



การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ

นายณพงษ์ กุลคณา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ปีการศึกษา 2562



การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ

นายณพงษ์ กุลคณา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์



Robot Control for Picking Up Objects using 2D Vision Camera

Napong Kulkana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Graduate Study, Faculty of Engineering

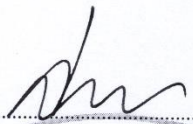
Southeast Asia University

Academic Year 2019

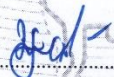
Copyright by Southeast Asia University

ชื่อวิทยานิพนธ์ การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ
ชื่อนักศึกษา นายณพงษ์ กุลคณา
รหัสนักศึกษา 6144010002
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.บุญเลิศ สือเฉย

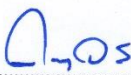
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รศ. ศุภี บรรจงจิตร)


..... กรรมการ
(รศ. ดร. อธิพงษ์ ชัยสายัณห์)


..... กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
(รศ. ดร. บุญเลิศ สือเฉย)

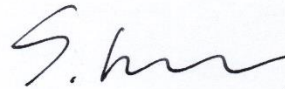
วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์


..... คณบดี
(ดร. ภาณุวัฒน์ แตระกุล)

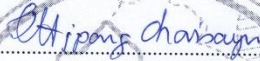
วันที่สอบ: 6 สิงหาคม พ.ศ. 2563

Thesis Title Robot Control for Picking Up Objects Using 2D Vision Camera
Student Name Mr.Napong Kulkana
Student ID 6144010002
Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr.Boonlert Suechoey

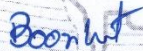
Examining Committee



..... Chairman
(Assoc. Prof. Sulee Bunjongjit)



..... Member
(Assoc. Prof. Dr.Ittipong Chaisayun)



..... Member (Thesis Advisor)
(Assoc. Prof. Dr.Boonlert Suechoey)

This Thesis has been approved to be a Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Graduate Study, Faculty of Engineering



..... Dean
(Dr.Panuwat Taerakul)

Examination Date: August 6, 2020

ชื่อวิทยานิพนธ์	การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ
ชื่อนักศึกษา	นายณพงษ์ กุลคณา
รหัสนักศึกษา	6144010002
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.บุญเลิศ สือเฉย

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาการสร้างหุ่นยนต์แบบใช้กล้องในการมองเห็นแบบ 2 มิติ เพื่อใช้ในการหยิบจับวัตถุ แล้วทำการศึกษา ประสิทธิภาพในการใช้กล้องกับหุ่นยนต์ในการวางวัตถุให้มีความแม่นยำในการวางวัตถุตามจุดที่ได้กำหนดไว้ว่า เมื่อใช้กล้องในการช่วยในการวางวัตถุของหุ่นยนต์แล้วหุ่นยนต์สามารถวางวัตถุได้ตรงจุดที่กำหนด และมีความคลาดเคลื่อนจากจุดที่กำหนดเป็นระยะเท่าไร(มิลลิเมตร) และในการออกแบบและจัดทำหุ่นยนต์โดยใช้กล้องในครั้งนี้ทางผู้จัดทำ ทำเพื่อเป็นการทดแทนแรงงานมนุษย์ในการทำงานเพราะหุ่นยนต์มีความแม่นยำในการทำงานและมีความรวดเร็วในการทำงานมากกว่ามนุษย์ งานวิจัยนี้จึงได้เน้นไปที่การวิจัย พัฒนาแขนกลต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อใช้ในการหยิบจับชิ้นงาน โดยใช้กล้องในการมองเห็นตำแหน่งของชิ้นงานแทนเพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือการสร้างกลไกที่สามารถควบคุมได้อัตโนมัติในการจับ วัตถุและการใช้โปรแกรม Vision ในการสร้างส่วนของ การมองเห็นของเครื่องจักร และต้องให้การทำงานทั้งสองส่วนนั้นสอดคล้องประสานการทำงานอย่างถูกต้องไปพร้อมกัน และมีความเร็ว เป็นที่พอใจของทางบริษัท ซึ่งรายละเอียดของตัวเลขเหล่านี้ไม่สามารถเปิดเผยได้เนื่องจากเป็น ความลับในกระบวนการผลิตของบริษัท

Thesis Title	Robot Control for Picking Up Objects using 2D Vision Camera
Student Name	Napong Kulkana
Student ID	6144010002
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Boonlert Suechoey

Abstract

This research presents the development of using a camera with a 2D vision robot arm for handling object and study the efficiency of using cameras and robots to place objects with the accuracy of placing objects at specified points. This research focuses on the research and development of a prototype robot that can actually be used for grabbing work pieces by using the camera to see the position of the workpiece instead to analyze the product integrity. There are two important components: creating a mechanism that can be controlled automatically to capture the object and the use of vision programs to create machine vision and having both work parts correctly and coordinated with satisfactory speed. From the test of developed robot control, it shows satisfactory results that can be used effectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณา ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือ ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินการงานวิจัย ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเลิศ สือเฉย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณามอบหมายงานวิจัยอันเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม ความรู้ ความสามารถ ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้กำลังใจด้วยดี เสมอมา

คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ทุกท่านที่ให้ความรู้จากการ เข้าเรียนในรายวิชาบัณฑิตศึกษา ถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

เพื่อน พี่ น้อง บัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจตลอดเวลาที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์แห่งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

ณพงษ์ กุลคณา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย/กรอบแนวคิด	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
 บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม.....	4
2.3 แขนกลสเกล่า (Scalar Robot)	5
2.4 PLC (Programmable logic controller)	6
2.5 การประมวลผลภาพ	12
2.6 การใช้งานโปรแกรม EPSON RC	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 กล่าวนำ	17
3.2 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์.....	18
3.3 การควบคุมการทำงานของระบบการตรวจจับชิ้นงานด้วยภาพ.....	19
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการอภิปราย	
4.1 วิธีการทดลอง	28
4.2 สรุป	98
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก ก รายละเอียดแผนกลและโปรแกรม.....	102
ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ตีพิมพ์และเผยแพร่.....	137
ประวัติผู้เขียน.....	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางการแยกชนิดของหุ่นยนต์ตามลักษณะการหมุน.....	5
2.2 ตารางการแบ่งแยกกลุ่มหุ่นยนต์ตามลักษณะการหมุน	5
2.3 ตัวอย่างของภาษาบูลีนที่ใช้กับ PLC ยี่ห้อ OMRON รุ่น CPM2A	7
4.1 ตารางค่ามาสเตอร์ในการถ่ายครั้งแรก.....	29
4.2 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 1	29
4.3 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 2	30
4.4 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 3.....	31
4.5 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 4.....	32
4.6 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 1	33
4.7 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 2	34
4.8 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 3	35
4.9 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 4.....	36
4.10 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 1.....	37
4.11 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 2.....	38
4.12 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 3.....	39
4.13 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 4	40
4.14 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 1.....	41
4.15 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 2.....	42
4.16 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 3.....	43
4.17 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 4.....	44
4.18 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 1.....	45

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 2.....	47
4.20 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 3.....	48
4.21 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 4.....	49
4.22 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 1.....	50
4.23 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 2.....	51
4.24 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 3.....	52
4.25 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 4.....	53
4.26 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 1.....	54
4.27 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 2.....	55
4.28 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 3.....	56
4.29 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 4.....	57
4.30 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 1.....	58
4.31 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 2.....	59
4.32 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 3.....	60
4.33 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 4.....	61
4.34 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 1.....	62
4.35 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 2.....	63
4.36 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 3.....	64
4.37 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 4.....	65
4.38 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 1.....	66
4.39 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 2.....	67

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.63 ตารางค่าเฉลี่ยรวมของการถ่ายได้ในแต่ละรอบ.....	91
4.64 ตารางค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวางของแต่ละหัวดูด.....	92
4.65 ตารางค่าเฉลี่ยชดเชยของหัวดูดในแต่ละรอบของการทดลอง.....	93
4.66 ตารางตำแหน่งวางวัตถุครั้งแรก.....	94
4.67 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแต่ละหัวดูด	94

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แขนกลสเกล่า (Scalar Robot).....	6
2.2 ตัวอย่างโปรแกรมภาษาแลตเตอร์.....	8
2.3 ตัวอย่างภาษาบล็อก	8
2.4 เปรียบเทียบขนาดของ PLC และตัวตั้งเวลา.....	9
2.5 เปรียบเทียบวงจรรีเลย์และวงจรที่ใช้กับ PLC.....	10
2.6 วงจรที่ใช้ (PLC) ในการควบคุม	10
2.7 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม	11
2.8 หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานของโปรแกรม Epson RC	14
2.9 ตัวจัดการหุ่นยนต์ในการควบคุม Robot.....	15
2.10 ตัวอย่าง Vision Guide เพื่อใช้ในการจับภาพ.....	15
3.1 รูปแบบแขนกลในการทำงานที่ใช้โปรแกรมในการออกแบบ	17
3.2 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์.....	18
3.3 หน้าต่างโปรแกรม Epson RC.....	19
3.4 แสดงเชื่อมต่อระบบวิทัศน์ (Vision) และนำโปรแกรมเข้า.....	20
3.5 แสดงหน้าต่างเมื่อเชื่อมต่อกับกล้องสำเร็จและนำโปรแกรมเข้ามาสำเร็จ.....	21
3.6 แสดงหน้าต่างเมื่อนำกระดาษที่ปรี้นวงกลมติดตรงตำแหน่งชิ้นงาน.....	21
3.7 แสดงการสร้างกรอบให้กับวัตถุ.....	22

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 ขั้นตอนการกด Teach model.....	22
3.9 ขั้นตอนการกด Show model.....	23
3.10 ขั้นตอนการลบเส้นเพื่อเพิ่มเส้นคมชัดให้กับวัตถุ	23
3.11 แสดงการ Teach แขนกลด้วยหัว Calibrate.....	24
3.12 แสดงหน้าต่างการ Run เมื่อทำการ Teach เสร็จ.....	24
3.13 ตัวอย่างในการตรวจจับขอบภาพแบบ.....	25
3.14 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision).....	26
3.15 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision).....	26
3.16 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision).....	27
4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 1.....	95
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 2.....	96
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 3.....	97
4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 4.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนิน ชีวิตและการทำงานของมนุษย์มากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกซึ่งใน ระยะเวลาไม่ถึง ๑๐ ปี การพัฒนาเทคโนโลยีจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและแพร่หลาย ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และทางด้านการแพทย์ โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมและช่วยลดปัญหา มลพิษ ทางด้านอุตสาหกรรม ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นไปอย่างรวดเร็ว

การใช้เครื่องจักรในการหยิบวางวัตถุนั้น ในงานระบบของอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรในการหยิบวางหลายรูปแบบและมีหลายประเภทได้แก่งานที่เป็นระบบของ ออโตเมชัน และงานในส่วนของโรบอท ซึ่งในงานส่วนนี้ต้องอาศัยความแม่นยำในการวางวัตถุของงานเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นและเพิ่มความรวดเร็วความแม่นยำ แต่ในงานวิจัยนี้จะเน้นกล่าวถึงความแม่นยำในการวางวัตถุของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

(1) หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (fixed robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกล สามารถหยิบและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น มักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

(2) หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (mobile robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ เพราะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง โดยการใช้ล้อหรือการใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ปัจจุบันยังเป็งานวิจัยที่ทำการศึกษาอยู่ภายในห้องทดลอง เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์สำรวจดาวอังคาร ขององค์การนาซ่า เป็นต้น

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิควิธีการใช้กล้องควบคุมหุ่นยนต์ในการวางวัตถุ โดยการใช้กล้องเพื่อตรวจรู้ค่าความคลาดเคลื่อนว่าวัตถุเคลื่อนไปทางแกนเอ็กซ์ระยะกี่มิลลิเมตร ไปทางแกนวายมีระยะกี่มิลลิเมตรและวัตถุได้หมุนไปกี่องศา หลังจากนั้นเมื่อได้ค่ามาแล้วหุ่นยนต์จะนำค่าที่ได้จากการถ่ายมาลบกับค่าที่ไปวางวัตถุตามระยะที่กำหนด และทำให้รู้ถึงค่าความคลาดเคลื่อนของตัวหุ่นยนต์ที่ได้นำวัตถุไปวางตามระยะที่กำหนด

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่ [3],[4],[5],[6] พบว่าการนำเทคโนโลยีการickl่องเพื่อมาพัฒนาในการหีบวางของแขนกลเพื่อให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจพฤติกรรมในเรื่องของแสงที่เป็นตัวหลักในการทำให้ภาพที่ถ่ายนั้นมีความคมชัด ซึ่งมีผลโดยตรงกับความแม่นยำในการหีบและวางวัตถุของแขนกล

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดสอบการickl่องในการควบคุมแขนกลแบบ 2 มิติและเก็บข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในแนว แกนเอ็ก, แกนวาย, และองศาของชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรม Epson ในการเขียนโปรแกรมแขนกล บันทึกตำแหน่งของแขนกลในตำแหน่งหีบ วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน วางวัตถุ และใช้ Epson Vision ในการสร้างโปรแกรมickl่องเพื่อให้แขนกลวางวัตถุลงบนเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและเรียนรู้หลักการทำงานของแขนกลสกลา
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของหุ่นยนต์ที่ทำงานร่วมกับickl่องในการคำนวณการวางวัตถุ
- 1.2.3 เพื่อเรียนรู้หลักการทำงานของระบบควบระหว่างโรบอท พีแอลซี และickl่องจับวัตถุ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาโปรแกรม Vision ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ

1.3 สมมุติฐาน

- 1.3.1 รู้หลักการทำงานของแขนกลสกลา
- 1.3.2 รู้หลักการทำงานของหุ่นยนต์ที่ทำงานร่วมกับickl่องในการคำนวณการวางวัตถุ
- 1.3.3 รู้แนวทางการทำงานของระบบควบระหว่างโรบอท พีแอลซี และickl่องจับวัตถุ
- 1.3.4 รู้แนวทางโปรแกรม Vision ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัยวิทยานิพนธ์

1.4.1 ออกแบบโปรแกรม PLC ในการควบคุมและตัดสินใจในการทำงานของโรบอท ผ่านระบบ TCP/IP

1.4.2 ออกแบบการทำงานของโปรแกรม Vision ที่สามารถตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ

1.4.3 การควบคุมเป็นแบบการเขียนโปรแกรมควบคุม การใช้งานของโรบอท พีแอลซี และโปรแกรมickl่อง

1.4.4 สามารถวิเคราะห์รูปแบบการทำงานร่วมกันของแขนกลและโปรแกรม Vision ได้

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษารูปแบบการทำงานของตัวแขนกลสี่แกน

1.5.2 ออกแบบโปรแกรมแขนกลที่ทำงานร่วมกับกล้องในการคำนวณการวางวัตถุ

1.5.3 ออกแบบโปรแกรมพีแอลซี ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

1.5.4 ออกแบบโปรแกรม Vision ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ

1.5.5 สร้าง Touchscreen เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของแขนกลและเซอร์โวมอเตอร์

1.5.6 ประเมินผลการทดลองและปรับปรุงแก้ไข

1.5.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถใช้ Robot ที่สามารถทำงานได้จริงในงานอุตสาหกรรม

1.6.2 ได้โรบอทหยิบจับที่มีการวางวัตถุที่แม่นยำ คลาดเคลื่อนน้อย

1.6.3 สามารถพัฒนาความรู้ในด้านการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของแขนกลร่วมกับโปรแกรมกล้อง

1.6.4 สามารถพัฒนาความรู้ในด้านโปรแกรม Vision ในการประยุกต์ใช้ตรวจจับวัตถุหรือชิ้นงานต่างๆ

1.6.5 เข้าใจความสัมพันธ์ของโรบอท พีแอลซีและกล้อง รวมทั้งผลกระทบจากวัตถุที่ต้องไปหยิบและตำแหน่งการวางที่เปลี่ยนแปลง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนิน ชีวิตและการทำงานของมนุษย์มากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกซึ่งใน ระยะเวลาไม่ถึง ๑๐ ปี การพัฒนาเทคโนโลยีจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและแพร่หลาย ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และทางการแพทย์ โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการ ใช้พลังงานทดแทนที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมและช่วยลดปัญหา มลพิษ ทางด้านอุตสาหกรรม ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นไปอย่างรวดเร็ว

การใช้เครื่องจักรในการหยิบวางวัตถุนั้น ในงานระบบของอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรในการหยิบวางหลายรูปแบบและมีหลายประเภทได้แก่งานที่เป็นระบบของ ออโตเมชัน และงานในส่วนของโรบอท ซึ่งในงานส่วนนี้ต้องอาศัยความแม่นยำในการวางวัตถุของงานเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นและเพิ่มความรวดเร็วความแม่นยำ แต่ในงานวิจัยนี้จะเน้นกล่าวถึงความแม่นยำในการวางวัตถุของหุ่นยนต์

2.2 หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม

2.2.1 ความหมายของหุ่นยนต์

สถาบันหุ่นยนต์อเมริกาได้ให้ความหมายของหุ่นยนต์ว่า หุ่นยนต์คือ เครื่องจักรที่ถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้หลายหน้าที่ เพื่อใช้เคลื่อนย้ายวัตถุ หรืออุปกรณ์พิเศษ สามารถทำงานในรูปแบบที่ซับซ้อนและมีความยืดหยุ่น

หุ่นยนต์หรือภาษาอังกฤษเขียนว่า Robot มาจากบทละครของนายคาเรล คาเปก (Karel Kapek) นักแต่งนิยายชาวเช็ก เรื่อง R.U.R (Rossum's Universal Robots) ซึ่งหมายถึงคนงาน หุ่นยนต์คือเครื่องจักรที่ถูกควบคุมอัตโนมัติ สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้ ใช้งานเอนกประสงค์ โปรแกรมการเคลื่อนที่จะต้องสามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่าหุ่นยนต์ อาจจะยึดอยู่กับที่หรือย้ายตำแหน่ง (Mobile) เพื่อใช้งานอุตสาหกรรม

2.2.2 ชนิดของหุ่นยนต์

โดยทั่วไปการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) แต่ก่อนจะอธิบายชนิดของหุ่นยนต์มาอธิบายการทำงานของจุดต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกันดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางการแยกชนิดของหุ่นยนต์ตามลักษณะการหมุน

ชนิด	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน
Prismatic (P)		การเคลื่อนที่เชิงเส้น

จุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางการแบ่งแยกกลุ่มหุ่นยนต์ตามลักษณะการหมุน

ชนิดของหุ่นยนต์	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 2 (ไหล่)	แกนที่ 3 (ข้อศอก)
Cartesian	P	P	P
Cylindrical	P	P	P
Spherical	R	R	P
SCARA	R	P	R
Articulated	R	R	R

2.3 แขนกลสเกล่า (Scalar Robot)

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวนิ่งและแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง โดยหุ่นยนต์สเกล่านี้มีโดดเด่นเรื่องความคล่องแคล่วรวดเร็วแต่มีข้อจำกัดสำหรับระยะการปฏิบัติการ มีข้อต่อ

ขนานกัน 2 จุด เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนที่ต้องการความเร็วและมีขนาดเล็ก สิ่งสำคัญสำหรับการใช้งาน SCARA คือ การออกแบบระบบที่ต้องการความแม่นยำสูงจากการคำนวณรูปแบบการทำงานสามารถใช้งานได้ดีกับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 2.1 แขนกลสเกล่า (Scalar Robot)

2.4 PLC (Programmable logic controller)

PLC (Programmable logic controller) เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ให้เป็นไปตามกระบวนการหรือเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องการโดยการเขียน โปรแกรมเพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำแล้วทำงานตามกระบวนการนั้น ๆ โดยในตัวของ PLC จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นมันสมองสั่งการหลักการทำงานของ PLC จะคล้ายกับคอมพิวเตอร์มาก PLC เป็นอุปกรณ์ที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนระบบควบคุมที่ใช้รีเลย์ปัจจุบันนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป PLC นั้นจะทำงานได้ต้องมีการป้อนคำสั่งเข้าไปซึ่งจะทำงานตามขั้นตอนของโปรแกรมที่เราป้อนเข้าไป โดยที่ตัว PLC จะสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของซอฟต์แวร์ที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงเปรียบเสมือนว่ามีอุปกรณ์เหล่านั้นบรรจุอยู่ในตัวของ PLC จริง เช่น ตัวตั้งเวลา ตัวนับจำนวน รีเลย์ สวิตช์ และหน้าสัมผัสต่าง ๆ เป็นต้น

2.4.1 ประวัติและความเป็นมาของ PLC

เมื่อปี ค.ศ. 1969 PLC ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดยบริษัท Bedford Associates โดยใช้ชื่อว่า Modular Digital Controller (Modicon) ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์ในอเมริกาชื่อ General Motors

Hydramatic Division และบริษัท Allen-Bradley ได้เสนอระบบควบคุมโดยใช้ General Motors Hydramatic Division และบริษัท Allen-Bradley ได้เสนอระบบควบคุมโดยใช้การติดต่อสื่อสารระหว่าง (PLC) โดยระบบแรกคือ Modbus ของ Modicon และเริ่มใช้ (input) และ (Output) แบบ (Analog)

ปี ค.ศ. 1980-1989 มีความพยายามที่จะสร้างมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลของ PLC บริษัท General Motors ได้สร้างโปรโตคอลที่เรียกว่า Manufacturing Automatic Protocol (MAP) การทำให้ PLC มีขนาดเล็กลงผลิตซอฟต์แวร์ที่สามารถโปรแกรม PLC ด้วยภาษา Symbolic โดยสามารถโปรแกรมผ่านทาง Personal computer แทนที่จะโปรแกรมผ่าน Programming Terminal

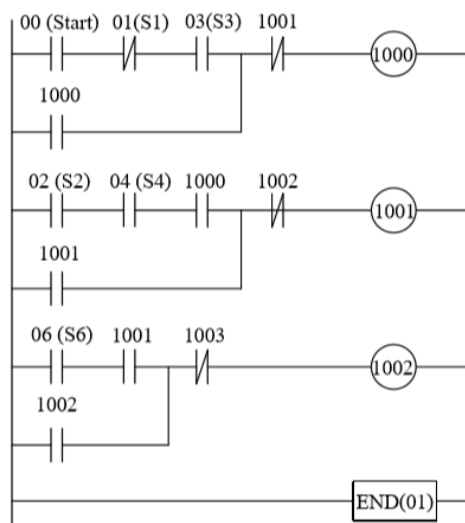
ปี ค.ศ. 1990 – ปัจจุบันมีความพยายามในการที่จะทำให้ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรม PLC มีมาตรฐานเดียวกันโดยใช้มาตรฐาน IEC1131-3 เช่น สามารถโปรแกรม PLC ได้ด้วยภาษา ต่าง ๆ ซึ่งภาษาที่ใช้กับ PLC มีดังต่อไปนี้

2.4.1.1 ภาษาบูลีน (Boolean) เป็นภาษาลอจิกการป้อนโปรแกรมต้องมี อุปกรณ์ป้อนโปรแกรมเฉพาะที่เรียกว่าโปรแกรมมิ่งคอนโซล (Programming Console) โดยพื้นฐานของ PLC แต่ละยี่ห้อจะมีลักษณะของภาษาบูลีนที่คล้ายกัน

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างของภาษาบูลีนที่ใช้กับ PLC ยี่ห้อ OMRON รุ่น CPM2A

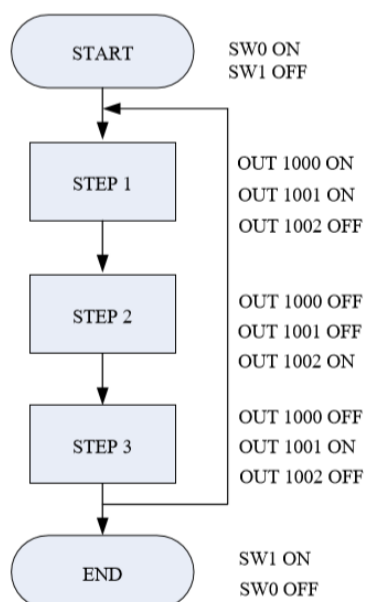
ภาษาบูลีน	หมายเลข input/output
LD	00000
OR	01000
AND NOT	00001
OUT	01000
TIM	000
	#1000
LD TIM	000
OUT	01001
END (01)	-

2.4.1.2 ภาษาแลตเตอร์ (Ladder Diagram) เป็นภาษาที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรรีเลย์มากที่สุดประกอบด้วยหน้าสัมผัสเปิดปิดและ (Output) คอยล์การป้อนโปรแกรมส่วนใหญ่ป้อนด้วยโปรแกรมเฉพาะของแต่ละยี่ห้อแล้วไหลลง PLC



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างโปรแกรมภาษาแลตเตอร์

2.4.1.3 ภาษาบล็อก (Function Chart) เป็นลักษณะคล้าย Flow Chart การทำงานเป็นขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนจะมีคำสั่งภายใน



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างภาษาบล็อก

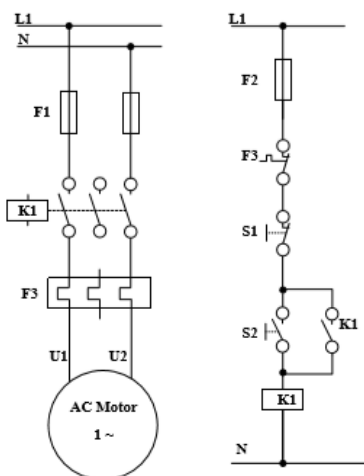
2.4.2 คุณสมบัติของ PLC

2.4.2.1 ระบบควบคุม มีขนาดเล็กลง PLC จะสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของซอฟต์แวร์ที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงนั้นจึงช่วยลดขนาดของระบบให้เล็กลงได้ เช่น มีตัวตั้งเวลา ตัวนับจำนวน รีเลย์หน้าสัมผัสต่าง ๆ ให้เลือกใช้ได้มากมายไม่จำกัดจำนวนอยู่ในตัวของ PLC ซึ่งถ้าเรานำตัวตั้งเวลาที่ใช้กับระบบรีเลย์จำนวน 6 ตัว มาวางรวมกันจะมีขนาดใหญ่กว่า PLC แนนอน แสดงดังภาพที่ 7

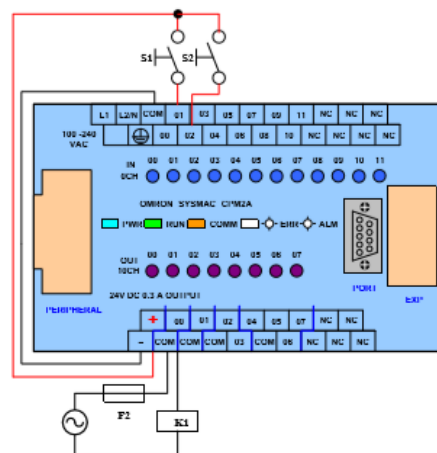


ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบขนาดของ PLC และตัวตั้งเวลา

2.4.2.2 ลดภาระการเดินสายไฟฟ้า เนื่องจาก PLC ทำงานในรูปของซอฟต์แวร์ทำให้มีอุปกรณ์ต่าง ๆ เสมือนจริงอยู่ภายในซึ่งช่วยลดภาระเรื่องสายไฟได้จำนวนมาก



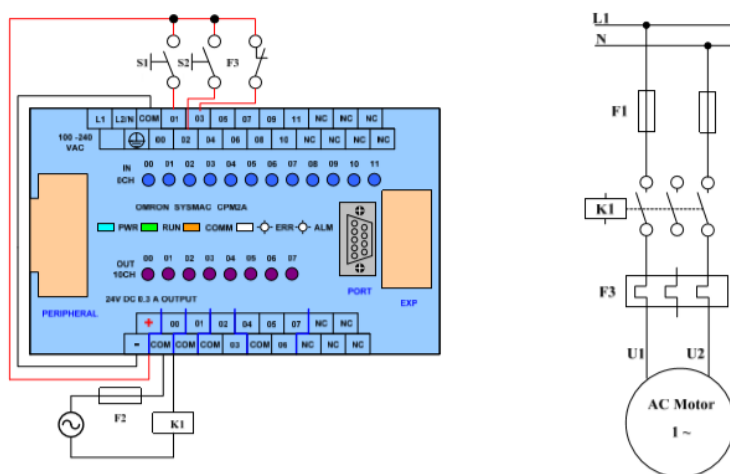
ก. วงจรรีเลย์



ข. วงจรที่ใช้กับ PLC

ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบวงจรรีเลย์และวงจรที่ใช้กับ PLC

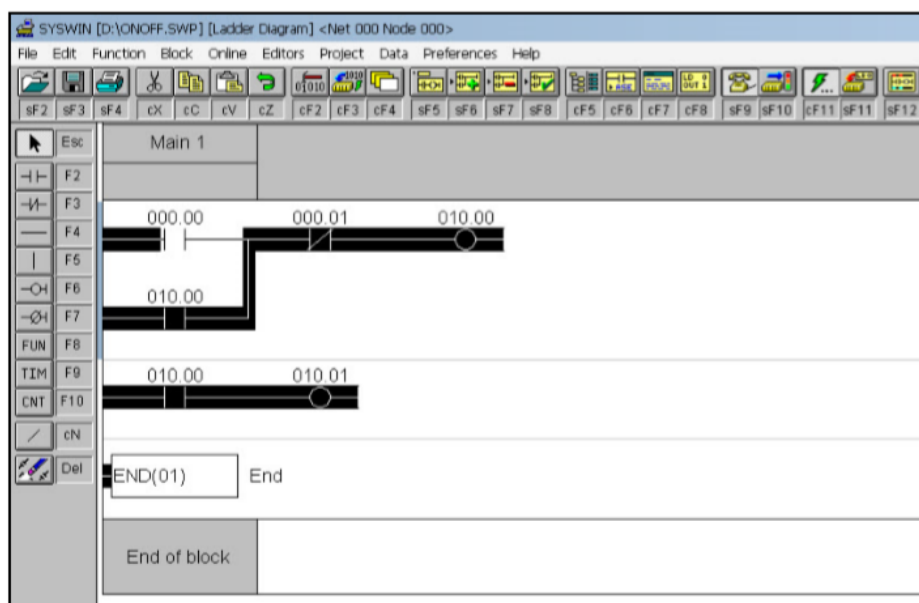
2.4.2.3 สามารถเปลี่ยนแปลงวงจร ได้ง่ายทำให้ลดเวลาในการออกแบบ เช่น ในรูปที่ ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานโดยให้มอเตอร์ทำงาน 5 นาทีแล้วหยุด 3 นาที ถ้าเป็นวงจรรีเลย์ เราต้องออกแบบวงจรและเพิ่มอุปกรณ์ใหม่อีกมากมายถ้าเป็นวงจรที่ใช้กับ PLC ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงโปรแกรมเพียงอย่างเดียวเท่านั้นโดยวงจรกำลังไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เลย



ภาพที่ 2.6 วงจรที่ใช้ (PLC) ในการควบคุม

2.4.2.4 มีฟังก์ชันในการตรวจสอบ ความถูกต้องของโปรแกรม (PLC) มีคำสั่งที่ใช้ตรวจสอบโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นมาว่าถูกต้องตามหลักการและข้อกำหนดหรือไม่ซึ่งเป็นการตรวจสอบความเรียบร้อยของโปรแกรมก่อนปฏิบัติงานจริง ซึ่งวงจรรีเลย์ไม่สามารถทำได้แต่ (PLC) ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นมานั้นถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่และอาจกล่าวได้ว่าไม่มีโปรแกรมใดสามารถตรวจสอบได้นอกจากผู้ออกแบบโปรแกรมเองเท่านั้น

2.4.2.5 สามารถทดสอบการทำงานของ โปรแกรมได้ PLC นั้นเป็นการทำงานในรูปของซอฟต์แวร์จึงสามารถจำลองการทำงานของโปรแกรมก่อนปฏิบัติงานจริงได้เพื่อลดความเสี่ยงก่อนการทำงานจริงในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของวงจรจึงไม่ทำให้เกิดความเสียหาย โดยวงจรรีเลย์ไม่สามารถทำการทดสอบแบบนี้ได้



