคุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้นงาน

3. โอกาสเกิดความเสียหาย หรือต้องแก้ไขชิ้นงานน้อย

4. สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่หยุด

5. มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้ผลผลิตสูง

6. สามารถคาดคะเนและวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำ เพราะ เวลาไม่ขึ้นอยู่กับแรงงาน

7. สามารถสลับเปลี่ยนชิ้นงาน ได้หลากหลายรูปทรง สะดวกและรวดเร็ว

8. เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผลผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักรซีเอ็นซี ใช้พื้นที่น้อยกว่าและลดพื้นที่ในการจัดเก็บชิ้นงาน

9. มีความสะดวก สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่มีการแก้ไขบ่อย

10. ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงและมีหลายขั้นตอนการผลิต สามารถใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีเพียงเครื่องเดียวทำให้ไม่ต้องย้ายไปใช้เครื่องจักรอื่น

11. ลดปริมาณการตรวจสอบคุณภาพ

12. ทำให้สามารถใช้เครื่องตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

13. ลดแรงงานในสายการผลิต เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีสามารถทำงานได้ตามคำสั่ง ดังนั้นผู้ควบคุมเครื่องจักร 1 คน สามารถควบคุมเครื่องจักรได้ 3-5 เครื่อง

14. ใช้อุปกรณ์เสริมน้อย ไม่ต้องใช้แผ่นลอกแบบ (Templates)

2.3.3.2 ข้อเสียของเครื่องจักรซีเอ็นซี

1. มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

2. ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อน เพราะ มีทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมทั้งระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

3. อุปกรณ์และซอฟต์แวร์เสริม (Option) มีราคาสูง และต้องใช้จากผู้ผลิตรายนั้นๆ เท่านั้น

4. ต้องมีความรู้พื้นฐานในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต้องมีพื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนโปรแกรม

6. ต้องหางานป้อนให้เครื่องทำประจำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดเวลาว่างงานของเครื่องจักร

7. ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อยๆ

8. สัญญาค่าซ่อมบำรุงสูง

9. ชิ้นส่วนอะไหล่ในบางกรณี ต้องรอการนำเข้าจากต่างประเทศ

10. คอนโทรลเลอร์ เป็นภาษาอังกฤษ ช่างต้องเรียนรู้และมีการรับการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องจักรและการเขียนโปรแกรมก่อนเริ่มใช้เครื่องได้

2.3.4 การประยุกต์ใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีในอุตสาหกรรม [7]

ในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้งานเครื่องจักรซีเอ็นซีอย่างแพร่หลาย โดยมีกิจกรรมที่นำเครื่องจักรซีเอ็นซีไปใช้มีดังนี้

1. งานตัดเฉือนผิวโลหะ (Metal Cutting) เช่น เครื่องกลึงซีเอ็นซี เครื่องกัดซีเอ็นซี เป็นต้น

2. งานเจียระไน (Grinding)

3. งานกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine, EDM) เช่น เครื่องกัดอีดีเอ็ม

4. งานกัดโลหะด้วยเลเซอร์ (Laser Cutting)

5. งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป (Fabrication)

6. งานตรวจสอบตำแหน่ง (Coordinate Measuring) เช่น เครื่องวัดตำแหน่ง (Coordinate Measurement Machine, CMM)

7. งานประกอบชิ้นส่วน (Assembly)

8. งานขนถ่ายวัสดุ (Material Handling)

2.4 การประมวลผลภาพดิจิตอล

2.4.1 ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิตอล [8]

การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing, DIP) คือ กระบวนการที่นำภาพป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยจะเรียกใช้กรรมวิธีต่างๆ ในการจัดการทางรูปภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะตามต้องการ ผลลัพธ์ที่ออกมาก็จะเป็นรูปภาพเช่นเดียวกัน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระดับสูง เช่น การจดจำลักษณะได้อย่างแม่นยำหรือการทำให้ได้ค่าการวัดออกมา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล [9]

ในการประมวลผลภาพประกอบด้วยขั้นตอนทั่วไป 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.2.1 การได้มาของรูปภาพ

การได้มาของรูปภาพ (Image Acquisition) เป็นขั้นตอนการรับสัญญาณจากอุปกรณ์ถ่ายภาพต่างๆ แล้วแปลงเป็นสัญญาณที่ได้ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะออกมาอยู่ในรูปของภาพถ่าย เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิตอล, กล้องวีดีทัศน์, กล้องเว็บแคม, เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณภาพอื่นๆ

2.4.2.2 การเตรียมภาพถ่าย

การเตรียมภาพถ่าย (Image Pre-processing) เป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เนื่องจากภาพอาจมีสัญญาณรบกวน ส่งผลให้คุณภาพของภาพถ่ายลดลง วัตถุประสงค์ของการเตรียมภาพถ่าย คือ การปรับปรุงข้อมูลภาพ โดยลดการบิดเบือนและเพิ่มคุณสมบัติของภาพที่มีความสำคัญต่อการประมวลผลภาพในอนาคตต่อไป

2.4.2.3 การแยกส่วนของภาพ

การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation) เป็นขั้นตอนการแยกส่วนของภาพเฉพาะส่วนที่สนใจในการศึกษาเท่านั้น ในการถ่ายภาพนั้นนอกจากภาพที่สนใจศึกษาจะถ่ายติดพื้นหลังของภาพมาด้วย ซึ่งส่งผลให้การนำภาพไปวิเคราะห์มีความผิดพลาด จึงจำเป็นต้องทำการแยกส่วนของภาพ โดยจะแยกส่วนเฉพาะบริเวณที่ต้องการศึกษา

2.4.2.4 การวัดคุณลักษณะ

การวัดคุณลักษณะ (Object Measurement) เป็นขั้นตอนการวัดค่าที่สนใจจากภาพถ่าย หลักจากขั้นตอนการแยกส่วนภาพเพื่อให้ได้เฉพาะสิ่งที่สนใจแล้ว ทำการวัดคุณลักษณะของวัตถุ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ขนาด, รูปร่าง, เนื้อสัมผัส และสี

2.4.2.5 การแบ่งประเภท

การแบ่งประเภท (Classification) เป็นขั้นตอนการแบ่งประเภทตามข้อจำกัดในแต่ละประเภทของชิ้นทดสอบ โดยการเปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่วัดได้กับเกณฑ์ที่กำหนดว่าชิ้นทดสอบที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ใดมากที่สุด

ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์ในการตรวจจับและคัดแยกภาพ โดยจะทำการรับข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องมาแปลงค่าโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางและรัศมีของภาพรูปวงกลมในหน่วยของพิกเซล ดังนั้นขั้นตอนการประมวลผลภาพ ในขั้นตอนการแบ่งประเภทจึงไม่จำเป็นต้องทำก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โปรแกรม MATLAB [10]

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ชื่อโปรแกรม MATLAB ย่อมากจาก Matrix Laboratory ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรมที่มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาอัลกอริทึม การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำแบบจำลองของระบบ (Simulation) การสร้างระบบควบคุม การประมวลผลภาพ (Image Processing) การสร้างเมตริกซ์ และการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet)

MATLAB สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือ การเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อสั่งการให้ MATLAB ประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรม ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB คือ ข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของแถวลำดับ ในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆ ขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับใน MATLAB เราไม่จำเป็นที่จะต้องมองมิติเหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นต่ำทั่วไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของเมตริกซ์และเวกเตอร์ได้โดยง่าย ส่งผลให้สามารถลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่น ยกตัวอย่างเช่น ภาษาซี หรือภาษาฟอร์แทรน เป็นต้น

รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์โปรแกรม MATLAB

2.6 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

2.6.1 ความหมายและความสำคัญของการออกแบบการทดลอง

การทดลอง หมายถึง วิธีการตรวจสอบตามแผนที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงใหม่ๆ หรือเพื่อยืนยัน หรือเพื่อปฏิเสธผลของการทดลองที่ผ่านมา โดยที่การตรวจสอบดังกล่าวจะช่วยนำไปสู่การตัดสินใจขั้นตอนการดำเนินการ [11]

แบบแผนการทดลองถูกกำหนดขึ้นเพื่อจัดสิ่งทดลอง (Treatment) ให้กับหน่วยทดลอง (Experimental Unit) ทำให้หน่วยทดลองมีการตอบสนองและสามารถวัดค่าจากหน่วยทดลองได้ และทำให้การทดลองนั้นๆ มีข้อมูลที่สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับอิทธิพลของสิ่งที่ทดสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 หลักการทั่วไปของการออกแบบการทดลอง [11]