ภาพที่ 2.7 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม

2.4.2.6 มีเสถียรภาพดีกว่าระบบของรีเลย์ ในการควบคุมด้วยระบบ PLC นั้นในส่วนของวงจรควบคุมจะใช้สายไฟน้อยกว่าระบบที่ควบคุมด้วยรีเลย์และ PLC มีตัวตั้งเวลา ตัวนับจำนวน และหน้าสัมผัสต่าง ๆ ในรูปของซอฟต์แวร์ จึงลดปัญหาเรื่องหน้าสัมผัสสายไฟฟ้าขาดได้

2.4.2.7 มีอินพุตและเอาต์พุต ให้เลือกใช้หลายแบบทำให้เราสามารถเลือกใช้ได้เหมาะสมตามความต้องการ เช่น อินพุตและเอาต์พุตแบบอนาล็อกอินพุตและเอาต์พุตแบบดิจิทัล

2.4.2.8 มีความสามารถใช้งานกับอุปกรณ์ต่อร่วม (Peripheral Unit) ได้ เช่น ต่อกับทัชสกรีนต่อกับเครื่องพิมพ์หรือคอมพิวเตอร์ได้

2.5 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง ภาพวิดีโอ และยักรวมถึง สัญญาณ 2 มิติอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วย ในหลายปีที่ผ่านมา การประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง ซึ่งวิธีเหล่านี้ในปัจจุบันยังมีการใช้อยู่ และได้มีการประยุกต์ใช้งานบางอย่างได้แก่ งานโฮโลกราฟี แต่เนื่องจากมีประสิทธิภาพมากขึ้น การประมวลผลดิจิทัลจึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลภาพที่ทำได้ซับซ้อนขึ้นแม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ

2.5.1 Edge

Edge (ขอบภาพ) คือเส้นที่แยกวัตถุออกจากพื้นหลังหรือแยกวัตถุสองชิ้นออกจากกัน คือการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสง ซึ่งหาได้ได้จากกระบวนการ derivative โดย Edge จะเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงระหว่าง pixel หนึ่งกับ pixel ข้างเคียงหากความเข้มแสงแตกต่างมาก ขอบภาพก็จะเกิดความชัดมาก

2.5.2 Edge Detection

Edge Detection คือการหาเส้นขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ หาได้จากการใช้หลักการหาความชันของค่า intensity หากรูปนั้นไม่มีขอบภาพค่า intensity ของแต่ละ pixel ก็จะไม่ใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่เกิดความชันของภาพซึ่งปกติความชันสามารถหาได้จาก

$$f'(x) = \frac{df}{dx}(x) \quad (2.1)$$

แต่เนื่องจากค่า intensity ไม่ได้เป็นแบบ continuous เราจึงหาความชันในรูปแบบ discrete แทนซึ่งสามารถทำได้โดย

$$\frac{df}{du}(u) \approx \frac{f(u+1)-f(u-1)}{(u+1)-(u-1)} = \frac{f(u+1)-f(u-1)}{2} \quad (2.2)$$

2.5.3 Edge Detection Operator

2.5.3.1 Prewitt Edge Detection คือการคำนวณโดยเทียบ pixel ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของจุดที่ต้องการหา โดยให้น้ำหนักก่อนและหลังจุดที่ต้องการหาแตกต่างกัน สามารถหาขอบในแนวแกนนอนโดยใช้ H_y (Vertical gradient filter) และหาขอบในแนวแกนตั้งโดยใช้ H_x (Horizontal gradient filter)

$$H_x^P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ and } H_y^P = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

2.5.3.2 Sobel Edge Detection คือการคำนวณโดยเทียบ pixel ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของจุดที่ต้องการหา โดยให้น้ำหนักของ pixel ที่ใกล้เคียงกับจุดเป้าหมายของ pixel มากกว่าจุดอื่น

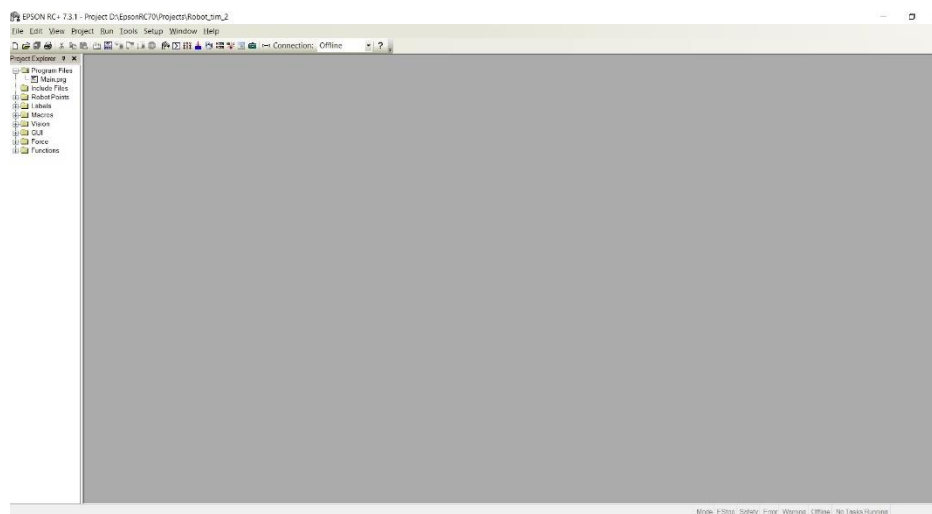
$$H_x^S = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ and } H_y^S = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2.6 การใช้งานโปรแกรม EPSON RC

EPSON RC ย่อมาจาก Epson Robot Controllers เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม Robot สำหรับงานวิศวกรรมนั้นคือผู้ใช้สามารถออกแบบโปรแกรมโดยใช้ภาษา Spell ซึ่งมีพื้นฐานมาจากภาษา C และยังสามารถทำการเขียนโปรแกรมพร้อมทั้ง Simulation สร้างแบบจำลองแขนกลและวัตถุในการเขียนโปรแกรมเพื่อให้เห็นภาพการเคลื่อนที่ของแขนกลและในตัวโปรแกรมสามารถเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ Robot โดยการใช้สาย USB หรือสาย LAN ในการเชื่อมต่อการทำงาน ซึ่งในโปรแกรม Epson RC จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งาน, ตัวจัดการหุ่นยนต์, ระบบภาพ

2.6.1 หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งาน

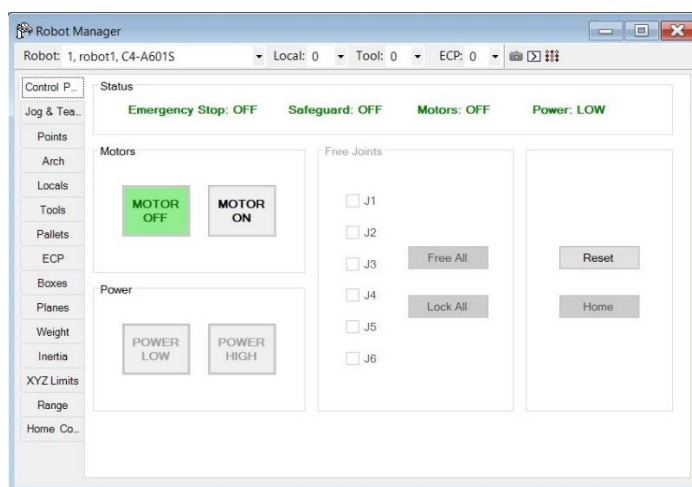
หรือหน้าปัดจะเป็นส่วนที่ใช้สื่อสารความระหว่งผู้ใช้โปรแกรม (User Interface) โดยจะมี หน้า Main โปรแกรมในการเขียนโปรแกรมสั่งการทำงานของ Robot เรียกใช้หน้าต่างการกำหนด Input/Output ของ Robot แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.8 หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานของโปรแกรม Epson RC

2.6.2 ตัวจัดการหุ่นยนต์

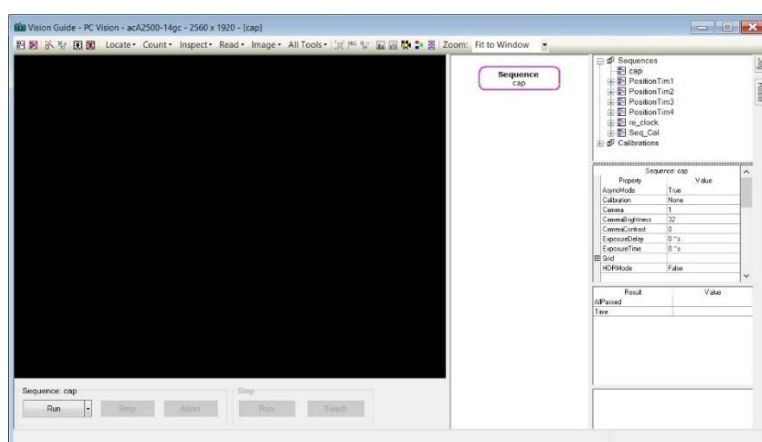
มีหน้าที่ควบคุมในการ On/Off Robot สั่งให้ Robot เคลื่อนที่ไปในแนวแกนที่กำหนด สร้าง จุดหลักในการทำจุดศูนย์กลางหรือเรียกว่า Home Configuration สร้าง Limit ในแนวแกน X Y U และ Teach Points ในจุดที่ต้องการให้ Robot เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการ หรือสร้างฟังก์ชันการทำงานของ Robot แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.9 ตัวจัดการหุ่นยนต์ในการควบคุม Robot

2.6.3 ระบบภาพ

Epson Vision มีหน้าที่ในการสร้างโปรแกรมใช้งานร่วมกับโปรแกรมที่ User ได้ ออกแบบไว้โดยสามารถเลือกใช้แถบเครื่องมือในโปรแกรม โดยตัวโปรแกรมสามารถหาพิกัดเพื่อสั่งการให้ Robot เคลื่อนที่ไปยังวัตถุหรือเป้าหมายที่ตัวโปรแกรมสามารถจับภาพได้ และยังสามารถเลือกในการ อ่านบาร์โค้ดส่งบาร์โค้ดบน ลาเบลเพื่อตรวจสอบได้ แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่าง Vision Guide เพื่อใช้ในการจับภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

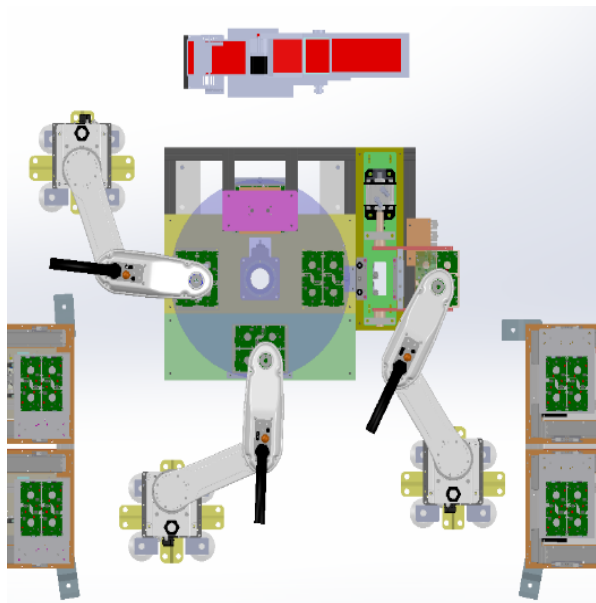
พันศักดิ์ เนระแก. 2558 ได้นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์แบบหีบและวางที่ใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรโดยเพิ่มความสามารถในการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรม PLC ในการควบคุมสายพานลำเลียงได้ทำโปรแกรม NI Vision Builder เพื่อใช้ในการถ่ายภาพชิ้นงานเพื่อส่งข้อมูลให้โปรแกรม LabVIEW แปลงค่าตัวเลขให้เป็นชุดคำสั่งต่างๆ เช่น การแปลงค่า Pixel จากภาพที่ถ่ายได้ให้อยู่ในค่าจริงที่เป็นมิลลิเมตร เพื่อนำไปสั่งการแขนกล เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งจริง และยังสามารถเก็บข้อมูลในการมองเห็นของเครื่องจักรพร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์เอเรอในการมองเห็นเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการตรวจสอบความถูกต้อง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

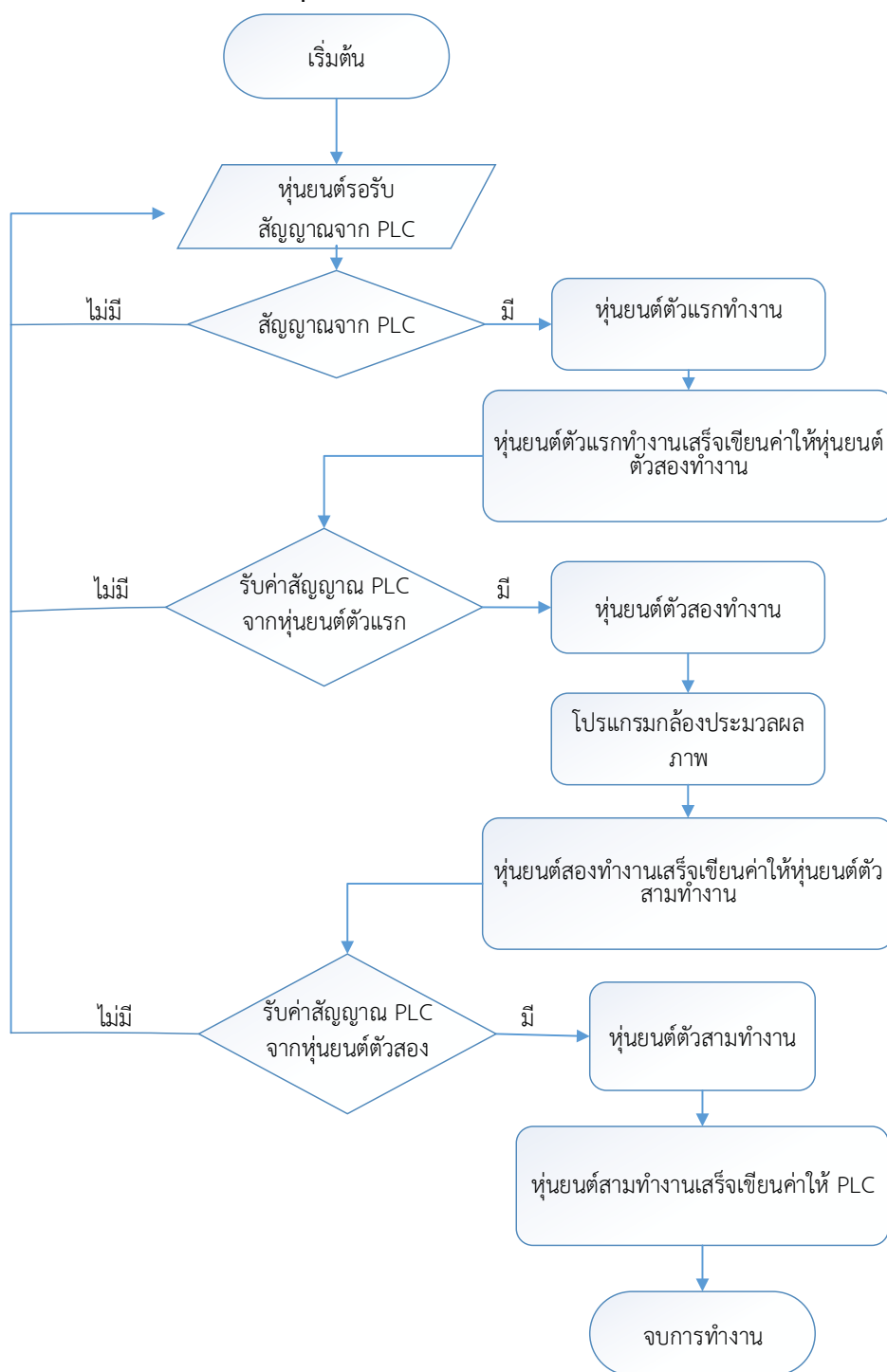
3.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องจักรต้นแบบในการติดตัวฟองน้ำลงบนแผ่น PCB แบบอัตโนมัติเพื่อให้ได้คุณภาพความแม่นยำและลดการสัมผัสบนแผ่น PCB เพื่อลดการเกิดไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นบนแผ่น PCB ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายบนอุปกรณ์ได้ โดยเริ่มศึกษาข้อกำหนดการตรวจสอบการติดด้วยมือของคนโดยใช้สายตาของทางผู้ผลิต และเก็บข้อมูลของปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการตรวจสอบ เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างตัวเครื่องจักรต้นแบบ โดยทางผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องจักรต้นแบบ เพื่อแทนที่แรงงานมนุษย์และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดความเสียหายกะบตัวชิ้นงานในปัจจุบัน



ภาพที่ 3.1 รูปแบบแขนกลในการทำงานที่ใช้โปรแกรมในการออกแบบ

3.2 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์



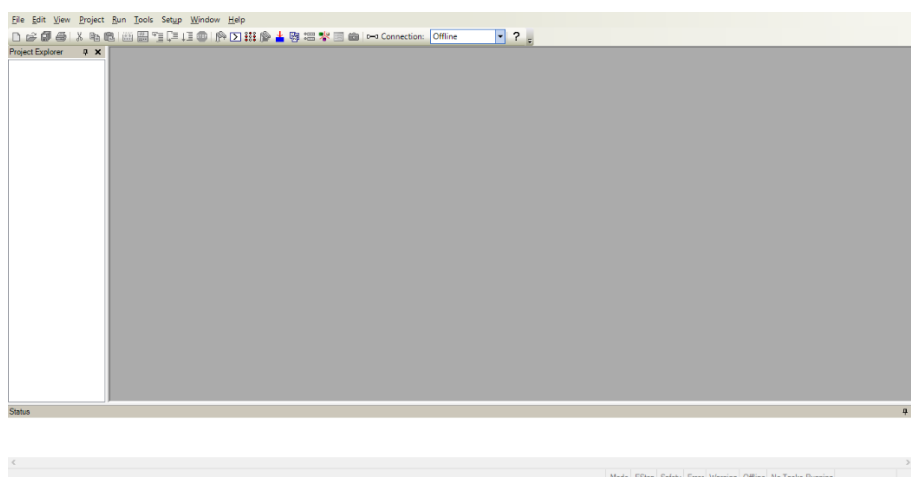
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

จากภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของแขนกลทั้ง 3 ทำงานร่วมกันระหว่างแขนกลกับพีแอลซี(PLC) และโปรแกรมกล้อง โดยแขนกลแต่ละตัวจะทำการอ่านสถานะในพีแอลซี(PLC) เพื่อทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

3.3 การควบคุมการทำงานของระบบการตรวจจับชิ้นงานด้วยภาพ

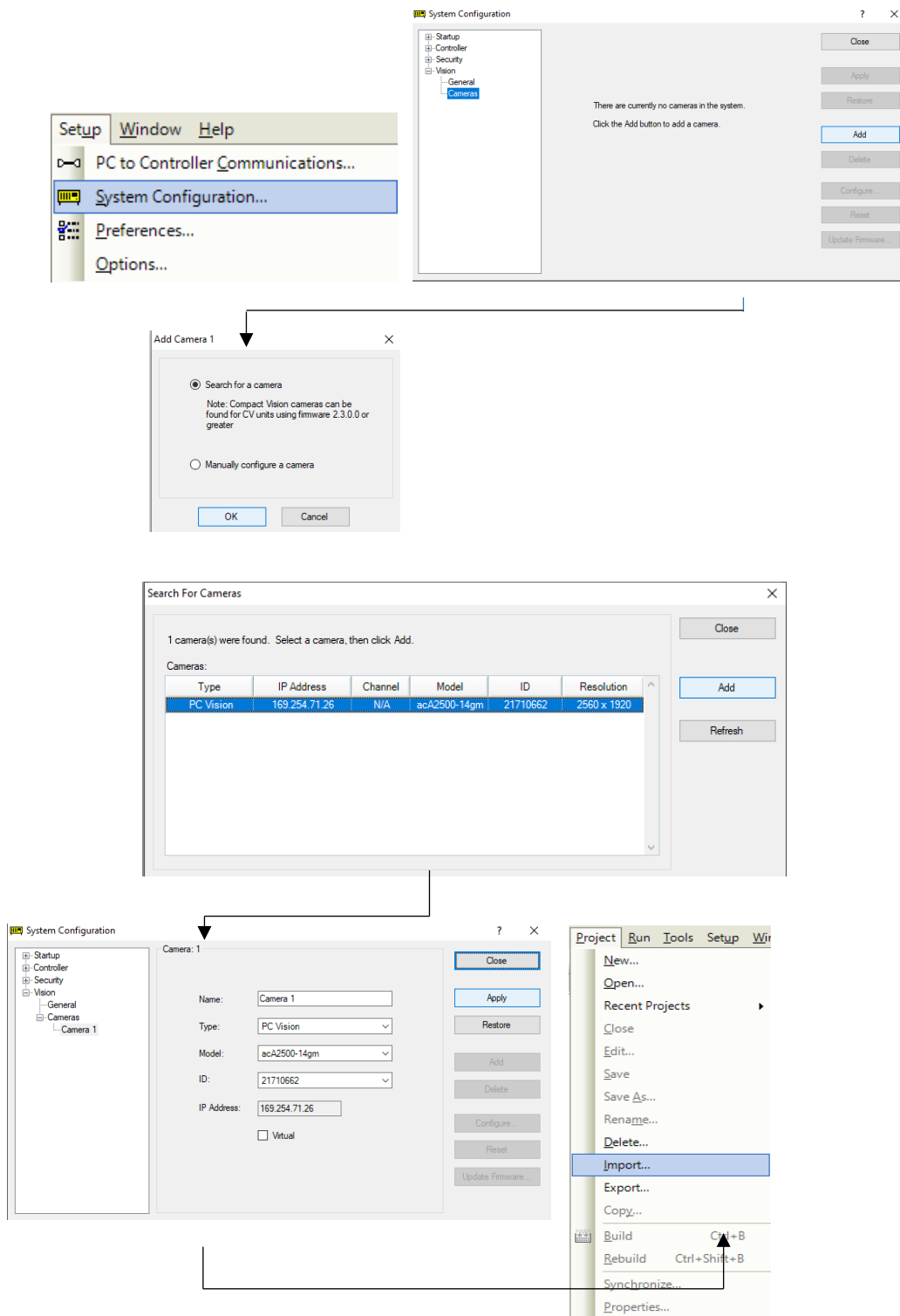
3.3.1 การคาริเบทภาพ

3.3.1.1 ขั้นตอนแรกเข้าสู่โปรแกรม Epson RC



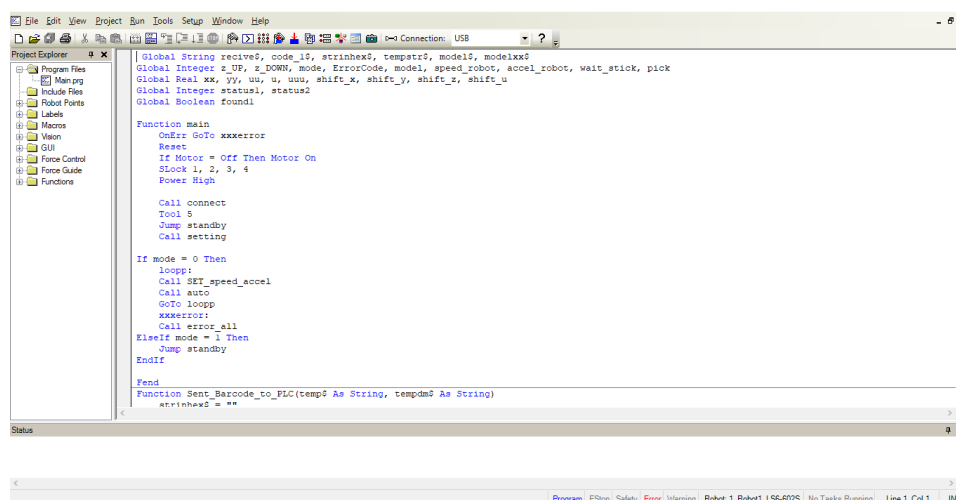
ภาพที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม Epson RC

3.3.1.2 เชื่อมต่อระบบวิทัศน์ (Vision) โดยไปที่ Setup > System Configuration > Vision > Cameras > Add > OK > Add > ใส่ข้อมูลกล้องที่ใช้ > Apply > นำโปรแกรมเข้า Project > import



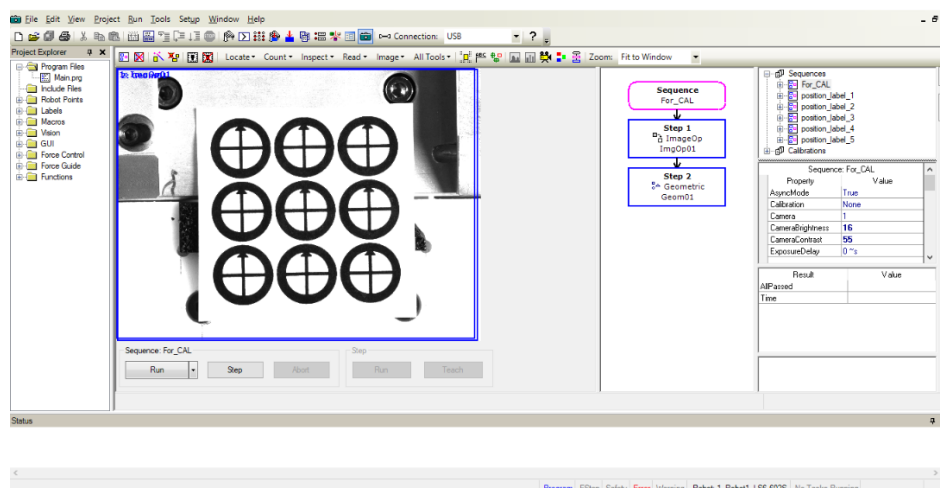
ภาพที่ 3.4 เชื่อมต่อระบบวิทัศน์ (Vision) และนำเข้าโปรแกรมเข้า

3.3.1.3 เมื่อนำโปรแกรมแขนกลเข้ามา แล้วพร้อมกับเชื่อมต่อกล้องสำเร็จจะได้ หน้าจอ ดังภาพที่ 3.5



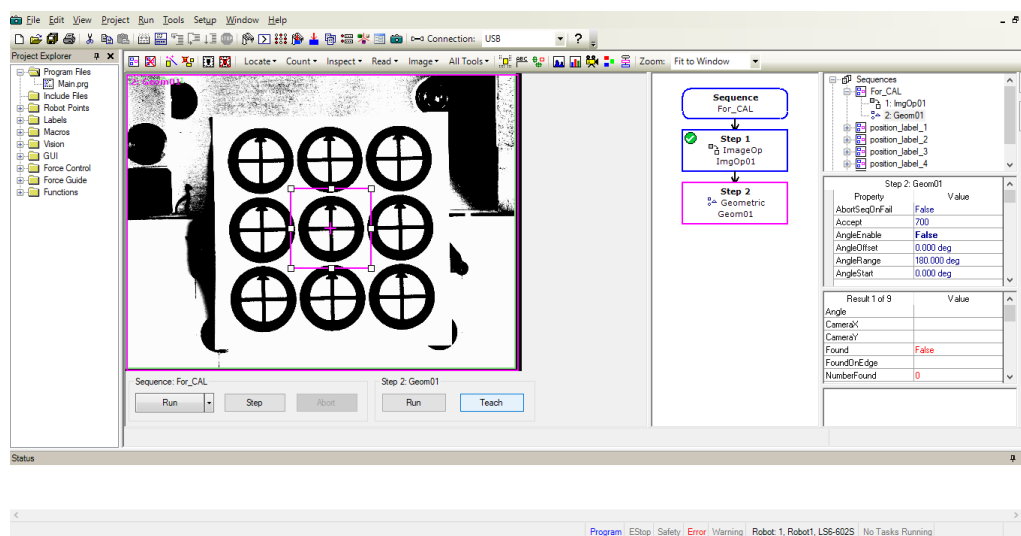
ภาพที่ 3.5 หน้าต่างเมื่อเชื่อมต่อกับกล้องสำเร็จและนำโปรแกรมเข้ามาสำเร็จ

3.3.1.4 ขั้นตอนต่อไปจะใช้กระดางวงกลม 9 วงออกมาแล้วติดตั้งตำแหน่งของ ชิ้นงานจริงจะได้ดังภาพที่ 3.6



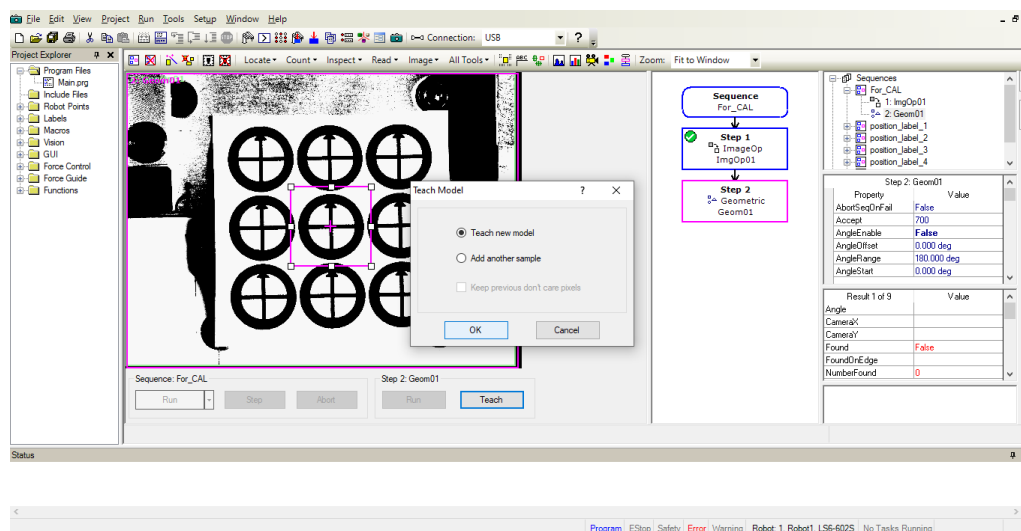
ภาพที่ 3.6 หน้าต่างเมื่อนำกระดางวงกลมติดตั้งตำแหน่งชิ้นงาน

3.3.1.5 ขั้นตอนต่อไปจะใส่หัวคาร์ิเบท ให้กับแขนกล แล้วสร้างกรอบให้กับวัตถุซึ่งวัตถุในขณะนี้จะเป็นวงกลมดังภาพที่ 3.7



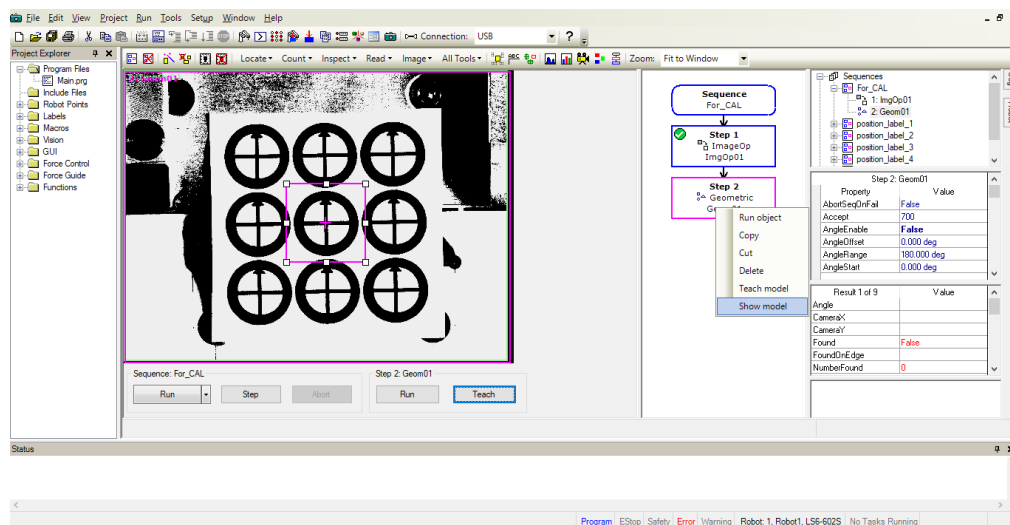
ภาพที่ 3.7 การสร้างกรอบให้กับวัตถุ

3.3.1.6 ขั้นตอนต่อไป กดคลิกขวาจะโชว์หน้าต่างเล็ก ๆ ให้เลือก Teach model



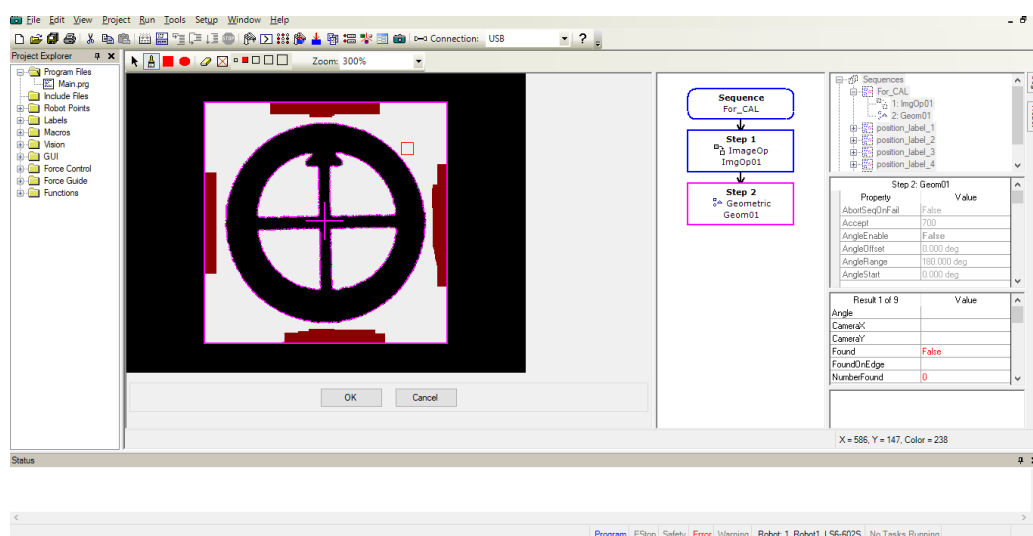
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการกด Teach model

3.3.1.7 แล้วคลิกขวา ตรง Step 2 เลือก Show model ดังภาพที่ 3.9



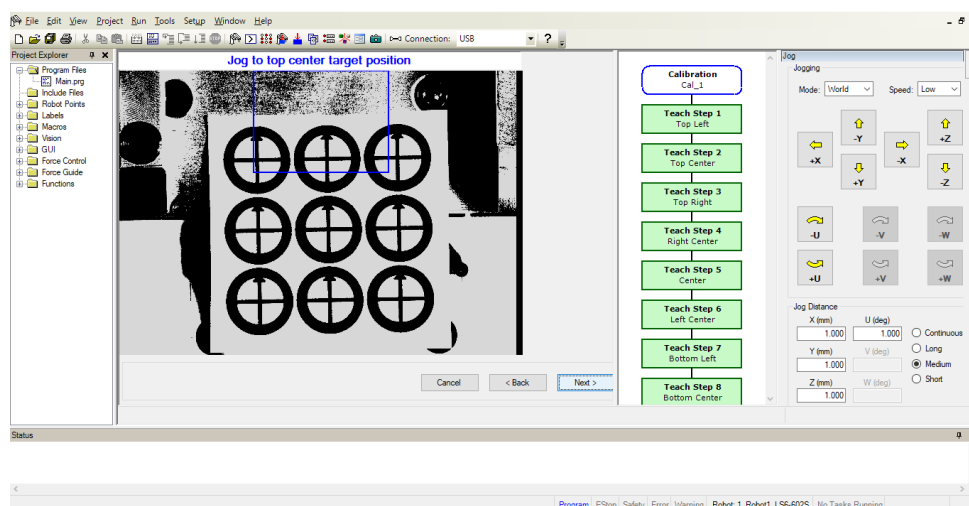
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการกด Show model

3.3.1.8 เมื่อกดเลือก Show model จะโชว์หน้าต่างวงกลมที่ขีดขึ้น ให้ทำการลบส่วนที่ไม่ใช่วงกลมออกเพื่อตัดเส้นรบกวนที่กล้องจะจับเจอดังภาพที่ 3.10



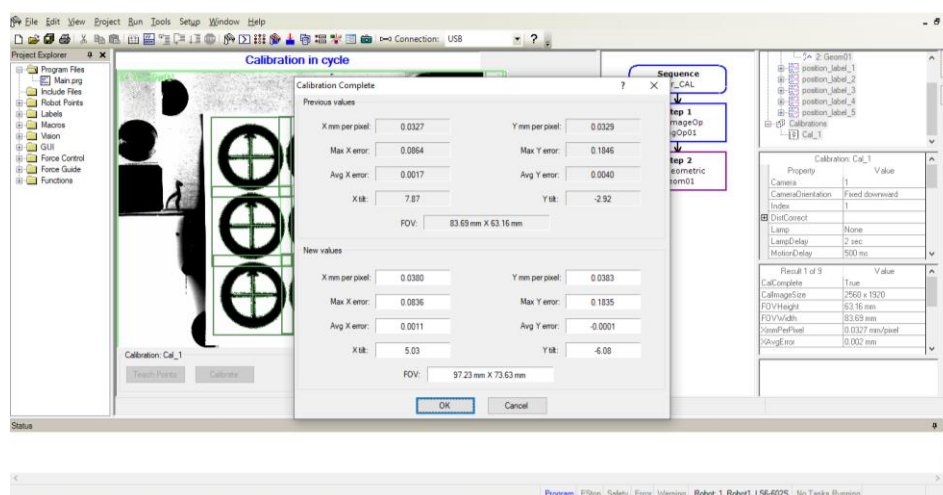
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการลบเส้นเพื่อเพิ่มเส้นคมชัดให้กับวัตถุ

3.3.1.9 นำแขนโดยให้ปลายของหัวคาร์เบท ที่ติดไว้กับแขนกลให้ตรงกับเส้นตัดในวงกลมแรก แล้วกดต่อไป ทำแบบนี้จนครบวงกลมทั้ง 9 วง แล้วกด Teach ดังภาพที่ 3.11



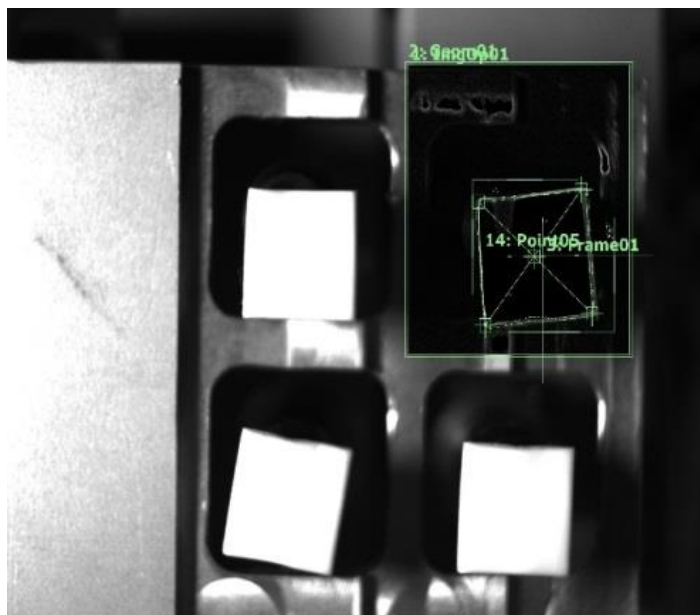
ภาพที่ 3.11 การ Teach แขนกลด้วยหัว Calibrate

3.3.1.10 เมื่อ Teach เสร็จเรียบร้อยให้กด Run เพื่อดูค่า X,Y ว่าใกล้ 0 มากแค่ไหน ยิ่งเข้าใกล้ 0 มากเท่าไรประสิทธิภาพในการจับภาพของกล้องยิ่งมากขึ้นเท่านั้น



ภาพที่ 3.12 หน้าต่างการ Run เมื่อทำการ Teach เสร็จ

3.3.2 การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุในภาพจะทำให้ทราบจุดกึ่งกลางของวัตถุ และเมื่อทราบจุดกึ่งกลางของวัตถุ ในตัวของโปรแกรมจะคำนวณตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุ จากตำแหน่ง (Pixel) ในแนวระนาบ X Y แปลงเป็นตำแหน่ง (mm) ในแนว X Y ของตัวหุ่นยนต์



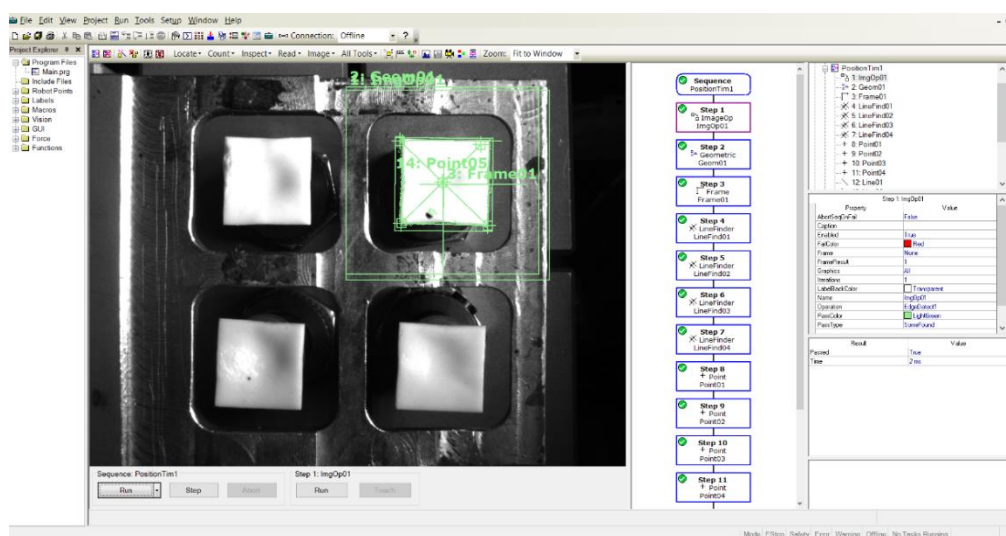
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างในการตรวจจับขอบภาพแบบ

3.3.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบ (Vision)

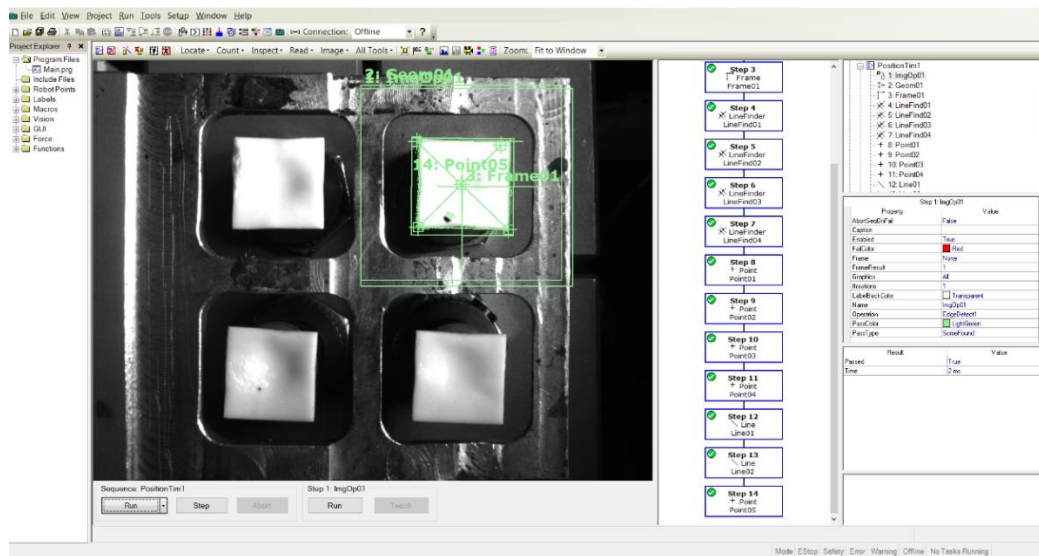
แขนกลหยิบชิ้นงานจะทำงานโดยการหยิบตัวพองน้ำโดยไม่สนใจว่าหยิบตรงหรือไม่หลังจากนั้นเมื่อแขนกลหยิบพองน้ำครบทั้ง 4 หัวดูดจึงนำพองน้ำมาถ่ายเพื่อทำการชดเชยตำแหน่งเมื่อนำวัตถุไปวาง



ภาพที่ 3.14 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision)



ภาพที่ 3.15 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision)



ภาพที่ 3.16 การทำงานของโปรแกรมวิทัศน์ (Vision)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนกลต้นแบบ เพื่อใช้ในการหยิบวางวัตถุขึ้นและทำการบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนจากการวางวัตถุลงบนเป้าหมายซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ใช้โปรแกรม Epson Rc ในการเขียนโปรแกรมการทำงานของแขนกล เก็บบันทึกข้อมูลลงบน Notepad และใช้ในการทำโปรแกรม Vision เพื่อใช้ในการมองเห็นของแขนกล ส่วนที่ 2 ใช้โปรแกรม PLC ในการเขียนควบคุมสั่งการในส่วนของแขนกล เซอร์โวมอเตอร์ ฟีดเดอร์มอเตอร์ ในการทำงานของเครื่องจักร เขียนโปรแกรม HMI ในการสั่งการทำงาน หยุดการทำงาน Reset Error ของแขนกลและเซอร์โวมอเตอร์

4.1 วิธีการทดลอง

การทดลองในการใช้กล้องเพื่อควบคุมแขนกลใช้วิธีการให้ตัวแขนกลไปหยิบวัตถุแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ภาพด้วย Vision โดยใช้แผ่นวัตถุจำนวน 5 แผ่นบนแผ่นมีวัตถุในแนวกว้าง 1 แถวจำนวน 10 ตัวและในแนวยาว 1 แถวมีจำนวน 100 ตัวโดยใช้หัวดูดบนแขนกลมีจำนวน 4 หัวดูดในแต่ละหัวทำการหยิบวัตถุหัวละ 1 ตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยมีค่ามาสเตอร์เป็นตัวอ้างอิงในการถ่ายวัตถุในแต่ละครั้งเพื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เออเรอร์ในการหยิบของหัวดูด

โดยที่

x คือ ค่าตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน x (mm.)

y คือ ค่าตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน y (mm.)

u คือ ค่าตำแหน่งมุมของวัตถุมีหน่วยเป็นองศา

ตารางที่ 4.1 ตารางค่ามาสเตอร์ในการถ่ายครั้งแรก

ค่ามาสเตอร์ที่ถ่ายครั้งแรกหัวดูดที่1			ค่ามาสเตอร์ที่ถ่ายครั้งแรกหัวดูดที่2		
x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
-247.54201	173.0878	101.115	-246.5204	153.5028	99.355
ค่ามาสเตอร์ที่ถ่ายครั้งแรกหัวดูดที่3			ค่ามาสเตอร์ที่ถ่ายครั้งแรกหัวดูดที่4		
x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
-264.96	151.7565	90.337	-265.29219	172.9602	89.47798

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่ามาสเตอร์ของชิ้นงานบนหัวดูดทั้ง 4 หัวดูดโดยใช้ (Vision) ถ่ายค่ามาสเตอร์ในครั้งแรก และจะทดสอบความคลาดเคลื่อนของแผ่นชิ้นงาน 5 แผ่นชิ้นงาน โดยจะทดลองหัวดูดละ 20 ครั้งใน 1 แผ่นการทดลอง รวมทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าที่ถ่ายชิ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-249.289	175.676	90.8607
2	-249.231	175.722	90.202
3	-249.243	175.778	91.2096
4	-249.242	175.671	90.5774
5	-249.245	175.693	90.2446
6	-249.239	175.721	90.4765
7	-249.226	175.698	90.4836
8	-249.248	175.684	90.362
9	-249.25	175.71	90.5367
10	-249.242	175.685	90.3586
11	-249.251	175.757	91.0566
12	-249.279	175.66	90.738

13	-249.25	175.717	90.8371
14	-249.245	175.723	90.9993
15	-249.263	175.708	90.5785
16	-249.241	175.727	91.4582
17	-249.258	175.74	91.2987
18	-249.283	175.685	90.8982
19	-249.303	175.713	90.1913
20	-249.281	175.734	91.0883
Average	-249.255	175.7101	90.7228

ตารางที่ 4.3 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-248.575	153.492	99.5328
2	-248.559	153.506	98.8596
3	-248.592	153.524	97.9454
4	-248.422	153.516	100.56
5	-248.639	153.298	100.489
6	-248.592	153.491	98.2225
7	-248.583	153.484	98.5368
8	-248.61	153.479	99.1329
9	-248.602	153.467	98.7304
10	-248.635	153.296	100.251
11	-248.612	153.492	98.6704
12	-248.408	153.536	100.615
13	-248.602	153.481	98.6643
14	-248.595	153.489	98.5519
15	-248.608	153.441	99.2816

16	-248.602	153.481	99.351
17	-248.613	153.454	99.4745
18	-248.596	153.516	100.282
19	-248.609	153.335	99.9169
20	-248.634	153.337	100.034
Average	-248.584	153.4558	99.3551

ตารางที่ 4.4 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวตูดครั้งที่ 1 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.44	151.93	98.9288
2	-268.394	151.924	98.5894
3	-268.406	151.919	98.5636
4	-268.434	151.904	98.553
5	-268.446	151.895	98.8734
6	-268.429	151.905	98.3314
7	-268.441	151.891	98.8097
8	-268.435	151.918	98.3661
9	-268.418	151.909	98.396
10	-268.443	151.898	98.6288
11	-268.452	151.895	98.8785
12	-268.404	151.923	98.5326
13	-268.459	151.899	98.6533
14	-268.452	151.889	98.7699
15	-268.444	151.893	98.5212

16	-268.42	151.904	98.4707
17	-268.446	151.883	98.7321
18	-268.412	151.938	98.5263
19	-268.472	151.901	98.952
20	-268.417	151.918	98.8295
Average	-268.433	151.9068	98.64532

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-269.02	172.859	91.9603
2	-268.982	172.907	91.6401
3	-269.029	172.883	91.3103
4	-269.001	172.815	91.818
5	-269.008	172.895	92.1011
6	-269.022	172.845	91.6597
7	-268.988	172.874	92.0196
8	-269.017	172.874	92.0694
9	-269.032	172.868	91.9415
10	-269.034	172.854	91.6947
11	-269.031	172.885	91.6805
12	-269.015	172.882	91.9659
13	-269.011	172.873	92.0186
14	-269.016	172.855	91.9323

15	-269.009	172.873	92.0135
16	-269.016	172.891	92.0937
17	-269.038	172.891	91.3255
18	-269.017	172.851	91.8817
19	-269.003	172.882	91.9361
20	-269	172.884	91.9315
Average	-269.014	172.8721	91.8497

ตารางที่ 4.6 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-248.727	174.785	96.3718
2	-248.729	174.794	96.1073
3	-248.739	174.738	95.895
4	-248.751	174.765	95.8847
5	-248.714	174.822	96.0732
6	-248.742	174.803	96.1749
7	-248.743	174.787	95.9963
8	-248.737	174.798	96.0133
9	-248.76	174.742	95.8546
10	-248.726	174.804	95.3966
11	-248.731	174.793	95.9869
12	-248.727	174.808	95.9402
13	-248.754	174.738	95.6879
14	-248.707	174.812	95.1473

15	-248.772	174.762	94.845
16	-248.738	174.768	95.9759
17	-248.717	174.776	95.6618
18	-248.737	174.826	95.8214
19	-248.765	174.761	95.6531
20	-248.721	174.787	95.3407
Average	-248.737	174.7835	95.7914

ตารางที่ 4.7 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-245.814	153.215	105.476
2	-245.802	153.2	105.484
3	-245.797	153.18	105.268
4	-245.82	153.218	105.314
5	-245.812	153.21	105.394
6	-245.804	153.194	105.465
7	-245.802	153.198	105.798
8	-245.816	153.188	105.902
9	-245.803	153.286	105.953
10	-245.821	153.186	105.893
11	-245.814	153.188	105.416
12	-245.792	153.25	105.378
13	-245.815	153.179	105.847
14	-245.816	153.211	105.604

15	-245.817	153.175	105.464
16	-245.801	153.202	105.211
17	-245.818	153.221	105.44
18	-245.814	153.276	105.179
19	-245.806	153.203	105.449
20	-245.806	153.187	105.412
Average	-245.81	153.2084	105.5174

ตารางที่ 4.8 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.995	151.38	90.1051
2	-268.984	151.398	89.3735
3	-268.948	151.311	90.3899
4	-268.96	151.312	90.3668
5	-268.977	151.375	89.5872
6	-268.966	151.299	90.5654
7	-268.951	151.303	90.6492
8	-268.948	151.313	90.0709
9	-268.967	151.379	89.4193
10	-268.948	151.311	90.1878
11	-268.955	151.316	90.1611
12	-268.998	151.383	89.791
13	-268.952	151.291	90.3292
14	-268.958	151.305	90.4017

15	-268.983	151.364	89.6674
16	-268.955	151.307	90.2577
17	-268.948	151.301	90.3167
18	-268.986	151.415	89.9146
19	-268.963	151.336	90.6227
20	-268.993	151.392	89.8902
Average	-268.967	151.3396	90.10337

ตารางที่ 4.9 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวตูดครั้งที่ 2 หัวตูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวตูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.74	173.227	87.9745
2	-268.739	173.068	87.8885
3	-268.745	173.149	87.3587
4	-268.734	173.083	87.9439
5	-268.766	173.019	87.4937
6	-268.772	172.999	87.0754
7	-268.759	173.026	87.2648
8	-268.737	173.078	87.9577
9	-268.732	173.143	88.4741
10	-268.712	173.215	88.279
11	-268.758	173.046	87.167
12	-268.716	173.221	88.3333
13	-268.82	172.98	88.3468

14	-268.778	172.996	87.0629
15	-268.766	173.048	87.9715
16	-268.728	173.117	87.6754
17	-268.774	172.982	86.9537
18	-268.741	173.102	88.0989
19	-268.706	173.18	88.3366
20	-268.763	173.025	87.3757
Average	-268.749	173.0852	87.75161

ตารางที่ 4.10 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดุดครั้งที่ 3 หัวดุดที่ 1

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-249.462	174.547	99.0715
2	-249.531	174.507	99.5602
3	-249.525	174.547	98.9519
4	-249.512	174.518	98.9356
5	-249.548	174.541	99.7102
6	-249.526	174.56	99.251
7	-249.525	174.538	99.6332
8	-249.52	174.557	99.0621
9	-249.503	174.541	98.8128
10	-249.537	174.503	99.6105
11	-249.518	174.547	98.9933
12	-249.521	174.514	99.1734

13	-249.521	174.531	99.1862
14	-249.529	174.51	99.5747
15	-249.523	174.559	99.1027
16	-249.521	174.551	99.0332
17	-249.55	174.516	99.8624
18	-249.532	174.564	99.4223
19	-249.506	174.584	99.4802
20	-249.502	174.56	99.1443
Average	-249.52	174.54	99.2786

ตารางที่ 4.11 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-246.143	152.811	110.665
2	-246.169	152.826	109.978
3	-246.157	152.828	109.732
4	-246.155	152.821	109.796
5	-246.158	152.807	109.895
6	-246.167	152.823	110.013
7	-246.15	152.822	109.857
8	-246.133	152.8	111.15
9	-246.123	152.799	111.048
10	-246.153	152.821	109.841
11	-246.163	152.816	109.898

12	-246.146	152.801	110.615
13	-246.156	152.802	110.321
14	-246.16	152.818	109.903
15	-246.153	152.796	110.653
16	-246.158	152.816	109.998
17	-246.158	152.811	109.987
18	-246.105	152.867	111.215
19	-246.136	152.872	109.786
20	-246.13	152.821	110.933
Average	-246.15	152.819	110.264

ตารางที่ 4.12 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวตูดครั้งที่ 3 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-266.018	150.021	96.3055
2	-265.974	150.059	95.7082
3	-265.93	150.078	95.1918
4	-265.946	150.102	95.0067
5	-265.942	150.094	95.2206
6	-265.95	150.088	94.8044
7	-265.963	150.074	95.4155
8	-265.975	150.047	95.7219
9	-265.905	150.104	94.8221
10	-265.901	150.117	94.7804

11	-265.941	150.086	94.7375
12	-265.962	150.04	96.104
13	-265.973	150.049	95.5564
14	-265.947	150.066	95.3291
15	-265.99	150.041	95.7282
16	-265.967	150.043	95.2805
17	-265.901	150.108	94.6716
18	-265.996	150.089	95.8449
19	-265.917	150.095	96.0833
20	-265.921	150.089	95.9002
Average	-265.95	150.075	95.4106

ตารางที่ 4.13 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดุดครั้งที่ 3 หัวดุดที่ 4

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-267.033	172.205	95.7797
2	-267.029	172.173	95.4781
3	-267.031	172.206	95.7617
4	-267.022	172.18	95.9816
5	-267.028	172.18	95.5432
6	-267.013	172.156	95.2932
7	-267.023	172.176	95.6131
8	-267.03	172.169	95.5405
9	-267.012	172.188	96.0776

10	-267.029	172.203	95.6487
11	-267.023	172.186	95.666
12	-267.08	172.232	95.9856
13	-267.026	172.169	95.1039
14	-267.017	172.169	95.8802
15	-267.004	172.158	95.9924
16	-267.029	172.201	95.9172
17	-267.019	172.171	95.7516
18	-267.04	172.22	96.3389
19	-267.084	172.185	95.5871
20	-267.002	172.268	95.5267
Average	-267.03	172.19	95.7234

ตารางที่ 4.14 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวตูดครั้งที่ 4 หัวตูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวตูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-248.481	174.872	102.111
2	-248.428	174.831	101.375
3	-248.458	174.873	101.881
4	-248.451	174.869	102.016
5	-248.49	174.893	102.381
6	-248.464	174.88	101.868
7	-248.471	174.889	102.572
8	-248.479	174.908	102.048

9	-248.464	174.88	101.166
10	-248.473	174.886	102.176
11	-248.488	174.707	102.699
12	-248.478	174.867	102.135
13	-248.465	174.865	101.735
14	-248.445	174.866	101.37
15	-248.475	174.862	101.986
16	-248.481	174.896	102.112
17	-248.484	174.885	102.415
18	-248.496	174.894	102.142
19	-248.457	174.88	101.858
20	-248.459	174.871	101.715
Average	-248.47	174.869	101.988

ตารางที่ 4.15 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดุดครั้งที่ 4 หัวดุดที่ 2

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-247.766	153.106	101.55
2	-247.768	153.084	100.719
3	-247.799	153.11	99.782
4	-247.758	153.092	100.854
5	-247.768	153.09	100.934
6	-247.818	153.075	100.319
7	-247.798	153.083	99.9897

8	-247.769	153.1	100.992
9	-247.805	153.096	99.8257
10	-247.802	153.102	99.9052
11	-247.812	153.076	100.048
12	-247.77	153.089	101.062
13	-247.811	153.08	100.516
14	-247.82	153.083	100.04
15	-247.811	153.083	99.9796
16	-247.814	153.08	100.521
17	-247.814	153.086	100.073
18	-247.766	153.128	100.798
19	-247.765	153.079	100.903
20	-247.771	153.078	100.742
Average	-247.79	153.09	100.478

ตารางที่ 4.16 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวตูดครั้งที่ 4 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-269.4	151.097	88.8644
2	-269.419	151.116	89.1617
3	-269.434	151.102	89.3319
4	-269.426	151.084	89.2739
5	-269.433	151.079	89.4698
6	-269.405	151.113	89.0707

7	-269.43	151.118	89.2412
8	-269.421	151.107	89.2369
9	-269.419	151.106	89.0497
10	-269.399	151.156	88.1428
11	-269.421	151.078	89.3031
12	-269.393	151.145	88.4105
13	-269.432	151.094	89.4977
14	-269.42	151.089	89.79
15	-269.426	151.098	89.4135
16	-269.419	151.083	89.2664
17	-269.42	151.096	89.3442
18	-269.43	151.133	88.6215
19	-269.411	151.111	89.247
20	-269.417	151.105	89.5151
Average	-269.42	151.106	89.1626

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.469	173.301	95.3042
2	-268.473	173.321	94.9605
3	-268.467	173.272	95.0904
4	-268.463	173.246	95.3246
5	-268.45	173.298	95.5652

6	-268.48	173.308	94.8449
7	-268.453	173.293	95.748
8	-268.465	173.288	95.213
9	-268.484	173.301	94.766
10	-268.46	173.313	95.4331
11	-268.469	173.304	94.9751
12	-268.469	173.311	95.1913
13	-268.46	173.29	95.6116
14	-268.459	173.288	95.6289
15	-268.461	173.3	95.4372
16	-268.46	173.278	95.2861
17	-268.441	173.262	95.7719
18	-268.476	173.362	95.1847
19	-268.493	173.318	95.3521
20	-268.466	173.298	95.6579
Average	-268.47	173.298	95.3173

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-248.9	174.618	96.912
2	-248.888	174.615	97.3311
3	-248.905	174.627	96.9369
4	-248.933	174.634	97.5737

5	-248.928	174.602	97.6851
6	-248.885	174.588	97.8843
7	-248.919	174.607	96.9439
8	-248.935	174.636	97.4
9	-248.948	174.632	97.6151
10	-248.936	174.615	97.5883
11	-248.945	174.618	97.4988
12	-248.928	174.663	97.6303
13	-248.936	174.628	97.4117
14	-248.928	174.628	97.3037
15	-248.917	174.625	97.2947
16	-248.939	174.606	97.4842
17	-248.915	174.634	97.6691
18	-248.936	174.671	97.884
19	-248.928	174.7	97.9339
20	-248.9	174.669	97.5942
Average	-248.92	174.631	97.4788

ตารางที่ 4.19 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดุดครั้งที่ 5 หัวดุดที่ 2

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-247.598	153.4	101.212
2	-247.576	153.424	101.419
3	-247.593	153.424	100.815
4	-247.575	153.418	101.371
5	-247.573	153.415	101.448
6	-247.589	153.413	101.326
7	-247.58	153.406	100.831
8	-247.594	153.408	101.589
9	-247.574	153.417	101.318
10	-247.593	153.414	101.316
11	-247.584	153.412	100.987
12	-247.571	153.443	101.29
13	-247.574	153.42	101.285
14	-247.59	153.422	101.301
15	-247.592	153.42	100.693
16	-247.593	153.419	100.816
17	-247.568	153.412	101.335
18	-247.61	153.449	101.421
19	-247.567	153.445	101.312
20	-247.578	153.456	101.19
Average	-247.58	153.422	101.214

ตารางที่ 4.20 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-269.284	151.266	91.1431
2	-269.254	151.237	91.6851
3	-269.244	151.239	91.591
4	-269.271	151.244	92.1157
5	-269.251	151.223	92.2246
6	-269.245	151.232	91.6474
7	-269.238	151.247	91.8675
8	-269.238	151.23	91.2545
9	-269.271	151.23	92.0849
10	-269.264	151.245	91.8566
11	-269.263	151.234	92.1544
12	-269.27	151.3	91.8458
13	-269.233	151.245	91.552
14	-269.247	151.234	91.974
15	-269.264	151.243	91.9296
16	-269.244	151.236	92.0344
17	-269.253	151.248	91.8623
18	-269.243	151.31	91.695
19	-269.211	151.291	92.0546
20	-269.232	151.3	92.2859
Average	-269.25	151.252	91.8429

ตารางที่ 4.21 ตารางค่าที่ถ่ายขึ้นงานบนหัวดุดครั้งที่ 5 หัวดุดที่ 4

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.319	172.269	90.8532
2	-268.316	172.226	91.5044
3	-268.341	172.258	91.1853
4	-268.324	172.29	90.9381
5	-268.328	172.236	91.4474
6	-268.336	172.268	90.8874
7	-268.333	172.231	90.8647
8	-268.34	172.282	91.0748
9	-268.329	172.271	90.8624
10	-268.325	172.247	91.1458
11	-268.354	172.245	90.0778
12	-268.278	172.32	91.3819
13	-268.331	172.285	91.0681
14	-268.316	172.253	90.9676
15	-268.335	172.27	91.0857
16	-268.326	172.251	90.6597
17	-268.335	172.263	91.1488
18	-268.331	172.169	91.0811
19	-268.316	172.326	91.3829
20	-268.306	172.28	90.7017
Average	-268.33	172.262	91.0159