2.6.2.1 <u>หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน</u>

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) คือ วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป ซึ่งจะให้ผลดีและถูกต้องกว่าการนำค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรโดยตรง การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้การทดสอบแบบ F-Test ในการทดสอบ ซึ่ง F-Test ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่ โดยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ การพิจารณาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรกับความแปรปรวนภายในกลุ่มประชากร กล่าวคือ ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับความแปรปรวนภายในกลุ่มประชากร ก็แสดงว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มประชากรไม่แตกต่างกัน ในทางกลับกันหากมีความแตกต่างกันนั้น ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรจะมีค่ามากกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มประชากร ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มประชากรแตกต่างกันด้วย ยิ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มประชากรแตกต่างกันมาก ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรก็จะมากตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า F ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม โดยค่า F สามารถหาได้จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือสามารถคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากร ค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มประชากรได้ และค่าความแปรปรวนรวมได้จากตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณความแปรปรวน [12]

แหล่งของความแปรปรวน (Source of Variance, SOV)	องศาความอิสระ (Degree of Freedom)	ผลรวมของกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Sum of Square, SS)	ความแปรปรวน (Mean Square, MS)	อัตราส่วน F (F-ratio)
ระหว่างกลุ่ม (Treatment)	k-1 เมื่อ k = จำนวนกลุ่มประชากร	$SSB = \sum_{i=1}^{k} n_i (X_i - \bar{X})^2$	$MSB = \frac{SSB}{k-1}$	$F = \frac{MSB}{MSW}$
ภายในกลุ่ม (Error)	n-k เมื่อ n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	$SSW = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \left(X_{ij} - \bar{X}_i\right)^2$	$MSW = \frac{SSW}{n-k}$	
รวม (Total)	n-1	$SST = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \left(X_{ij} - \bar{X}\right)^2$ $SST = SSB + SSE$		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2.6.2.2 ความหมายของคำต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจะมีคำต่างๆ ที่เป็นคำเฉพาะสำหรับใช้ในการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยจึงนำความหมายบางส่วนที่จำเป็นสำหรับการศึกษาครั้งนี้

1. สิ่งทดลอง (Treatment) หมายถึง วิธีการหรือกระบวนการใช้กระทำกับหน่วยทดลอง หรือเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อสิ่งที่เราสนใจศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะวัดผลของกระบวนการนี้

2. หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยของวัสดุ หรือวัตถุทดลองที่ได้ทำการทดลองแบบเดียวกันและพร้อมกัน

3. ปัจจัย (Factor) หมายถึง ตัวแปรอิสระที่สนใจจะศึกษาว่ามีความสัมพันธ์หรือผลกระทบต่อตัวแปรตามหรือไม่

4. ระดับของปัจจัย (Factor Level) หมายถึง ประเภทต่างๆ ของปัจจัยที่เราสนใจจะศึกษา

5. ผลตอบสนอง (Response) หมายถึง สิ่งที่วัดได้จากหน่วยทดลอง หรือก็คือผลลัพธ์ที่ได้จากสิ่งทดลองที่กระทำต่อหน่วยทดลองนั้นๆ

2.6.3 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล [13]

2.6.3.1 ความหมายของการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Experiment Design) มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัย (Screening) เนื่องจากมีการลดจำนวนครั้งของการทดลองลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง ซึ่งจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่ง ที่เรียกว่า ความสับสนระหว่างอิทธิพลของปัจจัย (Confounded) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินแยกค่าออกมาได้เดี่ยวๆ ดังนั้นต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้

จากแผนการทดลองต่างๆ การที่จะเป็นแผนการทดลองนั้น เราจะพิจารณาหรือศึกษาถึงธรรมชาติของหน่วยทดลอง ว่าหน่วยทดลองมีความเหมือนหรือต่างกันมากน้อยแค่ไหน อย่างไร เมื่อทราบถึงธรรมชาติของหน่วยทดลองแล้ว จึงค่อยหาแผนการทดลองที่เหมาะสมกับหน่วยการทดลองนั้นๆ ทำการทดลอง ซึ่งแผนการทดลองต่างๆ ที่ผ่านมาในส่วนของสิ่งทดลอง เราจะพิจารณาเพียงแค่ 1 ทรีตเมนต์มีเพียง 1 ปัจจัย ถ้าเกิดปัจจัยนั้นแบ่งออกเป็นหลายๆ ระดับ สมมติว่าแบ่งออกเป็น 3 ระดับ การทดลองนั้นก็จะมีทรีตเมนต์ 3 ทรีตเมนต์ จึงจะเห็นได้ว่าการที่เราจะเรียกว่าเป็นแผนการทดลองนั้น เราจะพิจารณาถึงแต่หน่วยทดลองไม่ได้พิจารณาถึงสิ่งทดลอง แต่การทดลองแบบแฟคทอเรียลเราจะพิจารณาถึงสิ่งทดลองที่ไม่ได้ประกอบด้วยปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว แต่สิ่งทดลองจะประกอบด้วยหลายปัจจัยทดลอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงเพียงสิ่งที่ทดลองจึงไม่ได้ถูกเรียกว่าเป็นแผนการทดลอง แต่เป็นเพียงการทดลองเท่านั้น และจะใช้แผนการทดลองพื้นฐานแบบไหน หรือในการทดลองนั้นก็จะต้องพิจารณาจากหน่วยทดลองของการทดลองครั้งนั้นๆ อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.2 อิทธิพลร่วมของปัจจัย

อิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction) จะสามารถแสดงได้ในการทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่แต่ละทรีตเมนต์ประกอบด้วย 2 ปัจจัย หรือมากกว่า ถ้าสมมติว่า 1 ทรีตเมนต์ประกอบด้วย 2 ปัจจัย เมื่อเรากำหนดให้ปัจจัยหนึ่งคงที่ และอีกปัจจัยมีหลายระดับ หลักจากนั้นก็ทำการศึกษาว่าปัจจัยที่กำหนดให้คงที่ให้ผลเป็นอย่างเดียวกันต่อทุกๆ ระดับของอีกปัจจัยหนึ่งหรือไม่ ถ้าให้ผลเป็นระดับเดียวกันของทุกๆ ระดับของอีกปัจจัยหนึ่งก็แสดงว่าทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกันหรือเป็นอิสระต่อกัน แต่ถ้าให้ผลแตกต่างกันก็แสดงว่าปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันหรือไม่อิสระต่อกัน แต่โดยทั่วไปแล้วผลของ 2 ปัจจัยหรือมากกว่า มักมิ่สระต่อกัน เมื่อเป็นเช่นนั้นผู้วิจัยทำการทดลองโดยศึกษาทีละปัจจัยก็อาจทำให้ผลการทดลองเมื่อนำไปใช้จริง อาจจะไม่ถูกต้องนัก เพราะ ในชีวิตจริงเป็นการยากที่จะควบคุมปัจจัยที่มีผลให้คงที่ได้ ดังนั้นการทดลองแบบแฟคทอเรียล จึงมีความสำคัญและสรุปผลได้กว้างกว่า การพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย อาจพิจารณาได้จากการพิจารณากราฟและการคำนวณ

2.6.3.3 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลใน 1 ทรีตเมนต์จะประกอบไปด้วยหลายปัจจัย ซึ่งเราจะมักแทนสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น ในการปลูกองุ่นที่อุณหภูมิ (A) 3 ระดับ ในปุ๋ยเคมี (B) 4 ระดับ และปุ๋ยคอก (C) 2 ระดับ ซึ่งในแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็นหลายระดับ เราก็จะแทนระดับของปัจจัยนั้นๆ ด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก และจะห้อยด้วยตัวเลขเพื่อให้ทราบถึงระดับต่างๆ ของปัจจัยนั้นๆ โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แทนถึงระดับของปัจจัยจะเป็นภาษาอังกฤษตัวเดียวกันกับตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เราใช้แทนปัจจัยนั้นๆ เช่น อุณหภูมิ มี 3 ระดับ ระดับ a_1, a_2, a_3 ปุ๋ยเคมี มี 4 ระดับ b_1, b_2, b_3, b_4 และปุ๋ยคอก มี 2 ระดับ c_1, c_2 นอกจากนี้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทรีตเมนต์จะประกอบด้วยหลายปัจจัยรวมกัน (Combination) เราจึงมักเรียกชื่อของการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยตัวเลขของระดับในแต่ละปัจจัยคูณกัน เช่น จากตัวอย่างของการปลูกองุ่นที่มี 3 ปัจจัย ก็จะมีชื่อว่า “3x4x2 แฟคทอเรียล” แต่ถ้าในแต่ละปัจจัยมีจำนวนระดับเท่ากันทุกปัจจัย เช่น ถ้ามี 2 ปัจจัย ที่มีระดับเท่ากันทั้ง 2 ปัจจัย คือ มี 2 ระดับ ก็จะเรียกว่า “2^2 แฟคทอเรียล” แต่ถ้าทั้ง 3 ปัจจัย มี 2 ระดับเท่ากัน ก็จะเป็น “2^3 แฟคทอเรียล” ถ้าเป็น 2 ปัจจัย มี 3 ระดับเท่ากัน ก็จะเรียกว่า “3^2 แฟคทอเรียล” และถ้ามี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ก็จะเรียกว่า “2^k แฟคทอเรียล” จะเห็นได้ว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการจัดปัจจัยหลายๆ ปัจจัยรวมกันเท่านั้น ไม่ใช่แบบแผนของการทดลอง ดังนั้นการจัดคอมบิเนชันของปัจจัยต่างๆ ลงในหน่วยทดลอง จึงยังคงต้องอาศัยหลักการของแต่ละแผนการทดลองอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.4 ข้อดี ข้อเสีย และประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