ตารางที่ 4.22 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.74699	-2.5882	10.2543
2	1.6886	-2.634	10.913
3	1.70139	-2.68961	9.90539
4	1.70019	-2.5827	10.5376
5	1.7029	-2.6046	10.8704
6	1.69719	-2.6333	10.6385
7	1.68399	-2.61031	10.6314
8	1.7056	-2.5955	10.753
9	1.70789	-2.6216	10.5783
10	1.6998	-2.59711	10.7564
11	1.70859	-2.6692	10.0584
12	1.73729	-2.5721	10.377
13	1.70769	-2.62851	10.2779
14	1.70349	-2.6355	10.1157
15	1.72139	-2.62021	10.5365
16	1.69939	-2.6385	9.65685
17	1.71609	-2.65201	9.81627
18	1.74049	-2.5966	10.2168
19	1.76129	-2.6252	10.9237
20	1.739	-2.64641	10.0267
Average	1.71346	-2.6221	10.3922

ตารางที่ 4.23 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	2.0546	0.010803	-0.1778
2	2.0385	-0.0033	0.495407
3	2.07159	-0.0208	1.40962
4	1.9021	-0.013	-1.2053
5	2.11949	0.2052	-1.1339
6	2.0717	0.012207	1.13248
7	2.06259	0.019211	0.81823
8	2.08969	0.024002	0.222145
9	2.0818	0.036011	0.624626
10	2.11549	0.207107	-0.8958
11	2.09169	0.010513	0.684593
12	1.88809	-0.0327	-1.2596
13	2.08229	0.0224	0.690674
14	2.0752	0.013901	0.803123
15	2.08839	0.061905	0.073402
16	2.0824	0.022202	0.004021
17	2.0927	0.048904	-0.11948
18	2.07599	-0.013	-0.9273
19	2.0892	0.168304	-0.56189
20	2.11429	0.165802	-0.6788
Average	2.06439	0.04728	-0.003

ตารางที่ 4.24 ตารางค่าชดเชยบนหัวดุดครั้งที่ 1 หัวดุดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดุดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.47952	-0.1734	-8.59178
2	3.4342	-0.1667	-8.25237
3	3.4462	-0.16249	-8.22663
4	3.47351	-0.147	-8.216
5	3.48621	-0.13809	-8.53637
6	3.4686	-0.14819	-7.99438
7	3.48111	-0.134	-8.47271
8	3.47549	-0.161	-8.02911
9	3.45841	-0.1517	-8.05902
10	3.48331	-0.1414	-8.2918
11	3.49182	-0.1376	-8.54147
12	3.4444	-0.16589	-8.19563
13	3.49921	-0.1423	-8.31626
14	3.49222	-0.1319	-8.43291
15	3.48431	-0.1364	-8.18417
16	3.46011	-0.14659	-8.13374
17	3.4856	-0.1256	-8.39507
18	3.45181	-0.18129	-8.18934
19	3.5119	-0.14389	-8.61497
20	3.45682	-0.1606	-8.49252
Average	3.47324	-0.1498	-8.3083

ตารางที่ 4.25 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 1 หัวตูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.72781	0.101212	-2.48232
2	3.69031	0.053207	-2.16214
3	3.7366	0.077408	-1.83226
4	3.7092	0.145111	-2.34004
5	3.7157	0.065109	-2.62315
6	3.7301	0.115006	-2.18169
7	3.69641	0.085907	-2.54164
8	3.72452	0.086304	-2.59137
9	3.74042	0.091705	-2.46352
10	3.742	0.106201	-2.21666
11	3.73892	0.075302	-2.20246
12	3.7229	0.0784	-2.48788
13	3.71899	0.087006	-2.54063
14	3.7244	0.105103	-2.45435
15	3.71661	0.087204	-2.5355
16	3.7236	0.06871	-2.61568
17	3.7464	0.068604	-1.84753
18	3.72549	0.108612	-2.40366
19	3.7106	0.078201	-2.45812
20	3.70779	0.076004	-2.45349
Average	3.72244	0.08802	-2.3717

ตารางที่ 4.26 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.18549	-1.69681	4.7432
2	1.1866	-1.70641	5.00771
3	1.1971	-1.6501	5.22
4	1.209	-1.67711	5.23032
5	1.17189	-1.7343	5.04182
6	1.20048	-1.71521	4.94007
7	1.2009	-1.69881	5.11868
8	1.19519	-1.7104	5.10168
9	1.21829	-1.6542	5.2604
10	1.18419	-1.7157	5.71836
11	1.18929	-1.70531	5.12814
12	1.18529	-1.71991	5.17482
13	1.21199	-1.6498	5.42711
14	1.16469	-1.7243	5.96769
15	1.23019	-1.67441	6.27
16	1.19609	-1.6797	5.13908
17	1.1745	-1.68809	5.45322
18	1.19519	-1.73801	5.29365
19	1.22269	-1.673	5.46189
20	1.17899	-1.6991	5.77431
Average	1.1949	-1.6955	5.32361

ตารางที่ 4.27 ตารางค่าชดเชยบนหัวตุตครั้งที่ 2 หัวตุตที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตุตที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-0.7061	0.2883	-6.12119
2	-0.7177	0.303207	-6.129
3	-0.7231	0.323105	-5.9127
4	-0.7005	0.2854	-5.95869
5	-0.7084	0.293304	-6.03899
6	-0.7157	0.309204	-6.10969
7	-0.71811	0.305206	-6.4432
8	-0.7043	0.314804	-6.54749
9	-0.7175	0.216705	-6.5985
10	-0.6994	0.3172	-6.5375
11	-0.70621	0.315506	-6.06149
12	-0.72771	0.253006	-6.02319
13	-0.70461	0.324402	-6.4917
14	-0.70371	0.291809	-6.2492
15	-0.70261	0.327805	-6.10899
16	-0.7191	0.300507	-5.8557
17	-0.7025	0.282211	-6.0846
18	-0.7061	0.226807	-5.8238
19	-0.71361	0.299713	-6.09409
20	-0.71411	0.316406	-6.057
Average	-0.7106	0.29473	-6.1623

ตารางที่ 4.28 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 2 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	4.03491	0.377411	0.231895
2	4.02371	0.3591	0.963471
3	3.9877	0.446411	-0.05291
4	4.0004	0.445099	-0.02975
5	4.0174	0.382401	0.749756
6	4.0058	0.458008	-0.22841
7	3.99081	0.453903	-0.31223
8	3.98822	0.443603	0.26609
9	4.00671	0.377899	0.917679
10	3.98831	0.446304	0.1492
11	3.9946	0.441299	0.175926
12	4.03799	0.374496	0.54599
13	3.99191	0.4664	0.007751
14	3.9978	0.452301	-0.06475
15	4.02261	0.393402	0.669579
16	3.9946	0.450409	0.079338
17	3.98761	0.4561	0.020348
18	4.02551	0.341797	0.422379
19	4.0033	0.420807	-0.28565
20	4.0332	0.365005	0.446754
Average	4.00666	0.41761	0.23362

ตารางที่ 4.29 ตารางค่าชดเชยบนหัวดุดครั้งที่ 2 หัวดุดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดุดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.448	-0.2674	1.50345
2	3.4469	-0.10829	1.58951
3	3.453	-0.1893	2.11932
4	3.44171	-0.12289	1.53407
5	3.4736	-0.0587	1.98434
6	3.4805	-0.03949	2.40255
7	3.4671	-0.06589	2.21322
8	3.44522	-0.11769	1.52032
9	3.44022	-0.1834	1.00387
10	3.42032	-0.25499	1.19902
11	3.4657	-0.0862	2.311
12	3.4241	-0.26129	1.14471
13	3.5278	-0.0201	1.13115
14	3.48572	-0.03619	2.41515
15	3.47421	-0.088	1.50652
16	3.43561	-0.1572	1.80257
17	3.4823	-0.02199	2.52434
18	3.449	-0.14189	1.37907
19	3.414	-0.22009	1.14143
20	3.47092	-0.06499	2.10232
Average	3.4573	-0.1253	1.7264

ตารางที่ 4.30 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 3 หัวตูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.9204	-1.45931	2.04345
2	1.98929	-1.4191	1.55485
3	1.98299	-1.4592	2.16314
4	1.97049	-1.4301	2.17937
5	2.00569	-1.45281	1.40482
6	1.9843	-1.472	1.864
7	1.98279	-1.44971	1.48183
8	1.97819	-1.4689	2.05289
9	1.9608	-1.4529	2.30218
10	1.9946	-1.41521	1.50446
11	1.97569	-1.45891	2.12167
12	1.97939	-1.42641	1.94163
13	1.97939	-1.4426	1.92883
14	1.98729	-1.4221	1.54027
15	1.98129	-1.4706	2.01234
16	1.97909	-1.4635	2.08179
17	2.008	-1.4276	1.25262
18	1.98959	-1.47551	1.69268
19	1.96359	-1.496	1.63478
20	1.9599	-1.4724	1.9707
Average	1.97864	-1.4517	1.83642

ตารางที่ 4.31 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 3 หัวตูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-0.3775	0.692307	-11.3097
2	-0.3515	0.677307	-10.6226
3	-0.3631	0.675308	-10.3773
4	-0.36501	0.6819	-10.4412
5	-0.36211	0.696304	-10.5402
6	-0.3533	0.680206	-10.6579
7	-0.37021	0.680511	-10.5016
8	-0.3866	0.702606	-11.7948
9	-0.39731	0.703812	-11.6926
10	-0.3667	0.68161	-10.4861
11	-0.35681	0.686508	-10.5433
12	-0.37361	0.702103	-11.2596
13	-0.36351	0.700607	-10.9658
14	-0.3596	0.684799	-10.5483
15	-0.3669	0.707306	-11.2978
16	-0.36151	0.6875	-10.6428
17	-0.36211	0.691513	-10.6315
18	-0.41541	0.635803	-11.8602
19	-0.38391	0.631302	-10.4315
20	-0.3902	0.681702	-11.5783
Average	-0.3713	0.68405	-10.909

ตารางที่ 4.32 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 3 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.0582	1.7364	-5.96855
2	1.0137	1.6983	-5.37124
3	0.970398	1.67931	-4.85478
4	0.986023	1.6555	-4.6697
5	0.981812	1.6631	-4.88359
6	0.990204	1.66901	-4.46736
7	1.0029	1.68271	-5.07855
8	1.01532	1.7103	-5.38489
9	0.945496	1.65331	-4.48512
10	0.940796	1.64041	-4.44344
11	0.981415	1.6712	-4.40051
12	1.0025	1.7167	-5.76704
13	1.01282	1.70801	-5.21941
14	0.987213	1.69141	-4.99207
15	1.02982	1.71581	-5.39124
16	1.00671	1.7144	-4.94351
17	0.940613	1.64911	-4.33458
18	1.03592	1.6685	-5.50794
19	0.956696	1.6617	-5.74635
20	0.960815	1.66841	-5.56321
Average	0.99097	1.68268	-5.0737

ตารางที่ 4.33 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.74081	0.75531	-6.30172
2	1.73651	0.787506	-6.00015
3	1.7395	0.753708	-6.28368
4	1.7305	0.780212	-6.50362
5	1.73621	0.780014	-6.06523
6	1.72122	0.803711	-5.8152
7	1.73151	0.78421	-6.1351
8	1.73761	0.790909	-6.06253
9	1.7197	0.772003	-6.59959
10	1.73712	0.757401	-6.17071
11	1.73102	0.774307	-6.18803
12	1.7876	0.728302	-6.50761
13	1.7338	0.790909	-5.62589
14	1.72531	0.790802	-6.40216
15	1.71222	0.802002	-6.5144
16	1.73721	0.759506	-6.43923
17	1.72681	0.788711	-6.27364
18	1.74802	0.739807	-6.86093
19	1.79172	0.775101	-6.10909
20	1.7103	0.691605	-6.04874
Average	1.73674	0.7703	-6.2454

ตารางที่ 4.34 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	0.938599	-1.784	-0.9958
2	0.885895	-1.74291	-0.25961
3	0.915497	-1.78531	-0.7659
4	0.90889	-1.78101	-0.9009
5	0.947495	-1.8055	-1.2664
6	0.92189	-1.7925	-0.7534
7	0.928497	-1.8007	-1.45731
8	0.936997	-1.8201	-0.9334
9	0.92189	-1.7923	-0.0508
10	0.93129	-1.79761	-1.0609
11	0.946289	-1.6189	-1.5836
12	0.935898	-1.7785	-1.01981
13	0.923187	-1.7766	-0.6204
14	0.902588	-1.77771	-0.25501
15	0.933395	-1.7736	-0.87061
16	0.93869	-1.8082	-0.9974
17	0.942291	-1.7971	-1.2999
18	0.953888	-1.80571	-1.0269
19	0.914886	-1.7923	-0.7426
20	0.916596	-1.78281	-0.6004
Average	0.92723	-1.7807	-0.8731

ตารางที่ 4.35 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 4 หัวตูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.24649	0.39711	-2.1953
2	1.2477	0.419403	-1.3643
3	1.2795	0.39331	-0.42702
4	1.23779	0.411301	-1.4992
5	1.24829	0.412704	-1.5788
6	1.29779	0.428207	-0.9642
7	1.27829	0.419907	-0.6347
8	1.2487	0.403214	-1.63699
9	1.2847	0.407104	-0.47065
10	1.2823	0.400803	-0.55016
11	1.29199	0.427109	-0.69289
12	1.2498	0.413513	-1.70689
13	1.29059	0.423004	-1.16129
14	1.30029	0.420013	-0.6849
15	1.29069	0.419708	-0.62463
16	1.29359	0.423309	-1.1664
17	1.29379	0.416611	-0.718
18	1.2455	0.374802	-1.4433
19	1.2453	0.423706	-1.5482
20	1.2515	0.424713	-1.3874
Average	1.27023	0.41298	-1.1228

ตารางที่ 4.36 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 4 หัวตูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	4.44031	0.6604	1.47262
2	4.45941	0.641296	1.17534
3	4.47351	0.655502	1.0051
4	4.4664	0.673111	1.06307
5	4.47302	0.678009	0.867241
6	4.44461	0.644501	1.26626
7	4.4696	0.638809	1.09579
8	4.4606	0.649902	1.10006
9	4.4588	0.651001	1.28725
10	4.4389	0.601196	2.1942
11	4.4613	0.678604	1.03392
12	4.4328	0.612198	1.92647
13	4.4718	0.662705	0.839279
14	4.46011	0.667999	0.547035
15	4.4657	0.6595	0.923477
16	4.45911	0.6745	1.07058
17	4.45981	0.660797	0.992775
18	4.47021	0.624405	1.71551
19	4.4509	0.645508	1.09
20	4.457	0.652405	0.821938
Average	4.4587	0.65162	1.1744

ตารางที่ 4.37 ตารางค่าชดเชยบนหัวตูดครั้งที่ 4 หัวตูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวตูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.1766	-0.34059	-5.82622
2	3.1807	-0.3611	-5.48254
3	3.1748	-0.3116	-5.61238
4	3.17102	-0.28639	-5.8466
5	3.15811	-0.33829	-6.08725
6	3.18851	-0.34819	-5.36694
7	3.16101	-0.3333	-6.27
8	3.17282	-0.3284	-5.73498
9	3.19202	-0.34149	-5.28796
10	3.16751	-0.3526	-5.95515
11	3.17722	-0.3438	-5.49707
12	3.177	-0.35089	-5.71327
13	3.1684	-0.33029	-6.13365
14	3.1669	-0.3277	-6.15086
15	3.16852	-0.34	-5.95924
16	3.16821	-0.3181	-5.80808
17	3.14871	-0.30179	-6.29393
18	3.18442	-0.40179	-5.70671
19	3.20111	-0.35809	-5.87408
20	3.17401	-0.3382	-6.17995
Average	3.17388	-0.3376	-5.8393

ตารางที่ 4.38 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.3577	-1.52971	4.20304
2	1.3458	-1.52701	3.78389
3	1.36279	-1.5388	4.17812
4	1.3909	-1.5461	3.54128
5	1.38559	-1.5144	3.4299
6	1.34329	-1.4996	3.23074
7	1.37689	-1.51891	4.17112
8	1.39279	-1.5484	3.71497
9	1.40559	-1.5443	3.4999
10	1.39429	-1.5267	3.52672
11	1.4032	-1.5298	3.61619
12	1.3857	-1.57519	3.48471
13	1.39369	-1.5403	3.70334
14	1.38579	-1.54041	3.8113
15	1.37469	-1.5369	3.82033
16	1.39659	-1.5182	3.63079
17	1.3734	-1.5463	3.44588
18	1.3938	-1.5827	3.23096
19	1.3857	-1.612	3.18107
20	1.35849	-1.5808	3.52082
Average	1.38033	-1.5428	3.63625

ตารางที่ 4.39 ตารางค่าชดเชยบนหัวดุดครั้งที่ 5 หัวดุดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดุดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.07779	0.102905	-1.8573
2	1.0564	0.078705	-2.06399
3	1.0734	0.078903	-1.45979
4	1.0553	0.085205	-2.0159
5	1.05299	0.088104	-2.09319
6	1.069	0.09021	-1.9715
7	1.0602	0.096512	-1.4761
8	1.0737	0.0952	-2.23389
9	1.0544	0.086411	-1.9632
10	1.0728	0.088699	-1.9614
11	1.0643	0.09111	-1.6319
12	1.05139	0.060303	-1.93529
13	1.0538	0.082809	-1.9304
14	1.06959	0.080811	-1.9463
15	1.07199	0.083313	-1.3382
16	1.0732	0.084503	-1.4608
17	1.0482	0.090714	-1.9801
18	1.0898	0.054001	-2.0659
19	1.0466	0.058502	-1.9572
20	1.0578	0.047501	-1.8354
Average	1.06363	0.08122	-1.8589

ตารางที่ 4.40 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	4.3244	0.491302	-0.80611
2	4.29401	0.519806	-1.34815
3	4.28439	0.518402	-1.254
4	4.31061	0.513306	-1.77868
5	4.29062	0.533508	-1.88765
6	4.2847	0.525009	-1.31036
7	4.27802	0.509598	-1.53051
8	4.2785	0.527405	-0.91755
9	4.3107	0.526611	-1.74786
10	4.30441	0.512497	-1.51957
11	4.30279	0.52301	-1.81739
12	4.30951	0.456909	-1.5088
13	4.27301	0.512405	-1.21501
14	4.28662	0.522797	-1.63703
15	4.3042	0.513611	-1.59256
16	4.2836	0.520706	-1.69744
17	4.29282	0.509308	-1.52529
18	4.2829	0.447403	-1.35796
19	4.2511	0.466003	-1.71764
20	4.2721	0.456909	-1.94891
Average	4.29095	0.50533	-1.5059

ตารางที่ 4.41 ตารางค่าชดเชยบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าชดเชยหัวดูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.0271	0.691208	-1.37518
2	3.0238	0.734009	-2.02638
3	3.04901	0.701813	-1.70731
4	3.03192	0.66951	-1.46015
5	3.03561	0.723709	-1.96939
6	3.04422	0.692307	-1.40939
7	3.0412	0.729309	-1.38667
8	3.0481	0.677704	-1.59677
9	3.03751	0.688614	-1.38435
10	3.03281	0.712708	-1.66776
11	3.06161	0.714905	-0.59982
12	2.98642	0.639801	-1.90395
13	3.0386	0.67511	-1.59007
14	3.02402	0.706604	-1.48962
15	3.0433	0.690109	-1.60774
16	3.03372	0.70871	-1.1817
17	3.0434	0.697403	-1.67083
18	3.03931	0.791107	-1.6031
19	3.02371	0.634201	-1.90492
20	3.01401	0.679611	-1.22373
Average	3.03397	0.69792	-1.5379

ตารางที่ 4.42 ตารางค่ามาตรฐานเป้าหมายในการวาง

ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตูดที่1			ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตูดที่2		
x(mm.)	y(mm.)	U	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
404.841	419.268	-181.646	402.525	358.63	-177.735
ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตูดที่3			ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตูดที่4		
x(mm.)	y(mm.)	U	x(mm.)	y(mm.)	u
297.508	356.417	-180.751	297.436	417.098	-180.421

ตารางที่ 4.43 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตูดครั้งที่ 1 หัวตูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	406.588	416.68	-171.392
2	406.53	416.634	-170.733
3	406.542	416.578	-171.741
4	406.541	416.685	-171.108
5	406.544	416.663	-170.776
6	406.538	416.635	-171.008
7	406.525	416.658	-171.015
8	406.547	416.672	-170.893
9	406.549	416.646	-171.068
10	406.541	416.671	-170.89
11	406.55	416.599	-171.588
12	406.578	416.696	-171.269
13	406.549	416.639	-171.368
14	406.544	416.633	-171.53
15	406.562	416.648	-171.109
16	406.54	416.629	-171.989
17	406.557	416.616	-171.83

18	406.582	416.671	-171.429
19	406.602	416.643	-170.722
20	406.58	416.622	-171.619
Average	406.554	416.646	-171.25

ตารางที่ 4.44 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตุตครั้งที่ 1 หัวตุตที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตุตที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	404.58	358.641	-177.913
2	404.564	358.627	-177.24
3	404.597	358.609	-176.325
4	404.427	358.617	-178.94
5	404.645	358.835	-178.869
6	404.597	358.642	-176.602
7	404.588	358.649	-176.917
8	404.615	358.654	-177.513
9	404.607	358.666	-177.11
10	404.641	358.837	-178.631
11	404.617	358.641	-177.05
12	404.413	358.597	-178.995
13	404.607	358.652	-177.044
14	404.6	358.644	-176.932
15	404.613	358.692	-177.662
16	404.607	358.652	-177.731
17	404.618	358.679	-177.855
18	404.601	358.617	-178.662

19	404.614	358.798	-178.297
20	404.639	358.796	-178.414
Average	404.59	358.677	-177.74

ตารางที่ 4.45 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	300.988	356.224	-189.343
2	300.943	356.23	-189.003
3	300.955	356.234	-188.978
4	300.983	356.25	-188.967
5	300.995	356.259	-189.287
6	300.978	356.249	-188.745
7	300.99	356.263	-189.224
8	300.984	356.236	-188.78
9	300.967	356.245	-188.81
10	300.992	356.256	-189.043
11	301.001	356.259	-189.292
12	300.953	356.231	-188.947
13	301.008	356.255	-189.067
14	301.001	356.265	-189.184
15	300.993	356.261	-188.935
16	300.969	356.25	-188.885

17	300.995	356.271	-189.146
18	300.961	356.216	-188.94
19	301.021	356.253	-189.366
20	300.966	356.236	-189.243
Average	300.982	356.247	-189.06

ตารางที่ 4.46 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 1 หัวดูดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	301.164	417.2	-182.904
2	301.126	417.152	-182.584
3	301.173	417.176	-182.254
4	301.145	417.244	-182.762
5	301.152	417.164	-183.045
6	301.166	417.214	-182.604
7	301.132	417.185	-182.964
8	301.16	417.185	-183.013
9	301.176	417.191	-182.885
10	301.178	417.205	-182.639
11	301.175	417.174	-182.624
12	301.159	417.177	-182.91
13	301.155	417.186	-182.963
14	301.16	417.204	-182.876

15	301.153	417.186	-182.958
16	301.16	417.168	-183.038
17	301.182	417.168	-182.27
18	301.161	417.208	-182.826
19	301.147	417.177	-182.88
20	301.144	417.175	-182.876
Average	301.158	417.187	-182.79

ตารางที่ 4.47 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	406.026	417.571	-176.903
2	406.028	417.562	-176.638
3	406.038	417.618	-176.426
4	406.05	417.591	-176.416
5	406.013	417.534	-176.604
6	406.042	417.553	-176.706
7	406.042	417.569	-176.527
8	406.036	417.558	-176.544
9	406.059	417.614	-176.386
10	406.025	417.552	-175.928
11	406.03	417.563	-176.518
12	406.026	417.548	-176.471

13	406.053	417.618	-176.219
14	406.006	417.544	-175.678
15	406.071	417.594	-175.376
16	406.037	417.588	-176.507
17	406.016	417.58	-176.193
18	406.036	417.53	-176.352
19	406.064	417.595	-176.184
20	406.02	417.569	-175.872
Average	406.036	417.573	-176.32

ตารางที่ 4.48 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 2 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	401.819	358.918	-183.856
2	401.807	358.933	-183.864
3	401.802	358.953	-183.648
4	401.824	358.915	-183.694
5	401.817	358.923	-183.774
6	401.809	358.939	-183.845
7	401.807	358.935	-184.178
8	401.821	358.945	-184.283
9	401.807	358.847	-184.333
10	401.826	358.947	-184.273

11	401.819	358.945	-183.796
12	401.797	358.883	-183.758
13	401.82	358.954	-184.227
14	401.821	358.922	-183.984
15	401.822	358.958	-183.844
16	401.806	358.931	-183.591
17	401.823	358.912	-183.82
18	401.819	358.857	-183.559
19	401.811	358.93	-183.829
20	401.811	358.946	-183.792
Average	401.814	358.925	-183.9

ตารางที่ 4.49 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตุตครั้งที่ 2 หัวตุตที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตุตที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	301.544	356.774	-180.519
2	301.533	356.756	-179.788
3	301.497	356.843	-180.804
4	301.509	356.842	-180.781
5	301.526	356.779	-180.001
6	301.515	356.855	-180.979
7	301.5	356.851	-181.063
8	301.497	356.841	-180.485

9	301.516	356.775	-179.833
10	301.497	356.843	-180.602
11	301.504	356.838	-180.575
12	301.547	356.772	-180.205
13	301.501	356.863	-180.743
14	301.507	356.849	-180.816
15	301.532	356.79	-180.081
16	301.504	356.847	-180.672
17	301.497	356.853	-180.731
18	301.534	356.739	-180.329
19	301.512	356.818	-181.037
20	301.542	356.762	-180.304
Average	301.516	356.815	-180.52

ตารางที่ 4.50 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตุตครั้งที่ 2 หัวตุตที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตุตที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	300.884	416.832	-178.919
2	300.883	416.991	-178.833
3	300.889	416.91	-178.303
4	300.878	416.976	-178.888
5	300.91	417.04	-178.438
6	300.917	417.06	-178.019

7	300.903	417.033	-178.209
8	300.881	416.981	-178.902
9	300.876	416.916	-179.418
10	300.856	416.844	-179.223
11	300.902	417.013	-178.111
12	300.86	416.838	-179.277
13	300.964	417.079	-179.291
14	300.922	417.063	-178.007
15	300.91	417.011	-178.915
16	300.872	416.942	-178.619
17	300.918	417.077	-177.898
18	300.885	416.957	-179.043
19	300.85	416.879	-179.281
20	300.907	417.034	-178.32
Average	300.893	416.974	-178.7

ตารางที่ 4.51 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 3 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	406.761	417.809	-179.602
2	406.83	417.849	-180.091
3	406.824	417.809	-179.483
4	406.811	417.838	-179.467
5	406.847	417.815	-180.241
6	406.825	417.796	-179.782
7	406.824	417.818	-180.164
8	406.819	417.799	-179.593
9	406.802	417.815	-179.344
10	406.836	417.853	-180.141
11	406.817	417.809	-179.524
12	406.82	417.842	-179.704
13	406.82	417.825	-179.717
14	406.828	417.846	-180.106
15	406.822	417.797	-179.634
16	406.82	417.805	-179.564
17	406.849	417.84	-180.393
18	406.831	417.793	-179.953
19	406.805	417.772	-180.011
20	406.801	417.796	-179.675
Average	406.82	417.816	-179.81

ตารางที่ 4.52 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตูดครั้งที่ 3 หัวตูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	402.147	359.322	-189.045
2	402.173	359.307	-188.358
3	402.162	359.305	-188.112
4	402.16	359.312	-188.176
5	402.163	359.326	-188.275
6	402.172	359.31	-188.393
7	402.155	359.31	-188.237
8	402.138	359.333	-189.53
9	402.128	359.334	-189.428
10	402.158	359.312	-188.221
11	402.168	359.316	-188.278
12	402.151	359.332	-188.995
13	402.161	359.331	-188.701
14	402.165	359.315	-188.283
15	402.158	359.337	-189.033
16	402.164	359.318	-188.378
17	402.163	359.322	-188.367
18	402.11	359.266	-189.595
19	402.141	359.261	-188.167
20	402.135	359.312	-189.313
Average	402.154	359.314	-188.64

ตารางที่ 4.53 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดุดครั้งที่ 3 หัวดุดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดุดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	298.567	358.133	-186.72
2	298.523	358.095	-186.122
3	298.479	358.076	-185.606
4	298.495	358.052	-185.421
5	298.491	358.06	-185.635
6	298.499	358.066	-185.218
7	298.512	358.08	-185.83
8	298.524	358.107	-186.136
9	298.454	358.05	-185.236
10	298.45	358.037	-185.194
11	298.49	358.068	-185.152
12	298.512	358.114	-186.518
13	298.522	358.105	-185.97
14	298.496	358.088	-185.743
15	298.539	358.113	-186.142
16	298.516	358.111	-185.695
17	298.45	358.046	-185.086
18	298.545	358.065	-186.259
19	298.466	358.059	-186.497
20	298.47	358.065	-186.314
Average	298.5	358.08	-185.82

ตารางที่ 4.54 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดุดครั้งที่ 3 หัวดุดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดุดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	299.177	417.854	-186.724
2	299.172	417.887	-186.422
3	299.176	417.853	-186.706
4	299.167	417.879	-186.926
5	299.172	417.879	-186.487
6	299.157	417.903	-186.237
7	299.168	417.883	-186.557
8	299.174	417.89	-186.484
9	299.156	417.871	-187.022
10	299.173	417.856	-186.593
11	299.167	417.873	-186.61
12	299.224	417.827	-186.93
13	299.17	417.89	-186.048
14	299.161	417.89	-186.824
15	299.148	417.901	-186.936
16	299.173	417.858	-186.861
17	299.163	417.888	-186.696
18	299.184	417.839	-187.283
19	299.228	417.874	-186.531
20	299.146	417.791	-186.471
Average	299.173	417.869	-186.67

ตารางที่ 4.55 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	405.78	417.484	-182.642
2	405.727	417.525	-181.906
3	405.757	417.483	-182.412
4	405.75	417.487	-182.547
5	405.789	417.462	-182.912
6	405.763	417.475	-182.399
7	405.77	417.467	-183.103
8	405.778	417.448	-182.579
9	405.763	417.476	-181.697
10	405.772	417.47	-182.707
11	405.787	417.649	-183.23
12	405.777	417.49	-182.666
13	405.764	417.491	-182.266
14	405.744	417.49	-181.901
15	405.774	417.494	-182.517
16	405.78	417.46	-182.643
17	405.783	417.471	-182.946
18	405.795	417.462	-182.673
19	405.756	417.476	-182.389
20	405.758	417.485	-182.246
Average	405.768	417.487	-182.52

ตารางที่ 4.56 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตุตครั้งที่ 4 หัวตุตที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตุตที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	403.772	359.027	-179.93
2	403.773	359.049	-179.099
3	403.805	359.023	-178.162
4	403.763	359.041	-179.234
5	403.773	359.043	-179.314
6	403.823	359.058	-178.699
7	403.803	359.05	-178.37
8	403.774	359.033	-179.372
9	403.81	359.037	-178.206
10	403.807	359.031	-178.285
11	403.817	359.057	-178.428
12	403.775	359.043	-179.442
13	403.816	359.053	-178.896
14	403.825	359.05	-178.42
15	403.816	359.05	-178.36
16	403.819	359.053	-178.901
17	403.819	359.047	-178.453
18	403.771	359.005	-179.178
19	403.77	359.054	-179.283
20	403.776	359.055	-179.122
Average	403.795	359.043	-178.86

ตารางที่ 4.57 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 4 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	301.949	357.057	-179.278
2	301.968	357.038	-179.576
3	301.983	357.052	-179.746
4	301.975	357.07	-179.688
5	301.982	357.075	-179.884
6	301.954	357.042	-179.485
7	301.979	357.036	-179.655
8	301.97	357.047	-179.651
9	301.968	357.048	-179.464
10	301.948	356.998	-178.557
11	301.97	357.076	-179.717
12	301.942	357.009	-178.824
13	301.981	357.06	-179.912
14	301.969	357.065	-180.204
15	301.975	357.056	-179.827
16	301.968	357.072	-179.68
17	301.969	357.058	-179.758
18	301.979	357.021	-179.036
19	301.96	357.043	-179.661
20	301.966	357.049	-179.929
Average	301.968	357.049	-179.58