2.6.3.4.1 ข้อดีของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ในกรณีที่แต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันก็จะสามารถทำให้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมกัน และรู้ถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นด้วย ทำให้สรุปผลได้ถูกต้องมากขึ้นและกว้างขวางขึ้น เพราะ ถ้าทำการทดลองทีละปัจจัยอาจจะไม่ทราบถึงอิทธิพลร่วมทำให้การสรุปผลอาจจะผิดพลาดได้

2.6.3.4.2 ข้อเสียของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

เมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มมากขึ้น หรือระดับของต่ละปัจจัยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขนาดของการทดลองมีขนาดใหญ่ ทำให้ความแปรปรวนในการทดลองมีมากขึ้น ความแม่นยำก็น้อยลงและการหาวัสดุทดลองที่ใกล้เคียงก็ยากขึ้น แม้จะมีการจัดบล็อกก็จะทำให้บล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น

2.6.3.4.3 ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ใช้ในการทดลองพื้นฐาน เมื่อต้องการสำรวจปัจจัยต่างๆ ที่มีจำนวนมาก เพื่อดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่สำคัญและปัจจัยใดไม่สำคัญ

2. ใช้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะ เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ นั้น มีอิทธิพลร่วมกันหรือไม่อย่างไร

3. ใช้ในการทดลองที่ต้องการข้อเสนอแนะภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งอาจจะใช้เงื่อนไขต่างๆ นั้นเป็นปัจจัยได้ เช่น ต้องการศึกษาว่าควรปลูกกุหลาบที่อุณหภูมิระดับไหน ความชื้นเท่าไหร่จึงจะดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โปรแกรม MINITAB [14]

โปรแกรม MINITAB เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปหรือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผทางสถิติ โดยโปรแกรม MINITAB เป็นโปรแกรมที่มีความโดดเด่นในด้านการใช้งานที่ง่ายและมีการพัฒนาปรับปรุงฟังก์ชันด้านสถิติต่างๆ ให้สอดคล้องกับความรู้และทฤษฎีใหม่ๆ ซึ่งโปรแกรม MINITAB สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลากหลายประเภท เช่น การวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน การวิเคราะห์สถิติขั้นสูง การออกแบบการทดลอง การประเมินผลกระบวนการ การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานควบคุมภาพ เป็นต้น

รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์โปรแกรม MINITAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่องตัวต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอลฉบับนี้ จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทางทีมผู้วิจัยได้ทราบถึงหลักการและแนวคิดที่เป็นประโยชน์มาใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ โดยภายหลังการศึกษา สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การศึกษาและออกแบบระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ

3.2 การสร้างตัวต้นแบบของระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยใช้กล้องถ่ายภาพและซอฟต์แวร์ตรวจจับและคัดแยกภาพติดตั้งบนเครื่องจักร

3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ

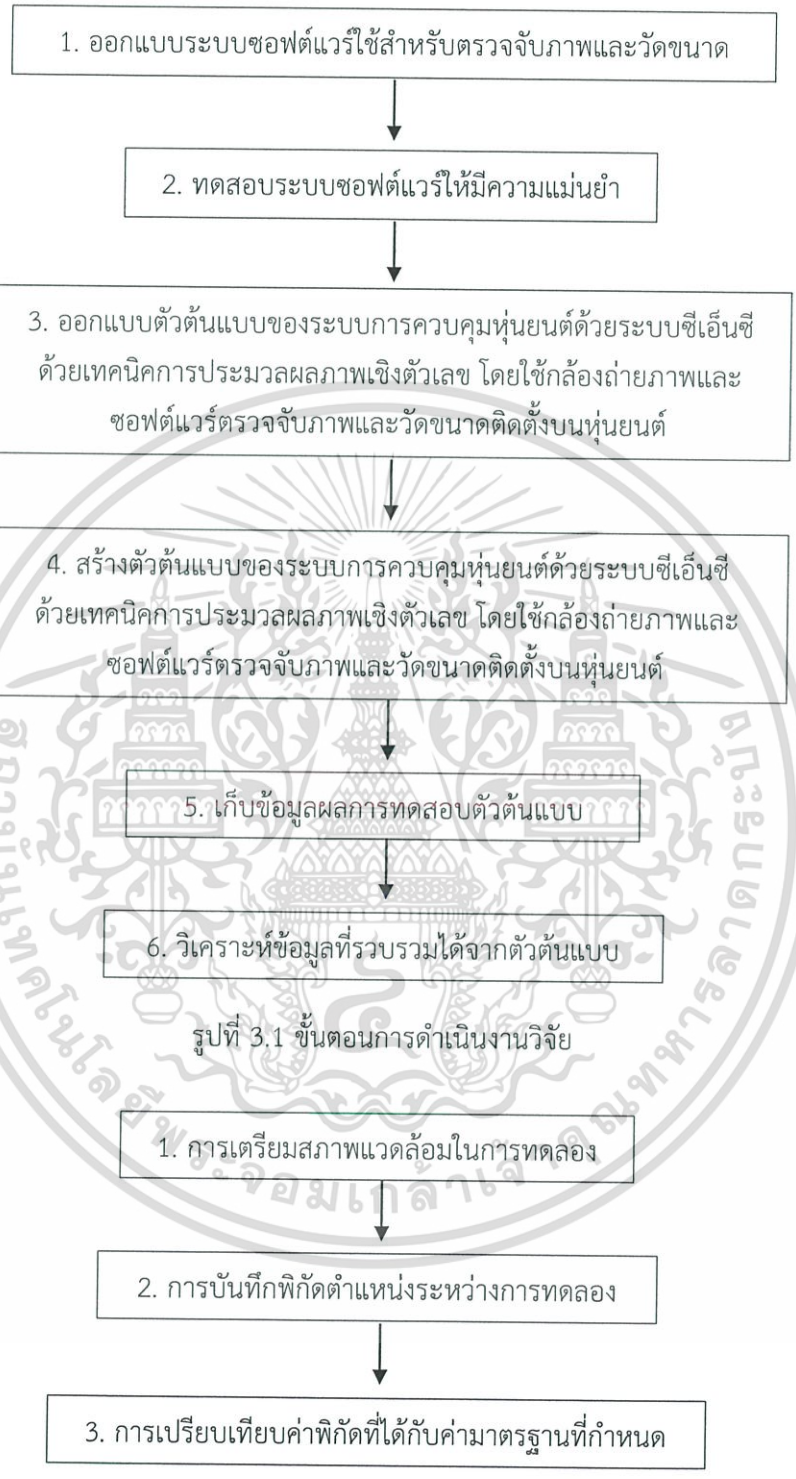
3.4 การทดสอบตัวต้นแบบ

3.5 การเก็บข้อมูลผลการทดสอบตัวต้นแบบ

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบตัวต้นแบบ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ ทางทีมผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยหลากหลายขั้นตอน เริ่มจากการออกแบบระบบการทำงานของเครื่องจักรที่สามารถตรวจจับภาพและหาตำแหน่งพิกัดที่ต้องการได้ ซึ่งขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้จะเฉพาะเจาะจงไปที่การใช้งานในภาคอุตสาหกรรม สำหรับหุ่นยนต์ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยใช้กล้องเว็บแคมและซอฟต์แวร์ตรวจจับภาพและวัดขนาดติดตั้งบนหุ่นยนต์ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลผลการทดสอบจากการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยการวัดความถูกต้องของตำแหน่งพิกัด และความเร็วในการประมวลผลภาพ จากนั้นวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของตำแหน่งพิกัดเทียบกับพิกัดจริง ดังแผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย แสดงดังในรูปที่ 3.1 และขั้นตอนการทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบต้นแบบ แสดงดังในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