ตารางที่ 4.58 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวตุตครั้งที่ 4 หัวตุตที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวตุตที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	300.613	416.758	-186.248
2	300.617	416.738	-185.904
3	300.611	416.787	-186.034
4	300.607	416.813	-186.269
5	300.594	416.761	-186.509
6	300.625	416.751	-185.789
7	300.597	416.766	-186.692
8	300.609	416.771	-186.157
9	300.628	416.758	-185.71
10	300.603	416.746	-186.377
11	300.613	416.755	-185.919
12	300.613	416.748	-186.135
13	300.604	416.769	-186.556
14	300.603	416.771	-186.573
15	300.604	416.759	-186.381
16	300.604	416.781	-186.23
17	300.585	416.797	-186.716
18	300.62	416.697	-186.129
19	300.637	416.741	-186.296
20	300.61	416.761	-186.602
Average	300.61	416.761	-186.26

ตารางที่ 4.59 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดุดครั้งที่ 5 หัวดุดที่ 1

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดุดที่ 1		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	406.199	417.738	-177.443
2	406.187	417.741	-177.862
3	406.204	417.729	-177.468
4	406.232	417.722	-178.105
5	406.227	417.754	-178.216
6	406.184	417.768	-178.415
7	406.218	417.749	-177.475
8	406.234	417.72	-177.931
9	406.247	417.724	-178.146
10	406.235	417.741	-178.119
11	406.244	417.738	-178.03
12	406.227	417.693	-178.161
13	406.235	417.728	-177.943
14	406.227	417.728	-177.835
15	406.216	417.731	-177.826
16	406.238	417.75	-178.015
17	406.214	417.722	-178.2
18	406.235	417.685	-178.415
19	406.227	417.656	-178.465
20	406.199	417.687	-178.125
Average	406.221	417.725	-178.01

ตารางที่ 4.60 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 2

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	403.603	358.733	-179.592
2	403.581	358.709	-179.799
3	403.598	358.709	-179.195
4	403.58	358.715	-179.751
5	403.578	358.718	-179.828
6	403.594	358.72	-179.706
7	403.585	358.727	-179.211
8	403.599	358.725	-179.969
9	403.579	358.716	-179.698
10	403.598	358.719	-179.696
11	403.589	358.721	-179.367
12	403.576	358.69	-179.67
13	403.579	358.713	-179.665
14	403.595	358.711	-179.681
15	403.597	358.713	-179.073
16	403.598	358.715	-179.196
17	403.573	358.721	-179.715
18	403.615	358.684	-179.801
19	403.572	358.689	-179.692
20	403.583	358.677	-179.57
Average	403.589	358.711	-179.59

ตารางที่ 4.61 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดูดครั้งที่ 5 หัวดูดที่ 3

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดูดที่ 3		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	301.833	356.888	-181.557
2	301.803	356.917	-182.099
3	301.793	356.915	-182.005
4	301.82	356.91	-182.53
5	301.8	356.931	-182.639
6	301.794	356.922	-182.061
7	301.787	356.907	-182.281
8	301.788	356.924	-181.669
9	301.82	356.924	-182.499
10	301.813	356.909	-182.271
11	301.812	356.92	-182.568
12	301.819	356.854	-182.26
13	301.782	356.909	-181.966
14	301.796	356.92	-182.388
15	301.813	356.911	-182.344
16	301.793	356.918	-182.448
17	301.802	356.906	-182.276
18	301.792	356.844	-182.109
19	301.76	356.863	-182.469
20	301.781	356.854	-182.7
Average	301.8	356.902	-182.26

ตารางที่ 4.62 ตารางค่าเป้าหมายในการวางบนหัวดุดครั้งที่ 5 หัวดุดที่ 4

จำนวนครั้ง	ค่าเป้าหมายในการวางหัวดุดที่ 4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	300.463	417.79	-181.797
2	300.46	417.833	-182.448
3	300.485	417.801	-182.129
4	300.468	417.768	-181.882
5	300.472	417.823	-182.391
6	300.48	417.791	-181.831
7	300.477	417.828	-181.809
8	300.484	417.777	-182.019
9	300.474	417.788	-181.806
10	300.469	417.812	-182.09
11	300.498	417.814	-181.022
12	300.422	417.739	-182.326
13	300.475	417.774	-182.012
14	300.46	417.806	-181.912
15	300.479	417.789	-182.03
16	300.47	417.808	-181.604
17	300.479	417.796	-182.093
18	300.475	417.89	-182.025
19	300.46	417.733	-182.327
20	300.45	417.779	-181.646
Average	300.47	417.797	-181.96

ตารางที่ 4.63 ตารางค่าเฉลี่ยรวมของการถ่ายได้ในแต่ละรอบ

ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่1			ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-249.2555	175.7101	90.7228	-248.5844	153.456	99.3551
2	-248.7369	174.7834	95.7913	-245.8095	153.2083	105.5173
3	-249.5206	174.53975	99.2785	-246.1486	152.8189	110.2642
4	-248.4693	174.8687	101.988	-247.7902	153.09	100.4776
5	-248.9224	174.6308	97.4787	-247.5836	153.4218	101.2137
ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่3			ตำแหน่งที่ถ่ายหัวดุดที่4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	-268.4332	151.9068	98.6453	-269.0144	172.872	91.8497
2	-268.9667	151.3395	90.1033	-268.7493	173.0852	87.7516
3	-265.9509	150.0745	95.4106	-267.0287	172.1897	95.7233
4	-269.4187	151.1055	89.1626	-268.4659	173.2976	95.3173
5	-269.251	151.2517	91.8429	-268.3259	172.262	91.0159

ตารางที่ 4.64 ตารางค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวางของแต่ละหัวดูด

ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งวางหัวดูดที่1			ตำแหน่งวางหัวดูดที่2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	406.5544	416.6459	-171.2538	404.5895	358.6772	-177.7351
2	406.0359	417.5725	-176.3224	401.8144	358.9246	-183.8974
3	406.8196	417.8163	-179.8094	402.1536	359.31405	-188.6442
4	405.7683	417.4872	-182.5905	403.7953	359.04295	-178.8577
5	406.2214	417.7252	-178.0097	403.5886	358.7112	-179.594
ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งวางหัวดูดที่3			ตำแหน่งวางหัวดูดที่4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	300.9821	356.2471	-189.0592	301.1584	417.1869	-182.7937
2	301.5157	356.8145	-180.5174	300.8933	416.9738	-178.6957
3	298.5	358.0795	-185.8247	299.1728	417.8693	-186.6674
4	301.9677	357.0486	-179.5766	300.6098	416.7614	-186.2613
5	301.8	356.9023	-182.2569	300.47	417.7969	-181.9599

$$\text{ตำแหน่งวาง} = \text{ค่ามาสเตอร์เป้าหมาย} + \text{ค่าชดเชย} \quad (4.1)$$

$$\text{ค่าชดเชย} = \text{ค่ามาตรฐาน} - \text{ค่าที่ถ่ายปัจจุบัน} \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.65 ตารางค่าเฉลี่ยชดเชยของหัวตูดในแต่ละรอบของการทดลอง

ค่าเฉลี่ย	ค่าชดเชยหัวตูดที่1			ค่าชดเชยหัวตูดที่2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	1.71346	-2.622	10.3922	2.0643	0.0472	-0.003
2	1.1949	-1.6955	5.3236	-0.7105	0.2947	-6.1623
3	1.9786	-1.4517	1.8364	-0.3713	0.684	-10.9091
4	0.9272	-1.7806	-0.873	1.2702	0.4129	-1.1227
5	1.3803	-1.5428	3.6362	1.0636	0.0812	-1.8588
ค่าเฉลี่ย	ค่าชดเชยหัวตูดที่3			ค่าชดเชยหัวตูดที่4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	3.4732	-0.1498	-8.3081	3.7224	0.088	-2.3717
2	4.0066	0.4176	0.2336	3.4572	-0.12529	1.72639
3	0.99096	1.6826	-5.1407	1.7367	0.7703	-6.24536
4	4.4586	0.6516	1.1743	3.17388	-0.33762	-5.8393
5	4.2909	0.5053	-1.5059	3.0339	0.6979	-1.5379

ตารางที่ 4.66 ตารางตำแหน่งวางวัตถุครั้งแรก

ค่ามาสเตอร์วางวัตถุครั้งแรกหัวดูดที่1			ค่ามาสเตอร์วางวัตถุครั้งแรกหัวดูดที่2		
x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
406.372	416.253	-172.148	404.294	358.841	-177.852
ค่ามาสเตอร์วางวัตถุครั้งแรกหัวดูดที่3			ค่ามาสเตอร์วางวัตถุครั้งแรกหัวดูดที่4		
x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
300.614	356.509	-191.377	301.782	417.839	-184.637

ตารางที่ 4.67 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแต่ละหัวดูด

รอบที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวดูดที่1			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวดูดที่2		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	0.0449	0.09438	0.51932	0.07309	0.04561	0.065785
2	0.0827	0.317	2.4246	0.61331	0.02332	3.3988
3	0.1101	0.3755	4.4502	0.5294	0.13184	6.0679
4	0.1485	0.2965	6.06629	0.1233	0.05629	0.5656
5	0.037	0.35367	3.4052	0.17447	0.0361	0.97946
ค่าเฉลี่ย	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวดูดที่3			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวดูดที่4		
	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)	x(mm.)	y(mm.)	u(องศา)
1	0.12248	0.07343	1.2112	0.20663	0.156	0.99817
2	0.29995	0.08569	5.6746	0.29448	0.207	3.21766
3	0.70322	0.440521	2.9125	0.86459	0.00725	1.09945
4	0.4503	0.15135	6.16584	0.38839	0.2578	0.87956
5	0.39455	0.11031	4.76546	0.43475	0.01	1.4498

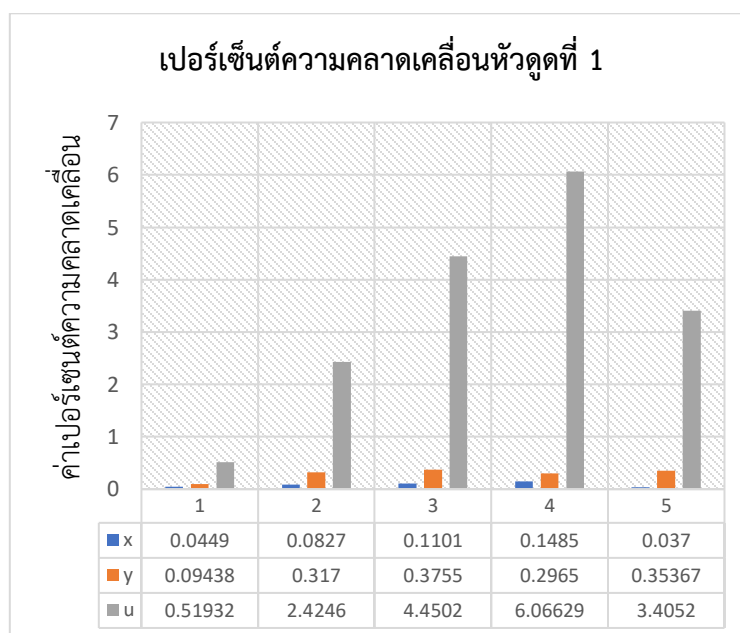
จากสมการการหาค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Error} = \left(\left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \right) \times 100 \quad (4.3)$$

โดยที่ X_t คือ ค่าจริง

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด

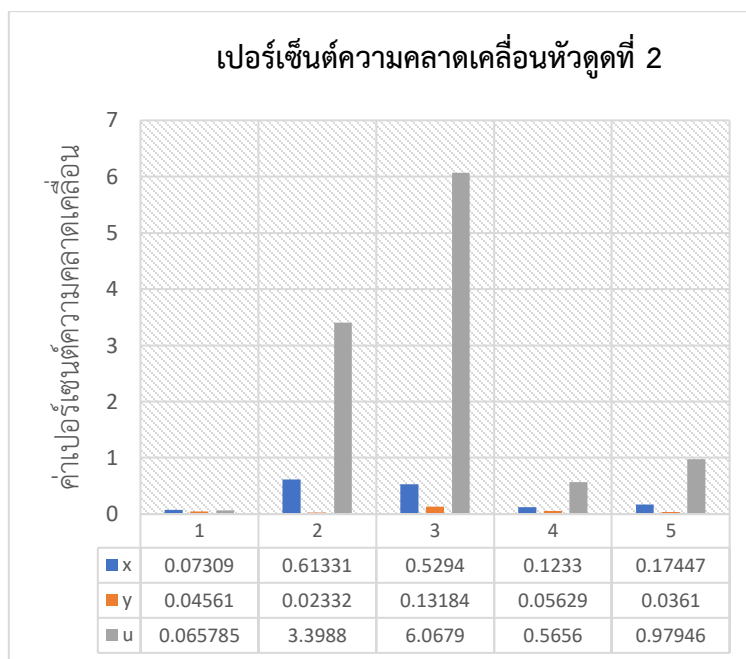
จากกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบในแต่ละรอบของการทดลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดวางมาสเตอร์ ของแต่ละหัวดุด โดยสีน้ำเงินแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของแกน x สีส้มแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแกน y และสีเทาแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแกน u



ภาพที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดุดที่ 1

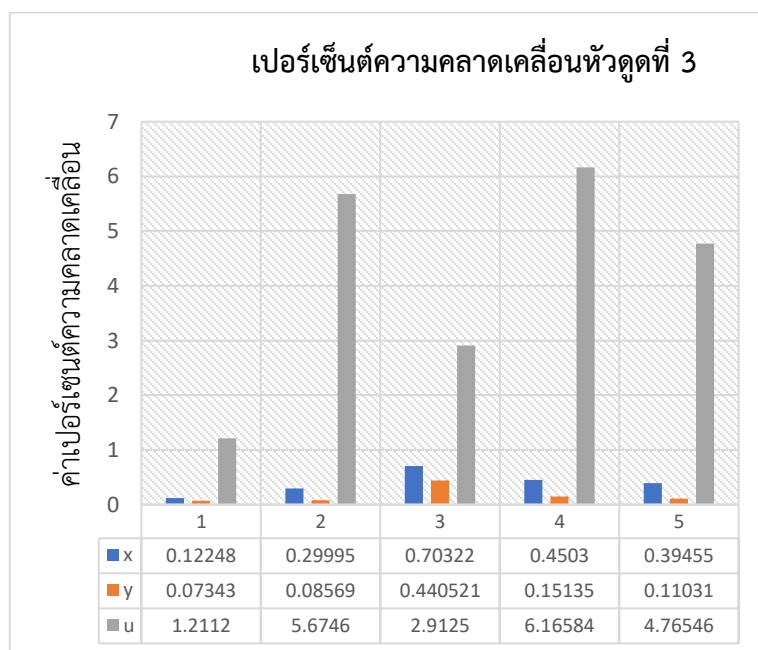
จากภาพที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวดุดที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่า

ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด



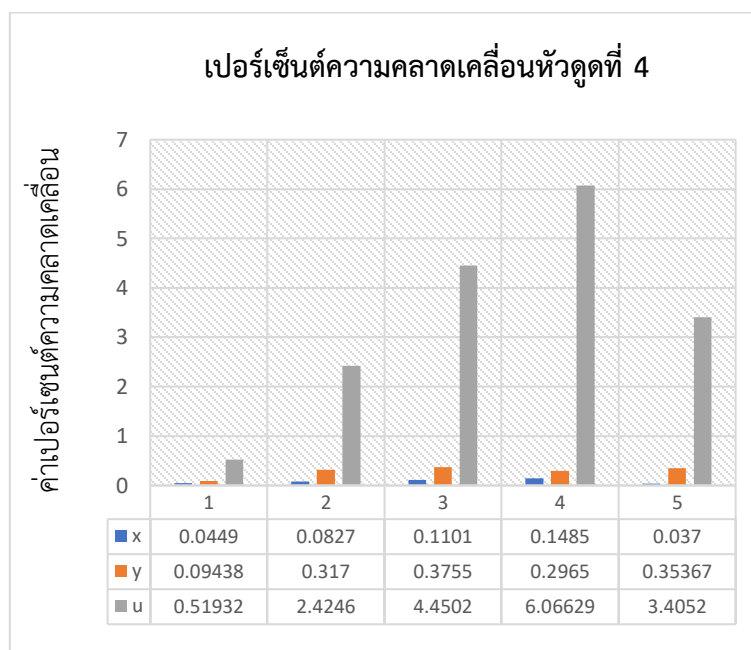
ภาพที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 2

จากภาพที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด



ภาพที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 3

จากภาพที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด



ภาพที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 4

จากภาพที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวตุตที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

4.2 สรุป

ในบทที่ 4 นี้ได้นำเสนอผลการทดลองความคลาดเคลื่อนในแต่ละตัวตุตโดยจะเห็นได้ว่าผลการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย โดยผลการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์เออเร่อเป็นหลักทศนิยมจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งแรกของหัวตุตจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยเป็นเพราะว่าการใส่ตัววัดมุมมีความใกล้เคียงกับจุดที่ใช้ในการคาร์เบทกลิ้งมากที่สุดจึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและการทดลองในการใช้โปรแกรมจากกล้องในการควบคุมแขนกลในครั้งนี้มีผลการทดลองที่มีคุณภาพ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำหุ่นยนต์ที่นำมาใช้ในงานร่วมกับการทำงานโดยใช้กล้องร่วมในการทำงานเพื่อเป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในการทำงานเฉพาะงาน โดยได้ทดลองใช้แล้วเก็บผลการทดลอง เก็บค่าความคลาดเคลื่อน ทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพในการทำงาน ซึ่งทำให้ทราบถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดของตัวหุ่นยนต์ เวลาที่ได้จากการทำงานคุณภาพของพีดีเออร์ในการพิดชิ้นงานให้หุ่นยนต์หยิบจับ แสงไฟ การโค้งงอของวัสดุที่หุ่นยนต์หยิบจับและอีกหลายๆ ปัจจัยทำให้การอ่านค่าจากกล้อง ซึ่งมีผลโดยตรงและเป็นสาเหตุที่ทำให้กล้องอ่านค่ามาเพื่อชดเชยไปยังจุดวางไม่เท่ากัน แต่ผลจากการเปรียบเทียบทางสายตาเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่พนักงานได้ทำการติดตั้งไปที่เป้าหมายพบว่าตัวหุ่นยนต์สามารถทำงานได้แม่นยำกว่า และยังทำงานได้ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นจุดคุ้มทุนในการทำงานในระยะยาว และเพิ่มจำนวนการผลิตได้ตามต้องการได้ในเวลาที่กำหนดและจำนวนการผลิตค่อนข้างคงที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อสามารถทำได้โดยทำการทดสอบความละเอียดของกล้องที่ความละเอียดต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการมองเห็นอัตโนมัติ โดยนำค่าความละเอียดกล้องในพิกเซลที่แตกต่างกันมาทดสอบเปรียบเทียบว่าส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน มากน้อยเพียงใด รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่ไม่อ่อนหรือโค้งงอจนเกินไป การสร้างหัวดูดจับที่มีความพอดีกับตัวของวัสดุ หรือมีความเหมาะสมในการดูดวัสดุ ก็จำทำให้มีข้อมูลอ้างอิงจำนวนมากขึ้น มีกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของการวางชิ้นงานในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

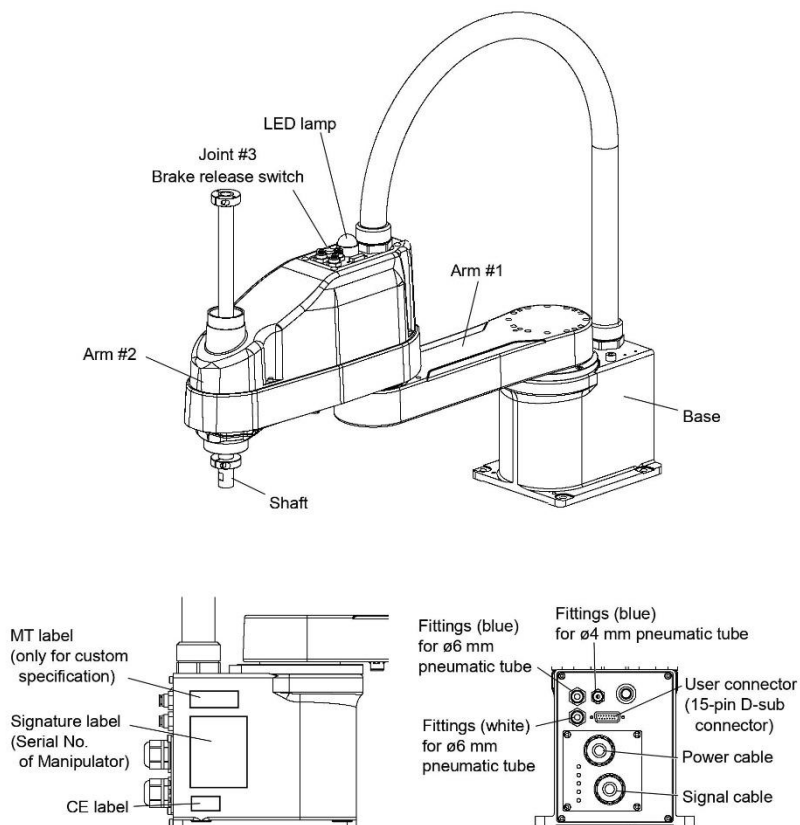
- [1] Chen, T.Q., Murphey, Y.L., Zhang, J.X., and Zhou, Y.N. (2001), A Smart Machine Vision System for PCB Inspection, IEA/AIE,.
- [2] Prommarak, N. and Chamniprasart, K. (2010). "Damage Screw Inspection Computer Vision Prototype Machine," In Proc. *International Conference on Data Storage Technology* (DSTCON). Bangkok, Thailand,. pp. 1-6.
- [3] H. Guo-Shing, L. Hsiung-Cheng, and C. Po-Cheng, (2011). "Robotic arm grasping and placing using edge visual detection system," in Proc. *8th Asian Control Conference* (ASCC), pp. 960-964.
- [4] Varagul, J., and Chamniprasart, K. (2010). "Development of Automated Visual Inspection Machine for HDD Manufacturing Process," in Proc. *International Conference on Data Storage Technology* (DST-CON) Bangkok, Thailand,.
- [5] Phansak Nerakae, P.ichitra Ungpaibroj, and Kontorn Chamniprasart, (2016). "Prototyping of Flexible Manufacturing System with Machine Vision," ESIT:, pp. 113-117.
- [6] Santosh Kumar Sahoo, B. B. Choudhury, (2010). "A Robotic Assistance Machine Vision Technique for an Effective Inspection and Analysis," In Proc. *International Conference on Data Storage Technology* (DSTCON). Bangkok, Thailand,. pp. 1-6.
- [7] Napong Kulkana. (2019). Manual Auto Sponge Robotic And Calibration Automation, pp. 42-68.
- [8] Nobuaki Nakazawa, Il-hwan Kim, Hikaru Inooka, Ryojun Ikeura. (1999). "Force Control of a Robot Hand Emulating Human's Grasping Motion," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, pp. 774-779.
- [9] Erika Ottaviano, Maria Toti, and Marco Ceccarelli. (2000). "Grasp Force Control in Two-Finger Grippers wiith Pneumatic Actuation," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, pp. 1976-1981.
- [10] Kim, S.M., Lee, S.C., and Lee, Y.C. (2006). System for SMT Assembly. Vision Based Automatic, Inspection System for Computers & Industrial Engineering 40, pp.175-190.

- [11] B. V. Adorno, P. Fraise, and S. Druon. (2010). "Dual Position Control Strategies using the Cooperative Dual Task-Space Framework," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 3955-3960.
- [12] บุญเลิศ สี่อเนย, ณพงษ์ กุลคณา, มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์. (2563). “การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ” บทความในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ฉบับสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 6 เล่มที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ.2563

ภาคผนวก ก
รายละเอียดแผนกและโปรแกรม

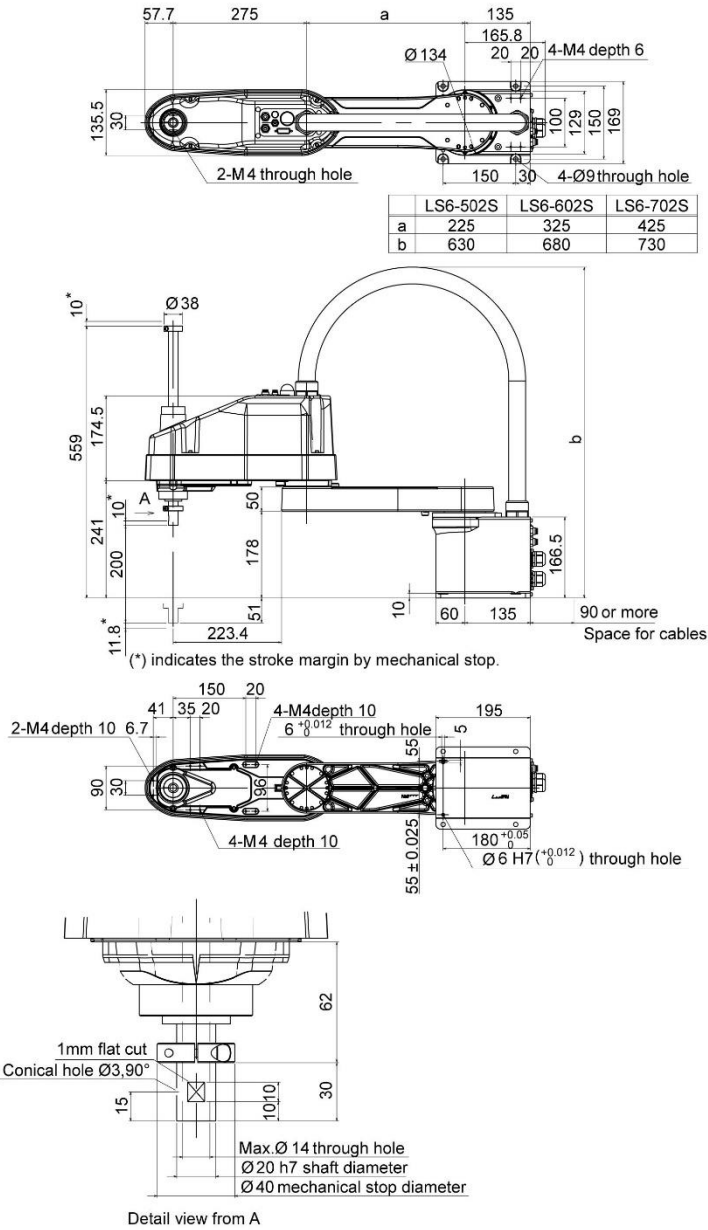
2.3.2 LS6

Standard-Model LS6-**2S



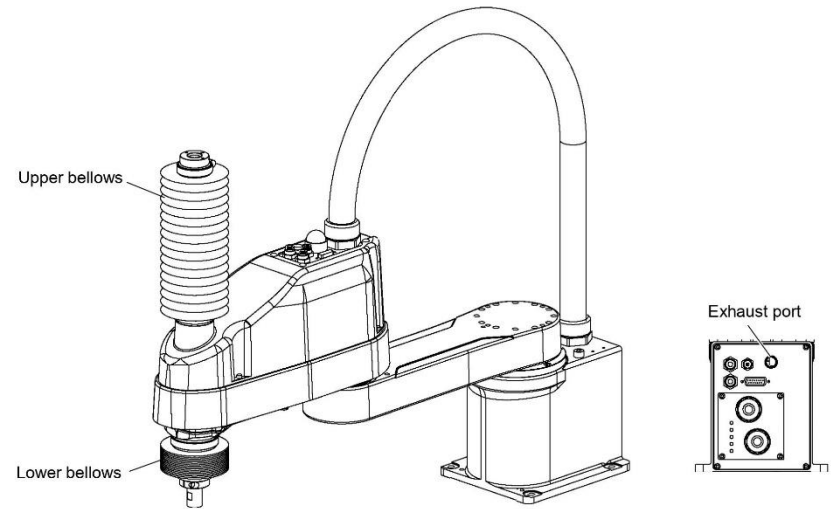
- NOTE**
- The brake release switch affects both Joints #3 and #4. When the brake release switch is pressed in emergency mode, the brakes for both Joint #3 and Joint #4 are released simultaneously.
 - While the LED lamp is on, the current is being applied to the manipulator. Performing any work with the power ON is extremely hazardous and it may result in electric shock and/or improper function of the robot system. Make sure to turn OFF the controller power before the maintenance work.

Standard-Model LS6-**2S

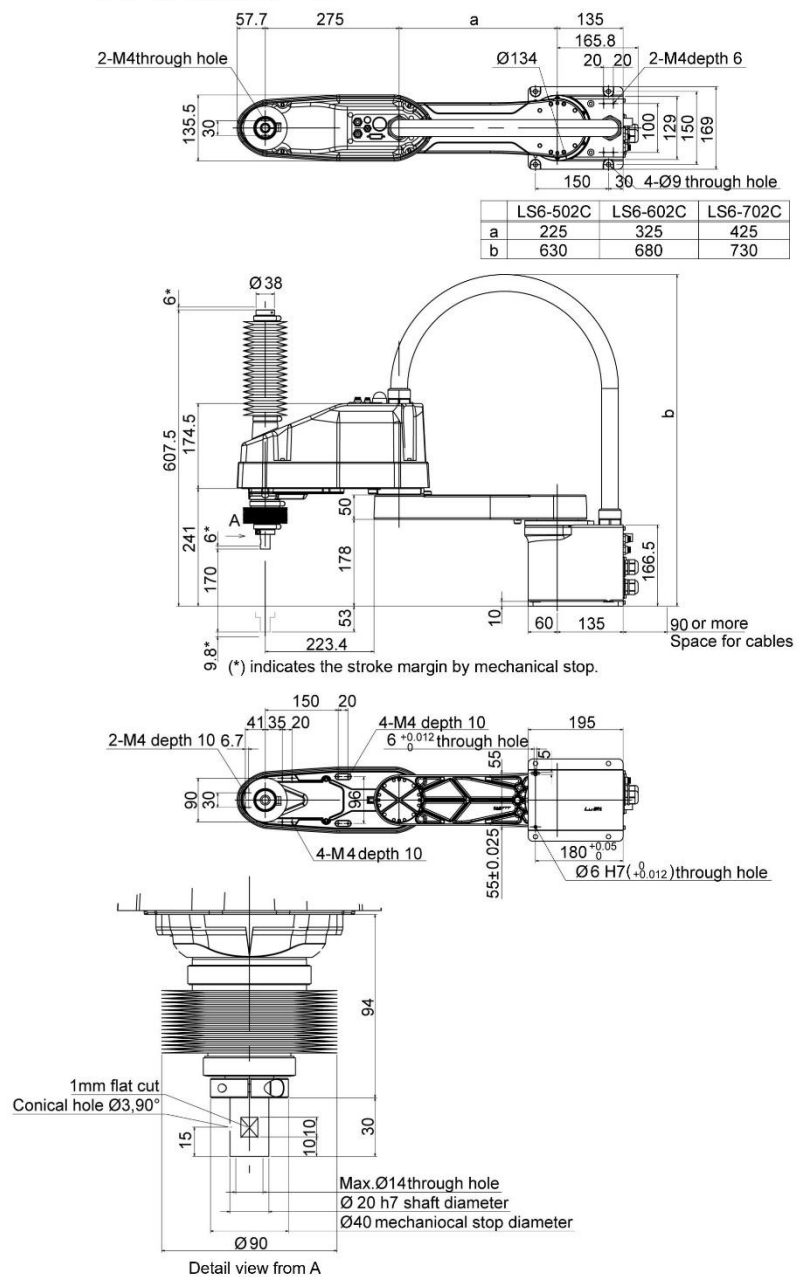


Cleanroom-Model LS6-**2C

The following figures show the additional parts and specifications for Cleanroom-model when compared with the Standard-model in appearance.