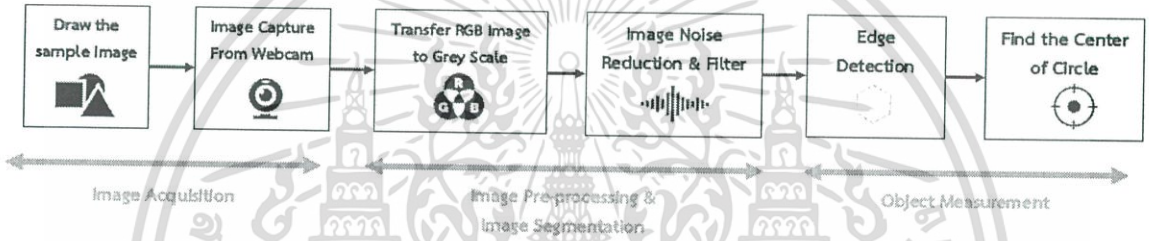
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การศึกษาและออกแบบระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหัวข้อที่ 2.4 และ 2.5 ทางทีมผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB 2018a ในการเขียนคำสั่งของซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ เนื่องจากตัวโปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชัน Image Processing Tools ในการช่วยวิเคราะห์ภาพ ซึ่งจะช่วยในการออกแบบซอฟต์แวร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสะดวกขึ้น

ระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ ภายในซอฟต์แวร์ประกอบด้วยคำสั่งที่เกี่ยวกับขั้นตอนการประมวลผลทางภาพดิจิตอล โดยเลือกใช้ขั้นตอนเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ซอฟต์แวร์ที่เขียนขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิตอล

จากหัวข้อที่ 2.4 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล ทางผู้วิจัยสามารถสร้างระบบซอฟต์แวร์ได้โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 : ขั้นตอนการได้มาของรูปภาพ

ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ในการได้มาของรูปภาพที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนถัดไป โดยในส่วนนี้จะมีขั้นตอนทั้งหมด 2 ขั้นตอน คือ การวาดรูปภาพที่จะใช้ทดสอบ และการบันทึกรูปภาพจากกล้องเว็บแคม

ส่วนที่ 2 : ขั้นตอนการปรับปรุงรูปภาพ

ในส่วนนี้คือการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพที่ได้มาจากส่วนที่ 1 โดยการเปลี่ยนโหมดสีของรูปภาพ จากรูปภาพแบบโหมด RGB ที่ได้มาจากกล้องเว็บแคม ไปสู่รูปภาพแบบ Grey Scale เพื่อเป็นการลดค่าความแตกต่างของสี ให้ค่าสีของรูปภาพอยู่ในกลุ่มสีขาว-ดำ เพื่อให้คำนวณได้ง่ายมากยิ่งขึ้น และจากนั้นก็ทำการลดค่าแทรกซ้อน (Noise) ภายในภาพ เพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากยิ่งขึ้น และลดภาพกระทบของภาพพื้นหลังที่อาจจะทำให้การคำนวณในส่วนที่ 3 ผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 : ขั้นตอนการวัดค่าของภาพ

ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ใช้วัดค่าที่ต้องการจากภาพ หลังจากการปรับปรุงรูปภาพในส่วนที่ 2 โดยในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจจับขอบของรูปร่างใดๆ ในภาพ เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม รูปร่างวงกลม เป็นต้น แต่ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการตรวจจับภาพของรูปร่างที่เป็นวงกลมเท่านั้น จากนั้น ขั้นตอนถัดไป คือ การวัดค่าพิกัดศูนย์กลางของรูปวงกลมที่ถูกตรวจจับได้ในภาพ โดยจะทำการวัดค่าพิกัดของรูปภาพในหน่วยของพิกเซล (Pixel Unit)

จากการทดสอบตัวซอฟต์แวร์ในเบื้องต้น พบว่าตัวซอฟต์แวร์มีการทำงานที่ตรงตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง สามารถหาพิกัดตำแหน่งของศูนย์กลางของภาพวงกลมได้ ดังแสดงตามรูปที่ 3.4 (ก) และ 3.4 (ข)

(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการทดสอบซอฟต์แวร์เบื้องต้นที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร
(ก) ตำแหน่งเริ่มต้น (ข) ตำแหน่งเป้าหมาย

3.2 การสร้างตัวต้นแบบของระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยใช้กล้องถ่ายภาพและซอฟต์แวร์ตรวจจับและคัดแยกภาพติดตั้งบนเครื่องจักร

ในการสร้างตัวต้นแบบของระบบการการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล ได้แบ่งองค์ประกอบของระบบออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ และแสดงดังรูปที่ 3.5

ส่วนที่ 1 : เครื่องจักรซีเอ็นซี แบบคาร์เทเซียน

เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเครื่องจักรที่มีอยู่ในภาควิชาอยู่แล้ว โดยทางผู้วิจัยได้ทำการต่อวงจรควบคุมเครื่องจักรด้วยแผงควบคุม Arduino และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 : แผงควบคุม Arduino

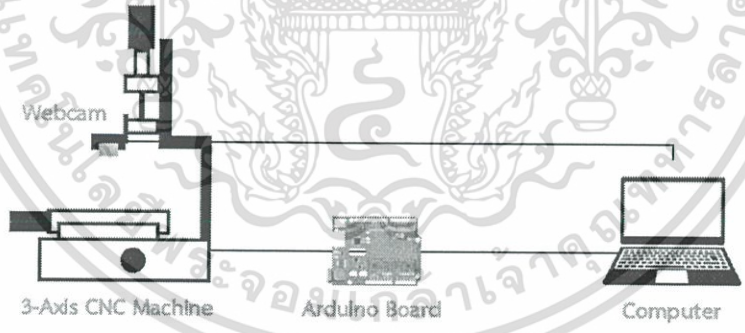
แผงควบคุม Arduino ถูกเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักรและคอมพิวเตอร์ ส่วนของการเขียนคำสั่งบนโปรแกรม Arduino ทางผู้วิจัยได้ทำการเขียนคำสั่งเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรในแต่ละแกน โดยเชื่อมต่อที่พอร์ต Serial และใช้ฟังก์ชัน Serial ในการส่งสัญญาณข้อมูล ในรูปแบบของตัวอักษรบนแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์แทนการกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ในแต่ละแกน

ส่วนที่ 3 : กล้องเว็บแคม

กล้องเว็บแคมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้กล้องเว็บแคมความละเอียดสูง ยี่ห้อ OKER รุ่น 386 โดยความละเอียดสูงสุด คือ 12 ล้านพิกเซล อัตราส่วนแสดงผลบนจอภาพสูงสุด 1920x1080 พิกเซล (Full HD) อัตราการแสดงผลภาพสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที

ส่วนที่ 4 : คอมพิวเตอร์หรือซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ

ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคัดแยกภาพ ผู้วิจัยได้เขียนคำสั่งที่เป็นขั้นตอนของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล และคอยรับข้อมูลภาพจากกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งไว้บนเครื่องจักร จากนั้นก็นำข้อมูลภาพมาผ่านกระบวนการประมวลผลทางภาพ เพื่อวิเคราะห์และวัดข้อมูลภาพออกมาเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของภาพวงกลมในหน่วยพิกเซล จากนั้นใช้ในการสั่งการมอเตอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งพิกัดของพิกเซลศูนย์กลางของภาพวงกลม



รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของตัวต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ

ในการออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ ซึ่งแบ่งเป็นความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งของศูนย์กลางของภาพวงกลมให้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด และความเร็วในการทำงานของตัวต้นแบบ ซึ่งจะต้องทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ในภาพรวมทั้งหมด โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัย คือ ความรู้และประสบการณ์ โดยสามารถวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อความแม่นยำได้ดัง ตารางที่ 3.1 และปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อความเร็วได้ดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำ

ปัจจัย	มีผล	ไม่มีผล	ไม่ทราบแน่ชัด
1. ความละเอียดของกล้อง	✓		
2. ตำแหน่งของภาพตัวอย่าง	✓		
3. ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ			✓
4. ผู้ทำการทดลอง		✓	
5. พื้นหลัง		✓	
6. ลักษณะรูปร่างของภาพตัวอย่าง	✓		

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว

ปัจจัย	มีผล	ไม่มีผล	ไม่ทราบแน่ชัด
1. ความละเอียดของกล้อง	✓		
2. ตำแหน่งของภาพตัวอย่าง	✓		
3. ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ			✓
4. ผู้ทำการทดลอง		✓	
5. พื้นหลัง		✓	
6. ลักษณะรูปร่างของภาพตัวอย่าง		✓	
7. ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์	✓		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบตัวต้นแบบ

ในการทดสอบครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกปัจจัยที่ไม่ทราบแน่ชัดมาทำการทดสอบ เพื่อต้องการทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบทั้งหมด ดังที่แสดงตาม ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและความเร็ว ปัจจัยที่ต้องการศึกษาเป็นปัจจัยเดียวกัน คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ โดยทำการวาดภาพวงกลมขึ้นมา 1 รูป แล้วทำการยึดติดบนแท่นของเครื่องจักรคาร์เทเซียนและติดตั้งกล้องบนแกน Z ของเครื่องจักร โดยกำหนดให้ปัจจัยดังกล่าว มี 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ ขนาดของภาพวงกลมจริง คือ วงกลม ขนาดรัศมี 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.6

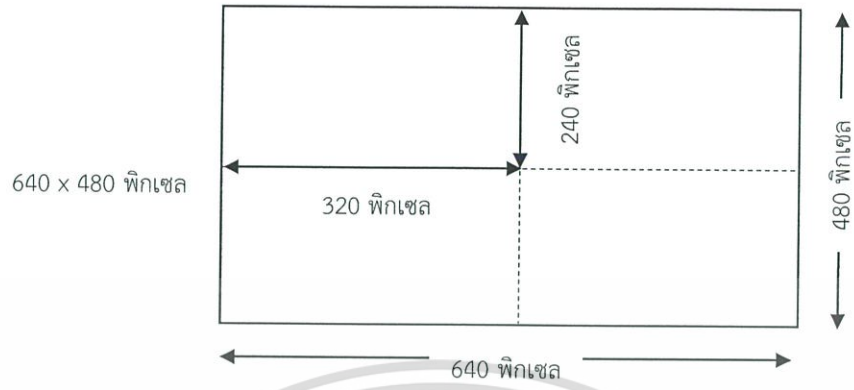
ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่ทำการศึกษาและระดับของปัจจัยในการทดลองศึกษาปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ		
	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	5 ซม.	7.5 ซม.	10 ซม.

รูปที่ 3.6 รูปที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดรัศมี 1 เซนติเมตร

การกำหนดช่วงของตำแหน่งพิกเซลที่ยอมรับได้ ผู้วิจัยทำการกำหนดช่วงพิกเซลที่ให้ค่าตำแหน่งศูนย์กลางของวงกลมที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งค่าที่กำหนดมา คือ ค่าศูนย์กลางของกล้องจากการคำนวณตาม ดังรูปที่ 3.7 โดยกำหนดให้ช่วงของค่า X = (319,321) และค่า Y = (239,241) หากค่าพิกัดพิกเซลที่ตรวจจับได้ของทั้ง 2 ค่า ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด โปรแกรมจะแสดงค่า Check Center = 2 แต่หากเมื่อค่าตำแหน่งทั้งสองอยู่ในช่วงดังกล่าว ค่า Check Center = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ค่าศูนย์กลางของกล้องจากการคำนวณ

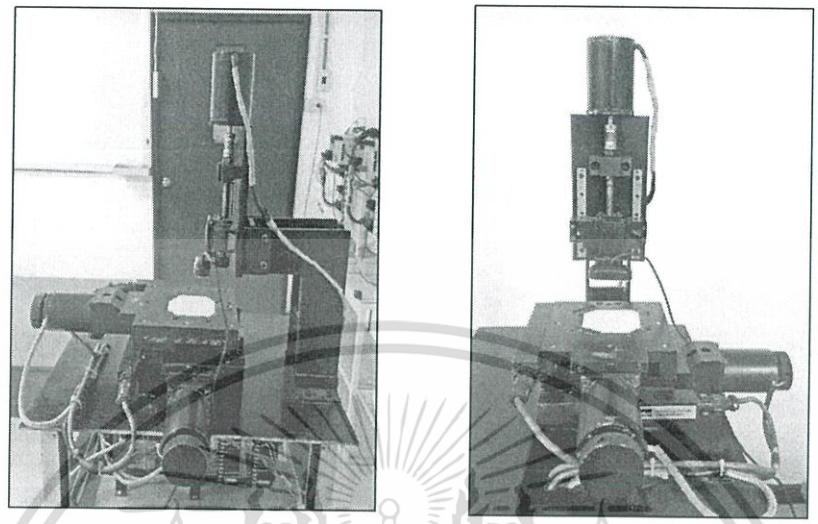
การจับภาพและการเคลื่อนของเครื่องจักรนั้นจะเคลื่อนที่ไปเป็นรอบๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อทำให้ศูนย์กลางของวงกลมได้ไวขึ้น แต่หากกล้องไม่สามารถตรวจจับภาพวงกลมได้ ค่าตำแหน่ง X และ Y จะแสดงผล X = -200 และ Y = -200 (เป็นค่าใดๆ ที่อยู่นอกเหนือจากระยะภาพที่กล้องตรวจจับได้)

การทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ในแต่ละระดับของปัจจัย โดยจะติดภาพให้ตำแหน่งของศูนย์กลางของภาพอยู่ทางด้านขวา 1 เซนติเมตร และขึ้นด้านบน 0.5 เซนติเมตร ของศูนย์กลางกล้อง แสดงดังรูปที่ 3.8 เพื่อดูเวลาของกระบวนการในการจะได้มาซึ่งข้อมูลนั้นใช้เวลาเท่าใด

รูปที่ 3.8 การตั้งค่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของกล้องถึงศูนย์กลางของภาพ (มุมมองแบบด้านบน)

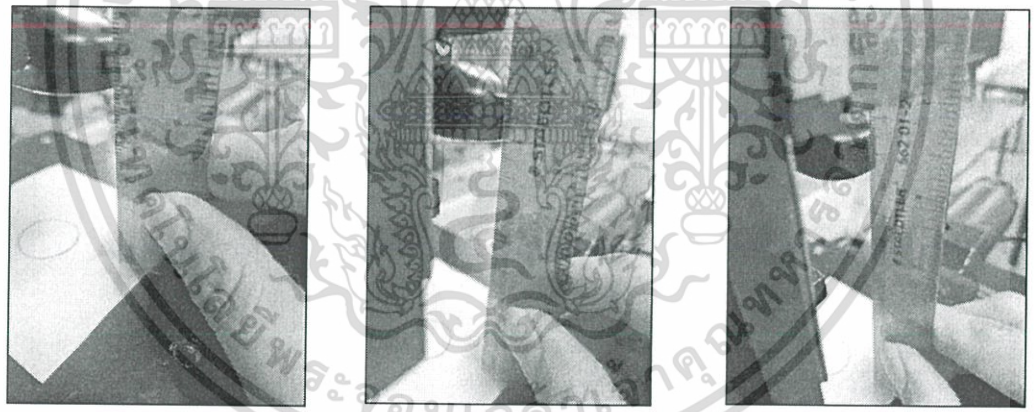
ก่อนเริ่มทำการทดสอบจะทำการตั้งค่าโดยเริ่มให้ระยะห่างระหว่างกล้องและภาพเริ่มต้นที่ระดับที่ 1 หรือเท่ากับ 5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.9 จากนั้นก็เริ่มทำการทดสอบและบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นทำการเปลี่ยนระดับของปัจจัยเป็นระดับที่ 2 หรือ 7.5 เซนติเมตร และระดับที่ 3 หรือ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ และบันทึกผล โดยต้องทำการวัดระยะห่างก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.9 การตั้งค่าก่อนทำการทดสอบตัวต้นแบบ
(ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านหน้า



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.10 การวัดระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ
(ก) ระยะ 5 เซนติเมตร (ข) ระยะ 7.5 เซนติเมตร (ค) ระยะ 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเก็บข้อมูลผลการทดสอบตัวต้นแบบ

การศึกษาและวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำจะใช้การวัดโดยวัดค่าตำแหน่งพิกัดในหน่วยพิกเซลที่ได้จากการทดสอบ เปรียบเทียบกับค่าตำแหน่งศูนย์กลางของกล้องจริง (X = 320, Y = 240) และวัดหาค่าความผิดพลาด ส่วนการวัดประสิทธิภาพความเร็ว จะใช้การวัดโดยการจับเวลาตั้งแต่เมื่อเริ่มกดปุ่มรันกระบวนการจนเครื่องจักรปรับตำแหน่งของศูนย์กลางของกล้องจนตรงกับศูนย์กลางของภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดจึงหยุดเวลา โดยจะทำการเก็บข้อมูลแยกกันในแต่ละค่าพิกัด Y และค่าพิกัด X และนำข้อมูลต่างๆ ไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลการวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำมีแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล แสดงดังตารางที่ 3.4 และการวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วมีแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ

ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	ค่ามาตรฐาน		การทดลองครั้งที่ 1		2		3		ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองครั้งที่			ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	1	2	3		
5 ซม.	320	240											
7.5 ซม.	320	240											
10 ซม.	320	240											

ตารางที่ 3.5 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วของตัวต้นแบบ

ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย (วินาที)
	1	2	3	
5 ซม.				
7.5 ซม.				
10 ซม.				

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบตัวต้นแบบ

หลังจากการเก็บข้อมูลการทดสอบในหัวข้อ 3.5 จากนั้นก็นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบว่าปัจจัยที่ไม่ทราบแน่ชัดนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบจริงหรือไม่ โดยใช้การทดสอบความแปรปรวน หรือการทดสอบ ANOVA ในโปรแกรม MINITAB 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในบทที่ 4 นี้จะเป็นการแสดงผลการดำเนินงานของการออกแบบตัวต้นแบบ และการทดสอบประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าความแม่นยำของตัวต้นแบบ

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าความเร็วของตัวต้นแบบ

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของตัวต้นแบบ

จากการทดสอบความแม่นยำของระบบต้นแบบ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผล คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ ซึ่งได้ทำการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม และผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าความแม่นยำ แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ (ค่าพิกัด X)

ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	ค่ามาตรฐาน		การทดลองครั้งที่						ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองครั้งที่ (ค่าพิกัด X)			ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	%ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
			1		2		3						
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	1	2	3		
5 ซม.	320	240	320.2783	240.8641	320.123	240.6814	320.3134	240.2325	0.2783	0.123	0.3134	0.2382	0.0744
7.5 ซม.	320	240	320.3024	239.5989	319.8457	240.5537	319.3576	240.7945	0.3024	0.1543	0.6424	0.3664	0.1145
10 ซม.	320	240	320.7711	239.3066	320.6879	239.4112	320.8812	239.2269	0.7711	0.6879	0.8812	0.5467	0.1708

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของตัวต้นแบบ (ค่าพิกัด Y)

ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	ค่ามาตรฐาน		การทดลองครั้งที่						ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองครั้งที่ (ค่าพิกัด Y)			ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	%ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
			1		2		3						
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	1	2	3		
5 ซม.	320	240	320.2783	240.8641	320.123	240.6814	320.3134	240.2325	0.8641	0.6814	0.2325	0.5927	0.2470
7.5 ซม.	320	240	320.3024	239.5989	319.8457	240.5537	319.3576	240.7945	0.4011	0.5537	0.7945	0.5831	0.2450
10 ซม.	320	240	320.7711	239.3066	320.6879	239.4112	320.8812	239.2269	0.6934	0.5888	0.7731	0.7653	0.3189

จากกตารางที่ 4.1 และ 4.2 หลังจากนั้นก็นำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINTAB จะได้ผลลัพธ์หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแม่นยำของค่าพิกัด X และค่าพิกัด Y แสดงดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความแม่นยำของค่าพิกัด X

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F	P
FactorX	2	1.3487	0.67435	8.33	0.019
Error	6	0.4858	0.08097		
Total	8	1.8345			

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความแม่นยำของค่าพิกัด Y

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F	P
FactorY	2	2.711	1.3555	7.91	0.021
Error	6	1.028	0.1713		
Total	8	3.739			

จากที่ทีมผู้วิจัยได้กำหนดช่วงความเชื่อมั่นของประสิทธิภาพของระบบต้นแบบไว้ที่ 95% ดังนั้นถ้าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่เราทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถ้าค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงปัจจัยนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ของความแปรปรวนของค่าความแม่นยำของค่าพิกัด X และค่าพิกัด Y ซึ่งมีค่า P-Value (X) = 0.019 และ P-Value (Y) = 0.021 ตามลำดับ จะพบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวคือ ระยะห่างระหว่างกล้องและภาพมีผลต่อค่าความแม่นยำของตัวต้นแบบ

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความเร็วของตัวต้นแบบ

จากการทดสอบความแม่นยำของระบบต้นแบบ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผล คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ ซึ่งได้ทำการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม และผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าความแม่นยำ แสดงดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วของตัวต้นแบบ

ระยะห่างระหว่างกล้องกับภาพ	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย (วินาที)
	1	2	3	
5 ซม.	28.0193	26.9412	29.3207	28.0937
7.5 ซม.	29.6838	30.2418	29.4896	29.8051
10 ซม.	34.0280	32.765	31.8840	32.8923

จากกตารางที่ 4.5 หลังจากนั้นก็นำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINTAB จะได้ผลลัพธ์หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเร็วของตัวต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบค่าความเร็วของตัวต้นแบบ

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F	P
Speed	2	35.486	17.7432	19.47	0.002
Error	6	5.467	0.9112		
Total	8	40.953			

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ของความแปรปรวนของค่าความเร็ว ซึ่งมีค่า P-Value = 0.002 จะพบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวคือ ระยะห่างระหว่างกล้องและภาพมีผลต่อค่าความเร็วของตัวต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำสร้างตัวต้นแบบการตรวจจับวัตถุและคัดแยกภาพเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล เพื่อใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรซีเอ็นซีแทนวิธีการปรับตั้งแบบดั้งเดิม โดยในการสร้างตัวต้นแบบทีมผู้วิจัยแบ่งส่วนของตัวต้นแบบออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ 1 คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อตรวจจับภาพ เขียนโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งใช้เทคนิคกระบวนการประมวลผลภาพดิจิตอล ส่วนที่ 2 คือ เครื่องจักรซีเอ็นซีที่เป็นแบบคาร์เทเชียนที่ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ส่วนที่ 3 คือ บอร์ด I-Duino UNO R3 โดยบอร์ดส่วนนี้ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี และใช้สื่อสารกับซอฟต์แวร์กับเครื่องจักร และส่วนสุดท้าย คือ กล้องเว็บแคม ซึ่งเป็นกล้องเว็บแคมแบบความละเอียดสูง ยี่ห้อ OKER รุ่น 386 โดยระบบต้นแบบนี้สามารถติดตั้งกับเครื่องจักรได้ง่าย ใช้แค่เพียงกล้องเว็บแคมและคอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้น หลังจากสร้างตัวต้นแบบเรียบร้อย ก็ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวต้นแบบทั้งประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและความเร็ว โดยทางทีมผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นเพื่อดูปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ พบว่ามี 1 ปัจจัยที่ไม่ทราบแน่ชัดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบหรือไม่ คือ ระยะห่างระหว่างกล้องและภาพ ทางทีมผู้วิจัยจึงทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะทำการบันทึกค่าพิกัด X และค่าพิกัด Y ของการทดลองแต่และครั้ง ซึ่งระยะห่างระหว่างกล้องและภาพที่ใช้ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร ในแต่ละระดับจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นบันทึกผล โดยในการทดสอบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำจะคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพด้านความเร็วจะจับเวลาตั้งแต่เริ่มทดสอบจนตำแหน่งของศูนย์กลางภาพที่ใช้ทดสอบไปถึงตำแหน่งที่กำหนด โดยผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำพบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งพิกัดจริงเทียบกับผลการทดลอง ในค่าพิกัด X ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 0.0744%, 0.1145% และ 0.1708% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด Y ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 0.2470%, 0.2450% และ 0.3189% ตามลำดับ และการทดสอบประสิทธิภาพด้านความความเร็ว พบว่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่หาศูนย์กลางของวงกลมที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร คือ 28.0937 วินาที 29.0851 วินาที และ 32.8923 วินาที ตามลำดับ และจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ช่วงความเชื่อมันที่ 95% แสดงว่าระยะห่างระหว่างกล้องและภาพ มีนัยสำคัญทางสถิติหรือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง

จากการทดลองเกิดข้อจำกัดในการทดลองทำให้ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลภาพ มีประสิทธิภาพที่ไม่สูงมาก ทำให้การบันทึกค่าพิกัดไม่เกิดขึ้นแบบเรียลไทม์ เพราะ คอมพิวเตอร์ไม่สามารถประมวลผลได้ทัน ทำให้ทางทีมผู้วิจัยต้องลดประสิทธิภาพของกล้องเว็บแคมลงด้วย

2. กล้องเว็บแคมความละเอียดสูงที่ใช้ในการทดลอง ถึงแม้จะมีความละเอียดที่สูงแต่ก็อาจจะยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและข้อจำกัดของในการทดลอง ทางทีมผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. จากการทดลองพบว่าค่าความเคลื่อนของตำแหน่งพิกัดที่เกิดขึ้นมาจากหลายปัจจัย โดยหนึ่งในนั้น คือ การติดตั้งกล้องที่อาจจะจับยึดไม่แน่นพอ ทำให้เกิดการสั่นของกล้องระหว่างที่เครื่องจักรทำงาน

2. เลือกใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลที่มากกว่านี้ และกล้องเว็บแคมควรเลือกใช้กล้องที่มีความละเอียดสูงกว่านี้ เช่น กล้องถ่ายภาพ หรือกล้องบันทึกวิดีโอ