Cleanroom-Model LS6-**2C



Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1 Page 1
 File: Main.prg
 Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```
Global String send$, rev$
Global Integer position, longval
Global Integer zplace
Global Real Xcamera4, Ycamera4, Ucamera4, found4
Global Real Xcamera3, Ycamera3, Ucamera3, found3
Global Real Xcamera2, Ycamera2, Ucamera2, found2
Global Real Xcameral, Ycameral, Ucameral, found1
Global Real Xoffset4, Yoffset4, Uoffset4
Global Real Xoffset3, Yoffset3, Uoffset3
Global Real Xoffset2, Yoffset2, Uoffset2
Global Real Xoffset1, Yoffset1, Uoffset1
Global Real Xtrue4, Ytrue4, Utrue4
Global Real Xtrue3, Ytrue3, Utrue3
Global Real Xtrue2, Ytrue2, Utrue2
Global Real Xtrue1, Ytrue1, Utrue1
Function main
LoadPoints("AB5_DL.pts")
If Motor = Off Then Motor On
Off cylinder1; Off cylinder2; Off cylinder3; Off cylinder4; Off CompacGripper
Jump home_place_tim
Jump Box_cleaning_Tim
Off vaccum1; Off vaccum2; Off vaccum3; Off vaccum4
Wait 0.5
zplace = -120 '145

'''''' form manual
Xtrue1 = -142.951
Ytrue1 = 239.094
Utrue1 = 87.898
Xtrue2 = -144.666
Ytrue2 = 219.723
Utrue2 = 93.434
Xtrue3 = -165.178
Ytrue3 = 218.387
Utrue3 = 84.735
Xtrue4 = -164.747
Ytrue4 = 239.936
Utrue4 = 91.718

'Xtrue1 = -178.190
'Ytrue1 = 200.167
'Utrue1 = 266.921
'Xtrue2 = -179.310
'Ytrue2 = 221.392
'Utrue2 = 271.177
'Xtrue3 = -156.888
'Ytrue3 = 222.577
'Utrue3 = 269.804
'Xtrue4 = -155.186
'Ytrue4 = 200.059
'Utrue4 = 266.900
'Xtrue1 = -176.603
'Ytrue1 = 199.936
'Utrue1 = 272.271
,
'Xtrue2 = -176.824
'Ytrue2 = 216.58
'Utrue2 = 270.923
,
'Xtrue3 = -157.323
```

```

Project: Robot_tim_2                      EPSON RC+ v7.3.1                      Page 2
File: Main.prg
Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

'Ytrue3 = 219.227
'Utrue3 = 271.018
,
'Xtrue4 = -157.555
'Ytrue4 = 199.864
'Utrue4 = 270.734

'Z = 53

''''''''end

'Speed 80
'Accel 80, 80
'SpeedS 2000
'AccelS 10000, 10000
Power High
position = 1
Tool 0
Call connet
Call checkSpeed
Call CheckAccel
Power Low
Speed 10
Jump home_place_tim Z(0)
Power High
Speed 80
Call Bypass
Call communi
Fend
Function connet
    OpenNet #201 As Client
    '    SetNet #201, "192.168.0.100", 8500, CRLF, NONE, 0
    WaitNet #201, 4
    If TW = True Then
        Print "disconnet"
    Else
        Print "connet"
    EndIf
Fend
Function checkSpeed
    send$ = "RD DM30"
    Call Send_To_Plc
    longval = Val(rev$)
    Speed longval
    SpeedS (longval * 20)
Fend
Function CheckAccel
    send$ = "RD DM31"
    Call Send_To_Plc
    longval = Val(rev$)
    Accel longval, longval
    AccelS (longval * 80), (longval * 80)
Fend
Function Bypass
    Do
        send$ = "RD MR5"

```

Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1
 File: Main.prg
 Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

Page 3

```

Call Send_To_Plc
longval = Val(rev$)
If longval = 1 Then

Else
  Exit Do
  '      Jump pp1
  '      On CompacGripper
  '      On vaccum1
  '      On cylinder1
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder1
  '      Off CompacGripper
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump pp2
  '      On CompacGripper
  '      On vaccum2
  '      On cylinder2
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder2
  '      Off CompacGripper
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump pp3
  '      On CompacGripper
  '      On vaccum3
  '      On cylinder3
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder3
  '      Off CompacGripper
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump pp4
  '      On CompacGripper
  '      On vaccum4
  '      On cylinder4
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder4
  '      Off CompacGripper
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump Standby
  '
  '      Move place1 :Z(0)
  '      Jump place1 C0
  '      On cylinder1
  '      Off vaccum1
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder1
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump place2 LimZ (-80)
  '      On cylinder2
  '      Off vaccum2
  '      Wait 0.333
  '      Off cylinder2
  '      Wait 0.333
  '
  '      Jump place3 LimZ (-80)

```

```

Project: Robot_tim_2                      EPSON RC+ v7.3.1                      Page 4
File: Main.prg
Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

'      On cylinder3
'      Off vaccum3
'      Wait 0.333
'      Off cylinder3
'      Wait 0.333
'
'      Jump place4 LimZ (-80)
'      On cylinder4
'      Off vaccum4
'      Wait 0.333
'      Off cylinder4
'      Wait 0.333
'
'      Jump Standby

      EndIf
      Loop
Fend
Function communi
Pallet 1, P(PNumber(Pickkk1)), P(PNumber(Pickkk1)), P(PNumber(Pickkk1)), 10, 1 'point
Pallet 2, P(PNumber(Pickkk2)), P(PNumber(Pickkk2)), P(PNumber(Pickkk2)), 10, 1 'point
Pallet 3, P(PNumber(Pickkk3)), P(PNumber(Pickkk3)), P(PNumber(Pickkk3)), 10, 1 'point
Pallet 4, P(PNumber(Pickkk4)), P(PNumber(Pickkk4)), P(PNumber(Pickkk4)), 10, 1 'point
  init:
    send$ = "RD DM1"
    Call Send_To_Plc
    longval = Val(rev$)
    If longval = 2 Then

'      send$ = "WR MR3000 1"
'      Call Send_To_Plc
'      Call Pickk1(position)
'      position = position + 1
'      If position > 10 Then 'point
'        send$ = "WR MR2000 1"
'        Call Send_To_Plc
'        position = 1
'        Do
'          send$ = "RD MR2000"
'          Call Send_To_Plc
'          longval = Val(rev$)
'
'          If longval = 0 Then
'            Exit Do
'          EndIf
'        Loop

'      EndIf

'      Call Pickk2(position)
'      position = position + 1
'      If position > 10 Then 'point
'        send$ = "WR MR2000 1"
'        Call Send_To_Plc
'        position = 1
'        Do
'          send$ = "RD MR2000"
'          Call Send_To_Plc

```

Project: Robot_tim_2

EPSON RC+ v7.3.1

Page 5

File: Main.prg

Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

        longval =Val(rev$)

        If longval = 0 Then
            Exit Do
        EndIf
    Loop
EndIf

Call Pickk3(position)
position = position + 1
If position > 10 Then 'point
    send$ = "WR MR2000 1"
    Call Send_To_Plc
    position = 1
    Do
        send$ = "RD MR2000"
        Call Send_To_Plc
        longval =Val(rev$)

        If longval = 0 Then
            Exit Do
        EndIf
    Loop
EndIf

Call Pickk4(position)
position = position + 1
If position > 10 Then 'point
    send$ = "WR MR2000 1"
    Call Send_To_Plc
    position = 1
    Do
        send$ = "RD MR2000"
        Call Send_To_Plc
        longval =Val(rev$)

        If longval = 0 Then
            Exit Do
        EndIf
    Loop
    send$ = "WR MR3001 1"
    Call Send_To_Plc
    Go Standby
    send$ = "WR DM1 5"
    Call Send_To_Plc
    send$ = "WR MR3001 0"
    Call Send_To_Plc
EndIf
    send$ = "WR MR3001 1"
    Call Send_To_Plc
    'Go Standby
    Call Place
    send$ = "WR DM1 6"
    Call Send_To_Plc
    send$ = "WR MR3001 0"
    Call Send_To_Plc
Else
    GoTo init
EndIf
GoTo init

```

```

Project: Robot_tim_2                      EPSON RC+ v7.3.1                      Page 6
File: Main.prg
Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

Fend
Function Send_To_Plc
    Print #201, send$
    Input #201, rev$
Fend
Function Pickk1 (Number1 As Integer)

    pula:
    On vaccum1
    On vaccum2
    On vaccum3
    On vaccum4
    Go Pallet(1, Number1) :Z(0)
    Go Pallet(1, Number1)
    On CompacGripper
    Wait 0.2
    On cylinder1
    Wait Sw(cylinder1_down) = On, 4
    If TW = True Then
        GoTo pula
    EndIf
    pula2:
    Wait 0.5
    On vaccum1
        Wait Sw(sensor_vaccum1) = On, 4
    If TW = True Then
        'Go Pallet(1, Number1) :Z(-5)
        GoTo pula
    EndIf
    Off cylinder1

    Wait Sw(cylinder1_up) = On, 4
    If TW = True Then

    EndIf
    If Sw(sensor_vaccum1) = On Then
        Off CompacGripper
        Wait Sw(cylinder1_up) = On, 4
        If TW = True Then Off cylinder1
        Go Pallet(1, Number1) :Z(0)
    Else
        Off CompacGripper
        Wait Sw(cylinder1_up) = On, 4
        If TW = True Then Off cylinder1
        GoTo pula
    EndIf
Fend
Function Pickk2 (Number2 As Integer)
    pula3:
    Go Pallet(2, Number2) :Z(0)
    Go Pallet(2, Number2)
    On CompacGripper
    Wait 0.2
    On cylinder2
    Wait Sw(cylinder2_down) = On, 4
    If TW = True Then
        GoTo pula3
    EndIf
    pula4:
    Wait 0.5

```

Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1
 File: Main.prg
 Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

Page 7

```

    On vaccum2
      Wait Sw(sensor_vaccum2) = On, 4
    If TW = True Then
      'Go Pallet(2, Number2) :Z(-5)
      GoTo pula3
    EndIf
    Off cylinder2

    Wait Sw(cylinder2_up) = On, 4
    If TW = True Then

    EndIf
    If Sw(sensor_vaccum2) = On Then
      Off CompacGripper
      Wait Sw(cylinder2_up) = On, 4
      If TW = True Then Off cylinder2
      Go Pallet(2, Number2) :Z(0)
    Else
      Off CompacGripper
      Wait Sw(cylinder2_up) = On, 4
      If TW = True Then Off cylinder2
      GoTo pula3
    EndIf
  End
Function Pickk3(Number3 As Integer)
  pula5:
  Go Pallet(3, Number3) :Z(0)
  Go Pallet(3, Number3)
  On CompacGripper
  Wait 0.2
  On cylinder3
  Wait Sw(cylinder3_down) = On, 4
  If TW = True Then
    GoTo pula5
  EndIf
  pula6:
  Wait 0.5
  On vaccum3
    Wait Sw(sensor_vaccum3) = On, 4
  If TW = True Then
    'Off vaccum3
    GoTo pula5
  EndIf
  Off cylinder3

  Wait Sw(cylinder3_up) = On, 4
  If TW = True Then

  EndIf
  If Sw(sensor_vaccum3) = On Then
    Off CompacGripper
    Wait Sw(cylinder3_up) = On, 4
    If TW = True Then Off cylinder3
    Go Pallet(3, Number3) :Z(0)
  Else
    Off CompacGripper
    Wait Sw(cylinder3_up) = On, 4
    If TW = True Then Off cylinder3
    GoTo pula5
  EndIf

```

Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1 Page 8
 File: Main.prg
 Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

Fend
Function Pickk4 (Number4 As Integer)
    pula7:
    Go Pallet(4, Number4) :Z(0)
    Go Pallet(4, Number4)
    On CompacGripper
    Wait 0.2
    On cylinder4
    Wait Sw(cylinder4_down) = On, 4
    If TW = True Then
        GoTo pula7
    EndIf
    pula8:
    Wait 0.5
    On vaccum4
    Wait Sw(sensor_vaccum4) = On, 4
    If TW = True Then
        ' Off vaccum4
        GoTo pula7
    EndIf

    Off cylinder4

    Wait Sw(cylinder4_up) = On, 4
    If TW = True Then

    EndIf
    If Sw(sensor_vaccum4) = On Then
    Off CompacGripper
    Wait Sw(cylinder4_up) = On, 4
    If TW = True Then Off cylinder4
    Go Pallet(4, Number4) :Z(0)
    Else
        Off CompacGripper
        Wait Sw(cylinder4_up) = On, 4
        If TW = True Then Off cylinder4
        GoTo pula7
    EndIf
EndIf

Fend
Function offsettim
    ' Integer i, j, q, k, a, b, c, d
    ' i = 1
    ' j = 1
    ' k = 1
    ' q = 1
    ' a = 1
    ' b = 1
    ' c = 1
    ' d = 1
    ' Do
        Move Cam_check
        Wait 0.2
        VRun PositionTim1
        VGet PositionTim1.Geom01RobotXYU, found1, Xcamera1, Ycamera1, Ucamera1
        ' VSaveImage PositionTim1, "C:\CCET\test\test5\PositionTim1\" + Str$(a) + ".jpg", True
        ' a = a + 1
        VRun PositionTim2
        VGet PositionTim2.Geom01RobotXYU, found2, Xcamera2, Ycamera2, Ucamera2
        VRun PositionTim3
        VGet PositionTim3.Geom01RobotXYU, found3, Xcamera3, Ycamera3, Ucamera3

```

Project: Robot_tim_2

EPSON RC+ v7.3.1

Page 9

File: Main.prg

Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

'      VSaveImage PositionTim3, "C:\CCET\test\test5\PositionTim3\" + Str$(c) + ".jpg", True
'      c = c + 1
VRun PositionTim4
VGet PositionTim4.Geom01 RobotXYU, found4, Xcamera4, Ycamera4, Ucamera4
'      VSaveImage PositionTim4, "C:\CCET\test\test5\PositionTim4\" + Str$(d) + ".jpg", True
'      d = d + 1
'      Wait 0.2

'      Print Xoffset1 = Xtrue1 - Xcamera1
'      Print Yoffset1 = Ytrue1 - Ycamera1
'      Print Uoffset1 = Utrue1 - Ucamera1
'      Print Xoffset2 = Xtrue2 - Xcamera2
'      Print Yoffset2 = Ytrue2 - Ycamera2
'      Print Uoffset2 = Utrue2 - Ucamera2
'      Print Xoffset3 = Xtrue3 - Xcamera3
'      Print Yoffset3 = Ytrue3 - Ycamera3
'      Print Uoffset3 = Utrue3 - Ucamera3
'      Print Xoffset4 = Xtrue4 - Xcamera4
'      Print Yoffset4 = Ytrue4 - Ycamera4
'      Print Uoffset4 = Utrue4 - Ucamera4

'      VSaveModel PositionTim1.Geom01, "C:\CCET\test\" + ".dat"
'      VSaveModel PositionTim2.Geom01, "C:\CCET\test\" + ".txt"
'      VSaveModel PositionTim3.Geom01, "C:\CCET\test\" + ".txt"
'      VSaveModel PositionTim4.Geom01, "C:\CCET\test\" + ".txt"

String Xcamera$, Ycamera$, Ucamera$
Real Xpast1, Ypast1, Upast1
Real Xpast2, Ypast2, Upast2
Real Xpast3, Ypast3, Upast3
Real Xpast4, Ypast4, Upast4

Xcamera$ = Str$(Xcamera1)
Ycamera$ = Str$(Ycamera1)
Ucamera$ = Str$(Ucamera1)
Print "Xtrue1 = " + Xcamera$
Print "Ytrue1 = " + Ycamera$
Print "Utrue1 = " + Ucamera$

Xcamera$ = Str$(Xcamera2)
Ycamera$ = Str$(Ycamera2)
Ucamera$ = Str$(Ucamera2)
Print "Xtrue2 = " + Xcamera$
Print "Ytrue2 = " + Ycamera$
Print "Utrue2 = " + Ucamera$

Xcamera$ = Str$(Xcamera3)
Ycamera$ = Str$(Ycamera3)
Ucamera$ = Str$(Ucamera3)
Print "Xtrue3 = " + Xcamera$
Print "Ytrue3 = " + Ycamera$
Print "Utrue3 = " + Ucamera$

Xcamera$ = Str$(Xcamera4)
Ycamera$ = Str$(Ycamera4)
Ucamera$ = Str$(Ucamera4)
Print "Xtrue4 = " + Xcamera$
Print "Ytrue4 = " + Ycamera$
Print "Utrue4 = " + Ucamera$

```

Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1
 File: Main.prg
 Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

Page 10

```

' Integer i
' For i = 1 To 4
'   Xoffset(i) = Xtrue(i) - Xcamera(i)
'   Yoffset(i) = Ytrue(i) - Ycamera(i)
'   Uoffset(i) = Utrue(i) - Ucamera(i)
' Next
'
'   Xoffset1 = Xtrue1 - Xcamera1
'   Yoffset1 = Ytrue1 - Ycamera1
'   Uoffset1 = Utrue1 - Ucamera1
'
'   Xoffset2 = Xtrue2 - Xcamera2
'   Yoffset2 = Ytrue2 - Ycamera2
'   Uoffset2 = Utrue2 - Ucamera2
'
'   Xoffset3 = Xtrue3 - Xcamera3
'   Yoffset3 = Ytrue3 - Ycamera3
'   Uoffset3 = Utrue3 - Ucamera3
'
'   Xoffset4 = Xtrue4 - Xcamera4
'   Yoffset4 = Ytrue4 - Ycamera4
'   Uoffset4 = Utrue4 - Ucamera4
'   .....
'
'   Xpast1 = Xoffset1 + CX(P9)
'   Ypast1 = Yoffset1 + CY(P9)
'   Upast1 = Uoffset1 + CU(P9)
'
'   Xpast2 = Xoffset2 + CX(P10)
'   Ypast2 = Yoffset2 + CY(P10)
'   Upast2 = Uoffset2 + CU(P10)
'
'   Xpast3 = Xoffset3 + CX(P11)
'   Ypast3 = Yoffset3 + CY(P11)
'   Upast3 = Uoffset3 + CU(P11)
'
'   Xpast4 = Xoffset4 + CX(P12)
'   Ypast4 = Yoffset4 + CY(P12)
'   Upast4 = Uoffset4 + CU(P12)
'
'   .....
'   Print Xoffset1 = Xtrue1 - Xcamera1
'   Print Yoffset1 = Ytrue1 - Ycamera1
'   Print Uoffset1 = Utrue1 - Ucamera1
'   Print Xoffset2 = Xtrue2 - Xcamera2
'   Print Yoffset2 = Ytrue2 - Ycamera2
'   Print Uoffset2 = Utrue2 - Ucamera2
'   Print Xoffset3 = Xtrue3 - Xcamera3
'   Print Yoffset3 = Ytrue3 - Ycamera3
'   Print Uoffset3 = Utrue3 - Ucamera3
'   Print Xoffset4 = Xtrue4 - Xcamera4
'   Print Yoffset4 = Ytrue4 - Ycamera4
'   Print Uoffset4 = Utrue4 - Ucamera4
'   .....
'   Print Xpast1 = Xoffset1 - CX(P9)
'   Print Ypast1 = Yoffset1 - CY(P9)

```

Project: Robot_tim_2

EPSON RC+ v7.3.1

Page 11

File: Main.prg

Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

'      Print Upast1 = Uoffset1 - CU(P9)
'      Print Xpast2 = Xoffset2 - CX(P10)
'      Print Ypast2 = Yoffset2 - CY(P10)
'      Print Upast2 = Uoffset2 - CU(P10)
'      Print Xpast3 = Xoffset3 - CX(P11)
'      Print Ypast3 = Yoffset3 - CY(P11)
'      Print Upast3 = Uoffset3 - CU(P11)
'      Print Xpast4 = Xoffset4 - CX(P12)
'      Print Ypast4 = Yoffset4 - CY(P12)
'      Print Upast4 = Uoffset4 - CU(P12)
'      .....
'      String Xoffset1$, Xoffset2$, Xoffset3$, Xoffset4$, Yoffset1$, Yoffset2$, Yoffset3$,
'      String Xpast1$, Xpast2$, Xpast3$, Xpast4$, Ypast1$, Ypast2$, Ypast3$, Ypast4$, Upast
'      String Xcamera1$, Xcamera2$, Xcamera3$, Xcamera4$, Ycamera1$, Ycamera2$, Ycamera3$,
'      .....
'      Xoffset1$ = Str$(Xoffset1)
'      Xoffset2$ = Str$(Xoffset2)
'      Xoffset3$ = Str$(Xoffset3)
'      Xoffset4$ = Str$(Xoffset4)
'      Yoffset1$ = Str$(Yoffset1)
'      Yoffset2$ = Str$(Yoffset2)
'      Yoffset3$ = Str$(Yoffset3)
'      Yoffset4$ = Str$(Yoffset4)
'      Uoffset1$ = Str$(Uoffset1)
'      Uoffset2$ = Str$(Uoffset2)
'      Uoffset3$ = Str$(Uoffset3)
'      Uoffset4$ = Str$(Uoffset4)
'      .....
'      Xpast1$ = Str$(Xpast1)
'      Xpast2$ = Str$(Xpast2)
'      Xpast3$ = Str$(Xpast3)
'      Xpast4$ = Str$(Xpast4)
'      Ypast1$ = Str$(Ypast1)
'      Ypast2$ = Str$(Ypast2)
'      Ypast3$ = Str$(Ypast3)
'      Ypast4$ = Str$(Ypast4)
'      Upast1$ = Str$(Upast1)
'      Upast2$ = Str$(Upast2)
'      Upast3$ = Str$(Upast3)
'      Upast4$ = Str$(Upast4)
'      .....
'      Xcamera1$ = Str$(Xcamera1)
'      Xcamera2$ = Str$(Xcamera2)
'      Xcamera3$ = Str$(Xcamera3)
'      Xcamera4$ = Str$(Xcamera4)
'      Ycamera1$ = Str$(Ycamera1)
'      Ycamera2$ = Str$(Ycamera2)
'      Ycamera3$ = Str$(Ycamera3)
'      Ycamera4$ = Str$(Ycamera4)
'      Ucamera1$ = Str$(Ucamera1)
'      Ucamera2$ = Str$(Ucamera2)
'      Ucamera3$ = Str$(Ucamera3)
'      Ucamera4$ = Str$(Ucamera4)
'      Integer fNum, fNumm, fNummm
'      fNum = FreeFile
'      WOpen "c:\CCET\test\test5\offset\data_offset" + Str$(j) + ".txt" As #fNum
'      j = j + 1
'      Print #fNum, "Xoffset1 = " + Xoffset1$ + Tab$(2) + "Xoffset2 = " + Xoffset2$ + Tab$(2)
'      Close #fNum

```

Project: Robot_tim_2

EPSON RC+ v7.3.1

Page 12

File: Main.prg

Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

'
'   fNumm = FreeFile
'   WOpen "c:\CCET\test\test5\past\data_past" + Str$(q) + ".txt" As #fNumm
'   q = q + 1
'   Print #fNumm, "Xpast1 = " + Xpast1$ + Tab$(2) + "Xpast2 = " + Xpast2$ + Tab$(2) + "Xpas
'   Close #fNumm
'
'   fNummm = FreeFile
'   WOpen "c:\CCET\test\test5\camera\data_camera" + Str$(k) + ".txt" As #fNummm
'   k = k + 1
'   Print #fNummm, "Xcamera1 = " + Xcamera1$ + Tab$(2) + "Xcamera2 = " + Xcamera2$ + Tab$(2
'   Close #fNummm
'
''   VSaveImage PositionTim1, "C:\CCET\test\PositionTim1\" + Str$(a) + ".jpg", True
''   a = a + 1
''   VSaveImage PositionTim2, "C:\CCET\test\PositionTim2\" + Str$(b) + ".jpg", True
''   b = b + 1
''   VSaveImage PositionTim3, "C:\CCET\test\PositionTim3\" + Str$(c) + ".jpg", True
''   c = c + 1
''   VSaveImage PositionTim4, "C:\CCET\test\PositionTim4\" + Str$(d) + ".jpg", True
''   d = d + 1
'   Wait 0.2
'   Jump pick_tim
'   i = i + 1
'   If i = 25 Then
'       Do
''           Loop
'       EndIf
'   Loop
'
'   .....
'
'   Xoffset1 = Xoffset1 - 0.3
'   Yoffset1 = Yoffset1 - 0.5
'
'   Xoffset2 = Xoffset2 - 1.8
'   Yoffset2 = Yoffset2 + 1
'
'   Xoffset3 = Xoffset3 - 1.3
'   Yoffset3 = Yoffset3 - 0.5
'
'   Xoffset4 = Xoffset4 - 0.2
'   Yoffset4 = Yoffset4 - 0.6

```

Fend

Function Place

```

A:
send$ = "RD MR3002"
Call Send_To_Plc
If rev$ = "0" Then
'   'Move home_place_tim

```

Project: Robot_tim_2 EPSON RC+ v7.3.1 Page 13
File: Main.prg
Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```

'Jump Cam_check LimZ (-20)
  Jump Cam_check
  Wait 1
  Call offsettim
'  Move Here +Z(20)
  Move home_place_tim
  Tool 1
  Move Point1 :Z(-10)
  If found1 = 1 Then
    Go Point1 +X(Xoffset1) +Y(Yoffset1) +U(Uoffset1)
  Else
    Error 8000
  EndIf
  On cylinder1
  Wait Sw(cylinder1_down) = On, 4
  Off vaccum1
'  Wait Sw(sensor_vaccum1) = Off, 4
  Wait 0.5
  Off cylinder1
  Wait Sw(cylinder1_up) = On, 4
  Go Point1 :Z(zplace)
  Tool 0
  'SpeedS 2000
  Tool 2
  Go Point2 :Z(zplace)
  If found2 = 1 Then
    Go Point2 +X(Xoffset2) +Y(Yoffset2) +U(Uoffset2)
  Else
    Error 8000
  EndIf
  On cylinder2
  Wait Sw(cylinder2_down) = On, 4
  Off vaccum2
'  Wait Sw(sensor_vaccum2) = Off, 4
  Wait 0.5
  Off cylinder2
  Wait Sw(cylinder2_up) = On, 4
  Go Point2 :Z(zplace + 10)
  Tool 0
  'SpeedS 2000
  Tool 3
  Go Point3 :Z(zplace)
  If found3 = 1 Then
    Go Point3 +X(Xoffset3) +Y(Yoffset3) +U(Uoffset3)
  Else
    Error 8000
  EndIf
  On cylinder3
  Wait Sw(cylinder3_down) = On, 4
  Off vaccum3
'  Wait Sw(sensor_vaccum3) = Off, 4
  Wait 0.5
  Off cylinder3
  Wait Sw(cylinder3_up) = On, 4
  Go Point3 :Z(zplace + 10)
  Tool 0
  'SpeedS 2000
  Tool 4
  Go Point4 :Z(zplace)
  If found4 = 1 Then

```

Project: Robot_tim_2

EPSON RC+ v7.3.1

Page 14

File: Main.prg

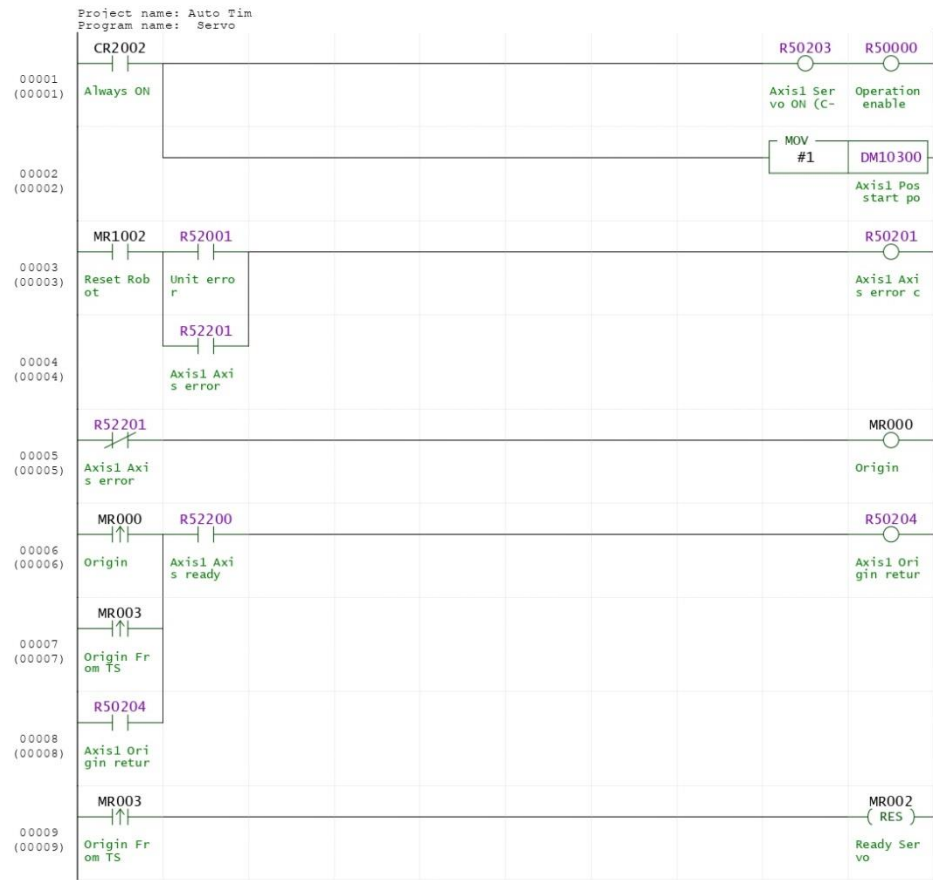
Last revision: 6/17/2020 8:53:32 AM