5.4 งานในอนาคต

ในอนาคตอาจจะมีการใช้อุปกรณ์ที่เป็นแบบไร้สายมากขึ้น สามารถประมวลผภาพผ่านระบบคอมพิวเตอร์ด้วยอินเตอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wireless Internet) หรือที่เรียกว่า Internet of Thing ทำให้สามารถติดตั้งระบบได้ง่ายยิ่งขึ้นและใช้งานได้สะดวกขึ้น รวมไปถึงมีการพัฒนาบอร์ด Arduino ที่มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น ก็จะช่วยให้การประมวลผลหรือควบคุมเครื่องจักรสามารถทำได้แบบซับซ้อนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] AppliCAD Public Company Limited (เว็บไซต์), 2016. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot Type). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.applicadthai.com/articles/หุ่นยนต์อุตสาหกรรม-industrial-robot-type/

[2] ทันพงษ์ ภู่รักษ์. ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf

[3] Tabs-chord (บล็อกเว็บไซต์). ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://knowledge58.blogspot.com/2015/01/blog-post_98.html

[4] ทันพงษ์ ภู่รักษ์. Arduino IDE ซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรมภาษา C. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_2.pdf

[5] Wikipedia the Free Encyclopedia. Numerical Control (Website). [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control

[6] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน, 2544. เทคโนโลยี CNC การโปรแกรมและการใช้งานสำหรับเครื่องกลึงและเครื่องกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://library.dip.go.th/multim1/ebook/IM%20กสอ12%20ส19.pdf

[7] เทคโนโลยี ซีเอ็นซี (บล็อกเว็บไซต์). เกี่ยวกับ CNC. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :http://thecnctechnology.blogspot.com/p/about-cnc.html

[8] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, 2549. การประมวลผลภาพดิจิตอล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 24-28

[9] สมเกียรติ อุดมหรรษากุล, 2550. การประมวลผลภาพเบื้องต้น, คณะวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 93-95

[10] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (เว็บไซต์). แมตแล็บ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/แมตแล็บ

[11] Montgomery, D.C, 2009. Design and Analysis of Experiments (International Student Version). The United States of America: John Wiley and Sons, Inc.

[12] นลินภัสร์ ปรวัฒน์ปรียกร. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf

[13] สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, 2542. การวางแผนการทดลอง. ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] วริษา วิสิทธิพานิช. Minitab. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf

[15] ThailandIndustry.com (เว็บไซต์), 2011. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab 16. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/news_preview.php?cid=13107

[16] Arduino Projects (เว็บไซต์). การติดตั้ง Driver Arduino. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://arduinoprojects.in.th/การติดตั้ง-driver-arduino/

[17] ARDUINO.codemobiles (เว็บไซต์), 2011. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab 16. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.arduino.codemobiles.com/article/12/การใช้งาน-esp8266-กับบอร์ด-arduino-uno-แบบพื้นฐา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คำสั่งโปรแกรม MATLAB

1. คำสั่งที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพ

```
clc
clear
tic
workingDir = tempname;
mkdir(workingDir)
mkdir(workingDir,'images')
p=1;
s1= serial('COM3','BaudRate',115200);
set(s1,'RequesttoSend','off','DataBits',8,'Stopbits',1,'Parity','none');
set(s1,'DataTerminalReady','off');
fopen(s1);
obj = imaq.VideoDevice('winvideo',3,'MJPG_640x480');
set(obj,'ReturnedColorSpace','rgb');
figure('tag','webcam');
while(true)
    frame=step(obj);
    framegray = rgb2gray(frame);
    frameedge = edge(framegray,'log');
    frameedge = bwareaopen(frameedge,50);
    a = strel('disk',2);
    frameedge = imclose(frameedge,a);
    [centersBright,radiiBright] = imfindcircles(frameedge,[80
180],'ObjectPolarity','bright','Sensitivity',0.92,'EdgeThreshold',0.1);
    length(radiiBright);
    if(isempty(centersBright))
        x = -200;
        y = -200;
    else
        x = centersBright(1,1);
        y = centersBright(1,2);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 end
 r = ['round number = ',num2str(p)];
 b = ['x = ',num2str(x),'   ','y = ',num2str(y)];
 disp(r)
 disp(b)
 imshow(frameedge)
 if(319<x)&&(x<321)&&(239<y)&&(y<241)
 hBright = viscircles(centersBright, radiiBright,'Color','g');
 c=1;
 else
 hBright = viscircles(centersBright, radiiBright);
 c=2;
 end
 c1 = ['check center = ',num2str(c)];
 disp(c1)
 filename = [sprintf('%03d',p) '.jpg'];
 fullname = fullfile(workingDir,'images',filename);
 imwrite(frameedge,fullname)
 if(x>=0)&&(x<319)
 xx = round((320-x)*5);
 for i=(1:xx)
 fwrite(s1,'d');
    for j=(1:4000000)
    end
 end
 elseif(x>321)&&(x<=640)
 xx = round((x-320)*5);
 for i=(1:xx)
 fwrite(s1,'a');
    for j=(1:4000000)
    end
 end
 else
 xx=0;
 for i=(1:1)
 fwrite(s1,'');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end
    end
    if(y>=0)&&(y<239)
    yy = round((240-y)*5);
    for i=(1:yy)
    fwrite(s1,'s');
        for j=(1:4000000)
        end
    end
    elseif(y>241)&&(y<=480)
    yy = round((y-240)*5);
    for i=(1:yy)
    fwrite(s1,'w');
        for j=(1:4000000)
        end
    end
    else
    yy = 0;
    for i=(1:1)
    fwrite(s1,'');
    end
    end
    timeRound = toc;
    display(timeRound)
    if (c==1)
        close(figure)
        break
    end
    f=findobj('tag','webcam');
    if(isempty(f))
        close(gcf)
        break
    end
    pause(0.125)
    p=p+1;
end
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fclose(s1);
imageNames = dir(fullfile(workingDir,'images','*.jpg'));
imageNames = {imageNames.name}';
v=VideoWriter('video.avi');
v.FrameRate=0.5;
open(v)
for p =1:length(imageNames)
    img=imread(fullfile(workingDir,'images',imageNames{p}));
    writeVideo(v,img)
end
close(v)
timeElapsed = toc;
display(timeElapsed)
release(obj),
```

2. คำสั่งสำหรับตรวจหากล้องที่พร้อมใช้งานภายในเครื่องคอมพิวเตอร์หรือที่เชื่อมต่ออยู่

```
clc
clear
webcamlist
```

3. คำสั่งสำหรับหาค่า adaptorname

```
clc
clear
imaqInfo = imaqhwinfo;
imaqInfo.InstalledAdaptors
```

4. คำสั่งสำหรับหาค่า deviceid และ format

```
clc
clear
hwInfo = imaqhwinfo('winvideo')
device1 = hwInfo.DeviceInfo (1)
device2 = hwInfo.DeviceInfo (2)
device3 = hwInfo.DeviceInfo (3)
device3.SupportedFormats // เขียนเพิ่มหลังรู้ค่า deviceid ของ เว็บแคม
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการตรวจหากล้องที่พร้อมใช้งานภายในเครื่องคอมพิวเตอร์หรือที่เชื่อมต่ออยู่

หลังจากการต่อกล้องเว็บแคมและใช้คำสั่งในการตรวจสอบอุปกรณ์เว็บแคมในโปรแกรมแมตแล็บทำให้ได้ผล ดังนี้

```
ans =

3×1 cell array

    {'AF FULL HD 1080P Webcam'      }
    {'Lenovo EasyCamera'            }
    {'CyberLink Webcam Splitter 7.0'}
```

ซึ่งผลที่ได้นั้นทำให้ทราบว่ากล้องเว็บแคม OKER 386 นั้นสามารถเชื่อมต่อและใช้งานได้ในโปรแกรมแมตแล็บ โดยชื่อของกล้องเว็บแคม OKER 386 ในโปรแกรมแมตแล็บ คือ AF FULL HD 1080P Webcam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการหาค่า adaptorname, deviceid และ format สำหรับคำสั่ง imaq.videodevice

1. ไวยากรณ์ของคำสั่ง imaq.videodevice

คำสั่ง imaq.videodevice มีไวยากรณ์ ดังนี้

```
obj = imaq.VideoDevice(adaptorname, deviceid, format)
```

2. ตัวอย่างการหาค่า adaptorname สำหรับคำสั่ง imaq.videodevice

จากใช้คำสั่งสำหรับหาค่า adaptorname ในโปรแกรมแมตแล็บทำให้ได้ผล ดังนี้