```
        Go Point4 +X(Xoffset4) +Y(Yoffset4) +U(Uoffset4)
    Else
        Error 8000
    EndIf
On cylinder4
Wait Sw(cylinder4_down) = On, 4
Off vaccum4
'    Wait Sw(sensor_vaccum4) = Off, 4
Wait 0.5
Off cylinder4
Wait Sw(cylinder4_up) = On, 4
Go Point4 :Z(-10)
Tool 0
Go home_place_tim
Speed 80
Move home_place_tim 'Standby
Else
    GoTo A
EndIf
Fend
```

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (1/16)

[Ladder diagram]

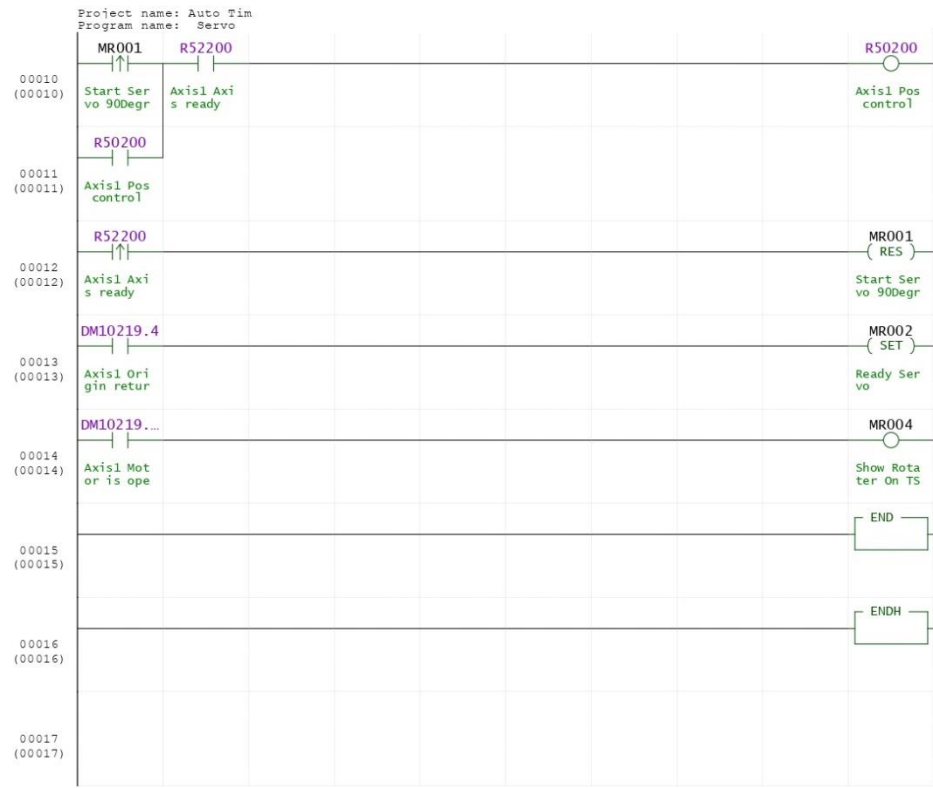


R50000	DM10300	R50201	MR000	R50204	MR002					
	00002		A 00006	A 00008	< 00009 > 00013 A 00026 A 00062 A 00069 A 00070					

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (2/16)

[Ladder diagram]

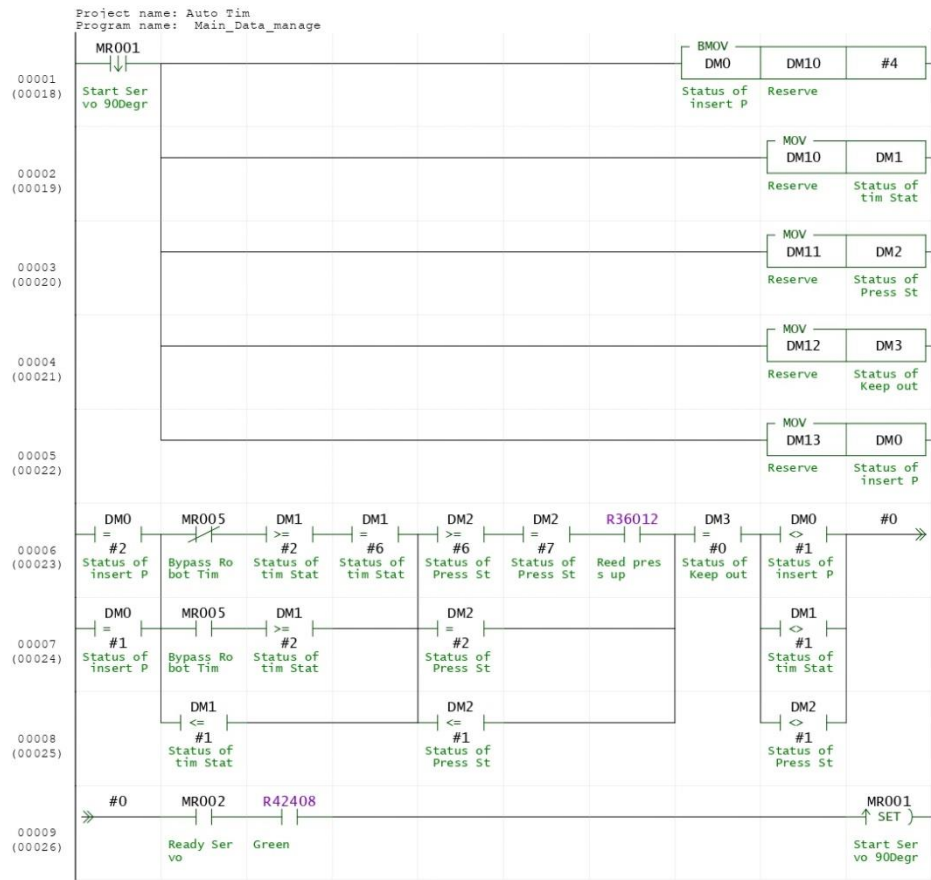


R50200	MR001	MR002	MR004								
A 00011	A 00010 < 00012 A 00018 00026	< 00009 > 00013 A 00026 A 00062 A 00069 A 00070									

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(3/16)

[Ladder diagram]

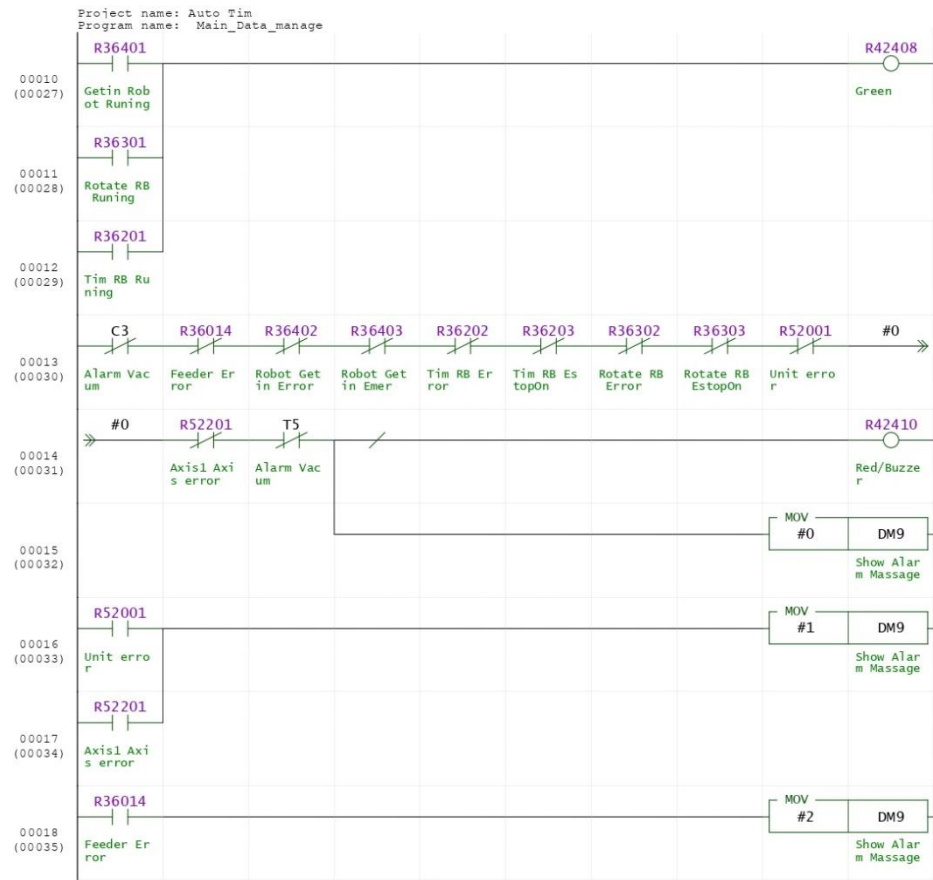


DM1	DM2	DM3	DM0	MR001						
00019	00020	00021	00018	A 00010						
00023	00023	00023	00022	< 00012						
00024	00024	00068	00023	A 00018						
00025	00025	00070	00024	00026						
	00062	00078								
	00064	00083								

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (4/16)

[Ladder diagram]

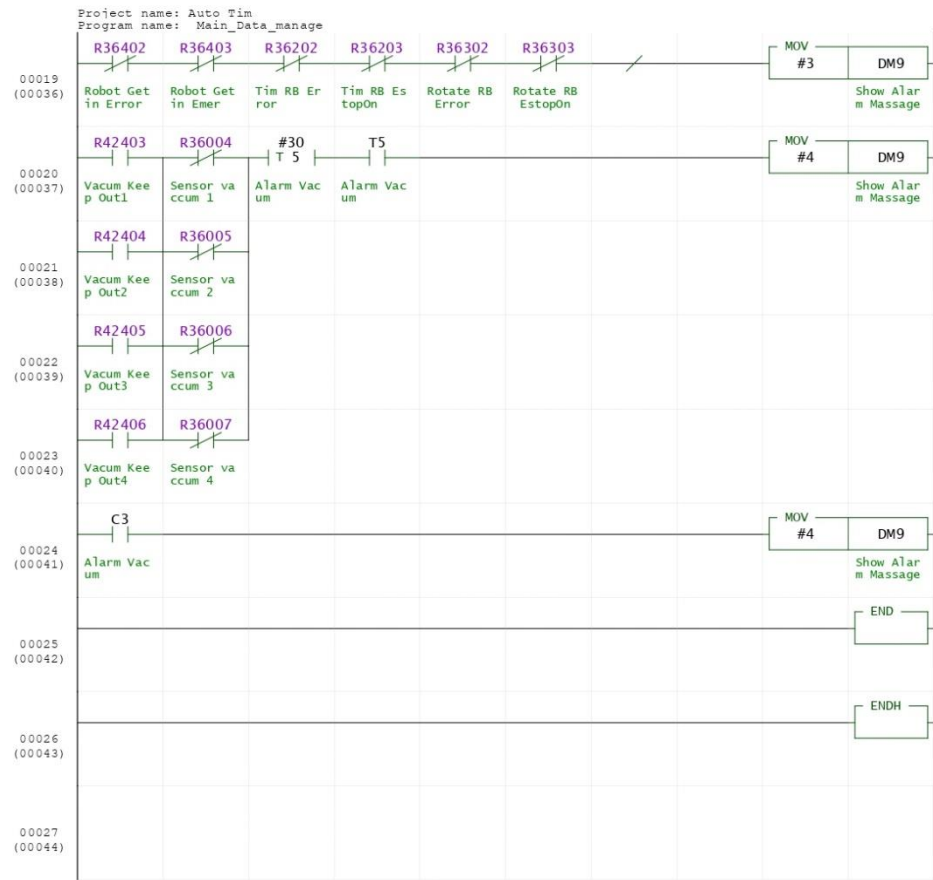


R42408	R42410	DM9								
A 00026		00032								
A 00062		00033								
		00035								
		00036								
		00037								
		00041								

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (5/16)

[Ladder diagram]

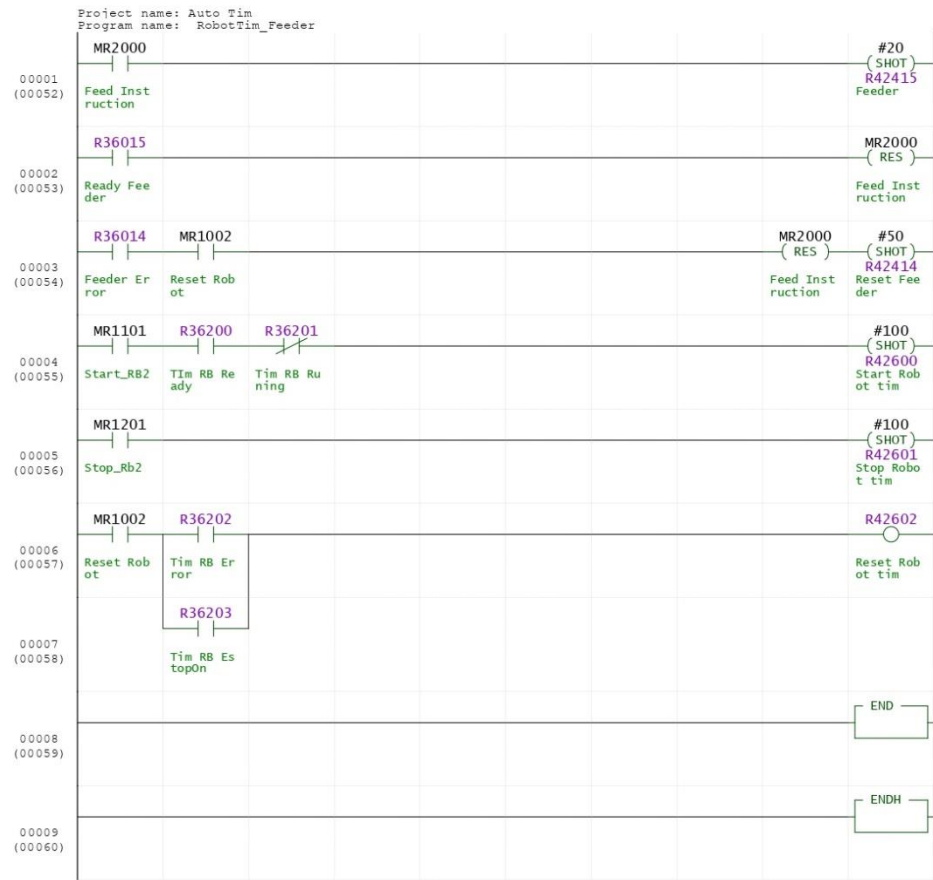


DM9											
00032											
00033											
00035											
00036											
00037											
00041											

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (7/16)

[Ladder diagram]



R42415	MR2000	R42414	R42600	R42601	R42602						
00052	A 00052 < 00053 < 00054	00054	00055	00056							

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(8/16)

[Ladder diagram]

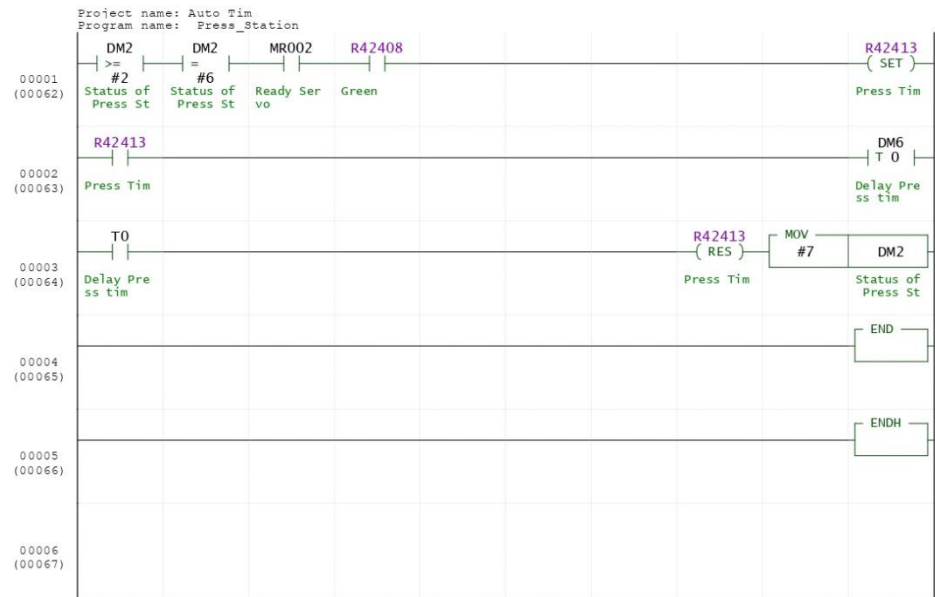


--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram (9/16)

[Ladder diagram]

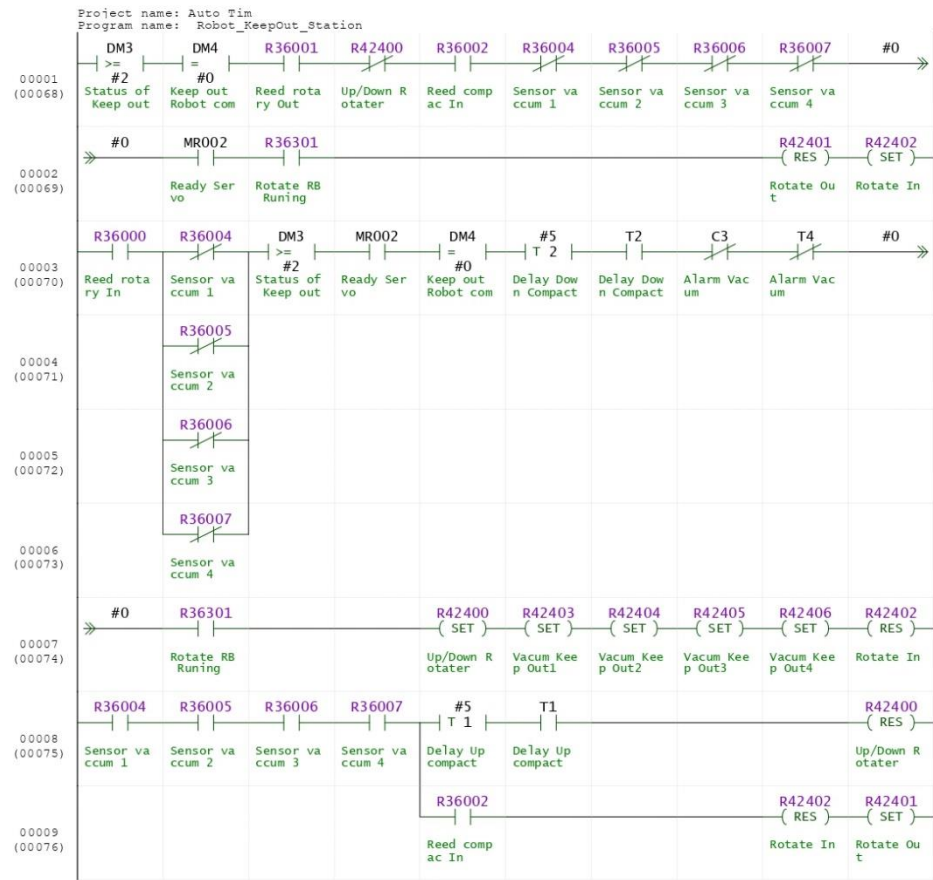


R42413	T0	DM2									
> 00062	A 00064	00020									
A 00063		00023									
< 00064		00024									
		00025									
		00062									
		00064									

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(10/16)

[Ladder diagram]

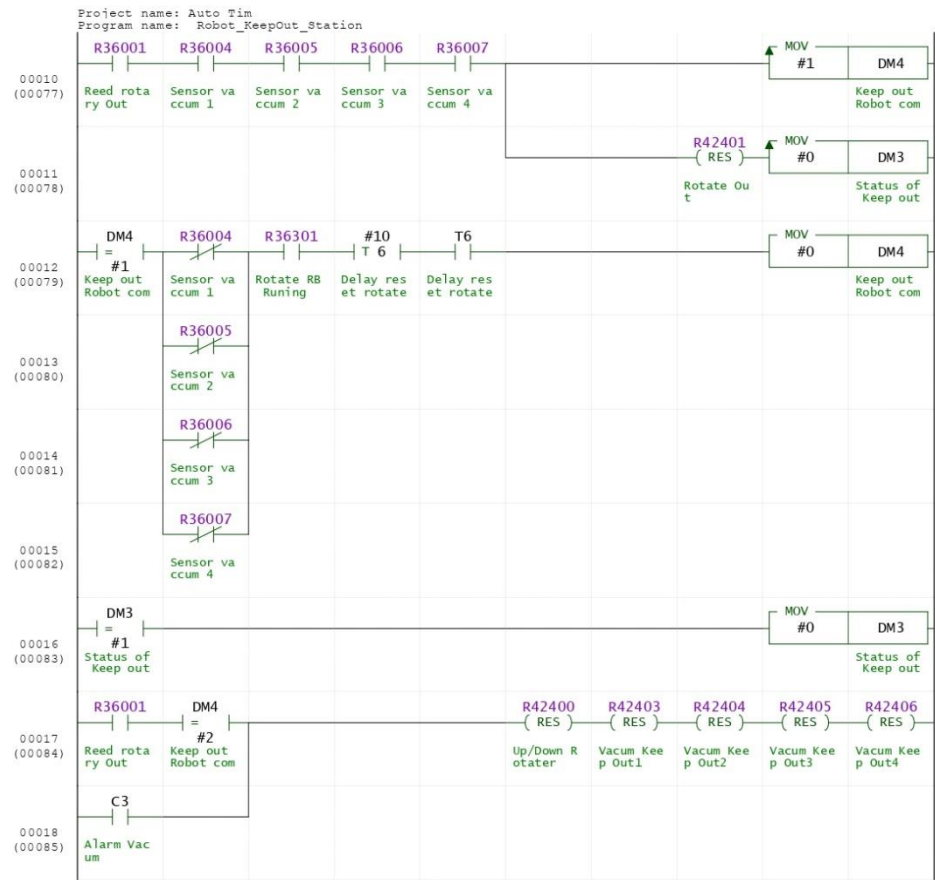


R42402	R42400	R42401								
> 00069	B 00068	< 00069								
< 00074	> 00074	> 00076								
< 00076	< 00075	< 00078								
< 00096	< 00084	< 00096								
	< 00086									
	< 00096									

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(11/16)

[Ladder diagram]

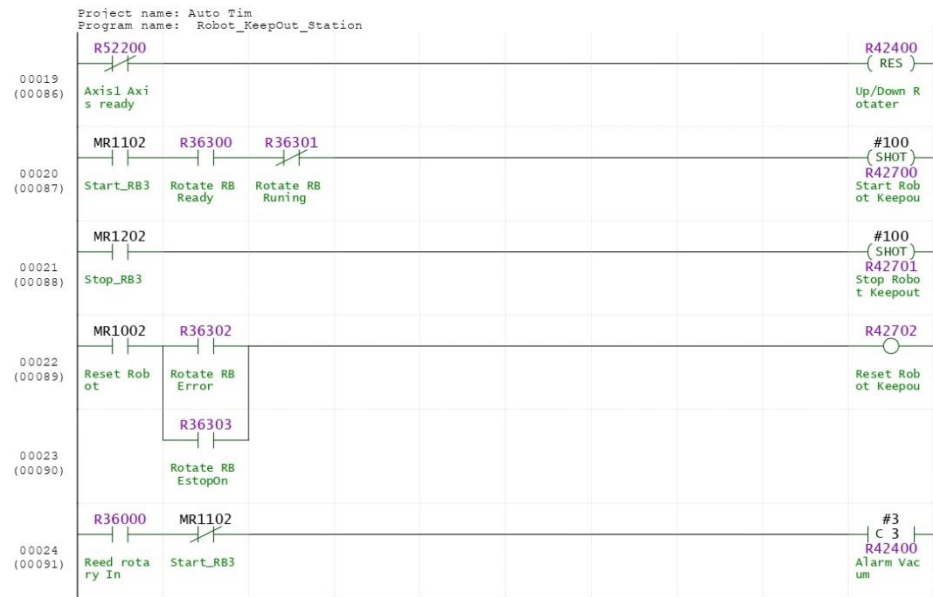


DM4	DM3	R42406								
00068	00021	A 00040								
00070	00023	> 00074								
00077	00068	< 00084								
00079	00070	< 00096								
00084	00078									
	00083									

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(12/16)

[Ladder diagram]

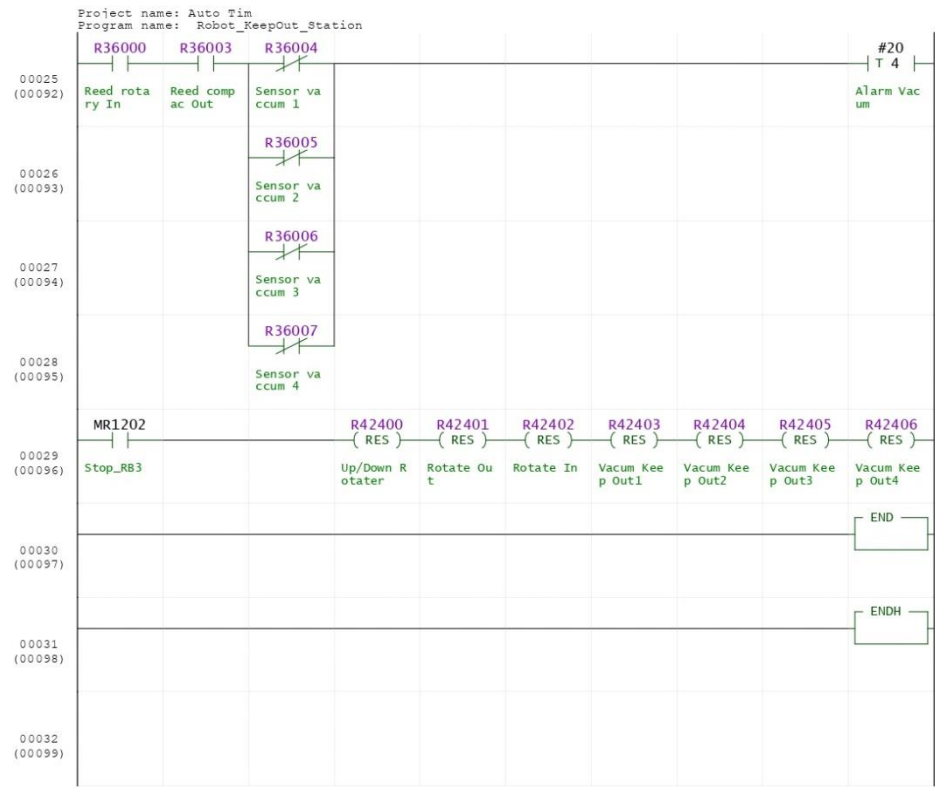


R42400	R42700	R42701	R42702	C3						
B 00068 > 00074 < 00075 < 00084 < 00086 < 00096	00087	00088		B 00030 A 00041 B 00070 A 00085						

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(13/16)

[Ladder diagram]

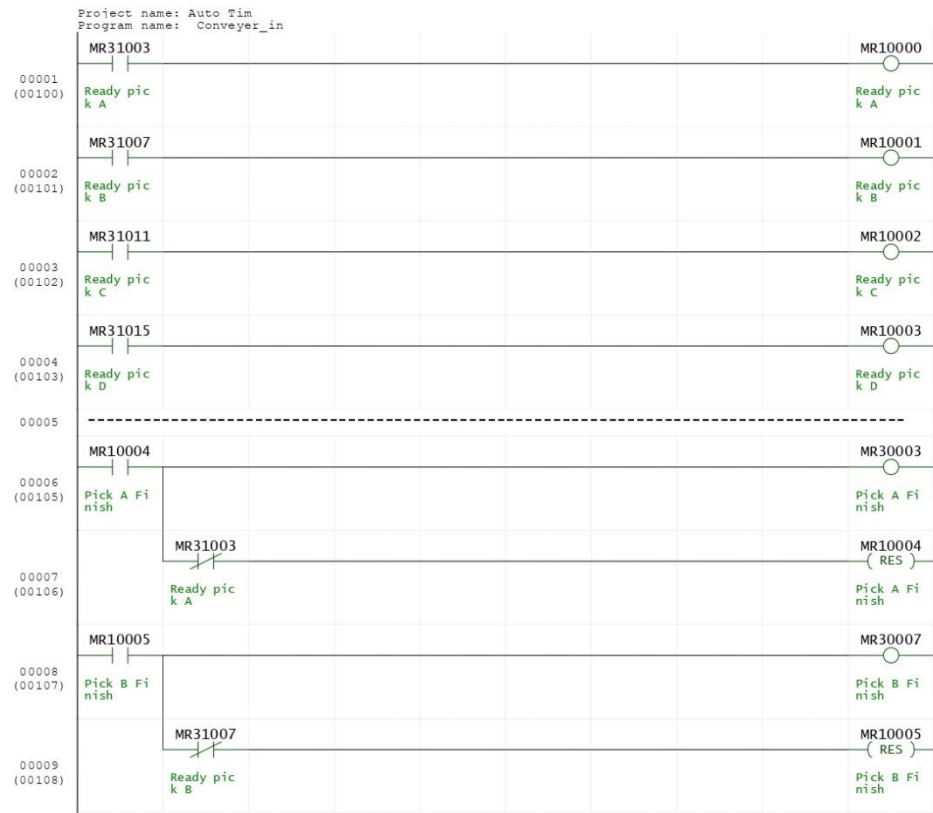


T4	R42406										
B 00070	A 00040 > 00074 < 00084 < 00096										

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(14/16)

[Ladder diagram]

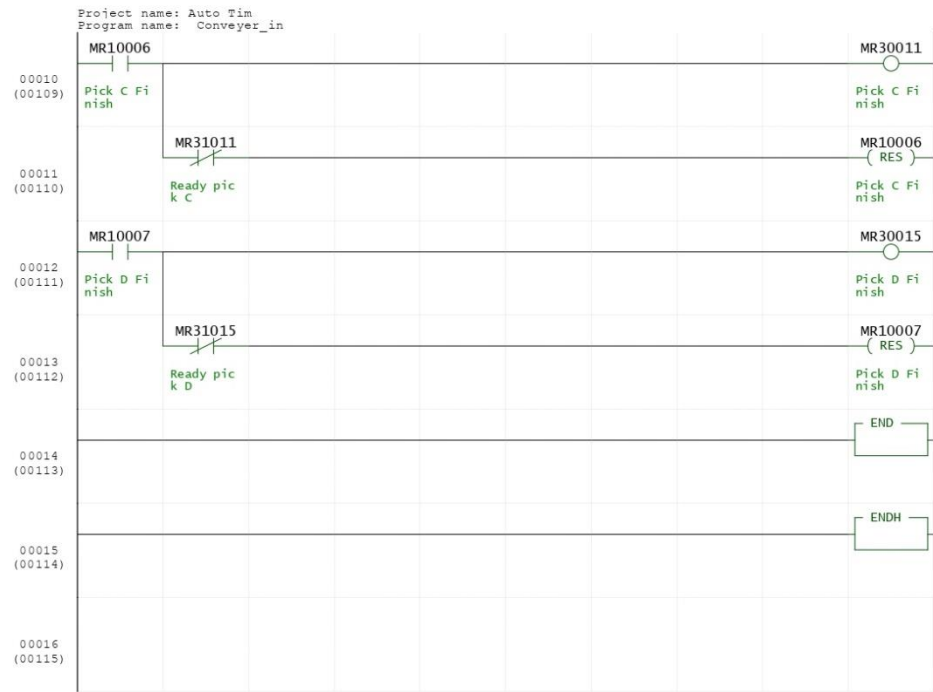


MR10000	MR10001	MR10002	MR10003	MR30003	MR10004	MR30007	MR10005				
					A 00105 < 00106		A 00107 < 00108				

Date: 2020/07/25 01:30:59

Ladder diagram(15/16)

[Ladder diagram]



MR30011	MR10006	MR30015	MR10007								
	A 00109 < 00110		A 00111 < 00112								

ภาคผนวก ข
งานวิจัยที่ตีพิมพ์และเผยแพร่

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม
กรุงเทพมหานคร 10160

โทร 0-2807-4500 ต่อ 115
อีเมล info@sau.ac.th
www.sau.ac.th



ที่ ม.อ.0100/สว.27/2563

แบบตอบรับการตีพิมพ์บทความ

ลงวารสารบทความวิชาการ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ (SAU JOURNALST)

วันที่ 21 กรกฎาคม 2563

เรียน คุณบุญเลิศ สือเฉย คุณณพงษ์ กุลคณา และ คุณมณฑล สีสัจจินดาไกรฤกษ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง “การควบคุมหุ่นยนต์หยิบจับวัตถุโดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ” เพื่อเสนอตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ โดยผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewers) และกองบรรณาธิการได้พิจารณาดังนี้

มีความยินดี (✓) ตีพิมพ์บทความลงในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ฉบับสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฉบับที่ 6 เล่มที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2563

() ไม่สามารถตีพิมพ์บทความลงในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

เนื่องจาก ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาแล้ว ยังไม่มีความเหมาะสม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิระพันธ์ ดั่งทองสุข)

บรรณาธิการ

การควบคุมหุ่นยนต์หยิบจับวัตถุโดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ Robot Control for Picking Up Objects using 2D Vision Camera

บุญเลิศ สื่อเฉย^{1*}, ณพงษ์ กุลคณา^{1*} และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์²
Boonlert Suechoy^{1*}, Napong Kulkana^{1*} and Monthon Leelajindakrairerk²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้รับผิดชอบประสานงาน : boonlerts@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 25 มีนาคม 2563 / วันที่แก้ไขบทความ: / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์:

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาการใช้กล้องร่วมกับแขนกลในการมองเห็นแบบ 2 มิติ เพื่อใช้ในการหยิบจับวัตถุ และทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้กล้องกับหุ่นยนต์ในการวางวัตถุให้มีความแม่นยำในการวางวัตถุตามจุดที่ได้กำหนดไว้ งานวิจัยนี้จึงได้เน้นไปที่การวิจัยพัฒนาควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อใช้ในการหยิบจับชิ้นงาน โดยใช้กล้องในการมองเห็นตำแหน่งของชิ้นงานแทนเพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ โดยมีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือการสร้างกลไกที่สามารถควบคุมได้อัตโนมัติในการจับวัตถุ และการใช้โปรแกรมวิทัศน์(Vision) ในการสร้างส่วนของการมองเห็นของเครื่องจักร และต้องให้การทำงานทั้งสองส่วนนั้นสอดคล้องประสานการทำงานอย่างถูกต้องไปพร้อมกัน และมีความเร็ว เป็นที่พอใจ จากการทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้น มีผลเป็นที่น่าพอใจ และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : กล้อง, หุ่นยนต์, ความคลาดเคลื่อน, เครื่องจักร

Abstract : This research presents the development of using a camera with a 2D vision robot arm for handling object and study the efficiency of using cameras and robots to place objects with the accuracy of placing objects at specified points. This research focuses on the research and development of a robot arm control that can actually be used for grabbing work pieces by using the camera to see the position of the workpiece instead to analyze the product integrity. There are two important components: creating a mechanism that can be controlled automatically to capture the object and the use of vision programs to create machine vision and having both work parts correctly and coordinated with satisfactory speed. From the test of developed robot control, it shows satisfactory results that can be used effectively.

Keywords : camera, robot, tolerance, machine

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตและการทำงานของมนุษย์มากยิ่งขึ้น เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกซึ่งในระยะเวลาไม่ถึง 10 ปี การพัฒนาเทคโนโลยีจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและแพร่หลายทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และทางด้านการแพทย์ โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมและช่วยลดปัญหามลพิษ ทางด้านอุตสาหกรรมได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ และเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างรวดเร็ว

การใช้เครื่องจักรในการหยิบวางวัตถุนั้น ในงานระบบของอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรในการหยิบวางหลายรูปแบบและมีหลายประเภทได้แก่งานที่เป็นระบบอัตโนมัติ และงานในส่วนของการขนถ่าย จาก Chen และคณะ [1] และ Prommarak และ Chamniprasart [2] ได้ใช้วิทัศน์ (Vision) ในการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จาก Guo-Shing และคณะ [3] ได้ใช้แขนกลในการจับวางโดยใช้ระบบตรวจจับขอบภาพ จาก Varagul และ Chamniprasart [4] ได้พัฒนาเครื่องตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตสารคดี จาก Phansak และคณะ [5] ได้ออกแบบหุ่นยนต์แบบหยิบวางที่ใช้ระบบมองเห็นของเครื่องจักรด้วยการจับขอบภาพ จาก Santosh และ Choudhury [6] ได้ใช้ระบบวิทัศน์ สำหรับตรวจสอบวัตถุเพื่อระบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งในงานส่วนนี้ต้องอาศัยความแม่นยำในการวางวัตถุของงานเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นและเพิ่มความรวดเร็วความแม่นยำ

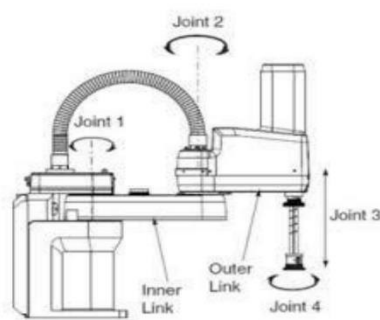
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิควิธีการใช้กล้องควบคุมแขนกลในการวางวัตถุ โดยการให้กล้องเพื่อตรวจรู้ค่าความคลาดเคลื่อนว่าวัตถุเคลื่อนไปทางแกนเอ็กซ์ (x axis) ระยะกี่มิลลิเมตร ไปทางแกนวาย (y axis) มีระยะกี่มิลลิเมตรและวัตถุได้หมุนไปที่

องศา หลังจากนั้นเมื่อได้ค่ามาแล้วแขนกลจะนำค่าที่ได้จากการถ่ายมาลบกับค่าที่ไปวางวัตถุตามระยะที่กำหนด

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีวิจัย

2.1 แขนกลคัสกาล่า (SCARA Robot)

การใช้แขนกลในการหยิบวางในการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้แขนกลคัสกาล่า [5] ซึ่งเป็นแขนกลที่มีการเคลื่อนที่เร็ว มีการหยิบวางวัตถุที่แม่นยำประกอบกับความเหมาะสมกับงานในลักษณะนี้ จึงได้ใช้แขนกลคัสกาล่าในงานวิจัยนี้ โดยแสดงดังรูปที่ 1



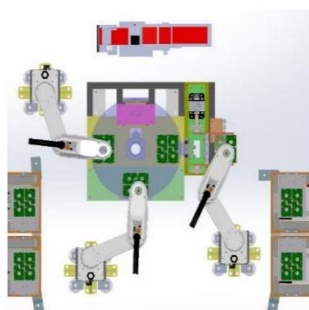
รูปที่ 1 แขนกลคัสกาล่า (SCARA Robot) [5]

2.2 การหยิบจับชิ้นงานของแขนกล

ในการหยิบวางของแขนกลคัสกาล่านั้น จะมีลักษณะที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีลักษณะที่มีความรวดเร็ว และแม่นยำในการหยิบ และวางวัตถุ อีกทั้งยังทำงานควบคุมการทำงานที่ใช้การมองเห็นจากภาพเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นและควบคุมการทำงานของแขนกลผ่านพีแอลซี (PLC) ในการเช็คสถานะและควบคุมการทำงานของแขนกล

ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 10 x 10 มิลลิเมตร ซึ่งถ้ามองด้วยสายตาก็จะเห็นว่าชิ้นงานมีขนาดเล็ก แต่ในมุมมองวิทัศน์ที่ใช้เลนส์ระยะโฟกัสที่ 8 มิลลิเมตรจะสามารถเห็นภาพของชิ้นงานได้ชัดเจน เพราะได้ทำการทดสอบเลนส์กล้องในขนาดที่แตกต่างกัน แล้วพบว่าขนาดเลนส์ระยะโฟกัสที่ 8 มิลลิเมตร

สามารถให้ความละเอียดในระยะที่ติดตั้งกล้องถึงวัตถุ มีความคมชัดและเหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 2 รูปแบบของแขนกล
ในการทำงานที่ใช้โปรแกรมออกแบบ

จากรูปที่ 2 แสดงรูปแบบของหุ่นยนต์ในการทำงานและลักษณะของจุดที่หยิบและวางของเครื่องนั้น โดยแขนกลจะไปหยิบตัวฟองน้ำที่เป็นสีแดง และจะนำไปวางลงตรงกลางของจุดสี่เหลี่ยมบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3 รูปแบบของแขนกลในการทำงานที่จริง

จากรูปที่ 3 แสดงรูปแบบของแขนกลทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานในการหยิบวางฟองน้ำลงบนชิปของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

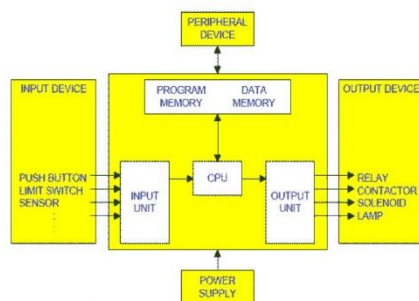


รูปที่ 4 รูปแบบของแขนกล
ในการหยิบฟองน้ำจากฟิดเดอร์

จากรูปที่ 4 แสดงรูปแบบของแขนกลในการทำงานและลักษณะจุดชิ้นงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ภาพเพื่อที่จะนำไปติดตั้งบนชิปของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการประกอบบอร์ดคิสก์[4], [7]

2.3 การควบคุมหุ่นยนต์ผ่านโปรแกรมพีแอลซี[8-9]

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมพีแอลซีในการสั่งการหุ่นยนต์ให้ทำงานร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวลำเลียงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ทำงานตามการผลิตที่วางแผนไว้ได้อย่างถูกต้อง โดยจะทำการอินเตอร์เฟสระหว่าง โปรแกรมพีแอลซี สไลเดอร์คอนเวเยอร์เข้ากับพีแอลซี ที่ควบคุมหุ่นยนต์เพื่อรับสัญญาณอินพุตจากสไลเดอร์คอนเวเยอร์ เพื่อลำเลียงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มายังจิ๊กใส่แผ่น โดยจะทำการหมุนโดยเซอร์โวมอเตอร์ และให้พีแอลซี รับสัญญาณอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเช็คสถานะของอุปกรณ์ประกอบการสั่งการแขนกลว่าถ้าสถานะขณะนี้อุปกรณ์ทำการตรวจวัดอยู่ จะสั่งการหุ่นยนต์ให้ทำงานขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 5 โครงสร้างของพีแอลซี (PLC) [10]

จากรูปที่ 5 จะเป็นส่วนโครงสร้างของพีแอลซี โดยส่วนโครงสร้างจะมี 5 องค์ประกอบหลักๆ คือ

1. ตัวประมวลผล (CPU) ทำหน้าที่คำนวณและควบคุม ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของพีแอลซี ภายในจะประกอบด้วยวงจรลอจิกหลายชนิดใช้แทนอุปกรณ์พวก รีเลย์ เคาเตอร์/ไทมเมอร์ และซีควเอนเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม (Ladder Diagram)
2. หน่วยความจำ (Memory Unit) ทำหน้าที่เก็บรักษา โปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของ หน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูลภายใน หน่วยความจำ 1 บิต ก็จะมีค่าสถานะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันไปแต่คำสั่ง
3. หน่วยอินพุต – เอาต์พุต (Input-Output Unit) หน่วยอินพุตทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกแล้ว แปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมแล้วส่งสัญญาณให้หน่วยประมวลผล หน่วยเอาต์พุตทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุม อุปกรณ์ภายนอกเช่น ควบคุมหลอดไฟ ควบคุมมอเตอร์ และวาล์ว เป็นต้น
4. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายพลังงาน และรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหน่วยประมวลผล (CPU Unit) หน่วยความจำและหน่วยอินพุต/เอาต์พุต

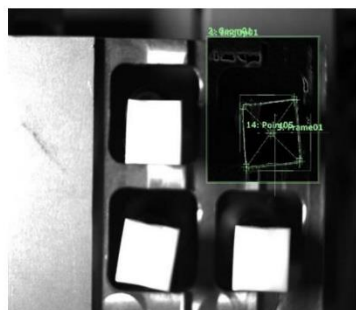
5. อุปกรณ์ต่อร่วม (Peripheral Devices)

- อุปกรณ์ป้อน โปรแกรม (Programming Console)
- หน้าจอทัชสกรีน (Human Machine Interface)
- คอมพิวเตอร์ (Computer)

2.4 เทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องจักร

กระบวนการวิเคราะห์ภาพและนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการทำงานของเครื่องจักร เป็นกระบวนการโดยรวมที่ใช้เรียกการมองเห็นของเครื่องจักร (Machine Vision) ซึ่งแนวคิดในการมองเห็นภาพได้พัฒนามาอย่างต่อเนื่องมีวิธีการและเทคโนโลยีหลายรูปแบบ ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กับการมองเห็นของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือการตรวจจับขอบภาพ (Edge Detection) [5], [11]

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง ภาพวิดีโอ และยังสามารถถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วย ในหลายปีที่ผ่านมาการประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง ซึ่งวิธีเหล่านี้ในปัจจุบันยังมีการใช้อยู่ และได้มีการประยุกต์ใช้งานบางอย่างได้แก่ งาน โฮโลกราฟี แต่เนื่องจากมีประสิทธิภาพมากขึ้น การประมวลผลดิจิทัลจึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลภาพที่ทำได้ซับซ้อนขึ้นแม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ ในส่วนของงานวิจัยนี้ได้ใช้การประมวลผลภาพแบบการหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุในภาพจะทำให้ทราบจุดกึ่งกลางของวัตถุ และเมื่อทราบจุดกึ่งกลางของวัตถุ ในตัวของโปรแกรมจะคำนวณตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุจากตำแหน่ง (Pixel) ในแนวระนาบ X Y แปลงเป็นตำแหน่ง (mm) ในแนว X Y ของตัวหุ่นยนต์[5], [12]



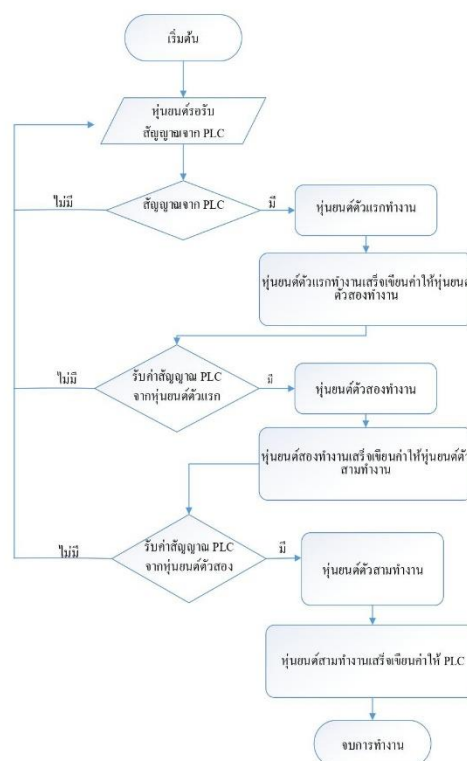
รูปที่ 6 ตัวอย่างในการตรวจจับขอบภาพแบบ

2.5 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์

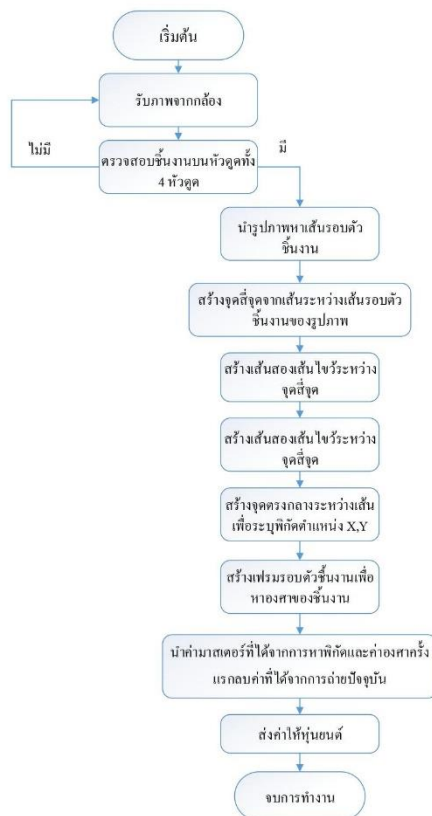
ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ แสดงได้ดังรูปที่ 7 การทำงานของแขนกลทั้ง 3 ทำงานร่วมกันระหว่างแขนกลกับพีแอลซี โดยแขนกลแต่ละแขนจะทำการอ่านสถานะในพีแอลซีเพื่อทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

2.6 ระบบการทำงานของกล้อง

ขั้นตอนการทำงานของกล้องแสดงได้ดังรูปที่ 8 การทำงานของกล้องร่วมกับแขนกล จะเริ่มจากกล้องรับสัญญาณภาพ เมื่อรับสัญญาณภาพมาแล้วจะทำการหาชิ้นงานบนหัวดูดจากภาพ เมื่อทำการหาชิ้นงานเจอทางโปรแกรมวิทัศน์ จะทำการหาเส้นรอบตัวชิ้นงานเพื่อหาจุดตัดในการระบุพิกัดตำแหน่งแกนเอ็กซ์(x axis) และ แกนวาย(y axis) จากนั้นทำการสร้างเฟรมตัวจับชิ้นงานเพื่อหาความเอียงของชิ้นงาน(องศา) แล้วนำค่ามาสเตอร์ที่ได้จากการหาพิกัดและค่าองศาในครั้งแรกลบค่าที่ได้จากการหาพิกัดในปัจจุบันหลังจากนั้นส่งค่าที่ได้จากการลบค่าให้แขนกลติดอุปกรณ์



รูปที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์



รูปที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของกล้องร่วมกับหุ่นยนต์

3. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในการทดสอบจากงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบทั้งหมดเป็น 5 ชุด ชุดละ 20 ครั้งของแต่ละหัวดูด โดยอุปกรณ์การดูดวัตถุบนหัวกับเปอร์ของหุ่นยนต์มีทั้งหมด 4 หัวดูด โดยจะเก็บค่า x , y , u ที่ได้จากการถ่ายในแต่ละหัวดูด เก็บค่าชดเชยที่ได้จากการนำค่ามาสเตอร์ที่ถ่ายได้ครั้งแรกแล้วนำมาลบกับค่าที่ถ่ายได้ของแต่ละครั้งในทุกๆ ครั้งและนำค่าที่ได้จากการหาค่าชดเชยมารวมกับค่าเป้าหมายที่จะนำวัสดุไปวางในแต่ละ

ตำแหน่งของแต่ละหัวดูด เพื่อที่จะได้ค่าที่ต้องนำวัสดุ นั้น ไปวางในจุดที่วางวัสดุอย่างถูกต้อง

3.1 ผลการทดสอบ

จากตารางที่ 1 จะแสดงค่ามาสเตอร์ที่ได้จากการถ่ายจากกล้องของแต่ละหัวดูดในครั้งแรกเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบในการชดเชยค่า เพื่อที่จะได้นำวัสดุไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ

โดยที่

x คือ ค่าตำแหน่งของวัตถุในแนวแกนเอ็กซ์ (mm.)

y คือ ค่าตำแหน่งของวัตถุในแนวแกนวาย (mm.)

u คือ ค่าตำแหน่งมุมของวัตถุมีหน่วยเป็นองศา

ตารางที่ 2 จะแสดงค่าในการถ่ายเฉลี่ยของในแต่ละรอบจากจำนวนการหยิบวัสดุในแต่ละหัวดูด หัวดูดละ 20 รอบการทดลอง ในแต่ละรอบของการดูดวัสดุนั้นเป็นการ ดูวัสดุในตำแหน่งที่ต่างกันทุกครั้งและเมื่อแต่ละหัวดูด ได้ดูดวัสดุของแต่ละหัวจนครบ 20 รอบได้ทำการเปลี่ยนชุดวัสดุใหม่ทุกรอบจนครบทั้งหมด 5 รอบ รวมแล้วจะได้ค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 2

และจากตารางที่ 3 ค่าชดเชยของ x , y , u ในแต่ละครั้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ค่าชดเชย} = \text{ค่ามาสเตอร์} - \text{ค่าที่ถ่ายปัจจุบัน} \quad (1)$$

จากตารางที่ 4 เป็นค่ามาสเตอร์ที่ใช้ในการอ้างอิงในตำแหน่งของจุดวาง โดยยังไม่ได้รวมค่าชดเชย

จากตารางที่ 5 เป็นการค่าเฉลี่ยรวมที่ได้จากการวางในแต่ละรอบ รอบละ 20 ครั้งจำนวน 5 รอบ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ตำแหน่งวาง} = \text{ค่ามาสเตอร์เป้าหมาย} + \text{ค่าชดเชย} \quad (2)$$

ตารางที่ 1 ตารางค่ามาตรฐานที่ได้จากการถ่ายครั้งแรก

ค่ามาตรฐานที่ถ่ายครั้งแรกหัวจุดที่ 1			ค่ามาตรฐานที่ถ่ายครั้งแรกหัวจุดที่ 2		
x	y	u	x	y	u
-247.54201	173.0878	101.115	-246.5204	153.5028	99.355
ค่ามาตรฐานที่ถ่ายครั้งแรกหัวจุดที่ 3			ค่ามาตรฐานที่ถ่ายครั้งแรกหัวจุดที่ 4		
x	y	u	x	y	u
-264.96	151.7565	90.337	-265.29219	172.9602	89.47798

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยรวมของการถ่ายได้ในแต่ละรอบ

ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวจุดที่ 1			ตำแหน่งที่ถ่ายหัวจุดที่ 2		
	x	y	u	x	y	u
1	-249.2555	175.7101	90.7228	-248.5844	153.456	99.3551
2	-248.7369	174.7834	95.7913	-245.8095	153.2083	105.5173
3	-249.5206	174.53975	99.2785	-246.1486	152.8189	110.2642
4	-248.4693	174.8687	101.988	-247.7902	153.09	100.4776
5	-248.9224	174.6308	97.4787	-247.5836	153.4218	101.2137
ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งที่ถ่ายหัวจุดที่ 3			ตำแหน่งที่ถ่ายหัวจุดที่ 4		
	x	y	u	x	y	u
1	-268.4332	151.9068	98.6453	-269.0144	172.872	91.8497
2	-268.9667	151.3395	90.1033	-268.7493	173.0852	87.7516
3	-265.9509	150.0745	95.4106	-267.0287	172.1897	95.7233
4	-269.4187	151.1055	89.1626	-268.4659	173.2976	95.3173
5	-269.251	151.2517	91.8429	-268.3259	172.262	91.0159

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของหัวตุ๋นในแต่ละรอบของการทดลอง

ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยหัวตุ๋นที่ 1			ค่าเฉลี่ยหัวตุ๋นที่ 2		
	x	y	u	x	y	u
1	1.71346	-2.622	10.3922	2.0643	0.0472	-0.003
2	1.1949	-1.6955	5.3236	-0.7105	0.2947	-6.1623
3	1.9786	-1.4517	1.8364	-0.3713	0.684	-10.9091
4	0.9272	-1.7806	-0.873	1.2702	0.4129	-1.1227
5	1.3803	-1.5428	3.6362	1.0636	0.0812	-1.8588
ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยหัวตุ๋นที่ 3			ค่าเฉลี่ยหัวตุ๋นที่ 4		
	x	y	u	x	y	u
1	3.4732	-0.1498	-8.3081	3.7224	0.088	-2.3717
2	4.0066	0.4176	0.2336	3.4572	-0.12529	1.72639
3	0.99096	1.6826	-5.1407	1.7367	0.7703	-6.24536
4	4.4586	0.6516	1.1743	3.17388	-0.33762	-5.8393
5	4.2909	0.5053	-1.5059	3.0339	0.6979	-1.5379

ตารางที่ 4 ตารางค่ามาตรฐานเป้าหมายในการวาง

ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตุ๋นที่ 1			ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตุ๋นที่ 2		
X	y	u	x	y	u
404.841	419.268	-181.646	402.525	358.63	-177.735
ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตุ๋นที่ 3			ค่ามาตรฐานเป้าหมายหัวตุ๋นที่ 4		
X	y	u	x	y	u
297.508	356.417	-180.751	297.436	417.098	-180.421

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวางของแต่ละหัวคุด

ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งวางหัวคุดที่ 1			ตำแหน่งวางหัวคุดที่ 2		
	x	y	u	x	y	u
1	406.5544	416.6459	-171.2538	404.5895	358.6772	-177.7351
2	406.0359	417.5725	-176.3224	401.8144	358.9246	-183.8974
3	406.8196	417.8163	-179.8094	402.1536	359.31405	-188.6442
4	405.7683	417.4872	-182.5905	403.7953	359.04295	-178.8577
5	406.2214	417.7252	-178.0097	403.5886	358.7112	-179.594
ค่าเฉลี่ย	ตำแหน่งวางหัวคุดที่ 3			ตำแหน่งวางหัวคุดที่ 4		
	x	y	u	x	y	u
1	300.9821	356.2471	-189.0592	301.1584	417.1869	-182.7937
2	301.5157	356.8145	-180.5174	300.8933	416.9738	-178.6957
3	298.5	358.0795	-185.8247	299.1728	417.8693	-186.6674
4	301.9677	357.0486	-179.5766	300.6098	416.7614	-186.2613
5	301.8	356.9023	-182.2569	300.47	417.7969	-181.9599

ตารางที่ 6 ตารางแสดงตำแหน่งวางวัตถุครั้งแรก

ค่ามาตรฐานวางวัตถุครั้งแรกหัวคุดที่ 1			ค่ามาตรฐานวางวัตถุครั้งแรกหัวคุดที่ 2		
X	y	u	x	y	u
406.372	416.253	-172.148	404.294	358.841	-177.852
ค่ามาตรฐานวางวัตถุครั้งแรกหัวคุดที่ 3			ค่ามาตรฐานวางวัตถุครั้งแรกหัวคุดที่ 4		
X	y	u	x	y	u
300.614	356.509	-191.377	301.782	417.839	-184.637

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแต่ละหัวจุด

รอบที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวจุดที่ 1			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวจุดที่ 2		
	x	y	u	x	y	u
1	0.0449	0.09438	0.51932	0.07309	0.04561	0.065785
2	0.0827	0.317	2.4246	0.61331	0.02332	3.3988
3	0.1101	0.3755	4.4502	0.5294	0.13184	6.0679
4	0.1485	0.2965	6.06629	0.1233	0.05629	0.5656
5	0.037	0.35367	3.4052	0.17447	0.0361	0.97946
ค่าเฉลี่ย	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวจุดที่ 3			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหัวจุดที่ 4		
	x	y	u	x	y	u
1	0.12248	0.07343	1.2112	0.20663	0.156	0.99817
2	0.29995	0.08569	5.6746	0.29448	0.207	3.21766
3	0.70322	0.440521	2.9125	0.86459	0.00725	1.09945
4	0.4503	0.15135	6.16584	0.38839	0.2578	0.87956
5	0.39455	0.11031	4.76546	0.43475	0.01	1.4498

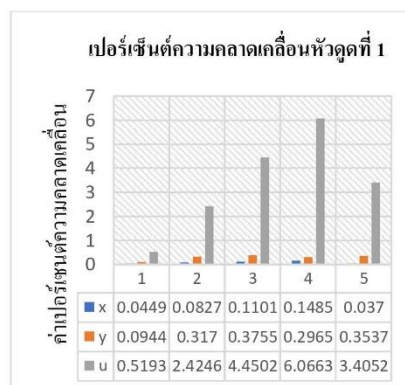
จากสมการการหาความคลาดเคลื่อน
สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Error} = \left\{ \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \right\} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ X_t คือ ค่าจริง

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด

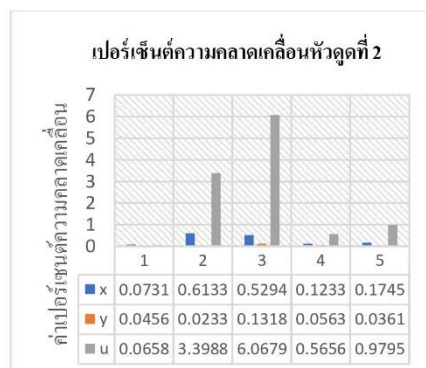
จากกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน
เปรียบเทียบในแต่ละรอบของการทดลองที่มีค่า
ความคลาดเคลื่อนจากจุดวางมาสเตอร์ ของแต่ละหัว
จุด โดยสีน้ำเงินแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของ
แกน x สีส้มแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแกน y
และสีเทาแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแกน u



รูปที่ 9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวจุดที่ 1

จากรูปที่ 9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของ
หัวจุดที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนใน
แนวแกน x มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่า

ความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด



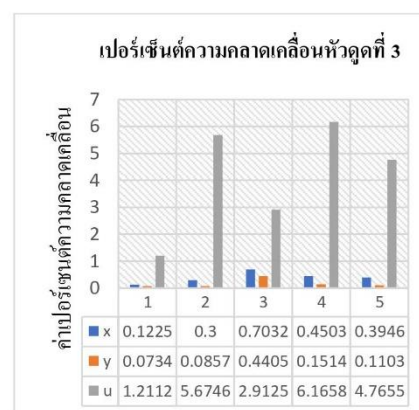
รูปที่ 10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 2

2

จากรูปที่ 10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

จากรูปที่ 11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อน

รองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด



รูปที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 3

3



รูปที่ 12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหัวดูดที่ 4

4

จากรูปที่ 12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของหัวคูลที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน x มีความคลาดเคลื่อนรองลงมา และในแนวแกน u หรือจุดหมุน(องศา) มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าการทดลองรอบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และในการทดลองที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจมีผลมาจากการติดตั้งงานให้หุ่นยนต์หยิบจับ แสงไฟ การโค้งงอของวัสดุที่หุ่นยนต์หยิบจับ ขนาดของหัวคูล และขนาดของวัสดุ โดยผู้วิจัยได้วางแผนสำหรับพัฒนางานวิจัยต่อไป

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำหุ่นยนต์ที่นำมาใช้ในงานร่วมกับการทำงานโดยใช้กล้องร่วมในการทำงานเพื่อเป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในการทำงานเฉพาะงาน โดยได้ทดลองใช้แล้วบันทึกผลการทดลอง บันทึกค่าความคลาดเคลื่อน ทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพในการทำงาน ซึ่งทำให้ทราบถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดของตัวหุ่นยนต์ เวลาที่ได้จากการทำงานคุณภาพของฟีดเดอร์ในการติดตั้งงานให้หุ่นยนต์หยิบจับ แสงไฟ การโค้งงอของวัสดุที่หุ่นยนต์หยิบจับและอีกหลายๆ ปัจจัยทำให้การอ่านค่าจากกล้องซึ่งมีผลโดยตรงและเป็นสาเหตุที่ทำให้กล้องอ่านค่ามาเพื่อชดเชยไปยังจุดวางไม่เท่ากัน ผลจากการเปรียบเทียบกับการทำงานแบบเดิม โดยทำเครื่องหมายติดลงไปเพื่อหมายพบว่าตัวหุ่นยนต์สามารถทำงานได้แม่นยำกว่า และยังทำงานได้ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นจุดคุ้มทุนในการทำงานในระยะยาวและสามารถ

เพิ่มจำนวนการผลิตได้ตามต้องการได้ในเวลาที่กำหนดและจำนวนการผลิตค่อนข้างคงที่

สำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อสามารถทำได้โดยทำการทดสอบความละเอียดของกล้องที่ความละเอียดต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการมองเห็นอัตโนมัติโดยนำค่าความละเอียดกล้องในฟังก์ชันที่แตกต่างกันมาทดสอบเปรียบเทียบว่าส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด รวมถึงการเลือกวัสดุที่ไม่อ่อนหรือโค้งงอจนเกินไป การสร้างหัวคูลจับที่มีความพอดีกับตัวของวัสดุ หรือมีความเหมาะสมในการดูดวัสดุ ก็จะทำให้มีข้อมูลอ้างอิงจำนวนมากขึ้น มีกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของการวางชิ้นงานในอนาคตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท แคล-คอมพีโออิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนข้อมูลวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen, T.Q., Murphey, Y.L., Zhang, J.X., and Zhou, Y.N., A Smart Machine Vision System for PCB Inspection, IEA/AIE, 2001.
- [2] Prommarak, N. and Chamnirasart, K., "Damage Screw Inspection Computer Vision Prototype Machine," In Proc. *International Conference on Data Storage Technology (DSTCON)*. Bangkok, Thailand, 2010. pp. 1-6.
- [3] H. Guo-Shing, L. Hsiung-Cheng, and C. Po-Cheng, "Robotic arm grasping and placing

- using edge visual detection system," in Proc. 8th Asian Control Conference (ASCC), 2011, pp. 960-964.
- [4] Varagul, J., and Chamniprasart, K., "Development of Automated Visual Inspection Machine for HDD Manufacturing Process," in Proc. International Conference on Data Storage Technology (DST-CON) Bangkok, Thailand, 2010.
- [5] Phansak Nerakae, Pichitra Ungpairoj, and Kontorn Chamniprasart, "Prototyping of Flexible Manufacturing System with Machine Vision," ESIT:2016, pp. 113-117.
- [6] Santosh Kumar Sahoo, B. B. Choudhury, "A Robotic Assistance Machine Vision Technique for an Effective Inspection and Analysis," In Proc. International Conference on Data Storage Technology (DSTCON). Bangkok, Thailand, 2010. pp. 1-6.
- [7] Napong Kulkana, Manual Auto Sponge Robotic And Calibration Automation, 2019, pp. 42-68.
- [8] Nobuaki Nakazawa, Il-hwan Kim, Hikaru Inooka, Ryojun Ikeura, "Force Control of a Robot Hand Emulating Human's Grasping Motion," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, Jul. 1999, pp. 774-779.
- [9] Erika Ottaviano, Maria Toti, and Marco Ceccarelli, "Grasp Force Control in Two-Finger Grippers with Pneumatic Actuation," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, April 2000, pp. 1976-1981.
- [10] "Construction of PLC" [Online]. Available: <http://www.star-circuit.com/article/PLC.html>.
- [11] Kim, S.M., Lee, S.C., and Lee, Y.C., System for SMT Assembly. Vision Based Automatic, Inspection System for Computers & Industrial Engineering 40, 2006, pp.175-190.
- [12] B. V. Adorno, P. Fraisse, and S. Druon, "Dual Position Control Strategies using the Cooperative Dual Task-Space Framework," in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010, pp. 3955-3960.

ประวัติผู้ประพันธ์

บุญเลิศ สือเคย



ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้อำนวยการ
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ณพงษ์ กุลกนา



ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกร
ไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ

มณฑล สีอจินดาไกรฤกษ์



จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตร
ดุษฎีบัณฑิต (D.Eng.) สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณพงษ์ กุลคณา
วัน-เดือน-ปีเกิด	26 กรกฎาคม พ.ศ.2536 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	55/4 หมู่ 4 ต.ลานตากฟ้า อ.นครชัยศรี จังหวัดนครปฐม 73120 โทร. 095-404-4024
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ปี 2560 มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนจิ๋วรายบุญมีรังสฤษฎ์ ปี 2555
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกรไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ บริษัทแคล-คอมพ์ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร รหัสไปรษณีย์ 74110
ความชำนาญเฉพาะด้าน	-การเขียนโปรแกรมพีแอลซี -การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ -การเขียนโปรแกรมกล้องเพื่อการควบคุมหุ่นยนต์
ด้านงานทางวิชาการขณะศึกษา	1. บุญเลิศ สี่อเนย, ณพงษ์ กุลคณา, มณฑล สีสัจจินดาไกรฤกษ์. (2563). “การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การมองเห็นจากกล้องแบบ 2 มิติ” บทความในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ฉบับสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 6 เล่มที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ.2563