```
ans =
1×1 cell array
    {'winvideo'}
```

ซึ่งผลที่ได้นั้นทำให้ทราบว่า ค่า adaptorname คือ winvideo

3. ตัวอย่างการหาค่า deviceid และ format สำหรับคำสั่ง imaq.videodevice

จากใช้คำสั่งสำหรับหาค่า deviceid และ format ในโปรแกรมแมตแล็บทำให้ได้ผล ดังนี้

```
hwInfo =
struct with fields:
        AdaptorDllName:
        'C:\ProgramData\MATLAB\SupportPackages\R2018a\toolbox\imaq\supportpack
        ages\genericvideo\adaptor\win64\mwwinvideoimaq.dll'
        AdaptorDllVersion: '5.4 (R2018a)'
        AdaptorName: 'winvideo'
        DeviceIDs: {[1]  [2]  [3]}
        DeviceInfo: [1×3 struct]
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

device1 =

struct with fields:

DefaultFormat: 'MJPG_1280x720'

DeviceFileSupported: 0

DeviceName: 'Lenovo EasyCamera'

DeviceID: 1

VideoInputConstructor: 'videoinput('winvideo', 1)'

VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('winvideo', 1)'

SupportedFormats: {1×12 cell}

device2 =

struct with fields:

DefaultFormat: 'RGB24_320x240'

DeviceFileSupported: 0

DeviceName: 'CyberLink Webcam Splitter 7.0'

DeviceID: 2

VideoInputConstructor: 'videoinput('winvideo', 2)'

VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('winvideo', 2)'

SupportedFormats: {1×18 cell}

device3 =

struct with fields:

DefaultFormat: 'MJPG_1024x576'

DeviceFileSupported: 0

DeviceName: 'AF FULL HD 1080P Webcam'

DeviceID: 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        VideoInputConstructor: 'videoinput('winvideo', 3)'

        VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('winvideo', 3)'

        SupportedFormats: {1×26 cell}

ans =

1×26 cell array

Columns 1 through 5

{'MJPG_1024x576'}    {'MJPG_1280x720'}    {'MJPG_1280x960'}    {'MJPG_1392x768'}
{'MJPG_1600x896'}

Columns 6 through 10

{'MJPG_160x120'}    {'MJPG_176x144'}    {'MJPG_1920x1080'}    {'MJPG_320x240'}
{'MJPG_352x288'}

Columns 11 through 15

{'MJPG_640x480'}    {'MJPG_800x600'}    {'MJPG_960x720'}    {'YUY2_1024x576'}
{'YUY2_1280x720'}

Columns 16 through 20

{'YUY2_1280x960'}    {'YUY2_1392x768'}    {'YUY2_1600x896'}    {'YUY2_160x120'}
{'YUY2_176x144'}

Columns 21 through 25

{'YUY2_1920x1080'}    {'YUY2_320x240'}    {'YUY2_352x288'}    {'YUY2_640x480'}
{'YUY2_800x600'}

Column 26

{'YUY2_960x720'}
```

จากผลลัพธ์จะเห็นว่ามีอุปกรณ์ 3 อุปกรณ์ deviceid ของกล้องเว็บแคม OKER 386 คือ 3 และมี format ให้เลือกใช้ทั้งหมด 26 ค่า การเลือกใช้ format ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สามารถรองรับได้ โดยในคำสั่งที่ใช้สำหรับตัวต้นแบบ เลือกใช้ MJPG_640x480 เนื่องจากคอมพิวเตอร์แนะนำให้เปิดใช้ขนาดภาพจากกล้องเว็บแคมได้สูงสุด 640x480 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การหาค่า port, name และ value สำหรับคำสั่ง serial

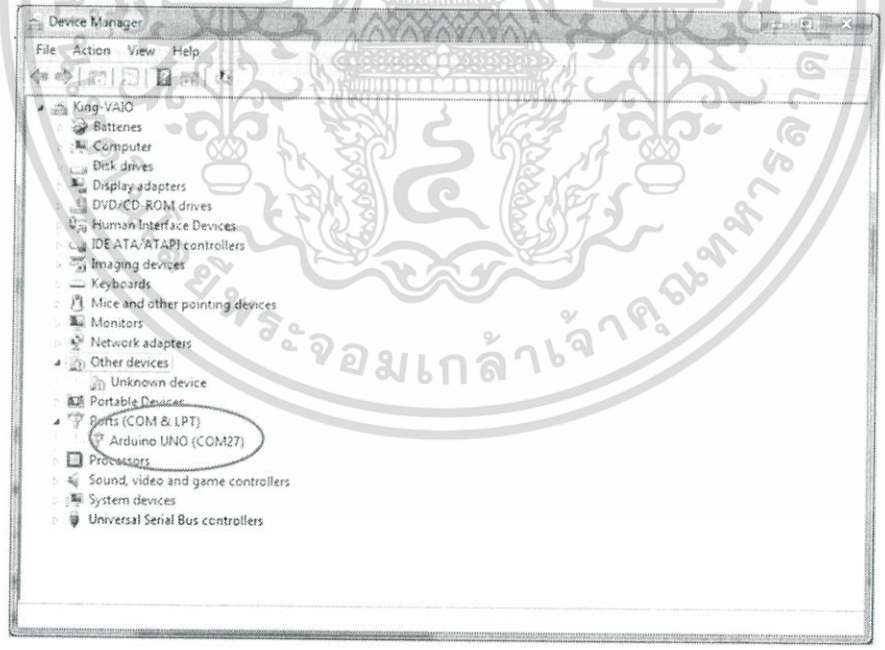
1. ไวยากรณ์ของคำสั่ง serial

คำสั่ง serial มีไวยากรณ์ ดังนี้

```
s = serial('port', Name, Value)
```

2. วิธีในการหาค่า port

1. เชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์
2. คลิกขวา My Computer
3. เลือก Properties
4. เลือก Device Manager



รูปที่ ง.1 ตัวอย่างตำแหน่งค่า port [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตั้งค่า Name

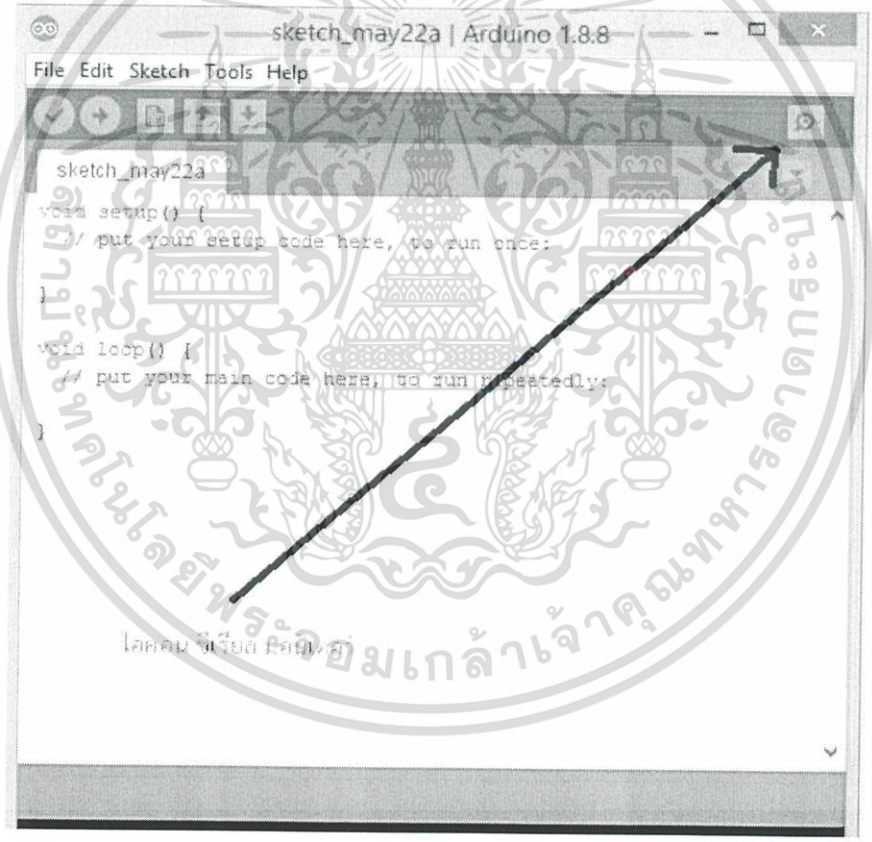
ให้ใช้ Name คือ 'BaudRate' เพื่อให้การส่งบิตเป็นจำนวนบิตต่อวินาที

4. วิธีในการหาค่า Value

1. เชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์

2. เปิดโปรแกรม Arduino

3. คลิกไอคอน Serial Monitor (มุมขวาบน) ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 ปุ่มไอคอน Serial Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าที่ต้องการอยู่มุมล่างซ้าย ดังรูปที่ ง.3

รูปที่ ง.3 ตัวอย่างตำแหน่งค่า value [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้